



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

Διδακτορική Διατριβή

Η επίδραση της λίπανσης και της πυκνότητας σποράς στα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του ελαίου του μαύρου σιναπιού, (*Brassica nigra* (L.) Koch), για φαρμακευτική χρήση

Στέλλα Μ. Καρυδόγιαννη

Επιβλέπων Καθηγητής:

Μπιλαλής Δημήτριος, Καθηγητής ΓΠΑ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Μπιλάλης Δημήτριος, Καθηγητής ΓΠΑ

Δαναλάτος Νικόλαος, Καθηγητής Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Παπαστυλιανού-Παπασωτηρίου Θηρεσία-Παναγιώτα Καθηγήτρια ΓΠΑ

ΑΘΗΝΑ 2023



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

Διδακτορική Διατριβή

Η επίδραση της λίπανσης και της πυκνότητας σποράς στα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του ελαίου του μαύρου σιναπιού, (*Brassica nigra* (L.) Koch), για φαρμακευτική χρήση

“The effect of fertilization and sowing density on the quantitative and qualitative characteristics of black mustard oil (*Brassica nigra* (L.), Koch) for medicinal use”

Στέλλα Μ. Καρυδόγιαννη

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Μπιλάλης Δημήτριος, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Δαναλάτος Νικόλαος, Καθηγητής Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Παπαστυλιανού-Παπασωτηρίου Θηρεσία-Παναγιώτα Καθηγήτρια ΓΠΑ

Κακαμπούκη Ιωάννα, Επίκουρος Καθηγήτρια ΓΠΑ

Τσιπλάκου Ελένη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ

Ευθυμιάδου Ασπασία, Κύρια Ερευνήτρια (Ερευνήτρια Β) ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ

Μπεσλεμές Δημήτριος, Εντεταλμένος Ερευνητής (Ερευνητής Γ) ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ

Η επίδραση της λίπανσης και της πυκνότητας σποράς στα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του ελαίου του μαύρου σιναπιού, (*Brassica nigra* (L.) Koch), για φαρμακευτική χρήση

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Γεωργίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας Διδακτορικής διατριβής είναι η συλλογή και επεξεργασία όλων εκείνων των χαρακτηριστικών που θα οδηγήσουν στις βέλτιστες καλλιεργητικές πρακτικές όσον αφορά την επίδραση των διαφορετικών επεμβάσεων λίπανσης (Ουρία, κομπόστ, ουρία με αναστολείς νιτροποίησης και ουρέασης, μάρτυρας) αλλά και της πυκνότητας σποράς (46 φυτά m^{-2} , 76 φυτά m^{-2}), στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του λαδιού του μαύρου σιναπιού (*Brassica nigra* (L.) Koch) όσον αφορά την φαρμακευτική χρήση αυτού. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε τριετής καλλιέργεια (2019-2020, 2020-2021, 2021-2022), στον πειραματικό αγρό του εργαστηρίου Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, έκτασης 1.000 m^2 . Όπου έλαβαν χώρα μετρήσεις που αφορούσαν τα αγρονομικά χαρακτηριστικά του φυτού (ύψος, νωπό και ξηρό βάρος, δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), αριθμός ταξιανθιών, αριθμός λοβών, απόδοση). Επιπλέον, αξιολογήθηκε το υπέργειο μέρος του φυτού για την χρήση του ως κτηνοτροφή πέρα από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο έλαιο του σπόρου για την καταλληλότητα του για φαρμακευτική χρήση. Επιπροσθέτως, υπολογίστηκαν δείκτες εκτίμησης της καλλιέργειας όπως είναι οι βαθμοήμερες (AGDDs), ο δείκτης συγκομιδής (HI), ο δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης αζώτου (NUtE), ο δείκτης συγκομιδής αζώτου (NHI), καθώς και ο δείκτης αζωτούχος γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE). Καταλήγοντας, ότι οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης είχαν στατιστικά σημαντικές επιπτώσεις στα αγρονομικά χαρακτηριστικά όπου η εφαρμογή της ουρίας με αναστολείς είχε τις υψηλότερες τιμές και η χαμηλή πυκνότητα σποράς (46 φυτά m^{-2}) είχε ως αποτέλεσμα τις μεγαλύτερες αποδόσεις σπόρου καθώς και τις υψηλότερες αποδόσεις λαδιού κατά 17,7% συγκριτικά με την υψηλή πυκνότητα των φυτών (76 φυτά m^{-2}). Ως απάντηση στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ελαίου και συγκεκριμένα με το προφίλ των λιπαρών οξέων, καταγράφηκε ότι με την αύξηση της πυκνότητας των φυτών, παρατηρήθηκε μείωση των κορεσμένων (SAFA: μυριστικό, παλμιτικό και στεατικό οξύ) και των πολυακόρεστων (PUFA): λινολεϊκό, α-λινολενικό και εικοσαδενοϊκό οξύ) λιπαρά οξέα, ενώ υπήρξε αύξηση στα ελαϊκά και νευρονικά οξέα και μείωση στα υπόλοιπα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA: vaccenic, cis-11-eicosenoic και erucic acid). Συμπερασματικά, πυκνότερες φυτών υψηλότερες από 46 φυτά m^{-2} έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερη απόδοση σπόρων, περιεκτικότητα σε λάδι και απόδοση ελαίου, ενώ το αποτέλεσμα ανόργανης λίπανσης,

ειδικά με ουρία με διπλούς αναστολείς, ήταν εξίσου σημαντική στην απόδοση σπόρων και ελαίων. Ωστόσο, όταν ο σπόρος και/ή το λάδι χρησιμοποιούνται για τη θρεπτική και φαρμακευτική τους αξία, συνιστάται η χρήση κομπόστ, με αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA). Επίσης, όσον αφορά την αξιολόγηση του φυτού ως κτηνοτροφή το NDF (Neutral Detergent Fiber) και το ADF (Acid Detergent Fiber) δεν επηρεάστηκαν από την πυκνότητα των φυτών. Ωστόσο, υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων λίπανσης. Οι υψηλότερες περιεκτικότητες ADF και NDF στην υπέργεια βιομάζα βρέθηκαν σε κομπόστ και στην ουρία με διπλούς αναστολείς. Η υψηλή περιεκτικότητα σε ADF, NDF και σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε CP (Crude Protein) που χαρακτηρίζεται στην υπέργεια βιομάζα της μαύρης μουστάρδας μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις των θηλαζόντων ζώων και επομένως η παραγωγή βιομάζας μαύρης μουστάρδας ως κτηνοτροφική καλλιέργεια θα μπορούσε να είναι μεγάλης σημασίας. Συμπερασματικά, η μαύρη μουστάρδα που καλλιεργείται σε πυκνότητες φυτών υψηλότερες από 46 φυτά m^{-2} και υπό ανόργανη λίπανση, ειδικά με ουρία με διπλούς αναστολείς, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία ως νέα κτηνοτροφική καλλιέργεια στη διατροφή των μηρυκαστικών.

Επιστημονική περιοχή: Φυτική Παραγωγή, Καινοτόμες καλλιέργειες

Λέξεις κλειδιά: Κτηνοτροφή, μαύρο σινάπι, πυκνότητα σποράς, έλαιο, ουρία με αναστολείς, *Brassica nigra*

The effect of fertilization and sowing density on the quantitative and qualitative characteristics of black mustard oil (*Brassica nigra* (L), Koch) for medicinal use

*Department of Crop Science
Laboratory of Agronomy*

ABSTRACT

The aim of the present study is the collection and the elaboration of data that are related to the best cultivation practices in terms of the effect of the different fertilizing interventions (Urea, Compost, Urea with inhibitors, Control) but also of the seeding density (46 plants m⁻², 76 plants m⁻²), on the qualitative and quantitative characteristics of black mustard oil (*Brassica nigra* (L.) Koch) regarding its medicinal use. For this reason, a three-year cultivation was carried out (2019-2020, 2020-2021, 2021-2022), in the experimental field of the Agriculture Laboratory of the Agricultural University of Athens, with an area of 1,000 m². Where plant agronomic traits (height, fresh and dry weight, leaf area index (LAI), number of inflorescences, number of pods, yield) were measured. In addition, the above-ground biomass of the plant was evaluated for its use as animal feed in addition to the analyzes carried out on the seed oil for its suitability for medicinal use. In addition, crop evaluation indices such as Growing Degree Days (AGDDs), harvest index (HI), nitrogen use efficiency index (NUE), nitrogen harvest index (NHI), as well as nitrogen agricultural efficiency index (NAE) were calculated. Concluding, that the different fertilization interventions had statistically significant effects on the agronomic traits where the application of urea with inhibitors had the highest values and the low seeding density (46 plants m⁻²) resulted in the highest seed yields as well as the highest oil yields by 17.7% compared to the high plant density (76 plants m⁻²). In response to the quality characteristics of the seed oil and specifically to the fatty acid profile, it was recorded that with increasing plant density, a decrease in saturated (SAFA: myristic, palmitic and stearic acid) and polyunsaturated (PUFA) was observed. : linoleic, α -linolenic and eicosadenoic acid) fatty acids, while there was an increase in oleic and neuronic acids and a decrease in the remaining monounsaturated fatty acids (MUFA: vaccenic, cis-11-eicosenoic and erucic acid). In conclusion, plant densities higher than 46 plants m⁻² result in lower seed yield, oil content and oil yield, while the effect of inorganic fertilization, especially with urea with dual inhibitors, was equally significant on seed and oil yield. However, when the seed and/or oil are used for their nutritional and medicinal value, composting is recommended, resulting in a significant increase in polyunsaturated fatty acid (PUFA) content. Also, regarding the evaluation of the plant as feedstuff, NDF (Neutral Detergent Fiber) and ADF (Acid Detergent Fiber) were not affected by plant density.

However, there were significant differences between fertilization interventions. The highest ADF and NDF contents in above-ground biomass were found in compost and urea with dual inhibitors. The highest ADF and NDF contents in above-ground biomass were found in compost and urea with dual inhibitors. The high content of ADF, NDF and relatively high content of CP (Crude Protein) characterized in the above-ground biomass of black mustard can meet the requirements of lactating animals and therefore the production of black mustard biomass as a fodder crop could be of great importance. In conclusion, black mustard grown at plant densities higher than 46 plants m⁻² and under inorganic fertilization, especially urea with dual inhibitors, could be successfully used as a new forage crop in ruminant nutrition.

Scientific area: Crop Science, Novel crops

Keywords: Animal feed, black mustard, *Brassica nigra*, plant density, seed oil, urea with inhibitors

Στη μνήμη του παππού μου Μιχάλη

Έλεγε ακόμη ο Ιησούς: «Με τι μοιάζει η βασιλεία του Θεού και με τι να την παρομοιάσω; Μοιάζει με σπόρο σιναπιού, που κάποιος τον φύτεψε στον κήπο του. Μεγάλωσε, έγινε ολόκληρο δέντρο, και τα πουλιά φώλιασαν στα κλαδιά του».
(Ματθ. 13, 31).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διατριβή αυτή αποτελεί μία προσπάθεια διερεύνησης των συνεπειών που επιφέρουν οι διαφορετικές πυκνότητες σποράς καθώς και η χρήση των διαφορετικών τύπων λιπασμάτων στην ανάπτυξη των φυτών της καλλιέργειας της μαύρης μουστάρδας (*Brassica nigra*), και ως εκ τούτου στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του ελαίου που προέρχονται από τους σπόρους του φυτού. Το *Brassica nigra* αποτελεί ένα ελαιούχο φυτό υψηλής συγκέντρωσης ελαίου, αλλά και ένα σημαντικό φαρμακευτικό φυτό.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου τον κ. Δημήτριο Μπιλάλη, για την συνεχή καθοδήγηση του όλα αυτά τα έτη, για την μεταλαμπάδευση των γνώσεων του, για την αμέριστη στήριξη του, για τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος αλλά και κατά την συγγραφή και διόρθωση αυτής της διατριβής, η οποία αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο μιας εξαιρετικής συνεργασίας και συνεχής μάθησης στο πλευρό του.

Οφείλω ένα τεράστιο ευχαριστώ στο Ίδρυμα Μποδοσάκη, διότι ήταν αρωγός δίπλα μου, υποστηρικτής στην έρευνα μου από το Μεταπτυχιακό επίπεδο, όπου χάρις στην πολύτιμη βοήθεια του και στήριξη του κατάφερα να φτάσω στην διδακτορική μου μελέτη και να ολοκληρώσω τους στόχους μου και τα όνειρα μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Θηρεσία-Παναγιώτα Παπαστυλιανού-Παπασωτηριού για την πολύτιμη βοήθεια της, την υποστήριξη της καθ' όλη τη διάρκεια της διδακτορικής μου διατριβής, καθώς για τις συμβουλές της και για τις παρατηρήσεις της κατά τη διόρθωση της παρούσας μελέτης.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Δαναλάτο, για τις πολύτιμες συμβουλές του, την υποστήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια της διδακτορικής μου διατριβής και για τις παρατηρήσεις του κατά την διόρθωση της παρούσας μελέτης.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κα Ελένη Τσιπλάκου, κα Ασπασία Ευθυμιάδου, κα Ιωάννα Κακαμπούκη και κο Δημήτριο Μπεσλεμέ για την συνεργασία και τον χρόνο που διέθεσαν για την μελέτη και τη διόρθωση της διδακτορικής μου διατριβής.

Μεγάλες ευχαριστίες σε όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Γεωργίας για την βοήθεια του κατά την διάρκεια του πειράματος.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους τους υποψήφιους διδάκτορες του Εργαστηρίου Γεωργίας και ιδιαίτερα τον Αντώνιο Μαυροειδή, τον Παντελή Σταυρόπουλο, τη Βαρβάρα Κουνέλη, και την Αντιγόλενα Φωλίνα για την άριστη συνεργασία που είχαμε όλα τα χρόνια της διδακτορικής μου διατριβής, τον διδάκτωρ Ιωάννη Ρούσση για τις πολύτιμες συμβουλές του και όλους τους προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές.

Χωρίς όλους τους παραπάνω συνεργάτες δεν θα μπορούσε τίποτα από όλα αυτά να επιτευχθεί.

Τέλος, θα ήθελα από τα βάθη της καρδιάς μου να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την ηθική και οικονομική συμπαράσταση, την αγάπη που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Ιδιαίτερα ένα τεράστιο ευχαριστώ στον σύζυγο μου για την αμέριστη αγάπη του και την υποστήριξη του σε όλες μου τις επιλογές από το προπτυχιακό ακόμα επίπεδο, συνοδοιπόρος μου.

Ένα τελευταίο μεγάλο ευχαριστώ στον άνθρωπο που είναι αφιερωμένη η διδακτορική μου διατριβή, στον παππού μου, ο οποίος δε βρίσκεται στη ζωή και αποτέλεσε βασικό πυλώνα της ζωής και της πορείας μου.

Αθήνα, 09/05/2023
Καρυδόγιαννη Στέλλα Μ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	II
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
1.1 Γενικά	15
1.2 Ιστορική αναδρομή	16
1.3 Η σπουδαιότητα του μαύρου σιναπιού ως φαρμακευτικό φυτό	19
1.4 Στατιστικά στοιχεία της καλλιέργειας	25
1.5 Μορφολογικά χαρακτηριστικά	28
1.6 Βιολογικός Κύκλος	30
1.7 Οικολογικά χαρακτηριστικά	33
1.8 Βαθμομέρες Ανάπτυξης (Growing Degree Days)	34
1.9 Καλλιεργητικές Φροντίδες	36
1.9.1 Προετοιμασία εδάφους	36
1.9.2 Σπορά	36
1.9.2.1. Αποστάσεις φύτευσης	37
1.9.3 Άρδευση	37
1.9.4 Λίπανση	38
1.9.5 Διαχείριση ζιζανίων	40
1.9.6 Συγκομιδή	41
1.9.7 Εχθροί και ασθένειες	41
1.10 Παρεμποδισμένα λιπάσματα	46
1.11 Σχέση θρέψης και καλλιεργητικής τεχνικής με την φαρμακευτική χρήση του ελαίου των φυτών..	50
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	51
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	52
3.1. Γενικά	52
3.2. Φυτικό υλικό	53

3.3 Πειραματικό σχέδιο	53
3.4 Εδαφολογική ανάλυση αγρού	54
3.5. Λιπάσματα	54
3.6 Εγκατάσταση πειραματικού αγρού	55
3.7. Καλλιεργητικές εργασίες	56
3.8 Προσδιορισμοί-μετρήσεις	57
3.8.1 Μετρήσεις αγρονομικών χαρακτηριστικών	57
3.8.2 Μετρήσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών ελαίου	58
3.8.3 Μετρήσεις φυτικής μάζας για αξιοποίηση της ως ζωοτροφή	60
3.8.4 Μετρήσεις Βαθμοημερών Ανάπτυξης (Growing Degree Days)	61
3.8.5 Δείκτες εκτίμησης της καλλιέργειας	62
3.8.5.1 Δείκτης συγκομιδής (<i>Harvest Index - HI</i>)	62
3.8.5.2 Δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (<i>Nitrogen Utilization Efficiency - NUtE</i>) ..	62
3.8.5.3 Δείκτης συγκομιδής αζώτου (<i>Nitrogen Harvest Index - NHI</i>)	62
3.8.5.4 Αζωτούχος γεωργική αποτελεσματικότητα (<i>Nitrogen Agronomic Efficiency - NAE</i>)	62
3.9 Μετεωρολογικά δεδομένα	63
3.10 Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων	66
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	67
4.1 Αγρονομικά χαρακτηριστικά	67
4.2 Δείκτες	82
4.2.1 Δείκτης συγκομιδής (<i>Harvest Index - HI</i>)	82
4.2.1.1 2019-2020	82
4.2.1.2 2020-2021	84
4.2.1.3 2021-2022	85
4.2.2 Δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (<i>Nitrogen Utilization Efficiency-NUtE</i>)	86
4.2.2.1 2019-2020	86
4.2.2.2 2020-2021	88
4.2.2.3 2021-2022	90
4.2.3 Δείκτης συγκομιδής αζώτου (<i>Nitrogen Harvest Index - NHI</i>)	91
4.2.3.1 2019-2020	91
4.2.3.2 2020-2021	92
4.2.3.3 2021-2022	94

4.2.4 Αζωτούχος γεωργική αποτελεσματικότητα (<i>Nitrogen Agronomic Efficiency - NAE</i>)	95
4.2.4.1 2019-2020	95
4.2.4.2 2020-2021	101
4.2.4.3 2021-2022	102
4.3 Αποτελέσματα αξιολόγησης φυτικής μάζας για κτηνοτροφία	104
4.4 Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά ελαίου	113
4.4.1 Απόδοση σπόρων, Περιεκτικότητα σε λάδι και Απόδοση Μαύρης Μουστάρδας	115
4.4.2 Λιπαρά Οξέα Σύνθεση και Αναλογίες ελαίου	121
4.5 Βαθμομηρές ανάπτυξης (<i>Growing Degree Days</i>)	134
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	137
5.1 Αγρονομικά χαρακτηριστικά	137
5.1.1 Ύψος φυτών	137
5.1.2 Νωπό και ξηρό βάρος βλαστού και φύλλων	137
5.1.3 <i>Leaf Area Index (LAI)</i>	138
5.1.4 Αριθμός ταξιανθιών	138
5.1.5 Αριθμός λοβών	139
5.1.7 Απόδοση σπόρου	141
5.2 Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά ελαίου	143
5.3 Αξιολόγηση φυτικής μάζας για κτηνοτροφία	150
5.4 Βαθμομηρές (<i>Growing Degree Days</i>)	157
5.5 Δείκτες εκτίμησης της καλλιέργειας	158
5.5.1 Δείκτης συγκομιδής (<i>Harvest Index - HI</i>)	158
5.5.2 Δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (<i>Nitrogen Utilization Efficiency - NUtE</i>) ..	158
5.5.3 Δείκτης συγκομιδής αζώτου (<i>Nitrogen Harvest Index - NHI</i>)	159
5.5.4 Αζωτούχος γεωργική αποτελεσματικότητα (<i>Nitrogen Agronomic Efficiency - NAE</i>)	160
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	161
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	163
7.1 Ελληνική Βιβλιογραφία	163
7.2 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	163
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	178

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Η διάδοση της καλλιέργειας του <i>Brassica nigra</i>	17
Εικόνα 2. Τα τρία διαφορετικά είδη σιναπιού, (α) <i>Sinapis alba</i> , (β) <i>Brassica nigra</i> (γ) <i>Brassica juncea</i>	18
Εικόνα 3. Μορφολογικά χαρακτηριστικά του <i>Brassica nigra</i> . (M.Miller).....	29
Εικόνα 4. Τα στάδια ανάπτυξης του φυτού από την βλάστηση του σπόρου έως την συγκομιδή.....	30
Εικόνα 5. Επικονίαση των φυτών του μαύρου σιναπιού από τις μέλισσες.....	34
Εικόνα 6. Άποψη του εσωτερικού της καλλιέργειας χωρίς την ύπαρξη ζιζανίων.....	40
Εικόνα 7. Πληθυσμός σκαθαριών της γύρης.....	42
Εικόνα 8. Συμπτώματα της λευκής σκωρίασης στα φύλλα και στην ταξιανθία του φυτού.....	43
Εικόνα 9. Εξίσωση της υδρόλυσης της ουρίας.....	47
Εικόνα 10. Περιοχή πειραματικού τεμαχίου στον αγρό του Εργαστηρίου Γεωργίας του ΓΠΑ.....	52
Εικόνα 11. (α) Ενσωμάτωση λιπασμάτων. (β) Διαδικασία γραμμοχάραξης.....	59

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Θρεπτικά στοιχεία σπόρου ανά 100 gr.....	20
Πίνακας 2. Χημική ανάλυση του ελαίου του μαύρου σιναπιού.....	22
Πίνακας 3. Αναλυτικά στάδια ανάπτυξης των φυτών της οικογένειας Brassicaceae.....	31
Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά φυτικού υλικού.....	53
Πίνακας 5. Συστατικά λιπάσματος ουρίας με αναστολείς.....	55
Πίνακας 6. Συστατικά λιπάσματος ουρίας.....	55
Πίνακας 7. Συστατικά οργανικού λιπάσματος.....	55
Πίνακας 8. Μέση ελάχιστη και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (2019-2022).....	65
Πίνακας 9. Συνδυασμένη ανάλυση διακύμανσης (F) για όλα τα μετρούμενα αγρονομικά χαρακτηριστικά της μαύρης μουστάρδας και στα τρία πειραματικά έτη.....	67
Πίνακας 10. Ύψος φυτών, συνολικό ξηρό βάρος, νωπό και ξηρό βάρος βλαστού, νωπό και ξηρό βάρος φύλλων, όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση κατά την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020.....	68
Πίνακας 11. Ύψος φυτών, συνολικό ξηρό βάρος, νωπό και ξηρό βάρος βλαστού, νωπό και ξηρό βάρος φύλλων, όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση κατά την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021.....	70
Πίνακας 12. Ύψος φυτών, συνολικό ξηρό βάρος, νωπό και ξηρό βάρος βλαστού, νωπό και ξηρό βάρος φύλλων, όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση κατά την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022.....	71
Πίνακας 13. Αριθμός ταξιανθιών, αριθμός λοβών και απόδοση σπόρου όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση κατά την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020.....	72
Πίνακας 14. Αριθμός ταξιανθιών, αριθμός λοβών και απόδοση σπόρου όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση κατά την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021.....	73
Πίνακας 15. Αριθμός ταξιανθιών, αριθμός λοβών και απόδοση σπόρου όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση κατά την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022.....	74
Πίνακας 16. Ανάλυση διασποράς του δείκτη συγκομιδής για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	83
Πίνακας 17. Ανάλυση διασποράς του δείκτη συγκομιδής για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	84
Πίνακας 18. Ανάλυση διασποράς του δείκτη συγκομιδής για την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	85

Πίνακας 19. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	86
Πίνακας 20. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην υψηλή πυκνότητα σποράς ($D1=76$ φυτά/ m^2) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	86
Πίνακας 21. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην χαμηλή πυκνότητα σποράς ($D2=46$ φυτά/ m^2) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	87
Πίνακας 22. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	89
Πίνακας 23. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	90
Πίνακας 24. Ανάλυση διασποράς του δείκτη συγκομιδής αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	91
Πίνακας 25. Ανάλυση διασποράς του δείκτη συγκομιδής αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	93
Πίνακας 26. Ανάλυση διασποράς του δείκτη συγκομιδής αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	94
Πίνακας 27. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	95
Πίνακας 28. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην υψηλή πυκνότητα σποράς ($D1=76$ φυτά/ m^2) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	96
Πίνακας 29. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην χαμηλή πυκνότητα σποράς ($D2=46$ φυτά/ m^2) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	97
Πίνακας 30. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην επέμβαση της ουρίας στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	98
Πίνακας 31. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην επέμβαση του κομπόστ στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	99

Πίνακας 32. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	100
Πίνακας 33. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	101
Πίνακας 34. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$	102
Πίνακας 35. Συνδυασμένη ανάλυση διακύμανσης (F) για όλα τα μετρούμενα χαρακτηριστικά βιομάζας μαύρης μουστάρδας σε δύο πειραματικά έτη (2019-2020, 2020-2021).....	104
Πίνακας 36. Απόδοση ξηρής ουσίας (DM), περιεκτικότητα σε DM, περιεκτικότητα σε ακατέργαστη πρωτεΐνη (CP) και απόδοση CP, όπως επηρεάζεται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση.....	105
Πίνακας 37. Περιεκτικότητα σε ακατέργαστο λίπος (CF), ακατέργαστη τέφρα (CA), (NDF) και (ADF), όπως επηρεάζεται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση.....	107
Πίνακας 38. Η περιεκτικότητα σε ολικούς υδατάνθρακες (CHO) και υδατάνθρακες χωρίς ίνες (NFC) επηρεάζεται από την πυκνότητα και τη λίπανση των φυτών.....	109
Πίνακας 39. Συνδυασμένη ανάλυση διακύμανσης (τιμές F) για τις επιδράσεις της πυκνότητας των φυτών και της λίπανσης σε όλα τα μετρούμενα χαρακτηριστικά της μαύρης μουστάρδας κατά τη διάρκεια του πειράματος δύο ετών (2019-2020, 2020-2021).....	114
Πίνακας 40. Απόδοση σπόρων, περιεκτικότητα σε λάδι και απόδοση ελαίου όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα και τη λίπανση των φυτών.....	115
Πίνακας 41. Σύνθεση λιπαρών οξέων του ελαίου όπως επηρεάζεται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση.....	123
Πίνακας 42. Αναλογίες λιπαρών οξέων του ελαίου όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση.....	132
Πίνακας 43. Αθροιστικές Βαθμομημέρες Ανάπτυξης (AGDDs) από τη σπορά έως την φυσιολογική ωρίμανση του καρπού και ημερομηνίες βασικών φαινολογικών σταδίων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης κατά το έτος 2019-2020	134
Πίνακας 44. Αθροιστικές Βαθμομημέρες Ανάπτυξης (AGDDs) από τη σπορά έως την φυσιολογική ωρίμανση του καρπού και ημερομηνίες βασικών φαινολογικών σταδίων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης κατά το έτος 2020-2021	135
Πίνακας 45. Αθροιστικές Βαθμομημέρες Ανάπτυξης (AGDDs) από τη σπορά έως την φυσιολογική ωρίμανση του καρπού και ημερομηνίες βασικών φαινολογικών σταδίων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης κατά το έτος 2021-2022	135

Πίνακας 46. Συσχετίσεις μεταξύ των μετρήσιμων αγρονομικών χαρακτηριστικών και για τα τρία πειραματικά έτη (2019-2020, 2020-2021, 2021-2022).....	142
Πίνακας 47. Χάρτης θερμότητας των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των αξιολογημένων χαρακτηριστικών για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λαδιού.....	150
Πίνακας 48. Χάρτης θερμότητας των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των αξιολογημένων χαρακτηριστικών για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του φυτού ως ζωοτροφή.....	158

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Παραγωγή μουστάρδας σε παγκόσμιο επίπεδο.....	25
Διάγραμμα 2: Οι 10 σημαντικότερες χώρες παραγωγής μουστάρδας.....	26
Διάγραμμα 3: Οι 5 σημαντικότερες χώρες που εισάγουν σπόρους μουστάρδας.....	26
Διάγραμμα 4: Οι 5 σημαντικότερες χώρες που εξάγουν σπόρους μουστάρδας.....	27
Διάγραμμα 5: Η πορεία των εξαγωγών σπόρων μουστάρδας στην Ελλάδα, την περίοδο 1993-2020.....	27
Διάγραμμα 6: Η πορεία των εισαγωγών σπόρων μουστάρδας στην Ελλάδα, την περίοδο 1993-2020.....	28
Διάγραμμα 8: Ομβροθερμικό διάγραμμα για το πρώτο έτος (2019-2020).....	63
Διάγραμμα 9: Ομβροθερμικό διάγραμμα για το δεύτερο έτος (2020-2021).....	64
Διάγραμμα 10: Ομβροθερμικό διάγραμμα για το δεύτερο έτος (2021-2022).....	64
Διάγραμμα 11: Συγκεντρωτικό ομβροθερμικό διάγραμμα των τριών καλλιεργητικών ετών.....	65
Διάγραμμα 12: Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI, Leaf Area Index) κατά την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020.....	75
Διάγραμμα 13: Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI, Leaf Area Index) κατά την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021.....	76
Διάγραμμα 14: Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI, Leaf Area Index) κατά την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022.....	76
Διάγραμμα 15: Μέσος όρος (χαμηλή και υψηλή πυκνότητα) Δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI, Leaf Area Index) κατά τα τρία πειραματικά έτη.....	77
Διάγραμμα 16: Ύψος φυτών κατά το πρώτο καλλιεργητικό έτος στις 70 ΗΑΣ, 85 ΗΑΣ και 100 ΗΑΣ.....	78
Διάγραμμα 17: Ύψος φυτών κατά το δεύτερο καλλιεργητικό έτος στις 75 ΗΑΣ, 90 ΗΑΣ και 105 ΗΑΣ.....	78
Διάγραμμα 18: Ύψος φυτών κατά το τρίτο καλλιεργητικό έτος στις 85 ΗΑΣ, 100 ΗΑΣ και 115 ΗΑΣ.....	79
Διάγραμμα 19: Απόδοση σπόρου κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020, στις διαφορετικές λιπάνσεις και πυκνότητες σποράς, (D1=76 φυτά/m ² , D2=46 φυτά/m ²).....	80
Διάγραμμα 20: Απόδοση σπόρου κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021, στις διαφορετικές λιπάνσεις και πυκνότητες σποράς, (D1=76 φυτά/m ² , D2=46 φυτά/m ²).....	80
Διάγραμμα 21: Απόδοση σπόρου κατά το καλλιεργητικό έτος 2021-2022, στις διαφορετικές λιπάνσεις και πυκνότητες σποράς, (D1=76 φυτά/m ² , D2=46 φυτά/m ²).....	81
Διάγραμμα 22: Απόδοση σπόρου και στα τρία πειραματικά έτη (2019-2020, 2020-2021, 2021-2022), στις διαφορετικές λιπάνσεις και πυκνότητες σποράς, (D1=76 φυτά/m ² , D2=46 φυτά/m ²).....	82
Διάγραμμα 23: Επίδραση του δείκτη συγκομιδής (HI), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2019-2020.....	83
Διάγραμμα 24: Επίδραση του δείκτη συγκομιδής (HI), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2020-2021.....	84

Διάγραμμα 25: Επίδραση του δείκτη συγκομιδής (HI), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2021-2022.....	85
Διάγραμμα 26: Επίδραση του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (NUE), από την πυκνότητα σποράς D1= 76 φυτά/m ² στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης το έτος 2019-2020.....	87
Διάγραμμα 27: Επίδραση του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (NUE), από την πυκνότητα σποράς D2= 46 φυτά/m ² στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης το έτος 2019-2020.....	88
Διάγραμμα 28: Επίδραση του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (NUE), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2020-2021.....	89
Διάγραμμα 29: Επίδραση του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (NUE), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2021-2022.....	90
Διάγραμμα 30: Επίδραση του δείκτη συγκομιδής αζώτου (NHI), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2019-2020.....	92
Διάγραμμα 31: Επίδραση του δείκτη συγκομιδής αζώτου (NHI), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2020-2021.....	93
Διάγραμμα 32: Επίδραση του δείκτη συγκομιδής αζώτου (NHI), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2021-2022.....	94
Διάγραμμα 33: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την πυκνότητα σποράς D1= 76 φυτά/m ² στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης το έτος 2019-2020.....	96
Διάγραμμα 34: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την πυκνότητα σποράς D2= 46 φυτά/m ² στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης το έτος 2019-2020.....	97
Διάγραμμα 35: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την εφαρμογή λιπάσματος με ουρία στις δύο διαφορετικές πυκνότητες, D1= 76 φυτά/m ² , D2= 46 φυτά/m ² το έτος 2019-2020	98
Διάγραμμα 36: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την εφαρμογή λιπάσματος με κομπόστ στις δύο διαφορετικές πυκνότητες, D1= 76 φυτά/m ² , D2= 46 φυτά/m ² το έτος 2019-2020	99
Διάγραμμα 37: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την εφαρμογή λιπάσματος ουρίας με παρεμποδιστές στις δύο διαφορετικές πυκνότητες, D1= 76 φυτά/m ² , D2= 46 φυτά/m ² το έτος 2019-2020.....	100
Διάγραμμα 38: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2020-2021.....	102
Διάγραμμα 39: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2021-2022.....	103

Διάγραμμα 40 : Περιεκτικότητα NDF και ADF στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	108
Διάγραμμα 41: Περιεκτικότητα NDF και ADF στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	109
Διάγραμμα 42: Περιεκτικότητα σε ολικούς υδατάνθρακες (CHO) και υδατάνθρακες χωρίς ίνες (NFC), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	110
Διάγραμμα 43: Περιεκτικότητα σε ολικούς υδατάνθρακες (CHO) και υδατάνθρακες χωρίς ίνες (NFC), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	110
Διάγραμμα 44: Απόδοση Crude Protein (CP), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	111
Διάγραμμα 45: Απόδοση Crude Protein (CP), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	111
Διάγραμμα 46: Περιεκτικότητα Crude Protein (CP), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	112
Διάγραμμα 47: Περιεκτικότητα Crude Protein (CP), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	112
Διάγραμμα 48: Περιεκτικότητα λαδιού στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	117
Διάγραμμα 49: Περιεκτικότητα λαδιού στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	117
Διάγραμμα 50: Απόδοση σπόρου και λαδιού στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	118
Διάγραμμα 51: Απόδοση σπόρου και λαδιού στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	118
Διάγραμμα 52: Απόδοση σπόρου και λαδιού στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	119
Διάγραμμα 53: Απόδοση σπόρου και λαδιού στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	119
Διάγραμμα 54 : Περιεκτικότητα λαδιού στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	120
Διάγραμμα 55: Περιεκτικότητα λαδιού στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	120
Διάγραμμα 56: Περιεκτικότητα Saturated Fatty Acids (SAFA) στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	124

Διάγραμμα 57: Περιεκτικότητα Saturated Fatty Acid (SAFA) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	124
Διάγραμμα 58: Περιεκτικότητα Saturated Fatty Acids (SAFA) στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	125
Διάγραμμα 59: Περιεκτικότητα Saturated Fatty Acids (SAFA) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	126
Διάγραμμα 60: Περιεκτικότητα Monounsaturated Fatty Acids (MUFA) στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	126
Διάγραμμα 61: Περιεκτικότητα Monounsaturated Fatty Acids (MUFA) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	127
Διάγραμμα 62: Περιεκτικότητα Monounsaturated Fatty Acids (MUFA) στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	128
Διάγραμμα 63: Περιεκτικότητα Monounsaturated Fatty Acids (MUFA) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	128
Διάγραμμα 64: Περιεκτικότητα Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA) στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	129
Διάγραμμα 65: Περιεκτικότητα Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.....	130
Διάγραμμα 66: Περιεκτικότητα Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA) στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	131
Διάγραμμα 67: Περιεκτικότητα Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.....	131
Διάγραμμα 68: Αθροιστικές βαθμομημέρες ανάπτυξης στα βασικά φαινολογικά στάδια στα τρία έτη της πειραματικής διαδικασίας.....	136
Διάγραμμα 69: 3D συσχέτισης μεταξύ απόδοσης σπόρου, αριθμό λοβών και ξηρό βάρος φυτού.....	140
Διάγραμμα 70: 3D συσχέτισης μεταξύ απόδοσης σπόρου, ξηρό βάρος φυτού και ύψος φυτού.....	143

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού έχει στραφεί προς τα φυτικά σκευάσματα για την ίαση διαφόρων ασθενειών, από ένα απλό κρυολόγημα μέχρι μία σοβαρή χρόνια πάθηση. Τα φαρμακευτικά φυτά έχουν μπει στην ζωή μας εδώ και πολλά χρόνια από την εποχή του Ιπποκράτη. Θεωρείται επιτακτική η ανάγκη για την εξερεύνηση νέων σκευασμάτων καθώς και η μελέτη νέων ειδών που θα μπορούσαν να προσφέρουν πλήθος βιοδραστικών για την κάλυψη των αναγκών στις διάφορες ασθένειες. Είναι γνωστό ότι οι περισσότερες βιοδραστικές που βρίσκονται στα φάρμακα προσομοιάζουν αυτές τις οποίες περιέχονται στα φαρμακευτικά φυτά.

Το μαύρο σινάπι ή αλλιώς η μαύρη μουστάρδα (*Brassica nigra* ή *Sinapis nigra*), έχει βρεθεί ότι μπορεί να αντιμετωπίσει πλήθος ασθενειών ακόμα και χρόνιες παθήσεις όπως είναι η επιληψία, ο διαβήτης, οι ρευματοπάθειες, δερματικές παθήσεις αλλά ακόμα και κάποιες μορφές καρκίνου όπως είναι ο καρκίνος του στόματος. Έχουν μελετηθεί οι βιοδραστικές του ελαίου της μαύρης μουστάρδας αλλά δεν έχει διερευνηθεί ο συνδυασμός των καλλιεργητικών τεχνικών με την ποιότητα του ελαίου. Είναι βασικό να γνωρίζει ο παραγωγός αλλά και η εκάστοτε φαρμακοβιομηχανία που θα χρησιμοποιήσει το έλαιο σε σκευάσματα την ποιότητα αλλά και πως αυτή μπορεί να αλλοιωθεί ή να βελτιωθεί με τον κατάλληλο χειρισμό και τις καλλιεργητικές τεχνικές.

Καλλιεργείται σε πλήθος χωρών σε όλο τον κόσμο, όπου αναφέρεται στις διάφορες γλώσσες με κοινά ονόματα:

- ✓ Αραβικά: khardal aswad
- ✓ Αγγλικά: black mustard
- ✓ Γαλλικά: moutarde noire
- ✓ Γερμανικά: schwarzer senf
- ✓ Ελληνικά: μαύρο σινάπι
- ✓ Ισπανικά: mostaza negra

Το μαύρο σινάπι είναι το είδος *Brassica nigra* var *abyssinica*. Braun *Sinapis nigra* L.

Η ταξινόμηση του είναι η ακόλουθη:

Βασίλειο	Φυτά
Φύλο	Σπερματόφυτα
Υπόφυλο	Αγγειόσπερμα
Τάξη	Δικοτυλήδονα
Οικογένεια	Brassicaceae (Cruciferae)
Φυλή	Brassiceae
Γένος	Brassica
Είδος	<i>Brassica nigra</i>

1.2 Ιστορική αναδρομή

Το σινάπι αποτελεί ένα από τα αρχαιότερα καταγεγραμμένα μπαχαρικά όπως φαίνεται από τις Σανσκριτικές γραφές (Sanskrit records), όπου χρονολογείται γύρω στα 3000 π.Χ. στην Ινδία (Mehra, 1968). Εκτός από τους Ινδούς ήταν κι άλλοι αρχαίοι λαοί που χρησιμοποιούσαν το σινάπι ως μπαχαρικό, άρτυμα ή φάρμακο. Στην Αίγυπτο πρόσθεταν σπόρους σιναπιού στο φαγητό τους και μασούσαν σπόρους καθώς έτρωγαν οποιοδήποτε είδος κρέατος ούτως ώστε να βελτιωθεί η γεύση του. Φαίνεται ότι στην Ευρώπη ήταν το μοναδικό καρύκευμα που ήταν γνωστό πριν χρησιμοποιηθούν τα υπόλοιπα Ασιατικά μπαχαρικά. Αξιοσημείωτο είναι ότι, στην αρχαία Ελλάδα το 530 π.Χ. ο μαθηματικός Πυθαγόρας χρησιμοποίησε το σινάπι ως φαρμακευτικό σκεύασμα για τα τσιμπήματα που προκαλούνταν από τους σκορπιούς, ενώ έναν αιώνα αργότερα, ο Ιπποκράτης το χρησιμοποιούσε σε καταπλάσματα και φάρμακα.

Αναφέρεται ως μουστάρδα διότι η ονομασία αυτή έχει τις ρίζες της στην λατινική λέξη *mustum*, η οποία αναφέρεται στον χυμό που εξάγεται από τα σταφύλια κατά την επεξεργασία τους για την παραγωγή οίνου. Οι Ρωμαίοι δημιούργησαν μία αρχική μορφή της σημερινής μουστάρδας με την ανάμειξη μούστου και σπόρων σιναπιού. Συνόδευαν το γεύμα τους με μουστάρδα, κυρίως το ψάρι και το κρέας.

Αργότερα, η σκόνη των σπόρων του, μαζί με ξίδι, ήταν δημοφιλές καρύκευμα κρεάτων, μάλιστα αναφέρεται ότι άνοιγε την όρεξη και βοηθούσε στη πέψη. Μία συνταγή για μουστάρδα αναφέρεται στο βιβλίο μαγειρικής «Απίκιος» που χρονολογείται στα τέλη του 4ου ή στις αρχές του 5ου αιώνα π.Χ. Οι Γάλλοι καλόγεροι χρησιμοποίησαν τη γνώση που είχαν οι Ρωμαίοι για τη μουστάρδα και ξεκίνησαν τη δική τους παραγωγή.

Η πρώτη συνταγή μουστάρδας καταγράφηκε τον 6ο αιώνα και διαδόθηκε στη Βουργουνδία. Η μουστάρδα όμως αποκτούσε ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση, οι άνθρωποι προχώρησαν στην παρασκευή διαφόρων ειδών μουστάρδας και έτσι στα τέλη του 16ου αιώνα στην Ορλεάνη και γύρω στα 1630 στην Ντιζόν, παρασκευάστηκαν και τα πρώτα παράγωγα ξιδιού και μουστάρδας.

Η σύγχρονη εποχή της μουστάρδας άρχισε το 1720, όταν οι μάρτυρες του Durham της Αγγλίας, βρήκαν έναν τρόπο αλέσεως του σπόρου προς λεπτό αλεύρι. Έτσι, η μουστάρδα διαδόθηκε σε όλο τον κόσμο και θεωρείται πλέον από τα πιο αγαπημένα καρυκεύματα. Στην **Εικόνα 1** βλέπουμε την διάδοση του μαύρου σιναπιού στον κόσμο.



Εικόνα 1 . Η διάδοση της καλλιέργειας του *Brassica nigra*
(Πηγή : wild-planet.nl, 2015)

Το Σινάπι αποτελεί μέλος της οικογένειας των Brassicaceae / Cruciferae (Κραμβοειδή/Σταυρανθή) το γένος *Brassica* απαρτίζεται από 150 είδη ετήσιων ή διετών φυτών (Thomas *et al.*, 2012). Στην λεκάνη της Μεσογείου βρίσκονται οκτώ είδη από τα οποία τα πέντε βρίσκονται στην ελληνική χλωρίδα. Το *Sinapis avensis* (Σινάπι το αρουραίο) κοινώς λαψάνα – η λαμψάνη του Διοσκουρίδη- επιζήμιο ζιζάνιο, διότι η ανάπτυξη του γίνεται γρηγορότερα από τα καλλιεργούμενα φυτά. Το *Sinapis alba* (L.) ή *Brassica alba* (L.), (Σινάπι το λευκόν), *Brassica hirta* Moench το οποίο το συναντάμε με τις ονομασίες πικρίδι, λευκό σινάπι, σινάπι, αγριοσινάπια, σινιάβρη, γλυκοβρούβες ή λαψάνα. Το Νάπυ ή Σίνηπι του Διοσκουρίδη, το Νάπυ του Θεόφραστου το οποίο χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση, ονομάζεται και αυτό λαψάνα και το

Sinapis nigra ή *Brassica nigra* (Σινάπι το μέλαν), (Downey, Robbelen, 1989). Όλα τα παραπάνω είδη είναι ετήσια, καλλιεργούμενα ή αυτοφυή.

Υπάρχουν τρεις τύποι σπόρων μουστάρδας όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 2**: ανοιχτή κίτρινη ή λευκή μουστάρδα (*Sinapsis alba* syn. *Brassica hirta* Moench ή *Brassica alba*); καφέ ή ανατολίτικη μουστάρδα (*Brassica juncea*) και μαύρη ή σκούρο καφέ μουστάρδα (*Brassica nigra*). Εκτός από τη χρήση τους ως μπαχαρικό, οι μουστάρδες χρησιμοποιούνται ευρέως ως λαχανικά και βεβαίως ως σημαντικές καλλιέργειες ελαιούχων σπόρων, για χλωρή λίπανση ή ως ζωοτροφή και στην βιομηχανία.

Η μαύρη μουστάρδα είναι πιθανώς ενδημική στην περιοχή της νότιας Μεσογείου (**Εικόνα 1**). Το *Brassica nigra* έχει ιδιαίτερη σημασία όχι μόνο ως φυτικό είδος, αλλά συνέβαλε επίσης στην εξέλιξη πολλών άλλων ειδών στο γένος *Brassica*.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 2. Τα τρία διαφορετικά είδη σιναιπιού, (α) *Sinapis alba*, (β) *Brassica nigra* (γ) *Brassica juncea*.

(Πηγή: seeds-gallery.shop)

Το μαύρο σινάπι αποτελεί το μητρικό φυτό για την εξέλιξη των υπολοίπων ειδών του γένους *Brassica*, δηλαδή, από το *Brassica nigra* δημιουργήθηκε το *Brassica carinata* και το *Brassica juncea* και μετέπειτα και τα υπόλοιπα είδη.

1.3 Η σπουδαιότητα του μαύρου σιναπιού ως φαρμακευτικό φυτό

Τα φαρμακευτικά φυτά χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια για την αντιμετώπιση διαφόρων ασθενειών ή την πρόληψη αυτών. Έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κόρον από διάφορους πολιτισμούς με μεγάλη επιτυχία, για αυτό και οι μεγάλες φαρμακοβιομηχανίες διεξάγουν έρευνα πάνω στα φαρμακευτικά φυτά και στα προϊόντα τους ούτως ώστε να εισάγουν νέα φυτικά σκευάσματα στην αγορά των φαρμάκων.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ), αναφέρει ότι το 80% του παγκόσμιου πληθυσμού, χρησιμοποιούν φυτικά σκευάσματα για την αντιμετώπιση παθήσεων. Τα φαρμακευτικά φυτά αποτελούν πηγή για βιοδραστικές ουσίες αλλά και δευτερογενείς μεταβολίτες.

Το μαύρο σινάπι εκτός από την παραγωγή σπόρων για την δημιουργία της μουστάρδας έχει βρεθεί από έρευνες ότι περιέχει το έλαιο του και όχι μόνο, φαρμακευτικές ιδιότητες σε ένα ευρύ φάσμα ασθενειών αλλά και χρόνιων παθήσεων. Από αρχαιοτάτων χρόνων, ο Ιπποκράτης το χρησιμοποιούσε ως αντίδοτο στα τσιμπήματα των σκορπιών αλλά και σε διάφορες δερματικές παθήσεις. Επίσης, μειώνει τα επίπεδα της χοληστερόλης στο αίμα, έχει αντιμικροβιακές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες.

Κυρίως χρησιμοποιείται το έλαιο το οποίο εξάγεται από τους σπόρους σε φαρμακευτικά σκευάσματα, αλλά σε πολλές περιπτώσεις τα φύλλα του φυτού αποτελούν βασικό συστατικό αντιμετώπισης ασθενειών ή πόνων λόγω της μεθανόλης που εξάγεται από τα φύλλα. Τα φύλλα τοποθετούνται σε ποδόλουτρα αλλά και πάνω στο δέρμα για την αντιμετώπιση διαφόρων μορφών δερματοπαθειών. Βέβαια, μεθανόλη μπορεί να ληφθεί και από τους σπόρους.

Σύμφωνα με τους Krishnaveni and Saranya (2016), από έρευνα που πραγματοποίησαν που αφορούσε την χημική σύσταση του ελαίου του μαύρου σιναπιού, βρέθηκε ότι, από τους δευτερογενείς μεταβολίτες τα συνολικά φαινολικά ήταν τα υψηλότερα και τα οξειδία του αζώτου είχαν υψηλότερη δραστηριότητα από τα υπόλοιπα αντιοξειδωτικά. Η αξιολόγηση των φυτοθρεπτικών συστατικών έδειξε, ότι οι πρωτεΐνες είχαν την υψηλότερη περιεκτικότητα. Κατέληξαν ότι οι σπόροι του μαύρου σιναπιού έχουν σημαντική επίδραση στην καταπολέμηση χρόνιων ασθενειών καθώς και οι φαινολικές ουσίες αυξάνουν το προσδόκιμο ζωής.

Είναι απαραίτητο να αναλυθεί η χημική σύσταση του ελαίου ούτως ώστε να περιγράψουμε περαιτέρω τις δράσεις του μαύρου σιναπιού σε όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ο σπόρος αποτελείται κατά 20-30% από έλαιο, πιο αναλυτικά τα θρεπτικά συστατικά περιγράφονται παρακάτω στον **Πίνακα 1**.

Πίνακας 1. Θρεπτικά στοιχεία σπόρου ανά 100 gr. Πηγή: Composition of foods spices & herbs, USDA Agricultural Handbook 8-2 , January 1977. (<https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT77686316/pdf>)

Συστατικά	USDA Handbook 8.2"
Νερό (g)	6.86
Ενέργεια (kcal)	469
Πρωτεΐνες (g)	24.94
Λίπος (g)	28.76
Υδατάνθρακες (g)	34.94
Τέφρα (g)	4.51
Ασβέστιο (g)	0.521
Φώσφορος (mg)	841
Κάλιο (mg)	682
Νάτριο (mg)	5
Σίδηρος (mg)	9.98
Θειαμίνη (mg)	0.543
Ριβοφλαβίνη (mg)	0.381
Βιταμίνη Β (mg)	7.89
Ασκορβικό οξύ (mg)	.
Βιταμίνη Α (RF)	6

Οι σπόροι μουστάρδας περιέχουν μια ποικιλία μετάλλων, συμπεριλαμβανομένου του σιδήρου, μαγνήσιο, ψευδάργυρο, ασβέστιο και φώσφορο. Οι ποσότητες αυτών των μετάλλων είναι απαραίτητες για τη φυσιολογική λειτουργία πολλών βιολογικών και βιοχημικών διεργασιών στο ανθρώπινο σώμα. Σύμφωνα με το USDA (National Nutrient Database for Standard Reference), ο σιναπόσπορος περιέχει το 26,6% του ημερήσιου ασβεστίου, το 51,2% του ημερήσιου σιδήρου, 92,5% του ημερήσιου μαγνησίου, 40,5% του ημερήσιου ψευδάργυρου και το 82,8% του ημερήσιου φωσφόρου. Ο σπόρος μουστάρδας είναι όξινος και αποτελεί πηγή ωμέγα-3 λιπαρών οξέων, σύμφωνα με το βιβλίο, Today's Herbal Health: The Essential

Οι μουστάρδες είναι πολύ υψηλές σε θερμίδες, 100 g σπόρων περιέχει 508 θερμίδες, οι σπόροι εμπεριέχουν ποιοτικές πρωτεΐνες, απαραίτητα έλαια, βιταμίνες, μέταλλα και διαιτητικές ίνες. Επίσης, έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε αιθέρια έλαια καθώς και φυτικές στερόλες. Τα λιπαρά οξέα περιλαμβάνουν την σινιγρίνη, μυροσίνη, ερουκικό, εικοσενοϊκό, ελαϊκό και παλμιτικό οξύ (**Πίνακας 2**). Οι σπόροι μουστάρδας είναι μια εξαιρετική πηγή απαραίτητης βιταμίνης Β σύμπλοκα όπως φυλλικό οξύ, νιασίνη, θειαμίνη, ριβοφλαβίνη, πυριδοξίνη (βιταμίνη Β6) και παντοθενικό οξύ. 100 γραμμάρια μουστάρδας παρέχουν 4,733 mg νιασίνης (βιταμίνη Β3). Η νιασίνη είναι μέρος των συνενζύμων νικοτιναμίδης και βοηθά στη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης και τριγλυκεριδίων στο αίμα. Οι σπόροι μουστάρδας περιέχουν φλαβονοειδή και καροτενοειδή αντιοξειδωτικά όπως καροτίνες, ζεαξανθίνη και λουτεΐνη. Επιπλέον, περιέχουν μια μικρή ποσότητα βιταμινών αντιοξειδωτικών όπως βιταμίνες Α, C και βιταμίνη Κ. Οι σπόροι αποτελούν πηγή βιταμίνης Ε. Η βιταμίνη Ε είναι ένα ισχυρό λιποδιαλυτό αντιοξειδωτικό, που απαιτείται για τη διατήρηση της ακεραιότητας της κυτταρικής μεμβράνης των βλεννογόνων και του δέρματος προστατεύοντάς το από επιβλαβείς ρίζες χωρίς οξυγόνο. Το ασβέστιο, το μαγγάνιο, ο χαλκός, ο σίδηρος, το σελήνιο και ο ψευδάργυρος είναι μερικά από τα μέταλλα που συγκεντρώνονται ιδιαίτερα σε αυτούς τους σπόρους. Το ασβέστιο βοηθά στο χτίσιμο των οστών και των δοντιών. Το μαγγάνιο χρησιμοποιείται από το σώμα ως παράγοντας για το αντιοξειδωτικό ένζυμο υπεροξειδίου δισμουτάση. Ο χαλκός απαιτείται για την παραγωγή του κόκκινου αίματος κύτταρα. Ο σίδηρος απαιτείται για τον σχηματισμό ερυθρών αιμοσφαιρίων και κυτταρικό μεταβολισμό.

Το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα των ειδών Brassica είναι η υψηλή περιεκτικότητά τους σε έλαιο, η οποία κυμαίνεται από 17 έως 40% στους άγριους συγγενείς (Kumar and Tsunoda, 1980). Οι κύριες ποικιλίες ελαιούχων σπόρων Brassica (*B. napus*, *B. juncea* και *B. rapa*) με μέση περιεκτικότητα σε λάδι που κυμαίνεται από 45 έως 50%, είναι επί του παρόντος η τρίτη πιο σημαντική πηγή σταθερού λαδιού στον κόσμο (Friedt and Läuhns, 1995· Thomas et al., 2012). Τα επτά κύρια λιπαρά οξέα που προέρχονται από τα είδη Brassica είναι το παλμιτικό (C16:0), το στεατικό (C18:0), το ελαϊκό (C18:1 n-9), το λινολεϊκό (C18:2 n-6), το α-λινολενικό (C18:3 n-3), εικοσανοϊκό (C22:0) και ερουκικό (C22:1) οξύ (Sharafi et al., 2015). Το έλαιο Brassica περιέχει περισσότερες γενετικές παραλλαγές στο προφίλ των λιπαρών οξέων του από άλλα κύρια φυτικά έλαια (Sovero, 1993).

Πίνακας 2. Χημική ανάλυση του ελαίου του μαύρου σιναπιού. Πηγή: Krishnaveni and Saranya, 2016.

Όνομασία ένωσης	Μοριακός τύπος	MW	Peak area %
5-Hydroxymethylfurfural	C ₆ H ₆ O ₃	126	7.52
Ethanone, 1-(3,4-dimethoxyphenyl)-	C ₁₀ H ₁₂ O ₃	180	15.35
n-Hexadecanoic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	5.40
9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280	22.14
Octadecanoic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284	2.34
cis-13-Eicosenoic acid	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	310	3.66
Tetracaine	C ₁₅ H ₂₄ N ₂ O ₂	264	9.62
Erucic acid	C₂₂H₄₂O₂	338	16.86
9-Octadecenoic acid (Z)-, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	C ₂₁ H ₄₀ O ₄	356	3.07
γ-Tocopherol	C ₂₈ H ₄₈ O ₂	416	2.71
Stigmasterol	C ₂₉ H ₄₈ O	412	5.01
Campesterol	C ₂₈ H ₄₈ O	400	6.31

Ας δούμε αναλυτικά τις δράσεις που παρουσιάζει το μαύρο σινάπι (*Brassica nigra*) στις διάφορες κατηγορίες που αναφέρθηκαν παραπάνω όσον αφορά τις ασθένειες και τις χρόνιες παθήσεις.

✧ **Φυτοθρεπτικά συστατικά**

Οι σπόροι μουστάρδας περιέχουν υψηλές ποσότητες φυτοθρεπτικών συστατικών, κυρίως γλυκοζινολικών, σύμφωνα με μια μελέτη του 1990 που δημοσιεύτηκε στο «Επιστήμη των Φυτών». Τα γλυκοζινολικά είναι ενώσεις που προέρχονται από ζάχαρα που βρίσκονται φυσικά σε πολλά ανθοφόρα φυτά. Μια μελέτη που δημοσιεύτηκε από το International Journal for Vitamin and Nutrition το 2002 διαπίστωσε ότι οι γλυκοζινολικές ενώσεις που βρίσκονται στα φυτά μπορούν να έχουν προστατευτική δράση έναντι ορισμένων τύπων καρκίνου, ιδιαίτερα τον καρκίνο του πνεύμονα (Divakaran and Babu, 2016).

Οι σπόροι μουστάρδας είναι επίσης πλούσιοι σε μελατονίνη και το εκχύλισμα μελατονίνης μουστάρδας που χορηγήθηκε σε αρουραίους βρέθηκε ότι εμποδίζει de novo τη σύνθεση χοληστερόλης και τον καθαρισμό

των ενεργών ειδών οξυγόνου που υπάρχουν μέσω υπερχοληστερολαιμία (Chakraborty et al., 2019). Οι σπόροι μουστάρδας είναι ένα αποτελεσματικό αντιοξειδωτικό που αποτρέπει την επαγόμενη καρκινογένεση. Επιπλέον, έχει σημειωθεί ότι προκαλεί προγραμματισμένο θάνατο καρκινικών κυττάρων του παχέος εντέρου σε μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε φυσιολογικά κύτταρα καλλιέργειας με την ανθρώπινη κυτταρική σειρά καρκίνου του παχέος εντέρου. Στα ποντίκια, μια δίαιτα εμπλουτισμένη με σπόρους μουστάρδας μείωσε τα επίπεδα του προϊόν υπεροξειδωσης λιπιδίων της μηλοναλδεϋδης και αύξησε τη δραστηριότητα αρκετών αντιοξειδωτικών ενζύμων, όπως η υπεροξειδική δισμουτάση (SOD), η καταλάση και η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης (Zhu et al., 2012, Yuan et al., 2011). Ένα ενδιαφέρον στοιχείο πιθανή χρήση του σπόρου μουστάρδας είναι η χρήση του ως πηγή χημειοθεραπευτικής. Οι πλούσιες σε σελήνιο περιοχές της Ινδίας κατέστησαν δυνατή την απόκτηση σπόρων μουστάρδας με υψηλή περιεκτικότητα σε σελήνιο, και στο κέικ και στο λάδι. Σε αυτή την περίπτωση, είναι μια πρόσθετη βιοδραστική ένωση που υπάρχει στους κόκκους μουστάρδας (Jaiswal et al., 2012).

Ορισμένα φάρμακα, όπως η παρακεταμόλη (ονομάζεται επίσης ακεταμινοφαίνη), έχουν τοξικές επιδράσεις στο ήπαρ, έχει διερευνηθεί η ικανότητα του υδρομεθανολικού εκχύλισματος του σπόρου μουστάρδας να προστατεύει το ήπαρ. Η παρακεταμόλη μπορεί να αυξήσει τα ηπατικά ένζυμα αυξάνοντας τα επίπεδα των ενεργών ειδών οξυγόνου. Το υδρομεθανολικό εκχύλισμα σπόρων μουστάρδας αποτρέπει την υπεροξειδωτική αποικοδόμηση των λιπιδίων της μεμβράνης αναστέλλοντας τη δέσμευση ενεργοποιημένων ριζών στα μακρομόρια, μειώνοντας παράλληλα τις ηπατικές παραμέτρους σε κατάλληλα επίπεδα (Parikh et al., 2015).

Το πτητικό έλαιο από σπόρους λευκής μουστάρδας είναι ένας πιθανός παράγοντας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της διείσδυσης του δέρματος από φάρμακα. Πτητικό λάδι που αποτελείται κυρίως από AITC και ισοθειοκυανατοκυκλοπροπάνιο ήταν δοκιμάστηκε για το σκοπό αυτό και βρέθηκε ότι αυξάνει την επίδραση τριών μοντέλων φαρμάκων. Ιστοπαθολογική μελέτες επιβεβαίωσαν την ασφάλειά του για το δέρμα όταν χρησιμοποιείται σε συγκεντρώσεις κάτω του 2% (Ruan et al., 2019). Ελήφθη Synigrin από τον σπόρο του μουστάρδας έχει επίσης πολλές χρήσεις στην ιατρική, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης της ηπατικής ίνωσης, της προαγωγής της επούλωσης των πληγών, των αντικαρκινικών ιδιοτήτων στην τροποποίηση της μεθυλγλυοξάλης και της αντιπολλαπλασιαστικής δραστηριότητα στην επαγόμενη από καρκινογόνο ηπατοτοξικότητα (Melrose, 2019). Είναι επίσης δυνατή η χρήση μουστάρδας σε αναλυτικά εργαστήρια. Η ζύμη *Cryptococcus neoformans* είναι μια από τις πιο κοινές αιτίες μόλυνσης σε ασθενείς με AIDS. Το εκχύλισμα σπόρων μουστάρδας προσδίδει ένα καφέ χρωματισμό στις αποικίες *C.*

neoforman ενώ αφήνει τις αποικίες *Candida albicans* λευκές, επιτρέποντας εύκολη αναγνώριση του *C. neoformans* (Nandhakumar, 2006).

✧ **Αντιφλεγμονώδεις δράσεις**

Η επίδραση των εκχυλισμάτων σπόρων *Brassica nigra* σε αρθρικούς αρουραίους αξιολογήθηκε από τα διάφορα μοντέλα. Σε αρθρικούς αρουραίους, η φλεγμονή έφτασε στο μέγιστο την ημέρα 3 και διατηρήθηκε μέχρι την 9η ημέρα (Uddin et al., 2019). Το πόδι διατήρησε τη φλεγμονή του μέχρι την ημέρα 14. Σημαντική μείωση καταγράφηκε στην ομάδα που έλαβε αγωγή με εκχυλίσματα. Οι σπόροι μουστάρδας προέκυψαν από το σύστημα κατάταξης των τροφίμων ως εξαιρετική πηγή σεληνίου, ένα θρεπτικό συστατικό που έχει αποδειχθεί βοηθούν στη μείωση της σοβαρότητας του άσθματος, μειώνουν ορισμένα από τα συμπτώματα της ρευματοειδούς αρθρίτιδας (Abul-Fadl et al., 2011). Χαρακτηρίστηκαν επίσης, ως καλή πηγή μαγνησίου. Το μαγνήσιο έχει αποδειχθεί ότι βοηθά στη μείωση της σοβαρότητας του άσθματος, στη μείωση της υψηλής αρτηριακής πίεσης, στην αποκατάσταση του φυσιολογικού ύπνου σε γυναίκες που αντιμετωπίζουν δυσκολίες με τα συμπτώματα της εμμηνόπαυσης, στη μείωση της συχνότητας των κρίσεων ημικρανίας και στην πρόληψη της καρδιακής προσβολής σε ασθενείς που πάσχουν από αθηροσκλήρωση ή διαβητική καρδιακή νόσο. Οι σπόροι μουστάρδας χαρακτηρίστηκαν επίσης ως πολύ καλή πηγή σε μαγγάνιο καθώς και καλή πηγή φωσφόρου, χαλκού (Divakaran and Babu, 2016).

✧ **Φροντίδα του δέρματος**

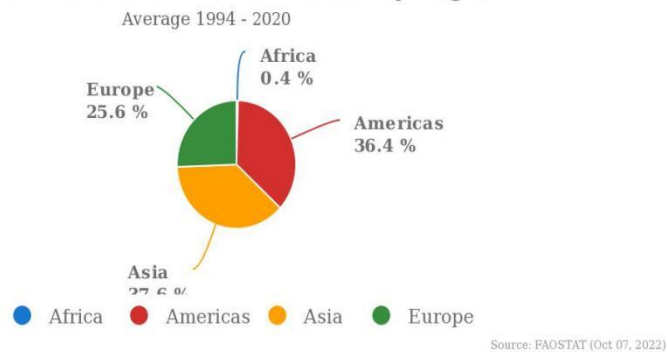
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φυσικό αντηλιακό, λόγω της παχύρρευστης σύστασής του και της υψηλής του επίπεδα βιταμίνης E (Divakaran and Babu, 2016). Η τοπική εφαρμογή αυτού του ελαίου προστατεύει το δέρμα ενάντια στις σκληρές υπεριώδεις ακτίνες και άλλους ρύπους, αποτρέποντας έτσι τον καρκίνο του δέρματος. Η βιταμίνη E προλαμβάνει γήρανση και ρυτίδες εκτός από το να λειτουργεί ως αντηλιακό. Διεγείρει τους ιδρωτοποιούς αδένες, είτε καταναλώνεται είτε εφαρμόζεται από πάνω, το έλαιο μουστάρδας ανοίγει τους πόρους του δέρματος. Έτσι, βοηθά στη μείωση της θερμοκρασίας σώματος και αφαιρεί ανεπιθύμητες τοξίνες, νερό και άλατα από το σώμα. Αντιμετωπίζει εξανθήματα και λοιμώξεις, λόγω των αντιβακτηριακών και αντιμυκητιασικών ιδιοτήτων του, το έλαιο μουστάρδας είναι αποτελεσματικό στη θεραπεία εξανθημάτων και άλλων λοιμώξεων του δέρματος, αποτρέποντας έτσι το δέρμα από ξηρότητα, θαμπάδα και φαγούρα (Divakaran and Babu, 2016). Ένα μασάζ σώματος με έλαιο μουστάρδας αναζωογονεί και καθαρίζει το δέρμα αυξάνοντας την κυκλοφορία του αίματος. Εξάλλου, λόγω των αντιφλεγμονωδών

δεσμών του, είναι αποτελεσματικό στη μείωση της φλεγμονής του δέρματος και διευκολύνει τη γρήγορη επούλωση κοψιμάτων και πληγών.

1.4 Στατιστικά στοιχεία της καλλιέργειας

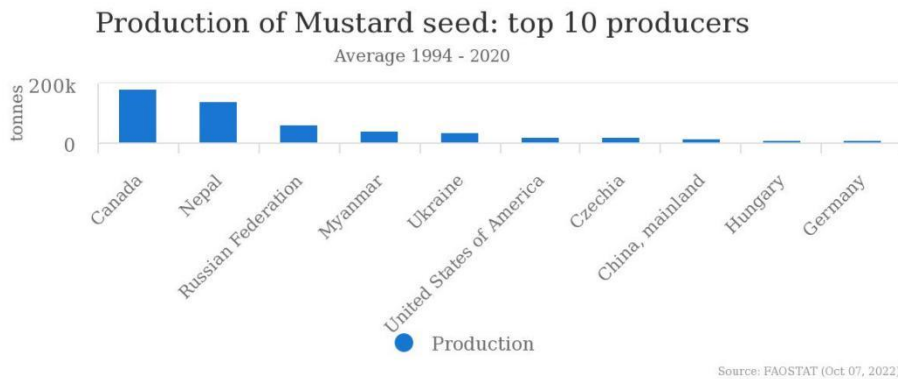
Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν στατιστικά στοιχεία παραγωγής μαύρης μουστάρδας αλλά και γενικότερα κάθε είδους μουστάρδας από το 1995 μέχρι και το 2020 σύμφωνα με τον FAO. Όσον αφορά την παγκόσμια παραγωγή όπως φαίνεται και από το παρακάτω διάγραμμα (*Διάγραμμα 1*) η Ασία είναι η μεγαλύτερη ήπειρος παραγωγής μουστάρδας με ποσοστό 37,6%, έπεται η Αμερική με 36,4%, ύστερα η Ευρώπη με 25,6% και τέλος η Αφρική με 0,4%. Αξίζει να τονιστεί ότι, η Ευρώπη κατέχει ένα σημαντικό ποσοστό στην παγκόσμια παραγωγή μουστάρδας. Στη βάση δεδομένων του FAO δεν διαχωρίζονται οι ποικιλίες της μουστάρδας (κίτρινη,μαύρη κλπ) αλλά υπάρχει η συνολική παραγόμενη ποσότητα.

Production share of Mustard seed by region



Διάγραμμα 1: Παραγωγή μουστάρδας σε παγκόσμιο επίπεδο.
(FAO STAT)

Η βασικότερη παραγωγός χώρα είναι ο Καναδάς όπως φαίνεται στο *Διάγραμμα 2*. Από τις Ευρωπαϊκές χώρες, στις 10 σημαντικότερες συγκαταλέγονται η Τσεχία, Ουγγαρία και η Γερμανία.



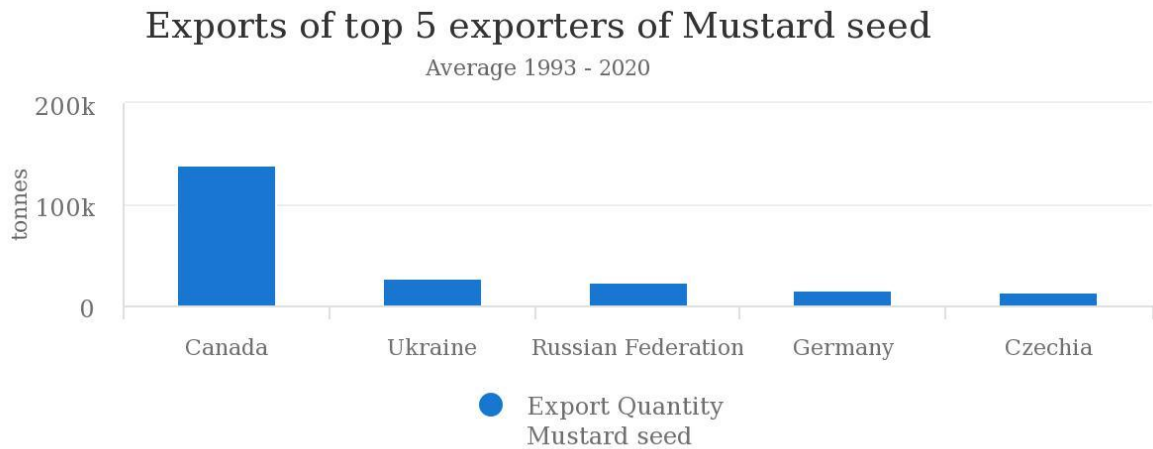
Διάγραμμα 2: Οι 10 σημαντικότερες χώρες παραγωγής μουστάρδας.
(FAO STAT)



Διάγραμμα 3: Οι 5 σημαντικότερες χώρες που εισάγουν σπόρους μουστάρδας.
(FAO STAT)

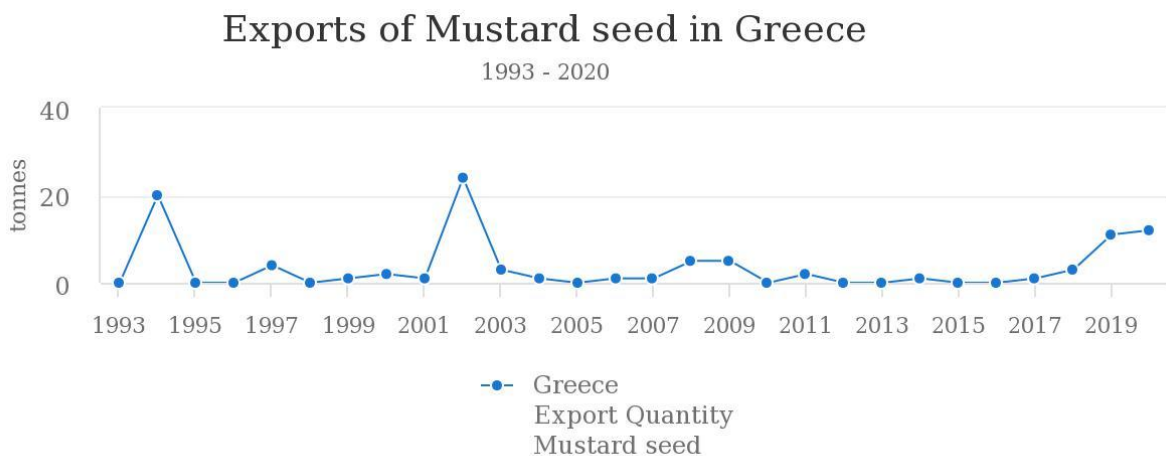
Στο **Διάγραμμα 3**, παρατηρούμε ότι, στις 5 σημαντικότερες χώρες που εισάγουν σπόρους μουστάρδας βρίσκονται τρεις Ευρωπαϊκές χώρες, η Γερμανία στην 2η θέση, η Γαλλία στην 4η και η Ολλανδία στην 5η. Αντιλαμβανόμαστε την ανάγκη για παραγωγή μουστάρδας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, στην Μεσόγειο ειδικότερα λόγω της Γαλλίας και ύστερα στις βορειότερες χώρες, όπου αυτό αντικατοπτρίζει τις διατροφικές συνήθειες του πληθυσμού των συγκεκριμένων χωρών. Η Γερμανία βρίσκεται στην λίστα των σημαντικότερων χωρών παραγωγής σπόρων μουστάρδας (**Διάγραμμα 2**) καθώς και στις 5 σημαντικότερες εξαγωγικές χώρες (**Διάγραμμα 4**). Ο Καναδάς αποτελεί την μεγαλύτερη και πιο σπουδαία εξαγωγική χώρα

παγκοσμίως. Ενώ σε Ευρωπαϊκό η Γερμανία και η Τσεχία αποτελούν μέρος των εξαγωγικών ποσοτήτων (Διάγραμμα 5).



Source: FAOSTAT (Nov 06, 2022)

Διάγραμμα 4: Οι 5 σημαντικότερες χώρες που εξαγωγουν σπόρους μουστάρδας. (FAO STAT)

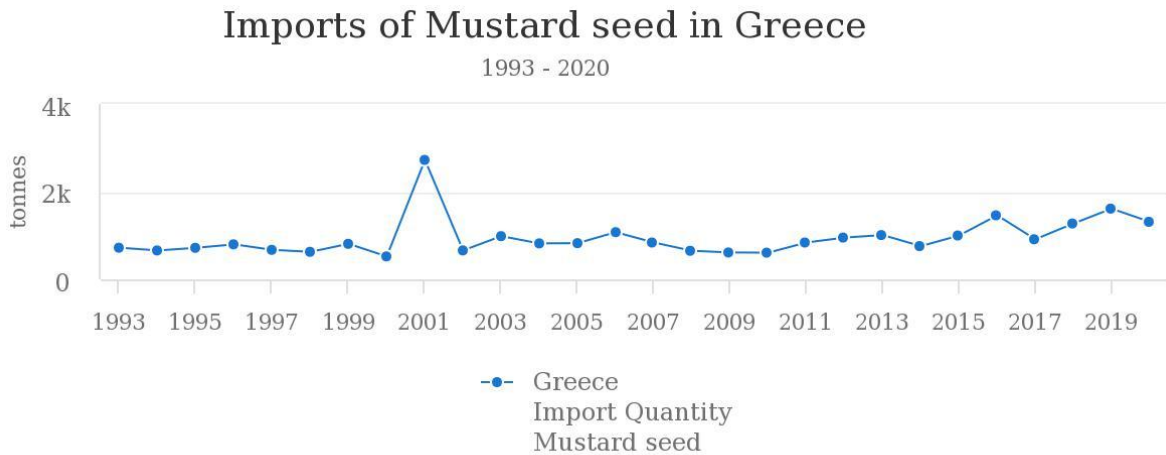


Source: FAOSTAT (Nov 06, 2022)

Διάγραμμα 5: Η πορεία των εξαγωγών σπόρων μουστάρδας στην Ελλάδα, την περίοδο 1993-2020. (FAO STAT)

Όσον αφορά την περίπτωση της χώρας μας, την χρονική περίοδο 1993-2020, όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 5**, δεν υπήρχαν σημαντικές ποσότητες εξαγωγών σε κανένα έτος. Εν αντιθέσει με τις ποσότητες που

εισάγουμε την ίδια χρονική περίοδο, παρατηρείται μία ελάχιστη αύξηση από το 2014 έως το 2020 (Διάγραμμα 6).



Source: FAOSTAT (Nov 06, 2022)

Διάγραμμα 6: Η πορεία των εισαγωγών σπόρων μουστάρδας στην Ελλάδα, την περίοδο 1993-2020. (FAO STAT)

1.5 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Το μαύρο σινάπι ή αλλιώς το είδος *Brassica nigra* L. (*Sinapis nigra* L.), είναι αγγειόσπερμο δικότυλο φυτό, μονοετές. Λεία πόα, η οποία έχει ζωηρά κίτρινα άνθη (**Εικόνα 3**), που σχηματίζουν ταξιανθίες, και τα φύλλα είναι μετρίου μεγέθους, τραχιά που εναλλάσσονται άμισχα, πτερωτά, λυροειδώς πτεροσχιδή, τα κατώτερα, επιμήκη-λογχοειδή τα ανώτερα (Κρίκελας, 2016). Έχει πασσαλώδη ρίζα, κάτι το οποίο είναι χαρακτηριστικό των δικότυλων φυτών. Το σημείο ανάπτυξης ή η κορυφή του φυτού παράγει αρχικά φύλλα σε ελικοειδή διάταξη σε μορφή 130° (μορφή ροζέτας). Η χρονική διάρκεια κατά την οποία το φυτό παραμένει σε μορφή ροζέτας κυμαίνεται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Εάν οι ημερήσιες θερμοκρασίες είναι κάτω από 5°C παραμένει στη συγκεκριμένη μορφή για αρκετό χρονικό διάστημα. Τα κατώτερα φύλλα του φυτού έχουν πολλαπλές νευρώσεις, παρουσιάζουν εντομή σαν να αποκολλώνται από το κυρίως τμήμα. Τα ανώτερα φύλλα δεν αποσχίζονται. Γενικότερα τα φύλλα είναι χωρίς παράφυλλα. Οι τρίχες που καλύπτουν το φυτό είναι διαφόρων μορφών όπως, απλές, δισχιδείς, πολυδιακλαδισμένες, αστεροειδείς και ασπιδοειδείς. Τα άνθη έχουν μέγεθος 8mm με μακριά στεφάνη και αντικριστά πέταλα. Φέρουν κίτρινα πέταλα και είναι διατεταγμένα κατά επάκριους βότρους. Η διάταξη των μερών του άνθους (πέταλα, σέπαλα) είναι κατά σταυρωτούς σπονδύλους όπου εξ αιτίας αυτής της διάταξης η ονομασία των φυτών είναι Σταυρανθή=Cruciferae. Οι μίσχοι έχουν περίπου 4 διακλαδώσεις. Τα φύλλα και

οι σπόροι του φυτού μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανθρώπινη διατροφή. Ο καρπός του είναι λοβός, τριχωτός, με μαύρες τρίχες και παρουσιάζει νευρώσεις επιμήκη, με σπέρματα στρογγυλά, χρώματος καστανό σκούρο ή μαύρο όπου το μέγεθος τους δεν ξεπερνούν τα 2 mm (Thomas *et al.*, 2012). Σε κάθε λοβό βρίσκονται 9-12 σπέρματα τα οποία έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε λάδι (20-30%), (Κρίκελας, 2016). Οι σπόροι έχουν μέγεθος περίπου 2 mm ή λιγότερο, αλλά τείνουν να είναι λίγο πιο επιμήκη από σφαιρικό, ποικίλο χρώμα από σκούρο-κοκκινωπό καφέ έως μαύρο, περισσότερο ή λιγότερο καλυμμένο με λευκό σφαιρίδιο, μικρότερο και πολύ πιο έντονο από το λευκό.

Το σινάπι είναι ακαθόριστης ανάπτυξης για αυτό και το μέσο βάρος των σπόρων δεν μεταβάλλεται καθ'όλη την διάρκεια της ωρίμανσης, (Thomas, *et al.*, 2012). Τα άνθη είναι διατεταγμένα κατά βότρυς και το άρωμά τους θυμίζει βανίλια, είναι ερμαφρόδιτα και επικονιάζονται κυρίως από τις μέλισσες και τον αέρα. Το μαύρο σινάπι και γενικότερα τα είδη του σιναπιού είναι εξαιρετικά μελισσοκομικά φυτά. Ιδίως την Άνοιξη ο πληθυσμός των μελισσών είναι πολύ μεγάλος που τρέφεται από το σινάπι και ταυτόχρονα βοηθάνε στην διαδικασία της επικονίασης.

Ο γενικός ανθικός τύπος των Brassicaceae είναι: $K_2+2\Sigma_4A_2+4\{2,4-16\}\Gamma(2)$

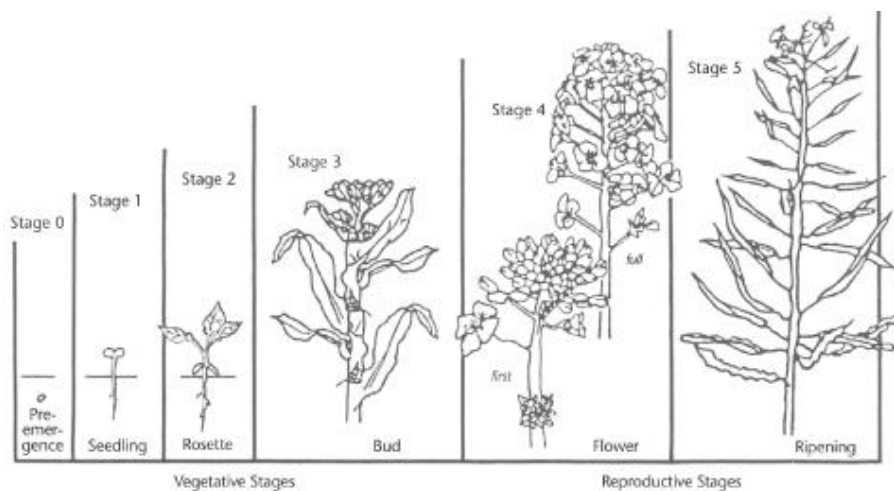


Εικόνα 3. Μορφολογικά χαρακτηριστικά του *Brassica nigra*. (M.Miller)

1.6 Βιολογικός Κύκλος

Το μαύρο σινάπι είναι φυτό μεγάλης καλλιέργειας, δεν είναι αρδευόμενο στην χώρα μας διότι καλύπτει τις ανάγκες του μέσω της βροχόπτωσης. Σύμφωνα με τα δεδομένα των χωρών που καλλιεργείται κατά κόρον, ο βιολογικός του κύκλος κυμαίνεται από 100-120 DAS (Days After Sowing). Βέβαια, στην περίπτωση της Ελλάδας ο βιολογικός κύκλος είναι μεγαλύτερος λόγω της υγρασίας αλλά και των θερμοκρασιών που επικρατούν την περίοδο της Άνοιξης, με αποτέλεσμα να καθυστερεί η φυσιολογική ωρίμανση του φυτού. Σύμφωνα με τους αθροιστικούς ημεροβαθμούς ανάπτυξης που υπολογίστηκαν κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και των τριών ετών του πειράματος, το πρώτο έτος ήταν 1849,5 AGDDs, το δεύτερο 1597,7 AGDDs και το τρίτο έτος 1491,15 AGDDs.

Ο βιολογικός κύκλος του φυτού ποικίλει ανάλογα με το κλίμα και τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες. Η άνθηση στον Καναδά πραγματοποιείται μεταξύ 45 και 70 ημερών μετά τη σπορά και διαρκεί 14-21 ημέρες (Συμβούλιο Canola του Καναδά 2014) και ολόκληρη η καλλιεργητική περίοδος διαρκεί από 92-98 ημέρες (SASKATCHEWAN MUSTARD DEVELOPMENT COMMISSION, 2017). Στην Ινδία ολόκληρη η καλλιεργητική περίοδος διαρκεί 70-90 ημέρες, όπου δίνει απόδοση 100/120 kg/στρ, (Kapila *et al.*, 2012). Επίσης, σύμφωνα με την βιβλιογραφία η εμφάνιση του βλαστηδίου γίνεται περίπου στις 9 Ημέρες Από την Σπορά (ΗΑΣ), η έναρξη του βλαστικού σταδίου ξεκινάει στις 22 ΗΑΣ, η άνθηση στις 47 ΗΑΣ, η έναρξη της καρπόδεσης στις 66 ΗΑΣ και η συγκομιδή πραγματοποιείται στις 87 ΗΑΣ (Medham and Salisbury, 1995). Ο βιολογικός κύκλος το πρώτο έτος (2019-2020) ήταν 195 ΗΑΣ το δεύτερο έτος (2020-2021) ήταν 184 ΗΑΣ και το τρίτο έτος (2021-2022) ήταν 184 ΗΑΣ. Στην **Εικόνα 4** και στον **Πίνακα 3** παρουσιάζονται τα στάδια ανάπτυξης του φυτού από την ανάδυση του σποροφύτου έως την συγκομιδή του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 4. Τα στάδια ανάπτυξης του φυτού από την βλάστηση του σπόρου έως την συγκομιδή. (Πηγή:

<https://www.oecd-ilibrary.org/>)

Πίνακας 3. Αναλυτικά στάδια ανάπτυξης των φυτών της οικογένειας Brassicaceae. Πηγή:
SASKATCHEWAN MUSTARD DEVELOPMENT COMMISSION, 2017

Code	Description
Principle growth Stage 0: Germination	
00	Dry seed
01	Beginning of seed imbibition
03	Seed imbibition complete
05	Radicle emerged from the seed
07	Hypocotyl with cotyledons emerged from the seed
08	Hypocotyl with cotyledons growing towards the soil surface
09	Emergence: cotyledons emerge through the soil surface
Principle Growth Stage 1: Leaf Development	
10	Cotyledons completely unfolded
11	First leaf unfolded
12	2 leaves unfolded
13	3 leaves unfolded
1..	Stages continuous until...
19	9 or more leaves unfolded
Principle Growth Stage 2: Side shoot development	
20-29	Occur in many other species, but is of low relevance to mustard.
Principle Growth Stage 3: Stem elongation	
30	Beginning of stem elongation: Rosette
31	1 visible extended internode
32	2 visibly extended internodes
33	3 visible extended internodes
3..	Stages continuous until...
39	9 or more visibly extended internodes
Principle Growth Stage 4: Vegetable plant part development	
40-49	Occur in Brassicaceae, but are relevant for harvesting vegetable parts (ex: broccoli)
Principle Growth Stage 5: Inflorescence emergence	
50	Flower buds present, still enclosed by leaves
51	Flower buds visible from above (green buds)
52	Flower buds free and level with the youngest leaves
53	Flower buds raised above the youngest leaves
55	Individual flower buds (main inflorescence) visible but still closed
57	Individual flower buds (secondary inflorescences) visible but still closed
59	First petals visible, flower buds still closed (yellow buds)

Principle Growth Stage 6: Flowering

60	First flowers open
61	10% of flowers on main raceme open, main raceme elongating
62	20% of flowers in main raceme open
63	30% of flowers in main raceme open
64	40% of flowers in main raceme open
65	Full flowering: 50% of flowers in main raceme open, older petals falling
67	Flowering declining: majority of petals fallen
69	End of flowering

Principle Growth Stage 7: Development of Fruit

71	10% of pods have reached final size
72	20% of pods have reached final size
73	30% of pods have reached final size
74	40% of pods have reached final size
75	50% of pods have reached final size
76	60% of pods have reached final size
77	70% of pods have reached final size
78	80% of pods have reached final size
79	Nearly all pods have reached final size

Principle Growth Stage 8: Ripening

80	Beginning of ripening: seed green, filling pod cavity
81	10% of pods ripe, seeds dark and hard (yellow for yellow and oriental mustards)
82	20% of pods ripe
83	30% of pods ripe
84	40% of pods ripe
85	50% of pods ripe
86	60% of pods ripe
87	70% of pods ripe
88	80% of pods ripe
89	Fully ripe

Principle Growth Stage 9: Senescence

97	Plant is dead and dry
99	Harvested prod

1.7 Οικολογικά χαρακτηριστικά

Το σινάπι είναι “ψυχρόαιμο” φυτό, αυτός είναι και ο λόγος που δεν καλλιεργείται το καλοκαίρι. Προτιμά τα καλώς αεριζόμενα εδάφη που είναι πλούσια σε ασβέστιο και οργανική ουσία (Morrison *et. al* 1989). Η θερμοκρασία καλλιέργειας του κυμαίνεται περίπου στους 10-20°C. Η ανάπτυξη των ειδών brassica έχει σημαντική σχέση με τον τύπο του κλίματος που επικρατεί σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία.

Η βλάστηση των σπόρων επηρεάζεται δυσμενώς σε θερμοκρασίες κάτω από τους 3°C και πάνω από τους 40°C. Η καλλιέργεια απαιτεί υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του βλαστικού σταδίου την περίοδο ανάπτυξης και τις ψυχρότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής φάσης. Επίσης, η θερμοκρασία βάσης στην περίπτωση του μαύρου σιναπιού είναι οι 5°C.

Θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 20 και 22°C είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές για μια ισχυρότερη αναπαραγωγή. Η επικονίαση γίνεται με την βοήθεια κυρίως των μελισσών (**Εικόνα 5**). Ο παγωμένος και συννεφιασμένος καιρός περιορίζει τη δραστηριότητα επικονίασης των μελισσών και άλλων εντόμων, με αποτέλεσμα την κακή απόδοση (Kumar, 1992).

Το πιο κατάλληλο έδαφος για την καλλιέργεια της μουστάρδας είναι το βαθύ χώμα (αργιλώδες ή αμμώδες), αλλά, θα μπορούσε επίσης να αναπτυχθεί καλά και σε εδάφη με βαριά υφή, με pH από 5,5 έως 8 (Almond *et al.*, 1986).

Ο στόχος της προετοιμασίας του εδάφους είναι να ενθαρρυνθεί η ισχυρή εγκατάσταση και η καλή ανάπτυξη των ριζών. Μερικές φορές είναι δύσκολο να προετοιμαστεί το έδαφος επαρκώς για τους μικρούς σπόρους του μαύρου σιναπιού και θα μπορούσε να αντισταθμιστεί η κακή προετοιμασία με την αύξηση της πυκνότητας σποράς. Για την χειμερινή σπορά, η έγκαιρη σπορά ενθαρρύνει την καθιέρωση ισχυρών, ζωντανών φυτών και φυτικών πληθυσμών που επηρεάζουν ελάχιστα τις τελικές αποδόσεις. Κατά συνέπεια, η πυκνότητα σποράς είναι λιγότερο σημαντικός σε σχέση με την απόδοση των σπόρων, αλλά μπορεί να έχει επίδραση στην επιμήκυνση του στελέχους. Ο ανταγωνισμός μεταξύ των φυτών είναι χαμηλός με την καθυστέρηση της σποράς και η συνολική συσσωρευμένη ξηρή ύλη θα σχετίζεται με τον πληθυσμό των φυτών.



Εικόνα 5. Επικονίαση των φυτών του μαύρου σιναπιού από τις μέλισσες.
(Παντελής Σταυρόπουλος).

1.8 Βαθμομέρες Ανάπτυξης (Growing Degree Days)

Η φαινολογία, δηλαδή η περιγραφή των σταδίων ανάπτυξης των φυτών, έχει αρκετές σαφώς καθορισμένες εφαρμογές, εκτός από τη χρήση της σε μοντέλα προσομοίωσης. Ορισμένες γεωργικές δραστηριότητες απαιτούν συχνά προηγμένες πληροφορίες σχετικά με τις ημερομηνίες συγκεκριμένων σταδίων ανάπτυξης των καλλιεργειών. Ένα από τα πρώτα θέματα είναι η πρόγνωση των ημερομηνιών ωρίμανσης πολλών καλλιεργειών, που έχει σημαντικά οικονομικά πλεονεκτήματα. Αυτό συμβάλλει στην καλύτερη διαχείριση μέσα στον διαθέσιμο χρόνο της οργάνωσης τέτοιων πράξεων, όπως είναι η συγκομιδή, καθώς και τον καλύτερο προγραμματισμό του χρόνου της συγκομιδής, για να συμβαδίζει με τις απαιτήσεις της αγοράς (Lomas et al., 1970). Οι βαθμομέρες ανάπτυξης δίνουν στοιχεία σχετικά με τον ρυθμό ανάπτυξης και τις ημερομηνίες των διαφόρων φαινολογικών σταδίων (βλάστηση, άνθηση, ωρίμανση) είναι χρήσιμες ως εισαγόμενα δεδομένα σε μοντέλα που χρησιμοποιούνται σε συστήματα παρακολούθησης των καλλιεργειών και των καιρικών συνθηκών. Λόγω της σημασίας της σε διάφορους τομείς γεωργικής δραστηριότητας, είναι απαραίτητη η κατανόηση της φυσιολογικής διαδικασίας ανάπτυξης και του τρόπου με τον οποίο ο ρυθμός ανάπτυξης επηρεάζεται από ορισμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η φαινολογία μπορεί να μοντελοποιηθεί με βάση την εαρινοποίηση, τη φωτοπερίοδο ή τη θερμική απόκριση και τις εγγενείς πρωιμότητες (Cao και Moss, 1997), από τις οποίες οι περισσότερες αποτελούν φυτικά χαρακτηριστικά. Η εγγενής πρωιμότητα εξαρτάται από τα

γενετικά χαρακτηριστικά του φυτού και αποτελεί τον κύριο στόχο για τους κτηνοτρόφους. Είναι ένας από τους μηχανισμούς για να αποφευχθούν πολλές δυσκολίες που συνδέονται με δυσμενείς παράγοντες, όπως η ξηρασία ή ο παγετός νωρίς το φθινόπωρο. Η φωτοπερίοδος και η εαρινοποίηση είναι χαρακτηριστικά των σπόρων, που απαιτούν την έκθεση σε μια ψυχρή περίοδο για ορισμένο διάστημα, με σκοπό την βέλτιστη ανάπτυξη (Gommes, 1998). Η θερμοκρασία έχει σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών. Όσον αφορά τις καλλιέργειες, οι επιπτώσεις είναι σημαντικές σε όλες τις χώρες και σε όλα τα διαφορετικά κλίματα (Mahmood, 1997). Η ανάγκη παρακολούθησης των διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης των καλλιεργειών ώθησε πολλούς ερευνητές στην ανάπτυξη διαφόρων μετεωρολογικών δεικτών. Με την πάροδο των ετών οι δείκτες αυτοί αναπτύχθηκαν ούτως ώστε να μελετηθεί, ο ρόλος τους στην πορεία και εξέλιξη των διαφόρων καλλιεργειών και να γίνουν προσπάθειες πρόγνωσης αυτής της επιρροής σε μικρό χρονικό διάστημα από τη στιγμή που πραγματοποιείται μια σειρά μετεωρολογικών φαινομένων, τα οποία είναι πιθανό να επιφέρουν δυσμενή αποτελέσματα στις καλλιέργειες (Δαλέζιος, 2015).

Η ευκολία της χρήσης της μεθόδου των βαθμοημερών ανάπτυξης την έκανε γρήγορα γνωστή στην καθοδήγηση καλλιεργητικών πρακτικών. Ακόμα μια εφαρμογή των βαθμοημερών ανάπτυξης παρατηρείται στην εκτίμηση της πιθανότητας για μια επιτυχημένη ανάπτυξης μιας καλλιέργειας σε περιοχή στην οποία δεν είχε καλλιεργηθεί ποτέ άλλοτε (Theivasigamani et al., 2013). Επίσης η θεωρία των αυξητικών βαθμοημερών ανάπτυξης βρίσκει εφαρμογή στην περίπτωση επιλογής μιας ποικιλίας από ένα σύνολο ποικιλιών φυτών ώστε να καλλιεργηθεί σε μια νέα περιοχή με διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες (Εγγονόπουλος, 2019).

Οι βαθμοήμερες ανάπτυξης ($^{\circ}\text{GCD}$) είναι ένας χρήσιμος δείκτης για το αντίκτυπο του κλίματος, καθώς παρέχει αντικειμενικές πληροφορίες στους χρήστες των οποίων οι δραστηριότητες απαιτούν τη διαχείριση των κλιματικών κινδύνων και ευκαιριών. Επιπλέον, η χρήση των βαθμοημερών ανάπτυξης ($^{\circ}\text{GCD}$) θα μπορούσε να δώσει μια εικόνα από τις ιστορικές τάσεις και να βοηθήσει να προβλέψουμε τις επιπτώσεις της κλιματικής διακύμανσης ή αλλαγής στις σημερινές γεωργικές πρακτικές (Easterling & Kates 1995).

Για να προσδιοριστεί η επίδραση της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται η μέθοδος της αθροιστικής θερμοκρασίας, γνωστή και ως άθροισμα του βαθμού-ημερών (Sum of Degree-Days/SDD) ή θερμική μονάδα (Chang, 1974). Η μέθοδος θεωρεί ότι η ποσότητα θερμότητας, μετρούμενη από τη θερμοκρασία που χρειάζεται ένα φυτό για να αναπτυχθεί, από την ημέρα σποράς μέχρι το στάδιο της ωρίμανσης, είναι μια σταθερά. Έτσι, οι

ημερόβαθμοι ή βαθμοημέρες από την ημέρα σποράς μέχρι το στάδιο της συγκομιδής δίνονται από τη σχέση:

$$GCD = \Sigma (T_{mean} - T_{base})$$

Όπου, T_{mean} είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε °C, η οποία προκύπτει από την σχέση:

$$T_{mean} = (T_{max} + T_{min}) / 2.$$

T_{base} = η θερμοκρασία βάσης του μαύρου σιναπιού όπου δεν γίνεται, ή γίνεται ελάχιστη, αύξηση και ανάπτυξη του φυτού είναι οι 5 °C.

1.9 Καλλιεργητικές Φροντίδες

1.9.1 Προετοιμασία εδάφους

Οι σπόροι πρέπει να σπαρθούν σε ένα σταθερό, αεριζόμενο καλά δομημένο έδαφος με την κατάλληλη υγρασία για ταχεία βλάστηση και ανάπτυξη των φυτών. Η προετοιμασία του εδάφους στοχεύει να παρέχει αυτές τις ευνοϊκές συνθήκες, παράγοντες που επηρεάζουν την εγκατάσταση καλλιεργειών περιλαμβάνουν, την προηγούμενη καλλιέργεια, υπολείμματα καλλιεργειών, τύπο εδάφους, γονιμότητα, διαθεσιμότητα υγρασίας, ζιζάνια, παράσιτα και ασθένειες. Πριν την σπορά πρέπει να γίνει εδαφοκατεργασία με τον σκαριφήρα και ύστερα με την φρέζα ούτως ώστε το έδαφος να είναι ελαφρύ και να έχει αεριστεί για να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα στην σπορά και στην ανάδυση των φυτών, (Pouzet, 1995) .

1.9.2 Σπορά

Ο πολλαπλασιασμός γίνεται με σπόρο. Η ποσότητα 0.4 έως 0.6 kg/στρ. σπόρων είναι επαρκή για τη μουστάρδα (Ogilvy, 1984). Ο σπόρος σπέρνεται σε σειρές 30cm μεταξύ των γραμμών και απόσταση μεταξύ φυτών 10-15cm. Η καθυστέρηση της σποράς της καλλιέργειας κάνει τα φυτά ευάλωτα στη λευκή σκωρίαση και στην προσβολή της αφίδας με αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικές απώλειες απόδοσης. Οι σπόροι σπέρνονται στην επιφάνεια του εδάφους και φυτρώνουν πιο εύκολα σε μικρό βάθος (0-2cm). Το φυτό χρειάζεται αρκετή υγρασία για να αναπτυχθεί για αυτό μετά την σπορά το χώμα ποτίζεται ή καλύπτεται με απολυμασμένα σακιά τα οποία έχουν βραχεί έτσι ώστε να συγκρατούν αρκετή υγρασία. Η εμφάνιση του βλαστηδίου σε 3-4cm γίνεται σε τέσσερις μέρες περίπου την Άνοιξη, και το Φθινόπωρο σε 6-7 μέρες.

1.9.2.1. Αποστάσεις φύτευσης

Η πυκνότητα των φυτών είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την βελτιστοποίηση της απόδοσης που επηρεάζεται μεμονωμένα από την ποικιλία και τις κλιματικές συνθήκες (Zandi et al., 2011) καθώς και το σύστημα παραγωγής. Η πυκνότητα σποράς είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση της μαύρης μουστάρδας. Μελέτη από τους Sharif et al. (1990) έδειξε ότι η υψηλότερη απόδοση ήταν στην χαμηλότερη πληθυσμιακή πυκνότητα των 30 φυτών m⁻² σε σύγκριση με άλλες πυκνότητες (60 και 90 φυτά m⁻²). Σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Singh και Verma (1993) στη μουστάρδα, η υψηλότερη απόδοση επιτεύχθηκε σε απόσταση σειρών 30 cm έναντι της υψηλότερης στα 45 και 60 cm αντίστοιχα. Οι αποστάσεις φύτευσης που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι 30cm απόσταση μεταξύ των γραμμών και 1,5-2 cm επί της γραμμής.

1.9.3 Άρδευση

Η καλλιέργεια αποδίδει καλύτερα όταν η εδαφική υγρασία είναι πάνω από 175 mm πριν την σπορά. Στην Ινδία, η καλλιέργεια σπέρνεται μετά από άρδευση και έτσι μπορεί να χρειαστεί η πρώτη άρδευση να γίνει μετά από 3-4 εβδομάδες (Prihar et al., 1981). Για την υψηλότερη απόδοση σπόρων, μερικές μελέτες που βασίζονται στα φαινολογικά στάδια έχουν συστήσει δύο άρδευσεις, δηλαδή μία στο στάδιο της ροζέτας 20-30 ημέρες μετά τη σπορά (ΗΑΣ) και η άλλη σε 50-60 ΗΑΣ, (Prihar et al., 1981). Τα κρίσιμότερα στάδια κατά τα οποία μπορεί να γίνει άρδευση είναι κατά την διάρκεια της άνθησης και νωρίς κατά την ανάπτυξη των λοβών όταν αρχίζουν και δημιουργούνται οι σπόροι. Εάν γίνει η εφαρμογή νερού στο στάδιο ανάπτυξης των λοβών αυτό θα οδηγήσει στην ανάπτυξη περισσότερων σπόρων και μεγαλύτερων σε μέγεθος. Η άρδευση είναι πιθανό να εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του γονότυπου, τα αποθέματα εδαφικών υδάτων και τις τρέχουσες περιβαλλοντικές συνθήκες.

1.9.4 Λίπανση

➤ *Άζωτο*

Αναφορικά με την αζωτούχα λίπανση, το μεγαλύτερο μέρος συσσωρεύεται στα φυτά στο στάδιο της άνθησης το οποίο στη συνέχεια ανακατανέμεται στους λοβούς και στους σπόρους από τα φύλλα και τους μίσχους. Η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα αζώτου για την φθινοπωρινή καλλιέργεια του μαύρου σιναπιού σύμφωνα με την βιβλιογραφία είναι κατά μέσο όρο 70 κιλά αζώτου για ένα τόνο συγκομιζόμενου σπόρου. Ο ένας τόνος συγκομισθέντος σπόρου που αποτελείται από 42% έλαιο και 38% πρωτεΐνη, στο άλευρο του περιέχει 35 kg άζωτο, (Grant and Bailey, 1993). Για υψηλές αποδόσεις απαιτείται η εφαρμογή 15-35kg αζώτου το στρέμμα. Η ποσότητα διαφοροποιείται ανάλογα με τον εδαφικό τύπο καθώς και με την εποχή σποράς του φυτού. Κάθε συγκομιζόμενος τόνος σπόρου απομακρύνει από το έδαφος περίπου 22-35 kg αζώτου (13.75% για την πρωτεΐνη, βάση ολόκληρων σπόρων), (Rouzet, 1995).

Όπως αναφέρει ο Thomas (1984) σε έρευνα του, το άζωτο στα παλαιότερα φύλλα ανακατανέμεται στα νεότερα φύλλα. Τα υπόλοιπα φύλλα παρουσιάζουν μωβ χρωματισμό. Ο ύπερος παραμένει λεπτός, μειώνεται ο αριθμός των στιγμάτων με αποτέλεσμα η απόδοση να είναι πολύ μειωμένη, (Holmes, 1980).

✧ *Φώσφορο*

Οι ανάγκες της καλλιέργειας σε φώσφορο δεν είναι μεγάλες, κατά μέσο όρο 6kg/στρ. Η περιεκτικότητα σε έλαιο και σε πρωτεΐνες δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τα φωσφορικά λιπάσματα και η επίδραση στην περιεκτικότητα σε γλυκοζινολικούς εστέρες του σπόρου είναι μικρή (Thomas, 1984).

Τα φύλλα που έχουν έλλειψη φωσφόρου παρουσιάζουν σκούρα μπλε-πράσινα στελέχη πριν γίνουν μωβ. Οι ρίζες παύουν να αναπτύσσονται και τα φυτά μένουν νάνα. Σε σοβαρές περιπτώσεις μπορεί να υπάρχει περιθωριακή νέκρωση των φύλλων και τα παλαιότερα φύλλα μπορεί να μαραίνονται πρόωρα (Holmes, 1980).

✧ **Κάλιο**

Η καλλιέργεια του μαύρου σιναπιού χρειάζεται υψηλές ποσότητες καλίου όπως και όλα τα είδη της οικογένειας Brassicaceae. Αν σκεφτεί κανείς ότι απομακρύνονται 25kg K₂O από κάθε τόνο σπόρου που συγκομίζεται. Το λίπασμα καλίου έχει αξιοσημείωτη απόδοση αλλά μόνο σε ανεπαρκή εδάφη. Δεν έχει καμία επίδραση στην ποιότητα των σπόρων εκτός από τα εδάφη που παρουσιάζουν υψηλό βαθμό ανεπάρκειας.

Τα φύλλα των φυτών με έλλειψη καλίου, μετατρέπονται σε σκούρο πράσινο χρώμα και πιθανόν να κάμπτονται ενώ τα περιθώρια και οι περιοχές μεταξύ των νευρών μπορεί να έχουν την όψη καμένου. Τα νεαρά φυτά παρουσιάζουν νανισμό. Σε ακραίες περιπτώσεις τα προσβεβλημένα φύλλα ξεραίνονται εντελώς, αλλά τείνουν να παραμένουν προσκολλημένα στο στέλεχος (Holmes, 1980).

✧ **Θείο**

Το θείο (S) είναι ένα κύριο συστατικό της πρωτεΐνης των σπόρων και ως αποτέλεσμα, τα φυτά της μουστάρδας έχουν υψηλότερη απαίτηση σε θείο κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας της καλλιέργειας, αλλά αξιοποιεί το S από το έδαφος καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου μέχρι το γέμισμα των σπόρων να ολοκληρωθεί. Τα φυτά με έλλειψη S θα εμφανίσουν κιτρίνισμα των νεότερων φύλλων, καθυστερημένη ανάπτυξη και μικρότερα πέταλα με ωχροκίτρινα άνθη. Σε αντίθεση με το N, το S δεν είναι ευκίνητο στοιχείο. Ως αποτέλεσμα, τα συμπτώματα θα εμφανιστούν σε νέα φύλλα, άνθη και λοβούς. Όταν οι ελλείψεις είναι οριακές, οπτικά συμπτώματα μπορεί να μην υπάρχουν, αλλά οι απώλειες απόδοσης μπορεί να είναι ακόμα σοβαρές. Απώλεια λοβών, μικροί σε μέγεθος λοβοί και σπόροι.

✧ **Μικροθρεπτικά συστατικά**

Η ανεπάρκεια μικροθρεπτικών συστατικών συνήθως δεν αποτελεί πρόβλημα για την παραγωγή μουστάρδας.

1.9.5 Διαχείριση ζιζανίων

Στην καλλιέργεια της μουστάρδας το βασικότερο ζιζάνιο στις Ευρωπαϊκές χώρες είναι η *Stellaria media*, το άγριο σινάπι *Sinapis arvensis* και το *Chenopodium album*. Το μαύρο σινάπι στις πρώτες 15-30 ημέρες από την σπορά χρειάζεται σωστή διαχείριση των ζιζανίων λόγω της μικρής του ανάπτυξης αλλά και της μορφής ροζέτας που βρίσκεται κατά την διάρκεια του χειμώνα (Shekhawat *et. al.*, 2012). Έπειτα, η μουστάρδα έχει γρήγορη ανάπτυξη εφόσον το επιτρέψουν και οι θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να ψηλώσουν και να αποκτήσουν ένα πυκνό φύλλωμα που δυσκολεύει την ανάπτυξη των ζιζανίων (**Εικόνα.6**). Σύμφωνα με Kakabouki *et al.*, 2020, σε καλλιέργεια μαύρης μουστάρδας, τα ζιζάνια με τους υψηλότερους πληθυσμούς ήταν το *Sinapis arvensis*, *Chenopodium album* και το *Malva sylvestris* τα οποία βρέθηκαν κυρίως σε τεμάχια με ανόργανη λίπανση.



Εικόνα 6. Αποψη του εσωτερικού της καλλιέργειας χωρίς την ύπαρξη ζιζανίων.
(Προσωπικό αρχείο).

1.9.6 Συγκομιδή

Η συγκομιδή πραγματοποιείται με αλωνιστική και το στάδιο στο οποίο θα λάβει χώρα είναι μία κρίσιμη απόφαση για την ποιότητα του σπόρου. Ο σπόρος είναι πολύ μικρός και οι απώλειες μπορεί να είναι μεγάλες, εάν γίνει λάθος διαχείριση. Η πρόωπη συγκομιδή μπορεί να μειώσει την ποιότητα των σπόρων και η καθυστερημένη συγκομιδή μπορεί να ενισχύσει το θρυμματισμό του λοβού. Η καλλιέργεια είναι ώριμη όταν όλοι οι σπόροι έχουν χρωματισμό μαύρο και η περιεκτικότητα σε υγρασία των σπόρων είναι μικρότερη από 10%. Σε κάποιες χώρες όπως είναι ο Καναδάς λόγω των πρόωμων παγετών γίνεται η συγκομιδή όταν το φυτό έχει ακόμα υψηλό ποσοστό χλωροφύλλης για αυτό και η ποιότητα είναι χαμηλή (Ward *et al.*, 1991).

1.9.7 Εχθροί και ασθένειες

- Εχθροί
- ✧ *Brassicogethes aeneus* (Σκαθάρι της γύρης)

Από τους σπουδαιότερους εχθρούς του μαύρου σιναπιού είναι το έντομο *Brassicogethes aeneus* ή διαφορετικά το Σκαθάρι της γύρης, παλαιότερα ήταν γνωστό ως *Meligethes aeneus*, είναι ένα σκαθάρι της οικογένειας Nitidulidae, (Integrated Taxonomic Information System, 2018) το οποίο προσβάλλει κυρίως τα άνθη και δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στην καρπόδεση και στην ανάπτυξη των λοβών. Από τα πιο διαδεδομένα και σημαντικά στην Ευρώπη. Ειδικά το *Brassica nigra* είναι το πιο ελκυστικό από όλα τα είδη του γένους *Brassica* στο έντομο στα πρώιμα στάδια ανάπτυξης του οφθαλμού καθώς και στην άνθηση (Veromann *et.al* 2012).

Τα ενήλικα σκαθάρια έχουν μήκος περίπου 2-3 mm, πλάτος 1-2 mm χρώματος μαύρου, τρέφονται με γύρη από τα άνθη αλλά και με τα μπουμπούκια (**Εικόνα 7**), (Free and Williams, 1979). Τα αυγά τοποθετούνται μέσα στα μπουμπούκια και οι νύμφες θα τρώνε στήμονες κατά το πρώτο μέρος της ανάπτυξής τους. Σε υψηλά επίπεδα πληθυσμού οι προνύμφες θα επιτεθούν και στο στέλεχος του φυτού. Όταν ο πληθυσμός των σκαθαριών της γύρης είναι χαμηλός, μπορεί να περιοριστεί η βλάβη των μπουμπούκιών και των ανθέων, αλλά η φυτεία μπορεί να διακόψει έως και το 50% ή το 60% της ανάπτυξης των οφθαλμών της. Δεν υπάρχουν όμως μεγάλες απώλειες στην απόδοση, (Williams and Free, 1979).



Εικόνα 7. Πληθυσμός σκαθαριών της γύρης.
(Προσωπικό αρχείο)

✧ Cabbage seedpod weevil (*Ceutorhynchus obstrictus*)

Σκαθάρι μικρό μήκους 3 έως 4 mm, με σκληρό σώμα και μακρύ ρύγχος. Οι προνύμφες είναι λευκές, που τρέφονται μέσα στον λοβό των φυτών ξενιστών. Μετά την εκκόλαψη, οι προνύμφες τρέφονται μέσα στον αναπτυσσόμενο λοβό όπου καταναλώνουν τους σπόρους. Στο στάδιο της ωρίμανσης, οι προνύμφες βγαίνουν μέσα από το τοίχωμα του λοβού, πέφτουν στο έδαφος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρο θρυμματισμό του λοβού. Αργότερα, οι αναδυόμενοι ενήλικες τρέφονται με τα φυτά προκαλώντας πρόσθετη ζημιά.

✧ *Athalia proxima* Klug. (Hymenoptera: Tenthredinidae)

- Αποτελεί το σπουδαιότερο εχθρό της *Brassica nigra*.
- Οι προνύμφες τρέφονται με τα φύλλα της καλλιέργειας (Duke, 1983)

✧ *Phyllotreta* spp. (Coleoptera: Chrysomelidae)

- Τα ενήλικα άτομα εμφανίζονται την άνοιξη και τρέφονται με τις κοτυληδόνες, τα φύλλα, τον κορυφαίο οφθαλμό και τα στελέχη των φυτών μουστάρδας.

- Τα ενήλικα άτομα που εμφανίζονται αργότερα μπορούν να "αποφλοιώσουν" τους σπόρους.
- Οι προνύμφες τον Ιούλιο τρέφονται με τα ριζικά τριχίδια.

✧ *Euxoa ochrogaster*, *Agrotis orthogonia*, *Feltia jaculifera*, *Lacinipolia renigera*

(Lepidoptera, Noctuidae)

- Τα θηλυκά ενήλικα άτομα εναποθέτουν τα ωά τους, στα τέλη του καλοκαιριού, (Αύγουστο – Σεπτέμβριο), σε περιοχές με βλάστηση (ζιζάνια ή καλλιέργεια).
- Ορισμένα είδη διαχειμάζουν ως ωά και εκκολάπτονται την άνοιξη.
- Άλλα είδη διαχειμάζουν ως νύμφες και αρχίζουν να τρέφονται νωρίτερα την άνοιξη σε σχέση με τα είδη που διαχειμάζουν ως ωά.
- Οι προνύμφες γενικά τρέφονται πιο ενεργά το βράδυ, τη νύχτα και νωρίς το πρωί.
- Μερικά (πχ *Euxoa ochrogaster*) παραμένουν κάτω από το έδαφος αποκόπτοντας τα φυτά στην επιφάνεια του εδάφους ή κάτω από αυτήν ενώ άλλα (πχ *Feltia jaculifera*)τρέφονται πάνω από το έδαφος με το φύλλωμά των φυτών.

➤ Ασθένειες

✧ White rust (Λευκή σκωρίαση)



Εικόνα 8. Συμπτώματα της λευκής σκωρίασης στα φύλλα και στην ταξιανθία του φυτού. (Προσωπικό αρχείο).

Η ασθένεια είναι σχετικά λιγότερο οικονομικής σημασίας σε συνάρτηση με την εκτεταμένη εμφάνισή της. Η ασθένεια επηρεάζει όλα τα εναέρια μέρη του φυτού, δεν προσβάλλει τις ρίζες.

Ο οργανισμός που ευθύνεται για την συγκεκριμένη ασθένεια είναι ο *Albugo Candida* (Lev.) Kunze ή *Cystopus candidus* Lev. είναι υποχρεωτικό παράσιτο, στην οικογένεια Albuginaceae. Κατατάσσεται στη σειρά Peronosporales, η οποία περιλαμβάνει επίσης τις περονόσπορους (Goyal *et. al* 1996). Είναι ένας από τους σημαντικότερους λόγους που προκαλείται μείωση της απόδοσης κατά 20-90% Παγκοσμίως, (Asif *et al.*, 2017).

Συμπτώματα

Ο παθογόνος παράγοντας ξεκινά το ασεξουαλικό στάδιο του κύκλου ζωής του καθώς οι σποράγγιοι διασκορπίζονται από τον άνεμο ή από τη βροχή. Υπό άριστες συνθήκες, μεταξύ 16 και 25°C και υψηλή σχετική υγρασία, τα σποράγγια βλασταίνουν για να παράγουν βιφλακετάλη, κινούμενα, μολυσματικά ζωοπόρια (Goyal *et. al* 1996).

Τα συμπτώματα μπορεί να εμφανιστούν ως αποτέλεσμα δύο τύπων μόλυνσης: Τοπικά και συστηματικά. Σε περίπτωση τοπικής μόλυνσης, εμφανίζονται απομονωμένα σημεία ή φλύκταινες σε φύλλα ή μίσχους ή ταξιανθίες (**Εικόνα 8**). Οι φλύκταινες έχουν μεταβλητό μέγεθος, με διάμετρο 1 -2 mm και ανυψωμένες λαμπερές λευκές περιοχές. Αυτά μπορεί να προκύψουν σε στενή εγγύτητα και να συσσωματωθούν για να σχηματίσουν μεγάλα ακανόνιστα μπαλώματα. Συνήθως, οι φλύκταινες εμφανίζονται σε κυκλική ή ομόκεντρη διάταξη με μία ή δύο κεντρικές περιοχές. Η επιδερμίδα του ξενιστή παθαίνει ρήξη εκθέτοντας λευκή σκόνη αποτελούμενη από σπόρια του μύκητα. Οι φλύκταινες που εμφανίζονται στα φύλλα συνήθως περιορίζονται μόνο στην κάτω επιφάνεια. Άλλα συμπτώματα της νόσου περιλαμβάνουν τη χλώρωση, τη νέκρωση, την αποφύλλωση, το πρήξιμο και τη στρέβλωση των στελεχών και των ανθών.

Σε συστηματικές λοιμώξεις, μολύνονται νέοι μίσχοι και ταξιανθίες (**Εικόνα 8**). Οι πάσχοντες ιστοί διεγείρονται σε διάφορους τύπους παραμορφώσεων. Η πιο σημαντική είναι η υπερτροφία των επηρεασμένων τμημάτων. Λόγω της υπερτροφίας και της υπερπλασίας των φυτικών μερών, αυτά εμφανίζουν οίδημα και παραμόρφωση (stagheads,) (Meena *et al.*, 2014).

Ο ποδίσκος μπορεί να γίνει πάρα πολύ παχύρρευστος έως 12-15 φορές, από την κανονική διάμετρο. Τα ανθοφόρα μέρη γίνονται σαρκώδη, πρησμένα, πράσινα ή ιώδη στο χρώμα, οι στήμονες πέφτουν νωρίς.

Τα ωάρια είναι συνήθως ατροφικά καθώς επίσης και οι κόκκοι γύρης που οδηγούν σε ολική στειρότητα. Μπορεί επίσης να εμφανιστούν φλύκταινες σε αυτά τα μέρη. Ωστόσο, τα επηρεαζόμενα μέρη είναι γεμάτα από ωοσπόρια.

Όταν η συστηματική μόλυνση έχει γίνει από νωρίς, η ανάπτυξη ολόκληρου του φυτού περιορίζεται, και μπορούν να σχηματιστούν μόνο μικρά φύλλα. Το στέλεχος και ο άξονας της ταξιανθίας μπορούν να εμφανιστούν στριμμένα σε μια ακολουθία ζιγκ-ζαγκ. Οι φυσιολογικοί λανθάνοντες οφθαλμοί διεγείρονται και αναπτύσσονται σε πλευρικούς βλαστούς.

Η *Albugo candida* μπορεί να αναπτύξει μια ενδοφυτική σχέση με κάποια είδη σταυροειδών λαχανικών. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να ζει εντός του ξενιστή χωρίς να προκαλεί τυχόν συμπτώματα (Carroll 1988).

Μέθοδοι Διαχείρισης

Όσον αφορά τα μέτρα αντιμετώπισης της ασθένειας που μπορούν να ληφθούν είναι τα κάτωθι:

- Πρέπει η καλλιέργεια να είναι καθαρή και να καταστρέφονται τα ζιζάνια, καθώς και τα σοβαρά προσβεβλημένα φυτά.
- Η εναλλαγή καλλιεργειών θα αποφύγει το πρωτογενές ενοφθαλμισμό που προκαλείται από το έδαφος.
- Προτιμώνται οι ανθεκτικές στις ασθένειες ποικιλίες.
- Σε περίπτωση υψηλής προσβολής η χρήση κάποιου εγκεκριμένου μυκητοκτόνου είναι η λύση για την αντιμετώπιση της ασθένειας.
- Επίσης, η χρήση καθαρού σπόρου (πιστοποιημένος), είναι από τα βασικότερα χαρακτηριστικά που πρέπει να προσέχει ο παραγωγός.
- Τα σπόρια του *A. candida* απαιτούν ελεύθερο νερό για να βλαστήσουν, και όχι μόνο υψηλή υγρασία, ελαχιστοποιώντας την εμφάνιση και τη διάρκεια της υγρασίας των φύλλων, όπως με τη χρήση ενός συστήματος στάγδην άρδευσης μπορεί να μειώσει τις λοιμώξεις.
- Χρόνος φύτευσης. Δεδομένου ότι η ασθένεια είναι πιο διαδεδομένη σε περιοχές με υψηλή υγρασία ή μέτρια υγρή κλίματα, φύτευση καλλιεργειών σε ξηρότερες εποχές μπορεί να μειώσει τις λοιμώξεις και τη διασπορά του παθογόνου παράγοντα.

✧ Blackleg

Τα παθογόνα *Phoma lingam*, *Leptosphaeria maculans* ή και η *Leptosphaeria biglobosa* προκαλούν την ασθένεια Blackleg.

Τα συμπτώματα που προκαλούν είναι τα εξής:

- Στρογγυλές έως ακανόνιστες λευκές βλάβες στα φύλλα και λευκές ή γκριζες βλάβες με σκούρο περίγραμμα σε στελέχη ή σε σημεία προσκόλλησης φύλλων.
- Οι βλάβες του μίσχου μπορεί επίσης να εμφανιστούν ως γενικό μαύρισμα ή ξηρή σήψη μέσα στη βάση του στελέχους. Οι βλάβες του Blackleg συνήθως είναι γεμάτες με πολλές μικροσκοπικές στρογγυλές κηλίδες (pycnidia).

1.10 Παρεμποδισμένα λιπάσματα

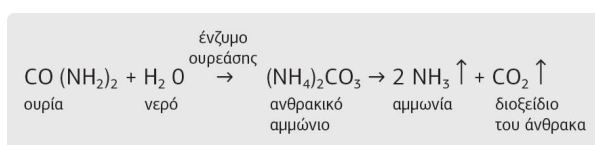
Η γεωργία, πάντα στόχευε στην κάλυψη των αναγκών σε τρόφιμα και πρώτες ύλες ενός συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού, που επίσης επιζητούσε καλύτερες συνθήκες διαβίωσης και διατροφής. Οι γεωργοί επιτύγχαναν τον στόχο τους χάρη στην καλλιέργεια βελτιωμένων φυτών και ποικιλιών. Παράλληλα, χρησιμοποίησαν νέες, πιο αποτελεσματικές μεθόδους για την καταπολέμηση των εχθρών της παραγωγής (έντομα, ασθένειες, ζιζάνια) και νέα βελτιωμένα λιπάσματα για τη βελτίωση της γονιμότητας των εδαφών. Στον 20ο αιώνα οι βελτιώσεις προς τις κατευθύνσεις αυτές ήταν ραγδαίες με σημαντική βελτίωση του γενετικού υλικού, την παραγωγή χημικών που πρόσθεταν θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος και καταπολεμούσαν τους εχθρούς των καλλιεργειών και των ζώων και την ανάπτυξη μηχανών που διευκόλυναν την έγκαιρη εκτέλεση των εργασιών χωρίς μεγάλη φυσική καταπόνηση των αγροτών. Οι βελτιώσεις αυτές είχαν ως αποτέλεσμα τη μεγάλη αύξηση των αποδόσεων και την εξασφάλιση της τροφοδοσίας του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού της γης. Αυτό, βέβαια, προϋπέθετε την εντατική χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή των χημικών (λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων) και για την κίνηση του μηχανικού εξοπλισμού. Ως εκ τούτου ήταν απαραίτητη η παραγωγή λιπασμάτων διαφόρων τύπου για την αύξηση της απόδοσης του παραγόμενου προϊόντος.

➤ Σπουδαιότητα αζώτου

Το άζωτο (N) είναι το πιο σημαντικό θρεπτικό συστατικό για την βλαστική ανάπτυξη των φυτών (Kuai et al., 2015). Είναι ένα σημαντικό θρεπτικό στοιχείο που παρέχει πλούσιο πράσινο χρώμα στην καλλιέργεια (λόγω αύξησης χλωροφύλλης) (Bani-saeedi, 2001). Διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε όλες τις μεταβολικές δραστηριότητες των φυτών και ο ρυθμός απορρόφησης και κατανομής του επηρεάζεται κυρίως από την προσφορά και τη ζήτηση κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του φυτού (Delogu et al., 1998). Η διαθεσιμότητα και η προσφορά αζώτου ποικίλλουν ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και καθορίζονται από τις απαιτήσεις τους (Sinclair and de Wit, 1975). Ενώ ο παγκόσμιος πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται, η παγκόσμια ζήτηση αζωτούχων λιπασμάτων (N) είναι απίθανο να μειωθεί (Bakken and Frostegard, 2017). Τα λιπάσματα N που περιέχουν ουρία είναι τα πιο συχνά

χρησιμοποιούμενα ανόργανα λιπάσματα N. Η ουρία αντιπροσωπεύει περίπου το 56% της παγκόσμιας παραγωγής λιπασμάτων N (Bremner, 2007, Suter et al., 2016). Η ουρία είναι ένα στερεό λίπασμα με υψηλή περιεκτικότητα σε N (46%). Διατηρείται εύκολα και εφαρμόζεται σε καλλιέργειες και μπορεί να αναμιχθεί στο έδαφος με άλλα λιπάσματα N. Οι απώλειες αζώτου λόγω της εξάτμισης της αμμωνίας είναι σημαντικές όταν χρησιμοποιούνται λιπάσματα με βάση την ουρία. Το αμμώνιο μετατρέπεται σε αμμωνία και χάνεται στην ατμόσφαιρα κατά την εξάτμιση. Μεταξύ 2006 και 2016, η ετήσια αύξηση της παραγωγής ουρίας ήταν 2,8% (Suter et al., 2016).

Η αλόγιστη χρήση όμως της ουρίας δημιουργήσε οικολογικά προβλήματα όπως είναι η νιτρορύπανση μέσω της υδρόλυσης της και την διαφυγή της στα υπόγεια ύδατα. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για την παραγωγή λιπασμάτων με σκοπό την παρεμπόδιση της υδρόλυσης και της εξάχνωσης της ουρίας. Η υδρόλυση της ουρίας λαμβάνει χώρα μέσα σε διάστημα 1-4 ημερών μετά την εφαρμογή της στο έδαφος. Η ουρία μόλις εφαρμοστεί στο έδαφος, με την παρουσία υγρασίας, μετατρέπεται αρχικά στο ασταθές ανθρακικό αμμώνιο $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ μέσω του ενζύμου ουρεάσης και στη συνέχεια σε αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) . Ένα ποσοστό των αμμωνιακών ιόντων θα μετατραπεί άμεσα σε αέρια αμμωνία (NH_3) και θα χαθεί προς την ατμόσφαιρα. Το ποσοστό του αζώτου που θα χαθεί υπό τη μορφή της αμμωνίας (NH_3) εξαρτάται από τη δραστηριότητα του ενζύμου ουρεάσης, η οποία παρουσιάζεται έντονη κάτω από συγκεκριμένες κλιματικές και εδαφολογικές συνθήκες. Η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται στην **Εικόνα 9** που φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 9. Εξίσωση της υδρόλυσης της ουρίας

Προκειμένου να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της χρήσης N, εκτός από τις καλές γεωργικές πρακτικές (για παράδειγμα, κατάλληλες διαδικασίες εφαρμογής, βέλτιστος χρόνος και δοκιμές εδάφους για την εκτίμηση της ποσότητας του λιπάσματος που απαιτείται, η οποία μπορεί να περιορίζεται από τις φυσικές συνθήκες), η χρήση των σταθεροποιητών N και οι αναστολείς νιτροποίησης ενδέχεται να καθυστερήσουν επιβλαβείς διεργασίες όπως η εξάτμιση NH_3 , η έκπλυση νιτρικών (NO_3^-) και η μείωση των εκπομπών N_2O (Wang et al., 2020). Ανακαλύφθηκε ένας αριθμός χημικών ενώσεων που μπορούν να προστεθούν στην ουρία για να αναβληθεί η μετάπτωση του N. Αυτά τα προϊόντα βραδείας αποδέσμευσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: **(α) αναστολείς ουρεάσης** και **(β) αναστολείς νιτροποίησης**.

Οι αναστολείς ουρεάσης επιβραδύνουν την υδρόλυση της ουρίας στο έδαφος μειώνοντας την παραγωγή NO_3^- και NH_4^+ . Επιπλέον, η παρουσία του αναστολέα στο έδαφος επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης της απώλειας NH_3 (Wang et al., 2020, Li et al., 2020). Όσον αφορά τους αναστολείς νιτροποίησης, αυτοί έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ενζυμική δραστηριότητα των βακτηρίων οξειδώσεως NH_3 (Ruser and Schulz, 2015) και η προσθήκη τους στην ουρία καθυστερεί τη μετατροπή των ιόντων αμμωνίου (NH_4^+) σε $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$, μειώνοντας πιθανώς τις εκπομπές N_2O από την απονιτροποίηση του εδάφους (Franzen, 2022). Σύμφωνα με αρκετούς ερευνητές, οι αναστολείς ουρεάσης όταν προστέθηκαν στην ουρία μείωσαν την απώλεια αμμωνίας και έτσι αύξησαν την απόδοση των σπόρων και της βιομάζας των καλλιεργειών και την πρόσληψη N, σε αντίθεση με την απλή εφαρμογή ουρίας (Karydogianni et al., 2020, Krol, 2020). Επιπλέον, δεδομένου ότι το N είναι συστατικό της δομής της χλωροφύλλης, η προσθήκη αναστολέων νιτροποίησης αυξάνει την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη στα φύλλα και κατά συνέπεια τη βιομάζα και την απόδοση και την ποιότητα των καλλιεργειών σε σπόρους (Wang et al., 2020).

➤ **Παράγοντες που αυξάνουν τις απώλειες αζώτου υπό μορφή αμμωνίας:**

- Αλκαλικά pH
- Εδάφη χαμηλής ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (CEC)
- Εδάφη χαμηλής οργανικής ουσίας
- Εδάφη με παρουσία φυτικών υπολειμμάτων
- Υψηλές θερμοκρασίες άνω των 20°C
- Μεγάλοι περίοδοι ξηρασίας
- Εφαρμογή της ουρίας αρχικά σε υγρό έδαφος ακολουθούμενη από συνθήκες ξηρασίας

Υπό αυτές τις συνθήκες, η διαδικασία της υδρόλυσης της ουρίας γίνεται με γρηγορότερο ρυθμό, ως εκ τούτου τα αμμωνιακά ιόντα που παράγονται να μην προλαβαίνουν να δεσμευτούν στα κolloειδή του εδάφους και να διαφεύγουν στον αέρα, υπό τη μορφή της NH_3 .

Έπειτα, τα αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+) που δεσμεύονται στα κolloειδή του εδάφους μετατρέπονται στην πιο ευκίνητη μορφή αζώτου, σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-) με τη βοήθεια βακτηρίων του εδάφους *Nitrosomonas* και *Nitrobacter* (διαδικασία νιτροποίησης). Τα νιτρικά είναι αρνητικά φορτισμένα ιόντα και δεν μπορούν να δεσμευτούν στα εδαφικά κolloειδή ή στην οργανική ουσία του εδάφους, συγκριτικά με τα αμμωνιακά, με αποτέλεσμα να έχουν την τάση να απομακρύνονται με υψηλή ταχύτητα από το ριζικό σύστημα των φυτών και να ξεπλένονται από το έδαφος (έκπλυση νιτρικών) όπου μεταφέρονται στα υπόγεια νερά.

Ταυτόχρονα, ένα μέρος των νιτρικών ιόντων θα μετατραπεί πάλι από βακτήρια του εδάφους σε αέριες μορφές του αζώτου (NO, N₂O, N₂), μέσω της διαδικασίας της απονιτροποίησης, οι οποίες θα διαφύγουν στην ατμόσφαιρα επιβαρύνοντας το περιβάλλον και προκαλώντας σημαντικές απώλειες του αζώτου προς τον αέρα.

➤ **Οι συνθήκες που ευνοούν τη διαδικασία απονιτροποίησης είναι αυτές εκείνες στις οποίες η παροχή οξυγόνου είναι περιορισμένη όπως:**

- Υγρά εδάφη
- Εδάφη κορεσμένα από νερό
- Υψηλές θερμοκρασίες

➤ **Ανάλυση παρεμποδιστών**

Ο παρεμποδιστής ουρεάσης 2-NPT μπλοκάρει το ενεργό μέρος του ενζύμου της ουρεάσης με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να προστατεύει την ουρία από διάσπαση έως και δύο εβδομάδες, εμποδίζοντας την απελευθέρωση της NH₃ στον αέρα. Έτσι, μηδενίζονται οι απώλειες αζώτου στον αέρα στο συγκεκριμένο κρίσιμο στάδιο.

Ο παρεμποδιστής νιτροποίησης MPA παρεμποδίζει τη δραστηριότητα των βακτηρίων του εδάφους, τα οποία μετατρέπουν το αμμωνιακό άζωτο σε νιτρικό. Το αμμωνιακό άζωτο σταθεροποιείται και η μικροβιακή μετατροπή του σε νιτρικά καθυστερείτε έως 70 ημέρες.

Τα λιπάσματα με παρεμποδιστές έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση των νιτρικών στους καρπούς και στα φύλλα των φυτών, αύξηση της απορρόφησης φωσφόρου και ιχνοστοιχείων, παραγόμενα προϊόντα με υψηλότερη περιεκτικότητα πρωτεΐνης, πλήρης αξιοποίηση των μονάδων αζώτου που εφαρμόζονται, συνεχής τροφοδότηση των φυτών με αζωτούχα λίπανση ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών, απόλυτη προστασία του αζώτου ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών.

1.11 Σχέση θρέψης και καλλιεργητικής τεχνικής με την φαρμακευτική χρήση του ελαίου των φυτών

Τα φαρμακευτικά φυτά έχουν σημαντικό ρόλο για τις ανθρώπινες κοινότητες που έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρόληψη διαφόρων τύπων ασθενειών. Υπάρχουν πολλές χρήσιμες πληροφορίες για τα φαρμακευτικά φυτά (Omidbaigi, 2005). Σύμφωνα με την έκθεση του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας το 2013, το 80 τοις εκατό των ανεπτυγμένων χωρών δεν μπορούν να παρέχουν τα απαραίτητα φάρμακα. Δεδομένου ότι τα φυτά είναι η κύρια πηγή για την δημιουργία φαρμάκων. Η ημερομηνία σποράς και η αζωτούχα λίπανση είναι οι δύο πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την απόδοση, καθώς και τα συστατικά των φυτών που αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά τους για την φαρμακευτική τους χρήση (Marisol et al., 2003).

Τα οργανικά λιπάσματα είναι οι κύριες εισροές των γεωργικών συστημάτων για την απόκτηση ποιοτικότερων προϊόντων (Askary et al., 2018). Η βελτίωση της ποιότητας και της ποσότητας του ελαίου φαρμακευτικών φυτών και της αντιοξειδωτικής του ικανότητας με διαφορετικά οργανικά και ανόργανα λιπάσματα έχει τεκμηριωθεί σε έρευνες (Pandey et al., 2016, Tawfeeq et al., 2016, Jeshni et al. , 2017). Όπως αναφέρεται στην έρευνα των Jeshni et al., 2017 η λίπανση με φώσφορο επέφερε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα όχι μόνο στην απόδοση του χαμομηλιού αλλά και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του φυτού όσον αφορά το έλαιο του, η λίπανση επηρέασε τα συστατικά του ελαίου. Επιπλέον, οι Mirjalili et al., 2022, στην μελέτη τους που αφορούσε το φαρμακευτικό φυτό *Satureja bachtiarica*, τονίζουν ότι οι διαφορετικές πυκνότητες σποράς σε συνδυασμό με την λίπανση είχε ως αποτέλεσμα διαφορετικές συγκεντρώσεις ελαίου αλλά και των συστατικών του στα φυτά. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε για το δενδρολίβανο και για τα διαφορετικά είδη λιπασμάτων, βρέθηκε ότι η ανόργανη αλλά και η οργανική λίπανση είχε αποτελέσματα στις αποδόσεις του ελαίου αλλά και στα συστατικά του (Tawfeeq et al., 2016). Οι Keivanrad S, Zandi, 2012, μελέτησαν την Ινδική μουστάρδα (*Brassica juncea*), όσον αφορά την απόδοση του ελαίου σε διαφορετικές πυκνότητες σποράς και επίπεδα αζωτούχας λίπανσης και κατέληξαν ότι στην χαμηλότερη πυκνότητα σποράς και αζώτου υπήρξε η υψηλότερη απόδοση ελαίου.

Από όλες τις παραπάνω μελέτες που αντικείμενο τους ήταν τα φαρμακευτικά φυτά και το έλαιο τους, κατέληξαν ότι το είδος της λίπανσης καθώς και η πυκνότητα σποράς έχουν σημαντικά αποτελέσματα στην ποιότητα του ελαίου. Δεν αναφέρθηκαν έρευνες που να αφορούν το έλαιο του μαύρου σιναπιού διότι δεν έχουν πραγματοποιηθεί.

2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε για τρία συναπτά έτη η επίδραση των διαφορετικών λιπάνσεων α) ουρία, β) ουρία με διπλή παρεμπόδιση και γ) κομπόστ καθώς και οι διαφορετικές πυκνότητες σποράς (76 φυτά m^{-2} και 46 φυτά m^{-2}) i) στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του ελαίου το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στον τομέα της φαρμακοβιομηχανίας, ii) στα χαρακτηριστικά ανάπτυξης του φυτού, καθώς και iii) η αξιολόγηση του ως ζωοτροφή.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Γενικά

Στην παρούσα διδακτορική έρευνα μελετήθηκε το είδος *Brassica nigra* κοινώς η μαύρη μουστάρδα και η επίδραση τριών διαφορετικών ειδών λίπανσης α) ανόργανο λίπασμα (ουρία) 46-0-0, β) ουρία διπλής παρεμπόδισης 46-0-0 και γ) κομπόστ, επίσης υπήρχαν και τεμάχια που δεν υπήρξε καμία εφαρμογή λιπάσματος (μάρτυρας) καθώς και η επίδραση δύο διαφορετικών πυκνοτήτων σποράς 76 φυτά m^{-2} και 46 φυτά m^{-2} . Η καλλιέργεια έλαβε χώρα στον αγρό του Εργαστηρίου Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ} 59' 1,47''$ Β, γεωγραφικό μήκος $23^{\circ} 42' 6,98''$ Α, 170m από την επιφάνεια της θάλασσας) όπως φαίνεται στην **Εικόνα 10**. Η σπορά του μαύρου σιναπιού πραγματοποιήθηκε την πρώτη χρονιά στις 29 Νοεμβρίου 2019 και η συγκομιδή στις 6 Ιουνίου 2020 (188 ΗΑΣ), την δεύτερη χρονιά η σπορά στις 24 Νοεμβρίου 2020 και η συγκομιδή στις 24 Μαΐου 2021 (173 ΗΑΣ) και τέλος την τρίτη χρονιά η σπορά στις 24 Νοεμβρίου 2021 και η συγκομιδή στις 27 Μαΐου 2022 (205 ΗΑΣ).



Εικόνα 10. Περιοχή πειραματικού τεμαχίου στον αγρό του Εργαστηρίου Γεωργίας του ΓΠΑ.
(Google Maps)

3.2. Φυτικό υλικό

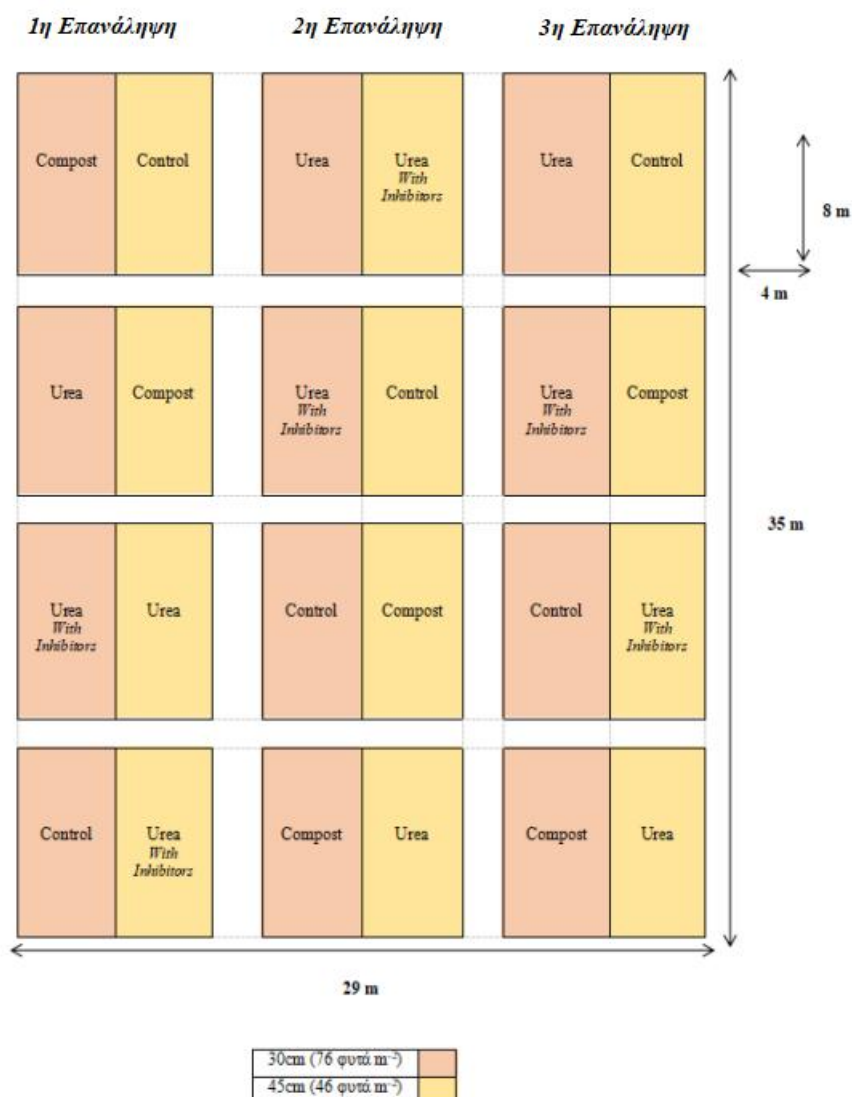
Παρακάτω (**Πίνακας 4**) ακολουθούν οι λεπτομέρειες για την προέλευση του φυτικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε και τα τρία πειραματικά έτη. Τους σπόρους του είδους *Brassica nigra* (*Sinapis Nigra*) τους προμηθευτήκαμε από το Γεωπονικό κέντρο Αθηνών.

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά φυτικού υλικού.

Είδος	<i>Brassica nigra</i> (Μαύρο σινάπι)
Σπορομερίδα	N214
Βλαστικότητα	90%
Καθαρότητα	99%
Βάρος	3kg
Χώρα προέλευσης	Ιταλία

3.3 Πειραματικό σχέδιο

Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε μια περιοχή 1.015 m² (29 m x 35 m) και ακολουθήθηκε το σχέδιο των split-plot, με 3 επαναλήψεις, σε ένα παραγοντικό σχήμα 2 × 4. Ο παράγοντας ολόκληρου του αγροτεμαχίου ήταν οι δύο διαφορετικές πυκνότητες φυτών (D1: 76 φυτά m⁻² και D2: 46 φυτά m⁻²), και ο παράγοντας διαχωρισμού ήταν τέσσερις διαφορετικοί τύποι λίπανσης (χωρίς λίπανση (Μάρτυρας), ουρία (U), ουρία με αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης (U + NI + UI) και κομπόστ φυκιών (Compost)). Το ποσοστό κάθε τύπου λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι η γενική συνιστώμενη δόση του αντίστοιχου τύπου λιπάσματος για την παραγωγή μαύρης μουστάρδας σε αργιλοπηλώδη εδάφη (Thomas et al, 2012, Kakabouki et al., 2020, Kakabouki et al., 2021). Συγκεκριμένα, η συνολική εφαρμοζόμενη δόση λιπάσματος για λιπάσματα ουρίας με και χωρίς αναστολείς ήταν 14 kg N στρ, ενώ το ποσοστό εφαρμογής αζώτου για το κομπόστ φυκιών ήταν 5 kg N στρ. Ο τύπος του λιπάσματος ουρίας ήταν 46-0-0. Ο αναστολέας νιτροποίησης ήταν N-((3(5)-μεθυλ-1H-πυραζολ-1-υλ)μεθυλ)ακεταμίδιο (MPA 0,07%) και ο αναστολέας ουρεάσης ήταν N-(2-Νιτροφαινυλ) φωσφορικό τριαμίδιο (2-NPT). 0,035%) για το λίπασμα με ουρία με διπλούς αναστολείς (46-0-0). Όσον αφορά το κομπόστ φυκιών, η περιεκτικότητα σε N ήταν 1,98%. Τα μεγέθη των κυρίων plots και των επιμέρους ήταν 140 m² (35 m × 4 m) και 32 m² (8 m × 4 m), αντίστοιχα. Τόσο τα κύρια plots όσο και τα υπο τεμάχια παρέμειναν σταθερά, στο ίδιο σημείο κατά την διάρκεια και των τριών πειραματικών ετών.



3.4 Εδαφολογική ανάλυση αγρού

Οι κύριες ιδιότητες του εδάφους (σε βάθος δειγματοληψίας 0-30 cm) του πειραματικού αγρού αποδεικνύονται ως εξής: το έδαφος ήταν **αργιλώδες** (29,4% άργιλος, 35,1% ιλύς και 35,5% άμμος) με **pH 7** (1: 1 H₂O), ποσοστό ολικού αζώτου (**N**) **0,143%**, διαθέσιμος φώσφορος (**Olsen P**) **13,6 mg kg⁻¹ εδάφους**, διαθέσιμο κάλιο (**K**) **233 mg kg⁻¹ εδάφους**, ανθρακικό ασβέστιο (**CaCO₃**) **ποσοστό 15,34%** και ποσοστό **οργανικής ουσίας του εδάφους 1,67%**.

3.5. Λιπάσματα

Όσον αφορά τα λιπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν ακολουθούν οι **Πίνακες 5,6,7** που αναλύονται τα συστατικά τους.

Πίνακας 5. Συστατικά λιπάσματος ουρίας με αναστολείς.

Alzon neo-N (46-0-0) Teofert	Σύσταση
Άζωτο ολικό (N)	46,3%
• καρβαμίδικό	46,3%
Παρεμποδιστής νιτροποίησης MPA	0,07%
Παρεμποδιστής ουρεάσης 2-NPT	0,035%

Πίνακας 6. Συστατικά λιπάσματος ουρίας.

FertilMax (46-0-0) Teofert	Σύσταση
Άζωτο ολικό (N)	46%
• ουρικό	46%
Διουρία	1% max

Πίνακας 7. Συστατικά οργανικού λιπάσματος.

Οργανικό λίπασμα Compost Posidonia	Σύσταση
Οργανική ουσία	20- 35% κατά ΞΗΡΑΣ ΟΥΣΙΑΣ
Υγρασία	25- 35%
Αγωγιμότητα	0,5-1,0 mS/cm
pH	7- 7,5
Άζωτο	1,0 %- 2,0%/ Ξ.Ο

3.6 Εγκατάσταση πειραματικού αγρού

Η διαδικασία της εγκατάστασης που ακολουθήθηκε ήταν ίδια και στα τρία πειραματικά έτη (2019-2020, 2020-2021, 2021-2022). Αρχικά, γινόταν αναμόχλευση του εδάφους με τον σκαριφήρα σε βάθος 20-25 cm και έπειτα λάμβανε χώρα η χάραξη του αγροτεμαχίου ούτως ώστε να γίνει η σωστή διασπορά των λιπασμάτων σε κάθε plot (πειραματικό υποτεμάχιο). Η διασπορά γινόταν χύδην με το χέρι. Στην συνέχεια, με την βοήθεια του φρεζαρίσματος το οποίο γινόταν σε βάθος 10cm ενσωματωνόντουσαν τα λιπάσματα (**Εικόνα 11 (α)**). Οι

γραμμές σποράς διαμορφωνόντουσαν με τον γραμμοχαράκτη όπως φαίνεται στην **Εικόνα 11 (β)**. Το πρώτο έτος η σπορά έλαβε χώρα στις 29 Νοεμβρίου 2019, το δεύτερο έτος στις 24 Νοεμβρίου 2020 και το τρίτο έτος στις 24 Νοεμβρίου 2021. Η ολοκλήρωση της ανάδυση των φυταρίων έγινε κατά μέσο όρο στις 10 ημέρες από την σπορά. Δηλαδή στο πρώτο και στο δεύτερο έτος στις 9 Δεκεμβρίου και στο τρίτο έτος στις 4 Δεκεμβρίου 2021.

Τα λιπάσματα εφαρμόστηκαν ως βασική λίπανση, χύδην με το χέρι και ενσωματώθηκαν στο έδαφος με φρεζάρισμα. Οι σπόροι μαύρης μουστάρδας [*Brassica nigra* (L.) Koch] σπάρθηκαν με το χέρι σε σειρές 45 και 30 cm αποστάσεις μεταξύ τους για D1 και D2, αντίστοιχα, και σε 6,5 cm και 5,2 cm εντός της κάθε σειράς, αντιστοίχως. Η συγκομιδή της καλλιέργειας έγινε με το χέρι και τα 3 έτη, όταν οι σπόροι έφτασαν σε πλήρη ωριμότητα (η υγρασία των σπόρων ήταν περίπου 9%). Επιπλέον, τα ζιζάνια ελέγχονταν με σκάλισμα με το χέρι όταν χρειαζόταν πριν από το κλείσιμο του θόλου της καλλιέργειας.



Εικόνα 11. (α) Ενσωμάτωση λιπασμάτων. (β) Διαδικασία γραμμοχάραξης.
(Προσωπικό αρχείο)

3.7. Καλλιεργητικές εργασίες

Αξίζει να τονιστεί ότι, από το πρώτο έτος μέχρι και το τρίτο, οι μόνες καλλιεργητικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν ήταν το σκάλισμα, το οποίο σε όλα τα έτη γινόταν όταν το φυτό βρισκόταν στο στάδιο της ροζέτας, διότι δεν ανταγωνιζόταν με επιτυχία τα ζιζάνια. Επομένως, γινόταν διαχείριση της ζιζανιοχλωρίδας, εντός των γραμμών σποράς και ανάμεσα

αυτών. Στα υπόλοιπα στάδια ανάπτυξης του φυτού δεν χρειάστηκε να γίνει κάποια επέμβαση ούτως ώστε να αντιμετωπιστεί κάποιο πρόβλημα, είτε με αύξηση του πληθυσμού της ζιζανιοχλωρίδας είτε με κάποιο παθογόνο ή έντομο.

3.8 Προσδιορισμοί-μετρήσεις

3.8.1 Μετρήσεις αγρονομικών χαρακτηριστικών

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις όσον αφορά την ανάπτυξη του υπέργειου μέρους του φυτού για την μελέτη των αγρονομικών χαρακτηριστικών του αλλά και τον προσδιορισμό των καμπυλών ανάπτυξης.

Στα χαρακτηριστικά στα οποία ελήφθησαν παρατηρήσεις ήταν τα εξής:

Ύψος: Η μέτρηση του ύψους των φυτών πραγματοποιήθηκε *in situ* σε τυχαίες γραμμές από κάθε plot στα φυτά που υπήρχαν σε μήκος 1 m. Έγιναν συνολικά 6 μετρήσεις, σε 5 φυτικά δείγματα ανά τεμάχιο. Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 70 ΗΑΣ το πρώτο έτος, στις 75 ΗΑΣ το δεύτερο έτος και τις 85 ΗΑΣ το τρίτο έτος. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις ύψους ανά έτος σε χρονικό διάστημα 15 ημερών από την πρώτη μέτρηση.

Νωπό Βάρος: Έγινε η άμεση μέτρηση του νωπού βάρους από τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην μέτρηση ύψους. Με τους αντίστοιχους αριθμούς μετρήσεων και ημερομηνίες.

Ξηρό Βάρος: Τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση του νωπού βάρους στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε φούρνο του Εργαστηρίου Γεωργίας, σε θερμοκρασία 60 °C μέχρι την ζύγιση σταθερού βάρους. Ακολούθως, προσδιορίστηκε το ξηρό βάρος με ζυγαριά ακριβείας.

Δείκτης LAI: Εκφράζει την πυκνότητα του φυλλώματος ως συνάρτηση της φυλλικής επιφάνειας προς την εδαφική επιφάνεια. Ο προσδιορισμός της φυλλικής επιφάνειας έγινε με την βοήθεια της αυτόματης συσκευής *Sun Scan type SSI* (Delta-T Devices Cambridge-England) σε τυχαίες γραμμές από κάθε plot στα φυτά που υπήρχαν σε μήκος 1 m. Στο σύνολο έγιναν 6 μετρήσεις στις αντίστοιχες ημερομηνίες των μετρήσεων του ύψους και των υπολοίπων χαρακτηριστικών που αναφέρθηκαν.

Αριθμός Ταξιανθιών: Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε σε φυτά που χρησιμοποιήθηκαν για τις προηγούμενες μετρήσεις. Έγιναν συνολικά 3 μετρήσεις ανά 15 ημέρες, η πρώτη έλαβε χώρα στις 115 ΗΑΣ κατά το πρώτο έτος, στις 125 ΗΑΣ κατά το δεύτερο έτος και στις 135 ΗΑΣ κατά το τρίτο έτος.

Αριθμός Λοβών: Από την έναρξη της διαδικασίας της ωρίμανσης μετρήθηκαν οι λοβοί ανά φυτό σε μήκος ενός μέτρου από τυχαίες γραμμές ανά plot. Στο σύνολο είχαμε 3 μετρήσεις λοβών ανά 15 ημέρες από την πρώτη μέτρηση. Η πρώτη έγινε στις 135 ΗΑΣ το 1ο έτος, στις 145 ΗΑΣ στο 2ο έτος και στις 155 ΗΑΣ στο 3ο έτος.

Απόδοση σε σπόρο: Για τον υπολογισμό της απόδοσης μετρήθηκε το βάρος σπόρων φυτών σε 2m κατά μήκος των γραμμών σποράς. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε φούρνο του Εργαστηρίου Γεωργίας, σε θερμοκρασία 60 °C μέχρι την ζύγιση σταθερού βάρους. Έπειτα έγινε αναγωγή σε επίπεδο υγρασίας 10%. Ακολούθως, προσδιορίστηκε το βάρος με ζυγαριά ακριβείας.

3.8.2 Μετρήσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών ελαίου

Για τον προσδιορισμό της σταθερής περιεκτικότητας σε λάδι όπου οι αναλύσεις έλαβαν χώρα στον ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ, συλλέχθηκαν επιπλέον σπόροι συνολικού βάρους 300 g από κάθε πειραματικό αγροτεμάχιο. Το λάδι στη συνέχεια εκχυλίστηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ψυχρής έκθλιψης. Δεδομένου ότι αυτή η μέθοδος δεν χρησιμοποιεί θερμότητα ή χημικά, εκτιμάται από τους καταναλωτές που προτιμούν φυσικά και ασφαλή τρόφιμα. Επιπλέον, η οξύτητα του ελαίου παραμένει χαμηλή και τα αντιοξειδωτικά και οι πολυφαινόλες δεν επηρεάζονται (Chew, 2020). Το λάδι εκχυλίστηκε σε θερμοκρασία δωματίου (25°C) χρησιμοποιώντας έναν κοχλιωτό εξωθητή SPU 20 (Senta, Σερβία) με χωρητικότητα 20-25 kg h⁻¹. Τα δείγματα λαδιού αποθηκεύτηκαν σε πλαστικά μπουκάλια (καλυμμένα με φύλλο αλουμινίου) και διατηρήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου όλη τη νύχτα για να καθιζάνουν το ίζημα που περιείχε ξένα υλικά. Την επόμενη μέρα, τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν στις 3500 rpm για 15 λεπτά και διηθήθηκαν μέσω ενός χάρτινου φίλτρου (Whatman 41; Whatman International Ltd., UK) σε μια κοινή γυάλινη χοάνη για την απομάκρυνση του ιζήματος. Τα δείγματα λαδιού στη συνέχεια ζυγίστηκαν για να εκτιμηθεί η περιεκτικότητα σε λάδι της μαύρης μουστάρδας. Η περιεκτικότητα σε λάδι προσδιορίστηκε με τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Oil content (\%)} = (m_o * 100) / m_s$$

Όπου:

m_o = βάρος εξαγόμενου λαδιού (g),

m_s = βάρος δείγματος (g)

Η σταθερή απόδοση ελαίου υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας τη σταθερή περιεκτικότητα σε λάδι των σπόρων με την απόδοση του σπόρου. Η σύνθεση των λιπαρών οξέων προσδιορίστηκε με χρήση του κανονισμού (ΕΚ) 2568/1991 της ΕΕ (Εκτελεστικός κανονισμός (ΕΚ) 2015/1833). Πριν από την ανάλυση, τα λιπαρά οξέα μετατράπηκαν σε μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων (FAMES) με ανάδευση ενός διαλύματος ελαίου μαύρης μουστάρδας και 3 mL εξανίου με 0,3 mL 2N μεθανολικού διαλύματος υδροξειδίου του καλίου για 25 λεπτά. Ένας χρωματογράφος Hewlett-Packard 5890 series II GC (Hewlett-Packard Corporation, Palo Alto, Καλιφόρνια, ΗΠΑ) εξοπλισμένος με ανιχνευτή ιονισμού φλόγας (FID) και μια μονή τριχοειδική στήλη HP-5ms GC (30 m × 0,25 mm i.d. × 0,25 φιλμ πάχους, Hewlett-Packard Corp.) χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των FAME. Το φέρον αέριο ήταν ήλιο με ρυθμό ροής 1 mL min⁻¹. Οι θερμοκρασίες στην αρχική και τελική στήλη ήταν 170°C και 230°C, αντίστοιχα, και η θερμοκρασία αυξήθηκε με ρυθμό 4°C min⁻¹. Η θερμοκρασία του εγχυτήρα και του ανιχνευτή ήταν και οι δύο 230°C (Roussis et al., 2022). Ο όγκος του δείγματος ήταν 1 mL και εισήχθη χειροκίνητα στο σύστημα έγχυσης χρησιμοποιώντας την τεχνική χωρίς διαχωρισμό. Τα δεδομένα αναλύθηκαν με λογισμικό ανάλυσης δεδομένων Hewlett-Packard 3365 Chemstation (Hewlett-Packard Corp.). Στην τρέχουσα μελέτη, μελετήθηκαν τα δεκατρία κύρια λιπαρά οξέα (~95%) που ταυτοποιήθηκαν στο έλαιο μαύρης μουστάρδας και εκφράστηκαν ως το σχετικό κλάσμα κάθε μεμονωμένου λιπαρού οξέος που περιέχεται στο δείγμα.

Τα δεκατρία κύρια λιπαρά οξέα που βρέθηκαν ήταν τα εξής:

- 1) πενταδεκανοϊκό οξύ (C15:0),
- 2) παλμιτικό οξύ (C16:0),
- 3) στεατικό οξύ (C18:0),
- 4) ελαϊκό οξύ (C18:1 n-9),
- 5) βακσενικό οξύ (C18: 1 n-7),

- 6) λινολεϊκό οξύ (C18:2 n-6),
- 7) α-λινολενικό οξύ (C18:3 n-3),
- 8) αραχιδικό οξύ (C20:0),
- 9) cis-11-εικοσενοϊκό οξύ (C20:1),
- 10) cis-11,14-εικοσαδιενοϊκό οξύ (C20:2 n-6),
- 11) βεχενικό οξύ (C22:0),
- 12) ερουκικό οξύ (C22:1) και
- 13) νευρονικό οξύ (C24:1).

Επιπλέον, υπολογίστηκαν επίσης οι ακόλουθοι συνδυασμοί λιπαρών οξέων:

- 1) ωμέγα-3 (n-3) λιπαρά οξέα,
- 2) ωμέγα-6 (n-6) λιπαρά οξέα,
- 3) ολικά κορεσμένα λιπαρά οξέα (SAFA),
- 4) ολικά μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA),
- 5) πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA),
- 6) αναλογία PUFA/SAFA
- 7) και αναλογία n-6/n-3.

3.8.3 Μετρήσεις φυτικής μάζας για αξιοποίηση της ως ζωοτροφή

Συνολικά 20 δείγματα φυτών συλλέχθηκαν τυχαία από κάθε sub-plot στο πρώιμο στάδιο της ανθοφορίας της μαύρης μουστάρδας, συγκεκριμένα στις 120 ημέρες μετά τη σπορά (ΗΑΣ).

Όλες οι αναλύσεις που ακολουθούν πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Φυσιολογίας Θρέψεως και Διατροφής Ζώων του τμήματος Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής Γ.Π.Α. Το ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους του φυτού (Dry Matter, DM) προσδιορίστηκε μετά από ξήρανση για στους 64°C μέχρι την ζύγιση σταθερού βάρους. Στη συνέχεια, το DM ολόκληρου του φυτού και η απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν σύμφωνα με την πυκνότητα φύτευσης.

Όσον αφορά την ανάλυση της χημικής σύνθεσης, τα δείγματα φυτών αλέστηκαν, μέσω ενός μύλου Wiley 1 mm (Thomas T4274.E15 Steel Model 4 Wiley Mill; Arthur H. Thomas, Philadelphia, PA, USA) για την χημική ανάλυση. Τα δείγματα αναλύθηκαν για το DM (*μέθοδος 943.01*), για την ακατέργαστη τέφρα (CA, *μέθοδος 924.05*), για το άζωτο Kjeldahl (Crude Protein, CP, *μέθοδος 984.13*) χρησιμοποιώντας έναν αυτόματο αναλυτή Kjeltac 8400 (Foss Tecator AB, Höganäs, Σουηδία), για το ακατέργαστο λίπος (Crude Fat, CF, *μέθοδος*

920.39) και για το (ADF, *μέθοδος 973.18*) σύμφωνα με την Ένωση Επίσημων Αναλυτικών Χημικών (Association of Official Analytical Chemists, 1990). Η περιεκτικότητα σε ακατέργαστη πρωτεΐνη (CP) υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας τη συγκέντρωση αζώτου Kjeldahl επί 6,25 το (NDF, *μέθοδος 930.15*) προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας θερμοσταθερή αμυλάση σύμφωνα με τη διαδικασία των Van Soest et al., 1991. Ένας αναλυτής ινών ANKOM 200 (ANKOM Technology Corporation, NY, ΗΠΑ) χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του ADF και του NDF. Επιπλέον, οι συνολικοί υδατάνθρακες (CHO) και υδατάνθρακες χωρίς ίνες (NFC) υπολογίστηκαν ως εξής σύμφωνα με το Εθνικό Συμβούλιο Ερευνών (National Research Council, 2001):

$$\text{Total carbohydrate (CHO)} = 100 - (\text{CF} + \text{CP} + \text{CA}) (\%)$$

$$\text{Non-Fiber CHO (NFC)} = 100 - (\text{CP} + \text{NDF} + \text{CF} + \text{CA}) (\%)$$

3.8.4 Μετρήσεις Βαθμοημερών Ανάπτυξης (Growing Degree Days)

Ο υπολογισμός των βαθμοημερών ανάπτυξης αποτελεί βασικό εργαλείο για την διαχείριση των καλλιεργειών. Μπορούμε να προβλέψουμε την άνθιση του φυτού, την αντιμετώπιση διαφόρων εχθρών καθώς και την ωρίμανση του. Οι βαθμοημέρες ανάπτυξης υπολογίστηκαν από την ημερομηνία σποράς έως την ημέρα της συγκομιδής. Γινόταν ημερήσια καταγραφή και υπολογισμός κατά τα τρία πειραματικά έτη. Τα δεδομένα λαμβανόντουσαν από το μετεωρολογικό σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στην περιοχή Γκάζι Αθηνών (<https://meteosearch.meteo.gr/>).

Τα AGDDs υπολογίζονται με την χρήση της παρακάτω εξίσωσης:

$$\text{AGDD}_n = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - T_{\text{base}}$$

Όπου, T_{\max} είναι η μέγιστη θερμοκρασία ημέρας, T_{\min} είναι η ελάχιστη θερμοκρασία ημέρας και T_b είναι η θερμοκρασία βάσης του φυτού, η οποία ορίζεται στους 5 °C.

3.8.5 Δείκτες εκτίμησης της καλλιέργειας

3.8.5.1 Δείκτης συγκομιδής (*Harvest Index - HI*)

Ο όρος δείκτης συγκομιδής χρησιμοποιείται στη γεωργία για να ποσοτικοποιήσει την απόδοση μιας καλλιέργειας σε σχέση με τη συνολική ποσότητα βιομάζας που έχει παραχθεί. Για να υπολογιστεί ο δείκτης συγκομιδής χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση:

$$HI = \frac{\text{Ξηρό βάρος σπόρων}}{\text{Συνολικό ξηρό βάρος (βλαστοί + σπόροι + φύλλα)}}$$

3.8.5.2 Δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (*Nitrogen Utilization Efficiency - NUtE*)

Ο λόγος αυτός δείχνει την απόδοση σε σπόρο (kg ha^{-1}) προς την συγκέντρωση N (kg ha^{-1}) στο υπέργειο τμήμα της καλλιέργειας (Goulding et al., 2008).

Υπολογίστηκε με την παρακάτω εξίσωση:

$$NUtE = \frac{\text{απόδοση σε σπόρο } \text{kg ha}^{-1}}{\text{N υπέργειου } \text{kg ha}^{-1}}$$

3.8.5.3 Δείκτης συγκομιδής αζώτου (*Nitrogen Harvest Index - NHI*)

Ο δείκτης συγκομιδής αζώτου ορίζεται ως ο λόγος της συγκεντρωμένης ποσότητας N στον σπόρο (N_{seed}) προς το συνολικό συγκεντρωμένο N στο φυτό (υπέργειο και σπόρο) (N_{uptake}), (Goulding et al., 2008).

Υπολογίστηκε με την παρακάτω εξίσωση:

$$NHI = \frac{N_{\text{seed}}}{N_{\text{uptake}}}$$

3.8.5.4 Αζωτούχος γεωργική αποτελεσματικότητα (*Nitrogen Agronomic Efficiency - NAE*)

Ο δείκτης αζωτούχου γεωργικής αποτελεσματικότητας εκφράζει την παραγόμενη ποσότητα σπόρου ανά κιλό N λίπανσης (Craswell and Godwin, 1984).

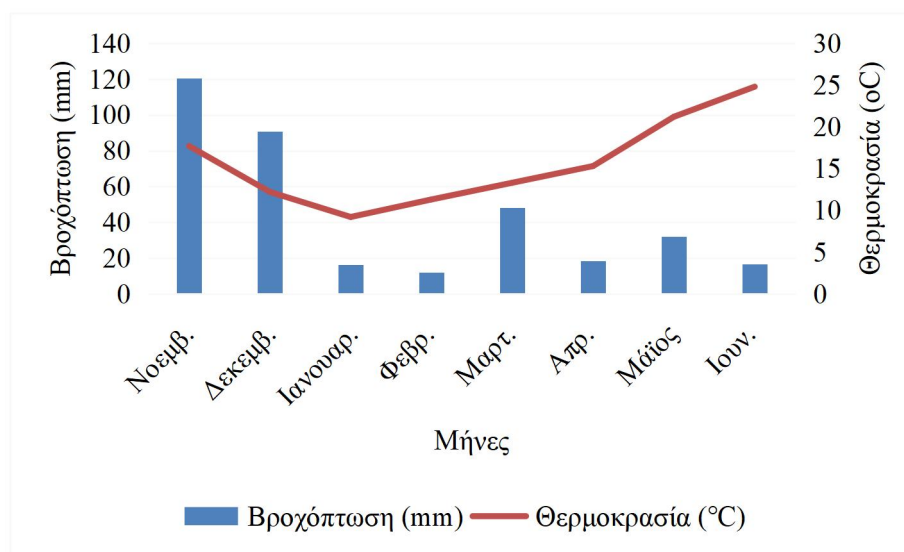
Υπολογίστηκε με την παρακάτω εξίσωση:

$$NAE = \frac{\text{απόδοση σε σπόρο}_{\text{fert}} - \text{απόδοση σε σπόρο}_{\text{control}}}{\text{ποσότητα λιπασματικού N}}$$

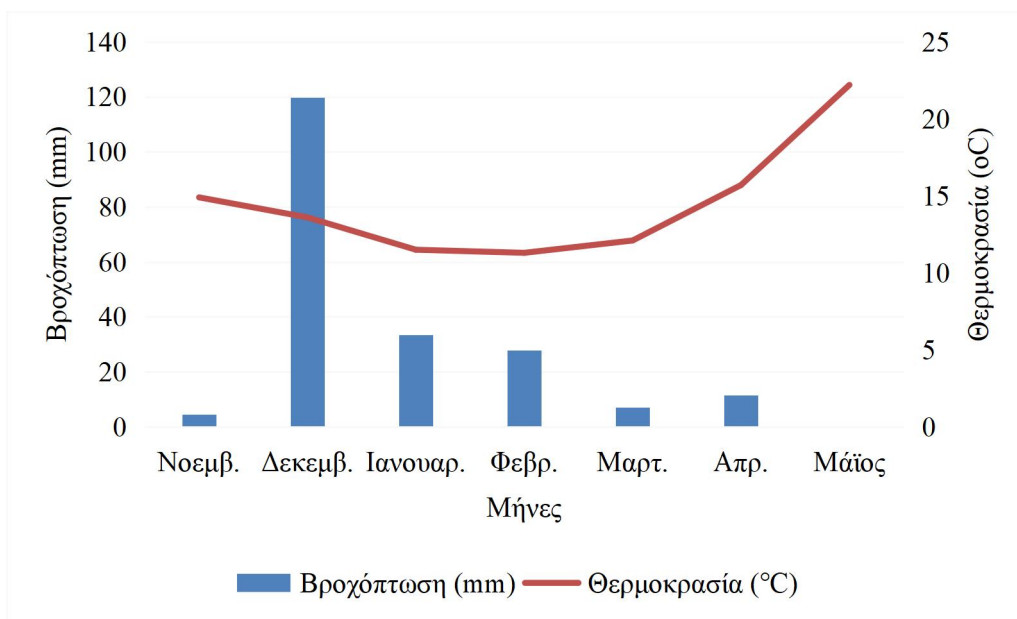
Μονάδα μέτρησης: kg σπόρου/ kg N λιπάσματος

3.9 Μετεωρολογικά δεδομένα

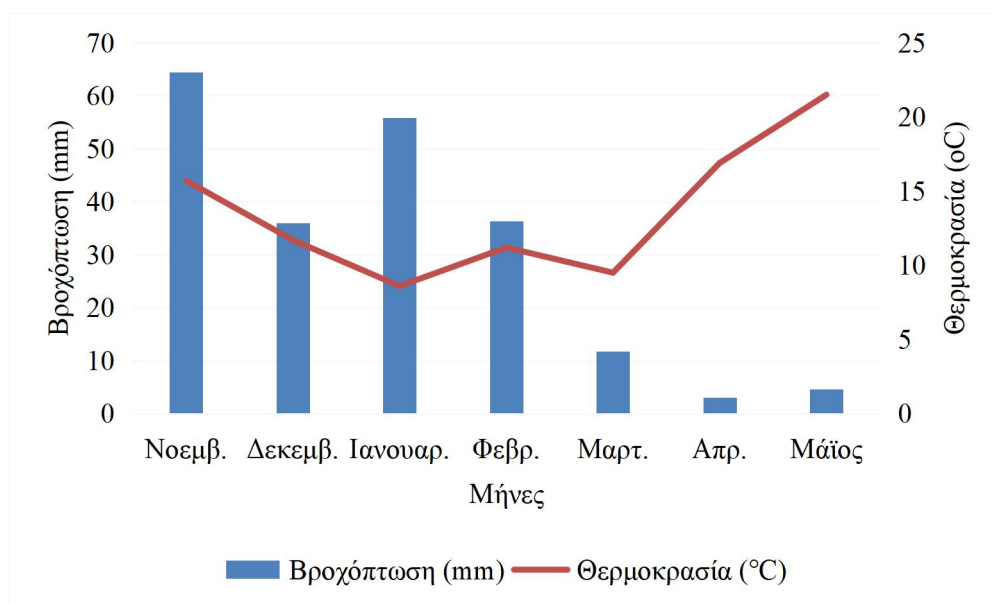
Παρακάτω παρουσιάζονται τα ομβροθερμικά Διαγράμματα (8,9,10) για κάθε ένα έτος καθώς και πίνακας με τις ελάχιστες και μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες. Τα δεδομένα προέρχονται από το μετεωρολογικό σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στην περιοχή Γκάζι Αθηνών, (γεωγραφικό πλάτος 37–7– 58' 42" Β, γεωγραφικό μήκος 23– 42' 56" Α).



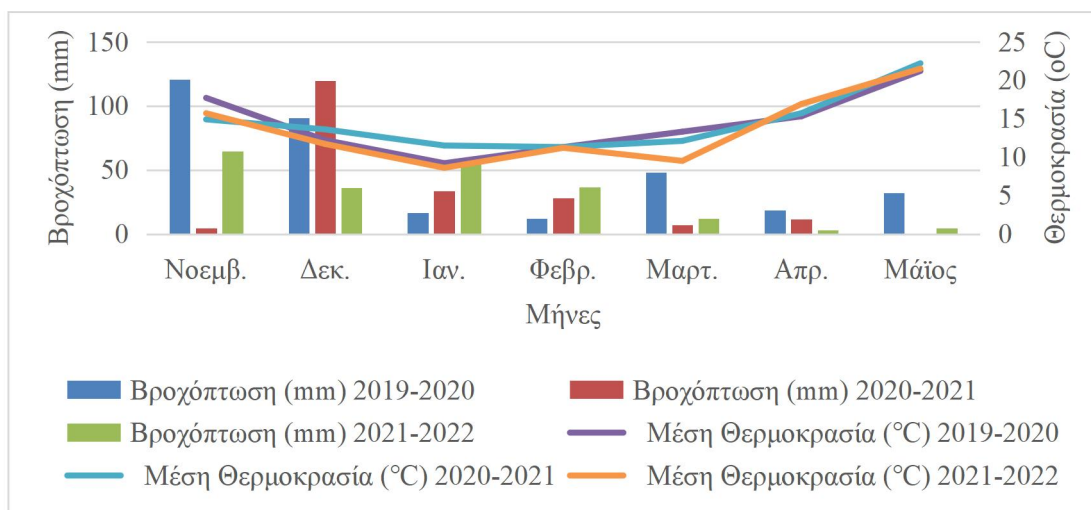
Διάγραμμα 8 . Ομβροθερμικό διάγραμμα για το πρώτο έτος (2019-2020).



Διάγραμμα 9: Ομβροθερμικό διάγραμμα για το δεύτερο έτος (2020-2021).



Διάγραμμα 10: Ομβροθερμικό διάγραμμα για το τρίτο έτος (2021-2022).



Διάγραμμα 11:Συγκεντρωτικό ομβροθερμικό διάγραμμα των τριών καλλιεργητικών ετών.

Παρατηρούμε από τα παραπάνω διαγράμματα (*Διαγράμματα 8-11*), καθώς και από τον Πίνακα 8 ότι από το 2019 έως το 2022 η μέση ελάχιστη και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία μειώθηκαν. Όπου την περίοδο 2021-2022 καταγράφηκαν οι χαμηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με τα προηγούμενα δύο έτη. Όσον αφορά τις βροχοπτώσεις, την περίοδο 2020-2021 καταγράφηκαν τα λιγότερα χιλιοστά καθ όλη την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (204,4 mm), έπειτα την περίοδο 2021-2022 (212 mm), ενώ την πρώτη καλλιεργητική χρονιά 2019-2020, το σύνολο των χιλιοστών βροχόπτωσης ήταν το υψηλότερο (338,4 mm). **Επιπροσθέτως, αξίζει να σημειωθεί ότι υπήρξαν και ακραία καιρικά φαινόμενα το 2ο και το 3ο πειραματικό έτος. Πιο συγκεκριμένα το 2ο έτος (2020-2021), τις ημέρες 16-17 Φεβρουαρίου 2021 καταγράφηκε πολύ έντονη χιονόπτωση διάρκειας 22 ωρών στην Αττική, όπου το πάχος χιονιού έφτασε τα 15-20 cm στο κέντρο της Αθήνας (κακοκαιρία Μήδεια). Ενώ, αντίστοιχο φαινόμενο είχαμε και το 3ο καλλιεργητικό έτος (2021-2022),στις 24 Ιανουαρίου 2022, όπου το πάχος του χιονιού έφτασε τα 20-25 cm στο κέντρο της Αθήνας και η διάρκεια της χιονόπτωσης ήταν 18 ώρες (κακοκαιρία Ελπίδα).**

Πίνακας 8. Μέση ελάχιστη και μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (2019-2022).

Μήνες	Μέση ελάχιστη (°C)	Μέση μέγιστη (°C)	Μέση ελάχιστη (°C)	Μέση μέγιστη (°C)	Μέση ελάχιστη (°C)	Μέση μέγιστη (°C)
Έτος	2019-2020		2020-2021		2021-2022	
Νοεμβ.	10,6	24,8	6,3	21,9	8,8	25,1
Δεκεμβ.	2,4	19,1	7,6	19,2	1,2	18,8
Ιανουαρ.	2,1	18,4	7,9	15	-0,1	18,7
Φεβρ.	1,8	19,9	-0,8	20,5	3,9	18,9
Μαρτ.	4,5	23,7	2,7	20,5	0,7	22,8
Απρ.	8,5	25,7	4,6	26,9	8,9	27,8
Μάιος	12,4	35,8	13,7	33,3	11,6	32,5
Ιουν.	14,3	35,1				

3.10 Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το στατιστικό λογισμικό πρόγραμμα SigmaPlot 12 (Systat Software Inc., San Jose, CA, USA). Για την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) χρησιμοποιήθηκε ένα μικτό μοντέλο, με τα έτη και τις επαναλήψεις ως τυχαίοι παράμετροι και την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση ως σταθεροί παράμετροι. Η εκτίμηση των σημαντικών διαφορών μεταξύ των επεμβάσεων καθορίστηκε χρησιμοποιώντας το τεστ Tukey (Tukey's HSD). Οι αναλύσεις συσχέτισης χρησιμοποιήθηκαν για να περιγράψουν τις σχέσεις μεταξύ των συστατικών απόδοσης και των θρεπτικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιώντας τη συσχέτιση Pearson. Για όλες τις στατιστικές αναλύσεις στην τρέχουσα μελέτη, τα επίπεδα σημαντικότητας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 5% ($p \leq 0,05$), 1% ($p \leq 0,01$) και 0,1% ($p \leq 0,001$).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Αγρονομικά χαρακτηριστικά

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της τριετούς (2019-2020, 2020-2021, 2021-2022), ανάλυσης δεδομένων (**Πίνακας 9**), η αλληλεπίδραση της πυκνότητας των φυτών × λίπανσης δεν ήταν σημαντική για κανένα μετρήσιμο αγρονομικό χαρακτηριστικό. Οι κύριες επιδράσεις της πυκνότητας των φυτών ήταν σημαντικές για το νωπό και το ξηρό βάρος του βλαστού, για το νωπό και ξηρό βάρος των φύλλων, για τον αριθμό των ταξιανθιών, για τον αριθμό των λοβών, για την απόδοση του σπόρου καθώς και για την φυλλική επιφάνεια (Leaf Area Index). Ως απόκριση στην επίδραση της εφαρμογής λιπασμάτων, οι διαφορετικές επεμβάσεις είχαν σημαντικές επιπτώσεις σε όλα τα αγρονομικά χαρακτηριστικά όπως φαίνεται στον **Πίνακα 9**.

Πίνακας 9. Συνδυασμένη ανάλυση διακύμανσης (F) για όλα τα μετρούμενα αγρονομικά χαρακτηριστικά της μαύρης μουστάρδας και στα τρία πειραματικά έτη.

Πηγή διακύμανσης	Df	Ύψος φυτού	Νωπό βάρος βλαστού	Ξηρό βάρος βλαστού	Νωπό βάρος φύλλων	Ξηρό βάρος φύλλων	Αριθμός ταξιανθιών	Αριθμός λοβών	Απόδοση σπόρου	Leaf Area Index (LAI)
Έτος (Y)	2	0.125 ^{ns}	0.0130 ^{ns}	0.865 ^{ns}	0.154 ^{ns}	0.160 ^{ns}	0.014 ^{ns}	0.026 ^{ns}	0.789 ^{ns}	0.402 ^{ns}
Πυκνότητα σποράς (PD)	1	0.8495 ^{ns}	12.321*	9.232*	22.411**	7.633*	36.410**	39.754**	45.103**	11.520*
Λίπανση (F)	3	27.458*	39.654**	19.173**	49.624***	16.768*	15.990*	21.862*	22.877*	13.010*
Y × PD	2	0.024 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.048 ^{ns}	0.087 ^{ns}	0.114 ^{ns}	0.654 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.988 ^{ns}	0.551 ^{ns}
Y × F	6	0.145 ^{ns}	0.514 ^{ns}	0.169 ^{ns}	0.510 ^{ns}	0.238 ^{ns}	0.384 ^{ns}	0.215 ^{ns}	0.323 ^{ns}	0.067 ^{ns}
PD × F	3	0.014 ^{ns}	0.325 ^{ns}	3.641 ^{ns}	2.412 ^{ns}	1.844 ^{ns}	2.023 ^{ns}	2.650 ^{ns}	1.905 ^{ns}	3.020 ^{ns}
Y × PD × F	6	0.028 ^{ns}	0.035 ^{ns}	0.055 ^{ns}	0.010 ^{ns}	0.651 ^{ns}	0.069 ^{ns}	0.074 ^{ns}	0.139 ^{ns}	0.094 ^{ns}

Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικές και σημαντικές σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. Df: Βαθμοί ελευθερίας.

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 10**, κατά το πρώτο καλλιεργητικό έτος (2019-2020), για το ύψος του φυτού δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά όσον αφορά την πυκνότητα σποράς, ενώ οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης είχαν σημαντικές επιπτώσεις, κυρίως στην εφαρμογή της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης εμφανίστηκαν ψηλότερα φυτά της τάξεως του 204,58 cm, ενώ δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των υπολοίπων επεμβάσεων. Στα υπόλοιπα αγρονομικά χαρακτηριστικά υπήρξε στατιστικά σημαντική επίδραση της πυκνότητας των φυτών καθώς και των διαφορετικών λιπάνσεων (**Πίνακας 10**).

Πίνακας 10. Ύψος φυτών, συνολικό ξηρό βάρος, νωπό και ξηρό βάρος βλαστού, νωπό και ξηρό βάρος φύλλων, όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα σποράς των φυτών και τη λίπανση κατά την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020.

Λίπανση	Πυκνότητα σποράς (φυτά m ⁻²)															
	46		76		46		76		46		76		46		76	
	Ύψος φυτού (cm)		Νωπό βάρος βλαστού (g m ⁻²)		Ξηρό βάρος βλαστού (g m ⁻²)		Νωπό βάρος φύλλων (g m ⁻²)		Ξηρό βάρος φύλλων (g m ⁻²)							
2019-2020	Mean		Mean		Mean		Mean		Mean		Mean		Mean		Mean	
Control	150,50	154,33	152,415 ^a	2608,52	4306,39	3457,45 ^a	414,01	512,85	463,43 ^a	1014,99	1437,6	1226,29 ^a	178,26	204,55	191,40 ^a	
Urea	124,17	163,17	143,67 ^a	2655,64	4717,15	3686,39 ^a	376,54	739,65	558,09 ^b	977,19	1510,94	1244,06 ^a	161,59	223,48	192,53 ^a	
Urea + NI + UI	190,50	218,67	204,58 ^b	3354,97	5565,14	4460,05 ^b	509,94	813,71	661,82 ^b	1286,97	1749,82	1518,39 ^b	213,75	294,94	254,34 ^b	
Compost	154,33	159,50	156,91 ^a	2277,06	3494,06	2885,56 ^c	314,63	491,68	403,15 ^a	728,31	1762,35	1245,33 ^a	129,29	262,77	196,03 ^a	
Mean	165,87 ^A	167,91 ^A		2724,04 ^A	4520,68 ^B		403,78 ^A	639,47 ^B		1001,86 ^A	1615,17 ^B		170,72 ^A	246,43 ^B		
<i>F</i> _{Plant Density}		2,955 ^{ns}		6,874 [*]				6,725 [*]			5,432 [*]			4,785 [*]		
				(Tukey = 1,223)				(Tukey = 2,567)			(Tukey = 1,502)			(Tukey = 1,311)		
<i>F</i> _{Fertilization}		19,646 [*]		17,821 ^{**}				16,812 [*]			19,274 [*]			15,730 [*]		
		(Tukey = 3,256)		(Tukey = 1,610)				(Tukey = 2,403)			(Tukey = 1,432)			(Tukey = 1,220)		
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}		0,324 ^{ns}		0,814 ^{ns}				1,003 ^{ns}			2,841 ^{ns}			1,625 ^{ns}		

Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα.

(Τα διαφορετικά πεζά γράμματα συγκρίνουν τις επεμβάσεις λίπανσης, ενώ τα κεφαλαία τις διαφορετικές πυκνότητες, με τη δοκιμή HSD του Tukey ($p \leq 0,05$))

Η εφαρμογή της ουρίας με παρεμποδιστές σε όλα τα αγρονομικά χαρακτηριστικά παρουσίασε τις μεγαλύτερες τιμές συγκριτικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις, ενώ οι χαμηλότερες ήταν στο κομπόστ στην πληθώρα των χαρακτηριστικών. Στην υψηλή πυκνότητα σποράς (76 φυτά m⁻²) οι τιμές ήταν σαφώς υψηλότερες από την χαμηλή πυκνότητα σποράς (46 φυτά m⁻²) όπως φαίνεται στον **Πίνακα 10**. Αξιοσημείωτο είναι ότι, στο νωπό βάρος του βλαστού, η υψηλή πυκνότητα σποράς ήταν μεγαλύτερη κατά 50% από την χαμηλή (4520,68 g m⁻², 2724 g m⁻²).

Στον **Πίνακα 11** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αγρονομικών χαρακτηριστικών κατά την 2η καλλιεργητική περίοδο (2020-2021). Αντιστοίχως με το 1ο πειραματικό έτος οι διαφορετικές πυκνότητες σποράς είχαν επίδραση στο νωπό και ξηρό βάρος βλαστού και φύλλων αλλά όχι στο ύψος των φυτών. Εν αντιθέσει με τις επεμβάσεις των λιπάνσεων όπου είχαν στατιστικά σημαντική επίδραση στα μετρούμενα χαρακτηριστικά του **Πίνακα 11**. Αξίζει να τονιστεί ότι, στην λίπανση της ουρίας με παρεμποδιστές ουρεάσης και νιτροποίησης καταγράφηκαν οι υψηλότερες τιμές εκτός από το ξηρό βάρος φύλλων, ενώ οι χαμηλότερες τιμές σημειώθηκαν κυρίως στην εφαρμογή του κομπόστ όπου στο ξηρό βάρος φύλλων πλησίασε την τιμή του μάρτυρα (268,27 g m⁻², 283,12 g m⁻²). Στην πυκνότητα σποράς των 76 φυτών m⁻² υπήρξαν οι μεγαλύτερες τιμές κατά μέσο όρο από όλες τις επεμβάσεις των λιπάνσεων όπως φαίνεται στον **Πίνακα 11**. Ειδικότερα το νωπό βάρος βλαστού ήταν αυξημένο κατά 20% στην υψηλή πυκνότητα σποράς συγκριτικά με την χαμηλή πυκνότητα σποράς (46 φυτά m⁻²). Τονίζεται ότι η λίπανση επέφερε στατιστικά σημαντική επιρροή στο νωπό βάρος των φύλλων με τις τιμές να κυμαίνονται στον μάρτυρα 1189,41 g m⁻², στην ουρία 1608,09 g m⁻², στην ουρία με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης 2982,66 g m⁻² και τέλος στο κομπόστ 1693,15 g m⁻² (**Πίνακας 11**).

Τα αγρονομικά χαρακτηριστικά του 3ου καλλιεργητικού έτους (2021-2022) παρουσιάζονται στον **Πίνακα 12**, όπου αντιστοίχως η πυκνότητα σποράς δεν είχε στατιστικά σημαντική επίδραση στο ύψος, είχε όμως στο νωπό και ξηρό βάρος του βλαστού και των φύλλων, ενώ οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης είχαν σε όλα τα μετρούμενα χαρακτηριστικά του **Πίνακα 12**. Πιο συγκεκριμένα το κομπόστ παρουσίαζε τις χαμηλότερες τιμές ενώ η ουρία με και χωρίς παρεμποδιστές παρουσίασαν τις υψηλότερες τιμές. Όσον αφορά τις διαφορετικές πυκνότητες σποράς, στην υψηλή πυκνότητα των 76 φυτών m⁻² καταγράφηκαν οι μεγαλύτερες τιμές συγκριτικά με την χαμηλή πυκνότητα σποράς (46 φυτά m⁻²). Ειδικά, στο νωπό βάρος φύλλων στην υψηλή πυκνότητα ο μέσος όρος από όλες τις επεμβάσεις των λιπάνσεων ήταν μεγαλύτερος σχεδόν κατά 50% από αυτόν της χαμηλής πυκνότητας σποράς (2223,7 g m⁻², 1328,43 g m⁻²). Στο κομπόστ, στο ξηρό βάρος φύλλων σημειώθηκε η χαμηλότερη τιμή της τάξεως του (236,55 g m⁻²), όπως φαίνεται στον **Πίνακα 12**.

Πίνακας 11. Ύψος φυτών, συνολικό ξηρό βάρος, νωπό και ξηρό βάρος βλαστού, νωπό και ξηρό βάρος φύλλων, όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα σποράς των φυτών και τη λίπανση κατά την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021.

		Πυκνότητα σποράς (φυτά m ⁻²)																
Λίπανση	46		76		46		76		46		76		46		76			
	Ύψος φυτού (cm)	Νωπό βάρος βλαστού (g m ⁻²)				Ξηρό βάρος βλαστού (g m ⁻²)				Νωπό βάρος φύλλων (g m ⁻²)				Ξηρό βάρος φύλλων (g m ⁻²)				
2020-2021	Mean		Mean		Mean		Mean		Mean		Mean		Mean					
Control	159	186	172,5 ^a	2626,37	3880,36	3253,36 ^a	1386,3	1062,94	1224,62 ^a	731,01	1647,82	1189,41 ^a	234,03	332,21	283,12 ^a			
Urea	151	190	170,5 ^a	5429,78	6175,84	5802,81 ^b	726,92	1122,77	924,84 ^a	1345,63	1870,55	1608,09 ^b	451,95	570,93	511,44 ^b			
Urea + NI + UI	188	194	191 ^a	5026,52	6590,26	5808,39 ^b	881,76	1229,19	1055,47 ^a	2864,1	3101,22	2982,66 ^c	449,6	546,01	497,80 ^b			
Compost	132,50	168	150,25 ^b	4431,65	5043,66	4737,65 ^a	440,21	799,27	619,74 ^b	1582,91	1803,39	1693,15 ^b	169,54	367	268,27 ^a			
Mean	157,62 ^A	184,5 ^A	4378,6 ^A	5422,53 ^B		858,79 ^A	1053,54 ^B		1630,91 ^A	2105,74 ^B		326,28 ^A	454,03 ^B					
<i>F</i> _{Plant Density}	1,236 ^{ns}		4,136 [*]				5,256 [*]				6,554 ^{**}				4,320 [*]			
			(Tukey = 2,652)				(Tukey = 1,113)				(Tukey = 2,130)				(Tukey = 2,527)			
<i>F</i> _{Fertilization}	21,523 [*]		14,996 [*]				15,999 ^{**}				16,743 ^{***}				16,552 [*]			
	(Tukey = 2,569)		(Tukey = 2,536)				(Tukey = 2,810)				(Tukey = 2,003)				(Tukey = 1,583)			
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}	0,123 ^{ns}		1,963 ^{ns}				2,102 ^{ns}				0,236 ^{ns}				1,422 ^{ns}			

Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. (Τα διαφορετικά πεζά γράμματα συγκρίνουν τις επεμβάσεις λίπανσης, ενώ τα κεφαλαία τις διαφορετικές πυκνότητες, με τη δοκιμή HSD του Tukey ($p \leq 0,05$))

Πίνακας 12. Ύψος φυτών, συνολικό ξηρό βάρος, νωπό και ξηρό βάρος βλαστού, νωπό και ξηρό βάρος φύλλων, όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα σποράς των φυτών και τη λίπανση κατά την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022.

Λίπανση	Πυκνότητα σποράς (φυτά m ⁻²)																			
	46		76		46		76		46		76		46		76					
	Ύψος φυτού (cm)		Νωπό βάρος βλαστού (g m ⁻²)		Ξηρό βάρος βλαστού (g m ⁻²)		Νωπό βάρος φύλλων (g m ⁻²)		Ξηρό βάρος φύλλων (g m ⁻²)											
2021-2022	Mean		Mean		Mean		Mean		Mean		Mean		Mean							
Control	143	166	154,5 ^a	4300,20	6098,50	5199,35 ^a	399,50	625,70	512,6 ^a	1563,80	1778,60	1671,2 ^a	446,10	398,20	422,15 ^a					
Urea	174	131	152,5 ^a	3782,60	5319,60	4551,1 ^a	1265,40	1026,40	1145,9 ^b	1298,20	2841,70	2069,95 ^b	220,10	469,60	344,85 ^b					
Urea + NI + UI	186	192	189 ^a	4982,65	6452,20	5717,43 ^a	785,20	1166,50	975,85 ^b	1799,60	2785,20	2292,4 ^b	298,12	431,45	364,79 ^b					
Compost	158,00	150	154 ^b	2569,50	4889,50	3729,5 ^b	623,40	998,32	810,86 ^b	652,10	1489,30	1070,7 ^c	152,10	321,00	236,55 ^c					
Mean	165,25 ^A	159,75 ^A		3908,74 ^A	5689,95 ^B		768,38 ^A	954,23 ^B		1328,43 ^A	2223,7 ^B		279,11 ^A	405,06 ^B						
<i>F</i> _{Plant Density}	1,118 ^{ns}		5,861 [*]		4,379 [*]		4,315 ^{**}		5,862 [*]		(Tukey = 2,437)		(Tukey = 2,106)		(Tukey = 2,608)		(Tukey = 1,201)			
<i>F</i> _{Fertilization}	22,365 [*]		15,647 ^{**}		16,975 [*]		15,461 ^{**}		17,771 ^{**}		(Tukey = 2,798)		(Tukey = 1,654)		(Tukey = 2,162)		(Tukey = 2,985)		(Tukey = 1,998)	
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}	0,452 ^{ns}		2,249 ^{ns}		0,899 ^{ns}		1,002 ^{ns}		2,884 ^{ns}											

Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. (Τα διαφορετικά πεζά γράμματα συγκρίνουν τις επεμβάσεις λίπανσης, ενώ τα κεφαλαία τις διαφορετικές πυκνότητες, με τη δοκιμή HSD του Tukey ($p \leq 0,05$))

Στον **Πίνακα 13** παρουσιάζονται ο αριθμός των ταξιανθιών, ο αριθμός των λοβών καθώς και η απόδοση σπόρου το πρώτο πειραματικό έτος 2019-2020. Παρατηρούμε ότι η πυκνότητα σποράς καθώς και οι διαφορετικές λιπάνσεις είχαν στατιστικά σημαντική επίπτωση στα μετρούμενα χαρακτηριστικά. Δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα, της ουρίας με και χωρίς παρεμποδιστές στον αριθμό των λοβών. Η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε στο κομπόστ (726 λοβοί m⁻²), ενώ η υψηλότερη στην ουρία (969,5 λοβοί m⁻²). Στην χαμηλή πυκνότητα σποράς ο μέσος όρος των λοβών ήταν μεγαλύτερος από ότι στην υψηλή πυκνότητα σποράς. Επιπλέον, στον αριθμό των ταξιανθιών ανά τετραγωνικό, η ουρία δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά με τον μάρτυρα, και η ουρία με παρεμποδιστές δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά με το κομπόστ. Με την μεγαλύτερη τιμή να παρουσιάζεται στο κομπόστ 9424,5 ταξιανθίες m⁻², ενώ η χαμηλότερη στην ουρία 6428,5 ταξιανθίες m⁻². Αντιστοίχως ο αριθμός των ταξιανθιών ήταν μεγαλύτερος στην χαμηλή πυκνότητα σποράς συγκριτικά με την υψηλή όπως φαίνεται στον **Πίνακα 13**. Η απόδοση του σπόρου ήταν μεγαλύτερη στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές και χαμηλότερη στον μάρτυρα (2150 kg ha⁻¹, 1390 kg ha⁻¹). Επίσης, στην χαμηλή πυκνότητα σποράς (46 φυτά m⁻²) η απόδοση ήταν μεγαλύτερη.

Πίνακας 13. Αριθμός ταξιανθιών, αριθμός λοβών και απόδοση σπόρου όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα σποράς των φυτών και τη λίπανση κατά την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020.

Λίπανση	Πυκνότητα σποράς (φυτά m ⁻²)											
	46		76		46		76		46		76	
	Αριθμός ταξιανθιών m ⁻²			Αριθμός λοβών m ⁻²			Απόδοση σπόρου kg ha ⁻¹					
2019-2020	Mean		Mean		Mean		Mean					
Control	6770	7448	7109 ^a	1153	629	891 ^a	1410	1370	1390 ^a			
Urea	9196	3661	6428,5 ^a	1165	774	969,5 ^a	1670	1440	1555 ^a			
Urea + NI + UI	8062	9425	8743,5 ^b	1039	889	964 ^a	2380	1920	2150 ^b			
Compost	9526	9323	9424,5 ^b	785	667	726 ^b	1580	1310	1445 ^a			
Mean	8388,5 ^A	7464,25 ^B	1035,5 ^A	739,75 ^B	1760 ^A	1510 ^B						
<i>F</i> _{Plant Density}	6,201 ^{**}		7,143 ^{**}		8,412 [*]							
	(Tukey = 2,549)		(Tukey = 2,859)		(Tukey = 1,109)							
<i>F</i> _{Fertilization}	19,699 ^{**}		20,526 [*]		13,998 [*]							
	(Tukey = 3,232)		(Tukey = 1,106)		(Tukey = 2,335)							
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}	0,336 ^{ns}		0,477 ^{ns}		0,501 ^{ns}							

Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. (Τα διαφορετικά γράμματα συγκρίνουν τις επεμβάσεις λίπανσης, με τη δοκιμή HSD του Tukey ($p \leq 0,05$))

Ο **Πίνακας 14** που ακολουθεί παρουσιάζει τον αριθμό των ταξιανθιών, των λοβών και την απόδοση κατά την 2η καλλιεργητική χρονιά (2020-2021). Οι διαφορετικές πυκνότητες σποράς καθώς και οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης είχαν στατιστικά σημαντική επίδραση στα παραπάνω χαρακτηριστικά. Ιδιαίτερα, στον αριθμό των ταξιανθιών στην χαμηλή πυκνότητα σποράς ο μέσος όρος των λιπάνσεων ήταν μεγαλύτερος σχεδόν κατά 50% από αυτόν της υψηλής πυκνότητας σποράς, της τάξεως του 6287 ταξιανθίες m⁻² και 3998 ταξιανθίες m⁻² αντιστοίχως. Το ίδιο καταγράφηκε και στον αριθμό των λοβών όπου στην χαμηλή πυκνότητα σποράς ήταν σχεδόν διπλάσια η τιμή από αυτή της υψηλής πυκνότητας (**Πίνακας 14**). Αξίζει να τονιστεί ότι οι χαμηλότερες τιμές σημειώθηκαν στην επέμβαση της ουρίας και του κομπόστ σε όλα τα μετρήσιμα χαρακτηριστικά. Ειδικότερα, στην απόδοση του σπόρου με αύξουσα σειρά, στην εφαρμογή του κομπόστ ήταν 1040 kg ha⁻¹, στην ουρία 1345 kg ha⁻¹, στον μάρτυρα 1475 kg ha⁻¹ και στην ουρία με παρεμποδιστές 1595 kg ha⁻¹. Ειδικότερα, στην χαμηλή πυκνότητα φυτών η απόδοση ήταν μεγαλύτερη από ότι στην υψηλή πυκνότητα σποράς (1485 kg ha⁻¹, 1242,5 kg ha⁻¹), (**Πίνακας 14**).

Πίνακας 14. Αριθμός ταξιανθιών, αριθμός λοβών και απόδοση σπόρου όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα σποράς των φυτών και τη λίπανση κατά την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021.

Λίπανση	Πυκνότητα σποράς (φυτά m ⁻²)								
	46			76			76		
	Αριθμός ταξιανθιών m ⁻²			Αριθμός λοβών m ⁻²			Απόδοση σπόρου kg ha ⁻¹		
2020-2021			Mean			Mean			Mean
Control	7534	4146	5840 ^a	1653	722	1187,5 ^a	1510	1440	1475 ^a
Urea	5615	3111	4363 ^a	1197	639	918 ^a	1380	1310	1345 ^a
Urea + NI + UI	7686	5319	6502,5 ^b	1387	1123	1255 ^a	1920	1270	1595 ^a
Compost	4313	3416	3864,5 ^a	876	446	661 ^b	1130	950	1040 ^b
Mean	6287 ^A	3998 ^B		1278,25 ^A	732,5 ^B		1485 ^A	1242,5 ^B	
<i>F</i> _{Plant Density}	5,285**			4,556**			6,677*		
	(Tukey = 2,321)			(Tukey = 2,114)			(Tukey = 2,402)		
<i>F</i> _{Fertilization}	17,774*			14,058**			9,490*		
	(Tukey = 2,665)			(Tukey = 3,888)			(Tukey = 3,521)		
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}	0,252 ^{ns}			0,453 ^{ns}			0,210 ^{ns}		

Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. (Τα διαφορετικά γράμματα συγκρίνουν τις επεμβάσεις λίπανσης, με τη δοκιμή HSD του Tukey ($p \leq 0,05$))

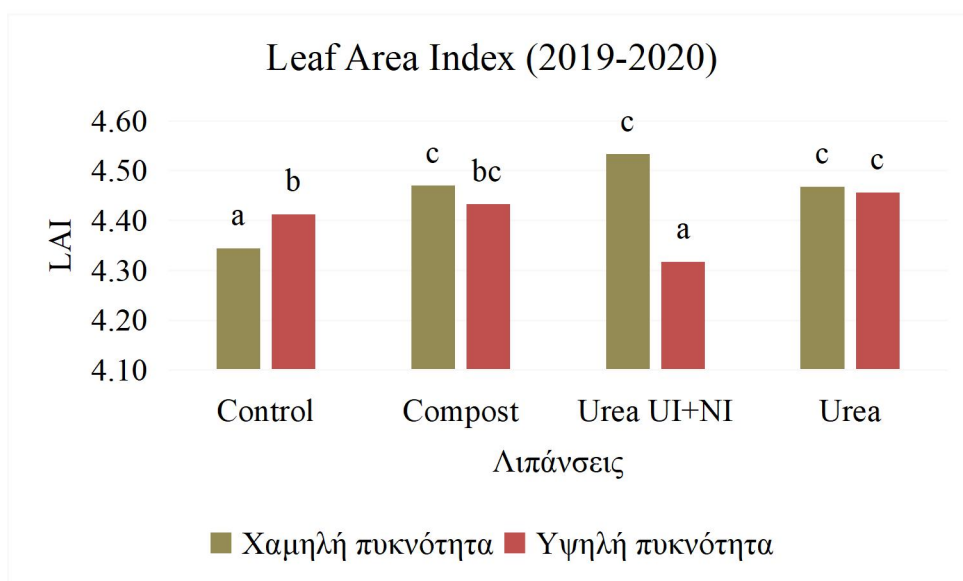
Τέλος, στον **Πίνακα 15** που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα προαναφερθέντα αγρονομικά χαρακτηριστικά για το 3ο καλλιεργητικό έτος (2021-2022). Όπως και στα προηγούμενα δύο έτη, η πυκνότητα σποράς καθώς και οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης είχαν στατιστικά σημαντική επίδραση στα μετρήσιμα χαρακτηριστικά. Όσον αφορά τον αριθμό των λοβών η ουρία δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά με το κομπόστ και η ουρία με παρεμποδιστές δεν είχε με τον μάρτυρα. Η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε στο κομπόστ (612 λοβοί m⁻²). Επίσης, στην χαμηλή πυκνότητα σποράς ο μέσος όρος των επεμβάσεων ήταν σχεδόν διπλάσιος από την τιμή της υψηλής πυκνότητας φυτών (1181,5 λοβοί m⁻², 658,5 λοβοί m⁻²). Στον αριθμό των ταξιανθιών, δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας και του μάρτυρα, ενώ η υψηλότερη τιμή ήταν 6334,5 ταξιανθίες m⁻² στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρέασης, ενώ η χαμηλότερη ήταν 3172 ταξιανθίες m⁻² στην εφαρμογή του κομπόστ (**Πίνακας 15**). Στην απόδοση του σπόρου η ουρία δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά με τον μάρτυρα, ενώ η υψηλότερη τιμή σημειώθηκε στην ουρία με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρέασης (1668,5 kg ha⁻¹) ενώ η χαμηλότερη στο κομπόστ (909,5 kg ha⁻¹), όπως φαίνεται στον **Πίνακα 15**.

Πίνακας 15. Αριθμός ταξιανθιών, αριθμός λοβών και απόδοση σπόρου όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα σποράς των φυτών και τη λίπανση κατά την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022.

Λίπανση	Πυκνότητα σποράς (φυτά m ⁻²)											
	46			76			46			76		
	Αριθμός ταξιανθιών m ⁻²			Αριθμός λοβών m ⁻²			Απόδοση σπόρου kg ha ⁻¹					
2021-2022			Mean			Mean			Mean			
Control	7423	3129	5276 ^a	1555	625	1090 ^a	1521	1330	1425,5 ^a			
Urea	5321	2987	4154 ^a	1123	612	867,5 ^b	1331	1283	1307 ^a			
Urea + NI + UI	7456	5213	6334,5 ^b	1236	985	1110,5 ^a	1775	1562	1668,5 ^b			
Compost	3219	3125	3172 ^c	812	412	612 ^b	1075	744	909,5 ^c			
Mean	5854,75 ^A	3613,5 ^B		1181,5 ^A	658,5 ^B		1425,5 ^A	1229,75 ^B				
<i>F</i> _{Plant Density}	6,128*			8,448**			9,977**					
	(Tukey = 3,116)			(Tukey = 3,520)			(Tukey = 2,568)					
<i>F</i> _{Fertilization}	18,761**			17,424***			19,883**					
	(Tukey = 2,69)			(Tukey = 2,888)			(Tukey = 2,999)					
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}	0,388 ^{ns}			0,413 ^{ns}			0,247 ^{ns}					

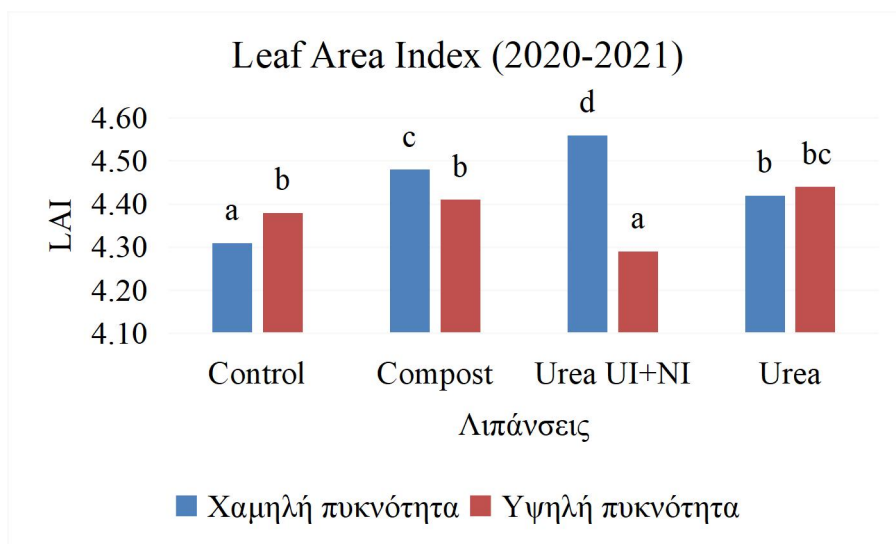
Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. (Τα διαφορετικά γράμματα συγκρίνουν τις επεμβάσεις λίπανσης, με τη δοκιμή HSD του Tukey ($p \leq 0,05$))

Στο **Διάγραμμα 12** που ακολουθεί παρουσιάζεται η φυλλική επιφάνεια κατά μέσο όρο σε κάθε επέμβαση λίπανσης καθώς και στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς, (χαμηλή = 46 φυτά/m², υψηλή = 76 φυτά/m²). Στην χαμηλή πυκνότητα φυτών η φυλλική επιφάνεια είναι υψηλότερη συγκριτικά με την υψηλή πυκνότητα σποράς με εξαίρεση τον μάρτυρα όπου στην υψηλή πυκνότητα σποράς ο δείκτης ήταν 4,41. Η μεγαλύτερη τιμή καταγράφηκε στην εφαρμογή της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης στην χαμηλή πυκνότητα φυτών 4,53 και η μικρότερη σημειώθηκε αντιστοίχως στην ίδια επέμβαση στην υψηλή πυκνότητα σποράς 4,32.



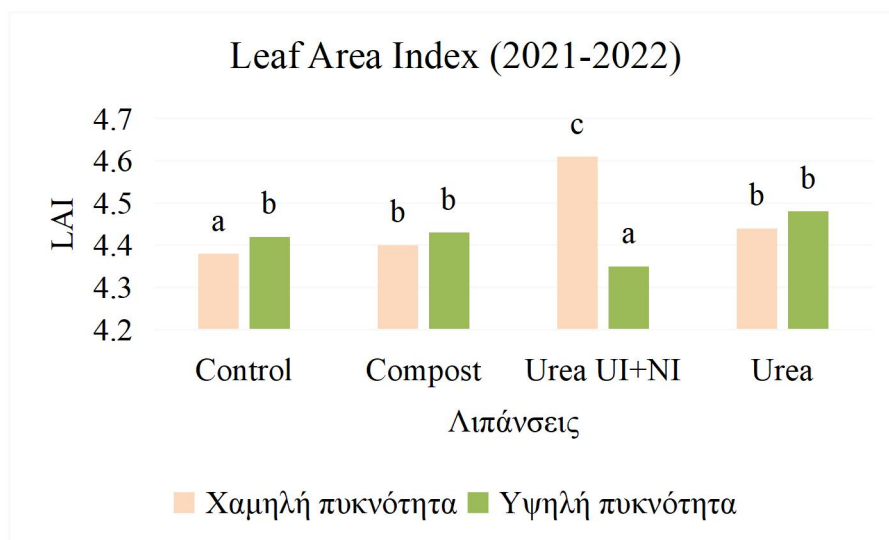
Διάγραμμα 12: Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI, Leaf Area Index) κατά την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στις δύο διαφορετικές πυκνότητες, (46 φυτά/m², 76 φυτά/m²). (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Όσον αφορά τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας κατά το 2ο καλλιεργητικό έτος 2020-2021, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των λιπάνσεων καθώς και των πυκνοτήτων σποράς όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 13**. Με την υψηλότερη τιμή να καταγράφεται στην ουρία με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης στην χαμηλή πυκνότητα φυτών (4,56) και η μικρότερη αντιστοίχως στην ίδια επέμβαση στην υψηλή πυκνότητα σποράς (4,29).



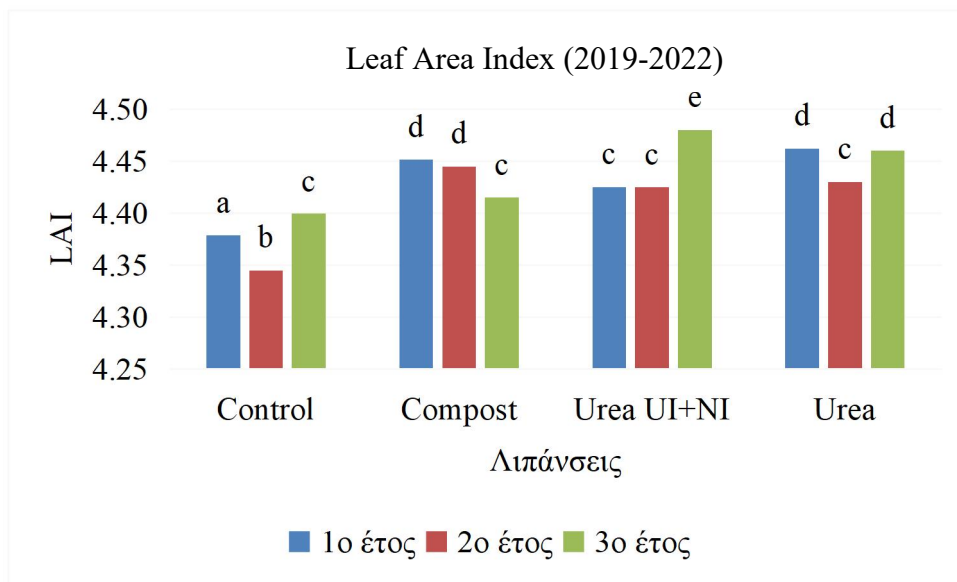
Διάγραμμα 13: Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI, Leaf Area Index) κατά την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021, στις δύο διαφορετικές πυκνότητες, (46 φυτά/m², 76 φυτά/m²). (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο **Διάγραμμα 14**, παρουσιάζεται ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας κατά το 3ο πειραματικό έτος (2021-2022). Μεταξύ των επεμβάσεων και των πυκνοτήτων σποράς υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Ειδικότερα, όπως και στα προηγούμενα δύο έτη η μεγαλύτερη τιμή καταγράφηκε στην ουρία με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης στην χαμηλή πυκνότητα σποράς 4,61, και η μικρότερη στην ίδια επέμβαση στην υψηλή πυκνότητα σποράς, 4,35.



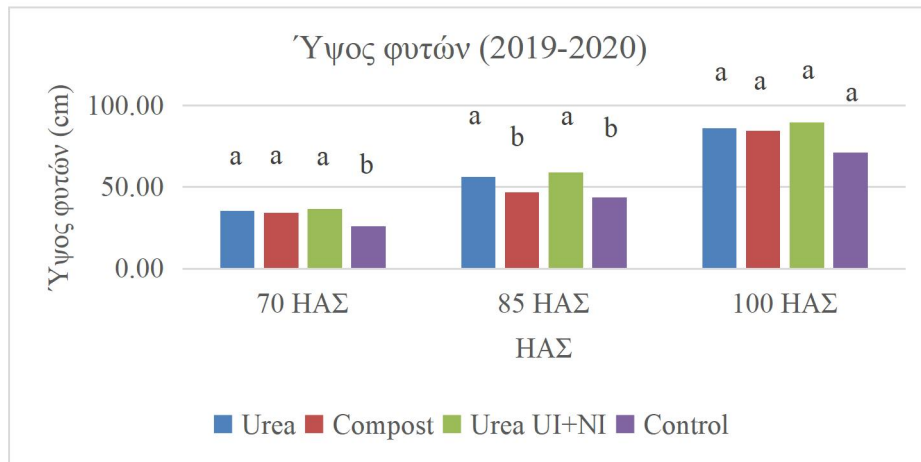
Διάγραμμα 14: Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI, Leaf Area Index) κατά την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022, στις δύο διαφορετικές πυκνότητες, (46 φυτά/m², 76 φυτά/m²). (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των 3 διαφορετικών ετών με τις τιμές σε κάθε επέμβαση λίπανσης από έτος σε έτος να μην παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 15**. Όπου η μεγαλύτερη τιμή καταγράφηκε στην ουρία με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης κατά το 3ο έτος (4,48), και η μικρότερη στον μάρτυρα κατά το 2ο πειραματικό έτος (4,34).



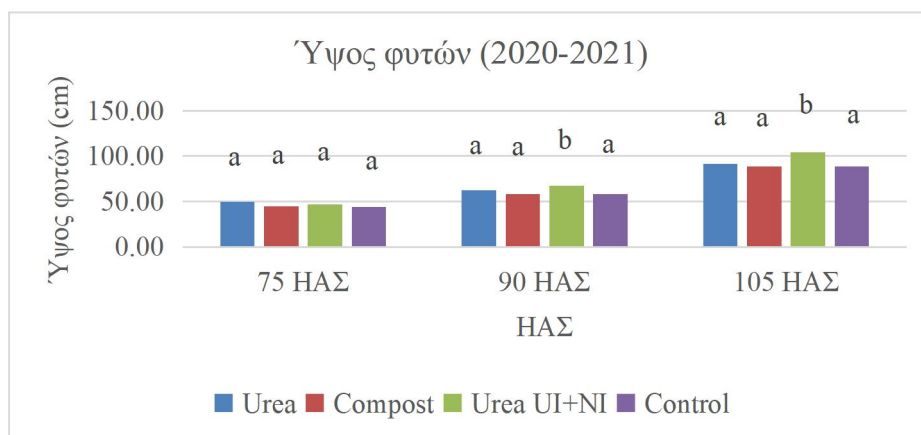
Διάγραμμα 15: Μέσος όρος (χαμηλή και υψηλή πυκνότητα) Δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI, Leaf Area Index) κατά τα τρία πειραματικά έτη. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Παρακάτω στο **Διάγραμμα 16** απεικονίζεται το ύψος των φυτών στις 70, 85 και 100 ΗΑΣ στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης. Παρατηρείται αυξητική τάση από τις 70 ΗΑΣ νέχρι τις 100 ΗΑΣ. Στις 100 ΗΑΣ δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας ,του κομπόστ και της ουρίας με παρεμποδιστές, η μικρότερη τιμή ήταν 26 cm στον μάρτυρα. Στις 85 ΗΑΣ, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας με και χωρίς παρεμποδιστές, αλλά ούτε και μεταξύ του μάρτυρα με το κομπόστ, με την υψηλότερη τιμή να είναι 59 cm στην ουρία με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης και η χαμηλότερη να είναι 43,75 cm στον μάρτυρα. Τέλος στις 100 ΗΑΣ δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ 5των επεμβάσεων.



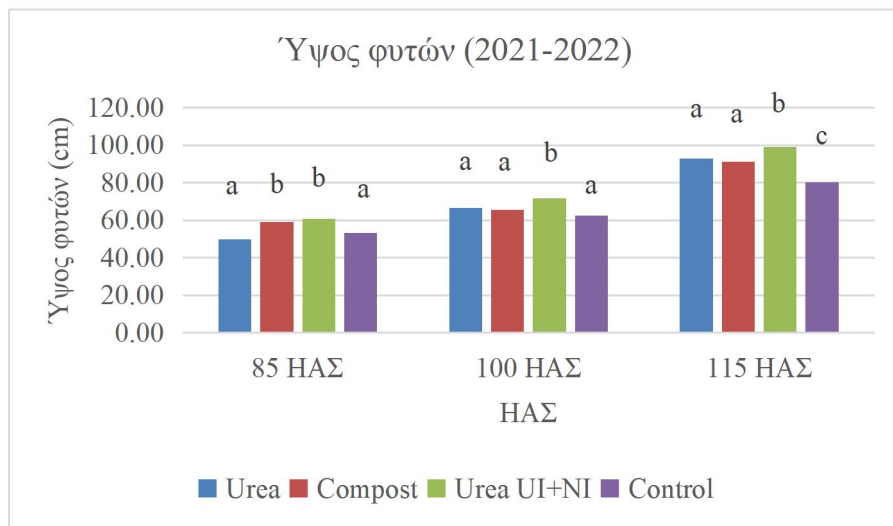
Διάγραμμα 16: Ύψος φυτών κατά το πρώτο καλλιεργητικό έτος στις 70 ΗΑΣ, 85 ΗΑΣ και 100 ΗΑΣ. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο *Διάγραμμα 17* παρουσιάζεται το ύψος των φυτών στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης στις 75 ΗΑΣ, 90 ΗΑΣ και 105 ΗΑΣ. Στις 75 ΗΑΣ δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων, στις 90 ΗΑΣ δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας, του κομπόστ και του μάρτυρα, με την υψηλότερη τιμή να σημειώνεται στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης (67,67 cm) και την μικρότερη στον μάρτυρα η οποία ήταν 58,33 cm. Στις 105 ΗΑΣ, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας, του κόμποστ και του μάρτυρα . Με την μεγαλύτερη τιμή να καταγράφεται στην ουρία με παρεμποδιστές 104,08 cm και την μικρότερη στον μάρτυρα 88,42 cm.



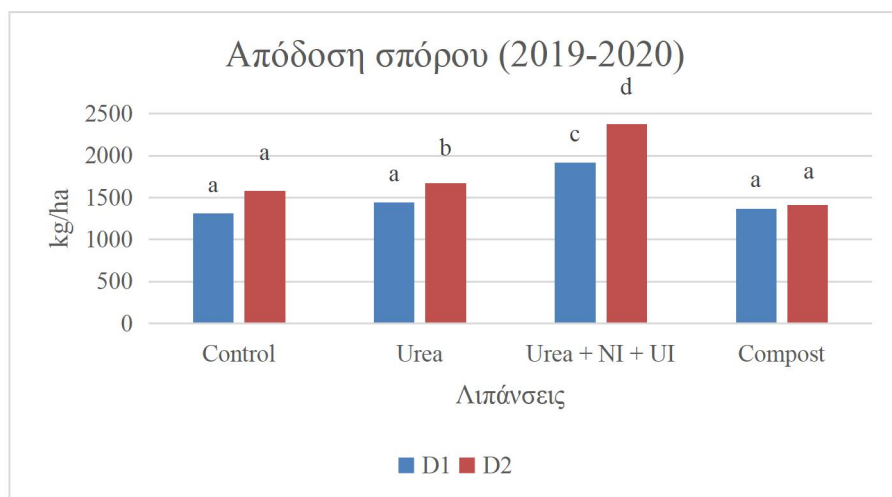
Διάγραμμα 17: Ύψος φυτών κατά το δεύτερο καλλιεργητικό έτος στις 75 ΗΑΣ, 90 ΗΑΣ και 105 ΗΑΣ. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο 3ο καλλιεργητικό έτος (2021-2022), στο ύψος των φυτών στις 85 ΗΑΣ, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας και του μάρτυρα, καθώς ούτε μεταξύ του κομπόστ και της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 18**. Στις 100 ΗΑΣ, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας, του κομπόστ και του μάρτυρα, με την υψηλότερη τιμή να καταγράφεται στην ουρία με παρεμποδιστές (71,73 cm), ενώ η χαμηλότερη στον μάρτυρα (62,59 cm). Στις 115 ΗΑΣ, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας και του κομπόστ. Ενώ οι τιμές κυμάνθηκαν στην ουρία 93 cm, στο κομπόστ 91,25 cm, στην ουρία με παρεμποδιστές 98,87 cm και στον μάρτυρα 80,38 cm.



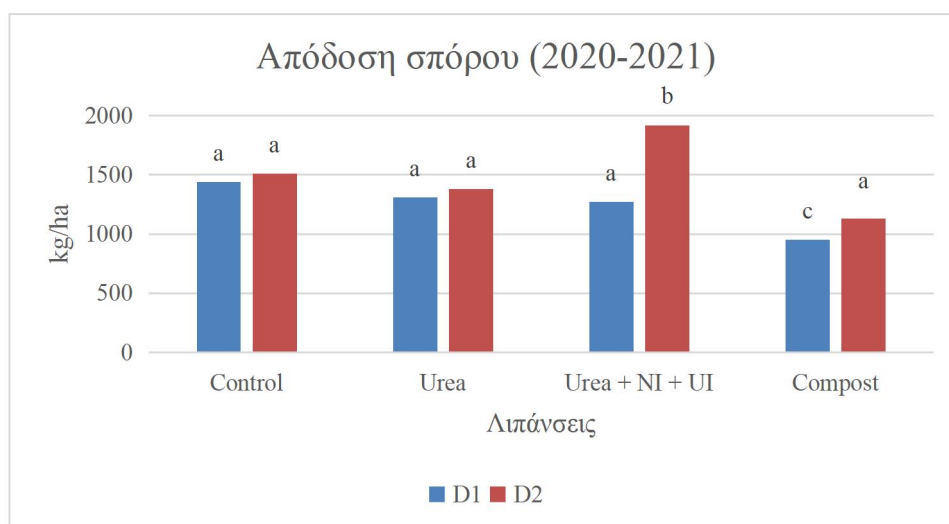
Διάγραμμα 18: Ύψος φυτών κατά το τρίτο καλλιεργητικό έτος στις 85 ΗΑΣ, 100 ΗΑΣ και 115 ΗΑΣ. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο **Διάγραμμα 19**, παρουσιάζεται η απόδοση σε κάθε επέμβαση λίπανσης αλλά και σε κάθε διαφορετική πυκνότητα σποράς κατά το έτος 2019-2020. Υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων και των λιπάνσεων. Μεγαλύτερες αποδόσεις σπόρου υπήρξαν στην χαμηλή πυκνότητα σποράς με την υψηλότερη να αγγίζει τα 2380 kg ha⁻¹ στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης. Ενώ, η μικρότερη απόδοση ήταν 1310 kg ha⁻¹ στον μάρτυρα στην υψηλή πυκνότητα σποράς.



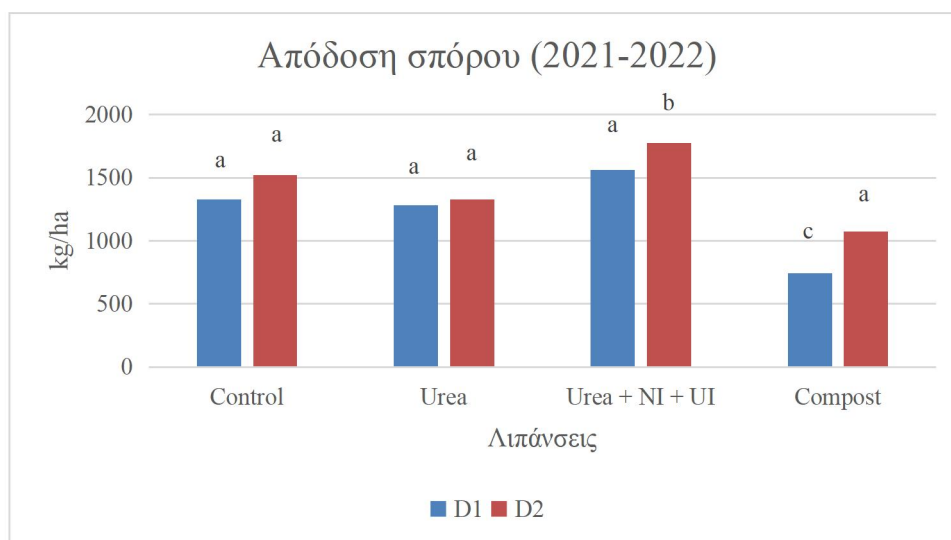
Διάγραμμα 19: Απόδοση σπόρου κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020, στις διαφορετικές λιπάνσεις και πυκνότητες σποράς, (D1=76 φυτά/m², D2=46 φυτά/m²,) (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο παρακάτω **Διάγραμμα 20** δίνονται οι αποδόσεις σπόρου κατά το 2ο πειραματικό έτος (2020-2021), όπου υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων της λίπανσης καθώς και των διαφορετικών πυκνοτήτων σποράς. Μεγαλύτερες αποδόσεις σπόρου καταγράφηκαν στην χαμηλή πυκνότητα φυτών, με υψηλότερη την απόδοση των 1920 kg ha⁻¹ στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές και την μικρότερη απόδοση στο κομπόστ στην υψηλή πυκνότητα σποράς (950 kg ha⁻¹).



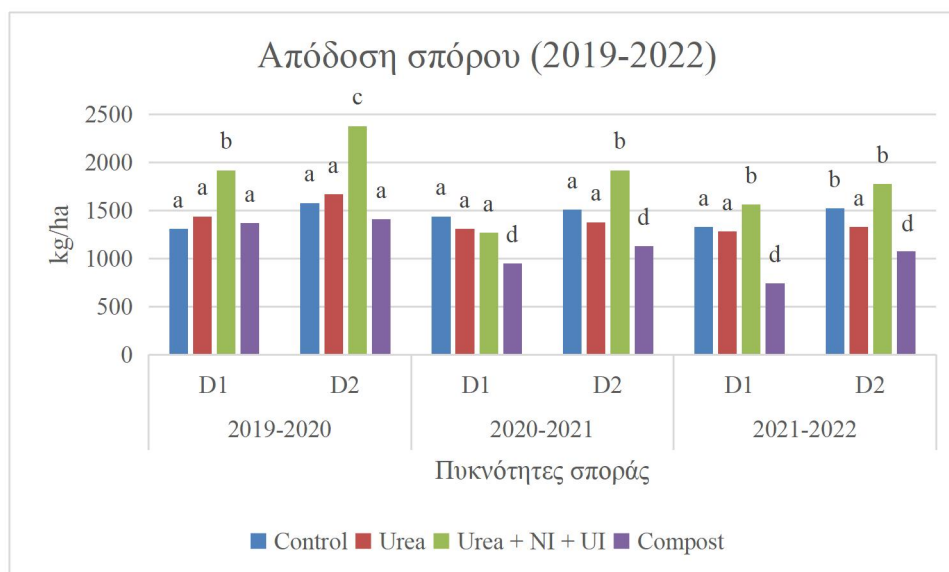
Διάγραμμα 20: Απόδοση σπόρου κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021, στις διαφορετικές λιπάνσεις και πυκνότητες σποράς, (D1=76 φυτά/m², D2=46 φυτά/m²,) (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο **Διάγραμμα 21** απεικονίζονται οι αποδόσεις σπόρου κατά το 3ο καλλιεργητικό έτος (2021-2022), όπου υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων της λίπανσης καθώς και των διαφορετικών πυκνοτήτων σποράς. Μεγαλύτερες αποδόσεις σπόρου καταγράφηκαν στην χαμηλή πυκνότητα φυτών, με υψηλότερη την απόδοση των 1775 kg ha⁻¹ στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές και την μικρότερη απόδοση στο κομπόστ στην υψηλή πυκνότητα σποράς (744 kg ha⁻¹).



Διάγραμμα 21: Απόδοση σπόρου κατά το καλλιεργητικό έτος 2021-2022, στις διαφορετικές λιπάνσεις και πυκνότητες σποράς, (D1=76 φυτά/m², D2=46 φυτά/m²,) (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Τέλος στο **Διάγραμμα 22**, παρουσιάζονται οι αποδόσεις σπόρου και των τριών ετών (2019-2022). Παρατηρούμε ότι σε όλα τα καλλιεργητικά έτη μεγαλύτερες αποδόσεις σπόρου καταγράφηκαν στην χαμηλή πυκνότητα φυτών συγκριτικά με την υψηλή πυκνότητα σποράς. Η επέμβαση του κομπόστ είχε τις μικρότερες αποδόσεις συγκριτικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις, ενώ η ουρία με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης είχε τις μεγαλύτερες αποδόσεις, η ουρία είχε υψηλότερες αποδόσεις από το κομπόστ αλλά χαμηλότερες από την ουρία με παρεμποδιστές.



Διάγραμμα 22: Απόδοση σπόρου και στα τρία πειραματικά έτη (2019-2020, 2020-2021, 2021-2022), στις διαφορετικές λιπάνσεις και πυκνότητες σποράς, (D1=76 φυτά/m², D2=46 φυτά/m²,) (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$).

4.2 Δείκτες

Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα όσον αφορά τους δείκτες που υπολογίστηκαν για όλα τα καλλιεργητικά έτη (2019-2020, 2020-2021, 2021-2022).

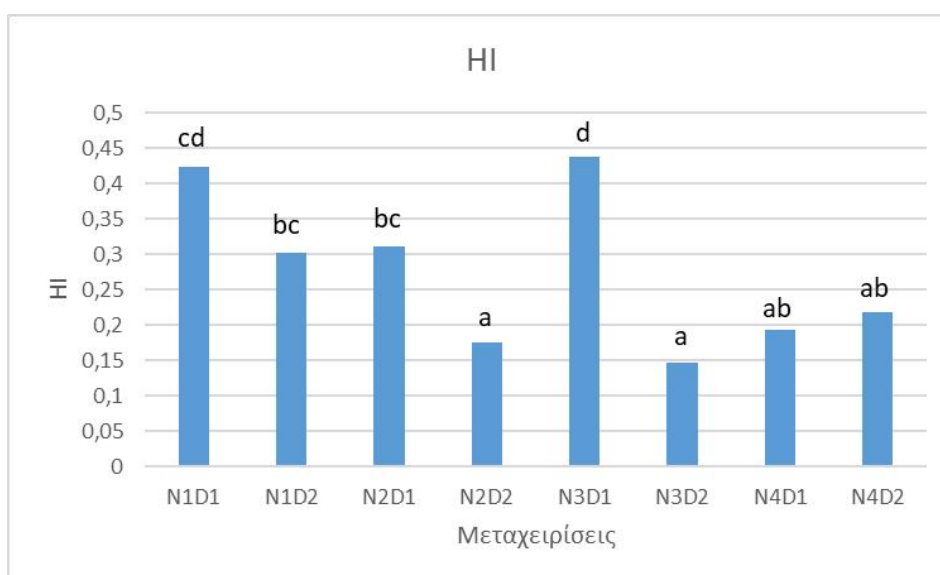
4.2.1 Δείκτης συγκομιδής (Harvest Index - HI)

4.2.1.1 2019-2020

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 16** κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020, οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, οι πυκνότητες σποράς καθώς και η αλληλεπίδραση αυτών επέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη συγκομιδής (HI).

Πίνακας 16. Ανάλυση διασποράς του δείκτη συγκομιδής για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Treatment	0,0829133	3	0,0276378	5,40	0,0092
B:Density	0,103033	1	0,103033	20,14	0,0004
INTERACTIONS					
AB	0,0752715	3	0,0250905	4,90	0,0133
RESIDUAL	0,0818547	16	0,00511592		
TOTAL (CORRECTED)	0,343073	23			



Διάγραμμα 23: Επίδραση του δείκτη συγκομιδής (HI), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

(Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ. και N4= Μάρτυρας), (D1=46 φυτά/m², D2=76 φυτά/m²)

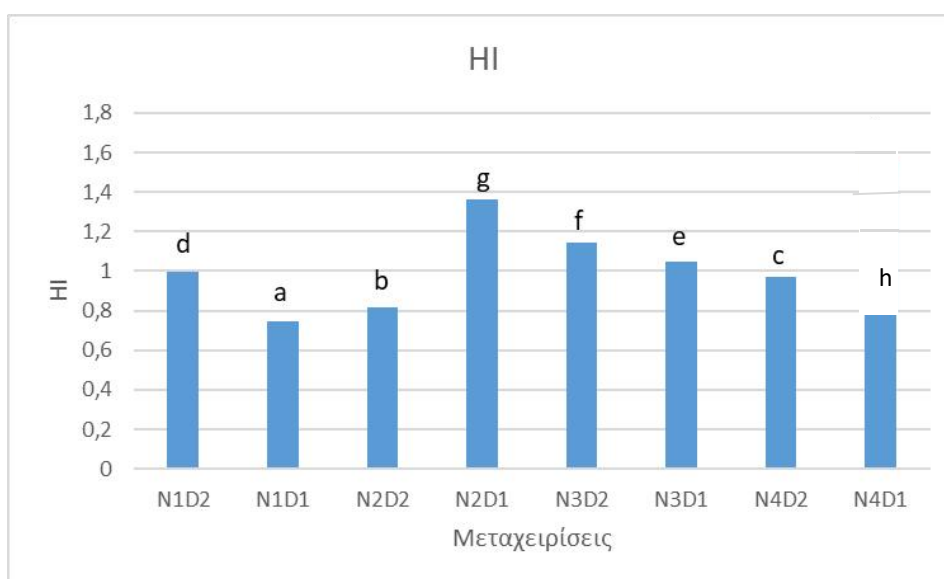
Ο δείκτης συγκομιδής κατά το πρώτο έτος (2019-2020) στην υψηλή πυκνότητα σποράς όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 23) εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις αλληλεπιδράσεις των μεταχειρίσεων, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. Όπου η υψηλότερη τιμή (0,44) καταγράφηκε στην ουρία με αναστολείς στην χαμηλή πυκνότητα σποράς. Η επέμβαση με κομπόστ στην υψηλή πυκνότητα φυτών δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά με την ουρία με αναστολείς στην υψηλή πυκνότητα σποράς όπου σημειώθηκαν οι χαμηλότερες τιμές (0,18 και 0,15 αντίστοιχα).

4.2.1.2 2020-2021

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 17** κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021, οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, οι πυκνότητες σποράς καθώς και η αλληλεπίδραση αυτών επέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη συγκομιδής (HI).

Πίνακας 17. Ανάλυση διασποράς του δείκτη συγκομιδής για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:A.Treatment	0,466341	3	0,155447	148,72	0,0000
B:Density	0,240911	1	0,240911	230,48	0,0000
INTERACTIONS					
AB	0,843017	3	0,281006	268,84	0,0000
RESIDUAL	0,0167238	16	0,00104524		
TOTAL (CORRECTED)	1,56699	23			



Διάγραμμα 24: Επίδραση του δείκτη συγκομιδής (HI), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ. και N4= Μάρτυρας), (D1= 46 φυτά/m², D2=76 φυτά/m²)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω **Διάγραμμα 24**, ο δείκτης συγκομιδής κατά το δεύτερο καλλιεργητικό έτος υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των αλληλεπιδράσεων

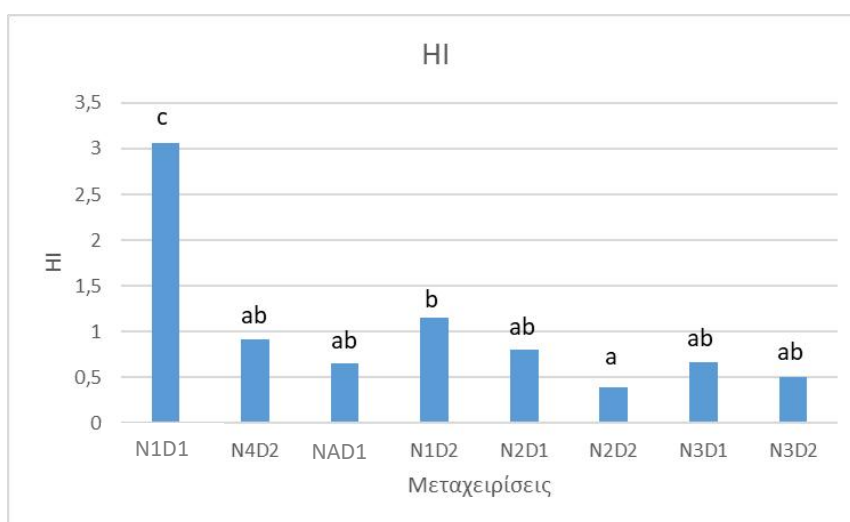
των μεταχειρίσεων. Ειδικότερα η μεγαλύτερη τιμή (1,4) καταγράφηκε στο κομπόστ στην χαμηλή πυκνότητα σποράς, και η χαμηλότερη (0,7) στην ουρία στην χαμηλή πυκνότητα σποράς.

4.2.1.3 2021-2022

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 18** κατά το καλλιεργητικό έτος 2021-2022, οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, οι πυκνότητες σποράς καθώς και η αλληλεπίδραση αυτών επέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη συγκομιδής (HI).

Πίνακας 18. Ανάλυση διασποράς του δείκτη συγκομιδής για την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022 , με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Treatment	7,10162	3	2,36721	10,49	0,0005
B:Density	1,31013	1	1,31013	5,80	0,0284
INTERACTIONS					
AB	6,32244	3	2,10748	9,34	0,0008
RESIDUAL	3,61114	16	0,225697		
TOTAL (CORRECTED)	18,3453	23			



Διάγραμμα 25: Επίδραση του δείκτη συγκομιδής (HI), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2021-2022. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ. και N4= Μάρτυρας), (D1= 46 φυτά/m², D2=76 φυτά/m²)

Ο δείκτης συγκομιδής κατά το τρίτο έτος (2021-2022) όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (*Διάγραμμα 25*) εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, στις αλληλεπιδράσεις των μεταχειρίσεων σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. Με την μεγαλύτερη τιμή (3) να σημειώνεται στην ουρία στην χαμηλή πυκνότητα σποράς.

4.2.2 Δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (*Nitrogen Utilization Efficiency-NUtE*)

4.2.2.1 2019-2020

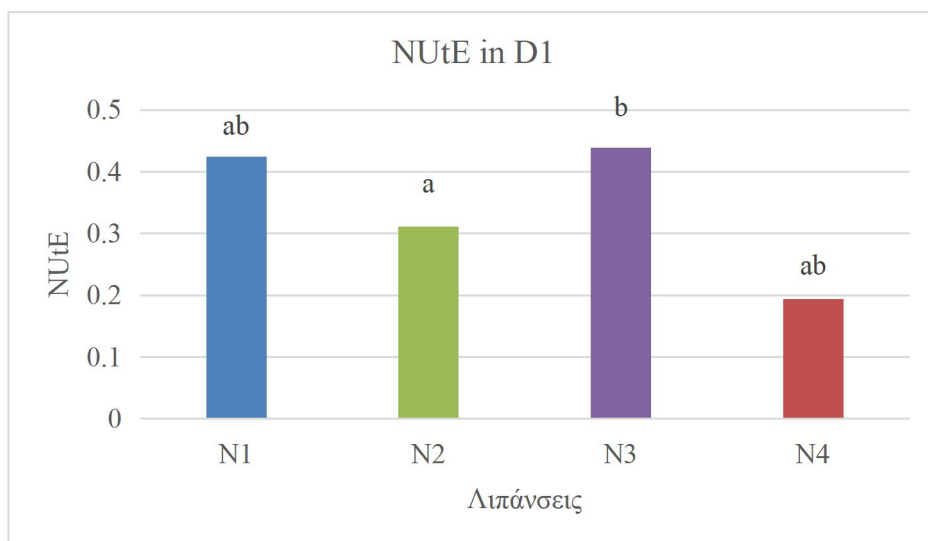
Όπως φαίνεται στον *Πίνακα 19* κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020, μόνο οι διαφορετικές πυκνότητες σποράς επέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (NUtE).

Πίνακας 19. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (*Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές*).

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:Treatment	0,00371744	3	0,00123915	1,83	0,1831
B:Density	0,00706603	1	0,00706603	10,41	0,0053
INTERACTIONS					
AB	0,00570821	3	0,00190274	2,80	0,0733
RESIDUAL	0,0108589	16	0,000678683		
TOTAL (CORRECTED)	0,0289914	23			

Πίνακας 20. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην υψηλή πυκνότητα σποράς ($D1=76$ φυτά/ m^2) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (*Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές*).

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Between groups	0,00643802	3	0,00214601	2,58	0,1260
Within groups	0,00664682	8	0,000830853		
Total (Corr.)	0,0130848	11			

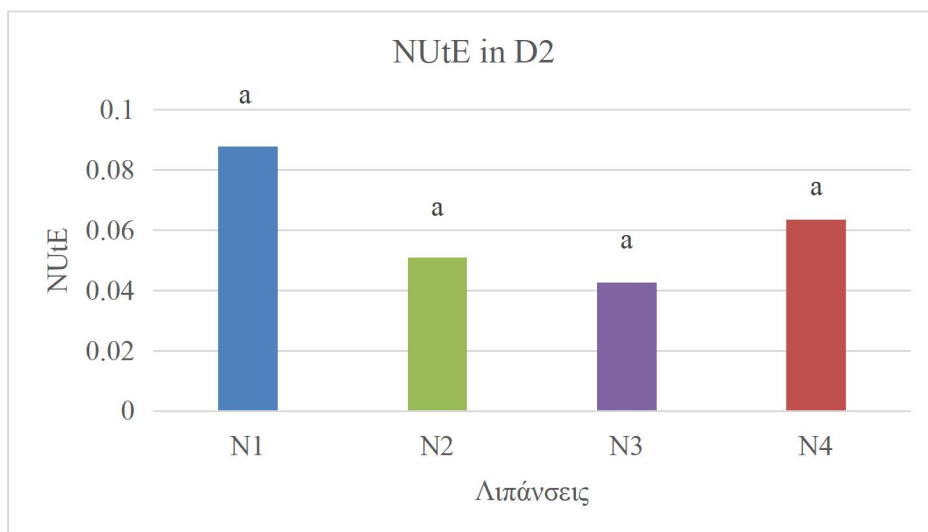


Διάγραμμα 26: Επίδραση του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (NUtE), από την πυκνότητα σποράς D1= 76 φυτά/m² στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης το έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ. και N4= Μάρτυρας)

Ο δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου κατά το πρώτο έτος (2019-2020) στην υψηλή πυκνότητα σποράς D1= 76 φυτά/m² όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (**Διάγραμμα 26**) εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, στις διαφορετικές λιπάνσεις με την υψηλότερη τιμή να καταγράφεται στην ουρία με παρεμποδιστές (0,43) και την χαμηλότερη στον μάρτυρα (0,19) , σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$.

Πίνακας 21. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην χαμηλή πυκνότητα σποράς (D2=46 φυτά/m²) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,00298763	3	0,000995878	1,89	0,2095
Within groups	0,0042121	8	0,000526512		
Total (Corr.)	0,00719973	11			



Διάγραμμα 27: Επίδραση του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (NUtE), από την πυκνότητα σποράς D2= 46 φυτά/m² στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης το έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ. και N4= Μάρτυρας)

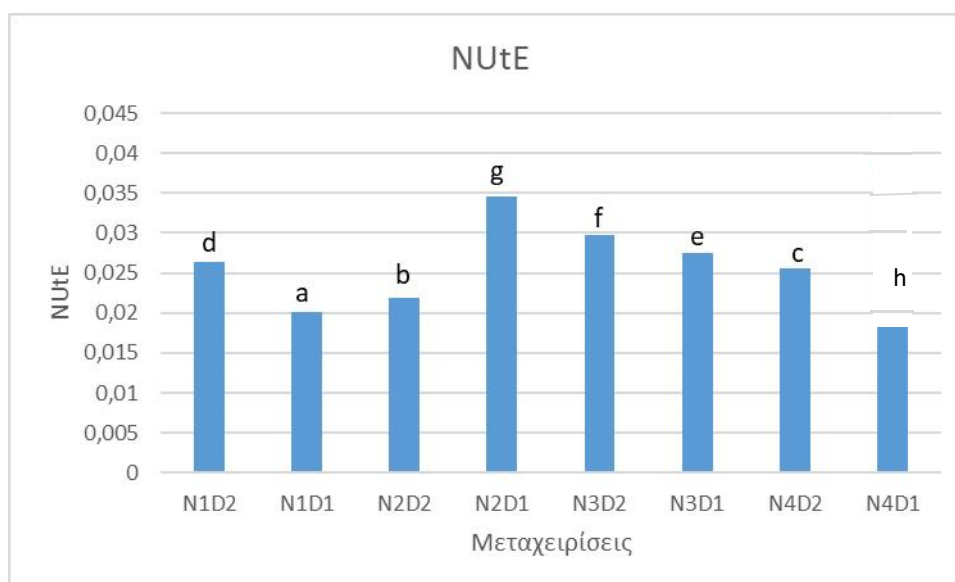
Ο δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου κατά το πρώτο έτος (2019-2020) στην χαμηλή πυκνότητα σποράς D2= 46 φυτά/m² όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (**Διάγραμμα 27**) δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, στις διαφορετικές λιπάνσεις με τις τιμές να κυμαίνονται 0,08 στην ουρία, 0,05 στο κομπόστ, 0,04 στην ουρία με παρεμποδιστές και 0,06 στον μάρτυρα , σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$.

4.2.2.2 2020-2021

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 22** κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021, οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, πυκνότητες σποράς, καθώς και η αλληλεπίδραση αυτών επέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (NUtE).

Πίνακας 22. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:A.Treatment	0,000248411	3	0,0000828035	19,46	0,0000
B:Density	0,000116723	1	0,000116723	27,43	0,0001
INTERACTIONS					
AB	0,000460133	3	0,000153378	36,05	0,0000
RESIDUAL	0,00006808	16	0,000004255		
TOTAL (CORRECTED)	0,000893346	23			



Διάγραμμα 28: Επίδραση του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (NUE), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου NI= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ. και N4= Μάρτυρας), (D1= 46 φυτά/m², D2=76 φυτά/m²)

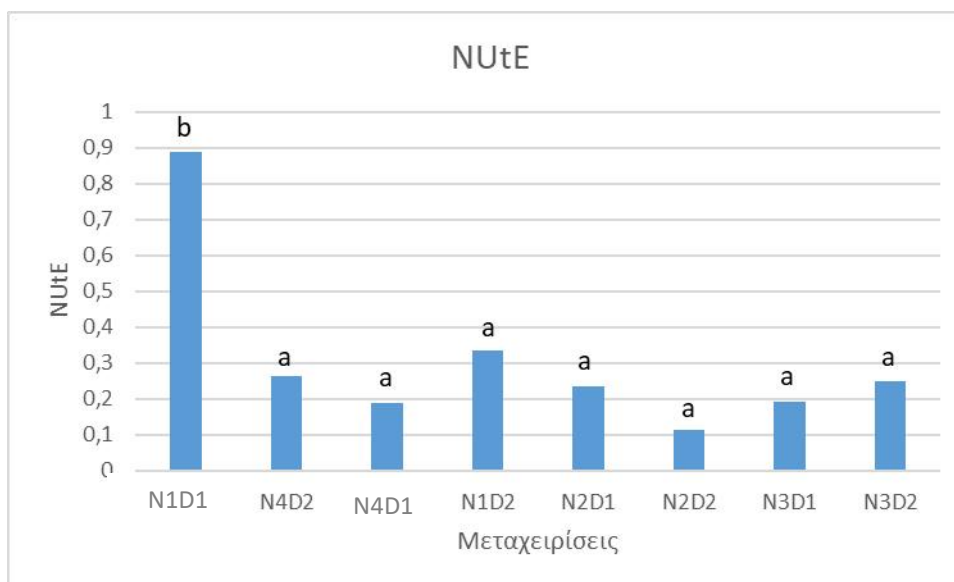
Ο δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου κατά το δεύτερο έτος (2020-2021), όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 28) εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, στις διαφορετικές μεταχειρίσεις με την υψηλότερη τιμή να καταγράφεται στο κομπόστ (0,035) στην χαμηλή πυκνότητα σποράς και η χαμηλότερη στον μάρτυρα (0,02) στην χαμηλή πυκνότητα σποράς, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$.

4.2.2.3 2021-2022

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 23** κατά το καλλιεργητικό έτος 2021-2022, οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, πυκνότητες σποράς, καθώς και η αλληλεπίδραση αυτών επέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (NUE).

Πίνακας 23. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές).

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Treatment	0,600123	3	0,200041	10,49	0,0005
B:Density	0,110713	1	0,110713	5,80	0,0284
INTERACTIONS					
AB	0,534279	3	0,178093	9,34	0,0008
RESIDUAL	0,30516	16	0,0190725		
TOTAL (CORRECTED)	1,55027	23			



Διάγραμμα 29: Επίδραση του δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (NUE), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2021-2022. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ. και N4= Μάρτυρας), (D1= 46 φυτό/μ², D2=76 φυτό/μ²)

Ο δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου κατά το τρίτο έτος (2021-2022), όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (*Διάγραμμα 29*) εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, στις διαφορετικές μεταχειρίσεις με την υψηλότερη τιμή να καταγράφεται στην ουρία (0,9) στην χαμηλή πυκνότητα φυτών και την χαμηλότερη στον μάρτυρα (0,18) στην χαμηλή πυκνότητα σποράς, σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$.

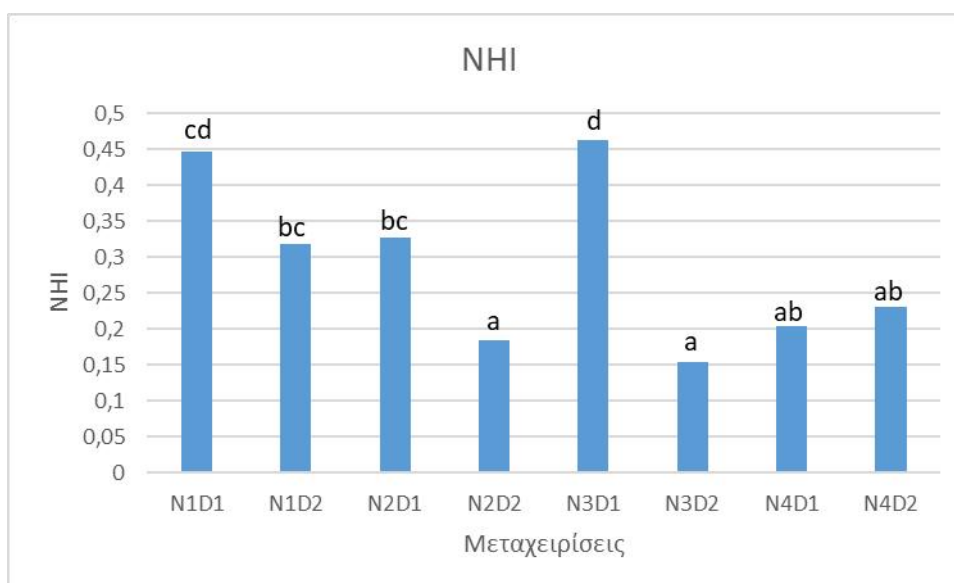
4.2.3 Δείκτης συγκομιδής αζώτου (*Nitrogen Harvest Index - NHI*)

4.2.3.1 2019-2020

Όπως φαίνεται στον *Πίνακα 24* κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020, οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, πυκνότητες σποράς, καθώς και η αλληλεπίδραση αυτών επέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη συγκομιδής αζώτου (NHI).

Πίνακας 24. Ανάλυση διασποράς του δείκτη συγκομιδής αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:Treatment	0,0923253	3	0,0307751	5,40	0,0092
B:Density	0,114729	1	0,114729	20,14	0,0004
INTERACTIONS					
AB	0,083816	3	0,0279387	4,90	0,0133
RESIDUAL	0,0911465	16	0,00569666		
TOTAL (CORRECTED)	0,382017	23			



Διάγραμμα 30: Επίδραση του δείκτη συγκομιδής αζώτου (NHI), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ. και N4= Μάρτυρας), (D1= 46 φυτά/m², D2=76 φυτά/m²)

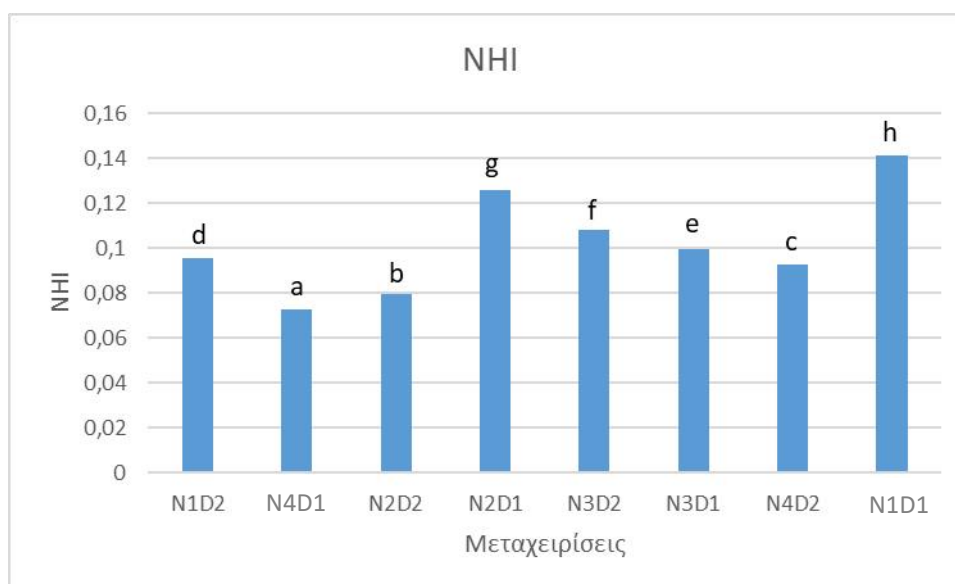
Ο δείκτης συγκομιδής αζώτου κατά το πρώτο έτος (2019-2020) όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (**Διάγραμμα 30**) εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, στις αλληλεπιδράσεις των διαφορετικών μεταχειρίσεων, με την μεγαλύτερη τιμή (0,45) να σημειώνεται στην ουρία με αναστολείς στην χαμηλή πυκνότητα φυτών, και την μικρότερη τιμή (0,15) στην ουρία με αναστολείς στην υψηλή πυκνότητα σποράς σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$.

4.2.3.2 2020-2021

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 25** κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021, οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, πυκνότητες σποράς, καθώς και η αλληλεπίδραση αυτών επέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη συγκομιδής αζώτου (NHI).

Πίνακας 25. Ανάλυση διασποράς του δείκτη συγκομιδής αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:A.Treatment	0,00244989	3	0,000816629	6,45	0,0045
B:Density	0,00204119	1	0,00204119	16,13	0,0010
INTERACTIONS					
AB	0,00718406	3	0,00239469	18,93	0,0000
RESIDUAL	0,00202428	16	0,000126518		
TOTAL (CORRECTED)	0,0136994	23			



Διάγραμμα 31: Επίδραση του δείκτη συγκομιδής αζώτου (NHI), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ. και N4= Μάρτυρας), (D1= 46 φυτά/m², D2=76 φυτά/m²)

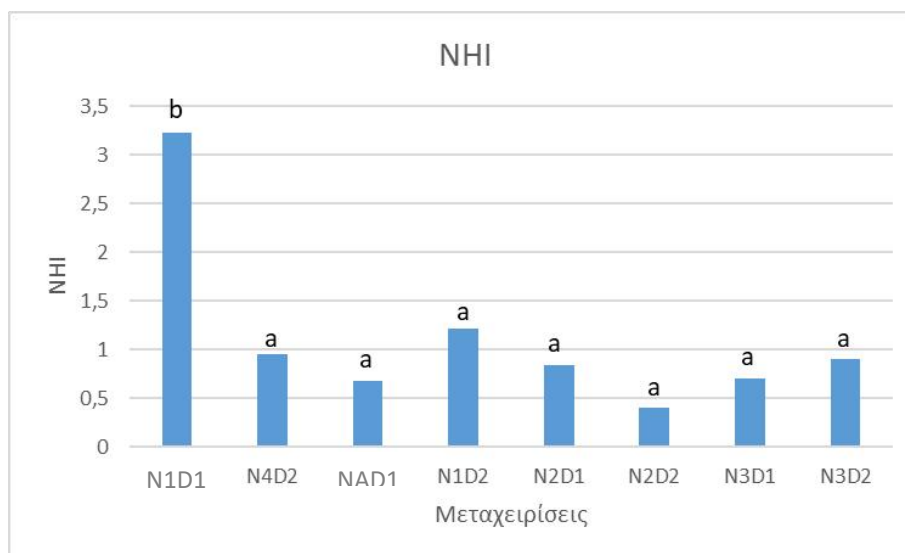
Ο δείκτης συγκομιδής αζώτου κατά το δεύτερο έτος (2020-2021), όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (**Διάγραμμα 31**) εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, στις αλληλεπιδράσεις των διαφορετικών μεταχειρίσεων σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. Η υψηλότερη τιμή (0,14) σημειώθηκε στην ουρία στην χαμηλή πυκνότητα σποράς, ενώ η μικρότερη τιμή (0,07) στον μάρτυρα στην χαμηλή πυκνότητα σποράς.

4.2.3.3 2021-2022

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 26** κατά το καλλιεργητικό έτος 2021-2022, οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, πυκνότητες σποράς, καθώς και η αλληλεπίδραση αυτών επέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη συγκομιδής αζώτου (NHI).

Πίνακας 26. Ανάλυση διασποράς του δείκτη συγκομιδής αζώτου για την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Treatment	7,90777	3	2,63592	10,49	0,0005
B:Density	1,45885	1	1,45885	5,80	0,0284
INTERACTIONS					
AB	7,04014	3	2,34671	9,34	0,0008
RESIDUAL	4,02107	16	0,251317		
TOTAL (CORRECTED)	20,4278	23			



Διάγραμμα 32: Επίδραση του δείκτη συγκομιδής αζώτου (NHI), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2021-2022. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$).

(Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ. και N4= Μάρτυρας), (D1= 46 φυτά/m², D2=76 φυτά/m²)

Ο δείκτης συγκομιδής αζώτου κατά το τρίτο καλλιεργητικό έτος (2021-2022), όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (*Διάγραμμα 32*) δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, στις αλληλεπιδράσεις των διαφορετικών μεταχειρίσεων σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$, εκτός από την μεταχείριση της ουρίας στην χαμηλή πυκνότητα σποράς όπου είχε στατιστικά σημαντική διαφορά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

4.2.4 Αζωτούχος γεωργική αποτελεσματικότητα (Nitrogen Agronomic Efficiency - NAE)

4.2.4.1 2019-2020

Όπως φαίνεται στον *Πίνακα 27* κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020, οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης και πυκνότητες σποράς, επέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη της αζωτούχος γεωργική αποτελεσματικότητα (NAE).

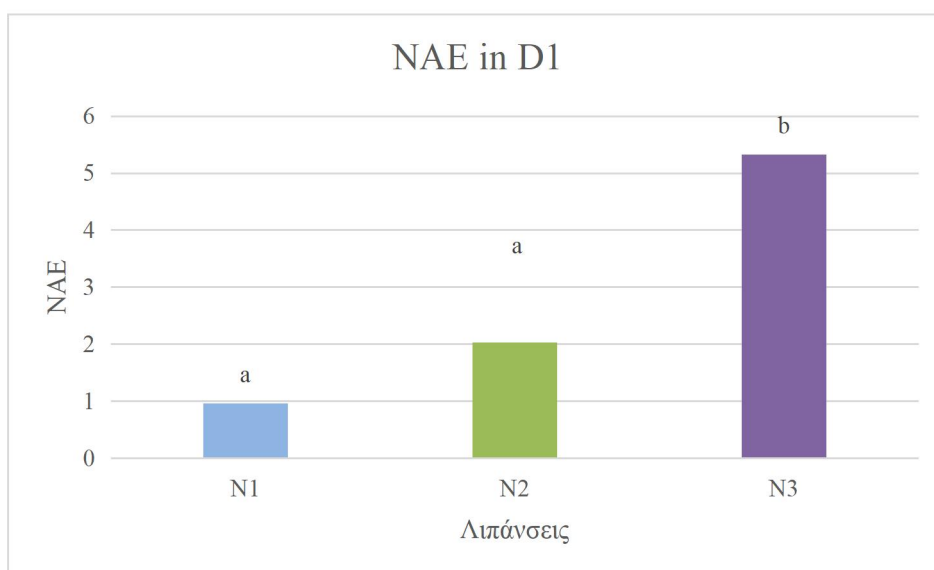
Πίνακας 27. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:Treatment	75,9392	2	37,9696	26,67	0,0000
B:Density	84,8408	1	84,8408	59,58	0,0000
INTERACTIONS					
AB	1,40664	2	0,703319	0,49	0,6221
RESIDUAL	17,0865	12	1,42387		
TOTAL (CORRECTED)	179,273	17			

Πίνακας 28. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην υψηλή πυκνότητα σποράς (D1=76 φυτά/m²) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	30,9391	2	15,4696	12,74	0,0069
Within groups	7,28442	6	1,21407		
Total (Corr.)	38,2235	8			

Όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 33** κατά το πρώτο πειραματικό έτος (2019-2020), η επίδραση της υψηλής πυκνότητας σποράς στον δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας παρουσίασε μεγαλύτερη τιμή στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης (5,32 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος), ενώ η ουρία με το κομπόστ δεν είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους με τιμές 0,96 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος και 2,033 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος, αντίστοιχα.

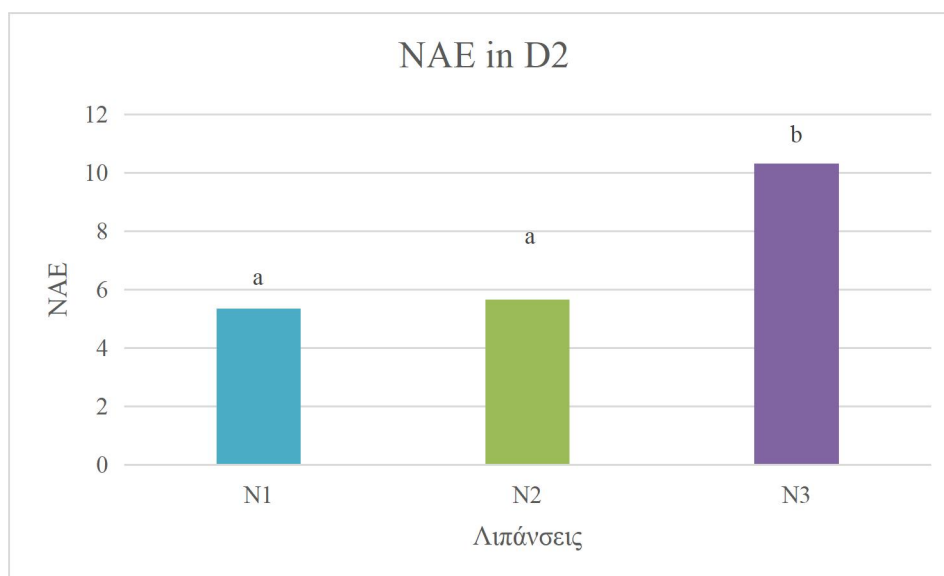


Διάγραμμα 33: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την πυκνότητα σποράς D1= 76 φυτά/m² στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης το έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ.)

Πίνακας 29. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην χαμηλή πυκνότητα σποράς (D2=46 φυτά/m²) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	46,4067	2	23,2034	14,20	0,0053
Within groups	9,80207	6	1,63368		
Total (Corr.)	56,2088	8			

Όσον αφορά την επίδραση της χαμηλής πυκνότητας σποράς (46 φυτά m⁻²), στον NAE στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης (**Διάγραμμα 34**), δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας (N1) και του κομπόστ (N2), ενώ η εφαρμογή ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης παρουσίασε την υψηλότερη τιμή (10,32 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος), η οποία ήταν διπλάσια από τις τιμές της ουρίας και του κομπόστ 5,35 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος και 5,66 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος, αντίστοιχα.

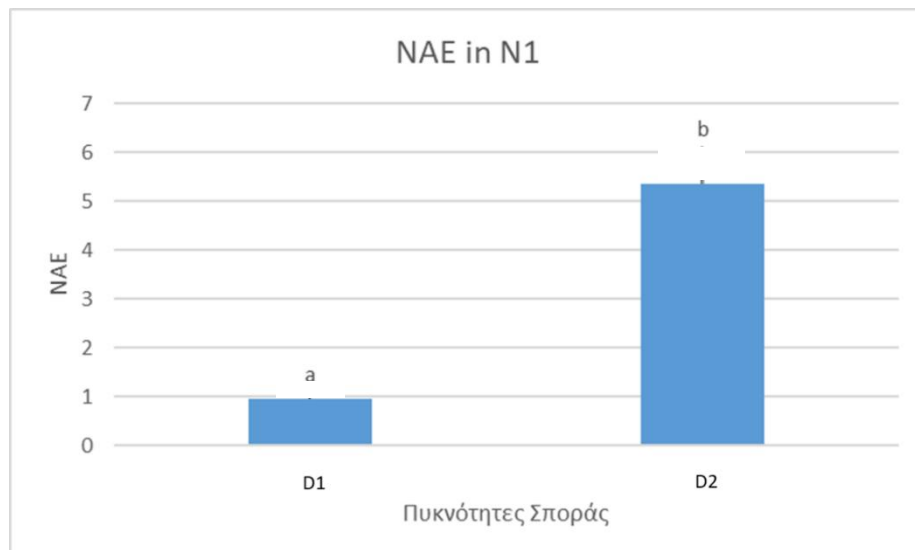


Διάγραμμα 34: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την πυκνότητα σποράς D2= 46 φυτά/m² στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης το έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ.)

Πίνακας 30. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην επέμβαση της ουρίας στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	28,9458	1	28,9458	52,47	0,0019
Within groups	2,20663	4	0,551658		
Total (Corr.)	31,1524	5			

Στο **Διάγραμμα 35** απεικονίζεται η επίδραση του NAE στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς στην επέμβαση της ουρίας. Υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των πυκνοτήτων σποράς όπου στην χαμηλή πυκνότητα φυτών καταγράφηκε η υψηλότερη τιμή η οποία ήταν πενταπλάσια της υψηλής πυκνότητας σποράς, 5,35 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος και 0,96 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος αντίστοιχα.

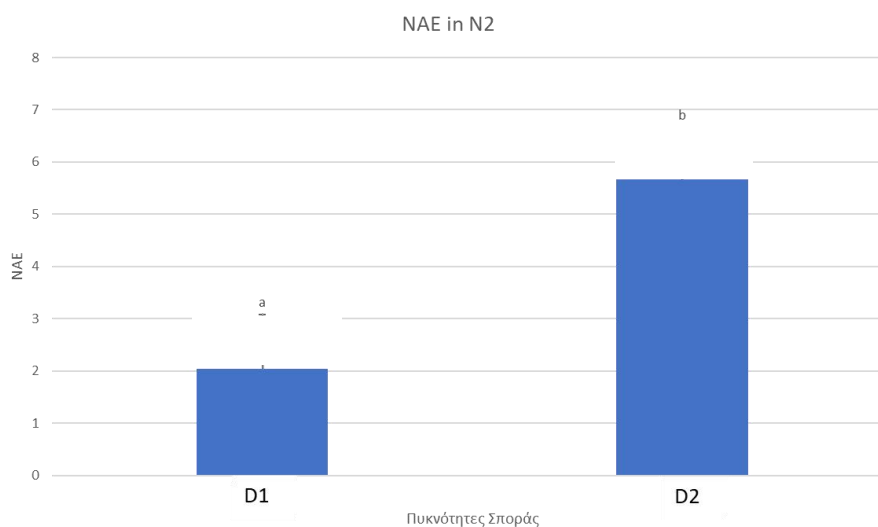


Διάγραμμα 35: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την εφαρμογή λιπάσματος με ουρία στις δύο διαφορετικές πυκνότητες, D1= 76 φυτά/m², D2= 46 φυτά/m² το έτος 2019-2020 .(Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου NI= Ουρία)

Πίνακας 31. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην επέμβαση του κομπόστ στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	19,8017	1	19,8017	5,84	0,00730
Within groups	13,5533	4	3,38833		
Total (Corr.)	33,355	5			

Όσον αφορά την εφαρμογή του κομπόστ κατά το 1ο καλλιεργητικό έτος (2019-2020), στο **Διάγραμμα 36**, φαίνεται ότι υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών πυκνοτήτων σποράς, όπου στην χαμηλή πυκνότητα φυτών καταγράφηκε η μεγαλύτερη τιμή (5,67 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος), ενώ στην υψηλή πυκνότητα σποράς (2,03 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος).

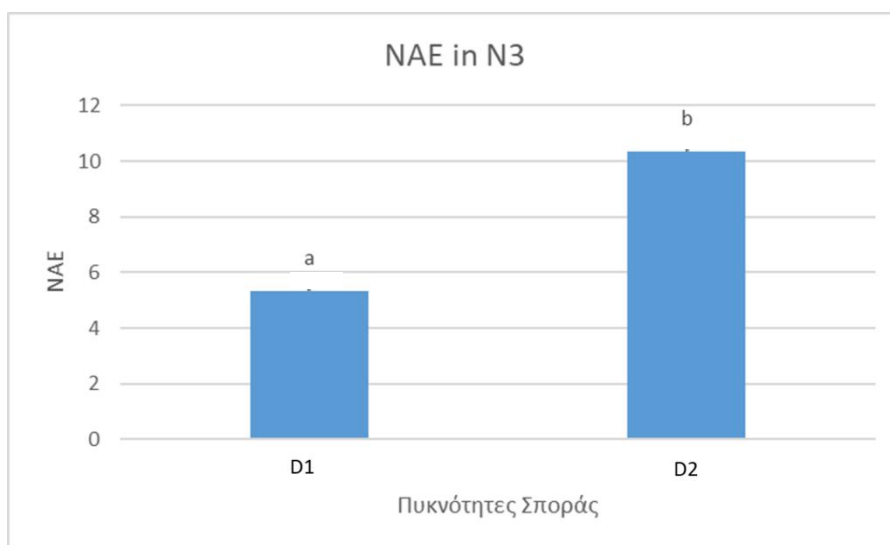


Διάγραμμα 36: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την εφαρμογή λιπάσματος με κομπόστ στις δύο διαφορετικές πυκνότητες, D1= 76 φυτά/m², D2= 46 φυτά/m² το έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N2= Κομπόστ)

Πίνακας 32. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020, στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	37,5	1	37,5	113,08	0,0004
Within groups	1,32653	4	0,331633		
Total (Corr.)	38,8265	5			

Στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης (**Διάγραμμα 37**), υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών πυκνοτήτων σποράς, όπου η υψηλότερη τιμή ήταν 10,32 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος στην χαμηλή πυκνότητα σποράς πενταπλάσια τιμή συγκριτικά με αυτή της υψηλής πυκνότητας σποράς όπου ήταν 5,32 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος.



Διάγραμμα 37: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την εφαρμογή λιπάσματος ουρίας με παρεμποδιστές στις δύο διαφορετικές πυκνότητες, D1= 76 φυτά/m², D2= 46 φυτά/m² το έτος 2019-2020 .(Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N3= Ουρία με παρεμπ.)

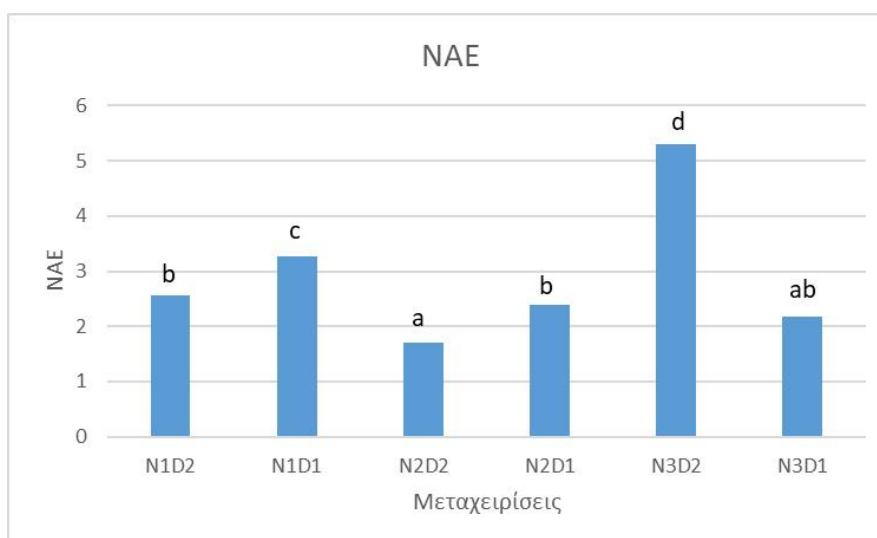
4.2.4.2 2020-2021

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 33** κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021, οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, οι πυκνότητες σποράς καθώς και η αλληλεπίδραση αυτών, επέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη της αζωτούχος γεωργική αποτελεσματικότητα (NAE).

Πίνακας 33. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2020-2021, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:A.Treatment	8,50333	2	4,25167	43,46	0,0000
B:Density	1,50222	1	1,50222	15,36	0,0020
INTERACTIONS					
AB	14,6944	2	7,34722	75,11	0,0000
RESIDUAL	1,17387	12	0,0978222		
TOTAL (CORRECTED)	25,8739	17			

Κατά την 2η πειραματική χρονιά (2020-2021), η επίδραση του NAE, από τις αλληλεπιδράσεις των διαφορετικών μεταχειρίσεων, όπως φαίνεται στο παρακάτω **Διάγραμμα 38**, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επεμβάσεων με την υψηλότερη τιμή (5,5 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος) να καταγράφεται στην ουρία με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης στην χαμηλή πυκνότητα φυτών (46 φυτά/m²). Ενώ η μικρότερη τιμή (1,5 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος) σημειώθηκε στην επέμβαση του κομπόστ στην χαμηλή πυκνότητα σποράς.



Διάγραμμα 38: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ. και N4= Μάρτυρας), (D1= 76 φυτά/m², D2=46 φυτά/m²)

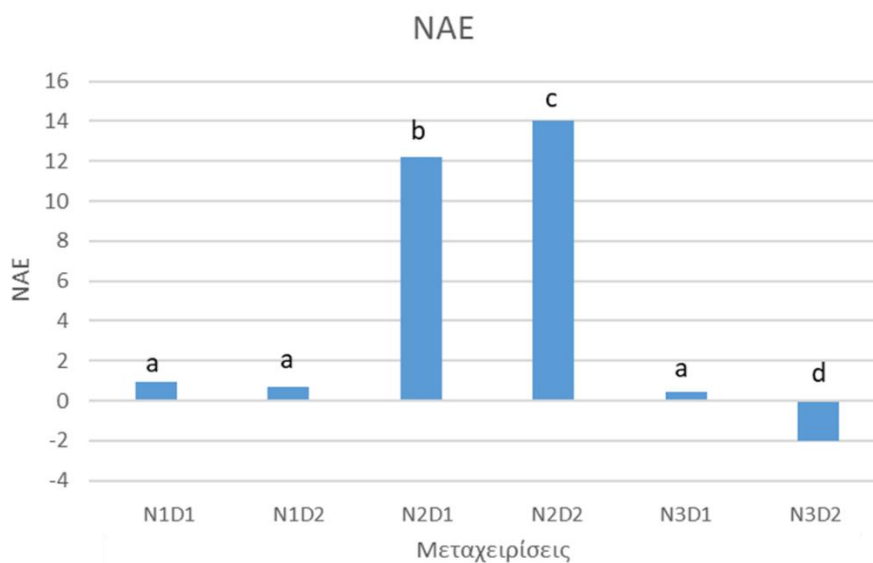
4.2.4.3 2021-2022

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 34** κατά το καλλιεργητικό έτος 2021-2022, οι διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, οι πυκνότητες σποράς καθώς και η αλληλεπίδραση αυτών, επέφεραν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δείκτη της αζωτούχας γεωργική αποτελεσματικότητα (NAE).

Πίνακας 34. Ανάλυση διασποράς του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας για την καλλιεργητική περίοδο 2021-2022, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. (Οι κόκκινοι αριθμοί δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές)

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Treatment	692,319	2	346,159	360,76	0,0000
B:Density	0,355204	1	0,355204	0,37	0,5542
INTERACTIONS					
AB	13,4206	2	6,71031	6,99	0,0097
RESIDUAL	11,5143	12	0,959524		
TOTAL (CORRECTED)	717,609	17			

Στο **Διάγραμμα 39** που ακολουθεί στο τρίτο καλλιεργητικό έτος (2021-2022), ο δείκτης NAE επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις με αποτέλεσμα το κομπόστ στην χαμηλή πυκνότητα σποράς να εμφανίσει την υψηλότερη τιμή (14 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος), ενώ και στην υψηλή πυκνότητα σποράς είχε την μεγαλύτερη τιμή (12 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος). Εν αντιθέσει., η ουρία με αναστολείς είχε τις χαμηλότερες τιμές όπου στην υψηλή πυκνότητα σποράς καταγράφηκε η τιμή (0,3 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος) και στην χαμηλή πυκνότητα φυτών (-2 kg σπόρου/ kg N λιπάσματος).



Διάγραμμα 39: Επίδραση του δείκτη αζωτούχας γεωργικής αποτελεσματικότητας (NAE), από την αλληλεπίδραση των μεταχειρίσεων κατά το έτος 2021-2022. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$). (Όπου N1= Ουρία, N2= κομπόστ, N3= Ουρία με παρεμπ. και N4= Μάρτυρας), (D1= 76 φυτά/m², D2=46 φυτά/m²)

4.3 Αποτελέσματα αξιολόγησης φυτικής μάζας για κτηνοτροφή.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διετούς (2019-2020, 2020-2021), ανάλυσης δεδομένων (Πίνακας 35), η αλληλεπίδραση της πυκνότητας των φυτών × λίπανσης ήταν σημαντική για την ακατέργαστη τέφρα (CA), τους ολικούς υδατάνθρακες (CHO) και τους υδατάνθρακες χωρίς ίνες (NFC). Οι κύριες επιδράσεις της πυκνότητας των φυτών ήταν σημαντικές για την απόδοση ξηρής ουσίας (DM), την περιεκτικότητα σε DM και την περιεκτικότητα σε ακατέργαστη πρωτεΐνη (CP) της υπέργειας βιομάζας της μαύρης μουστάρδας. Ως απόκριση στην επίδραση της εφαρμογής λιπασμάτων, οι διαφορετικές επεμβάσεις είχαν σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγικότητα και τη χημική σύνθεση της βιομάζας, εξαιρουμένης της περιεκτικότητας σε ακατέργαστα λίπη (CF) και CA (Πίνακας 35).

Πίνακας 35. Συνδυασμένη ανάλυση διακύμανσης (F) για όλα τα μετρούμενα χαρακτηριστικά βιομάζας μαύρης μουστάρδας σε δύο πειραματικά έτη (2019-2020, 2020-2021).

Πηγή διακύμανσης	Df	DM Yield	DM Content	CP Content	CP Yield	CF
Έτος (Y)	1	0.0248 ^{ns}	0.0040 ^{ns}	0.9768 ^{ns}	0.0524 ^{ns}	1.6580 ^{ns}
Πυκνότητα σποράς (PD)	1	9.9495 ^{**}	10.2966 ^{**}	11.1732 ^{**}	2.5311 ^{ns}	3.4333 ^{ns}
Λίπανση (F)	3	37.3676 ^{***}	37.5041 ^{***}	22.9083 ^{***}	58.1784 ^{***}	0.7898 ^{ns}
Y × PD	1	0.0134 ^{ns}	0.0110 ^{ns}	0.0575 ^{ns}	0.0859 ^{ns}	0.3267 ^{ns}
Y × F	3	0.4005 ^{ns}	0.6889 ^{ns}	0.1593 ^{ns}	0.7508 ^{ns}	0.1106 ^{ns}
PD × F	3	0.5494 ^{ns}	0.4754 ^{ns}	4.9791 ^{ns}	2.3535 ^{ns}	2.2104 ^{ns}
Y × PD × F	3	0.0318 ^{ns}	0.0176 ^{ns}	0.0769 ^{ns}	0.0072 ^{ns}	0.1207 ^{ns}
Πηγή διακύμανσης	Df	CA	NDF	ADF	CHO	NFC
Έτος (Y)	1	0.3525 ^{ns}	0.8023 ^{ns}	3.5077 ^{ns}	0.2103 ^{ns}	1.4313 ^{ns}
Πυκνότητα σποράς (PD)	1	0.6374 ^{ns}	3.8650 ^{ns}	3.5698 ^{ns}	3.6233 ^{ns}	2.1571 ^{ns}
Λίπανση (F)	3	1.1141 ^{ns}	7.2726 ^{***}	9.4025 ^{***}	11.8053 ^{***}	19.0120 ^{***}
Y × PD	1	0.0723 ^{ns}	0.2196 ^{ns}	0.0711 ^{ns}	0.1302 ^{ns}	0.0173 ^{ns}
Y × F	3	0.0477 ^{ns}	0.3641 ^{ns}	0.5735 ^{ns}	0.0901 ^{ns}	0.5744 ^{ns}
PD × F	3	2.9494 [*]	1.6596 ^{ns}	1.5429 ^{ns}	3.2970 [*]	4.5739 [*]
Y × PD × F	3	0.0214 ^{ns}	0.1033 ^{ns}	0.0650 ^{ns}	0.0452 ^{ns}	0.1005 ^{ns}

Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικές και σημαντικές σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. Df: Βαθμοί ελευθερίας. DM: Ξηρά ουσία. CP: Ακατέργαστη πρωτεΐνη. CF: Ακατέργαστο λίπος. CA: Ακατέργαστη τέφρα. NDF . ADF. CHO: Ολικοί υδατάνθρακες. NFC: CHO χωρίς ίνες.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 36, η απόδοση σε ξηρά ουσία της μαύρης μουστάρδας επηρεάστηκε σημαντικά από την πυκνότητα των φυτών και παρουσίασε παρόμοια τάση και τα δύο χρόνια ($p < 0,05$), με τις υψηλότερες τιμές να παρουσιάζονται σε φυτά υψηλής πυκνότητας (76 φυτά m^{-2}). Την πρώτη καλλιεργητική περίοδο (2019-2020), η απόδοση DM των φυτών υψηλής πυκνότητας ήταν υψηλότερη από αυτή των χαμηλής πυκνότητας (46 φυτά m^{-2}) κατά 18,49%, ενώ κατά τη δεύτερη καλλιεργητική περίοδο (2020-2021), η απόδοση DM υψηλής πυκνότητας ήταν 17,26% υψηλότερη από εκείνη των φυτών χαμηλής πυκνότητας. Με τον ίδιο τρόπο, σε όλες τις περιόδους ανάπτυξης, οι υψηλότερες αποδόσεις βρέθηκαν σε

αγροτεμάχια που είχαν εφαρμοστεί ανόργανα λιπάσματα. Συγκεκριμένα, οι υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο λίπασμα ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης (U + NI + UI) (17,01 και 16,14 tn ha⁻¹ για το πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) που δεν είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με την ουρία χωρίς αναστολείς (16,23 και 16,14 tn ha⁻¹ για τα αντίστοιχα έτη).

Πίνακας 36. Απόδοση ξηρής ουσίας (DM), περιεκτικότητα σε DM, περιεκτικότητα σε ακατέργαστη πρωτεΐνη (CP) και απόδοση CP, όπως επηρεάζεται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση.

Λίπανση	Πυκνότητα σποράς (φυτά m ⁻²)											
	46			76			46			76		
	DM Yield (tn ha ⁻¹)		Mean	DM Content (%)		Mean	CP Content (% of DM)		Mean	CP Yield (tn ha ⁻¹)		Mean
2019-2020												
Control	7.08	7.82	7.45 ^c	17.57	16.85	17.21 ^c	18.15	12.98	15.57 ^c	1.29	0.99	1.14 ^c
Urea	14.99	17.48	16.23 ^a	25.89	23.99	24.94 ^a	22.03	20.79	21.41 ^a	3.31	3.63	3.47 ^a
Urea + NI + UI	15.68	18.34	17.01 ^a	28.43	25.76	27.09 ^a	22.09	23.51	22.80 ^a	3.45	4.31	3.88 ^a
Compost	9.42	12.24	10.83 ^b	22.45	19.12	20.79 ^b	20.21	17.58	18.89 ^b	1.90	2.15	2.02 ^b
Mean	11.79 B	13.97 A		23.58 A	21.43 B		20.62 A	18.71 B		2.49 A	2.77 A	
<i>F</i> _{Plant Density}	5.2173*			4.7546*			5.6664*			1.7033 ^{ns}		
	(Tukey = 1.707)			(Tukey = 1.664)			(Tukey = 1.101)					
<i>F</i> _{Fertilization}	22.7083***			19.8362***			15.7790***			34.1834***		
	(Tukey = 2.176)			(Tukey = 3.035)			(Tukey = 1.529)			(Tukey = 0.662)		
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}	0.2566 ^{ns}			0.3231 ^{ns}			2.9523 ^{ns}			1.1902 ^{ns}		
2020-2021												
Control	7.99	8.84	8.42 ^c	18.51	17.69	18.10 ^c	19.82	13.81	16.82 ^c	1.60	1.21	1.40 ^c
Urea	14.18	16.09	15.14 ^a	26.05	24.14	25.09 ^a	22.20	21.07	21.63 ^{ab}	3.15	3.38	3.27 ^a
Urea + NI + UI	14.73	17.55	16.14 ^a	27.43	24.63	26.03 ^a	22.77	23.29	23.03 ^a	3.35	4.06	3.70 ^a
Compost	10.36	12.95	11.65 ^b	22.45	19.98	21.21 ^b	20.71	18.53	19.62 ^b	2.17	2.40	2.29 ^b
Mean	11.82 B	13.86 A		23.61 A	21.60 B		21.37 A	19.17 B		2.57 A	2.76 A	
<i>F</i> _{Plant Density}	5.0832*			5.2728*			5.5777*			0.8791 ^{ns}		
	(Tukey = 1.110)			(Tukey = 1.216)			(Tukey = 0.648)					
<i>F</i> _{Fertilization}	15.0869***			17.661***			8.3990**			24.3321***		
	(Tukey = 2.788)			(Tukey = 1.759)			(Tukey = 2.321)			(Tukey = 0.621)		
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}	0.2353 ^{ns}			0.2488 ^{ns}			2.2147 ^{ns}			1.1696 ^{ns}		

Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. Τα κεφαλαία γράμματα συγκρίνουν τις πυκνότητες των φυτών εντός μιας καλλιεργητικής περιόδου και τα πεζά γράμματα συγκρίνουν τις επεμβάσεις λίπανσης εντός μιας καλλιεργητικής περιόδου, με τη δοκιμή HSD του Tukey (p ≤ 0,05).

Οι επιδράσεις της πυκνότητας των φυτών και της λίπανσης στην περιεκτικότητα σε DM της βιομάζας της μαύρης μουστάρδας παρουσιάζονται στον **Πίνακα 36**. Στα φυτά χαμηλής πυκνότητας, οι τιμές της περιεκτικότητας σε DM ήταν σημαντικά υψηλότερες (23,58% και 23,61% το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) από αυτές της υψηλής πυκνότητας (21,43% και 21,60% για τα αντίστοιχα έτη). Με βάση τις μέσες πυκνότητες των φυτών, οι υψηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν στην ουρία με αναστολείς (27,09% και 26,03% το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) ακολουθούμενη από την ουρία χωρίς αναστολείς (24,94% και 25,09% την πρώτη και δεύτερη περίοδο καλλιέργειας αντίστοιχα).

Σύμφωνα με τη συνδυασμένη ανάλυση διακύμανσης (**Πίνακας 35 και Πίνακας 36**), η ακατέργαστη πρωτεΐνη επηρεάστηκε σημαντικά τόσο από την πυκνότητα των φυτών όσο και από τη λίπανση. Όσον αφορά την επίδραση της πυκνότητας των φυτών, οι τιμές της περιεκτικότητας σε CP σε αγροτεμάχια χαμηλής πυκνότητας (20,62% και 21,37% DM το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) ήταν υψηλότερες από ό,τι σε αγροτεμάχια υψηλής πυκνότητας (18,71% και 19,17% του DM στο πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα). Όσον αφορά την επίδραση της εφαρμογής λιπασμάτων, οι υψηλότερες τιμές περιεκτικότητας σε CP παρατηρήθηκαν σε αγροτεμάχια με ουρία με αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης (22,80% και 23,03% DM το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) και ουρία χωρίς αναστολείς 21,41% και 21,63% του DM για τα αντίστοιχα έτη). Η απόδοση CP στην εναέρια βιομάζα υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας την περιεκτικότητα CP της εναέριας βιομάζας και την απόδοση εναέριας DM. Σύμφωνα με τη συνδυασμένη ανάλυση διακύμανσης (**Πίνακας 35**), η απόδοση CP επηρεάστηκε μόνο από τις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης. Κατά τη διάρκεια του πειράματος δύο ετών, οι μέσες τιμές της απόδοσης CP ήταν μεγαλύτερες στην ουρία με αναστολείς (3,88 και 3,70 tn ha⁻¹ το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) ακολουθούμενη από την ουρία χωρίς αναστολείς (3,47 και 3,27 tn εκτάρια)⁻¹ το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα), ενώ οι χαμηλότερες τιμές (1,14 και 1,40 tn ha⁻¹ για τα αντίστοιχα έτη) παρατηρήθηκαν στα αγροτεμάχια χωρίς εφαρμογή λιπάσματος (μάρτυρες) (**Πίνακας 36**). Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε ακατέργαστο λίπος, δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο εξεταζόμενων πυκνοτήτων φυτών. Ωστόσο, τα φυτά της επεξεργασίας χαμηλής πυκνότητας παρουσίασαν ελαφρώς υψηλότερες τιμές (2,66% και 2,62% DM το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) σε σύγκριση με εκείνα της υψηλής πυκνότητας (2,58% και 2,46% DM για τα αντίστοιχα έτη) (**Πίνακας 37**). Με τον ίδιο τρόπο, η επίδραση της εφαρμογής λιπάσματος δεν ήταν στατιστικά σημαντική κατά τη διάρκεια της 2ετούς μελέτης, αν και ελαφρώς υψηλότερες τιμές (2,68% και 2,63% DM την καλλιεργητική περίοδο 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) βρέθηκαν στα αγροτεμάχια όπου είχε εφαρμοστεί το κομπόστ φυκιών.

Πίνακας 37. Περιεκτικότητα σε ακατέργαστο λίπος (CF), ακατέργαστη τέφρα (CA), (NDF), (ADF), όπως επηρεάζεται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση.

Λίπανση	Πυκνότητα σποράς (φυτά m ⁻²)											
	46			76			46			76		
2019-2020	CF (% of DM)			CA (% of DM)			NDF (% of DM)			ADF (% of DM)		
			Mean			Mean			Mean			Mean
Control	2.64	2.53	2.59 ^a	13.99	13.22	13.61 ^a	43.51	38.88	41.20 ^c	33.37	31.94	32.66 ^c
Urea	2.67	2.53	2.60 ^a	14.48	13.57	14.03 ^a	43.71	43.79	43.75 ^{bc}	36.20	34.57	35.39 ^{bc}
Urea + NI + UI	2.76	2.50	2.63 ^a	13.61	15.03	14.32 ^a	47.63	44.53	46.08 ^{ab}	38.02	35.66	36.84 ^{ab}
Compost	2.59	2.76	2.68 ^a	14.12	13.73	13.93 ^a	47.28	46.94	47.11 ^a	37.77	38.92	38.35 ^a
Mean	2.66 A	2.58 A		14.05 A	13.89 A		45.53 A	43.54 A		36.34 A	35.28 A	
<i>F</i> _{Plant Density}		0.7386 ^{ns}			0.1178 ^{ns}			3.7800 ^{ns}			1.2396 ^{ns}	
<i>F</i> _{Fertilization}		0.1596 ^{ns}			0.3880 ^{ns}			6.5442 ^{**}			6.4133 ^{**}	
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}		0.8459 ^{ns}			1.3120 ^{ns}			(Tukey = 2.632)			(Tukey = 2.762)	
								1.1939 ^{ns}			0.6393 ^{ns}	
2020-2021												
Control	2.58	2.35	2.46 ^a	13.88	13.05	13.47 ^a	44.54	41.78	43.17 ^b	36.77	33.99	35.38 ^b
Urea	2.63	2.31	2.47 ^a	14.31	13.41	13.86 ^a	44.72	44.66	44.69 ^{ab}	36.92	35.27	36.10 ^b
Urea + NI + UI	2.71	2.45	2.58 ^a	13.66	14.87	14.27 ^a	47.29	44.05	45.67 ^{ab}	38.77	36.37	37.57 ^{ab}
Compost	2.54	2.71	2.63 ^a	13.95	13.17	13.56 ^a	46.98	48.12	47.55 ^a	38.51	39.69	39.10 ^a
Mean	2.62 A	2.46 A		13.95 A	13.63 A		45.89 A	44.66 A		37.74 A	36.33 A	
<i>F</i> _{Plant Density}		3.3081 ^{ns}			0.7034 ^{ns}			1.9219 ^{ns}			2.4782 ^{ns}	
<i>F</i> _{Fertilization}		0.8138 ^{ns}			0.8646 ^{ns}			4.0608 [*]			3.3738 [*]	
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}		1.5655 ^{ns}			1.7403 ^{ns}			(Tukey = 2.979)			(Tukey = 2.291)	
								0.6901 ^{ns}			0.9904 ^{ns}	

Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικές και σημαντικές σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%. Τα κεφαλαία γράμματα συγκρίνουν τις πυκνότητες των φυτών εντός μιας καλλιεργητικής περιόδου και τα πεζά γράμματα συγκρίνουν τις επεμβάσεις λίπανσης εντός μιας καλλιεργητικής περιόδου, με τη δοκιμή HSD του Tukey ($p \leq 0,05$).

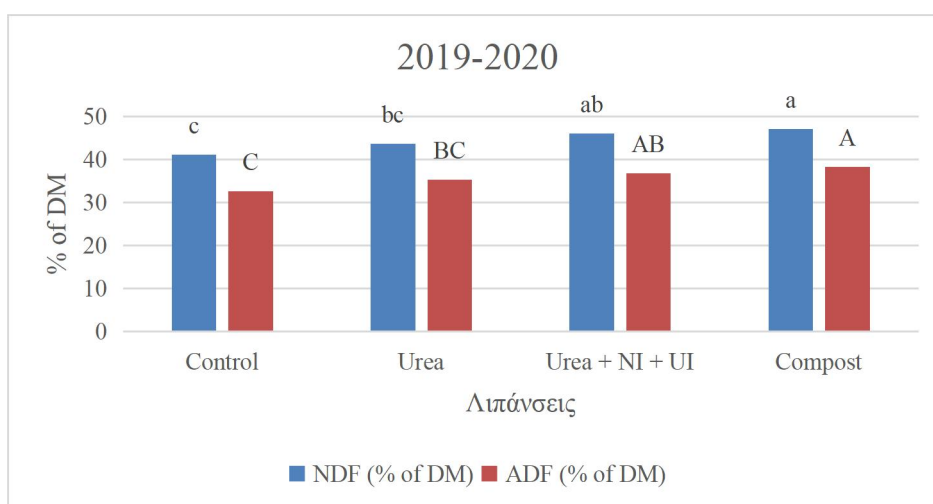
Τα αποτελέσματα της τρέχουσας μελέτης έδειξαν ότι η περιεκτικότητα σε ακατέργαστη τέφρα της εναέριας βιομάζας μαύρης μουστάρδας δεν επηρεάστηκε από την πυκνότητα των φυτών κατά τις πειραματικές περιόδους (**Πίνακας 37**). Ωστόσο, τα τεμάχια χαμηλής πυκνότητας πέτυχαν ελαφρώς υψηλότερες τιμές αυτού του χαρακτηριστικού (14,05% και 13,95% DM στην πρώτη και δεύτερη πειραματική περίοδο, αντίστοιχα) από εκείνες της υψηλής πυκνότητας (13,89% και 13,63% DM για το αντίστοιχες πειραματικές περιόδους). Ως απόκριση στη λίπανση, αυτό είχε επίσης μια μη σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα σε CA, αν και ελαφρώς υψηλότερες τιμές (14,32% και 14,27% DM στην πρώτη και δεύτερη πειραματική περίοδο, αντίστοιχα) παρατηρήθηκαν σε αγροτεμάχια που είχε εφαρμοστεί ουρία με αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης.

Η περιεκτικότητα σε ουδέτερες ίνες (NDF) δεν επηρεάστηκε από τις διαφορετικές πυκνότητες των φυτών. Επηρεάστηκε μόνο από τις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης (**Πίνακας 37**). Συγκεκριμένα, η υψηλότερη περιεκτικότητα σε NDF παρατηρήθηκε στην περίπτωση της λίπανσης με κομπόστ, με τις τιμές να είναι 47,11% και 47,55% DM στην πρώτη και δεύτερη πειραματική περίοδο, αντίστοιχα, ενώ οι χαμηλότερες τιμές (41,20% και

43,17% DM. για τις αντίστοιχες πειραματικές περιόδους) ελήφθησαν από τα αγροτεμάχια χωρίς καμία εφαρμογή (μάρτυρες).

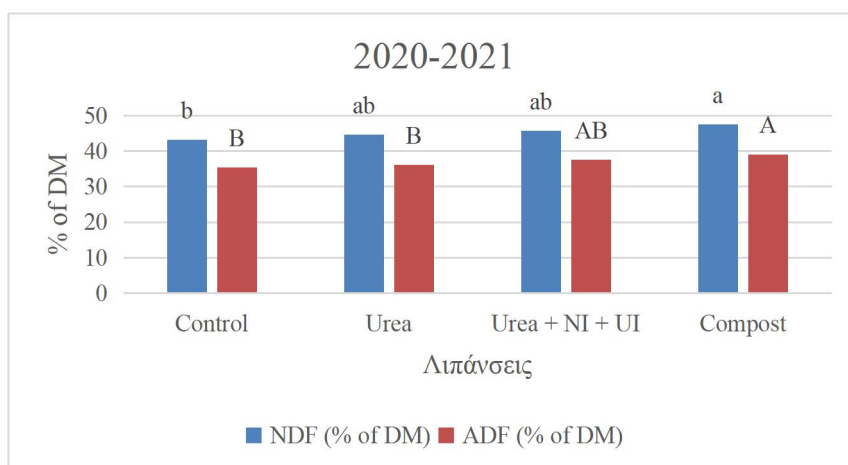
Οι όξινες ίνες (ADF) δεν διέφεραν μεταξύ των πυκνοτήτων των φυτών κατά τη διάρκεια των πειραματικών περιόδων (**Πίνακας 37**), αν και τα φυτά της επεξεργασίας χαμηλής πυκνότητας παρουσίασαν ελαφρώς υψηλότερες τιμές (36,34% και 37,74% DM κατά την πρώτη και δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, αντίστοιχα) παρά σε αγροτεμάχια υψηλής πυκνότητας (35,28% και 36,33% DM για τις αντίστοιχες καλλιεργητικές περιόδους). Όσον αφορά το αποτέλεσμα λίπανσης, οι υψηλότερες τιμές περιεκτικότητας σε ADF, κατά μέσο όρο κατά τα πειραματικά έτη και τις διαφορετικές πυκνότητες φυτών, επιτεύχθηκε στο κομπόστ (38,98% του DM) ακολουθούμενο από την ουρία με αναστολείς (37,21% του DM), ενώ η χαμηλότερη τιμή (34,02% του DM). DM) βρέθηκε στα αγροτεμάχια των μαρτύρων.

Η συνολική περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες επηρεάστηκε μόνο από τη λίπανση κατά τη διάρκεια των δύο πειραματικών περιόδων (**Πίνακας 38**). Συγκεκριμένα, οι υψηλότερες τιμές περιεκτικότητας σε CHO επιτεύχθηκαν σε μη επεξεργασμένα αγροτεμάχια (μάρτυρας: 68,25% και 67,25% DM την πρώτη και δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, αντίστοιχα), ενώ οι χαμηλότερες τιμές (60,21% και 60,08% DM για τις αντίστοιχες πειραματικές περιόδους) ελήφθησαν σε αγροτεμάχια που είχε γίνει εφαρμογή της ουρίας με αναστολείς. Όπως φαίνεται και στο **Διάγραμμα 42**, κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020 η επέμβαση του κομπόστ είχε υψηλές τιμές σε ολικούς υδατάνθρακες καθώς και σε υδατάνθρακες χωρίς ίνες, ενώ και στις δύο κατηγορίες η ουρία με αναστολείς είχε τις χαμηλότερες τιμές.



Διάγραμμα 40 : Περιεκτικότητα NDF και ADF στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο **Διάγραμμα 40** κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020, παρατηρούμε ότι την χαμηλότερη τιμή σε ADF την είχε ο μάρτυρας 32,66 % of DM, ενώ την υψηλότερη το κομπόστ 38,35 % of DM. Αντιστοίχως και στο NDF ο μάρτυρας είχε την μικρότερη συγκέντρωση ενώ η επέμβαση με κομπόστ την μεγαλύτερη τιμή (47,11 % of DM), συγκριτικά με τις υπόλοιπες επεμβάσεις. Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν και για το 2ο καλλιεργητικό έτος όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 41** όπου ο μάρτυρας παρουσίασε τις χαμηλότερες τιμές σε ADF και NDF και το κομπόστ τις υψηλότερες.



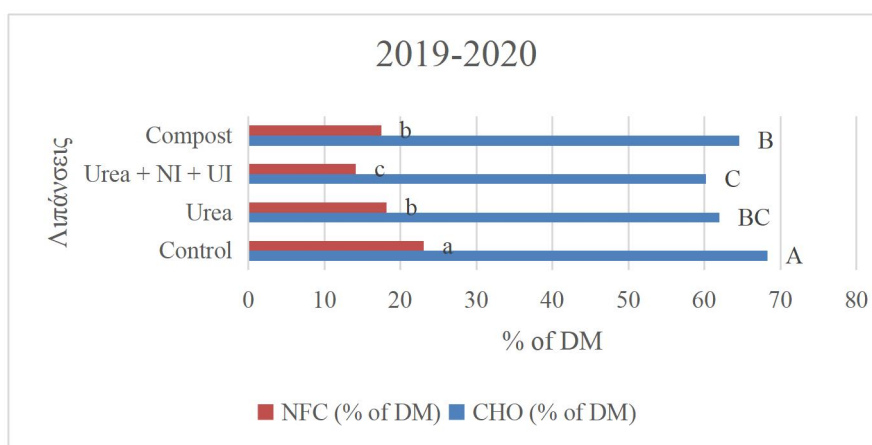
Διάγραμμα 41: Περιεκτικότητα NDF και ADF στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$).

Πίνακας 38. Η περιεκτικότητα σε ολικούς υδατάνθρακες (CHO) και υδατάνθρακες χωρίς ίνες (NFC) επηρεάζεται από την πυκνότητα και τη λίπανση των φυτών.

Λίπανση	Πυκνότητα σποράς (φυτά m ⁻²)					
	46	76	46	76		
2019-2020	CHO (% of DM)		<i>Mean</i>	NFC (% of DM)		<i>Mean</i>
Control	65.22	71.27	68.25 ^a	21.71	24.39	23.05 ^a
Urea	60.73	63.14	61.94 ^{bc}	17.02	19.35	18.18 ^b
Urea + NI + UI	61.72	58.70	60.21 ^c	14.08	14.18	14.13 ^c
Compost	62.99	66.16	64.58 ^b	15.72	19.22	17.47 ^b
<i>Mean</i>	62.67 A	64.82 A		17.13 A	19.28 A	
<i>F</i> _{Plant Density}	1.9679 ^{ns}			1.6417 ^{ns}		
<i>F</i> _{Fertilization}	7.1572 ^{***} (Tukey = 3.627)			10.5627 ^{***} (Tukey = 2.303)		
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}	2.8491 ^{ns}			3.5275 ^{ns}		
2020-2021	CHO (% of DM)		<i>Mean</i>	NFC (% of DM)		<i>Mean</i>
Control	63.72	70.79	67.25 ^a	19.17	21.01	20.09 ^a
Urea	60.79	63.07	61.93 ^{bc}	16.06	18.41	17.24 ^b
Urea + NI + UI	61.03	59.13	60.08 ^c	13.74	15.08	14.41 ^c
Compost	62.71	65.99	64.35 ^{ab}	15.73	17.87	16.80 ^b
<i>Mean</i>	62.06 A	64.75 A		16.18 A	18.09 A	
<i>F</i> _{Plant Density}	5.6762 ^{ns}			4.7703 ^{ns}		
<i>F</i> _{Fertilization}	7.5967 ^{**} (Tukey = 4.050)			9.9054 ^{***} (Tukey = 1.897)		
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}	2.6744 ^{ns}			2.2524 ^{ns}		

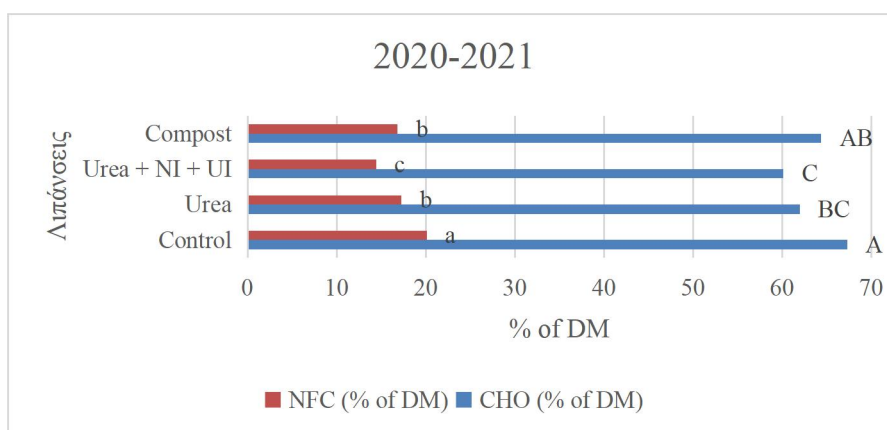
Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. Τα κεφαλαία γράμματα συγκρίνουν τις πυκνότητες των φυτών εντός μιας καλλιεργητικής περιόδου και τα πεζά γράμματα συγκρίνουν τις επεμβάσεις λίπανσης εντός μιας καλλιεργητικής περιόδου, με τη δοκιμή HSD του Tukey ($p \leq 0,05$).

Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες χωρίς ίνες, δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τεμαχίων υψηλής και χαμηλής πυκνότητας, αλλά η λίπανση είχε στατιστικά σημαντική επίδραση σε αυτό το χαρακτηριστικό. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα σε NFC μειώθηκε με τα αυξανόμενα επίπεδα εφαρμοζόμενου αζώτου και οι υψηλότερες τιμές (μάρτυρας: 27,05% και 24,09% DM το πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) λήφθηκαν στα τεμάχια χωρίς εφαρμογή λίπανσης (μάρτυρα) (**Πίνακας 38**). Στα **Διαγράμματα 42 και 43** απεικονίζονται τα προαναφερόμενα, δηλαδή η αύξηση του εφαρμοζόμενου αζώτου μείωσε τις τιμές NFC με αποτέλεσμα ο μάρτυρας να έχει τις υψηλότερες τιμές και μετέπειτα το κομπόστ.



Διάγραμμα 42: Περιεκτικότητα σε ολικούς υδατάνθρακες (CHO) και υδατάνθρακες χωρίς ίνες (NFC), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020.

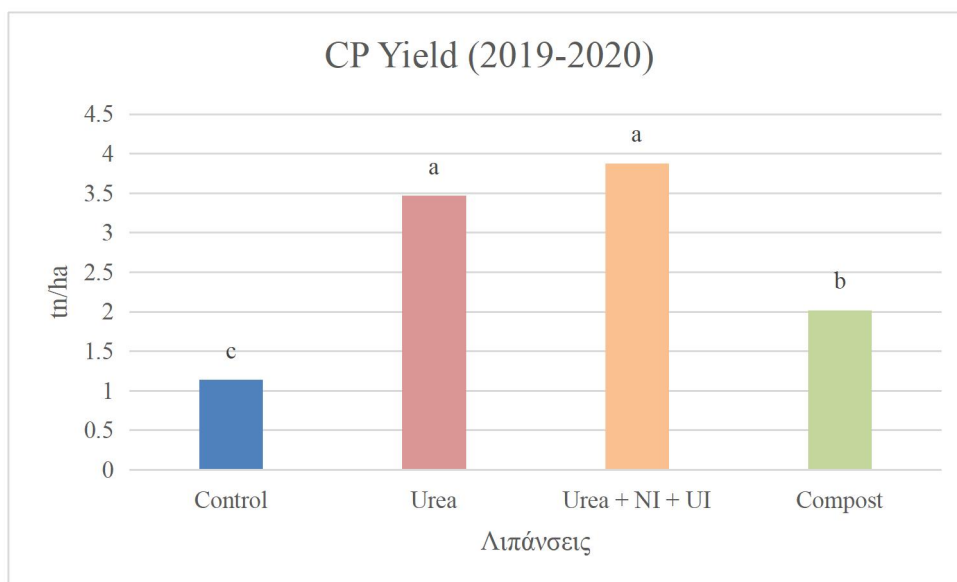
(Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$).



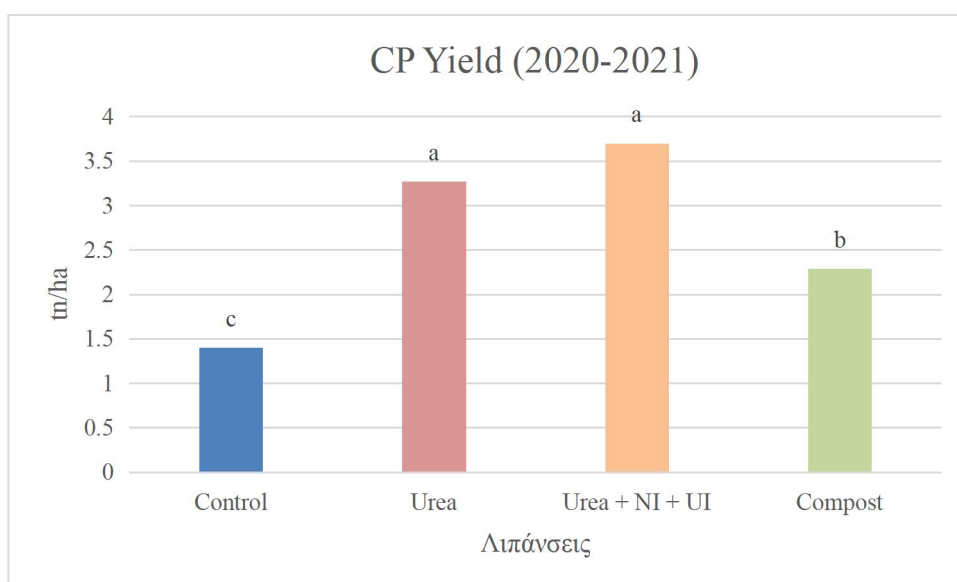
Διάγραμμα 43: Περιεκτικότητα σε ολικούς υδατάνθρακες (CHO) και υδατάνθρακες χωρίς ίνες (NFC), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021.

(Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$).

Στα *Διαγράμματα 44 και 45* παρουσιάζεται η απόδοση Crude Protein (CP), όπου δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας με και χωρίς παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης. Η χαμηλότερες τιμές και τα 2 έτη σημειώθηκε στον μάρτυρα και μετέπειτα στην επέμβαση με κομπόστ. Η απόδοση στην ουρία με αναστολείς ήταν σχεδόν διπλάσια από ότι στο κομπόστ.

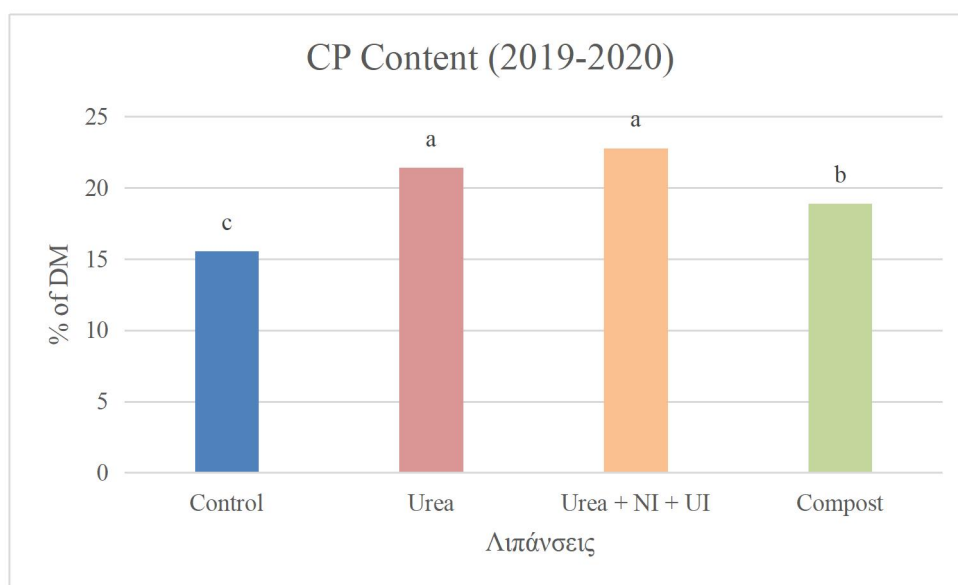


Διάγραμμα 44: Απόδοση Crude Protein (CP), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$).

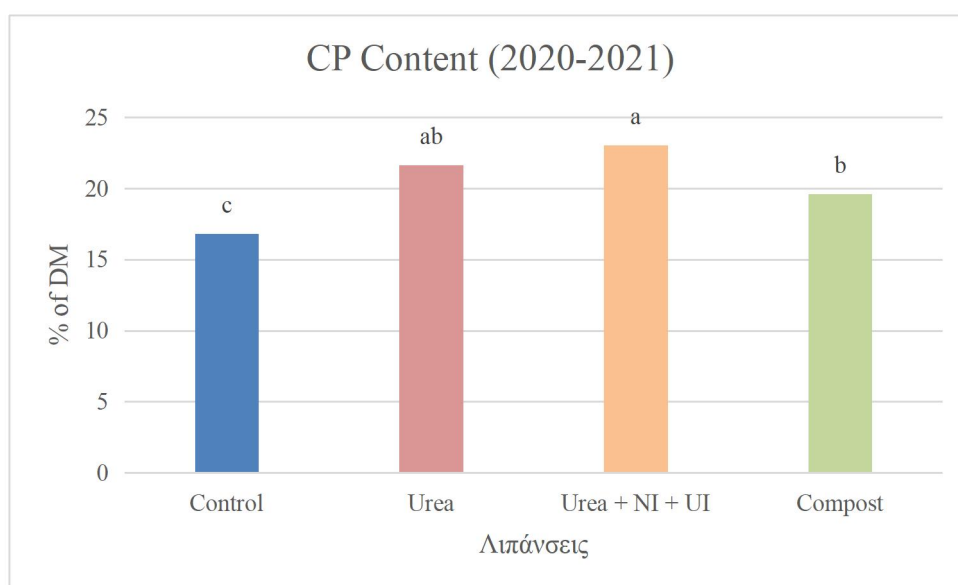


Διάγραμμα 45: Απόδοση Crude Protein (CP), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$).

Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε Crude Protein (CP), στα *Διαγράμματα 46 και 47*, φαίνεται ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας με και χωρίς αναστολείς. Η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε στον μάρτυρα και τα 2 έτη.



Διάγραμμα 46: Περιεκτικότητα Crude Protein (CP), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$).



Διάγραμμα 47: Περιεκτικότητα Crude Protein (CP), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$).

4.4 Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά ελαίου

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της διαιτούς (2019-2020, 2020-2021) ανάλυσης δεδομένων (Πίνακας 39), η αλληλεπίδραση πυκνότητας φυτών × λίπανσης ήταν σημαντική μόνο στην απόδοση των σπόρων. Επιπλέον, η αλληλεπίδραση έτους × πυκνότητας φυτών βρέθηκε να είναι στατιστικά σημαντική για τα ωμέγα-6 (n-6) λιπαρά οξέα. Με εξαίρεση τα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA), την αναλογία πολυακόρεστων προς κορεσμένα λιπαρά οξέα (PUFA/SAFA) και την αναλογία ωμέγα-6 προς ωμέγα-3 λιπαρά οξέα (n-6/n-3), η κύρια επίδραση της πυκνότητας των φυτών ήταν σημαντική για την απόδοση των σπόρων, την σταθερή περιεκτικότητα σε λάδι και την απόδοση, καθώς και για τη σύνθεση λιπαρών οξέων του ελαίου μαύρης μουστάρδας και τους συνδυασμούς τους. Όσον αφορά την λίπανση, οι διαφορετικές επεμβάσεις είχαν σημαντική επίδραση σε όλα τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν. Επιπλέον, η κύρια επίδραση του έτους έδειξε σημαντικά αποτελέσματα στο νευρονικό οξύ (C24:1), το λινελαϊκό οξύ (C18:2 n-6), το MUFA, n-6 και την αναλογία n-6/n-3 (Πίνακας 39).

Πίνακας 39. Συνδυασμένη ανάλυση διακύμανσης (τιμές F) για τις επιδράσεις της πυκνότητας των φυτών και της λίπανσης σε όλα τα μετρούμενα χαρακτηριστικά της μαύρης μουστάρδας κατά τη διάρκεια του πειράματος δύο ετών (2019-2020, 2020-2021).

Source of Variance	Df	Seed Yield	Fixed Oil Content	Fixed Oil Yield	Pentadecanoic acid (C15:0)	Palmitic acid (C16:0)	Stearic acid (C18:0)
Year (Y)	1	0.674 ^{ns}	0.063 ^{ns}	0.285 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.813 ^{ns}	0.947 ^{ns}
Plant Density (PD)	1	33.128 ^{***}	22.588 ^{***}	32.398 ^{***}	12.732 ^{**}	27.427 ^{***}	12.547 ^{**}
Fertilization (F)	3	36.537 ^{***}	26.879 ^{***}	31.226 ^{***}	18.305 ^{***}	19.060 ^{***}	16.015 ^{***}
Y × PD	1	0.009 ^{ns}	0.014 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.031 ^{ns}	0.036 ^{ns}	0.002 ^{ns}
Y × F	3	0.005 ^{ns}	0.066 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.106 ^{ns}	0.018 ^{ns}	0.004 ^{ns}
PD × F	3	3.454 [*]	1.433 ^{ns}	4.098 ^{ns}	1.124 ^{ns}	0.228 ^{ns}	1.014 ^{ns}
Y × PD × F	3	0.002 ^{ns}	0.188 ^{ns}	0.041 ^{ns}	0.033 ^{ns}	0.017 ^{ns}	0.007 ^{ns}
Source of Variance	Df	Arachidic acid (C20:0)	Behenic acid (C22:0)	Oleic acid (C18:1 n-9)	Vaccenic acid (C18:1 n-7)	cis-11-Eicosenoic acid (C20:1)	Erucic acid (C22:1)
Year (Y)	1	0.952 ^{ns}	2.131 ^{ns}	4.529 [*]	0.934 ^{ns}	1.337 ^{ns}	2.113 ^{ns}
Plant Density (PD)	1	12.077 ^{**}	31.599 ^{***}	13.108 ^{**}	27.175 ^{***}	11.329 ^{**}	10.959 ^{**}
Fertilization (F)	3	15.770 ^{***}	24.558 ^{***}	7.405 ^{***}	19.229 ^{***}	14.919 ^{***}	15.947 ^{***}
Y × PD	1	0.001 ^{ns}	0.055 ^{ns}	0.921 ^{ns}	0.022 ^{ns}	0.050 ^{ns}	0.119 ^{ns}
Y × F	3	0.004 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.206 ^{ns}	0.020 ^{ns}	0.064 ^{ns}	0.016 ^{ns}
PD × F	3	1.005 ^{ns}	0.978 ^{ns}	0.495 ^{ns}	0.223 ^{ns}	0.665 ^{ns}	0.821 ^{ns}
Y × PD × F	3	0.001 ^{ns}	0.061 ^{ns}	0.220 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.061 ^{ns}	0.026 ^{ns}
Source of Variance	Df	Nervonic acid (C24:1)	Linoleic acid (C18:2 n-6)	α -Linolenic acid (C18:3 n-3)	cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2 n-6)	Saturated Fatty Acids (SAFA)	Monounsaturated Fatty Acids (MUFA)
Year (Y)	1	9.681 ^{**}	15.042 ^{***}	3.927 ^{ns}	3.252 ^{ns}	0.225 ^{ns}	10.343 ^{**}
Plant Density (PD)	1	17.833 ^{***}	11.829 ^{**}	12.102 ^{**}	37.083 ^{***}	26.394 ^{***}	0.721 ^{ns}
Fertilization (F)	3	5.121 ^{**}	7.717 ^{***}	13.561 ^{***}	31.298 ^{***}	6.830 ^{**}	11.254 ^{***}
Y × PD	1	2.667 ^{ns}	5.862 [*]	0.029 ^{ns}	0.034 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.226 ^{ns}
Y × F	3	0.062 ^{ns}	0.188 ^{ns}	0.536 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.065 ^{ns}
PD × F	3	0.531 ^{ns}	1.162 ^{ns}	0.819 ^{ns}	1.217 ^{ns}	0.581 ^{ns}	0.485 ^{ns}
Y × PD × F	3	0.015 ^{ns}	0.020 ^{ns}	0.137 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.096 ^{ns}
Source of Variance	Df	Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA)		n-6	n-3	PUFA/SAFA	n-6/n-3
Year (Y)	1	0.444 ^{ns}		13.790 ^{***}	3.927 ^{ns}	0.897 ^{ns}	7.424 [*]
Plant Density (PD)	1	33.268 ^{***}		13.446 ^{***}	12.102 ^{**}	2.979 ^{ns}	3.113 ^{ns}
Fertilization (F)	3	15.336 ^{***}		6.928 ^{**}	13.561 ^{***}	6.693 ^{**}	11.516 ^{***}
Y × PD	1	2.123 ^{ns}		5.683 [*]	0.029 ^{ns}	0.786 ^{ns}	0.272 ^{ns}
Y × F	3	0.809 ^{ns}		0.187 ^{ns}	0.536 ^{ns}	0.375 ^{ns}	0.418 ^{ns}
PD × F	3	0.923 ^{ns}		1.060 ^{ns}	0.819 ^{ns}	2.006 ^{ns}	0.378 ^{ns}
Y × PD × F	3	0.122 ^{ns}		0.020 ^{ns}	0.137 ^{ns}	0.045 ^{ns}	0.108 ^{ns}

Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα.

4.4.1 Απόδοση σπόρων, Περιεκτικότητα σε λάδι και Απόδοση Μαύρης Μουστάρδας

Η παρούσα μελέτη έδειξε ότι η πυκνότητα των φυτών και η λίπανση είχαν σημαντική επίδραση στην απόδοση των σπόρων της καλλιέργειας μαύρης μουστάρδας (**Πίνακας 40**). Η απόδοση σπόρου ήταν υψηλότερη σε αγροτεμάχια χαμηλής πυκνότητας (46 φυτά m⁻²) από ό,τι σε αγροτεμάχια υψηλής πυκνότητας (76 φυτά m⁻²) κατά τη διάρκεια των δύο πειραματικών περιόδων, με φυτά χαμηλής πυκνότητας να αποδίδουν 1817,9 και 1766,0 kg ha⁻¹ το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα. Ως προς τη λίπανση, οι υψηλότερες αποδόσεις βρέθηκαν σε αγροτεμάχια που είχαν εφαρμοστεί ανόργανα λιπάσματα. Συγκεκριμένα, οι υψηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν στο λίπασμα ουρίας με αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης (U + NI + UI) (2011,3 και 1957,4 kg ha⁻¹ για την πρώτη και δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, αντίστοιχα) που δεν είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με την ουρία χωρίς αναστολείς, (1815,9 και 1764,2 kg ha⁻¹ για τις αντίστοιχες καλλιεργητικές περιόδους).

Πίνακας 40. Απόδοση σπόρων, περιεκτικότητα σε λάδι και απόδοση ελαίου όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα και τη λίπανση των φυτών.

Επέμβαση	Απόδοση σπόρου (kg ha ⁻¹)	Περιεκτικότητα σε λάδι (%)	Απόδοση λαδιού (kg ha ⁻¹)
2019-2020			
	<i>Πυκνότητα Σποράς</i>		
46 φυτά m ⁻²	1817.9 A	33.27 A	630.7 A
76 φυτά m ⁻²	1486.1 B	28.39 B	432.9 B
	<i>Fertilization</i>		
Control	1205.7 c	24.32 c	297.8 c
Urea	1815.9 ab	33.00 ab	612.9 ab
Urea + NI + UI	2011.3 a	36.94 a	753.7 a
Compost	1575.0 b	29.05 bc	462.8 bc
	<i>Source of Variation</i>		
<i>F</i> _{Plant Density}	15.317**	7.455*	12.772**
<i>F</i> _{Fertilization}	16.736***	9.159***	12.549***
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}	1.594 ^{ns}	0.259 ^{ns}	1.383 ^{ns}
2020-2021			
	<i>Πυκνότητα Σποράς</i>		
46 φυτά m ⁻²	1766.0 A	33.13 A	612.4 A
76 φυτά m ⁻²	1444.9 B	28.01 B	414.2 B
	<i>Fertilization</i>		
Control	1170.3 c	23.49 c	278.4 d
Urea	1764.2 a	33.13 a	596.5 b
Urea + NI + UI	1957.4 a	36.32 a	726.6 a
Compost	1529.9 b	29.32 b	451.5 c

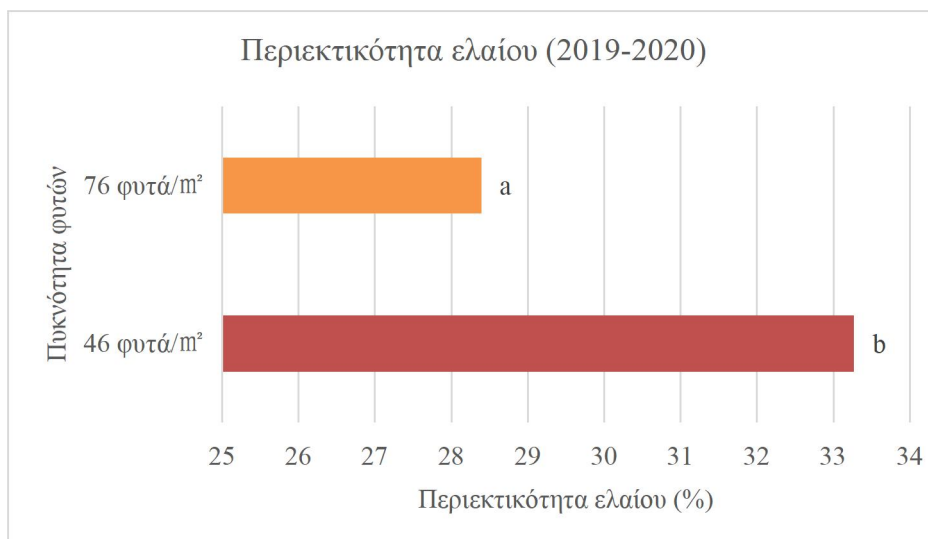
	<i>Source of Variation</i>		
<i>F</i> Plant Density	18.154***	21.201***	22.106***
<i>F</i> Fertilization	20.217***	24.574***	20.907***
<i>F</i> Plant Density × Fertilization	1.896 ^{ns}	2.228 ^{ns}	3.253 ^{ns}

Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. Τα κεφαλαία γράμματα συγκρίνουν τις πυκνότητες των φυτών εντός μιας καλλιεργητικής περιόδου και τα πεζά γράμματα συγκρίνουν τις επεμβάσεις λίπανσης εντός μιας καλλιεργητικής περιόδου, με τη δοκιμή HSD του Tukey ($p \leq 0,05$).

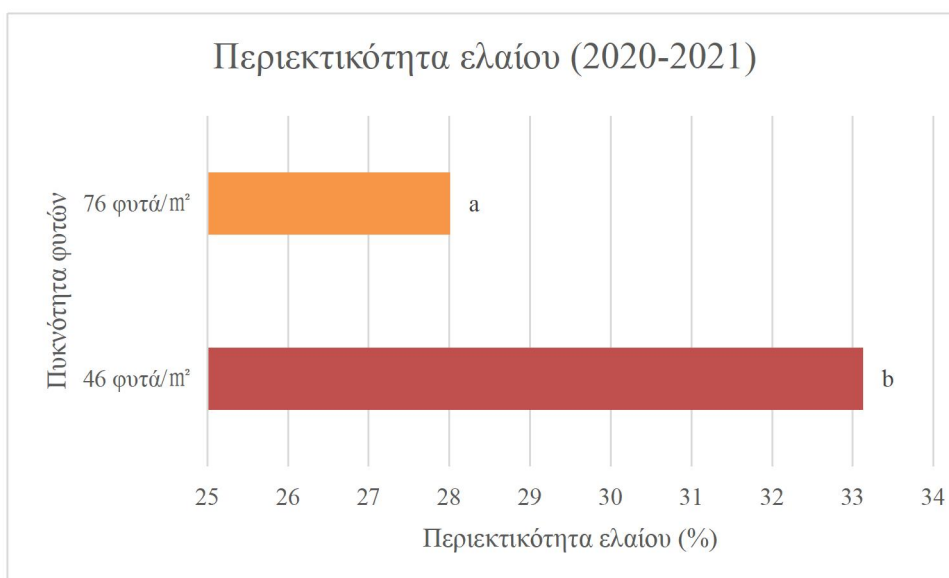
Η περιεκτικότητα σε έλαιο επηρεάστηκε σημαντικά τόσο από την πυκνότητα των φυτών όσο και από τη λίπανση κατά τη διάρκεια της διετούς μελέτης (**Πίνακας 40**). Η περιεκτικότητα σε λάδι ήταν σημαντικά υψηλότερη στα φυτά των αγροτεμαχίων χαμηλής πυκνότητας και οι τιμές ήταν 33,27% και 33,13% για το πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα. Όσον αφορά τη λίπανση, οι μέσες τιμές περιεκτικότητας σε έλαιο ήταν μεγαλύτερες στην ουρία με αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης (36,94% και 36,32% το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) ακολουθούμενες από την ουρία χωρίς αναστολείς (33,109% και 33,13% σε -2020 και 2020-2021, αντίστοιχα), ενώ οι χαμηλότερες τιμές (24,32% και 23,49% για τα αντίστοιχα έτη) βρέθηκαν στους μάρτυρες.

Η απόδοση του ελαίου υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας την απόδοση σπόρων της καλλιέργειας μαύρης μουστάρδας και την περιεκτικότητα σε λάδι των σπόρων της καλλιέργειας. Σύμφωνα με τη συνδυασμένη ανάλυση (**Πίνακας 39**), η απόδοση ελαίου επηρεάστηκε από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση. Στα αγροτεμάχια χαμηλής πυκνότητας, οι τιμές της απόδοσης λαδιού ήταν σημαντικά υψηλότερες (630,7 και 612,4 kg ha⁻¹ το πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) από εκείνες των αγροτεμαχίων υψηλής πυκνότητας (432,9 και 414,2 kg ha⁻¹ στο πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) (**Πίνακας 40**). Με βάση τον μέσο όρο στις πυκνότητες των φυτών, οι υψηλότερες τιμές απόδοσης ελαίου βρέθηκαν σε φυτά που είχαν δεχθεί λίπανση με ουρία με αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης (753,7 και 726,6 kg ha⁻¹ το πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) ακολουθούμενα από ουρία χωρίς αναστολείς (612,9 και 596,5). kg ha⁻¹ για τα αντίστοιχα έτη).

Στο **Διάγραμμα 48** παρουσιάζεται η στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο πυκνοτήτων σποράς όσον αφορά την περιεκτικότητα λαδιού κατά το 1ο πειραματικό έτος. Όπου στην χαμηλή πυκνότητα σποράς η περιεκτικότητα ελαίου ήταν μεγαλύτερη σχεδόν κατά 10% από την υψηλή πυκνότητα φυτών. Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν και την 2η καλλιεργητική χρονιά όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 49**.



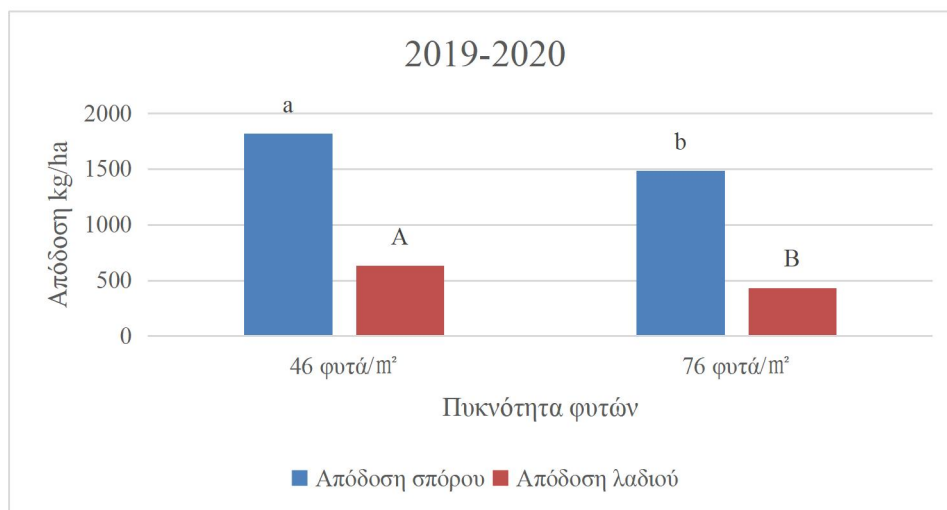
Διάγραμμα 48: Περιεκτικότητα λαδιού στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)



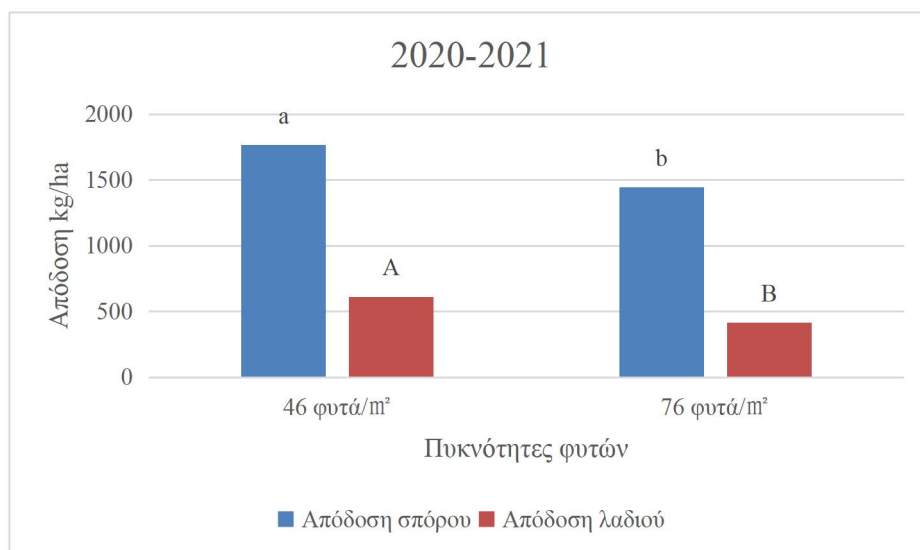
Διάγραμμα 49: Περιεκτικότητα λαδιού στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο παρακάτω **Διάγραμμα 50** απεικονίζονται η απόδοση σπόρου καθώς και λαδιού για το έτος 2019-2020. Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της υψηλής και της χαμηλής πυκνότητας φυτών, όπου μεγαλύτερες τιμές και στις δύο περιπτώσεις εμφάνισε η χαμηλή πυκνότητα σποράς. Η υψηλή πυκνότητα σποράς παρουσίασε σχεδόν κατά 20%

μεγαλύτερη περιεκτικότητα λαδιού συγκριτικά με τα 76 φυτά m⁻². Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν και την 2η καλλιεργητική χρονιά όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 51**.



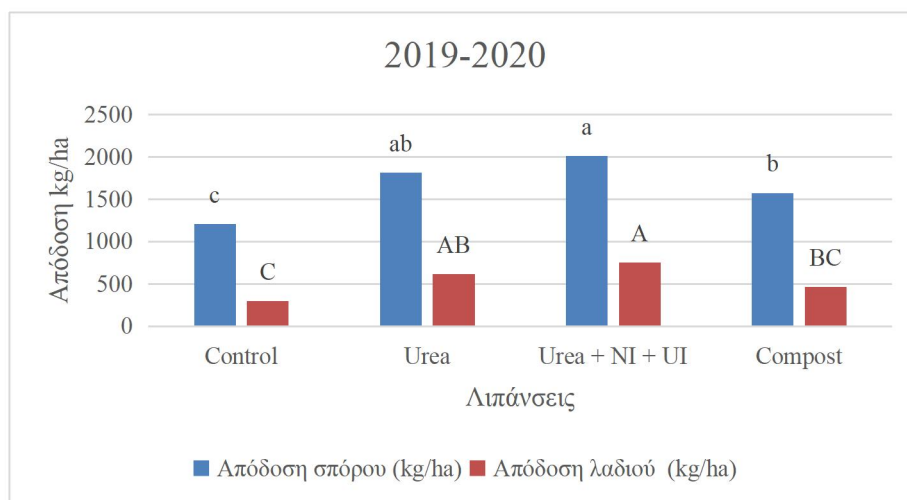
Διάγραμμα 50: Απόδοση σπόρου και λαδιού στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)



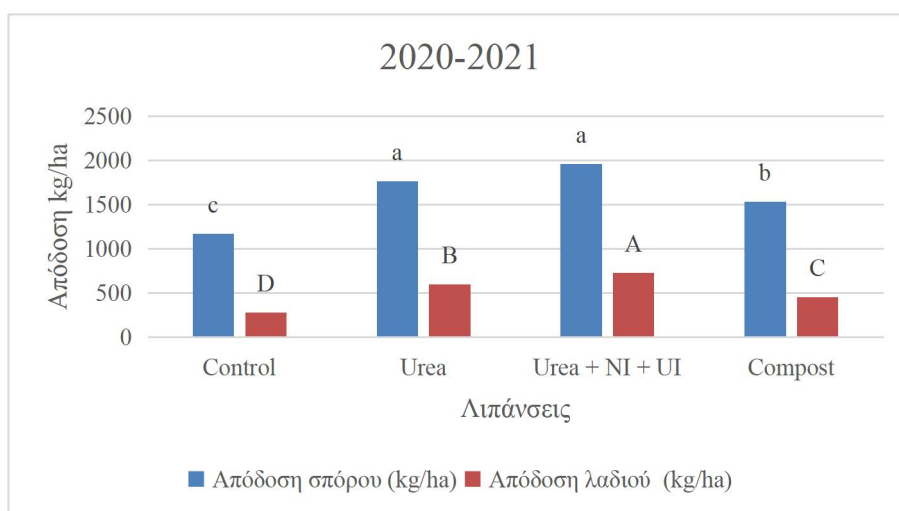
Διάγραμμα 51: Απόδοση σπόρου και λαδιού στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Όσον αφορά την απόδοση του σπόρου και του λαδιού στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το έτος 2019-2020, όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 52** δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας με και χωρίς αναστολείς όπου η υψηλότερη απόδοση καταγράφηκε στην ουρία με αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης (2011,3 kg ha⁻¹).

Παρομοίως αντίστοιχα αποτελέσματα σημειώθηκαν και στην απόδοση λαδιού όπου στην επέμβαση της ουρίας με αναστολείς καταγράφηκε η υψηλότερη απόδοση ($753,7 \text{ kg ha}^{-1}$). Αντίστοιχα αποτελέσματα απεικονίζονται και στο **Διάγραμμα 53** που αφορά το έτος 2020-2021 .

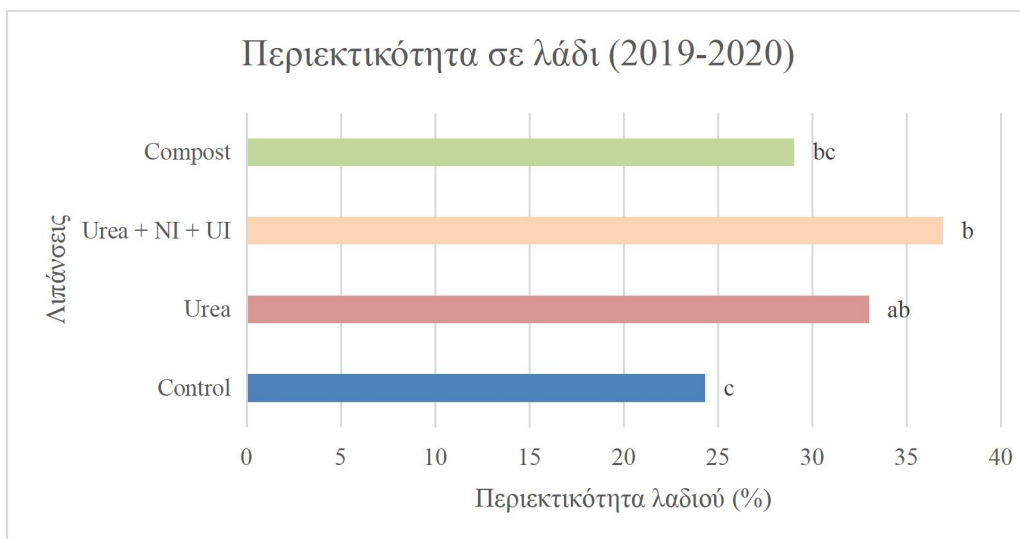


Διάγραμμα 52: Απόδοση σπόρου και λαδιού στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$).



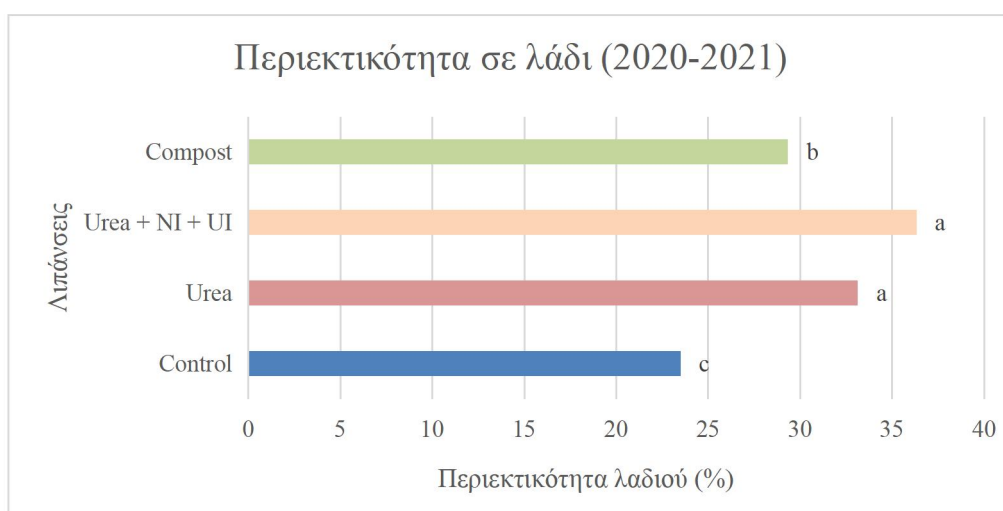
Διάγραμμα 53: Απόδοση σπόρου και λαδιού στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο **Διάγραμμα 54** απεικονίζεται η περιεκτικότητα λαδιού στις διαφορετικές επεμβάσεις λιπάνσεις κατά το 1ο καλλιεργητικό έτος. Όπου δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του κομπόστ, της ουρίας με και χωρίς παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης. Με την υψηλότερη τιμή να καταγράφεται στην επέμβαση της ουρία με αναστολείς (36,94%) και την μικρότερη στον μάρτυρα (24,32%).



Διάγραμμα 54 : Περιεκτικότητα λαδιού στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο **Διάγραμμα 55** παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ουρίας με και χωρίς αναστολείς. Ενώ στον μάρτυρα και το 2ο καλλιεργητικό έτος σημειώθηκε η χαμηλότερη περιεκτικότητα λαδιού (23,49%), και στην ουρία με αναστολείς η μεγαλύτερη περιεκτικότητα (36,32%).



Διάγραμμα 55: Περιεκτικότητα λαδιού στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

4.4.2 Λιπαρά Οξέα Σύνθεση και Αναλογίες Ελαίου

Στην παρούσα μελέτη, μελετήθηκαν τα δεκατρία κύρια λιπαρά οξέα που ανιχνεύθηκαν στο έλαιο μαύρης μουστάρδας και εκφράστηκαν ως το σχετικό ποσοστό κάθε μεμονωμένου λιπαρού οξέος που υπάρχει στο δείγμα ελαίου που μελετήθηκε. Συγκεκριμένα, τα δεκατρία κύρια λιπαρά οξέα που παρατηρήθηκαν και αντιπροσώπευαν περίπου το 95% των συνολικών λιπαρών οξέων ήταν το πενταδεκανοϊκό οξύ (C15:0), το παλμιτικό οξύ (C16:0), το στεατικό οξύ (C18:0), το ελαϊκό οξύ (C18:1 n-9), βακενικό οξύ (C18:1 n-7), λινολεϊκό οξύ (C18:2 n-6), α-λινολενικό οξύ (C18:3 n-3), αραχιδικό οξύ (C20:0), cis- 11-εικοσενοϊκό οξύ (C20:1), cis-11,14-εικοσαδιενοϊκό οξύ (C20:2 n-6), βεχενικό οξύ (C22:0), ερουκικό οξύ (C22:1) και νευρονικό οξύ (C24:1) (*Πίνακας 41*).

Η συνδυασμένη ανάλυση διακύμανσης (*Πίνακας 39*) έδειξε ότι τα περιεχόμενα κορεσμένου (SAFA: πενταδεκανοϊκό, παλμιτικό, στεατικό, αραχιδικό και βεχενικό οξύ), μονοακόρεστα (MUFA: ελαϊκό, vaccenic, cis-11-εικοσενοϊκό, ερουκικό και νευρονικό οξύ) και τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA: λινολεϊκό, α-λινολενικό και cis-11,14-εικοσαδιενοϊκό οξύ) επηρεάστηκαν σημαντικά από τη λίπανση κατά τη διάρκεια του πειράματος δύο ετών. Συγκεκριμένα, κατά μέσο όρο στις πυκνότητες των φυτών, οι υψηλότερες τιμές SAFA παρατηρήθηκαν σε αγροτεμάχια με κομπόστ φυκιών (6,97% και 7,05% w/w το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) ακολουθούμενη από ουρία με αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης 6,77% και 6,86% w/w το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) και χωρίς θεραπεία (6,74% και 6,81% w/w το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα). Όσον αφορά το MUFA, η υψηλότερη περιεκτικότητα παρατηρήθηκε στην περίπτωση των μη επεξεργασμένων αγροτεμαχίων (μάρτυρας), με τις τιμές να είναι 54,29% και 58,20% w/w στην πρώτη και δεύτερη πειραματική περίοδο, αντίστοιχα. Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε PUFA, οι υψηλότερες τιμές επιτεύχθηκαν σε μη επεξεργασμένα αγροτεμάχια (μάρτυρας: 68,25% και 67,25% β/β στην πρώτη και δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, αντίστοιχα) αγροτεμάχια (*Πίνακας 42*).

Ως απόκριση στην πυκνότητα των φυτών, αυτό είχε επίσης σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα σε SAFA και PUFA (*Πίνακας 39*). Κατά τη διάρκεια του πειράματος δύο ετών, οι μέσες τιμές του SAFA (7,04% και 7,09% w/w το πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) και του PUFA (35,05% και 34,05% w/w το πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) ήταν οι μεγαλύτερες σε αγροτεμάχια χαμηλής πυκνότητας (*Πίνακας 41*).

Το παλμιτικό οξύ παρουσίασε την υψηλότερη περιεκτικότητα σε SAFA. Συγκεκριμένα, η πυκνότητα των φυτών φαίνεται να είχε στατιστικά σημαντική επίδραση στις τιμές αυτού του

χαρακτηριστικού καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος των δύο πρώτων ετών και η υψηλότερη περιεκτικότητα βρέθηκε σε αγροτεμάχια χαμηλής πυκνότητας (46 φυτά m⁻²), με τις τιμές να είναι 3,57% και 3,51 % w/w στην πρώτη και δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, αντίστοιχα (**Πίνακας 41**). Η λίπανση είχε εξίσου σημαντική επίδραση, με το κομπόστ (3,64% και 3,59% κ.β. το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) και το λίπασμα ουρίας με αναστολείς ουρεάσης και νιτροποίησης (3,54% και 3,51% κ.β. το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) παρουσιάζοντας υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με εκείνες των μαρτύρων (μάρτυρας: 3,10 και 3,04 % w/w για τα αντίστοιχα έτη).

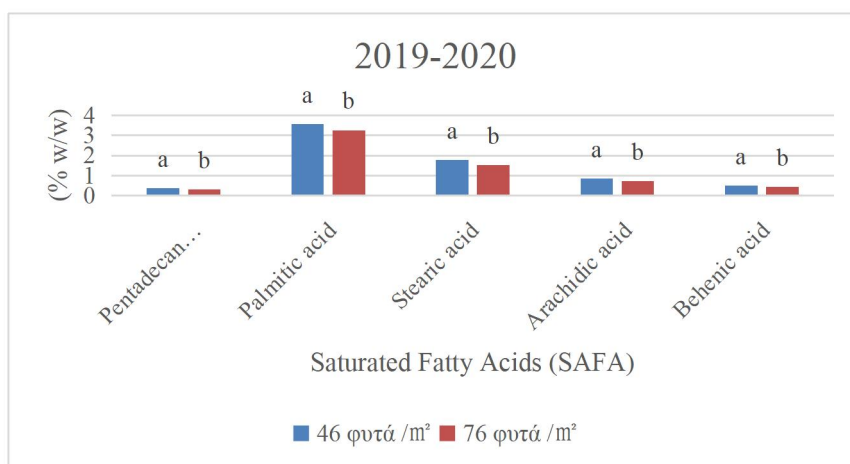
Το MUFA αποτελούνταν από πέντε λιπαρά οξέα (ελαϊκό, δακσενικό, cis-11-εικοσενοϊκό, ερουκικό και νευρονικό οξύ) και τα υψηλότερα περιεχόμενα παρουσιάστηκαν από το ερουκικό και το ελαϊκό οξύ (**Πίνακας 41**). Όσον αφορά το ερουκικό οξύ, οι τιμές περιεκτικότητας ήταν σημαντικά υψηλότερες στο έλαιο φυτών χαμηλής πυκνότητας και οι τιμές ήταν 20,01% και 20,92% w/w για το πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα. Όσον αφορά τη λίπανση, αυτή είχε σημαντική αρνητική επίδραση στην περιεκτικότητα σε ερουκικό οξύ, με τις υψηλότερες τιμές (22,78% και 23,70% β/β το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα)

Πίνακας 41. Σύνθεση λιπαρών οξέων του ελαίου όπως επηρεάζεται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση.

Επέμβαση	<i>Saturated Fatty Acids (SAFA)</i>					<i>Monounsaturated Fatty Acids (MUFA)</i>					<i>Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA)</i>		
	Pentadecanoic acid (C15:0) (% w/w)	Palmitic acid (C16:0) (% w/w)	Stearic acid (C18:0) (% w/w)	Arachidic acid (C20:0) (% w/w)	Behenic acid (C22:0) (% w/w)	Oleic acid (C18:1 n-9) (% w/w)	Vaccenic acid (C18:1 n-7) (% w/w)	cis-11-Eicosenoic acid (C20:1) (% w/w)	Erucic acid (C22:1) (% w/w)	Nervonic acid (C24:1) (% w/w)	Linoleic acid (C18:2 n-6) (% w/w)	α -Linolenic acid (C18:3 n-3) (% w/w)	cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2 n-6) (% w/w)
2019-2020													
	<i>Plant Density</i>												
46 φυτά m ⁻²	0.36 A	3.57 A	1.77 A	0.84 A	0.50 A	14.75 B	1.51 A	12.13 A	20.01 A	1.06 B	24.21 A	9.84 A	1.01 A
76 φυτά m ⁻²	0.31 B	3.26 B	1.51 B	0.72 B	0.44 B	18.77 A	1.38 B	10.36 B	17.04 B	1.49 A	22.36 B	8.37 B	0.90 B
	<i>Fertilization</i>												
Control	0.26 c	3.10 c	2.02 a	0.96 a	0.42 c	15.22 bc	1.31 c	13.81 a	22.78 a	1.19 a	24.23 a	7.09 c	0.83 c
Urea	0.32 bc	3.38 b	1.29 c	0.61 c	0.47 b	19.72 a	1.42 b	8.83 c	14.58 c	1.41 a	22.65 bc	8.93 b	0.94 b
Urea + NI + UI	0.33 b	3.54 ab	1.62 b	0.76 b	0.50 ab	18.39 ab	1.49 ab	11.09 b	18.29 b	1.42 a	22.26 c	9.14 b	1.01 ab
Compost	0.41 a	3.64 a	1.64 b	0.78 b	0.52 a	13.71 c	1.54 a	11.20 b	18.45 b	1.07 a	24.21 ab	11.24 a	1.03 a
	<i>Source of Variation</i>												
<i>F</i> _{Plant Density}	5.988*	15.567**	6.102*	6.058*	19.917***	7.665*	15.493**	6.407*	6.621*	12.578**	15.207**	6.214*	20.991***
<i>F</i> _{Fertilization}	7.947**	9.546***	7.881**	8.036**	14.356***	3.646*	9.901***	8.242**	8.401**	2.007 ^{ns}	4.279*	8.276**	16.305***
<i>F</i> _{Plant Density} × <i>F</i> _{Fertilization}	0.628 ^{ns}	0.183 ^{ns}	0.489 ^{ns}	0.507 ^{ns}	0.864 ^{ns}	0.296 ^{ns}	0.174 ^{ns}	0.526 ^{ns}	0.545 ^{ns}	0.191 ^{ns}	0.477 ^{ns}	0.598 ^{ns}	0.727 ^{ns}
2020-2021													
	<i>Plant Density</i>												
46 φυτά m ⁻²	0.35 A	3.51 A	1.84 A	0.87 A	0.51 A	17.46 B	1.48 A	12.59 A	20.92 A	1.40 B	22.23 A	10.79 A	1.03 A
76 φυτά m ⁻²	0.31 B	3.23 B	1.58 B	0.75 B	0.46 B	19.79 A	1.36 B	11.03 B	18.50 A	1.59 A	21.90 A	9.17 B	0.94 B
	<i>Fertilization</i>												
Control	0.27 c	3.04 c	2.08 a	0.98 a	0.43 c	17.78 ab	1.28 c	14.01 a	23.70 a	1.43 ab	22.69 a	7.97 c	0.86 c
Urea	0.31 bc	3.33 b	1.37 c	0.64 c	0.48 b	20.73 a	1.40 b	9.53 c	15.99 c	1.67 a	21.40 b	9.37 bc	0.97 b
Urea + NI + UI	0.33 b	3.51 ab	1.69 b	0.80 b	0.51 ab	19.76 a	1.48 ab	11.80 b	19.46 b	1.59 a	21.38 b	10.94 ab	1.04 ab
Compost	0.42 a	3.59 a	1.71 b	0.81 b	0.52 a	16.24 b	1.52 a	11.91 ab	19.67 b	1.31 b	22.79 a	11.64 a	1.06 a
	<i>Source of Variation</i>												
<i>F</i> _{Plant Density}	6.936*	12.085**	6.455*	6.019*	12.593**	5.604*	11.959**	4.964*	4.437 ^{ns}	5.266*	0.595 ^{ns}	5.949*	16.412***
<i>F</i> _{Fertilization}	10.980***	9.532***	8.142**	7.734**	10.732***	4.151*	9.386***	6.733**	7.554**	3.841*	3.529*	6.084**	15.076***
<i>F</i> _{Plant Density} × <i>F</i> _{Fertilization}	0.509 ^{ns}	0.068 ^{ns}	0.526 ^{ns}	0.498 ^{ns}	0.262 ^{ns}	0.491 ^{ns}	0.069 ^{ns}	0.199 ^{ns}	0.298 ^{ns}	0.448 ^{ns}	0.739 ^{ns}	0.383 ^{ns}	0.515 ^{ns}

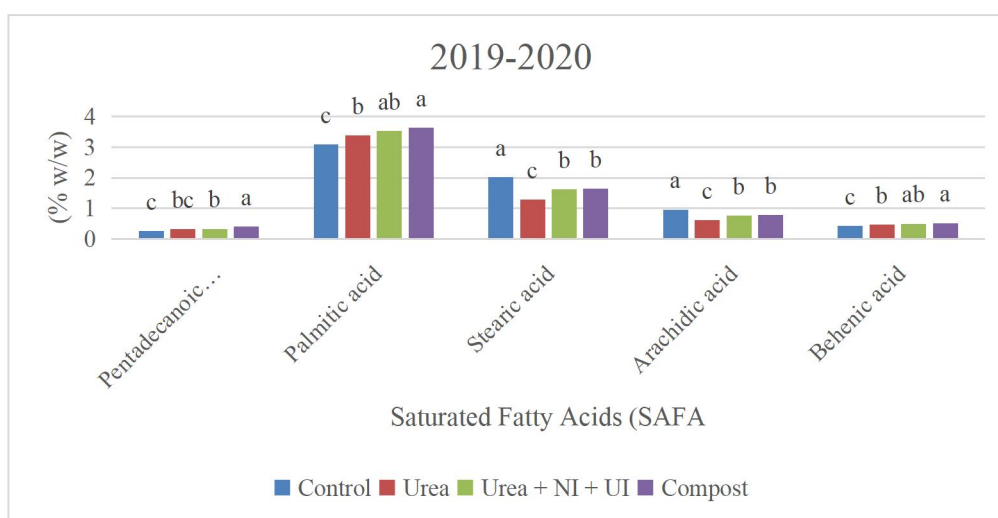
Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. Τα κεφαλαία γράμματα συγκρίνουν τις πυκνότητες των φυτών εντός μιας καλλιεργητικής περιόδου και τα πεζά γράμματα συγκρίνουν τις επεμβάσεις λίπανσης εντός μιας καλλιεργητικής περιόδου, με τη δοκιμή HSD του Tukey ($p \leq 0,05$).

Όσον αφορά τα κορεσμένα λιπαρά οξέα (SAFA) του λαδιού κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020, όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 56**, στην χαμηλή πυκνότητα φυτών (46 φυτά m⁻²), τα κορεσμένα λιπαρά οξέα ήταν υψηλότερα συγκριτικά με την υψηλή πυκνότητα φυτών (76 φυτά m⁻²). Όπου από τα κορεσμένα λιπαρά οξέα το Παλμιτικό οξύ (Palmitic acid (C16:0)) ήταν σε μεγαλύτερη συγκέντρωση (3,57 % w/w) από τα υπόλοιπα.



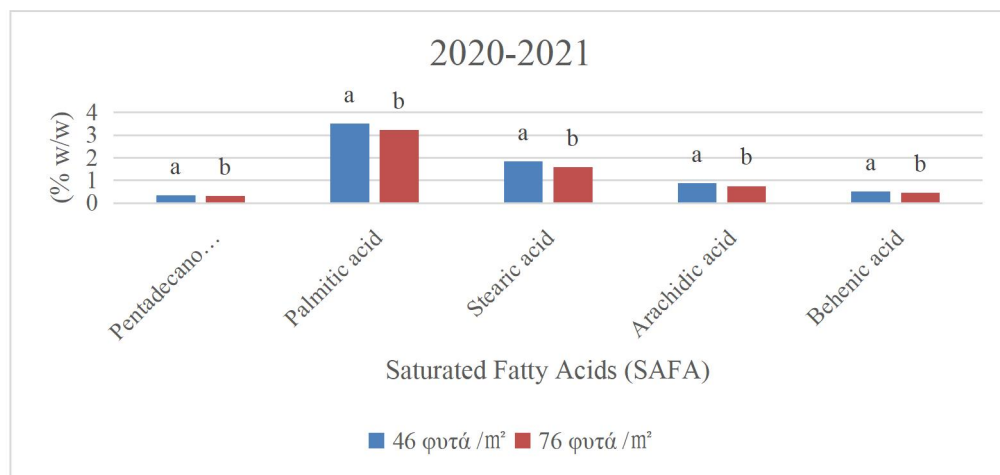
Διάγραμμα 56: Περιεκτικότητα Saturated Fatty Acids (SAFA) στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Κατά το έτος 2019-2020, στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης στο Παλμιτικό οξύ (Palmitic acid (C16:0)), η μεγαλύτερη τιμή καταγράφηκε στο κομπόστ (3,64 % w/w), ενώ η μικρότερη στον μάρτυρα (3,10 % w/w), (**Διάγραμμα 57**).



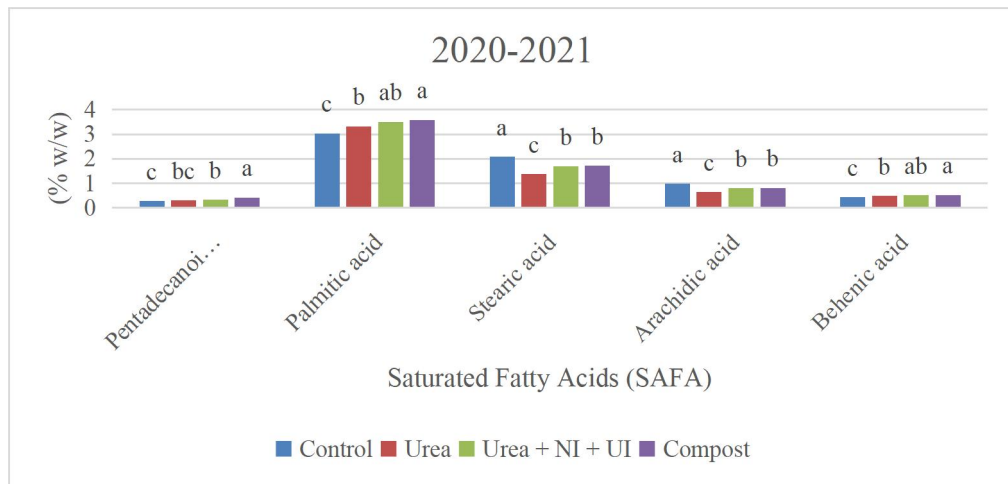
Διάγραμμα 57: Περιεκτικότητα Saturated Fatty Acids (SAFA) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Το 2ο πειραματικό έτος το Παλμιτικό οξύ (Palmitic acid (C16:0)) ήταν πάλι το κορεσμένο λιπαρό οξύ που παρουσίασε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις (3,51 % w/w) στην χαμηλή πυκνότητα φυτών (46 φυτά m⁻²), συγκριτικά με την υψηλή πυκνότητα σποράς. Το 2ο κορεσμένο λιπαρό οξύ σε συγκέντρωση ήταν το Στεαρικό οξύ (Stearic acid (C18:0)), όπου η μεγαλύτερη του τιμή καταγράφηκε στην χαμηλή πυκνότητα φυτών (46 φυτά m⁻²) (*Διάγραμμα 58*).



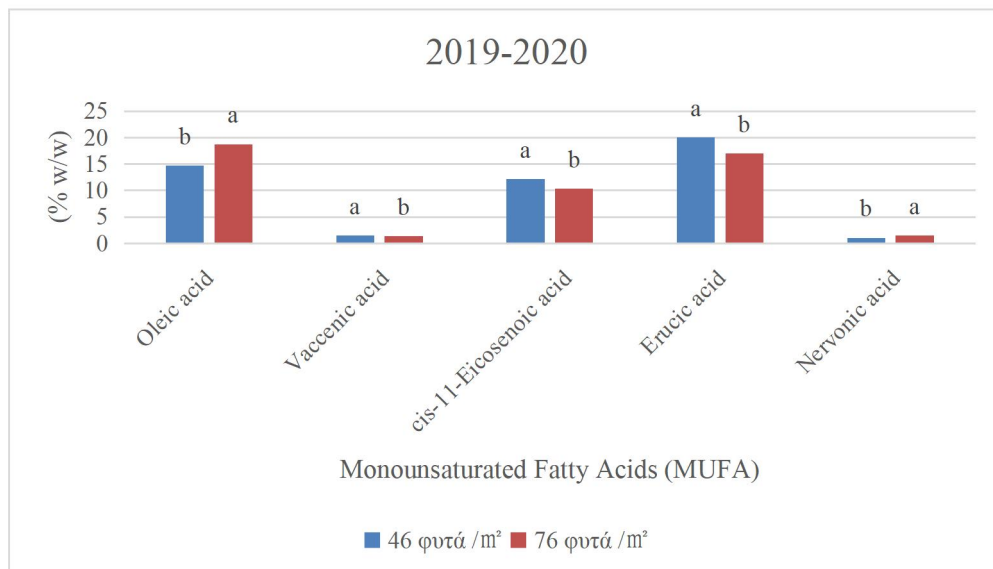
Διάγραμμα 58: Περιεκτικότητα Saturated Fatty Acids (SAFA) στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των κορεσμένων λιπαρών οξέων στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το έτος 2020-2021, το Παλμιτικό οξύ (Palmitic acid (C16:0)) ήταν το υψηλότερο σε συγκέντρωση οξύ και μετέπειτα το Στεαρικό οξύ (Stearic acid (C18:0)). Και πιο συγκεκριμένα όπως φαίνεται στο *Διάγραμμα 59* στο κομπόστ και στον μάρτυρα σημειώθηκαν οι μεγαλύτερες τιμές (3,59% w/w και 2,08 % w/w, αντίστοιχα).



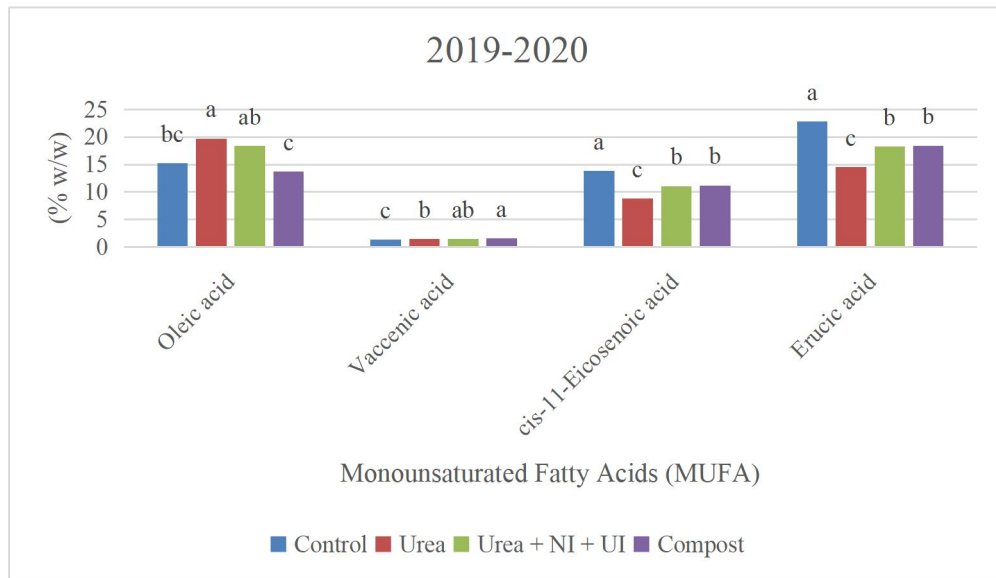
Διάγραμμα 59: Περιεκτικότητα Saturated Fatty Acids (SAFA) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο **Διάγραμμα 60** παρουσιάζονται τα Μονοακόρεστα Λιπαρά οξέα (MUFA) κατά το έτος 2019-2020, όπου το Ερουκικό οξύ (Erucic acid (C22:1), ήταν αυτό με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις και ιδιαίτερα στην χαμηλή πυκνότητα φυτών (46 φυτά m^{-2}) καταγράφηκε η μεγαλύτερη τιμή (20,01 % w/w). Έπειτα το Ελαϊκό οξύ (Oleic acid (C18:1 $n-9$)) ήταν το 2ο σε σειρά μονοακόρεστο λιπαρό οξύ με την υψηλότερη συγκέντρωση (18,77 % w/w) στην υψηλής πυκνότητας φυτών (76 φυτά m^{-2}).



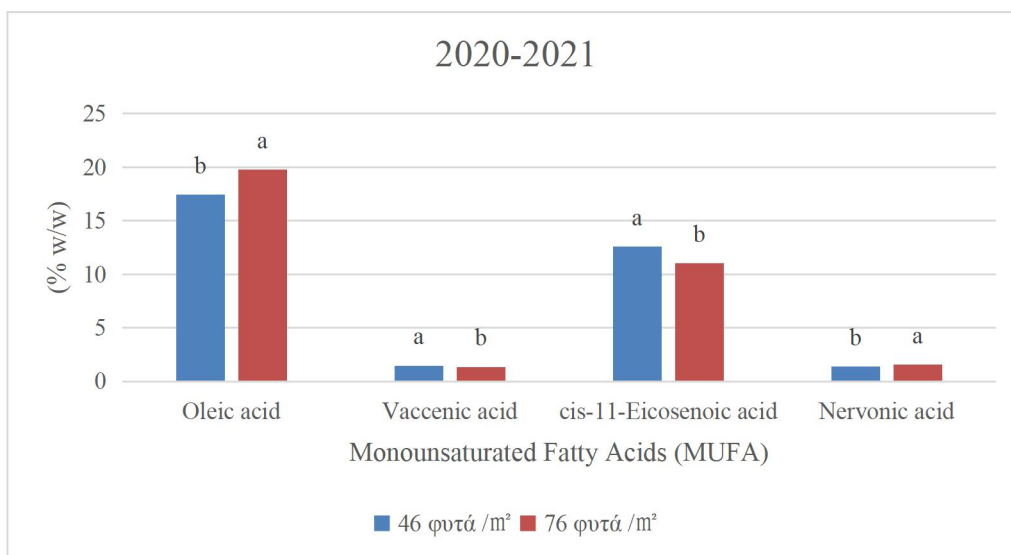
Διάγραμμα 60: Περιεκτικότητα Monounsaturated Fatty Acids (MUFA) στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Όσον αφορά τις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης το Ελαϊκό οξύ (Oleic acid (C18:1 *n*-9)) εμφάνισε την υψηλότερη τιμή στην επέμβαση της ουρίας (19,72 % w/w), και στο Ερουκικό οξύ (Erucic acid (C22:1)) η μεγαλύτερη τιμή καταγράφηκε στον μάρτυρα (22,78% w/w) και στο κομπόστ (18,45 % w/w), (*Διάγραμμα 61*).



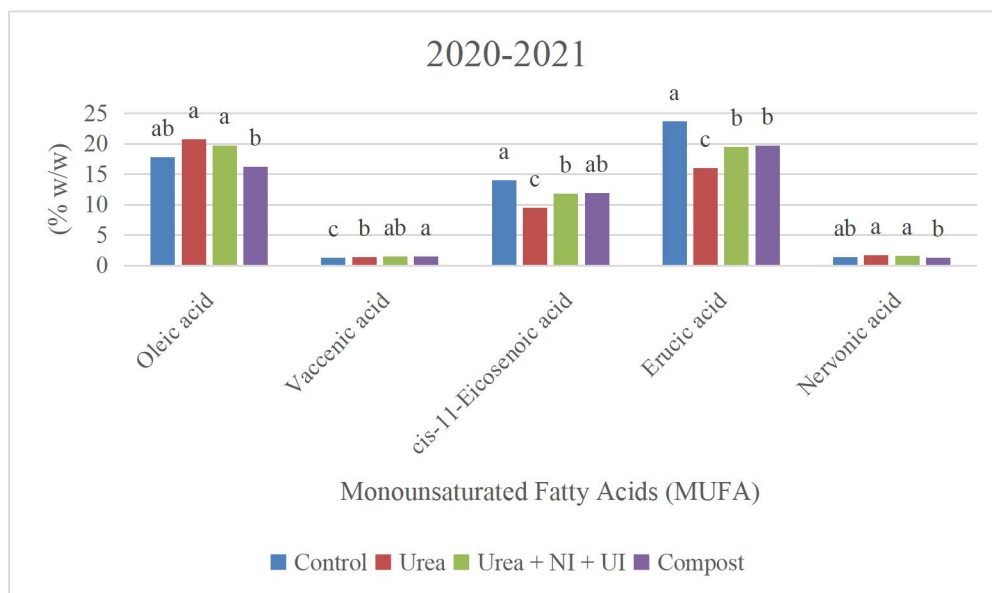
Διάγραμμα 61: Περιεκτικότητα Monounsaturated Fatty Acids (MUFA) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο παρακάτω *Διάγραμμα 62*, απεικονίζονται τα Μονοακόρεστα Λιπαρά Οξέα (MUFA), κατά το έτος 2020-2021 στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς, όπου στο Ελαϊκό οξύ (Oleic acid (C18:1 *n*-9)), καταγράφηκε η υψηλότερη τιμή (19,79 % w/w) στα 76 φυτά m⁻². Το Ελαϊκό οξύ ήταν το μονοακόρεστο λιπαρό οξύ με την υψηλότερη συγκέντρωση ενώ το Ερουκικό οξύ δεν είχε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των πυκνοτήτων σποράς για αυτό και δεν απεικονίζεται στο *Διάγραμμα 62*.



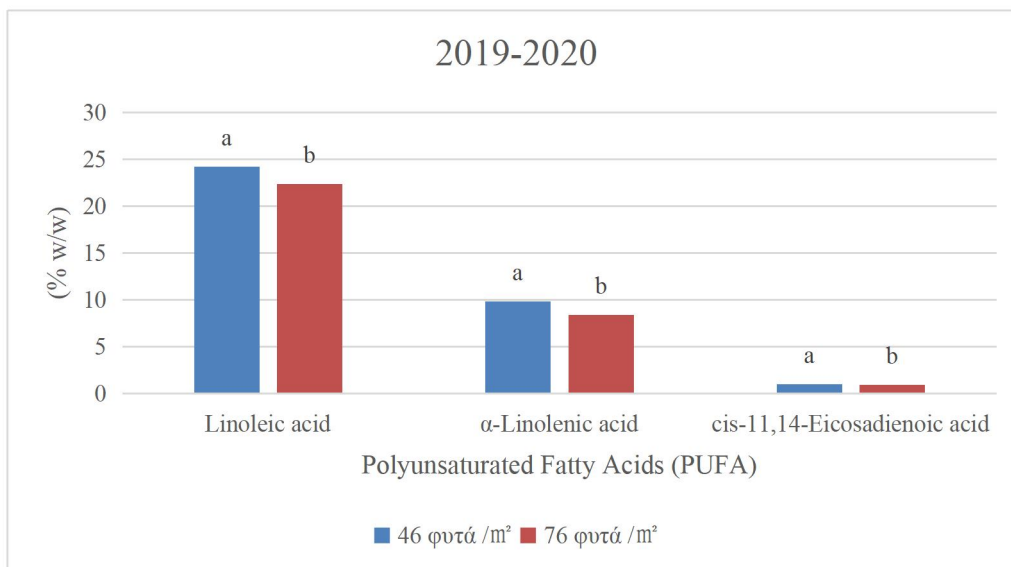
Διάγραμμα 62: Περιεκτικότητα Monounsaturated Fatty Acids (MUFA) στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Όσον αφορά την συγκέντρωση των μονοακόρεστων λιπαρών οξέων στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης (**Διάγραμμα 63**), κατά το 2ο καλλιεργητικό έτος, το Ελαιϊκό οξύ (Oleic acid (C18:1 *n*-9)), συγκέντρωσε 20,73 % w/w στην ουρία, ενώ 17,78 % w/w στον μάρτυρα. Επιπροσθέτως, το κομπόστ είχε την υψηλότερη περιεκτικότητα σε Ερουκικό οξύ (19,67% w/w).



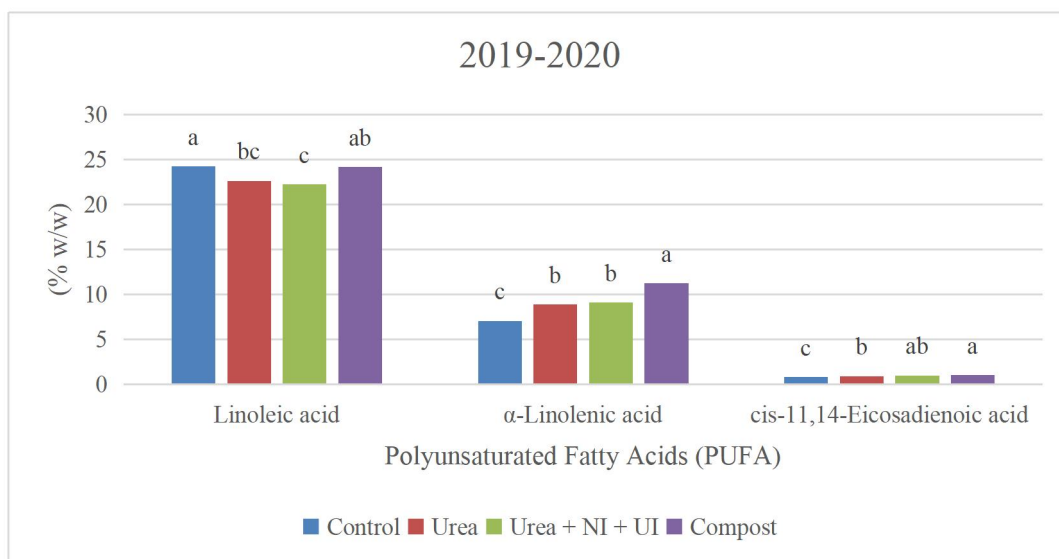
Διάγραμμα 63: Περιεκτικότητα Monounsaturated Fatty Acids (MUFA) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Το **Διάγραμμα 64**, παρουσιάζει τα αποτελέσματα των Πολυακόρεστων Λιπαρών Οξέων (PUFA), στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς. Καταγράφηκαν 3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, το Λινελαϊκό οξύ (Linoleic acid (C18:2 n-6)), το α -Λινελαϊκό οξύ (α -Linolenic acid (C18:3 n-3)) και το cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2 n-6). Όπου το Λινελαϊκό οξύ ήταν αυτό με την μεγαλύτερη συγκέντρωση της τάξεως του 24,21 % w/w, στην χαμηλή πυκνότητα σποράς (46 φυτά m⁻²).



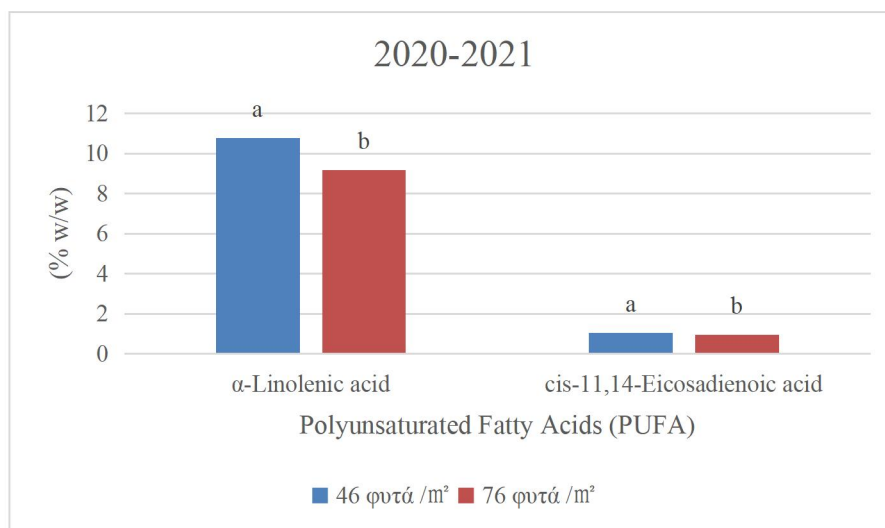
Διάγραμμα 64: Περιεκτικότητα Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA) στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Στο **Διάγραμμα 65**, απεικονίζονται τα αποτελέσματα των Πολυακόρεστων Λιπαρών Οξέων στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, όπου ο μάρτυρας είχε την υψηλότερη συγκέντρωση σε Λινελαϊκό οξύ (Linoleic acid (C18:2 n-6)) της τάξεως του 24,23 % w/w και το κομπόστ με τιμή 24,21 % w/w. Επιπλέον, στο α -Λινελαϊκό οξύ (α -Linolenic acid (C18:3 n-3)), το κομπόστ είχε την υψηλότερη τιμή (11,24 % w/w).



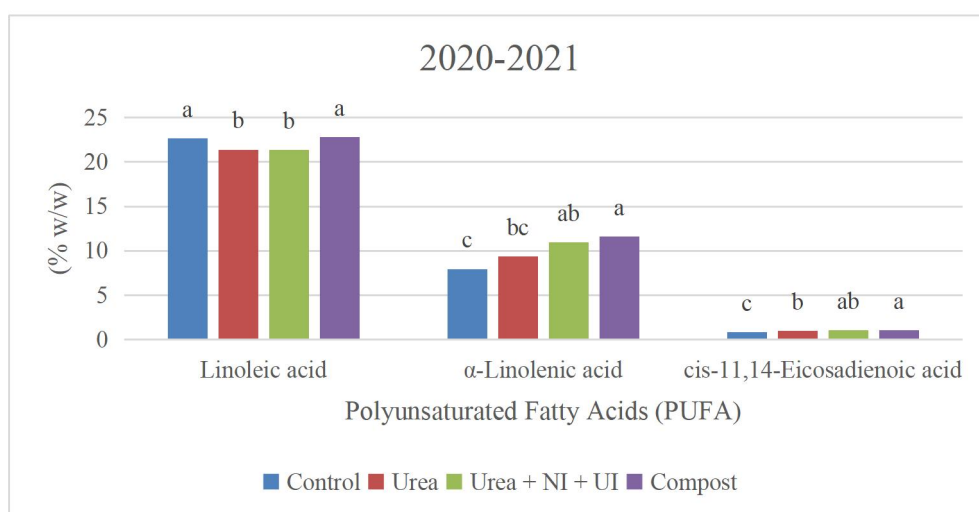
Διάγραμμα 65: Περιεκτικότητα Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2019-2020. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Κατά το 2ο καλλιεργητικό έτος (2020-2021) (*Διάγραμμα 66*), το Λινελαϊκό οξύ (Linoleic acid (C18:2 n-6)), δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς, εν αντιθέσει με το α-Λινελαϊκό οξύ (α-Linolenic acid (C18:3 n-3)) και το cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2 n-6) όπου είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά στις 2 πυκνότητες σποράς. Το α-Λινελαϊκό οξύ (α-Linolenic acid (C18:3 n-3)) στην χαμηλή πυκνότητα σποράς κατέγραψε την τιμή των 10,79 % w/w, ενώ στα 76 φυτά m⁻² την τιμή των 9,17 % w/w. Το cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2 n-6) στην χαμηλή πυκνότητα σποράς είχε τιμή 1,03 % w/w, ενώ στην υψηλή 0,94 % w/w.



Διάγραμμα 66: Περιεκτικότητα Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA) στις διαφορετικές πυκνότητες σποράς κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$)

Το καλλιεργητικό έτος 2020-2021 (*Διάγραμμα 67*), στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα που βρέθηκαν ήταν στατιστικά σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων. Το Λινελαϊκό οξύ (Linoleic acid (C18:2 n-6)) παρουσίασε την υψηλότερη τιμή στο κομπόστ (22,79 % w/w), ενώ την χαμηλότερη στην επέμβαση της ουρίας με αναστολείς (21,38 % w/w). Για το α-Λινελαϊκό οξύ (α-Linolenic acid (C18:3 n-3)), στην επέμβαση του κομπόστ καταγράφηκε η μεγαλύτερη τιμή (11,64 % w/w), παρομοίως και στο cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2 n-6) το κόμποστ είχε την υψηλότερη τιμή (1,06 % w/w) μεταξύ των υπολοίπων επεμβάσεων.



Διάγραμμα 67: Περιεκτικότητα Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA) στις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης κατά το καλλιεργητικό έτος 2020-2021. (Τα διαφορετικά γράμματα σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$).

Πίνακας 41. Αναλογίες λιπαρών οξέων του ελαίου όπως επηρεάζονται από την πυκνότητα των φυτών και τη λίπανση.

Επέμβαση	Saturated Fatty Acids (SAFA) (% w/w)	Monounsaturated Fatty Acids (MUFA) (% w/w)	Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA) (% w/w)	n-6 (% w/w)	n-3 (% w/w)	PUFA/SAFA	n-6/n-3
2019-2020							
<i>Plant Density</i>							
46 φυτά m ⁻²	7.04 A	49.46 A	35.05 A	25.22 A	9.84 A	5.00 A	2.72 A
76 φυτά m ⁻²	6.25 B	49.01 A	31.64 B	23.27 B	8.37 B	5.08 A	2.89 A
<i>Fertilization</i>							
Control	6.74 a	54.29 a	32.16 b	25.07 a	7.09 c	4.79 b	3.59 a
Urea	6.08 b	45.96 b	32.53 b	23.60 bc	8.93 b	5.22 a	2.73 b
Urea + NI + UI	6.77 a	50.69 ab	32.41 b	23.27 c	9.14 b	4.81 b	2.64 b
Compost	6.97 a	45.97 b	36.28 a	25.04 ab	11.24 a	5.35 a	2.26 b
<i>Source of Variation</i>							
<i>F</i> _{Plant Density}	13.807**	0.059 ^{ns}	18.459***	15.893**	6.214*	0.409 ^{ns}	0.656 ^{ns}
<i>F</i> _{Fertilization}	3.326*	4.924*	6.087**	3.740*	8.276**	5.085*	6.657**
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}	0.319 ^{ns}	0.269 ^{ns}	0.219 ^{ns}	0.426 ^{ns}	0.598 ^{ns}	1.130 ^{ns}	0.355 ^{ns}
2020-2021							
<i>Plant Density</i>							
46 φυτά m ⁻²	7.09 A	53.86 A	34.05 A	23.26 A	10.79 A	4.82 A	2.26 A
76 φυτά m ⁻²	6.34 B	52.28 A	32.01 B	22.84 A	9.17 B	5.07 A	2.58 A
<i>Fertilization</i>							
Control	6.81 a	58.20 a	31.52 c	23.54 ab	7.97 c	4.67 b	2.99 a
Urea	6.14 b	49.32 c	31.74 c	22.37 b	9.37 bc	5.18 a	2.42 b
Urea + NI + UI	6.86 a	54.10 ab	33.37 b	22.42 b	10.94 ab	4.89 b	2.18 b
Compost	7.05 a	50.64 bc	35.49 a	23.86 a	11.64 a	5.06 ab	2.08 b
<i>Source of Variation</i>							
<i>F</i> _{Plant Density}	12.603**	1.055 ^{ns}	15.853**	0.971 ^{ns}	5.949*	2.996 ^{ns}	3.180 ^{ns}
<i>F</i> _{Fertilization}	3.507*	6.695**	12.861***	3.309*	6.084**	2.362*	4.977*
<i>F</i> _{Plant Density × Fertilization}	0.264 ^{ns}	0.319 ^{ns}	1.253 ^{ns}	0.696 ^{ns}	0.383 ^{ns}	0.946 ^{ns}	0.082 ^{ns}

Οι αναλογίες F-test προέρχονται από την ANOVA. ns, *, ** και ***: Μη σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. Τα κεφαλαία γράμματα συγκρίνουν τις πυκνότητες των φυτών εντός μιας καλλιεργητικής περιόδου και τα πεζά γράμματα συγκρίνουν τις επεμβάσεις λίπανσης εντός μιας καλλιεργητικής περιόδου, με τη δοκιμή HSD του Tukey ($p \leq 0,05$).

Όσον αφορά το ελαϊκό οξύ, το οποίο παρουσίασε τη δεύτερη υψηλότερη περιεκτικότητα μεταξύ των μονοακόρεστων λιπαρών οξέων, οι επιδράσεις της πυκνότητας των φυτών και της λίπανσης στην περιεκτικότητά του παρουσιάζονται στον **Πίνακα 41**. Στα αγροτεμάχια υψηλής πυκνότητας, οι τιμές της περιεκτικότητας σε ελαϊκό οξύ ήταν σημαντικά υψηλότερες (18,77% και 19,49 % w/w το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) από εκείνα της χαμηλής πυκνότητας (14,75% και 17,46% w/w για το πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα). Επιπλέον, οι μέσες τιμές περιεκτικότητας σε ελαϊκό οξύ παρουσίασαν καλές ενδείξεις για τις επεμβάσεις των λιπάνσεων. Με βάση τον μέσο όρο στις πυκνότητες των φυτών, οι υψηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν στο λίπασμα της ουρίας χωρίς αναστολείς

(19,72% και 20,73% w/w την πρώτη και δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, αντίστοιχα) ακολουθούμενη από την ουρία με αναστολείς ουρεάσης και νιτροποίησης (18,39% και 19,76% w/w για τα αντίστοιχα έτη).

Στην κατηγορία των PUFA, η υψηλότερη περιεκτικότητα ελήφθη από το λινολεϊκό οξύ και, μάλιστα, παρουσίασε την υψηλότερη περιεκτικότητα σε σχέση με όλα τα άλλα λιπαρά οξέα του ελαίου (**Πίνακας 41**). Οι διαφορές μεταξύ των διαφορετικών πυκνοτήτων σποράς ως προς την περιεκτικότητα σε λινολεϊκό οξύ ήταν στατιστικά σημαντικές, με τις υψηλότερες τιμές (24,21% και 22,23% w/w το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) να καταγράφονται στα αγροτεμάχια με χαμηλή πυκνότητα. Όσον αφορά την επίδραση της λίπανσης, τα plots που δεν δέχθηκαν καμία επέμβαση με λίπανση (μάρτυρες: 24,23% και 22,69% w/w το πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) και το κομπόστ (24,21% και 22,79% w/w το πρώτο και το δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) παρουσιάστηκαν σημαντικά υψηλότερες μέσες τιμές περιεκτικότητας σε λινολεϊκό οξύ.

Τα PUFA είναι δύο τύπων ωμέγα 6 (n-6) και ωμέγα 3 (n-3) λιπαρά οξέα. Στην παρούσα μελέτη, τα n-6 λιπαρά οξέα αποτελούνταν από λινολεϊκό και cis-11,14-εικοσαδιενοϊκό οξύ. Σύμφωνα με τη συνδυασμένη ανάλυση διακύμανσης (**Πίνακας 39**), η περιεκτικότητα σε n-6 λιπαρά οξέα επηρεάστηκε τόσο από τις διαφορετικές πυκνότητες των φυτών όσο και από τις επεξεργασίες λίπανσης. Η περιεκτικότητα σε n-6 λιπαρά οξέα δεν διέφερε μεταξύ των πυκνοτήτων των φυτών το 2020-2021. Ωστόσο, διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές κατά το πρώτο πειραματικό έτος (2019-2020), όπου η υψηλότερη τιμή (25,22% w/w) ελήφθη από το έλαιο φυτών χαμηλής πυκνότητας (**Πίνακας 42**). Όσον αφορά την επίδραση της λίπανσης, οι υψηλότερες τιμές βρέθηκαν στο κομπόστ (25,04% και 23,86% κ.β. την πρώτη και δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, αντίστοιχα) και στα αγροτεμάχια που δεν είχε εφαρμοστεί λίπασμα (μάρτυρας: 25,07% και 23,54% κ.β. για τα αντίστοιχα έτη).

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έδειξαν ότι τα ωμέγα 3 (n-3) λιπαρά οξέα του ελαίου μαύρης μουστάρδας αποτελούνταν μόνο από α-λινολενικό οξύ (**Πίνακες 41 και 42**). Οι διαφορές μεταξύ φυτών διαφορετικής πυκνότητας φυτών ήταν στατιστικά σημαντικές και οι υψηλότερες τιμές στην περιεκτικότητα σε α-λινολενικό οξύ (9,84% και 10,79% w/w το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) βρέθηκαν σε αγροτεμάχια χαμηλής πυκνότητας (46 φυτά m⁻²). Με τον ίδιο τρόπο, η λίπανση βρέθηκε να είναι στατιστικά σημαντική σε όλες τις καλλιεργητικές περιόδους, όπου το κομπόστ (11,24% και 11,64% w/w το πρώτο και δεύτερο πειραματικό έτος, αντίστοιχα) παρουσίασε στατιστικά υψηλότερες τιμές περιεκτικότητας σε α-λινολενικό οξύ.

Η αναλογία PUFA/SAFA δεν επηρεάστηκε από τις πυκνότητες των φυτών, αλλά επηρεάστηκε μόνο από τα διαφορετικά καθεστώτα λίπανσης. Συγκεκριμένα, η υψηλότερη αναλογία PUFA/SAFA βρέθηκε στην περίπτωση του κομπόστ (5,35 και 5,06 το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) και της ουρίας χωρίς αναστολείς (5,22 και 5,18 το 2019-2020-2020 αντίστοιχα) , ενώ οι χαμηλότερες τιμές λήφθηκαν από ουρία με αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης (4,81 και 4,89 την πρώτη και δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, αντίστοιχα) και στον μάρτυρα (μάρτυρας: 4,79 και 4,67 για τα αντίστοιχα έτη) αγροτεμάχια (**Πίνακας 42**).

Όσον αφορά την αναλογία n-6/n-3, δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών πυκνοτήτων σποράς. Ωστόσο, τα φυτά στα αγροτεμάχια υψηλής πυκνότητας (76 φυτά m⁻²) παρουσίασαν ελαφρώς υψηλότερες τιμές αυτού του χαρακτηριστικού (2,89 και 2,58 το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) από εκείνα των αγροτεμαχίων χαμηλής πυκνότητας (46 φυτά m⁻²), (2,72 και 2,26 για τα αντίστοιχα έτη) (**Πίνακας 42**). Όσον αφορά την λίπανση, αυτό είχε σημαντική επίδραση σε αυτό το χαρακτηριστικό και οι υψηλότερες τιμές βρέθηκαν στα αγροτεμάχια που δεν είχαν δεχθεί κάποια επέμβαση (μάρτυρας: 3,59 και 2,99 το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) και ακολούθησε ουρία χωρίς αναστολείς (2,73 και 2,42 in 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα), ουρία με αναστολείς ουρεάσης και νιτροποίησης (2,64 και 2,18 το 2019-2020 και 2020-2021, αντίστοιχα) και κομπόστ (2,26 και 2,08 για τα αντίστοιχα έτη).

4.5 Βαθμομέρες ανάπτυξης (Growing Degree Days)

Πίνακας 43. Αθροιστικές Βαθμομέρες Ανάπτυξης (AGDDs) από τη σπορά έως την φυσιολογική ωρίμανση του καρπού και ημερομηνίες βασικών φαινολογικών σταδίων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης **κατά το έτος 2019-2020**.

Φαινολογικά στάδια ανάπτυξης	Ημερομηνία	Days After Sowing (DAS)	AGDDs (°C)
Ανάδυση φυταρίων	09/12/2019	10	110
Δημιουργία ροζέτας	20/12/2019	26	295,4
Βλαστητικό/Vegetative	03/01/2020	40	550,75
Flowering	16/03/2020	113	990,25
Καρπόδεση	14/04/2020	142	1013,05
Ωρίμανση	06/06/2020	195	1849,5

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω **Πίνακα 43** οι συνολικές απαιτούμενες αθροιστικές βαθμοημέρες ανάπτυξης από την ημέρα της σποράς μέχρι και την συγκομιδή ήταν 1849,5 °C το πρώτο καλλιεργητικό έτος (2019-2020). Ο βιολογικός κύκλος διήρκεσε 195 ημέρες, όπου παρατηρούμε ότι το στάδιο της ροζέτας ξεκίνησε στις 26 ΗΑΣ, το βλαστητικό στις 40 ΗΑΣ ενώ η άνθηση στις 113 ΗΑΣ..

Πίνακας 44. Αθροιστικές Βαθμοημέρες Ανάπτυξης (AGDDs) από τη σπορά έως την φυσιολογική ωρίμανση του καρπού και ημερομηνίες βασικών φαινολογικών σταδίων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης **κατά το έτος 2020-2021**.

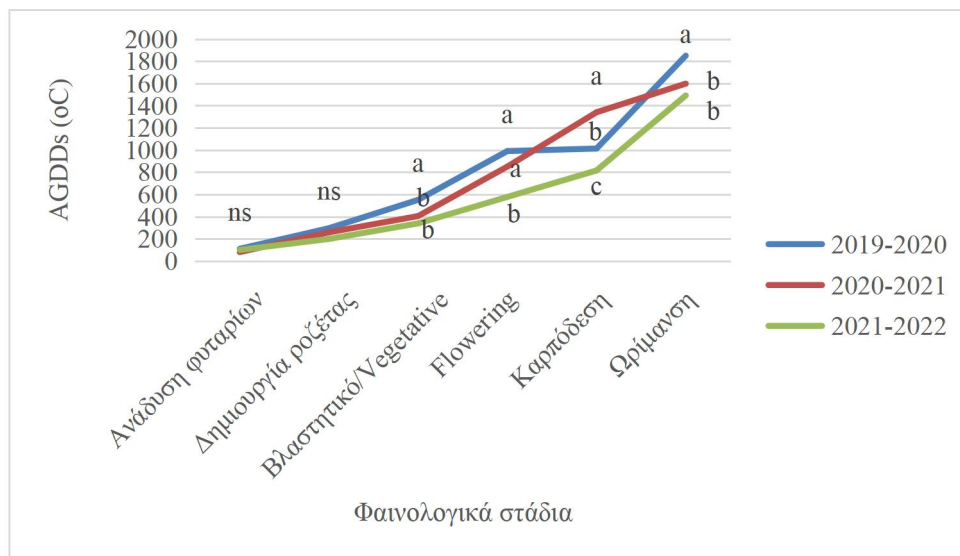
Φαινολογικά στάδια ανάπτυξης	Ημερομηνία	Days After Sowing (DAS)	AGDDs (°C)
Ανάδυση φυταρίων	09/12/2020	15	80,15
Δημιουργία ροζέτας	30/12/2020	37	258,35
Βλαστητικό/Vegetative	16/01/2021	54	404,75
Flowering	07/03/2021	104	850,55
Καρπόδεση	09/04/2021	137	1339,85
Ωρίμανση	24/05/2021	184	1597,7

Όσον αφορά το 2ο καλλιεργητικό έτος (2020-2021), ο συνολικός αριθμός των βαθμοημερών ανάπτυξης μέχρι το τέλος του βιολογικού κύκλου ήταν 1597,7 °C. Πιο συγκεκριμένα όπως φαίνεται στον **Πίνακα 44**, ο βιολογικός κύκλος διήρκεσε 184 ΗΑΣ, όπου το βλαστητικό στάδιο ξεκίνησε στις 54 ΗΑΣ, ενώ η έναρξη της ανθοφορίας στις 104 ΗΑΣ. Η συνολική διάρκεια του βιολογικού κύκλου ήταν 184 ΗΑΣ.

Πίνακας 45. Αθροιστικές Βαθμοημέρες Ανάπτυξης (AGDDs) από τη σπορά έως την φυσιολογική ωρίμανση του καρπού και ημερομηνίες βασικών φαινολογικών σταδίων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης **κατά το έτος 2021-2022**.

Φαινολογικά στάδια ανάπτυξης	Ημερομηνία	Days After Sowing (DAS)	AGDDs (°C)
Ανάδυση φυταρίων	04/12/2021	10	99,75
Δημιουργία ροζέτας	20/12/2021	26	198,75
Βλαστητικό/Vegetative	08/01/2022	45	338,7
Flowering	04/03/2022	100	577,25
Καρπόδεση	06/04/2022	133	815,55
Ωρίμανση	27/05/2022	184	1491,15

Τέλος, κατά την τρίτη καλλιεργητική περίοδο (2021-2022), οι συνολικές βαθμοημέρες ανάπτυξης ήταν 1491,15 °C, με το στάδιο της ροζέτας να ξεκινάει στις 26 ΗΑΣ, το βλαστητικό στάδιο στις 45 ΗΑΣ, ενώ της ανθοφορίας στις 100 ΗΑΣ. Η συνολική διάρκεια του βιολογικού κύκλου ήταν 184 ΗΑΣ (*Πίνακας 45*).



Διάγραμμα 68: Αθροιστικές βαθμοημέρες ανάπτυξης στα βασικά φαινολογικά στάδια στα τρία έτη της πειραματικής διαδικασίας. (Τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν την σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των ετών, επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$).

Από το *Διάγραμμα 68* παρατηρούμε ότι μεταξύ των τριών ετών δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στο στάδιο της ανάδυσης των φυταρίων, καθώς και στην δημιουργία της ροζέτας. Στη συνέχεια, στο βλαστητικό στάδιο υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά του 1ου έτους με το 2ο και το 3ο έτος αντίστοιχα. Στο καλλιεργητικό έτος 2019-2020 χρειάστηκε υψηλότερος αριθμός AGDDs για την έναρξη του σταδίου συγκριτικά με το 2020-2021 και το 2021-2022 κατά 36% και 62% αντίστοιχα. Όσον αφορά την άνθηση, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά των δύο πρώτων ετών με το 3ο έτος. Στο 3ο έτος τα AGDDs ήταν μειωμένα συγκριτικά με τα προηγούμενα δύο έτη κατά 72% (2019-2020) και 48% (2020-2021) αντίστοιχα. Αξιοσημείωτο είναι, ότι στο φαινολογικό στάδιο της καρπόδεσης παρουσιάστηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών ετών, με την υψηλότερη τιμή να καταγράφεται την περίοδο 2020-2021 1339,85 °C και η ελάχιστη το 3ο έτος 2021-2022, 815,55°C, αντίστοιχα. Τέλος, στον συνολικό αριθμό των βαθμοημερών ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκαν από τα φυτά μέχρι και την ωρίμανση, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά του 1ου έτους με τα υπόλοιπα δύο έτη, όπου ήταν υψηλότερος ο αριθμός των AGDDs κατά 15% και 24%, αντίστοιχα.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Αγρονομικά χαρακτηριστικά

5.1.1 Ύψος φυτών

Το ύψος των φυτών επηρεάστηκε σημαντικά από τις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, δεν είχε όμως καμία επίδραση η διαφορετική πυκνότητα φυτών. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τους Keivanrad και Zandi (2012), όπου στην έρευνα που πραγματοποίησαν κατέληξαν ότι η πυκνότητα σποράς επέφερε σημαντικές επιπτώσεις στο ύψος των φυτών. Όμως αξίζει να τονιστεί ότι οι πυκνότητες που μελέτησαν ήταν μεγαλύτερες από τις μελετούμενες πυκνότητες στην υπάρχουσα έρευνα, για αυτό και η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων. Ως επί το πλείστον οι Keivanrad και Zandi (2012), αναφέρουν επίσης ότι οι διαφορετικές λιπάνσεις είχαν στατιστικά σημαντικές επιδράσεις στο ύψος των φυτών, κάτι στο οποίο συμφωνούν και τα αποτελέσματα της τριετούς έρευνας (2019-2022). Το ψηλότερο φυτό καταγράφηκε στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρέασης (218,67 cm) (**Πίνακας 10**) στην υψηλή πυκνότητα φυτών (76 φυτά m⁻²) κατά το πρώτο καλλιεργητικό έτος. Τονίζεται ότι στην ουρία με παρεμποδιστές καταγράφηκαν τα ψηλότερα φυτά και στα τρία πειραματικά έτη. Στην μελέτη των Majnoun-hosseini et al. (2006), λέγεται ότι το άζωτο επιδρά θετικά στο ύψος των φυτών κάτι το οποίο έρχεται σύμφωνο με τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν στην καλλιέργεια της μαύρης μουστάρδας. Η λίπανση της ουρίας με παρεμποδιστές είχε τα ψηλότερα φυτά διότι το άζωτο αποδεσμεύεται με αργούς ρυθμούς συγκριτικά με την ουρία αλλά και με το κομπόστ, δίνοντας συνεχώς θρεπτικά στο φυτό. Στον **Πίνακα 46** φαίνεται η αρνητική συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ του ύψους των φυτών τον αριθμό των λοβών ($r = -0,421, p < 0,05$) καθώς και με την απόδοση του σπόρου ($r = -0,531, p < 0,01$). Αυτό συνάδει με τα αποτελέσματα της έρευνας των Kazemeini et al. (2010) όπου αναφέρεται ότι ο αριθμός των λοβών μειώνεται.

5.1.2 Νωπό και ξηρό βάρος βλαστού και φύλλων

Όπως φαίνεται στους **Πίνακες 10-12**, το νωπό και το ξηρό βάρος των φυτών επηρεάστηκε σημαντικά από την πυκνότητα φυτών καθώς και από τις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης. Όπου το μεγαλύτερο νωπό και ξηρό βάρος καταγράφηκε στην υψηλή πυκνότητα φυτών (76 φυτά m⁻²) και στις επεμβάσεις της ουρίας με και χωρίς παρεμποδιστές. Όπως αναφέρουν οι Jacobs et al. (2004) στην μελέτη τους, η εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων είχε ως

αποτέλεσμα την αύξηση του νωπού και του ξηρού βάρους των καλλιεργούμενων φυτών. Στον **Πίνακα 46**, παρουσιάζεται η θετική συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ της πυκνότητας των φυτών του νωπού βάρους του βλαστού ($r = 0,600$, $p < 0,001$), του νωπού βάρους των φύλλων ($r = 0,502$, $p < 0,05$) καθώς και του ξηρού βάρους των φύλλων ($r = 0,428$, $p < 0,05$). Όσο αυξάνεται η πυκνότητα σποράς αυξάνεται το νωπό και το ξηρό βάρος των φυτών τονίζεται όμως ότι αφορά το συνολικό άθροισμα του βάρους, οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν έγιναν στο τετραγωνικό. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρουν και οι Sadia et al. (2013), στην έρευνα τους.

5.1.3 Leaf Area Index (LAI)

Ο δείκτης επιφάνειας φύλλων (LAI) ορίστηκε από τον Watson (1947) ως η συνολική μονόπλευρη επιφάνεια ιστού φύλλων ανά μονάδα επιφάνεια εδάφους. Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό, το LAI είναι η αδιάστατη ποσότητα που χαρακτηρίζει τον θόλο ενός οικοσυστήματος. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας καθορίζει και ελέγχει την αναχαίτιση νερού από τον θόλο, την πρόσληψη της ακτινοβολίας και την ανταλλαγή αερίων άνθρακα ως εκ τούτου αποτελεί βασικό συστατικό των βιογεωχημικών κύκλων στα οικοσυστήματα. Στην παρούσα μελέτη ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας παρουσίασε υψηλές τιμές στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές, στην ουρία αλλά και στο κομπόστ. Αξίζει να τονιστεί ότι στην χαμηλή πυκνότητα φυτών (46 φυτά m^{-2}) καταγράφηκαν οι μεγαλύτερες τιμές, ενώ στην υψηλή πυκνότητα σποράς και στα τρία πειραματικά έτη το LAI ήταν μικρότερο σε όλες τις επεμβάσεις. Οι Keivanrad και Zandi (2012) στην μελέτη τους όσον αφορά τα αγρονομικά χαρακτηριστικά της μουστάρδας αναφέρουν ότι οι υψηλότερες πυκνότητες σποράς έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της φυλλικής επιφάνειας διότι στις χαμηλότερες πυκνότητες φυτών, τα φυτά έχουν στην διάθεση τους μεγαλύτερη επιφάνεια για την ανάπτυξη τους με αποτέλεσμα ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας να αυξάνεται. Υπάρχει εντονότερος εσωτερικός ανταγωνισμός μεταξύ των φυτών όσο αυξάνεται η πυκνότητα σποράς κάτι το οποίο υπογραμμίζεται και στην έρευνα των Rana and Pachauri (2001). Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) ήταν μεγαλύτερος στις επεμβάσεις της ουρίας με και χωρίς παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης, παρόμοια αποτελέσματα κατέγραψαν στην μελέτη τους οι Aman et al. (2023). Το εύρος του δείκτη φυλλικής επιφάνειας που μετρήθηκε συνάδει με τα αποτελέσματα της προηγούμενη μελέτης των Aman et al. (2023), όπου στην παρούσα τριετή έρευνα το LAI κυμάνθηκε από 3,32 έως 4,56 (**Διαγράμματα 12-15**).

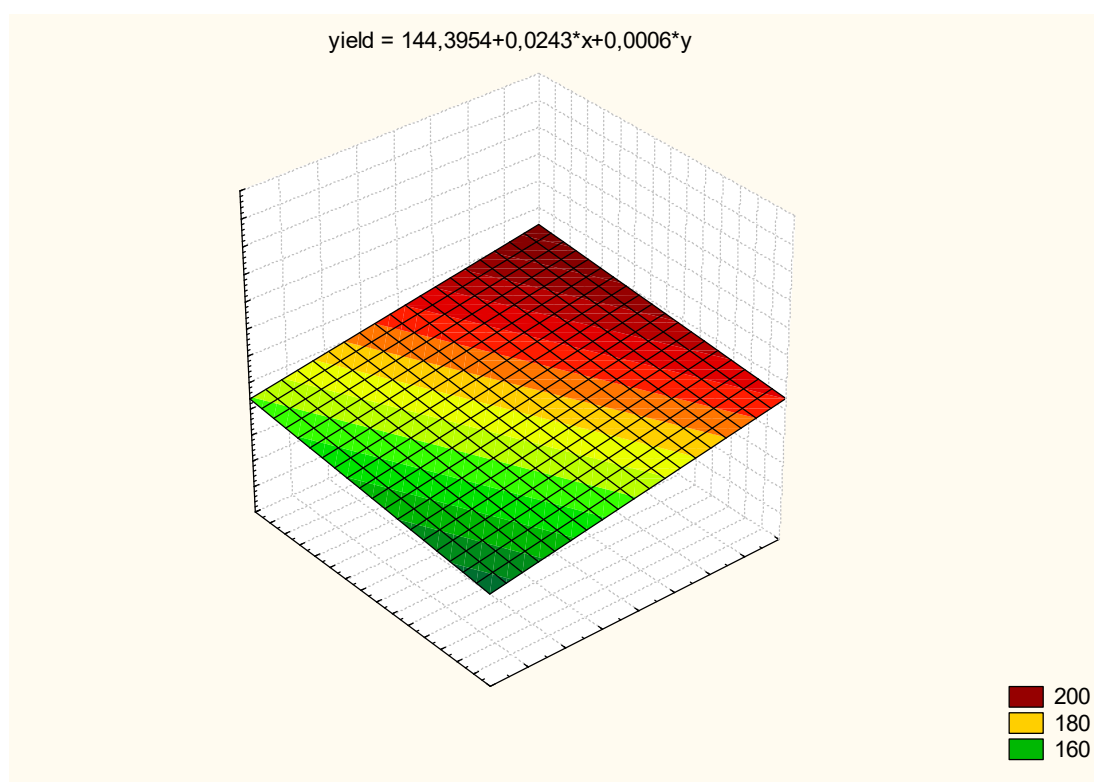
5.1.4 Αριθμός ταξιανθιών

Οι Allen και Morgan (1972) δήλωσαν ότι η ταχεία ανάπτυξη, αυξάνει την παραγωγή και βελτιώνει την ποιότητα των φύλλων στις καλλιέργειες ελαιούχων σπόρων. Επιπροσθέτως, μετά από μακροχρόνια πειράματα στην καλλιέργεια της μουστάρδας κατέληξαν ότι τα επαρκή επίπεδα αζώτου οδήγησαν σταδιακά σε αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών (Yadav et al., 1994; Bhalerao, 2001; Garg et al., 2001; Premi, Manoj, 2004; McKenzie et al., 2006; Verma et al., 2012). Όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 46** υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των διαφορετικών επεμβάσεων λίπανσης και στον αριθμό των ταξιανθιών ($r = 0,370$, $p < 0,05$). Ο αριθμός των ταξιανθιών ήταν μεγαλύτερος στις επεμβάσεις της ουρίας με και χωρίς παρεμποδιστές, στην χαμηλή πυκνότητα σποράς (**Πίνακες 13-16**). Οι Norton et al. (1991), δηλώνουν στην έρευνα τους ότι όσο μεγαλύτερο ύψος παρουσιάζουν τα φυτά, ο ανθικός άξονας είναι μεγαλύτερος με αποτέλεσμα ο αριθμός των ταξιανθιών να είναι υψηλότερος συγκριτικά με τα πιο κοντά φυτά, αυτό έρχεται σύμφωνο με τα αποτελέσματα τις τριετούς μελέτης που διεξήχθη και πιο συγκεκριμένα στον **Πίνακα 46**, παρουσιάζεται η θετική συσχέτιση μεταξύ του ύψους των φυτών και τον αριθμό των ταξιανθιών ($r = 0,162$, $p < 0,05$). Αξιοσημείωτο είναι ότι ο μεγαλύτερος αριθμός ταξιανθιών σημειώθηκε στην επέμβαση της ουρίας με αναστολείς, όπου μετά από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί έχει βρεθεί ότι τα αζωτούχα λιπάσματα που περιέχουν αναστολείς βελτιώνουν και αυξάνουν την απόδοση των φυτών (Drury et al., 2017). Όσον αφορά την πυκνότητα σποράς στον **Πίνακα 46**, φαίνεται η αρνητική συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ της πυκνότητας των φυτών και του αριθμού των ταξιανθιών ($r = -0,701$, $p < 0,001$), δηλαδή όσο αυξάνεται η πυκνότητα σποράς μειώνεται ο αριθμός των ταξιανθιών, κάτι το οποίο συνδυάζεται με τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας που αναφέρθηκε παραπάνω, καθώς στην χαμηλότερη πυκνότητα σποράς ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας ήταν μεγαλύτερος, ως εκ τούτου η φωτοσύνθεση είναι υψηλότερη άρα και τα φωτοσυνθετικά προϊόντα που προσφέρονται για τις λειτουργίες του φυτού μεγαλύτερα, όπως αναφέρουν και οι Norton et al. (1991) και οι Wysocki et al. (2007) στις έρευνες που πραγματοποίησαν.

5.1.5 Αριθμός λοβών

Ο αριθμός των λοβών επηρεάστηκε σημαντικά και τα τρία έτη της ανάλυσης από τις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης καθώς και από τις διαφορετικές πυκνότητες σποράς. Μεγαλύτερος αριθμός λοβών σημειώθηκε στην χαμηλή πυκνότητα σποράς (46 φυτά m^{-2}) στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρέασης κάτι το οποίο παρατηρήθηκε και στα τρία έτη. Γενικά, ο χαμηλότερος πληθυσμός είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των λοβών ενώ ο μεγαλύτερος πληθυσμός φυτών μείωσε τον αριθμό

των λοβών. Αυτά τα ευρήματα συμφωνούν με αυτά των McGregor (1987), Ali et al. (1996) και Cheema et al. (2001). Αυτό φαίνεται και από τον **Πίνακα 46**, όπου ο αριθμός των λοβών έχει αρνητική συσχέτιση με την πυκνότητα σποράς ($r = -0,401$, $p < 0,05$), δηλαδή, καθώς αυξάνεται η πυκνότητα των φυτών μειώνεται ο αριθμός των λοβών ανά φυτό άρα και στο τετραγωνικό. Επιπλέον, παρουσιάζεται θετική συσχέτιση με την επέμβαση των διαφορετικών λιπάνσεων ($r = 0,022$, $p < 0,01$), που συνάδει με το γεγονός ότι ο μεγαλύτερος αριθμός λοβών σημειώθηκε στην ουρία με και χωρίς παρεμποδιστές ενώ ο μικρότερος αριθμός στην επέμβαση με κομπόστ (**Πίνακες 13-15**). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν παρατηρηθεί από τους Kazemeini et al.(2010) για την ελαιοκράμβη στο νότιο Ιράν.



Διάγραμμα 69: 3D συσχέτισης μεταξύ απόδοσης σπόρου, αριθμό λοβών και ξηρό βάρος φυτού.

Στα **Διαγράμματα 69 και 70**, απεικονίζονται οι συσχετίσεις μεταξύ της απόδοσης σπόρου, του αριθμού των λοβών, το ξηρό βάρος καθώς καθώς και το ύψος του φυτού. Από τα δύο αυτά διαγράμματα φαίνεται ότι η βέλτιστη απόδοση είναι τα 180 kg στρ⁻¹ ή 1800 kg ha⁻¹. Το οποίο επιτυγχάνεται με ύψος φυτών 160 cm, αριθμό λοβών 200 ανά φυτό και ξηρό βάρος 160 g ανά φυτό.

5.1.7 Απόδοση σπόρου

Κατά τη διάρκεια της τριετούς δοκιμής (2019-2020, 2020-2021, 2021-2022), η πυκνότητα των φυτών είχε σημαντική επίδραση στην απόδοση των σπόρων της καλλιέργειας μαύρης μουστάρδας. Η μέση τιμή απόδοσης σπόρων για τρία χρόνια ήταν 22,3% υψηλότερη με πυκνότητα φυτών 46 φυτών m⁻² από ότι σε πυκνότητα 76 φυτών m⁻². Παρατηρήθηκε ότι ο μάρτυρας κατά τα τρία πειραματικά έτη είχε μία σταθερή απόδοση κι αυτό οφείλεται κυρίως στην υψηλή οργανική ουσία του εδάφους όπου περιείχε συσσωρευμένο οργανικό άζωτο. Οι πυκνότητες φυτών 60-70 φυτών m⁻² θεωρούνται γενικά βέλτιστες για υβρίδια ελαιοκράμβης (*Brassica napus* L.) στην Ευρώπη (Rathke et al., 2006), ενώ η συνήθης πυκνότητα φυτών της υβριδικής ελαιοκράμβης στην Κίνα είναι περίπου 30 φυτά m⁻² (Momoh and Zhou, 2001; Kuai et al., 2015). Γενικά, η απόδοση της ελαιοκράμβης και άλλων ειδών Brassica τυπικά δείχνει μια τετραγωνική απόκριση στην πυκνότητα των φυτών, με μια σχετικά στενή αύξηση κατά μήκος ενός φάσματος χαμηλών πυκνοτήτων, μια σταδιακή μείωση του ρυθμού αύξησης της απόδοσης και τελικά, μια μέγιστη απόδοση στη βέλτιστη πυκνότητα φυτών, η οποία εξαρτάται από τα είδη των καλλιεργειών, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις καλλιεργητικές πρακτικές (Leach et al., 1999; Kuai et al., 2015). Επίσης, όπως φαίνεται και από τον **Πίνακα 46** η απόδοση παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με το ύψος του φυτού ($r = -0,531$, $p < 0,001$) ενώ παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τον αριθμό των ταξιανθιών ($r = 0,505$, $p < 0,001$) καθώς και με τον αριθμό των λοβών ($r = 0,639$, $p < 0,001$). Σε ό,τι αφορά τη λίπανση, διαφορετικές λιπάνσεις είχαν σημαντική επίδραση στην απόδοση των σπόρων της μαύρης μουστάρδας. Η μέση τιμή απόδοσης σπόρων για τρία χρόνια ήταν στατιστικά σημαντικά υψηλότερη σε αγροτεμάχια που είχε εφαρμοστεί ουρία με αναστολείς ουρεάσης και νιτροποίησης (1984,4 kg ha⁻¹) ακολουθούμενη από ουρία χωρίς αναστολείς (1790,1 kg ha⁻¹) με την χαμηλότερη απόδοση να καταγράφεται στον μάρτυρα (1188,0 kg ha⁻¹). Αρκετοί ερευνητές έχουν παρατηρήσει μεγαλύτερες αποδόσεις σε διάφορες καλλιέργειες που λιπαίνονται με ανόργανα λιπάσματα, καθώς αυτά τα λιπάσματα περιείχαν διαλυτό ανόργανο άζωτο με γρήγορη διαθεσιμότητα στα καλλιεργούμενα είδη φυτών, με αποτέλεσμα ενισχυμένη ανάπτυξη και μεγαλύτερες αποδόσεις (Mengel and Rehm, 2012; Kakabouki; et al., 2021).

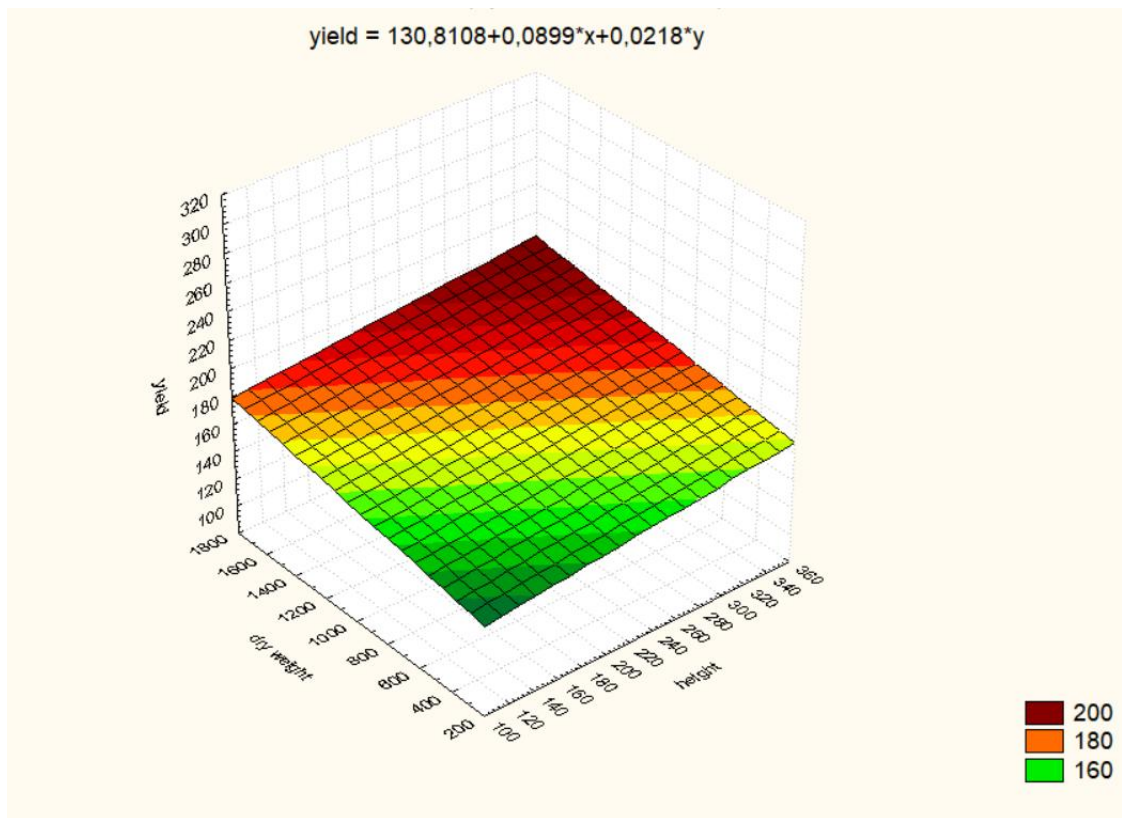
Λιπάσματα τα οποία περιέχουν αναστολείς νιτροποίησης ή/και ουρεάσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την πρόληψη της απώλειας αζώτου στο έδαφος. Αρκετές μελέτες έχουν αποκαλύψει ότι η χρήση αναστολέων ουρεάσης ή νιτροποίησης σε συνδυασμό με αζωτούχα λιπάσματα είναι από τις πιο υποσχόμενες νέες στρατηγικές πρόληψης της απώλειας αζώτου

(Zaman et al., 2008; Wang et al., 2020). Η χρήση αναστολέων σε συνδυασμό με αζωτούχα λιπάσματα έχει βρεθεί ότι είναι μια εξαιρετικά αποτελεσματική μέθοδος για τη μείωση των απωλειών αζωτούχων λιπασμάτων, ενώ παράλληλα βελτιώνει την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των φυτών (Drury et al., 2017). Δεν υπάρχουν δεδομένα όσον αφορά τις ελαιούχες καλλιέργειες και την χρήση λιπασμάτων με αναστολείς όμως, μια πρόσφατη ερευνητική μελέτη απέδειξε ότι η χρήση αναστολέων αύξησε την απόδοση σπόρων στον αραβόσιτο κατά 5-7% (Drury et al., 2017).

Πίνακας 46. Συσχετίσεις μεταξύ των μετρήσιμων αγρονομικών χαρακτηριστικών και για τα τρία πειραματικά έτη (2019-2020, 2020-2021, 2021-2022).

	Treatment	Density	Plant Height	Stem fresh weight	Stem dry weight	Leaf fresh weight	Leaf dry weight	Number of inflorescences	Number of pods	Yield
Treatment	1,0000	-0,000 ^{ns}	0,013 *	0,008 ^{ns}	-0,124 ^{ns}	0,093 ^{ns}	-0,151 ^{ns}	0,370 *	0,022 *	0,204 *
Density		1,0000	0,111 ^{ns}	0,600**	0,330 ^{ns}	0,502*	0,428**	-0,701***	-0,401 *	-0,347 ^{ns}
Plant Height			1,0000	0,388 ^{ns}	0,278 ^{ns}	0,365 ^{ns}	0,306 ^{ns}	0,162*	-0,421 *	-0,531**
Stem fresh weight				1,0000	0,439**	0,792***	0,817***	-0,245 ^{ns}	-0,434**	-0,123 ^{ns}
Stem dry weight					1,0000	0,426*	0,500**	0,048 ^{ns}	-0,398 ^{ns}	-0,160 ^{ns}
Leaf fresh weight						1,0000	0,760***	-0,094 ^{ns}	-0,233 ^{ns}	0,041 ^{ns}
Leaf dry weight							1,0000	-0,013 ^{ns}	-0,366 ^{ns}	-0,085 ^{ns}
Number of inflorescences								1,0000	0,466*	0,505**
Number of pods									1,0000	0,639**
Yield										1,0000

ns, *, ** και ***: Μη στατιστικά σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα σημαντικότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα



Διάγραμμα 70: 3D συσχέτιση μεταξύ απόδοσης σπόρου, ξηρό βάρος φυτού και ύψος φυτού.

5.2 Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά ελαίου

Όσον αφορά την επίδραση της πυκνότητας των φυτών στην περιεκτικότητα σε έλαιο, καταγράφηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων πυκνοτήτων φυτών και η υψηλότερη περιεκτικότητα καταγράφηκε στην πυκνότητα φυτών 46 φυτών m⁻² με τον μέσο όρο δύο ετών (2019-2020, 2020-2021), να είναι 17,7% υψηλότερος από την πυκνότητα των φυτών 76 φυτά m⁻². Αυτά τα ευρήματα συμφωνούν με αυτά των Leach et al. (1999) και Zhang et al. (2012), ο οποίος ανακάλυψε ότι οι πυκνότητες φυτών μεγαλύτερες από 50-60 φυτά m⁻² μειώνουν σημαντικά την περιεκτικότητα σε έλαιο στην καλλιέργεια ελαιοκράμβης. Ως απόκριση στο φαινόμενο της λίπανσης, οι μέσες τιμές διετούς περιεκτικότητας σε λάδι ήταν σημαντικά υψηλότερες στα αγροτεμάχια που είχε εφαρμοστεί το λίπασμα ουρίας με αναστολείς (36,63% w/w) και ουρία χωρίς αναστολείς (33,07% w/w). ενώ η χαμηλότερη τιμή παρουσιάστηκε στον μάρτυρα (23,91% w/w). Αυτά τα αποτελέσματα είναι συνεπή με τα αποτελέσματα των Siadat et al. (2011), όπου διαπίστωσαν ότι οι υψηλές δόσεις αζώτου (από 160 kg N ha⁻¹ και άνω) σε κράμβη (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) μπορούν να μειώσουν σημαντικά το έλαιο, ενώ οι χαμηλότερες δόσεις έχουν θετική επίδραση σε αυτή την ιδιότητα.

Επιπλέον, αξίζει να υπογραμμιστεί ότι σύμφωνα με τους Sharafi et al. (2015), η περιεκτικότητα σε έλαιο στην καλλιέργεια μαύρης μουστάρδας που καλλιεργήθηκε υπό κανονικές πολιτιστικές πρακτικές στο Ιράν κυμαινόταν από 17 έως 24%.

Δεδομένου ότι τα συστατικά της σταθερής απόδοσης ελαίου, δηλαδή η απόδοση της καλλιέργειας σπόρων και η περιεκτικότητα σε έλαιο, παρουσίασαν συγκρίσιμη τάση (**Πίνακας 40**), αυτό το χαρακτηριστικό ακολούθησε παρόμοιο μοτίβο. Η χαμηλή πυκνότητα φυτών (46 φυτά m⁻²) είχε μέση τιμή δύο ετών 621,6 kg ha⁻¹, η οποία ήταν πολύ μεγαλύτερη από εκείνη της υψηλής πυκνότητας (76 φυτά m⁻²), παρουσιάζοντας μέση τιμή δύο ετών 423,6 kg ha⁻¹. Όσον αφορά την επίδραση της λίπανσης σε αυτό το χαρακτηριστικό, οι υψηλότερες μέσες τιμές δύο ετών αναφέρθηκαν στην ουρία με και χωρίς αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης, με τιμές 61,9% και 32,3% υψηλότερες από τον μάρτυρα, αντίστοιχα. Τα προαναφερθέντα επιβεβαιώνονται από τις πολύ ισχυρές και θετικές συσχετίσεις της σταθερής απόδοσης ελαίου με την απόδοση σπόρων και σταθερή περιεκτικότητα σε λάδι ($r = 0,937, p < 0,001$; $r = 0,975, p < 0,001$, αντίστοιχα, **Πίνακας 47**).

Το έλαιο της μαύρης μουστάρδας περιείχε πέντε κορεσμένα λιπαρά οξέα (SAFA), πενταδεκανοϊκό, παλμιτικό, στεατικό, αραχιδιτικό και βεγενικό οξύ, εκ των οποίων η υψηλότερη περιεκτικότητα παρουσιάστηκε στο παλμιτικό οξύ, με μέσες τιμές δύο ετών που κυμαίνονταν από 3,37% έως 3,42 % w/w. Το έλαιο περιείχε επίσης πέντε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA), συγκεκριμένα το ελαϊκό, το vaccenic, το cis-11-εικοσενοϊκό, το ερουκικό και το νευρονικό οξύ με την υψηλότερη περιεκτικότητα να καταγράφεται σε ερουκικό και ελαϊκό οξύ, με τις μέσες τιμές δύο ετών να κυμαίνονται από 18,53 % έως 19,71% β/β για το ερουκικό οξύ και από 16,76% έως 18,63% β/β για το ελαϊκό οξύ, αντίστοιχα. Τέλος, τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα του (PUFA), τα οποία συνολικά είχαν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε άλλα λιπαρά οξέα, περιελάμβαναν τρία λιπαρά οξέα, το λινολεϊκό, το α-λινολενικό και το cis-11,14-εικοσαδιενοϊκό οξύ. Το λινολεϊκό οξύ ήταν το λιπαρό οξύ με την υψηλότερη περιεκτικότητα και οι μέσες τιμές διέτας κυμαίνονταν από 22,07% έως 23,29% w/w. Αυτά τα ευρήματα συμφωνούν με προηγούμενες έρευνες για τη μαύρη μουστάρδα που διεξήχθη σε διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες (Mejia-Garibay et al., 2015· Sharafi et al. 2015· Cartea et al., 2019· Kaur et al., 2022).

Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος δύο ετών, η σύνθεση των λιπαρών οξέων του ελαίου επηρεάστηκε σημαντικά. Με εξαίρεση το ελαϊκό και το νευρονικό οξύ, δύο από τα πέντε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA), η αύξηση της πυκνότητας των φυτών είχε αρνητικό αντίκτυπο σε όλα τα άλλα λιπαρά οξέα, ειδικά στα κορεσμένα (SAFA) και στα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA). Αυτά τα ευρήματα συμφωνούν με αυτά που καταγράφηκαν από τους Giridhar et al. (2016), ο οποίος ισχυρίστηκε ότι καθώς αυξανόταν η

πυκνότητα των σπόρων, η περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα του ελαίου *Nigella sativa* L. άλλαξε, με το ελαϊκό οξύ να αυξάνεται και τα SAFA και PUFA να μειώνονται. Η μειωμένη περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ σε χαμηλή πυκνότητα σποράς οφείλεται στη μειωμένη δραστηριότητα του ενζύμου Δ9 δεσατουράση, που μετατρέπει το στεατικό σε ελαϊκό οξύ (Ansari Ardali, 2014). Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι το νευρονικό οξύ συντίθεται από το ελαϊκό οξύ, το οποίο απαντάται φυσικά σε μια ποικιλία ζωικών και φυτικών λιπών και ελαίων, μετά από τρία διαδοχικά στάδια επιμήκυνσης της αλυσίδας που καταλύονται από ελονγκάσες (Chimhashu et al., 2018).

Η λίπανση είχε επίσης σημαντικό αντίκτυπο στη σύνθεση λιπαρών οξέων του ελαίου μαύρης μουστάρδας. Με εξαίρεση το στεατικό και το αραχιδικό οξύ, τα υπόλοιπα κορεσμένα λιπαρά οξέα, δηλαδή το πενταδεκανοϊκό, το παλμιτικό και το βεχενικό οξύ επηρεάστηκαν θετικά από τη λίπανση, παρουσιάζοντας τις υψηλότερες συγκεντρώσεις μετά την εφαρμογή κομπόστ. Ειδικότερα, οι μέγιστες μέσες τιμές διητούς της περιεκτικότητας σε λάδι σε παλμιτικό, πενταδεκανοϊκό και βεχενικό οξύ ήταν 3,62%, 0,42% και 0,52% β/β, αντίστοιχα. Όσον αφορά το παλμιτικό οξύ, αυτά τα ευρήματα είναι συγκρίσιμα με αυτά των Ganjineh et al. (2019), ο οποίος ανακάλυψε ότι η χρήση κομπόστ στην παραγωγή σουσαμιού είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερη ποσότητα παλμιτικού οξέος στο έλαιο σε σύγκριση με τις εφαρμογές ουρίας και κοπριάς. Για το στεατικό και το αραχιδικό οξύ, ο μέγιστος μέσος όρος δύο ετών καταγράφηκε στον μη επεξεργασμένο (μάρτυρα) με τις τιμές να είναι 2,05% και 0,97% β/β, αντίστοιχα. Σύμφωνα με τους Zapletalová et al. (2021), η εφαρμογή 140 kg N ha⁻¹ σε καλλιέργεια ελαιοκράμβης οδήγησε σε μείωση της περιεκτικότητας του ελαίου σε στεατικό οξύ κατά 1,7% και σε αύξηση του αραχιδικού οξέος κατά 5,8%, σε σύγκριση με το μη επεξεργασμένο. Ωστόσο, οι τιμές μεταξύ των μέσων δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.

Το ερουκικό οξύ είναι ένα κρίσιμο λιπαρό οξύ που βρίσκεται πιο συχνά στα είδη Brassica. Αυτό το λιπαρό οξύ 22 άνθρακα ανήκει στο MUFA και είναι επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Γενικά, το λάδι με υψηλή περιεκτικότητα σε ερουκικό οξύ είναι σημαντικό για βιομηχανικές εφαρμογές και είναι πολύτιμη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων πλαστικοποιητών, απορρυπαντικών, επιφανειοδραστικών ουσιών, καθώς και πολυεστέρων (Coonrod et al., 2008· Sharafi et al., 2015). Σε αυτή τη μελέτη, το ερουκικό οξύ ήταν η κύρια MUFA και η υψηλότερη περιεκτικότητα παρουσιάστηκε σε φυτά που βρίσκονταν σε αγροτεμάχια τα οποία δεν είχαν υποστεί καμία επέμβαση (22,78% και 23,70% β/β κατά την πρώτη και δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, αντίστοιχα), ενώ οι χαμηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν σε αγροτεμάχια που είχε λάβει χώρα εφαρμογή ουρίας χωρίς αναστολείς (14,58% και 15,99% w/w για τα αντίστοιχα έτη) (Πίνακας 41). Με τον ίδιο τρόπο, στην ερευνητική μελέτη των Zapletalová et al. (2021) στην

ελαιοκράμβη, καταγράφηκε ότι η αύξηση των επιπέδων αζωτούχου λιπάσματος έως και 140 kg N ha⁻¹ είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητας σε ερουκικό οξύ έως και 25%. Τα έλαια με υψηλή περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζουν θερμική σταθερότητα συγκρίσιμη με τα κορεσμένα λίπη και επομένως αποτελούν πιθανό υποκατάστατό τους σε εμπορικές εφαρμογές υπηρεσιών τροφίμων που απαιτούν σταθερότητα μεγάλης διάρκειας ζωής (Sharafi et al., 2015). Επιπλέον, το έλαιο με υψηλό ελαϊκό οξύ έχει ικανότητες μείωσης της χοληστερόλης, ενώ τα κορεσμένα (παλμιτικό και στεατικό) λιπαρά οξέα ενισχύουν σημαντικά τα επίπεδα χοληστερόλης στο αίμα (Rakow and Raney, 2003). Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι τα φυτικά έλαια με υψηλή περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ κερδίζουν δημοτικότητα για διατροφικούς και βιομηχανικούς σκοπούς. Στην τρέχουσα έρευνα, το ελαϊκό οξύ ήταν το δεύτερο υψηλότερο σε περιεκτικότητα σε MUFA και η υψηλότερη περιεκτικότητά του παρατηρήθηκε μετά την εφαρμογή ουρίας με και χωρίς αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης με τις μέσες τιμές δύο ετών να ανέρχονται σε 20,23% και 19,08% w/w. αντίστοιχα. Η θετική επίδραση των αυξανόμενων επιπέδων λίπανσης με ανόργανο N στο ελαϊκό οξύ και την περιεκτικότητά του έχει επίσης παρατηρηθεί σε άλλες καλλιέργειες, όπως το σουσάμι (Ganjineh et al., 2019), ο ηλίανθος (Alzamel et al., 2022) και το βαμβάκι (Sawan, 2018).

Τα ωμέγα 6 (n-6) και ωμέγα 3 (n-3) είναι λιπαρά οξέα και οι δύο τύποι PUFA. Τα n-6 λιπαρά οξέα διακρίνονται από έναν διπλό δεσμό έξι άνθρακες μακριά από το μέθυλο άκρο του οξέος, ενώ τα n-3 λιπαρά οξέα μοιράζονται αυτόν τον διπλό δεσμό τρεις άνθρακες μακριά από το μεθυλο άκρο του οξέος. Τα PUFA είναι επί του παρόντος περιζήτητα συστατικά ειδικών ελαίων, τα οποία είναι έλαια που χαρακτηρίζονται από μοναδικές θρεπτικές και λειτουργικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται ως θρεπτικά ή καλλυντικά (Balić et al., 2020). Λόγω της καλύτερης κατανόησης των βιολογικών και λειτουργικών τους ιδιοτήτων, καθώς και των πλεονεκτημάτων τους για την υγεία, τα PUFA, ιδιαίτερα τα n-3 λιπαρά οξέα, γίνονται όλο και πιο σημαντικά για το σύστημα υγείας, όχι μόνο για την πρόληψη ασθενειών, αλλά και για τη θεραπεία των πιο κοινών χρόνιων παθήσεων όπως είναι οι φλεγμονώδεις ασθένειες, συμπεριλαμβανομένων των φλεγμονωδών δερματικών παθήσεων, δηλαδή της ατοπικής δερματίτιδας, της ψωρίασης και της ακμής (Ferrerri and Chatgialloglu, 2015).

Τα n-6 λιπαρά οξέα του ελαίου μαύρης μουστάρδας αποτελούνταν από λινολεϊκό και cis-11,14-εικοσαδιενοϊκό οξύ. Το λινολεϊκό οξύ και τα παράγωγά του λιπαρά οξέα (συμπεριλαμβανομένου του cis-11,14-εικοσαδιενοϊκού οξέος) είναι απαραίτητα λιπαρά οξέα που δεν μπορούν να παραχθούν από τον άνθρωπο και πρέπει επομένως να λαμβάνονται μέσω

διατροφικών πηγών. Η υψηλή περιεκτικότητα του λαδιού σε λινολεϊκό οξύ μειώνει τα επίπεδα χοληστερόλης στο αίμα και βοηθά στην πρόληψη της αθηροσκλήρωσης (Rakow and Raney, 2003; Balić et al., 2020). Ως αποτέλεσμα, το βρώσιμο λάδι με υψηλή περιεκτικότητα σε λινολεϊκό οξύ θεωρείται έλαιο υψηλής ποιότητας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, η περιεκτικότητα σε λινολεϊκό οξύ ήταν υψηλότερη στα αγροτεμάχια του μάρτυρα και του κομποστ, με μέσες τιμές δύο ετών 23,46% και 23,50% β/β, αντίστοιχα. Σε μια προηγούμενη μελέτη των Zapletalová et al. (2021), η λίπανση με ανόργανο άζωτο (N) είχε θετική επίδραση στην καλλιέργεια ελαιοκράμβης και η υψηλότερη τιμή (18,81% w/w) καταγράφηκε στο έλαιο φυτών που εφαρμόστηκε λίπανση 140 kg N ha⁻¹. Επιπλέον, σε ένα πείραμα που διεξήχθη από τον Ahmed et al. (2018) στην καλλιέργεια σόγιας, ανακαλύφθηκε ότι η περιεκτικότητα σε λινολεϊκό οξύ στο έλαιο που προέρχεται από φυτά που είχαν λάβει κομπόστ ήταν στατιστικά σημαντικά υψηλότερη σε σύγκριση με τον μάρτυρα και τη λίπανση ανόργανου αζώτου που δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε έλαιο του cis-11,14-εικοσαδιενοϊκού οξέος, η υψηλότερη περιεκτικότητα βρέθηκε στο λίπασμα κομπόστ και στην ουρία με αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης, με τις μέσες τιμές δύο ετών να διαφέρουν κατά 23,7% και 21,3% αντίστοιχα, σε σύγκριση με τον μάρτυρα που έλαβε τη χαμηλότερη τιμή. Προηγούμενες μελέτες σε καλλιέργεια ηλίανθου και *N. sativa* έχουν δείξει ότι η περιεκτικότητα σε cis-11,14-εικοσαδιενοϊκό οξύ αυξάνεται με τις αυξανόμενες δόσεις αζώτου που διατίθεται στο φυτό (Li et al., 2017).

Τα n-3 λιπαρά οξέα στο έλαιο μαύρης μουστάρδας αποτελούνται αποκλειστικά από α-λινολενικό οξύ. Η κατανάλωση τροφών πλούσιων σε α-λινολενικό οξύ έχει αποδειχθεί ότι είναι πλεονεκτική για την πρόληψη μη μεταδοτικών ασθενειών, συμπεριλαμβανομένων μεταβολικών διαταραχών, φλεγμονωδών ασθενειών και καρδιαγγειακών παθήσεων, μεταξύ άλλων (Ferrerí and Chatgillaloglu, 2015). Στην τρέχουσα μελέτη, η υψηλότερη περιεκτικότητα σε α-λινολενικό οξύ βρέθηκε στο κομπόστ με μέσο όρο δύο ετών 11,44% w/w. Προηγούμενη έρευνα για την ελαιοκράμβη απέδειξε ότι η αζωτούχα λίπανση σε ποσότητα έως και 160 kg N ha⁻¹, είχε σημαντική αύξηση στην περιεκτικότητα σε α-λινολενικό οξύ με τη μέγιστη τιμή να ανέρχεται στο 8,64% w/w (Zapletalová et al., 2021). Όσον αφορά τις αναλογίες λιπαρών οξέων, η αναλογία PUFA/SAFA ήταν υψηλότερη στα αγροτεμάχια του μάρτυρα και του κομποστ, με τις μέσες τιμές δύο ετών να είναι 5,21 και 5,20, αντίστοιχα, ενώ η υψηλότερη αναλογία n-6/n-3 βρέθηκε στα μη επεξεργασμένα αγροτεμάχια μέσης διαίτας 3,29. Στη μελέτη των Sharafi et al. (2015), καταγράφηκε ότι οι μέσες τιμές των αναλογιών PUFA/SAFA και n-6/n-3 των λιπαρών οξέων της μαύρης μουστάρδας ήταν 5,90 και 0,91, αντίστοιχα.

Τέλος, ο **Πίνακας 47** δείχνει τις σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών λιπαρών οξέων που αξιολογήθηκαν σε αυτή τη μελέτη. Το SAFA είχε σημαντική και αρνητική συσχέτιση με MUFA ($r = -0,408$, $p < 0,01$) και σημαντική και θετική συσχέτιση με PUFA ($r = 0,642$, $p < 0,001$). Παρατηρήθηκε επίσης μια σημαντικά αρνητική σχέση μεταξύ των MUFA και PUFA ($r = -0,233$, $p < 0,05$). Επιπλέον, η αναλογία n-6/n-3 παρουσίασε θετική συσχέτιση με PUFA ($r = 0,211$, $p < 0,05$) και αρνητική συσχέτιση με MUFA ($r = -0,578$, $p < 0,001$). Αυτές οι συσχετίσεις φαίνεται να είναι προφανείς, καθώς η αύξηση του MUFA συχνά συνοδεύεται από μείωση των επιπέδων SAFA και PUFA. (Li et al., 2017; Ahmed et al.; 2018).

Όπως αποδείχθηκε σε προηγούμενες ερευνητικές μελέτες στη σόγια (Bachlava et al., 2008) και το ηλιέλαιο (Li et al., 2017), το ελαϊκό οξύ αποκάλυψε αρνητικές σχέσεις με όλα τα λιπαρά οξέα SAFA και PUFA. Αξίζει να σημειωθεί ότι το λινολεϊκό και το ελαϊκό οξύ έχουν πολύ σημαντική και αρνητική συσχέτιση ($r = -0,781$, $p < 0,001$, **Πίνακας 47**). Αυτή η σχέση οφείλεται στο ότι αυτά τα δύο λιπαρά οξέα μοιράζονται την κοινή μεταβολική οδό στην οποία το ένζυμο Δ12 δεσατουράση (ή FAD2) καταλύει τη μετατροπή του ελαϊκού οξέος σε λινολεϊκό οξύ, όπως έχει καταγραφεί σε άλλα είδη καλλιιεργειών (Sharma et al., 2002, Liu et al., 2011· Meru et al., 2018). Επιπλέον, σημαντικές συσχετίσεις του ελαϊκού οξέος με το cis-11-εικοσενοϊκό οξύ ($r = -0,566$, $p < 0,001$), το ελαϊκό με το ερουκικό οξύ ($r = -0,547$, $p < 0,001$) και το cis-11-εικοσενοϊκό οξύ με το ερουκικό οξύ ($r = 0,994$, $p < 0,001$) βρέθηκαν επίσης (**Πίνακας 47**). Αξίζει να σημειωθεί ότι η βιοσύνθεση του ερουκικού οξέος ελέγχεται από την έκφραση και την ειδικότητα της β-κετοακυλο-CoA συνθάσης (KCS), η οποία αποτελεί το ένζυμο που είναι υπεύθυνο για την επιμήκυνση λιπαρού οξέος του ελαϊκού οξέος σε cis-11-εικοσενοϊκό οξύ και στη συνέχεια σε ερουκικό οξύ (Lühs and Friedt, 1997).

Πίνακας 47. Χάρτης θερμότητας των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των αξιολογημένων χαρακτηριστικών για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λαδιού.

Trait	Coefficient of correlation (r)																						
	Seed Yield	Fixed Oil Content	Fixed Oil Yield	C 15:0	C 16:0	C 18:0	C 20:0	C 22:0	C 18:1 n9	C 18:1 n7	C 20:1	C 22:1	C 24:1	C 18:2 n6	C 18:3 n3	C 20:2 n6	SAFA	MUFA	PUFA	n6	n3	PUFA/SAFA	n6/n3
Seed Yield	1.000	0.937***	0.975***	0.342*	0.544***	-0.310*	-0.317*	0.544***	0.104**	0.543***	-0.290*	-0.310*	-0.030**	-0.121**	0.415**	0.558***	0.075**	-0.278**	0.296*	-0.082**	0.415**	0.192**	-0.432**
Fixed Oil Content	0.937***	1.000	0.980***	0.221**	0.484***	-0.311*	-0.316*	0.533***	0.153**	0.484***	-0.288*	-0.307*	0.015**	-0.114**	0.308*	0.529***	0.035**	-0.238**	0.210**	-0.077**	0.308*	0.167**	-0.318*
Fixed Oil Yield	0.975***	0.980***	1.000	0.248**	0.487***	-0.268**	-0.275**	0.510***	0.123**	0.487***	-0.248**	-0.267**	-0.025**	-0.088**	0.335*	0.513***	0.071**	-0.214**	0.247**	-0.053**	0.335*	0.153**	-0.336*
C 15:0	0.342*	0.221**	0.248**	1.000	0.770***	-0.053**	-0.052**	0.669***	-0.341*	0.767***	-0.044**	-0.075**	-0.358*	0.085**	0.925***	0.725***	0.458**	-0.326*	0.847***	0.134**	0.925***	0.236**	-0.839***
C 16:0	0.544***	0.484***	0.487***	0.770***	1.000	0.041**	0.042**	0.904***	-0.460**	0.998***	-0.049**	0.018**	-0.508***	0.194**	0.748***	0.953***	0.629***	-0.303*	0.773***	0.257**	0.748***	-0.057**	-0.618***
C 18:0	-0.310*	-0.311*	-0.268**	-0.053**	0.041**	1.000	0.997***	-0.011**	-0.571***	0.038**	0.993***	0.990***	-0.523***	0.445**	-0.076**	0.009**	0.799***	0.751***	0.197**	0.442**	-0.076**	-0.844***	0.247**
C 20:0	-0.317*	-0.316*	-0.275**	-0.052**	0.042**	0.997***	1.000	-0.010**	-0.575***	0.040**	0.992***	0.991***	-0.525***	0.446**	-0.073**	0.022**	0.798***	0.748***	0.198**	0.437**	-0.073**	-0.845***	0.241**
C 22:0	0.544***	0.533***	0.510***	0.669***	0.904***	-0.011**	-0.010**	1.000	-0.249**	0.904***	0.005**	-0.010**	-0.298*	0.109**	0.707***	0.976***	0.542**	-0.181**	0.690***	0.174**	0.707***	-0.023**	-0.628***
C 18:1 n9	0.104**	0.153**	0.123**	-0.341*	-0.460**	-0.571***	-0.575***	-0.249**	1.000	-0.459***	-0.566***	-0.547***	0.938***	-0.781***	-0.180**	-0.324*	-0.710***	0.100**	-0.619***	-0.796***	-0.180**	0.317*	-0.089**
C 18:1 n7	0.543***	0.484***	0.487***	0.767***	0.998***	0.038**	0.040**	0.904***	-0.459***	1.000	0.046**	0.014**	-0.506***	0.193**	0.746***	0.952***	0.626***	-0.306*	0.770***	0.256**	0.746***	-0.056**	-0.616***
C 20:1	-0.290*	-0.288*	-0.248**	-0.044**	-0.049**	0.993***	0.992***	0.005**	-0.566***	0.046**	1.000	0.994***	-0.516***	0.450**	-0.059**	0.022**	0.802***	0.761***	0.215**	0.448**	-0.059**	-0.830***	0.238**
C 22:1	-0.310*	-0.307*	-0.267**	-0.075**	0.018**	0.990***	0.991***	-0.010**	-0.547***	0.018**	0.994***	1.000	-0.498***	0.437**	-0.087**	0.003**	0.779***	0.777***	0.184**	0.434**	-0.087**	-0.832***	0.250**
C 24:1	-0.030**	0.015**	-0.025**	-0.358*	-0.508***	-0.523***	-0.525***	-0.298*	0.938***	-0.506***	-0.516***	-0.498***	1.000	-0.860***	-0.191**	-0.359*	-0.699***	0.117**	-0.676***	-0.878***	-0.191**	0.248**	-0.093**
C 18:2 n6	-0.121**	-0.114**	-0.088**	0.085**	0.194**	0.445**	0.446**	0.109**	-0.781***	0.193**	0.450**	0.437**	-0.860***	1.000	-0.090**	0.085**	0.455**	-0.078**	0.513**	0.998***	-0.090**	-0.096**	0.373**
C 18:3 n3	0.415**	0.308*	0.335*	0.925***	0.748***	-0.076**	-0.073**	0.707***	-0.180**	0.746***	-0.059**	-0.087**	-0.191**	-0.090**	1.000	0.751***	0.425**	-0.216**	0.808***	-0.038**	1.000	0.238**	-0.925***
C 20:2 n6	0.558***	0.529***	0.513***	0.725***	0.953***	0.009**	0.022**	0.976***	-0.324*	0.952***	0.022**	0.003**	-0.359*	0.085**	0.751***	1.000	0.583**	-0.221**	0.714**	0.152**	0.751***	-0.052**	-0.665***
SAFA	0.075**	0.035**	0.071**	0.458**	0.629***	0.799***	0.798***	0.542**	-0.710***	0.626***	0.802***	0.779***	-0.699***	0.455**	0.425**	0.583**	1.000	-0.408**	0.642***	0.490***	0.425**	-0.668***	-0.218**
MUFA	-0.278**	-0.238**	-0.214**	-0.326*	-0.303*	0.751***	0.748***	-0.181**	0.100**	-0.306*	0.761***	0.777***	0.117**	-0.078**	-0.216**	-0.221**	-0.408**	1.000	-0.233*	0.558***	-0.092**	-0.216**	-0.578***
PUFA	0.296*	0.210**	0.247**	0.847***	0.773***	0.197**	0.198**	0.690***	-0.619***	0.770***	0.215**	0.184**	-0.676***	0.513**	0.808***	0.714**	0.642**	-0.233*	1.000	0.558***	0.808***	0.140**	0.211*
n6	-0.082**	-0.077**	-0.053**	0.134**	0.257**	0.442**	0.437**	0.174**	-0.796***	0.256**	0.448**	0.434**	-0.878***	0.998***	-0.038**	0.152**	0.490**	-0.092**	0.558***	1.000	-0.038**	-0.098**	0.324*
n3	0.415**	0.308*	0.335*	0.925***	0.748***	-0.076**	-0.073**	0.707***	-0.180**	0.746***	-0.059**	-0.087**	-0.191**	-0.090**	1.000	0.751***	0.425**	-0.216**	0.808***	-0.038**	1.000	0.238**	-0.925***
PUFA/SAFA	0.192**	0.167**	0.153**	0.236**	-0.057**	-0.844***	-0.845***	-0.023**	0.317*	-0.056**	-0.830***	-0.832***	0.248**	-0.096**	0.238**	-0.052**	-0.668***	-0.759***	0.140**	-0.098**	0.238**	1.000	-0.288*
n6/n3	-0.432**	-0.318*	-0.336*	-0.839***	-0.618***	0.247**	0.241**	-0.628***	-0.089**	-0.616***	0.238**	0.250**	-0.093**	0.373**	-0.925***	-0.665***	-0.218**	-0.578***	0.211*	0.324*	-0.925***	-0.288*	1.000

ns, *, ** και ***: Μη στατιστικά σημαντικά και σημαντικά σε επίπεδα σημαντικότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. C15:0: πενταδεκανοϊκό οξύ, C16:0: παλμιτικό οξύ, C18:0: στεατικό οξύ, C18:1 n-9: ελαϊκό οξύ, C18:1 n-7: βακενικό οξύ, C18:2 n-6: λινολαϊκό οξύ, C18:3 n-3: α -λινολενικό οξύ, C20:0: αραχιδικό οξύ, C20:1: cis-11-εικοσενοϊκό οξύ, C20:2 n-6: cis-11,14-εικοσαδιενοϊκό οξύ, C22:0: βεχενικό οξύ, C22:1: ερουκικό οξύ, C24:1: νευρονικό οξύ, SAFA: κορεσμένα λιπαρά οξέα, MUFA: μονοακόρεστα λιπαρά οξέα, PUFA: πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, n-3: ωμέγα-3 λιπαρά οξέα και n-6: ωμέγα-6 λιπαρά οξέα.

5.3 Αξιολόγηση φυτικής μάζας για κτηνοτροφή

Η απόδοση σε ξηρά ουσία (DM) της μαύρης μουστάρδας παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές στην υψηλή πυκνότητα φυτών 76 φυτών m^{-2} (30 cm απόσταση σειρών) με μέση τιμή 2 ετών να είναι 17,98% υψηλότερη σε σύγκριση με τη χαμηλή πυκνότητα των 46 φυτών m^{-2} (45 cm απόσταση σειρών). Η απόσταση των σειρών σποράς είναι μια στρατηγική καλλιεργητικής διαχείρισης που χρησιμοποιείται από τους παραγωγούς για τη βελτιστοποίηση του εδάφους και του οικοσυστήματος των φυτών κατά την περίοδο ανάπτυξης με στόχο την αύξηση της φυτικής παραγωγής. Η απόσταση των σειρών σποράς καθορίζει την αρχιτεκτονική του θόλου, ένα διακριτικό χαρακτηριστικό που επηρεάζει τη χρήση του φωτός, του νερού και των θρεπτικών ουσιών (Sharratt and McWilliams, 2005). Οι στενότερες αποστάσεις των σειρών βελτιώνουν την αναχαίτιση φωτός και μπορούν να βελτιώσουν τη διαχείριση των ζιζανίων ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητα των καλλιεργειών και μειώνοντας τη μετάδοση του φωτός στο έδαφος (Edwards et al., 2005, De Bruin and Pedersen, 2008). Τα αποτελέσματα της τρέχουσας μελέτης συμφωνούν με αυτά των Kuai et al., 2015 οι οποίοι επιβεβαίωσαν ότι οι στενότερες αποστάσεις των σειρών είχαν ως αποτέλεσμα υψηλότερη απόδοση DM στην καλλιέργεια ελαιοκράμβης (*Brassica napus* L.). Όσον αφορά τη λίπανση, οι υψηλότερες μέσες τιμές των δύο πειραματικών ετών βρέθηκαν στο λίπασμα ουρίας με και χωρίς αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης (16,58 και 16,19 $tn\ ha^{-1}$, αντίστοιχα) χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές. Σύμφωνα με διάφορες μελέτες, σε καλλιέργειες που χρησιμοποιήθηκαν ανόργανα λιπάσματα παράχθηκαν μεγαλύτερες αποδόσεις DM επειδή αυτά τα λιπάσματα περιείχαν διαλυτό ανόργανο άζωτο που ήταν άμεσα διαθέσιμο στις καλλιέργειες, με αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις (Smith and Slater, 2010, Sandrakirana and Arifin, 2021).

Η περιεκτικότητα σε DM σε φυτά μαύρης μουστάρδας μειώθηκε γραμμικά καθώς αυξήθηκε η πυκνότητα των φυτών, με τις μέσες τιμές 2 ετών να κυμαίνονται από 23,60% στη χαμηλότερη πυκνότητα φυτών (46 φυτά m^{-2}) έως 21,52% στην υψηλότερη πυκνότητα φυτών (76 φυτά m^{-2}). Η χαμηλή πυκνότητα φύτευσης αυξάνει τη θερμοκρασία του εδάφους αυξάνοντας την ένταση του φωτός, γεγονός που αυξάνει τις απώλειες νερού από την επιφάνεια του εδάφους (Sharratt and McWilliams, 2005, Stickler and Laude, 1960). Σε προηγούμενη έρευνα που μελετούσε την επίδραση της πυκνότητας φύτευσης στη φυσιολογία της σόγιας, υπήρχε μειωμένη στοματική αγωγιμότητα και ποσοστά διαπνοής σε υψηλές πυκνότητες φύτευσης σε σύγκριση με χαμηλότερες πυκνότητες φύτευσης (Moreira et al.,

2015). Ως αποτέλεσμα, στην τρέχουσα μελέτη, αυτό το φαινόμενο μπορεί να μειώσει την περιεκτικότητα σε DM καθώς αυξανόταν η πυκνότητα φύτευσης, μειώνοντας την περιεκτικότητα σε DM ολόκληρου του φυτού. Όσον αφορά το αποτέλεσμα της λίπανσης, οι υψηλότερες τιμές περιεκτικότητας σε DM βρέθηκαν μετά την εφαρμογή ανόργανων λιπασμάτων και συγκεκριμένα μετά την εφαρμογή ουρίας με και χωρίς αναστολείς (**Πίνακας 36**). Ειδικότερα, ο υψηλότερος μέσος όρος 2 ετών βρέθηκε στην επέμβαση με ουρία με αναστολείς (26,56%) ακολουθούμενη από ουρία χωρίς αναστολείς (25,02%). Η περιεκτικότητα σε DM παρουσίασε θετική γραμμική απόκριση στην αύξηση του διαθέσιμου αζώτου. Αυτή η απόκριση προέκυψε επειδή το άζωτο διεγείρει το μεταβολισμό και την ωριμότητα των φυτών, με αποτέλεσμα την αυξημένη συσσώρευση φωτοαφομοιώσεων και τη μετατροπή τους σε φυτικά όργανα (Baghdadi et al., 2018, Sandrakirana and Arifin, 2021).

Προκειμένου να περιοριστεί η απώλεια αζώτου στο έδαφος, μπορεί να χρησιμοποιηθούν λιπάσματα με αναστολείς ουρεάσης ή αναστολείς νιτροποίησης. Αρκετές ερευνητικές μελέτες πρότειναν ότι η χρήση αναστολέων ουρεάσης ή νιτροποίησης σε συνδυασμό με αζωτούχα λιπάσματα είναι μια από τις πιο υποσχόμενες νέες στρατηγικές για την πρόληψη της απώλειας αζώτου (Wang et al., 2020, Zaman et al., 2008). Η χρήση αναστολέων σε συνδυασμό με αζωτούχα λιπάσματα έχει αποδειχθεί μια εξαιρετικά αποτελεσματική τεχνική για τη μείωση των απωλειών αζωτούχων λιπασμάτων και την ενίσχυση της ανάπτυξης και της παραγωγικότητας των φυτών (Drury et al., 2017). Σε μια πρόσφατη μελέτη, η χρήση αναστολέων αύξησε την περιεκτικότητα σε DM καλαμποκιού κατά 5-10% (Drulis et al., 2022).

Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες βιομάζας (CP) ποικίλλει ανάλογα με τα φυτικά είδη, τη γονιμότητα του εδάφους και το στάδιο ωρίμανσης της καλλιέργειας. Ειδικότερα, καθώς μια καλλιέργεια φθάνει στην πλήρη ωριμότητά της, η περιεκτικότητα σε ακατέργαστη πρωτεΐνη της βιομάζας καθώς και η πεπτικότητα της ως χορτονομή μειώνεται, σε αντίθεση με την περιεκτικότητα σε ακατέργαστες ίνες, η οποία αυξάνεται (Rayburn, 2019). Η περιεκτικότητα σε CP της βιομάζας της μηδικής κυμαίνεται από 18 έως 25% του DM (Horrocks and Valentine, 1999). Στην παρούσα μελέτη, τα αποτελέσματα παρουσίασαν ότι η περιεκτικότητα σε CP της βιομάζας μαύρης μουστάρδας επηρεάστηκε σημαντικά τόσο από την πυκνότητα των φυτών όσο και από τη λίπανση και η μέγιστη περιεκτικότητα σε CP επιτεύχθηκε στο πρώιμο στάδιο της ανθοφορίας, συγκεκριμένα στις 120 ημέρες μετά τη σπορά (DAS). Πράγματι, αρκετές μελέτες έχουν βρει ότι η ωριμότητα των φυτών μπορεί να επηρεάσει την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες των ζωοτροφών (Xie et al., 2012, Krawutschke et al., 2013).

Σύμφωνα με τον Throop, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη της βιομάζας (CP) σιταριού σταδιακά μειώθηκε με την καθυστέρηση του χρόνου συγκομιδής λόγω της αναστολής της πρωτεϊνοσύνθεσης από την ασθενή φωτοσυνθετική ικανότητα σε πιο ώριμα στάδια.

Όσον αφορά την επίδραση της πυκνότητας των φυτών, η μέση τιμή 2 ετών της περιεκτικότητας σε CP που καταγράφηκε στα φυτά χαμηλής πυκνότητας φυτών (20,99% του DM) ήταν υψηλότερη από αυτή των φυτών υψηλής πυκνότητας (18,94% του DM). Η μείωση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες βιομάζας στην υψηλή πυκνότητα σποράς μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι ο υψηλός ανταγωνισμός που δημιουργήθηκε για τους διαθέσιμους πόρους (νερό και θρεπτικά συστατικά) έκανε τα μεμονωμένα φυτά πιο αδύναμα. Επιπλέον, ο υψηλός ανταγωνισμός σε συνδυασμό με την υψηλή πυκνότητα των φυτών καθιστά διαθέσιμη λιγότερη ενέργεια για τη μετατροπή του αζώτου σε πρωτεΐνη (Widdicombe and Thelen, 2002). Η αύξηση των επιπέδων των διαθέσιμων θρεπτικών συστατικών γενικά αυξάνει τις παραμέτρους ποιότητας των ζωοτροφών, όπως η περιεκτικότητα σε CP. Όσον αφορά την επίδραση της λίπανσης, ο υψηλότερος μέσος όρος 2 ετών βρέθηκε στην ουρία με αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης (22,92% του DM) ακολουθούμενη από την ουρία χωρίς αναστολείς (21,52% του DM). Η υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες μετά την εφαρμογή ανόργανων λιπασμάτων μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα υψηλότερα επίπεδα αζώτου που διατίθενται στα φυτά ενισχύουν την πρόσληψη αζώτου, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στη σύνθεση πρωτεϊνών (Quemada and Gabriel, 2016). Επιπλέον, η χρήση αναστολέων ουρεάσης μειώνει την υδρόλυση της ουρίας, προσαρμόζοντας την απελευθέρωση ορυκτών μορφών αζώτου ώστε να ταιριάζει με τη ζήτηση των καλλιεργειών και επομένως αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα χρήσης αζώτου (NUE) της καλλιέργειας (Allende-Montalbán et al., 2021).

Η απόδοση της συνολικής υπέργεια βιομάζας σε πρωτεΐνη (απόδοση πρωτεΐνης βιομάζας) είναι συνάρτηση της απόδοσης σε βιομάζα DM και της περιεκτικότητάς της σε πρωτεΐνη. Κατά συνέπεια, η απόδοση DM και η περιεκτικότητα σε CP είχαν ισχυρή θετική συσχέτιση με την απόδοση CP της συνολικής βιομάζας ($r = 0,9546$, $p < 0,001$ και $r = 0,7565$, $p < 0,001$, αντίστοιχα, **Πίνακας 48**).

Το ακατέργαστο λίπος (CF) αποτελείται από λιπίδια (γαλακτολιπίδια, τριγλυκερίδια και φωσφολιπίδια) καθώς και από οποιεσδήποτε άλλες μη πολικές ενώσεις όπως φωσφατίδια, στεροειδή, χρωστικές, λιποδιαλυτές βιταμίνες και κεριά. Το ποσοστό CF στις καλλιέργειες ζωοτροφών είναι συνήθως χαμηλό, με τιμές μικρότερες από 3% του DM (Coleman and Henry, 2002). Στην τρέχουσα μελέτη, η περιεκτικότητα σε CF της βιομάζας της μαύρης μουστάρδας δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τη λίπανση κατά τις πειραματικές περιόδους (**Πίνακας 36**). Ωστόσο, ελαφρώς χαμηλότερες τιμές βρέθηκαν στην επέμβαση με ουρία χωρίς

αναστολείς σε σύγκριση με τη λίπανση κομπόστ και ουρίας με διπλούς παρεμποδιστές. Αυτή η απόκριση θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι το αζωτούχο λίπασμα αυξάνει την ποσότητα των χρωστικών στο φυτό και καθώς η συμβατική ουρία έχει υψηλότερη εξάτμιση, αυτή η αύξηση της μελάγχρωσης πρέπει να έχει μειωθεί, μειώνοντας την περιεκτικότητα σε CF στο φυτό (Dewhurst et al., 2001, Boufaïed et al., 2003, Dasci and Comakli, 2011).

Η συνολική περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα της ζωοτροφής περιλαμβάνει ακατέργαστη τέφρα, η οποία περιλαμβάνει ανόργανες ενώσεις που προέρχονται από ρύπους φυτών και εδάφους. Η υψηλή περιεκτικότητα σε CA υποδηλώνει σημαντική ρύπανση του εδάφους, η οποία μπορεί να αυξήσει σημαντικά την ποσότητα των αδιάλυτων ινών στο διάλυμα NDF. Η μέση περιεκτικότητα σε τέφρα της μηδικής είναι περίπου 11% του DM και 9% του DM για χορτονομές (Hortocks, 1999). Στην παρούσα μελέτη, η συνδυασμένη ανάλυση διακύμανσης έδειξε ότι αυτό το χαρακτηριστικό δεν επηρεάστηκε από τους αξιολογούμενους παράγοντες (**Πίνακας 35**). Ωστόσο, όσον αφορά το αποτέλεσμα της λίπανσης, παρατηρήθηκε ελαφρώς υψηλότερη τιμή των 2 ετών (14,30% του DM) σε αγροτεμάχια που είχε εφαρμοστεί ουρία με παρεμποδιστές ουρεάσης και νιτροποίησης. Παρόμοια τάση, που παρουσιάζει υψηλότερες τιμές περιεκτικότητας σε CA υπό ανόργανη λίπανση, παρατηρήθηκε επίσης στην καλλιέργεια κινόα (*Chenopodium quinoa* Willd.) (Kakabouki et al., 2014) και νιγκέλας (*Nigella sativa* L.) (Roussis et al., 2020). Σε προηγούμενη μελέτη, η αύξηση των επιπέδων ανόργανου λιπάσματος έως και 150% της συνιστώμενης δόσης (120 kg N + 60 kg P₂O₅ ha⁻¹) στην καλλιέργεια αραβοσίτου είχε ως αποτέλεσμα σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας σε τέφρα (έως 8,6% DM) λόγω στην υψηλή διαθεσιμότητα των κύριων θρεπτικών συστατικών που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών και αυξάνουν τη βιομάζα DM (Reddy et al., 2003). Αντίθετα, η εφαρμογή λιπάσματος είχε ως αποτέλεσμα μειωμένη περιεκτικότητα σε CA στο καλάμι (*Arundo donax* L.) σε σύγκριση με καλλιέργεια που δεν είχε προστεθεί λίπασμα (Nassi o Di Nasso et al., 2010).

Η περιεκτικότητα σε ινώδεις ουσίες ή ολική κυτταρίνη (ακατέργαστες ίνες) θεωρείται βασικός δείκτης της χημικής σύνθεσης κατά τον προσδιορισμό της θρεπτικής αξίας των ζωοτροφών. Η υψηλή περιεκτικότητα σε ινώδεις ουσίες είναι ένδειξη χαμηλής πεπτικότητας και ενεργειακής αξίας της τροφής (Kraichoun, 2007). Οι ακατέργαστες ίνες μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, τις ουδέτερες ίνες και τις όξινες ίνες. Ο προσδιορισμός του NDF και του ADF προωθείται με στόχο την πρόβλεψη της πρόσληψης DM και την εκτίμηση του εύπεπτου ενεργειακού περιεχομένου, καθώς και τη διασφάλιση επαρκών φυτικών ινών στη διατροφή των ζώων εκτροφής (Beauchemin, 1996). Η περιεκτικότητα των ζωοτροφών σε NDF και ADF είναι κρίσιμη, ειδικά για τα μηρυκαστικά που θηλάζουν, επειδή η περιεκτικότητα σε λιπαρά γάλακτος είναι ανάλογη με τα ποσοστά τους. Για τις αγελάδες

γαλακτοπαραγωγής, το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των ΗΠΑ (NRC) συνιστά ελάχιστη διατροφική περιεκτικότητα σε NDF 25 έως 28% DM και περιεκτικότητα ADF 17 έως 21% σε DM (National Research Council, 2001).

Το NDF προσεγγίζει την ολική κυτταρίνη υπολογίζοντας τα συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος (ημικυτταρίνη, κυτταρίνη και λιγνίνη) (Duodu and Dowell, 2019). Οι μικροοργανισμοί της μεγάλης κοιλίας διασπούν την ημικυτταρίνη και την κυτταρίνη αργά, ενώ η λιγνίνη είναι δύσπεπτη. Η λιγνίνη προσκολλάται επίσης σε άλλα συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος, καθιστώντας τα επίσης δύσπεπτα. Ανάλογα με το είδος του φυτού και το επίπεδο ωριμότητας, το NDF αφομοιώνεται μερικώς. Αυτό το μέτρο αυξάνεται καθώς τα φυτά ωριμάζουν και χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της πρόσληψης τροφής (Hogrocks and Valentine, 1999, Roussis et al., 2020, Han et al., 2003). Το NDF επηρεάστηκε μόνο από τη λίπανση σε αυτή τη μελέτη και η υψηλότερη τιμή αναφέρθηκε στο κομπόστ ακολουθούμενο από την ουρία με αναστολείς. Οι μεγάλες αλλαγές στη συγκέντρωση NDF βιομάζας μεταξύ των επεμβάσεων λίπανσης μπορούν να αποδοθούν στις αυξανόμενες επιπτώσεις της λίπανσης στην περιεκτικότητα σε ίνες βιομάζας (Messman et al., 1991). Μέχρι στιγμής, η εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης έχει αναφερθεί ότι δεν έχει καμία επίδραση στην περιεκτικότητα σε NDF της φυτικής βιομάζας (Benett et al., 2008) ή ότι έχει αρνητική επίδραση (Dasci and Comakli, 2011). Αυτή η ανισότητα σχετίζεται με την εποχή της αξιολόγησης, ειδικά κατά τη βλαστική ανάπτυξη. Οι υψηλότεροι ρυθμοί ανάπτυξης είναι γνωστό ότι προκαλούν συσσώρευση στελέχους και συνεπώς αύξηση της συγκέντρωσης NDF (Sbrissia and da Silva, 2008).

Το ADF είναι ένα μέτρο της περιεκτικότητας του φυτού σε κυτταρίνη και λιγνίνη και είναι επίσης μερικώς εύπεπτο. Επειδή τα υψηλά επίπεδα συνδέονται με κακή πεπτικότητα, το ADF έχει χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της πεπτικότητας των ζωοτροφών (Han et al., 2003). Το ADF, όπως και το NDF, επηρεάστηκε μόνο από τη λίπανση και η μεγαλύτερη τιμή ADF υπολογίστηκε στην περίπτωση της λίπανσης με κομπόστ. Με τον ίδιο τρόπο, οι Kering et al., 2011 ανακάλυψαν ότι η αζωτούχο λίπανση μείωσε τη συγκέντρωση ADF στην (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το NDF υπολογίζει όλα τα συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος (ημικυτταρίνη, κυτταρίνη και λιγνίνη), ενώ το ADF καθορίζει την κυτταρίνη και τη λιγνίνη. Ως εκ τούτου, αναμενόταν μια ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ NDF και ADF, όπως βρέθηκε στην παρούσα ερευνητική εργασία ($r = 0,7171$, $p < 0,001$, **Πίνακας 48**). Επιπλέον, η απόδοση DM συσχετίστηκε θετικά με το NDF ($r = 0,2874$, $p = 0,0341$) και το ADF ($r = 0,2042$, $p = 0,0395$) (**Πίνακας 48**), πιθανώς επειδή καθώς μεγάλωναν τα φυτά της μαύρης μουστάρδας, η αναλογία φύλλου προς στέλεχος μειώθηκε, με αποτέλεσμα

περισσότερο δομικό ιστό (ολική κυτταρίνη) που παράγεται για την υποστήριξη της ανάπτυξης των φυτών. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν επίσης στην καλλιέργεια μηδικής (Sheaffer et al., 2000).

Οι υδατάνθρακες είναι η κύρια πηγή ενέργειας για τους μικροοργανισμούς της μεγάλης κοιλίας και αποτελούν το κύριο ενεργειακό απόθεμα των φυτών, αντιπροσωπεύοντας το 50 έως 80% των συνολικών ενεργειακών αποθεμάτων των φυτών (Van Soest, 1994). Οι υδατάνθρακες παρέχουν ενέργεια στα ζώα, με την πλειονότητα της πέψης να γίνεται στην μεγάλη κοιλία στην περίπτωση των μηρυκαστικών. Στη μελέτη, τα συνολικά επίπεδα CHO (58,70% – 71,27% του ΣΔ) ήταν εντός αυτού του εύρους. Συγκεκριμένα, η συνολική περιεκτικότητα σε CHO μειώθηκε γραμμικά με τα αυξανόμενα επίπεδα στην παροχή αζώτου στο φυτό (**Πίνακας 38**) λόγω της αυξημένης χρήσης αυτών των υδατανθράκων για τη μετατροπή του διαθέσιμου αζώτου σε πρωτεΐνη, ως φυσική απόκριση του φυτού (Taiz, L.; Zeiger, 2002, Pereira et al., 2020). Τα αποτελέσματά συμφωνούν με αυτά των Leite et al., 2021 οι οποίοι παρατήρησαν χαμηλό ολικό CHO όταν ο υψηλότερος ρυθμός λίπανσης με άζωτο (270 kg N ha⁻¹) εφαρμόστηκε στο *Marandu palisadegrass*.

Το κλάσμα των υδατανθράκων που δεν περιέχει ίνες (άμυλο, σάκχαρα, πηκτίνες και β-γλυκάνες) αποικοδομείται γρήγορα στην κοιλιά και απαιτείται για τη διατήρηση του κατάλληλου συγχρονισμού αποικοδόμησης υδατανθράκων και πρωτεϊνών καθώς και για την προώθηση της κατάλληλης μικροβιακής ανάπτυξης (Van Soes, 1994). Τα αποτελέσματα της περιεκτικότητας σε NFC της υπέργειας βιομάζας της μαύρης μουστάρδας παρουσιάζονται στον **Πίνακα 38**. Κατά τη διάρκεια των πειραματικών περιόδων, η περιεκτικότητα σε NFC εμφάνισε παρόμοια συμπεριφορά με τη συνολική περιεκτικότητα σε CHO, παρουσιάζοντας μειώσεις στις τιμές της με τα αυξανόμενα επίπεδα διαθέσιμου αζώτου στο φυτό (Leite et al., 2021). Αυτό υποστηρίζεται και επιβεβαιώνεται επίσης από τη σημαντική και υψηλή γραμμική συσχέτιση μεταξύ των περιεχομένων CHO και NFC ($r = 0,8172$, $p < 0,001$, **Πίνακας 48**).

Πίνακας 48. Χάρτης θερμότητας των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των αξιολογημένων χαρακτηριστικών για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του φυτού ως ζωοτροφή.

Trait	Coefficient of correlation (r)									
	DM Content	DM Yield	CP Content	CP Yield	CF	CA	NDF	ADF	CHO	NFC
DM Content	1.0000	0.5666***	0.6892***	0.6571***	0.1341 ^{ns}	0.0927 ^{ns}	0.2630 ^{ns}	0.2871*	-0.46517***	-0.6237***
DM Yield	0.5666***	1.0000	0.5452***	0.9546***	0.0045 ^{ns}	0.2314 ^{ns}	0.2874*	0.2042*	-0.4872***	-0.5193***
CP Content	0.6892***	0.5452***	1.0000	0.7565***	0.3335*	0.3828**	0.2699 ^{ns}	0.2969*	-0.9654***	-0.8538***
CP Yield	0.6571***	0.9546***	0.7565***	1.0000	0.1421 ^{ns}	0.1933 ^{ns}	0.2770 ^{ns}	0.2291 ^{ns}	-0.6999***	-0.6666***
CF	0.1341 ^{ns}	0.0045 ^{ns}	0.3335*	0.1421 ^{ns}	1.0000	0.5290***	-0.2667 ^{ns}	-0.1902 ^{ns}	-0.4725***	-0.1848 ^{ns}
CA	0.0927 ^{ns}	0.2314 ^{ns}	0.3828**	0.1933 ^{ns}	0.5290***	1.0000	-0.1994 ^{ns}	-0.1312 ^{ns}	-0.6068***	-0.3209*
NDF	0.2630 ^{ns}	0.2874*	0.2699 ^{ns}	0.2770 ^{ns}	-0.2667 ^{ns}	-0.1994 ^{ns}	1.0000	0.7171***	-0.1645 ^{ns}	-0.7029***
ADF	0.2871*	0.2042*	0.2969*	0.2291 ^{ns}	-0.1902 ^{ns}	-0.1312 ^{ns}	0.7171***	1.0000	-0.2091 ^{ns}	-0.5696***
CHO	-0.46517***	-0.4872***	-0.9654***	-0.6999***	-0.4725***	-0.6068***	-0.1645 ^{ns}	-0.2091 ^{ns}	1.0000	0.8172***
NFC	-0.6237***	-0.5193***	-0.8538***	-0.6666***	-0.1848 ^{ns}	-0.3209*	-0.7029***	-0.5696***	0.8172***	1.0000

ns, *, ** και ***: Μη σημαντικές και σημαντικές σε επίπεδα πιθανότητας 5%, 1% και 0,1%, αντίστοιχα. DM: Ξηρά ουσία. CP: Ακατέργαστη πρωτεΐνη. CF: Ακατέργαστο λίπος. CA: Ακατέργαστη τέφρα. NDF. ADF . CHO: Ολικοί υδατάνθρακες. NFC: CHO χωρίς ίνες.

5.4 Βαθμοημέρες Ανάπτυξης (Growing Degree Days)

Όπως αναφέρουν οι Matzarakis et al. (2007), η ιδέα των AGDDs αναγνωρίζει ότι η ανάπτυξη των φυτών θα συμβεί μόνο όταν η θερμοκρασία υπερβεί μια συγκεκριμένη θερμοκρασία βάσης για έναν ορισμένο αριθμό ημερών. Είναι ένα μέτρο της θερμότητας που χρειάζεται ένα φυτό για να ωριμάσει και να αποδώσει μια επιτυχημένη καλλιέργεια. Τα AGDDs χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των σταδίων ανάπτυξης των μεγάλων καλλιεργειών, ιδίως των καλλιεργειών εύκρατου γεωγραφικού πλάτους, όπως η σόγια, ο αραβόσιτος και το σιτάρι. είναι επίσης χρήσιμο για τον σχεδιασμό προληπτικών μέτρων κατά των επιθέσεων παρασίτων και ασθενειών σε καλλιέργειες. Παραβλέπει πρόσθετους περιβαλλοντικούς παράγοντες και διαφορετικές αποκρίσεις των φυτών στην ίδια θερμοκρασία κατά τη διάρκεια διαφόρων σταδίων του κύκλου ζωής τους, αλλά έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως λόγω της πρακτικής χρήσης σε γεωργικές, φαινολογικές και άλλες μελέτες (Wang 1960).

Στην τριετή μελέτη που πραγματοποιήθηκε, υπολογίστηκαν οι βαθμοημέρες ανάπτυξης για την καλλιέργεια του μαύρου σιναπιού όπου παρατηρήθηκε ότι ο συνολικός αριθμός τους και στα 3 πειραματικά έτη ήταν σχεδόν ίδιος με τον συνολικό αριθμό των AGDDs που αναφέρονται στην βιβλιογραφία. Την πρώτη χρονιά (2019-2020), το άθροισμα των βαθμοημερών ανάπτυξης ήταν 1849,5 °C, το δεύτερο έτος (2020-2021) ήταν 1597,7 °C, ενώ το τρίτο και τελευταίο έτος (2021-2022) ήταν 1491,15 °C. Στην έρευνα τους οι Miller et al. (2001), τονίζουν ότι ο συνολικός αριθμός των AGDDs για την καλλιέργεια της μουστάρδας κυμαίνεται από 1521-1625 °C. Την δεύτερη και την τρίτη καλλιεργητική περίοδο ήταν κοντά στο εύρος που αναφέρεται παραπάνω. Τα AGDDs εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες του περιβάλλοντος και κυρίως από την θερμοκρασία αέρα, την πρώτη χρονιά τα φυτά χρειάστηκαν μεγαλύτερο αριθμό AGDDs λόγω των όψιμων βροχοπτώσεων καθώς και των χαμηλών θερμοκρασιών που υπήρξαν τον μήνα Δεκέμβριο και είχαν ως αποτέλεσμα την παράταση του σταδίου της ροζέτας. Η κυβέρνηση του Saskatchewan στο τελευταίο report (2017) της αναφορικά με την καλλιέργεια της μουστάρδας στην χώρα, περιγράφοντας τις διαφορετικές ποικιλίες μουστάρδας και τον βιολογικό τους κύκλο, δηλώνει ότι ο βιολογικός κύκλος της μαύρης μουστάρδας διαρκεί περίπου 100 ημέρες κάτι το οποίο δεν ισχύει στα Ελληνικά δεδομένα με βάση τα αποτελέσματα της τριετούς ανάλυσης. Την πρώτη χρονιά διήρκεσε 194 ημέρες και τις υπόλοιπες δύο 184 ημέρες. Αρκετά μεγαλύτερης διάρκειας βιολογικός κύκλος συγκριτικά με αυτά που αναφέρονται βιβλιογραφικά. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ολοκληρώνεται ο βιολογικός κύκλος των φυτών στο εύρος των AGDDs που υπάρχει βιβλιογραφικά σε μεγαλύτερης διάρκειας βιολογικό κύκλο. Χρειάζεται περαιτέρω

έρευνα, ούτως ώστε να ολοκληρώνεται ο βιολογικός κύκλος της καλλιέργειας σε λιγότερο διάστημα αλλά με τον απαιτούμενο αριθμό βαθμομερών ανάπτυξης που προέκυψε από την μελέτη. Καθώς και το πώς επηρεάζονται τα αγρονομικά χαρακτηριστικά από τα AGDDs.

5.5 Δείκτες εκτίμησης της καλλιέργειας

5.5.1 Δείκτης συγκομιδής (Harvest Index - HI)

Ο δείκτης συγκομιδής (Harvest index), αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη παραγωγικότητας της καλλιέργειας (Donald, 1962). Ο υψηλός δείκτης συγκομιδής μπορεί να αποτελεί ένα μέτρο της ικανότητας καταμερισμού των προϊόντων φωτοσύνθεσης στα στελέχη και στους σπόρους. Ο HI μεταβάλλεται με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και παίρνει υψηλότερες τιμές σε ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης (Sharma et al., 1987). Τονίζεται ότι η απόδοση μειώνεται με τη μείωση του δείκτη συγκομιδής (Bridger et al., 1995). Στην παρούσα μελέτη ο δείκτης συγκομιδής ήταν υψηλότερος στην χαμηλή πυκνότητα σποράς κι αυτό συμφωνεί με τα παραπάνω αποτελέσματα και σχόλια όσον αφορά τον αριθμό των ταξιανθιών, των λοβών και της απόδοσης. Υψηλότερη απόδοση καταγράφηκε στην χαμηλή πυκνότητα σποράς συγκριτικά με την υψηλή πυκνότητα. Όσον αφορά τις επεμβάσεις λίπανσης η μεγαλύτερη τιμή εμφάνισε ο HI στην εφαρμογή της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης στην υψηλή πυκνότητα φυτών (0,45), ενώ στην χαμηλή πυκνότητα σποράς μεγαλύτερη τιμή παρουσίασε η εφαρμογή της ουρίας (0,35). Γενικότερα παρατηρήθηκε ότι οι επεμβάσεις της λίπανσης δεν είχαν σημαντική διαφορά μεταξύ τους, σε αρκετές περιπτώσεις και ο μάρτυρας εμφάνισε υψηλές τιμές HI. Οι τιμές που σημειώθηκαν κατά την τριετούς ανάλυση έρχονται σύμφωνες με τα αποτελέσματα των Singh et al. (1999) που αναφέρουν στην έρευνα τους για την Ινδική μουστάρδα.

5.5.2 Δείκτης αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (Nitrogen Utilization Efficiency - NUtE)

Η αποδοτικότητα χρήσης αζώτου (NUtE) είναι μάλλον λιγότερο κοινός δείκτης. Ωστόσο, θα μπορούσε να είναι πολύ χρήσιμος για να υπολογιστεί η παραγόμενη ξηρή ύλη σχετικά με τη συνολική πρόσληψη N από το φυτό. Το NUtE αποκάλυψε αν το εφαρμοζόμενο άζωτο τροφοδοτείται στο προϊόν κάθε καλλιέργειας (σπόροι, κ.λπ.) ή παραμένει στο υπέργειο τμήμα του φυτού (Folina et al., 2021). Κατά την τριετή δοκιμή που πραγματοποιήθηκε, ο δείκτης αποτελεσματικότητας αζώτου ήταν υψηλότερος στις επεμβάσεις της ουρίας με και χωρίς

παρεμποδιστές και πιο συγκεκριμένα στην υψηλή πυκνότητα σποράς. Η μεγαλύτερη τιμή καταγράφηκε στην ουρία με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης στην υψηλή πυκνότητα σποράς κατά το πρώτο καλλιεργητικό έτος (0,45) ενώ οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν στο κομπόστ και στην ουρία. Όπως αναφέρουν οι Zareabyaneh et al. (2015) στην μελέτη τους, ο NUtE, αυξάνεται καθώς προσθέτουμε αζωτούχα λιπάσματα, ειδικότερα όσο μεγαλύτερες ποσότητες προσθέτονται στην καλλιέργεια τόσο υψηλότερος και ο δείκτης. Εύρημα το οποίο καταγράφηκε και παρατηρήθηκε σε καλλιέργεια γλυκοπατάτας και κατέληξαν ότι η μη γραμμική σχέση που υπάρχει μεταξύ της εφαρμοζόμενης αζωτούχας λίπανσης και του δείκτη αποτελεσματικότητας αφορά όλες τις καλλιέργειες (Zareabyaneh et al., 2015). Τα λιπάσματα τα οποία περιέχουν παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης επηρεάζουν σημαντικά τον δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου (Kakabouki et al., 2020). όσον αφορά την πυκνότητα σποράς, ο δείκτης ήταν μεγαλύτερος στην υψηλή πυκνότητα των φυτών (76 φυτά m⁻²), διότι λόγω του έντονου εσωτερικού ανταγωνισμού που υπάρχει τα φυτά ανταγωνίζονται για θρεπτικά στοιχεία, φως , νερό με αποτέλεσμα να συσσωρεύεται υψηλότερη συγκέντρωση αζώτου στους ιστούς τους (Keivanrad και Zandi 2012).

5.5.3 Δείκτης συγκομιδής αζώτου (Nitrogen Harvest Index - NHI)

Ο δείκτης συγκομιδής αζώτου είναι πολύ χρήσιμος στη μελέτη των σχέσεων αζώτου και είναι συνήθως μεγαλύτερος από τον δείκτη συγκομιδής, δηλώνοντας ότι υπάρχει έντονη τάση συσσώρευσης αζώτου στον σπόρο όπως δηλώνει στην μελέτη του Hay (1995), όπου συμφωνούν τα αποτελέσματα της τριετούς ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε. Ο δείκτης συγκομιδής αζώτου επηρεάστηκε από τις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης και από τις πυκνότητες σποράς, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα των Cantero-Martinez et al.(2003) όπου αναφέρουν ότι ο δείκτης δεν επηρεάστηκε από την αζωτούχα λίπανση στην καλλιέργεια κριθαριού. Τονίζεται ότι ο NHI εμφάνισε υψηλότερες τιμές στις επεμβάσεις της ουρίας με και χωρίς αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης, όσον αφορά την πυκνότητα σποράς στην χαμηλή πυκνότητα φυτών (46 φυτά m⁻²), καταγράφηκαν οι μεγαλύτερες τιμές όπως και ο δείκτης συγκομιδής αλλά και οι μεγαλύτερες αποδόσεις σπόρου. Στην έρευνα των Kakabouki et al. (2020), υπογραμμίζεται ότι ο υψηλότερος δείκτης συγκομιδής αζώτου σημειώθηκε στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης.

5.5.4 Αζωτούχος γεωργική αποτελεσματικότητα (Nitrogen Agronomic Efficiency - NAE)

Ο δείκτης γεωργικής αποτελεσματικότητας εκφράζει ουσιαστικά την παραγόμενη ποσότητα σπόρου ανά κιλό αζωτούχας λίπανσης. Δηλώνεται στην έρευνα των Kakabouki et al. (2020), ότι σε καλλιέργεια σόγιας αυξήθηκε ο NAE με την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων. Ο NAE επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από τις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης καθώς και από τις διαφορετικές πυκνότητες σποράς. Παρατηρήθηκε ότι, στην επέμβαση του κομπόστ είχαμε υψηλές τιμές, ενώ στην εφαρμογή της ουρίας με αναστολείς νιτροποίησης και ουρεάσης υπήρχαν χαμηλές τιμές, επίσης σημειώθηκαν και αρνητικές τιμές. Όπου ήταν $-2 \text{ kg σπόρου/ kg N λιπάσματος}$ στην χαμηλή πυκνότητα σποράς (46 φυτά m^{-2}), η ερμηνεία αυτού είναι ότι, δεν αξιοποιήθηκε από τα φυτά η εφαρμοζόμενη αζωτούχα δόση με αποτέλεσμα να μην υπάρχει το βέλτιστο αποτέλεσμα στην παραγόμενη ποσότητα σπόρου. Οι αρνητικές τιμές σημειώθηκαν μόνο κατά το 3ο καλλιεργητικό έτος, όπου το αποτέλεσμα αυτό ίσως συνάδει με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, της θερμοκρασία αέρα καθώς και με τις βροχοπτώσεις για την απορρόφηση του αζώτου από τα φυτά. Επίσης, το γεγονός ότι εμφανίστηκε μόνο στην χαμηλή πυκνότητα σποράς ίσως σημαντικό ρόλο είχε ο εσωτερικός ανταγωνισμός των φυτών, διότι είναι χαμηλότερος από ότι στην υψηλή πυκνότητα σποράς.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όσον αφορά τα ποσοτικά χαρακτηριστικά του ελαίου, η πυκνότητα των φυτών και η λίπανση παρουσίασαν επίσης σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα σε λάδι με τις υψηλότερες τιμές να καταγράφονται σε φυτά με χαμηλή πυκνότητα φυτών και στην λίπανση ουρίας διπλής παρεμπόδισης. Τα αποτελέσματα της απόδοσης ελαίου αντιστοιχούσαν με αυτά της απόδοσης σπόρων, με τα φυτά των αγροτεμαχίων χαμηλής πυκνότητας και της ουρίας με διπλούς αναστολείς να παράγουν τις υψηλότερες αποδόσεις. Ως απάντηση στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ελαίου και συγκεκριμένα με το προφίλ των λιπαρών οξέων, καταγράφηκε ότι με την αύξηση της πυκνότητας των φυτών, παρατηρήθηκε μείωση των κορεσμένων (SAFA: μυριστικό, παλμιτικό και στεατικό οξύ) και των πολυακόρεστων (PUFA): λινολεϊκό, α-λινολενικό και εικοσαδενοϊκό οξύ) λιπαρών οξέων, ενώ υπήρξε αύξηση στα ελαϊκά και νευρονικά οξέα και μείωση στα υπόλοιπα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA: vaccenic, cis-11-eicosenoic και erucic acid). Όσον αφορά τη λίπανση, η οργανική λίπανση ήταν αυτή που συνέβαλε θετικά στην περιεκτικότητα των σχετικών λιπαρών οξέων. Ειδικότερα, η εφαρμογή με κομπόστ αύξησε τις ποσότητες πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA) που είναι ευνοϊκές για την ανθρώπινη υγεία. Το ελαϊκό οξύ έδειξε την υψηλότερη περιεκτικότητα μετά την εφαρμογή ουρίας με και χωρίς αναστολείς. Επιπλέον, το ερουκικό οξύ επηρεάστηκε αρνητικά από τη λίπανση και οι χαμηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν σε αγροτεμάχια μετά την εφαρμογή ουρίας χωρίς αναστολείς. Κατά τη διάρκεια της τριετούς δοκιμής (2019-2020, 2020-2021, 2021-2022), η πυκνότητα των φυτών είχε σημαντική επίδραση στην απόδοση των σπόρων της καλλιέργειας μαύρης μουστάρδας. Η μέση τιμή απόδοσης σπόρων για τρία χρόνια ήταν 22,3% υψηλότερη με πυκνότητα φυτών 46 φυτών m⁻² από ότι σε πυκνότητα 76 φυτών m⁻². Το ύψος των φυτών επηρεάστηκε σημαντικά από τις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης, δεν είχε όμως καμία επίδραση η διαφορετική πυκνότητα φυτών. Το νωπό και το ξηρό βάρος των φυτών επηρεάστηκε σημαντικά από την πυκνότητα φυτών καθώς και από τις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης. Στην παρούσα μελέτη ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας παρουσίασε υψηλές τιμές στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές, στην ουρία αλλά και στο κομπόστ. Αξίζει να τονιστεί ότι στην χαμηλή πυκνότητα φυτών (46 φυτά m⁻²) καταγράφηκαν οι μεγαλύτερες τιμές, ενώ στην υψηλή πυκνότητα σποράς και στα τρία πειραματικά έτη το LAI ήταν μικρότερο σε όλες τις επεμβάσεις. Ο αριθμός των λοβών επηρεάστηκε σημαντικά και τα τρία έτη της ανάλυσης από τις διαφορετικές επεμβάσεις λίπανσης καθώς και από τις διαφορετικές πυκνότητες σποράς. Μεγαλύτερος αριθμός λοβών σημειώθηκε στην χαμηλή πυκνότητα σποράς (46 φυτά m⁻²) στην επέμβαση της ουρίας με παρεμποδιστές νιτροποίησης και ουρεάσης κάτι το οποίο παρατηρήθηκε και στα τρία έτη.

Γενικά, ο χαμηλότερος πληθυσμός είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των λοβών ενώ ο μεγαλύτερος πληθυσμός φυτών μείωσε τον αριθμό των λοβών.

Συμπερασματικά, πυκνότητες φυτών υψηλότερες από 46 φυτά m^{-2} έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερη απόδοση σπόρων, περιεκτικότητα σε λάδι και απόδοση ελαίου, ενώ το αποτέλεσμα ανόργανης λίπανσης, ειδικά με ουρία με διπλούς αναστολείς, ήταν εξίσου σημαντική στην απόδοση σπόρων και ελαίων. Ωστόσο, όταν ο σπόρος και/ή το λάδι χρησιμοποιούνται για τη θρεπτική και φαρμακευτική τους αξία, συνιστάται η χρήση κομπόστ, με αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA).

Επίσης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η απόδοση του υπέργειου DM μαύρης μουστάρδας επηρεάστηκε τόσο από την πυκνότητα των φυτών όσο και από τη λίπανση. Η υψηλότερη απόδοση DM παρατηρήθηκε σε αγροτεμάχια υψηλής πυκνότητας (76 φυτά m^{-2}) όπου εφαρμόστηκε λίπασμα ουρίας με διπλούς αναστολείς (νιτροποίησης και ουρεάσης). Όσον αφορά τις ποιοτικές παραμέτρους της συνολικής υπέργειας βιομάζας, η υψηλότερη περιεκτικότητα σε CP επιτεύχθηκε σε αγροτεμάχια με χαμηλή πυκνότητα (46 φυτά m^{-2}) και ανόργανη λίπανση με ουρία με διπλούς αναστολείς. Επιπλέον, το NDF και το ADF δεν επηρεάστηκαν από την πυκνότητα των φυτών. Ωστόσο, υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων λίπανσης. Οι υψηλότερες περιεκτικότητες ADF και NDF στην υπέργεια βιομάζα βρέθηκαν στο κομπόστ και στην ουρία με διπλούς αναστολείς. Η υψηλή περιεκτικότητα σε ADF, NDF και η σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε CP που χαρακτηρίζει την υπέργεια βιομάζα της μαύρης μουστάρδας μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις των θηλαζόντων ζώων και επομένως η παραγωγή βιομάζας μαύρης μουστάρδας ως κτηνοτροφική καλλιέργεια θα μπορούσε να είναι μεγάλης σημασίας. Συμπερασματικά, η μαύρη μουστάρδα που καλλιεργείται σε πυκνότητες φυτών υψηλότερες από 46 φυτά m^{-2} και υπό ανόργανη λίπανση, ειδικά με ουρία με διπλούς αναστολείς, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία ως νέα κτηνοτροφική καλλιέργεια στη διατροφή των μηρυκαστικών. Επιπλέον, μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να κατευθύνονται προς την κατανόηση της επίδρασης της χρήσης λιπασμάτων με αναστολείς ουρεάσης ή/και νιτροποίησης στην ποιότητα εναλλακτικών κτηνοτροφικών καλλιεργειών, όπως η μαύρη μουστάρδα, και την κατανάλωσή τους στην ανάπτυξη και στην υγεία των μηρυκαστικών.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

7.1 Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αναλογίδης Δ. 2013. Ουρία: μια πολύτιμη πηγή αζώτου για τις καλλιέργειες. Επιστημονικός σύμβουλος (Μεγκλας ΑΕΒΕ).
2. Δαλέζιος Νικόλαος Ρ., 2003 Αγρομετεωρολογία, πανεπιστημιακές παραδόσεις, πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας : 287 - 289.
3. Εγγονόπουλος Βασίλης, 2019. Ανάλυση ημεροβαθμών ως ένας κλιματικός δείκτης στην καλλιέργεια του βαμβακιού (*Gossypium hirsutum*) στην Ελλάδα. Μεταπτυχιακή Μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
4. Κρίκελας Χ., (2016) Τεύχος 61. *Το Σινάπι και οι ιδιότητές του*

7.2 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

1. Allende-Montalbán, R.; Martín-Lammerding, D.; Delgado, M.d.M.; Porcel, M.A.; Gabriel, J.L. Urease inhibitors effects on the nitrogen use efficiency in a maize–wheat rotation with or without water deficit. *Agriculture* **2021**, *11*, 684.
2. Allen, E.J., Morgan, D.G. A quantitative analysis of the effects of nitrogen on growth, development and yield of oilseed rape. *Journal of Agricultural Science*, **78**, **1972**, 315–323. <https://doi.org/10.1017/S0021859600069161>
3. Abul-Fadl, M.M.; El-Badry, N.; Ammar, M.S. Nutritional and Chemical Evaluation for Two Different Varieties of Mustard Seeds. *World Appl. Sci. J.* **2011**, *15*, 1225–1233
4. Ali, M.H., S.M.H. Zaman and S.M.A. Hussain. **1996**. Variation in yield, oil and protein content of rapeseed (*Brassica campestris* L.) in relation to levels of nitrogen, sulphur and plant density. *Ind. J. Agron.* **41**: 290-295
5. Almond J.A., Dawkins T.C.K and Askew M.F. Aspects of crop husbandry. In: Scarisbrick, D.H. and Daniels R.W. (eds) *Oilseed Rape*. **1986**, Collins, London, pp. 127-175.
6. Alzamel NM, Taha EMM, Bakr AAA, Loutfy N. Effect of organic and inorganic fertilizers on soil properties, growth yield, and physiochemical properties of sunflower seeds and oils. *Sustainability* **2022**, *14*:12928. <https://doi.org/10.3390/su14191292>
7. Aman Dixit, PK Singh, Anurag Verma, Deepak Pandey. Effect of levels of nitrogen & sulphur on growth, yield and quality of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Pharma Innovation* **2023**;12(3):5752-5756

8. Asif M., Zafar M.M., Imran A. and Ahmad T. *An overview of white rust disease in Brassica: taxonomical, biochemical aspects and management approaches*. **2017**, ResearchGate.
9. Askary Mahdiye, Mohammad Ali Behdani, Soheil Parsa, Sohrab Mahmoodi, Majid Jamialahmadi, Water stress and manure application affect the quantity and quality of essential oil of *Thymus daenensis* and *Thymus vulgaris*, *Industrial Crops and Products*, Volume 111, **2018**, Pages 336-344, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.056>.
10. Angelopoulou, F.; Tsiplakou, E.; Bilalis, D. Tillage intensity and compost application effects on organically grown camelina productivity, seed and oil quality. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca* **2020**, 48, 2153–2166
11. Angelova, V.; Ivanova, K. Bioaccumulation and distribution of heavy metals in black mustard (*Brassica nigra* Koch). *Environ. Monit. Assess.* **2009**, 153, 449–459.
12. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). *Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists*, **1990**, 15th ed.; AOAC: Washington, DC, USA, .
13. Bachlava E, Burton JW, Brownie C, Wang S, Auclair J, Cardinal AJ. Heritability of oleic acid content in soybean seed oil and its genetic correlation with fatty acid and agronomic traits. *Crop Science*, **2008**, 48:1764-1772. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.01.0049>
14. Bagchi, G.D.; Srivastava, N.G. Spices and flavoring crops: Fruits and seeds. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*; Caballero, B., Trugo, L., Finglas, P.M., Eds.; *Academic Press*: San Diego, CA, USA, **2003**; pp. 5465–5477.
15. Baghdadi, A.; Halim, R.A.; Ghasemzadeh, A.; Ramlan, M.F.; Sakimin, S.Z. Impact of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of silage corn inter cropped with soybean. *PeerJ*, **2018**, 6, e5280.
16. Bakken, L.R.; Frostegard, A. Sources and sinks for N₂O, can microbiologist help to mitigate N₂O emissions. *Environ. Microbiol.* **2017**, 19, 4801–4805.
17. Bhalerao, P.D. (2001). Effect of irrigation and nitrogen on Indian mustard (*Brassica juncea*) varieties in Vidharbha region. *Indian Journal of Agronomy*, 46(4), 727–731
18. Balić A, Vlašić D, Žužul K, Marinović B, Bukvić Mokos Z. Omega-3 versus omega-6 polyunsaturated fatty acids in the prevention and treatment of inflammatory skin diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, **2020** 21:741. <https://doi.org/10.3390/ijms21030741>
19. Beauchemin, K.A. Using ADF and NDF in dairy cattle diet formulation—a western Canadian perspective. *Anim. Feed Sci. Technol.* **1996**, 58, 101–111.
20. Benett, C.G.S.; Buzetti, S.; Silva, K.S.; Bergamaschine, A.F.; Fabricio, J.A. Yield and bromatologic composition of Marandu grass as function of sources and doses of nitrogen. *Ciênc. Agrotec.* **2008**, 32, 1629–1636.

21. Bilalis, D.J.; Roussis, I.; Cheimona, N.; Kakabouki, I.; Travlos, I. Organic Agriculture and Innovative Feed Crops. In *Agricultural Research Updates, vol. 23*; Gorawala, P., Mandhatri, S., Eds.; Nova Science Publishers, Inc.: Hauppauge, NY, USA, **2018**; pp. 55–100.
22. Bilalis D, Karkanis A, Papastylianou P, Patsiali S, Athanasopoulou M, Barla G, Kakabouki I (2010). Response of organic linseed (*Linum usitatissimum* L.) to the combination of tillage systems, (minimum, conventional and no-tillage) and fertilization practices: Seed and oil yield production. *Australian Journal of Crop Science* 4(9):700-705.
23. Bilalis, D., Krokida, M., Roussis, I., Papastylianou, P., Travlos, I., Cheimona, N., & Dede, A. (2018). Effects of organic and inorganic fertilization on yield and quality of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Folia Horticulturae*, 30(2), 321-332. <http://doi.org/10.2478/fhort-2018-0027>
24. Boufaïed, H.; Chouinard, P.Y.; Tremblay, G.F.; Petit, H.V.; Michaud, R.; Bélanger, G. Fatty acids in forages. I. Factors affecting concentrations. *Can. J. Anim. Sci.* **2003**, 83, 501–511.
25. Bremner, J.M. Problems in the use of urea as a nitrogen fertilizer. *Soil Use Manag.* **2007**, 6, 70–71.
26. Bridger G.M., Klinck H.R., Smith D.L., 1995. Timing and rate of ethephon application to two-row and six-row barley. *Agron. J.* 87:1198-1206.
27. Cao, W. & Moss, D.N. Modelling phasic development in wheat: a conceptual integration of physiological components. *Journal of Agricultural Science*, **1997**, 129(2):163-172
28. Carroll George. Fungal Endophytes in Stems and Leaves: From Latent Pathogen to Mutualistic Symbiont. **1988**, Volume 69, 1, pg 2-9.
29. Cartea E, De Haro-Bailón A, Padilla G, Obregón-Cano S, del Río-Celestino M, Ordás A. Seed oil quality of *Brassica napus* and *Brassica rapa* germplasm from Northwestern Spain. *Foods* , **2019**, 8:292. <https://doi.org/10.3390/foods8080292>
30. Chang, J.H. Climate and Agriculture: An Ecological Survey. Chicago: *Aldine Publishing Co*, **1974**.
31. Cheema, M.A., M. Saleem and M.A. Malik. **2001**. Effect of row spacing and nitrogen management of agronomic traits and oil quality of canola (*Brassica napus* L.). *Pak. J. Agri. Sci.* 38: 15-18.
32. Chew SC. Cold-pressed rapeseed (*Brassica napus*) oil: Chemistry and functionality. *Food Research International*, **2020**, 131:108997. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.108997>
33. Chimhashu T, Malan L, Baumgartner J, Van Jaarsveld P, Galetti V, Moretti D, Zimmermann M. Sensitivity of fatty acid desaturation and elongation to plasma zinc concentration: A randomised controlled trial in Beninese children. *British Journal of Nutrition*, **2018**, 119:610-619. <https://doi.org/10.1017/S000711451700366X>

34. Coleman, S.W.; Henry, D.A. Nutritive Value of Herbage. In *Sheep Nutrition*; Freer, M., Dove, H., Eds.; CABI Pub. in Association with *CSIRO Pub.*: Wallingford, UK, **2002**; pp. 1–26.
35. Čolović, D.; Banjac, V.; Rakita, S.; Čolović, R.; Marjanović-Jeromela, A.; Vidosavljević, S.; Kokić, B. By-products of black (*Brassica nigra*) and white (*Sinapis alba*) mustard seed production as animal feed: Possibilities and hazards. *J. Process. Energy Agric.* **2018**, *22*, 188–191.
36. Coonrod D, Brick MA, Byrne PF, Debonte L, Chen Z. Inheritance of long chain fatty acid content in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Euphytica*, **2008**, 164:583-592. <https://doi.org/10.1007/s10681-008-9781-7>
37. Dasci, M.; Comakli, B. Effects of fertilization on forage yield and quality in range sites with different topographic structure. *Turkish J. Field Crop.* **2011**, *16*, 15–22.
38. Delogu, G.; Cattivelli, L.; Pecchioni, N.; De Falcis, D.; Maggiore, T.; Stanca, A.M. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *Eur. J. Agron.* **1998**, *9*, 11–20.
39. De Bruin, J.L.; Pedersen, P. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. *Agron. J.* **2008**, *100*, 704–710.
40. Demeyer, D.; Doreau, M. Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. *Proc. Nutr. Soc.* **1999**, *58*, 593–607.
41. Drury, C.F.; Yang, X.; Reynolds, W.D.; Calder, W.; Oloya, T.O.; Woodley, A. Combining urease and nitrification inhibitors with incorporation reduces ammonia and nitrous oxide emissions and increases corn yields. *J. Environ. Qual.* **2017**, *46*, 939–949.
42. Drulis, P.; Kriauciuniene, Z.; Liakas, V. The effect of combining N-fertilization with urease inhibitors and biological preparations on maize biological productivity. *Agronomy* **2022**, *12*, 2264.
43. Dewhurst, R.J.; Scollan, N.D.; Younell, S.J.; Tweed, J.K.S.; Humphreys, M.O. Influence of species, cutting date and cutting interval on the fatty acid composition of grasses. *Grass Forage Sci.* **2001**, *56*, 68–74.
44. Divakaran M., K.N. Babu, Mustard, Editor(s): Benjamin Caballero, Paul M. Finglas, Fidel Toldrá, Encyclopedia of Food and Health, Academic Press, **2016**, Pages 9-19, ISBN 9780123849533, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00475-X>.
45. Donald, C.M. 1962. In search of yield. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* *28*: 171-178.
46. Duodu, K.G.; Dowell, F.E. Sorghum and Millets: Quality Management Systems. In *Sorghum and Millets: Chemistry, Technology and Nutritional Attributes*, 2nd ed.; Taylor, J.R.N., Duodu, K.G., Eds.; *Woodhead Publishing*: Cambridge, UK, **2019**; pp. 421–40.
47. Easterling W. E., Kates R. W. Indexes of leading climate indicators for impact assessment. *Climatic Change*, **1995**, Volume: 31

48. Edwards, J.T.; Purcell, L.C.; Vories, E.D. Light interception and yield potential of short-season maize (*Zea mays* L.) hybrids in the Midsouth. *Agron. J.* **2005**, *97*, 225–234.
49. Ferreri C, Chatgililoglu C. Lipidomic profiles and intervention strategies in prevention and diseases. In: Ferreri C, Chatgililoglu C (Eds). *Membrane Lipidomics for Personalized Health*. *Wiley Online Books*, Hoboken, **2015**, NJ, USA pp 135-155
50. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *World Livestock 2011—Livestock in Food Security*; FAO: Rome, Italy, **2011**.
51. Folina, A.; Tataridas, A.; Mavroeidis, A.; Kousta, A.; Katsenios, N.; Efthimiadou, A.; Travlos, I.S.; Roussis, I.; Darawsheh, M.K.; Papastylianou, P.; Kakabouki, I. Evaluation of Various Nitrogen Indices in N-Fertilizers with Inhibitors in Field Crops: A Review. *Agronomy* **2021**, *11*, 418. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030418>
52. Franzen, D.W. *Nitrogen Extenders and Additives for Field Crops (SF1581)*; NCERA-103 Committee; North Dakota State University: Fargo, ND, USA, **2022**; pp. 1–11.
53. Friedt W, Läuhs W. In Development in the Breeding of Rapeseed Oil for Industrial Purposes, Proceedings of the 9th International Rapeseed Congress, **1995**, Cambridge, UK.
54. Ganjineh E, Babaii F, Mozafari A, Mirzaei Heydari M, Naseri R. Effect of urea, compost, manure and bio-fertilizers on yield, percentage and composition of fatty acids of sesame seed oil (*Sesamum indicum* L.). *Cellular and Molecular Biology*, **2019**, *65*:64-72. <https://doi.org/10.14715/cmb/2019.65.5.11>
55. Garg, B.K., Kathju, S., Vyas, S.P., Lahiri, A.N. (2001). Influence of irrigation and nitrogen levels on Indian mustard. *Indian Journal of Plant Physiology*, *6*(3), 289–294
56. Grant, C.A. and Bailey, L.D. *Fertility management in canola production*. *Canadian Journal of Plant Science*, **1993**, *73*, 651-670.
57. Gomme, R. Agrometeorological crop yield forecasting methods. In Holland, T. and Van den Broecke, M.P.R. (Eds.). *Proceedings of the International Conference on Agricultural Statistics*, **1998**, Washington: DC Voorburg, International Statistical Institute
58. Goyal B.K, Verma P. R., Spurr D. T. and Reddy M. S. *Albugo candida* staghead formation in *Brassica juncea* in relation to plant age, inoculation sites, and incubation conditions. *Plant Pathology*, **1996**, *45*, 787-794.
59. Han, F.; Ullrich, S.E.; Romagosa, I.; Clancy, J.A.; Froseth, J.A.; Wesenberg, D.M. Quantitative genetic analysis of acid detergent fibre content in barley grain. *J. Cereal Sci.* **2003**, *38*, 167–172.
60. Hay, R.K.M. 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Ann. Appl. Biol.* *126*: 197-216
61. Holmes M. R. J. (1980). *Nutrition of the Oilseed Rape Crop*. Applied Science Publishers, Barking, Essex, UK.

62. Horrocks, R.D.; Valentine, J.F. *Harvested Forages*; Academic Press: San Diego, CA, USA, **1999**.
63. Jacobs, J. L., Ward, G. N. and Kearney, G. 2004. Effects of irrigation strategies and nitrogen fertiliser on turnip drymatter yield, water use efficiency, nutritive characteristics and mineral content in western Victoria. *Australian J. Expt. Agric.* 44(1): 13-26
64. Jeshni Meysam Ghaedi , Mohsen Mousavinik, Issa Khammari, Maryam Rahimi, The changes of yield and essential oil components of German Chamomile (*Matricaria recutita* L.) under application of phosphorus and zinc fertilizers and drought stress conditions, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, Volume 16, Issue 1, **2017**, Pages 60-65, ISSN 1658-077X, <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.02.003>
65. Kaasschieter, G.A.; de Jong, R.; Schiere, J.B.; Zwart, D. Towards a sustainable livestock production in developing countries and the importance of animal health strategy therein. *Vet. Q.* **1992**, 14, 66–75.
66. Kakabouki, I.; Karydogianni, S.; Roussis, I.; Bilalis, D. Effect of organic and inorganic fertilization on weed flora and seed yield in black mustard [*Brassica nigra* (L.) Koch] crops. *Int. J. Agric. Nat. Resour.* **2020**, 47, 79–89.
67. Kakabouki, I.; Tataridas, A.; Mavroeidis, A.; Kousta, A.; Roussis, I.; Katsenios, N.; Efthimiadou, A.; Papastylianou, P. Introduction of alternative crops in the Mediterranean to satisfy EU Green Deal goals. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **2021**, 41, 71.
68. Kakabouki, I.; Bilalis, D.; Karkanis, A.; Zervas, G.; Tsiplakou, E.; Hela, D. Effects of fertilization and tillage system on growth and crude protein content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An alternative forage crop. *Emir. J. Food Agric.* **2014**, 26, 18–24.
69. Kakabouki, I.; Mavroeidis, A.; Tataridas, A.; Roussis, I.; Katsenios, N.; Efthimiadou, A.; Tigka, E.L.; Karydogianni, S.; Zisi, C.; Folina, A.; Bilalis, D. Reintroducing Flax (*Linum usitatissimum* L.) to the Mediterranean Basin: The Importance of Nitrogen Fertilization. *Plants* **2021**, 10, 1758. <https://doi.org/10.3390/plants10091758>
70. Kakabouki, Ioanna, Togiass, Triantafyllos, Folina, Antigoni Eleni, Karydogianni, Stella, Zisi, Charikleia and Bilalis, Dimitrios. "Evaluation of yield and nitrogen utilisation with urease and nitrification inhibitors in sweet potato crop (*Ipomoea batatas* L.)" *Folia Horticulturae*, vol.32, no.2, **2020**, pp.147-157. <https://doi.org/10.2478/fhort-2020-0014>
71. Kakabouki, I.; Folina, A.E.; Zisi, C.; Karydogianni, S. Fertilization expression via nitrogen indices in soybean crop under two system tillage. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca* 2020, 48, 799–813
72. Kapila S., Rathore S.S., Premi O.P., Kandpal B.K. and Chauhan J.S, (**2012**). *Advances in Agronomic Management of Indian mustard (Brassica juncea (L.) Czernj. Cosson) : An overview*. *International Journal of Agronomy*.
73. Kazemeini, S.A., M. Edalat, A. Shekoofa and R. Hamidi. **2010**. Effect of nitrogen and plant density on rapeseed (*Brassica napus* L.). *J. Appl. Sci.* 10: 1461-1465.

74. Kaur G, Kaur R, Kaur S. Studies on physiochemical properties of oil extracted from *Brassica nigra* and *Brassicarapa toria*. *Materials Today: Proceedings*, **2022**, 48:1645-1651. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.527>
75. Karydogianni, S.; Darawsheh, M.K.; Kakabouki, I.; Zisi, C.; Folina, A.E.; Roussis, I.; Tselia, Z.; Bilalis, D. Effect of nitrogen fertilizations, with and without Inhibitors, on cotton growth and fiber quality. *Agron. Res.* **2020**, *18*, 432–449.
76. Kering, M.K.; Guretzky, J.A.; Funderburg, E.; Mosali, J. Effect of nitrogen fertilizer rate and harvest season on forage yield, quality, and macronutrient concentrations in Midland Bermuda grass. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **2011**, *42*, 1958–1971.
77. Keivanrad S, Zandi P. Effect of nitrogen levels on growth, yield and oil quality of Indian mustard grown under different plant densities. *The Journal of Agricultural Science.* **2012**;45(2):105-113.
78. Kjeldahl, J. 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Sticksroffs in Organischen Korpern. *Z. Anal. Chem* 22:366-382
79. Krawutschke, M.; Kleen, J.; Weiher, N.; Loges, R.; Taube, F.; Gierus, M. Changes in crude protein fractions of forage legumes during the spring growth and summer regrowth period. *J. Agric. Sci.* **2013**, *151*, 72–90.
80. Krachunov, I. Estimation of energy feeding value of forages for ruminants II. Energy prediction through crude fiber content. *J. Mt. Agric. Balk.* **2007**, *10*, 122–134.
81. Krishnaveni M. and Saranya S. Phytochemical characterization of *Brassica nigra* seeds, *International Journal of Advanced Life Science (IJAL)* , **2016**, 150-158
82. Krol, D.J.; Forrestal, J.P.; Wall, D.; Lanigan, J.G.; Sanz-Gomez, J.; Richards, G.K. Nitrogen fertilizers with urease inhibitors reduce nitrous oxide and ammonia losses, while retaining yield in temperate grassland. *Sci. Total Environ.* **2020**, *725*, 138329.
83. Kuai, J.; Sun, Y.; Zuo, Q.; Huang, H.; Liao, Q.; Wu, C.; Lu, J.; Wu, J.; Zhou, G. The yield of mechanically harvested rapeseed (*Brassica napus* L.) can be increased by optimum plant density and row spacing. *Sci. Rep.* **2015**, *5*, 18835.
84. Kumar, D. Production technology for yield enhancement of Indian mustard under irrigated conditions. In: Kumar, D. and Rai, M. (eds) *Advances in Oilseed Research: Rapeseeds and Mustard*, Vol. 1. *Scientific Publishers*, Jodhpur, Rajasthan, **1992**, India, pp. 71–95
85. Kumar PR, Tsunoda S. Variation in oil content and fatty acid composition among seeds from the Cruciferae. In: Tsunoda S, Hinata K, Gómez-Campo C (Eds). *Brassica Crops and Wild Allies. Japan Scientific Societies Press*, **1980**, Tokyo pp 235-252.
86. Leach JE, Stevenson HJ, Rainbow AJ, Mullen LA. Effects of high plant populations on the growth and yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *The Journal of Agricultural Science*, **1999**, 132:173-180. <https://doi.org/10.1017/S0021859698006091>

87. Leite, R.G.; Cardoso, A.D.S.; Fonseca, N.V.B.; Silva, M.L.C.; Tedeschi, L.O.; Delevatti, L.M.; Ruggieri, A.C.; Reis, R.A. Effects of nitrogen fertilization on protein and carbohydrate fractions of Marandu palisadegrass. *Sci Rep.* **2021**, *11*, 14786.
88. Li, Y.; Mingfang, H.; Tenuta, M.; Ma, Z.; Gui, D.; Li, X.; Zeng, F.; Gao, X. Agronomic evaluation of polymercoated urea and urease and nitrification inhibitors for cotton production under drip-fertigation in a dry climate. *Sci. Rep.* **2020**, *10*, 1472.
89. Li WP, Shi HB, Zhu K, Zheng Q, Xu Z. The quality of sunflower seed oil changes in response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*, **2017**, 109:2499-2507. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.01.0046>
90. Liu P, Wang CM, Li L, Sun F, Yue GH. Mapping QTLs for oil traits and eQTLs for oleosin genes in jatropha. *BMC Plant Biology*, 2011, 11:132. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-132>
91. Lomas, J., Gat, Z. and Shifrin, N. Methods of forecasting the ripening rates of citrus fruit in various regions. *Agricultural Meteorology*, **1970**, 7:321-327.
92. Lühs W, Friedt W. Erucic acid allelism in *Brassica napus*. In: ISHS Symposium on Brassicas – Tenth Crucifer Genetics Workshop, Rennes, **1997**, France pp 229
93. Marisol Berti, D., Rosemarie wilckens, E., Felicitas Hevia, H., Alejandro Montecino, Y. Influence of sowing date and seed origin on the of capitul *Calendula officinalis* L. during two growing seasons in Chili. *Agric. Technol*, 63(1), **2003**, (Neishabouri, 1385)
94. Mirjalili Ahmad, Mohammad Hossein Lebaschi, Mohammad Reza Ardakani, Hossein Heidari Sharifabad, Mehdi Mirza, Plant density and manure application affected yield and essential oil composition of Bakhtiari savory (*Satureja bachtiarica* Bunge.), *Industrial Crops and Products*, Volume 177, **2022**, 114516, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114516>.
95. Moreira, A.; Moraes, L.A.C.; Schroth, G.; Mandarino, J.M.G. Effect of nitrogen, row spacing, and plant density on yield, yield components, and plant physiology in soybean-wheat intercropping. *Agron. J.* **2015**, *107*, 2162–2170.
96. Mathur, P., Sharma, E. & Kapoor, R. Role of Nitrogen and Sulphur Fertilization for Sustaining the Growth, Physiology and Defence of *Brassica juncea* L. (Indian Mustard) Plants Exposed to Enhanced CO₂ Concentration. *J Soil Sci Plant Nutr* **22**, 778–790 (2022). <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00688-6>
97. McGregor, D.I. **1987**. Effect of plant density on development and yield of rapeseed and its significance to recovery from hail injury. *Can. J. Plant Sci.* 67: 43-51
98. McKenzie, R.H., Middleton, A.B., Bremer, E. (2006). Response of mustard to fertilization, seeding date, and seeding rate in southern Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(2), 353–362. <https://doi.org/10.4141/P04-164>
99. Matzarakis A, Ivanova D, Balafoutis C, Makrogiannis T (**2007**).Climatology of growing degree days in Greece. *Clim Res*34:233–240

100. Mahmood, R. Impacts of air temperature variations on the boro rice phenology in Bangladesh: implications for irrigation requirements. *Agricultural and Forest Meteorology*, **1997**, 84(3-4):233-247.
101. Majnoun-hosseini, N., H.M. Alizadeh and H. Malekhamadi. **2006**. Effects of plant density and nitrogen rates on the competitive ability of canola (*Brassica napus* L.) against weeds. *J. Agric. Sci. Technol.* 8: 281-291.
102. Mengel DB, Rehm GW. Fundamentals of fertilizer application. In: Huang PM, Li Y, Summer ME (Eds). *Handbook of Soil Sciences, Resource Management and Environmental Impacts*. *CRC Press*, **2012**, Boca Raton, FL, USA pp 1-15.
103. Mejia-Garibay B, Guerrero-Beltrán JÁ, Palou E, López-Malo A. Características físicas y antioxidantes de semillas y productos de mostaza negra (*Brassica nigra*) y amarilla (*Brassica alba*) [Physical and antioxidant characteristics of black (*Brassica nigra*) and yellow mustard (*Brassica alba*) seeds and their products]. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, **2015**, 65:128-135.
104. Meru G, Fu Y, Leyva D, Sarnoski P, Yagiz Y. Phenotypic relationships among oil, protein, fatty acid composition and seed size traits in *Cucurbita pepo*. *Scientia Horticulturae*, **2018**, 233:47-53. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.030>
105. Mehra, K.L. History and ethiobotany of mustard in India. *Adv. Front. Pl. Sci.* 1968, **19**: 57.
106. Mendham N.J. and Salisbury P.A. Physiology: Crop Development, Growth and Yield. In: Kimber D. and McGregor D.I (eds) *Brassica Oilseeds. Production and Utilization*. *CAB INTERNATIONAL*. **1995**, Pg. 11, 18
107. Messman, M.A.; Weiss, W.P.; Erickson, D.O. Effects of nitrogen fertilization and maturity of bromegrass on in situ ruminal digestion kinetics of fiber. *J. Anim. Sci.* **1991**, 69, 1151–1161.
108. Mertens, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cow. *J. Dairy Sci.* **1997**, 80, 1463–1481.
109. Meena, P.D., P.R. Verma, G.S. Saharan, and M. H. Borhan. Historical perspectives of white rust caused by *Albugo candida* in Oilseed Brassica. *J. Oil. Bras.*, **2014**, 5:1-41
110. Montemurro, F.; Diacono, M. Towards a better understanding of agronomic efficiency of nitrogen: Assessment and improvement strategies. *Agronomy* **2016**, 6, 31.
111. Momoh EJJ, Zhou W. Growth and Yield Responses to plant density and stage of transplanting in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, **2001**, 186:253-259. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00476.x>
112. Morrison M. J., McVetty P.B.E. and Shaykewich C.F. The determination and verification of a baseline temperature for the growth of Westar summer rape. *Canadian Journal of Plant Science*, **1989**, 69, 455-464.

113. Nassi o Di Nasso, N.; Angelini, L.G.; Bonari, E. Influence of fertilisation and harvest time on fuel quality of giant reed (*Arundo donax* L.) in Central Italy. *Eur. J. Agron.* **2010**, *32*, 219–227.
114. National Research Council (NRC). Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th ed.; National Academies Press: Washington, DC, USA, **2001**.
115. Ogilvy, S.E. The influence of seed rate on population structure and yield of winter oilseed rape. *Aspects of Applied Biology*, **1984**, *6*, 59-66
116. Omidbaigi, R. Production and processing of medicinal plants. Behnashr Publication, Mashhad, **2005**, Iran
117. Orskov, E.R.; Ryle, M. Energy Nutrition in Ruminants; *Elsevier Press*: New York, NY, USA, **1990**.
118. Pandey Vineeta, Anju Patel, D.D. Patra, Biochar ameliorates crop productivity, soil fertility, essential oil yield and aroma profiling in basil (*Ocimum basilicum* L.), *Ecological Engineering*, Volume 90, **2016**, Pages 361-366, ISSN 0925-8574, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.020>.
119. Pereira, J.R.; Neres, M.A.; Sandini, I.E.; Fluck, A.C.; Costa, O.A.D.; Sartor, L.R. Chemical compounds and gas production kinetics of annual ryegrass hay in distinct nitrogen levels and cutting heights. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* **2020**, *44*, 1243–1249.
120. Ponnampalam, E.N.; Holman. B.W.B.; Kerry, J.P. Impact of animal nutrition on muscle composition and meat quality. In *Meat Quality: Genetic and Environmental Factors*; Przybylski, W., Hopkins, D., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, **2016**; pp.101–146.
121. Premi, O.P., Manoj, K. (2004). Response of Indian mustard (*Brassica juncea*) to diereent levels of nitrogen and phosphorus under irrigated condition. *Indian Journal of Agricultural Research*, *38*(2), 151–153.
122. Prihar S.S., Sandhu K.S., Sandhu B.S. and Khera K.L. Effects of Irrigation Schedules on Yield of Mustard (*Brassica Juncea*). *Experimental Agriculture*, 1981,17(01)
123. Puzet. Agronomy. In: Kimber D. and McGregor D.I (eds) Brassica Oilseeds. Production and Utilization. *CAB INTERNATIONAL*. **1995**, Pg. 66,71, 86
124. Quemada, M.; Gabriel, J.L. Approaches for increasing nitrogen and water use efficiency simultaneously. *Glob. Food Sec.* **2016**, *9*, 29–35.
125. Rana, D.S. and D.K. Pachauri. 2001. Sensitivity of zero erucic acid genotypes of *Oleiferous Brassica* to plant population and planting geometry. *Ind. J. Agron.* *46*: 736-740.
126. Rahman, M.; Khatun, A.; Liu, L.; Barkla, B.J. Brassicaceae mustards: Traditional and agronomic uses in Australia and New Zealand. *Molecules* **2018**, *23*, 231.
127. Rakow G, Raney G. In: Present Status and Future Perspectives of Breeding for Seed Quality in *Brassica* Oilseed Crops, Proceeding of the 11th International Rapeseed Congress, **2003**, Copenhagen, Denmark.

128. Rathke GW, Behrens T, Diepenbrock W. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **2006**, 117:80-108. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.04.006>
129. Rayburn, E.B. Matching plant species to your environment, weather, and climate. In *Horse Pasture Management*; Sharpe, P., Ed.; Academic Press: New York, NY, USA, **2019**; pp. 233–243.
130. Reddy, B.V.S.; Reddy, P.S.; Bidinger, F.R.; Blümmel, M. Crop management factors influencing yield and quality of crop residues. *Field Crops Res.* **2003**, *84*, 57–77
131. Roussis, I.; Kakabouki, I.; Tsiplakou, E.; Bilalis, D. Influence of plant density and fertilization on yield and crude protein of *Nigella sativa* L.: An alternative forage and feed source. In *Nigella sativa: Properties, Uses and Effects*; Berghuis, S., Ed.; Nova Science Publishers, Inc.: Hauppauge, NY, USA, **2020**; pp. 145–180.
132. Roussis, I.; Kakabouki, I.; Beslemes, D.; Tigka, E.; Kosma, C.; Triantafyllidis, V.; Mavroeidis, A.; Zotos, A.; Bilalis, D. Nitrogen Uptake, Use Efficiency, and Productivity of *Nigella sativa* L. in Response to Fertilization and Plant Density. *Sustainability* **2022**, *14*, 3842. <https://doi.org/10.3390/su14073842>
133. Ruser, R.; Schulz, R. The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N₂O) release from agricultural soils: A review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **2015**, *178*, 171–188.
134. Sadia, A. A., A. F. Ona, T. Taufique, H. Mehraj, and A. F. M. Jamal Uddin. 2013. "Influence of Nitrogen on Growth and Yield of Turnip." *Journal of Experimental Biosciences* 4 (2): 39–42
135. Sahay, S.; Inam, A.; Inam, A.; Iqbal, S. Modulation in growth, photosynthesis and yield attributes of black mustard (*B. nigra* cv. IC247) by interactive effect of wastewater and fly ash under different NPK levels. *Cogent Food Agric.* **2015**, *1*, 1087632.
136. Sandrakirana, R.; Arifin, Z. Effect of organic and chemical fertilizers on the growth and production of soybean (*Glycine max*) in dry land. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín.* **2021**, *74*, 9643–9653.
137. Saskatchewan Mustard Development Commission, *Mustard Production Manual* June **2017**
138. Sawan ZM. Mineral fertilizers and plant growth retardants: Its effects on cottonseed yield; its quality and contents. *Cogent Biology*, **2018** 4:1459010. <https://doi.org/10.1080/23312025.2018.1459010>
139. Sbrissia, A.F.; da Silva, S.C. Tiller size/density compensation in Marandu palisadegrass swards. *Rev. Brasi. de Zootec.* **2008**, *37*, 35–47.
140. Sharratt, B.S.; McWilliams, D.A. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. *Agron. J.* **2005**, *97*, 1129–1135.

141. Sharafi Y, Majidi MM, Goli SAH, Rashidi F. Oil content and fatty acids composition in *Brassica* species. *International Journal of Food Properties*, **2015** 18:2145-2154. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.968284>
142. Sharma R, Aggarwal RA, Kumar R, Mohapatra T, Sharma R. Construction of an RAPD linkage map and localization of QTLs for oleic acid level using recombinant inbreds in mustard (*Brassica juncea*). *Genome*, **2002**, 45:467- 472. <https://doi.org/10.1139/g02-001>
143. Sharif, S.A., R. Shabana, A.F. Ibrahim and G. Geisler. Variation in seed yield and quality characters of four spring rapeseed cultivars as influenced by population arrangements and densities. *J. Agron. Crop Sci.* **1990**, 165:103-109.
144. Sharma, R.C., E.L. Smith and R.W. McNew. 1987. Stability of harvest index and grain yield in winter wheat. *Crop. Sci.* 27: 104-107
145. Sheaffer, C.C.; Martin, N.P.; Lamb, J.F.S.; Cuomo, G.R.; Jewett, J.G.; Quering, S.R. Leaf and stem properties of alfalfa entries. *Agron. J.* **2000**, 92, 733–739.
146. Shekhawat K., Rathore S.S., Premi O.P., Kandpal B.K. and Chauhan J.S. (2012). Advances in Agronomic Management of Indian Mustard (*Brassica juncea* (L.) Czernj. Cosson): An Overview. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Agronomy Volume* **2012**, Article ID 408284, 14 pages
147. Siadat SA, Moradi-Telavat MR, Fathi G, Mazarei M, Alamisaeid K, Mousavi SH. Rapeseed (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) response to nitrogen fertilizer following different previous crops. *Italian Journal of Agronomy*, **2011** 6:e31. <https://doi.org/10.4081/ija.2011.e31>
148. Sinclair, T.R.; de Wit, C.T. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. *Science* **1975**, 18, 565–567.
149. Singh, N.B. and K.K. Verma. 1993. Performance of rainfed Indian mustard (*Brassica juncea*) in relation to spacing in diara land of eastern Uttar Pradesh. *Indian J. Agron.* 38: 654-656.
150. Singh, R., B. Singh, and K.N.K. Chauhan, 1999. Productivity and economics of Indian mustard (*Brassica juncea*) as influenced by varieties and weed control treatments. *Indian J. Weed Sci.*, 31(3/4): 138-141.
151. Smith, R.; Slater, F.M. The effects of organic and inorganic fertilizer applications to *Miscanthus × giganteus*, *Arundo donax* and *Phalaris arundinacea*, when grown as energy crops in Wales, UK. *Glob. Chang. Biol. Bioenergy* **2010**, 2, 169–179.
152. Suter, H.C.; Sultana, H.; Davies, R.; Walker, C.; Chen, D. Influence of enhanced efficiency fertilisation techniques on nitrous oxide emissions and productivity response from urea in a temperate Australian ryegrass pasture. *Soil Res.* **2016**, 54, 523–532.
153. Stickler, F.C.; Laude, H.H. Effect of row spacing and plant population on performance of corn, grain sorghum and forage sorghum. *Agron. J.* **1960**, 52, 275–277.
154. Sovero M. Rapeseed a new oilseed crop for the United States. In: Janick J, Simon JE (Eds). *New Crops*. John Wiley and Sons, **1993**, New York, USA pp 302-307.

155. Taiz, L.; Zeiger, E. *Plant Physiology*, 3rd ed.; Sinauer Associates: Sunderland, MA, USA, **2002**.
156. Tawfeeq Anas, Alastair Culham, Fred Davis, Martin Reeves, Does fertilizer type and method of application cause significant differences in essential oil yield and composition in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.)?, *Industrial Crops and Products*, Volume 88, **2016**, Pages 17-22, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.026>.
157. Theivasigamani, Parthasarathi, Velu, Jeyakumar, Prabhakaran. Impact of Crop Heat Units on Growth and Developmental Physiology of Future Crop Production: A Review. Research & Review: *Journal of Crop Science & Technology*, **2013**, 2. 2319-3395.
158. Thomas P. *Canola Growers Manual*. Canola of Canada Publication, 1984, Winnipeg, Canada.
159. Thomas, J.; Kuruvilla, M.K.; Hrideek, K.T. Mustard. In *Handbook of Herbs and Spices, Second Edition, Vol. 1.*; Peter, K.V., Ed.; Woodhead Publishing Limited: Cambridge, UK, **2012**; pp. 388–398.
160. Throop, H.L. Nitrogen deposition and herbivory affect biomass production and allocation in an annual plant. *OIKOS* **2005**, *111*, 91–100.
161. Tona, G.O. Current and Future Improvements in Livestock Nutrition and Feed Resources. In *Animal Husbandry and Nutrition*; Yücel, B., Taşkin, T., Eds.; Intecopen: London, UK, **2018**. <https://doi.org/10.5772/intechopen.73088>.
162. United Nations (UN). World Population Projected to Reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100. United Nations Department of Economic and Social Affairs. Available online: <https://www.un.org/en/desa/world-population-projected-reach-98-billion-2050-and-112-billion-2100> (accessed on **23 September 2022**).
163. Uddin, M.S., Huda, M.N., Mosharraf, S., Millat, M.S. Assessment of Antidiarrheal Action of the Methanolic Extract of *Brassica nigra* Flower in Swiss Albino Mice. *Discovery Phytomedicine*, **2019**, 6(2): 56-60. [DOI:10.15562/phytomedicine.2019.84](https://doi.org/10.15562/phytomedicine.2019.84)
164. Van Soest, P.J.; Robertson, J.B.; Lewis, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* **1991**, *74*, 3583–3597.
165. Van Soest, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*, 2nd ed.; Cornell University Press: New York, NY, USA, **1994**.
166. Veromann E., Metspalu L., Williams I., Hiiesaar K., Mand M., Kaasik R., Kovačcs G., Jogar K., Svilponis E., Kivimagi I., Ploomi A., Luik A. Relative attractiveness of *Brassica napus*, *Brassica nigra*, *Eruca sativa* and *Raphanus sativus* for pollen beetle (*Meligethes aeneus*) and their potential for use in trap cropping. *Arthropod-Plant Interactions*, **2012**, 6:385–394
167. Verma, N.K., Pandey, B.K., Singh, U.P., Lodhi, MD 2012. Effect of sowing dates in relation to integrated nitrogen management on growth, yield and quality of rabi maize (*Zea mays* L.). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 22(2), 324–329

168. Wanapat, M.; Kang, S.; Polyorach, S. Development of feeding systems and strategies of supplementation to enhance rumen fermentation and ruminant production in the tropics. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* **2013**, *4*, 32.
169. Wanasundara, J.P. Proteins of Brassicaceae oilseeds and their potential as a plant protein source. *Food Sci. Nutr.* **2011**, *51*, 635–677.
170. Wang, H.; Köbke, S.; Dittert, K. Use of urease and nitrification inhibitors to reduce gaseous nitrogen emissions from fertilizers containing ammonium nitrate and urea. *Glob. Ecol. Conserv.* **2020**, *22*, e00933. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00933>
171. Wang JY (1960) A critique of the heat-unit approach to plant response studies. *Ecology* 41:785–790
172. Ward K.A., Scarth R., McVetty P.B.E and Daun J.K. Genotypic and environmental effects on seed chlorophyll levels in canola (*Brassica napus*). In : McGregor D.I. (ed) *Proceedings of the Eight International Rapeseed Congress*, Saskatoon, Canada. Organizing Committee, Saskatoon, **1991**, pp. 1241-1245
173. Watson DJ. **1947**. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany* 11, 41-76
174. Widdicombe, W.D.; Thelen, K.D. Row width and plant density effect on corn forage hybrids. *Agron. J.* **2002**, *94*, 326–330.
175. Williams I. and Free J.B. *Compensation of oilseed rape (Brassica napus) plants after damage to their buds and pods. Journal of Agricultural Science*, **1979**, Cambridge 92, 53-59
176. Wysocki, D.J., Corp, M., Horneck, D.A., Lutcher, LK (2007). Nutrient management guide: irrigated and dryland canola. Oregon State University EM-8943-E. https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/_x0019_les/project/pdf/em8943.pdf
177. Xie, Z.L.; Zhang, T.F.; Chen, X.Z.; Li, G.D.; Zhang, J.G. Effects of maturity stages on the nutritive composition and silage quality of whole crop wheat. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* **2012**, *25*, 1374–1380.
178. Yadav, S.K., Chandar, K., Singh, D.P. (1994). Response of late-sown mustard (*Brassica juncea*) to irrigation and nitrogen. *Journal of Agricultural Science*, 123(2), 219–224. <https://doi.org/10.1017/S0021859600068489>
179. Zaman, M.; Nguyen, M.L.; Blennerhassett, J.D.; Quin, B.F. Reducing NH₃, N₂O and NO₃⁻-N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. *Biol. Fertil. Soils.* **2008**, *44*, 693–705.
180. Zareabyaneh, H.; Bayatvarkeshi, M. Effects of slow-release fertilizers on nitrate leaching, its distribution in soil profile, N-use efficiency, and yield in potato crop. *Environ. Earth Sci.* **2015**, *74*, 3385–3393

181. Zandi, P., A.H. Shirani-rad and L. Bazrkar-khatibani. Agronomic study of fenugreek grown under different in-row spacing and nitrogen levels in a paddy field of Iran. *Am-Euras. J. Agric. Environ. Sci.* **2011**, 10: 544-550 *ISSN 1991-637X*
182. Zapletalová A, Ducsay L, Varga L, Sitkey J, Javoreková S, Hozlár P. Influence of nitrogen nutrition on fatty acids in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Plants*, **2021**, 11:44. <https://doi.org/10.3390/plants11010044>
183. Zhang S, Liao X, Zhang C, Xu H. Influences of plant density on the seed yield and oil content of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Industrial Crops and Products*, **2012** 40:27-32. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.016>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ



Εικόνα 1: Διαδικασία σποράς. (Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 2: Σπορόφυτα μαύρου σιναπιού. (Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 3: Άποψη πειραματικού αγρού με την ανάπτυξη των σποροφύτων να απεικονίζονται. (Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 4: Άποψη πειραματικού με τα φυτά στο στάδιο της ροζέτας. (Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 5: Φυτά στο βλαστικό στάδιο. (Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 6: Φυτά στο στάδιο της άνθισης. (Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 7: Αποψη πειραματικού στο στάδιο της άνθισης. (Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 8: Σχηματισμένες καρποταξίες (λοβοί). (Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 9: Άποψη πειραματικού στο στάδιο της φυσιολογικής ωρίμανσης των φυτών. (Προσωπικό αρχείο)



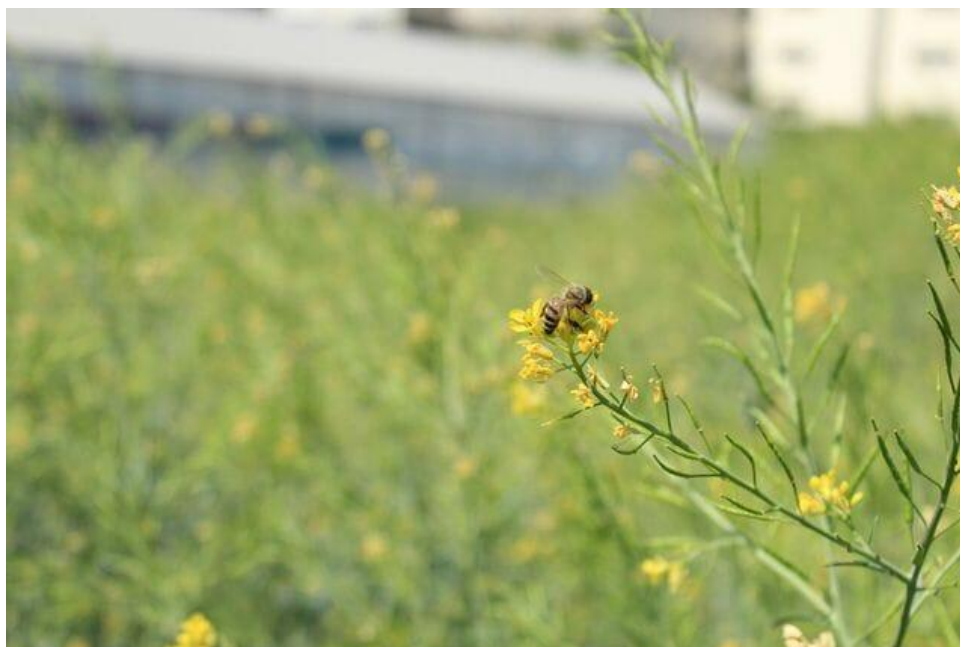
Εικόνες 10,11: Μηχάνημα για την μέτρηση του Leaf Area Index (LAI), *Sun Scan type SSI* (Delta-T Devices Cambridge- England).
(Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 12: Σπορόφυτο μαύρης μουστάρδας με παρουσία πρώτων πραγματικών φύλλων.
(Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 13: Φυτά στο στάδιο της ροζέτας, με εμφανή την παρουσία παγετού στα φύλλα.
(Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 14: Επικονίαση ανθέων από τις μέλισσες.
(Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 15: Αποψη αγρού στο βλαστητικό στάδιο.
(Προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 16: Ταξιανθία μαύρου σιναπιού.
(Προσωπικό αρχείο)