

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ
ΠΜΣ «ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ & ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Συγκριτική αξιολόγηση έξι παραδοσιακών ποικιλιών αρακά και κουκιών, όσον αφορά την παραγωγικότητα, την βιολογική αζωτοδέσμευση και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από το έδαφος, σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας»



ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΥΦΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ
ΑΘΗΝΑ
2016

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΑΒΒΑΣ

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΠΜΣ «ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ & ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ»
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Συγκριτική αξιολόγηση έξι παραδοσιακών ποικιλιών αρακά και κουκιών, όσον αφορά την παραγωγικότητα, την βιολογική αζωτοδέσμευση και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από το έδαφος, σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας»

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΑΒΒΑΣ

ΜΕΛΗ: ΑΝ. ΚΑΘ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΠΙΛΑΛΗΣ

ΕΠΙΚ. ΚΑΘ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΡΑΠΑΝΟΣ

ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΥΦΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ
ΑΘΗΝΑ
2016

Περίληψη

Ο ρόλος των ψυχανθών σε μια βιώσιμη γεωργία είναι πολυδιάστατος και τα οφέλη πάρα πολλά. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η συγκριτική αξιολόγηση παραδοσιακών ποικιλιών αρακά και κουκιών από διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας. Αντικείμενα μελέτης και συγκριτικής αξιολόγησης ήταν η παραγωγικότητα, όσον αφορά λαχανοκομικές πρακτικές (νωπούς λοβούς, νωπά σπέρματα), επίσης και σε ξηρό σπόρο, η ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης (BNF) και οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (CH₄, CO₂, N₂O) από το έδαφος. Η αξιολόγηση των παραπάνω πραγματοποιήθηκε σε δύο διαφορετικά συστήματα καλλιέργειας, βιολογικό και συμβατικό, στο Αγρόκτημα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στη περιοχή της Κωπαΐδας (Αλίαρτος, Ν. Βοιωτίας),

Καλλιεργήθηκαν προς μελέτη και συγκριτική αξιολόγηση τρεις παραδοσιακές ποικιλίες αρακά (*Pisum sativum* L.) από διάφορες περιοχές της Ελλάδας, Σχοινούσα, Άνδρο (Εξω Βουνί), Αμοργό και τρεις παραδοσιακές ποικιλίες κουκιών (*Vicia faba* L.) από Άνδρο (Μακροτάνταλο), Λευκάδα (Κομηλιό) και Μάνη Καλαμάτας, όπως επίσης και μια εμπορική ποικιλία για το κάθε είδος (*Pisum sativum* cv *Onward* και *Vicia faba* cv *Aguadulce*), καθώς και λάχανο κεφαλωτό (*Brassica oleracea* L., GRANDSLAM F1), ως λαχανικό ψυχρής εποχής, μη ψυχανθές.

Σε αυτή τη μελέτη, η ποικιλία αρακά «Άνδρος» ήταν η πιο παραγωγική όσον αφορά την παραγωγή νωπών λοβών και παρήγαγε μέτριου μεγέθους λοβούς με ικανοποιητικό αριθμό, ανεξαρτήτως του συστήματος που εφαρμόστηκε, προσδίδοντας ομοιομορφία στα χαρακτηριστικά, ενώ η εμπορική ποικιλία κουκιών «Aguadulce» ανταποκρίθηκε καλύτερα στο βιολογικό σύστημα από ότι στο συμβατικό, με παραγωγή 67,83 και 64,43 t ha⁻¹ αντίστοιχα.

Οι τιμές Ndfa για τον αρακά κυμάνθηκαν σε ένα ευρύ φάσμα (από 74,48 έως 88,95%). Οι ποικιλίες «Αμοργός» και «Σχοινούσα» παρουσίασαν σημαντικά χαμηλότερες τιμές για το BNF (114 και 77 kg ha⁻¹ αντίστοιχα) σε σύγκριση με τους άλλους γενοτύπους, ενώ το βιολογικό σύστημα καλλιέργειας είχε ως αποτέλεσμα μειωμένη ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης BNF μόνο για τις ποικιλίες «Άνδρος» και «Αμοργός». Σχετικά με τις ποικιλίες κουκιών, οι τιμές για το BNF μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών και των διαφορετικών συστημάτων καλλιέργειας, κυμάνθηκαν μεταξύ 191 και 497 kg/ha, πράγμα που δείχνει αποτελεσματικότερη ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης συγκριτικά με τον αρακά.

Οι μετρήσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, έδειξαν ότι οι μηχανικές κατεργασίες του εδάφους (όργωμα και σπορά), το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και οι κλιματολογικές συνθήκες έχουν σημαντική επίδραση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Κατά την αξιολόγηση των συγκεντρωτικών ετήσιων εκπομπών, για το N₂O, CO₂ και CH₄, παρατηρήθηκε ότι η ποικιλία αρακά «Σχοινούσα» είχε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με τις άλλες ποικιλίες τόσο στο βιολογικό όσο και στο συμβατικό σύστημα. Η CO₂eq έδειξε ότι η ποικιλία «Aquadulce» παρουσίασε την υψηλότερη και τη χαμηλότερη τιμή στο βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας σε σύγκριση με τις υπόλοιπες που αξιολογήθηκαν.

Λέξεις Κλειδιά: ψυχανθή, αρακάς, κουκιά, παραγωγικότητα, βιολογική αζωτοδέσμευση, αέρια του θερμοκηπίου

Abstract

The role of legumes in sustainable agriculture is multidimensional and benefits many. The purpose of this study was the comparative evaluation of traditional varieties of peas and faba beans from different regions of Greece. Study and benchmarking objects were productivity regarding vegetable practices (fresh pods, fresh seeds), also in dry seed, the biological nitrogen fixation ability (BNF) and greenhouse gas emissions (CH_4 , CO_2 , N_2O) from the soil. The evaluation of the above took place in two different farming systems, organic and conventional, in the Farm of the Agricultural University of Athens in the region Copais (Aliartos, Boeotia).

Cultured to study and benchmarking three traditional varieties of pea (*Pisum sativum* L.) from different regions of Greece, Schinoussa, Andros (Exo Vouni), Amorgos and three traditional varieties of beans (*Vicia faba* L.) from Andros (Makrotantalo), Lefkada (Komilio) and Mani (Kalamata), as well as a commercial variety for each species (*Pisum sativum* cv Onward and *Vicia faba* cv Aguadulce), and cabbage (*Brassica oleracea* L., GRANDSLAM F1), as a vegetable cold season, non-legume.

In this study, the variety of peas "Andros" was the most productive in terms of production of fresh pods and produced moderate sized pods, satisfactorily number, regardless of the system applied, imparting uniformity in characteristics when the commercial variety of faba bean "Aguadulce" responded best in organic system than in the conventional system with 67,83 and 64,43 t ha⁻¹ respectively.

The Ndfa values for the peas were at a wide range (from 74,48 to 88,95%). Varieties "Amorgos" and "Schoinousa" significantly exhibited lower values for the BNF (114 and 77 kg ha⁻¹, respectively) compared with the other genotypes, whereas the organic system resulted in a decreased ability of biological nitrogen fixation BNF only for the varieties "Andros" and "Amorgos". About faba bean varieties, BNF values between different varieties and different farming systems, ranging between 191 and 497 kg ha⁻¹, which indicates effective biological nitrogen fixation capacity compared with the peas.

Measurements of greenhouse gas emissions showed that the mechanical soil treatments (plowing and sowing), the development stage of the plants and the climatic conditions have a significant impact on greenhouse gas emissions.

In assessing the aggregate annual emissions for N_2O , CO_2 and CH_4 , the pea variety "Schoinousa" had higher values than the other varieties in both the organic and the conventional system. The CO_2eq showed that the variety "Aquadulce" showed the highest and

the lowest values in the organic and conventional farming system compared to other varieties evaluated.

Key Words: legumes, peas, faba beans, yield, biological nitrogen fixation, greenhouse gases

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Εισηγητής του θέματος της μεταπτυχιακής εργασίας και καθοδηγητής καθ' όλη την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, ήταν ο κ. Σάββας Δημήτριος, Καθηγητής του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών του Γ.Π.Α., τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την πολύτιμη επιστημονική βοήθεια, αμεσότητα και στήριξη, κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μελέτης και των μεταπτυχιακών μαθημάτων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ακουμιανάκη Κωνσταντίνο, Καθηγητή του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών του Γ.Π.Α., τον κ. Καραπάνο Ιωάννη, Επίκουρο Καθηγητή και τον κ. Ροπόκη Αντρέα μέλος ΕΔΙΠ, για την βοήθεια, προσφορά και συνεργασία στο Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών, καθώς και τον κ. Δημήτριο Μπιλάλη Καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργίας.

Στην συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, την κα. Ντάτση Γεωργία, Διδάκτωρ του Γ.Π.Α. για την πολύτιμη συνεργασία της, την επιστημονική βοήθεια και ηθική στήριξη σε όλες τις πτυχές της μεταπτυχιακής μελέτης και της πειραματικής διαδικασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στους συνεργάτες και συμφοιτητές μου, την υποψήφια Διδάκτωρ Λαζαρίδη Ευσταθία, την υποψήφια Διδάκτωρ Μακρογιάννη Δέσποινα, καθώς και τους επί πτυχίο φοιτητές, Σωτήρη Μάλαμα και Πέγγο Ηλία, για την απaráμιλλη συμβολή τους στην διεξαγωγή του πειραματικού μέρους της παρούσας μελέτης.

Ακόμη θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στις συμφοιτήτριες μου Αναστασία Παπανδρέου, Ελένη Παππά, καθώς και στο φιλικό μου περιβάλλον για την συμβολή τους και τη βοήθεια τους.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την ηθική συμπαράσταση, την αγάπη και κατανόηση καθ' όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μελέτης.

Υφαντόπουλος Διονύσιος, Αθήνα
2016

Περιεχόμενα

Περίληψη

Abstract	
Εισαγωγή	5
1. Οι παραδοσιακές ποικιλίες στην Ελλάδα και η σημασία της καλλιέργειας τους.....	5
1.1 Παραδοσιακές ποικιλίες – Ιστορική αναδρομή.....	5
1.2 Η σημασία της καλλιέργειας παραδοσιακών ποικιλιών.....	6
1.3 Τα ψυχανθή και η σημασία της καλλιέργειας τους.....	7
1.4 Αρακάς – Μπιζέλι (<i>Pisum sativum</i> L.).....	8
1.4.1 Εισαγωγή – Ιστορική ανασκόπηση.....	9
1.4.2 Βοτανικοί χαρακτήρες.....	10
1.4.3 Εδαφικές - κλιματικές απαιτήσεις και προετοιμασία εδάφους.....	11
1.4.4 Λίπανση.....	14
1.4.5 Πολλαπλασιασμός.....	15
1.4.6 Καλλιεργητικές περιποιήσεις.....	17
1.4.7 Συγκομιδή.....	19
1.5 Κουκί (<i>Vicia faba</i> L.).....	22
1.5.1 Εισαγωγή – Ιστορική ανασκόπηση.....	22
1.5.2 Βοτανικοί χαρακτήρες.....	24
1.5.3 Εδαφοκλιματικές απαιτήσεις και προετοιμασία εδάφους.....	25
1.5.4 Λίπανση.....	26
1.5.5 Πολλαπλασιασμός.....	27
1.5.6 Καλλιεργητικές περιποιήσεις.....	28
1.5.7 Συγκομιδή.....	29
2. Το άζωτο (N) και η βιολογική αζωτοδέσμευση (BNF)	30
2.1 Ο κύκλος του αζώτου.....	30
2.2 Η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση.....	32
2.3 Συμβιωτική δέσμευση του αζώτου.....	34

2.3.1	Εξειδίκευση ριζοβίου - φυτού ξενιστού.....	34
2.3.2	Φυσιολογία του σχηματισμού των φυματίων.....	35
2.3.2.1	Αποικισμός των ριζοβίων και προσκόλληση τους στα ριζικά τριχίδια.....	35
2.3.2.2	Ανταπόκριση των ριζικών τριχιδίων.....	36
2.3.2.3	Είσοδος των ριζοβίων (μόλυνση) και ανάπτυξη των «ινών προσβολής»	36
2.3.2.4	Ανάπτυξη των φυματίων, ελευθέρωση των ριζοβίων και μόλυνση των κυττάρων του φυματίου.....	37
2.4	Μέγεθος, σχήμα και αφθονία φυματίων.....	38
2.5	Παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό φυματίων και την αζωτοδέσμευση.....	38
2.5.1	Οξύτητα και αλατότητα του εδάφους.....	38
2.5.2	Περιεκτικότητα του εδάφους σε άζωτο.....	40
2.5.3	Συνεκτικότητα του εδάφους και κατάκλυση.....	40
2.5.4	Λοιποί παράγοντες.....	41
3.	Αέρια του θερμοκηπίου και γεωργία.....	42
3.1	Ψυχανθή και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.....	43
3.2	Παραδοσιακές ποικιλίες και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.....	43
3.3	Παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.....	44
	Υλικά και μέθοδοι.....	45
4.	Πειραματικός αγρός – Πειραματικό σχέδιο.....	45
4.1	Φυτικό υλικό.....	48
4.2	Χάραξη πειραματικού αγρού – Σπορά.....	48
4.3	Ψεκασμοί – Καλλιεργητικές περιποιήσεις.....	49
4.4	Δειγματοληψίες εδάφους.....	50
4.4.1	Μέθοδος εκχύλισης εδαφικών δειγμάτων για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων NO_3^- και NH_4^+	51
4.4.2	Προσδιορισμός των νιτρικών στο έδαφος με την μέθοδο του καδμίου.....	51
4.4.3	Χρωματομετρικός προσδιορισμός του αμμωνιακού αζώτου (NH_4^+ -N) στο έδαφος με την μέθοδο της ινδοφαινόλης (Indophenol blue method).....	56
4.4.4	Φασματοφωτόμετρο ορατού.....	58

4.4.5 Αρχή λειτουργίας φασματοφωτομετρίας ορατού-υπεριώδους (UV-VIS).....	58
4.5 Καταγραφή φαινολογικών χαρακτηριστικών και χαρακτηριστικών ανάπτυξης, απόδοσης και θρέψης.....	60
4.5.1 Φασματοσκοπία Ατομικής Εκπομπής.....	60
4.6 Εκτίμηση της Βιολογικής αζωτοδέσμευσης.....	62
4.7 Δειγματοληψίες αερίων θερμοκηπίου.....	63
4.7.1 Αέρια Χρωματογραφία - Φασματομετρία μαζών (MS).....	65
4.8 Στατιστική ανάλυση.....	68
5. Αποτελέσματα.....	69
5.1 Φαινολογικά χαρακτηριστικά και παράμετροι ανάπτυξης των φυτών σε διαφορετικούς γενοτύπους αρακά.....	69
5.2 Επίδραση των διαφορετικών γενοτύπων αρακά και του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό) στη ριζική βιομάζα και τη δημιουργία φυματίων.....	71
5.3 Επίδραση του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό) και του γενοτύπου αρακά στις συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων σε δείγματα εδάφους (NO_3^- -N, NH_4^+ -N και P) και φυτικών ιστών (P και K σε υπέργειο τμήμα).....	73
5.4 Επίδραση του γενοτύπου αρακά και του συστήματος καλλιέργειας όσον αφορά την ξηρή βιομάζα υπέργειου τμήματος (βλαστοί), την περιεκτικότητα N και το βιολογικά δεσμευόμενο N (BNF).....	76
5.5 Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, χαρακτηριστικά απόδοσης και παραγωγή σπόρου σε γενοτύπους αρακά που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό και σε συμβατικό σύστημα καλλιέργειας.....	80
5.6 Επίδραση του γενοτύπου αρακά και του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό), στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO_2 , N_2O και CH_4) από το καλλιεργούμενο έδαφος.....	85
5.7 Επίδραση του γενοτύπου κουκιών και του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό), σε φαινολογικά χαρακτηριστικά και παραμέτρους ανάπτυξης.....	89
5.8 Επίδραση των διαφορετικών γενοτύπων κουκιών και του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό) στη ριζική βιομάζα και τη δημιουργία φυματίων.....	90
5.9 Διαφορές μεταξύ βάρους νωπών λοβών, βάρους ξηρών σπόρων και περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη σε τέσσερις ποικιλίες κουκιών (<i>Vicia faba</i> L.), που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό και σε συμβατικό σύστημα καλλιέργειας.....	91
5.10 Επίδραση του γενοτύπου κουκιών και του συστήματος καλλιέργειας όσον αφορά την ξηρή βιομάζα υπέργειου τμήματος (βλαστοί), την περιεκτικότητα N και το βιολογικά δεσμευόμενο N (BNF).....	93

5.11 Επίδραση του γενοτύπου κουκιών και του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό), στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO ₂ , N ₂ O και CH ₄) από το καλλιεργούμενο έδαφος.....	95
6. Συμπεράσματα και συζήτηση.....	99
6.1 Παραγωγικότητα.....	99
6.2 Ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης (BNF).....	100
6.3 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHGs).....	102

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Εισαγωγή

1. Οι παραδοσιακές ποικιλίες στην Ελλάδα και η σημασία της καλλιέργειας τους

1.1 Παραδοσιακές ποικιλίες – Ιστορική αναδρομή

Οι παραδοσιακές ποικιλίες ή τοπικές ποικιλίες - εγχώριοι πληθυσμοί (landraces), είναι ετερογενείς και τοπικά προσαρμοσμένοι πληθυσμοί καλλιεργούμενων φυτών και έχουν δημιουργηθεί με επιλογή των γεωργών και της φύσης. Παρουσιάζουν ομοιόσταση σε καταπονήσεις από βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες και αποτελούν ένα εξελισσόμενο υλικό.

Η πρώτη αναφορά στις παραδοσιακές ποικιλίες ως φυτογενετικοί πόροι γίνεται το 1890. Είκοσι χρόνια αργότερα υπήρξαν οι πρώτες αναφορές με τον όρο παραδοσιακές – τοπικές ποικιλίες (landraces). Μεταξύ 1909 – 1952 προτάθηκαν πολλοί ορισμοί και έγιναν πολλές αναφορές για τις παραδοσιακές ποικιλίες, ενώ για το διάστημα 1953 – 1974 δεν υπήρξαν αναφορές, πιθανόν λόγω του ότι μετά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο οι βελτιωτές και άλλοι, έστρεψαν την προσοχή τους σε είδη και καλλιέργειες που θα επέφεραν άμεσα την πρόοδο. Στη συνέχεια δοθήκαν πολλοί ορισμοί, συνώνυμα και έγιναν πολλές αναφορές στη βιβλιογραφία (A.C. Zeven, 1998). Καθώς οι παραδοσιακές ποικιλίες έχουν περίπλοκη και απροσδιόριστη φύση, είναι δύσκολο να δοθεί ένας πλήρης ορισμός. Αυτό που προτάθηκε την ίδια χρονιά από τον προαναφερθέντα, είναι το εξής: μια αυτόχθονη παραδοσιακή ποικιλία είναι μια ποικιλία με υψηλή ικανότητα να ανέχεται βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης με αποτέλεσμα σταθερότητα σε υψηλές και ενδιάμεσες αποδόσεις σε σύστημα καλλιέργειας χαμηλών εισροών.

Ένας άλλος ορισμός που έχει δοθεί για τις παραδοσιακές ποικιλίες (αφορά ετήσια είδη) είναι ότι, αποτελούν ένα δυναμικό πληθυσμό ενός καλλιεργούμενου φυτικού είδους, γενετικά ποικιλόμορφου, με ιστορική προέλευση και με διακριτή ταυτότητα, χωρίς να έχει εφαρμοστεί επίσημο πρόγραμμα βελτίωσης φυτών, που διαθέτουν τοπική προσαρμοστικότητα και καλλιεργούνται με παραδοσιακά συστήματα καλλιέργειας (Camacho Villa et al. 2005).

Από τους άγριους προγόνους προήλθαν οι πρωτόγονες ποικιλίες/τύποι από τις οποίες δημιουργήθηκαν οι παραδοσιακές ποικιλίες. Αυτές οι πρωτόγονες ποικιλίες είχαν στενή γενετική βάση και η γενετική ροή ανάμεσα σε άγριους συγγενείς και καλλιεργούμενες μορφές διέυρυνε την γενετική βάση. Η διάδοση των παραδοσιακών ποικιλιών έγινε με μεταφορά σε νέες περιοχές σε περιόδους μετανάστευσης και μέσω του εμπορίου. Λόγω της προσαρμοστικότητας και των διαφορετικών επιλογών των γεωργών, έχουμε την εξέλιξη των γενετικών παραλλαγών και τη δημιουργία νέων τοπικών ποικιλιών στις περιοχές εισαγωγής. Οι κοινωνίες των νησιών και άλλων περιοχών της Ελλάδας, επιβίωσαν επί χιλιετίες καλλιεργώντας παραδοσιακές ποικιλίες φυτών μεγάλης καλλιέργειας, κηπευτικών και άλλων καλλιεργούμενων ειδών. Οι ποικιλίες αυτές χρειάστηκαν αιώνες για να προσαρμοστούν γενετικά στις ιδιαίτερες συνθήκες των διαφορετικών νησιών, όπως για παράδειγμα η έλλειψη νερού, οι έντονοι άνεμοι, το φτωχό σε θρεπτικά συστατικά έδαφος, τα τοπικά φυτοπαθόγona. Η γεωγραφική απομόνωση των νησιών και άλλων ηπειρωτικών περιοχών, οδήγησε στην ανάπτυξη μεγάλου αριθμού διαφορετικών τοπικών ποικιλιών, οι οποίες είναι προσαρμοσμένες στις εδαφοκλιματικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Έτσι μπορούν να αναπτύσσονται έχοντας καλές αποδόσεις, περιορισμένες ανάγκες σε νερό και θρεπτικά συστατικά, ενώ μπορούν να αμύνονται στους φυσικούς τους εχθρούς.

1.2 Η σημασία της καλλιέργειας παραδοσιακών ποικιλιών

Η σημασία της καλλιέργειας των παραδοσιακών ποικιλιών έγκειται στο ότι είναι ποικιλίες κατάλληλες για γεωργία χαμηλών εισροών και έχουν ευρεία γενετική αντοχή σε καταπονήσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προγράμματα βελτίωσης, μπορούν να παραχθούν προϊόντα υψηλής ποιότητας που μπορούν να συνδεθούν με την παράδοση και την επώνυμη μεταποίηση, να διευρύνουν το δικαίωμα επιλογής του καταναλωτή, καθώς επίσης προσφέρουν μεγαλύτερη ποικιλία σε οργανοληπτικές και γαστριμαργικές επιλογές. Λόγω της ευρείας γενετικής παραλλακτικότητας έχουμε και προστασία της βιοποικιλότητας.

Ενώ χρειάζονται αιώνες για να εξελιχθούν οι τοπικές ποικιλίες φυτών, σε λίγες μόνο δεκαετίες βλέπουμε ότι σε ολόκληρη την Ελλάδα, οι τοπικές ποικιλίες εξαφανίζονται με ιδιαίτερα ανησυχητικούς ρυθμούς. Επίσης, πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι μόνο το 2-3 % των ποικιλιών λαχανικών που υπήρχαν πριν 50 χρόνια στην Ελλάδα έχει διασωθεί υπό καλλιέργεια μέχρι τις μέρες μας. Αίτια της εξαφάνισης των παραδοσιακών ποικιλιών είναι το

ότι δημιουργήθηκαν νέες παραγωγικότερες ποικιλίες, ενώ υπήρξε περιορισμένη ανταπόκριση στις αυξημένες εισροές και τη μηχανοποίηση, εισήχθησαν νέα πρότυπα στην αγορά (ομοιομορφία, τυποποίηση, παραγωγή – εμπορία κλίμακας) και έγινε μετάβαση από την κλειστή οικονομία της τοπικής αυτάρκειας στην ανοιχτή ανταγωνιστική. Επίσης, υπήρξε ανταγωνισμός στις εθνικές και διεθνείς αγορές κυρίως με βάση το χαμηλότερο κόστος, καθώς υπήρξε και απροθυμία ή αδυναμία των αγροτών να καλλιεργήσουν παραδοσιακές ποικιλίες και των αγορών να προσφέρουν καλύτερες τιμές και καλύτερη ποιότητα.

1.3 Τα ψυχανθή και η σημασία της καλλιέργειάς τους

Η οικογένεια των ψυχανθών (*Leguminosae*), που από πλευρά σπουδαιότητας κατατάσσεται δεύτερη μετά την οικογένεια των αγρωστωδών, περιλαμβάνει 500 περίπου γένη φυτών με περισσότερα από 10.000 είδη. Τα καλλιεργούμενα ψυχανθή, ανάλογα με το είδος ή τις οικολογικές απαιτήσεις τους και άλλους παράγοντες καλλιεργούνται για διάφορους σκοπούς. Μερικά καλλιεργούνται μόνο για το χόρτο τους (μηδική, τριφύλλια), που υπό διάφορες μορφές χρησιμοποιούνται για τη διατροφή ζώων, άλλα καλλιεργούνται για τα ξερά σπέρματα τους γνωστά ως όσπρια (ρεβίθια, φασόλια, κουκιά, αρακάς - μπιζέλια) για την διατροφή του ανθρώπου και για κτηνοτροφική χρήση. Επίσης, ο αρακάς και τα κουκιά καλλιεργούνται για τα νωπά σπέρματα τους και για τους νωπούς λοβούς τους αντίστοιχα (ως κηπευτικό), που χρησιμοποιούνται για την διατροφή ανθρώπων και ζώων, αντικείμενο της παρούσης μελέτης. Τέλος, πολλές εκτάσεις καλλιεργούνται με διάφορα ψυχανθή που αναστρέφονται εντός του εδάφους με σκοπό τη βελτίωση της γονιμότητας του.

Τα ψυχανθή είναι φυτά δικοτυλήδονα, ετήσια, διετή ή πολυετή και έχουν τα ακόλουθα κοινά χαρακτηριστικά: τα φύλλα τους συνήθως είναι σύνθετα, τα σπέρματα τους ωριμάζουν μέσα σε λοβούς, τα άνθη τους μοιάζουν με ψυχές (πεταλούδες) γι αυτό και ψυχή + άνθος = ψυχανθή, καθώς επίσης στο ότι τα φυτά έχουν την ικανότητα να αναπτύσσουν συμβιωτικές σχέσεις με τα βακτήρια του γένους *Rhizobium*, τα λεγόμενα αζωτοβακτήρια. Στο σύνολο τους τα ψυχανθή, καλλιεργούμενα και αυτοφυή, παίζουν σπουδαίο ρόλο στην οικονομία αζώτου στη φύση και αποτελούν πολύτιμα φυτά στη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους. Αυτό κατά βάση οφείλεται στις συμβιωτικές σχέσεις που αναπτύσσουν με τα αζωτοβακτήρια τα οποία δεσμεύουν ατμοσφαιρικό άζωτο που α) χρησιμοποιείται από τα ίδια τα φυτά και έτσι ένα μέρος των αναγκών τους καλύπτεται από το ατμοσφαιρικό άζωτο και όχι εξ ολοκλήρου από το έδαφος, β) μερικό από το άζωτο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί από

παρακείμενα φυτά και γ) μέρος του δεσμευόμενου αζώτου μένει στο έδαφος και ωφελούνται οι επόμενες καλλιέργειες.

Τα καλλιεργούμενα ψυχανθή για νωπό κηπευτικό, για όσπρια και για ζωοτροφές έχουν υψηλή διατροφική αξία που έγκειται στην υψηλή περιεκτικότητα τους σε πρωτεΐνη, η οποία κυμαίνεται από 17 έως 30 %, σχεδόν διπλάσια των δημητριακών. Οι πρωτεΐνες είναι συνήθως γλοβουλίνες και γενικά είναι φτωχές σε μεθειονίνη, κυστίνη, τρυπτοφάνη και ισολευκίνη, ενώ αντίθετα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε λυσίνη. Οι υδατάνθρακες, κυρίως άμυλο, αποτελούν το 60% περίπου, ενώ έχουν μικρή περιεκτικότητα σε λάδι, 1 – 2%. Αποτελούν μια ικανοποιητική πηγή νιασίνης και θειαμίνης και είναι σχετικά πλούσια σε σίδηρο και ασβέστιο. Η περιεκτικότητα σε καροτένια, ριβοφλαβίνη και ασκορβικό οξύ είναι μικρή.

Ο ρόλος των ψυχανθών σε μια βιώσιμη γεωργία είναι πολυδιάστατος και τα οφέλη πάρα πολλά. Η συμβολή της καλλιέργειας ψυχανθών, εκτός από την διατροφή ανθρώπων και ζώων (με χαμηλότερο κόστος παραγωγής), την βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους, την προστασία του περιβάλλοντος λόγω χαμηλών εισροών, μπορεί να θεωρηθεί και ως ένα εργαλείο διαχείρισης του κινδύνου των επερχόμενων κλιματικών αλλαγών.

1.4 Αρακάς - Μπιζέλι (*Pisum sativum* L.)



Εικόνα 1. Φυτό αρακά

Pisum sativum L subsp. *Sativum* (Πίσον το ήμερον)

Οικογένεια: *Leguminosae* (*Fabaceae*), Ψυχανθή

Δικοτυλήδωνο: $2n=14$ χρωμοσώματα

Κοινά ονόματα: Αρακάς (Εικόνα 1), Μπιζέλι το ήμερο, Μπιζέλι το εδώδιμο, Αύκος. Η ονομασία μπιζέλι-Pea προέρχεται από την αρχαία ελληνική ονομασία Πίσον. **Αγγλικά:** Pea

1.4.1 Εισαγωγή – Ιστορική ανασκόπηση

Τα σπουδαιότερα είδη αρακά - μπιζελιού είναι:

α) Μπιζέλι (Πίσον) το ήμερον ή εδώδιμο - *Pisum sativum* L. var. *sativum* ή *P. sativum* L. var. *hortense* Poir: Είναι ο καλλιεργούμενος σήμερα λαχανοκομικός αρακάς.

β) Μπιζέλι (Πίσον) το αρουραϊόν = *Pisum arvense* L ή *P sativum* var. *arvense* (L.) Poir., Αγγλικά: Field gray pea, καλλιεργείται για την παραγωγή ξηρών σπόρων για κατανάλωση από τον άνθρωπο και για κτηνοτροφικούς σκοπούς. Αυτοφύεται σε πολλές παραμεσόγειες χώρες και στην Ελλάδα. Κάποιοι το θεωρούν ιθαγενές της Δ. Ασίας, θεωρείται πρόγονος του *Pisum sativum*.

γ) Μπιζέλι (Πίσον) το υψηλόν = *Pisum elatius* Stev., Αγγλικά: Mummy Pea. Είναι ιθαγενές παραμεσόγειων χωρών. Στην Ελλάδα συναντάται στις ορεινές περιοχές της χώρας.

Ο λαχανοκομικός αρακάς, *Pisum sativum* L. spp. *sativum*, καλλιεργείται σε δύο κυρίως παραλλαγές:

α) Σε αυτά στα οποία ολόκληρος ο λοβός (καρπός) καταναλώνεται ακέραιος σαν κηπευτικό. Ονομάζεται: Σακχαρομπίζελο ή ζαχαρομπίζελο, γλυκομπίζελο ή απλό μπιζέλι, Αγγλικά: Sugar pea ή Sweet pea ή Snow pea. Σε αυτά ο λοβός έχει περικάρπιο σαρκώδες και τρυφερό και τρώγεται ολόκληρο.

β) παραλλαγή που τρώγονται μόνο οι σπόροι, νωποί ως κηπευτικό (Pois Petits) ή ξηροί καρποί ως όσπρια. Εδώ κατατάσσεται ο γνωστός αρακάς.

Στη δεύτερη αυτή ομάδα διακρίνονται παραλλαγές των οποίων οι σπόροι είναι σφαιρικοί και λείοι και παραλλαγές των οποίων οι σπόροι είναι ρυτιδωμένοι. Στις δύο αυτές παραλλαγές, υπάρχουν ποικιλίες νάνες, ημιαναρριχώμενες και αναρριχώμενες, καθώς επίσης και πρώιμες, μεσοπρώιμες και όψιμες.

Σύμφωνα με αναφορές, η καλλιέργεια αρακά στην Ελλάδα άρχισε περίπου από το 1830 και ύστερα. Μέχρι την εποχή αυτή καλλιεργούσαν ένα είδος νάνου μπιζελιού για τα ζώα και για παρασκευή φάβας. Σήμερα στην Ελλάδα η καλλιέργεια του λαχανοκομικού αρακά περιορίζεται γύρω από τα αστικά κέντρα.

Η μορφή κατανάλωσης του νωπού (φρέσκου) αρακά έχει αλλάξει σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Η διάθεση στην αγορά φρέσκου αρακά μέσα στον λοβό έχει μειωθεί δραματικά, όπως και η διάθεση υπό μορφή κονσέρβας. Αντίθετα, έχει αυξηθεί σημαντικά η κατανάλωση του κατεψυγμένου προϊόντος.

Είναι σήμερα παραδεκτό ότι η καταγωγή του αρακά (μπιζελιού), εντοπίζεται σε περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, της Μέσης Ανατολής και της Κ. και Δ. Ασίας. Η ακριβής περιοχή καταγωγής δεν είναι γνωστή.

Η καλλιέργεια του αρακά ξεκίνησε από πολύ παλιά. Ήταν μια σημαντική τροφή για τον άνθρωπο κατά την αρχαιότητα. Καλλιεργούνταν από τους αρχαίους Έλληνες και Ρωμαίους. Βρέθηκαν απολιθωμένοι σπόροι σε ανασκαφές στους λιμναίους οικισμούς της Ελβετίας και της Σαβοΐας, της εποχής του ορείχαλκου και της λίθινης εποχής. Επίσης απανθρακωμένοι σπόροι βρέθηκαν στην περιοχή της Τροίας. Απολιθωμένοι σπόροι μπιζελιού ηλικίας 7.000 ετών π.Χ. έχουν βρεθεί σε αρχαιολογικές ανασκαφές στη Δ. Ασία και στην Ευρώπη. Σπόροι βρέθηκαν και σε αιγυπτιακούς τάφους. Ήταν γνωστό το μπιζέλι στην Κίνα 2.000 χρόνια π.Χ. και οι Κινέζοι είναι οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν τους νωπούς λοβούς και σπόρους στη διατροφή τους. Στα νεότερα χρόνια στην Ευρώπη ο νωπός αρακάς άρχισε να καλλιεργείται σαν κηπευτικό τον 16^ο αιώνα, κυρίως στη Γαλλία. Μεταφέρθηκε στην Αμερική το 1493 από τον Χριστόφορο Κολόμβο και διαδόθηκε και σε άλλες περιοχές της Αμερικανικής Ηπείρου και σε πολλά άλλα μέρη του κόσμου. Η χρήση του αρακά από την αρχαία εποχή και για πάρα πολλούς αιώνες περιοριζόταν στην κατανάλωση του ώριμου ξηρού σπόρου, ο οποίος ήταν μικρός σε μέγεθος. Ο καλλιεργούμενος σήμερα λαχανοκομικός αρακάς έχει επιλεγεί πριν 1000 περίπου χρόνια ως προς επιθυμητά χαρακτηριστικά. Έχει πιο μεγάλους σπόρους και είναι πιο γλυκοί.

1.4.2 Βοτανικοί χαρακτήρες

Φυτό: Ο λαχανοκομικός αρακάς είναι δικοτυλήδονο, ετήσιο, ποώδες φυτό, ύψους από 15-150 εκ. ή και περισσότερο μέχρι και 2,5 μέτρα, Διακρίνονται 3 τύποι με βάση την ανάπτυξη των φυτών:

- 1) Τα περιορισμένης ανάπτυξης, νάνα ή όρθια ύψους μέχρι 45-50 εκ., με φύλλα χωρίς έλικες ή με ατροφικές έλικες.
- 2) Τα μέσης ανάπτυξης, ημινάνα, με βλαστούς μέχρι ύψους 1,0 μέτρο με φύλλα με έλικες αναπτυγμένους.
- 3) Τα απεριόριστης ανάπτυξης, αναρριχώμενα με βλαστούς μέχρι και 2,5 μέτρων με φύλλα και έλικες, τα οποία έχουν ανάγκη υποστήλωσης.

Βλαστοί: Γωνιώδεις ή κυλινδρικοί, χωρίς ιδιαίτερο χρωματισμό. Ο σχηματισμός πλάγιων βλαστών ποικίλλει σημαντικά με ορισμένες ποικιλίες να σχηματίζουν και άλλους, πολύ σπάνια, πλάγιους βλαστούς.

Φύλλα: Τα φύλλα είναι σύνθετα, πτερωτά και το ακραίο φύλλο του σύνθετου στις αναρριχώμενες ποικιλίες έχει μεταμορφωθεί σε έλικα, η οποία διακλαδίζεται. Το σύνθετο φύλλο αποτελείται από 2-3 ζεύγη φυλλαρίων και με παράφυλλα οδοντωτά, μεγαλύτερα από

τα φυλλάρια. Το σχήμα τους είναι ακέραιο, ωοειδές, επίμηκες 25-50 χιλ. με μια μικρή κλίση του ελάσματος προς τα πάνω. Το χρώμα είναι συνήθως πράσινο, γκριζοπράσινο- γλαυκό.

Ρίζα: Το φυτό αναπτύσσει πασσαλώδη ρίζα, επί της οποίας αναπτύσσεται και συμβιώνει το αζωτοβακτήριο *Bacterium radicola*.

Άνθη: Τα άνθη είναι λευκά, μεγάλα και σχηματίζονται σε ταξιανθίες βότρυ, από 1-3 στις μασχάλες των φύλλων και είναι κατεξοχήν αυτογονιμοποιούμενα. Ο κάλυκας είναι κωδωνοειδής με 5 φυλλοειδείς άνισους οδόντες, οι 2 ανώτεροι είναι πιο κοντοί και πιο πλατύς από τους 3 κατώτερους. Έχει στεφάνη με 5 πέταλα και 10 στήμονες. Η ωοθήκη έχει δύο σειρές ωαρίων.

Οι πρώιμες ποικιλίες εμφανίζουν τα άνθη τους μετά τον σχηματισμό 9-10 φύλλων και οι όψιμες μετά από 15-16 φύλλα.

Καρπός-Λοβός (χέδρωψ): Οι λοβοί ποικίλλουν σε μέγεθος, ανάλογα με την ποικιλία και τον αριθμό των σπόρων που περιέχουν (από 4-10), έχουν μήκος 4-6 εκ. και μπορεί το μήκος να φθάνει μέχρι και 10 εκ. Επίσης το σχήμα και το χρώμα αποτελούν χαρακτηριστικό της ποικιλίας.

Σπόρος: Οι σπόροι είναι πυκνά τοποθετημένοι μέσα στον λοβό, συνήθως έχουν σχήμα σφαιρικό ή γωνιώδες από τη μεταξύ τους συμπίεση, με επιφάνεια λεία ή ρυτιδωμένη. Το χρώμα τους είναι δυνατόν να διαφέρει από κίτρινο ανοικτό έως σκούρο πράσινο.

Οι τύποι αρακά που παράγουν λείους σπόρους, είναι περισσότερο προσαρμοσμένοι σε χαμηλές θερμοκρασίες, είναι περισσότερο αμυλούχοι και χρησιμοποιούνται περισσότερο για κατάψυξη, ενώ αυτοί με ρυτιδωμένοι επιφάνεια είναι πιο γλυκοί για κονσερβοποίηση.

1.4.3 Εδαφικές - κλιματικές απαιτήσεις και προετοιμασία εδάφους

α) Απαιτήσεις σε κλίμα

Θερμοκρασία: Ο αρακάς είναι φυτό ψυχρής εποχής και στα εύκρατα κλίματα, όταν ο χειμώνας δεν είναι βαρύς (όχι κίνδυνος παγετού), η καλλιέργεια αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Όταν όμως ο χειμώνας είναι βαρύς, η καλλιέργεια εγκαθίσταται την άνοιξη. Σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές η καλλιέργεια γίνεται σε μεγάλα υψόμετρα, όπου οι θερμοκρασίες παραμένουν χαμηλές. Για μέγιστη παραγωγή οι θερμοκρασίες πρέπει να κυμαίνονται από 7-24 °C. Το άριστο επίπεδο για τον αρακά που καλλιεργείται για νωπή κατανάλωση, βρίσκεται μεταξύ 18-24 °C. Το φύτρωμα του σπόρου μειώνεται σημαντικά σε θερμοκρασίες εδάφους μικρότερες από 4-5 °C ή μεγαλύτερες των 30°C. Για μέγιστη

ανάπτυξη και καρποφορία του φυτού οι θερμοκρασίες δεν πρέπει να υπερβαίνουν το άριστο (>24 °C), διότι οι υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνουν την ανάπτυξη του φυτού, αναπτύσσεται φτωχό ριζικό σύστημα, εμποδίζεται το φυσιολογικό δέσιμο των ανθέων και μειώνεται ο αριθμός και η ανάπτυξη των λοβών και το μέγεθος και το βάρος του σπόρου, με αποτέλεσμα μειωμένη παραγωγή.

Τα νεαρά φυτά μπορούν να αντέξουν σε χαμηλές θερμοκρασίες αέρος, χωρίς να υποστούν ζημιές, όμως προκαλούνται σοβαρές ζημιές εάν οι χαμηλές θερμοκρασίες συμπέσουν με την περίοδο άνθησης του φυτού.

Υγρασία ατμόσφαιρας: Η άριστη υγρασία της ατμόσφαιρας για την ανάπτυξη του αρακά είναι αυτή του 70% Σ.Υ. Υψηλότερη δημιουργεί κίνδυνο ασθeneιών, ενώ χαμηλότερη προκαλεί πρόβλημα στην καρπόδεση και απώλεια ανθέων.

Φωτοπερίοδος: Υπάρχουν ποικιλίες και υβρίδια, οι οποίες είναι αδιάφορες στο μήκος της ημέρας αναφορικά με το σχηματισμό ανθέων και άλλες οι οποίες απαιτούν μεγάλες ημέρες για άνθηση. Επομένως κατά την επιλογή ποικιλιών για καλλιέργεια πρέπει να ερευνάται η αντίδραση τους στον φωτοπεριοδισμό, ανάλογα με την εποχή που θα καλλιεργηθούν.

β) Απαιτήσεις σε έδαφος

Ο αρακάς ευδοκμεί σε ποικιλία εδαφών, αλλά μεγάλες αποδόσεις εξασφαλίζονται σε στραγγιζόμενα εδάφη, με ικανοποιητική περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και σε ασβέστιο. Δεν αποδίδει ικανοποιητικά στα αμμώδη ή χαλικώδη ή πάρα πολύ βαριά εδάφη, που δεν στραγγίζουν καλά και συγκρατούν μεγάλες ποσότητες νερού, παραμένουν κρύα και υγρά, με αποτέλεσμα τον κακό αερισμό στο ριζόστρωμα και παρεμπόδιση της νιτροποίησης.

Οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους βελτιώνονται με την προσθήκη οργανικής ουσίας, με τη βοήθεια της οποίας το νερό συγκρατείται καλύτερα, αυξάνεται η θερμοκρασία του εδάφους και δημιουργούνται ιδανικές συνθήκες για εγκατάσταση και λειτουργία των αζωτοβακτηρίων, γεγονός που ευνοεί και την υφιστάμενη καλλιέργεια και αυτές που θα ακολουθήσουν. Τα ελαφρότερα εδάφη προϋμίζουν την παραγωγή σε σύγκριση με τα πιο βαριά εδάφη. Για πρώιμη παραγωγή πρέπει να προτιμώνται τα αμμοπηλώδη εδάφη και τα πηλοαμμώδη προς βαριά για όψιμες παραγωγές, οι οποίες είναι και πιο υψηλές.

Άριστο pH εδάφους είναι από 6,0-7,5. Ο αρακάς δεν αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε αρκετά όξινα εδάφη και σε περιπτώσεις που υπάρχουν, πρέπει να διορθώνονται με προσθήκη

ασβεστίου. Παράλληλα μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στα αλκαλικά εδάφη, διότι μπορεί να παρουσιάζεται έλλειψη και τροφopenία Μn.

Συνιστάται η καλλιέργεια του αρακά να ενταχθεί σε ένα πρόγραμμα 4 έτους αμειψισποράς, ώστε να αποφεύγονται προσβολές από παθογόνα εδάφους.

Η κατάλληλη προετοιμασία του εδάφους είναι αναγκαία, για να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη καλλιέργεια και υψηλές αποδόσεις.

Η προετοιμασία περιλαμβάνει: όργωμα (Εικόνα. 2), σβάρνισμα, φρεζάρισμα και κυλίνδρισμα, όταν το έδαφος είναι στον ρώγο του. Δεν πρέπει να γίνεται κατεργασία του εδάφους όταν είναι πολύ υγρό, διότι προκαλεί συμπίεση, απομάκρυνση του αέρα από το έδαφος και δυσκολεύεται η στράγγιση. Το έδαφος πρέπει να είναι σχετικά συμπαγές, επίπεδο, ομοιόμορφο, όχι πολύ ψιλοχωματισμένο και με καλή περιεκτικότητα σε υγρασία για να δεχθεί τον σπόρο, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις καλλιέργειας που προορίζεται για μηχανική συγκομιδή και μεταποίηση (κατάψυξη). Με αυτή την προετοιμασία, η σπορά γίνεται στο ίδιο βάθος, με αποτέλεσμα το ομοιόμορφο φύτρωμα, ομοιόμορφη ανάπτυξη των φυτών και ομοιόμορφη ωρίμαση των λοβών κατά τη συγκομιδή. Η προετοιμασία του εδάφους ξεκινά από το καλοκαίρι (μετά από πότισμα) για τις φθινοπωρινές σπορές και το φθινόπωρο για τις πρώιμες σπορές της άνοιξης.



Εικόνα 2. Προετοιμασία πειραματικού αγρού στην Κοπαΐδα (όργωμα).

1.4.4 Λίπανση

α) Βασική λίπανση

Οι ποσότητες των λιπασμάτων που θα πρέπει να εφαρμοστούν, καλό είναι να υπολογίζονται με βάση τη χημική ανάλυση του εδάφους. Ο αρακάς είναι καλλιέργεια σχετικά βραχείας διάρκειας και έχει ανάγκη αρκετών ποσοτήτων θρεπτικών στοιχείων από την αρχή για γρήγορη ανάπτυξη. Είναι αναγκαία η βασική λίπανση με μεγάλες ποσότητες καλίου και φωσφόρου πριν ή κατά τη σπορά, διότι έλλειψή τους προκαλεί σημαντική μείωση της παραγωγής. Αναφορικά με το άζωτο, σημειώνεται ότι ο αρακάς, ως ένα ψυχανθές φυτό, έχει τη δυνατότητα δέσμευσης του ατμοσφαιρικού αζώτου, με τα αζωτοβακτήρια (*Rhizobium*) που αναπτύσσονται (συμβιώνουν) στο ριζικό σύστημα, όμως έχει βρεθεί ότι μία μικρή δόση αζώτου, πριν ή κατά τη σπορά, ενθαρρύνει μια πρόωμη ανάπτυξη των φυτών, ιδίως σε φτωχά και χαλικώδη εδάφη. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι συνιστώμενες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων κατά τη βασική λίπανση, όταν δεν έχει γίνει χημική λίπανση του εδάφους, είναι για την Ελλάδα η προσθήκη 2-4 τόνων/στρέμμα χωνεμένης κοπριάς και 20-30 κιλών 26-0-0, 25-35 κιλών 0-48-0 και 20-30 κιλών 0-0-48 το στρέμμα.

Η εφαρμογή των λιπασμάτων της βασικής λίπανσης στις γραμμικές σπορές εφαρμόζεται ταυτόχρονα με τη σπορά, με την ίδια σπαρτική μηχανή, κοντά στη γραμμή φύτευσης. Δεν πρέπει να έρχεται σε άμεση επαφή ο σπόρος με το λίπασμα, διότι προκαλείται ζημιά στον σπόρο. Στις περιπτώσεις όπου η μέθοδος σποράς γίνεται στα «πεταχτά», τότε η βασική λίπανση γίνεται με διασπορά του λιπάσματος σε όλη την έκταση του εδάφους.

β) Επιφανειακή λίπανση

Συνιστάται μια μικρή δόση αζωτούχου λιπάσματος, περίπου 5-9 κιλά/στρέμμα ως επιφανειακή λίπανση κατά την άνθιση και διαμόρφωση των λοβών, για να εξασφαλιστούν υψηλότερες αποδόσεις. Ακόμη, συνιστάται η προσθήκη μέσω του νερού άρδευσης (στάγδην), 4-5 κιλών του λιπάσματος 34,5-0-0, 2-3 κιλών 12-61-0 και 8-10 κιλών 13-0-46 κατανομή σε 4-5 λιπάνσεις κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας

Ιχνοστοιχεία: Ανάλογα με τον τύπο και γονιμότητα του εδάφους μπορεί να παρουσιάζονται και ελλείψεις κάποιων ιχνοστοιχείων. Για παράδειγμα, σε πολύ αλκαλικά εδάφη παρουσιάζεται έλλειψη θείου και διορθώνεται με προσθήκη θείου στο έδαφος πριν τη σπορά. Επίσης σε pH > 6,1 και υψηλή οργανική ουσία στο έδαφος παρατηρείται έλλειψη Mn. Συχνά παρατηρείται και έλλειψη βορίου με συνέπειες ανωμαλίες στην ανάπτυξη των φυτών,

συστροφή των φύλλων και εμφάνιση λοβών χωρίς σπέρματα. Οι ελλείψεις βορίου και μαγγανίου αντιμετωπίζονται με διαφυλλικό ψεκασμό των στοιχείων αυτών.

1.4.5 Πολλαπλασιασμός

Εποχή σποράς: Ο αρακάς, για τον ελλαδικό χώρο, είναι μια χειμερινή καλλιέργεια. Η σπορά ξεκινά τον Σεπτέμβριο και συνεχίζεται μέχρι τον Δεκέμβριο, με τις χειμερινές ποικιλίες και από τον Φεβρουάριο μέχρι τον Μάρτιο στις ψυχρές περιοχές με τις ανοιξιότικες ποικιλίες. Ο χρόνος από τη σπορά μέχρι τη συγκομιδή εξαρτάται από την ποικιλία (πρώιμες - μεσοπρώιμες - όψιμες) και από τις συνθήκες που επικρατούν από τη σπορά και κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Για να εξασφαλίζεται συνέχεια στην τροφοδοσία της αγοράς, κλιμακώνεται η σπορά σε διάφορες ημερομηνίες.

Ο αρακάς πολλαπλασιάζεται εγγενώς με σπόρο. Ο σπόρος που χρησιμοποιείται είναι προτιμότερο να είναι απολυμασμένος με thiram ή captan, για την προστασία του από τα παθογόνα εδάφους, ιδιαίτερα όταν τα εδάφη είναι υγρά ή οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές και το φύτρωμα αργό.

Μια άλλη μεταχείριση του σπόρου, που πιθανό να χρειάζεται, είναι ο εμβολιασμός του σπόρου αμέσως πριν τη φύτευση με τα αναγκαία είδη αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων (*Rhizobium*), όταν το έδαφος που θα χρησιμοποιηθεί δεν έχει καλλιεργηθεί για αρκετά χρόνια με ψυχανθή ή είναι όξινο και μπορεί να στερείται ή να μην περιέχει ικανοποιητικές ποσότητες των αζωτοβακτηρίων για άριστη ανάπτυξη και παραγωγή. Σήμερα αρκετοί καλλιεργητές, σε προηγμένες χώρες, δεν εφαρμόζουν εμβολιασμό του σπόρου και προτιμούν την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων, για να αποφύγουν το κόστος των αζωτοβακτηρίων και το εργατικό κόστος της εφαρμογής.

Για να επιτύχει μια καλλιέργεια αρακά, πρέπει η σπορά να είναι επιτυχημένη (ομοιόμορφο φύτρωμα, ενδεδειγμένες αποστάσεις μεταξύ των φυτών χωρίς κενά κλπ.), διαφορετικά τα αποτελέσματα θα είναι φτωχά και απογοητευτικά.

Μέθοδοι σποράς: Η σπορά γίνεται ή στα “πεταχτά”, διασκορπισμός των σπόρων σε όλη την επιφάνεια του εδάφους, σε ίσες κατά το δυνατό αποστάσεις μεταξύ των φυτών ή σπορά σε γραμμές (Εικόνα 3), που είναι και η πιο επικρατούσα μέθοδος σήμερα. Χρησιμοποιούνται σπартικές μηχανές ακριβείας, που τοποθετούν τους σπόρους σε ομοιόμορφο επιθυμητό βάθος και στις επιθυμητές αποστάσεις μεταξύ των γραμμών και επί των γραμμών.



Εικόνα 3. Σπορά πειραματικού αγρού, με το χέρι και σε γραμμές.

Βάθος σποράς: Επιλέγεται ανάλογα με την τακτική που ακολουθείται αναφορικά με την υγρασία κατά το φύτευμα. Εάν, για παράδειγμα, της σποράς προηγείται πότισμα του εδάφους το φύτευμα αναμένεται να ολοκληρωθεί με την υγρασία που βρίσκεται στο έδαφος χωρίς πρόσθετη άρδευση, τότε το βάθος της σποράς διαμορφώνεται από 2-5 εκ. ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. Όσο πιο βαρύ είναι το έδαφος, τόσο επιφανειακά τοποθετείται ο σπόρος. Σημειώνεται ότι δεν συνιστάται βάθος σποράς μεγαλύτερο από τα 5 εκ. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι κατά το φύτευμα (βλάστηση) του αρακά οι κοτυληδόνες παραμένουν μέσα στο έδαφος (υπόγεια βλάστηση-hypogeal), σε αντίθεση με το φασόλι, όπου παρατηρείται επίγεια (epigeal) επειδή πραγματοποιείται ταχεία επιμήκυνση υποκοτυλίου.

Αποστάσεις φύτευσης: Οι αποστάσεις φύτευσης εξαρτώνται από την ποικιλία (νάνες, αναρριχώμενες, ημιαναρριχώμενες), ανάλογα με τη μέθοδο συγκομιδής (με τα χέρια για την αγορά, με μηχανές για την μεταποίηση), από την εποχή φύτευσης με τις πρώιμες πιο πυκνά και τη γονιμότητα του εδάφους π.χ.:

α) Για τις αναρριχώμενες ποικιλίες: όταν η σπορά γίνεται σε απλές γραμμές 75-95 εκ. και όταν σε διπλές γραμμές 20 εκ. μεταξύ διπλών γραμμών και 75-90 εκ. μεταξύ των ζευγών γραμμών

β) Για τις ημιάνες ποικιλίες: σε απλές γραμμές 60-70 εκ.

γ) Για τις νάνες ποικιλίες; σε απλές γραμμές 35-50 εκ. Η γραμμική σπορά μπορεί να γίνεται ή σε επίπεδο έδαφος ή σε αναχώματα 75 εκ. πλάτους (2 γραμμές/ανάχωμα).

Σε όλες τις περιπτώσεις οι αποστάσεις επί της γραμμής κυμαίνονται από 10-20 μέχρι και 30-40 εκ. Κατ' άλλους οι αποστάσεις σποράς 40-80 x 20-40 εκ. μεταξύ και επί γραμμών, αντίστοιχα.

Οι αναρριχώμενες ποικιλίες χρειάζονται υποστύλωση, η οποία γίνεται με διάφορες μεθόδους και υλικά.

Οι καλλιέργειες για μεταποίηση σπέρνονται με σπαρτικές μηχανές, όπως και τα σιτηρά. Εφόσον η συγκομιδή θα γίνει μηχανικά, οι αποστάσεις που εφαρμόζονται μεταξύ των γραμμών κυμαίνονται από 20-30 εκ.

Ποσότητα σπόρου: Η ποσότητα του σπόρου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το μέγεθος του σπόρου της ποικιλίας και επομένως τον αριθμό των σπόρων ανά κιλό, από τις αποστάσεις σποράς, το ποσοστό βλαστικότητας και την μέθοδο σποράς. Σε γενικές γραμμές, μπορεί να λεχθεί ότι η ποσότητα του σπόρου που χρησιμοποιείται κυμαίνεται από 7,0-11,0 κιλά/στρέμμα στις πολύ πυκνές φυτεύσεις και στη σπορά στα «πεταχτά» και 2,0· 2,5 κιλά στρέμμα στις αραιές σπορές, στις αναρριχώμενες ποικιλίες και για συγκομιδή με το χέρι. Αναφέρεται ότι πρέπει να τοποθετείται αρκετός σπόρος στις μονοστέλεχες ποικιλίες, ώστε να υπάρχουν τουλάχιστον 18 φυτά ανά τρεχούμενο μέτρο γραμμής και 14-16 φυτά στις ποικιλίες που διακλαδίζονται.

Το φύτεμα του σπόρου συντελείται σε μια περίπου εβδομάδα.. Η ταχύτητα φυτρώματος και το ποσοστό βλαστικότητας εξαρτάται βέβαια από τη θερμοκρασία του εδάφους. Π.χ. στους 5°C η βλάστηση επιτυγχάνεται σε 36 ημέρες και το ποσοστό βλαστικότητας ανέρχεται στο 89%. στους 15°C σε 36 ημέρες με ποσοστό βλαστικότητας 93%. στους 25°C σε 6 ημέρες με ποσοστό βλαστικότητας 94% και στους 35°C το ποσοστό βλαστικότητας είναι 0%. Είναι φανερό ότι τόσο το ποσοστό βλαστικότητας όσο και η ταχύτητα φυτρώματος αυξάνουν με την αύξηση της θερμοκρασίας, μέχρι ενός ορίου.

1.4.6 Καλλιεργητικές περιποιήσεις

α) Καταπολέμηση ζιζανίων.

Για την αντιμετώπιση των ζιζανίων στον αρακά εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι, όπως σκαλίσματα, βοτάνισμα, χρήση ζιζανιοκτόνων, αμειψισπορά και προσφάτως, η χρήση φλογοβόλων (για καταστροφή των ζιζανίων μεταξύ των γραμμών).

Σκαλίσματα και βοτάνισμα είναι αναγκαία για περιορισμό των ζιζανίων και για τον αερισμό των ριζών των φυτών.

Υπάρχουν πολλά ζιζανιοκτόνα που χρησιμοποιούνται στην καταπολέμηση των ζιζανίων στις καλλιέργειες του αρακά. Αυτά διακρίνονται στα προφυτρωτικά, όπως το Butralin, Isopropalin, Pendimethalin κ.ά. και τα μεταφυτρωτικά, όπως το Bentazone, Cycloxydim κ.ά. Υπάρχουν καλλιεργητές οι οποίοι χρησιμοποιούν και μαύρο πλαστικό εδαφοκάλυψης για την αντιμετώπιση των ζιζανίων.

β) Αραίωση

Σε περίπτωση πυκνής σποράς επί της γραμμής θα πρέπει να γίνεται αραίωση φυτών στις επιθυμητές αποστάσεις των 7-10 εκ. Για μικρές εκτάσεις η αραίωση γίνεται με τα χέρια, όταν τα φυτά είναι μικρά.

γ) Άρδευση

Ο αρακάς υπό ελληνικές συνθήκες είναι αρδευόμενη καλλιέργεια, διότι η κατανομή και το ύψος των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου δεν είναι ομαλά κατανεμημένες. Στις βορειοευρωπαϊκές χώρες η καλλιέργεια βασίζεται στις βροχοπτώσεις.

Η συχνότητα και η ποσότητα του νερού που απαιτείται εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, τις θερμοκρασίες που επικρατούν και από το στάδιο ανάπτυξης του φυτού. Ο αρακάς είναι πολύ ευαίσθητο φυτό στην περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία και εάν δεν προσεχθεί επηρεάζονται αρνητικά οι αποδόσεις. Από τη σπορά μέχρι την άνθιση η άρδευση είναι σημαντική για την ανάπτυξη των φυτών. Κατά την άνθιση και καρπόδεση δεν πρέπει να δίνονται μεγάλες ποσότητες νερού, γιατί προκαλείται ανθόπτωση, πτώση λοβών και φτωχό γέμισμα λοβών. Μετά το δέσιμο των λοβών, οι αρδεύσεις συμβάλλουν στην αύξηση της παραγωγής και της ποιότητας του προϊόντος. Γενικά, πρέπει να τονιστεί ότι, όταν δίνονται μεγάλες ποσότητες νερού στην αρχή της καλλιέργειας, δημιουργείται βλαστομανία σε βάρος της καρποφορίας και επιβράδυνση της άνθισης και ωρίμασης των λοβών. Τονίζεται, επίσης, η μεγάλη σημασία της καλής στράγγισης μετά από κάθε πότισμα ή βροχή για εξασφάλιση υψηλών αποδόσεων.

Επίσης, εάν το έδαφος είναι ξηρό πριν τη σπορά, πρέπει να προηγηθεί άρδευση για υποβοήθηση του φυτρώματος και της πρώτης ανάπτυξης των φυτών.

Οι μέθοδοι άρδευσης που εφαρμόζονται σήμερα είναι με τεχνητή βροχή, με εκτοξευτήρες χαμηλής παροχής και με τη μέθοδο στάγδην.

ε) Παράχωμα

Συχνά οι καλλιεργητές, όταν τα φυτά αποκτήσουν ικανοποιητικό ύψος (20-25 εκ.), εφαρμόζουν χαμηλό παράχωμα κυρίως σε νάνες και ημινάνες ποικιλίες, με σκοπό τη στερέωση των φυτών για να αποφεύγεται το πλάγιασμα, όταν θα αναπτυχθούν οι βλαστοί και οι καρποί.

στ) Υποστύλωση

Για τις αναρριχώμενες ποικιλίες, οι οποίες αναπτύσσουν κύριο βλαστό σε μεγάλο μήκος, είναι ανάγκη να κατασκευαστεί ένα σύστημα κατακόρυφης στήριξης, διαφορετικά μπλέκονται οι βλαστοί των φυτών με τους έλικες τους και είναι αδύνατος ο αερισμός, η περιποίηση των φυτών και η συγκομιδή, με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής..

Η στήριξη των φυτών ξεκινά πολύ νωρίς, όταν αποκτήσουν ύψος 7-10 εκ. και αυτά με τους έλικες τους αναρριχώνται. Δεν πρέπει να καθυστερεί η υποστύλωση, γιατί τα φυτά μπλέκονται μεταξύ τους και είναι δύσκολος ο διαχωρισμός τους. Θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην διεύθυνση των γραμμών υποστύλωσης, οι οποίες πρέπει να είναι παράλληλες με τη διεύθυνση του αέρα, διότι, εάν είναι κάθετες, μπορεί να προκληθούν προβλήματα στην καλλιέργεια όπως πλάγιασμα των γραμμών, ξερίζωμα των φυτών κ.λπ.

ζ) Κορυφολόγημα

Μικρός αριθμός παραγωγών σε άλλες χώρες μετά τον σχηματισμό 5-6 ανθέων στις αναρριχώμενες ποικιλίες, προχωρούν στον αποκεφαλισμό των φυτών (κορυφολόγημα), για να επιταχυνθεί η καρποφορία και η ωρίμαση των λοβών μέχρι του σταδίου της συγκομιδής

η) Αντιμετώπιση εχθρών και ασθενειών

Η αντιμετώπιση των εχθρών και ασθενειών γίνεται με προληπτικούς και θεραπευτικούς ψεκασμούς με τα κατάλληλα φυτοφάρμακα.

1.4.7 Συγκομιδή

Στη συγκομιδή θα πρέπει να γίνει διάκριση αναφορικά με τον τύπο του αρακά (μπιζελιού) που παράγεται και τον σκοπό για τον οποίο καλλιεργείται.

α) Συγκομιδή λαχανοκομικού φρέσκου αρακά (λοβού) για την αγορά

Η συγκομιδή ξεκινά 2,5-3,5 μήνες μετά τη σπορά, ανάλογα με την πρωιμότητα της ποικιλίας και τις επικρατούσες συνθήκες κατά την ανάπτυξη των φυτών. Για τις πιο πολλές ποικιλίες (συνήθως αναρριχώμενες και ημιαναρριχώμενες) οι λοβοί είναι έτοιμοι να συγκομιστούν και να μεταφερθούν στην αγορά περίπου 3 εβδομάδες μετά την πλήρη άνθιση. Ο ακριβής χρόνος της συγκομιδής καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την εμφάνιση των λοβών. Θα πρέπει να έχουν αναπτυχθεί ικανοποιητικά (μέγεθος λοβού της συγκεκριμένης ποικιλίας), να έχουν γεμίσει και οι σπόροι να είναι μαλακοί, τραγανοί και τρυφεροί. Η υψηλή ποιότητα στον φρέσκο αρακά συνοδεύεται από τρυφερότητα και υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα. Καθυστερήση στη συγκομιδή έχει ως αποτέλεσμα αφενός την αύξηση της

περιεκτικότητας σε άμυλο και αύξηση της συνεκτικότητας του σπόρου, παράγοντες που μαρτυρούν υποβάθμιση ποιότητας, αφετέρου όμως υπάρχει αύξηση της στρεμματικής απόδοσης. Στον αρακά υπάρχει μια αρνητική σχέση μεταξύ ποσότητας και ποιότητας σπόρου. Όσο καθυστερεί η συγκομιδή, αυξάνεται η ποσότητα, παράλληλα μειώνεται η ποιότητα.

Η συγκομιδή γίνεται με τα χέρια και σε «πολλά χέρια» (2-3 μέχρι και 15) (μια διαδικασία χρονοβόρα και με υψηλό κόστος), δηλ. κάθε φορά γίνεται συγκομιδή των λοβών, οι οποίοι έχουν αποκτήσει το επιθυμητό μέγεθος και έχουν την καλύτερη ποιότητα. Πέραν της ποιότητας των σπόρων στο εσωτερικό του λοβού, θα πρέπει και εξωτερικά ο λοβός να έχει άριστη εμφάνιση, χωρίς προσβολές από έντομα και ασθένειες και χωρίς ξένες ύλες (π.χ. υπολείμματα ψεκασμών, χώμα κλπ.).

Όταν την εποχή της συγκομιδής επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, οι λοβοί αναπτύσσονται αργά και παραμένουν στο επιθυμητό στάδιο για μερικές ημέρες. Στην περίπτωση αυτή η συγκομιδή επαναλαμβάνεται κάθε 3-4 ημέρες. Αντίθετα, εάν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, οι σπόροι συγκεντρώνουν γρήγορα άμυλο και η άριστη ποιότητα διαρκεί για μόνο 1-2 ημέρες, επομένως θα πρέπει η συγκομιδή να επαναλαμβάνεται πιο συχνά.

Κατά τη συγκομιδή των λοβών θα πρέπει να κόβονται με μέρος του μίσχου και να λαμβάνεται μέριμνα να μην πληγώνονται και σπάζουν οι βλάστοι.

Η συγκομιδή διαρκεί συνολικά 1,5-2,5 μήνες από την έναρξή της. Η καλλιέργεια παραμένει στο χωράφι για 5-6 μήνες.

β) Συγκομιδή του τύπου μοσχομπίζελο ή ζαχαρομπίζελο (mange tout, Sugar pea)

Στα μπιζέλια αυτά στα οποία καταναλώνεται ολόκληρος ο λοβός, οι λοβοί συγκομίζονται όταν είναι τελείως ανώριμοι, είναι τρυφεροί (απαλλαγμένοι από ίνες), είναι πεπλατυσμένοι, οι σπόροι δεν έχουν αναπτυχθεί πλήρως, όμως η περιοχή του μεσοκαρπίου έχει αναπτυχθεί και είναι φρέσκη και χυμώδης και δίνει στο λοβό μια πλήρως ανεπτυγμένη εμφάνιση.

Η συγκομιδή γίνεται όπως και στην προηγούμενη περίπτωση με τα χέρια, σε αρκετά «χέρια».

γ) Συγκομιδή για μεταποίηση

Ο μεγαλύτερος όγκος του καλλιεργούμενου σήμερα λαχανοκομικού αρακά διοχετεύεται στη μεταποίηση. Μορφές μεταποίησης: Κατάψυξη, κονσερβοποίηση, αποξήρανση (Freeze drying).

Όλες οι μορφές αυτές χρησιμοποιούν χλωρό αρακά, ο οποίος παράγεται από νάνες ποικιλίες, του οποίου η συγκομιδή γίνεται σήμερα αποκλειστικά με μηχανικά μέσα.

Η συγκομιδή πέρασε από πολλά στάδια μηχανοποίησης. Αρχικά απαιτούσε την επένδυση σημαντικής χειρονακτικής εργασίας, ιδίως στη συγκομιδή των φυτών από το χωράφι. Σταδιακά με νέες βελτιώσεις μειώθηκε σημαντικά η χειρονακτική εργασία. Σήμερα με την εφαρμογή προηγμένης τεχνολογίας, σε λιγότερο από 30 λεπτά από την έναρξη της συγκομιδής, γίνεται παράδοση του τελικού προϊόντος (καθαρισμένοι νωποί σπόροι) στο εργοστάσιο μεταποίησης. Οι εργασίες που διεκπεραιώνονται είναι η κοπή φυτών, διαχωρισμός λοβών και εξαγωγή σπόρων από λοβούς.

Είναι πολύ σημαντικό στην κατηγορία αυτή να καλλιεργούνται οι κατάλληλες ποικιλίες για τον σκοπό αυτό, να συγκομίζονται την κατάλληλη στιγμή, ώστε και οι λοβοί να είναι πλήρεις σπόρων, οι σπόροι να είναι γλυκοί, μαλακοί και τρυφεροί και να παραμένουν πράσινοι για αρκετό χρονικό διάστημα. Στο στάδιο αυτό παραμένουν περίπου 2 ημέρες. Οι λοβοί πρέπει να μεταφερθούν στο εργοστάσιο εντός 4 ωρών από τη συγκομιδή από το φυτό για τα περαιτέρω. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι οι διαδικασίες κατά τη συγκομιδή πρέπει να γίνονται γρήγορα και με προσοχή, ώστε να αποφεύγεται η υποβάθμιση της ποιότητας, η οποία επέρχεται πολύ γρήγορα.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η απόφαση για συγκομιδή βασίζεται σε διάφορες σταθερές, όπως: μέτρηση με τη χρήση οργάνων, όπως το tenderometer, maturometer κ.λπ., υπολογισμός της σχέσης σπόρων-λοβού, μέτρηση της περιεκτικότητας σε άμυλο, μέτρηση της περιεκτικότητας σε αδιάλυτα στερεά σε αλκοόλη (alcohol - insoluble solids - AIS), επίπλευση σε 5% άλμη κλπ.

Σε μερικές χώρες οι βιομηχανίες κονσερβοποιίας χρησιμοποιούν τις μονάδες θερμότητας ή degree hours, για να καθορίσουν τη στιγμή της συγκομιδής, ξεκινώντας από τη στιγμή της σποράς.

1.5 Κουκί (Vicia faba L.)



Εικόνα 4. Φυτό κουκιάς

ΚΟΥΚΙΑ *Vicia faba* L. ή *Faba vulgaris* Moench, (Κύαμος ο κοινός)

Οικογένεια: *Leguminosae* (*Fabaceae*) – Ψυχανθή

Δικοτυλήδονο: $2n=12$ και $2n=24$ χρωμοσώματα

Κοινά ονόματα: Κουκιά (Εικόνα 4), φούλια. **Αγγλικά:** Faba Bean, **Ιταλικά:** Fava, **Ισπανικά:** Haba,

1.5.1 Εισαγωγή – Ιστορική ανασκόπηση

Τα κουκιά στη χώρα μας είναι χειμερινό κηπευτικό, οι καρποί του οποίου καταναλώνονται νωποί (ανώριμοι λοβοί και σπόροι) και οι οποίοι σήμερα έχουν περιορισμένη σχετικά ζήτηση, όμως όλο και περισσότερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι χλωροί σπόροι υπό τη μορφή του κατεψυγμένου ή κονσερβοποιημένου προϊόντος. Το βρώσιμο τμήμα του φυτού από λαχανοκομικής άποψης είναι οι νεαρής ηλικίας ανώριμοι λοβοί (κουκιά φρέσκια) μαζί με τους ανώριμους σπόρους ή μόνο οι ανώριμοι σπόροι και καταναλώνονται μαγειρεμένοι ή ωμοί. Αποτελούν εξαιρετική τροφή μεγάλης θρεπτικής αξίας (υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη). Βεβαίως, όταν ωριμάσουν οι σπόροι αυτοί χρησιμοποιούνται επίσης για τη διατροφή του ανθρώπου (ως όσπριο) και καταναλώνονται βραστοί, ολόκληροι ή μετά από

διαχωρισμό στις δύο κοτυληδόνες (κουκιά κούννες) ή μετά από πολτοποίηση (φάβα κουκιών). Επίσης, μετά από καβούρδισμα, οι ξηροί σπόροι χρησιμοποιούνται για τη νόθευση του καφέ και ως συνοδευτικό ποτών.

Το φυτό καλλιεργείται στις εύκρατες περιοχές ως ζωοτροφή και ακόμη, ως χλωρή λίπανση για εμπλουτισμό του εδάφους με οργανική ουσία, αφού παραχωθεί στο έδαφος κατά την άνθισή του, βελτιώνοντας τις φυσικοχημικές ιδιότητες του με την αύξηση της οργανικής ουσίας και αύξηση της περιεκτικότητας του αζώτου κ.λπ.

Τα καλλιεργούμενα κουκιά διακρίνονται σε τρεις τύπους, *Vicia faba* var, major Harz (κηπευτικό για νωπή κατανάλωση), το *Vicia faba* var, minor, και *Vicia faba* var, equine ως όσπριο, για διατροφή των ζώων και για χλωρή λίπανση. Στην Ελλάδα καλλιεργείται το μεγαλόκαρπο, μεγαλόσπερμο κουκί.

Υπάρχουν όμως και πολλές άλλες παραλλαγές με μέγεθος και χαρακτηριστικά σπόρου που ποικίλλουν ανάλογα με τον καλλιεργούμενο τύπο και ποικιλία.

Πιστεύεται ότι περιοχές καταγωγής του κουκιού είναι οι χώρες περί τη μεσογειακή λεκάνη, όπως η Β. Αφρική με επίκεντρο την Αίγυπτο, τη Μέση Ανατολή και περιοχές περί την Κασπία Θάλασσα. Είναι ένα από τα πρώτα καλλιεργούμενα κηπευτικά της οικογένειας των ψυχανθών από τα πανάρχαια χρόνια. Βρέθηκαν σπόροι στους λιμναίους οικισμούς της σημερινής Ελβετίας της εποχής του ορείχαλκου. Ευρήματα έδειξαν ότι χρησιμοποιούνταν από την παλαιολιθική εποχή και ότι το καλλιεργούσαν στην αρχαία Αίγυπτο, αρχαία Ελλάδα, στις χώρες της Μέσης Ανατολής, κατά τη ρωμαϊκή εποχή. Παρά το γεγονός ότι τα κουκιά ήταν γνωστά στην Αίγυπτο από αρχαιοτάτων χρόνων και μάλιστα είναι φυτό που αυτοφύεται, οι Αιγύπτιοι δεν το συμπαθούσαν ως τροφή. Επίσης αρνητικά διακείμενος στην κατανάλωση του οσπρίου ήταν και ο Πυθαγόρας, ο οποίος απεχθανόταν τα κουκιά και απαγόρευε τη χρήση τους από τους μαθητές του για λόγους υγιεινής, διότι «Το κουκί είναι όσπριο πνευματώδες, φουσώδες, δύσπεπτο και δυσόνειρον». Κατά άλλους ο λόγος της απαγόρευσης ήταν πολιτικός, διότι τα κουκιά στην αρχαιότητα χρησιμοποιούντο αντί ψηφοδελτίων κατά τις ψηφοφορίες. Σημειώνεται, ότι και την αρχαία εποχή καλλιεργούντο κουκιά με το εξωτερικό περίβλημα των σπόρων χρώματος μαύρου (μελανό).

Η σημερινή κοινή φράση που συχνά αναφέρεται σε θέματα ψηφοφορίας, εάν δηλαδή κάποιος για να εκλεγεί «πρέπει να έχει τα κουκιά» ασφαλώς προέρχεται από αυτή την ιδιαίτερη χρήση των κουκιών κατά την αρχαιότητα.

Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι, πριν εισαχθούν και καλλιεργηθούν στην Ευρώπη και άλλες περιοχές του πλανήτη, η πατάτα, το καλαμπόκι, τα φασόλια, κλπ., τα κουκιά ήταν τα σπουδαιότερα υποκατάστατα των δημητριακών για καρπό.

Παρά τα όσα λέγονται για τις επιφυλάξεις των αρχαίων στην κατανάλωση των κουκιών, είναι αποδεδειγμένο ότι τα χρησιμοποιούσαν σε μεγάλη κλίμακα, τόσο τα χλωρά όσο και τα ξηρά (όσπρια).

1.5.2 Βοτανικοί χαρακτήρες

Φυτό: Ετήσιο, ποώδες, αναπτύσσεται όρθιο σε ύψος 45-180 εκ.

Βλαστοί: Από τον κύριο βλαστό αναπτύσσονται από τις μασχάλες των φύλλων πλευρικοί βλαστοί, με γωνιώδη διατομή.

Φύλλα: Αρκετά σε αριθμό, πτερωτά και άρτια. Είναι μικτά και όχι τρίφυλλα, όπως το φασόλι. Φέρουν 1-3 ζεύγη φυλλαρίων, μεγάλων, πλατειών, ακέραιων, σαρκωδών και επίσης φέρουν παράφυλλα πλατειά, οδοντωτά, στικτά. Το χρώμα των φύλλων αρχικά είναι γκριζοπράσινο (γλαυκό) και με την αύξηση της ηλικίας αποκτούν πιο σκούρο χρωματισμό.

Ρίζα: Το φυτό σχηματίζει κεντρική ρίζα, η οποία είναι αρκετά ανεπτυγμένη και η οποία φιλοξενεί τα αζωτοβακτήρια.

Άνθη: Εμφανίζονται σε ομάδες από 2-6 σε ταξιανθίες βότρυ με κοντό άξονα. Έχουν στεφάνη με 5 ανόμοια πέταλα χρώματος λευκού με πτέρυγες μεγάλες, οι οποίες φέρουν ένα μαύρο στίγμα. Ο κάλυκας φέρει 5 άνισα σέπαλα (οδόντες), φέρει 10 στήμονες, επιφυή ωοθήκη και μακρύ στύλο. Η κατασκευή του άνθους βοηθά την αυτογονιμοποίηση, όμως στο χωράφι τα έντομα προκαλούν σε σημαντικό βαθμό και αυτογονιμοποίηση ίσως μέχρι και 40%.

Καρπός – Λοβός (χέδρωψ): Ο λοβός των λαχανοκομικών ποικιλιών είναι μεγάλος, έχει μήκος που κυμαίνεται σημαντικά ανάλογα με την ποικιλία (ενδεικτικά 10-20 εκ), είναι χονδρός (παχύς) σαρκώδης, όρθιος με κοντό μίσχο, ο οποίος όταν είναι άγουρος, έχει χρώμα πράσινο, ενώ κατά την πλήρη ωρίμανση αποκτά χρώμα μαύρο. Ο κάθε λοβός εμπεριέχει από έναν έως μερικούς σπόρους, συνήθως 3-8 (Εικ.4.3)

Σπόρος: Ο κάθε σπόρος στις μεγαλόκαρπες ποικιλίες έχει μήκος 2-3 εκ. με χάλαζα επιμήκη, σκούρου χρώματος. Υπάρχουν και οι τύποι (τα γνωστά «φούλια») με μικρούς σπόρους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ξηροί (όσπριο) για τη διατροφή των ζώων ή και για παρασκευή ιδιαίτερων φαγητών σε μεσογειακές χώρες, όπως Αίγυπτο, Λίβανο. Συρία, Ιορδανία.

1.5.3 Εδαφικές - κλιματικές απαιτήσεις και προετοιμασία εδάφους

α) Απαιτήσεις σε κλίμα

Η κουκιά είναι φυτό ψυχρής εποχής, καλλιεργείται στην εύκρατη ζώνη κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών και στις τροπικές περιοχές σε μεγάλα υψόμετρα (άνω των 2500 μέτρων). Για υψηλές αποδόσεις και προϊόντα καλής ποιότητας χρειάζονται χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία. Άριστες θερμοκρασίες κατά την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών θεωρούνται μεταξύ 15-20° C. Αντέχει θερμοκρασίες μέχρι 4° C και χαμηλότερες και προτιμά η μέγιστη να μην ξεπερνά τους 24° C. Υψηλότερες θερμοκρασίες επιδρούν αρνητικά στη γονιμοποίηση των ανθέων και στην καρποφορία. Μπορεί να αντέξει όψιμους παγετούς την άνοιξη. Ο σπόρος μπορεί να φυτρώσει και σε θερμοκρασία γύρω στους 4° C, οι άριστες όμως από 15-20° C.

Αναφορικά με την αντίδραση στη φωτοπερίοδο για σκοπούς άνθισης, αρκετές ποικιλίες δεν επηρεάζονται από το μήκος της ημέρας, υπάρχουν όμως και ποικιλίες που απαιτούν μεγάλες φωτοπεριόδους για άνθιση. Στην Ελλάδα η κουκιά καλλιεργείται για όψιμη φθινοπωρινή, χειμερινή και ανοιξιιάτικη παραγωγή.

β) Απαιτήσεις σε έδαφος

Η κουκιά μπορεί να καλλιεργηθεί σε ποικιλία εδαφών. Καλύτερα αποτελέσματα για καλλιέργεια το χειμώνα εξασφαλίζεται στα γόνιμα, πλούσια σε οργανική ουσία, ασβεστόχα, μέσης σύστασης αμμοπηλώδη και πηλοαμμώδη εδάφη, εφόσον στραγγίζουν ικανοποιητικά. Σε φτωχά σε οργανική ουσία και θρεπτικά στοιχεία αμμώδη εδάφη δεν επιτυγχάνει η καλλιέργεια.

Άριστο pH εδάφους θεωρείται αυτό μεταξύ 5,5-7,0. Εάν είναι χαμηλότερο, θα πρέπει να διορθωθεί με προσθήκη ασβεστίου.

Η εγκατάσταση μιας φυτείας με κουκιάς ξεκινά από το τέλος του καλοκαιριού και επεκτείνεται τους φθινοπωρινούς μήνες. Είναι φυσικό τα χωράφια που θα χρησιμοποιηθούν να είναι στεγνά (ξηρά) κατά την προετοιμασία. Θα χρειαστεί να γίνει ένα καλό πότισμα του εδάφους και όταν έρθει στον ρώγο του, τότε να ακολουθείται όργωμα με υνί, σβάρνισμα με οδοντωτή σβάρνα ή δισκοσβάρνα και μετά φρεζάρισμα για ψιλοχωμάτισμα και ισοπέδωση του εδάφους. Στη πραγματικότητα, για τα κουκιά δεν χρειάζεται πολύ ψιλοχωμάτισμα, γιατί οι σπόροι είναι μεγάλοι σε μέγεθος. Η δημιουργία καλής δομής και υφής στο έδαφος, σε συνδυασμό με την καλή στράγγιση, συμβάλλουν στην καλή ανάπτυξη και ικανοποιητική απόδοση των κουκιάων.

Η καλλιέργεια των κουκιών είναι σημαντικό να ενταχθεί σε ένα πρόγραμμα διετούς, τριετούς ή τετραετούς αμειψισποράς, για να προσφέρει τα ευεργετικά αποτελέσματα στις επόμενες καλλιέργειες αλλά και να ωφεληθεί από τις προηγούμενες καλλιέργειες.

Συνδυασμοί που εφαρμόζονται είναι :

- Διετής αμειψισπορά: κουκιά - σιτάρι
- Τριετής αμειψισπορά : σιτάρι - κουκιά - πατάτες
- Τετραετής αμειψισπορά : σιτάρι - καλαμπόκι - κουκιά - πατάτες.

1.5.4 Λίπανση

α) Βασική λίπανση

Γενικά τα κουκιά έχουν χαμηλές ανάγκες σε άζωτο ενώ χρειάζονται μεγαλύτερες ποσότητες φωσφόρου και καλίου. Οι μειωμένες ποσότητες αζώτου δικαιολογούνται από το γεγονός ότι το φυτό ως ψυχανθές φιλοξενεί στο ρίζωμά του αζωτοβακτήρια, τα οποία συμβάλλουν στον εφοδιασμό των φυτών με άζωτο από την ατμόσφαιρα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρά το γεγονός αυτό, σε αρδευόμενες καλλιέργειες κουκιών η προσθήκη αζώτου συμβάλλει στην αύξηση των αποδόσεων.

Στην Ελλάδα συνιστάται η προσθήκη λίπανσης σε ποσότητες:

25-30 κιλά 0-48-0

20-30 κιλά 0-0-48 στο στρέμμα

Αλλά και 20-30 κιλά 26-0-0 αζώτου/στρ., 1/3 κατά την σπορά και 2/3 επιφανειακά, μέχρι να εγκατασταθούν τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια.

Η προσθήκη ταυτόχρονα και 2-3 τον/στρ. καλά χωνεμένης κοπριάς συμβάλλει στη βελτίωση των αποδόσεων.

β) Επιφανειακή λίπανση

Επιφανειακή λίπανση με άζωτο συνήθως δεν εφαρμόζεται, εφόσον έχουν αναπτυχθεί τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια. Όμως υπάρχουν αναφορές ότι μικρές ποσότητες αζωτούχου λιπάσματος έδωσαν καλά αποτελέσματα σε φτωχά εδάφη.

Στην Κύπρο συνηθίζουν να εφαρμόζουν μικρές ποσότητες λιπασμάτων κατά την επιφανειακή λίπανση με 3-4 κιλά 34,5-0-0, 2-3 κιλά 12-61-0 και 8-10 κιλά 13-0-46 συνολικά στο στρέμμα, σε 4-5 εφαρμογές.

1.5.5 Πολλαπλασιασμός

Εποχή σποράς

Στην Ελλάδα για συνεχή τροφοδοσία της αγοράς με νωπό (φρέσκο) προϊόν με ή χωρίς το λοβό, ή σπορά μπορεί να ξεκινά αρχές του φθινοπώρου(Σεπτέμβριο-Οκτώβριο) και να συνεχίζεται σταδιακά μέχρι το τέλος του χειμώνα (Φεβρουάριο-Μάρτιο-Απρίλιο, στις ψυχρές περιοχές για συγκομιδή Μάιο-Ιούνιο). Με τη διαδικασία αυτή θα υπάρχει συγκομιδή χλωρού προϊόντος σε όλη τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης προς το πρώιμο καλοκαίρι. Για πρώιμη παραγωγή χλωρών κουκιών η σπορά αρχίζει από τον Αύγουστο μήνα και η συγκομιδή από τον Δεκέμβριο (3-4 μήνες μετά).

Σε χώρες που καλλιεργούνται μεγάλες εκτάσεις και που το φρέσκο προϊόν θα χρησιμοποιηθεί (νωποί σπόροι) για κατάψυξη ή κονσερβοποίηση, οι ημερομηνίες σποράς καθορίζονται σε συμφωνία παραγωγών και μεταποιητών.

Τα κουκιά πολλαπλασιάζονται με σπόρο. Για μικρές εκτάσεις, η σπορά γίνεται με το χέρι. Ανοίγονται μικρού βάθους αυλάκια και τοποθετούνται οι σπόροι στις επιθυμητές αποστάσεις επί της γραμμής και ακολουθεί παράχωμα. Όταν θα σπαρθούν μεγάλες εκτάσεις, υπάρχει πρόβλημα στη χρησιμοποίηση των συνηθισμένων σπαρτικών μηχανών των κηπευτικών, διότι ο σπόρος είναι μεγάλος και εμποδίζεται η σπορά. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ειδικές σπαρτικές μηχανές ή θα πρέπει να γίνει τροποποίηση των φυτευτικών μηχανών των βολβών ή της πατάτας.

Στην Ελλάδα η σπορά γίνεται με το χέρι και με μηχανές και σε αποστάσεις μεταξύ των γραμμών 50-70 εκ. και επί των γραμμών 20-25 εκ. και σε βάθος 4-5 εκ. Επίσης, μπορεί να σπαρθεί και σε διπλές γραμμές με αποστάσεις πιο μικρές μεταξύ των διπλών γραμμών 25-30 εκ. και με απόσταση 60-80 εκ. μεταξύ των διπλών γραμμών. Επί των γραμμών σε απόσταση 20-225 εκ. Η αναγκαία ποσότητα σπόρου ανά στρέμμα ανέρχεται στα 12-15 κιλά, ανάλογα με το μέγεθος του σπόρου και τις αποστάσεις φύτευσης. Άλλοι συνιστούν αποστάσεις μεταξύ των γραμμών 140-170 εκ και επί γραμμών 40-60 εκ., όταν η καλλιέργεια είναι περισσότερο μηχανοποιημένη (π.χ. μηχανικά σκαλίσματα κλπ.)

Στην Αγγλία η πιο συνηθισμένη απόσταση μεταξύ των γραμμών είναι 45 εκ. και επί της γραμμής 15-17 εκ. δηλ. μια πυκνότητα 14-15 φυτών/M². Το βάθος σποράς κυμαίνεται στα 7-8 εκ. στα συνήθη εδάφη και 10 εκ. στα αμμώδη εδάφη. Όταν η υγρασία εδάφους είναι χαμηλή.

1.5.6 Καλλιεργητικές περιποιήσεις

Οι καλλιεργητικές προετοιμασίες και περιποιήσεις είναι παρόμοιες με τα άλλα ψυχρανθή φυτά (αρακάς, φασόλια κλπ.), με την διαφορά ότι η κουκιά είναι πιο ανθεκτική στην ξηρασία και ότι η κουκιά και ο αρακάς είναι κηπευτικά ψυχρής εποχής και καλλιεργούνται τον χειμώνα, επομένως ανέχονται ψυχρές συνθήκες καλλιέργειας, ενώ το φασόλι είναι θερμής εποχής και θέλει υψηλές θερμοκρασίες κατά την καλλιέργειά του.

α) Καταπολέμηση ζιζανίων

Η καταπολέμηση των ζιζανίων γίνεται με σκαλίσματα και βοτανίσματα, όπως και σε πολλά άλλα κηπευτικά και με την χρήση εκλεκτικών ζιζανιοκτόνων, όπως: το Butralin και το Isorproalin, προσπαρτικά ή προφυτρωτικά και το Bentazone και Cycloxydim μεταφυτρωτικά σε βλαστημένα ζιζάνια. Το επιφανειακό σκάλισμα βοηθά και στο σπάσιμο της κρούστας που σχηματίζεται με τα επανειλημμένα ποτίσματα και βοηθά στον καλύτερο αερισμό των ριζών.

β) Άρδευση

Παρά το γεγονός ότι η καλλιέργεια πραγματοποιείται τους χειμερινούς μήνες, εντούτοις, επειδή ακόμη και τους μήνες αυτούς δεν υπάρχει ομαλή κατανομή των βροχοπτώσεων, η καλλιέργεια απαιτεί πρόσθετες ποσότητες νερού. Είναι δηλαδή στην Ελλάδα και στην Κύπρο μια ποτιστική καλλιέργεια.

Οι ανάγκες σε νερό μιας καλλιέργειας ενός στρέμματος για παραγωγή νωπών κουκιών ανέρχονται σε 220-300 M³ σε 5 αρδεύσεις κατά μέσο όρο κατά τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο (με 75% αποτελεσματικότητα στη μέθοδο άρδευσης με εκτοξευτήρες χαμηλής παροχής). Οι ανάγκες σε νερό είναι αυξημένες κατά την περίοδο της άνθισης, όταν πρέπει να γίνεται άρδευση κάθε φορά που η υγρασία στο έδαφος φθάνει στο 50% της υδατοϊκανότητας. Με τις πρόσθετες αρδεύσεις εξασφαλίζονται υψηλότερες αποδόσεις. Υπάρχουν αρκετοί καλλιεργητές, οι οποίοι εφαρμόζουν και τη μέθοδο στάγδην για την άρδευση της καλλιέργειας.

γ) Παράχωμα

Συνιστάται η συσσώρευση χώματος (ελαφρό παράχωμα) στη βάση του φυτού σε όλη τη γραμμή, ώστε να στηρίζεται το φυτό, ιδιαίτερα όταν αναπτυχθούν οι καρποί, και να αποφεύγεται το πλάγιασμα των φυτών.

ε) Κλάδεμα-Κορυφολόγημα

Όταν η έκταση καλλιέργειας είναι σχετικά μικρή και η συγκομιδή γίνεται με το χέρι, συνιστάται να αφαιρείται μέρος των πλευρικών βλαστών (αφήνονται 3-4/φυτό) και οι βλαστοί που παραμένουν κορυφολογούνται, όταν καρποδένουν τα πρώτα άνθη, για την

αύξηση της παραγωγής και επίτευξη ομοιομορφίας στην καρπόδεση για να ενθαρρυνθεί πρόωμο γέμισμα των λοβών και να μειωθεί η εξάπλωση της μαύρης αφίδας, η οποία ως γνωστό τρέφεται πάνω στις τρυφερές κορυφές.

στ) Καταπολέμηση εχθρών και ασθενειών

Εφαρμόζονται προληπτικοί και θεραπευτικοί ψεκασμοί εναντίον των εντόμων και μυκήτων που προσβάλλουν την καλλιέργεια.

1.5.7 Συγκομιδή

Η συγκομιδή του νωπού προϊόντος (φρέσκα κουκιά) γίνεται με το χέρι, σε πολλά «χέρια». Κάθε φορά συγκομίζονται οι λοβοί που έχουν αποκτήσει το επιθυμητό εμπορεύσιμο μέγεθος και θα πρέπει τόσο ο λοβός (περικάρπιο) να είναι πράσινος, όσο και οι σπόροι να είναι τρυφεροί, τελείως υγιείς χωρίς συμπτώματα ασθενειών. **Προσοχή**, προσβολή φυτών και χλωρών λοβών από ασθένειες μπορούν να προκαλέσουν δηλητηριάσεις στους καταναλωτές.

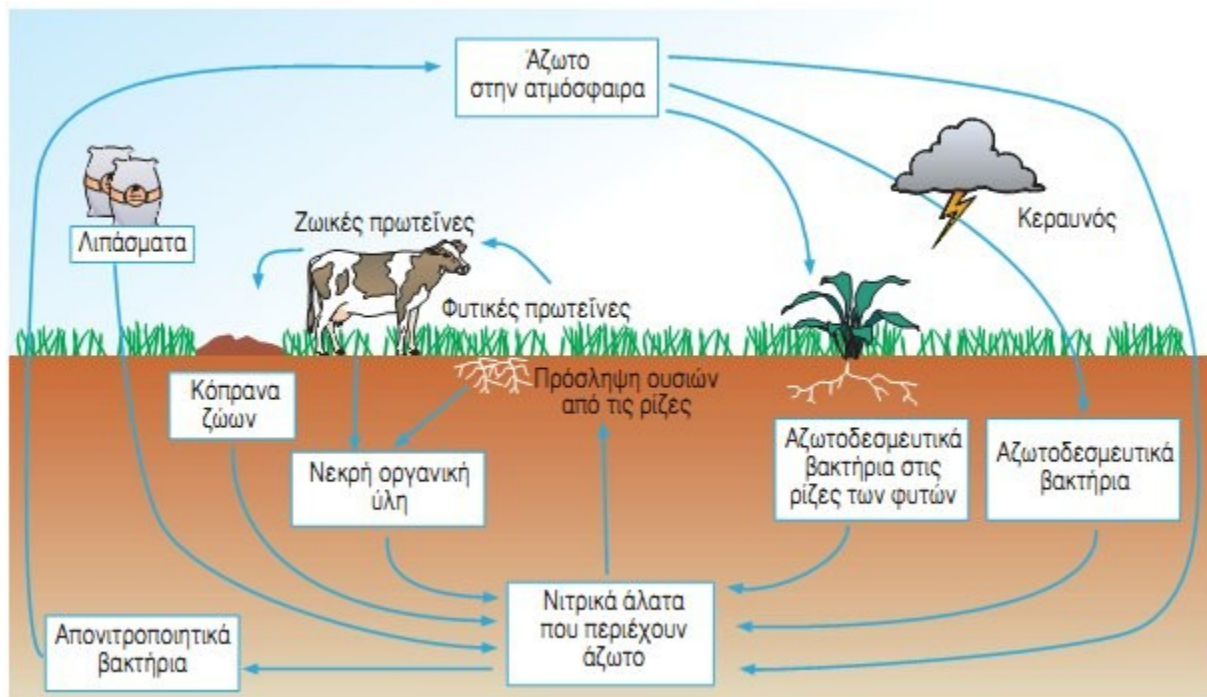
Οι εργάτες κατά τη χειρονακτική συγκομιδή τοποθετούν τους λοβούς σε πλαστικούς κουβάδες και μεταφέρονται στο συσκευαστήριο, όπου τοποθετούνται ή σε πλαστικούς δικτυωτούς σάκους ή πλαστικά ή χαρτικά κιβώτια και προωθούνται στην αγορά. Τελευταία συνηθίζεται ο διαχωρισμός των φρέσκων σπόρων από τον λοβό και η πώληση μόνο των σπόρων.

Εάν τα φρέσκα κουκιά (σπόροι) θα προωθηθούν στη μεταποίηση (κατάψυξη ή κονσερβοποίηση), τότε η συγκομιδή μπορεί να γίνεται και μηχανικά.

Στην Ελλάδα από την σπορά μέχρι την έναρξη της συγκομιδής απαιτούνται 90-140 ημέρες, ανάλογα με την ποικιλία (πρώιμη, μεσοπρώιμη, όψιμη) και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Η καλλιέργεια παραμένει στο έδαφος συνολικά 5-6 μήνες και η διάρκεια συγκομιδής είναι 2-2,5 μήνες.

2. Το άζωτο (N) και η βιολογική αζωτοδέσμευση (BNF)

2.1 Ο κύκλος του αζώτου



Εικόνα 5. Ο κύκλος του αζώτου σε αγροτικά συστήματα

Το στοιχείο άζωτο (N), το τέταρτο κατά σειρά αφθονίας μετά τον άνθρακα, το οξυγόνο και το υδρογόνο στην οργανική ύλη των οργανισμών, συμμετέχει ως συστατικό σε μεγάλο αριθμό βιομορίων μεγάλης σπουδαιότητας για τη διατήρηση της ζωής στο πλανήτη μας, όπως οι πρωτεΐνες, τα νουκλεϊκά οξέα, πολλοί συμπαραγοντες και ποικίλα άλλα μόρια με ιδιαίτερο βιολογικό ρόλο. Αν και η ατμόσφαιρα αποτελείται κατά 78% από μοριακό άζωτο, αυτό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τη μορφή αυτή από την πλειοψηφία των οργανισμών εξαιτίας της χαμηλής χημικής δράσης του (χαρακτηρίζεται αδρανές αέριο). Για να ενσωματωθεί στην οργανική ύλη θα πρέπει αυτό να δεσμευτεί, να αναχθεί και να μετατραπεί σε αμμωνιακή μορφή.

Όλοι οι οργανισμοί μπορούν και χρησιμοποιούν στις βιοσυνθέσεις των αζωτούχων ουσιών το NH_4^+ ιόν, ωστόσο μόνο ορισμένα είδη ελεύθερων ζώντων βακτηρίων ή ειδών βακτηρίων, που συμβιών στις ρίζες των ψυχανθών ή και άλλων φυτικών ειδών, μπορούν να δεσμεύσουν

και να ανάγουν το ατμοσφαιρικό άζωτο. Για τον λόγο αυτό τα εδάφη και τα νερά είναι φτωχά σε άζωτο, η διαθεσιμότητα του οποίου ελέγχει την ανάπτυξη των περισσότερων οργανισμών.

Η σπανιότητα των αζωτούχων ουσιών στο περιβάλλον επιβάλλει στους οργανισμούς να λειτουργούν με τη μέγιστη οικονομία αζώτου και τα διάφορα αζωτούχα τελικά προϊόντα του καταβολισμού κατά κανόνα επανακυκλώνονται και επαναχρησιμοποιούνται (Εικόνα 5). Μόνο οι ζωικοί οργανισμοί διαθέτουν οργανωμένα συστήματα απομάκρυνσης της περίσσειας του αζώτου, ενώ οι ίδιοι οργανισμοί σε συνθήκες μειωμένης διαθεσιμότητας σακχάρων και λιπαρών οξέων χρησιμοποιούν ως πηγές ενέργειας τα αμινοξέα, τα οποία διασπούν πλήρως σε NH_4^+ , CO_2 και H_2O .

Η αλληλεξάρτηση των οργανισμών όσον αφορά την κάλυψη των αναγκών τους σε άζωτο είναι σημαντική, όπως άλλωστε συμβαίνει και με την κάλυψη των αναγκών τους σε όλα τα θρεπτικά στοιχεία. Δύο υδατοδιαλυτές ανόργανες μορφές αζώτου, το νιτρικό (NO_3^-) και το αμμωνιακό (NH_4^+) άζωτο, όπως επίσης και μια οργανική μορφή, τα αμινοξέα, λειτουργούν ως συνδετικοί κρίκοι ροής αζώτου μεταξύ των οργανισμών. Η είσοδος του ατμοσφαιρικού αζώτου στην οργανική ύλη επιτυγχάνεται με τη δέσμευση και την αναγωγή του σε αμμωνιακή μορφή με τη βοήθεια του ενζυμικού συμπλόκου νιτρογενάση των αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων που απαντούν στο έδαφος, στα γλυκά νερά και στους ωκεανούς. Η διαδικασία ονομάζεται **βιολογική δέσμευση του αζώτου ή αζωτοδέσμευση**. Το αμμωνιακό άζωτο στη συνέχεια χρησιμοποιείται από τα φυτά και άλλους οργανισμούς στη σύνθεση των αζωτούχων ουσιών τους. Στην πραγματικότητα ολόκληρη η ποσότητα των αμμωνιακών ιόντων (αυτών της σαπροφυτικής δράσης και αυτών που προστίθενται στο έδαφος με τη μορφή αζωτούχων λιπασμάτων) οξειδώνεται σε νιτρώδη (NO_2^-) και τελικά σε νιτρικά (NO_3^-) ιόντα από μια ομάδα βακτηρίων που απαντούν σε μεγάλους πληθυσμούς στη βιόσφαιρα, τα νιτροποιητικά βακτήρια. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **νιτροποίηση**. Τα φυτά με τη σειρά τους προσλαμβάνουν τα νιτρικά ιόντα, τα οποία ανάγουν σε νιτρώδη και τελικά σε αμμωνιακά ιόντα με τη δράση δύο ενζύμων των κυττάρων τους, τη νιτρική αναγωγή και τη νιτρωδοαναγωγή. Το αμμωνιακό ιόν που παράγεται, χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τη σύνθεση των οργανικών τους ουσιών. Επομένως τα φυτά μπορούν να τραφούν και να χρησιμοποιήσουν ως πηγές αζώτου τόσο τα αμμωνιακά όσο και τα νιτρικά ιόντα. Ωστόσο τόσο τα φυτά όσο και οι μικροοργανισμοί που τρέφονται με τις δύο αυτές μορφές αζώτου,

όπως όλοι οι οργανισμοί, ενσωματώνουν το άζωτο στην οργανική τους ύλη με την αμμωνιακή του μορφή.

Οι φυτοφάγοι ζωικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν τα φυτά ως πηγές αμινοξέων προκειμένου να συνθέσουν τις πρωτεΐνες τους ή άλλες αζωτούχες ουσίες, ενώ οι σαρκοφάγοι χρησιμοποιούν άλλους ζωικούς οργανισμούς για τον ίδιο σκοπό. Με τον θάνατο τους, οι νεκροί οργανισμοί χρησιμοποιούνται ως πηγές αζώτου από μια κατηγορία οργανισμών, των σαπροφυτικών (κυρίως μυκήτων και βακτηρίων), με αποτέλεσμα την απελευθέρωση αμμωνιακών ιόντων στο περιβάλλον. Η διαδικασία ονομάζεται **αμμωνιοποίηση ή ανοργανοποίηση οργανικού αζώτου**. Το ισοζύγιο μεταξύ διαφόρων μορφών αζώτου (ανόργανων και οργανικών) και του ατμοσφαιρικού αζώτου διατηρείται σταθερό με τη δράση των απονιτροποιητικών βακτηρίων που μετατρέπουν το νιτρικό άζωτο σε αέριες μορφές αζώτου που επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα και η διαδικασία ονομάζεται **απονιτροποίηση**. Την ξεχωριστή ικανότητα αυτών των μικροοργανισμών ο άνθρωπος την εκμεταλλεύεται για τη μείωση της συσσώρευσης ανόργανων μορφών αζώτου και τη μετατροπή τους σε αέριες μορφές, όπως στους βιολογικούς σταθμούς επεξεργασίας λυμάτων.

Για περισσότερο από 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια η ομαλή λειτουργία του κύκλου του αζώτου εξασφάλισε μια ισόρροπη σχέση μεταξύ του ατμοσφαιρικού αζώτου και του αζώτου της βιόσφαιρας, γεγονός που επέτρεψε τη γένεση, την επιβίωση, τον πολλαπλασιασμό και την εξέλιξη των ειδών του πλανήτη μας. Ωστόσο ο άνθρωπος στην προσπάθειά του για ποσοτική αύξηση των φυτικών και ζωικών προϊόντων για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών του αυξανόμενου πληθυσμού της γης επιτάχυνε σημαντικά την είσοδο του ατμοσφαιρικού αζώτου στη βιόσφαιρα. Με τη βιομηχανική δέσμευση του αζώτου, διαδικασία κατά την οποία δαπανώνται μεγάλες ποσότητες ενέργειας, ο άνθρωπος παράγει τεράστιες ποσότητες αζωτούχων λιπασμάτων για τη λίπανση των καλλιεργειών, με αποτέλεσμα τα υπόγεια νερά να εμπλουτίζονται με νιτρικά ιόντα με αρνητικές συνέπειες.

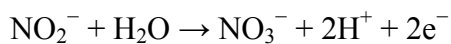
2.2 Η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση

Η βιολογική μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου του εδάφους σε νιτρικά ιόντα ονομάζεται νιτροποίηση. Η νιτροποίηση των αμμωνιακών ιόντων πραγματοποιείται σε δύο στάδια, καθένα από οποία καταλύεται από τα ενζυμικά συστήματα των αερόβιων χημειολιθότροφων βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas* και του γένους *Nitrobacter*. Σε πρώτο στάδιο, με τη

δράση των βακτηρίων του γένους *Nitrosomonas*, το αμμωνιακό ιόν οξειδώνεται σε νιτρώδες ιόν που απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Παράλληλα στη διαδικασία παράγονται πρωτόνια που επίσης απελευθερώνονται στο περιβάλλον και προκαλούν οξίνιση του εδάφους, σύμφωνα με την γενική εξεργονική αντίδραση:



Σε δεύτερο στάδιο, το νιτρώδες ιόν, με τη δράση των βακτηρίων του γένους *Nitrobacter*, οξειδώνεται σε νιτρικό ιόν που επίσης απελευθερώνεται στο περιβάλλον, σύμφωνα με γενική εξεργονική αντίδραση:



Τα βακτήρια αυτά ονομάζονται νιτροποιητικά βακτήρια και σε αυτά τα αμμωνιακά και τα νιτρώδη ιόντα χρησιμοποιούνται ως ουσίες πλούσιες σε ενέργεια και αποτελούν ταυτόχρονα τους μοναδικούς δότες ηλεκτρονίων, τα οποία διαμέσου μιας αναπνευστικής αλυσίδας οδηγούνται στο οξυγόνο. Τα νιτροποιητικά βακτήρια είναι αυτότροφοι οργανισμοί και χρησιμοποιούν το CO_2 της ατμόσφαιρας για τη σύνθεση των οργανικών τους μορίων, όπως οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί. Σε αντίθεση με αυτούς, δεν χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια, αλλά την ενέργεια που προέρχεται από τις εξεργονικές αντιδράσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Τα παραγόμενα στο έδαφος νιτρικά ιόντα ή αυτά που προστίθενται με τη μορφή νιτρικών λιπασμάτων είτε χρησιμοποιούνται από τα φυτά είτε εκπλύνονται με τα νερά της βροχής ή της άρδευσης προς τα κατώτερα στρώματα του εδάφους, με τελικό αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων σε νιτρικά ιόντα (το φαινόμενο ονομάζεται νιτρορύπανση), ή με τη δράση κατάλληλων μικροοργανισμών και σε κατάλληλες συνθήκες μετατρέπονται σε αμμωνιακά ιόντα ή σε αέριες μορφές αζώτου και έτσι το άζωτο επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Στην τελευταία περίπτωση η διαδικασία ονομάζεται απονιτροποίηση. Ο όρος απονιτροποίηση χρησιμοποιείται γενικότερα για να περιγράψει κάθε βιολογική μετατροπή των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων σε αέριες μορφές αζώτου. Μεταξύ των αέριων μορφών αζώτου, η N_2O μορφή καταστρέφει το όζον της ατμόσφαιρας και για αυτό τον λόγο η μείωση της συσσώρευσης νιτρικών ιόντων στη βιόσφαιρα είναι ζωτικής σημασίας για τον πλανήτη μας.

2.3 Συμβιωτική δέσμευση του αζώτου

Ο ρόλος των ψυχανθών στη διατήρηση και βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους ήταν γνωστός πολύ πριν τη χρησιμοποίηση των λιπασμάτων. Τα ψυχανθή μέσω της συμβίωσης τους με τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια (ριζόβια) δεσμεύουν το άζωτο της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα, αφ' ενός να μπορούν να αναπτύσσονται ικανοποιητικά σε εδάφη με χαμηλή διαθεσιμότητα αζώτου και αφετέρου να εμπλουτίζουν το έδαφος με άζωτο, το οποίο επωφελούνται οι επόμενες καλλιέργειες. Η εγκατάσταση και λειτουργία μιας αποτελεσματικής συμβίωσης μεταξύ του φυτού και των αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων είναι αρκετά πολύπλοκο φαινόμενο που υφίσταται επιδράσεις τόσο ενδογενείς (προερχόμενες από το φυτό και τα βακτήρια) όσο και εξωγενείς (προερχόμενες από το άμεσο περιβάλλον των ριζών). Αποτέλεσμα της συμβίωσης είναι η ανάπτυξη ενός διαφοροποιημένου ιστού στις ρίζες του φυτού, όπου δεσμεύεται το άζωτο της ατμόσφαιρας. Ο ιστός αυτός ονομάζεται **φυμάτιο**.

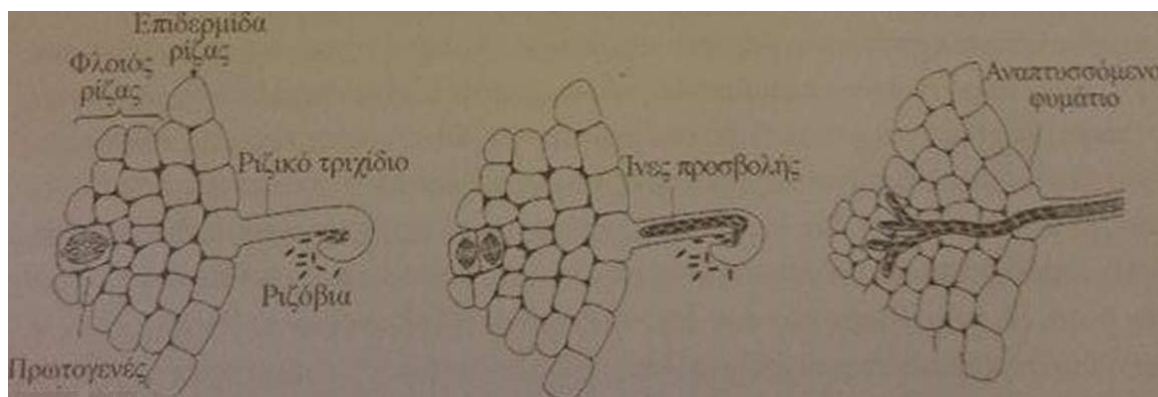
2.3.1 Εξειδίκευση ριζοβίου - φυτού ξενιστού

Η συμβίωση ψυχανθών-ριζοβίων είναι εξειδικευμένη, δηλαδή ένα είδος ριζοβίου δεν αναπτύσσει συμβιωτικές σχέσεις με όλα τα ψυχανθή. Τα ριζόβια παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό εξειδίκευσης. Ορισμένα έχουν μεγάλη εξειδίκευση και σχηματίζουν φυμάτια με τα είδη ενός και μόνο γένους ή με ορισμένα μόνο είδη ενός γένους, ενώ άλλα συμβιώνουν με τα είδη πολλών γενών. Διευκρινίζεται, ότι η εξειδίκευση δεν αναφέρεται μόνο στο σχηματισμό φυματίων αλλά και στην ικανότητα αυτών να είναι ενεργά (να αζωτοδεσμεύουν). Επιπλέον μέσα σε κάθε είδος ριζοβίου τα διάφορα στελέχη παρουσιάζουν διαφορετική αποτελεσματικότητα αζωτοδέσμευσης και μάλιστα αυτή η αποτελεσματικότητα των στελεχών εξαρτάται και από την ποικιλία του φυτού-ξενιστή με το οποίο συμβιώνουν (Caldwell και Vest 1970. Papakosta 1989. Embatomatis κ.ά. 1994).

Πολλές έρευνες έχουν αποδείξει ότι η αύξηση της συμβιωτικής δέσμευσης του αζώτου μπορεί να επιτευχθεί με τη βελτίωση τόσο των φυτών-ξενιστών όσο και των ριζοβίων ως προς τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που προάγουν την αζωτοδέσμευση. Κατά τη βελτίωση μπορούν να ακολουθηθούν δύο κατευθύνσεις: 1) επιλογή ειδικευμένου συνδυασμού στελέχους ριζοβίου - ποικιλίας ψυχανθούς και 2) επιλογή ριζοβίων που να είναι αποτελεσματικά σε ευρύ αριθμό ποικιλιών του φυτού-ξενιστή.

2.3.2 Φυσιολογία του σχηματισμού των φυματίων

Η συμβίωση μεταξύ ψυχανθών και ριζοβίων προκύπτει από μία πολύπλοκη αμοιβαία επίδραση, που συνεπάγεται ανατομικές, μορφολογικές και βιοχημικές αλληλεπιδράσεις, οι οποίες οδηγούν στο σχηματισμό των φυματίων, όπου γίνεται η δέσμευση του αζώτου. Η πορεία του σχηματισμού των φυματίων (Εικόνα 6) ακολουθεί διαδοχικά στάδια (Hopkins, 1995, Caetano-Anolles, 1997):



Εικόνα 6. Σχηματική παράσταση της πορείας σχηματισμού φυματίων στα ριζικά τριχίδια των ριζών των ψυχανθών. (α) αποικισμός ριζοβίων. (β) είσοδος ριζοβίων στο ριζικό τριχίδιο και ανάπτυξη των ινών προσβολής, (γ) διακλάδωση των ινών προσβολής και ανάπτυξη του φυματίου (Hopkins, 1995).

2.3.2.1 Αποικισμός των ριζοβίων και προσκόλλησή τους στα ριζικά τριχίδια

Τα ριζόβια είναι σαπροφυτικά βακτήρια που ζουν ελεύθερα στο έδαφος. Ο πληθυσμός τους παραλλάσσει σημαντικά, από ελάχιστα (<10/g εδάφους) έως πολλά (107g εδάφους) και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως τη δομή του εδάφους, την περιεκτικότητα σε υγρασία και την παρουσία του φυτού-ξενιστή. Τα ριζόβια πολλαπλασιάζονται, μετακινούνται προς τη ριζόσφαιρα και αποικίζουν τα ριζικά τριχίδια (Εικόνα 6). Τα ερεθίσματα για αυτή τη μετακίνηση δίνονται από διάφορες ουσίες όπως ζάχαρα, αμινοξέα, οργανικά οξέα και φλαβονοειδή, οι οποίες παράγονται από ειδικά pod-γονίδια του φυτού. Αρχικά αυτές οι ουσίες εκκρίνονται από το περίβλημα του σπόρου (Phillips et al., 1995) και στη συνέχεια από τις ρίζες των ψυχανθών. Πιθανόν και άλλοι παράγοντες του σπόρου και των ριζικών τριχιδίων να βοηθούν στην αμοιβαία αναγνώριση ριζοβίου - ψυχανθούς. Η εξειδίκευση ριζοβίων και φυτού-ξενιστή, καθορίζεται προφανώς όταν τα ριζόβια προσκολλώνται στα ριζικά τριχίδια. Η αναγνώριση μεταξύ των κυττάρων είναι συνέπεια χημικών συνδέσεων οι οποίες περιλαμβάνουν δύο ειδών ουσίες: λεκτίνες και σύνθετους πολυσακχαρίτες. Οι

λεκτίνες είναι μικρές μη ενζυματικές πρωτεΐνες, οι οποίες συντίθενται από το φυτό-ξενιστή και έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν σύνθετους πολυσακχαρίτες που βρίσκονται στην επιφάνεια των συμβατών ριζοβίων και να συνδέονται με αυτούς. Παρόλο ότι, στην επιφάνεια των ριζοβίων υπάρχουν διάφοροι πολυσακχαρίτες, προκαλείται σύνθεση και νέων ειδικών συνθέτων πολυσακχαριτών από γονίδια των ριζοβίων, τα οποία δραστηριοποιούνται από την παρουσία των φλαβονοειδών στο φυτό ξενιστή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Πιθανόν όμως να υπάρχουν και άλλοι μηχανισμοί οι οποίοι συμμετέχουν στην προσκόλληση των ριζοβίων στα ριζικά τριχίδια. Όλοι οι μηχανισμοί αυτοί αναφέρονται ως «nod-παραγόντες».

2.3.2.2 Ανταπόκριση των ριζικών τριχιδίων

Αμέσως μετά τον αποικισμό των ριζοβίων, παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές στην ανάπτυξη και το μεταβολισμό των ριζών. Αυξάνεται ο αριθμός των ριζικών τριχιδίων και παράγονται κοντότερες και λεπτότερες ρίζες. Τα δε ριζικά τριχίδια συστρέφονται στο άκρο τους σε ένα είδος αγκίστρου. Τα αρχικά ερεθίσματα για αυτές τις αλλαγές δίνονται είτε από ορμόνες που εκκρίνονται από τα ριζόβια είτε από ορμόνες που παράγονται από τα φυτά, λόγω ερεθισμάτων που δέχονται από τα ριζόβια. Πριν την πραγματική είσοδο των ριζοβίων στα ριζικά τριχίδια αρχίζει εντοπισμένη διαίρεση κυττάρων στο φλοιό της ρίζας, η οποία ενεργοποιείται από ειδικά ερεθίσματα που δίνονται από τα ριζόβια. Αυτές οι διαιρέσεις των κυττάρων δημιουργούν το πρωτογενές μερίστωμα του φυματίου το οποίο προκαθορίζει τη θέση από όπου τα ριζόβια θα εισέλθουν στη ρίζα. Από το πρωτογενές μερίστωμα θα αναπτυχθεί τελικά το φυμάτιο.

2.3.2.3 Είσοδος των ριζοβίων (μόλυνση) και ανάπτυξη των «ινών προσβολής»

Ο τρόπος με τον οποίο τα ριζόβια εισέρχονται στα κύτταρα του φυτού-ξενιστή, δεν είναι πλήρως γνωστός. Υπάρχει ένδειξη ότι τα ριζόβια εκλύουν ένζυμα όπως πεπτινάσες, αμυλάσες κ.α., τα οποία αποικοδομούν τα κυτταρικά τοιχώματα και επιτρέπουν την είσοδο των ριζοβίων. Στα ριζικά τριχίδια δημιουργούνται ειδικοί δίοδοι με την μορφή σωλήνων που ονομάζονται «ίνες προσβολής» και μέσω αυτών τα βακτήρια περνούν στο εσωτερικό της ρίζας.

2.3.2.4 Ανάπτυξη των φυματίων, ελευθέρωση των ριζοβίων και μόλυνση των κυττάρων του φυματίου.

Από το πρωτογενές μερίστωμα του φυματίου, το οποίο έχει ήδη δημιουργηθεί, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κατόπιν επανειλημμένων κυτταροδιαιρέσεων, δημιουργείται ο ιστός του φυματίου. Οι ίνες προσβολής διακλαδίζονται ανάμεσα στα κύτταρα του φυματίου και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μόλυνση όλο και περισσότερων κυττάρων. Το τελευταίο στάδιο είναι η απελευθέρωση των ριζοβίων από τις «ίνες προσβολής» μέσα στα κύτταρα του φυτού. Η μεμβράνη των «ινών προσβολής» σπάζει σε μικρά κομμάτια και δημιουργούνται μικρές κυψελίδες οι οποίες περιέχουν 1-2 ριζόβια και έτσι μετά την απελευθέρωση τους αυτά εξακολουθούν να περιβάλλονται από μεμβράνη. Μέσα στη μεμβράνη συνεχίζεται για λίγο ο πολλαπλασιασμός των ριζοβίων, τα οποία στη συνέχεια μεταμορφώνονται σε βακτηριοειδή. Αυτά διαφέρουν μορφολογικά από τα κύτταρα των ελεύθερων ζώντων ριζοβίων και μόνον αυτά έχουν την ικανότητα να ανάγουν το ατμοσφαιρικό άζωτο σε αμμωνιακά ιόντα. Από το σύνολο των κυττάρων των φυματίων μόνο το 20-50% είναι μολυσμένα με ριζόβια και σ' αυτά γίνεται η αζωτοδέσμευση.

Η επαφή των ριζικών τριχιδίων με τους nod-παράγοντες ενεργοποιεί την έκφραση ειδικών γονιδίων στα φυτά που οδηγεί στην παραγωγή μιας ομάδας πρωτεϊνών οι οποίες ονομάζονται νοντουλίνες. Οι πλέον άφθονες από αυτές είναι οι λεγκαιμογλοβίνες. Οι γενετικές πληροφορίες βιοσύνθεσης της λεγκαιμογλοβίνης βρίσκονται στο DNA των φυτών, αλλά δεν εκφράζονται απουσία των ριζοβίων. Τα βακτηριοειδή βρίσκονται εμβαπτισμένα στη λεγκαιμογλοβίνη, η παρουσία της οποίας εξασφαλίζει χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου, ώστε να μην αναστέλλεται η δράση της νιτρογενάσης (του ενζύμου που καταλύει τη δέσμευση του αζώτου). Η χαμηλή όμως αυτή συγκέντρωση του οξυγόνου είναι ικανοποιητική για την αναπνοή των βακτηριοειδών.

Στη λεγκαιμογλοβίνη οφείλεται το κόκκινο χρώμα που παρουσιάζουν εσωτερικά τα φυμάτια. Εμφανίζεται από την αρχή σχεδόν της δημιουργίας των φυματίων και η παρουσία της είναι ένδειξη αζωτοδέσμευσης. Συνεπώς σε φυμάτια χωρίς κόκκινο χρώμα δε γίνεται αζωτοδέσμευση.

2.4 Μέγεθος, σχήμα και αφθονία φυματίων

Διάφοροι μορφολογικοί τύποι και μεγέθη φυματίων έχουν καταγραφεί στα ψυχανθή και τοποθετούνται σε δύο κατηγορίες: τα σφαιρικά που έχουν περιορισμένη ανάπτυξη και τα επιμήκη που παρουσιάζουν συνεχιζόμενη ανάπτυξη. Το είδος της ανάπτυξης των φυματίων εξαρτάται από το είδος του μεριστώματος που τα δημιουργεί. Εάν στο μερίστωμα σταματήσει νωρίς η κυτταροδιαίρεση, τα φυμάτια παίρνουν σφαιρική μορφή, εάν όμως το μερίστωμα είναι ενεργό για μεγάλο χρονικό διάστημα τα φυμάτια γίνονται επιμήκη. Διάφορες μεταξύ των ειδών των ψυχανθών παρατηρούνται και ως προς την κατανομή των φυματίων στο ριζικό σύστημα.

Μελέτες έχουν δείξει ότι ο τύπος των παραγομένων φυματίων καθορίζεται από το φυτό ξενιστή και όχι από τα ριζόβια. Στη σόγια και στον αρακά για παράδειγμα τα φυμάτια έχουν σχήμα σφαιρικό, στην αραχίδα στρογγυλό σιαμαίο, στα κουκιά ελαφρώς επίμηκες, στη μηδική είναι διχαλωτά και μικρά. Ο αριθμός των φυματίων που σχηματίζονται εξαρτάται τόσο από το γενότυπο του φυτού και του ριζοβίου όσο και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η ποσότητα του αζώτου που δεσμεύεται δεν είναι ανάλογη του αριθμού των σχηματισμένων φυματίων, γιατί ρόλο στην αζωτοδέσμευση παίζει η δραστηριότητα των φυματίων.

2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό φυματίων και την αζωτοδέσμευση

2.5.1 Οξύτητα και αλατότητα του εδάφους

Ο σχηματισμός φυματίων και η αζωτοδέσμευση παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στην οξύτητα του εδάφους. Γενικά, ο σχηματισμός φυματίων ευνοείται από την υψηλή συγκέντρωση ασβεστίου στο έδαφος και μειώνεται σε $\text{pH} < 5$ στα περισσότερα είδη ψυχανθών ακόμη και στα λούπινα, τα οποία θεωρούνται σχετικά ανθεκτικά στην οξύτητα. Οι ανάγκες μάλιστα σε Ca είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες που απαιτούνται για την κανονική ανάπτυξη και απόδοση των φυτών. Η δυσμενής επίδραση της οξύτητας στην αζωτοδέσμευση προκύπτει από: α) περιορισμένη επιβίωση των ριζοβίων, β) παρεμπόδιση τη πορείας σχηματισμού των φυματίων, γ) παρεμπόδιση της λειτουργικότητας των φυματίων, κυρίως από την έλλειψη Mo (Jayasundara et. al., 1998). Ειδικότερα, η δυσμενής επίδραση της οξύτητας στην ανάπτυξη των ριζοβίων, οφείλεται κυρίως στην υψηλή συγκέντρωση στο έδαφος H^+ , Al και στη χαμηλή P και Ca. Η σημαντική δε γενετική διαφοροποίηση που

παρουσιάζεται στην ανάπτυξη μεταξύ των ριζοβίων, στις συγκεντρώσεις των προηγούμενων στοιχείων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την επιλογή γενοτύπων με ικανότητα ανάπτυξης στα όξινα εδάφη. Από την οξύτητα του εδάφους επηρεάζεται κυρίως η έναρξη σχηματισμού των φυματίων, η οποία αποδίδεται στη δυσκολία προσκόλλησης των ριζοβίων στα ριζικά τριχίδια και προσβολής των ριζών, καθώς και στην παρεμπόδιση της έκφρασης των pod-γονιδίων. Ο Howieson (1995) αναφέρει ότι η αντοχή στη συμβίωση σε συνθήκες οξύτητας του εδάφους η οποία προέρχεται από το φυτό-ξενιστή σε ορισμένα είδη (π.χ. μηδική) οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ικανότητα των φυτών να παράγουν pod-γονίδια και σταθερά εκκρίματα από τις ρίζες, που είναι απαραίτητα για την προσκόλληση των ριζοβίων. Η ανάπτυξη των φυματίων τα οποία ήδη άρχισαν να σχηματίζονται μάλλον δεν επηρεάζεται από την οξύτητα, όπως και η δράση της νιτρογενάσης δεν παρουσιάζει σημαντική μείωση.

Η ανάπτυξη των φυματίων καθώς και η αζωτοδέσμευση εμποδίζονται από την έλλειψη Mo που συνήθως παρατηρείται στα όξινα εδάφη. Το μολυβδαίνιο είναι συστατικό πολλών ενζύμων, συμπεριλαμβανομένης και της νιτρογενάσης. Οι ανάγκες σε Mo στα φυμάτια είναι πολλαπλάσιες απ' ό,τι σε οποιοδήποτε άλλο τμήμα του φυτού.

Η υψηλή συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος (αλατούχα και αλκαλιωμένα εδάφη), επίσης επηρεάζει την αζωτοδέσμευση (Jayasundara et. al., 1998). Μειώνει το σχηματισμό και το ξηρό βάρος των φυματίων και την ποσότητα του δεσμευμένου αζώτου. Η επιβίωση των ριζοβίων στο έδαφος δεν είναι πολύ ευαίσθητη στην αλατότητα του εδάφους. Η παρεμπόδιση του σχηματισμού φυματίων οφείλεται κυρίως στη μείωση του αριθμού και της πλάγιας ανάπτυξης των ριζικών τριχιδίων, στη δυσκολία δημιουργίας των «ανών προσβολής» και σε παρεμπόδιση της συστροφής του άκρου των ριζικών τριχιδίων. Από τη στιγμή που θα εγκατασταθεί το σύστημα της συμβίωσης, η επίδραση της αλατότητας είναι ίδια τόσο για τα φυτά που «αζωτοδεσμεύουν» όσο και για εκείνα που καλύπτουν τις ανάγκες τους από το άζωτο του εδάφους. Σημαντικό ρόλο συνεπώς στην αποτελεσματική αζωτοδέσμευση αποτελεί η αντοχή του φυτού-ξενιστή στην αλατότητα. Στα αλκαλικά εδάφη η συμβίωση επηρεάζεται από τη μειωμένη διαθεσιμότητα ορισμένων μικροστοιχείων που είναι συνηθισμένη σε αυτά τα εδάφη. Η έλλειψη σιδήρου στο λούπινο για παράδειγμα, μείωσε τόσο τον σχηματισμό φυματίων όσο και την αζωτοδέσμευση, καθόσον ο σίδηρος αποτελεί συστατικό στοιχείο της νιτρογενάσης και της λεγκαιμογλοβίνης (Tang et al., 1990). Η έλλειψη βορίου βρέθηκε ότι μείωσε την ανάπτυξη φυματίων στα κουκιά (Robson, 1988).

2.5.2. Περιεκτικότητα του εδάφους σε άζωτο

Σε εδάφη πλούσια σε άζωτο, παρατηρείται μικρή ή καθόλου δέσμευση αζώτου από τα αζωτοβακτήρια. Η αναστολή της αζωτοδέσμευσης εκφράζεται κυρίως στα πρώτα στάδια της κατάστασης της συμβίωσης. Ο τρόπος που δρα το N του εδάφους στην αναστολή της αζωτοδέσμευσης δεν είναι πλήρως γνωστός. Η εφαρμογή νιτρικού αζώτου στο έδαφος μπορεί να περιορίσει τη συγκέντρωση ριζοβίων στα ριζικά τριχίδια, να μειώσει τις λεκτίνες στην επιφάνεια των ριζικών τριχιδίων, να περιορίσει την ανάπτυξη των ριζικών τριχιδίων και την συστροφή των άκρων τους, να εμποδίσει την ανάπτυξη των «ανών προσβολής» και το σχηματισμό των φυματίων και να μειώσει τη δραστηριότητα της νιτρογενάσης (Caelano-Anolles, 1997). Αναστολή όμως της αζωτοδέσμευσης παρατηρείται και στην περίπτωση όπου το άζωτο που αζωτοδεσμεύεται είναι πολύ περισσότερο από εκείνο που χρειάζεται το φυτό. Προς τούτο δραστηριοποιούνται μηχανισμοί στο σύστημα ριζοβίων-φυτού, οι οποίοι δεν είναι πλήρως γνωστοί (Caelano-Anolles, 1997). Σε εδάφη πλούσια σε άζωτο τα φυτά προτιμούν να προσλαμβάνουν το διαθέσιμο άζωτο του εδάφους και τα ριζόβια δεν ενθαρρύνονται στην αζωτοδεσμευτική τους δράση. Μεταξύ των γενοτύπων των ψυχανθών καθώς και των στελεχών των ριζοβίων υπάρχουν γενετικές διαφορές ως αναφορά την ικανότητα αζωτοδέσμευσης σε υψηλές συγκεντρώσεις NO_3^- στο έδαφος (Belts και Herridge, 1987, Parakosta, 1989, Peoples και Herridge, 1990). Οπότε η αζωτοδέσμευση σε πλούσια σε άζωτο εδάφη μπορεί να αυξηθεί με τον κατάλληλο συνδυασμό στελέχους ριζοβίου-ποικιλίας ψυχανθούς.

2.5.3 Συνεκτικότητα του εδάφους και κατάκλιση

Η συμβιωτική δέσμευση του αζώτου επηρεάζεται δυσμενώς σε συνεκτικά εδάφη λόγω μεταβολής των συνθηκών στο περιβάλλον των ριζών, όπως είναι ο αερισμός και η συγκράτηση νερού. Έμμεσα, στα πολύ συνεκτικά εδάφη, εμποδίζεται ο σχηματισμός φυματίων λόγω μη κανονικής ανάπτυξης των ριζών. Αναφέρεται για παράδειγμα ότι σε συμπιεσμένα εδάφη λόγω της χρησιμοποίησης των καλλιεργητικών μηχανημάτων ο αριθμός των φυματίων στις ρίζες αρακά μειώθηκε κατά 60% (Grath και Hakansson, 1992).

Η κατάκλιση του εδάφους με νερό, επίσης επηρεάζει δυσμενώς την αζωτοδέσμευση, έμμεσα, με τον περιορισμό της ανάπτυξης των ριζών, την καταστροφή των ριζικών τριχιδίων και τον περιορισμό του O του εδάφους που έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη παροχή ενέργειας στα βακτηριοειδή και μειωμένη σύνθεση της νιτρογενάσης (Jayasundara et al., 1998). Τα δεδομένα δε πολλών ερευνών δείχνουν ότι, σε κατακλυζόμενα εδάφη ο σχηματισμός

φυματίων και η λειτουργία της αζωτοδέσμευσης επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με την ανάπτυξη του φυτού-ξενιστή.

Σε ορισμένα είδη που θεωρούνται ανθεκτικά στην κατάκλιση, τα φυμάτια που έχουν ήδη σχηματισθεί πριν από την κατάκλιση, αναπτύσσουν μηχανισμούς με τους οποίους μπορούν να αντιμετωπίσουν εν μέρει την καταπόνηση και να συνεχίσουν την αζωτοδέσμευση, όταν παρέλθει η κατάκλιση.

2.5.4. Λοιποί παράγοντες

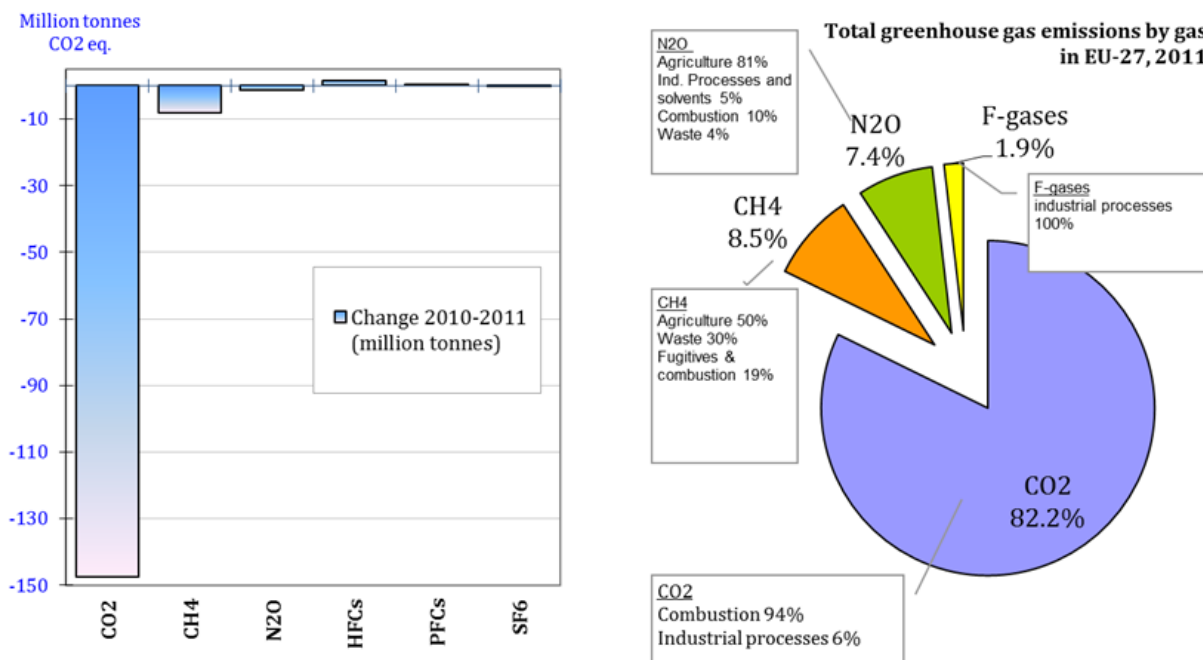
Οι υψηλές θερμοκρασίες, η μειωμένη ένταση φωτισμού, η αποφύλλωση και άλλοι παράγοντες που μειώνουν τη φωτοσύνθεση στα φυτά ξενιστές, έχουν δυσμενή επίδραση στην αζωτοδέσμευση, λόγω μείωσης παροχής υδατανθράκων στα ριζόβια. Μείωση της αζωτοδέσμευσης αναφέρεται και σε εδάφη με έλλειψη υγρασίας. Ο Carranca και οι συνεργάτες του (1999), αναφέρουν ότι σε μεσογειακό κλίμα τα κουκιά αζωτοδέσμευσαν 7,6-12,5 kg N/στρ., όταν η κατανομή των βροχοπτώσεων ήταν κανονική και 5,5-7,2 kg N/στρ. σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας. Οι τιμές που βρέθηκαν για το μπιζέλι ήταν 3,1-10,7 kg N/στρ. και 0,4-3,7 kg N/στρ., αντίστοιχα. Ανάμεσα στα διάφορα είδη αζωτοβακτηρίων, παρατηρούνται διαφορές ως προς την αντοχή στην ξηρασία.

Ορισμένα ριζόβια είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην επίδραση φυτοφαρμάκων (εντομοκτόνα εδάφους, απολυμαντικά σπόρων ζιζανιοκτόνα). Επίσης, τα φυτοφάρμακα μειώνουν και το σχηματισμό των φυματίων. Απολύμανση του εδάφους και εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων αρκετά πριν από τη σπορά, μειώνει τις δυσμενείς επιδράσεις.

Την αζωτοδέσμευση, εκτός από το άζωτο την επηρεάζουν και άλλα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους. Βρέθηκε ότι για την αυτοδέσμευση χρειάζονται μεγαλύτερες ποσότητες σιδήρου και κοβαλτίου από ότι για την ανάπτυξη των φυτών. Η έλλειψη κοβαλτίου μειώνει την αζωτοδέσμευση επηρεάζοντας τόσο τον πολλαπλασιασμό των ριζοβίων όσο και το σχηματισμό των φυματίων. Επίσης, σε συνθήκες έλλειψης κοβαλτίου βρέθηκε μειωμένη δραστηριότητα των ενζύμων που συμμετέχουν στην αζωτοδέσμευση. Η έλλειψη σιδήρου μειώνει το σχηματισμό των φυματίων και τη δραστηριότητα της νιτρογενάσης. Η έλλειψη χαλκού επηρεάζει την αζωτοδέσμευση μειώνοντας το βάρος των φυματίων.

3. Αέρια του θερμοκηπίου και γεωργία

Τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) που συμβάλλουν στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) και το μεθάνιο (CH₄). Σύμφωνα με τους Schulze et al., (2009), το CO₂ είναι το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου προερχόμενο από ανθρώπινη δραστηριότητα (Διάγραμμα 1). Πάραυτα, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από τον τομέα της γεωργίας, τα οποία συμβάλλουν σε ποσοστό μέχρι και 12% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως, αποτελούνται κυρίως από N₂O και CH₄ (Smith et al., 2007). Το 2015, σε όλο τον κόσμο διατέθηκαν 160 εκατομμύρια τόνοι αμμωνίας (ως N) (FAO, <http://faostat.fao.org/>, 2015). Στις περισσότερες καλλιέργειες δημητριακών το άζωτο που χρησιμοποιείται είναι συνήθως κάτω από 40%. Το υπόλοιπο 60% χάνεται μέσω της έκπλυσης και της απονιτροποίησης, που οδηγεί σε εκπομπές N₂O (Canfield et al., 2010), μια χημική ένωση σε αέρια μορφή με δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) περίπου 300 φορές μεγαλύτερο από ό, τι το διοξείδιο του άνθρακα (Myhre et al., 2013). Ακόμα, το υποξείδιο του αζώτου θεωρείται τον 21ο αιώνα ως η σημαντικότερη ένωση που καταστρέφει το Όζον (Ravishankara et al., 2009).



Διάγραμμα 1. Η συμβολή της γεωργίας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

3.1 Ψυχανθή και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Καλλιεργούμενα ψυχανθή, όπως ο αρακάς και τα κουκιά, έχουν την ικανότητα να δεσμεύσουν το ατμοσφαιρικό N μέσω των συμβιωτικών σχέσεων μεταξύ των βακτηρίων του εδάφους (rhizobia) και της ρίζας των φυτών (Brady, 1984). Μετά τη συγκομιδή αυτών των καλλιεργειών για ξηρό σπόρο, η υπέργεια βλαστική βιομάζα που απομένει έχει υψηλή περιεκτικότητα σε N και C, που είναι σημαντική για την αύξηση της γονιμότητας του εδάφους για την επομένη καλλιέργεια εάν παραμείνει στο έδαφος (Snyder et al., 2009, Peoples et al., 2009). Η χρήση αυτή του φυτικού υλικού από ψυχανθή μπορεί να επιτρέψει την μείωση χρήσης ορυκτών αζωτούχων λιπασμάτων και να συμβάλει στον εμπλουτισμό του εδάφους με διοξείδιο του άνθρακα (Piccolo, 2012), ενώ παρόμοια με τα αζωτούχα λιπάσματα, τα ψυχανθή μπορούν να διεγείρουν σε μεγάλο βαθμό την μικροβιακή δραστηριότητα στο έδαφος, που έχει σαν αποτέλεσμα την εκπομπή αερίων CO₂, CH₄, και N₂O μέσω της απονιτροποίησης και νιτροποίησης, λόγω της εισαγωγής πρόσθετων ποσοτήτων N και C στο αγροτικό σύστημα (Lurwayi et al., 2007). Ωστόσο, το N που δεσμεύεται από τα ψυχανθή παράγεται με ηλιακή ενέργεια, ενώ το συνθετικό N για να παραχθεί απαιτεί μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Cherkason et al., 2015), για να μεταφερθούν και να εφαρμοστούν στον χώρο (Lurwayi et al., 2007) και αποτελούν μια λιγότερο βιώσιμη εναλλακτική λύση. Ακόμα, τα συστήματα καλλιέργειας, συμπεριλαμβανομένων των ψυχανθών σε συστήματα εναλλαγής καλλιεργειών (αμειψισπορά), χαρακτηρίζονται από αυξημένη δέσμευση άνθρακα στα εδάφη (Poerlau et al., 2015). Κατά συνέπεια, οι απώλειες αερίων από καλλιέργειες ψυχανθών, πριν και κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας πιστεύεται ότι είναι χαμηλές, αλλά οι απώλειες N μετά τη συγκομιδή, ιδιαίτερα του N₂O-N, μπορεί να είναι υψηλότερες λόγω της αποσύνθεσης των υπολειμμάτων των ψυχανθών (Rochette et al., 2005).

3.2 Παραδοσιακές ποικιλίες και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Παρ' όλα αυτά, το επίπεδο έντασης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από καλλιέργειες ψυχανθών εξαρτάται στενά από τα είδη και τις ποικιλίες/ παραδοσιακές ποικιλίες που εξετάζονται, ενώ η πραγματική σχέση μεταξύ των εκπομπών αερίων και των αποδόσεων δεν έχει πλήρως διευκρινιστεί (Pappa et al., 2011). Οι παραδοσιακές ποικιλίες είναι πληθυσμοί καλλιεργούμενων ειδών που αναπτύχθηκαν από τους γεωργούς και εμφανίζονται μεταξύ και μέσα στη διαφορετικότητα του πληθυσμού (Negri, 2005). Οι διαθέσιμες σήμερα παραδοσιακές ποικιλίες, συχνά χρησιμοποιούνται παράλληλα από περισσότερους από έναν

αγρότες (Bellucci et al., 2013), διατηρώντας έτσι το μεγαλύτερο μέρος της γενετικής ποικιλότητας των ειδών (Camacho Villa et al., 2005). Ως εκ τούτου, οι παραδοσιακές ποικιλίες μπορούν να αποτελέσουν σημαντικούς γενετικούς πόρους για την προσαρμοστικότητα των χαρακτηριστικών τους (Bertoldo et al., 2014) και είναι εξαιρετικό υλικό για να χρησιμοποιηθεί ως δότης πολύτιμων χαρακτηριστικών στη βελτίωση για τη δημιουργία τοπικά προσαρμοσμένων ποικιλιών με υψηλές αποδόσεις και αντοχή στις περιβαλλοντικές καταπονήσεις (Hedge et al., 2009). Πράγματι, η ενσωμάτωση των χαρακτηριστικών που μας ενδιαφέρουν σε προγράμματα βελτίωσης θα μπορούσε να συμβάλει στη βελτίωση της προσαρμοστικότητας των καλλιεργειών σε αρκετές περιβαλλοντικές καταπονήσεις και γεωργικές πρακτικές και να ενισχύσει την παραγωγικότητα (Hamidou et al., 2007).

3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

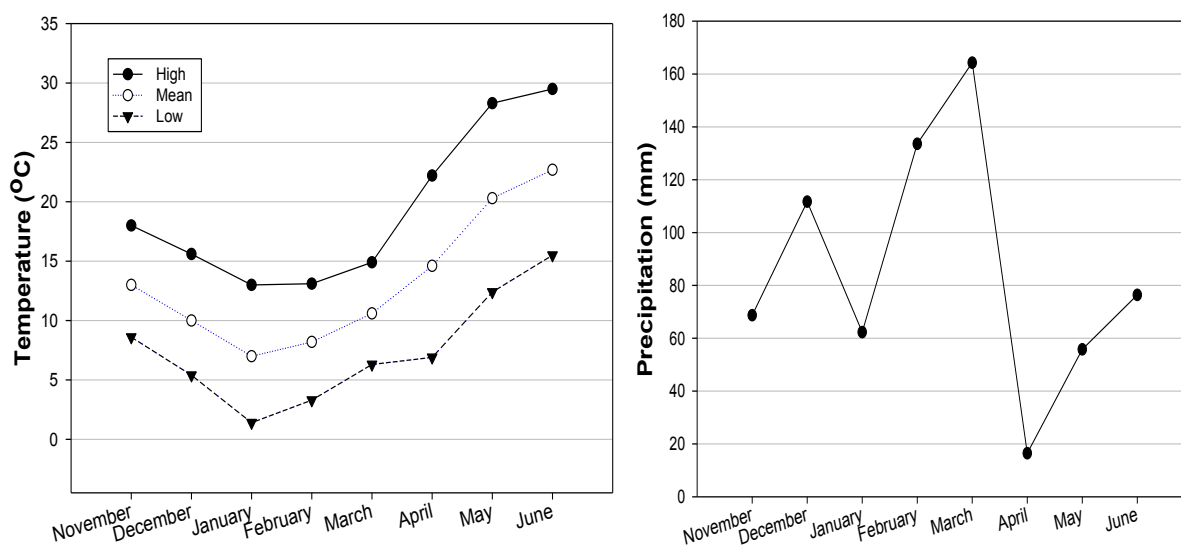
Οι εκπομπές των αερίων από συστήματα καλλιέργειας μπορεί να επηρεαστούν από τις καλλιεργητικές τεχνικές, δηλαδή τη διαχείριση των υπολειμμάτων των ψυχανθών στην καλλιέργεια, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν στα εδάφη, να αφεθούν στην επιφάνεια ή να αφαιρεθούν από τον αγρό. Ακόμα, η βιοχημική σύνθεση των καταλοίπων (Trinsoutrot et al., 2000), τα είδη των ψυχανθών που χρησιμοποιούνται (Bergkvist et al., 2011), η ποσότητα του νερού, η θερμοκρασία του εδάφους και τα χαρακτηριστικά του εδάφους είναι ακόμα πολύ σημαντικοί παράγοντες που συμμετέχουν στην αποσύνθεση (Cabrera et al., 2005) και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι εκπομπές αερίων. Δεδομένου ότι υπάρχουν πολύ περιορισμένες πληροφορίες σχετικά με τα ζητήματα που αφορούν τις μεσογειακές συνθήκες, η διερεύνηση τους παραμένει όχι μόνο σχετικό αλλά και ουσιαστικό ζήτημα που συνδέεται με τη βιωσιμότητα των σημερινών αγροτικών συστημάτων υπό την επίδραση των ειδικών αγροκλιματικών συνθηκών.

Υλικά και μέθοδοι

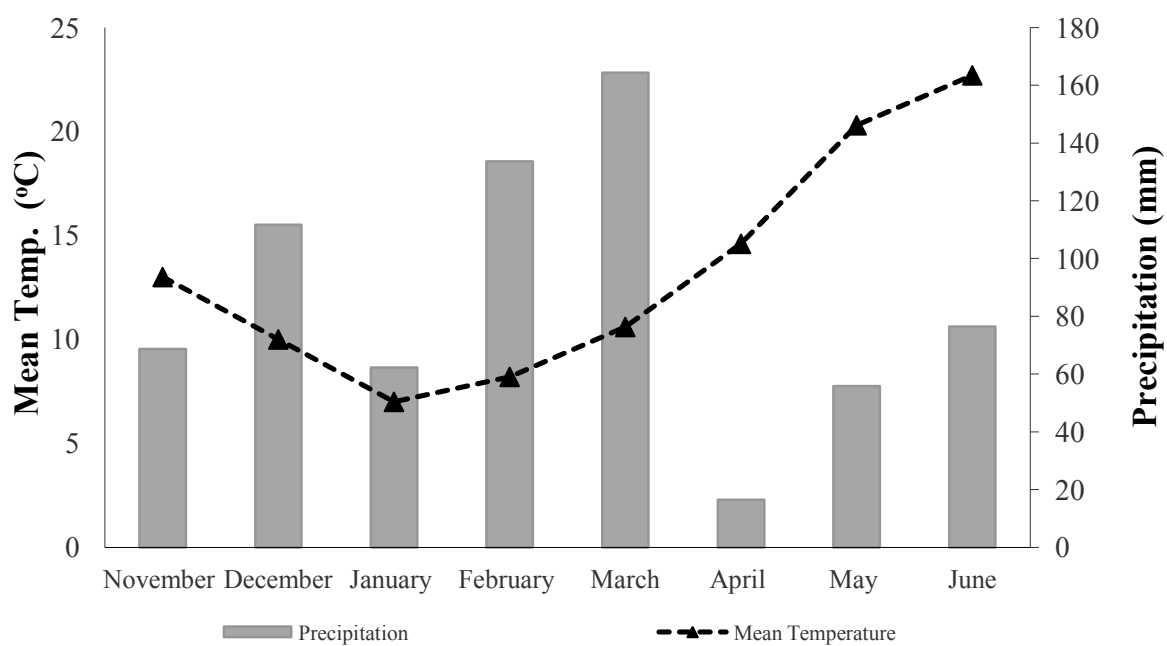
4. Πειραματικός αγρός – Πειραματικό σχέδιο

Πραγματοποιήθηκε πείραμα αγρού στον πειραματικό σταθμό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, στην περιοχή της Κωπαΐδας (Αλιάρτος) στην κεντρική Ελλάδα (38°23'51''N, 23°05'41''E, 95m a.s.l.) το 2014-2015. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους ήταν: 30,7% άμμο, 25,6% ιλύ, 43,7% άργιλο, pH 8,12, CaCO₃ 14,96%, οργανική ουσία 10,83% και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) 0.75 mS cm⁻¹. Οι χημικές ιδιότητες του εδάφους πριν από την καλλιέργεια ήταν οι εξής: Φώσφορος (P): 137,23 kg ha⁻¹, Κάλιο (K): 254,00 kg ha⁻¹, 17.95 kg ha⁻¹ (NO₃-N) και 20,30 kg HA⁻¹ (NH₄-N). Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από ζεστά-ξηρά καλοκαίρια και χειμώνες με μέτριες βροχοπτώσεις και πιθανότητα εμφάνισης παγετού κατά τους ψυχρότερους μήνες του έτους (Δεκέμβριος-Φεβρουάριος).

Η θερμοκρασία και οι βροχοπτώσεις κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2 και 2.1. Το συνολικό ύψος των βροχοπτώσεων σε όλη την καλλιεργητική περίοδο (Νοέμβριος 2014-Ιούνιος 2015) ανήλθαν σε 689,3 χιλιοστά.



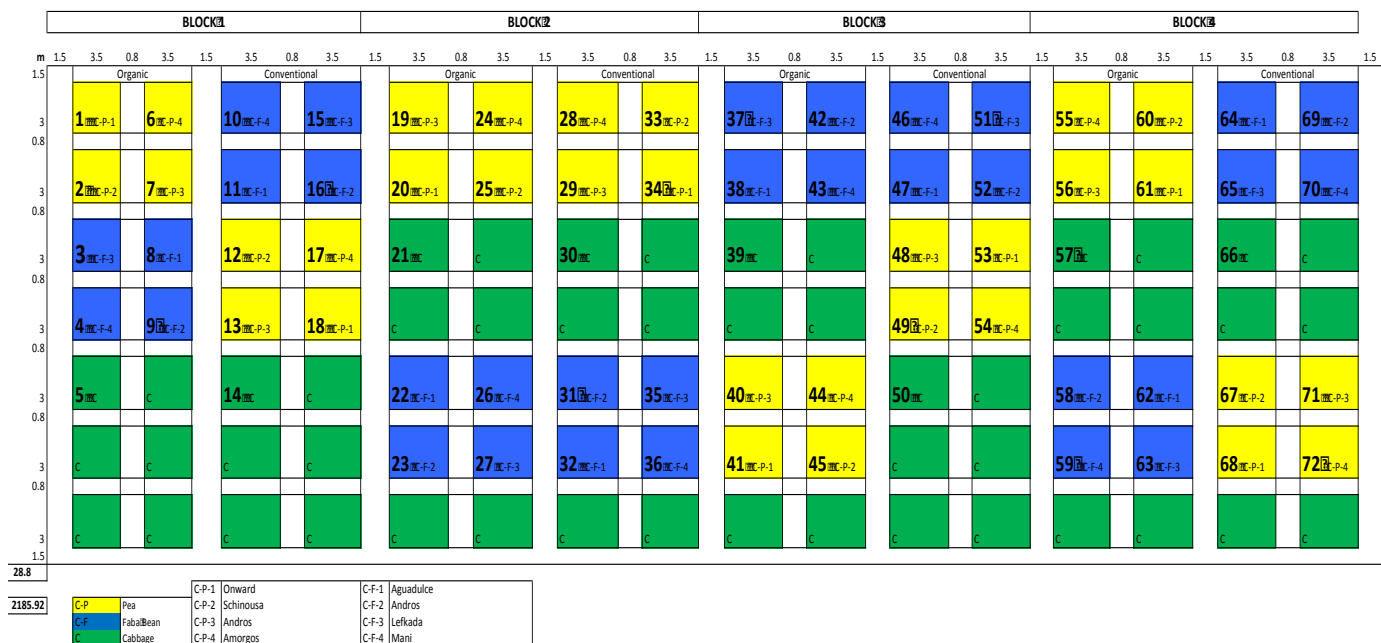
Διάγραμμα 2. Θερμοκρασίες (μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές σε °C) και ύψος βροχοπτώσεων στην περιοχή της πειραματικής διαδικασίας κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Νοέμβριος 2014-Ιούνιος 2015).



Διάγραμμα 2.1. Θερμοκρασία και ύψος βροχοπτώσεων στην περιοχή της πειραματικής διαδικασίας κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Νοέμβρης 2014-Ιούνιος 2015).

Το πειραματικό σχέδιο (Σχήμα 1) ήταν τυχαίοποιημένο πλήρων ομάδων, με τέσσερις επαναλήψεις, με δύο κύριες μεταχειρίσεις (συμβατικό και βιολογικό σύστημα καλλιέργειας) και τέσσερα υπό-τεμάχια για κάθε είδος. Το εμβαδόν των υπό-τεμαχίων ήταν 10,5 m². Στο συμβατικό και στο βιολογικό σύστημα καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκαν 57 kg ha⁻¹ και 7,6 τόνοι ha⁻¹, λιπασμάτων (11:15:15, N: P₂O₅: K₂O) και πρόβεια κοπριά αντίστοιχα, τα οποία ενσωματώθηκαν στο έδαφος πριν από τη σπορά. Η πρόβεια κοπριά που εφαρμόστηκε περιείχε 1.64% ολικό άζωτο (N), 0.70% φωσφόρο (P), 2.51% κάλιο (K), 6.73% ασβέστιο (Ca) και 0,94% μαγνήσιο (Mg), επί του ξηρού βάρους. Εφαρμόστηκε το προφυτρωτικό ζιζανιοκτόνο, με δραστική ουσία την Πεντιμεθαλίνη (Stomp Aqua, 455 CS BASF), αμέσως μετά την σπορά σε δοσολογία 1.137 kg δ.σ. ha⁻¹ και μόνο για τα συμβατικά τεμάχια.

Η προετοιμασία του εδάφους έγινε σύμφωνα με τις γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζονται για τις καλλιέργειες ψυχανθών. Αυτές περιλαμβάνουν όργωμα του εδάφους σε βάθος 20-30 cm που ακολουθείται από φρεζάρισμα σε βάθος 10-15 cm. Η σπορά έγινε με το χέρι σε βάθος 2-3 cm, στις 20 Νοεμβρίου 2014. Οι αποστάσεις φύτευσης στον αρακά ήταν 0,15× 0,10m και στα κουκιά 0,15 × 0,35m, σε τεμάχια με εμβαδόν 3,00m × 3,50m (10.5m²).



Σχήμα 1. Πειραματικό σχέδιο

4.1 Φυτικό υλικό

Καλλιεργήθηκαν προς μελέτη και συγκριτική αξιολόγηση τρεις παραδοσιακές ποικιλίες αρακά (*Pisum sativum* L.) από διάφορες περιοχές της Ελλάδας, Σχοινούσα, Άνδρο (Εξω Βουνί), Αμοργό και τρεις παραδοσιακές ποικιλίες κουκιών (*Vicia faba* L.) από Άνδρο (Μακροτάνταλο), Λευκάδα (Κομηλιό) και Μάνη Καλαμάτας, όπως επίσης και μια εμπορική ποικιλία για το κάθε είδος (*Pisum sativum* cv Onward και *Vicia faba* cv Aguadulce). Αντικείμενα μελέτης και συγκριτικής αξιολόγησης ήταν η παραγωγικότητα, όσον αφορά λαχανοκομικές πρακτικές (νωπούς λοβούς, νωπούς σπόρους), επίσης και σε ξηρό σπόρο, η ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης (BNF) και οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (CH₄, CO₂, N₂O) από το έδαφος. Η αξιολόγηση των παραπάνω πραγματοποιήθηκε σε δύο διαφορετικά συστήματα καλλιέργειας, βιολογικό και συμβατικό.

4.2 Χάραξη πειραματικού αγρού – Σπορά

Στις 20 Νοεμβρίου του 2014 πραγματοποιήθηκε η χάραξη του πειραματικού αγρού, καθώς και η σπορά των εμπορικών και παραδοσιακών ποικιλιών (Εικόνα 7). Για τη οριοθέτηση του πειραματικού αγρού χρησιμοποιήθηκαν ξύλινοι πάσσαλοι, σπάγκος και μεζούρα, για τον ακριβή σχεδιασμό του πειράματος. Η πυκνότητα φύτευσης ήταν 67 και 22 φυτά ανά m² για τον αρακά και κουκιά αντίστοιχα. Η σπορά έγινε με το χέρι σε βάθος 2-3 cm, στις 20 Νοεμβρίου 2014. Οι αποστάσεις φύτευσης στον αρακά ήταν 0,15× 0,10m και στα κουκιά 0,15 × 0,35m, σε τεμάχια με εμβαδόν 3,00m × 3,50m (10.5m²). Επίσης, την ίδια ημέρα έγινε και η εφαρμογή της βασικής λίπανσης, στις ποσότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 7. Πειραματικός αγρός μετά από την χάραξη, λίπανση και την σπορά.

4.3 Ψεκασμοί – Καλλιεργητικές περιποιήσεις

Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας υπήρξε προσβολή από Ασκοχύτωση στα κουκιά και λιγότερο στον αρακά, όπως επίσης αντίθετα υπήρξε μεγαλύτερη προσβολή από αφίδες στον αρακά και μικρότερη στα κουκιά. Χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω σκευάσματα και στις εξής ημερομηνίες:

- 30/4/15 έγινε ψεκασμός για την καταπολέμηση της Ασκοχύτωσης στα κουκιά, με Ortiva 25 SC της Syngenta, για τις συμβατικές μεταχειρίσεις
- 2/5/15 έγινε ψεκασμός για την καταπολέμηση των αφίδων στον αρακά, με Decis 2,5 EC της Bayer για τις συμβατικές μεταχειρίσεις και το σκεύασμα AGRICOLLE της BIO INCECTA για τις βιολογικές μεταχειρίσεις.

Την ίδια ημερομηνία εφαρμόστηκε βορδιγάλειος πολτός για περιορισμό και προστασία από την Ασκοχύτωση στα κουκιά των βιολογικών μεταχειρίσεων.

Ακόμη, υπήρξε ανάγκη καταπολέμησης των ζιζανίων. Πραγματοποιήθηκαν σκαλίσματα και βοτανίσματα.

4.4 Δειγματοληψίες εδάφους

Για την συλλογή των δειγμάτων εδάφους χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι δειγματοληπτών.

1) Δειγματολήπτης εδάφους με ποδοστήριο μήκους 1m, βάθους δειγματοληψίας 36cm, διαμέτρου 2,5cm και όγκου δείγματος 170ml. Χρησιμοποιήθηκε μόνο για συλλογή δειγμάτων εδάφους (Εικόνα 8).

2) Δειγματολήπτης εδάφους και ριζικού συστήματος, αδιατάρακτου δείγματος και κυλινδρικού σχήματος. Χρησιμοποιήθηκε για την συλλογή δειγμάτων εδάφους και ριζών, που στη συνέχεια διαχωρίζονταν και γινόταν η καταμέτρηση των φυματίων (Εικόνα 8).

Συλλέχθηκαν δείγματα εδάφους από βάθος 0-30 cm, σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης:

α) στο στάδιο της ανθοφορίας BNF (20/4/2015) και β) κατά την τελική συγκομιδή (24/6/2015).



Εικόνα 8. Δειγματολήπτες εδάφους (1 και 2)

4.4.1 Μέθοδος εκχύλισης εδαφικών δειγμάτων για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων NO_3^- και NH_4^+

Τα δείγματα εδάφους που συλλέχθηκαν αναμίχθηκαν προσεκτικά και κοσκινίστηκαν μέσω ενός μεταλλικού κόσκινου (2 mm), τα οποία με την σειρά τους εκχυλίστηκαν με 1M KCl, για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων NO_3^- και NH_4^+ . 10 g κοσκινισμένου χώματος προστέθηκαν σε κωνικές φιάλες των 250 ml, εις διπλούν για κάθε δείγμα και 50 ml 1 M διαλύματος χλωριούχου καλίου (KCl) και στη συνέχεια ανακινήθηκαν για 1 ώρα. Μετά την ανακίνηση, μέρος του εκχυλίσματος μεταφέρθηκαν σε σωληνάρια των 15 ml κατάλληλα για φυγόκεντρο και φυγοκεντρήθηκαν στις 4300 RPM για 10 λεπτά. Τα εκχυλίσματα διηθήθηκαν με διηθητικό χαρτί Whatman No 42 και προστέθηκαν σε ατομικά πλαστικά φιαλίδια (20 ml) και αποθηκεύτηκαν στους -20°C πριν από την ανάλυση (Εικόνα 9). Οι συγκεντρώσεις NO_3^- και NH_4^+ στα εκχυλίσματα των δειγμάτων μετρήθηκαν με φασματοσκοπία UV / VIS στα 540 και 636 nm, αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας το φασματοφωτόμετρο (Anthos Zenyth 200? Biochrom, Εικόνα 10) με microplate 96 θέσεων. Η συγκέντρωση νιτρικών (NO_3^-) στο εκχυλισμένο διάλυμα εδάφους προσδιορίστηκε με την μέθοδο των στηλών επιχαλκωμένου καδμίου (διαδικασία Griess-Ilsovy), όπως περιγράφεται από τους Page et al., κατά το στάδιο της ανθοφορίας και το στάδιο της συγκομιδής.

Κατά τις ίδιες ημερομηνίες δειγματοληψίας, ο προσδιορισμός NH_4^+ σε εκχυλισμένα δείγματα εδάφους προσδιορίστηκε με την μέθοδο της ινδοφαινόλης (indophenol blue method). Ο προσδιορισμός του διαθέσιμου εδαφικού φωσφόρου εκτιμήθηκε με την μέθοδο Olsen.

4.4.2 Προσδιορισμός των νιτρικών στο έδαφος με την μέθοδο του καδμίου

Αρχή της μεθόδου

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, τα νιτρικά NO_3^- του εδαφικού εκχυλίσματος προσδιορίζονται, μετά την αναγωγή τους σε NO_2^- , που πραγματοποιείται με την διέλευση τους από την στήλη επιχαλκωμένου καδμίου παρουσία NH_4Cl και pH μεταξύ 5 και 10. Στη συνέχεια προσδιορίζονται χρωματομετρικά, μετρώντας την ένταση του αζωχρωμοφόρου (azo-chromophore), η οποία είναι ανάλογος της ποσότητας των NO_3^- στο έδαφος και η οποία προέκυψε από την προσθήκη σουλφαναμιίνης και N-1-ναφθυλαιθυλενοδιαμίνης (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine) στα σε NO_2^- .

Μέθοδος προσδιορισμού

Σκεύη

- Προχοϊδες διαμέτρου 1cm και μήκους 30cm
- Ογκομετρικές φιάλες των 100ml
- Κωνικές φιάλες των 250ml
- Φασματοφωτόμετρο U.V.

Αντιδραστήρια

1. Διάλυμα KCl 2M

1500g στερεού KCl διαλύονται σε 8lt νερού και στην συνέχεια αραιώνονται σε 10lt.

2. Επιχαλωμένο κάδμιο

20g Cd (χοντρή σκόνη ή κόκκοι) διαμέτρου 1mm και μήκους 2mm ή και μικρότερα, αναμιγνύονται με 250ml HCl 6N για 1 λεπτό. Μετά την απομάκρυνση του HCl, το Cd ξεπλένεται διεξοδικά με απιονισμένο νερό. Οι κόκκοι του Cd αναμιγνύονται στη συνέχεια με διάλυμα 250ml, 2% (κ.β/όγκο) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ και το Cd ξεπλένεται διεξοδικά με απιονισμένο νερό, έως ότου το απιονισμένο νερό εξέρχεται διαυγέστατο. Στη συνέχεια το επιχαλωμένο Cd τοποθετείται στις στήλες αναγωγής (προχοϊδες).

3. Πυκνό διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου (NH_4Cl)

100g NH_4Cl αραιώνονται σε 500ml απιονισμένου νερού και διατηρείται σε γυάλινο ή πλαστικό δοχείο.

4. Αραιό διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου (NH_4Cl)

50g πυκνού NH_4Cl αραιώνονται σε 3lt απιονισμένου νερού και διατηρείται σε γυάλινο ή πλαστικό δοχείο.

5. Αντιδραστήρια διαζώτωσης (diazotizing)

0,5g σουλφανιλαμίνης διαλύονται σε 100ml HCl 2,4 M. Το διάλυμα διατηρείται στο ψυγείο στους 4°C .

6. Αντιδραστήριο σύζευξης (coupling)

0,3g (N-(1-naphthyl)-ethylendiamine) hydrochloride σε 100ml HCl 0,12M. Το διάλυμα διατηρείται στο ψυγείο σε αδιαφανή φιαλίδια.

7. Standard διάλυμα νιτρικών NO_3^-

0,3609g KNO_3 διαλύονται σε απιονισμένο νερό και αραιώνονται σε 1lt. Εάν χρησιμοποιείται καθαρό, ξηρό KNO_3 , το διάλυμα περιέχει 50 μg N- NO_3^-/ml . Το διάλυμα διατηρείται στο ψυγείο.

Προετοιμασία της αναγωγικής στήλης

Οι προχοΐδες γεμίζονται με αραιό διάλυμα NH_4Cl και προστίθεται το επιχαλκωμένο Cd μέχρι ύψους 20cm. Πρέπει να εξακριβωθεί ότι οι φυσαλίδες έχουν απομακρυνθεί από τις στήλες επιχαλκωμένου Cd. Απομακρύνεται επίσης και το πλεονάζον διάλυμα NH_4Cl με ρυθμό ροής 8ml/min. Κατά το χρονικό διάστημα που οι στήλες Cd δεν χρησιμοποιούνται, πρέπει να είναι καλυμμένες ως 1cm πάνω από τη στήλη του Cd με αραιό διάλυμα NH_4Cl . Λίγο πριν χρησιμοποιηθούν οι στήλες Cd προστίθεται 1ml πυκνού NH_4Cl (αντιδραστήριο 3) και η στάθμη του υγρού χαμηλώνεται στο ύψος περίπου της στήλης Cd. Στη συνέχεια προστίθενται 75ml αραιού NH_4Cl (αντιδραστήριο 4), έως το στόμιο της προχοΐδας.

Σημείωση!

Για τον χειρισμό του καδμίου είναι απολύτως απαραίτητη η χρήση προστατευτικών γαντιών και πρέπει να γίνεται στην απαγωγό αερίων καθώς πρόκειται για πολύ τοξικό μέταλλο.

Ανάλυση του εκχυλίσματος

Το περίσσιο διάλυμα NH_4Cl απομακρύνεται, έως ότου το διάλυμα στην προχοΐδα καλύπτει μόλις την κορυφή της στήλης. 1ml πυκνού διαλύματος NH_4Cl (αντιδραστήριο 3) προστίθεται στη στήλη Cd, καθώς και 2ml εκχύλισμα εδάφους του οποίου η περιεκτικότητα σε N- NO_3^- δεν υπερβαίνει τα 20 μg (όριο ανίχνευσης της μεθόδου). Το εκχύλισμα διέρχεται από τη στήλη επιχαλκωμένου Cd και καταλήγει σε ογκομετρική φιάλη των 100ml, ενώ προστίθεται συνεχώς διάλυμα αραιού NH_4Cl από την κορυφή μέχρι συνολικού τελικού όγκου 90ml. Στη συνέχεια ξεπλένεται το εσωτερικό της στήλης επιχαλκωμένου Cd με 2ml πυκνού NH_4Cl και 75ml αραιού διαλύματος NH_4Cl , προσέχοντας το διάλυμα NH_4Cl να είναι πάντα πάνω από την στήλη Cd. Στη συνέχεια προστίθενται στις ογκομετρικές φιάλες των 100ml, 2ml αντιδραστήριο διαζώτου (diazotizing) και μετά από 5 λεπτά προστίθεται 2ml αντιδραστηρίου coupling. Μετά από παραμονή 20 λεπτών, η ένταση του ροζ χρώματος (εκφραζόμενη σε mg

N- NO₃⁻/ml διαλύματος) μετρίεται στο φασματοφωτόμετρο UV σε μήκος κύματος 540nm. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται με τα standards N- NO₃⁻ τα οποία χρησιμοποιούνται για την καμπύλη βαθμονόμησης του οργάνου. Η καμπύλη βαθμονόμησης προκύπτει χρησιμοποιώντας δείγματα περιεκτικότητας 0,2,4,6,10 και 20μg N- NO₃⁻. Για την προετοιμασία των δειγμάτων αυτών, αραιώνονται 20ml του standard διαλύματος N- NO₃⁻ (αντιδραστήριο 7) σε 500ml KCl 2M και στη συνέχεια προστίθενται 0,1,2,3,5 και 10ml του αραιωμένου standard N- NO₃⁻ στην αναγωγική στήλη επιχαλκωμένου Cd.



Εικόνα 9. Εκχύλιση δειγμάτων εδάφους και στήλες καδμίου (Cd) για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων NO₃⁻.

Υπολογισμός των νιτρικών

Το όργανο βαθμονομείται με τα standards περιεκτικότητας S₁=0,02, S₂=0,06, S₁₀=0.2 μg N- NO₃⁻/ml. Τα υπόλοιπα standards ελέγχουν την καμπύλη βαθμονόμησης. Τα δείγματα στα οποία αναπτύχθηκε το ροζ χρώμα τοποθετούνται στο microplate και αυτό στην ειδικά θέση

του οργάνου, από την οποία διέρχεται η φωτεινή δέσμη και λαμβάνονται οι ενδείξεις. Οι ενδείξεις μπορεί να αφορούν είτε την «ευκολία» με την οποία διέρχεται η φωτεινή δέσμη μέσω του microplate (transmittance), είτε αντίστροφα την απορρόφηση της φωτεινής δέσμης (absorbance). Ο προσδιορισμός των νιτρικών στο ροζ διάλυμα γίνεται με σύγκριση των ενδείξεων των δειγμάτων με αυτές των διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης (standards, π.χ. σε $\mu\text{g/ml}$). Η καμπύλη αναφοράς σχηματίζεται ημιλογαριθμικά. Στην περίπτωση που μετρείται η transmittance, η συγκέντρωση των νιτρικών δίνεται από την ακόλουθη σχέση, που έχει προκύψει από μετρήσεις γνωστών διαλυμάτων:

$$C_{\text{καμπ}} = bI - R/583,2 \text{ (σε } \mu\text{g/ml)}$$

όπου bI : η ένδειξη του διαλύματος, με τη χρήση μόνο των αντιδραστηρίων

R : η ένδειξη των δειγμάτων

Αν $C_{\text{καμπ}}$ είναι η συγκέντρωση των νιτρικών που υπολογίζεται για κάθε δείγμα ($\mu\text{g/ml}$), V_1 είναι ο όγκος του εκχυλιστικού (ml KCl), V_2 ο όγκος των ml που λήφθηκαν από το εκχύλισμα για την αναγωγή σε νιτρώδη, V_3 όγκος της ογκομετρικής (σε ml), στην οποία αναπτύχθηκε το χρώμα, α η αραίωση (αν απαιτείται) και B το βάρος του ξηρού δείγματος εδάφους (σε g) που χρησιμοποιήθηκε κατά την ανάλυση, τότε:

$\mu\text{g N- NO}_3^-/\text{g εδάφους} = C_{\text{καμπ}} (\mu\text{g/ml}) \times V_1(\text{ml}) \times V_3(\text{ml}) \times \alpha / V_2(\text{ml}) \times B(\text{g})$ σε ppm ($\mu\text{g/g}$ ξηρού εδάφους).

4.4.3 Χρωματομετρικός προσδιορισμός του αμμωνιακού αζώτου (NH₄-N) στο έδαφος με την μέθοδο της ινδοφαινόλης (Indophenol blue method).

Εκχύλιση

Η εκχύλιση γίνεται όπως κατά τον προσδιορισμό των νιτρικών (με KCl 2M). Όταν ο προσδιορισμός νιτρικών και αμμωνιακών γίνεται, ως συνήθως, ταυτόχρονα, χρησιμοποιείται το ίδιο εκχύλισμα και για τους δύο προσδιορισμούς.

Αντιδραστήρια

1. Διάλυμα KCl, 2M
2. Phenol-nitroprusside. Σε ογκομετρική των 100ml διαλύονται 7g phenol (στερεά μορφή) και 34mg sodium nitroprusside σε 80ml απιονισμένου νερού. Συμπληρώνουμε μέχρι τη χαραγή (100ml) και αναμιγνύουμε. Το αντιδραστήριο φυλάσσεται στο ψυγείο, σε φιάλη σκούρου χρώματος.
3. Αντιδραστήριο buffered υποχλωριώδες. Σε ογκομετρική των 100ml διαλύονται 1,48g NaOH σε 70ml απιονισμένου νερού, προστίθενται 4,98g Na₂HPO₄ και 20ml υποχλωριώδους νάτριου. Το τελικό pH θα πρέπει να είναι 11,4 – 12,2. Αραιώνουμε μέχρι τελικό όγκο 100ml.
4. EDTA (ethylenediaminetetraacetic). Σε ογκομετρική των 100ml διαλύονται 6g δινατρίου EDTA σε 80ml απεσταγμένου νερού. Ρυθμίζουμε το pH σε 7, αναμιγνύουμε και αραιώνουμε σε τελικό όγκο 100ml.
5. Διαλύματα αμμωνίου (NH₄) γνωστής συγκέντρωσης (standards). Χρησιμοποιούνται έτοιμα του εμπορίου ή παρασκευάζονται από χημικώς καθαρό θεικό αμμώνιο.

Ανάλυση (προσδιορισμός) των αμμωνιακών

1. Από τα εκχυλίσματα λαμβάνονται 5ml και μεταφέρονται σε ογκομετρικές των 50ml (ή 25ml).
2. Προσθήκη 1ml από το αντιδραστήριο EDTA και ανάδευση. Αφήνουμε για 1'.
3. Προσθήκη 2ml από το αντιδραστήριο Phenol-nitroprusside και στη συνέχεια προσθήκη 4ml από το αντιδραστήριο buffered υποχλωριώδες.

4. Συμπλήρωση του όγκου με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή και ανάμιξη.
5. Αναπτύσσεται μπλε χρώμα, η ανάπτυξη του οποίου υποβοηθείται με εμβάπτιση των φιαλών σε νερό θερμοκρασίας 40°C επί 30 λεπτά. Αφήνονται να κρυώσουν (10 λεπτά)

Σημείωση!

Για τον έλεγχο της καθαρότητας των αντιδραστηρίων, των κυβεττών κ.λπ., παρασκευάζεται παράλληλα σε ίδιες ογκομετρικές διάλυμα (blanc), με την προσθήκη μόνο των ανωτέρω αντιδραστηρίων.

Υπολογισμός των αμμωνιακών

Η ένταση του μπλε χρώματος που αναπτύχθηκε μετριέται στο φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 636. Τα δείγματα τοποθετούνται στο microplate και αυτό στην ειδικά θέση του οργάνου, από την οποία διέρχεται η φωτεινή δέσμη και λαμβάνονται οι ενδείξεις. Οι ενδείξεις μπορεί να αφορούν είτε την «ευκολία» με την οποία διέρχεται η φωτεινή δέσμη μέσω του microplate (transmittance), είτε αντίστροφα την απορρόφηση της φωτεινής δέσμης (absorbance). Ο προσδιορισμός των αμμωνιακών στο μπλε διάλυμα γίνεται με σύγκριση των ενδείξεων των δειγμάτων με αυτές των διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης (standards, π.χ. σε $\mu\text{g/ml}$). Η καμπύλη αναφοράς σχηματίζεται ημιλογαριθμικά. Στην περίπτωση που μετριέται η transmittance, η συγκέντρωση των αμμωνιακών δίνεται από την ακόλουθη σχέση, που έχει προκύψει από μετρήσεις γνωστών διαλυμάτων:

$$C_{\text{καμπ}} = bl - R/145,3 \text{ (σε } \mu\text{g/ml)}$$

όπου bl: η ένδειξη του διαλύματος, με τη χρήση μόνο των αντιδραστηρίων

R: η ένδειξη των δειγμάτων

Αν $C_{\text{καμπ}}$ είναι η συγκέντρωση των αμμωνιακών που υπολογίζεται για κάθε δείγμα ($\mu\text{g/ml}$), V_1 είναι ο όγκος του εκχυλιστικού (ml KCl), V_2 ο όγκος των ml που λήφθηκαν από το εκχύλισμα για την ανάπτυξη του χρώματος, V_3 όγκος της ογκομετρικής (σε ml), στην οποία αναπτύχθηκε το χρώμα και B το βάρος του ξηρού δείγματος εδάφους (σε g) που χρησιμοποιήθηκε κατά την ανάλυση, τότε:

$$C_{\text{αμμωνιακών}} = C_{\text{καμπ}} \times V_1(\text{ml}) \times V_3(\text{ml}) / V_2(\text{ml}) \times B(\text{g}) \text{ σε ppm (}\mu\text{g/g ξηρού εδάφους).}$$

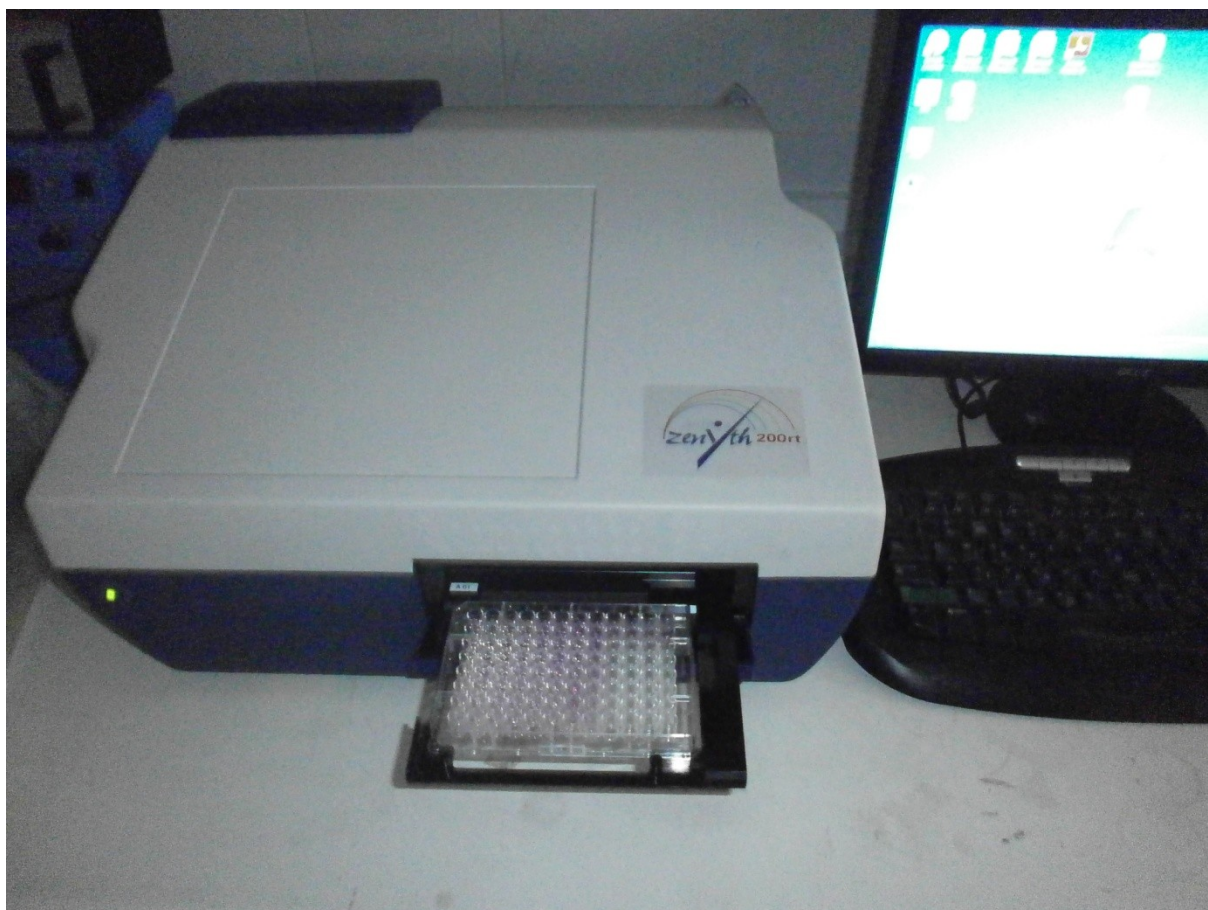
4.4.4 Φασματοφωτόμετρο ορατού

Η πιο απλή μορφή φασματοφωτόμετρου είναι το φασματοφωτόμετρο ορατού φάσματος (VIS από το Visible). Σε αυτό η πηγή είναι μια κοινή λάμπα πυράκτωσης. Το σύστημα διαχωρισμού είναι ένα κοινό πρίσμα ή συνηθέστερα ένα παραθλαστικό φράγμα το οποίο απομονώνει την επιθυμητή μονοχρωματική ακτινοβολία (μια συχνότητα ορατή σαν κόκκινο, πράσινο, κίτρινο κλπ φως). Η ακτινοβολία αυτή περνάει μέσα από μια κυψελίδα δηλ. διαφανές άχρωμο δοχείο που περιέχει το προς εξέταση δείγμα και όσο φως δεν απορροφά το διάλυμα μετρείται από ένα κοινό φωτόμετρο που βρίσκεται από την απέναντι πλευρά της κυψελίδας.

4.4.5 Αρχή λειτουργίας φασματοφωτομετρίας ορατού-υπεριώδους (UV-VIS)

Κάποια μόρια όταν ακτινοβοληθούν, απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας και μάλιστα κάποια συγκεκριμένα μήκη κύματος (π.χ. η ροδαμίνη απορροφά γύρω στα 350nm με μέγιστο τα 363nm). Όσο περισσότερα μόρια υπάρχουν στην δέσμη του φωτός, τόσο περισσότερο φως απορροφάται. Άρα μετρώντας την διαφορά της ποσότητας του φωτός, με και χωρίς τα προς μέτρηση μόρια μπορούμε να εκτιμήσουμε την ποσότητα τους. Αυτό είναι που κάνουμε χωρίς όργανο (στην ουσία αντί για φασματοφωτόμετρο χρησιμοποιούμε τα μάτια μας) παρατηρώντας πόσο σκούρο είναι ένα διάλυμα χρωστικής. Σκούρο διάλυμα = πυκνό, ανοικτόχρωμο = αραιό. Χρησιμοποιώντας μια σειρά πρότυπα διαλύματα π.χ. 1, 3, 5, 10 ppm μπορούμε να συγκρίνουμε ένα άγνωστο διάλυμα και να πούμε ότι αυτό είναι μεταξύ 3 και 5 ppm εφόσον η χρωματική του ένταση είναι μεταξύ του 2ου και 3ου προτύπου. Δεν μπορούμε όμως να πούμε ότι είναι 3,2 ή 4,0 ή 4,5 ppm γιατί απλά δεν μπορούμε να το εκτιμήσουμε. Αυτό γίνεται με το φασματοφωτόμετρο, το οποίο για κάθε πρότυπο δίνει ως αποτέλεσμα έναν αριθμό (το ποσοστό του φωτός που πέρασε (διαπερατότητα % (T% από το transmission) ή το λογάριθμο της ποσότητας του φωτός που απορροφήθηκε (ABS ή απλώς A από το absorbance)) οπότε με απλούς μαθηματικούς υπολογισμούς μπορεί να εξαχθεί ακριβές αποτέλεσμα. Π.χ. έστω ότι τα πρότυπα διαλύματα παρουσίασαν απορροφήσεις 1ppm=0,08 3ppm=0,24 5ppm=0,40 10ppm=0,80 και του δείγματος=0,30. Τότε η περιεκτικότητα του δείγματος είναι 3,75ppm. Οι μετρήσεις γίνονται στο μήκος κύματος που παρουσιάζει την μέγιστη απορρόφηση η εξεταζόμενη ουσία, ώστε να περιοριστούν οι επιδράσεις από άλλες ουσίες που υπάρχουν στο ίδιο διάλυμα (και απορροφούν σε άλλα μήκη κύματος). Η φασματοφωτομετρία χρησιμοποιείται ευρέως και για ουσίες που απορροφούν στο υπεριώδες

αλλά και για ουσίες που δεν έχουν χρωμοφόρες ομάδες στο μόριο τους (αόρατες), αλλά γίνονται ορατές μετά από σχετικές αντιδράσεις (π.χ. η προλίνη σχηματίζει πορτοκαλέρυθρο σύμπλοκο με την νινυδρίνη και έτσι μπορεί να μετρηθεί φασματοφωτομετρικά).



Εικόνα 10. Φασματοφωτόμετρο, (Anthos Zenyth 200 Biochrom)

4.5 Καταγραφή φαινολογικών χαρακτηριστικών και χαρακτηριστικών ανάπτυξης, απόδοσης και θρέψης

Καταγράφηκαν οι ημέρες έως το 50% της άνθησης, οι ημέρες για την πλήρη ωρίμανση και το ύψος των φυτών. Τα δείγματα ριζών συλλέχθηκαν με τη χρήση ενός κυλινδρικού μεταλλικού δειγματολήπτη. Για κάθε δείγμα, οι ρίζες διαχωρίζονταν από το έδαφος μετά την παραμονή τους για 24 ώρες σε νερό + $(\text{NaPO}_3)_6 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ και μετρήθηκε ο αριθμός των φυματίων ανά λίτρο χώματος. Το ξηρό βάρος της ρίζας μετρήθηκε μετά την ξήρανση των δειγμάτων για 48 ώρες σε 70°C . Επίσης, μετρήθηκαν το συνολικό βάρος και ο συνολικός αριθμός των νωπών λοβών και νωπών σπόρων, μαζί με το μέσο βάρος των νωπών λοβών και το μέσο βάρος των νωπών σπόρων, από δέκα τυχαία επιλεγμένα φυτά από κάθε υπό-τεμάχιο.

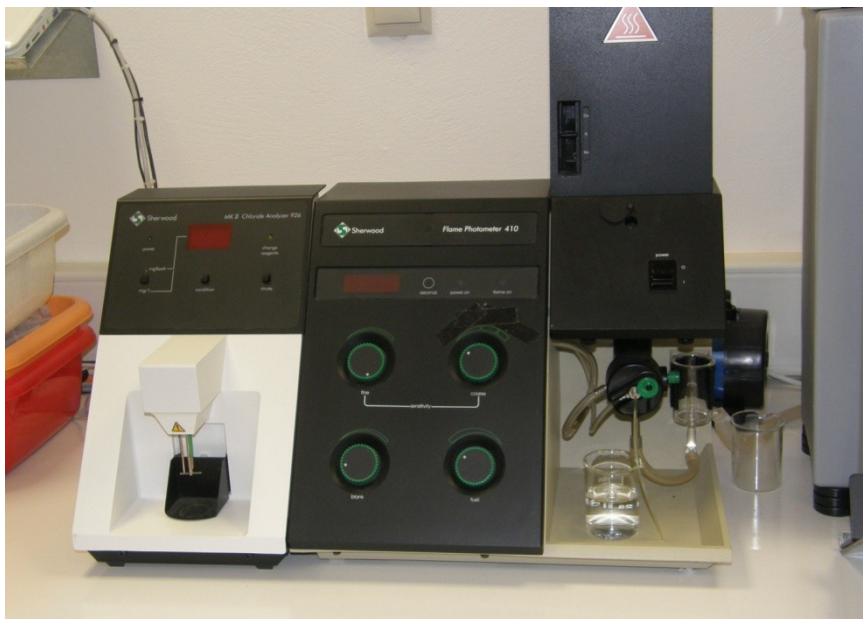
Συλλέχθηκαν δείγματα βλαστών από πέντε τυχαία επιλεγμένα φυτά από κάθε μεταχείριση, τα οποία ζυγίστηκαν και ξηράθηκαν σε κλίβανο στους 70°C . Στη συνέχεια, τα αποξηραμένα δείγματα ιστών χρησιμοποιήθηκαν για χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων P και K. Τα αποξηραμένα δείγματα ιστού κονιορτοποιήθηκαν και το κονιοποιημένο φυτικό υλικό τοποθετήθηκε σε ένα κλίβανο στους 550°C για 5 ώρες. Η τέφρα χρησιμοποιήθηκε για την εκχύλιση P και K με 1 N HCl. Ο P μετρήθηκε φωτομετρικά ως φωσφορομολυβδαινικού μπλε σύμπλοκο στα 880 nm, χρησιμοποιώντας ένα microplate 96 θέσεων του φασματοφωτόμετρου (Anthos Zenyth 200 Biochrom, USA). Οι συγκεντρώσεις K στα εκχυλίσματα προσδιορίστηκε με φωτομετρία φλόγας χρησιμοποιώντας το φλογοφωτόμετρο Sherwood Model 420 (Sherwood Scientific, Cambridge, UK). Η συγκέντρωση N στους φυτικούς ιστούς προσδιορίστηκε με την μέθοδο Kjeldhal. Φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρου (NIR) χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, των παραδοσιακών ποικιλιών αρακά σε δείγματα ξηρών σπόρων.

4.5.1 Φασματοσκοπία Ατομικής Εκπομπής

Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων καλίου χρησιμοποιήθηκε ένα φλογοφωτομετρο (Εικόνα 11), του οποίου η αρχή λειτουργίας είναι η Φασματοσκοπία Ατομικής Εκπομπής (Atomic Emission Spectroscopy ή AES).

Η Φασματοσκοπία Ατομικής Εκπομπής χρησιμοποιεί το φάσμα εκπομπής διεγερμένων ατόμων για την ποσοτικοποίηση συγκεντρώσεων χημικών στοιχείων σε διαλύματα. Η πρώτη μορφή της τεχνικής της φασματοσκοπίας ατομικής εκπομπής ήταν η φλογοφωτομετρία εκπομπής της οποίας οι δυνατότητες ανάλυσης περιορίζονται στον προσδιορισμό των

αλκαλίων K και Na, δεδομένου ότι οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στη φλόγα δεν είναι ικανές να διεγείρουν τα άτομα μη αλκαλικών μετάλλων.



Εικόνα 11. Φλωγοφωτόμετρο ατομικής εκπομπής

. Η χρήση του φλωγοφωτόμετρου γίνεται για τον προσδιορισμό των αλκαλίων και των μετάλλων των αλκαλίων, στοιχεία που διεγείρονται εύκολα. Τα στοιχεία απορροφούν ενέργεια από μια οξειδωτική φλόγα αέρα-προπανίου και στην συνέχεια εκπέμπουν την απορροφούμενη ενέργεια με την μορφή ακτινοβολίας, δίνοντας φάσματα εκπομπής. Διαδικασία: Το στοιχείο που θέλουμε προσδιορίσουμε εισάγεται στην συσκευή ως διάλυμα ενός άλατος. Μέρος αυτού ψεκάζεται με μορφή νέφους στην οξειδωτική φλόγα, όπου ο διαλύτης εξατμίζεται. Τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας των ατόμων του προσδιοριζόμενου στοιχείου διεγείρονται λόγω της θερμοκρασίας της φλόγας και κατά την αποδιέγερσή τους εκπέμπουν ακτινοβολία χαρακτηριστικού μήκους κύματος. Η ακτινοβολία που εκπέμπει το στοιχείο κατά την αποδιέγερσή του, με την βοήθεια φακών και κατόπτρων οδηγείται μέσω ενός φίλτρου σε φωτοκύτταρο. Το φωτοκύτταρο χρησιμοποιείται για την απόκλιση του γαλβανόμετρου, το οποίο είναι βαθμολογημένο σε αυθαίρετη κλίμακα. Η απόκλιση του γαλβανόμετρου είναι ανάλογη με την ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, ανάλογη με την συγκέντρωση του προσδιοριζόμενου στοιχείου.

4.6 Εκτίμηση της Βιολογικής αζωτοδέσμευσης

Η βιολογική δέσμευση του αζώτου (BNF) εκτιμήθηκε με τη μέθοδο της περιεκτικότητας του ισοτόπου ^{15}N στο άζωτο της ατμόσφαιρας N_2 (natural ^{15}N abundance method). Η περιεκτικότητα των φυτικών δειγμάτων προσδιορίστηκε στο Stable Isotope Facility of UC-Davis, Davis, CA, USA, by CF-IRMS (Europa Scientific, Crewe, UK). Η περιεκτικότητα του ^{15}N στο ατμοσφαιρικό N_2 είναι 0,3663. Η περιεκτικότητα του ^{15}N σε κάθε δείγμα ($\delta^{15}\text{N}$) υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση 1.

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \left(\frac{\text{atom}\%^{15}\text{N}_{\text{sample}} - 0.3663}{0.3663} \right) * 1000 \quad (1)$$

Για τον υπολογισμό της αναλογίας N που προέρχεται από την ατμόσφαιρα (% Ndfa), είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε το $\delta^{15}\text{N}$ του αζωτοδεσμευτικού ψυχανθούς και το $\delta^{15}\text{N}$ του μη αζωτοδεσμευτικού φυτού αναφοράς που καλλιεργείται στο ίδιο έδαφος (εξίσωση 2).

$$\%Ndfa = \left(\frac{\delta^{15}\text{N of reference plant} - \delta^{15}\text{N of legume}}{\delta^{15}\text{N of reference plant} - B} \right) * 100 \quad (2)$$

όπου «B» είναι το $\delta^{15}\text{N}$ των βλαστών του αρακά που είναι πλήρως εξαρτώμενο από την δέσμευση του N_2 .

Οι συνολικές τιμές BNF (BNF, kg ha^{-1}) του υπέργειου τμήματος, υπολογίστηκαν από την υπέργεια βιομάζα, την συγκέντρωση N στη βιομάζα και το % Ndfa χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$BNF = \frac{DB * N * Ndfa}{100} \quad (3)$$

όπου DB είναι η ξηρή βιομάζα του αρακά που παράχθηκε (kg ha^{-1}) και N είναι η συνολική περιεκτικότητα σε N (%).

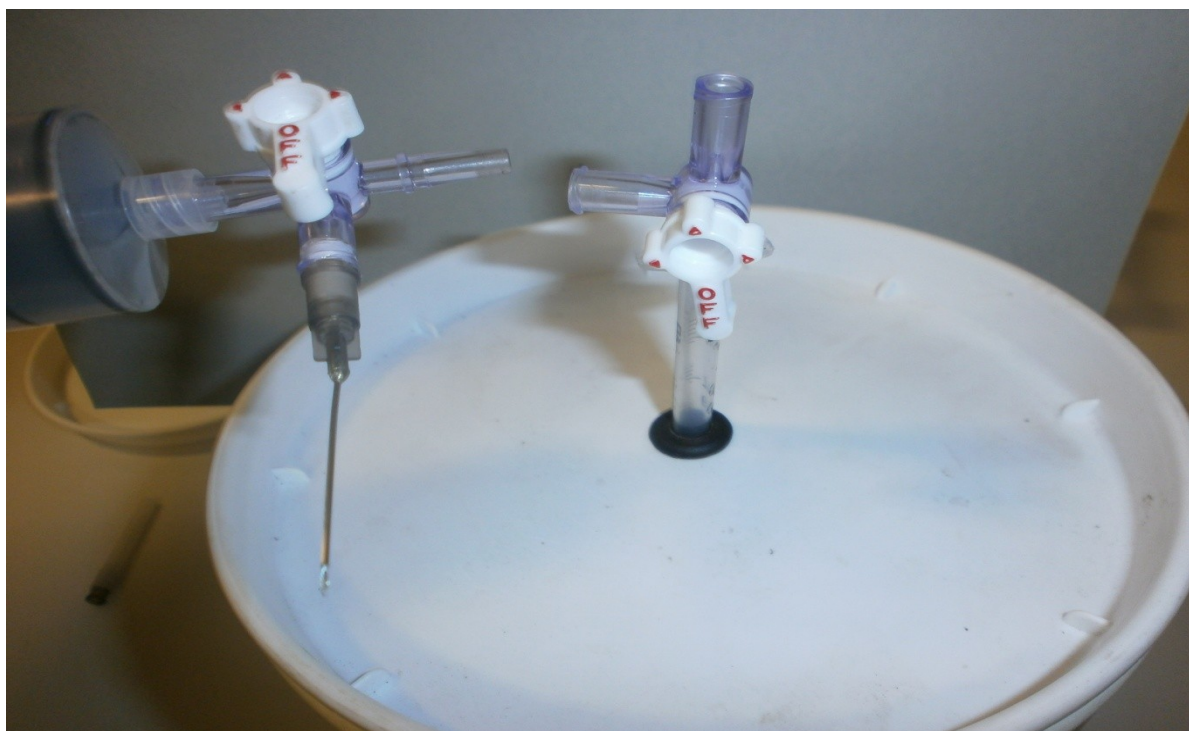
4.7 Δειγματοληψίες αερίων θερμοκηπίου

Για την κατασκευή των δειγματοληπτών χρησιμοποιήθηκε πλαστικός σωλήνας αποχέτευσης PVC (Φ160, 6Atm) κομμένος στα 20cm ο καθένας (Εικόνα 14), πιατάκια γλάστρας που τοποθετούνταν ως καπάκια, αεροστεγής ταινία (aerostop), σύριγγες του 1ml, βαλβίδες έλεγχου της ροής (3way tap), πλαστικά λαστιχάκια (Εικόνα 12).

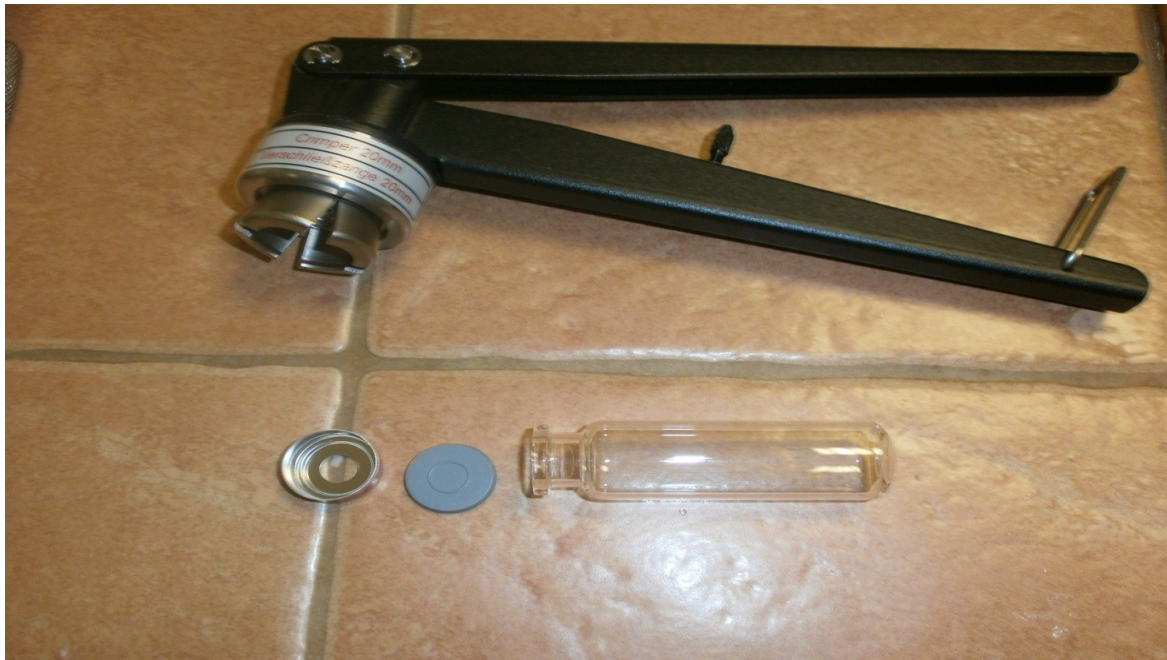
Για την συλλογή του δείγματος χρησιμοποιήθηκαν γυάλινα μπουκαλάκια με septum (Εικόνα 13) και σύριγγες των 60ml.

Οι δειγματολήπτες τοποθετήθηκαν σε σταθερά σημεία στα πειραματικά τεμάχια βάσει της αρίθμησης του πειραματικού σχεδίου (1 – 72) και σε βάθος 5cm.

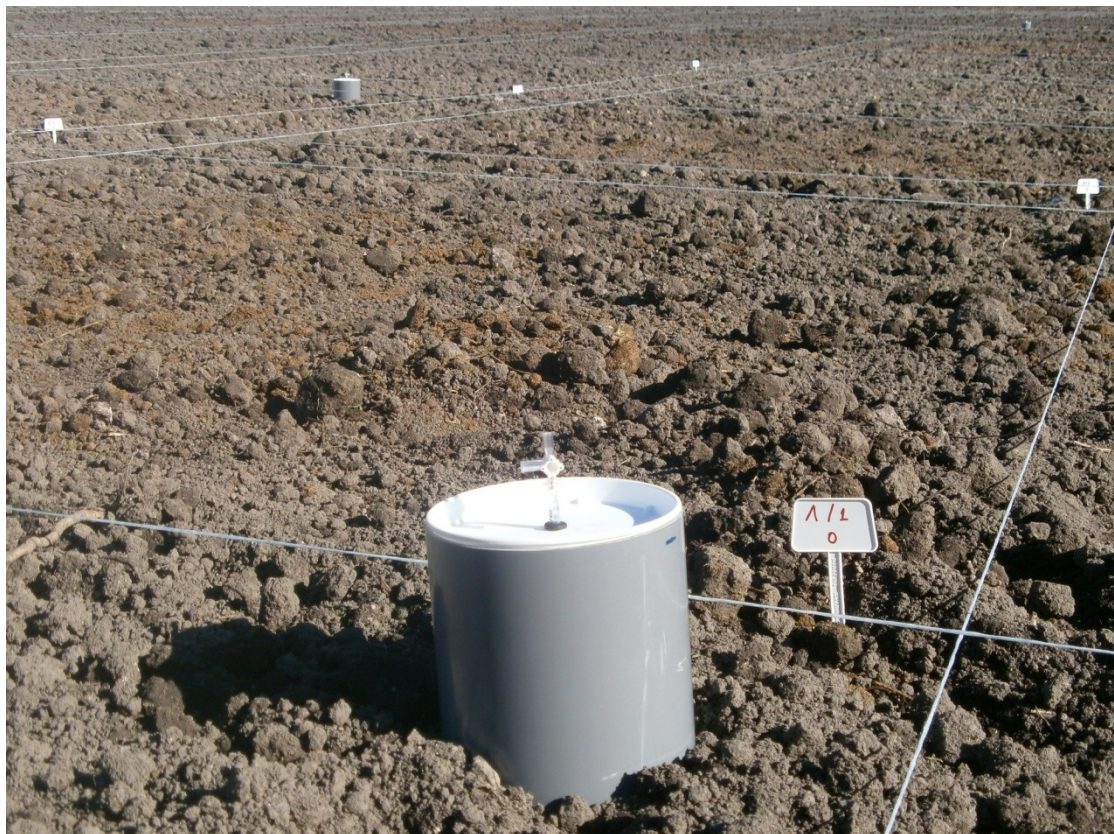
Τα δείγματα των αερίων συλλέχθηκαν σε γυάλινα φιαλίδια με κενό αέρος και έπειτα αναλύθηκαν για N_2O , CO_2 , CH_4 με αέρια χρωματογραφία δέσμευσης ηλεκτρονίων (GCMS) χρησιμοποιώντας πρότυπα υψηλής καθαρότητας (0.41, 0.95, 5.40 και 10.10 ppm) για τη βαθμονόμηση και τον υπολογισμό. Για να έχουμε σωστή επαναληψιμότητα των δειγματοληψιών, η δειγματοληψία των αερίων πραγματοποιούνταν από τις 10:00 έως και 12:00 (Clayton et al., 1994). Η δειγματοληψία πραγματοποιούνταν σε συγκεκριμένες ημερομηνίες, αποφεύγοντας αντίξοες συνθήκες (π.χ παγετός, βροχή).



Εικόνα 12. Σύριγγα συλλογής δειγμάτων και καπάκι δειγματολήπτη



Εικόνα 13. Γυάλινα μπουκαλάκια (vials) με septum, για τη συλλογή των δειγμάτων και Crimper για το αεροστεγές κλείσιμο τους.



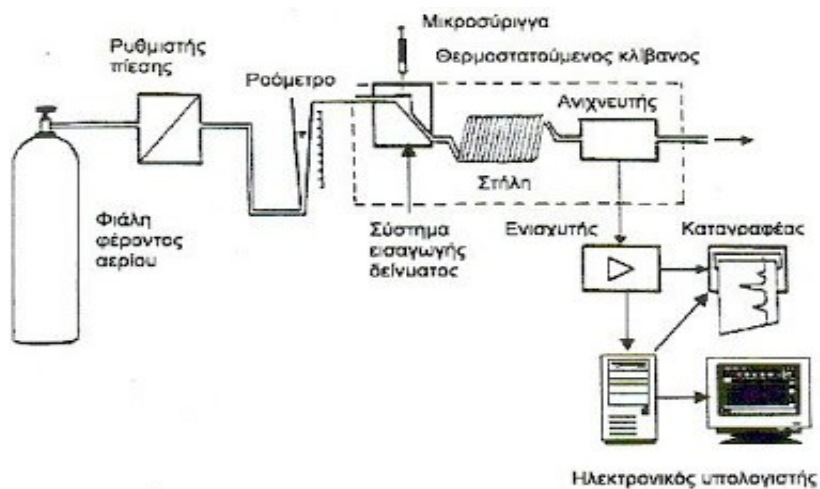
Εικόνα 14. Δειγματολήπτης σε φάση δειγματοληψίας κατά την χάραξη του πειραματικού αγρού



Εικόνα 15. Δειγματολήπτης σε φάση δειγματοληψίας κατά την διάρκεια της καλλιέργειας.

4.7.1 Αέρια Χρωματογραφία - Φασματομετρία μαζών (MS)

Η αέρια χρωματογραφία αναπτύχθηκε ως αναλυτική τεχνική τα τελευταία σαράντα χρόνια. Η τεχνική αυτή είναι σχετικά απλή και χρησιμοποιείται για την ανάλυση πτητικών ουσιών σε τρόφιμα, φάρμακα, προϊόντα πετρελαίου κ.λπ. Η διάταξη ενός αέριου χρωματογράφου δίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2. Διάταξη αέριου χρωματογράφου

Το φέρον αέριο (συνήθως N₂, He, H₂, Ar), από τη φιάλη υψηλής πίεσης, μέσα από ρυθμιστές παροχής, οδηγείται στη στήλη. Η εισαγωγή του δείγματος γίνεται με μικροσύριγγα στη βαλβίδα εισαγωγής του δείγματος στην κορυφή της στήλης. Τα συστατικά του δείγματος συμπαρασύρονται από το φέρον αέριο κατά μήκος της στήλης και διαχωρίζονται. Τα κλάσματα στη συνέχεια ανιχνεύονται στον ανιχνευτή και τα σήματα ανίχνευσης καταγράφονται από καταγραφικό. Σε ορισμένες περιπτώσεις, στη συνέχεια υπάρχει μια διάταξη, όπου συλλέγονται τα διάφορα κλάσματα και ένα ροόμετρο για τον έλεγχο της ταχύτητας της ροής του φέροντος αερίου. Ως φέρον αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε αέριο σε υπερκάθαρη κατάσταση, το οποίο μπορεί να διαφοροποιηθεί στον ανιχνευτή, από τα διάφορα συστατικά του μίγματος. Το φέρον αέριο πρέπει να είναι αδρανές και απαλλαγμένο από προσμίξεις. Επίσης, δεν πρέπει να περιέχει οξυγόνο, γιατί οξειδώνει τη στατική φάση και αυτό σημαίνει καταστροφή της στήλης, ιδιαίτερα όταν αυτή είναι τριχοειδής και η ποσότητα της στατικής φάσης είναι ελάχιστη. Ίχνη υγρασίας επίσης απενεργοποιούν τη στατική φάση, για αυτό το φέρον αέριο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από υγρασία. Η επιλογή του φέροντος αερίου εξαρτάται κυρίως από τον τύπο του ανιχνευτή που χρησιμοποιείται.

Η καρδιά του χρωματογράφου είναι η στήλη. Υπάρχουν δύο είδη στηλών οι πληρωμένες στήλες και οι τριχοειδείς. Η στήλη αποτελείται από έναν επιμήκη σωλήνα, συνήθως με τη μορφή σπειράματος ή U, ώστε να καταλαμβάνει κατά το δυνατόν μικρότερο χώρο, από ανοξειδωτο χάλυβα, χαλκό, αργίλιο, ύαλο ή πλαστικό, μήκους 1-2 m για της πληρωμένες στήλες, μέχρις αρκετών εκατοντάδων μέτρων για τις τριχοειδείς, εσωτερικής διαμέτρου της τάξεως των mm στις αναλυτικές στήλες, πολλών δεκάδων cm στις παρασκευαστικές στήλες.

Το δείγμα, συνήθως όγκου 1μL εισάγεται στο ρεύμα του φέροντος αερίου στην αρχή της στήλης με μια μικροσύριγγα, διαμέσου μιας ελαστικής πλακέτας ή διαφράγματος (septum). Η ταχύτητα και η ικανότητα του διαχωρισμού εξαρτώνται από τη θερμοκρασία. Για αυτό το λόγο η στήλη βρίσκεται σε φούρνο, του οποίου η θερμοκρασία ελέγχεται αυστηρά.

Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται εξαιτίας των διαφορών δυνάμεων συγκράτησης και έκλυσης ανάμεσα στα συστατικά του μίγματος, το υλικό πλήρωσης της στήλης και της ροής του φέροντος αερίου. Το δεύτερο μέρος του χρωματογράφου περιλαμβάνει τον ανιχνευτή, ο οποίος τοποθετείται στο τέλος της στήλης. Τα σήματα ενισχύονται και καταγράφονται στο καταγραφικό σύστημα.

Αρκετοί κατασκευαστές οργάνων προσφέρουν αέριους χρωματογράφους, που μπορούν να συζευχθούν άμεσα με φασματομέτρα μαζών (MS) ταχείας σάρωσης, GCMS-QP2010 Ultra, SHIMADZU (Εικόνα 16). Η αρχή λειτουργίας της φασματομετρίας μαζών στηρίζεται στη δημιουργία ιόντων (κυρίως θετικών) μιας ένωσης, το διαχωρισμό τους με βάση το λόγο της

μάζας προς φορτίο (m/z) και την καταγραφή τους. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να προσδιοριστεί το μοριακό βάρος (MB) της ένωσης και ο τρόπος σύνδεσης των διαφόρων ομάδων μεταξύ τους. Τα φασματομέτρα μαζών αποτελούνται από:

- 1) Τον θάλαμο ιοντισμού
- 2) Τον αναλυτή μαζών, όπου γίνεται διαχωρισμός των ιόντων με βάση το λόγο m/z
- 3) Τον ανιχνευτή

Ο χώρος όπου δημιουργούνται και επιταχύνονται τα ιόντα διατηρείται σε κατάσταση υψηλού κενού. Με το υψηλό κενό δημιουργούνται σε χαμηλές θερμοκρασίες θέρμανσης ατμοί της προς προσδιορισμό ουσίας χωρίς τη διάσπασή της, που οδηγούνται στο θάλαμο ιοντισμού. Επίσης απομακρύνονται τα μόριά της και τα ουδέτερα προϊόντα της διάσπασης από το χώρο της ανάλυσης μετά από κάθε μέτρηση.

Ο αναλυτής αποτελείται από ένα σωλήνα σε σχήμα τόξου, που βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο μεγάλης έντασης (3000-4000 gauss) και σε διεύθυνση κάθετη προς τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου. Με δύο κυκλικές οπές – διαφράγματα μεταβλητής ακτίνας στην αρχή και στο τέλος του σωλήνα ένα μέρος από τα ιόντα που δεν επηρεάζονται στο κέντρο των διαφραγμάτων απορρίπτεται.

Ο συνηθέστερος τρόπος ιοντισμού είναι με βομβαρδισμό των αερίων μορίων της ένωσης με δέσμη ηλεκτρονίων (EI). Κατά τον ιοντισμό της ένωσης με ηλεκτρόνια, ο οποίος επιτυγχάνεται με βομβαρδισμό μορίων αυτής με δέσμη ηλεκτρονίων μεγάλης ενέργειας (συνήθως 70 eV), δημιουργείται με απώλεια ενός ηλεκτρονίου από μέρους της ένωσης μια κατιοντική ρίζα, που αντιστοιχεί στο μοριακό ιόν. Οι κατιοντικές αυτές ρίζες επιταχύνονται αρχικά με ηλεκτρικό πεδίο και στη συνέχεια κινούνται μέσα στο μαγνητικό πεδίο, οπότε εκτρέπονται και διαχωρίζονται με βάση το m/z . Άλλοι τρόποι σχηματισμού ιόντων είναι : ο χημικός ιοντισμός (CI), η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου (FI), ο βομβαρδισμός με γρήγορα ουδέτερα άτομα Xe ή Ar ή ιόντα Cs (FIB). Οι συνηθέστεροι αναλυτές είναι: αναλυτής τομέα, τετραπολικός αναλυτής, παγίδα ιόντων, αναλυτής χρόνου πτήσης.



. Εικόνα 16. Αέριος χρωματογράφος GCMS-QP2010 Ultra, SHIMADZU.

4.8 Στατιστική ανάλυση

Για την αξιολόγηση του συστήματος καλλιέργειας και των επιλεγμένων γενοτύπου καθώς και για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, εφαρμόστηκε η μέθοδος ανάλυσης διακύμανσης δύο παραγόντων (ANOVA). Τα δεδομένα παρουσιάστηκαν σε πίνακες ως μέσοι \pm SE ($n = 4$). Διεξήχθη δοκιμή πολλαπλού εύρους (Duncan) για όλες τις παραμέτρους σε επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0,05$. Οι συντελεστές Pearson's και ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των συσχετίσεων μεταξύ των παραμέτρων που μελετήθηκαν. Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το πακέτο λογισμικού STATISTICA, έκδοση 9.0 για Windows (StatSoft Inc., Tulsa, USA).

5. Αποτελέσματα

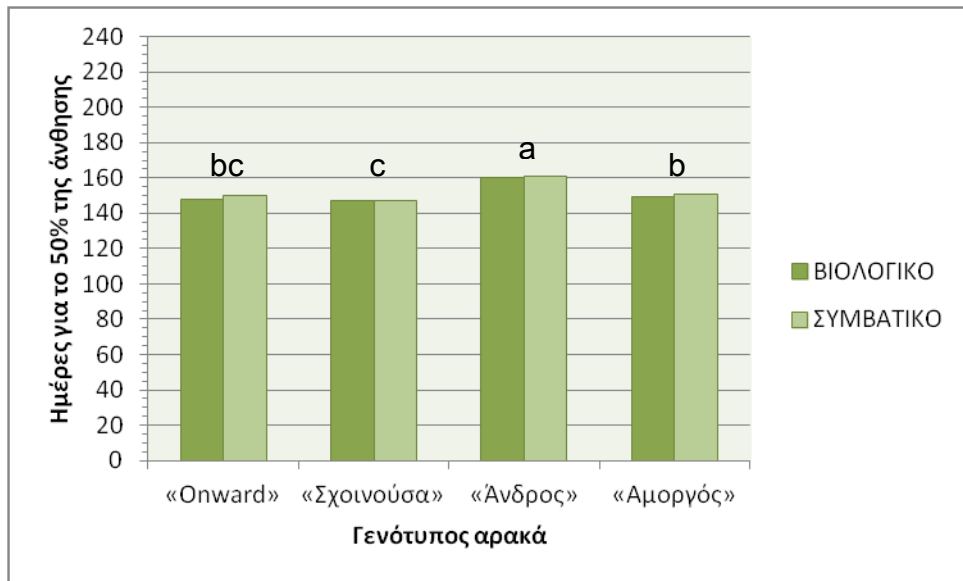
5.1 Φαινολογικά χαρακτηριστικά και παράμετροι ανάπτυξης των φυτών σε διαφορετικούς γενοτύπους αρακά.

Όσον αφορά τα κύρια φαινολογικά χαρακτηριστικά των γενοτύπων αρακά που αξιολογήθηκαν, βρέθηκαν σημαντικές διαφορές. Συγκεκριμένα, οι ημέρες που χρειάστηκαν για το 50% της άνθησης κυμάνθηκαν μεταξύ 147 - 161, ενώ οι ημέρες μέχρι την πλήρη ωρίμανση κυμάνθηκαν μεταξύ 188 έως 203. Στα ψυχανθή, η βελτίωση για πρόωμη ανθοφορία είναι μια κοινή στρατηγική για να αποφευχθούν καταπονήσεις από την ξηρασία. Μεταξύ των τεσσάρων γενοτύπων αρακά που αξιολογήθηκαν, ο μεγαλύτερος αριθμός των ημερών για το 50% της ανθοφορίας καταγράφηκε στη ποικιλία «Άνδρος» (Διάγραμμα 3). Όσον αφορά τις ημέρες για την πλήρη ωρίμανση, βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ γενοτύπου και συστήματος καλλιέργειας. Πιο συγκεκριμένα, η ποικιλία «Onward» χρειάστηκε το μεγαλύτερο αριθμό των ημερών για την πλήρη ωρίμανση (202-203 ημέρες) και στα δύο συστήματα καλλιέργειας, ενώ η ποικιλία «Άνδρος» χρειάστηκε 4 ημέρες λιγότερες για την πλήρη ωρίμανση στο βιολογικό σύστημα σε σύγκριση με το συμβατικό (Διάγραμμα 4). Το ύψος των φυτών κυμάνθηκε από 46,20 έως 90,03 cm, ενώ δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο συστημάτων καλλιέργειας (Διάγραμμα 5).

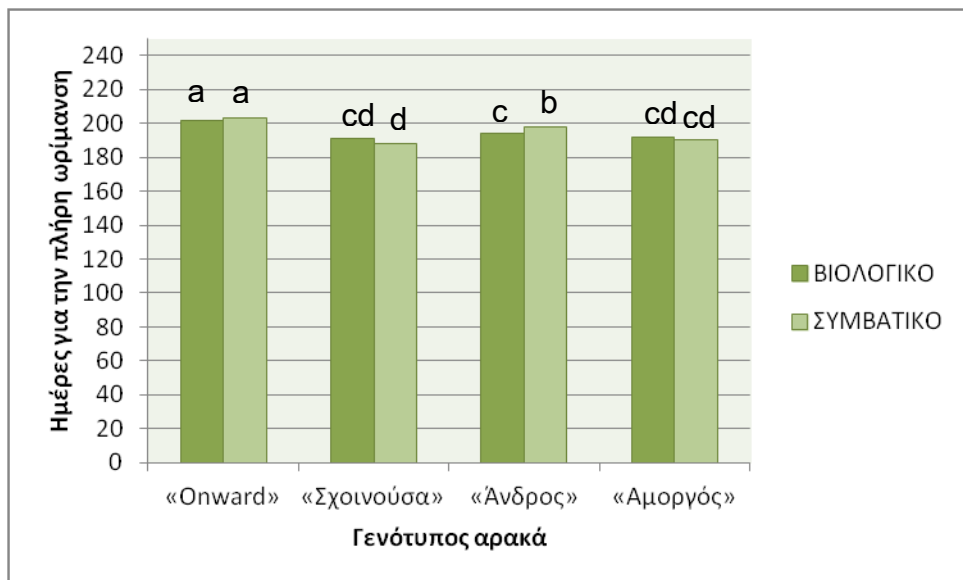
Πίνακας 1. Στατιστική αξιολόγηση των διαφορών στα αγρο-μορφολογικά χαρακτηριστικά γενοτύπων αρακά που αναπτύχθηκαν σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας.

Σύστημα καλλιέργειας	Γενότυπος αρακά	Ημέρες για το	Ημέρες για την	Ύψος Φυτού (cm)
		50% της άνθησης	πλήρη ωρίμανση	
Σύστημα καλλιέργειας		ns	ns	ns
Γενότυπος		***	***	***
Σύστημα καλλιέργειας x Γενότυπος		ns	*	ns

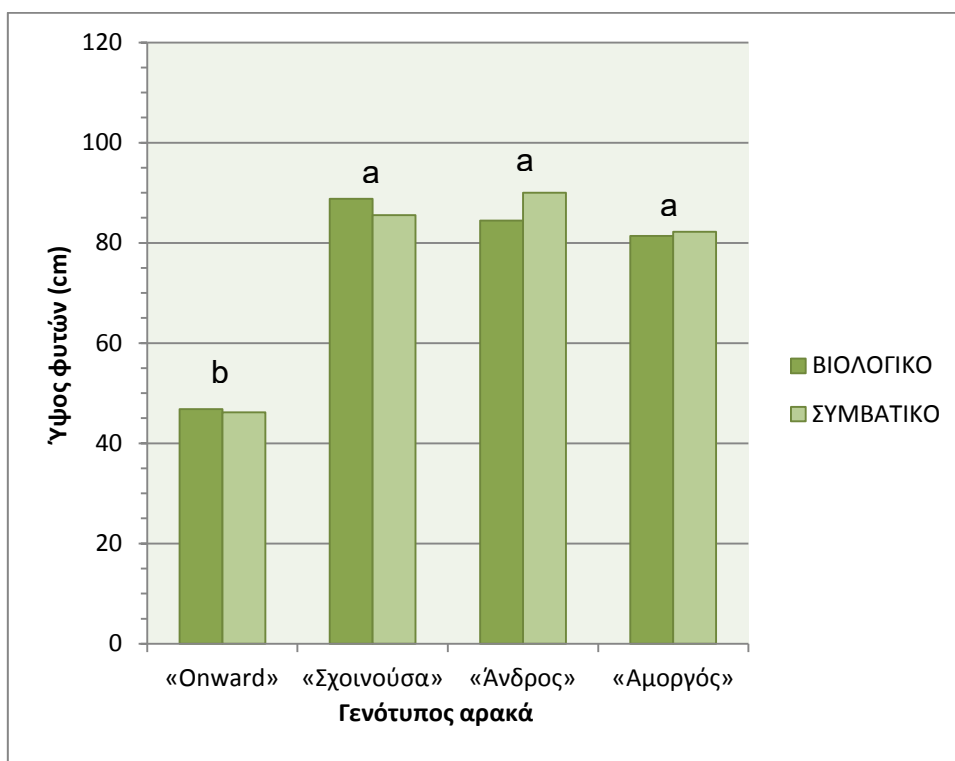
¹Μέσοι όροι τιμών (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα *, **, και *** υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε $p < 0,05$, $p < 0,01$ και $p < 0,001$, αντίστοιχα, ενώ η συντομογραφία ns υποδηλώνει στατιστικά μη σημαντική διαφορά.



Διάγραμμα 3. Διαφορές στις ημέρες για το 50% της άνθησης μεταξύ γενοτύπων αρακά που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας.



Διάγραμμα 4. Διαφορές στις ημέρες για την πλήρη ωρίμανση μεταξύ γενοτύπων αρακά που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας.



Διάγραμμα 5. Διαφορές στο ύψος των φυτών μεταξύ γενοτύπων αρακά που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας.

5.2 Επίδραση των διαφορετικών γενοτύπων αρακά και του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό) στη ριζική βιομάζα και τη δημιουργία φυματίων

Η αξιολόγηση της ανάπτυξης του ριζικού συστήματος έδειξε ότι το ξηρό βάρος ρίζας (RDW) επηρεάστηκε σημαντικά από τους γενοτύπους αρακά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Πιο συγκεκριμένα, η ποικιλία «Άνδρος» είχε το μεγαλύτερο ξηρό βάρος ρίζας. Το βαθύ ριζικό σύστημα βοηθά πολλές καλλιέργειες ψυχανθών να ανταπεξέλθουν σε καταπονήσεις από ξηρασία (δηλαδή κουκιά), ενώ η γενετική παραλλακτικότητα μέσα σε ποικιλίες, παραδοσιακές ποικιλίες και πληθυσμούς αρακά, όσον αφορά αυτά τα χαρακτηριστικά, δεν είναι γνωστή. Οι Grzesiak et al., ανέφεραν ότι οι ανθεκτικές στην ξηρασία ποικιλίες κουκιών «Gobo» και οι ποικιλίες αρακά «Solara» έχουν πιο ανεπτυγμένο ριζικό σύστημα σε σύγκριση με γενοτύπους ευαίσθητους στην ξηρασία.

Έχει διαπιστωθεί ότι ο σχηματισμός φυματίων στα ψυχανθή μπορεί να επηρεαστεί από την αζωτούχο λίπανση. Στην παρούσα μελέτη η εφαρμογή των ανόργανων λιπασμάτων σε

δοσολογία 57 kg ha^{-1} δεν είχε καμία αρνητική επίδραση στην δημιουργία φυματίων στις ρίζες των επιλεγμένων γενοτύπων. Όσον αφορά τον αριθμό των φυματίων, δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές ($p > 0.05$) μεταξύ των συστημάτων καλλιέργειας. Σε μια άλλη μελέτη, οι Clayton et al., ανέφεραν ότι οι εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων σε ποσότητες μεγαλύτερες από 40 kg ha^{-1} φάνηκε να μειώνουν τον σχηματισμό φυματίων στον αρακά, αλλά η ποσότητα του αζώτου που συγκεντρώθηκε στα φυτά του αρακά, δεν διέφερε. Οι Namvar et al., έδειξαν επίσης ότι, η εφαρμογή 100 kg N ha^{-1} ανέστειλε σημαντικά τον σχηματισμό φυματίων στο ρεβίθι. Στην παρούσα μελέτη, ο αριθμός των φυματίων κυμαίνονταν από 49,04 έως 81,77 φυμάτια ανά L^{-1} εδάφους, ενώ βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των γενοτύπων αρακά. Πιο συγκεκριμένα η παραδοσιακή ποικιλία «Άνδρος» είχε το μεγαλύτερο αριθμό φυματίων, όπως επίσης και το υψηλότερο ξηρό βάρος ρίζας. Αξιοσημείωτο αποτέλεσμα αυτής της μελέτης είναι ότι οι ποικιλίες «Σχοινούσα» και «Onward», έδωσαν τον ίδιο αριθμό φυματίων αν και το ξηρό βάρος ρίζας της ποικιλίας «Σχοινούσα» ήταν 50% λιγότερο σε σύγκριση με την ποικιλία «Onward». Από την άλλη πλευρά, η ποικιλία «Αμοργός» είχε σχεδόν 30% λιγότερα φυμάτια σε σύγκριση με τη ποικιλία «Onward», αν και δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές στο ξηρό βάρος ρίζας. Διαφορές στο σχηματισμό φυματίων μεταξύ των παραδοσιακών ποικιλιών ή των ποικιλιών έχουν επίσης αναφερθεί από τους Leite et al., και Magulu et al. Ωστόσο, η παραδοσιακή ποικιλία «Άνδρος» με την όψιμη άνθηση και η ποικιλία «Onward» με την όψιμη ωρίμανση, είχαν ελαφρώς υψηλότερο αριθμό φυματίων, ανάλογα με την ανάπτυξη του ριζικού τους συστήματος, πράγμα που συσχετίζεται με την αυξημένη συμβιωτική αποίκηση που πραγματοποιείται στο στάδιο της όψιμης ωρίμανσης σε γενοτύπους σόγιας, ενώ το αντίθετο συνέβη για την ποικιλία «Σχοινούσα». Όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι τα ριζόβια του αρακά μπορεί να έχουν μεγάλη ικανότητα σχηματισμού φυματίων, αν και η δυνατότητα του σχηματισμού φυματίων των διαφορετικών γενοτύπων αρακά μπορεί να ποικίλλει σημαντικά.

Πίνακας 2. Ξηρό βάρος ρίζας (RDW σε g) και ο αριθμός φυματίων ανά όγκο εδάφους (No ανά L⁻¹ εδάφους) σε φυτά αρακά, επηρεαζόμενα από το σύστημα καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό) και το γενότυπο του αρακά. Δεν βρέθηκαν σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ συστήματος καλλιέργειας και γονότυπου, δίνονται μόνο οι μέσοι (n=4) των κύριων παραγόντων.

Σύστημα καλλιέργειας	Γενότυπος αρακά	RDW (g plant)	Nodules (No L ⁻¹ of soil)
<i>Main effects</i>			
Βιολογικό		0.32	51.80
Συμβατικό		0.35	58.34
	«Onward»	0.36b	51.92b
	«Σχοινούσα»	0.18c	49.04b
	«Άνδρος»	0.48a	81.77a
	«Αμοργός»	0.30b	36.84c
<i>Statistical significance</i>			
Σύστημα καλλιέργειας		ns	ns
Γενότυπος		***	***
Σύστημα καλλιέργειας x Γενότυπος		ns	ns

¹Μέσοι όροι τιμών (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα *, **, και *** υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε p<0,05, p<0,01 και p<0,001, αντίστοιχα, ενώ η συντομογραφία ns υποδηλώνει στατιστικά μη σημαντική διαφορά.

5.3 Επίδραση του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό) και του γενότυπου αρακά στις συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων σε δείγματα εδάφους (NO₃⁻-N, NH₄⁺-N και P) και φυτικών ιστών (P και K στο υπέργειο τμήμα)

Πραγματοποιήθηκαν δύο δειγματοληψίες εδάφους, στο στάδιο της άνθησης (20/4/2015) και στο στάδιο της τελικής συγκομιδής (24/6/2015), για την μέτρηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων NO₃⁻-N, NH₄⁺-N και P. Η δειγματοληψία για την μέτρηση των συγκεντρώσεων φώσφορου (P) και καλίου (K) σε βλαστούς, από τους γενότυπους αρακά έγινε στο στάδιο της τελικής συγκομιδής.

Στην παρούσα μελέτη, η συγκέντρωση $\text{NH}_4^+\text{-N}$ στο έδαφος, στο στάδιο της άνθησης ήταν υψηλότερες σε σχέση με το στάδιο της τελικής συγκομιδής, καθώς επίσης, στο στάδιο της άνθησης οι συγκεντρώσεις των αμμωνιακών ήταν υψηλότερες για το συμβατικό σύστημα, ενώ αντίθετα, στο στάδιο της τελικής συγκομιδής υψηλότερες ήταν οι συγκεντρώσεις στο βιολογικό σύστημα. Όσον αφορά το γενότυπο αρακά, η υψηλότερες συγκεντρώσεις παρουσιάστηκαν για την ποικιλία «Σχοινούσα» και στις δύο ημερομηνίες δειγματοληψίας. Ωστόσο, σε κάθε στάδιο ανάπτυξης, η συγκέντρωση $\text{NH}_4^+\text{-N}$ στο έδαφος δεν επηρεάστηκε σημαντικά ούτε από το γενότυπο αρακά ούτε από το σύστημα καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό) (Πίνακας 3). Σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο συστημάτων καλλιέργειας βρέθηκαν για την συγκέντρωση $\text{NO}_3^-\text{-N}$ στο έδαφος μόνο στο στάδιο της ανθοφορίας, με τη χαμηλότερη συγκέντρωση $\text{NO}_3^-\text{-N}$ να παρατηρείται στο βιολογικό σύστημα καλλιέργειας. Αξιοσημείωτο, είναι το γεγονός ότι και οι τρεις παραδοσιακές ποικιλίες αρακά είχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις $\text{NO}_3^-\text{-N}$ στο έδαφος, συγκριτικά με την εμπορική, με την υψηλότερη να παρουσιάζεται πάλι για την ποικιλία «Σχοινούσα», χωρίς όμως σημαντικές διαφορές. Κατά το στάδιο της τελικής συγκομιδής, η συγκέντρωση $\text{NO}_3^-\text{-N}$ στο έδαφος κυμάνθηκε από 143 έως 165 mg kg^{-1} , ενώ η συγκέντρωση $\text{NH}_4^+\text{-N}$ κυμάνθηκε από 3,08 έως 5,71 mg kg^{-1} . Η συγκέντρωση P στο έδαφος δεν επηρεάστηκε ούτε από την αξιολόγηση του γενοτύπου ούτε από το σύστημα καλλιέργειας και στις δύο ημερομηνίες δειγματοληψίας. Ομοίως η συγκέντρωση K στους βλαστούς δεν επηρεάστηκε ούτε από το σύστημα καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό) ούτε από το γενότυπο αρακά (Πίνακας 4). Οι Gorinath et al., κατέγραψαν χαμηλότερες συγκεντρώσεις N, P, K σε αγροτεμάχια βιολογικής καλλιέργειας σε σύγκριση με αγροτεμάχια που εφαρμόστηκε ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των θρεπτικών συστατικών.

Η χρησιμοποίηση των ψυχανθών σε συστήματα αμειψισποράς βελτιώνει τη γονιμότητα του εδάφους, ενώ η αποσύνθεση των υπολειμμάτων της καλλιέργειας ψυχανθών αυξάνει την διαθεσιμότητα του φωσφόρου και καλίου για την επόμενη καλλιέργεια. Όσον αφορά την συγκέντρωση P στους βλαστούς, βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών γενοτύπων αρακά (Πίνακας 4). Η χαμηλότερη συγκέντρωση P (3.447 mg g^{-1} DW ή 23,5 kg P ha^{-1}) βρέθηκε στην ποικιλία «Άνδρος». Οι Sandaña και Pinochet ανέφεραν επίσης ότι η πρόσληψη φωσφόρου στον αρακά κυμαίνονταν 15,5 έως 29,8 kg ha^{-1} . Ωστόσο, το σύστημα καλλιέργειας δεν είχε καμία σημαντική επίδραση στη συγκέντρωση του P. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Deibert και Utter, οι οποίοι παρατήρησαν ότι στο μέγιστο στάδιο παραγωγής ξηράς ουσίας για τον αρακά απαιτούνται 0,023, 0,0025

και 0,0162 kg N, P και K αντίστοιχα, προκειμένου να παραχθεί 1 kg φυτικού υλικού (ξηράς ουσίας).

Πίνακας 3. Συγκέντρωση NO_3^- -N, NH_4^+ -N και P στο έδαφος σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (a: στάδιο άνθησης και b: τελική συγκομιδή), ως αποτέλεσμα της επίδρασης του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό) και του γενοτύπου αρακά. Επειδή δεν βρέθηκαν σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ συστήματος καλλιέργειας και γενοτύπου, δίνονται μόνο οι μέσοι (n=4) των κύριων παραγόντων.

Σύστημα καλλιέργειας	Γενότυπος αρακά	NH_4^+ -N (mg kg ⁻¹)		NO_3^- -N (mg kg ⁻¹)		P (mg kg ⁻¹)	
		a	b	a	b	a	b
		Βιολογικό	5.17	4.17	154	151	5.614
Συμβατικό	5.60	3.45	170	155	5.604	5.598	
	«Onward»	5.28	3.26	147	147	5.605	5.595
	«Σχοινούσα»	5.46	4.62	175	148	5.610	5.606
	«Άνδρος»	5.28	3.64	171	165	5.615	5.606
	«Αμοργός»	5.53	3.59	156	153	5.605	5.604
<i>Statistical significance</i>							
Σύστημα καλλιέργειας		ns	ns	*	ns	ns	ns
Γενότυπος		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Σύστημα καλλιέργειας × Γενότυπος		ns	ns	ns	ns	ns	ns

[†]Μέσοι όροι τιμών (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα *, **, και *** υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε p<0,05, p<0,01 και p<0,001, αντίστοιχα, ενώ η συντομογραφία ns υποδηλώνει στατιστικά μη σημαντική διαφορά.

Πίνακας 4: Συγκεντρώσεις φώσφορου (P) και καλίου (K) σε βλαστούς από φυτά αρακά στο στάδιο της τελικής συγκομιδής επηρεαζόμενες από το σύστημα καλλιέργειας (βιολογικό και συμβατικό) και το γενότυπο του αρακά. Δεν βρέθηκαν σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του συστήματος καλλιέργειας και του γονότυπου, δίνονται μόνο οι μέσοι (n=4) των κυρίως παραγόντων.

Σύστημα καλλιέργειας	Γενότυπος αρακά	P (mg g ⁻¹)	K (mg g ⁻¹)
Βιολογικό		3.475	19.50
Συμβατικό		3.473	17.00
	«Onward»	3.476 ab	19.25
	«Σχοινούσα»	3.481 a	18.75
	«Άνδρος»	3.447 b	17.25
	«Αμοργός»	3.491 a	17.75
<i>Statistical significance</i>			
Σύστημα καλλιέργειας		ns	ns
Γενότυπος		*	ns
Σύστημα καλλιέργειας x Γενότυπο		ns	ns

¹Μέσοι όροι τιμών (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα *, **, και *** υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε p<0,05, p<0,01 και p<0,001, αντίστοιχα, ενώ η συντομογραφία ns υποδηλώνει στατιστικά μη σημαντική διαφορά.

5.4 Επίδραση του γονοτύπου αρακά και του συστήματος καλλιέργειας όσον αφορά την ξηρή βιομάζα υπέργειου τμήματος (βλαστοί), την περιεκτικότητα N και το βιολογικά δεσμευόμενο N (BNF)

Οι διαφορές που εκφράζονται ως ποσοστό % μεταξύ της περιεκτικότητας του ¹⁵N σε βλαστούς αρακά και της περιεκτικότητας ¹⁵N που βρίσκεται στο ατμοσφαιρικό N ($\delta^{15}N$) κυμάνθηκαν από 0,36 έως 2,13 (Πίνακας 5). Η μέση τιμή $\delta^{15}N$ στους γονοτύπους αρακά αυτής της συλλογής (τιμή B στη Σχέση (2)) ήταν -0,66. Επιπλέον, οι μέσες τιμές $\delta^{15}N$ στα φυτά αναφοράς που αναπτύχθηκαν σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας ήταν 8,61 και 10,26, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι ο αρακάς είναι ένα ψυχανθές με υψηλή ικανότητα αζωτοδέσμευσης N₂ (> 74% N που προέρχεται από την ατμόσφαιρα). Οι τιμές Ndfa κυμάνθηκαν μεταξύ 74,48 - 88,95% (Πίνακας 5). Οι Carranca et

al., κατέγραψαν ότι οι % τιμές του Ndfa στον αρακά κυμαίνονταν από 35% έως 85% ανάλογα με την περιοχή και το χρόνο, ενώ οι Kumar και Goh, παρατήρησαν ότι οι τιμές Ndfa ήταν πολύ υψηλότερες για το λευκό τριφύλλι (90%) σε σύγκριση με καλλιέργειες αρακά (69%).

Τα κουκιά και ο βίκος παράγουν γενικά περισσότερη βιομάζα και συγκεντρώνουν περισσότερο N από ότι ο αρακάς. Για την ξηρή βιομάζα βλαστών αρακά και την περιεκτικότητα τους σε N, βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ του βιολογικού και του συμβατικού συστήματος καλλιέργειας, ενώ οι υψηλότερες τιμές BNF καταγράφηκαν στο συμβατικό σύστημα καλλιέργειας. Η βιομάζα βλαστών είχε σημαντική συσχέτιση με το ξηρό βάρος της ρίζας ($r = 0,778$, $p < 0,05$). Η συνολική περιεκτικότητα N κυμαίνονταν από 2,15 έως 3,35%, ενώ η ποικιλία «Ανδρος» (2,40%) και η ποικιλία «Σχοινούσα» (2,46%) παρουσίασαν σημαντικά χαμηλότερες τιμές συνολικού N στους βλαστούς. Παρόμοιες τιμές έχουν επίσης αναφερθεί από Deibert και Utter.

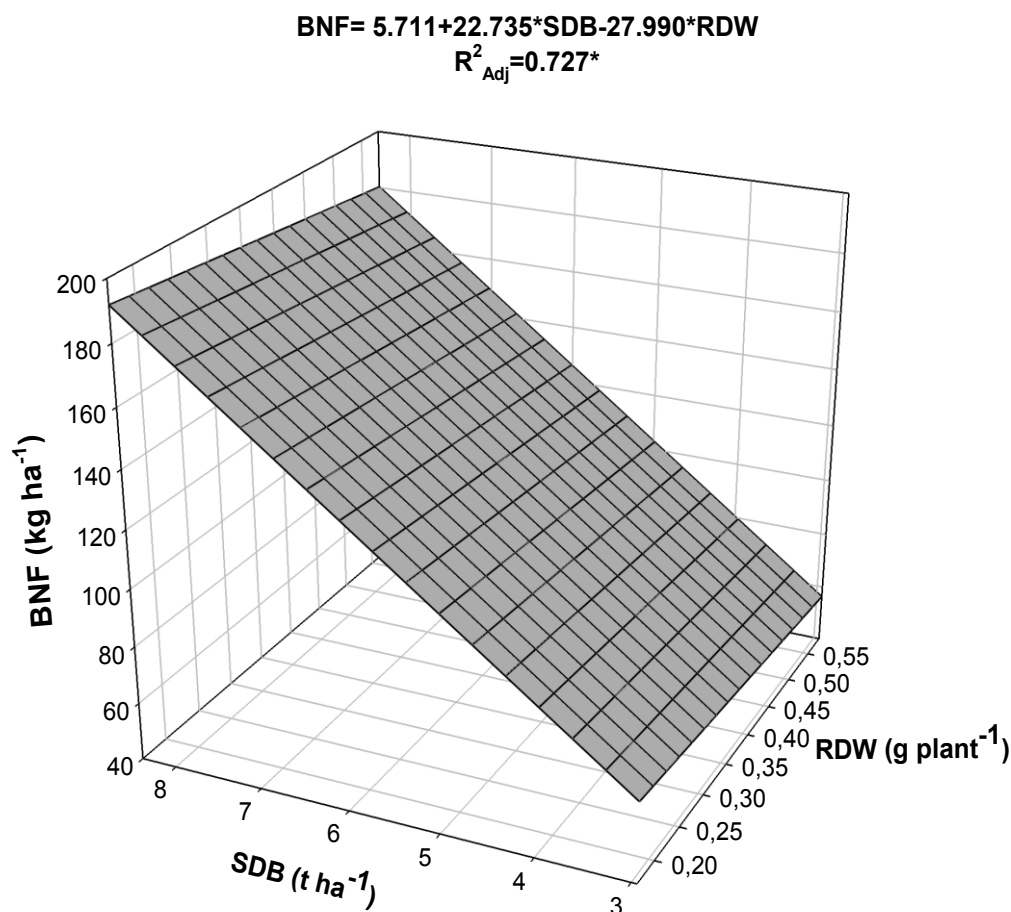
Οι τιμές BNF κυμάνθηκαν από 75 έως 192 kg ha⁻¹, ενώ βρέθηκαν σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του αξιολογούμενου γενοτύπου αρακά και του συστήματος καλλιέργειας (Πίνακας 5). Οι συνολικές τιμές του BNF εκτιμήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική συγκέντρωση N στο περιεχόμενο της βιομάζας των φυτών. Η στατιστική ανάλυση έδειξε μία σημαντική σχέση μεταξύ του BNF, RDW και SDB:

$$\text{BNF} = 5.711 + 22.735 * \text{SDB} - 27.990 * \text{RDW} \quad (R^2_{\text{Adj}} \text{ εξηγεί } 72,70\% \text{ της διακύμανσης στη BNF})$$
 (Διάγραμμα 6).

Στην παρούσα μελέτη οι ποικιλίες «Αμοργός» και «Σχοινούσα» παρουσίασαν σημαντικά χαμηλότερες τιμές για το BNF (114 και 77 kg ha⁻¹ αντίστοιχα) και για το ξηρό βάρος βλαστών (5,18 και 3,75 t ha⁻¹ αντίστοιχα) σε σύγκριση με τους άλλους γενοτύπους. Από την άλλη πλευρά οι Kumar και Goh, διαπίστωσαν ότι στον αρακά, συγκεντρώνονται περίπου 250 kg N ha⁻¹. Είναι ενδιαφέρον ότι, το βιολογικό σύστημα καλλιέργειας είχε ως αποτέλεσμα μειωμένη ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης BNF μόνο για τις ποικιλίες «Ανδρος» και «Αμοργός», ενώ οι ποικιλίες «Σχοινούσα» και «Onward» συμπεριφέρθηκαν παρόμοια και στα δύο συστήματα καλλιέργειας, από την άποψη της ικανότητας βιολογικής αζωτοδέσμευσης BNF. Σύμφωνα με τους Müller et al., η παροχή N για τα καλλιεργούμενα ψυχανθή κατά την έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου θα μπορούσε να διεγείρει την διαδικασία του BNF, με την παροχή επαρκούς N στα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης των φυτών, επιταχύνοντας έτσι τον πολλαπλασιασμό τους. Στην παρούσα μελέτη, η συγκέντρωση του N που παρέχεται κατά το στάδιο της ανθοφορίας στα

συμβατικά τεμάχια οδήγησε σε αυξημένη ικανότητα BNF για το συμβατικό σύστημα καλλιέργειας, αλλά μόνο για τις ποικιλίες «Άνδρος» και «Αμοργός».

Ακόμα η ποικιλία «Σχοινούσα» που παρουσίασε τον υψηλότερο αριθμό φυματίων στο μικρότερο ριζικό σύστημα, κατάφερε να διατηρήσει την αποτελεσματικότητα του BNF στο σύστημα βιολογικής καλλιέργειας. Έτσι, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι οι διαφορετικές παραδοσιακές ποικιλίες απαιτούν διαφορετικές ποσότητες ανόργανου N σε διαφορετικά συστήματα καλλιέργειας και να μην ωφεληθούν μόνο από την αποίκιση από τα ριζόβια.. Ως αποτέλεσμα, ο σχηματισμός φυματίων και το BNF μπορούν να διαταραχθούν μέσω ενός μηχανισμού ανατροφοδότησης που σηματοδοτείται από τα αποθέματα N, όπως έχει προταθεί και από τους Schulze και Nanjareddy et al.



Διάγραμμα 6. Πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης μεταξύ βιολογικά δεσμευμένου N (BNF, kg ha⁻¹) σε καλλιέργεια αρακά, ξηρού βάρους ρίζας (RDW g plant⁻¹) και ξηρού βάρους βλαστών (SDB; t ha⁻¹).

Πίνακας 5. Διαφορές μεταξύ της περιεκτικότητας του ^{15}N στους φυτικούς ιστούς και της περιεκτικότητας φυσικού ^{15}N στο ατμοσφαιρικό N ($\delta^{15}\text{N}$), το ποσοστό N του φυτού που προέρχεται από τη δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου (Ndfa), ξηρό βάρος βλαστών (SDB), περιεκτικότητα ολικού N σε βλαστούς, τα ποσά του βιολογικά δεσμευόμενου αζώτου (BNF) σε γενοτύπους αρακά που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό και σε συμβατικό σύστημα καλλιέργειας.

Σύστημα καλλιέργειας	Γενότυπος αρακά	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Ndfa (%)	SDB (t ha ⁻¹)	Ολικό-N (%)	BNF (kg ha ⁻¹)
Βιολογικό	«Onward»	1.11de ¹	80.88cd	7.51ab	2.72	163a
	«Σχοινούσα»	0.71f	85.24ab	3.37c	2.59	75b
	«Άνδρος»	0.77df	84.59bc	4.40c	2.15	81b
	«Αμοργός»	0.36f	88.95a	2.94c	2.68	70b
Συμβατικό	«Onward»	0.57f	88.73a	6.35b	3.35	192a
	«Σχοινούσα»	1.38cd	81.27bcd	4.14c	2.34	80b
	«Άνδρος»	2.13a	74.48e	8.40a	2.66	165a
	«Αμοργός»	1.66bc	78.74d	7.42ab	2.75	158a
<i>Main effects</i>						
Βιολογικό		0.74	84.92	4.56	2.53	107
Συμβατικό		1.44	80.81	6.58	2.77	136
«Onward»		0.84	84.81	6.93	3.03a	178
«Σχοινούσα»		1.05	83.26	3.75	2.46b	77
«Άνδρος»		1.45	79.54	6.40	2.40b	123
«Αμοργός»		1.01	83.84	5.18	2.71ab	114
<i>Statistical significance</i>						
Σύστημα καλλιέργειας		***	***	***	ns	***
Γενότυπος		***	***	***	*	***
Σύστημα καλλιέργειας x Γενότυπος		***	***	***	ns	*

¹Μέσοι όροι τιμών (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα *, **, και *** υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε $p < 0,05$, $p < 0,01$ και $p < 0,001$, αντίστοιχα, ενώ η συντομογραφία ns υποδηλώνει στατιστικά μη σημαντική διαφορά.

5.5 Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, χαρακτηριστικά απόδοσης και παραγωγή σπόρου σε γονοτύπους αρακά που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό και σε συμβατικό σύστημα καλλιέργειας

Η περιεκτικότητα των σπόρων σε πρωτεΐνη κυμάνθηκε από 22,79 έως 30,25%, ενώ δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των συστημάτων καλλιέργειας. Η ποικιλία «Άνδρος» είχε τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, ενώ το αντίθετο συνέβη για την ποικιλία «Onward». Δεν υπήρξε αλληλεπίδραση μεταξύ των γονοτύπων αρακά και του συστήματος καλλιέργειας.

Όσον αφορά την παραγωγικότητα σε νωπούς λοβούς, δεν βρέθηκε καμία αλληλεπίδραση μεταξύ του γονοτύπου και του συστήματος καλλιέργειας (Πίνακας 6). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στις χαμηλές εισροές N στο συμβατικό σύστημα καλλιέργειας αν και οι Dozet et al., παρατήρησαν αλληλεπιδράσεις μεταξύ λίπανσης και γονοτύπων αρακά. Οι Gopinath et al., ανέφεραν ότι η παραγωγικότητα στον αρακά ήταν χαμηλότερη 10,1 - 14,4% στο βιολογικό σύστημα, ενώ οι ποικιλίες αρακά, «Azad pea 1», «VivekMatar 8» and «VivekMatar 9» βρέθηκαν κατάλληλες για βιολογική καλλιέργεια. Η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης έδειξε μία στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ παραγωγικότητας νωπών λοβών (FPY), ξηρό βάρος ρίζας (RWD) και ξηρό βάρος βλαστών (SDB):

$FPY = 2.198 + 9.179 * RWD + 0.259 * SDB$ (R^2_{Adj} explains 73.50% of the variability in FPY)

Σε αυτή τη μελέτη, η ποικιλία «Άνδρος» ήταν η πιο παραγωγική όσον αφορά την παραγωγή νωπών λοβών και παρήγαγε μέτριου μεγέθους λοβούς σε ικανοποιητικό αριθμό ανεξαρτήτως του συστήματος που εφαρμόστηκε, προσδίδοντας ομοιομορφία στα χαρακτηριστικά πράγμα που θεωρείται εμπορικά αποδεκτό (Εικόνα 17). Από την άλλη πλευρά οι ποικιλίες «Σχοινούσα» και «Αμοργός» παρήγαγαν περισσότερους λοβούς, αλλά με μικρότερο βάρος, ενώ το αντίθετο συνέβη για την ποικιλία «Onward». Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν και για τους νωπούς σπόρους, με την μεγαλύτερη εμπορική αξία να παρουσιάζεται για την ποικιλία «Άνδρος» λόγω του εμπορικά αποδεκτού μεγέθους και βάρους των λοβών, καθώς και των σπόρων. Όσον αφορά την παραγωγικότητα σε νωπούς σπόρους, δεν βρέθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ γονοτύπων και συστήματος καλλιέργειας που εφαρμόστηκαν (Πίνακας 7).

Πίνακας 6. Επίδραση συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό) και γονοτύπου αρακά στη συνολική παραγωγή νωπών λοβών (Total fresh pod yield, TFPY), το συνολικό αριθμό νωπών λοβών (total fresh pod number, TFPN), και το μέσο βάρος νωπών λοβών (mean fresh pod weight, MFPW). Δεν βρέθηκαν σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ συστήματος καλλιέργειας και γονότυπου αρακά και ως εκ τούτου δίνονται μόνο οι μέσοι όροι (n=4) των κυρίων παραγόντων.

Σύστημα καλλιέργειας	Γενότυπος αρακά	TFPY (t ha ⁻¹)	TFPN (No m ⁻²)	MFPW (gr fresh pod ⁻¹)
Βιολογικό		6.01	280	2.15
Συμβατικό		7.32	358	2.05
	«Onward»	7.46ab	158c	4.72a
	«Σχοινούσα»	4.86c	385ab	1.26c
	«Άνδρος»	8.67a	265bc	3.27b
	«Αμοργός»	5.68bc	467a	1.22c
<i>Statistical significance</i>				
Σύστημα καλλιέργειας		ns	ns	ns
Γενότυπος		**	***	***
Σύστημα καλλιέργειας x Γενότυπος		ns	ns	ns

¹Μέσοι όροι τιμών (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα *, **, και *** υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε p<0,05, p<0,01 και p<0,001, αντίστοιχα, ενώ η συντομογραφία ns υποδηλώνει στατιστικά μη σημαντική διαφορά.

Πίνακας 7. Επίδραση συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό) και γονοτύπου αρακά στη συνολική παραγωγή νωπών σπόρων (total green seed yield, TGSY), το συνολικό αριθμό νωπών σπόρων (total green seed number, TGSN) και μέσο βάρος νωπών σπόρων (mean green seed weight, MGSW). Δεν βρέθηκαν σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ συστήματος καλλιέργειας και γονότυπου αρακά και ως εκ τούτου δίνονται μόνο οι μέσοι όροι (n=4) των κυρίων παραγόντων.

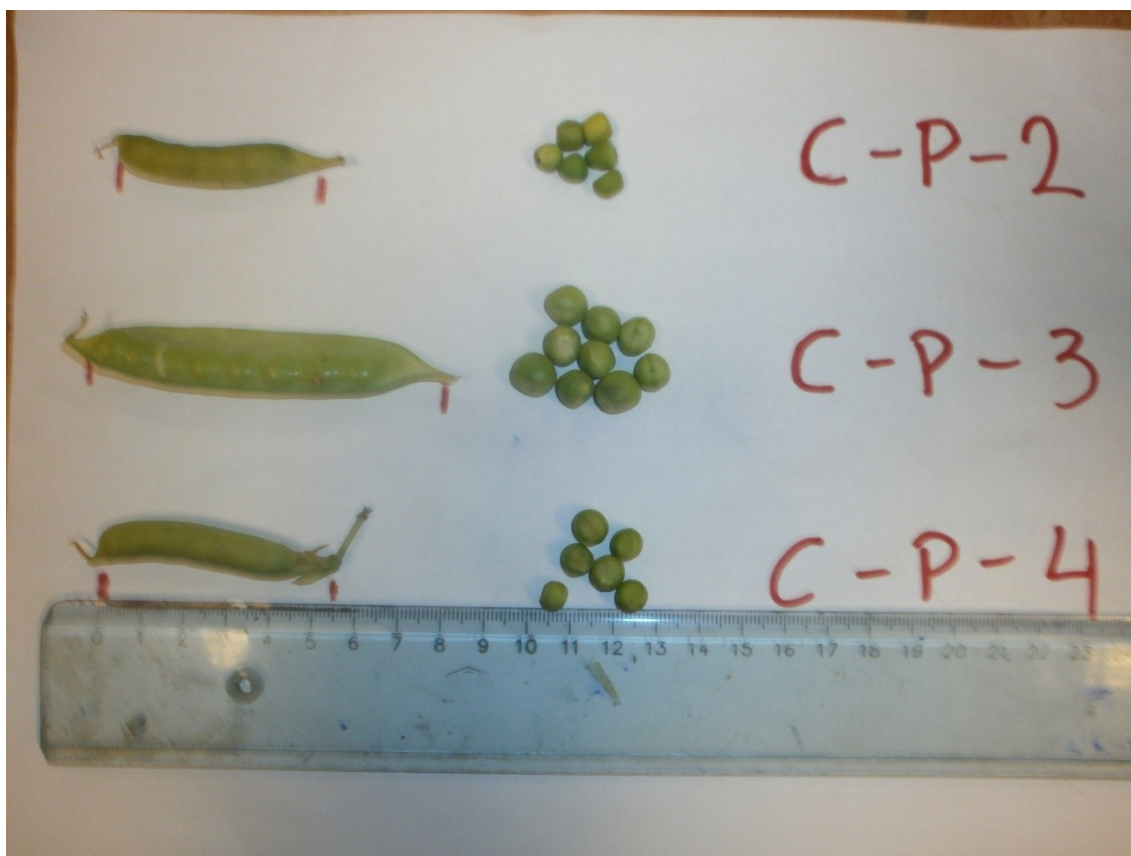
Σύστημα καλλιέργειας	Γενότυπος αρακά	TGSY (t ha ⁻¹)	TGSN (No m ⁻²)	MGSW (g fresh pod ⁻¹)
Βιολογικό		3.33	1774	0.201
Συμβατικό		4.04	2247	0.192
	«Onward»	3.48	1305c	0.266a
	«Σχοινούσα»	3.76	2382ab	0.157c
	«Άνδρος»	3.40	1722bc	0.208b
	«Αμοργός»	4.10	2632a	0.155c
Σύστημα καλλιέργειας		ns	ns	ns
Γενότυπος		ns	***	***
Σύστημα καλλιέργειας x Γενότυπος		ns	ns	ns

¹Μέσοι όροι τιμών (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα *, **, και *** υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε p<0,05, p<0,01 και p<0,001, αντίστοιχα, ενώ η συντομογραφία ns υποδηλώνει στατιστικά μη σημαντική διαφορά.

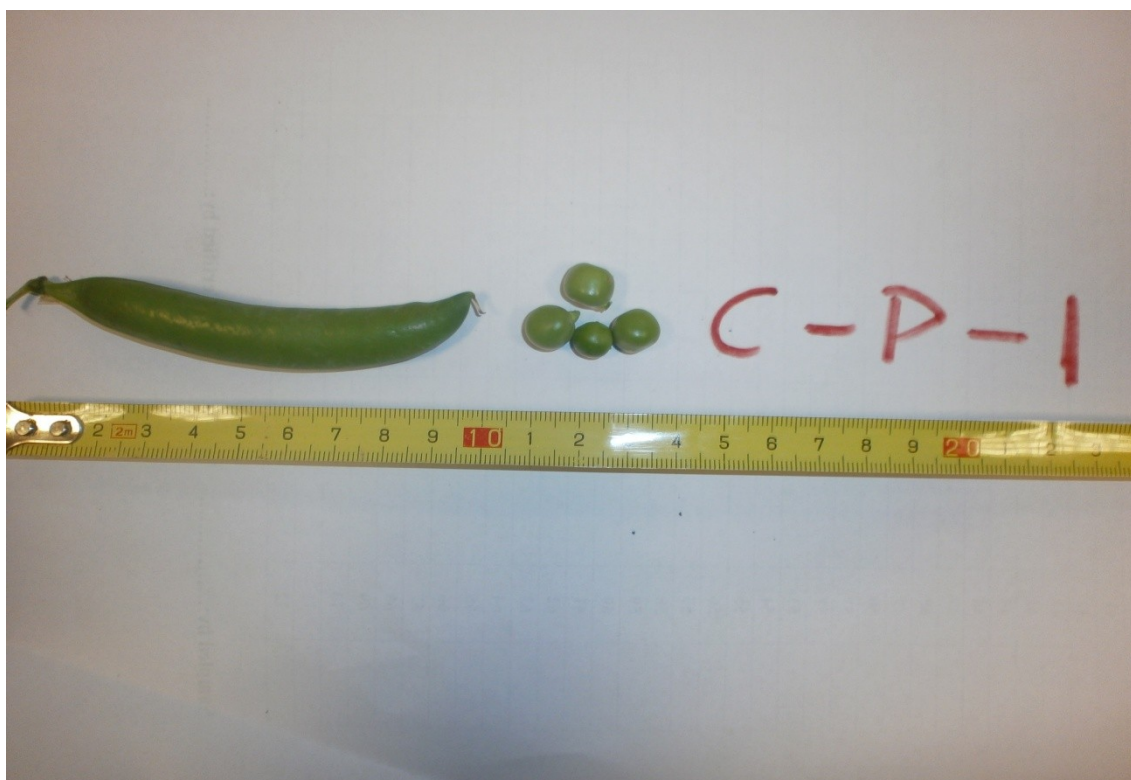
Πίνακας 8. Διαφορές μεταξύ βάρους νωπών λοβών, βάρους ξηρών σπόρων και περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη σε τέσσερις ποικιλίες αρακά, που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό και σε συμβατικό σύστημα.

Σύστημα καλλιέργειας	Γενότυπος αρακά	Νωποί λοβοί (t ha ⁻¹)	Ξηρός σπόρος (t ha ⁻¹)	Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (PC%)
Βιολογικό	«Onward»	6,87	2,13	30,11
	«Σχοινούσα»	4,28	2,18	27,10
	«Άνδρος»	7,96	2,63	22,79
	«Αμοργός»	4,95	2,53	26,78
Συμβατικό	«Onward»	8,04	2,35	29,82
	«Σχοινούσα»	5,44	2,14	26,15
	«Άνδρος»	9,37	3,61	23,51
	«Αμοργός»	6,42	2,78	26,28
Main effects				
	Βιολογικό	6,01	2,37	26,70
	Συμβατικό	7,32	2,72	26,22
	«Onward»	7,46 ab	2,24 b	29,99 a
	«Σχοινούσα»	4,86 c	2,16 b	26,62 b
	«Άνδρος»	8,67 a	3,12 a	23,15 c
	«Αμοργός»	5,68 bc	2,66 ab	26,52 b
Statistical significance				
Σύστημα καλλιέργειας		ns	ns	ns
Γενότυπος αρακά		**	*	***
Σύστημα καλλιέργειας×γενότυπος αρακά		ns	ns	ns

¹Μέσοι όροι τιμών (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα *, **, και *** υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε p<0,05, p<0,01 και p<0,001, αντίστοιχα, ενώ η συντομογραφία ns υποδηλώνει στατιστικά μη σημαντική διαφορά.



Εικόνα 17. Νωποί λοβοί και νωποί σπόροι των παραδοσιακών ποικιλιών: «Σχοινούσα» (C-P-2), «Άνδρος» (C-P-3) και «Αμοργός» (C-P-4).

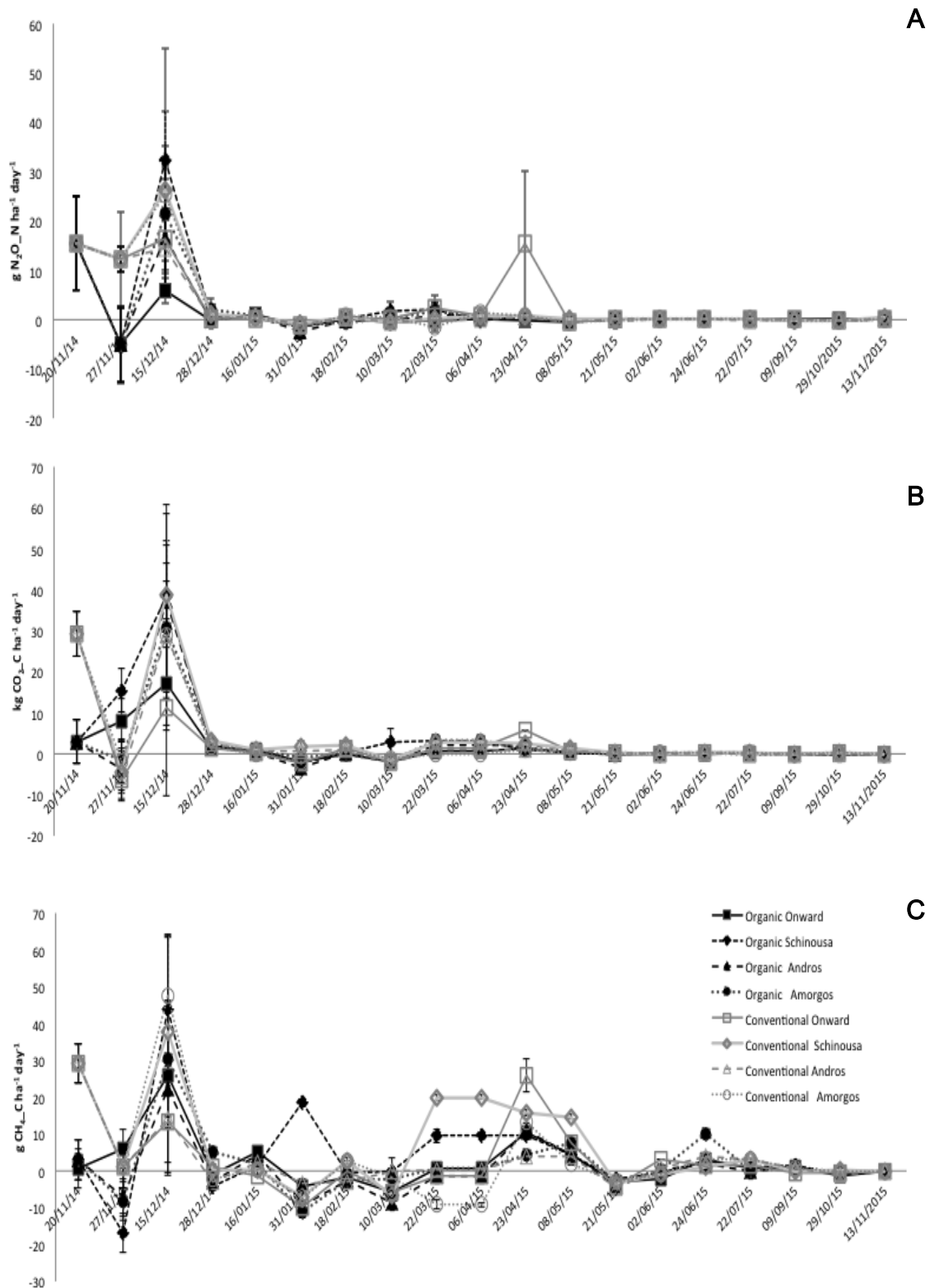


Εικόνα 18. Νωποί λοβοί και νωποί σπόροι της εμπορικής ποικιλίας «Onward» (C-P-1).

5.6 Επίδραση του γενοτύπου αρακά και του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό), στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, N₂O και CH₄) από το καλλιεργούμενο έδαφος.

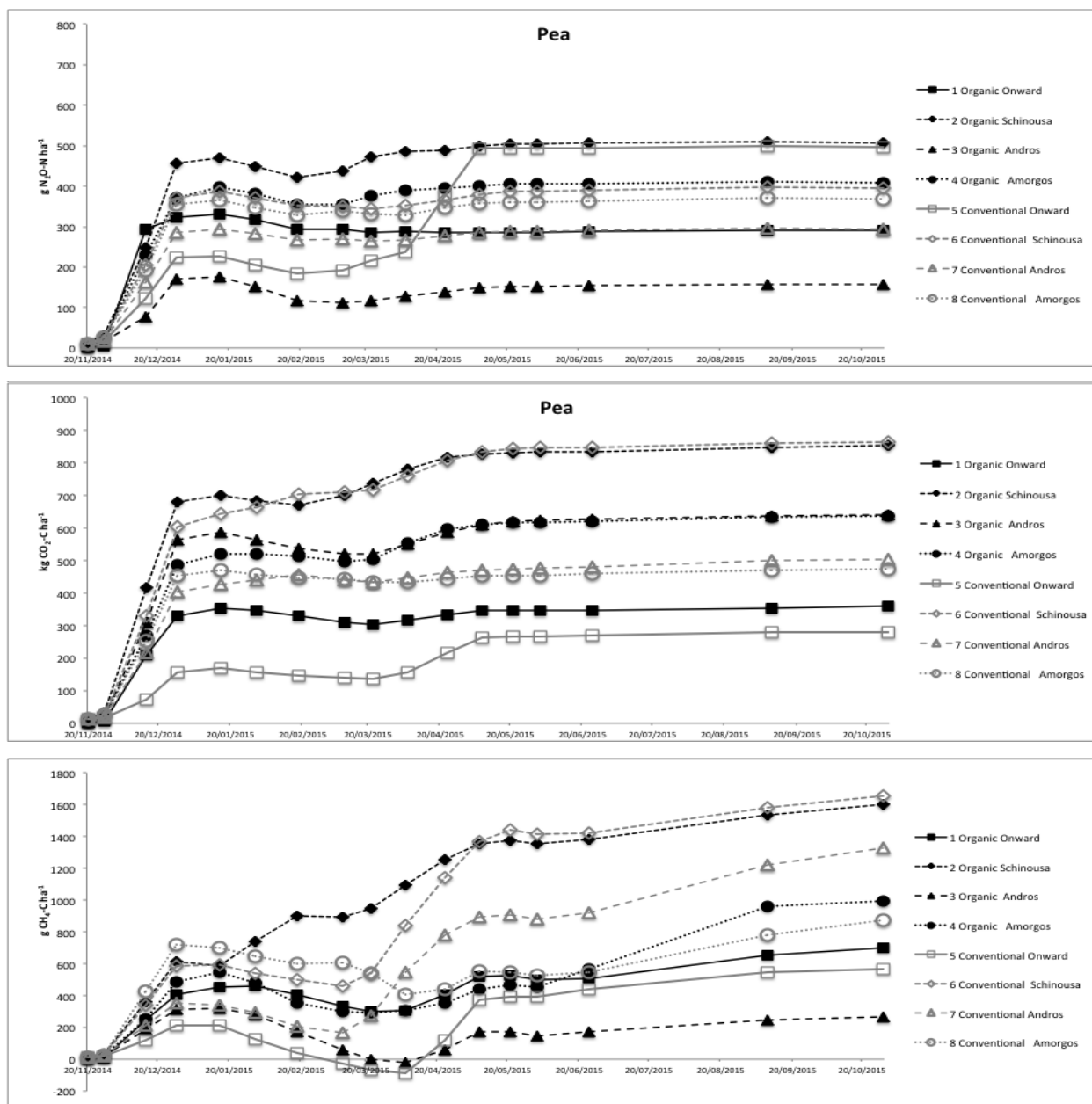
Κατά τη διάρκεια του πρώτου χρόνου του πειράματος, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που καταγράφηκαν, εκφραζόμενες σε ημερήσιες εκπομπές, μας δείχνουν ότι οι μηχανικές κατεργασίες του εδάφους (όργωμα και σπορά) έχουν σημαντική επίδραση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αλλά και αργότερα μέσα στο έτος, κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών (π.χ. στο στάδιο της άνθησης), παρατηρήθηκαν αρκετές διακυμάνσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα υπήρχαν σημαντικές διαφορές στις εκπομπές N₂O ($P < 0,05$) από τη δειγματοληψία 5 έως 7, η οποία είναι μετά από την περίοδο χιονοπτώσεων στην περιοχή (παγετός) και αργότερα κατά τη διάρκεια του έτους λίγο πριν το στάδιο της άνθησης (δειγματοληψία 11) μεταξύ των αγροτικών συστημάτων καλλιέργειας (βιολογικό και συμβατικό).

Οι εκπομπές CO₂ έδειξαν διαφορές μεταξύ των ποικιλιών κοντά στο στάδιο της ανθοφορίας (δειγματοληψία 10 και 11) ($P < 0,05$) δείχνοντας την πιθανή μικροβιακή ποικιλότητα μεταξύ των ποικιλιών. Επιπλέον, οι εκπομπές CH₄ έδειξαν μερικές σημαντικές διαφορές ($P < 0,01$) μετά από τη χιονόπτωση και μετά τη συγκομιδή των καλλιεργειών, τονίζοντας την αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα και την κατανομή τους στη ρίζα. Ωστόσο, οι εκπομπές ήταν σε χαμηλά επίπεδα στη μεγαλύτερη διάρκεια της πειραματικής περιόδου χωρίς κάποια σημαντική επίδραση (Διάγραμμα 7).



Διάγραμμα 7. Μετρήσεις εκπομπών N_2O (A) ($\text{g N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{d}^{-1}$), CO_2 (B) ($\text{kg CO}_2\text{-C ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) και CH_4 (C) ($\text{g CH}_4\text{-C ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) για τις τέσσερις ποικιλίες αρακά («Onward», «Σχοινούσα», «Ανδρος», και «Αμοργός») σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας στην περιοχή της Κωπαΐδας. Οι τιμές παρουσιάζονται ως οι μέσοι \pm SE (bars) από κάθε μεταχείριση ανά ημέρα δειγματοληψίας ($n = 4$).

Κατά την αξιολόγηση των συγκεντρωτικών τιμών για το N₂O, CO₂ και CH₄, που αφορούν τις τέσσερις ποικιλίες αρακά («Onward», «Σχοινούσα», «Άνδρος», και «Αμοργός») για περίοδο δώδεκα μηνών, παρατηρήθηκε ότι η ποικιλία αρακά «Σχοινούσα» είχε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με τις άλλες ποικιλίες τόσο στο βιολογικό όσο και στο συμβατικό σύστημα. Αντίθετα, η ποικιλία «Άνδρος» είχε τη χαμηλότερη αθροιστική τιμή στο βιολογικό σύστημα για τις εκπομπές N₂O και CH₄ καθ' όλη τη πειραματική περίοδο (Διάγραμμα 8).



Διάγραμμα 8. Αθροιστικές εκπομπές N₂O (g ha⁻¹ N₂O-N) (A), CO₂ (B) (kg CO₂-C ha⁻¹), και CH₄ (C) (g ha⁻¹ CH₄-C) για τις τέσσερις ποικιλίες αρακά («Onward», «Σχοινούσα», «Άνδρος» και «Αμοργός») σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας κατά τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους.

Σε σχέση με το N_2O , CO_2 και CH_4 η ένταση εκπομπών (g αερίων του θερμοκηπίου ανά τόνο προϊόντος) για τις ποικιλίες αρακά υπολογίζεται με βάση την παραγωγή για νωπό και ξηρό προϊόν. Σε γενικές γραμμές, οι εντάσεις των εκπομπών είναι η υπολογιζόμενη τιμή που δείχνει τη "φιλικότερη" προς το περιβάλλον καλλιέργεια, μεταχείριση ή ποικιλία. Η χαμηλότερη τιμή της έντασης δείχνει τη "φιλικότερη" προς το περιβάλλον ποικιλία ή και μεταχείριση. Από αυτή την άποψη η «Σχοινούσα» έδειξε την υψηλότερη τιμή έντασης εκπομπών και στο βιολογικό και στο συμβατικό σύστημα καλλιέργειας, αν και οι τιμές δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές. Συγκριτικά, η εμπορική ποικιλία αρακά «Onward» και η παραδοσιακή ποικιλία «Άνδρος» παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές, αλλά όχι σημαντικές. Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι, η ποικιλία «Onward» είχε μεγαλύτερες αποδόσεις στο βιολογικό σύστημα σε σύγκριση με την ποικιλία αρακά «Άνδρος», όπου η «Άνδρος» είχε καλύτερη ανταπόκριση στο συμβατικό σύστημα. Παρόμοια πρότυπα μετρήθηκαν για τα νωπά και ξηρά παραγόμενα προϊόντα, αλλά η περιβαλλοντική επίπτωση ήταν διπλάσια όταν χρησιμοποιήθηκε το ξηρό προϊόν.

5.7 Επίδραση του γενοτύπου κουκιών και του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό), σε φαινολογικά χαρακτηριστικά και παραμέτρους ανάπτυξης.

Η αξιολόγηση των γενοτύπων κουκιών, σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας, δείχνει μια καθορισμένη συνήθεια ανάπτυξης. Έτσι, ημέρες και το 50% της ανθοφορίας και ημέρες μέχρι τη πλήρη ωρίμανση κυμάνθηκαν από 117 έως 134 και 193 με 202 DAS, αντίστοιχα. Ο μεγαλύτερος αριθμός των ημερών για το 50% της ανθοφορίας βρέθηκε για την ποικιλία «Λευκάδα», από 130 έως 134 της DAS, σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας, αντίστοιχα (Πίνακας 9). Επιπλέον, παρατηρήθηκε ο μεγαλύτερος αριθμός των ημερών για την πλήρη ωρίμανση των λοβών στη ποικιλία «Aguadulce» (202 DAS, κατά μέσο όρο και στα δύο συστήματα καλλιέργειας). Για το ύψος των φυτών, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών και στα δύο συστήματα καλλιέργειας. Το ύψος των φυτών κυμάνθηκε από 64,28 μέχρι 79,95 cm και κανένας από τους γενοτύπους κουκιών δεν είχε σημαντικές απώλειες λόγω σπασίματος. Τέλος, για όλα τα φαινολογικά χαρακτηριστικά και τους παραμέτρους ανάπτυξης, δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των συστημάτων καλλιέργειας.

Πίνακας 9. Ημέρες για το 50% της άνθησης, ημέρες για την πλήρη ωρίμανση και ύψος φυτών (cm), σε τέσσερις γενοτύπους κουκιών (*Vicia faba* L.) που αναπτύχθηκαν σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας

Σύστημα καλλιέργειας	Ποικιλία κουκιών	Ημέρες για το 50% της άνθησης	Ημέρες για την πλήρη ωρίμανση	Ύψος φυτών (cm)
Βιολογικό	«Aguadulce»	121 ^Z	202	67.00
	«Άνδρος»	117	193	71.38
	«Λευκάδα»	130	197	79.95
	«Μάνη»	121	193	67.50
Συμβατικό	«Aguadulce»	121	202	64.28
	«Άνδρος»	117	193	75.83
	«Λευκάδα»	134	196	68.93
	«Μάνη»	118	193	70.63
<i>Main effects</i>				
Βιολογικό		122	196	71.46
Συμβατικό		122	196	69.91
«Aguadulce»		121 b	202 a	65.64
«Άνδρος»		117 b	193 c	73.60
«Λευκάδα»		132 a	197 b	74.44
«Μάνη»		119 b	193 c	69.06
<i>Statistical significance</i>				
Σύστημα καλλιέργειας		N.s. ^Y	N.s.	N.s.
Ποικιλία κουκιών		***	***	N.s.
Σύστημα καλλιέργειας x ποικιλία		N.s.	N.s.	N.s.

^ZΜέσοι όροι τιμών (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα *, **, και *** υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε p<0,05, p<0,01 και p<0,001, αντίστοιχα, ενώ η συντομογραφία ns υποδηλώνει στατιστικά μη σημαντική διαφορά.

5.8 Επίδραση των διαφορετικών γενοτύπων κουκιών και του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό) στη ριζική βιομάζα και τη δημιουργία φυματίων

Όσον αφορά την επίδραση του συστήματος καλλιέργειας και του γενοτύπου στο νωπό βάρος ρίζας (RFW), το ξηρό βάρος ρίζας και τον αριθμό φυματίων ανά L εδάφους (Πίνακας 10), η ποικιλία «Λευκάδα» παρουσίασε το μεγαλύτερο βάρος νωπής ρίζας και ξηράς ρίζας και στα δύο συστήματα καλλιέργειας (29,8 gr/L και 7,27 gr/L αντίστοιχα, μ.ο), όπως επίσης παρουσίασε τον υψηλότερο αριθμό φυματίων και στα δύο συστήματα καλλιέργειας συγκριτικά με τις άλλες ποικιλίες, ενώ τα μικρότερα βάρη νωπής ρίζας παρατηρήθηκαν για τις ποικιλίες «Μάνη» (18,68 gr/L) στο βιολογικό σύστημα και «Aguadulce» (13,73 gr/L) στο συμβατικό σύστημα. Ο μικρότερος αριθμός φυματίων παρατηρήθηκε για την ποικιλία «Μάνη» (30,08, No/L, μ.ο).

Πίνακας 10. Διαφορές μεταξύ νωπού βάρους ρίζας (RFW), ξηρού βάρους ρίζας (RDW) και αριθμού φυματίων (ανά L) σε νωπό βάρος εδάφους (SFW), σε τέσσερις ποικιλίες κουκιών (*Vicia faba* L.), που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό και σε συμβατικό σύστημα καλλιέργειας.

Σύστημα καλλιέργειας	Ποικιλία κουκιών	Root FW (gr/L)	Root DW (gr/L)	Nodules per soil volume (No/L)
Βιολογικό	«Aguadulce»	26.65 ^Z	5.46	39.44
	«Άνδρος»	24.27	4.79	42.11
	«Λευκάδα»	30.73	7.55	48.46
	«Μάνη»	18.68	4.05	30.14
Συμβατικό	«Aguadulce»	13.73	3.06	49.30
	«Άνδρος»	28.02	6.24	26.20
	«Λευκάδα»	28.87	7.00	58.45
	«Μάνη»	22.44	4.83	30.04
<i>Main effects</i>				
Βιολογικό		25.08	5.46	40.79
Συμβατικό		23.26	5.28	40.81
«Aguadulce»		20.19	4.26 b	45.08
«Άνδρος»		26.14	5.51 ab	35.29
«Λευκάδα»		29.80	7.27 a	52.74
«Μάνη»		20.56	4.44 b	30.08
<i>Statistical significance</i>				
Σύστημα καλλιέργειας		N.s. ^Y	N.s.	N.s.
Ποικιλία κουκιών		N.s.	*	N.s.
Σύστημα καλλιέργειας x Ποικιλία κουκιών		N.s.	N.s.	N.s.

¹Μέσοι όροι τιμών (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα *, **, και *** υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε $p < 0,05$, $p < 0,01$ και $p < 0,001$, αντίστοιχα, ενώ η συντομογραφία ns υποδηλώνει στατιστικά μη σημαντική διαφορά.

5.9 Διαφορές μεταξύ βάρους νωπών λοβών, βάρους ξηρών σπόρων και περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη σε τέσσερις ποικιλίες κουκιών (*Vicia faba* L.), που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό και σε συμβατικό σύστημα καλλιέργειας

Όσον αφορά την καλλιέργεια κουκιών, η ποικιλία «Aguadulce» ανταποκρίθηκε καλύτερα στο βιολογικό σύστημα από ότι στο συμβατικό, με παραγωγή 67,83 και 64,43 t ha⁻¹ αντίστοιχα, ενώ αντίθετα η ποικιλία «Άνδρος» ανταποκρίθηκε καλύτερα στο συμβατικό σύστημα (70,75 t ha⁻¹), από ότι στο βιολογικό (63,11 t ha⁻¹). Οι ποικιλίες «Λευκάδα» και «Μάνη» παρουσίασαν αρκετά μικρότερο βάρος νωπών λοβών και στα δύο συστήματα καλλιέργειας, συγκριτικά με τις άλλες δύο ποικιλίες, με την ποικιλία «Λευκάδα» να έχει την χαμηλότερη παραγωγή στο βιολογικό σύστημα (Πίνακας 11).

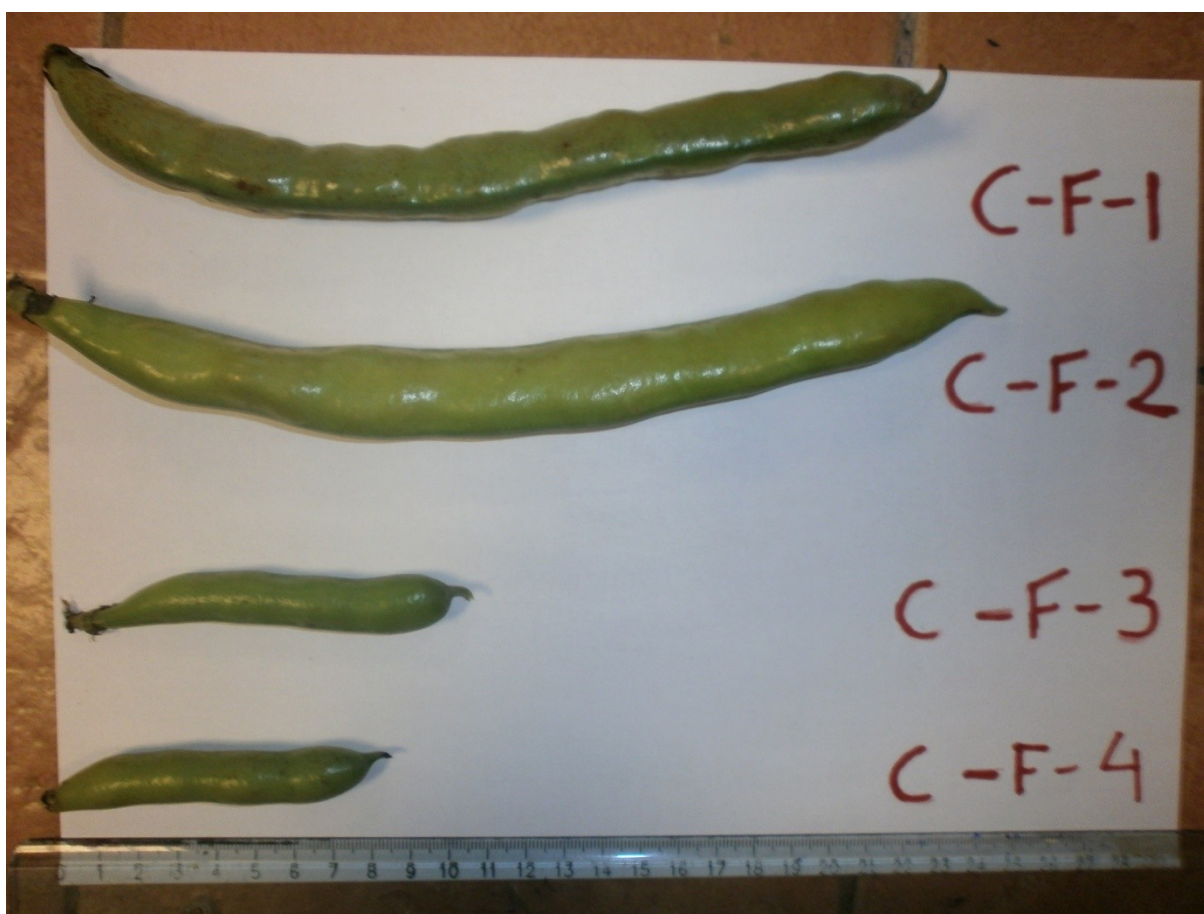
Το μεγαλύτερο βάρος ξηρών σπόρων παρουσίασε η εμπορική ποικιλία «Aguadulce» (15,13 t ha⁻¹) στο συμβατικό σύστημα. Οι ποικιλίες «Άνδρος» και «Μάνη» ανταποκρίθηκαν καλύτερα στο βιολογικό σύστημα, ενώ αντίθετα οι ποικιλίες «Aguadulce» και «Λευκάδα», ανταποκρίθηκαν καλύτερα στο συμβατικό σύστημα, χωρίς όμως να υπάρχουν σημαντικές διαφορές (Πίνακας 11).

Αξιοσημείωτο, είναι το γεγονός ότι και οι τρεις παραδοσιακές ποικιλίες κουκιών είχαν υψηλότερη περιεκτικότητα (%) σε πρωτεΐνη σε σύγκριση με την εμπορική ποικιλία, με την υψηλότερη περιεκτικότητα να παρουσιάζεται για την ποικιλία «Λευκάδα» 29,79% (Πίνακας 11).

Πίνακας 11. Διαφορές μεταξύ βάρους νωπών λοβών, βάρους ξηρών σπόρων και περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη σε τέσσερις ποικιλίες κουκιών (*Vicia faba* L.), που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό και σε συμβατικό σύστημα καλλιέργειας

Σύστημα καλλιέργειας	Ποικιλία κουκιών	Νωποί λοβοί (t ha ⁻¹)	Ξηρός σπόρος (t ha ⁻¹)	Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (PC%)
Βιολογικό	«Aguadulce»	67,83	12,44	27,16
	«Άνδρος»	63,11	13,58	27,97
	«Λευκάδα»	41,26	12,39	29,37
	«Μάνη»	45,48	12,46	29,44
Συμβατικό	«Aguadulce»	64,43	15,13	27,45
	«Άνδρος»	70,75	11,78	28,07
	«Λευκάδα»	44,97	13,37	30,21
	«Μάνη»	45,84	11,52	29,21
Main effects				
	Βιολογικό	54,42	12,72	28,49
	Συμβατικό	56,50	12,95	28,73
	«Aguadulce»	66,13 a	13,78 b	27,30
	«Άνδρος»	66,93 a	12,68 b	28,02
	«Λευκάδα»	43,12 b	12,88 a	29,79
	«Μάνη»	45,66 b	11,99 a	29,32
Statistical significance				
	Σύστημα καλλιέργειας	ns	ns	ns
	Ποικιλία κουκιών	***	ns	***
	Σύστημα καλλιέργειας x Ποικιλία κουκιών	ns	ns	ns

¹Μέσοι όροι τιμών (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα *, **, και *** υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε p<0,05, p<0,01 και p<0,001, αντίστοιχα, ενώ η συντομογραφία ns υποδηλώνει στατιστικά μη σημαντική διαφορά.



Εικόνα 19. Σύγκριση νωπών λοβών από μια εμπορική ποικιλία («Aguadulce» C-F-1) και τρεις παραδοσιακές ποικιλίες κουκιών («Άνδρος» C-F-2, «Λευκάδα» C-F-3, «Μάνη» C-F-4).

5.10 Επίδραση του γενοτύπου κουκιών και του συστήματος καλλιέργειας όσον αφορά την ξηρή βιομάζα υπέργειου τμήματος (βλαστοί), την περιεκτικότητα N και το βιολογικά δεσμευόμενο N (BNF)

Σχετικά με τις ποικιλίες κουκιών, οι τιμές για το BNF μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών και των διαφορετικών συστημάτων καλλιέργειας, κυμάνθηκαν μεταξύ 191 και 497 kg/ha, πράγμα που δείχνει αποτελεσματικότερη ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης συγκριτικά με τον αρακά. Οι υψηλότερες τιμές $\delta^{15}\text{N}$ βρέθηκαν για την ποικιλία «Aguadulce» στο βιολογικό σύστημα καλλιέργειας (1,39‰) και για το συμβατικό σύστημα στην ποικιλία «Μάνη» (0,74 ‰), ενώ οι υψηλότερες τιμές Ndfa παρατηρήθηκαν στην ποικιλία «Άνδρος» και

στα δύο συστήματα καλλιέργειας (90,8%, μ.ο.). Άλλες παράμετροι που αξιολογήθηκαν δεν έδειξαν σημαντικές διαφορές ($P > 0.05$) μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίνακας 12).

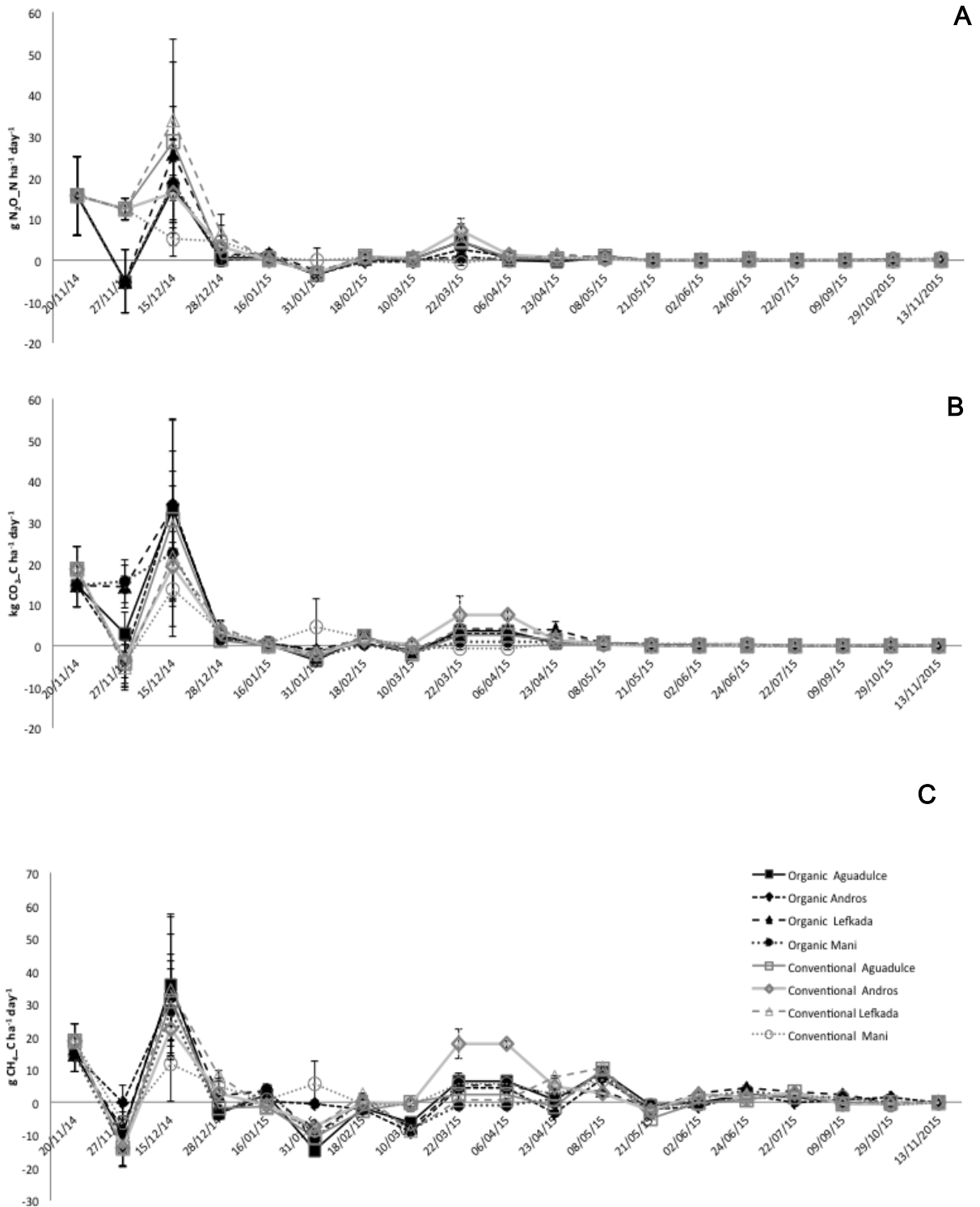
Πίνακας 12. Διαφορές μεταξύ της περιεκτικότητας του ^{15}N στους φυτικούς ιστούς και της περιεκτικότητας φυσικού ^{15}N στο ατμοσφαιρικό N ($\delta^{15}\text{N}$), το ποσοστό N του φυτού που προέρχεται από τη δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου (Ndfa), ξηρό βάρος βλαστών (SDB), περιεκτικότητα ολικού N σε βλαστούς, τα ποσά του βιολογικά δεσμευόμενου αζώτου (BNF) σε γενοτύπους κουκιών (*Vicia faba* L.) που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό και σε συμβατικό σύστημα καλλιέργειας.

Σύστημα καλλιέργειας	Ποικιλία κουκιών	$\delta^{15}\text{N}$ (%)	Ndfa (%)	Shoot dry biomass (t/ha)	Total plant N content (%)	Biologically fixed N (kg/ha)
Βιολογικό	«Aguadulce»	1.39 a	79.3 b	12.30	3.2	317
	«Άνδρος»	0.32 b	91.0 a	15.34	2.5	361
	«Λευκάδα»	0.68 b	87.1 a	12.32	3.5	497
	«Μάνη»	0.70 b	86.9 a	14.74	3.0	308
Συμβατικό	«Aguadulce»	0.61 b	89.7 a	11.89	3.0	322
	«Άνδρος»	0.55 b	90.3 a	11.87	3.2	343
	«Λευκάδα»	0.63 b	89.5 a	13.86	3.0	352
	«Μάνη»	0.74 b	88.5 a	7.72	2.9	191
<i>Main effects</i>						
Βιολογικό		0.77	86.1	13.67	3.0	371
Συμβατικό		0.63	89.5	11.34	3.0	302
	«Aguadulce»	1.00 a	84.5 b	12.09	3.1	320
	«Άνδρος»	0.43 b	90.6 a	13.60	2.9	352
	«Λευκάδα»	0.66 ab	88.3 ab	13.09	3.2	424
	«Μάνη»	0.72 ab	87.7 ab	11.23	2.9	249
<i>Statistical significance</i>						
Σύστημα καλλιέργειας		N.s. ^Y	*	N.s.	N.s.	N.s.
Ποικιλία κουκιών		*	*	N.s.	N.s.	N.s.
Σύστημα καλλιέργειας x Ποικιλία κουκιών		*	*	N.s.	N.s.	N.s.

^YΜέσοι όροι τιμών (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη είναι στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με την δοκιμασία πολλαπλών συγκρίσεων κατά Duncan. Τα σύμβολα *, **, και *** υποδηλώνουν σημαντικότητα των διαφορών σε $p < 0,05$, $p < 0,01$ και $p < 0,001$, αντίστοιχα, ενώ η συντομογραφία ns υποδηλώνει στατιστικά μη σημαντική διαφορά.

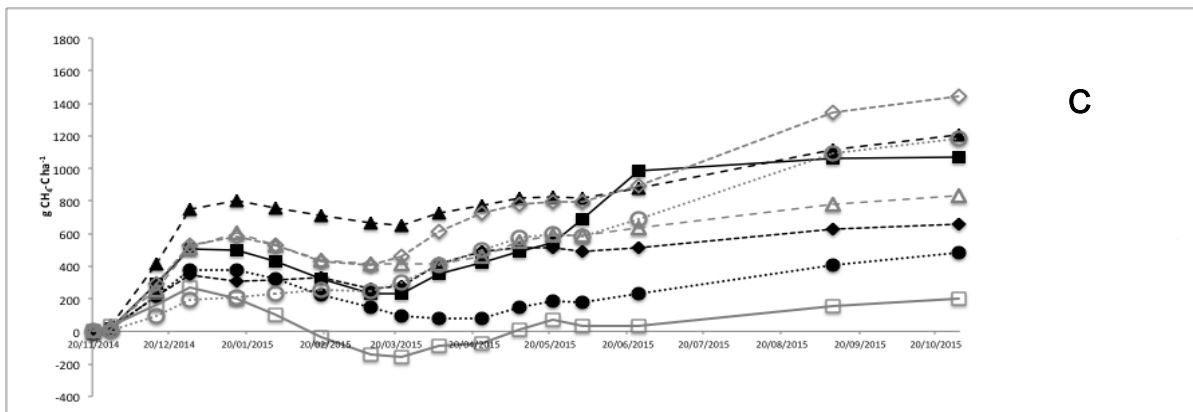
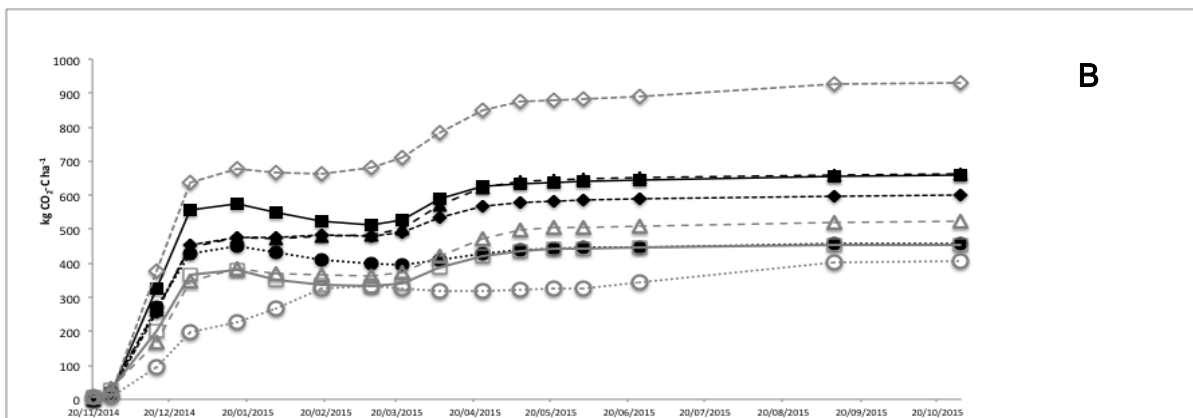
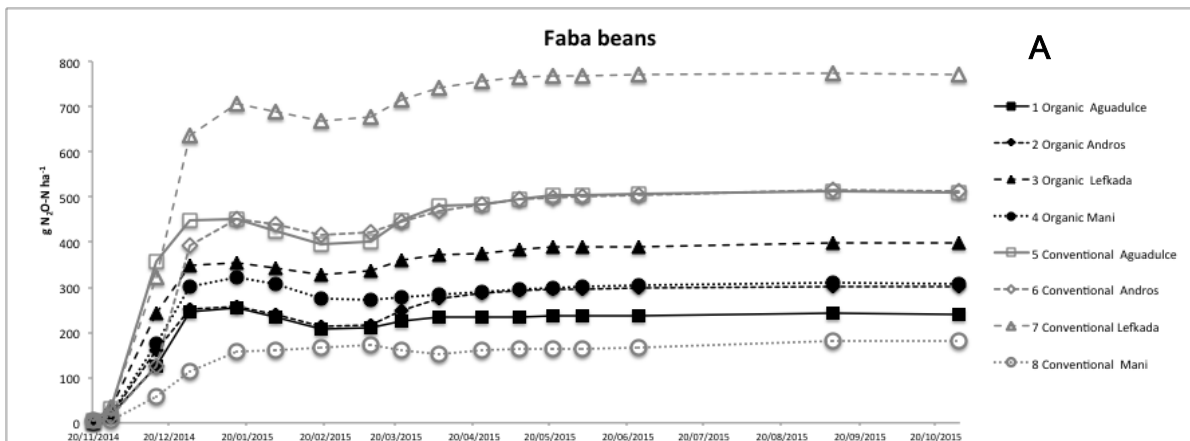
5.11 Επίδραση του γενοτύπου κουκιών και του συστήματος καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό), στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, N₂O και CH₄) από το καλλιεργούμενο έδαφος.

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από καλλιέργειες κουκιών έδειξαν παρόμοιες τιμές σε σχέση με τις τιμές για τις καλλιέργειες του αρακά. Έτσι, στο συμβατικό σύστημα παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες διαφορές από ότι στο βιολογικό σύστημα, ακόμη και αν οι διαφορές που παρατηρήθηκαν δεν ήταν σημαντικές. Ακόμη φαίνεται να είναι αποτέλεσμα της επίδρασης του παγετού στα τέλη του Ιανουαρίου, η οποία είχε σημαντική επίδραση στις εκπομπές N₂O, αλλά και στις εκπομπές CO₂ και CH₄, όπου και αναφέρθηκαν αρνητικές τιμές εκπομπών. Επίσης, παρατηρήθηκε αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα κοντά στο στάδιο της ανθοφορίας και αύξηση της δημιουργίας φυματίων, που οδηγεί σε αυξημένες τιμές εκπομπών CH₄ και CO₂ και ιδιαίτερα μετά τους χειμερινούς μήνες, μέχρι το πρώιμο στάδιο δημιουργίας λοβών. Οι εκπομπές ήταν γενικά χαμηλές, αλλά όχι κάτι ασυνήθιστο για την περιοχή και τα εδάφη της Μεσογείου (Διάγραμμα 9).



Διάγραμμα 9. Μετρήσεις εκπομπών N_2O (A) ($g N_2O-N ha^{-1} d^{-1}$), CO_2 (B) ($kg CO_2-C ha^{-1} d^{-1}$) και CH_4 (C) ($g CH_4-C ha^{-1} d^{-1}$) για τις τέσσερις ποικιλίες κουκιών («Aguadulce», «Άνδρος», «Λευκάδα» και «Μάνη) σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας στην περιοχή της Κωπαΐδας. Οι τιμές παρουσιάζονται ως οι μέσοι \pm SE (bars) από κάθε μεταχείριση ανά ημέρα δειγματοληψίας ($n = 4$).

Σε γενικές γραμμές, οι αθροιστικές εκπομπές για τα κουκιά δεν είχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών που καλλιεργήθηκαν σε βιολογικό ή συμβατικό σύστημα. Οι ποικιλίες «Aquadulce» και «Λευκάδα» παρουσίασαν υψηλότερες εκπομπές σε σύγκριση με τις ποικιλίες «Άνδρος» και «Μάνη» στο συμβατικό σύστημα καλλιέργειας. Στο βιολογικό σύστημα, οι ποικιλίες «Άνδρος» και «Μάνη» έδωσαν υψηλότερες τιμές για τα αέρια θερμοκηπίου από ότι στο συμβατικό σύστημα, αν και αυτές οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές (Διάγραμμα 10).



Διάγραμμα 10. Αθροιστικές εκπομπές N₂O (A) (g ha⁻¹ N₂O-N), CO₂ (B) (kg CO₂-C ha⁻¹), και CH₄ (C) (g ha⁻¹ CH₄-C) για τις τέσσερις ποικιλίες κουκιών («Aquadulce», «Άνδρος», «Λευκάδα» και «Μάνη») σε βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας κατά τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους.

Οι διαφορετικές εντάσεις εκπομπών που καταγράφηκαν ξεχωριστά για κάθε ποικιλία και σύστημα καλλιέργειας, κατά την αξιολόγηση, ήταν χαμηλότερες από ό, τι αυτές στην καλλιέργεια αρακά για τις υψηλότερες αποδόσεις. Ωστόσο, οι ποικιλίες «Aquadulce» και «Άνδρος» παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές στο βιολογικό και η «Aquadulce» και «Μάνη» στο συμβατικό σύστημα καλλιέργειας, αντίστοιχα. Αντίθετα, η ποικιλία «Λευκάδα» έδωσε τις υψηλότερες τιμές στο βιολογικό και στο συμβατικό σύστημα καλλιέργειας, αντίστοιχα. Επιπλέον, η εμπορική ποικιλία «Aquadulce» εμφάνισε υψηλότερη απόδοση στο συμβατικό σύστημα και η ποικιλία «Άνδρος» στο συμβατικό σύστημα, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ποικιλίες, χωρίς όμως σημαντικές διαφορές. Τέλος, οι CO₂eq έδειξε ότι η ποικιλία «Aquadulce» παρουσίασε την υψηλότερη και τη χαμηλότερη τιμή στο βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας σε σύγκριση με τις υπόλοιπες που αξιολογήθηκαν.

6. Συμπεράσματα και συζήτηση

6.1 Πρωιμότητα - Παραγωγικότητα

Ο μικρότερος αριθμός ημερών για την πλήρη ωρίμανση που παρατηρήθηκε στις τρεις τοπικές ποικιλίες αρακά σε σύγκριση με την εμπορική ποικιλία «Onward» αποτελεί ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό. Το ίδιο ισχύει και για τις τοπικές ποικιλίες κουκιών «Άνδρος» και «Μάνη» οι οποίες επίσης έφθασαν στο στάδιο της πλήρους ωρίμανσης περίπου 10 ημέρες νωρίτερα από την εμπορική ποικιλία «Aguadulce». Κάτω από ημι-άνυδρες μεσογειακές συνθήκες, οι καλλιέργειες αρακά και κουκιών που ολοκληρώνουν τον καλλιεργητικό τους κύκλο νωρίτερα είναι λιγότερο ευαίσθητες στις καταπονήσεις από την ξηρασία στις οποίες μπορεί να εκτεθούν προς το τέλος του κύκλου της καλλιέργειάς τους το οποίο συμπίπτει με την έναρξη της ξηρής εποχής του έτους. Σύμφωνα με τους Vocanson και Jeuffroy, οι βελτιωτές θα πρέπει να αναπτύξουν νέες ποικιλίες αρακά που ανθίζουν νωρίτερα από τις υπάρχουσες ποικιλίες. Αυτό είναι εφικτό, αφού, όπως προκύπτει και από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, υπάρχει γενετική παραλακτικότητα ως προς αυτό το χαρακτηριστικό μεταξύ διαφορετικών γονοτύπων αρακά και κουκιών. Σημαντικές διαφορές μεταξύ διαφορετικών γονοτύπων αρακά όσον αφορά την εξέλιξη της ανθοφορίας έχουν παρατηρήσει μεταξύ άλλων και οι Atta et al..

Σε αυτή τη μελέτη, όσον αφορά την παραγωγικότητα σε νωπούς λοβούς, όλες οι ποικιλίες αρακά ανταποκρίθηκαν καλύτερα στο συμβατικό σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, η ποικιλία «Άνδρος» ήταν η πιο παραγωγική όσον αφορά την παραγωγή νωπών λοβών και παρήγαγε μέτριου μεγέθους λοβούς σε ικανοποιητικό αριθμό ανεξαρτήτως του συστήματος που εφαρμόστηκε (8,67 t/ha), προσδίδοντας ομοιομορφία στα χαρακτηριστικά πράγμα που θεωρείται εμπορικά αποδεκτό. Επίσης, η ποικιλία Άνδρος είχε επίσης την υψηλότερη παραγωγή σε ξηρό σπόρο και στα δύο συστήματα καλλιέργειας αλλά την χαμηλότερη περιεκτικότητα % σε πρωτεΐνη. Από την άλλη πλευρά, οι ποικιλίες «Σχοινούσα» και «Αμοργός» παρήγαγαν περισσότερους λοβούς, αλλά με μικρότερο βάρος, ενώ το αντίθετο συνέβη για την ποικιλία «Onward». Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν και για τους νωπούς σπόρους, με την μεγαλύτερη εμπορική αξία να παρουσιάζεται για την ποικιλία «Άνδρος» λόγω του εμπορικά αποδεκτού μεγέθους και βάρους των λοβών, καθώς και των σπόρων. Όσον αφορά την παραγωγικότητα σε νωπούς σπόρους, δεν βρέθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ γονοτύπων και συστήματος καλλιέργειας που εφαρμόστηκαν.

Η υψηλότερη περιεκτικότητα % σε πρωτεΐνη σε ξηρό σπόρο παρατηρήθηκε στην εμπορική ποικιλία «Onward» (29,99% μ.ο.), ενώ οι ποικιλίες «Σχοινούσα» και «Αμοργός» είχαν παρόμοια περιεκτικότητα (26,62% και 26,52% αντίστοιχα).

Σχετικά με την καλλιέργεια κουκιών και την παραγωγικότητα σε νωπούς λοβούς, η ποικιλία «Aguadulce» ανταποκρίθηκε καλύτερα στο βιολογικό σύστημα από ότι στο συμβατικό, με παραγωγή 67,83 και 64,43 t ha⁻¹ αντίστοιχα, ενώ αντίθετα η ποικιλία «Άνδρος» ανταποκρίθηκε καλύτερα στο συμβατικό σύστημα (70,75 t ha⁻¹), από ότι στο βιολογικό (63,11 t ha⁻¹). Οι ποικιλίες «Λευκάδα» και «Μάνη» παρουσίασαν αρκετά μικρότερο βάρος νωπών λοβών και στα δύο συστήματα καλλιέργειας, συγκριτικά με τις άλλες δύο ποικιλίες, με την ποικιλία «Λευκάδα» να έχει την χαμηλότερη παραγωγή στο βιολογικό σύστημα. Το υψηλότερο βάρος ξηρών σπόρων παρατηρήθηκε στην εμπορική ποικιλία «Aguadulce», επιβεβαιώνοντας την παραγωγικότητα της.

Αξιοσημείωτο, είναι το γεγονός ότι και οι τρεις παραδοσιακές ποικιλίες κουκιών παρουσίασαν υψηλότερη % περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (σε ξηρό σπόρο) και στα δύο συστήματα καλλιέργειας σε σύγκριση με την εμπορική, τονίζοντας την υψηλή διατροφική αξία των παραδοσιακών – τοπικών ποικιλιών.

Κατά την αξιολόγηση της παραγωγικότητας των παραδοσιακών ποικιλιών, παρατηρήθηκαν διαφορές στα χαρακτηριστικά, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον κλάδο της Βελτίωσης για την δημιουργία νέων βελτιωμένων ποικιλιών.

6.2 Ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης (BNF)

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι ο αρακάς είναι ένα ψυχανθές με υψηλή ικανότητα αζωτοδέσμευσης N₂ (> 74% N που προέρχεται από την ατμόσφαιρα). Οι τιμές Ndfa κυμάνθηκαν μεταξύ 74,48 - 88,95%.

Οι ποικιλίες «Αμοργός» και «Σχοινούσα» παρουσίασαν σημαντικά χαμηλότερες τιμές για το BNF (114 και 77 kg ha⁻¹ αντίστοιχα) και για το ξηρό βάρος βλαστών (5,18 και 3,75 t ha⁻¹ αντίστοιχα) σε σύγκριση με τους άλλους γενοτύπους. Είναι ενδιαφέρον ότι, το βιολογικό σύστημα καλλιέργειας είχε ως αποτέλεσμα μειωμένη ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης BNF μόνο για τις ποικιλίες «Άνδρος» και «Αμοργός», ενώ οι ποικιλίες «Σχοινούσα» και «Onward» συμπεριφέρθηκαν παρόμοια και στα δύο συστήματα καλλιέργειας, από την άποψη

της ικανότητας βιολογικής αζωτοδέσμευσης (BNF). Η συγκέντρωση του N που παρέχεται στα συμβατικά τεμάχια οδήγησε σε αυξημένη ικανότητα BNF για το συμβατικό σύστημα καλλιέργειας, αλλά μόνο για τις ποικιλίες «Άνδρος» και «Αμοργός». Ακόμα η ποικιλία «Σχοινούσα» που παρουσίασε τον υψηλότερο αριθμό φυματίων στο μικρότερο ριζικό σύστημα, κατάφερε να διατηρήσει την αποτελεσματικότητα του BNF στο σύστημα βιολογικής καλλιέργειας. Έτσι, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι οι διαφορετικές παραδοσιακές ποικιλίες απαιτούν διαφορετικές ποσότητες ανόργανου N σε διαφορετικά συστήματα καλλιέργειας και δεν ωφελούνται μόνο από την αποίκηση από τα ριζόβια.

Αν και οι εισροές ήταν χαμηλές (εφαρμογή μόνο βασικής λίπανσης), μικρές δόσεις αζώτου με τη μορφή χημικού λιπάσματος, φάνηκε να επηρεάζουν θετικά την ικανότητα της βιολογικής αζωτοδέσμευσης, σε σύγκριση με την εφαρμογή οργανικής ουσίας (κοπριά) η οποία αποδεσμεύεται πιο αργά. Αυτό μπορεί οφείλεται στην καλύτερη θρέψη – ανάπτυξη του ριζικού συστήματος στα πρώτα στάδια ανάπτυξης του φυτού, με συνέπεια την καλύτερη αποίκηση των βακτηρίων και κατ'επέκταση μεγαλύτερη ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης.

Σχετικά με τις ποικιλίες κουκιών, οι τιμές για το BNF μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών και των διαφορετικών συστημάτων καλλιέργειας, κυμάνθηκαν μεταξύ 191 και 497 kg/ha, πράγμα που δείχνει αποτελεσματικότερη ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης συγκριτικά με τον αρακά. Όλες οι ποικιλίες ανταποκρίθηκαν καλύτερα στο βιολογικό σύστημα, με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται για την ποικιλία «Λευκάδα» (βιολογικό).

Οι υψηλότερες τιμές $\delta^{15}\text{N}$ βρέθηκαν για την ποικιλία «Aguadulce» στο βιολογικό σύστημα καλλιέργειας (1,39‰) και για το συμβατικό σύστημα στην ποικιλία «Μάνη» (0,74 ‰), ενώ οι υψηλότερες τιμές Ndfa παρατηρήθηκαν στην ποικιλία «Άνδρος» και στα δύο συστήματα καλλιέργειας (90,8%, μ.ο.). Άλλες παράμετροι που αξιολογήθηκαν δεν έδειξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Συμπερασματικά φάνηκε ότι, οι παραδοσιακές ποικιλίες κουκιών έχουν μεγάλη ικανότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα αμεινισποράς με πολλά οφέλη.

6.3 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG)

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που καταγράφηκαν, εκφραζόμενες σε ημερήσιες εκπομπές, μας έδειξαν ότι οι μηχανικές κατεργασίες του εδάφους (όργωμα και σπορά) έχουν σημαντική επίδραση στις εκπομπές αερίων, αλλά και αργότερα μέσα στο έτος, κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών (π.χ. στο στάδιο της άνθησης), παρατηρήθηκαν αρκετές διακυμάνσεις. Υπήρχαν σημαντικές διαφορές στις εκπομπές N_2O μετά από την περίοδο χιονοπτώσεων στην περιοχή (παγετός) και αργότερα κατά τη διάρκεια του έτους λίγο πριν το στάδιο της άνθησης μεταξύ των αγροτικών συστημάτων καλλιέργειας (βιολογικό και συμβατικό).

Οι εκπομπές CO_2 έδειξαν διαφορές μεταξύ των ποικιλιών κοντά στο στάδιο της ανθοφορίας, δείχνοντας την πιθανή μικροβιακή ποικιλότητα μεταξύ των ποικιλιών. Επιπλέον, οι εκπομπές CH_4 έδειξαν μερικές σημαντικές διαφορές μετά από τη χιονόπτωση και μετά τη συγκομιδή των καλλιεργειών τονίζοντας την αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα. Ωστόσο, οι εκπομπές ήταν σε χαμηλά επίπεδα στη μεγαλύτερη διάρκεια της πειραματικής περιόδου χωρίς κάποια σημαντική επίδραση

Στη παρούσα μελέτη φάνηκε ότι, οι παραδοσιακές ποικιλίες ψυχανθών, μπορούν να διεγείρουν σε μεγάλο βαθμό την μικροβιακή δραστηριότητα στο έδαφος, που έχει σαν αποτέλεσμα την εκπομπή αερίων CO_2 , CH_4 , και N_2O μέσω της απονιτροποίησης και νιτροποίησης, λόγω της εισαγωγής πρόσθετων ποσοτήτων N και C στο αγροτικό σύστημα.

Κατά την αξιολόγηση των συγκεντρωτικών τιμών για το N_2O , CO_2 και CH_4 , που αφορούν τις τέσσερις ποικιλίες αρακά («Onward», «Σχοινούσα», «Άνδρος», και «Αμοργός») για περίοδο δώδεκα μηνών, παρατηρήθηκε ότι η ποικιλία αρακά «Σχοινούσα» είχε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με τις άλλες ποικιλίες τόσο στο βιολογικό όσο και στο συμβατικό σύστημα. Αντίθετα, η ποικιλία «Άνδρος» είχε τη χαμηλότερη αθροιστική τιμή στο βιολογικό σύστημα για τις εκπομπές N_2O και CH_4 καθ' όλη τη πειραματική περίοδο. Επιπλέον, εστιάζοντας μόνο στα τελικά αποτελέσματα των αθροιστικών τιμών για κάθε αέριο του θερμοκηπίου, φάνηκε ότι δεν υπήρχαν σημαντικές επιδράσεις είτε από το σύστημα καλλιέργειας είτε από τη ποικιλία

Η χαμηλότερη τιμή της έντασης δείχνει τη "φιλικότερη" προς το περιβάλλον ποικιλία ή και μεταχείριση. Από αυτή την άποψη η ποικιλία «Σχοινούσα» έδειξε την υψηλότερη τιμή έντασης εκπομπών και στο βιολογικό και στο συμβατικό σύστημα καλλιέργειας, αν και οι

τιμές δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές. Συγκριτικά, η εμπορική ποικιλία αρακά «Onward» και η παραδοσιακή ποικιλία «Άνδρος» παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές, αλλά όχι σημαντικές.

Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι, η ποικιλία «Onward» είχε μεγαλύτερες αποδόσεις στο βιολογικό σύστημα σε σύγκριση με την ποικιλία αρακά «Άνδρος», όπου η «Άνδρος» είχε καλύτερη ανταπόκριση στο συμβατικό σύστημα.

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από καλλιέργειες κουκιών έδειξαν παρόμοιες τιμές σε σχέση με τις τιμές για τις καλλιέργειες του αρακά. Όπως και για την καλλιέργεια αρακά, φάνηκε να είναι αποτέλεσμα της επίδρασης του παγετού στα τέλη του Ιανουαρίου, η οποία είχε σημαντική επίδραση στις εκπομπές N_2O , αλλά και στις εκπομπές CO_2 και CH_4 , όπου και αναφέρθηκαν αρνητικές τιμές εκπομπών. Επίσης, παρατηρήθηκε αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα κοντά στο στάδιο της ανθοφορίας και αύξηση της δημιουργίας φυματίων, που οδήγησε σε αυξημένες τιμές εκπομπών CH_4 και CO_2 και ιδιαίτερα μετά τους χειμερινούς μήνες, μέχρι το πρώιμο στάδιο δημιουργίας λοβών. Οι εκπομπές ήταν γενικά χαμηλές, αλλά όχι κάτι ασυνήθιστο για την περιοχή και τα εδάφη της Μεσογείου.

Σε γενικές γραμμές, οι αθροιστικές εκπομπές για τα κουκιά δεν είχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών που καλλιεργήθηκαν και στα δύο συστήματα καλλιέργειας. Οι ποικιλίες «Aquadulce» και «Λευκάδα» παρουσίασαν υψηλότερες εκπομπές σε σύγκριση με τις ποικιλίες «Άνδρος» και «Μάνη» στο συμβατικό σύστημα καλλιέργειας. Στο βιολογικό σύστημα, οι ποικιλίες «Άνδρος» και «Μάνη» έδωσαν υψηλότερες τιμές για τα αέρια θερμοκηπίου από ότι στο συμβατικό σύστημα, αν και αυτές οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Κατά την αξιολόγηση των διαφορών που αφορούν μόνο τις τελικές αθροιστικές τιμές, δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική επίδραση είτε του συστήματος καλλιέργειας είτε της ποικιλίας.

Οι διαφορετικές εντάσεις εκπομπών που καταγράφηκαν ξεχωριστά για κάθε ποικιλία και σύστημα καλλιέργειας, κατά την αξιολόγηση, ήταν χαμηλότερες από ό, τι αυτές στην καλλιέργεια αρακά για τις υψηλότερες αποδόσεις. Ωστόσο, οι ποικιλίες «Aquadulce» και «Άνδρος» παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές στο βιολογικό και η «Aquadulce» και «Μάνη» στο συμβατικό σύστημα καλλιέργειας, αντίστοιχα. Αντίθετα, η ποικιλία «Λευκάδα» έδωσε τις υψηλότερες τιμές στο βιολογικό και στο συμβατικό σύστημα καλλιέργειας, αντίστοιχα. Επιπλέον, η εμπορική ποικιλία «Aquadulce

εμφάνισε υψηλότερη απόδοση στο συμβατικό σύστημα και η ποικιλία «Άνδρος» στο συμβατικό σύστημα, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ποικιλίες, χωρίς όμως σημαντικές διαφορές. Τέλος, οι CO₂eq έδειξε ότι η ποικιλία «Aquadulce» παρουσίασε την υψηλότερη και τη χαμηλότερη τιμή στο βιολογικό και συμβατικό σύστημα καλλιέργειας σε σύγκριση με τις υπόλοιπες που αξιολογήθηκαν.

Συμπερασματικά, οι ποικιλίες αρακά και κουκιών δεν είχαν σημαντικές διαφορές στις αθροιστικές τιμές και οι εκπομπές δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από το σύστημα καλλιέργειας (βιολογικό ή συμβατικό). Χρειάζεται περαιτέρω μελέτη των δεδομένων του εδάφους σε συνδυασμό με τα κλιματικά δεδομένα για να κατανοήσουμε καλύτερα ειδικά τόσο χαμηλές τιμές. Τα δεδομένα των αερίων του θερμοκηπίου για την περιοχή της Μεσογείου είναι περιορισμένα και τέτοιες μελέτες θα μας βοηθήσουν να έχουμε μια πληρέστερη εικόνα και να αντλήσουμε περισσότερα συμπεράσματα για την περιβαλλοντική επίδραση των ψυχανθών στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου.

Η μελέτη αυτή απέδειξε την δυνατότητα αξιοποίησης των παραδοσιακών ποικιλιών αρακά σε προγράμματα βελτίωσης, λόγω του ότι παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στα φαινολογικά χαρακτηριστικά, στην ικανότητα της βιολογικής αζωτοδέσμευσης BNF, στην περιεκτικότητα τους σε πρωτεΐνη και στην παραγωγικότητα νωπών λοβών και νωπών σπόρων. Ως εκ τούτου, οι παραδοσιακές ποικιλίες μπορούν να αποτελέσουν σημαντικούς γενετικούς πόρους για την προσαρμοστικότητα των χαρακτηριστικών τους και είναι εξαιρετικό υλικό για να χρησιμοποιηθεί ως δότης πολύτιμων χαρακτηριστικών για τη δημιουργία τοπικά προσαρμοσμένων ποικιλιών με υψηλές αποδόσεις, αντοχή στις περιβαλλοντικές καταπονήσεις και με τις δυνατόν μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 United Nations, Resolution adopted by the general assembly on 20 December 2014. 68/231. International Year of Pulses, 2016. A/RES/68/231:1-2 (2014).
- 2 Dahl WJ, Foster LM and Tyler RT, Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). *Br J Nutr* **108**: S3-S10 (2012).
- 3 Lanza M, Bella M, Priolo A and Fasone V, Peas (*Pisum sativum* L.) as an alternative protein source in lamb diets: Growth performances, and carcass and meat quality. *Small Rum Res* **47**: 63-68 (2003).
- 4 FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. <http://faostat.fao.org/> (2013).
- 5 Carranca C, Legumes: Properties and symbiosis, in Camisão, A.F., Celio C. Pedroso, C.C., Symbiosis: Evolution, Biology and Ecological Effects. NovaScience Publishers, Inc. USA. pp. 67-93 (2012).
- 6 Knight JD, Frequency of field pea in rotations impacts biological nitrogen fixation. *Can J Plant Sci* **92**: 1005-1011 (2012).
- 7 Gopinath KA, Saha S, Mina BL, Pande H, Kumar N, Srivastva AK and Gupta HS, Yield potential of garden pea (*Pisum sativum* L.) varieties, and soil properties under organic and integrated management systems. *Arch Agron Soil Sci* **55**: 157-167 (2009).
- 8 Clayton GW, Rice WA, Lupwayi NZ, Johnston AM, Lafond GP, Grant CA and Walley F, Inoculant formulation and fertilizer nitrogen effects on field pea: Nodulation, N₂ fixation and nitrogen partitioning. *Can J Plant Sci* **84**: 79–88 (2004).
- 9 Deibert EJ and Utter RA, Field pea growth and nutrient uptake: response to tillage systems and nitrogen fertilizer applications. *Commun Soil Sci Plant Anal* **35**: 1141-1165 (2004).
- 10 Bourion V, Laguerre G, Depret G, Voisin AS, Salon C and Duc G, Genetic variability in nodulation and root growth affects nitrogen fixation and accumulation in pea. *Ann Bot.* **100**: 589-598 (2007).
- 11 Ahmad E, Khan MS and Zaidi A, ACC deaminase producing *Pseudomonas putida* strain PSE3 and *Rhizobium leguminosarum* strain RP2 in synergism improves growth, nodulation and yield of pea grown in alluvial soils. *Symbiosis* **61**: 93-104 (2013).
- 12 Corre-Hellou G and Crozat Y, N₂ fixation and N supply in organic pea (*Pisumsativum*L.) cropping systems as affected by weeds and peaweevil (*Sitonalineatus* L.). *Eur J Agron* **22**: 449-458 (2005).

- 13 Lammerts Van Bueren ET, Jones SS, Tamm L, Murphy KM, Myers JR, Leifert C and Messmer MM, The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: A review. *NJAS -Wagening J Life Sci* **58**: 193-205 (2011).
- 14 Özer S, Tümer E, Baloch FS, Karaköy T, Toklu F and Özkan H, Variation for nutritional and cooking properties among Turkish field pea landraces. *J Food Agric Environ* **10**: 324-329 (2012.).
- 15 Leonforte A, Forster JW, Redden RJ, Nicolas ME and Salisbury PA, Sources of high tolerance to salinity in pea (*Pisum sativum* L.). *Euphyt* **189**: 203-216 (2013).
- 16 Page AL, Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agron. Monogr. 9.2. ASA, SSSA, Madison, WI. Doi:10.2134/agronmonogr9.2.2ed (1982).
- 17 Olsen S, Cole C, Watanabe F, Dean L, Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular Nr 939, US Gov. Print. Office, Washington, D.C (1954).
- 18 Bremer JM, Determination of nitrogen in soil by Kjeldahl method. *J Agric Sci* **55**: 1–23 (1960).
- 19 Bedard-Haughn A, Van Groenigen JW and Van Kessel C, Tracing ¹⁵N through landscapes: Potential uses and precautions. *J Hydrol* **272**: 175-190 (2003).
- 20 Unkovich M, Herridge D, Peoples M, Cadish G, Boddey R, Giller K, Alves B and Chalk P, Measuring plant associated nitrogen fixation in agricultural systems. ACIAR, Canberra, Australia (2008).
- 21 Collino DJ, Salvagiotti F, Peticari A, Piccinetti C, Ovando G, Urquiaga S and Racca RW, Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationships with crop, soil, and meteorological factors. *Plant Soil* **392**: 239-252 (2015).
- 22 Talgre L, Lauringson E, Roostalu H and Makke A, Phosphorus and potassium release during decomposition of roots and shoots of green manure crops. *Biol Agric Hort* **30**: 264-271 (2014).
- 23 Sandaña P, Pinochet D, Grain yield and phosphorus use efficiency of wheat and pea in a high yielding environment. *J Soil Sci Plant Nutr.* **14**: 973-986 (2014).
- 24 Jacob CE, Johnson EN, Dyck MF and Willenborg CJ, Evaluating the competitive ability of semileafless field pea cultivars. *Weed Sci* **64** : 137-145 (2016).
- 25 Wall DA and Townley-Smith L, Wild mustard (*Sinapis arvensis*) response to field pea (*Pisum sativum*) cultivar and seeding rate. *Can J Plant Sci* **76**: 907-914 (1996).

- 26 Vasilakoglou I and Dhima K, Document leafy and semi-leafless field pea competition with winter wild oat as affected by weed density. *Field Crops Res* **126**: 130-136 (2012).
- 27 Bueckert RA and Clarke JM, Review: Annual crop adaptation to abiotic stress on the Canadian prairies: Six case studies. *Can J Plant Sci* **93**: 375-385 (2013).
- 28 Vocanson A and Jeuffroy MH, Agronomic performance of different pea cultivars under various sowing periods and contrasting soil structures. *Agron J* **100**: 748-759 (2008).
- 29 Atta S, Maltese S and Cousin R, Protein content and dry weight of seeds from various pea genotypes. *Agron* **24**: 257-266 (2004).
- 30 Grzesiak S, Iijima M, Kono Y and Yamauchi A, Differences in drought tolerance between cultivars of field bean and field pea. A comparison of drought-resistant and drought-sensitive cultivar. *Acta Physiol Plant* **19**: 347-357 (1997).
- 31 Khan HR, Paull JG, Siddique KHM and Stoddard FL, Faba bean breeding for drought-affected environments: A physiological and agronomic perspective. *Field Crops Res* **115**: 279-286 (2010).
- 32 Namvar A, Sharifi RS, Sedghi M, Zakaria RA, Khandan T and Eskandarpour B, Study on the effects of organic and inorganic nitrogen fertilizer on yield, yield components, and nodulation state of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Commun Soil Sci Plant Anal* **42**: 1097-1109 (2011).
- 33 Leite J, Seido SL, Passos SR, Xavier GR, Rumjanek NG and Martins LMV, Biodiversity of rhizobia associated with cowpea cultivars in soil of the lower half of the São Francisco River Valley. *Rev Bras Ciênc Solo* **33**: 1215-1226 (2009).
- 34 Magulu K and Kabambe VH, Fodder production, yield and nodulation of some elite cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) lines in central Malawi. *Afr J Agric Res* **10**: 2480-2485 (2015).
- 35 Argaw A, Symbiotic effectiveness of inoculation with Bradyrhizobium isolates on soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes with different maturities. *SpringerPlus* **3**: 753 (2014).
- 36 Carranca C, Eskew D, da Silva AS, Ferreira E, de Sousa MT, Gusmao MR, Fernandes ML and Sequeira EM, Field symbiotic fixation using ¹⁵N: II *Vicia faba* L. and *Pisum sativum* L. Progress in Nitrogen Cycling Studies. Proceedings of the 8th Nitrogen Workshop held at the University of Ghent, 5–8 September, 1994. pp. 309-313 (1996).
- 37 Kumar K and Goh KM, Biological nitrogen fixation, accumulation of soil nitrogen and nitrogen balance for white clover (*Trifolium repens* L.) and field pea (*Pisum sativum* L.) grown for seed. *Field Crops Res* **68**: 49-59 (2000).

- 38 Carranca C, De Varennes A and Rolston D, Biological nitrogen fixation by fababean, pea and chickpea, under field conditions, estimated by the ^{15}N isotope dilution technique. *Eur J Agron* **10**: 49-56 (1999).
- 39 Bilalis D, Karkanis A, Sidoras N, Travlos I, Efthimiadou A, Thomopoulos P and Kakabouki I, Maize and legumes root growth and yield as influenced by organic fertilization, under Mediterranean environmental conditions. *Rom Agric Res* **29**: 211-217 (2012).
- 40 Müller S, Pereira PAA and Martin R, Effect of different levels of mineral nitrogen on nodulation and N_2 fixation of two cultivars of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Soil* **152**: 139-143 (1993).
- 41 Schulze J, How are nitrogen fixation rates regulated in legumes? *J Plant Nutr Soil Sci* **167**: 125-137 (2004).
- 42 Nanjareddy K, Blanco L, Arthikala MK, Affantrange XA, Sánchez F and Lara M, Nitrate regulates rhizobial and mycorrhizal symbiosis in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Integr Plant Biol* **56**: 281–298 (2014).
- 43 Dozet G, Bošković J, Coghill TG, Zečević V, Cvijanović G, Jovičević D and Dukić V, Effect of genotype and pre-sowing fertilization on yield of garden pea. *Genet* **43**: 229-238 (2011).
- 44 Caetano – Anolles, G. 1997. Molecular dissection and improvement of the nodule symbiosis in legumes. *Field Crops Research* **53**:47-68
- 45 Carranca, C., A. de Varennes and D. Rolston. 1999. Biological nitrogen fixation by fababean, pea and chickpea, under field conditions, estimate by ^{15}N isotope dilution technique. *European Journal of Agronomy* **10**:49-56
- 46 Hopkins, W.G. 1995. *Introduction to plant physiology*. John Wiley and Sons, Inc, Canada. 464 pp.
- 47 Jayasundara, H.P.S., B.D. Thomson and C. Tang. 1998. Responses of cool season grain legumes to soil abiotic stresses. *Advances in Agronomy* **63**:77-151.
- 48 Howieson, J.G. 1995. Characteristics of an ideotype acid-tolerant pasture legume in symbiosis in Mediterranean agriculture. *Plant Soil* **171**:71-76
- 49 Grath, T. and I. Hakansson. 1992. Effects of soil compaction on development and nutrient uptake of peas. *Swedish Journal of Agricultural Research* **22**:17-17
- 50 Peoples, M. B. and E.T. Craswell. 1992. Biological nitrogen fixation: Investments, expectation and actual contribution to agriculture. In Ladha, J.K., T. George and B.B.

- Bohlool (eds.) Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture pp. 13-39. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- 51 Phillips, D.A., J. Wery, C. M. Joseph, A.D. Jones and L.R. Tender. 1995. Release of flavonoids and betaines from seeds of seven Medicado species. *Crop Science* 35:805-808.
- 52 Papakosta, D.K. 1993. Effect of inoculation rate on nodulation and various agronomic traits of soybean. *Journal Agronomy and Crop Science* 168:238-242
- 53 Robson, A.D. 1988. Nutrient requirements of pulses. In Summerfield, R.J. (ed.) *World Crops: Cool season food legume crops* pp. 869-881. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- 54 Tang, C., A. Robson and M.J. Dilworth. 1990. The role of iron in nodulation and nitrogen fixation in *Lupinus angustifolius* L. *New Phytologist* 114:173-182
- 55 Bergkvist, G., Stenberg, M., Wetterlind, J., Bath, B., Elfstrand, S. (2011). Clover cover crops under-sown in winter wheat increase yield of subsequent spring barley-Effect of N dose and companion grass. *Field Crops Research*, 120(2), 292–298.
- 56 Brady, N., 1984. *Nature and Properties of Soils*.
- 57 Cabrera, M.L., Kissel, D.E., Vigil, M.F. (2005). Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. *Journal of environmental quality*, 34, 75–9.
- 58 Canfield, D.E., Glazer, A.N., Falkowski, P.G. (2010). The evolution and future of Earth's nitrogen cycle. *Science*, 330(6001), 192–6.
- 59 Cherkasov, N., Ibhaddon, A.O., Fitzpatrick, P. (2015). A review of the existing and alternative methods for greener nitrogen fixation. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 90, 24–33.
- 60 FAO, 2015. *World fertilizer trends and outlook to 2018*.
- 61 Harvey, M. et al. (2012). *Nitrous Oxide Chamber Methodology Guidelines*. C. Klein & M. Harvey, eds., Ministry for Primary Industries, New Zealand.
- 62 Lupwayi, N.Z., Kennedy, A.C. (2007). Grain legumes in Northern Great Plains: Impacts on selected biological soil processes. *Agronomy Journal*, 99(6), 1700–1709.
- 63 Myhre, G. et al. (2013). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing: In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge

University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.659–740.

- 64 Peoples, M.B., Brockwell, J., Herridge, D.F., Rochester, I.J., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Boddey, R.~M., Dakora, F.D., Bhattarai, S., Maskey, S.L., Sampet, C., Rerkasem, B., Khan, D.F., Hauggaard-Nielse, H., Jensen, E.S. (2009). The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 48(1-3), 1–17.
- 65 Piccolo, A. (2012). The Nature of Soil Organic Matter and Innovative Soil Managements to Fight Global Changes and Mantain Agricultural Productivity. In A. Piccolo, ed. *Carbon Sequestration in Agricultural Soils*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- 66 Poeplau, C., Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33–41.
- 67 Snyder, C.S., Bruuselma, T.W., Jensen, T.L., Fixen, P.RE. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3-4), 247–266.
- 68 Trinsoutrot, I., Recous, S., Bentz, B., Nicolardot, B. (2000). Biochemical Quality of Crop Residues and Carbon and Nitrogen Mineralization Kinetics under Nonlimiting Nitrogen Conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 64(3), 918-.
- 69 Bellucci, E., Rau, D., Nanni, L., Ferradini, N., Giardini, A., Rodriguez, M., Attene, G., Papa, R. (2013). Population structure of Barley landrace populations and gene-flow with modern varieties. *PLoS ONE*, 8(12), e83891.
- 70 Bertoldo, J.G., Coimbra, J.L.M., Guidolin, A.F., de Andrade, L.R.B., Nodari, R.O. (2014). Agronomic potential of genebank landrace elite accessions for common bean genetic breeding. *Scientia Agricola*, 71(2), 120-125.
- 71 Clayton, H., Arah, J.R.M., Smith, K.A. (1994). Measurement of nitrous oxide emissions from fertilised grassland using closed chambers. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 99, 16599–16607.
- 72 Hamidou, F., Zombre, G., Braconnier, S. (2007). Physiological and biochemical responses of cowpea genotypes to water stress under glasshouse and field conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193, 229–237.
- 73 Hegde, V.S., Mishra, S.K. (2009). Landraces of cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., as

- potential sources of genes for unique characters in breeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56, 615–627.
- 74 Negri, V. (2005). Agro-biodiversity conservation in Europe: Ethical issues. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 18, 3–25.
- 75 Pappa, V.A., Rees, R.M., Walker, R.L., Baddeley, J.A., Watson, C.A. (2011). Intercropping reduces nitrous oxide emissions and leaching from an arable rotation. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 141, 153-161.
- 76 Ravishankara, A.R., Daniel, J.S., Robert, W., Portmann, R.W. (2009). Nitrous oxide (N₂O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science*, 326, 123–125.
- 77 Rochette, P., Janzen, H. (2005). Towards a revised coefficient for estimating N₂O emissions from legumes. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 73, 171-179.
- 78 Kontopoulou C.K., Bilalis, D., Pappa V.A., Rees, R.M., Savvas, D. (2015). Effects of organic farming practices and salinity on yield and greenhouse gas emissions from a common bean crop. *Scientia Horticulturae*, 183,48-57.
- 79 Schulze, E., Luysaert, S., Ciais, P., Freibauer, A., Janssens, I., Soussana, J., Smith ,P., Grace, J., Levin, I., Thiruchittampalam, B., Heimann, M., Dolman, A., Valentini, R., Bousquet, P., Peylin, P., Peters,W., Roedenbeck, C., Etiope, G., Vuichard, N., Wattenbach, M., Nabuurs, G., Poussi, Z., Nieschulze, J., Gash, J. (2009). Importance of methane and nitrous oxide for Europe's terrestrial greenhouse-gas balance. *Nature Geoscience*, 2, 842-850.
- 80 Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O. (2007). Agriculture. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (Eds.), *Climate Change 2007:Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 497–540.
- 81 Bos, J.F.F.P., De haan, J., Sukkel, W., Schils, R.L.M. (2014). Energy use and greenhouse gas emissions in organic and conventional farming systems in the Netherlands. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 7, 61-70.
- 82 Jones, D.L., Hodge, A., Kuzyakov, Y. (2004). Plant and mycorrhizal regulation of

- rhizodeposition. *New Phytologist*, 163, 459-480.
- 83 Nguyen, C. (2003). Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. *Agronomie*, 23, 375-393.
- 84 Rovira, P., Vallejo, V.R. (2002). Labile, recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposition at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. *Geoderma*, 107, 109-141 .
- 85 Rovira, P., Vallejo, V.R. (2007). Labile, recalcitrant and inert organic matter in Mediterranean forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 202-215.
- 86 Srinivasarao, C., Lal, R., Kundus, S., Babu, M.B., Venkateswarlu, B., Singh, A.K. (2014). Soil carbon sequestration in rainfed production systems in the semiarid tropics of India. *Science of the Total Environment*, 487, 587-603.
- 87 Ολύμπιου Χρίστου 2015, Η Τεχνική της Καλλιέργειας των Υπαίθριων Κηπευτικών
- 88 Παπακώστα Δ. 2005. Ψυχανθή (Καρποδοτικά-Χορτοδοτικά),

