



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ, ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ
ΣΤΗΝ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Αξιολόγηση βιοδιεγερτών σε αροτραίες καλλιέργειες

Βύρωνας Ν. Δελαπόρτας

Επιβλέπων καθηγητής:

Τραυλός Ηλίας, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2021**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Αξιολόγηση βιοδιεγερτών σε αροτραίες καλλιέργειες

Evaluation of biostimulants in arable crops

Βύρωνας Ν. Δελαπόρτας

Εξεταστική Επιτροπή :

Τραυλός Ηλίας, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Μπιλάλης Δημήτριος, Καθηγητής ΓΠΑ

Παπαστυλιανού Παναγιώτα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ

Αξιολόγηση βιοδιεγερτών σε αροτραίες καλλιέργειες

ΠΜΣ Καινοτόμες εφαρμογές στην Αειφορική Γεωργία, στη Βελτίωση Φυτών και στην Αγρομετεωρολογία
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Γεωργίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Ομβριακής Δομοκού (39°06'09''N, 22°17'53''E) μελετήθηκαν οι επιδράσεις της εφαρμογής μικροβιακού βιοδιεγέρτη στην ανάπτυξη, απόδοση και ποιότητα καλλιέργειας σκληρού σιταριού (*Triticum durum* Desf.) καθώς επίσης και στην οικονομικότητα και την μείωση της ρύπανσης. Οι πειραματικές επεμβάσεις ήταν η εφαρμογή της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης (100% N) χωρίς χημική ζιζανιοκτονία (T1), εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη μαζί με το 20 % της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης (20% N) χωρίς χημική ζιζανιοκτονία (T2), εφαρμογή της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης (100% N) με χημική ζιζανιοκτονία (T3) και εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη μαζί με το 20% της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης (20% N) και χημική ζιζανιοκτονία (T4). Το πείραμα διεξήχθη σύμφωνα με το σχέδιο των Τυχαιοποιημένων Πλήρων Ομάδων (ΤΠΟ: Completely Randomized Block Design: RCBD) σε τέσσερις επαναλήψεις. Η έκταση κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 10 m² (2 m μήκος x 5 m πλάτος) και ως αποτέλεσμα η συνολική έκταση του πειραματικού αγρού ήταν 160 m². Για την λίπανσης της καλλιέργειας εφαρμόστηκε σύμμεικτο λίπασμα (20-23-0+0,01Cu+0,01Zn) με παρεμποδιστή νιτροποίησης, με δόση 56 kg αζώτου (N) ha⁻¹ (100% N) στα πειραματικά τεμάχια των επεμβάσεων T1 και T3. Αντίστοιχα, εφαρμόστηκαν 11,2 kg N ha⁻¹ (20% N) στα τεμάχια των επεμβάσεων T2 και T4. Για τη μεταφυτρωτική χημική ζιζανιοκτονία (επεμβάσεις T3, T4) εφαρμόστηκαν οι δραστικές mesosulfuron-methyl σε δόση 14,85 g δ.ου. ha⁻¹, iodosulfuron-methyl-sodium σε δόση 2,97 g δ.ου. ha⁻¹ και thiencazone-methyl σε δόση 4,95 g δ.ου. ha⁻¹. Ο μικροβιακός βιοδιεγέρτης περιείχε είδη από τα γένη των ενδόφυτων βακτηρίων *Azospirillum* sp., *Herbaspirillum* sp., *Raenibacillus* sp., *Rhodopseudomonas* sp. περιεκτικότητας 1*10¹² cfu L⁻¹ (cfu : μονάδες σχηματιζόμενων αποικιών) και εφαρμόστηκε σε δόση 5 L ha⁻¹. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι επεμβάσεις δεν επηρέασαν τον αριθμό των αδελφιών ανά φυτό κατά την πρώτη χρονικά μέτρηση. Ωστόσο, στις 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη στα τεμάχια που έγινε η επέμβαση T4 (20% N + μικροβιακό βιοδιεγέρτη + χημική ζιζανιοκτονία) ο αριθμός των αδελφιών ανά φυτό ήταν αυξημένος κατά 15 και 53% σε σχέση με τις επεμβάσεις T3 (100% N + χημική ζιζανιοκτονία) και την επέμβαση T1 (100% N), αντίστοιχα. Έπειτα από συνθήκες στρές, εξαιτίας χαμηλών θερμοκρασιών οι τιμές του δείκτη NDVI ήταν μειωμένες σε όλες τις επεμβάσεις και ειδικότερα σε αυτές που εφαρμόστηκε χημική ζιζανιοκτονία. Ωστόσο, κατά την δεύτερη μέτρηση, υψηλότερες τιμές (7-14%) σημειώθηκαν στα τεμάχια όπου πραγματοποιήθηκε εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη (+ 20% N) μαζί με χημική ζιζανιοκτονία (T4) συγκριτικά με τα τεμάχια που πραγματοποιήθηκαν οι υπόλοιπες επεμβάσεις. Σε σύγκριση με την επέμβαση T1 (100% N), διαπιστώθηκε ότι οι επεμβάσεις T2

(20% N + βιοδιεγέρτη), T3 (100% N + χημική ζιζανιοκτονία) και T4 (20% N + μικροβιακό βιοδιεγέρτη + χημική ζιζανιοκτονία) αύξησαν τον αριθμό των στάχων ανά μονάδα επιφάνειας κατά 21, 24 και 26%, αντίστοιχα.). Ο μεγαλύτερος αριθμός καρπών ανά στάχυ παρατηρήθηκε στα τεμάχια των επεμβάσεων T3 (100% N) και T4 (20% N + βιοδιεγέρτη) όπου εφαρμόστηκε χημική ζιζανιοκτονία. Οι συγκεκριμένες επεμβάσεις αύξησαν τον αριθμό των παραγόμενων καρπών ανά στάχυ κατά 18-19% συγκριτικά με την επέμβαση T2. , το μεγαλύτερο βάρος 100 καρπών καταγράφηκε στα τεμάχια της επέμβασης T4 (20% N + μικροβιακό βιοδιεγέρτη + χημική ζιζανιοκτονία). Η εφαρμογή της συγκεκριμένης επέμβασης είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του βάρους 1000 καρπών κατά 7, 9 και 17% σε σύγκριση με την εφαρμογή των επεμβάσεων T3, T2 και T1, αντίστοιχα. Αναφορικά με την απόδοση της καλλιέργειας σε καρπό, καρπό, η μεγαλύτερη καταγράφηκε στα τεμάχια της επέμβασης T4 (5276,310 kg ha⁻¹) ενώ η μικρότερη τιμή στα αντίστοιχα της επέμβασης T1 (2496,234 kg ha⁻¹). Τέλος, η πυκνότητα των ζιζανίων ήταν 27 και 61% μεγαλύτερη όταν εφαρμόστηκε η συνιστάμενη δόση της αζωτούχου λίπανσης συγκριτικά με τα τεμάχια όπου εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης χωρίς ζιζανιοκτονία (T2) και η συνιστάμενη δόση της αζωτούχου λίπανσης μαζί με χημική ζιζανιοκτονία (T3), αντίστοιχα.). Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται περεταίρω έρευνα για να αξιολογηθεί η εφαρμογή των βιοδιεγερτών ως εργαλείο για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των ζιζανίων, την αύξηση των αποδόσεων και τη μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος, σε περισσότερες καλλιέργειες και υπό διαφορετικές εδαφοκλιματικές συνθήκες.

Επιστημονική περιοχή: Αροτραίες καλλιέργειες

Λέξεις κλειδιά : ανάπτυξη, απόδοση, χημική ζιζανιοκτονία, μικροβιακός βιοδιεγέρτης

Evaluation of biostimulants in arable crops

*MSc Innovative applications in Sustainable Agriculture, Plant Improvement and Agrometeorology
Faculty of Crop Science
Laboratory of Agriculture Science*

SUMMARY

An experiment conducted in the Ombriaki Domokou area (39-06'09"N, 22-17'53"E) investigated the effects of applying a microbial biostimulant on the growth, yield, and quality of durum wheat (*Triticum durum* Desf.), as well as on economic aspects and environmental pollution. The experimental treatments were the application of the recommended dose of nitrogen fertilizer (100% N) without chemical herbicide (T1), the application of the microbial biostimulant together with 20% of the recommended dose of nitrogen fertilizer (20% N) without chemical herbicide (T2), the application of the recommended dose of nitrogen fertilizer (100% N) with chemical herbicide (T3) and the application of the microbial biostimulant together with 20% of the recommended dose of nitrogen fertilizer (20% N) and chemical herbicide (T4). The experiment was conducted according to the Completely Randomized Block Design (RCBD) design in four replicates. The area of each experimental plot was 10 m² (2 m long x 5 m wide), so the total area of the experimental field was 160 m². For fertilizing the plants, a mixed fertilizer (20-23-0 + 0.01Cu + 0.01Zn) with nitrification inhibitor was applied at a dose of 56 kg nitrogen (N) ha⁻¹ (100% N) in the experimental plots of T1 and T3. In treatments T2 and T4, 11.2 kg N ha⁻¹ (20% N) was applied in each case. For post-emergence chemical herbicides (T3, T4 treatments), the active ingredients were mesosulfuron-methyl at a dose of 14.85 g a.i. ha⁻¹, iodosulfuron-methyl-sodium at a dose of 2.97 g a.i. ha⁻¹, and thien carbazon-methyl at a dose of 4.95 g a.i. ha⁻¹. The microbial biostimulant contained species from the genera of endophytic bacteria *Azospirillum* sp., *Herbaspirillum* sp., *Paenibacillus* sp., *Rhodopseudomonas* sp. with a content of 1×10^{12} cfu L⁻¹ (cfu: units of colonies formed) and was applied in a dose of 5 L ha⁻¹. The results showed that the interventions did not affect the number of siblings per plant during the first time measurement. However, in the 8 weeks after the application of the microbial biostimulant to the T4 surgery (20% N + microbial biostimulant + chemical herbicide) the number of siblings per plant was increased by 15 and 53% compared to the T3 interventions (100% N + chemical herbicides) and the operation T1 (100% N), respectively. After stress conditions caused by low temperatures, NDVI index values decreased in all treatments and especially in those where chemical herbicide was applied. However, during the second measurement, higher values (7-14%) were noted in the plots where the microbial biostimulant (+ 20% N) was applied together with chemical herbicide (T4) compared to the plots performed in the other treatments were performed. Compared to T1 (100% N) treatments, it was found that in T2 (20% N + biostimulant), T3 (100% N + chemical herbicide) and T4 (20% N + microbial biostimulant + chemical herbicide) increased the number of cobs per unit area by 21, 24 and 26%, respectively. The highest number of grain per spike was observed in plots T3 (100% N) and T4 (20% N + biostimulant), where a chemical herbicide was applied. These treatments

increased the number of grain produced per spike by 18-19% compared to the T2 treatment. The highest weight of 1000 grains was obtained in the T4 plots (20% N + microbial biostimulant + chemical herbicide). The application of this treatment increased the weight of 1000 grains by 7, 9 and 17%, respectively, compared to the application of T3, T2 and T1 treatments. As for the yield of the crop, the highest value was recorded in the plots of treatment T4 (5276,310 kg ha⁻¹), while the lowest value was recorded in the corresponding parts of treatment T1 (2496,234 kg ha⁻¹). Finally, weed density was 27 and 61% higher, respectively, when the recommended dose of nitrogen fertilizer was applied compared to plots where the biostimulant was applied without herbicides (T2) and the recommended dose of nitrogen fertilizer was applied together with chemical herbicides (T3). In any case, further research is needed to evaluate the use of biostimulants as a tool for more effective weed control, higher yields, and reduced environmental impact, in more crops and under different soil and climatic conditions.

Science area: arable crops

Keywords: growth, yield, chemical herbicide, microbial biostimular

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Έχοντας ολοκληρώσει την πειραματική μελέτη μου στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν να την φέρω εις πέρας. Αρχικά τον καθηγητή κ. Ηλία Τραυλό για την ανάθεση συγκεκριμένου θέματος, που παρουσιάζει έντονο αγρονομικό ενδιαφέρον, την συνεχόμενη καθοδήγηση του και την άριστη συνεργασία καθόλη την διάρκεια διεξαγωγής της πειραματικής διαδικασίας αλλά και την συγγραφή της παρούσας μελέτης

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτριο Μπιλάλη, Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργίας και την καθηγήτρια κ. Παπαστυλιανού Παναγιώτα τόσο ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής όσο και για πολύτιμη βοήθειά τους .

Τέλος, ευχαριστώ θερμά του συναδέλφους κ. Ιωάννη Γαζούλη, κ. Νίκο Αντωνόπουλο , κ. Αναστασία Τσεκούρα και κ. Αλέξανδρο Ταταρίδα για την ανιδιοτελή υποστήριξη που προσέφεραν καθόλη την διάρκεια του μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών , σε οποιοδήποτε τεχνικό θέμα χρειάστηκα .

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | iii |
| SUMMARY..... | v |
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ..... | i |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ..... | v |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ..... | ix |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ..... | x |
| 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 1 |
| 1.1 Η καλλιέργεια του σιταριού..... | 1 |
| 1.1.1 Καταγωγή και διάδοση..... | 1 |
| 1.1.2 Η παραγωγή σιταριού στον κόσμο και στην Ελλάδα..... | 2 |
| 1.1.3 Ταξινομήση..... | 4 |
| 1.1.4 Μορφολογικά χαρακτηριστικά και στάδια ανάπτυξης..... | 6 |
| 1.1.4.1 Το ριζικό σύστημα..... | 6 |
| 1.1.4.2 Το στέλεχος..... | 7 |
| 1.1.4.3 Τα φύλλα..... | 7 |
| 1.1.4.4 Η ταξιανθία..... | 8 |
| 1.1.4.5 Οι καρποί..... | 9 |
| 1.1.5 Προσαρμοστικότητα και οικολογικές απαιτήσεις..... | 10 |
| 1.1.6 Στάδια ανάπτυξης..... | 12 |
| 1.1.6.1 Φύτρωμα σπόρου..... | 12 |
| 1.1.6.2 Πρώτη ανάπτυξη..... | 13 |
| 1.1.6.3 Ανάπτυξη της ρίζας..... | 14 |
| 1.1.6.4 Αδέλφωμα..... | 15 |
| 1.1.6.5 Καλάμωμα..... | 17 |
| 1.1.6.6 Ξεστάχνασμα..... | 17 |
| 1.1.6.7 Άνθηση..... | 18 |
| 1.1.6.8 Γέμισμα καρπών..... | 18 |
| 1.2 Καλλιεργητικές πρακτικές..... | 20 |
| 1.2.1 Προετοιμασία του εδάφους για σπορά..... | 20 |
| 1.2.2 Σπορά..... | 22 |
| 1.2.3 Λίπανση..... | 23 |

| | | |
|-------|---|----|
| 1.3 | Η διαχείριση των ζιζανίων..... | 23 |
| 1.3.1 | Το πρόβλημα των ζιζανίων | 23 |
| 1.3.2 | Χημική καταπολέμηση ζιζανίων | 24 |
| 1.3.3 | Διάκριση ζιζανιοκτόνων..... | 25 |
| 1.3.4 | Ανταγωνιστική ικανότητα | 27 |
| 1.4 | Οι Βιοδιεγέρτες στην γεωργία..... | 29 |
| 1.4.1 | Ορισμοί..... | 29 |
| 1.4.2 | Κατηγορίες Βιοδιεγερτών..... | 31 |
| 1.4.3 | Χουμικές ενώσεις..... | 31 |
| 1.4.4 | Εκχυλίσματα φυκιών..... | 32 |
| 1.4.5 | Αμινοξέα | 33 |
| 1.5 | Ωφέλιμοι Μικροοργανισμοί..... | 34 |
| 1.5.1 | Αζωτοδέσμευση | 35 |
| 1.5.2 | Μικροοργανισμοί στην φυλλόσφαιρα..... | 36 |
| 1.5.3 | Επιφυτικά βακτήρια..... | 38 |
| 1.5.4 | Ενδόφυτα βακτήρια..... | 39 |
| 1.6 | Μηχανισμοί προώθησης της ανάπτυξης των φυτών | 40 |
| 1.6.1 | Σύνθεση ορμονών | 40 |
| 1.6.2 | Βιολογική αζωτοδέσμευση..... | 42 |
| 1.6.3 | Ανοργανοποίηση φωσφόρου | 42 |
| 1.6.4 | Παραγωγή σιδηροφόρων | 43 |
| 2 | ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ..... | 45 |
| 3 | ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ | 46 |
| 3.1 | Εγκατάσταση του πειράματος..... | 46 |
| 3.2 | Συλλογή δεδομένων | 49 |
| 3.2.1 | Μετρήσεις πυκνότητας και βιομάζας ζιζανίων..... | 49 |
| 3.2.2 | Στοιχεία ανάπτυξης της καλλιέργειας | 50 |
| 3.2.3 | Συστατικά της απόδοσης σε καρπό και αποδόσεις της καλλιέργειας..... | 51 |
| 3.2.4 | Χαρακτηριστικά ποιότητας καρπού..... | 51 |
| 3.2.5 | Οικονομικότητα και περιβαλλοντικές επιπτώσεις | 52 |
| 3.3 | Στατιστική Ανάλυση των Δεδομένων..... | 52 |
| 4 | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 53 |
| 4.1 | Μετρήσεις πυκνότητας και βιομάζας ζιζανίων..... | 53 |
| 4.2 | Στοιχεία ανάπτυξης της καλλιέργειας | 68 |
| 4.3 | Συστατικά της απόδοσης σε καρπό και αποδόσεις της καλλιέργειας..... | 73 |
| 4.4 | Χαρακτηριστικά ποιότητας καρπού | 79 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.5 | Οικονομικότητα και περιβαλλοντικές επιπτώσεις | 81 |
| 4.6 | Συσχετίσεις..... | 83 |
| 5 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ | 89 |
| 6 | ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 93 |
| 7 | ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 93 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

| | |
|--|-----------|
| ΓΡΑΦΗΜΑ 1.1.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΙΤΟΥ ΑΠΟ ΤΟ 1961 ΕΩΣ ΤΟ 2019 (ΠΗΓΗ : FAOSTAT)..... | 3 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 1.1.2 ΟΙ 10 ΧΩΡΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΙΤΟΥ (ΠΗΓΗ : FAOSTAT). | 3 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 1.1.3 ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΙΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΑΠΟ ΤΟ 1994 ΕΩΣ ΤΟ 2020 (ΠΗΓΗ : FAOSTAT)..... | 4 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 4.1.1 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΑΓΡΙΟΒΡΩΜΗΣ [AVENA STERILIS L. SSP. LUDOVICIANA (DURIEU) GILLET & MAGNE] ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΦΥΤΑ M ⁻²), ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΕ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΚΑΙ Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ)..... | 53 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 4.1.2 ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΑΓΡΙΟΒΡΩΜΗΣ [AVENA STERILIS L. SSP. LUDOVICIANA (DURIEU) GILLET & MAGNE] ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G M ⁻²), ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΕ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT; WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΚΑΙ Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ). | 55 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 4.1.3 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΟΥ ΑΓΡΙΟΥ ΣΙΝΑΠΙΟΥ (SINAPIS ARVENSIS L.) ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΦΥΤΑ M ⁻²), ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΕ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΚΑΙ Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ)..... | 57 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 4.1.4 ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΟΥ ΑΓΡΙΟΥ ΣΙΝΑΠΙΟΥ (SINAPIS ARVENSIS L.) ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G M ⁻²), ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΕ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ | |

ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΚΑΙ Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).....**59**

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.1.5 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΒΕΡΟΝΙΚΑΣ (VERONICA HEDERIFOLIA L.) ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΦΥΤΑ m^{-2}), ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΕ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT; WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΚΑΙ Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE; LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).....**61**

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.1.6 ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΒΕΡΟΝΙΚΑΣ (VERONICA HEDERIFOLIA L.) ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΦΥΤΑ m^{-2}), ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΕ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΚΑΙ Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).....**63**

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.1.7 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΦΥΤΑ m^{-2}), ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΕ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΚΑΙ Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE:LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).....**65**

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.1.8 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ (ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ) ΤΩΝ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ($g m^{-2}$), ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΕ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΚΑΙ Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).....**67**

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.2.1 Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΑΔΕΛΦΙΩΝ ΑΝΑ ΦΥΤΟ, ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΕ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΚΑΙ Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).....**69**

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.2.2 ΤΟ ΥΨΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ, ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΕ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΚΑΙ Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).....**70**

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.2.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (NDVI: NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX), ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΕ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΚΑΙ Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).....**72**

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.3.1 (Α) Η ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΤΑΧΕΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΣΤΑΧΕΙΣ m^{-2}) ΚΑΙ (Β) Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΣΤΑΧΥ ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ. Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).....**73**

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.3.2 (Α) ΤΟ ΒΑΡΟΣ 1000 ΚΑΡΠΩΝ (G) ΚΑΙ (Β) Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΑΡΠΟ ($kg ha^{-1}$) ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ. Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).....**75**

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.3.3 (Α) Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΒΙΟΜΑΖΑ ($kg ha^{-1}$) ΚΑΙ (Β) Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ (%) ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ. Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ

ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).77

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.4.1 (Α) Η ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΣΕ ΠΡΩΤΕΪΝΗ (%) ΚΑΙ (Β) ΥΓΡΗ ΓΛΟΥΤΕΝΗ (%) ΟΠΩΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ. Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).79

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.5.1 (Α) ΤΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ (€ ΗΑ⁻¹) ΠΟΥ ΕΠΙΦΕΡΕΙ Η ΚΑΘΕ ΕΠΕΜΒΑΣΗ ΣΤΟΝ ΠΑΡΑΓΩΓΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2020-2021 ΚΑΙ (Β) Η ΕΚΠΛΥΣΗ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (ΚG Ν ΗΑ⁻¹) ΣΤΑ ΒΑΘΥΤΕΡΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΕΠΕΜΒΑΣΗ (ΥΠΟ ΜΟΡΦΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ). Ο ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ, ΣΕ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ, ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (LEAST SIGNIFICANT DIFFERENCE: LSD) ΤΟΥ FISCHER, ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$ (ΟΙ ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΟΥΝ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΡΗΣΗΣ).82

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.6.1 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ (Α) ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ ΚΑΡΠΟ (ΑΚ: ΚG ΗΑ⁻¹) ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΤΑΧΕΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΠΣ: ΣΤΑΧΕΙΣ Μ⁻²), (Β) ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ ΚΑΡΠΟ (ΑΚ: ΚG ΗΑ⁻¹) ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΣΤΑΧΥ ΚΑΙ (Γ) ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ ΚΑΡΠΟ (ΑΚ: ΚG ΗΑ⁻¹) ΚΑΙ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ 1000 ΚΑΡΠΩΝ (ΒΧΚ: G).83

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.6.2 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ (Α) ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ ΚΑΡΠΟ (ΑΚ: ΚG ΗΑ⁻¹) ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDVI, (Β) ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΠΡΩΤΕΪΝΗ (%) ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDVI (Γ) ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΥΓΡΗ ΓΛΟΥΤΕΝΗ (%) ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDVI. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ NDVI ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ (8 WAT).84

ΓΡΑΦΗΜΑ 4.6.3 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΜΕΤΑΞΥ (Α) ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ ΚΑΡΠΟ (ΑΚ: ΚG ΗΑ⁻¹) ΚΑΙ ΤΟΥ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΗΣ ΑΓΡΙΟΒΡΩΜΗΣ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ [ΞΒ (AVELU): G Μ⁻²], (Β) ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ ΚΑΡΠΟ (ΑΚ: ΚG ΗΑ⁻¹) ΚΑΙ ΤΟΥ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΟΥ ΑΓΡΙΟΥ ΣΙΝΑΠΙΟΥ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ [ΞΒ (SINAR): G Μ⁻²] ΚΑΙ (Γ) ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ ΚΑΡΠΟ (ΑΚ: ΚG ΗΑ⁻¹) ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΩΝ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ [ΞΒ (ΣΖ): G Μ⁻²]. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΩΝ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ

| | |
|--|----|
| ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ (8 WAT)..... | 88 |
|--|----|

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|--|-----------|
| ΕΙΚΟΝΑ 1.1.1 Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΙΤΟΥ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΣΙΑ (SMITH, 1995). | 2 |
| ΕΙΚΟΝΑ 1.1.2 ΑΡΧΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΙΖΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΤΟΥ. | 6 |
| ΕΙΚΟΝΑ 1.1.3 ΣΤΕΛΕΧΟΣ ΣΙΤΟΥ. | 7 |
| ΕΙΚΟΝΑ 1.1.4 ΦΥΛΛΟ ΣΙΤΟΥ. | 7 |
| ΕΙΚΟΝΑ 1.1.5 ΤΑΞΙΑΝΘΙΑ ΣΙΤΟΥ. | 8 |
| ΕΙΚΟΝΑ 1.1.6 ΚΑΡΠΟΣ ΣΙΤΟΥ. | 9 |
| ΕΙΚΟΝΑ 1.1.7 ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΙΤΑΡΙΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΟΥ ΖΑΔΟΚ. | 12 |
| ΕΙΚΟΝΑ 1.1.8 ΦΥΤΡΩΜΑ ΣΠΟΡΟΥ ΣΙΤΟΥ. | 12 |
| ΕΙΚΟΝΑ 1.1.9 ΦΥΤΟ ΣΙΤΟΥ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΟΥ ΑΔΕΛΦΩΜΑΤΟΣ | 15 |
| ΕΙΚΟΝΑ 1.1.10 ΣΙΤΑΡΙ ΚΑΤΑ ΤΟ ΞΕΣΤΑΧΥΑΣΜΑ | 17 |
| ΕΙΚΟΝΑ 1.1.11 ΤΑΞΙΑΝΘΙΑ ΣΙΤΟΥ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΑΝΘΗΣΗΣ. | 18 |
| ΕΙΚΟΝΑ 3.1.1 ΚΑΤΟΨΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΑΓΡΟΥ. | 48 |
| ΕΙΚΟΝΑ 3.1.2 Ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΑΓΡΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΠΟΡΑ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ..... | 48 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|-----------|
| ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΙΤΑΡΙΩΝ , TRITICUM SPP. (SMITH 1995). Α : ΑΓΡΙΟ , ΠΚ : ΠΡΩΤΟΓΟΝΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ , ΣΚ : ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ. | 5 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1 ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ ΠΟΥ ΑΝΑΣΤΕΛΛΟΥΝ ΤΗΝ ΣΥΝΘΕΣΗ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ | 26 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.2 ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ ΠΟΥ ΔΡΟΥΝ ΣΤΟΝ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ | 26 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.3 ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ ΠΟΥ ΑΝΑΣΤΕΛΛΟΥΝ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΤΟΥ ΦΥΤΙΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ | 26 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΑΓΡΟΥ. | 46 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.2 ΤΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΧΘΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ (2020-2021) ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΟΜΒΡΙΑΚΗΣ ΔΟΜΟΚΟΥ (ΜΕΑΝ Τ: ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, ΜΑΧ Τ: ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, ΜΙΝ Τ: ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ)..... | 47 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΑΝΟΒΑ) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΑΓΡΙΟΒΡΩΜΗΣ [AVENA STERILIS L. SSP. LUDOVICIANA (DURIEU) GILLET & MAGNE] ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΦΥΤΑ Μ ⁻²). ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. | 54 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΑΝΟΒΑ) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΑΓΡΙΟΒΡΩΜΗΣ [AVENA STERILIS L. SSP. LUDOVICIANA (DURIEU) GILLET & MAGNE] ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G Μ ⁻²). ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ | 56 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΑΝΟΒΑ) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΟΥ ΑΓΡΙΟΥ ΣΙΝΑΠΙΟΥ (SINAPIS ARVENSIS L.) ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΦΥΤΑ Μ ⁻²). ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ | |

ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ.58

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΟΥ ΑΓΡΙΟΥ ΣΙΝΑΠΙΟΥ (*SINAPIS ARVENSIS* L.) ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΦΥΤΑ m^{-2}). ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ.60

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΒΕΡΟΝΙΚΑΣ (*VERONICA HEDERIFOLIA* L.) ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΦΥΤΑ m^{-2}). ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ.62

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΒΕΡΟΝΙΚΑΣ (*VERONICA HEDERIFOLIA* L.) ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΦΥΤΑ m^{-2}). ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ63

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΦΥΤΑ m^{-2}). ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ.....66

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ) ΤΩΝ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ($g m^{-2}$). ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ.....67

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΑΔΕΛΦΙΩΝ ΑΝΑ ΦΥΤΟ. ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ.69

| | |
|---|-----------|
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ. ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ. | 71 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (NDVI: NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX). ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 4 ΚΑΙ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (4 ΚΑΙ 8 WAT: WEEKS AFTER TREATMENT) ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ | 72 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΤΑΧΕΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (ΣΤΑΧΕΙΣ m^{-2}) ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΑΝΑ ΣΤΑΧΥ. ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ. | 74 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ 1000 ΚΑΡΠΩΝ (G) ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΑΡΠΟ ($kg ha^{-1}$). ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ..... | 76 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΒΙΟΜΑΖΑ ($kg ha^{-1}$) ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ (%).ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ. | 78 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΣΕ ΠΡΩΤΕΪΝΗ (%) ΚΑΙ ΥΓΡΗ ΓΛΟΥΤΕΝΗ (%). ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΙΕΝΕΡΓΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ..... | 80 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ANOVA) ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΟΦΕΛΟΥΣ ΠΟΥ ΕΠΙΦΕΡΟΥΝ ΟΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΠΑΡΑΓΩΓΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2020-2021 ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ($kg N ha^{-1}$) ΣΤΑ ΒΑΘΥΤΕΡΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ (ΥΠΟ ΜΟΡΦΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ) ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ. | 81 |

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6.1 ΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΑΙ Η ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΣΥΣΧΕΤΙΣΤΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$**85**

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6.2 ΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΑΙ Η ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΣΥΣΧΕΤΙΣΤΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ **NDVI** ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ (8 WAT).**85**

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6.3 ΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΑΙ Η ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΣΥΣΧΕΤΙΣΤΗΚΑΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ $\alpha = 0,05$. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΞΗΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΩΝ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ 8 ΕΒΔΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΒΙΟΔΙΕΓΕΡΤΗ (8 WAT).**87**

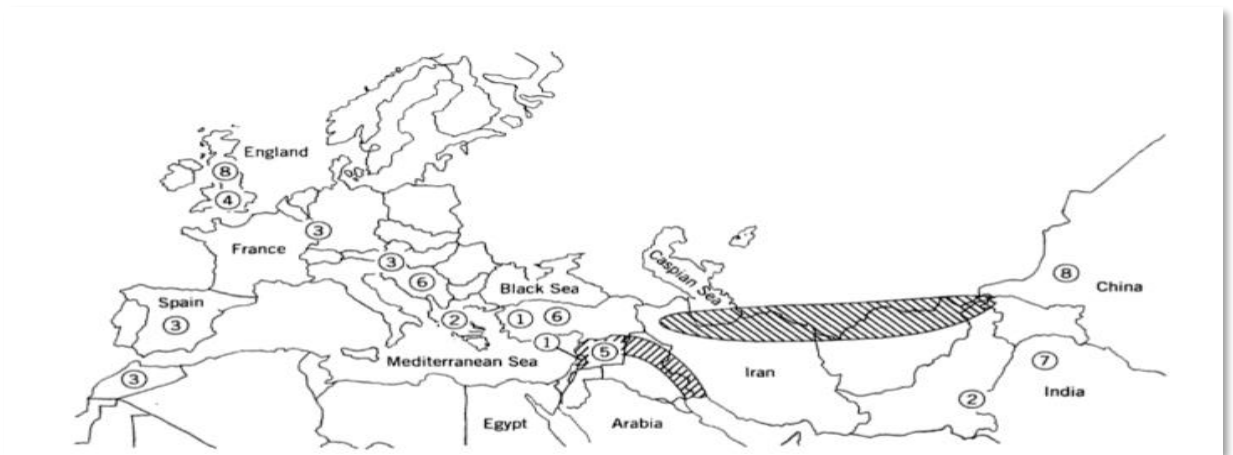
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η καλλιέργεια του σιταριού

1.1.1 Καταγωγή και διάδοση

Η καλλιέργεια του σιταριού έχει ξεκινήσει από τους προϊστορικούς χρόνους και μέχρι σήμερα δεν έχει προσδιορισθεί με βεβαιότητα η περιοχή στην οποία καλλιεργήθηκε για πρώτη φορά. Λόγω της ύψιστης σημασίας, των σιτηρών και κυρίως του σίτου ως πηγή τροφής στην διατήρηση και ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού, η προέλευση και η διάδοση του αποτέλεσε κύριο ερώτημα για βοτανολόγους, γενετιστές, γεωπόνους, κτηνοτρόφους και μελετητές του ανθρώπινου πολιτισμού. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε εκτεταμένες κυτταρογενετικές, μοριακές και εξελικτικές μελέτες σχετικά με τη γενετική και γονιδιωματική δομή των διαφόρων ειδών της ομάδας σίτου (τα γένη *Aegilops*, *Amblyopyrum* και *Triticum*) και τις σχέσεις τους με άγρια συγγενικά είδη. Ενδείξεις δείχνουν ότι η καλλιέργεια άρχισε την περίοδο της «Νεολιθικής Επανάστασης» όπου παρατηρήθηκε μια μετάβαση στη διαβίωση των ανθρώπων από το κυνήγι και την συλλογή τροφής, στην εγκατάσταση καλλιέργεια αυτής. Οι πρώτες καλλιεργούμενες μορφές σιταριού ήταν ουσιαστικά τοπικές φυλές που επιλέχθηκαν από αγρότες, μεταξύ διαφόρων άγριων πληθυσμών, πιθανώς λόγω ανώτερων χαρακτηριστικών και υψηλότερης απόδοσης. Αυτές οι καλλιεργούμενες μορφές σιταριού ήταν το μονόκοκκο σιτάρι (*Einkorn*) με διπλοειδή γονιδίωμα ($2n=2x=14$, AA) και το δίκοκκο (*Emmer*) με τετραπλοειδές ($2n=4x=28$, AABB). Οι γενετικές τους σχέσεις δείχνουν ότι κατάγονται από τις ευρύτερες περιοχές της «Εύφορη Ημισέληνου» που σχετίζονται με τις λεκάνες απορροής των ποταμών Τίγρη και Ευφράτη (Smith, 1995).

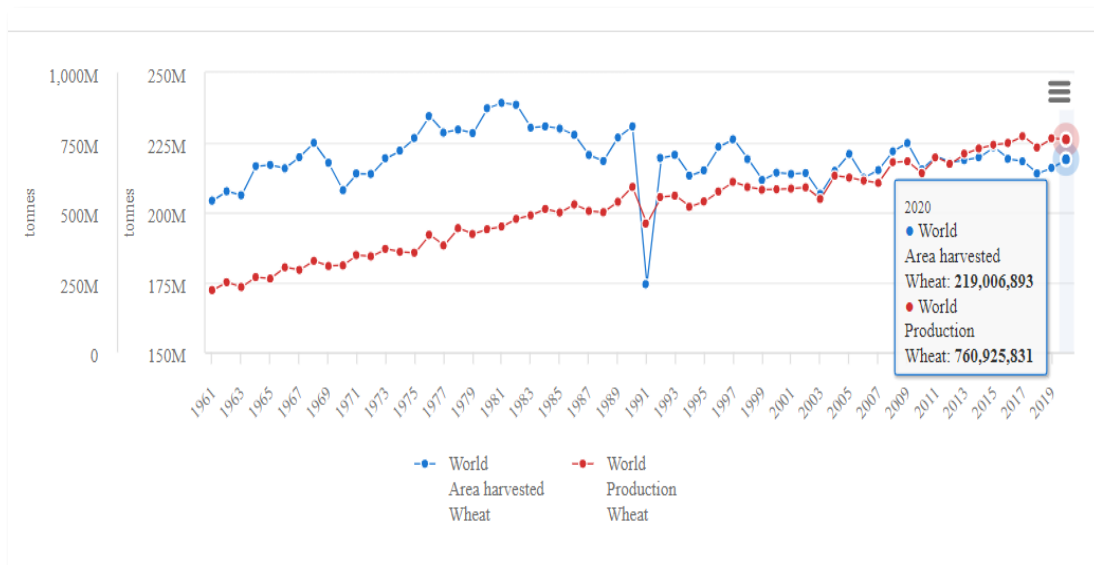
Η διάδοση της καλλιέργειας του σιταριού συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη της γεωργίας περίπου πριν 10.000 χρόνια και έχει περιγραφεί εκτεταμένα από τον Feldman (2001). Θεωρείται πως η καλλιέργεια έφτασε στην Ελλάδα περίπου 8.000 χρόνια πριν μέσω της Ανατολίας και εξαπλώθηκε προς τον βορά μέσω των Βαλκανίων και του Δούναβη 7.000 χρόνια πριν. Ταυτόχρονα, από την Ελλάδα μετακινήθηκε προς την Ιταλία, Γαλλία και την Ισπανία, φθάνοντας στις σκανδιναβικές χώρες πριν από περίπου 5.000 χρόνια. Παρόμοια πορεία ακολούθησε και μέσω της περιοχής του σημερινού Ιράν, έφτασε στην κεντρική Ασία και την Κίνα περίπου 3.000 χρόνια πριν. Τέλος, μέσω των Ισπανών έφτασε στην Αμερικανική ήπειρο (1529) και την Αυστραλία (1788).



Εικόνα 1.1.1 Η πορεία της εξάπλωσης του σίτου προς την Ευρώπη και την Ασία (Smith, 1995).

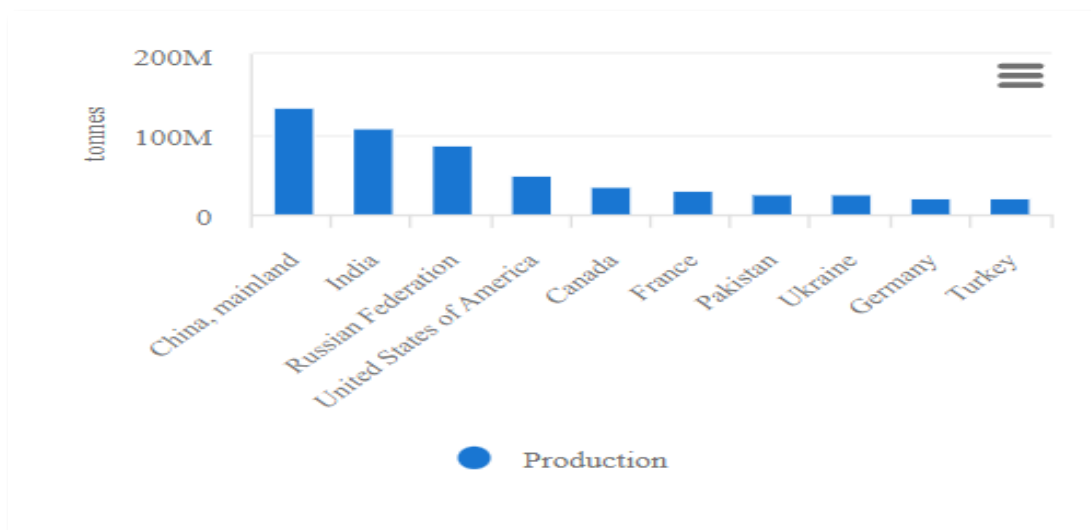
1.1.2 Η παραγωγή σιταριού στον κόσμο και στην Ελλάδα

Το σιτάρι αποτελεί το πιο διαδεδομένο καλλιεργούμενο χειμερινό σιτηρό στον κόσμο και έρχεται δεύτερο σε παγκόσμια παραγωγή μόνο μετά τον αραβόσιτο. Από το 1961 έως το 1990 η παραγωγή σιταριού αυξήθηκε σταδιακά με μέσο ετήσιο ρυθμό 9,5 εκατομμύρια τόνους. Η μεγάλη αυτή αύξηση επιτεύχθηκε τόσο με την αύξηση των στρεμματικών αποδόσεων όσο και με την επέκταση των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Από το 1990 και έπειτα η παγκόσμια καλλιεργούμενη έκταση παρέμεινε σχετικά σταθερή, με την παραγωγή να αγγίζει τον 2017 τους 780 εκατομμύρια τόνους κυρίως εξαιτίας των αυξημένων και αποτελεσματικότερων εισροών της καλλιέργειας. Η μέση απόδοση, σε παγκόσμια κλίμακα αγγίζει τα 350 κιλά το στρέμμα. Η Ολλανδία είναι η χώρα με την μεγαλύτερη στρεμματική απόδοση σίτου (880 kg / στρέμμα) (FAO 2018).



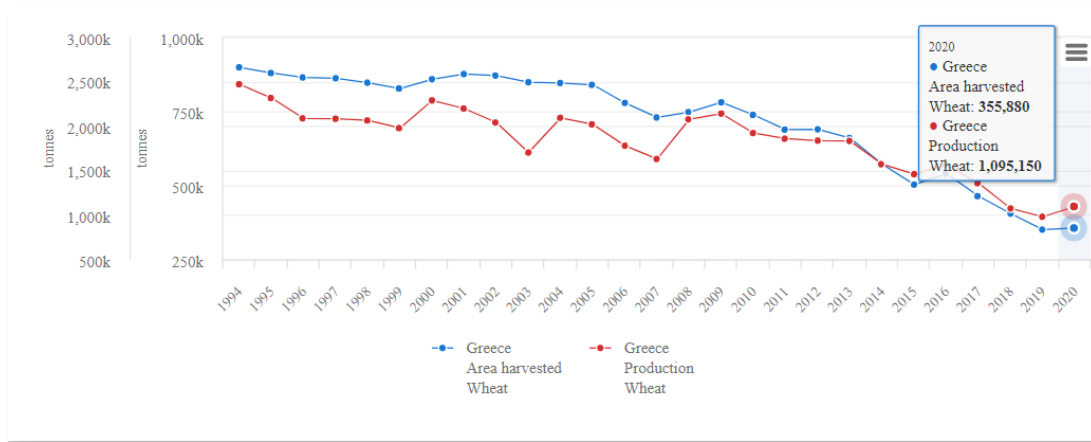
Γράφημα 1.1.1 Παγκόσμια καλλιεργούμενη έκταση και παραγωγή σίτου από το 1961 έως το 2019 (Πηγή : FAOstat).

Το μεγαλύτερο κομμάτι της παραγωγής προέρχεται από την Κίνα όπου κατέχει την πρώτη θέση στις 10 μεγαλύτερες χώρες παραγωγής με 135 εκατομμύρια τόνους .Ακολουθούν η Ινδία με πάνω από 100 εκατομμύρια τόνους και η Ρωσία με την Αμερική περίπου στους 80 εκατομμύρια τόνους. Στην Ευρωπαϊκή ήπειρο συγκομίστηκαν το 2020 περίπου 255 εκατομμύρια τόνοι σίτου από 60 εκατομμύρια εκτάρια καλλιεργούμενης γης. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής καταναλώνεται στις χώρες που παράγεται ενώ οι κυριότερες εξαγωγικές χώρες είναι οι ΗΠΑ ,ο Καναδάς, η Αυστραλία και η Αργεντινή.



Γράφημα 1.1.2 Οι 10 χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή σίτου (Πηγή : FAOstat).

Στην Ελλάδα η παραγωγή σύμφωνα με τον FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) το 1994 άγγιζε τους 2.5 εκατομμύριο τόνους από περίπου 900 χιλιάδες εκτάρια καλλιεργούμενης γης. Έκτοτε η καλλιεργούμενη έκταση και η παραγόμενη ποσότητα ακολουθούν πτωτική πορεία .Το 2020 στην Ελλάδα καλλιεργήθηκαν 350 χιλιάδες εκτάρια με σιτάρι , με την παραγωγή να φθάνει τους 1 εκατομμύρια τόνους.



Γράφημα 1.1.3 Καλλιεργούμενη έκταση και παραγωγή σίτου στην Ελλάδα από το 1994 έως το 2020 (Πηγή : FAOstat).

1.1.3 Ταξινόμηση

Το σιτάρι ανήκει στο γένος *Triticum* της οικογένειας *Poaceae* .Η κυριότερη κατάταξη των ειδών του γένους γίνεται με βάση το επίπεδο πλοειδίας. Στο γένος *Triticum* υπάρχουν τρεις κύριες ομάδες χρωμοσωμάτων οι A, B, D. Ανάλογα τον αριθμό των ομάδων ,διακρίνουμε τα είδη σε διπλοειδή , τετραπλοειδή και εξαπλοειδή.

Τα διπλοειδή σιτάρια έχουν $2n=2x=14$ χρωμοσώματα και γονιδίωμα AA. Τέτοιο είδος αποτελεί το μέχρι και σήμερα καλλιεργούμενο μονόκοκκο σιτάρι (*Triticum monococcum* L. subsp. *Monococcum*) , αλλιώς γνωστό και ως *einkorn*. Στην ίδια κατηγορία είναι και τα άγρια *Triticum monococcum* L. subsp. *aegilopoides* , *Triticum boeoticum* Boiss και *Triticum urartu* Tumanian ex Gandilyan (Zaharieva M. et all, 2014). Η καλλιεργούμενη μορφή έχει μεγαλύτερους σπόρους και σκληρή ράχη που

αποτρέπει τη διάσπαση των στάχων κατά την ωρίμανση. Επίσης ανήκει στην ομάδα των σιταριών που καλούνται «ντυμένα» (hulled) ,λόγω της παραμονής των λεπύρων πάνω στους σπόρους μετά τον αλωνισμό. Το ύψος του μονόκοκκου σιταριού κυμαίνεται από 60 έως 130 cm , παρουσιάζει έντονο αδελφωμα και κάθε σταχύδιο παράγει ένα μόνο άνθος. Καλλιεργείται κυρίως σε ορεινές περιοχές της Μέσης Ανατολής και Νότιας Ευρώπης για την παρασκευή ενός χαρακτηριστικού «μαύρου» ψωμιού και ως τροφή αλόγων και βοοειδών .

Τα τετραπλοειδή σιτάρια $2n=4x=28$ χρωμοσώματα και γονιδίωμα AABB. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει το δίκοκκο σιτάρι (*Triticum dicoccon*) και όπως και το μονόκοκκο αποτελούν από τα πρώτα σιτάρια που «εξημερώθηκαν» και καλλιεργήθηκαν από τον άνθρωπο. Έχει και αυτό σκληρή ράχη και «ντυμένους» σπόρους λευκού ή ερυθρού χρώματος. Ακόμα, στα τετραπλοειδή σιτάρια κατατάσσεται και το ευρέως καλλιεργούμενο για την παραγωγή ζυμαρικών «σκληρό» σιτάρι (*Triticum turgidum* L. subsp. *Durum*)

Τα εξαπλοειδή σιτάρια $2n=6x=42$ χρωμοσώματα και γονιδίωμα AABBDD. Στην συγκεκριμένη κατηγορία ανήκει το *Triticum aestivum* L. subsp. *aestivum* , το «κοινό» ή «μαλακό» σιτάρι .Αποτελεί το πιο ευρέως καλλιεργούμενο είδος σιταριού και χρησιμοποιείται για την παρασκευή ψωμιού και άλλων αρτοποιημάτων.

Πίνακας 1.1.1 Ταξινόμηση σιταριών , *Triticum* spp. (Smith 1995). A : Αγριο , ΠΚ : Πρωτόγονη καλλιέργεια , ΣΚ : Σύγχρονη καλλιέργεια.

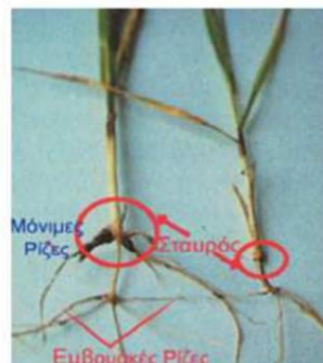
| ΕΙΔΟΣ | ΥΠΟΕΙΔΟΣ | ΚΑΤΑΓΩΓΗ | ΑΛΛΩΝΙΣΜΟΣ | ΚΟΙΝΟ ΟΝΟΜΑ | ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΡΩΜΟΣΩΜΑΤΩΝ | ΓΟΝΙΔΙΩΜΑ |
|-------------|-------------|----------|------------|-------------|----------------------|-----------|
| Monococcum | boeoticum | A | | | 14 | AA |
| Monococcum | monococcum | A, ΠΚ | N | einkorn | 14 | AA |
| Tauschii | | A | | | 14 | AA |
| Turgidum | dicoccoides | A | | | 28 | AABB |
| Turgidum | dicoccum | ΠΚ | N | emmer | 28 | AABB |
| Turgidum | durum | ΠΚ, ΣΚ | Γ | durum | 28 | AABB |
| Timopheevii | | A | | | 28 | AABB |
| Aestivum | spelta | ΠΚ, ΣΚ | N | spelt | 42 | AABBDD |
| Aestivum | compactum | ΠΚ, ΣΚ | Γ | club | 42 | AABBDD |
| Aestivum | aestivum | ΠΚ, ΣΚ | Γ | common | 42 | AABBDD |

1.1.4 Μορφολογικά χαρακτηριστικά και στάδια ανάπτυξης

Ένα αναπτυγμένο φυτό σίτου αποτελείται από α) τις ρίζες, β) τα στελέχη, γ) τα φύλλα, δ) την ταξιανθία και ε) τους καρπούς.

1.1.4.1 Το ριζικό σύστημα

Οι ρίζες είναι θυσσανώδης και αποτελούνται από τις εμβρυακές και τις μόνιμες. Οι εμβρυακές ρίζες εμφανίζονται κατά το φύτεμα του σπόρου και παραμένουν ενεργές καθ' όλη την διάρκεια της ανάπτυξης του φυτού. Μπορεί να αποτελούνται από 3 έως 8 και είναι λεπτές, με ομοιόμορφη διάμετρο και



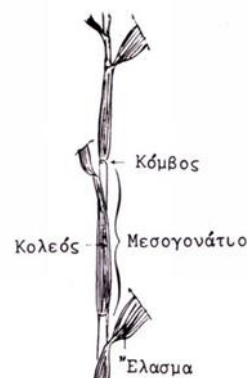
Εικόνα 1.1.2 Αρχική ανάπτυξη ριζικού συστήματος σίτου.

πολλές πλευρικές διακλαδώσεις. Συνεισφέρουν αρκετά στην προσρόφηση νερού και θρεπτικών στοιχείων στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών, ενώ περιορίζεται η λειτουργία τους με την εμφάνιση των μόνιμων ή δευτερογενών ριζών.

Οι μόνιμες ρίζες σχηματίζονται από τον σταυρό, δηλαδή τους πρώτους κόμβους που βρίσκονται ελάχιστα κάτω από την επιφάνεια του χώματος. Είναι περισσότερες σε αριθμό, παχύτερες και μεγαλύτερες σε όγκο από τις εμβρυακές. Αρχικά αναπτύσσονται σχεδόν οριζόντια με την επιφάνεια του εδάφους και στην συνέχεια στρέφονται προς τα κάτω. Η ανάπτυξη των ριζών περιορίζεται την περίοδο της άνθησης ενώ τα αδελφία αποκτούν δικό τους μόνιμο ριζικό σύστημα, ανεξάρτητο από εκείνο του μητρικού φυτού. Συνήθως φθάνουν σε βάθος τα 30 έως 50 cm. Η έκταση και το βάθος του ριζικού συστήματος εξαρτάται από την δομή του εδάφους, την διαθέσιμη υγρασία και θρεπτικά στοιχεία καθώς επίσης και από τον ανταγωνισμό είτε λόγω πυκνότητας σποράς είτε λόγω της παρουσίας ζιζανίων.

1.1.4.2 Το στέλεχος

Το στέλεχος του σιταριού καλείται κάλαμος και αποτελείται από τα συμπαγή γόνατα ή κόμβους και τα μεσογονάτια τμήματα. Οι κόμβοι είναι πλήρεις ενώ τα μεσογονάτια κοίλα στο εσωτερικό τους. Ο αριθμός των μεσογονατίων τμημάτων εξαρτάται περισσότερο από το είδος του φυτού αλλά επηρεάζεται και από κλιματολογικές συνθήκες. Τα τμήματα που βρίσκονται κοντά στην βάση του φυτού συνήθως παραμένουν κοντύτερα από τα υπόλοιπα, ενώ το μακρύτερο είναι το τελευταίο που φέρει την ταξιανθία. Το ύψος και η διάμετρος των φυτών εξαρτάται από το είδος και την ποικιλία, κυμαίνεται από 60 έως 150 cm και 3 έως 10 mm αντίστοιχα. Τα χαρακτηριστικά αυτά παίζουν σημαντικό ρόλο στην αντοχή του φυτού στο πλάγιασμα.

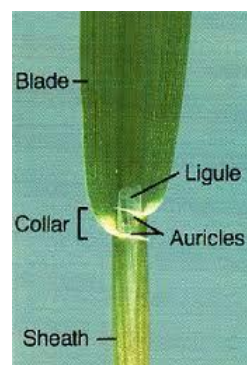


Εικόνα 1.1.3 Στέλεχος σίτου.

Στη βάση του στελέχους βρίσκεται μία ζώνη από μεριστωματικούς ιστούς που καλείται σταυρός. Από την ζώνη αυτή εκφύονται ρίζες και βλαστοί και αποτελεί το πιο ευαίσθητο σημείο του φυτού. Νέα στελέχη που καλούνται «αδέλφια» εκφύονται από οφθαλμούς κόμβων που βρίσκονται ελάχιστα κάτω από το έδαφος. Από παρόμοιους οφθαλμούς των αδελφιών μπορούν να αναπτυχθούν δευτερογενή αδέλφια.

1.1.4.3 Τα φύλλα

Τα φύλλα του σιταριού αποτελούνται από τον κολεό και το έλασμα. Ο κολεός μπορεί να φέρει τρίχες και είναι το κατώτερο τμήμα του φύλλου και περιβάλλει το καλάμι. Το έλασμα των φύλλων είναι επίμηκες, στενό με τις κύριες νευρώσεις παράλληλες, χωρίς διακλαδώσεις οι οποίες ενώνονται κάθετα με άλλα μικρότερα νεύρα. Τα στομάτια βρίσκονται και στις δύο πλευρές του ελάσματος και είναι τοποθετημένα σε παράλληλες



Εικόνα 1.1.4 Φύλλο σίτου.

σειρές. Ένα προστατευτικό στρώμα κυττάρων, η επιδερμίδα, καλύπτει και τις δύο πλευρές του ελάσματος, ενώ εσωτερικά υπάρχει σπογγώδες μεσόφυλλο.

Στο σημείο ένωσης του ελάσματος με τον κολεό, βρίσκονται δύο εξαρτήματα, το γλωσσίδιο και τα ωτίδια, που αποτελούν χρήσιμα χαρακτηριστικά για την διάκριση των χειμερινών σιτηρών στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης τους. Το γλωσσίδιο είναι μία μεμβρανώδης εκβλάστηση με όρθια έκφυση. Τα ωτίδια σχηματίζουν μια μεμβρανώδη προέκταση του ελάσματος και περιβάλλουν το στέλεχος μερικώς ή ολικώς. Τα φύλλα του σιταριού φέρουν μικρό γλωσσίδιο και ανεπτυγμένα ωτίδια με τρίχες.

Η φυλλοταξία είναι δίστοιχη, δηλαδή τα φύλλα είναι τοποθετημένα σε δύο σειρές τοποθετημένες η μια απέναντι από την άλλη. Το τελευταίο φύλλο είναι το μικρότερο σε μέγεθος αλλά παίζει σημαντικό ρολό στον εφοδιασμό των σπόρων του στάχου με φωτοσυνθετικά προϊόντα.

1.1.4.4 Η ταξιανθία

Τα άνθη του σιταριού είναι διατεταγμένα σε ταξιανθία που ονομάζεται στάχης. Το μήκος του στάχου συνήθως είναι 7-10 cm στο μαλακό και 6-8 cm στο σκληρό. Ο κεντρικός άξονας του στάχου ονομάζεται ράχη, η οποία αποτελείται από αρθρώσεις που κάθε μία φέρει ένα σταχύδιο. Το σταχύδιο φέρει 2-9 ανθίδια (άνθη), εκ των οποίων το ένα ή δύο ανώτερα είναι στείρα, και τοποθετούνται εναλλάξ πάνω σε ένα μικρό άξονα που ονομάζεται ραχίδιο. Συνήθως από κάθε σταχύδιο



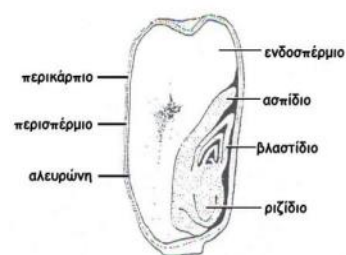
Εικόνα 1.1.5 Ταξιανθία σίτου.

παράγονται 2-3 καρποί. Κάθε σταχύδιο περιβάλλεται από δύο βράκτια, τα εξωτερικά ή άγωνα λέπυρα, ενώ το κάθε άνθος περιβάλλεται από άλλα δύο βράκτια, τα εσωτερικά ή γόνιμα λέπυρα. Στα εξωτερικά λέπυρα διακρίνεται ο ώμος (η πάνω πλευρά τους), η ακίδα (η αιχμή στην οποία καταλήγει το λέπυρο) και η τρόπιδα (το μεσαίο νεύρο του λεπύρου). Από τα εσωτερικά λέπυρα, αυτό που σκεπάζει τη ράχη του σπόρου λέγεται χιτώνας, ενώ το αυτό που σκεπάζει την κοιλιά του σπόρου

λέγεται λεπίδα. Μεταξύ του χιτώνα και της λεπίδας υπάρχει μία ωθήκη με πτερωτό, δισχιδές στίγμα και τρεις στήμονες, οι οποίες πέφτουν μετά τη γονιμοποίηση και η ωθήκη εξελίσσεται στον καρπό που ονομάζεται καρύοψη. Από τον χιτώνα εκφύεται πολλές φορές ένα βελονοειδές εξάρτημα που ονομάζεται άγανο. Τα άγανα είναι μεταμορφωμένα φύλλα από τα οποία έχει απομείνει το κεντρικό νεύρο που περιβάλλεται από λίγο παρεγχυματικό ιστό. Έχουν στόματα και χλωροπλάστες, επομένως φωτοσυνθέτουν και διαπνέουν. Τα άγανα συμβάλλουν αποφασιστικά στις τελικές αποδόσεις εφοδιάζοντας με φωτοσυνθετικά προϊόντα τους καρπούς κατά το γέμισμα. Έχει βρεθεί ότι τα άγανα διπλασιάζουν σχεδόν το ρυθμό καθαρής φωτοσύνθεσης του στάχου. Φαίνεται επίσης ότι συμβάλλουν και στον εφοδιασμό των καρπών με κυτοκινίνες. Η συμβολή των αγάνων είναι ιδιαίτερα σημαντική υπό συνθήκες έλλειψης νερού, όπου οι αγανοφόρες ποικιλίες υπερτερούν σε αποδόσεις από τις μη αγανοφόρες. Σε χαμηλά επίπεδα εδαφικού νερού το ανώτερο φύλλο έχει μειωμένο ρυθμό φωτοσύνθεσης, σε αντίθεση με τα άγανα που εξακολουθούν να αφομοιώνουν αποτελεσματικά. Υπάρχουν ποικιλίες αγανοφόρες, μη αγανοφόρες και ενδιάμεσες.

1.1.4.5 Οι καρποί

Ο καρπός των σιτηρών καλείται καρύοψη, και χαρακτηρίζεται από τη σύμφυση του περγαμνηνοειδούς περικάρπιου με το περισπέρμιο. Αποτελείται από το περικάρπιο, το ενδοσπέρμιο και το έμβρυο. Το περικάρπιο αποτελείται από στρώματα κυττάρων που προέρχονται από την διαφοροποίηση των τοιχωμάτων



Εικόνα 1.1.6 Καρπός σίτου.

της ωθήκης. Το ενδοσπέρμιο αποτελείται από μεγάλα παρεγχυματικά κύτταρα που καλύπτουν τον εσωτερικό χώρο του κόκκου, εκτός από το μέρος που βρίσκεται το έμβρυο. Το ενδοσπέρμιο προσφέρει θρεπτικά στοιχεία στο έμβρυο και το νεαρό φυτό μέχρι να μπορέσει να καλύψει τις ανάγκες του από το έδαφος. Η αλευρώνη αποτελεί το εξωτερικό τμήμα του ενδοσπερμίου και τα κύτταρα της δεν περιέχουν

άμυλο αλλά είναι πλούσια σε αλευρόκοκκους που περιέχουν κυρίως πρωτεΐνες .Τα κύτταρα της αλευρόνης παραμένουν ζωντανά στον ώριμο κόκκο (Bradbury et all., 1956) .Στο υπόλοιπο τμήμα του ενδοσπερμίου υπάρχουν οι αμυλόκοκκοι , που νεκρώνονται με την ωρίμανση του κόκκου (Campbell et all., 1981). Η αναλογία των αλευρόκοκκων αποτελεί χαρακτηριστικό διάκρισης των μαλακών από τα σκληρά σιτάρια. Όταν στο ενδοσπέρμιο υπάρχει μεγάλη αναλογία αλευρόκοκκων ο κόκκος γίνεται σκληρός και στην τομή του εμφανίζει γυαλιστερή όψη .Αντίθετα , σε μικρή αναλογία , το ενδοσπέρμιο γίνεται μαλακό και παρουσιάζει αλευρώδη όψη.

Το έμβρυο βρίσκεται σε κατάσταση λήθαργου στο άκρο του κόκκου που βρίσκεται κοντά στον ποδίσκο. Το έμβρυο αποτελεί ένα ήδη διαφοροποιημένο νεαρό φυτό , στην μία πλευρά του οποίου βρίσκεται μια ογκώδης κοτυληδόνα η οποία ονομάζεται ασπίδιο. Το ασπίδιο περιέχει θρεπτικά στοιχεία αλλά κυρίως στέλνει ορμονικό μήνυμα στα στρώματα της αλευρόνης, εκκρίνει υδρολυτικά ένζυμα και ελέγχει την μετακίνηση θρεπτικών προς το έμβρυο. Στο κάτω μέρος του εμβρύου βρίσκεται η πρωτογενής ρίζα που περιβάλλεται από την κολεόριζα. Στο ανώτερο άκρο του εμβρυακού άξονα υπάρχει το βλαστίδιο, το οποίο έχει κωνική μορφή και καλύπτεται από το κολεόπτιλο .

1.1.5 Προσαρμοστικότητα και οικολογικές απαιτήσεις

Το σιτάρι είναι C₃ φυτό και ευνοείται από σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες .Δεν ευδοκίμει σε θερμά ή υγρά κλίματα εκτός σε περιπτώσεις που διαθέτουν μια περίοδο σχετικά δροσερή ώστε να ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών και να επιβραδύνει τη δράση των παρασιτικών ασθενειών. Οι κυριότερες σιτοπαραγωγές περιοχές βρίσκονται κυρίως σε εύκρατα κλίματα, δηλαδή μεταξύ 30° και 60° Β.Π. και μεταξύ 25° και 40° Ν.Π. Στις βορειότερες περιοχές της καλλιέργειας του ,λόγω του βαρύ χειμώνα , το σιτάρι καλλιεργείται ως ανοιξιότιχο . Καλλιεργείται από το επίπεδο της θάλασσας μέχρι και τα 3.000 μέτρα υψόμετρο σε νοτιότερα τμήματα. Στις Η.Π.Α κάτω από τον 45° παράλληλο , το σιτάρι μπαίνει ως φθινοπωρινή καλλιέργεια , ενώ βορειότερα ως ανοιξιότιχο. Στην Ευρώπη καλλιεργείται ελάχιστα ως ανοιξιότιχο . Το μαλακό σιτάρι λόγω της μεγαλύτερης προσαρμοστικότητας του, καταλαμβάνει πολύ

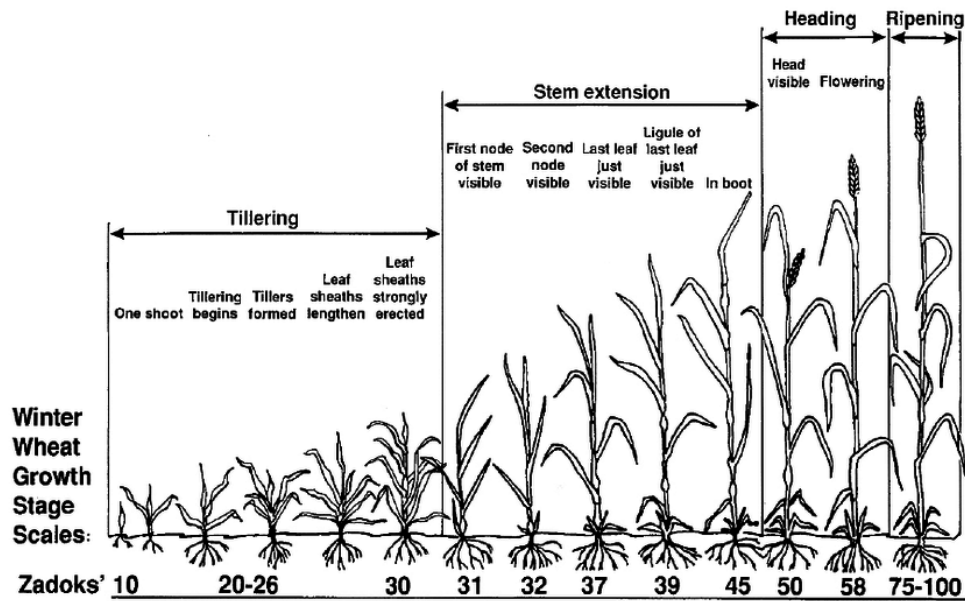
μεγάλες εκτάσεις στον Καναδά, στις Η.Π.Α στην Αργεντινή, στην κεντρική Ευρώπη , στην Ρωσία, στη Κίνα , στην Ινδία και στην Αυστραλία. Αντιθέτως τα σκληρά σιτάρια έχουν σημαντικά μικρότερη αντοχή στις χαμηλές θερμοκρασίες από τα μαλακά και προσαρμόζονται καλύτερα σε ξηροθερμικές συνθήκες όπως της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου.

Η ελάχιστη θερμοκρασία βλάστησης είναι 3-4 °C ενώ η άριστη 20-22°C .Σε θερμοκρασίες πάνω από 35°C η ανάπτυξη είναι ακανόνιστη και καταστρέφεται το ενδοσπέρμιο. Υψηλές θερμοκρασίες ημέρας προωθούν την γρήγορη ανάπτυξη , επιταχύνουν την ξήρανση του φυλλώματος και μειώνουν το γέμισμα των κόκκων. Κατά την διάρκεια ανάπτυξης του στάχυ, χαμηλές θερμοκρασίες έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία φαρδύτερου φύλλου- σημαία, περισσότερων ανθέων ανά στάχυ και μεγαλύτερο ύψους φυτών (Warrington et all. 1977).

Το σιτάρι καλλιεργείται παγκοσμίως σε περιοχές με ετήσια βροχόπτωση που κυμαίνεται από 270 έως 1750 mm . Μεγαλύτερη σημασία έχει η κατανομή της βροχόπτωσης από το ετήσιο ύψος τους. Το σιτάρι έχει τις μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό το διάστημα μεταξύ καλαμώματος και της άνθησης .Στην Ελλάδα , το φθινόπωρο και τον χειμώνα , που το σιτάρι δεν χρειάζεται πολύ νερό , έχουμε τις περισσότερες βροχοπτώσεις. Αντιθέτως, την άνοιξη, την εποχή της μεγάλης ανάπτυξης του φυτού οι βροχοπτώσεις είναι περιορισμένες επηρεάζοντας άμεσα τις τελικές αποδόσεις. Έτσι, πολλές φορές η τελική απόδοση που κυμαίνεται από 150 έως 600 kg/ στρ εξαρτάται σημαντικά από μία ή δυο βροχές που ενδεχομένως να σημειωθούν στα τελευταία στάδια ανάπτυξης του φυτού.

Το σιτάρι παρόλο που μπορεί να καλλιεργηθεί σε διάφορους τύπους εδάφους , τις καλύτερες αποδόσεις τις δίνει σε μέσης σύστασης , γόνιμα, βαθειά και καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη . Δεν ευδοκimeί σε εδάφη με υψηλό υδατικό ορίζοντα , ενώ η μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία φαίνεται να ευνοεί το πλάγιασμα (Καραμάνος 1992).

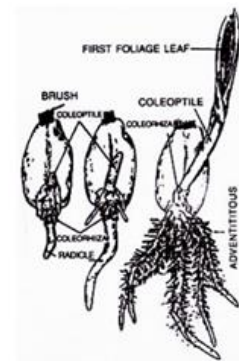
1.1.6 Στάδια ανάπτυξης



Εικόνα 1.1.7 Στάδια ανάπτυξης σιταριού σύμφωνα με την κλίμακα του Zadok.

1.1.6.1 Φύτρωμα σπόρου

Το φαινόμενο κατά το οποίο μορφολογικά ώριμοι και ζωντανοί σπόροι δεν βασκάνουν αμέσως μετά την συγκομιδή ακόμα και αν βρίσκονται σε ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και φωτός, καλείται λήθαργος. Ο λήθαργος εμφανίζεται με μεγάλες διαφορές μεταξύ ποικιλιών αλλά επηρεάζεται σημαντικά και από τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την ωρίμανση και την αποθήκευση των σπόρων μετά την συγκομιδή. Το φαινόμενο του λήθαργου μπορεί να διαρκέσει από λίγες ημέρες έως και 6 μήνες (Leonard and Martin 1963). Το φαινόμενο αυτό, είναι επιθυμητό



Εικόνα 1.1.8 Φύτρωμα σπόρου σίτου.

όταν κατά την διάρκεια της ωρίμανσης επικρατούν συνθήκες υψηλής υγρασίας και χαμηλής θερμοκρασίας, διότι αποτρέπει το φύτρωμα των σπόρων ενώ βρίσκονται ακόμα πάνω στην ταξιανθία (Παπακώστα 2012). Το φύτρωμα των σπόρων πάνω στον στάχυ παρατηρείται και στην Ελλάδα όπου οι περισσότερες ποικιλίες δεν παρουσιάζουν λήθαργο, με το φαινόμενο να εντείνεται όταν τα φυτά έχουν πλαγιασει.

Η βλαστικότητα και η βιωσιμότητα του σπόρου επηρεάζεται κυρίως από την θερμοκρασία, την υγρασία αλλά και τον συνδυασμό τους στους χώρους αποθήκευσης. Σε συνθήκες όπου

και οι δύο αυτοί παράγοντες παρουσιάζουν υψηλές τιμές η βλαστικότητα μειώνεται σημαντικά (Gooding and Davies 1997). Από διάφορες μελέτες οι σπόροι του σιταριού μπορούν να παραμείνουν ζωντανοί από 6-32 χρόνια (Barton 1961).

Τα σιτηρά παρουσιάζουν υπόγειο φύτευμα ,δηλαδή οι σπόροι παραμένουν στο έδαφος κατά το φύτευμα (Παπακώστα – Τασοπούλου 2012) . Η θερμοκρασία των 4 C θεωρείται σαν ελάχιστη για το φύτευμα, ενώ σαν άριστη οι 20-25 C. Σε θερμοκρασίες άνω των 35 C το φύτευμα τις καλλιέργειας γίνεται ακανόνιστα ή αναστέλλεται. Όταν οι σπόροι απορροφήσουν ποσά υγρασίας ίσο με το 35-45% του ξηρού τους βάρους, ξεκινάνε να φυτρώνουν. Με την αύξηση του εμβρύου σπάζει το περίβλημα και η κολεόριζα βγαίνει έξω από τον σπόρο. Στη συνέχεια, από την άκρη της κολεόριζας εκφύεται η πρώτη εμβρυακή ρίζα και ακολουθούν οι υπόλοιπες .Ταυτόχρονα , επιμηκύνεται και η κολεοπτίλη, περνά μέσα από το περίβλημα κόκκου και εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους με σωληνοειδή μορφή. Από την κολεοπτίλη βγαίνει το πρώτο φύλλο ενώ όταν το βάθος σποράς είναι μεγαλύτερο , το μεσογονάτιο τμήμα της επιμηκύνεται και δημιουργείται ένας ριζωματώδης βλαστός κάτω από την επιφάνεια του εδάφους , που λέγεται μεσοκοτύλιο.

Το έμβρυο αρχικά για την ανάπτυξη του, στηρίζεται σε θρεπτικά στοιχεία που έχουν αποθηκευτεί κυρίως στο ενδοσπέρμιο. Οι αποθησαυριστικές ουσίες αρχίζουν να υποδομούνται με το άμυλο να διασπάται σε ζάχαρα, τα λίπη σε λιπαρά οξέα και οι πρωτεΐνες σε αμινοξέα . Η αποδόμηση των ουσιών αυτών γίνεται με την βοήθεια υδρολυτικών ενζύμων που ρυθμίζονται από το έμβρυο κυρίως μέσω ορμονών όπως οι γιββερλίνες. Τα προϊόντα της υδρόλυσης μεταφέρονται μέσω ειδικών αγωγών ιστών του ασπιδίου στο έμβρυο και είναι απαραίτητες μέχρι τα νεαρά φυτά να αρχίσουν να φωτοσυνθέτουν , 10 ημέρες περίπου μετά το φύτευμα (Filner and Varner 1967).

1.1.6.2 Πρώτη ανάπτυξη

Η έξοδος του φυταρίου από το έδαφος επιτυγχάνεται με την επιμήκυνση του κολεόπτιλου και του μεσοκοτυλίου. Με την εμφάνιση του κολεόπτιλου στην επιφάνειά του εδάφους αρχίζει και η έκπτυξη των πρώτων φύλλων. Στον βλαστικό άξονα αρχίζει η διαφοροποίηση των φύλλων που κυμαίνονται από 7-15.

Ο γενότυπος και οι επικρατούσες εδαφοκλιματικές συνθήκες επηρεάζουν τον ρυθμό εμφάνισης των φύλλων (McMaster, 1997, Miralles and Slafer, 1999). Αρκετές έρευνες ότι δεν υπάρχει μεγάλη σχέση μεταξύ του ρυθμού εμφάνισης των φύλλων και της διάρκειας του βιολογικού κύκλου, των γονιδίων νανισμού και του απαιτούμενου βαθμού εαρινοποίησης. Την μεγαλύτερη επίδραση φαίνεται να ασκούν η θερμοκρασία και η φωτοπερίοδος αλλά και άλλοι παράγοντες όπως η επάρκεια σε θρεπτικά στοιχεία, η υγρασία, η αλατότητα εδάφους, το μέγεθος του σπόρου και το βάθος σποράς (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2012).

Η θέση των φύλλων πάνω στο καλάμι επηρεάζει το μέγεθός τους σε αντίθεση με το μέγεθος των ελασμάτων διαδοχικών φύλλων το οποίο συνήθως αυξάνει, ενώ το φύλλο σημαία είναι συνήθως μικρότερο από το προτελευταίο. Σε αυξημένη ένταση φωτός και θερμοκρασίας είναι δυνατόν να αυξάνει το πλάτος και το πάχος των φύλλων. Κατά την περίοδο της πλήρους ανάπτυξης του φύλλου σημαία και λίγο πριν την έκπτυξη της ταξιανθίας η καλλιέργεια παρουσιάζει την μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια (Simmons, 1987).

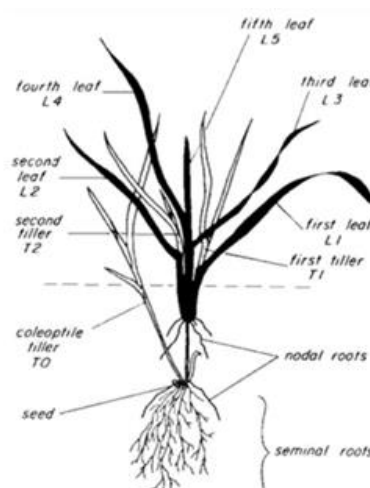
1.1.6.3 Ανάπτυξη της ρίζας

Μέχρι την εμφάνιση του 4^{ου} και 5^{ου} φύλλου κυριαρχούν οι εμβρυακές ρίζες, ενώ οι μόνιμες αρχίζουν να συμβάλλουν βαθμιαία (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2012). Με την έκπτυξη του πρώτου αδελφίου αρχίζουν να εμφανίζονται οι μόνιμες ρίζες που έχουν την προέλευσή τους στον κεντρικό βλαστό. Από τον πρώτο κόμβο (σταυρό) του κύριου στελέχους που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους βγαίνει το πρώτο ζεύγος μόνιμων ριζών. Ακολούθως, από κόμβους που βρίσκονται λίγο κάτω ή λίγο πάνω από την επιφάνεια του εδάφους σχηματίζονται και άλλες ρίζες. Τα αδέρφια, σε αντίθεση με τον κύριο βλαστό στην αρχή σχηματίζουν μια μόνιμη ρίζα αφού σχηματιστούν 3 φύλλα. Μέχρι το στάδιο του ξεσταχυάσματος οι ρίζες έχουν αυξανόμενο βάρος, ενώ από εκεί και μέρα αρχίζει να μειώνεται. Η μείωση του βάρους κυρίως οφείλεται στο θάνατο και την αποσύνθεση ορισμένων τμημάτων και ίσως και στη μετακίνηση θρεπτικών ουσιών προς το στάχυ. Έλλειψη P και K μειώνει το μέγεθος του ριζικού συστήματος. Αναερόβιες συνθήκες, υψηλή συγκέντρωση CO² και ξηρό έδαφος δεν ευνοούν την ανάπτυξη των ριζών. Μεταξύ διαφορετικών γενοτύπων παρατηρούνται παρεκκλίσεις στο μήκος και την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, ενώ δεν έχει βρεθεί σχέση μεταξύ του ύψους και της έκτασης της ρίζας. Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί πως ημινάνες ποικιλίες σιταριού, που αναπτύχθηκαν για περιοχές

με έλλειψη υγρασίας έχουν την ικανότητα να εκτείνουν το ριζικό τους σύστημα σε μεγάλο βάθος (Simmons, 1987).

1.1.6.4 Αδέλφωμα

Ως αδελφωμα καλείται η δυνατότητα του σιταριού να σχηματίζει πολλούς βλαστούς. Τα αδελφια σχηματίζονται από οφθαλμούς που βρίσκονται στο στέλεχος λίγο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και η έκπτυξη τους ρυθμίζεται από την ισορροπία ορμονών στο φυτό (Sharif and Dale, 1980). Σε διάρκεια 10 με 15 ημερών από την σπορά, όταν ο ακραίος οφθαλμός φθάσει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, σχηματίζονται πολλαπλοί οφθαλμοί στις μασχάλες των φύλλων. Από αυτούς του οφθαλμούς εκφύονται



Εικόνα 1.1.9 Φυτό σίτου στο στάδιο του αδελφώματος .

δευτερεύοντα στελέχη, τα αδελφια , που σχηματίζουν το δικό τους ριζικό σύστημα. Ο σχηματισμός των αδελφιών διαρκεί 30-40 ημέρες και αποκτούν μικρότερο αριθμό φύλλων από τον κύριο βλαστό, με αποτέλεσμα η άνθηση τους να συμπίπτει με αυτή του κύριου στελέχους (Gallagher et al, 1976). Επίσης, τα αδελφια έχουν μικρότερες ταξιανθίες σε σχέση με το κεντρικό φυτό και παράγουν λιγότερους κόκκους ανά ταξιανθία, οι δε κόκκοι έχουν μικρότερο βάρος (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2012).

Γενετικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες επηρεάζουν τον αριθμό των παραγόμενων αδελφιών σε ένα φυτό .Σημαντικότερο ρόλο από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες διαδραματίζουν :

- ο φωτισμός
- η πυκνότητα και το βάθος σποράς
- η πρωιμότητα σποράς
- η γονιμότητα του εδάφους
- η παρουσία υγρασίας
- η κατάλληλη θερμοκρασία (14-18 °C)
- η αζωτούχος λίπανση

Στα αρχικά στάδια ανάπτυξης (χειμώνας και αρχή άνοιξης) τα μεσογονάτια διαστήματα είναι πολύ κοντά, με αποτέλεσμα να μην διακρίνεται εύκολα ο βλαστός και τα αδέρφια αλλά να εμφανίζεται μια εικόνα σούδας φύλλων .Διακρίνονται τρεις μορφές πρώτης ανάπτυξης των φυτών ανάλογα με την γωνία που σχηματίζουν οι βλαστοί των αδελφιών με το έδαφος: η όρθια, η έρπουσα και η ημιέρπουσα. Μικρός αριθμός αδελφιών μπορεί να σχηματιστεί όταν κατά την διάρκεια του χειμώνα δεν επικρατούν αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες . Σε συνθήκες υψηλής υγρασίας, μεγάλης ηλιοφάνειας , επάρκειας αζώτου αλλά και αραιής σποράς ευνοείται το αδελφωμα. Όταν η σπορά πραγματοποιείται το φθινόπωρο παρατηρείται μεγαλύτερη ικανότητα αδελφώματος διότι, οι χαμηλές θερμοκρασίες περιορίζουν την ταχεία ανάπτυξη του κεντρικού βλαστού επιτρέποντας έτσι περισσότερο φως να φθάσει στην βάση του φυτού. Στις συνθήκες συνθήκες καλλιέργειας , στάχεις σχηματίζουν ο κεντρικός βλαστός και τα αδέρφια που σχηματίστηκαν νωρίς (Kirby, 1983). Γενικά σε κάθε φυτό παρατηρούνται 1-3 παραγωγικά αδέρφια , γεγονός που συμβάλει σημαντικά στην τελική απόδοση σε καρπό (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2012).

Η πρακτική σημασία της ικανότητας των φυτών να αδελφώνουν είναι σημαντική. Σε δυσμενής συνθήκες όπως το αραιό φύτεμα και η καταστροφή του κεντρικού βλαστού από παγωνιά ή προσβολή από παθογόνο η παραγωγή σε καρπό μπορεί να αντισταθμιστεί από τα αδέρφια .Το καλό αδελφωμα των φυτών της καλλιέργειας κρίνεται σημαντικό για δύο κύριους λόγους :

- Γιατί μπορεί να αντικαταστήσει απώλειες κατά την διάρκεια ανάπτυξης των φυτών από διάφορους παράγοντες
- Δεδομένου ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ παραγόμενου καρπού και αριθμό αδελφιών , το καλό αδελφωμα αυξάνει την στρεμματική απόδοση της καλλιέργειας (Μετζάκης, 1998).

Ακόμα και σήμερα , δεν έχει διευκρινισθεί πλήρως ποια αδέρφια επιβιώνουν και παράγουν στάχυ. Γενικά, θεωρείται ότι να τα αδέρφια τα οποία έχουν σχηματίσει λιγότερα από τρία τέσσερα φύλλα όταν ξεκινάει το καλάμωμα δεν παράγουν καρπό. Τα νεότερα αδέρφια γεράζουν γρηγορότερα από τα παλιότερα ενώ παρατηρούνται μεγαλύτερες απώλειες παρατηρούνται στα δεύτερης και τρίτης τάξης αδέρφια σε σχέση με τα αδέρφια πρώτης τάξης, παρ' όλο ότι όλα μπορούν να έχουν το ίδιο μέγεθος (McMaster, 1997). Όταν τα αδέρφια δεν παράγουν στάχυ θεωρούνται ανεπιθύμητα διότι ανταγωνίζονται το κεντρικό βλαστό, ωστόσο από ορισμένους μελετητές αναφέρεται ότι τα αδέρφια πριν από τον

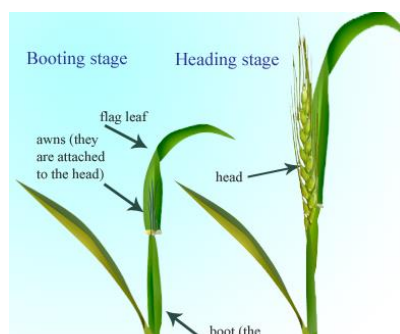
γηρασμό μεταφέρουν αζωτούχες και άλλες οργανικές ουσίες στους βλαστούς που θα επιζήσουν (Lupton and Pinthus, 1969, Rawson and Donald, 1969).

1.1.6.5 Καλάμωμα

Με το πέρας του αδελφώματος τα φυτά εισέρχονται στο στάδιο του καλαμώματος. Στη φάση αυτή γίνεται η ανάπτυξη του στελέχους (καλάμι) με την επιμήκυνση των μεσογονατίων και συγχρόνως αρχίζει η αύξηση των φύλλων, των ριζών και της ταξιανθίας στο εσωτερικό του στελέχους. Μεριστωματική περιοχή με ικανότητα ταχείας αύξησης, υπάρχει στην βάση κάθε μεσογονατίου τμήματος. Κάθε προηγούμενο μεσογονάτιο είναι μικρότερο σε σχέση με το επόμενο. Αρχικά ξεκινάνε να επιμηκύνονται τα κατώτερα μεσογονάτια ενώ κάθε επόμενο ξεκινάει την επιμήκυνση του όταν το προηγούμενο έχει φθάσει το 50% του τελικού του μεγέθους (Simmons, 1987). Το τελευταίο μεσογονάτιο φέρει την ταξιανθία και με την επιμήκυνση του ωθείται μέσα στον κολεό του φύλλου-σημαία. Επάρκεια νερού και αζώτου προωθούν την επιμήκυνση των μεσογονατίων τμημάτων. Στο σιτάρι, γενότυποι που έχουν και τα δύο γονίδια νανισμού Rht1 και Rht2, έχουν μικρότερο ύψος από εκείνα που έχουν ένα, τα οποία με τη σειρά τους είναι κοντότερα από εκείνα που δεν έχουν κανένα γονίδιο (Allan, 1983). Γενικά, θεωρείται πως οι διαφορές στο ύψος οφείλονται περισσότερο στο μήκος των μεσογονατίων απ' ό τι στον αριθμό τους.

1.1.6.6 Ξεστάχασμα

Μετα την επιμήκυνση των μεσογονατίων διαστημάτων, ακολουθεί η αύξηση του μεγέθους του στάχους και η μετακίνησή του από τη βάση του φυτού προς την κορυφή. Όταν ο στάχυς φθάσει στον κολεό του τελευταίου φύλλου (φύλλο - σημαία) ο κολεός διογκώνεται και το στάδιο αυτό λέγεται φούσκωμα. Στη συνέχεια ο κολεός του φύλλου-σημαία σχίζεται κατά μήκος και εμφανίζεται η ταξιανθία.



Εικόνα 1.1.10 Σιτάρι κατά το ξεστάχασμα .

Το στάδιο αυτό λέγεται έκπτυξη ταξιανθίας ή ξεστάχιασμα. Στις αγανοφόρες ποικιλίες πρώτα, μέσα από τον κολεό, εμφανίζονται τα άγανα και μετά ο στάχυς. Το τελευταίο μεσογονάτιο που φέρει την ταξιανθία, συνήθως συνεχίζει να αυξάνεται και μετά την εμφάνιση της ταξιανθίας, μέχρι η ταξιανθία να φθάσει πιο ψηλά από το τελευταίο φύλλο. Πρώτα εμφανίζεται η ταξιανθία στο κύριο στέλεχος και μετά στα αδέρφια, ανάλογα με τη σειρά έκπτυξής τους. Η εποχή ξεσταχιάσματος παρ' ότι επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος, την εποχή σποράς, τη γονιμότητα του εδάφους και άλλους παράγοντες, είναι χαρακτηριστικό του κάθε γενοτύπου και θεωρείται σαν δείκτης πρωιμότητας των ποικιλιών (Παπακώστα - Τασοπούλου, 2012)

1.1.6.7 Άνθηση

Σε διάρκεια 4 έως 10 ημερών μετά το ξεστάχιασμα, παρατηρείται η έξοδος των στημόνων από τα λεπυρίδια. Το φαινόμενο της κλειστογαμίας παρατηρείται στο σιτάρι όπου οι ανθήρες σπάζουν πριν την έξοδό τους από το άνθος και γίνεται αυτεπικονίαση. Για την άνθηση ως ελάχιστη θερμοκρασία θεωρούνται οι 10 C, μέγιστη 32 C και άριστοι οι 18- 25 C. Σημαντική μείωση στους καρπούς ανά στάχυ παρατηρείται όταν επικρατούν πού υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες και χαμηλή σχετική υγρασία κατά την περίοδο της άνθησης και της γονιμοποίησης (Καραμάνος, 1992).



Εικόνα 1.1.11 Ταξιανθία σίτου στο στάδιο της άνθησης.

1.1.6.8 Γέμισμα καρπών

Η συγκέντρωση ξηράς ουσίας στους καρπούς των σιτηρών ακολουθεί την πορεία μιας σιγμοειδούς καμπύλης και διακρίνονται 3 φάσεις ανάπτυξης (Herzog 1986) :

1. την αρχική φάση που διαρκεί 2 ή 3 εβδομάδες και κατά την οποία ο καρπός αυξάνεται ανεπαίσθητα κυρίως λόγω κυτταρικών διαιρέσεων

2. την δεύτερη φάση όπου η αύξηση είναι γραμμική και οφείλεται στην εναπόθεση προϊόντων φωτοσύνθεσης (άμυλο και πρωτεΐνες) στο ενδοσπέρμιο (Brockelehurst 1977)
3. την τρίτη φάση ωρίμανσης όπου παρατηρείται μείωση του ρυθμού αύξησης του καρπού κυρίως εξαιτίας μειωμένου διαθέσιμου χώρου

Το τελικό βάρος του καρπού καθορίζεται κυρίως από την διάρκεια και δευτερευόντως από τον ρυθμό γεμίσματος. Ακόμα, η θέση του καρπού στο στάχυ φαίνεται να επηρεάζει την ανάπτυξη και το τελικό βάρος του. Συνήθως, οι κόκκοι που σχηματίζονται στα κεντρικά σταχύδια είναι μεγαλύτεροι από αυτούς που σχηματίζονται στα εξωτερικά. Η διάρκεια του γεμίσματος του κόκκου εκτός από τον γενότυπο επηρεάζεται σημαντικά και από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, την υγρασία και την διαθεσιμότητα θρεπτικών με σημαντικότερη αυτή του αζώτου. Οι υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια του γεμίσματος αυξάνει την αναπνοή των κυττάρων, επιταχύνοντας την διάσπαση της χλωροφύλλης με την γήρανση των οργάνων φωτοσύνθεσης. Ως αποτέλεσμα παρατηρείται μείωση της διάρκειας γεμίσματος, που δεν αντισταθμίζεται από μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης του μεγέθους του κόκκου. Μεγαλύτερος ρυθμός αύξησης της ξηράς ουσίας του κόκκου γίνεται και όταν υπάρχει επάρκεια αζώτου στο έδαφος, κατά την διάρκεια της δεύτερης φάσεις ανάπτυξης με την διατήρηση πράσινης φυλλικής επιφάνειας στην καλλιέργεια. Για αυτόν τον λόγο η επιφανειακή λίπανση παίζει καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση των αποδόσεων.

Στα μεσογειακά κλίματα όπως και της Ελλάδας παρατηρούνται γενικά μικρότερα μεγέθη κόκκων από τα εύκρατα. Γεγονός που αποδίδεται σε θερμοκρασίες άνω των 30 C κατά την διάρκεια του γεμίσματος, προκαλώντας μείωση στην διάρκεια αύξησης του κόκκου χωρίς να αντισταθμίζεται από την αύξηση του ρυθμού (Wardlaw et al., 1989). Σε περιοχές που την άνοιξη επικρατούν ξηρές συνθήκες, υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλο μήκος ημέρας το γέμισμα του κόκκου διαρκεί 30-40 ημέρες, ενώ σε υγρές και δροσερές περιοχές 40-60. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι σημαντικό και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά την επιλογή της ποικιλίας σποράς αλλά και των προγραμμάτων βελτίωσης ποικιλιών. Ποικιλίες που έχουν την ικανότητα να γεμίζουν γρήγορα τους κόκκους, μπορούν να φθάσουν σε φυσιολογική ωρίμανση πριν εμφανιστούν οι ξηροθερμικές συνθήκες.

Κατά την περίοδο ωρίμανσης του σπόρου μπορούν να διακριθούν έξη ξεχωριστά στάδια, τα οποία είναι :

- **Υδατώδης καρπός** . Η αύξηση του μεγέθους του κόκκου ωφείλεται κυρίως στην αύξηση των κυττάρων. Αρχίζουν να καταστρέφονται τα κατώτερα φύλλα και διαρκεί 1-2 εβδομάδες.
- **Στάδιο γάλακτος** . Εάν πιεσθεί ο κόκκος εκχύνεται ένα γαλακτώδες υγρό το οποίο περιέχει κυρίως αμυλόκοκκους. Στο τέλος αυτού του σταδίου το έμβρυο έχει φθάσει στο πλήρες μέγεθός του .
- **Στάδιο μαλακής ζύμης** . Ασκώντας πίεση στον κόκκο δεν εξέρχεται υγρό, αλλά μία μαλακή ζύμη λόγω της μείωσης της υγρασίας στον κόκκο.
- **Στάδιο σκληρής ζύμης** . Ο κόκκος συνεχίζει να χάνει υγρασία και το μεγαλύτερο μέρος του φυτού έχει αποκτήσει κίτρινο χρώμα.
- **Στάδιο πλήρους ωρίμανσης** . Τα φυτά χάνουν τελείως την χλωροφύλλη και γίνονται κίτρινα . Ο κόκκος μπορεί να χαραχθεί με το νύχι αλλά σπάζει με δυσκολία .
- **Στάδιο σκλήρυνσης του κόκκου**. Τα φυτά έχουν ξηραθεί εντελώς και σπάζουν με ευκολία. Ο κόκκος δεν σπάζει σε ασκούμενη πίεση με τα δάχτυλα ούτε μπορεί να χαραχθεί με το νύχι .

Κατά την φυσιολογική ωρίμανση ο κόκκος παύει να δέχεται φωτοσυνθετικά προϊόντα με αποτέλεσμα να μην αυξάνεται το βάρος του .Σε αυτό το στάδιο η περιεκτικότητα των κόκκων σε υγρασία είναι από 30 έως 40 % και δυσκολεύουν την συγκομιδή από της συλλεκτικές μηχανές. Ωστόσο, τα κύτταρα του κόκκου αναπνέουν και μεταβολίζουν αποθησαυριστικές ουσίες και η παραμονή τους για μεγάλο χρονικό διάστημα στο φυτό μετά την φυσιολογική ωρίμανση μειώνει το τελικό τους βάρος.

1.2 Καλλιεργητικές πρακτικές

1.2.1 Προετοιμασία του εδάφους για σπορά

Η σπορά ξεκινάει με την προετοιμασία του εδάφους . Ο όγκος και το είδος των υπολειμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας καθορίζουν και των τρόπο διαχείρισής τους . Για αρκετά χρόνια στην Ελλάδα τα υπολείμματα από μονοκαλλιέργεια σιτηρών καίγονταν ωστόσο αυτό κανόνες που τέθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια της ολοκληρωμένης διαχείρισης απαγορεύουν το κάψιμο και συνιστούν την ενσωμάτωσή τους . Σε εξαιρετικές περιπτώσεις όπως έντονες προσβολές από εχθρούς και παθογόνα που διαχειμάζουν στα υπολείμματα μπορεί να επιτραπεί .

Κατά τον παραδοσιακό τρόπο κατεργασίας η πρώτη ενέργεια είναι το όργωμα , συνήθως μετά τις πρώτες φθινοπωρινές βροχές . Μπορεί να γίνει και θερινό όργωμα μετά την συγκομιδή της καλλιέργειας σε περιπτώσεις μεγάλης πίεσης από πολυετή ζιζάνια ώστε να έρθουν στην επιφάνεια τα αναπαραγωγικά τους όργανα και να καταστραφούν .Το θερινό όργωμα επιφέρει αρκετά μεγαλύτερες καταπονήσεις στον μηχανολογικό εξοπλισμό του παραγωγού. Ακολουθεί ο ψιλοχωματισμός του εδάφους . Συνήθως γίνεται με την χρήση δισκοσβάρνας και απαιτεί προσοχή για την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους. Εάν το έδαφος είναι πολύ υγρό , δημιουργούνται μεγάλοι σβόλοι και προστίθεται μια ακόμα εργασία για την διάσπαση τους με τον καλλιεργητή . Πολλές φορές πριν από την δισκοσβάρνα διασκορπίζεται η βασική λίπανση ώστε να ενσωματωθεί.

Στα πλαίσια της μειωμένης κατεργασίας το όργωμα αντικαθίσταται από αναμόχλευση του εδάφους , συνήθως σε μικρότερο βάθος με κάποιον καλλιεργητή. Τα υπολείματα της προηγούμενης καλλιέργειας παραμένουν άθικτα ή τεμαχίζονται και πέφτουν στην επιφάνεια του εδάφους . Με αυτήν την μέθοδο προετοιμασίας του αγρού για σπορά μειώνεται σημαντικά το κόστος, οι ανάγκες για μεγάλης ιπποδύναμης ελκυστήρα και η συμπίεση του εδάφους .Επίσης μπορεί να πραγματοποιηθεί πιο πρώιμη σπορά όταν υπήρξαν πολλές βροχοπτώσεις το φθινόπωρο ή καθυστέρησε η συγκομιδή της προηγούμενης καλλιέργειας . Ωστόσο παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα όπως η μείωση της θερμοκρασίας του εδάφους , η αύξηση πολυετών ζιζανίων και ο μεγαλύτερος χρόνος στράγγισης σε εδάφη που νεροκρατούν.

Με τον όρο ακατεργασία εννοείται το σύστημα κατά το οποίο πραγματοποιείται απευθείας σπορά πάνω από τα υπολείματα της προηγούμενης καλλιέργειας χωρίς να γίνει κάποια κατεργασία του εδάφους. Για να γίνει εφικτή η σπορά απαιτούνται συγκεκριμένα μηχανήματα. Συνήθως , μπροστά από τους δίσκους μία τυπικής σπαρτικής σιτηρών τοποθετούνται οδοντωτοί σιδερένιοι δίσκοι , όπου σπάνε τα υπολείματα της καλλιέργειας πάνω στη γραμμή φύτευσης και αναμοχλεύουν το έδαφος ελάχιστα .Και αυτοί η μέθοδος παρουσιάζει λίγο ή πολύ παρόμοια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με τη μειωμένη κατεργασία .

1.2.2 Σπορά

Η σπορά μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα ευρύ χρονικά περιθώριο .Σε κάθε περιοχή η σπορά καθορίζεται από της κλιματικές στις συνθήκες . Στην χώρα μας η σπορά του σιταριού γίνεται τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο εφόσον ο παραγωγός έχει καταφέρει να μπει στο χωράφι και να προετοιμάσει τον αγρό. Κατάλληλη εποχή σποράς θεωρείται εκείνη όπου επιτρέπει στα νεαρά φυτά να σχηματίσουν μόνιμο ριζικό σύστημα πριν εμφανιστούν οι πρώτοι παγετοί (Σφήκας 1984). Αυξημένο πλάγιασμα , ζημιές από ψύχος και προσβολές των ριζών από σήψεις μπορούν να εμφανιστούν σε πολύ πρώιμα σπαρμένες καλλιέργειες λόγω υπερβολικής βλαστικής ανάπτυξης .Επιπλέον, η μεγάλη βλαστική ανάπτυξη μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στα στάδια της άνθησης και του γεμίσματος των κόκκων εξαιτίας της έντονης βλαστικής ανάπτυξης. Προβλήματα εμφανίζονται και σε περιπτώσεις πολύ όψιμης σποράς. Με την καθυστέρηση του φυτρώματος ώστε να αποφευχθούν χαμηλές θερμοκρασίες , μπορεί να μειωθεί το αδελφωμα και η άνθηση να πέσει σε εντονότερα ξηροθερμικές συνθήκες που θα επηρεάσουν και το γέμισμα των κόκκων . Κατά τους Fowler και Gusta (1977) , κρίσιμο παράγοντα για της απόδοση του σιταριού παίζει η ημερομηνία σποράς λόγω την σχέσης μεταξύ συσσωρευμένης ξηράς ουσίας στο σπορόφυτο και την αντοχή του στο ψύχος.

Σημαντική είναι και η ποιότητα του σπόρου. Θα πρέπει να είναι ακέραιος , ώριμος, απαλλαγμένος από σπόρους άλλων ειδών και ζιζανίων , και με καλή βλαστική ικανότητα. Πολλές φορές απαιτείται και η απολύμανσή του πριν την σπορά , για προστασία από παθογόνα που μεταφέρονται με τον σπόρο όπως οι άνθρακες και οι δαυλίτες καθώς και για προφύλαξη από προσβολές μικροοργανισμών στο έδαφος. Για την ποσότητα σπόρου ανά μονάδα επιφάνειας σημαντικοί είναι αρκετοί παράγοντες όπως η φυτρωτική ικανότητα και το μέγεθος των κόκκων , η ποικιλία και η ικανότητα αδελφώματος, η γονιμότητα του εδάφους και η διαθέσιμη υγρασία . Στα σιτηρά εξαιτίας του φαινομένου του αδελφώματος η ποσότητα του σπόρου κατά την σπορά μπορεί να κυμαίνεται σε ευρέα όρια χωρίς να επηρεάζεται η τελική απόδοση . Όταν επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες και επάρκεια θρεπτικών την μεγαλύτερη απόδοση δίνει η πυκνή σπορά ωστόσο είναι πιο ευαίσθητη στην εμφάνιση ασθενειών και πλαγιάσματος. Ακόμα η πυκνή σπορά μπορεί να αντισταθμίσει δυσμενής παράγοντες όπως μειωμένο αδελφωμα και μεγάλη πίεση ζιζανίων .

Στην Ελλάδα η σπορά γίνεται με γραμμικές σπαρτικές ωστόσο παλιότερα γίνονταν είτε διασπορά με το χέρι είτε με λιπασματοδιανομέα. Οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών είναι 15-20 cm. Ο σπόρος τοποθετείται σε βάθος 2-5 cm . Σε συνθήκες μειωμένης υγρασίας

προτείνεται και η σπορά σε μεγαλύτερα βάθη (10 cm) , ωστόσο παρατηρείται καθυστερημένη εμφάνιση των σποροφύτων και μείωση της αντοχής στο ψύχος και το πλάγιασμα.

1.2.3 Λίπανση

Η λίπανση είναι απαραίτητη και ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων και καλής ποιότητας προϊόντων . Γεγονός που κάνει σημαντικές και τις εδαφολογικές αναλύσεις για την εκτίμηση της γονιμότητας του εδάφους και τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ποσότητας λιπαντικών στοιχείων . Ενδεικτικά για κάθε 100 kg παραγόμενου σπόρου απομακρύνονται 2-2,5 kg N, 0,3-0,5 kg P και 0,3 kg K. Η συνήθης πρακτική είναι η λίπανση να εφαρμόζεται τμηματικά .Μια ποσότητα αζώτου και όλος ο φώσφορος προστίθεται πριν ή κατά την σπορά (βασική λίπανση) και το υπόλοιπο άζωτο στο τέλος του χειμώνα ή στις αρχές της άνοιξης (επιφανειακή λίπανση) .

Το άζωτο είναι το στοιχείο που προστίθεται σε μεγαλύτερες ποσότητες και παίζει το σημαντικότερο ρόλο στην καλλιέργεια .Στην Ελλάδα η συνιστώμενη ποσότητα αζώτου κυμαίνεται στα 10-20 kg ανά στρέμμα. Υπέρμετρη αύξηση της βλαστικής ανάπτυξης των φυτών μπορεί να προκληθεί από υπερβολική αζωτούχο λίπανση (βασική). Η επιφανειακή λίπανση αποσκοπεί περισσότερο στο γέμισμα και στην περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη . Για τον φώσφορο η λίπανση δεν συνιστάται απαραίτητα κάθε χρόνο ή σε κάθε τύπο εδάφους. Ο φώσφορος δεσμεύεται στο έδαφος, δεν εκπλύνεται και αποδίδετε σταδιακά στην καλλιέργεια.

1.3 Η διαχείριση των ζιζανίων

1.3.1 Το πρόβλημα των ζιζανίων

Ζιζάνιο καλείται κάθε φυτό που δεν καλλιεργείται και αναπτύσσεται όπου και όταν δεν είναι επιθυμητό .Αποτελούν αναπόσπαστο συστατικό των γεωργικών οικοσυστημάτων και η ζιζανιοχλωρίδα παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των στρατηγικών διαχείρισης που

πρέπει να υιοθετηθούν στα διάφορα συστήματα καλλιέργειας (Travlos et al. 2018). Η αποτελεσματική διαχείριση των ζιζανίων είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την επιτυχημένη καλλιέργεια σιταριού. Είναι προσαρμοσμένα σε όλες τις κλιματικές και περιβαλλοντικές συνθήκες και ανταγωνίζονται με το σιτάρι για φως, θρεπτικά συστατικά, νερό και χώρο ενώ συχνά φιλοξενούν επιβλαβείς ουσίες, έντομα και ασθένειες. Αποτελούν τον πιο σημαντικό βιοτικό περιορισμό στην γεωργική παραγωγή τόσο στις αναπτυσσόμενες όσο και στις αναπτυγμένες χώρες. Τα ζιζάνια προκαλούν την μεγαλύτερη απώλεια απόδοσης στις καλλιέργειες μαζί με παθογόνα (μύκητες, βακτήρια, κ.λπ.) και ζωικά παράσιτα (έντομα, τρωκτικά, νηματώδεις, ακάρεα, πτηνά, κ.λπ.) που είναι λιγότερο επιζήμια (Oerke, 2006). Οι απώλειες λόγω ζιζανίων εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως ο χρόνος εμφάνισης των ζιζανίων, η πυκνότητα των ζιζανίων, ο τύπος των ζιζανίων και οι καλλιέργειες. Σε περιπτώσεις που τα ζιζάνια αφεθούν ελεύθερα και δεν καταπολεμηθούν με κάποιο τρόπο μπορούν να οδηγήσουν σε απώλεια απόδοσης που φθάνει το 100%. Σύμφωνα με την Αμερικανική ζιζανιολογική εταιρία τα ζιζάνια προκαλούν απώλειες της τάξης του 23 % στο σιτάρι. Σε προσπάθειες να εκτιμηθούν οι οικονομικές επιπτώσεις των ζιζανίων υπολογίστηκε πως στην Αυστραλία χάνονται 3,3 δισεκατομμύρια AUD ετησίως σε καλλιέργειες σιτηρών (Llewellyn et al., 2016), ενώ στην Ινδία, το κόστος αυτό ήταν πολύ υψηλότερο και άγγιζε τα 11 δισεκατομμύρια USD κάθε χρόνο (Gharde et al., 2018). Στην ίδια μελέτη, οι απώλειες απόδοσης λόγω ζιζανίων υπολογίστηκαν σε 36% στο φιστίκι (*Arachis hypogaea* L.), 31% στη σόγια (*Glycine max* (L.) Merr.), 25% στον αραβόσιτο (*Zea mays* L.), και 19% στο σιτάρι (*Triticum aestivum* L.). Στις Η.Π.Α., τα ζιζάνια κοστίζουν 33 δισεκατομμύρια δολάρια σε απώλεια φυτικής παραγωγής ετησίως (Pimentel et al., 2005).

1.3.2 Χημική καταπολέμηση ζιζανίων

Τα ζιζανιοκτόνα ξεκίνησαν να περιλαμβάνονται στην γεωργική πρακτική το 1979-80. Η ζιζανιοχλωρίδα άλλαξε προς όφελος πιο πολύπλοκων ειδών στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και στη συνέχεια στις αρχές της δεκαετίας του 1990 παρουσιάστηκαν οι πρώτες περιπτώσεις ανθεκτικότητας (Malik and Singh, 1993). Τα ζιζανιοκτόνα αντιπροσωπεύουν ένα εξαιρετικά ευρύ φάσμα χημικών ουσιών κατηγορίες δρώντας σε μεγάλο αριθμό μεταβολικών

λειτουργιών στα φυτικά κύτταρα. Η εφαρμογή τους συνδέεται με αρκετά πλεονεκτήματά όπως (Ζιώγα και Μαρκόγλου, 2010) :

Μειωμένο κόστος σε εργατικό προσωπικό και προώθηση της εκμηχανοποίησης των αροτραίων καλλιεργειών

- Μειωμένο κόστος καταπολέμησης των ζιζανίων και προστασία επικλινών εδαφών
- Έλεγχος των ζιζανίων σε πρώιμο στάδιο ακόμα και όταν δεν διακρίνονται εύκολα από την καλλιέργεια
- Καταπολέμηση πολυετών και ακανθωδών ζιζανίων
- Ωστόσο , εμφανίζουν και κάποια μειονεκτήματα όπως :
- Πιθανότητα δυσμενών επιδράσεων σε οργανισμούς μη στόχους
- Μειωμένη αποτελεσματικότητα λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών και σταδίου ανάπτυξης των ζιζανίων
- Προβλήματα συνδυαστικότητας και φαινόμενα φυτοτοξικότητας στην ίδια ή στην επόμενη καλλιέργεια
- Κυριαρχία δυσεξόντων ειδών ανάπτυξη ανθεκτικότητας σε ορισμένους βιότυπους

1.3.3 Διάκριση ζιζανιοκτόνων

Υπάρχουν αρκετά συστήματα για την διάκριση των ζιζανιοκτόνων σε ομάδες. Με βάση τον τρόπο εφαρμογής και την θέση απορρόφησης διακρίνονται σε φυλλώματος και εδάφους . Αυτά εφαρμόζονται στο έδαφος προφυτρωτικά ή προσπαρτικά και ενσωματώνονται είτε στο φύλλωμα . Σε διασυστηματικά και επαφής χωρίζονται τα ζιζάνια με βάση την ικανότητά τους να εισέρχονται και να κινούνται στο εσωτερικό των φυτικών ιστών . Τα επαφής , προκαλούν φυτοτοξικότητα μόνο στο σημείο που έρχονται σε επαφή με τα μέρη του φυτού ενώ τα διασυστηματικά μετακινούνται εντός του δρουν σε διάφορα μέρη του φυτού χωρίς να έχουν έρθει σε επαφή. Μια άλλη διάκριση είναι τα εκλεκτικά και καθολικά ζιζανιοκτόνα. Τα εκλεκτικά χωρίζονται σε αγρωστωδοκτόνα και πλατυφυλλοκτόνα και με την εφαρμογή τους δεν προκαλείται φυτοτοξικότητα στην καλλιέργεια αλλά μόνο στα ζιζάνια στόχους. Τα καθολικά επηρεάζουν τόσο τα ζιζάνια όσο και την καλλιέργεια και εφαρμόζονται είτε προσπαρτικά είτε μεταφυτρωτικά .Τέλος με βάση την χημική τους σύσταση χωρίζονται σε ανόργανα και οργανικά .

Επιπλέον ανάλογα με τον μηχανισμό και τον τρόπο δράσεις τους , τα ζιζανιοκτόνα χωρίζονται στις εξής 3 μεγάλες κατηγορίες (HRAC, 2019) :

| | |
|--|---|
| Αναστολείς του φωτοσυστήματος II | Νιτρίλια, τριαζινόνες, πυραδαζινονες, ουρακλίδες, παράγωγα ουρίας, αμίδια φυλλώματος κ.α. |
| Αναστολείς του φωτοσυστήματος I | Διπυριδύλια |
| Αναστολείς βιοσύνθεσης χλωροφύλλης | Τριαζολινόνες, οξαδιαζόλες, θειαδιαζόλες, φαυνυλοπυραζόλες κ.α. |
| Αναστολείς βιοσύνθεσης καρτενοειδών (PDS) | Τριαζόλες, ισαξακιδινόνες, διφαινυλικοί αιθέρες κ.α. |
| Αναστολείς βιοσύνθεσης καρτενοειδών (HPPD) | Ισαξαζόλες, τρικετόνες |

Πίνακας 1.3.1 Ζιζανιοκτόνα που αναστέλλουν την σύνθεση χρωστικών απαραίτητων για την φωτοσύνθεση

| | |
|---|---|
| Αναστολείς βιοσύνθεσης αμινοξέων (ALS) | Σουφλονουλουρίες, τριαζολιπυριμιδίνες, πυρυμιδινυλβεζοικά κ.α. |
| Αναστολείς βιοσύνθεσης αρωματικών αμινοξέων (EPSPS) | Γλυκίνες |
| Αναστολείς βιοσύνθεσης γλουταμίνης (GS) | Φωσφινικά |
| Αναστολείς βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων (ACCase) | Κυκλοεξανδιόνες, φαυνυλοπυραζολίνες , αρυλοξυφαινοξυαλκανοικά |
| Αναστολείς βιοσύνθεσης λιπαρών οξέων (VLCFAs) | Φωσφοεοδιθειικά, βενζοφουράνες, θειοκαρβαμικά, χλωροκαρβοξυλικά, χλωρακεταμίδια |

Πίνακας 1.3.2 Ζιζανιοκτόνα που δρουν στον μεταβολισμό του κυττάρου .

| | |
|-----------------------------------|--|
| Αναστολείς μίτωσης | Βενζαμίδια, καρβαμικά, πυριδίνες, βενζοϊκό οξύ , δινιτροανιλίνες |
| Αναστολείς διαίρεσης κυττάρου | Ακεταμίδια, οξυακεταμίδια, χλωρακεταμίδια |
| Αναστολείς βιοσύνθεσης κυτταρίνης | Βενζιμίδια, νιτρίλια, κινολινοκαρβοξυλικά |
| Δράση αυξίνης | Βενζοϊκά, κινολινοκαρβοξυλικά, πυριδινοκαρβοξυλικά, φαινοξυαλκανοικά |
| Αναστολείς μεταφοράς αυξίνης | Φθαλαμικά |

Πίνακας 1.3.3 Ζιζανιοκτόνα που αναστέλλουν την αύξηση και διαίρεση του φυτικού κυττάρου .

1.3.4 Ανταγωνιστική ικανότητα

Οι διάφορες καλλιέργειες ποικίλλουν ευρέως ως προς την ικανότητά τους να ανταγωνίζονται τα ζιζάνια. Ακόμη και σε φυτά του ίδιου είδους, διαφορετικές ποικιλίες μπορεί να έχουν αρκετά διαφορετικές ανταγωνιστικές ικανότητες. Γενικά, η ανταγωνιστική ικανότητα μιας καλλιέργειας σχετίζεται με την ικανότητά της να έχει πρόσβαση σε πόρους, όπως φως, νερό και θρεπτικά συστατικά. Μπορεί να διατυπωθεί ως η ικανότητα μιας καλλιέργειας να ανέχεται την πίεση των ζιζανίων και να διατηρεί την απόδοση ή την ικανότητα μιας καλλιέργειας να καταστέλλει την ανάπτυξη ζιζανίων και την παραγωγή σπόρων. Δεν είναι πάντα σαφές ποια χαρακτηριστικά των φυτών τα καθιστούν πιο ανταγωνιστικά. Στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι ένας συνδυασμός χαρακτηριστικών. Σε γενικές γραμμές, οι καλλιέργειες με έντονη ανάπτυξη που μειώνουν την ποιότητα και την ποσότητα του φωτός κάτω από το φύλλωμα τους είναι οι πιο ανταγωνιστικές (Buhler, 2002). Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που τείνουν να επηρεάζουν την ανταγωνιστική ικανότητα μιας καλλιέργειας περιλαμβάνουν:

- Ταχεία εκβλάστηση
- Ταχεία συσσώρευση βιομάζας και κάλυψη του εδάφους
- Χαρακτηριστικά φύλλου – δείκτης φυλλικής επιφάνειας, μήκος και γωνία φύλλου σημαίας
- Δομή φυλλώματος – ικανότητα αναχαίτισης φωτός
- Αδέλφωμα
- Ύψος

Μαζί με τον ανταγωνισμό για φως, τα φυτά ανταγωνίζονται και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους για νερό και θρεπτικά συστατικά του εδάφους. Τα υπόγεια χαρακτηριστικά που κάνουν μια ανταγωνιστική καλλιέργεια δεν είναι πολύ καλά κατανοητά, αλλά φαίνεται ότι οι καλλιέργειες με πιο εκτεταμένα ριζικά συστήματα τείνουν να είναι πιο ανταγωνιστικές (Mason and Spaner, 2006).

Γενικά, εάν δύο είδη έχουν κοινή μορφολογία και φυσιολογία, οι απαιτήσεις τους θα είναι πιο παρόμοιες και ο ανταγωνισμός τους στο κοινό περιβάλλον θα είναι έτσι πιο έντονος (Pitelli, 1987). Υπάρχουν τρεις τύποι ανταγωνισμού που είναι εμφανής στις ενώσεις φυτών: ο ανταγωνισμός μεταξύ των οργάνων των φυτών, ο οποίος υποδηλώνεται ενδοφυτικός

ανταγωνισμός, ο ανταγωνισμός μεταξύ φυτών του ίδιου είδους, ο οποίος υποδηλώνεται ενδοειδικός ανταγωνισμός και η παρέμβαση μεταξύ διαφορετικών ειδών, που υποδηλώνεται μεσοειδικός ανταγωνισμός. (Park, Benjamin, Watkinson, 2002).

Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για τη μελέτη του ανταγωνισμού μεταξύ των φυτών επιτρέπουν την ποσοτικοποίηση των απωλειών που προκαλούνται από τα ζιζάνια και την ανταγωνιστικότητα μεταξύ των ειδών. Η πυκνότητα της καλλιέργειας και η θέση των φυτών στο χώρο διάταξη επηρεάζουν την ανταγωνιστική ικανότητα της καλλιέργειας (Mohler, 2001). Σύμφωνα με την τρέχουσα υπόθεση, όταν τα σπορόφυτα ζιζανίων είναι μικρότερα από αυτά της καλλιέργειας, όπως συμβαίνει συνήθως, η καταστολή των ζιζανίων από την καλλιέργεια αυξάνεται με την χωρική της ομοιομορφία και πυκνότητα (Weiner et al., 2001). Αυξάνοντας την πυκνότητα σποράς της καλλιέργειας συνήθως οδηγεί σε μειωμένη βιομάζα των ζιζανίων (Radford et al., 1980, Samuel & Guest, 1990, Blackshaw, 1993, Murphy et al., 1996, Doll, 1997). Σε καλλιέργεια σιταριού η αύξηση της πυκνότητας σποράς των σε συνδυασμό με ομοιόμορφο σχέδιο σποράς μείωσε την βιομάζα των ζιζανίων κατά 60% σε σύγκριση με το κανονικό πρακτική σποράς (Weiner et al., 2001).

Πειραματικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι τα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά των σιτηρών επηρεάζουν τον ανταγωνισμό για πόρους με τα ζιζάνια (Dhima et al., 2000, Acciaresi et al., 2001, Didon, 2002). Τα τελευταία 100 χρόνια, οι αποδόσεις του σιταριού τόσο σε αναπτυγμένες όσο και σε οι αναπτυσσόμενες χώρες έχουν αυξηθεί λόγω του συνδυασμού βελτιωμένων ποικιλιών και αυξημένων εισροών όπως χημικά λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα και φυτοφάρμακα (Ceccarelli 1996). Οι παγκόσμιες προσπάθειες εξέλιξης των ποικιλιών έχουν επικεντρωθεί στην αύξηση της αντίστασης σε ασθένειες, στην βελτίωση της απόκρισης σε χημικά λιπάσματα, και την προσαρμογή σε διάφορα κλίματα (McCaiig and De Pauw 1995). Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια για τον εντοπισμό χαρακτηριστικών που προσδίδουν ανταγωνιστική ικανότητα σε γονότυπους που έχουν ήδη επιλεγεί για την καλή απόδοση και αντοχή σε παθογόνα. Χαρακτηριστικά όπως το γρήγορο φύτρωμα, η ταχεία επιμήκυνση του βλαστού προσδίδουν ανταγωνιστικό χαρακτήρα στην καλλιέργεια. Το μέγεθος της φυλλικής επιφάνειας έχει θετική συσχέτιση με ανταγωνιστικό δυναμικό της καλλιέργειας (Seavers and Wright 1999). Είναι επίσης γνωστό ότι το ύψος του φυτού παίζει ρόλο στην ανταγωνιστική ικανότητα της καλλιέργειας έναντι των ζιζανίων (Lemerle et al., 2001). Είναι κοινώς αποδεκτό ότι τα ψηλότερα φυτά θα έχουν την πλειοψηφία των φύλλων τους ψηλότερα αναχαιτίζοντας έτσι περισσότερο φως και περιορίζοντας την ανάπτυξη μικρότερων φυτών με την σκίαση που προκαλούν. Η σημασία του ύψους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συγκεκριμένη αλληλεπίδραση καλλιέργειας-ζιζανίου (Blackshaw

1994). Η σκίαση από την καλλιέργεια θα καταστείλει ένα χαμηλότερο είδος ζιζανίου περισσότερο από ένα ψηλό είδος .

1.4 Οι Βιοδιεγέρτες στην γεωργία

Ο όρος «βιοδιεγέρτης» εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 1993 στην ΕΣΣΔ από τον Ρώσο ιατρό V.P. Filatov (Blagoveshchensky, 1955). Ο συγκεκριμένος ερευνητής παρατήρησε πως ορισμένα βιολογικά προϊόντα που προέρχονται από ζωικούς ή φυτικούς οργανισμούς , μετά την αποθήκευσή τους μπορούν να συσσωρεύουν ουσίες που διεγείρουν κάποιες μεταβολικές διεργασίες. Όταν τέτοιες ουσίες , εισήχθησαν σε ένα καταπονημένο οργανισμό , παρατηρήθηκε ότι κατεστάλησαν οι παθολογικές διεργασίες (Filatov, 1944). Αργότερα , οι Berlyn και Russo (1990) παρατήρησαν πως παρόμοιες ουσίες προώθησαν την ανάπτυξη και των φυτών αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα της πρόσληψης θρεπτικών συστατικών και νερού. Ο Blagoveshchensky, την δεκαετία του 1950 όρισε τους βιοδιεγέρτες ως «οργανικά οξέα με διεγερτικά αποτελέσματα λόγω των διβασικών τους ιδιοτήτων που μπορούν να ενισχύσουν την ενζυματική δραστηριότητα στα φυτά». Οι βιοδιεγέρτες τα τελευταία χρόνια έχουν θεωρηθεί καινοτόμα γεωργικά σκευάσματα , γεγονός που στηρίζεται και στην μεγάλη γκάμα ερευνών που δημοσιεύονται όλο και περισσότερο αλλά και στη συνεχή επέκτασή τους στην διεθνή αγορά (Povero et al., 2014). Η διεθνής αγορά βιοδιεγερτών αναμένεται να αγγίξει τα 4,5 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2025 σύμφωνα με την έκθεση της Grand View Research, Inc. . Στην Ευρωπαϊκή ένωση η Γαλλία, η Ιταλία και η Ισπανία αποτελούν τις χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή τέτοιων σκευασμάτων (du Jardin et al., 2014) . Το ευρύ φάσμα των ουσιών αλλά και η πολυπλοκότητα της σύνθεσής τους καθιστά ακόμα και σήμερα δύσκολο να ορίσουμε και να ορίσουμε την συγκεκριμένη δράση τους στα φυτά .

1.4.1 Ορισμοί

Ο ορισμός για το ποια σκευάσματα καλούνται βιοδιεγέρτες ποικίλλει ακόμα και σήμερα, με αρκετά διαφορετικές ερμηνείες από πολλούς ερευνητές . Έχουν οριστεί ως προϊόντα που δεν

είναι λιπάσματα και περιέχουν ορμόνες που μπορούν να διεγείρουν την ανάπτυξη των φυτών όταν εφαρμόζονται εξωγενώς σε χαμηλές συγκεντρώσεις (Goatley & Schmidt 1991) . Οι Naumov et al. (1993) έδωσαν ένα ευρύτερο ορισμό ως « ένα σύνολο βιολογικά δραστικών ουσιών , φυτικής προέλευσης που έχουν ευρύ φάσμα βιολογικής δράσης». Η πρώτη σύγχρονη προσέγγιση για του βιοδιεγέρτες δόθηκε από τον Herve (1994) προωθώντας την ιδέα πως αυτά τα σκευάσματα πρέπει να βασίζονται σε χαρακτηριστικά όπως το να είναι ενεργά σε χαμηλές δόσεις, να έχουν μικρό οικολογικό αποτύπωμα και να οφέλη που παρουσιάζουν στις καλλιέργειες να μπορούν να αναπαραχθούν ξανά . Οι Zhang & Schmidt (2003) τόνισαν την επίδραση των βιοδιεγερτών ως «ρυθμιστών στρες» βασιζόμενοι στην δράση τους στην προώθηση της φωτοσύνθεσης και στην μείωση της εξάπλωσης ασθενειών σε υψηλότερες αποδοσίες . Επιπλέον, με βάση τις χαμηλότερες δόσης εφαρμογής τέτοιων σκευασμάτων προσπάθησαν να τα διαχωρίσουν από θρεπτικά στοιχεία και βελτιωτικά εδάφους που επίσης προάγουν την ανάπτυξη των φυτών . Γενικότερα, οι βιοδιεγέρτες μπορούν να θεωρηθούν καινοτόμα εργαλεία που βάση των συγκεντρώσεων τους, τοποθετούνται μεταξύ λιπασμάτων και ρυθμιστών ανάπτυξης φυτών . Ο Kauffman (2007) εισήγαγε πρώτος μια πιθανή ταξινόμηση, που περιλάμβανε χουμικές ουσίες , προϊόντα που περιέχουν ορμόνες και προϊόντα που περιέχουν αμινοξέα. Ωστόσο ήταν ο Basak (2008) που πρωτοστάτησε στο συστηματικό συμπόσιο για τους βιοδιεγέρτες. Στην επιστημονική βιβλιογραφία τα επόμενα χρόνια, το φάσμα των ουσιών και των τρόπων δράσης που εξετάστηκαν διευρύνθηκε στη συνέχεια.

Τον Ιούνιο του 2011 το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Βιομηχανίας Βιοδιεγερτών (EBIC) όπου δημιουργήθηκε από τις επιχειρήσεις του κλάδου καθόρισε έναν ακριβή ορισμό για τους βιοδιεγέρτες (Toscano et al., 2018) . Έτσι, σε επίπεδο Ε.Ε. οι βιοδιεγέρτες ορίστηκαν ως σκευάσματα που περιλαμβάνουν ουσίες ή / και μικροοργανισμούς των οποίων η λειτουργία κατά την εφαρμογή τους στα φυτά ή την ρίζα είναι να διεγείρουν φυσικές διεργασίες για την ενίσχυση της πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων, της απόδοσης, της αντοχής στο αβιοτικό στρες και της βελτίωσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας. Επιπλέον, οι βιοδιεγέρτες δεν έχουν άμεση δράση κατά των ασθενειών και εχθρών και επομένως δεν εμπίπτουν στο κανονιστικό πλαίσιο των φυτοφαρμάκων (Du Jardin 2012) . Στην συνέχεια ο Du Jardin (2015) έδωσε την πρώτη σε βάθος ερμηνεία της επιστήμης των βιοδιεγερτών με έμφαση στη συστηματοποίηση και κατηγοριοποίηση των βιοδιεγερτών με βάση τη βιοχημική και φυσιολογική λειτουργία και τους τρόπους δράσης. Αυτές οι κατηγοριοποιήσεις και αναλύσεις είχαν επιρροή στην ενημέρωση για την ανάπτυξη της μεταγενέστερης νομοθεσίας στην ΕΕ. Σε ρυθμιστικό επίπεδο, η τροποποίηση των κανονισμών (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 και

(ΕΚ) αριθ. λιπάσματα στην αγορά της ΕΕ, για πρώτη φορά, σε νομοθετικό επίπεδο, εισήχθη η κατηγορία «βιοδιεγέρτες», η οποία προηγουμένως ρυθμιζόταν μόνο από μεμονωμένες χώρες .

1.4.2 Κατηγορίες Βιοδιεγερτών

Κατά τη διάρκεια των ετών, αρκετοί ερευνητές έχουν προτείνει διάφορες κατηγοριοποιήσεις των βιοδιεγερτών με βάση το κύριο συστατικό ή τον τρόπο δράσης τους. Σε πολλές χώρες εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, και τα δύο είδη πληροφοριών πρέπει να αναφέρονται στην ετικέτα προκειμένου να καταχωριστούν αυτά τα προϊόντα (Yakhin et al., 2017). Σε μία αρχική προσπάθεια κατηγοριοποίησης περιλήφθηκαν :

- Τα χουμικά οξέα (HS: Humic substances)
- Προϊόντα που περιέχουν ορμόνες (HCP: Hormone-containing products)
- Προϊόντα που περιέχουν αμινοξέα (AACP: Amino-acid containing products)

Ωστόσο αργότερα οι κατηγορίες προϊόντων που ορίζονται ως βιοδιεγέρτες διευρύνθηκαν στις εξής :

- Χουμικές ενώσεις
- Εκχυλίσματα φυκιών
- Αμινοξέα
- Ωφέλιμοι Μικροοργανισμοί

1.4.3 Χουμικές ενώσεις

Οι χουμικές ενώσεις είναι πολυμερή συστατικά της οργανικής ύλης του εδάφους , που προκύπτουν από τις διαδικασίες αποσύνθεσης φυτικών και ζωικών υπολειμάτων αλλά και από την μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών του εδάφους (Rouphael & Colla 2018). Περιλαμβάνουν χουμικά οξέα , φουλβικά οξέα και χουμίνες και έχουν βρεθεί μπορεί στο έδαφος, την τύρφη και τους λιγνίτες (Sharif et al., 2002). Βιοδιεγέρτες που περιέχουν χουμικές ενώσεις έχουν αναγνωριστεί ως ουσιαστικοί συντελεστές στην διαμόρφωση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους. Το πως ακριβώς τέτοια σκευάσματα επηρεάζουν την φυσιολογία των φυτών δεν είναι πλήρως κατανοητό . Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην

μοριακή πολυπλοκότητα των ουσιών αυτών αλλά και στην ποικιλία των επιδράσεων στα φυτά μετά την εφαρμογή τους. Οι περισσότερες επιδράσεις τους αναφέρονται προώθηση της ανάπτυξης των ριζών και βελτίωση της θρεπτικής κατάστασης των φυτών που προκύπτει από την αύξηση της διαθεσιμότητας θρεπτικών στοιχείων του εδάφους (Canellas et al., 2015, du Jardin, 2012, 2015). Ακόμα, ενεργούν στο εδαφική διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων αυξάνοντας την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και ρυθμίζοντας (εξουδετερώνοντας) το pH του εδάφους (Canella et al., 2015, du Jardin, 2015). Τέλος, επιδρούν στην διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος με τον σχηματισμό διαλυτών συμπλοκών με μικροθρεπτικά όπως ο σίδηρος.

1.4.4 Εκχυλίσματα φυκιών

Η χρήση των φυκιών προέρχεται από τους ρωμαϊκούς και ελληνικούς χρόνους και θεωρούνται, ένας φυσικός πόρος που δεν έχει αξιοποιηθεί ευρέως παρά τις πολλές χρήσεις του που έχουν καταγραφεί σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα τελευταία χρόνια, η παραγωγή του σε βιομηχανική κλίμακα έχει φθάσει τους 18 εκατ. (Winberg et al., 2014) και ένα μεγάλο μέρος χρησιμοποιείται στη γεωργία ως θρεπτικά πρόσθετα, βιοδιεγέρτες ή βιολιπάσματα. Παγκοσμίως, τα εκχυλίσματα αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 33% της συνολικής αγοράς των βιοδιεγερτών και το 2022, η αγορά έχει φτάσει σε αξία τα 894 εκατομμύρια ευρώ (EL Boukharj et al., 2020). Αποτελούνται από περίπου 10.000 είδη και αντιπροσωπεύουν έως και το 10% της συνολικής παγκόσμιας θαλάσσιας παραγωγής (Battacharyya et al., 2015). Η κύρια ταξινόμηση τους βασίζεται στο χρωματισμό τους και αποτελείται από τρεις κατηγορίες, τα καφέ, τα κόκκινα και τα πράσινα φύκια (Khan et al., 2009). Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο φύκι στη γεωργία είναι το *Ascophyllum nodosum* (L.), αλλά τα *Fucus* spp, *Laminaria* spp, *Sargassum* spp και *Turbinaria* spp χρησιμοποιούνται επίσης ως βιολιπάσματα (Khan et al., 2009). Οι διαδικασίες παραγωγής εμπορικών προϊόντων φυκιών συχνά περιλαμβάνουν τη χρήση νερού, οξέων ή αλκαλίων ως εκχυλιστικών παραγόντων με ή χωρίς θέρμανση ή τη φυσική πέψη των φυκιών με άλεση σε χαμηλή θερμοκρασία ή υψηλή πίεση (Craigie, 2011). Έχουν παρατηρηθεί παραλλαγές στην σύνθεση προϊόντων που προέρχονται από διαφορετικά είδη φυκιών από τους Shekhar et al., (2012). Οι διακυμάνσεις κυμαίνονταν από 25 έως 39% για τον άνθρακα, 1 έως 3% για το άζωτο, 1 έως 4% για τα λιπίδια και 18 έως 48% για την τέφρα. Σημαντικές διαφορές

παρατηρήθηκαν επίσης στις συγκεντρώσεις των ορυκτών Fe, I, K, Mg και S. Τα εκχυλίσματα φυκών αναφέρεται ότι είναι πλούσια σε αυξίνες και ενώσεις που μοιάζουν με αυξίνη. Οι Kingman και Moore (1982) έδειξαν ότι το εκχύλισμα του *A. nodosum* περιείχε έως και 50 mg IAA (ινδολεξικό οξύ) ανά γραμμάριο ξηρού βάρους, αλλά και άλλες φυτικές ορμόνες όπως ABA (abscisic acid), ελεύθερες κυτοκινίνες και αδενίνη. Ένας μεγάλος αριθμός μελετών, έχει δείξει ένα ευρύ φάσμα ευεργετικών επιδράσεων των εφαρμογών των εκχυλισμάτων φυκών στα φυτά. Μερικά από αυτά περιλαμβάνουν την προώθηση της ανάπτυξης και απόδοσης των καλλιεργειών, της ανάπτυξη των ριζών και της ικανότητας ανοχής στο αβιοτικό στρες. Οι μηχανισμοί δράσης τέτοιων σκευασμάτων δεν είναι ακόμη πλήρως ξεκάθαροι, αλλά η έρευνα έχει επικεντρωθεί σε ρυθμιστές ανάπτυξης φυτών που βρίσκονται σε εκχυλίσματα φυκών, όπως αυξίνες, κυτοκινίνες, αιθυλένιο, γιββερελίνες και αψικικό οξύ, μόρια τεταρτοταγούς αμμωνίου, όπως η βεταΐνη και η προλίνη καθώς και τα μέταλλα και τα ιχνοστοιχεία που έχουν κρίσιμο ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών, μαζί με μόρια που βασίζονται σε λιπίδια όπως οι στερόλες (Arioli et al., 2015).

1.4.5 Αμινοξέα

Τα αμινοξέα αποτελούν μέρος μιας μεγαλύτερης ομάδας βιολογικών ουσιών που ονομάζονται υδρολυμένες πρωτεΐνες. Μπορούν να απομονωθούν με χημική και ενζυματική υδρόλυση πρωτεϊνών από ζωικά και φυτικά υπολείμματα όπως το δέρμα, το αίμα, το ζωικό κολλαγόνο και ελαστίνη και από αγροβιομηχανικά υποπροϊόντα (Du Jardin 2012). Ανάλογα με την πηγή, τα αμινοξέα που περιέχονται στους βιοδιεγέρτες μπορεί να έχουν διαφορετική σύνθεση. Σύμφωνα με τους Parrado et al., (2008), τα αμινοξέα από φυτικές πηγές περιέχουν λίπη, υδατάνθρακες, μακρο- και μικροθρεπτικά στοιχεία και τουλάχιστον έξι φυτοορμόνες με θετικές επιδράσεις στα φυτά, ενώ ένα προϊόν ζωικής προέλευσης έχει παρόμοιο προφίλ αλλά στερείται υδατανθράκων και φυτοορμόνων. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα αμινοξέα φυτικής προέλευσης είναι πλήρως διαλυτά ανεξάρτητα από το pH, ενώ οι πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης έχουν περιορισμένη διαλυτότητα και είναι ουσιαστικά αδιάλυτα σε πολύ όξινο pH. Τα αμινοξέα ως βιοδιεγέρτες μπορούν να εφαρμοστούν με ψεκασμούς φυλλώματος, διαβροχή εδάφους ή επεξεργασία σπόρων. Η πρόσληψή τους μπορεί να συμβεί μέσω των ριζών όταν διαλύονται στη ροή μάζας νερού, μέσω συγκεκριμένων μεταφορέων στις ρίζες ή με διάχυση στα φύλλα. Λόγω της χαμηλής

συγκέντρωσης αζώτου και της δόσης εφαρμογής, τα ευεργετικά τους αποτελέσματα στα φυτά δεν μπορούν να εξηγηθούν από την αύξηση του εφαρμοζόμενου αζώτου (Schimel and Chapin, 1996). Τα αποτελέσματα των αμινοξέων στα φυτά έχουν ερευνηθεί εκτενώς τα τελευταία χρόνια. Θεωρείται ότι προωθούν την ανάπτυξη των φυτών προάγοντας τη μικροβιακή δραστηριότητα και την ανοργανοποίηση των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, τη χηλικοποίηση των θρεπτικών συστατικών που τα καθιστούν πιο άμεσα διαθέσιμα και αυξάνοντας τη δραστηριότητα των ενζύμων αφομοίωσης του NO_3^- . Ωστόσο, περιπτώσεις φυτοτοξικότητας έχουν αναφερθεί μετά από επανειλημμένη εφαρμογή βιοδιεγερτών που περιέχουν αμινοξέα ζωικής προέλευσης. Η εφαρμογή τέτοιου τύπου σκευασμάτων σε σπορόφυτα τομάτας είχε ως αποτέλεσμα σοβαρή καταστολή της ανάπτυξης των φυτών (Cerdán et al., 2009). Οι Lisiecka et al., (2011) ανέφερε σημαντική μείωση στο βάρος των φυτών φράουλας μετά την εφαρμογή βιοδιεγερτών ζωικής προέλευσης.

1.5 Ωφέλιμοι Μικροοργανισμοί

Είναι ευρέως γνωστό ότι τα φυτά μπορούν να δημιουργήσουν συμβιωτικές σχέσεις με μικροοργανισμούς και τις τελευταίες δεκαετίες γίνονται σημαντικές προσπάθειες για την εκμετάλλευσή τους, ειδικά σε αναπτυσσόμενες χώρες και άνυδρες περιοχές (Hayat et al., 2010). Σε αυτό το πλαίσιο, οι ωφέλιμοι μικροοργανισμοί αποτελούν μια σημαντική ομάδα βιοδιεγερτών, που περιλαμβάνουν μύκητες και βακτήρια που αλληλοεπιδρούν με τις καλλιέργειες. Τα τελευταία χρόνια έχουν καταγραφεί πάνω από 149 μικροβιακά στελέχη για χρήση στην γεωργία (Preininger et al., 2018). Οι Bashan και Holguin (1998) τα ταξινόμησαν σε δύο κατηγορίες, ως παράγοντες βιοελέγχου (βιοπαρασιτοκτόνα) ή βιολιπάσματα. Μικροοργανισμοί με τη δυνατότητα να δρουν ως βιοδιεγέρτες έχουν απομονωθεί από μια σειρά οικοσυστημάτων όπως το έδαφος, τα φυτά, τα φυτικά υπολείμματα, το νερό και η κομποστοποιημένη κοπριά. Τα προϊόντα που δρουν ως βιολιπάσματα περιέχουν κυρίως ελεύθερους μικροοργανισμούς όπως βακτήρια και μύκητες (Berg 2009). Τα βακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών είναι μεταξύ των ωφέλιμων μικροοργανισμών που έχουν μελετηθεί εκτενώς τις τελευταίες δεκαετίες. Μπορούν να εφαρμοστούν ως επικαλύψεις σπόρων, εμβαπτίσεις ριζών, βελτιωτικά εδάφους ή ψεκασμοί φυλλώματος (Preininger et al., 2018). Η αποτελεσματικότητα των μικροβιακών εμβολιασμών εξαρτάται από τη σύνθεση των εμπορικών προϊόντων. Οι παρασκευαστές πρέπει να βρουν μια

μικροβιακή κοινότητα για την κάθε καλλιέργεια, τη σωστή μέθοδο εφαρμογής και τα υλικά μεταφοράς. Η τύρφη, η κοπριά, το λίπασμα, το πριονίδι ή ο βερμικουλίτης (Smith 1992) μπορούν να θεωρηθούν ως αβιοτικά υποστρώματα που μπορούν να παρέχουν ένα κατάλληλο μικροπεριβάλλον για τη μικροβιακή κοινότητα ώστε να αποφευχθεί η ταχεία μείωση της βιωσιμότητας των κυττάρων κατά την αποθήκευση. Επιπλέον, ο ρόλος τους είναι να τους βοηθήσουν να ανταγωνιστούν την είδη εγκατεστημένη μικροβιακή κοινότητα (Vassilev et al., 2020). Οι περισσότερες έρευνες έχουν διεξαχθεί για βακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών (PGPB: Plant Growth Promoting Bacteria) και τις επιπτώσεις τους στις καλλιέργειες. Μερικά από τα πιο μελετημένα βακτήρια ανήκουν στα γένη *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pantoea*, *Pseudomonas* και *Rhizobium* (Ferreira et al., 2019).

1.5.1 Αζωτοδέσμευση

Μόνο ορισμένοι προκαρυωτικοί οργανισμοί (Βακτήρια) έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν το άζωτο της ατμόσφαιρας μέσω της διαδικασίας που ονομάζεται αζωτοδέσμευση . Η διαδικασία αυτή περιέχει την μετατροπή του ατμοσφαιρικού αζώτου N_2 σε αμμωνία (NH_3), μια μορφή που μπορεί να απορροφηθεί από τα φυτά .Τα βακτήρια που είναι υπεύθυνα για την αζωτοδέσμευση καλούνται διαζωτροφικά. Αυτά μπορούν και συνθέτουν την νιτρογενάση, το ένζυμο που καταλύει την μετατροπή του αέριου αζώτου σε αμμωνία. Το ένζυμο αυτό , βρίσκεται τόσο σε ελεύθερα όσο και σε συμβιωτικά διαζωτροφικά βακτήρια . Όσον αφορά τα συμβιωτικά, διάφοροι τύποι αλληλεπιδράσεων υπάρχουν μεταξύ των βακτηρίων και των ξενιστών τους . Η πιο αποτελεσματική από αυτές για την διαδικασία της αζωτοδέσμευσης φαίνεται να είναι ο σχηματισμός φυματίων στις ρίζες των φυτών . Τα βακτήρια που συμμετέχουν στο σχηματισμό φυματίων ανήκουν ως επί το πλείστον στα γένη *Rhizobium* (αρνητικά κατά Gram) και *Frankia* (θετικά κατά Gram) . Τα πρώτα σχηματίζουν συμβιωτικές σχέσεις με ψυχανθή (Leguminosae) ενώ τα δεύτερα με δέντρα και θάμνους που έχουν ξυλώδεις ρίζες , εκτός από το γένος *Datisca*, το οποίο είναι ποώδες .Οι ξενιστές που σχηματίζουν συμβιωτικές σχέσεις με ακτινοβακτήρια *Frankia*, μπορούν να βρεθούν παγκοσμίως από ψυχρές περιοχές (εκτός της Ανταρκτικής) μέχρι σε πολύ ζεστές. Πολλά από αυτά τα φυτά μπορούν να σχηματίσουν και μυκορριζικές σχέσεις (φυτό ξενιστής –*Frankia* – μυκόριζα) , γεγονός που τους δίνουν την ικανότητα να μεγαλώνουν σε πολύ φτωχά εδάφη (Dawson 2008). Κάποια είδη φαίνεται να μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα σε

πλημμυρισμένες εκτάσεις, σε ξηροθερμικές συνθήκες, σε μολυσμένα εδάφη, σε ακραίες τιμές pH και υψηλή αλατότητα, με αποτέλεσμα να παίζουν σημαντικό οικολογικό ρόλο και χρησιμοποιούνται εντατικά στην ανάπλαση διαφορετικών τοπίων και στην αποφυγή ερημοποίησης περιοχών. Φυτά της οικογένειας *Casuarinaceae* χρησιμοποιούνται στην Αφρική σε παράκτιες εκτάσεις αλλά και ανάμεσα από γεωργικές εκμεταλλεύσεις για την αποκατάσταση εδαφών με υψηλή αλατότητα (Diem and Dommergues, 1990). Υπολογίζεται ότι σε κλιματικές συνθήκες τύπου arid, η ποσότητα αζώτου που δεσμεύουν φθάνει τα 15 kg ανά εκτάριο το χρόνο ενώ σε πιο ήπιες συνθήκες μέχρι τα 300 kg ανά εκτάριο το χρόνο. Έχουν γίνει αρκετές μελέτες για την ελεύθερη αλλά και την συμβιωτική σχέση των ακτινοβακτηρίων σε συνάρτηση με τους ξενιστές τους. Σε σύγκριση με τα *Rhizobium* τα ακτινοβακτήρια του γένους *Frankia* είναι πιο ενεργά στα φυμάτια, με αποτέλεσμα να εξαρτάται λιγότερο από το φυτό ξενιστή στις συμβιωτικές απαιτήσεις και, ως εκ τούτου, η μεταβολική δραστηριότητα είναι υψηλότερη (Alloisio et al., 2010). Παρά το γεγονός ότι τα διάφορα στελέχη *Frankia* παρουσιάζουν διακύμανση όσον αφορά τις θέσεις στους στο έδαφος, η έρευνα επικεντρώνεται στη ζωή του ως συμβιωτικός οργανισμός στα φυμάτια των ριζών. Τα βακτηρία του γένους *Rhizobia* φαίνεται να έχουν την μεγαλύτερη διακύμανση όσον αφορά το είδος τον ξενιστών με τους οποίους σχηματίζουν συμβιωτικές σχέσεις. Για παράδειγμα το *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* σχηματίζει συμβιωτικές σχέσεις μόνο με τα Ευρωπαϊκά είδη μπιζελιού (Lie 1978), ενώ το *Rhizobium meliloti* μόνο με τα είδη *Medicago* (*Alfafa*), *Melilotus* και *Trigonella* (Trinick 1982). Μόνο το φυτό *Parasponia* sp. που δεν ανήκει στην κατηγορία των ψυχανθών μπορεί να σχηματίσει φυμάτια από *Rhizobia* (Trinick 1973, Akkermans et al., 1978).

1.5.2 Μικροοργανισμοί στην φυλλόσφαιρα

Οι Moore (1963), Parker (1957) και Stevenson (1954) παρατήρησαν για πρώτη φορά την αύξηση της περιεκτικότητας του εδάφους σε άζωτο κάτω από καλλιέργειες μη-ψυχανθών φυτών, γεγονός που το απέδωσαν στη μη-συμβιωτική αζωτοδέσμευση από μικροοργανισμούς. Μετρήθηκε πως η δέσμευση αζώτου κυμαίνονταν από 22 kg έως 65 kg ανά εκτάριο σε συνθήκες αγρού ενώ σε πειράματα θερμοκηπίου, 100 kg έως 130 kg ανά εκτάριο στο σύστημα έδαφος-φυτό σε καλλιέργειες μη-ψυχανθών. Η δέσμευση αζώτου σε καλλιέργειες ψυχανθών κυμαίνονταν από 100 kg έως 200 kg αζώτου ανά εκτάριο. Ο Ruinen (1961) υπέθεσε πως μια καλά εδραιωμένη και ισορροπημένη μικροβιακή κοινότητα στην φυλλόσφαιρα μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην κάλυψη των απαιτήσεων της

καλλιέργειας σε άζωτο . Στη συνέχεια της θεωρίας του, υποστήριξε πως τα φυτά δεν ευνοούνταν μόνο από την αζωτοδέσμευση που λάμβανε χώρα στα φύλλα αλλά και από την απορρόφηση μέσω των ριζών , των παραγόμενων προϊόντων της μικροβιακής κοινότητας που καταλήγουν στο έδαφος μέσω της βροχόπτωσης ή της υψηλής σχετικής υγρασίας .Η θεωρία του υποστηρίχτηκε αργότερα από τις αναφορές των Dalbro (1955) και Tukey et al., (1957) πως η οργανική ύλη σε εκκρίματα από την φυλλική επιφάνεια της καλλιέργειας ισούται με ένα τόνο το εκτάριο, γεγονός που φαίνεται να προσφέρει το απαιτούμενο ενεργειακό υπόστρωμα για την μη- συμβιωτική αζωτοδέσμευση από βακτήρια στην φυλλική επιφάνεια .Για αυτού του είδους την σχέση μεταξύ φυτών και μικροβιακής κοινότητας σημαντική φαίνεται να είναι η παρουσία νερού στην φυλλική επιφάνεια τόσο για την επιβίωση όσο και για την ανταλλαγή προϊόντων από τα βακτήρια και το φυτό. Η φυλλόσφαιρα θεωρείται εχθρικό περιβάλλον για την επιβίωση και τον αποικισμό από μικροοργανισμούς λόγω της άμεσης έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, στην θερμοκρασία, στην υγρασία και διαφορετική διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών (Lindow and Brandl 2003, Vorholt 2012). Παρ 'όλα αυτά, έχει βρεθεί πως η φυλλόσφαιρα κατοικείται από ένα μεγάλο και διαφορετικό αριθμό μικροβίων όπως βακτήρια, μύκητες, αρχαία και άλλους μικροοργανισμούς που έχουν παθογόνες, αμοιβαίες ή και ουδέτερες αλληλεπιδράσεις με το ξενιστή φυτό . Οι μικροοργανισμοί που εκτιμάται ότι βρίσκονται σε αφθονία στην επιφάνεια των φύλλων είναι τα βακτήρια με πυκνότητες που φτάνουν τα 10⁸ κύτταρα ανά cm² (Leveau 2006). Πιο πρόσφατες εξελίξεις στις μοριακές τεχνικές αναγνώρισης, ανεξάρτητες από την καλλιέργεια, έχουν αναδείξει πως στην φυλλόσφαιρα βρίσκεται μια πολύπλοκη μικροβιακή κοινότητα. Σε ένα ευρύ φάσμα καλλιεργειών όπως σιτάρι, ρύζι, μήλο, μαρούλι και σπανάκι, έχει βρεθεί πως η βακτηριακή κοινότητα αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από τα φύλα Actinobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes και Proteobacteria (Bulgarelli et al., 2013). Σε επίπεδο γένους τα *Pseudomonas*, *Sphingomonas*, *Methylobacterium*, *Bacillus*, *Massilia*, *Arthrobacter* και *Pantoea* φαίνεται να είναι τα επικρατέστερα στην φυλλική επιφάνεια των καλλιεργειών .Γενικά, οι μικροοργανισμοί που αποικούν τα υπέργεια τμήματα των φυτών καλούνται επιφυτικοί, αυτά που αποικούν τις ρίζες ριζοσφαιρικά ενώ αυτά που μπορούν να απομονωθούν από τους εσωτερικούς ιστούς ονομάζονται ενδόφυτα .

1.5.3 Επιφυτικά βακτήρια

Ο όρος «επιφυτικό» σχηματίζεται από τις λέξεις «επί» που σημαίνει επάνω και «φυτό» .Ορισμοί για τα επιφυτικά βακτήρια έχουν δοθεί από τους Beattie και Lindow (1995) οι οποίοι τα περιγράφουν ως βακτήρια ικανά να αναπτυχθούν στην επιφάνεια του φυτού και μπορούν να αφαιρεθούν με πλύσιμο ή θανάτωση από υπεριώδη ακτινοβολία ή χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την απολύμανση επιφανειών. Ο πληθυσμός των μικροβιακών κοινοτήτων στα φυτά εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως περιβαλλοντικές συνθήκες, η θέση των φύλλων και η χημική σύνθεση της επιδερμίδας . Οι Leveau και Lindow 2001 υποστήριξαν πως αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων από το φυτό στον μικροβιακό πληθυσμό. Τα βακτήρια στηρίζονται από τα θρεπτικά στοιχεία ,που εκκρίνονται από την φυλλική επιφάνεια, για την εγκατάσταση και την ανάπτυξή τους. Η ικανότητα τους να αποικούν τα φύλλα εξαρτάται επίσης από την παρουσία των νεύρων, των στοματίων και επιφανειακών κατασκευών όπως τριχίδια . Η κύρια πηγή θρεπτικών για τα βακτήρια είναι τα εκκρίματα από την φυλλική επιφάνεια (Wal and Leveau 2011). Οι Fiala et al., 1990, Mercier και Lindow 2000 σε μια προσπάθεια να αναγνωρίσουν την σύσταση αυτών των εκκριμάτων σε διάφορες καλλιέργειες όπως αραβόσιτος, πράσο, φασόλι, καπνό κ.α. , σε συνθήκες αγρού και θερμοκηπίου, βρήκαν διάφορες ποσότητες από υδατάνθρακες, λιπίδια και τα αμινοξέα ως αποτέλεσμα ενζυμικών αναλύσεων και υγρής χρωματογραφίας .Περεταίρω ανάλυση της σύστασης αυτών των στοιχείων στα φύλλα του κάρδαμου (*Arabidopsis thaliana*) από τους Ryffel et al., (2016) έδειξε πως η σακχαρόζη, η φρουκτόζη και γλυκόζη ήταν οι κύριοι υδατάνθρακες . Τα μικρόβια μπορούν να φθάσουν στην επιφάνεια των φύλλων του φυτού μέσω της βροχής, του ανέμου ή με την κινητικότητα των εντόμων. Οι Hirano et al., 1996 και Lilley et al., 1997 υποστήριξαν πως οι κύριες πηγές βακτηρίων στην φυλλόσφαιρα είναι ο αέρας και το έδαφος . Όταν αυτοί οι μικροοργανισμοί φτάνουν στην φυλλική επιφάνεια υπόκεινται σε δυσμενείς συνθήκες όπως η διαθεσιμότητα νερού, η έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία UV και η περιορισμένη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων (Sundin and Jacobs 1999). Για να αντιμετωπίσουν αυτές τις συνθήκες οι μικροοργανισμοί έχουν αναπτύξει διαφορετικές στρατηγικές όπως η παραγωγή φωτοπροστατευτικών χρωστικών ουσιών και την έκκριση των πολυσακχαριτών (Ophir and Gutnick 1994) . Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επιφυτικών βακτηρίων διαφοροποιείται από φυτό σε φυτό . Για να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε καλύτερα την οικολογική αλλά και την πρακτική σημασία τους για τις καλλιέργειές είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε σε μεγαλύτερο βάθος τις σχέσεις μεταξύ των μικροοργανισμών και των φυτών ξενιστών τους

.Τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται ολοένα και περισσότερα δεδομένα που υποστηρίζουν πως τέτοιου είδους βακτήρια παίζουν σημαντικό ρόλο στην ευρωστία των φυτών αλλά και στην ανάπτυξη και την ποιότητα των καλλιεργειών . Είναι γνωστό πως τα επιφυτικά βακτήρια διεγείρουν την ανάπτυξη των φυτών μέσω διαφορετικών μηχανισμών και έχουν την ικανότητα να καταστέλλουν την παθογόνο δράση άλλων μικροοργανισμών (Lindow and Brandl 2003, Rasche et al., 2006).

1.5.4 Ενδόφυτα βακτήρια

Η θεωρία πως μη-παθογόνα βακτήρια μπορούν αποικίζουν το εσωτερικό των ιστών των φυτών διατυπώθηκε από τον Perroti το 1926 . Από το 1940 και έπειτα έχουν γίνει πολλές αναφορές για την παρουσία ενδόφυτων βακτηρίων σε διάφορους ιστούς των φυτών όπως σε σπόρους (Mundt and Hinkle 1976) , σε κονδύλους (Trevet and Hollis 1948), στις ρίζες (Philipshon and Blair 1957) , σε στελέχη και φύλλα (Henning and Villforth 1940) και σε καρπούς (Sharrock et al. 1991). Έχουν δοθεί αρκετοί ορισμοί για τον όρο ενδόφυτα . Ο Kado (1992) τα χαρακτήρισε ως «βακτήρια που ζουν μέσα φυτικούς ιστούς χωρίς να κάνουν ουσιαστική βλάβη ή να έχουν ενεργειακό όφελος πέρα από τις ευνοϊκές συνθήκες επιβίωσης" . Ο Quispel (1992) θεώρησε τα ενδόφυτα ως βακτήρια που δημιουργούν ενδοσυμβίωση με το φυτό, το οποίο λαμβάνει ένα οικολογικό όφελος από την παρουσία του βακτηρίου, όπως η αύξηση της αντοχής στο στρες και την προώθηση της ανάπτυξης. Όπως ο προηγούμενος έτσι και αυτός ο ορισμός περιορίζει το εύρος των βακτηρίων που μπορούν να βρεθούν να αποικίζουν το εσωτερικό των φυτών καθώς αποκλείει αυτά που έχουν ουδέτερη ή ελάχιστη επίδραση στο φυτό . Ο ορισμός που φαίνεται να καλύπτει τις περισσότερες περιπτώσεις είναι ότι ως ενδόφυτα βακτήρια θεωρούνται αυτά που μπορούν να απομονωθούν από την επιφάνεια του φυτικού ιστού ή να εξαχθούν από το εσωτερικό του, και δεν φαίνεται να προκαλεί βλάβες σε αυτό (Hallmann 1997) .Οι Beattie και Lindow (1995) εισήγαγαν τους όρους επιφυτικά και ενδοφυτικά βακτήρια ως δύο άκρα ενός φάσματος που αντικατοπτρίζει τα μοτίβα ανάπτυξης τους, και όχι ως δύο ξεχωριστές ομάδες οργανισμών . Οι ίδιοι προτείνουν ότι υπάρχει μια ενεργή ανταλλαγή μεταξύ των βακτηρίων εσωτερικών και εξωτερικών πληθυσμών αλλά στην πραγματικότητα είναι πιο πιθανό να υπάρχουν βακτήρια ικανά να είναι μόνο επιφύτα ή ενδοφύτα. Τα ενδοφύτα βακτήρια μπορούν να έχουν εν μέρει ή εξ ολοκλήρου τον κύκλο ζωής τους μέσα στο φυτό και

βρίσκονται συνήθως σε ενδοκυτταρικούς χώρους ή στον αγγειακό ιστό (Kandel et al., 2017). Γενικά, τα ενδοφυτικά βακτήρια έχουν ικανότητα να αποικίζουν τη ρίζα, τα στελέχη, τα φύλλα, τους καρπούς και τους σπόρους, ωστόσο ο πληθυσμός τους μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το φυτικό τμήμα, το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και τις οικολογικές θέσεις (Kuklinsky-Sobral et al., 2004). Ακόμα η ικανότητα τους να αποικίζουν το εσωτερικό των φυτών επηρεάζεται και από την φυσιολογία φυτικών κυττάρων (Conrath et al., 2006). Η ενδοφυτική βακτηριακή κοινότητα εμφανίζει μεταβλητότητα τόσο χρονικά όσο και χωρικά (Alekklett et al. 2014). Η διακύμανση της σύνθεσης της κοινότητας διαφέρει μεταξύ του χώματος και τις ριζόσφαιρας με τους εσωτερικούς ιστούς της ρίζας εξαιτίας βιοτικών παραγόντων (είδη φυτών και γονότυπο), αβιοτικών παραγόντων (χαρακτηριστικά του εδάφους) (Emiliani et al., 2014), αλλά επίσης μεταξύ των διαφορετικών ιστών (στελέχη, φύλλα και πτηνά) του εναέριου τμήματος του φυτού (Bodenhause et al., 2013). Έχουν γίνει αρκετές μοριακές μελέτες για την απομόνωση και αναγνώριση ενδόφυτων βακτηρίων. Τα βακτήρια που βρέθηκαν σε μεγαλύτερη αφθονία στο εσωτερικό φυτών ανήκουν στις τάξεις Cellulomonas, Clavibacter, Curtobacterium, Pseudomonas και Microbacterium (Zinniel et al., 2002). Για την ικανότητα τους να αποικίζουν το εσωτερικό φυτικών ιστών αλλά και να προωθούν την ανάπτυξη τους με διάφορους μηχανισμούς έχουν αναγνωριστεί διάφορα βακτήρια όπως *Achromobacter xylosoxidans*, *Azoarcus* sp., *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Cronobacter sakazakii*, *Enterobacter cloacae*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Klebsiella*, *Kocuria rhizophila*, *Pseudomonas*, *Ochrobactrum anthropi*, *Serratia* spp., *Sphingomonas* sp. και *Pantoea alhagi*.

1.6 Μηχανισμοί προώθησης της ανάπτυξης των φυτών

1.6.1 Σύνθεση ορμονών

Φυτοορμόνες όπως οι αυξίνες, οι κυτοκινίνες, οι γιββερελίνες, το αιθυλένιο και το αψικικό οξύ (ABA) παίζουν βασικό ρόλο στη ρύθμιση της ανάπτυξης των φυτών (Salisbury & Ross 1992). Όταν τα φυτά αντιμετωπίζουν δυσμενής περιβαλλοντικές συνθήκες, τα επίπεδα των ενδογενών φυτοορμονών είναι συχνά ανεπαρκή για τη βέλτιστη ανάπτυξη (De Salamone et al., 2005). Έχει αποδειχθεί πως ωφέλιμοι μικροοργανισμοί όπως συγκεκριμένα βακτήρια μπορούν να παράγουν φυτοορμόνες ανάπτυξη (De Salamone et al., 2005) με αποτέλεσμα να

αλλάζουν τα επίπεδα τέτοιων ουσιών και να επηρεάσουν την ορμονική ισορροπία του φυτού και την απόκρισή του στο στρες (Glick et al., 2007).

Η παρουσία του αιθυλενίου σε όλα τα ανώτερα φυτά, χαρακτηρίζει τη σημασία του στη ρύθμιση της φυσιολογικής κυτταρικής ανάπτυξης των φυτών, καθώς και τον σημαντικό ρόλο του στα φυτά για την καταπολέμηση διαφόρων επιπέδων στρες (Abeles et al., 1992). Σχεδόν όλοι οι φυτικοί ιστοί και τα στάδια επηρεάζονται από το αιθυλένιο. Αυξημένα επίπεδα αιθυλενίου που προκαλούνται από ορισμένες καταπονήσεις είναι γνωστό ότι αναστέλλουν την ανάπτυξη του φυτού (Ivanchenko et al., 2008). Η αυξημένη συγκέντρωση αιθυλενίου στα φυτά είναι απόκριση σε διάφορες καταπονήσεις, όπως η παρουσία μετάλλων, ακραίες θερμοκρασίες, χημικές ουσίες (οργανικές και ανόργανες), πολύ ή πολύ λίγο νερό, υπεριώδη ακτινοβολία, βλάβες από έντομα και νηματώδεις, προσβολές από μύκητες και βακτήρια καθώς και μηχανικούς τραυματισμούς (Ali et al., 2014, Barnawal et al., 2012). Για πρώτη φορά το 1978, βρέθηκε σε βακτήρια ένα ένζυμο ικανό να αποικοδομεί μια πρόδρομη ουσία του αιθυλενίου, την ACC, σε αμμωνία και α-κετοβουτυρικό (Honma and Shimomura 1978). Η δράση της αποδόμησης αιθυλενίου βρέθηκαν σε ένα ευρύ φάσμα βακτηριακών απομονώσεων, συμπεριλαμβανομένων των *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Burkholderia*, *Ralstonia*, *Pseudomonas* και *Enterobacter* (Blaha et al., 2006)

Πολλοί συχνά αναφέρεται η ικανότητά ωφέλιμων βακτηρίων να παράγουν να παράγουν αυξίνη. Οι Patten και Glick (1996) ανέφεραν ότι περίπου το 80% των μικροβίων της ριζόσφαιρας μπορούσαν να συνθέσουν και να απελευθερώσουν αυξίνη ως δευτερογενή μεταβολίτη. Αρκετός αριθμός γνωστών αυξινών υπάρχουν φυσικά με το ινδολο-3-οξικό οξύ (IAA) να ξεχωρίζει ως το πιο μελετημένο (Sraepren et al., 2007). Ωφείμοι μικροοργανισμοί μπορούν να αλλάξουν τα επίπεδα αυξινών των φυτών, αυξάνοντας τελικά το μήκος και την επιφάνεια της ρίζας (Ali et al., 2010).

Ουσίες όπως οι κυτοκίνινες και οι γιββερελίνες ελέγχουν τη διαφοροποίηση των κυττάρων σε φυτικούς μεριστωματικούς ιστούς (De Rybel et al., 2016), και την ενεργοποίηση σημαντικών διαδικασιών ανάπτυξης, όπως η επιμήκυνση του στελέχους, η βλάστηση των σπόρων, η ανθοφορία, η καρπόδεση (Zaidi et al., 2015), η βελτίωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης και η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (Khan et al., 2015). Η ικανότητα των βακτηρίων να συνθέτουν ουσίες που μοιάζουν με γιβερελλίνες περιγράφηκε για πρώτη φορά στο *Azospirillum brasilense* (Tien et al., 1979) και στο *Rhizobium* (Williams and Sicardi de Mallorca 1982). Έκτοτε έχει ανιχνευθεί σε διαφορετικά βακτηριακά γένη που κατοικούν στο ριζικό σύστημα των φυτών, συμπεριλαμβανομένων των *Azotobacter*, *Arthrobacter*,

Azospirillum, Pseudomonas, Bacillus, Acinetobacter, Flavobacterium, Micrococcus, Agrobacterium, Clostridium, Rhizobium, Burkholderia και Xanthomonas. (Joo et al., 2009). Η προώθηση της ανάπτυξης των φυτών από βακτήρια που παράγουν τέτοιες ουσίες έχει αναφερθεί από πολλές μελέτες (Atzhorn et al., 1988, Gutierrez-Manero et al., 2001, Joo et al., 2005, 2009, Kang et al., 2009)

1.6.2 Βιολογική αζωτοδέσμευση

Το άζωτο αποτελεί το πιο σημαντικό στοιχείο για την διατήρηση υψηλών αποδόσεων σχεδόν σε οποιοδήποτε σύστημα γεωργικής εκμετάλλευσης. Είναι γνωστό ότι στα ψυχανθή, το άζωτο που δεσμεύεται από συμβιωτικά βακτήρια παρέχει μια σημαντική ποσότητα που απαιτείται από το φυτό. Όταν βακτήρια που δεσμεύουν άζωτο μπορεί συνυπάρχει ως ενδόφυτο σε μη ψυχανθή φυτά, έχει βρεθεί πως η συνολική περιεκτικότητα του φυτού σε άζωτο αυξάνεται ομοιόμορφα (Oliveira et al., 2002).

Η ικανότητα ενδόφυτων βακτηρίων να δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο μέσα στους φυτικούς ιστούς έχει αποδειχθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές. Πειράματα έδειξαν ότι η αύξηση της περιεκτικότητας σε άζωτο του φυτού κυμαίνονταν από 30-45 mg N ανά φυτό (φυτάρια ηλικίας 6 εβδομάδων) στο ρύζι έως 170 kg N ανά εκτάριο ετησίως σε καλλιέργεια ζαχαροκάλαμου (Boddey et al., 1995). Μερικά από τα πιο υποσχόμενα ενδοφυτικά βακτήρια περιλαμβάνουν μέλη των Azoarcus, Achromobacter, Burkholderia, Gluconoacetobacter, Herbaspirillum, Klebsiella και Serratia (Rothballer et al., 2008, Franche et al., 2009).

1.6.3 Ανοργανοποίηση φωσφόρου

Παρά το γεγονός ότι ο φωσφόρος βρίσκεται σε σχετικά υψηλή συγκέντρωση στο έδαφος (400-1.200 mg/kg⁻¹ εδάφους), το μεγαλύτερο μέρος είναι σε μορφές αδιάλυτες στο νερό και επομένως δεν είναι διαθέσιμος στο φυτό. Τέτοιες μορφές μπορεί να είναι είτε ανόργανες όπως ο απατίτης είτε οργανικές όπως φωσφομονοεστέρες και των φωσφοτριεστέρες (Khan et al., 2007). Ακόμα μεγάλο μέρος του διαλυτού ανόργανου φωσφόρου που προστίθεται ως χημικό λίπασμα ακινητοποιείται αμέσως μετά την εφαρμογή του.

Η περιορισμένη διαθεσιμότητα του φωσφόρου στο έδαφος σε συνδυασμό με το γεγονός ότι είναι απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών σημαίνει ότι η αδυναμία πρόσληψης επαρκούς φωσφόρου συχνά περιορίζει την ανάπτυξη των φυτών (Feng et al., 2004). Έτσι, η ικανότητα συγκεκριμένων βακτηρίων να ανοργανοποιούν τον φώσφορο είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό στην προώθηση της ανάπτυξης των φυτών (Richardson et al., 2001, Rodríguez & Fraga, 1999). Τέτοια βακτήρια παρέχουν φωσφορικά άλατα σε μια μορφή που είναι εύκολα προσβάσιμη στα φυτά. Σύμφωνα με τους Banerjee et al., (2005), οι πιο ισχυροί ανοργανοποιητές φωσφόρου ανήκουν στα γένη *Bacillus*, *Rhizobium* και *Pseudomonas*, καθώς και στα *Azotobacter* και *Azospirillum* (Saharan and Nehra, 2011).

Ο κύριος μηχανισμός της ανοργανοποίησης του φωσφόρου είναι η χρήση ενώσεων που διαλύουν τα ορυκτά όπως ιόντα υδροξυλίου, οργανικά οξέα, πρωτόνια και διοξείδιο του άνθρακα (Rodríguez and Fraga, 1999). Τα οργανικά οξέα παράγονται μαζί με τα ιόντα καρβοξυλίου και υδροξυλίου τους χηλικοποιούν κατιόντα ή μειώνουν το pH με αποτέλεσμα την απελευθέρωση φωσφορικών αλάτων (Khosro, 2012). Τα οργανικά οξέα είναι είτε γλυκονικά είτε κετογλυκονικά οξέα που παράγονται και απεκκρίνονται από βακτήρια με αποτέλεσμα την οξίνιση του εδαφικού διαλύματος και επομένως την απελευθέρωση φωσφορικών ιόντων. Έτσι, το pH της ριζόσφαιρας και η διαθεσιμότητα του φωσφόρου συνδέονται αντιστρόφως.

1.6.4 Παραγωγή σιδηροφόρων

Παρά το γεγονός ότι ο σίδηρος είναι το τέταρτο πιο άφθονο στοιχείο στη γη, στα αερόβια εδάφη, ο σίδηρος δεν αφομοιώνεται εύκολα από τα φυτά, επειδή το ιόν σιδήρου ή το Fe^{+3} , που είναι η κυρίαρχη μορφή στη φύση, είναι ελάχιστα διαλυτό (Ma, 2005). Τόσο οι μικροοργανισμοί του εδάφους όσο και τα φυτά απαιτούν υψηλές ποσότητες σιδήρου με την πρόσληψη του να δυσκολεύει εξαιτίας του ανταγωνισμού μεταξύ βακτηρίων και μυκήτων (Guerinot & Yi, 1994).

Φυτά όπως το σιτάρι (*Triticum aestivum*), το κριθάρι (*Hordeum vulgare*), το ρύζι (*Oryza sativa*) και το καλαμπόκι (*Z. mays*), βασίζονται στη σύνθεση των χηλικών παραγόντων που ονομάζονται φυτοσιδεροφόρες και στην πρόσληψη του συμπλέγματος Fe -φυτοσιδεροφόρων στο κύτταρο της ρίζας (Curie et al., 2001, Von Wirén et al., 1994).

Βακτήρια μπορούν να συνθέτουν σιδεροφόρες χαμηλής μοριακής μάζας διευκολύνοντας έτσι την πρόσληψη σιδήρου από τα φυτά . Υπάρχουν πάνω από 500 γνωστές σιδεροφόρες.

Εκτός από τη αύξηση της πρόσληψης σιδήρου τα ωφέλιμα βακτήρια φαίνεται να μπορούν να ευνοούν τα φυτά και με άλλους τρόπους .Τα μικρόβια που παράγουν σιδεροφόρες μπορούν να αποτρέψουν ή να μειώσουν τον πολλαπλασιασμό των παθογόνων μειώνοντας την ποσότητα σιδήρου που είναι διαθέσιμη σε αυτά (Shen et al., 2013). Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου βιοελέγχου βασίζεται στο γεγονός ότι οι σιδεροφόρες που παράγονται από ωφέλιμα βακτήρια έχουν πολύ υψηλότερη συγγένεια με τον σίδηρο από τις μυκητιακές σιδεροφόρες (Kloerper et al., 1980).

2 ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εκτίμηση της επίδρασης του μικροβιακού βιοδιεγέρτη στην ανάπτυξη, απόδοση και ποιότητα καλλιέργειας σκληρού σίτου , εξετάζοντας την ενδεχόμενη μείωση των εφαρμοζόμενων αζωτούχων λιπασμάτων. Ακόμα, διερευνάται η επίδραση του βιοδιεγέρτη στην αποτελεσματικότητα της χημικής ζιζανιοκτονίας. Συνεπώς , στόχος της μελέτης είναι η ανάδειξη εναλλακτικών λύσεων στα χημικά λιπάσματα , τονίζοντας τα οφέλη τόσο στην ανάπτυξη αλλά και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της καλλιέργειας.

3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Εγκατάσταση του πειράματος

Κατά την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021 διεξήχθη πείραμα αγρού στην περιοχή της Ομβριακής Δομοκού (39°06'09''N, 22°17'53''E) στην καλλιέργεια του σκληρού σιταριού (*Triticum durum* Desf.). Η εγκατάσταση της καλλιέργειας σε πειραματικό αγρό. Για την προετοιμασία της σποροκλίνης πραγματοποιήθηκε, ένα μήνα περίπου πριν τη σπορά της καλλιέργειας (17/10/2020), φθινοπωρινή άρση (βάθος κατεργασίας: 30 cm) και ακολούθησε εδαφοκατεργασία με χρήση καλλιεργητή. Ως φυτικό υλικό επιλέχθηκε η ποικιλία «Maesta». Σε όλα τα πειραματικά τεμάχια, η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 13/11/2020 με πυκνότητα σπόρου 240 kg ha⁻¹ και 15 cm αποστάσεις μεταξύ των γραμμών σποράς (βάθος σποράς: 5 cm). Το έδαφος του πειραματικού αγρού (βάθος δειγματοληψίας εδάφους: 0-30 cm) ήταν αργιλώδες (clay loam) με τιμή pH = 6,79 και 1,41% περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Πίνακας 3.1).

| Χαρακτηριστικό | Προσδιορισμός/Τιμή |
|---|--------------------|
| Κοκκομετρική σύσταση | Αργιλώδες (Clay) |
| pH | 6,79 |
| CaCO ₃ (%) | 1,20 |
| Οργανική ουσία (%) | 1,41 |
| N (%) | 0,11 |
| P ₂ O ₅ Olsen (ppm) | 12,56 |
| K ⁺ (meq/100 g εδάφους) | 0,28 |
| Ca ²⁺ (meq/100 g εδάφους) | 26,50 |
| Mg ²⁺ (meq/100 g εδάφους) | 9,60 |
| Na ⁺ (meq/100 g εδάφους) | 0,45 |

Πίνακας 3.1.1 Ανάλυση των χαρακτηριστικών του εδάφους του πειραματικού αγρού.

Αναφορικά με τα κλιματικά δεδομένα που επικράτησαν στην πειραματική περιοχή, χαμηλές τιμές θερμοκρασίας εμφανίστηκαν κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Το μέγιστο ύψη βροχόπτωσης (109,6 mm) σημειώθηκε κατά τον

Ιανουάριο ενώ παρατηρήθηκαν βροχοπτώσεις και κατά την περίοδο της άνοιξης (Πίνακας 3.1.2)

| Μήνας | Mean T (°C) | Max T (°C) | Min T (°C) | Βροχόπτωση (mm) |
|-------------|-------------|------------|------------|-----------------|
| Νοέμβριος | 9,4 | 16,9 | 3,7 | 22,8 |
| Δεκέμβριος | 8,2 | 16,5 | 2,5 | 59,2 |
| Ιανουάριος | 6,7 | 18,7 | -7,7 | 109,6 |
| Φεβρουάριος | 7,7 | 21,2 | -7,1 | 20,8 |
| Μάρτιος | 7,3 | 18,1 | -0,9 | 61,8 |
| Απρίλιος | 11,7 | 27,3 | 0,7 | 27,8 |
| Μάιος | 18,2 | 33,9 | 7,7 | 68 |
| Ιούνιος | 21,2 | 33,8 | 11,1 | 25 |

Πίνακας 3.1.2 Τα μετεωρολογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την πειραματική περίοδο (2020-2021) για την περιοχή της Ομβριακής Δομοκού (Mean T: Μέση θερμοκρασία, Max T: Μέγιστη θερμοκρασία, Min T: Ελάχιστη θερμοκρασία).

Το πείραμα διεξήχθη σύμφωνα με το σχέδιο των Τυχαιοποιημένων Πλήρων Ομάδων (ΤΠΟ: Completely Randomized Block Design: RCBD) σε τέσσερις επαναλήψεις. Πραγματοποιήθηκαν τέσσερις πειραματικές επεμβάσεις οι οποίες ήταν: εφαρμογή της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης (100% N) χωρίς χημική ζιζανιοκτονία (T1), εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη μαζί με το 20 % της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης (20% N) χωρίς χημική ζιζανιοκτονία (T2), εφαρμογή της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης (100% N) με χημική ζιζανιοκτονία (T3) και εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη μαζί με το 20% της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης (20% N) μαζί με χημική ζιζανιοκτονία (T4).

| | | | | |
|-------------|----|----|----|----|
| Επανάληψη 1 | T1 | T2 | T3 | T4 |
| Επανάληψη 2 | T2 | T3 | T4 | T1 |
| Επανάληψη 3 | T3 | T4 | T1 | T2 |
| Επανάληψη 4 | T4 | T1 | T2 | T3 |

Εικόνα 3.1.1 Κάτοψη του πειραματικού αγρού.



Εικόνα 3.1.2 Ο πειραματικός αγρός μετά τη σπορά της καλλιέργειας.

Η έκταση κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 10 m^2 (2 m μήκος x 5 m πλάτος) και ως αποτέλεσμα η συνολική έκταση του πειραματικού αγρού ήταν 160 m^2 . Για την λίπανση της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκε το σύμμεκτο λίπασμα Avail Ultra της Teofert (20-23-0 + 0,01Cu + 0,01Zn με παρεμποδιστή νιτροποίησης; Teofert A.E., Αθήνα, Ελλάδα). Η συνιστάμενη δόση εφαρμογή του λιπάσματος ήταν 280 kg ha^{-1} που είχε ως αποτέλεσμα την εφαρμογή $56 \text{ kg αζώτου (N) ha}^{-1}$ (100% N) στα

πειραματικά τεμάχια των επεμβάσεων T1 και T3. Αντίστοιχα, εφαρμόστηκαν 11,2 kg N ha⁻¹ (20% N) στα τεμάχια των επεμβάσεων T2 και T4. Η ενσωμάτωση του λιπάσματος πραγματοποιήθηκε ως βασική λίπανση πριν τη σπορά της καλλιέργειας στην δόση εφαρμογής του λιπάσματος που προέβλεπε η κάθε επέμβαση. Για τη μεταφυτρωτική χημική ζιζανιοκτονία (επεμβάσεις T3, T4) έγινε εφαρμογή του ετοιμόχρηστου μείγματος εκλεκτικών ζιζανιοκτόνων (Atlantis Activ® WG, Bayer Ελλάς A.B.E.E., Αθήνα, Ελλάδα) mesosulfuron-methyl (δόση εφαρμογής: 14,85 g δ.ου. ha⁻¹) iodosulfuron-methyl-sodium (δόση εφαρμογής: 2,97 g δ.ου. ha⁻¹) και thiencazone-methyl (δόση εφαρμογής: 4,95 g δ.ου. ha⁻¹). Η εφαρμογή του μείγματος ζιζανιοκτόνων πραγματοποιήθηκε στις 25/01/2021 καθώς τα φυτά του σκληρού σιταριού βρίσκονταν στο αδελφωμα. Η εφαρμογή έγινε με ηλεκτρική ψεκαστήρα (Viorsec Elettra Venus, Viorsec Kalimeris 1965 A.E., Αθήνα, Ελλάδα) εξοπλισμένη με κωνικό ακροφύσιο (γωνία εφαρμογής: 80°) η οποία μετέφερε 300 L ha⁻¹ ψεκαστικού υγρού με σταθερή πίεση 200 kPa. Η εφαρμογή του βιοδιεγέρτη (Humofert A.E., Αθήνα, Ελλάδα) έγινε με διαφυλλικό ψεκασμό στη δόση των 5 L ha⁻¹ (επεμβάσεις T2, T4). Ακολούθησε η εφαρμογή μικροβιακού βιοδιεγέρτη (Humofert A.E., Αθήνα, Ελλάδα) έγινε με διαφυλλικό ψεκασμό στη μέγιστη συνιστάμενη δόση των 5 L ha⁻¹ (επεμβάσεις T2, T4) όταν τα φυτά βρίσκονταν στο ύψος των 15-20 cm. Ο βιοδιεγέρτης είναι ένα μικροβιακό διάλυμα που διεγείρει την ανάπτυξη των φυτών χάρη στη δράση συγκεκριμένων ωφέλιμων αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων, τα οποία έχουν την ικανότητα να διεισδύουν στο υπέργειο τμήμα των φυτών και να γίνονται ενδόφυτα. Η περιεκτικότητα των βακτηρίων ανέρχεται σε 1 × 10¹² cfu L⁻¹.

3.2 Συλλογή δεδομένων

3.2.1 Μετρήσεις πυκνότητας και βιομάζας ζιζανίων

Μια εβδομάδα μετά την εφαρμογή του μείγματος εκλεκτικών ζιζανιοκτόνου, έγινε μόνιμη τοποθέτηση τεσσάρων πλασιών (quadrat) επιφάνειας 0,25 m² (0,5 m × 0,5 m) σε κάθε πειραματικό τεμάχιο σε περιοχές με ομοιόμορφη ζιζανιοχλωρίδα και μακριά από τα περιθώρια. Για τον προσδιορισμό της πυκνότητας των ζιζανίων ανά μονάδα επιφάνειας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις 4 και 8 εβδομάδες μετά την

εφαρμογή μικροβιακού βιοδιεγέρτη (WAT). Στην πρώτη μέτρηση, καταγράφηκε ο αριθμός των ζιζανίων ανά είδος ζιζανίου σε δύο από τις τέσσερις δειγματοληπτικές περιοχές κάθε πειραματικού τεμαχίου. Για την δεύτερη μέτρηση, οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν από τις εναπομείναντες δειγματοληπτικές περιοχές (quadrat) κάθε τεμαχίου. Για κάθε μέτρηση, εκτός των μετρήσεων πυκνότητας ανά είδος ζιζανίου, υπολογίστηκε και η συνολική πυκνότητα των ζιζανίων ανά μονάδα επιφάνειας. Μετά από κάθε μέτρηση πυκνότητας, τα ζιζάνια συγκομίστηκαν σε ύψος 4-5 cm από την επιφάνεια του εδάφους, μεταφέρθηκαν σε αριθμημένες πλαστικές σακούλες και μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Έπειτα από ξήρανση στους 65 °C για 48 ώρες έγινε προσδιορισμός του ξηρού βάρους τους ανά μονάδα επιφάνειας, ανά είδος ζιζανίου, με ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων. Υπολογίστηκε επίσης και για τις δύο μετρήσεις βιομάζας, η συνολική βιομάζα των ζιζανίων ανά μονάδα επιφάνειας.

3.2.2 Στοιχεία ανάπτυξης της καλλιέργειας

Στις ίδιες ημερομηνίες όπου έγινε η συλλογή των δεδομένων της ζιζανιοχλωρίδας, πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις που αφορούσαν τα στοιχεία ανάπτυξης της καλλιέργειας. Σε σύνολο 20 φυτών για κάθε δειγματοληπτική περιοχή, προσδιορίστηκαν ο μέσος αριθμός αδελφιών και το μέσο ύψος της καλλιέργειας ανά φυτό. Στα ίδια σημεία σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, ακολούθησαν οι μετρήσεις του δείκτη NDVI (Normalized Difference Vegetation Index; Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς) με τον αισθητήρα χειρός Trimble® GreenSeeker® (Trimble Agriculture Division, Westminster, CO, USA) που μετρά τις εκπομπές της ερυθρής (NIR – Red) και της υπέρυθρης (NIR + Red) ακτινοβολίας (Tremblay et al., 2009) σύμφωνα με την εξίσωση [1]:

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad [1]$$

Για κάθε μέτρηση ο αισθητήρας κρατήθηκε σταθερός για 5 s σε ύψος 20 cm πάνω από τα φυτά της καλλιέργειας σύμφωνα με τις υποδείξεις της μελέτης των Kong et al. (2009) που πραγματοποιήθηκε στην καλλιέργεια του σιταριού.

3.2.3 Συστατικά της απόδοσης σε καρπό και αποδόσεις της καλλιέργειας

Η συλλογή των δεδομένων που αφορούσαν τα συστατικά της απόδοσης σε καρπό και τις αποδόσεις της καλλιέργειας πραγματοποιήθηκε στις κεντρικές περιοχές κάθε πειραματικού τεμαχίου όπου δεν είχε γίνει συγκομιδή ζιζανίων, από επιφάνεια 1 m² όπως αυτή ορίστηκε από ξύλινο πλαίσιο (quadrat). Προσδιορίστηκαν σε κάθε τεμάχιο, η πυκνότητα των στάχων ανά μονάδα επιφάνειας, αριθμός των καρπών ανά στάχυ και το βάρος 1000 καρπών προκειμένου να υπολογιστεί η τελική απόδοση της καλλιέργειας σε καρπό. Επίσης, σημειώνεται πως τα φυτά συγκομίσθηκαν ολόκληρα (από τα ίδια σημεία σημεία) προκειμένου να υπολογιστεί και η απόδοση της καλλιέργειας σε βιομάζα και ο Δείκτης Συγκομιδής (Harvest Index) σύμφωνα με την εξίσωση σύμφωνα με την εξίσωση [2]:

$$\text{Δείκτης Συγκομιδής (\%)} = \frac{\text{Απόδοση σε καρπό}}{\text{Απόδοση σε καρπό} + \text{Απόδοση σε βιομάζα}} \quad [2]$$

3.2.4 Χαρακτηριστικά ποιότητας καρπού

Ο προσδιορισμός του ποσοστού του αζώτου (N %) των καρπών, που προέρχονταν από κάθε πειραματικό τεμάχιο, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Kjeldahl και το ποσοστό της πρωτεΐνης των καρπών υπολογίστηκε από το γινόμενο του ποσοστού του αζώτου επί τον συντελεστή ειδικό συντελεστή 6,25 (Yunos et al., 2021). Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε υγρή γλουτένη πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο «AACC 38-12.02» (American Association of Cereal Chemists; AACC International, 2000).

3.2.5 Οικονομικότητα και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Για τον προσδιορισμό του οικονομικού οφέλους (€ ha^{-1}) που επιφέρει η κάθε επέμβαση στον παραγωγό για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021, υπολογίστηκαν τα έσοδα που επιφέρει η κάθε επέμβαση βάσει της απόδοσης σε καρπό και της τιμής εκκίνησης του σκληρού σιταριού ($0,25 \text{ € kg}^{-1}$; <https://www.agrotypos.gr/sitira>) για την καλλιεργητική περίοδο (2020-2021). Για τον προσδιορισμό της έκπλυσης του αζώτου (kg N ha^{-1}) στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα για κάθε επέμβαση (υπό μορφή νιτρικών) πραγματοποιήθηκαν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο δειγματοληψίες με λυσιμέτρα (εργαλεία εξαγωγής του εδαφικού διαλύματος από εδάφη και υποστρώματα) μήκους 60 cm (Achema Scientific Equipment - Gorgoroulos Athanasios, Πάτρα, Ελλάδα).

3.3 Στατιστική Ανάλυση των Δεδομένων

Για τα δεδομένα που προέκυψαν από κάθε ξεχωριστή μέτρηση, πραγματοποιήθηκε Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Ως σταθερές (fixed effects) θεωρήθηκαν οι επιδράσεις των παραγόντων της επέμβασης στις υπό μελέτη παραμέτρους ενώ ως τυχαίες θεωρήθηκαν οι επιδράσεις του παράγοντα της επανάληψης (random effects). Οι μέσοι μεταξύ των παραγόντων που προέκυψαν από την κάθε ανάλυση διαχωρίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο της LSD (Least Significance Difference: Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς) του Fischer σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. Κάθε ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πακέτο Statgraphics Centurion XVI (Statgraphics Technologies, Inc., P.O. Box 134, The Plains, VA 20198, USA).

Πραγματοποιήθηκαν γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ της απόδοσης σε καρπό και των τριών συστατικών της απόδοσης. Τα δεδομένα σε κάθε περίπτωση αναλύθηκαν ξεχωριστά. Επιπλέον, συσχετίστηκαν οι τιμές της απόδοσης σε καρπό, και των χαρακτηριστικών ποιότητας με τις τιμές του δείκτη NDVI που καταγράφηκαν οκτώ εβδομάδες (8 WAT) μετά την εφαρμογή μικροβιακού βιοδιεγέρτη. Πραγματοποιήθηκαν επίσης γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ των τιμών της απόδοσης

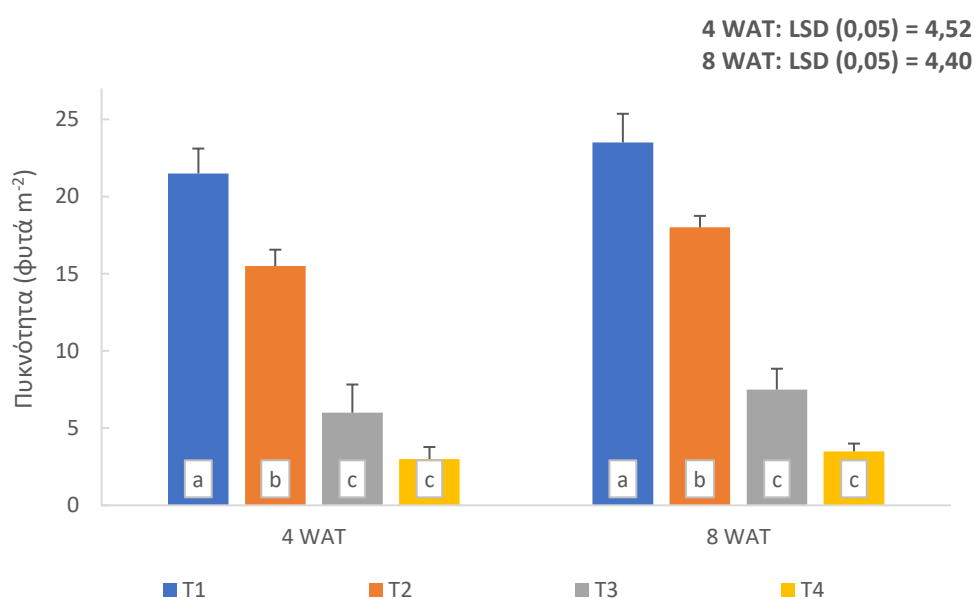
της καλλιέργειας σε καρπό και των τιμών της βιομάζας των ζιζανίων που καταγράφηκαν οκτώ εβδομάδες (8 WAT) μετά την εφαρμογή του βιοδιεγέρτη. Τα δεδομένα σε κάθε περίπτωση αναλύθηκαν ξεχωριστά. Οι συσχετίσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το γραμμικό μοντέλο που περιγράφει η εξίσωση 3:

$$Y = A + b * X \quad [3]$$

όπου Y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή, X η ανεξάρτητη μεταβλητή και b η κλίση της ευθείας.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Μετρήσεις πυκνότητας και βιομάζας ζιζανίων



Γράφημα 4.1.1 Πυκνότητα των φυτών της αγριοβρώμης [*Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* (Durieu) Gillet & Magne] ανά μονάδα επιφάνειας (φυτά m⁻²), όπως προσδιορίστηκε 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη. Τα δεδομένα κάθε μέτρησης αναλύθηκαν ξεχωριστά και ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Πίνακας 4.1.1 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων της πυκνότητας των φυτών της αγριοβρώμης [*Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* (Durieu) Gillet & Magne] ανά μονάδα επιφάνειας (φυτά m⁻²). Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη.

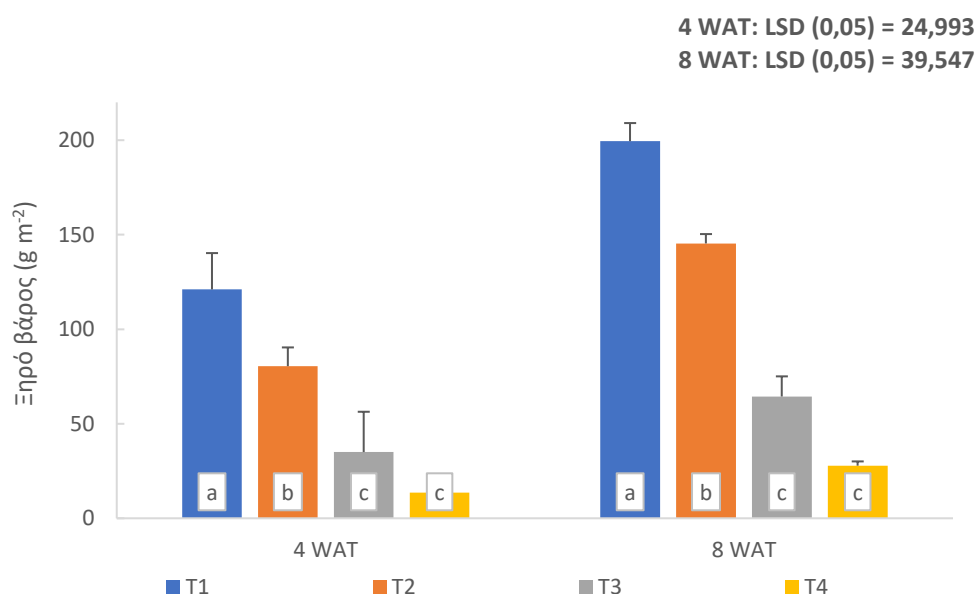
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--------------|----|---------|---------|---------|---------|
| 4 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 874,0 | 291,333 | 36,42 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 72,0 | 8,0 | | |
| Σύνολο | 15 | 964,0 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| 8 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 1022,75 | 340,917 | 44,96 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 68,25 | 7,5833 | | |
| Σύνολο | 15 | 1095,75 | | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, *** = P-Value $\leq 0,001$

Ο παράγοντας της επέμβασης επηρέασε σημαντικά (P-Value $\leq 0,001$) τη πυκνότητα των φυτών της αγριοβρώμης στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή μικροβιακού βιοδιεγέρτη (Πίνακας 4.1.1). Η πρώτη μέτρηση (4 WAT) έδειξε πως η μεγαλύτερη πυκνότητα του ζιζανίου παρατηρήθηκε στα πειραματικά τεμάχια όπου πραγματοποιήθηκε εφαρμογή της συνιστάμενης δόσης αζωτούχου λίπανσης χωρίς χημική ζιζανιοκτονία (T1) οι μικρότερες τιμές πυκνότητας καταγράφηκαν στα τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν το 20 % της συνιστάμενης αζωτούχου λίπανσης, ο μικροβιακός βιοδιεγέρτης και η χημική ζιζανιοκτονία (T4). Η εν λόγω επέμβαση (T4) μείωσε την πυκνότητα του ζιζανίου κατά 86% σε σχέση με την επέμβαση T1 (Γράφημα 4.1.1). Η επέμβαση που περιλάμβανε την συνολική εφαρμογή της αζωτούχου λίπανσης και χημική ζιζανιοκτονία (T3) επέφερε μείωση στην πυκνότητα της αγριοβρώμης κατά 61 και 72% συγκριτικά με τις

επεμβάσεις T2 και T1, αντίστοιχα. Επιπλέον, στα τεμάχια που εφαρμόστηκε το 20 % της αζωτούχου λίπανσης μαζί με τον βιοδιεγέρτη (T2), παρατηρήθηκε 27% μείωση της πυκνότητας του ζιζανίου κατά 27% σε σύγκριση την επέμβαση T1. Σημειώνεται επίσης πως η επέμβαση T4 μείωσε τον αριθμό των ζιζανίων ανά μονάδα επιφάνειας κατά 50 και 81% συγκριτικά με τις επεμβάσεις T3 και T2.

Ανάλογα αποτελέσματα πραγματοποιήθηκαν και στη δεύτερη μέτρηση που πραγματοποιήθηκε 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή του βιοδιεγέρτη (8 WAT). Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη πυκνότητα (23 φυτά m⁻²) του ζιζανίου παρατηρήθηκε στην επέμβαση που περιλαμβάνει την συνολική εφαρμογή αζώτου χωρίς χημική ζιζανιοκτονία (T1) με ενώ η μικρότερη (3 φυτά m⁻²) σε αυτή που εφαρμόστηκε το 20 % της αζωτούχου λίπανσης, ο βιοδιεγέρτης και χημική ζιζανιοκτονία (T4). Η επέμβαση T4 μείωσε την πυκνότητα του ζιζανίου κατά 53, 80 και 85%, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τις επεμβάσεις T3, T2 και T1 (Γράφημα 4.1.1). Σε σύγκριση με την επέμβαση T1, η πυκνότητα των ζιζανίων ήταν κατά 24 και 68%, αντίστοιχα, μικρότερη στα τεμάχια των επεμβάσεων T2 και T3.



Γράφημα 4.1.2 Ξηρό βάρος των φυτών της αγριοβρώμης [*Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* (Durieu) Gillet & Magne] ανά μονάδα επιφάνειας (g m⁻²), όπως προσδιορίστηκε 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT; Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη. Τα δεδομένα κάθε μέτρησης αναλύθηκαν ξεχωριστά και ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Πίνακας 4.1.2 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων του ξηρού βάρους των φυτών της αγριοβρώμης [*Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* (Durieu) Gillet & Magne] ανά μονάδα επιφάνειας (g m^{-2}). Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη

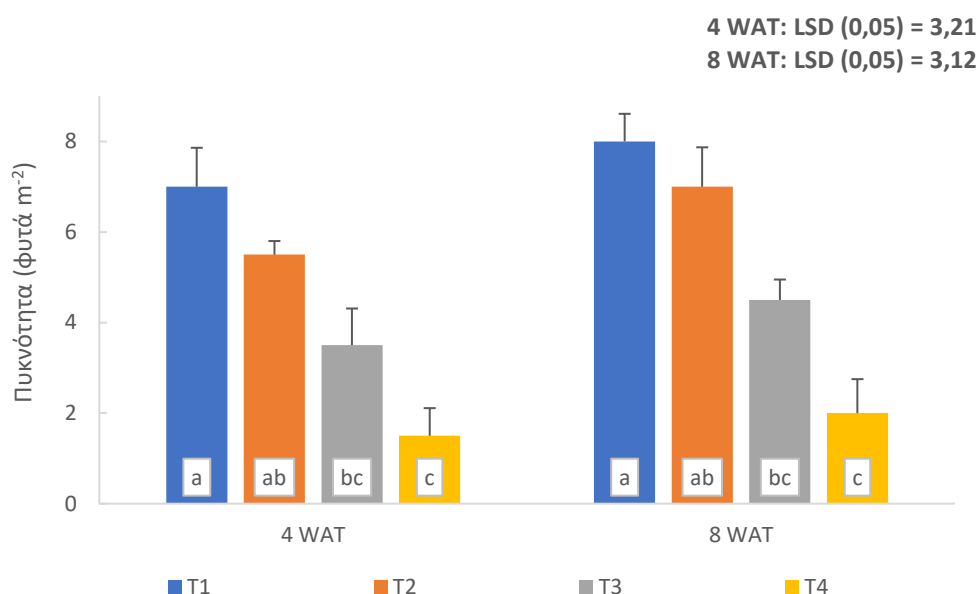
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--------------|----|---------|---------|---------|---------|
| 4 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 27612,4 | 9204,13 | 37,70 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 2197,18 | 244,131 | | |
| Σύνολο | 15 | 30442,8 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| 8 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 72316,5 | 24105,5 | 39,44 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 5501,13 | 611,237 | | |
| Σύνολο | 15 | 78033,0 | | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, *** = P-Value $\leq 0,001$

Ο παράγοντας της επέμβασης επηρέασε σημαντικά (P-Value $\leq 0,001$) τη ξηρή βιομάζα των φυτών της αγριοβρώμης στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη (Πίνακας 4.1.2). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πολλαπλών συγκρίσεων μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων, παρατηρήθηκε πως στην πρώτη μέτρηση (4 WAT) η επέμβαση T4 μείωσε τη βιομάζα του ζιζανίου κατά 62, 84 και 89% συγκριτικά με τις επεμβάσεις T3, T2 και T1, αντίστοιχα (Γράφημα 4.1.2). Στα τεμάχια που έγινε η εφαρμογή της συνιστάμενης αζωτούχου λίπανσης μαζί με χημική ζιζανιοκτονία (T3) και το 20 % της αζωτούχου λίπανσης με τον βιοδιεγέρτη (T2), η πυκνότητα της αγριοβρώμης ήταν 57-72% μικρότερη από τις τιμές πυκνότητας που σημειώθηκαν στα τεμάχια των επεμβάσεων T1 και T2. Ακόμη, το ξηρό βάρος των ζιζανίων ήταν έως 34% μειωμένο

στα τεμάχια όπου έγινε εφαρμογή του 20 % της αζωτούχου λίπανσης και του βιοδιεγέρτη (T2).

Ανάλογα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν κατά τη δεύτερη μέτρηση βιομάζας που πραγματοποιήθηκε 8 εβδομάδες (8 WAT) μετά την εφαρμογή του βιοδιεγέρτη (Γράφημα 4.1.2). Το μεγαλύτερο ξηρό βάρος του ζιζανίου (ανά μονάδα επιφάνειας) παρατηρήθηκε στην επέμβαση που περιλαμβάνει την συνολική εφαρμογή αζώτου χωρίς χημική ζιζανιοκτονία (T1) με (199,445 g m⁻²) ενώ το μικρότερο σε αυτή που εφαρμόστηκε το 20 % του αζώτου, ο βιοδιεγέρτης και χημική ζιζανιοκτονία (T4) με (27,828 g m⁻²). Σε σχέση με τα πειραματικά τεμάχια της επέμβασης T1, η βιομάζα του ζιζανίου μειώθηκε κατά 27% σε αυτά όπου εφαρμόστηκε η κατά 80% μειωμένη δόση της αζωτούχου λίπανσης μαζί με την εφαρμογή του βιοδιεγέρτη (T2). Ακόμη μεγαλύτερες μειώσεις (67%) παρατηρήθηκαν στα τεμάχια που έγινε η εφαρμογή της συνιστάμενη δόσης της αζωτούχου λίπανσης και διενεργήθηκε χημική ζιζανιοκτονία (T3).



Γράφημα 4.1.3 Πυκνότητα των φυτών του άγριου σιναπιού (*Sinapis arvensis* L.) ανά μονάδα επιφάνειας (φυτά m⁻²), όπως προσδιορίστηκε 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη. Τα δεδομένα κάθε μέτρησης αναλύθηκαν ξεχωριστά και ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Πίνακας 4.1.3 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων της πυκνότητας των φυτών του άγριου σιναπιού (*Sinapis arvensis* L.) ανά μονάδα επιφάνειας (φυτά m⁻²). Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη.

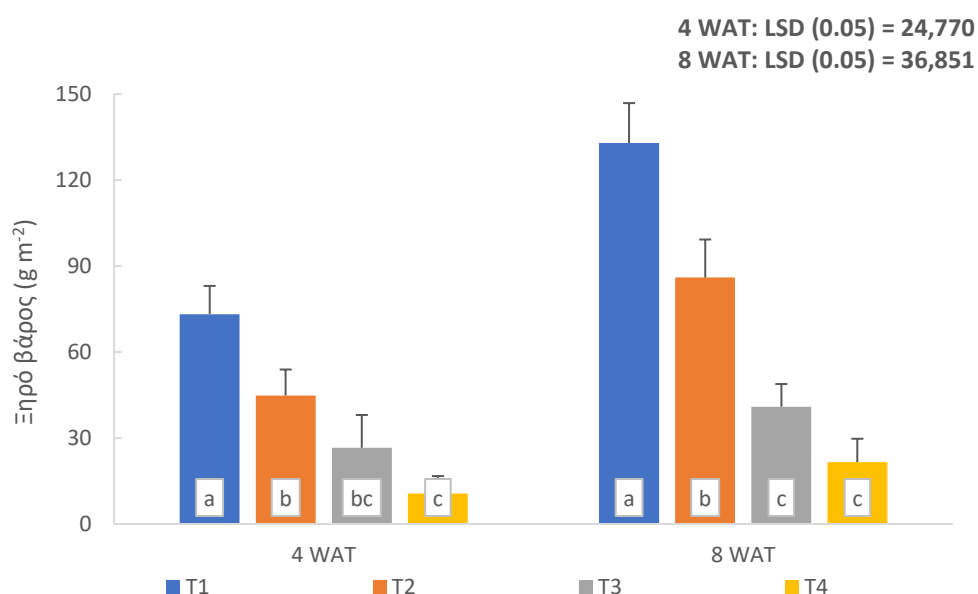
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--------------|----|--------|---------|---------|---------|
| 4 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 68,75 | 22,9167 | 5,69 | * |
| Υπόλοιπο | 9 | 36,25 | 4,02778 | | |
| Σύνολο | 15 | 137,75 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| 8 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 86,75 | 28,9167 | 7,60 | ** |
| Υπόλοιπο | 9 | 34,25 | 3,80556 | | |
| Σύνολο | 15 | 133,75 | | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, * = P-Value $\leq 0,05$, ** = P-Value $\leq 0,01$

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πολλαπλών συγκρίσεων των μέσων παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων τόσο στην πρώτη (4 WAT: P-Value $\leq 0,05$) όσο και στη δεύτερη μέτρηση (8 WAT: P-Value $\leq 0,01$) πυκνότητας του άγριου σιναπιού (Πίνακας 4.1.3). Στην πρώτη μέτρηση (4 WAT), η μεγαλύτερη πυκνότητα του ζιζανίου παρατηρήθηκε στα τεμάχια της επέμβασης που περιλάμβανε την εφαρμογή της συνιστάμενης δόσης του αζώτου χωρίς χημική ζιζανιοκτονία (T1) με 7 φυτά m⁻² ενώ η μικρότερη σε αυτή που εφαρμόστηκε το 20 % του συνολικού αζώτου, ο βιοδιεγέρτης και χημική ζιζανιοκτονία (T4). Σε σχέση με τα τεμάχια της επέμβασης T1, η πυκνότητα του ζιζανίου βρέθηκε μειωμένη κατά 21, 50, και 79% σε αυτά όπου έγινε η εφαρμογή των επεμβάσεων T2, T3 και T4, αντίστοιχα (Γράφημα 4.1.3). Συγκριτικά με την επέμβαση T2, η επέμβαση T4 επέφερε μείωση

της πυκνότητας του ζιζανίου κατά 72,7% ενώ σημαντικές μειώσεις καταγράφηκαν και στα τεμάχια όπου πραγματοποιήθηκε η επέμβαση T3. Ωστόσο η αποτελεσματικότητα της επέμβασης T3 ήταν μικρότερη της T4 (20% N + μικροβιακός βιοδιεγέρτης + χημική ζιζανιοκτονία).

Αναφορικά με τα δεδομένα της δεύτερης μέτρησης (8 WAT), η επέμβαση T4 μείωσε τη πυκνότητα του ζιζανίου μειώθηκε κατά 75% σε σχέση με την επέμβαση T1 ενώ η αντίστοιχη μείωση που καταγράφηκε στα τεμάχια της επέμβασης T3, ήταν περίπου 44%. Η εφαρμογή του βιοδιεγέρτη σε συνδυασμό με χημική ζιζανιοκτονία (T4) επέφερε μείωση της πυκνότητας του άγριου σιναπιού κατά 56% σε σύγκριση με την επέμβαση T3 (Γράφημα 4.1.3). Επιπρόσθετα, οι δύο επεμβάσεις που περιλάμβαναν την εφαρμογή του εκλεκτικού ζιζανιοκτόνου επέφεραν έως και 71% μείωση στον αριθμό των ζιζανίων ανά μονάδα επιφάνειας συγκριτικά με την επέμβαση T2.



Γράφημα 4.1.4 Ξηρό βάρος των φυτών του άγριου σιναπιού (*Sinapis arvensis* L.) ανά μονάδα επιφάνειας (g m^{-2}), όπως προσδιορίστηκε 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη. Τα δεδομένα κάθε μέτρησης αναλύθηκαν ξεχωριστά και ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Πίνακας 4.1.4 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων του ξηρού βάρους των φυτών του άγριου σιναπιού (*Sinapis arvensis* L.) ανά μονάδα επιφάνειας (φυτά m⁻²). Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη.

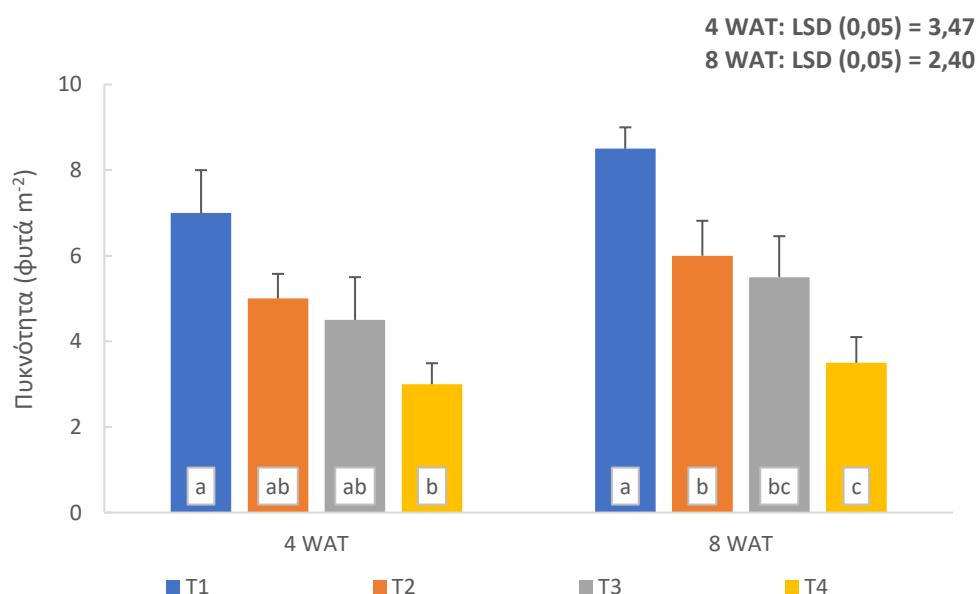
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--------------|----|---------|---------|---------|---------|
| 4 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 8663,38 | 2887,79 | 12,04 | ** |
| Υπόλοιπο | 9 | 2158,2 | 239,8 | | |
| Σύνολο | 15 | 12835,3 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| 8 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 29598,6 | 9866,2 | 18,59 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 4776,54 | 530,727 | | |
| Σύνολο | 15 | 35599,4 | | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, ** = P-Value $\leq 0,01$, *** = P-Value $\leq 0,001$

Ο παράγοντας της επέμβασης επηρέασε σε στατιστικά σημαντικό βαθμό τη βιομάζα των φυτών του άγριου σιναπιού όπως παρατηρήθηκε τόσο 4 (P-Value $\leq 0,01$) όσο και 8 εβδομάδες (P-Value $\leq 0,001$) μετά την εφαρμογή (Πίνακας 4.1.4). Στην πρώτη μέτρηση (4 WAT), το μεγαλύτερο ξηρό βάρος του ζιζανίου παρατηρήθηκε στην επέμβαση που περιλαμβάνει την συνιστάμενη δόση της αζωτούχου λίπανσης (T1: 73.211 g m⁻²) ενώ η μικρότερη τιμή 10,5 g m⁻² αντιστοιχεί στην επέμβαση T4. Στα τεμάχια που εφαρμόστηκε η επέμβαση T1, η βιομάζα του είδους ήταν 39, 64 και 86% μεγαλύτερη συγκριτικά με τις τιμές που σημειώθηκαν στα τεμάχια των επεμβάσεων T2, T3 και T4, αντίστοιχα (Γράφημα 4.1.4). Σε σχέση με την μεταχείριση (T2) που περιλαμβάνει το 20 % της συνολικής αζωτούχου λίπανσης χωρίς εφαρμογή ζιζανιοκτόνου, η βιομάζα των ζιζανίων ήταν 41-76% μεγαλύτερη σε σχέση με τις επεμβάσεις που περιλάμβαναν χημική ζιζανιοκτονία (T3, T4). Ωστόσο, στα τεμάχια

όπου έγινε η χημική ζιζανιοκτονία (T3, T4), παρατηρήθηκε πως η εφαρμογή του βιοδιεγέρτη συνέβαλλε σημαντικά .

Κατά τη δεύτερη μέτρηση (8 WAT) παρατηρήθηκε πως, σε σύγκριση με την επέμβαση T1, η βιομάζα του ζιζανίου βρέθηκε μειωμένη κατά περίπου 35, 69 και 84% στα τεμάχια που εφαρμόστηκαν οι επεμβάσεις T2, T3 και T4, αντίστοιχα (Γράφημα 4.1.1). Η εφαρμογή ζιζανιοκτόνου στα τεμάχια των επεμβάσεων T3 και T4 οδήγησε σε σημαντικές μειώσεις (52-75%) του ξηρού βάρους των ζιζανίων συγκριτικά με την επέμβαση T2. Ωστόσο, η εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη έτεινε να επιφέρει ακόμα μεγαλύτερες μειώσεις βιομάζας στα τεμάχια της επέμβασης T4, παρότι δεν εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σχέση με την επέμβαση T3.



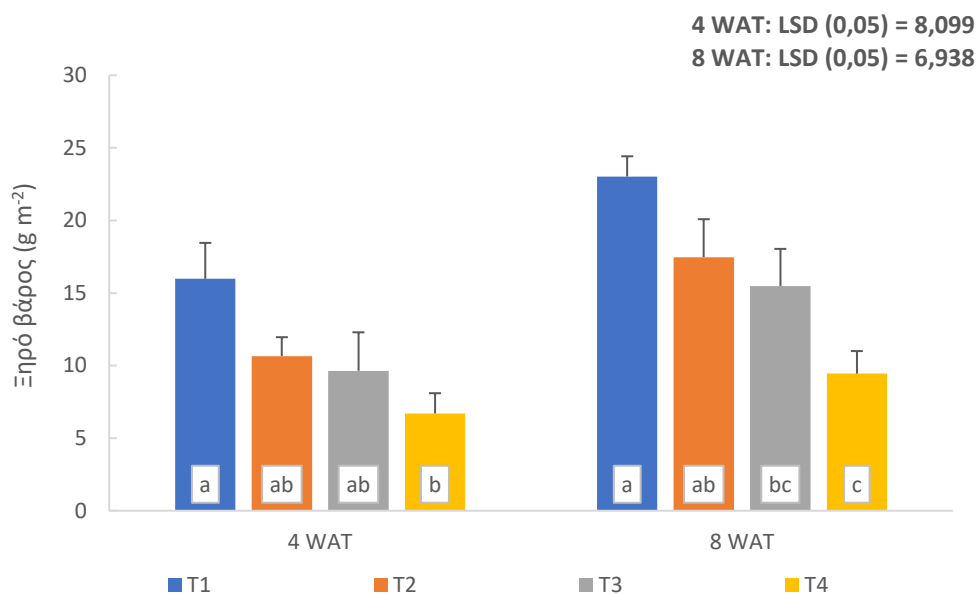
Γράφημα 4.1.5 Πυκνότητα των φυτών της βερόνικας (*Veronica hederifolia* L.) ανά μονάδα επιφάνειας (φυτά m⁻²), όπως προσδιορίστηκε 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT; Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη. Τα δεδομένα κάθε μέτρησης αναλύθηκαν ξεχωριστά και ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference; LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Πίνακας 4.1.5 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων της πυκνότητας των φυτών της βερόνικας (*Veronica hederifolia* L.) ανά μονάδα επιφάνειας (φυτά m⁻²). Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη.

| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--------------|----|-------|---------|---------|---------|
| 4 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 32,75 | 10,9167 | 2,33 | ns |
| Υπόλοιπο | 9 | 42,25 | 4,69444 | | |
| Σύνολο | 15 | 87,75 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| 8 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 50,75 | 16,9167 | 7,52 | ** |
| Υπόλοιπο | 9 | 20,25 | 2,25 | | |
| Σύνολο | 15 | 75,75 | | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, ns = non-significant (P-Value $\geq 0,05$), ** = P-Value $\leq 0,01$

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Ανάλυσης της Παραλλακτικότητας (ANOVA) δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων 4 εβδομάδες μετά την εφαρμογή του βιοδιεγέρτη (P-Value $\geq 0,05$). Ωστόσο, παρατηρήθηκαν σημαντικές (P-Value $\leq 0,01$) διαφοροποιήσεις κατά τη δεύτερη μέτρηση (8 WAT; Πίνακας 5). Στην πρώτη μέτρηση (4 WAT; Γράφημα 4.1.5), η μεγαλύτερη πυκνότητα του ζιζανίου παρατηρήθηκε στα τεμάχια της επέμβασης T1 (7 φυτά m⁻²) ενώ η μικρότερη στα τεμάχια της επέμβασης T4 (3 φυτά m⁻²). Οκτώ εβδομάδες μετά την εφαρμογή του βιοδιεγέρτη παρατηρήθηκε πως οι επεμβάσεις T3 και T4 μείωσαν τη πυκνότητα του ζιζανίου κατά 36-59% σε σχέση με την επέμβαση T1 (Γράφημα 4.1.5). Ακόμη η επέμβαση T4 οδήγησε σε 42% μικρότερη πυκνότητα για την βερόνικα συγκριτικά με την επέμβαση T2.



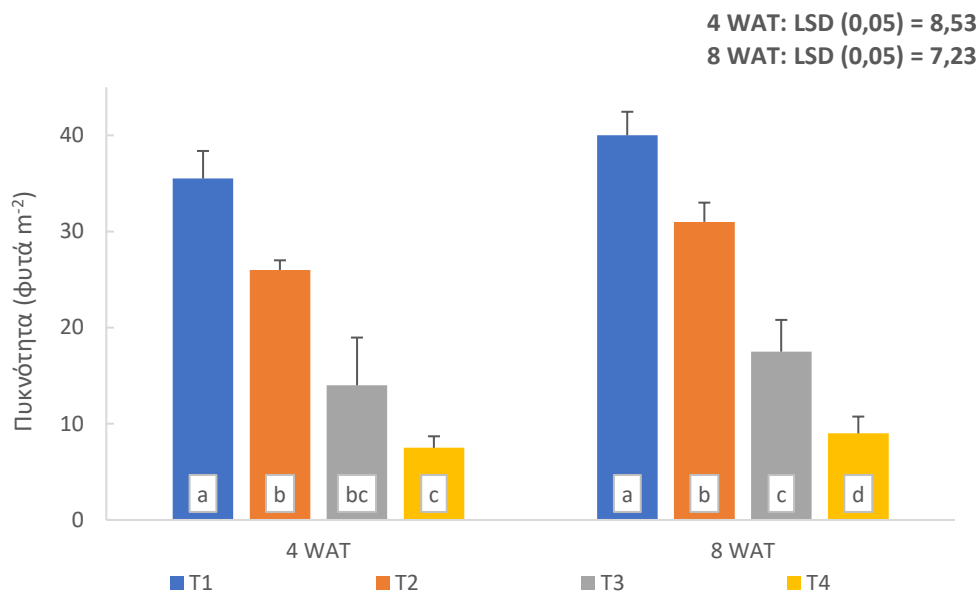
Γράφημα 4.1.6 Ξηρό βάρος των φυτών της βερόνικας (*Veronica hederifolia* L.) ανά μονάδα επιφάνειας (φυτά m⁻²), όπως προσδιορίστηκε 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη. Τα δεδομένα κάθε μέτρησης αναλύθηκαν ξεχωριστά και ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Πίνακας 4.1.6 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων του ξηρού βάρους των φυτών της βερόνικας (*Veronica hederifolia* L.) ανά μονάδα επιφάνειας (φυτά m⁻²). Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη

| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--------------|----|---------|---------|---------|---------|
| 4 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 179,956 | 59,9852 | 2,39 | ns |
| Υπόλοιπο | 9 | 225,673 | 25,0748 | | |
| Σύνολο | 15 | 456,432 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| 8 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 376,945 | 125,648 | 6,68 | * |
| Υπόλοιπο | 9 | 169,293 | 18,8104 | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, ns = non-significant (P-Value $\geq 0,05$), * = P-Value $\leq 0,05$

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Ανάλυσης της Παραλλακτικότητας (ANOVA) δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων 4 εβδομάδες μετά την εφαρμογή του βιοδιεγέρτη (P-Value $\geq 0,05$). Ωστόσο, παρατηρήθηκαν σημαντικές (P-Value $\leq 0,01$) διαφοροποιήσεις κατά τη δεύτερη μέτρηση (8 WAT: Πίνακας 6). Στην πρώτη μέτρηση (4 WAT: Γράφημα 4.1.6), οι μεγαλύτερες τιμές ξηρού βάρους των ζιζανίων ανά μονάδα επιφάνειας παρατηρήθηκαν στα τεμάχια της επέμβασης T1 (15,981 g m⁻²) ενώ οι μικρότερες τιμές σημειώθηκαν στα τεμάχια της επέμβασης T4 (6,701 g m⁻²). Οκτώ εβδομάδες μετά την εφαρμογή του βιοδιεγέρτη παρατηρήθηκε πως οι επεμβάσεις T3 και T4 μείωσαν τη πυκνότητα του ζιζανίου κατά 33-59% σε σχέση με την επέμβαση T1 (Γράφημα 4.1.6). Ακόμη η επέμβαση T4 οδήγησε σε 46% μικρότερη πυκνότητα για την βερόνικα συγκριτικά με την επέμβαση T2.



Γράφημα 4.1.7 Συνολική πυκνότητα ζιζανίων ανά μονάδα επιφάνειας (φυτά m^{-2}), όπως προσδιορίστηκε 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη. Τα δεδομένα κάθε μέτρησης αναλύθηκαν ξεχωριστά και ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference:LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Ο παράγοντας της επέμβασης επηρέασε σημαντικά ($P\text{-Value} \leq 0,001$) τη συνολική πυκνότητα των ζιζανίων στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη (Πίνακας 4.1.7). Στην πρώτη μέτρηση (4 WAT), η μεγαλύτερη πυκνότητα ζιζανίων παρατηρήθηκε στα τεμάχια της επέμβασης T1 (35,5 φυτά m^{-2}) ενώ η μικρότερη τιμή σημειώθηκε στα τεμάχια όπου πραγματοποιήθηκε η επέμβαση T4 (7,5 φυτά m^{-2}). Η πυκνότητα των ζιζανίων ήταν 27 και 61% μεγαλύτερη όταν εφαρμόστηκε η συνιστάμενη δόση της αζωτούχου λίπανσης συγκριτικά με τα τεμάχια όπου εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης χωρίς ζιζανιοκτονία (T2) και η συνιστάμενη δόση της αζωτούχου λίπανσης μαζί με χημική ζιζανιοκτονία (T3), αντίστοιχα (Γράφημα 4.1.7).

Πίνακας 4.1.7 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων της συνολικής πυκνότητας ζιζανίων ανά μονάδα επιφάνειας (φυτά m⁻²). Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη.

| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--------------|----|---------|---------|---------|---------|
| 4 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 1865,0 | 621,667 | 17,43 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 321,0 | 35,6667 | | |
| Σύνολο | 15 | 2343,0 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| 8 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 2286,75 | 762,25 | 36,83 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 186,25 | 20,6944 | | |
| Σύνολο | 15 | 2521,75 | | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, *** = P-Value ≤ 0,001

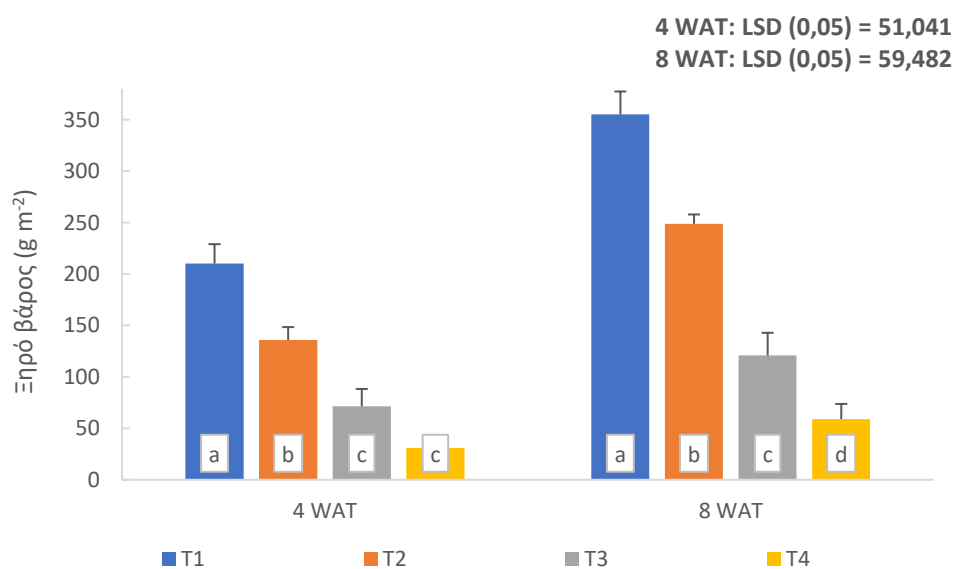
Τα αποτελέσματα της δεύτερης μέτρησης (8 WAT) έδειξαν ότι η επέμβαση T4 (20% N + μικροβιακού βιοδιεγέρτη + εφαρμογή ζιζανιοκτόνου) μείωσε τη συνολική πυκνότητα των ζιζανίων μειώθηκε κατά 46, 61 και 79% σε σύγκριση με τις επεμβάσεις T2 (20% N + βιοδιεγέρτη), T3 (20% N + εφαρμογή ζιζανιοκτόνου) και T1 (100% N), αντίστοιχα. Στα τεμάχια που εφαρμόστηκε το 20 % της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης και ο βιοδιεγέρτης (T2), η πυκνότητα των ζιζανίων μειώθηκε κατά 27% σε σχέση με τα τεμάχια της επέμβασης T1. Επιπλέον, ο βιοδιεγέρτης συνέβαλλε σε επιπλέον μείωση της πυκνότητας των ζιζανίων στα τεμάχια των επεμβάσεων που περιλάμβαναν την εφαρμογή του εκλεκτικού ζιζανιοκτόνου (Γράφημα 4.1.7).

Αναφορικά με τη συνολική βιομάζα των ζιζανίων, οι επιδράσεις του παράγοντα της επέμβασης ήταν σημαντικές (P-Value ≤ 0,001) τόσο 4 όσο και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη (Πίνακας 4..18).

Πίνακας 4.1.8 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων της συνολικής βιομάζας (ξηρού βάρους) των ζιζανίων ανά μονάδα επιφάνειας ($g\ m^{-2}$). Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη.

| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--------------|----|----------|---------|---------|---------|
| 4 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 73903,1 | 24634,4 | 24,20 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 9163,35 | 1018,15 | | |
| Σύνολο | 15 | 88628,1 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| 8 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 210582,0 | 70193,9 | 50,76 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 12444,9 | 1382,76 | | |
| Σύνολο | 15 | 225919,0 | | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, *** = P-Value $\leq 0,001$



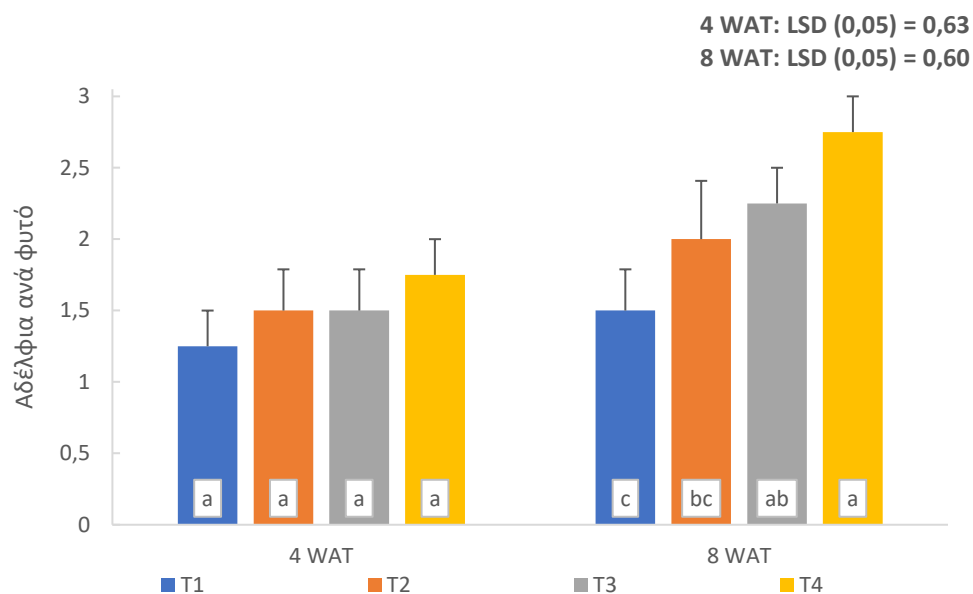
Γράφημα 4.1.8 Συνολική βιομάζα (ξηρό βάρος) των ζιζανίων ανά μονάδα επιφάνειας ($g\ m^{-2}$), όπως προσδιορίστηκε 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη. Τα δεδομένα κάθε μέτρησης αναλύθηκαν ξεχωριστά και ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference:

LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Κατά την πρώτη μέτρηση (4 WAT), παρατηρήθηκε ότι η συνολική βιομάζα των ζιζανίων ήταν 36, 64 και 85% μεγαλύτερη στα τεμάχια της επέμβασης T1 συγκριτικά με τις τιμές που καταγράφηκαν στα τεμάχια των επεμβάσεων T2, T3 και T4, αντίστοιχα (Γράφημα 4.1.8). Η εφαρμογή ζιζανιοκτόνου στα τεμάχια των επεμβάσεων T3 και T4 μείωσε το ξηρό βάρος των ζιζανίων κατά 48-78% συγκριτικά με την εφαρμογή του βιοδιεγέρτη χωρίς να επακολουθήσει χημική ζιζανιοκτονία. Ανάλογα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν κατά τη δεύτερη μέτρηση (8 WAT). Η εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη μαζί με χημική ζιζανιοκτονία (+ 20% της συνιστάμενης δόσης N), περιόρισε τη συνολική ξηρή βιομάζα των ζιζανίων σε σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό (52-84%), συγκριτικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις (Γράφημα 4.1.8).

4.2 Στοιχεία ανάπτυξης της καλλιέργειας

Κατά την πρώτη μέτρηση (4 WAT) του αδελφώματος της καλλιέργειας (αδέλφια ανά φυτό), δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις ($P\text{-Value} \geq 0,05$) μεταξύ των τεσσάρων επεμβάσεων (Πίνακας 4.2.1). Ωστόσο, ήταν εμφανής η τάση για αυξημένο αριθμό αδελφιών ανά φυτό (Γράφημα 4.2.1) στα τεμάχια όπου εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης (+ 20% N) μαζί με χημική ζιζανιοκτονία (T4). Ωστόσο, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές (Πίνακας 4.2.1: $P\text{-Value} \leq 0,05$) κατά τη δεύτερη μέτρηση (8 WAT). Η επέμβαση T4 αύξησε την παραγωγή αδελφιών ανά φυτό κατά 28 και 46% συγκριτικά με την επέμβαση T1 (Γράφημα 4.2.1). Επίσης, σημειώθηκε πως η επέμβαση T3 (100% N + χημική ζιζανιοκτονία) αύξησε σημαντικά το αδελφωμα της καλλιέργειας σε σχέση με την επέμβαση T1 (100% N).



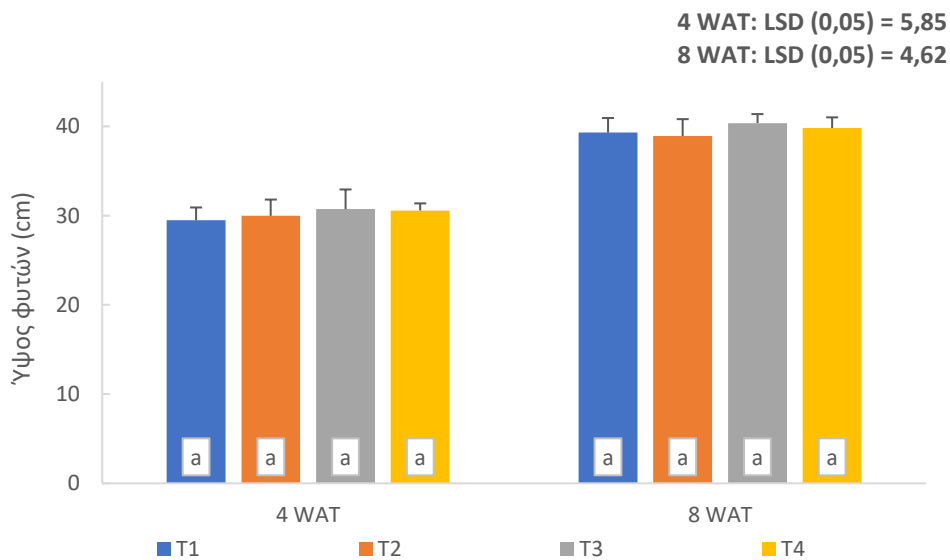
Γράφημα 4.2.1 Ο αριθμός των αδελφιών ανά φυτό, όπως προσδιορίστηκε 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη. Τα δεδομένα κάθε μέτρησης αναλύθηκαν ξεχωριστά και ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Πίνακας 4.2.1 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων του αριθμού των αδελφιών ανά φυτό. Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη.

| ΠΠ | BE | AT | MT | F-Ratio | P-Value |
|--------------|----|---------|----------|---------|---------|
| 4 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 1,04688 | 0,348958 | 2,26 | ns |
| Υπόλοιπο | 9 | 1,39062 | 0,154514 | | |
| Σύνολο | 15 | 2,85938 | | | |
| ΠΠ | BE | AT | MT | F-Ratio | P-Value |
| 8 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 2,29688 | 0,765625 | 5,44 | * |
| Υπόλοιπο | 9 | 1,26562 | 0,140625 | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, ns = non-significant (P-Value ≥ 0,05), * = P-Value ≤ 0,05

Αναφορικά με τις μετρήσεις ύψους της καλλιέργειας, η συγκεκριμένη παράμετρος ανάπτυξης των φυτών του σκληρού σιταριού δεν επηρεάστηκε σημαντικά (P-Value ≥ 0,05) από τις διαφορετικές επεμβάσεις σε καμία εκ των δύο μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν (Πίνακας 4.2.2). Όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα του διαχωρισμού των μέσων των επεμβάσεων, δεν παρατηρήθηκαν διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις τόσο κατά την πρώτη (4 WAT: Γράφημα 4.2.2) όσο και κατά τη δεύτερη μέτρηση (8 WAT: Γράφημα 10).



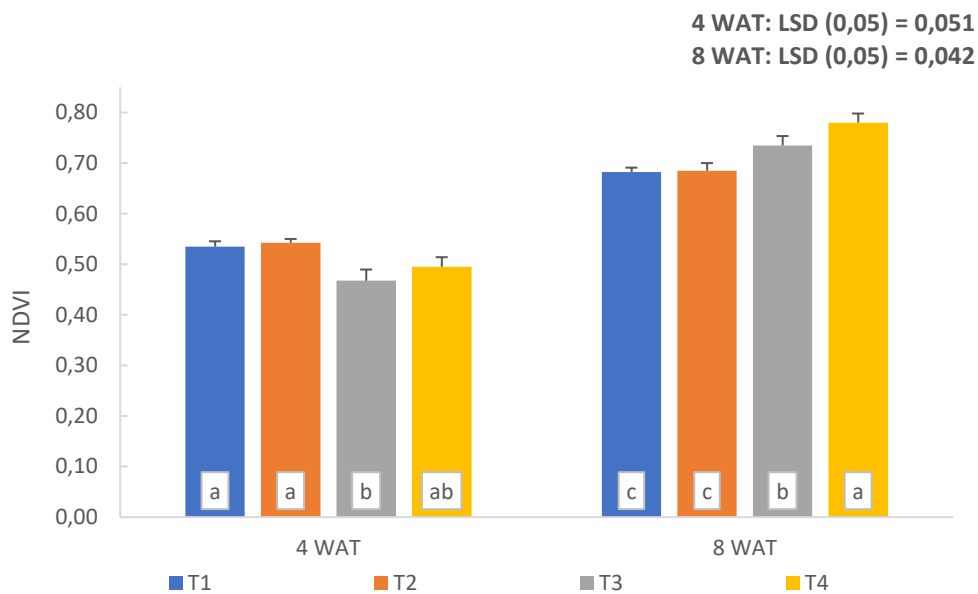
Γράφημα 4.2.2 Το ύψος των φυτών της καλλιέργειας, όπως προσδιορίστηκε 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη. Τα δεδομένα κάθε μέτρησης αναλύθηκαν ξεχωριστά και ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Πίνακας 4.2.2 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων του ύψους των φυτών της καλλιέργειας. Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη.

| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--------------|----|---------|---------|---------|---------|
| 4 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 3,9675 | 1,3225 | 10,10 | ns |
| Υπόλοιπο | 9 | 120,382 | 13,3758 | | |
| Σύνολο | 15 | 135,097 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| 8 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 4,78687 | 1,59562 | 0,19 | ns |
| Υπόλοιπο | 9 | 74,9456 | 8,32729 | | |
| Σύνολο | 15 | 109,169 | | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, ns = non-significant ($P\text{-Value} \geq 0,05$)

Ο παράγοντας της επέμβασης επηρέασε σημαντικά τις τιμές του Δείκτη NDVI στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 ($P\text{-Value} \leq 0,05$) και 8 εβδομάδες ($P\text{-Value} \leq 0,01$) μετά την εφαρμογή του βιοδιεγέρτη (Πίνακας 4.2.3). Κατά την πρώτη μέτρηση (4 WAT), παρατηρήθηκαν σημαντικά μειωμένες τιμές για τον δείκτη NDVI στα τεμάχια των επεμβάσεων T3 και T4 όπου έγινε εφαρμογή του εκλεκτικού ζιζανιοκτόνου. Διαφορετικά ήταν τα αποτελέσματα της δεύτερης μέτρησης (8 WAT). Συγκεκριμένα, υψηλότερες τιμές (7-14%) σημειώθηκαν στα τεμάχια όπου πραγματοποιήθηκε εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη (+ 20% N) μαζί με χημική ζιζανιοκτονία (T4) συγκριτικά με τα τεμάχια που πραγματοποιήθηκαν οι υπόλοιπες επεμβάσεις (Γράφημα 4.2.3).



Γράφημα 4.2.3 Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index), όπως προσδιορίστηκε 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment του μικροβιακού βιοδιεγέρτη. Τα δεδομένα κάθε μέτρησης αναλύθηκαν ξεχωριστά και ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

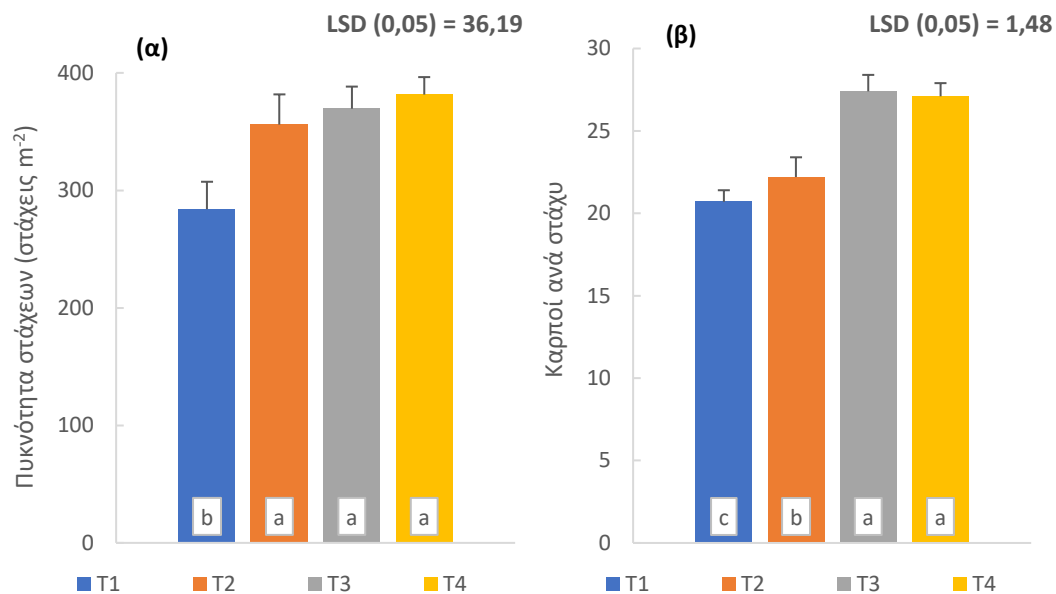
Πίνακας 4.2.3 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων του Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index). Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 4 και 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή (4 και 8 WAT: Weeks After Treatment) του μικροβιακού βιοδιεγέρτη

| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--------------|----|-----------|-------------|---------|---------|
| 4 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 0,01485 | 0,00495 | 5,06 | * |
| Υπόλοιπο | 9 | 0,0088 | 0,000977778 | | |
| Σύνολο | 15 | 0,0248 | | | |
| 8 WAT | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 0,0258188 | 0,00860625 | 12,38 | ** |

| | | | |
|----------|----|------------|-------------|
| Υπόλοιπο | 9 | 0,00625625 | 0,000695139 |
| Σύνολο | 15 | 0,0360937 | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα,
 * = P-Value ≤ 0,05, ** = P-Value ≤ 0,01

4.3 Συστατικά της απόδοσης σε καρπό και αποδόσεις της καλλιέργειας



Γράφημα 4.3.1 (α) Η πυκνότητα των στάχων ανά μονάδα επιφάνειας (στάχεις m⁻²) και (β) ο αριθμός των καρπών ανά στάχυ όπως προσδιορίστηκαν μετά τη συγκομιδή της καλλιέργειας. Ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

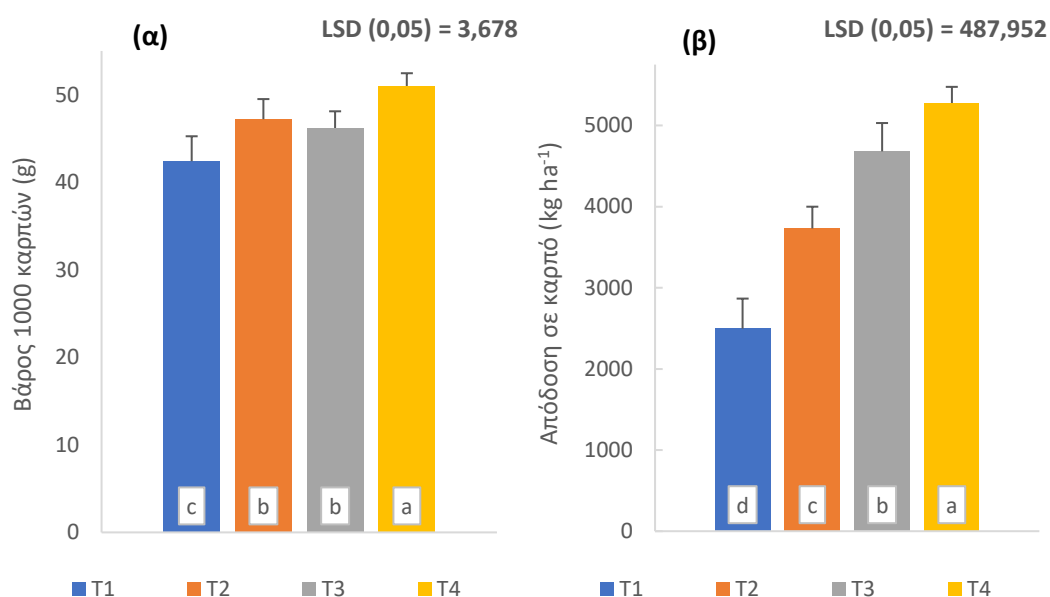
Πίνακας 4.3.1 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων της πυκνότητας των στάχων ανά μονάδα επιφάνειας (στάχεις m⁻²) και του αριθμού των καρπών ανά στάχυ. Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν μετά τη συγκομιδή της καλλιέργειας.

| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--|----|---------|----------|---------|---------|
| Πυκνότητα στάχων ανά μονάδα επιφάνειας (στάχεις m⁻²) | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 22977,0 | 7659,0 | 28,57 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 2412,5 | 268,056 | | |
| Σύνολο | 15 | 25573,0 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| Αριθμός των καρπών ανά στάχυ | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 139,24 | 46,4133 | 190,31 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 2,195 | 0,243889 | | |
| Σύνολο | 15 | 142,28 | | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, *** = P-Value $\leq 0,001$

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Ανάλυσης της Παραλλακτικότητας (ANOVA), προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (P-Value $\leq 0,001$) μεταξύ των διαφορετικών πειραματικών επεμβάσεων αναφορικά τόσο με τον αριθμό των παραγόμενων στάχων ανά μονάδα επιφάνειας όσο και με τον αριθμό των παραγόμενων καρπών ανά στάχυ (Πίνακας 4.3.1). Σε σύγκριση με την επέμβαση T1 (100% N), διαπιστώθηκε ότι οι επεμβάσεις T2 (20% N + βιοδιεγέρτη), T3 (100% N + χημική ζιζανιοκτονία) και T4 (20% N + μικροβιακό βιοδιεγέρτη + χημική ζιζανιοκτονία) αύξησαν τον αριθμό των στάχων ανά μονάδα επιφάνειας κατά 21, 24 και 26%, αντίστοιχα (Γράφημα 4.3.1, α). Ο μεγαλύτερος αριθμός καρπών ανά στάχυ παρατηρήθηκε στα τεμάχια των επεμβάσεων T3 και T4 όπου εφαρμόστηκε χημική ζιζανιοκτονία. Οι συγκεκριμένες επεμβάσεις αύξησαν τον αριθμό των παραγόμενων καρπών ανά στάχυ κατά 18-19% συγκριτικά με την επέμβαση T2. Ακόμη μεγαλύτερες

διαφορές παρατηρούνται από τη σύγκριση των επεμβάσεων αυτών με την επέμβαση T1 (Γράφημα 4.3.1, β). Επιπλέον, η εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη (+ 20% N) αύξησε την τιμή του εν λόγω συστατικού της απόδοσης κατά 7% συγκριτικά με την επέμβαση που περιλάμβανε την εφαρμογή της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης χωρίς να πραγματοποιηθεί έλεγχος των ζιζανίων με εφαρμογή ζιζανιοκτόνου (T1).



Γράφημα 4.3.2 (α) Το βάρος 1000 καρπών (g) και (β) η απόδοση της καλλιέργειας σε καρπό (kg ha⁻¹) όπως προσδιορίστηκαν μετά τη συγκομιδή. Ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Ανάλυσης της Παραλλακτικότητας (ANOVA), προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($P\text{-Value} \leq 0,001$) μεταξύ των διαφορετικών πειραματικών επεμβάσεων αναφορικά τόσο με το βάρος 1000 καρπών όσο και με την τελική απόδοση της καλλιέργειας σε καρπό (Πίνακας 4.3.2).

Πίνακας 4.3.2 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων του βάρους 1000 καρπών (g) και της απόδοσης της καλλιέργειας σε καρπό (kg ha⁻¹). Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν μετά τη συγκομιδή της καλλιέργειας.

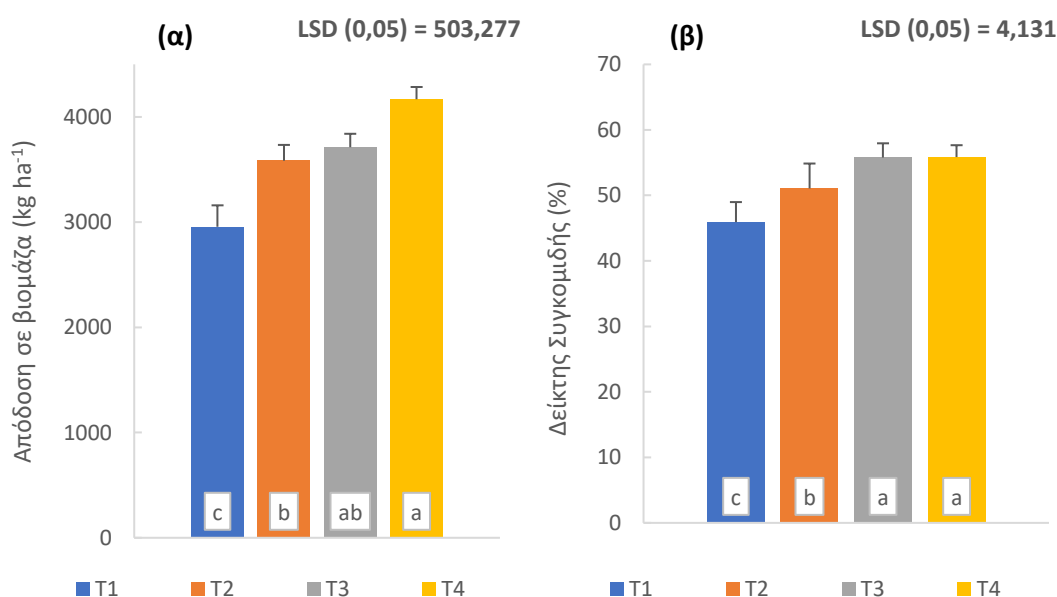
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Βάρος 1000 καρπών (g) | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 149,92 | 49,9733 | 51,70 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 8,7 | 0,966667 | | |
| Σύνολο | 15 | 160,74 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| Απόδοση σε καρπό (kg ha⁻¹) | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 1,76701E7 | 5,89002E6 | 63,30 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 837489,0 | 93054,3 | | |
| Σύνολο | 15 | 1,85537E7 | | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, *** = P-Value $\leq 0,001$

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πολλαπλών συγκρίσεων μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων, καταγράφηκαν 9-11% μικρότερες τιμές βάρους 1000 καρπών στα τεμάχια της επέμβασης T1 (100% N) συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές που σημειώθηκαν στα τεμάχια που πραγματοποιήθηκαν οι επεμβάσεις T2 (20% N + βιοδιεγέρτη) και T3 (100% N + χημική ζιζανιοκτονία). Ωστόσο, το μεγαλύτερο βάρος 1000 καρπών καταγράφηκε στα τεμάχια της επέμβασης T4 (20% N + μικροβιακό βιοδιεγέρτη + χημική ζιζανιοκτονία). Η εφαρμογή της συγκεκριμένης επέμβασης είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του βάρους 1000 καρπών κατά 7, 9 και 17% σε σύγκριση με την εφαρμογή των επεμβάσεων T3, T2 και T1, αντίστοιχα (Γράφημα 4.3.2, α).

Όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα των πολλαπλών συγκρίσεων μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σχετικά με την απόδοση της καλλιέργειας του σκληρού σιταριού σε καρπό, η μεγαλύτερη τιμή απόδοσης καταγράφηκε στα τεμάχια της επέμβασης T4 (5276,310 kg ha⁻¹) ενώ η μικρότερη τιμή στα αντίστοιχα της επέμβασης

T1 (2496,234 kg ha⁻¹). Στα τεμάχια που εφαρμόστηκε το 20% της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης, ο βιοδιεγέρτης και χημική ζιζανιοκτονία (T4), η απόδοση της καλλιέργειας ήταν κατά 20 και 29% μεγαλύτερη συγκριτικά με τα τεμάχια όπου εφαρμόστηκαν οι επεμβάσεις T3 και T2, αντίστοιχα (Γράφημα 4.3.2, β). Σημειώθηκε επίσης αύξηση της απόδοσης κατά 33-46% στα τεμάχια των επεμβάσεων T2 και T3 συγκριτικά με την τιμή που αντιστοιχεί στην επέμβαση T1. Ακόμη μεγαλύτερη ήταν η αύξηση της παραγωγής (52%) όταν εφαρμόστηκε η επέμβαση T4 (20% N + μικροβιακός βιοδιεγέρτης + χημική ζιζανιοκτονία) αντί της επέμβασης T1 (100% N).



Γράφημα 4.3.3 (α) Η απόδοση της καλλιέργειας σε βιομάζα (kg ha⁻¹) και (β) ο Δείκτης Συγκομιδής (%) όπως προσδιορίστηκαν μετά τη συγκομιδή. Ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Πίνακας 4.3.3 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων της απόδοσης της καλλιέργειας σε βιομάζα (kg ha⁻¹) και του Δείκτη Συγκομιδής (%). Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν μετά τη συγκομιδή της καλλιέργειας.

| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Απόδοση σε βιομάζα (kg ha⁻¹) | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 3,00024E6 | 1,00008E6 | 10,10 | ** |
| Υπόλοιπο | 9 | 890922,0 | 98991,3 | | |
| Σύνολο | 15 | 4,13008E6 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| Δείκτης Συγκομιδής (%) | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 267,413 | 89,1378 | 13,36 | ** |
| Υπόλοιπο | 9 | 60,0543 | 6,6727 | | |
| Σύνολο | 15 | 351,551 | | | |

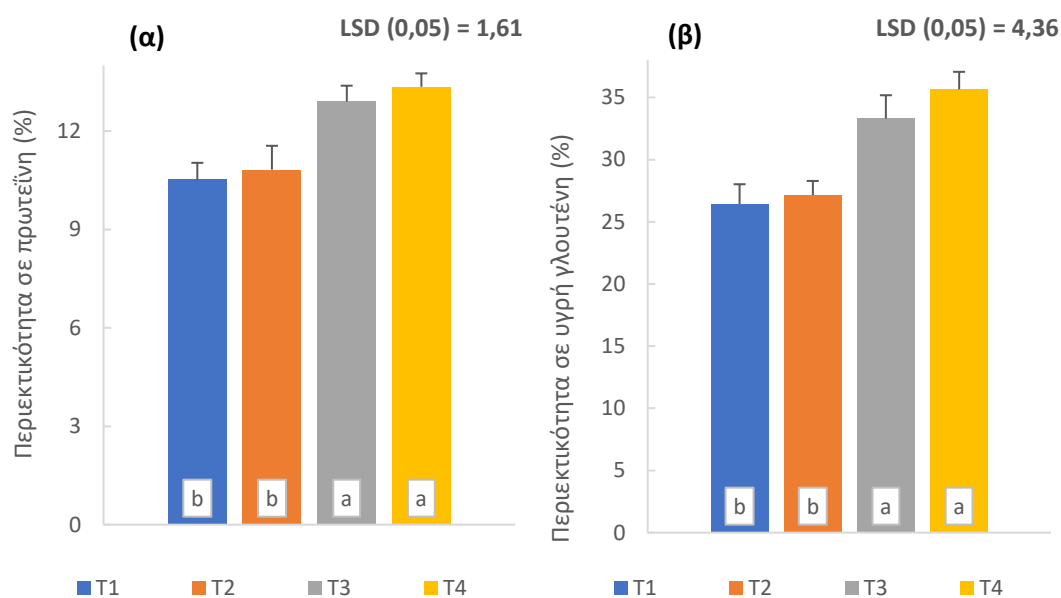
ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα,

** = P-Value $\leq 0,01$

Σημαντικές (P-Value $\leq 0,01$) αποδείχθηκαν οι επιδράσεις του παράγοντα της επέμβασης στις τιμές της απόδοσης της καλλιέργειας σε βιομάζα καθώς και στις τιμές του δείκτη συγκομιδής σύμφωνα με την Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) που διενεργήθηκε σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (Πίνακας 4.3.3). Συγκεκριμένα, η εφαρμογή της επέμβασης T4 αντί των επεμβάσεων T3, T2 και T1 είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης σε βιομάζα κατά 11, 14 και 31%, αντίστοιχα (Γράφημα 4.3.3, α). Στις περιπτώσεις που έγινε εφαρμογή της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης (επεμβάσεις T1, T3), η εφαρμογή ζιζανιοκτόνου επέφερε υψηλότερες αποδόσεις σε βιομάζα. Επίσης, όταν δεν πραγματοποιήθηκε χημική ζιζανιοκτονία (επεμβάσεις T1, T2, η εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη (T2) αύξησε την παραγωγή βιομάζας κατά 18%. Αναφορικά με τον δείκτη συγκομιδής (harvest index), οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στα τεμάχια των επεμβάσεων T3 και T4 ενώ οι χαμηλότερες και ενδιάμεσες τιμές του

δείκτη παρατηρήθηκαν στα πειραματικά τεμάχια που εφαρμόστηκαν οι επεμβάσεις T1 και T2, αντίστοιχα (Γράφημα 4.3.3, β).

4.4 Χαρακτηριστικά ποιότητας καρπού



Γράφημα 4.4.1 (α) Η περιεκτικότητα των καρπών σε πρωτεΐνη (%) και (β) υγρή γλουτένη (%) όπως προσδιορίστηκαν μετά τη συγκομιδή. Ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Ανάλυσης της Παραλλακτικότητας (ANOVA) για τα δεδομένα για την περιεκτικότητα των καρπών σε πρωτεΐνη και γλουτένη, παρατηρήθηκε ότι οι επιδράσεις του παράγοντα της επέμβασης ήταν σημαντικές ($P\text{-Value} \leq 0,01$) στις τιμές και των δύο αυτών χαρακτηριστικών ποιότητας (Πίνακας 4.4.1).

Πίνακας 4.4.1 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων της περιεκτικότητας των καρπών σε πρωτεΐνη (%) και υγρή γλουτένη (%). Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν μετά τη συγκομιδή της καλλιέργειας.

| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--|----|---------|---------|---------|---------|
| Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (%) | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 24,595 | 8,19833 | 8,20 | ** |
| Υπόλοιπο | 9 | 9,0 | 1,0 | | |
| Σύνολο | 15 | 38,82 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| Περιεκτικότητα σε υγρή γλουτένη (%) | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 248,487 | 82,829 | 11,16 | ** |
| Υπόλοιπο | 9 | 66,8256 | 7,42507 | | |
| Σύνολο | 15 | 360,734 | | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνων,

** = P-Value $\leq 0,01$

Οι υψηλότερες (12,9-13,4) τιμές περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη (Γράφημα 4.4.1, α) βρέθηκαν στους καρπούς που συλλέχθηκαν από τα πειραματικά τεμάχια όπου είχαν εφαρμοστεί οι επεμβάσεις T3 (100% N + χημική ζιζανιοκτονία) και T4 (20% N + βιοδιεγέρτη + χημική ζιζανιοκτονία) ενώ οι χαμηλότερες (10,6-10,9) στους καρπούς που συλλέχθηκαν από τα πειραματικά τεμάχια όπου είχαν εφαρμοστεί οι επεμβάσεις T1 (100% N) και T2 (20% N + μικροβιακό βιοδιεγέρτη). Αναφορικά με την περιεκτικότητα σε υγρή γλουτένη (Γράφημα 4.4.1, β), οι υψηλότερες τιμές αντιστοιχούν στις επεμβάσεις T3 (33,3) και T4 (35,7) ενώ οι χαμηλότερες στις επεμβάσεις T1 (26,4) και T2 (27,2). Οι συγκρίσεις αναπαρίστανται γραφικά για τα εν λόγω χαρακτηριστικά ποιότητας.

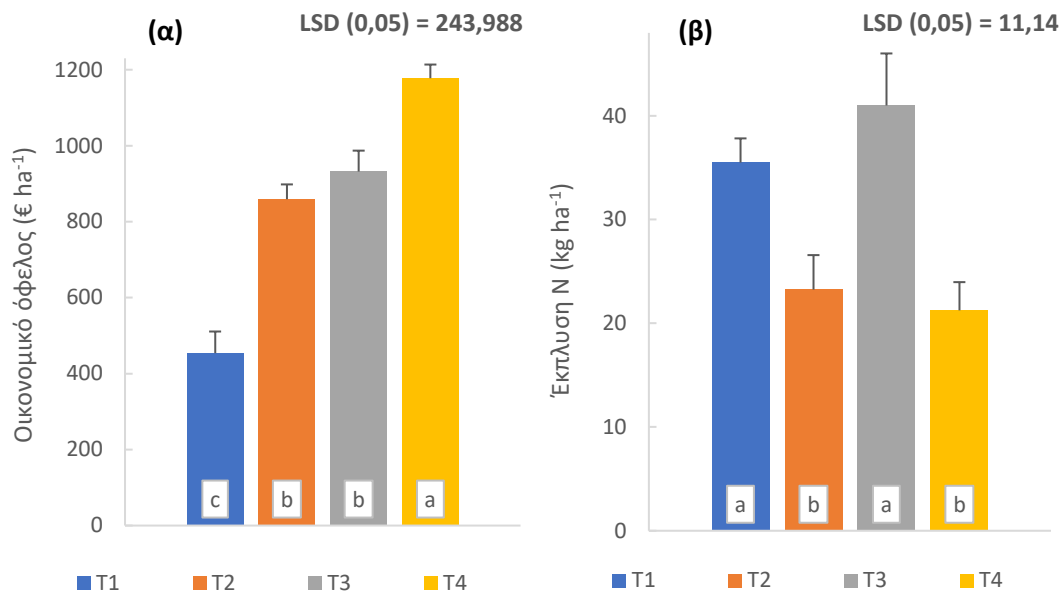
4.5 Οικονομικότητα και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Πίνακας 4.5.1 Ανάλυση της Παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων του οικονομικού οφέλους που επιφέρουν οι διαφορετικές επεμβάσεις στον παραγωγό για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021 και της έκπλυσης του αζώτου (kg N ha^{-1}) στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα (υπό μορφή νιτρικών) για τις διάφορες επεμβάσεις. Τα δεδομένα προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν μετά τη συγκομιδή της καλλιέργειας.

| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
|--|----|-----------|----------|---------|---------|
| Οικονομικό όφελος (€ ha^{-1}) | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 1,08391E6 | 361304,0 | 62,12 | *** |
| Υπόλοιπο | 9 | 52343,1 | 5815,9 | | |
| Σύνολο | 15 | 1,13914E6 | | | |
| ΠΠ | ΒΕ | ΑΤ | ΜΤ | F-Ratio | P-Value |
| Έκπλυση N (kg ha^{-1}) | | | | | |
| Επέμβαση | 3 | 1092,5 | 364,167 | 7,51 | ** |
| Υπόλοιπο | 9 | 436,5 | 48,5 | | |
| Σύνολο | 15 | 1681,0 | | | |

ΠΠ = Πηγή Παραλλακτικότητας, ΒΕ = Βαθμοί Ελευθερίας, ΑΤ = Άθροισμα Τετραγώνων, ΜΤ = Μέσα Τετράγωνα, ** = P-Value $\leq 0,01$, *** = P-Value $\leq 0,001$

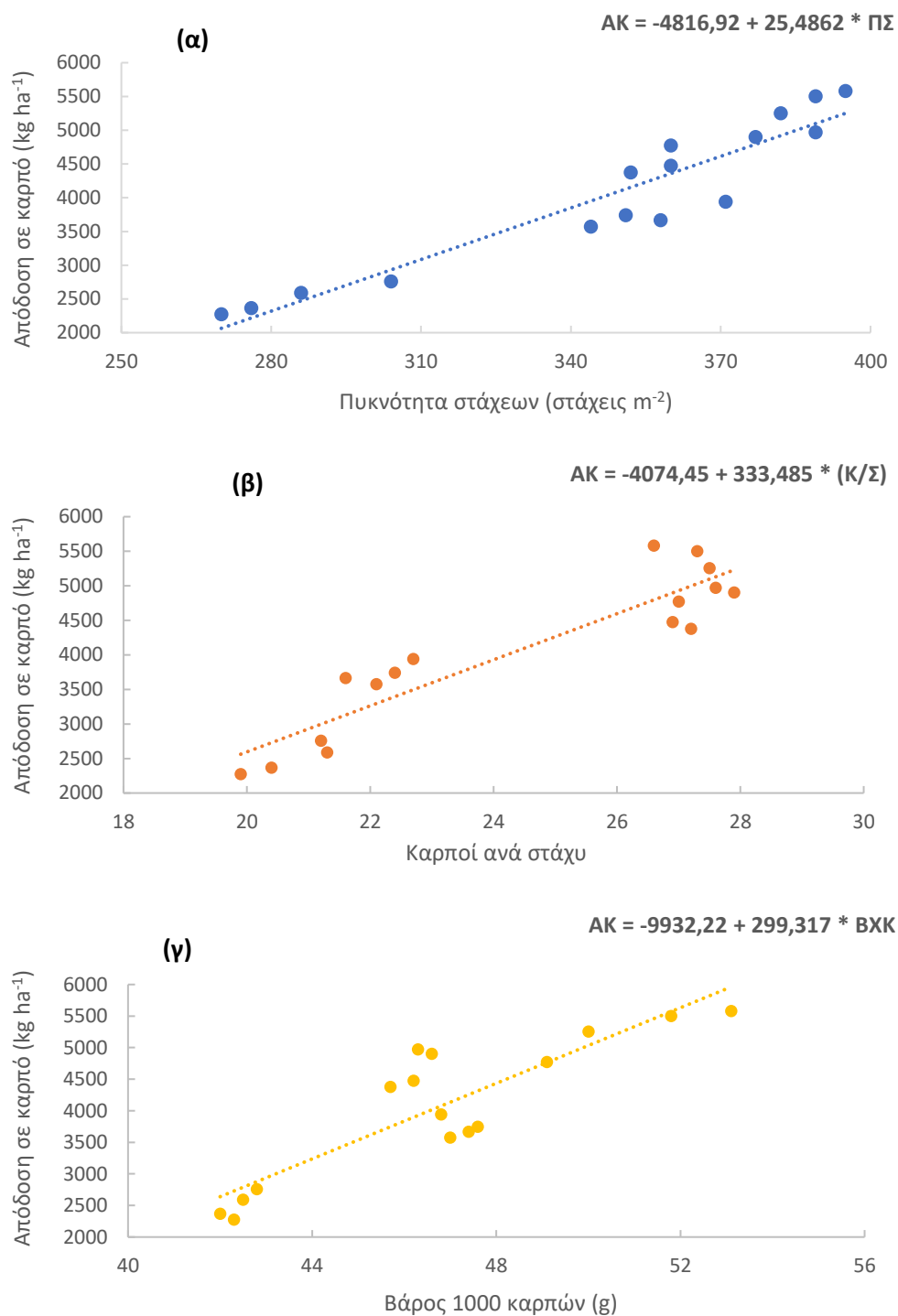
Ο παράγοντας της επέμβασης επηρέασε σημαντικά τα δεδομένων του οικονομικού οφέλους που επιφέρουν οι διαφορετικές επεμβάσεις στον παραγωγό για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021 (P-Value $\leq 0,001$) καθώς την ποσότητα του αζώτου που εκπλύθηκε στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα υπό μορφή νιτρικών (P-Value $\leq 0,01$), όπως προέκυψε από την Ανάλυση της Παραλλακτικότητας που διενεργήθηκε σε κάθε περίπτωση, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (Πίνακας 4.5.1).



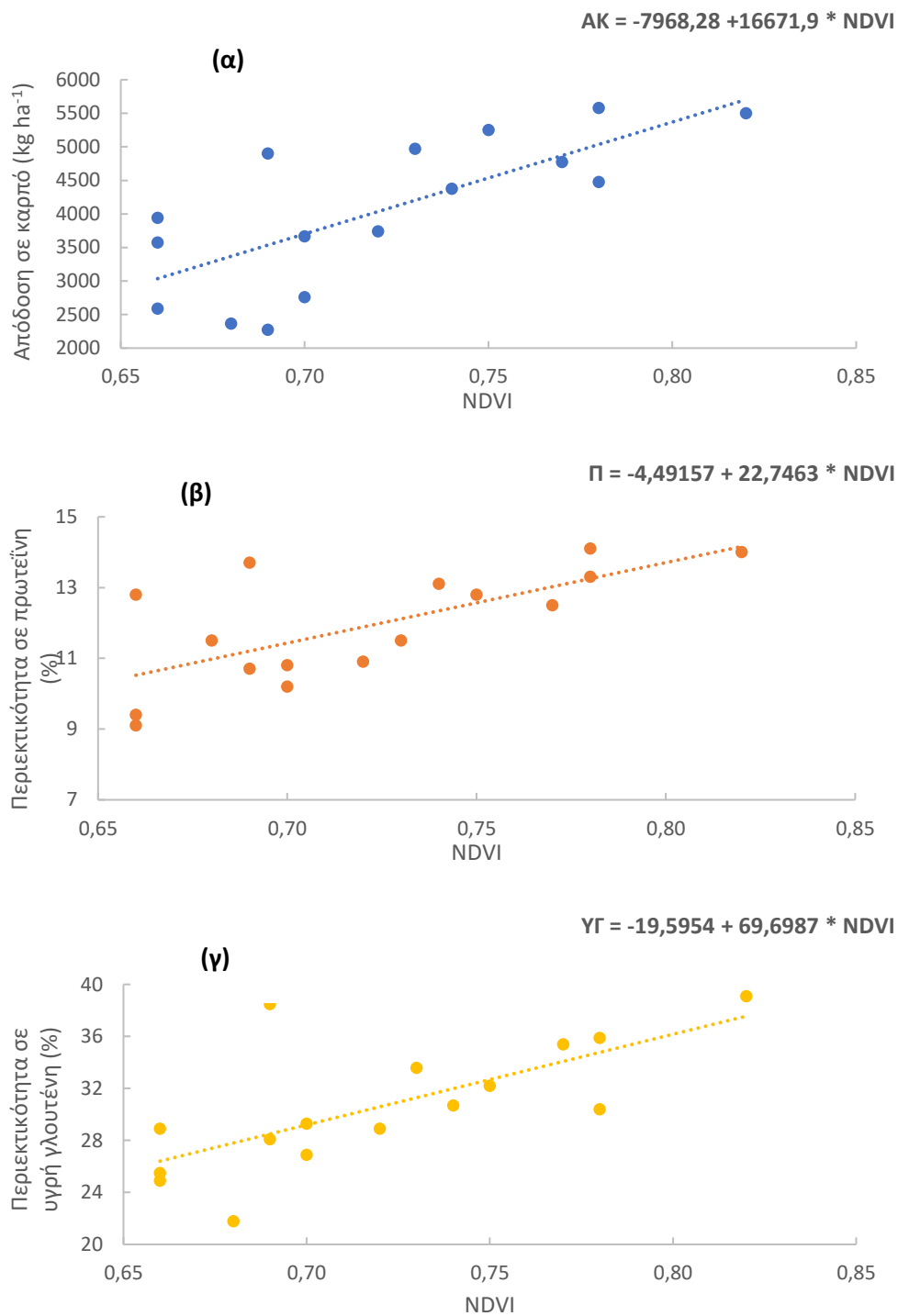
Γράφημα 4.5.1 (α) Το οικονομικό όφελος (€ ha⁻¹) που επιφέρει η κάθε επέμβαση στον παραγωγό για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021 και (β) η έκπλυση του αζώτου (kg N ha⁻¹) στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα για κάθε επέμβαση (υπό μορφή νιτρικών). Ο διαχωρισμός των μέσων, σε κάθε περίπτωση, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference: LSD) του Fischer, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ (οι κάθετες γραμμές αναπαριστούν το σφάλμα κάθε μέτρησης).

Σχετικά με το οικονομικό όφελος που επιφέρει η κάθε επέμβαση στον παραγωγό για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021, παρατηρήθηκε πως η επέμβαση T4 (20% N + μικροβιακό βιοδιεγέρτη + χημική ζιζανιοκτονία) αύξησε τα έσοδα της εκμετάλλευσης κατά 21, 27 και 62% συγκριτικά με τις επεμβάσεις T3 (100% N + χημική ζιζανιοκτονία), T2 (20% N + μικροβιακό βιοδιεγέρτη) και T1 (100% N), αντίστοιχα. Επιπλέον σημειώθηκε πως οι επεμβάσεις T2 και T3 επέφεραν σημαντική αύξηση (48-52%) του οικονομικού οφέλους σε σχέση με την επέμβαση T1 (Γράφημα 4.5.1, α). Αναφορικά με την ρύπανση του εδάφους που προκάλεσε η κάθε επέμβαση μέσω της έκπλυσης του αζώτου υπό την μορφή των νιτρικών (Γράφημα 4.5.1, β), οι υψηλότερες ποσότητες αζώτου εκπλύθηκαν στα τεμάχια όπου πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης (T1, T3) συγκριτικά με τα τεμάχια όπου εφαρμόστηκε το 20% της συνιστάμενης δόσης της αζωτούχου λίπανσης (T2, T4).

4.6 Συσχετίσεις



Γράφημα 4.6.1 Γραφική αναπαράσταση των γραμμικών συσχετίσεων μεταξύ (α) της απόδοσης σε καρπό (AK: kg ha⁻¹) και της πυκνότητας των στάχων ανά μονάδα επιφάνειας (ΠΣ: στάχεις m⁻²), (β) της απόδοσης σε καρπό (AK: kg ha⁻¹) και του αριθμού των καρπών ανά στάχυ και (γ) της απόδοσης σε καρπό (AK: kg ha⁻¹) και του βάρους 1000 καρπών (ΒΧΚ: g).



Γράφημα 4.6.2 Γραφική αναπαράσταση των γραμμικών συσχετίσεων μεταξύ (α) της απόδοσης σε καρπό (AK: kg ha⁻¹) και του δείκτη NDVI, (β) της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη (%) και του δείκτη NDVI (γ) της περιεκτικότητας σε υγρή γλουτένη (%) και του δείκτη NDVI. Τα δεδομένα των τιμών του δείκτη NDVI προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη (8 WAT).

Πίνακας 4.6.1 Οι παράμετροι των εξισώσεων γραμμικής συσχέτισης και η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που συσχετίστηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$.

| Παράμετρος | Συσχετιζόμενες παράμετροι | | |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| | $AK = A + b * \Pi\Sigma$ | $AK = A + b * (K/\Sigma)$ | $AK = A + b * B\chi K$ |
| Y | AK | AK | AK |
| X | $\Pi\Sigma$ | K/Σ | B χ K |
| Σταθερά (A) | $-4816,92 \pm 815,419$ | $-4074,45 \pm 908,261$ | $-9932,22 \pm 2010,77$ |
| Κλίση (b) | $25,4862 \pm 2,3295$ | $333,485 \pm 37,0236$ | $299,317 \pm 42,9583$ |
| P-Value | *** | *** | *** |
| R | 0,946196 | 0,923492 | 0,881006 |
| R ² (%) | 89,5286 | 85,2837 | 77,6171 |
| PMTA | 372,523 | 441,622 | 544,64 |

AK: Απόδοση σε καρπό ($kg ha^{-1}$), $\Pi\Sigma$: Πυκνότητα στάχων (στάχεις m^{-2}), B χ K: Βάρος 1000 καρπών (g), R: Συντελεστής Συσχέτισης, R²: Ποσοστό Συσχέτισης, PMTA: Ρίζα Μέσης Τετραγωνικής Απόκλισης, *** = P-Value $\leq 0,001$

Πίνακας 4.6.2 Οι παράμετροι των εξισώσεων γραμμικής συσχέτισης και η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που συσχετίστηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα των τιμών του δείκτη NDVI προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη (8 WAT).

| Παράμετρος | Συσχετιζόμενες παράμετροι | | |
|-------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| | $AK = A + b * NDVI$ | $\Pi = A + b * NDVI$ | $Y\Gamma = A + b * NDVI$ |
| Y | AK | AK | AK |
| X | NDVI | NDVI | B χ K |
| Σταθερά (A) | $-7968,28 \pm 2965,69$ | $-4,49157 \pm 4,55992$ | $-19,5954 \pm 13,8331$ |
| Κλίση (b) | $16671,9 \pm 4106,53$ | $22,7463 \pm 6,31403$ | $69,6987 \pm 19,1544$ |
| P-Value | ** | ** | ** |
| R | 0,735336 | 0,693585 | 0,697183 |

| | | | |
|--------------------|---------|---------|---------|
| R ² (%) | 54,0719 | 48,1059 | 48,6064 |
| PMTA | 780,172 | 1,19956 | 3,63902 |

AK: Απόδοση σε καρπό (kg ha⁻¹), Π: Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (%), ΥΓ: Περιεκτικότητα σε υγρή γλουτένη (%), R: Συντελεστής Συσχέτισης, R²: Ποσοστό Συσχέτισης, PMTA: Ρίζα Μέσης Τετραγωνικής Απόκλισης, ** = P-Value ≤ 0,01

Οι γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ και των τριών συστατικών απόδοσης και της απόδοσης της καλλιέργειας σε καρπό αποδείχθηκαν σημαντικές (P-Value ≤ 0,001; Πίνακας 4.6.1). Η συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης σε καρπό και της πυκνότητας των στάχων (Γράφημα 4.6.1, α) ήταν θετική (R = 0,946196) και ισχυρή (R² = 0,895286) ενώ ανάλογα ήταν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την γραμμική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης της καλλιέργειας σε καρπό και του αριθμού των παραγόμενων καρπών ανά στάχυ (Γράφημα 4.6.1, β: R = 0,923492, R² = 0,852837). Επίσης, παρατηρήθηκε πως η απόδοση σε καρπό συσχετίστηκε θετικά και ισχυρά με το βάρος 1000 καρπών (Γράφημα 4.6.1, γ: R = 0,881006, R² = 0,776171).

Στατιστικά σημαντικές ήταν και οι γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ των τιμών του δείκτη NDVI της απόδοσης της καλλιέργειας σε καρπό (P-Value ≤ 0,01). Σε κάθε περίπτωση οι μεταβλητές συσχετίστηκαν θετικά (Πίνακας 4.6.2). Παρατηρήθηκε επίσης πως η γραμμική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης της καλλιέργειας σε καρπό και του δείκτη NDVI ήταν ισχυρότερη (Γράφημα 4.6.2, α: R = 0,735336, R² = 0,540719) συγκριτικά με τις περιπτώσεις που η απόδοση σε καρπό συσχετίστηκε με την περιεκτικότητα των καρπών σε πρωτεΐνη (Γράφημα 4.6.2, β: R = 0,693585, R² = 0,481059) και υγρή γλουτένη (Γράφημα 4.6.2, γ: R = 0,697183, R² = 0,486064).

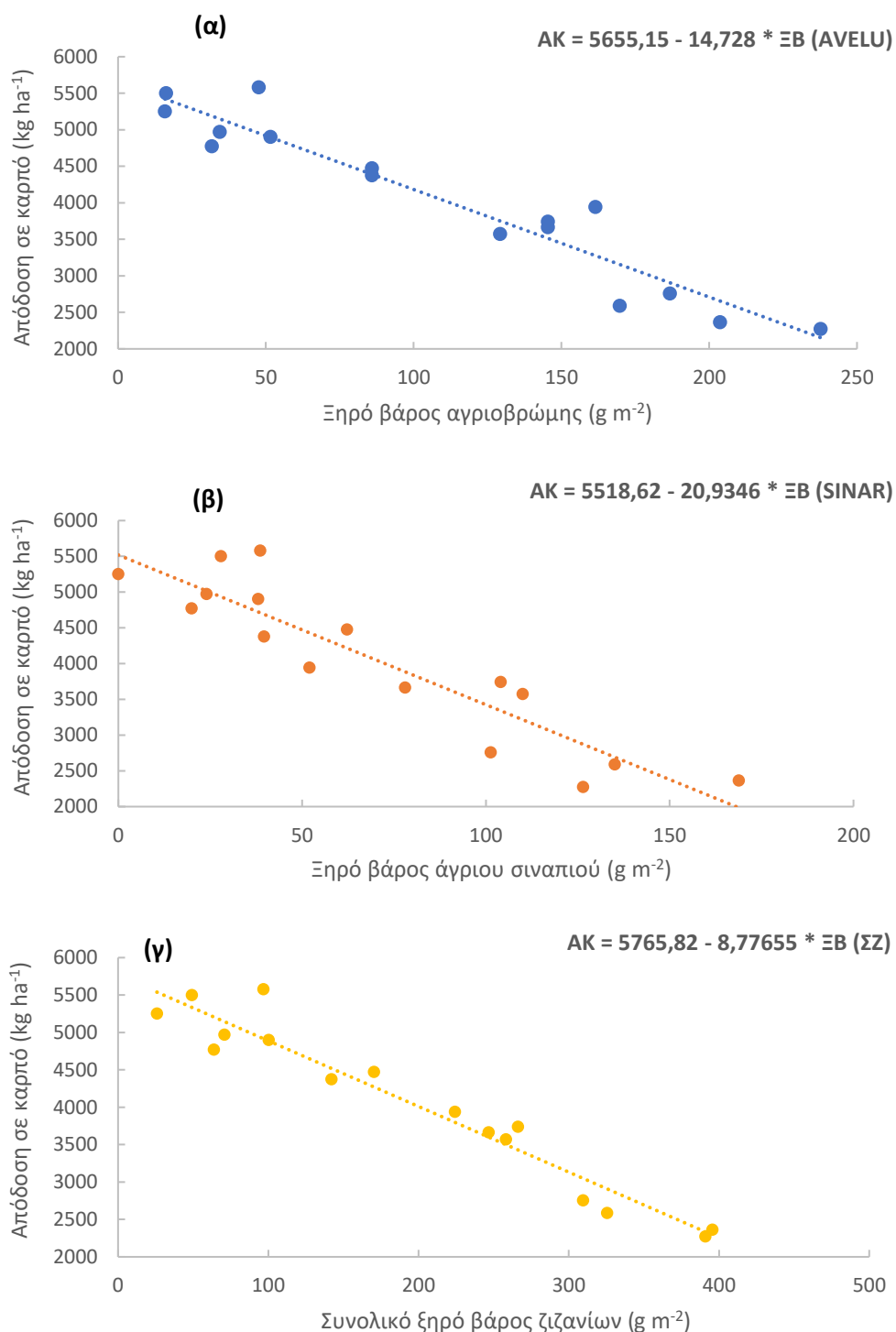
Πίνακας 4.6.3 Οι παράμετροι των εξισώσεων γραμμικής συσχέτισης και η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που συσχετίστηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Τα δεδομένα του ξηρού βάρους των ζιζανίων προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη (8 WAT).

| Παράμετρος | Συσχετιζόμενες παράμετροι | | |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| | AK = A + b * ΞB (AVELU) | AK = A + b * ΞB (SINAR) | AK = A + b * ΞB (ΣΖ) |
| Y | AK | AK | AK |
| X | ΞB (AVELU) | ΞB (SINAR) | ΞB (ΣΖ) |
| Σταθερά (A) | 5655,16 ± 158,26 | 5518,62 ± 206,131 | 5765,82 ± 138,293 |
| Κλίση (b) | -14,728 ± 1,22043 | -20,9346 ± 2,4337 | -8,77655 ± 0,603428 |
| P-Value | *** | *** | *** |
| R | -0,955144 | -0,917005 | -0,968466 |
| R ² (%) | 91,23 | 84,0898 | 93,7927 |
| PMTA | 340,919 | 459,186 | 286,815 |

AK: Απόδοση σε καρπό (kg ha^{-1}), ΞB: Ξηρό βάρος ανά μονάδα επιφάνειας (g m^{-2}), AVELU: Αγριοβρώμη: *Avena sterilis* L. ssp. *ludoviciana* (Durieu) Gillet & Magne, SINAR: Άγριο σινάπι; *Sinapis arvensis* L., ΣΖ: Συνολικό ζιζανίων, R: Συντελεστής Συσχέτισης, R²: Ποσοστό Συσχέτισης, PMTA: Ρίζα Μέσης Τετραγωνικής Απόκλισης, *** = P-Value $\leq 0,001$

Αναφορικά με τα αποτελέσματα των γραμμικών συσχετίσεων μεταξύ της απόδοσης της καλλιέργειας σε καρπό και του ξηρού βάρους των ζιζανίων ανά μονάδα επιφάνειας, η απόδοση συσχετίστηκε αρνητικά (Πίνακας 4.6.3) και σε στατιστικά σημαντικό βαθμό (P-Value $\leq 0,001$) με τη βιομάζα της αγριοβρώμης, του άγριου σιναπιού και της συνολικής βιομάζας των ζιζανίων. Παρατηρήθηκε πως περίπου το 91% της παραλλακτικότητας της απόδοσης της καλλιέργειας οφειλόταν στο ξηρό βάρος των φυτών της αγριοβρώμης ανά μονάδα επιφάνειας (Γράφημα 4.6.3, α: R = -0,955144, R² = 0,776171). Ισχυρή και αρνητική ήταν η συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης και της βιομάζας του άγριου σιναπιού (Γράφημα 4.6.3, β: R = -0,917005, R² = 0,840898). Επιπλέον, η ισχυρότερη γραμμική συσχέτιση καταγράφηκε μεταξύ της

απόδοσης σε καρπό και της συνολικής βιομάζας των ζιζανίων (Γράφημα 4.6.3, γ: $R = -0,968466$, $R^2 = 0,937927$).



Γράφημα 4.6.3 Γραφική αναπαράσταση των γραμμικών συσχετίσεων μεταξύ (α) της απόδοσης σε καρπό (AK: kg ha⁻¹) και του ξηρού βάρους της αγριοβρώμης ανά μονάδα επιφάνειας [ΞΒ (AVELU): g m⁻²], (β) της απόδοσης σε καρπό (AK: kg ha⁻¹) και του ξηρού βάρους του άγριου σιναπιού ανά μονάδα επιφάνειας [ΞΒ (SINAR): g m⁻²] και (γ) της απόδοσης σε καρπό (AK: kg ha⁻¹) και του συνολικού ξηρού βάρους των ζιζανίων ανά μονάδα επιφάνειας [ΞΒ

(ΣΖ): g m⁻²). Τα δεδομένα του ξηρού βάρους των ζιζανίων προέρχονται από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν 8 εβδομάδες μετά την εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιαεγέρτη (8 WAT).

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι στις περιπτώσεις που πραγματοποιήθηκε χημική ζιζανιοκτονία (επεμβάσεις T3, T4), η πυκνότητα και η βιομάζα επιβλαβών ειδών ζιζανίων όπως η αγριοβρώμη και το άγριο σινάπι ήταν μικρότερη στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκε ο μικροβιακός βιοδιαεγέρτης. Ανάλογα αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών έχουν αναφερθεί σε χειμερινά σιτηρά στον ελληνικό χώρο όπου έχει επίσης διαπιστωθεί ικανοποιητικός έλεγχος των εν λόγω ζιζανίων όταν έγινε συνδυασμός καλλιεργητικών πρακτικών διαχείρισης των ζιζανίων μαζί με εφαρμογή εκλεκτικών ζιζανιοκτόνων (Kanatas et al., 2020). Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι συναφή με εκείνα της μελέτης των Sudhana et al. (2018) που πραγματοποιήθηκε σε εαρινά σιτηρά και συγκεκριμένα στην καλλιέργεια του σόργου [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Ο αποτελεσματικότερος έλεγχος των ζιζανίων μπορεί αρχικά να αποδοθεί στο γεγονός ότι η εφαρμογή του βιοδιαεγέρτη συνδυάστηκε με μειωμένη εφαρμογή αζώτου στο έδαφος. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάστηκαν και από τους Lehoczky et al. (2012) όπου σε πειράματα αγρού στην καλλιέργεια του σιταριού, ανέφεραν ότι η πυκνότητα των ζιζανίων μειώθηκε αναλογικά με τα μειωμένα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης. Επιπλέον, η μελέτη των Angonin et al. (1996) έδειξε ότι οι απώλειες στην απόδοση της καλλιέργειας λόγω ανταγωνισμού με χειμερινά πλατύφυλλα ζιζάνια μειώθηκαν, όταν εφαρμόστηκαν μειωμένες δόσεις αζωτούχου λίπανσης κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας του σιταριού.

Με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συμφωνούν και εκείνα του Pourreza (2017), όπου υποδηλώνουν ότι οι χαμηλότερες δόσεις αζωτούχου λίπανσης μείωσαν την ανταγωνιστικότητα της αγριοβρώμης έναντι του σιταριού. Είναι ευρέως αποδεκτό πως οι γεωργικές πρακτικές όπως οι λίπανση καθορίζουν όχι μόνο τη σύσταση της ζιζανιοχλωρίδας σε μια αγροτική περιοχή αλλά και τις συνθήκες ανταγωνισμού μεταξύ των ζιζανίων και των καλλιεργούμενων φυτών (Kakabouki et

al., 2015; Travlos et al., 2018). Άλλη μια εξήγηση έγκειται στο γεγονός ότι η διαφυλλική εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη ευνόησε σημαντικά την ανάπτυξη της καλλιέργειας και αύξησε, συνεπώς την ανταγωνιστικότητά της προς τα ζιζάνια. Η εξήγηση αυτή ενισχύεται από τα ευρήματα της πρόσφατης έρευνας των Dahiya et al. (2019). Οι ανωτέρω ερευνητές διαπίστωσαν ότι η ενσωμάτωση ωφέλιμων βακτηρίων στους σπόρους του σιταριού οδήγησε σε έως και 76% αυξημένο βάρος βλαστού για την καλλιέργεια συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές που καταγράφηκαν για το είδος αγριοβρώμης που συμπεριλήφθηκε στην εν λόγω μελέτη (*Avena fatua* L.). Ανάλογες ήταν οι ωφέλιμες επιδράσεις των βιοδιεγερτών και στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών της καλλιέργειας συγκριτικά με την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών της αγριοβρώμης (Dahiya et al. 2019).

Αναφορικά με τα στοιχεία ανάπτυξης της καλλιέργειας, διαπιστώθηκαν οι ωφέλιμες επιδράσεις της εφαρμογής του βιοδιεγέρτη στο αδελφωμα του σκληρού σιταριού. Τα συγκεκριμένα ευρήματα βρίσκονται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα των Chandra et al. (2019) οι οποίοι διαπίστωσαν ότι η εφαρμογή βιοδιεγερτών, σε συνθήκες αγρού, μπορούν να αυξήσουν το αδελφωμα του σιταριού κατά 24-32% ακόμα και υπό συνθήκες υδατικού στρες. Οι αυξημένες τιμές του δείκτη NDVI στα τεμάχια των επεμβάσεων T3 και T4 επιβεβαιώνουν ακόμα περισσότερο τις ωφέλιμες επιδράσεις των βιοδιεγερτών στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Πρόσφατες έρευνες έχουν αποδείξει ότι οι τιμές του δείκτη NDVI αποτελούν αξιόπιστο μέγεθος προσδιορισμού της ανάπτυξης της καλλιέργειας και σχετίζονται θετικά με αυτήν και αρνητικά με την αντίστοιχη των ζιζανίων (Milan et al., 2020, Mwenda et al., 2020, Naser et al., 2020, Tenreiro et al., 2021, Travlos et al., 2021). Μάλιστα, η στατιστικά σημαντική συσχέτιση ($P\text{-Value} \leq 0,01$) μεταξύ των τιμών της απόδοσης σε καρπό και των αντίστοιχων του δείκτη NDVI επιβεβαιώνουν το συμπέρασμα αυτό και συμφωνούν με τις μελέτες που προαναφέρθηκαν. Επίσης σημαντικές ($P\text{-Value} \leq 0,01$) ήταν οι συσχετίσεις μεταξύ των τιμών του δείκτη με τις αντίστοιχες των χαρακτηριστικών ποιότητας του σκληρού σιταριού και τα αποτελέσματα αυτά είναι συναφή με τα αντίστοιχα των Kizilgeci et al. (2021).

Αναφορικά με τα συστατικά απόδοσης και την τελική απόδοση της καλλιέργειας σε καρπό, οι τιμές των παραμέτρων βρέθηκαν αυξημένες στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκε ο βιοδιεγέρτης. Το γεγονός αυτό μπορεί

αρχικά να αποδοθεί στη μειωμένη πυκνότητα και βιομάζα των ζιζανίων στα αντίστοιχα πειραματικά τεμάχια και ενισχύεται περαιτέρω από τις ισχυρές αρνητικές συσχετίσεις ($R^2 = 84-93\%$) μεταξύ της απόδοσης και της βιομάζας των ζιζανίων. Ο ανταγωνισμός των ζιζανίων όπως η αγριοβρώμη και το άγριο σινάπι προς την καλλιέργεια του σκληρού σιταριού, είναι ευρέως αποδεκτό πως αποτελεί σημαντικό περιοριστικό παράγοντα της παραγωγικότητας των χειμερινών σιτηρών (Kanatas et al., 2020, Mahajan and Chauhan, 2021, Modhej, 2021, Travlos et al., 2021). Επιπλέον, οι ωφέλιμες επιδράσεις της εφαρμογής των βιοδιεγερτών στην απόδοση της καλλιέργειας σε καρπό, βιομάζα καθώς και στις τιμές του δείκτη συγκομιδής, συμφωνούν με τις υποδείξεις που προκύπτουν από την πρόσφατη ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας από τους Santos et al. (2021). Ανάλογες ήταν και οι παρατηρήσεις των Chandra and Sharma (2021) οι οποίοι ανέφεραν ότι η εφαρμογή βιοδιεγερτών αύξησε την απόδοση του σιταριού σε καρπό, την απόδοση σε βιομάζα και την τιμή του δείκτη συγκομιδής κατά 74, 37 και 16%, αντίστοιχα, σε ρεαλιστικές συνθήκες αγρού ενώ όμοιες ήταν οι παρατηρήσεις τους και για την καλλιέργεια του ρυζιού (*Oryza sativa* L.).

Σε κάθε περίπτωση η εφαρμογή του μικροβιακού βιοδιεγέρτη επέφερε αύξηση των αποδόσεων και συνεπώς, την αύξηση του οικονομικού οφέλους της εκμετάλλευσης. Ανάλογες παρατηρήσεις έχουν γίνει και στην πρόσφατη έρευνα των Gurdeer and Reddy (2015). Επιπλέον, η εφαρμογή του βιοδιεγέρτη οδήγησε σε αυξημένες τιμές για τα χαρακτηριστικά ποιότητας του προϊόντος και τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα πρόσφατα των Laranjeira et al. (2021) σχετικά με την ποιότητα του ρεβιθιού (*Cicer arietinum* L.). Επίσης, ένα ακόμα ενδιαφέρον εύρημα της παρούσας μελέτης είναι οι ωφέλιμες επιδράσεις της εφαρμογής των βιοδιεγερτών, που συνεπάγεται με την μειωμένη χρήση χημικών λιπασμάτων. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν σημαντικά μικρότερες ποσότητες έκπλυσης νιτρικών στα τεμάχια των επεμβάσεων T2 και T4. Η εφαρμογή βιοδιεγερτών έχει επισημανθεί ως μια αγρονομική πρακτική με πολλαπλά περιβαλλοντικά οφέλη σε σύγκριση με συμβατικές πρακτικές (Bashan et al., 2016, Kalia et al., 2020, Santos et al., 2021). Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται περαιτέρω έρευνα προκειμένου να αξιολογηθεί η πρακτική της εφαρμογής των βιοδιεγερτών ως εργαλείο για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των ζιζανίων, την αύξηση των αποδόσεων των καλλιεργειών και τη μείωση

της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος, σε περισσότερες καλλιέργειες και υπό διαφορετικές εδαφοκλιματικές συνθήκες.

6 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

"Τα σιτηρά των εύκρατων κλιμάτων", Ανδρέας Ι. Καραμάνος, Καθηγητής της Γεωργίας στην Ανωτάτη Γεωπονική Σχολή Αθηνών.

Ζιώγας, Β. Ν., Α. Ν. Μαρκόγλου., 2007. Γεωργική Φαρμακολογία. Βιοχημεία, Μηχανισμοί Δράσης και Χρήσεις των Φυτοπροστατευτικών Προϊόντων.

Καραμάνος Α., (1992), «Τα σιτηρά των Εύκρατων Κλιμάτων», Ανώτατη Γεωπονική Σχολή Αθηνών, Αθήνα.

Καραμάνος, Α. 1992. Τα σιτηρά των Εύκρατων Κλιμάτων. Ανωτάτη Γεωπονική Σχολή Αθηνών. Αθήνα.

Μετζάκης, Δ. 1998. Ειδική Γεωργία Ι-Σιτηρά. Τμήμα Φυτικής Παραγωγής. Τ.Ε.Ι. Ηπείρου. Άρτα

Παπακώστα-Τασοπούλου, Δ. 2012. Σιτηρά και Ψυχανθή. Σύγχρονη Παιδεία. Θεσσαλονίκη.

Σφήκας Α. Γ. 1984. Ειδική Γεωργία : Σιτηρά, Ψυχανθή και Κτηνοτροφικά Φυτά. Θεσσαλονίκη

7 ΞΕΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abeles, F. B., Morgan, P. W., & Saltveit Jr, M. E. (2012). Ethylene in plant biology. Academic press.

Acciaresi, H. A., Chidichimo, H. O., & Sarandón, S. J. (2001). Traits related to competitive ability of wheat (*Triticum aestivum*) varieties against Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). *Biological agriculture & horticulture*, 19(3), 275-286.

Akkermans, A. D. L., Abdulkadir, S., and Trinick, M. J., 1978, Nitrogen-fixing root nodules in *Ulmaceae*, *Nature*, 274:190

Aleklett K, Hart M, Shade A (2014) The microbial ecology of flowers: an emerging frontier in phyllosphere research. *Botany* 92:253–266

Ali, B., Sabri, A. N., & Hasnain, S. (2010). Rhizobacterial potential to alter auxin content and growth of *Vigna radiata* (L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(8), 1379-1384.

Ali, S., Charles, T. C., & Glick, B. R. (2014). Amelioration of high salinity stress damage by plant growth-promoting bacterial endophytes that contain ACC deaminase. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80, 160-167.

Allan, R. E. (1983). Harvest Indexes of Backcross-Derived Wheat Lines Differing in Culm Height 1. *Crop science*, 23(6), 1029-1032.

Alloisio N, Queiroux C, Fournier P, Pujic P, Normand P, Vallenet D, Médigue C, Yamaura M, Kakoi K, Kucho K-I. (2010) The *Frankia alni* symbiotic transcriptome. *Mol Plant Microbe Interact* 23: 593–607

Arioli, T., Mattner, S. W., & Winberg, P. C. (2015). Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future. *Journal of applied phycology*, 27(5), 2007-2015. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0574-9>

Atzhorn, R., Crozier, A., Wheeler, C. T., & Sandberg, G. (1988). Production of gibberellins and indole-3-acetic acid by *Rhizobium phaseoli* in relation to nodulation of *Phaseolus vulgaris* roots. *Planta*, 175, 532-538.

Banerjee, M. R., Yesmin, L., Vessey, J. K., & Rai, M. (2006). Plant-growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. *Handbook of microbial biofertilizers*. Food Products Press, New York, 137-181.

Barnawal, D., Bharti, N., Maji, D., Chanotiya, C. S., & Kalra, A. (2012). 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) deaminase-containing rhizobacteria protect *Ocimum sanctum* plants during waterlogging stress via reduced ethylene generation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 58, 227-235.

Barton, L. V. (1961). Seed preservation and longevity. *Seed preservation and longevity*.

Basak, A. (2008). Biostimulators—definitions, classification and legislation. *Biostimulators Mod Agric Gen Asp*, 7-17.

Bashan, Y., & Holguin, G. (1998). Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biology & Biochemistry*, 30(8-9), 1225-1228. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00187-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00187-9)

Bashan, Y., de-Bashan, L. E., & Prabhu, S. R. (2016). Superior polymeric formulations and emerging innovative products of bacterial inoculants for sustainable agriculture and the environment. In *Agriculturally important microorganisms* (pp. 15-46). Springer, Singapore.

Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P., & Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012>

Beattie, G. A., and Lindow, S. E. 1995. The secret life of foliar bacterial pathogens on leaves. *Annu. Rev. Phytopathol.* 33:145-172

Berg, G. (2009). Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied microbiology and biotechnology*, 84(1), 11-18. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2092-7>

Berlyn, G. P., & Russo, R. O. (1990). The use of organic biostimulants to promote root growth. *Belowground Ecol*, 2, 12-13.

Biostimulants Market Size Worth \$4.14 Billion By 2025|CAGR: 10.2%. Available online: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-biostimulants-market> (accessed on 8 March 2019).

Biostimulants Market Size Worth \$4.14 Billion By 2025|CAGR: 10.2%. Available online: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-biostimulants-market> (accessed on 8 March 2019).

Blackshaw, R. E. (1993). Safflower (*Carthamus tinctorius*) density and row spacing effects on competition with green foxtail (*Setaria viridis*). *Weed Science*, 41(3), 403-408.

Blackshaw, R. E. (1994). Differential competitive ability of winter wheat cultivars against downy brome. *Agronomy Journal*, 86(4), 649-654.

Blagoveshchensky, A. V. (1955). Biogenic stimulants in agriculture. *Priroda*, 7, 43-47.

Blaha, D., Prigent-Combaret, C., Mirza, M. S., & Moënne-Loccoz, Y. (2006). Phylogeny of the 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase-encoding gene *acdS* in phytobeneficial and pathogenic Proteobacteria and relation with strain biogeography. *FEMS Microbiology Ecology*, 56(3), 455-470.

Boddey, R. M., De Oliveira, O. C., Urquiaga, S., Reis, V. M., De Olivares, F. L., Baldani, V. L. D., & Döbereiner, J. (1995). Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: contributions and prospects for improvement. In *Management of biological nitrogen fixation for the development of more productive and sustainable agricultural systems* (pp. 195-209). Springer, Dordrecht.

Bodenhausen N, Horton MW, Bergelson J (2013) Bacterial communities associated with the leaves and the roots of *Arabidopsis thaliana*. *PLoS ONE* 8(2):e56329

Bradbury, D., M.M. MacMasters and I.M. Cull. 1956. Structure of the mature wheat Kernel III. Microscopic structure of the endosperm of hard red winter wheat. *Cereal Chemistry* 33:373-391.

Brocklehurst, P. A. (1977). Factors controlling grain weight in wheat. *Nature*, 266(5600), 348-349.

Buhler, D.D. 2002. Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Sci.* 50:273-280.

Bulgarelli D., Schlaeppi K., Spaepen S., Ver Loren van Themaat E., Schulze-Lefert P. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2013;64:807–838. [PubMed]

Campbell, W., J. Lee, T. O'brien, and M. Smart. 1981. Endosperm Morphology and Protein Body Formation in Developing Wheat Grain. *Functional Plant Biology* 8: 5-19.

Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia horticultrae*, 196, 15-27.

Ceccarelli, S. (1996). Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica*, 92(1), 203-214.

Cerdán, M., Sánchez-Sánchez, A., Oliver, M., Juárez, M., & Sánchez-Andreu, J. J. (2008, September). Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. In *IV Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes 830* (pp. 481-488). 10.17660/ActaHortic.2009.830.68

Chandra, D., & Sharma, A. K. (2021). Field evaluation of consortium of bacterial inoculants producing ACC deaminase on growth, nutrients and yield components of rice and wheat. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 24(3), 293-305.

Chandra, D., Srivastava, R., Gupta, V. V., Franco, C. M., Paasricha, N., Saifi, S. K., ... & Sharma, A. K. (2019). Field performance of bacterial inoculants to alleviate water stress effects in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Soil*, 441(1), 261-281.

Chandra, D., Srivastava, R., Gupta, V. V., Franco, C. M., Paasricha, N., Saifi, S. K., ... & Sharma, A. K. (2019). Field performance of bacterial inoculants to alleviate water stress effects in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Soil*, 441(1), 261-281.

Conrath U (2006) Systemic acquired resistance. *Plant Signal Behav* 1(4):179–184

Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of applied phycology*, 23(3), 371-393.

Curie, C., Panaviene, Z., Loulergue, C., Dellaporta, S. L., Briat, J. F., & Walker, E. L. (2001). Maize yellow stripe1 encodes a membrane protein directly involved in Fe (III) uptake. *Nature*, 409(6818), 346-349.

Dahiya, A., Sharma, R., Sindhu, S., & Sindhu, S. S. (2019). Resource partitioning in the rhizosphere by inoculated *Bacillus* spp. towards growth stimulation of wheat and suppression of wild oat (*Avena fatua* L.) weed. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(6), 1483-1495.

Dalbro, S., Leaching of apple foliage by rain. Repts. 14th Int. Hort. Congr. I, 770-778 (1955

Dawson JO 2008 . Ecology of actinorhizal plants . In: Pawlowski K, Newton W (eds). Nitrogen-fixing actinorhizal symbioses .Nitrogen fixation: origins ,applications and research Progress . Springer , Dordrecht, the Netherlands pp 199-234 .

De Rybel, B., Mähönen, A. P., Helariutta, Y., & Weijers, D. (2016). Plant vascular development: from early specification to differentiation. *Nature reviews Molecular cell biology*, 17(1), 30-40.

Dhima, K. V., Eleftherohorinos, I. G., & Vasilakoglou, I. B. (2000). Interference between *Avena sterilis*, *Phalaris minor* and five barley cultivars. *Weed Research*, 40(6), 549-559.

Didon, U. (2002). Growth and development of barley cultivars in relation to weed competition. Swedish University of Agricultural Sciences.

Diem, H. G. and Dommergues Y. R. (1990) Current and potential uses and management of Casuarinaceae in the tropics and subtropics. In the *Biology of Frankia and Actinorhizal Plants* (C. R. Schwintzer and J. D. Tjepkema, Eds), pp. 316-342. Academic Press, San Diego.

Doll, H. (1997). The ability of barley to compete with weeds. *Biological Agriculture & Horticulture*, 14(1), 43-51.

Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14.

Du Jardin, P. The Science of Plant Biostimulants—A Bibliographic Analysis; Ad hoc Study Report; European Commission: Brussels, Belgium, 2012; Available online: <http://hdl.handle.net/2268/169257> (accessed on 29 November 2021).

EL Boukhari, M. E., Barakate, M., Bouhia, Y., & Lyamlouli, K. (2020). Trends in seaweed extract based biostimulants: Manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. *Plants*, 9(3), 359.

Emiliani G, Mengoni A, Maida I, Perrin E, Chiellini C, Fondi M, Gallo E, Gori L, Maggini V, Vannacci A, Bif S (2014) Linking bacterial endophytic communities to essential oils: clues from *Lavandula angustifolia* Mill. *Evid Based Complement Alternat Med* 214:650905

F. Ryffel, E.J.N. Helfrich, P. Kiefer, L. Peyriga, J.C. Portais, J. Piel, J.A. Vorholt Metabolic footprint of epiphytic bacteria on *Arabidopsis thaliana* leaves *Isme J.*, 10 (2016), pp. 632-643

Feng, K., Lu, H. M., Sheng, H. J., Wang, X. L., & Mao, J. (2004). Effect of organic ligands on biological availability of inorganic phosphorus in soils. *Pedosphere*, 14(1), 85-92.

Ferreira, C. M., Soares, H. M., & Soares, E. V. (2019). Promising bacterial genera for agricultural practices: An insight on plant growth-promoting properties and microbial safety aspects. *Science of the total environment*, 682, 779-799. 10.1016/j.scitotenv.2019.04.225

Filatov, V. P. (1944). Tissue Therapy in Ophthalmology. *American Review of Soviet Medicine*, 2(1), 53-66.

Filner, P., & Varner, J. E. (1967). A test for de novo synthesis of enzymes: density labeling with H₂O¹⁸ of barley alpha-amylase induced by gibberellic acid. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 58(4), 1520.

Fowler, D. B., & Gusta, L. V. (1977). Influence of fall growth and development on cold tolerance of rye and wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 57(3), 751-755.

Franche, C., Lindström, K., & Elmerich, C. (2009). Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant and soil*, 321(1), 35-59.

Gallagher, J. N., Biscoe, P. V., & Hunter, B. (1976). Effects of drought on grain growth. *Nature*, 264(5586), 541-542.

Garcia Salamone, I. E. D., Hynes, R. K., & Nelson, L. M. (2005). Role of cytokinins in plant growth promotion by rhizosphere bacteria. *PGPR: biocontrol and biofertilization*, 173-195.

Garcia Salamone, I. E. D., Hynes, R. K., & Nelson, L. M. (2005). Role of cytokinins in plant growth promotion by rhizosphere bacteria. *PGPR: biocontrol and biofertilization*, 173-195.

Garcia Salamone, I. E. D., Hynes, R. K., & Nelson, L. M. (2005). Role of cytokinins in plant growth promotion by rhizosphere bacteria. *PGPR: biocontrol and biofertilization*, 173-195.

García-Martínez, A. M., Díaz, A., Tejada, M., Bautista, J., Rodríguez, B., Santa María, C., ... & Parrado, J. (2010). Enzymatic production of an organic soil biostimulant from wheat-condensed distiller solubles: Effects on soil biochemistry and biodiversity. *Process Biochemistry*, 45(7), 1127-1133. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.04.005>

Gerhard Fiala, Carl R. Woese, Thomas A. Langworthy & Karl O. Stetter. *Flexistipes sinusarabici*, a novel genus and species of eubacteria occurring in the Atlantis II Deep brines of the Red Sea. *Archives of Microbiology* volume 154, pages120–126(1990)

Gharde, Y., Singh, P. K., Dubey, R. P., & Gupta, P. K. (2018). Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India. *Crop Protection*, 107, 12-18.

Glick, B. R., Cheng, Z., Czarny, J., & Duan, J. (2007). Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. *New perspectives and approaches in plant growth-promoting Rhizobacteria research*, 329-339.

Goatley, J. M., & Schmidt, R. E. (1991). Biostimulator enhancement of Kentucky bluegrass sod. *HortScience*, 26(3), 254-255.

Gooding, M. J., Smith, G., Davies, W. P., & Kettlewell, P. S. (1997). The use of residual maximum likelihood to model grain quality characters of wheat with variety, climatic and nitrogen fertilizer effects. *The Journal of Agricultural Science*, 128(2), 135-142.

Guerinot, M. L., & Yi, Y. (1994). Iron: nutritious, noxious, and not readily available. *Plant physiology*, 104(3), 815.

Guerinot, M. L., & Yi, Y. (1994). Iron: nutritious, noxious, and not readily available. *Plant physiology*, 104(3), 815.

Gutierrez-Manero, F. J., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehouchi, J., Tadeo, F. R., & Talon, M. (2001). Development, growth and differentiation-The plant-growth-promoting

rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Physiologia Plantarum*, 111(2), 206-211.

Hartmann, A., Rothballer, M., & Schmid, M. (2008). Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. *Plant and Soil*, 312(1), 7-14.

Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R., & Ahmed, I. (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annals of microbiology*, 60(4), 579-598. <https://doi.org/10.1007/s13213-010-0117-1>

Henning K., Villforth F. 1940. Experimentelle untersuchungen zur frage der bacteriesymbiose in höheren pflanzen und ihre beeinflussung durch 'Leitemente'. *Biochemische Zeitschrift*, 305: 299–309.

Herve, J. J. (1994). Biostimulant, a new concept for the future and prospects offered by chemical synthesis and biotechnologies. *Comptes Rendus de l'Academie d'Agriculture de France* (France).

Herzog, H. (1986). Source and sink during the reproductive period of wheat. Development and its regulation with special reference to cytokinins. *Fortschritte im Acker-und Pflanzenbau* (Germany).

Hider, R. C., & Kong, X. (2010). Chemistry and biology of siderophores. *Natural product reports*, 27(5), 637-657.

Hirano S, Baker L S, Upper C D. Raindrop momentum triggers growth of leaf-associated populations of *Pseudomonas syringae* on field-grown snap bean plants. *Appl Environ Microbiol*. 1996;62:2560–2566

Honma, M., & Shimomura, T. (1978). Metabolism of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Agricultural and Biological Chemistry*, 42(10), 1825-1831.

<https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>

J. Hallmann, A. Quadt-Hallmann, W.F. Mahaffee, and J.W. Kloepper 1997. Bacterial endophytes in agricultural crops. *Can. J. Microbiol*. 43: 895 -914

Joo, G. J., Kim, Y. M., Kim, J. T., Rhee, I. K., Kim, J. H., & Lee, I. J. (2005). Gibberellins-producing rhizobacteria increase endogenous gibberellins content and promote growth of red peppers. *Journal of Microbiology*, 43(6), 510-515.

- Joo, G. J., Kim, Y. M., Kim, J. T., Rhee, I. K., Kim, J. H., & Lee, I. J. (2005). Gibberellins-producing rhizobacteria increase endogenous gibberellins content and promote growth of red peppers. *Journal of Microbiology*, 43(6), 510-515.
- Kado, C.I. 1992. Plant pathogenic bacteria. In *The prokaryotes*. Edited by A. Balows, H.G. Triiper, M. Dworkin, W. Harder, and K.-H. Schleifer. Springer-Verlag, New York. pp. 660- 662.
- Kakabouki, I., Karkanis, A., Travlos, I. S., Hela, D., Papastylianou, P., Wu, H., ... & Bilalis, D. (2015). Weed flora and seed yield in quinoa crop (*Chenopodium quinoa* Willd.) as affected by tillage systems and fertilization practices. *International Journal of Pest Management*, 61(3), 228-234.
- Kalia, A., Sharma, S. P., Kaur, S., & Kaur, H. (2020). Bacterial inoculants: how can these microbes sustain soil health and crop productivity?. In *Soil health* (pp. 337-372). Springer, Cham.
- Kanatas, P. J., Travlos, I. S., Gazoulis, J., Antonopoulos, N., Tsekoura, A., Tataridas, A., & Zannopoulos, S. (2020). The combined effects of false seedbed technique, post-emergence chemical control and cultivar on weed management and yield of barley in Greece. *Phytoparasitica*, 48(1), 131-143.
- Kandel SL, Joubert PM, Doty SL (2017) Bacterial endophyte colonization and distribution within plants. *Microorganisms* 5(4):77
- Kang, S. M., Joo, G. J., Hamayun, M., Na, C. I., Shin, D. H., Kim, H. Y., ... & Lee, I. J. (2009). Gibberellin production and phosphate solubilization by newly isolated strain of *Acinetobacter calcoaceticus* and its effect on plant growth. *Biotechnology letters*, 31(2), 277-281.
- Kauffman, G. L., Kneivel, D. P., & Watschke, T. L. (2007). Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. *Crop science*, 47(1), 261-267.
- Khan, A. A., Jilani, G., Akhtar, M. S., & Naqvi, S. M. S. Rasheed., M.(2009). Phosphorus solubilizing bacteria: Occurrence, mechanisms and their role in crop production. *Journal Agricultural Biological Science*, 1(1), 48-58.
- Khan, M. S., Zaidi, A., & Wani, P. A. (2007). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture—a review. *Agronomy for sustainable development*, 27(1), 29-43.
- Khan, M. S., Zaidi, A., & Wani, P. A. (2007). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture—a review. *Agronomy for sustainable development*, 27(1), 29-43.

- Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., ... & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(4), 386-399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- Kingman, A. R., & Moore, J. (1982). Isolation, purification and quantitation of several growth regulating substances in *Ascophyllum nodosum* (Phaeophyta). *Botanica marina*, 25(4), 149-154. <https://doi.org/10.1515/botm.1982.25.4.149>
- Kirby, E. J. M., & Appleyard, M. (1983). Development of the cereal plant. The yield of cereals", WW D, ed. Royal Agriculture society of England, London, 1-3.
- Kizilgeci, F., Yildirim, M., Islam, M. S., Ratnasekera, D., Iqbal, M. A., & Sabagh, A. E. (2021). Normalized difference vegetation index and chlorophyll content for precision nitrogen management in durum wheat cultivars under semi-arid conditions. *Sustainability*, 13(7), 3725.
- Kloepper, J. W., Leong, J., Teintze, M., & Schroth, M. N. (1980). Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth-promoting rhizobacteria. *Nature*, 286(5776), 885-886.
- Kong, L., Si, J., Feng, B., Li, S., Wang, F., & Sayre, K. (2009). Differential responses of two types of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) to autumn-and spring-applied mesosulfuron-methyl. *Crop Protection*, 28(5), 387-392.
- Kuklinsky-Sobral J, Araújo WL, Mendes R, Geraldi IO, PizziraniKleiner AA, Azevedo JL (2004) Isolation and characterization of soybean-associated bacteria and their potential for plant growth promotion. *Environ Microbiol* 6(12):1244–1251
- Kumar, V., Singh, S., Chhokar, R. S., Malik, R. K., Brainard, D. C., & Ladha, J. K. (2013). Weed management strategies to reduce herbicide use in zero-till rice–wheat cropping systems of the Indo-Gangetic Plains. *Weed Technology*, 27(1), 241-254.
- Laranjeira, S., Fernandes-Silva, A., Reis, S., Torcato, C., Raimundo, F., Ferreira, L., ... & Marques, G. (2021). Inoculation of plant growth promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi improve chickpea performance under water deficit conditions. *Applied Soil Ecology*, 164, 103927.
- Lemerle, D., Gill, G. S., Murphy, C. E., Walker, S. R., Cousens, R. D., Mokhtari, S., ... & Lockett, D. J. (2001). Genetic improvement and agronomy for enhanced wheat competitiveness with weeds. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52(5), 527-548.

- Leonard, W.H., and J.H. Martin.1963. Cereal Crops. Macmillan and Co. London. pp. 449-603.
- Leveau JHJ (2006) Microbial communities in the phyllosphere. In:Riederer M, Müller C (eds) Biology of the plant cuticle.Blackwell, Oxford, pp 334–367
- Leveau JHJ, Lindow SE (2001) Predictive and interpretive simulation of green fluorescent protein expression in reporter bacteria. J Bacteriol 183:6752–6762. doi:10.1128/JB.183.23.6752-6762.2001
- Lie , T. A. (1978). Symbiotic specialization in pea plants. Ann. appl. Biol. 88, 462-465.
- Lilley, I.D., Pybus, P.J. and Power, S.P.B. (1997) Operating Manual for Biological Nutrient Removal in Wastewater Treatment Works. WRC Report No. TT 83/97. Pretoria, South Africa: Water Research Commission
- Lindow, S.E. and Brandl, M.T. (2003) Microbiology of the phyllosphere. Appl Environ Microbiol 69, 1875–1883
- Lisiecka, J., Knaflewski, M., Spizewski, T., Fraszczak, B., Kaluzewicz, A., & Krzesinski, W. (2011). The effect of animal protein hydrolysate on quantity and quality of strawberry daughter plants cv. 'Elsanta'. Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus, 10, 31-40.
- Llewellyn, R., Ronning, D., Clarke, M., Mayfield, A., Walker, S., & Ouzman, J. (2016). Impact of weeds in Australian grain production. Canberra, ACT, Australia: Grains Research and Development Corporation.
- Lupton, F. G. H., & Pinthus, M. J. (1969). Carbohydrate translocation from small tillers to spike-producing shoots in wheat. Nature, 221(5179), 483-484.
- M. Feldman, "Origin of Cultivated Wheat," In: A. P. Bonjean and W. J. Angus, Ed., The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding, Intercept Ltd., London, 2001, pp. 3-56.
- Ma, J. F. (2005). Plant root responses to three abundant soil minerals: silicon, aluminum and iron. Critical Reviews in Plant Sciences, 24(4), 267-281.
- Ma, J. F. (2005). Plant root responses to three abundant soil minerals: silicon, aluminum and iron. Critical Reviews in Plant Sciences, 24(4), 267-281.
- Mahajan, G., & Chauhan, B. S. (2021). Interference of wild oat (*Avena fatua*) and sterile oat (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana*) in wheat. Weed Science, 69(4), 485-491.

- McCaig, T. N., & DePauw, R. M. (1995). Breeding hard red spring wheat in western Canada: Historical trends in yield and related variables. *Canadian Journal of Plant Science*, 75(2), 387-393.
- McMaster, G. S. (1997). Phenology, development, and growth of the wheat (*Triticum aestivum* L.) shoot apex: a review. *Advances in agronomy*.
- Milan, M., Fogliatto, S., Blandino, M., & Vidotto, F. (2020). Are wheat hybrids more affected by weed competition than conventional cultivars?. *Agronomy*, 10(4), 526.
- Miralles, D. J., & Slafer, G. A. (1999). Wheat development. *Wheat: ecology and physiology of yield determination*, 13-43.
- Modhej, A. (2021). Evaluation of the Aerial and Underground Organs of Wild Mustard (*Sinapis arvensis*) Competition on Growth and Yield of Wheat (*Triticum aestivum*) Cultivars. *Majallah-i ḥifāẓat-i giyāhān*.
- Moore, A. W., Nitrogen fixation in latosolic soil under grass. *Plant and Soil* 19, 127-138 (196
- Mundt JO & Hinkle FN (1976) Bacteria with ovules and seeds. *Appl Environ Microbiol* 32: 694–698.
- Murphy, S. D., Yakubu, Y., Weise, S. F., & Swanton, C. J. (1996). Effect of planting patterns and inter-row cultivation on competition between corn (*Zea mays*) and late emerging weeds. *Weed science*, 44(4), 865-870.
- Mwendwa, J. M., Brown, W. B., Weidenhamer, J. D., Weston, P. A., Quinn, J. C., Wu, H., & Weston, L. A. (2020). Evaluation of commercial wheat cultivars for canopy architecture, early vigour, weed suppression, and yield. *Agronomy*, 10(7), 983.
- Naser, M. A., Khosla, R., Longchamps, L., & Dahal, S. (2020). Using NDVI to differentiate wheat genotypes productivity under dryland and irrigated conditions. *Remote Sensing*, 12(5), 824.
- Naumov, G. F., Bozhkov, A. I., Leontovich, V. P., Sklyar, A. I., & Belous, A. M. (1993). Polyfunctionality of allelopathic substance allelostim. In *Doklady Akademii nauk Ukrainy* (Vol. 11, pp. 166-169).
- Negi, S., Ivanchenko, M. G., & Muday, G. K. (2008). Ethylene regulates lateral root formation and auxin transport in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, 55(2), 175-187.
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31-43.

Oliveira, A. D., Urquiaga, S., Döbereiner, J., & Baldani, J. I. (2002). The effect of inoculating endophytic N₂-fixing bacteria on micropropagated sugarcane plants. *Plant and Soil*, 242(2), 205-215.

Ophir, T., and D.L. Gutnick. 1994. A role for exopolysaccharides in the protection of microorganisms from desiccation. *Appl. Environ. Microbiol.* 60:740–745.

Park, S. E., Benjamin, L. R., & Watkinson, A. R. (2002). Comparing biological productivity in cropping systems: a competition approach. *Journal of Applied Ecology*, 39(3), 416-426.

Parker, C. A., Non-symbiotic nitrogen-fixing bacteria in soil. III. Total nitrogen changes in a field soil. *J. Soil Sci.* 8, 48-59 (1957)

Patten, C. L., & Glick, B. R. (1996). Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. *Canadian journal of microbiology*, 42(3), 207-220.

Perotti, R. 1926. On the limits of biological enquiry in soil science. *Proc. Int. Soc. Soil Sci*, 2:146-161

Pimentel, D., Zuniga, R., & Morrison, D. (2005). Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological economics*, 52(3), 273-288.

Povero, G., Mejia, J. F., Di Tommaso, D., Piaggese, A., & Warrior, P. (2016). A systematic approach to discover and characterize natural plant biostimulants. *Frontiers in plant science*, 7, 435.

Preininger, C., Sauer, U., Bejarano, A., & Berninger, T. (2018). Concepts and applications of foliar spray for microbial inoculants. *Applied microbiology and biotechnology*, 102(17), 7265-7282. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9173-4>

Quispel, A. 1992. A search for signals in endophytic microorganisms. In *Molecular signals in plant - microbe communications*. Edited by D.P.S. Verma. CRC Press, Boca Raton, Fla. pp. 471-490. Reinhold, B., and Hurek, T. 1988. Location of diazotrophs in the interior with special attention to the kallar grass association. *Plant Soil*, 110: 259-268.

Radford BJ, Wilson BJ, Cartledge O & Watkins FB (1980) Effects of wheat seeding rate on wild oat competition. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 20, 77–81.

- Rasche, F., Velvis, H., Zachow, C., Berg, G., Van Elsas, J.D., and Sessitsch, A. (2006c) Impact of transgenic potatoes expressing anti-bacterial agents on bacterial endophytes is comparable with the effects of plant genotype, soil type and pathogen infection. *J Appl 23 Ecol* 43, 555-566.
- Rawson, H. M., & Donald, C. M. (1969). The absorption and distribution of nitrogen after floret initiation in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 20(5), 799-808.
- Richardson, A. E. (2001). Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Functional Plant Biology*, 28(9), 897-906.
- Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Department of Microbiology, Cuban Research Institute on Sugarcane By-Products (ICIDCA), Havana, Cuba. Havana. Cuba.
- Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Department of Microbiology, Cuban Research Institute on Sugarcane By-Products (ICIDCA), Havana, Cuba. Havana. Cuba.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in plant science*, 9, 1655.
- Ruinen, J., The phyllosphere. I. An ecologically neglected milieu. *Plant and Soil* 15, 81-109 (1961).
- SAHARAN, B., & NEHRA, V. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. v. 2011.
- Salisbury, B., & Ross, W. (1992). *Plant Physiology*, Wadsworth, Belmont, California.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. (1977). *Plant physiology* (No. na). Prentice-Hall of India Private Limited.
- Samanta, R., Sen, S. P.: Further observation on the utility of N₂-fixing microorganisms in the phyllosphere of cereals. *J Agric Sci* 107, 673 (1986).
- Samuel, A. M., & Guest, S. J. (1990). Effect of seed rates and within crop cultivations in organic winter wheat. *Effect of seed rates and within crop cultivations in organic winter wheat.*, (45), 49-54.

- Santos, M. S., Rodrigues, T. F., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2021). The challenge of combining high yields with environmentally friendly bioproducts: A review on the compatibility of pesticides with microbial inoculants. *Agronomy*, 11(5), 870.
- Schimel, J. P., & Chapin III, F. S. (1996). Tundra plant uptake of amino acid and NH₄⁺ nitrogen in situ: plants compete well for amino acid N. *Ecology*, 77(7), 2142-2147. <https://doi.org/10.2307/2265708>
- Schmidt, R. E., Ervin, E. H., & Zhang, X. (2003). Questions and answers about biostimulants. *Golf Course Manage*, 71(6), 91-94.
- Seavers, G. P., & Wright, K. J. (1999). Crop canopy development and structure influence weed suppression. *Weed Research*, 39(4), 319-328.
- Sharif, M., Khattak, R. A., & Sarir, M. S. (2002). Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. *Communications in soil science and plant analysis*, 33(19-20), 3567-3580.
- SHARIF, R., & Dale, J. E. (1980). Growth-regulating substances and the growth of tiller buds in barley; effects of cytokinins. *Journal of Experimental Botany*, 31(4), 921-930.
- Sharrock, K. R.; Parkes, S. L.; Jack, H. K.; Rees-George, J.; Hawthorne B. T. 1991: Involvement of bacterial endophytes in storage rots of buttercupquash (*Cucurbita maxima* D. hybrid 'Delica'). *New Zealand journal of crop and horticultural science* 19: 157-165
- Shen, X., Hu, H., Peng, H., Wang, W., & Zhang, X. (2013). Comparative genomic analysis of four representative plant growth-promoting rhizobacteria in *Pseudomonas*. *BMC genomics*, 14(1), 1-20.
- Simmons, S. R. (1987). Growth, development, and physiology. *Wheat and wheat improvement*, 13, 77-113.
- Smith, C. W. (1995). *Crop production: evolution, history, and technology*. John Wiley & Sons.
- Smith, R. S. (1992). Legume inoculant formulation and application. *Canadian journal of microbiology*, 38(6), 485-492. <https://doi.org/10.1139/m92-080>
- Spaepen S, Vanderleyden J (2011) Auxin and plant-microbe interactions. *Cold Spring Harb Perspect Biol* 3:a001438
- Stevenson, G., Fixation of nitrogen by non-nodulated sed plants. *Ann. Bot., London N.S.* 23, 622-635 (1959).

Sundin, G. W., and J. Murillo. 1999. Functional analysis of the *Pseudomonas syringae* rulAB determinant in tolerance to ultraviolet B (290–320 nm) radiation and distribution of rulAB among *P. syringae* pathovars. *Environ. Microbiol.* 1:75–87

Tenreiro, T. R., García-Vila, M., Gómez, J. A., Jiménez-Berni, J. A., & Fereres, E. (2021). Using NDVI for the assessment of canopy cover in agricultural crops within modelling research. *Computers and Electronics in Agriculture*, 182, 106038.

Tien, T. M., Gaskins, M. H., & Hubbell, D. (1979). Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). *Applied and environmental microbiology*, 37(5), 1016-1024.

Toscano, S., Romano, D., Massa, D., Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2018). Biostimulant applications in low input horticultural cultivation systems= I biostimolanti nei sistemi colturali ortofloricoli a basso impatto ambientale.

Traon, D., Amat, L., Zotz, F., & du Jardin, P. (2014). A Legal Framework for Plant Biostimulants and Agronomic Fertiliser Additives in the EU-Report to the European Commission, DG Enterprise & Industry (No. Contract n° 255/PP/ENT/IMA/13/1112420).

Traon, D., Amat, L., Zotz, F., & du Jardin, P. (2014). A Legal Framework for Plant Biostimulants and Agronomic Fertiliser Additives in the EU-Report to the European Commission, DG Enterprise & Industry (No. Contract n° 255/PP/ENT/IMA/13/1112420).

Travlos, I. S., Cheimona, N., Roussis, I., & Bilalis, D. J. (2018). Weed-species abundance and diversity indices in relation to tillage systems and fertilization. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 11.

Travlos, I. S., Cheimona, N., Roussis, I., & Bilalis, D. J. (2018). Weed-species abundance and diversity indices in relation to tillage systems and fertilization. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 11.

Travlos, I., Tsekoura, A., Antonopoulos, N., Kanatas, P., & Gazoulis, I. (2021). Novel sensor-based method (quick test) for the in-season rapid evaluation of herbicide efficacy under real field conditions in durum wheat. *Weed Science*, 69(2), 147-160.

Tremblay, N., Wang, Z., Ma, B. L., Belec, C., & Vigneault, P. (2009). A comparison of crop data measured by two commercial sensors for variable-rate nitrogen application. *Precision Agriculture*, 10(2), 145-161.

- Trevet IW, Hollis JP (1948) Bacteria in storage organs of healthy plants. *Phytopathology* 38:960–967
- Trinick M J 1973 Symbiosis between rhizobium and the non-legume *Trema aspera*. *Nature (Lond.)* 244, 459–460.
- Trinick M J 1982 Host-Rhizobium associations. In *Nitrogen Fixation in Legumes*. Ed J M Vincent. Academic Press, New York, pp. 111–122.
- Tukey, H. B. Jr., Wittwer, S. H. and Tukey, H. B., Leaching of carbohydrates from plant foliage as related to light intensity. *Science* 126, 120 (1957)
- Van Der Wal A., Leveau J. H. (2011). Modelling sugar diffusion across plant leaf cuticles: the effect of free water on substrate availability to phyllosphere bacteria. *Environ. Microbiol.* 13, 792–797. [10.1111/j.1462-2920.2010.02382](https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2010.02382)
- Vassilev, N., Vassileva, M., Martos, V., Del Moral, L. F. G., Kowalska, J., Tylkowski, B., & Malusá, E. (2020). Formulation of microbial inoculants by encapsulation in natural polysaccharides: focus on beneficial properties of carrier additives and derivatives. *Frontiers in plant science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00270>
- von Wirén, N., Mori, S., Marschner, H., & Romheld, V. (1994). Iron inefficiency in maize mutant *ys1* (*Zea mays* L. cv Yellow-Stripe) is caused by a defect in uptake of iron phytosiderophores. *Plant Physiology*, 106(1), 71-77.
- Vorholt JA (2012) Microbial life in the phyllosphere. *Nature Rev Microbiol* 10: 828–840.
- Wardlaw, I. F., Dawson, I. A., & Munibi, P. (1989). The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. 2. Grain development. *Australian Journal of Agricultural Research*, 40(1), 15-24.
- Warrington, I. J., Dunstone, R. L., & Green, L. M. (1977). Temperature effects at three development stages on the yield of the wheat ear. *Australian Journal of Agricultural Research*, 28(1), 11-27.
- Weiner J, Griepentrog H-W & Kristensen L (2001) Suppression of weeds by spring wheat *Triticum aestivum* increases with crop density and spatial uniformity. *Journal of Applied Ecology* 38, 784–790
- Williams, P. M., & De Mallorca, M. S. (1982). Abscisic acid and gibberellin-like substances in roots and root nodules of *Glycine max*. *Plant and Soil*, 65(1), 19-26.

Winberg, P. C., Fitton, H. J., Stringer, D., Karpiniec, S. S., & Gardiner, V. A. (2014). Controlling seaweed biology, physiology and metabolic traits in production for commercially relevant bioactives in glycobiology. In *Advances in botanical research* (Vol. 71, pp. 221-252). Academic Press.

Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in plant science*, 7, 2049.

Yunos, NSHM., Omar, FN., Hafid, HS., Mohammed, MAP., Baharuddin, AS., Wakisaka, M. (2021) Experimental and numerical study of wheat and rice doughs. *J Food Eng* 311:110712.

Zaharieva, M., & Monneveux, P. (2014). Cultivated einkorn wheat (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*): the long life of a founder crop of agriculture. *Genetic resources and crop evolution*, 61(3), 677-706.

Zaidi, A., Ahmad, E., Khan, M. S., Saif, S., & Rizvi, A. (2015). Role of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable production of vegetables: current perspective. *Scientia Horticulturae*, 193, 231-239.

Zinniel DK, Lambrecht P, Harris BN et al. (2002) Isolation and characterization of endophytic colonizing bacteria from agronomic crops and prairie plants. *Appl Environ Microbiol* 68: 2198–2208.