



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

Διδακτορική Διατριβή

Αξιοποίηση ψυχανθών εμβολιασμένων ή μη με αζωτοβακτήρια,
σε συνδυασμό με ή αντί της εφαρμογής οργανικών λιπασμάτων,
με στόχο τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους
σε βιολογική καλλιέργεια τομάτας σε θερμοκήπιο

Αναστάσιος Π. Γάτσιος

Επιβλέπων Καθηγητής
Δημήτριος Σάββας, Καθηγητής ΓΠΑ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή
Δημήτριος Σάββας, Καθηγητής ΓΠΑ
Ιωάννης Καραπάνος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ
Γεώργιος Πατακιούτας, Αναπληρωτής Καθηγητής Παν. Ιωαννίνων

**ΑΘΗΝΑ
2021**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

Διδακτορική Διατριβή

Αξιοποίηση ψυχανθών εμβολιασμένων ή μη με αζωτοβακτήρια,
σε συνδυασμό με ή αντί της εφαρμογής οργανικών λιπασμάτων,
με στόχο τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους
σε βιολογική καλλιέργεια τομάτας σε θερμοκήπιο

Utilization of legumes inoculated or not with nitrogen-fixing bacteria,
in combination with or instead of the application of organic
fertilizers, in order to improve soil fertility
in organic greenhouse tomato cultivation

Αναστάσιος Π. Γάτσιος

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δημήτριος Σάββας, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Ιωάννης Καραπάνος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Γεώργιος Πατακιούτας, Αναπληρωτής Καθηγητής Παν. Ιωαννίνων

Αναστάσιος Σιώμος, Καθηγητής ΑΠΘ

Αναστασία Ταμπακάκη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΛΜΕΠΑ

Γεωργία Ντάτση, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

Δημήτριος Μπιλάλης, Καθηγητής ΓΠΑ

Αξιοποίηση ψυχανθών εμβολιασμένων ή μη με αζωτοβακτήρια, σε συνδυασμό με ή αντί της εφαρμογής οργανικών λιπασμάτων, με στόχο τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους σε βιολογική καλλιέργεια τομάτας σε θερμοκήπιο

*Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών*

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Η βιολογική γεωργία γνωρίζει σημαντική και διαρκή ανάπτυξη τις τελευταίες δύο δεκαετίες, κυρίως λόγω της απαίτησης των καταναλωτών για τρόφιμα απαλλαγμένα από υπολείμματα φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Η σοβαρότερη κριτική που δέχεται η βιολογική καλλιέργεια αφορά τη μείωση των αποδόσεων σε σχέση με τη συμβατική, η οποία οδηγεί σε εκμετάλλευση εδάφους μεγαλύτερης έκτασης, προκειμένου να καλυφθούν οι αυξανόμενες ανάγκες του ανθρώπινου πληθυσμού για τρόφιμα. Ένας βασικός παράγοντας που περιορίζει τις αποδόσεις στη βιολογική γεωργία είναι η δυσκολία κάλυψης των διατροφικών αναγκών των φυτών σε άζωτο (N) σε όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας. Οι κανόνες που διέπουν τη βιολογική καλλιέργεια απαγορεύουν τη χρήση ανόργανου N, ακόμα και αν είναι ορυκτής προέλευσης, αλλά θέτουν και προδιαγραφές στο είδος και την ποσότητα της επιτρεπόμενης ζωικής κοπριάς. Η προσφορά της χλωρής λίπανσης με ψυχανθή στον εμπλουτισμό του εδάφους με αφομοιώσιμο από τα φυτά N, προερχόμενο από συμβιωτική αζωτοδέσμευση ατμοσφαιρικού N₂, είναι αδιαμφισβήτητη. Συνήθως, όμως, δεν εφαρμόζεται στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, καθώς δεν έχει μελετηθεί επαρκώς στις συνθήκες του θερμοκηπίου.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η παρούσα διδακτορική διατριβή σχεδιάστηκε με στόχο την εκτίμηση των δυνατοτήτων αξιοποίησης των ψυχανθών στην αζωτούχο λίπανση και στη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους σε βιολογικές καλλιέργειες τομάτας στο θερμοκήπιο. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού σχεδιάστηκαν 4 διακριτές Πειραματικές Ενότητες οι οποίες υλοποιήθηκαν σε ένα θερμοκήπιο στην Πρέβεζα που δεν είχε καλλιεργηθεί τα τελευταία δεκατρία χρόνια. Στην 1^η Πειραματική Ενότητα δοκιμάστηκαν τα αμπελοφάσουλα ως χλωρή λίπανση και τα κουκιά σε συγκαλλιέργεια με τομάτα, εμβολιασμένα ή μη με ριζόβια, σε συνδυασμό με κοπριά. Στην 2^η Πειραματική Ενότητα μελετήθηκαν τα αμπελοφάσουλα ως χλωρή λίπανση και τα κουκιά σε

συγκαλλιέργεια με τομάτα, μόνα τους ή σε συνδυασμό με κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου, ως προς την ικανότητά τους να υποκαταστήσουν την κοπριά στη βιολογική λίπανση. Στην 3^η Πειραματική Ενότητα εξετάστηκε η συνεισφορά της καλλιέργειας αμπελοφάσουλου ή κοινού φασολιού για παραγωγή χλωρών λοβών, ή της καλλιέργειας κουκιού για χλωρή λίπανση, στην αζωτούχο θρέψη μίας βιολογικής καλλιέργειας τομάτας που εγκαταστάθηκε αμέσως μετά τον τερματισμό των καλλιεργειών με τα ψυχανθή. Τέλος, στην 4^η Πειραματική Ενότητα μελετήθηκε σε βιολογική καλλιέργεια τομάτας θερμοκηπίου η επίδραση της συμπληρωματικής λίπανσης με βιομάζα ψυχανθών που δεν καλλιεργήθηκαν στο ίδιο έδαφος με την τομάτα. Ειδικότερα, η βιομάζα των ψυχανθών εφαρμόστηκε, είτε ως μεταφερόμενη χλωρή λίπανση με κουκιά που καλλιεργήθηκαν εκτός θερμοκηπίου, είτε ως συμπιεσμένα τεμάχια (pellets) μηδικής που παράχθηκαν για ζωοτροφή. Σε όλα τα πειράματα προσδιορίστηκε η ποσότητα N₂ που δεσμεύτηκε συμβιωτικά από τα ψυχανθή και ενσωματώθηκε στο έδαφος, η διακύμανση του ανόργανου εδαφικού N από την έναρξη μέχρι τον τερματισμό της καλλιέργειας τομάτας, η αζωτούχος θρέψη της τομάτας με μακροσκοπικές παρατηρήσεις και αναλύσεις φύλλων στο κατάλληλο στάδιο, καθώς και η απόδοση σε καρπούς τομάτας. Παράλληλα καταγράφηκε η διαθεσιμότητα του φωσφόρου και καλίου στο έδαφος, καθώς και η συγκέντρωσή τους στα φύλλα της τομάτας.

Τα κύρια συμπεράσματα της παρούσας έρευνας είναι τα εξής: Η χλωρή λίπανση με ψυχανθή και ειδικά με δίμηνη καλοκαιρινή καλλιέργεια αμπελοφάσουλου ή τετράμηνη φθινοπωρινή-χειμερινή καλλιέργεια κουκιού, μπορεί να προσφέρει στο έδαφος του θερμοκηπίου σημαντικές ποσότητες N προερχόμενου από συμβιωτική αζωτοδέσμευση, το οποίο ανήλθε σε 12 και 15 kg/στρ αντίστοιχα. Η συγκαλλιέργεια του κουκιού με τομάτα, με τη μέθοδο που δοκιμάστηκε, δεν πρόσφερε αξιόλογες ποσότητες ατμοσφαιρικού N₂ στην επόμενη καλλιέργεια τομάτας. Ο εμβολιασμός των σπόρων των ψυχανθών με τα κατάλληλα ριζόβια είναι κομβικής σημασίας όταν το ψυχανθές δεν έχει αναπτυχθεί ξανά στο συγκεκριμένο έδαφος του θερμοκηπίου, αλλά δεν κρίνεται απαραίτητο να επαναληφθεί την επόμενη χρονιά. Με την αύξηση της γονιμότητας και ειδικά του διαθέσιμου ανόργανου N στο έδαφος του θερμοκηπίου, μειώνεται το ποσοστό του N που προέρχεται από την ατμόσφαιρα

και επομένως η ικανότητα αζωτοδέσμευσης, αλλά με διαφορετικό ρυθμό για το κάθε είδος ψυχανθούς. Σε περίπτωση που το καλλιεργητικό πλάνο δεν επιτρέπει την εφαρμογή χλωρής λίπανσης, η μεταφορά βιομάζας ψυχανθών που καλλιεργήθηκαν εκτός θερμοκηπίου ή αγοράσθηκε από το εμπόριο σε μορφή pellets, μπορεί να είναι μία εναλλακτική επιλογή. Ο ρυθμός ανοργανοποίησης του κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου, αμέσως μετά την ενσωμάτωσή του στο έδαφος, είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο των ψυχανθών και της ζωικής κοπριάς και επομένως, η προσφορά του σε ανόργανο N στο έδαφος στην καλλιέργεια που ακολουθεί είναι αντίστοιχα πιο περιορισμένη. Μετά την ενσωμάτωση ψυχανθών ή και κοπριάς στο έδαφος, στα πρώτα στάδια της καλλιέργειας τομάτας υπάρχει περίσσεια ανόργανου N. Βαθμιαία όμως τα επίπεδα του ανόργανου N στο έδαφος μειώνονται, με αποτέλεσμα, μετά από μία σύντομη περίοδο επάρκειας, να εμφανίζεται έλλειψη διαθέσιμου στα φυτά N. Αυτή η ανισορροπία στην αζωτούχο θρέψη πρέπει να αντιμετωπιστεί για να αυξηθεί περαιτέρω η απόδοση της βιολογικής καλλιέργειας τομάτας θερμοκηπίου. Τέλος, η παρούσα ερευνητική εργασία επιβεβαίωσε την αντίληψη ότι οι πρακτικές οργανικής λίπανσης που εφαρμόζονται στη βιολογική γεωργία αυξάνουν σταδιακά τα επίπεδα οργανικής ουσίας στο έδαφος με αποτέλεσμα να επιφέρουν βαθμιαία μία αντίστοιχη αύξηση της γονιμότητας του εδάφους.

Επιστημονική περιοχή: Λίπανση βιολογικής τομάτας θερμοκηπίου

Λέξεις κλειδιά: τομάτα, βιολογική καλλιέργεια, ψυχανθή, ριζόβια, χλωρή λίπανση, συγκαλλιέργεια, κομπόστ, ζωική κοπριά

Utilization of legumes inoculated or not with nitrogen-fixing bacteria, in combination with or instead of the application of organic fertilizers, in order to improve soil fertility in organic greenhouse tomato cultivation

*Department of Crop Science
Laboratory of Vegetable Production*

A B S T R A C T

Organic farming has expanded significantly in the last 2 decades, mainly due to consumer demand for food free from pesticide residues. The main criticism of organic farming is the yield gap compared to conventional agriculture, which leads to exploitation of larger areas of land to meet the increasing global food demand. One of the main factors of reduced yield in organic crop production is the shortage of plant available nitrogen (N) at critical growth stages. The rules governing organic farming prohibit the use of inorganic N, even if it is of mineral origin, but also set standards regarding the permitted type and dose of animal manure. The contribution of legume green manuring to enrichment of the soil with atmospheric N₂ through symbiosis with rhizobia is very well documented, but is rarely applied in commercial greenhouse crops, as it has not been adequately studied so far.

Considering this background, the objective of the current Ph.D. dissertation was to evaluate the contribution of legumes to nitrogen fertilization, soil fertility, and yield performance in organic tomato crops. To achieve this goal, four sets of experiments (SoE) were designed and implemented in a greenhouse in Preveza, which had not been used for cultivation in the last thirteen years. In the 1st SoE, cowpea was tested as green manure and faba bean as intercrop with tomato, inoculated with rhizobia or not, in combination with animal manure. In the 2nd SoE, the possibility of replacing farmyard manure with cowpea as green manure and faba bean as intercrops with tomato, alone or in combination with olive mill waste compost, was tested in organic greenhouse crops of tomato. In the 3rd SoE, cowpea and common bean cultivated for green pod production, and faba bean destined for green manuring, were examined as preceding crops to organic greenhouse tomato to assess their impact on N nutrition of tomato. Finally, in the 4th SoE, the objective was to assess the contribution of legume biomass applied either as mobile green manure of faba bean grown outside the greenhouse, or as

feed-grade alfalfa pellets, to nitrogen nutrition of an organic greenhouse crop of tomato. In all experiments, the amount of N_2 symbiotically fixed by legumes and incorporated into the soil, the fluctuation of inorganic soil N during cultivation of the tomato crop, the nitrogen nutrition, and the fruit yield of tomato were determined. In addition, the availability of phosphorus and potassium in the soil was recorded, as well as their concentration in tomato leaves.

The main conclusions derived from the present study are the following: green manuring with legumes and especially with a two-month summer cultivation of cowpea or a four-month autumn-winter cultivation of faba bean, can contribute significant quantities of atmospheric N_2 , to the next tomato crop, which amounted to 120 and 150 kg ha⁻¹, respectively. Faba bean intercropped with tomato did not provide significant amounts of atmospheric N_2 to the next tomato crop, under the conditions of the current study. Inoculation of legume seeds with appropriate rhizobia strains is beneficial when the legume has not been cultivated in the near past in the specific greenhouse soil. However, a repetition of the inoculation in the next year did not provide any benefit. As the availability of inorganic N in the greenhouse soil increases, the nitrogen-fixing capacity of the plants and concomitantly the proportion of N derived from the atmosphere in the plant tissues decreases, but at a different rate for each legume species. If the cultivation plan does not allow the application of green manure, the transfer of legume biomass grown outside the greenhouse or acquired from the market may be an alternative. The mineralization rate of olive mill waste compost during the first period after its application to the soil, and therefore its ability to supply inorganic N to a tomato crop following its application, is lower than that of legumes and animal manure. After incorporation of legumes or manure into the soil, an excess of plant available N was recorded in the soil, which was followed by a short period of optimal soil mineral N levels, while subsequently the soil mineral N decreased to deficiency levels. To increase the yield potential of organic tomato in greenhouses, the observed imbalance in the availability of soil mineral N must be appropriately addressed, as the cultivation period under cover is substantially longer than in open field. Last but not least, the current study confirmed the notion that the fertilization practices applied in organic farming, which aim at a progressive increase of organic matter in the soil,

lead gradually to a commensurate increase in soil fertility, thereby ensuring the productivity and sustainability of this cultivation system.

Scientific area: Fertilization of organic greenhouse tomato

Keywords: tomato, organic farming, legumes, rhizobia, green manure, intercropping, compost, farmyard manure

Στον πατέρα μου Παναγιώτη Γάτσιο
που με συμβούλεψε να «διαβάζω» τα φυτά

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συγκεκριμένη ενότητα είναι μάλλον εκτεταμένη αλλά αντικατοπτρίζει το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του παρόντος πονήματος, για την επιτυχή έκβαση του οποίου συνέβαλλαν πολλοί άνθρωποι και φορείς. Το πειραματικό μέρος πραγματοποιήθηκε σε θερμοκήπιο στην Πρέβεζα. Για αυτό ευγνωμονώ ιδιαίτερα τον επιβλέποντα Καθηγητή μου Δημήτριο Σάββα για την απεριόριστη εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τόσο για την επιλογή μου ως Υποψήφιο Διδάκτορα, όσο και για την πραγματοποίηση της έρευνας 360 km μακριά από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Επιπλέον, τον ευχαριστώ γιατί στη συνέχεια εκμηδένισε αυτή την απόσταση, προκειμένου να επιβλέπει την εξέλιξη των πειραμάτων, να με καθοδηγεί αλλά και να μου θέτει διαρκώς προκλήσεις που διεύρυναν τα όρια της επιστημονικής μου σκέψης και γνώσης και της καλλιεργητικής μου εμπειρίας.

Επίσης, ευχαριστώ τους Καθηγητές Ιωάννη Καραπάνο και Γεώργιο Πατακιούτα για τη συμμετοχή τους στη Συμβουλευτική και Εξεταστική Επιτροπή και ιδιαίτερα τον τελευταίο για την άψογη φιλοξενία στο ΤΕΙ Ηπείρου, νυν Τμήμα Γεωπονίας Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, στους Κωστακιούς Άρτας. Θα ήθελα να αναφερθώ, ιδιαίτερα, στην Καθηγήτρια Γεωργία Ντάτση καθώς από το πρώτο μου βήμα σε αυτή τη δύσκολη διαδρομή έχει σταθεί δίπλα μου με συμβουλευεί και με βοηθάει καθοριστικά. Ευχαριστώ τους Καθηγητές Αναστάσιο Σιώμο, Δημήτριο Μπιλάλη και Αναστασία Ταμπακάκη για τη συμμετοχή τους στην Εξεταστική Επιτροπή και ιδιαίτερα την τελευταία για τη ουσιαστική συμβολή της στο θέμα του εμβολιασμού των σπόρων ψυχανθών με τα κατάλληλα βακτήρια.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών του ΓΠΑ, με ιδιαίτερη μνεία στον Υποψήφιο Διδάκτορα Δ. Υφαντόπουλο για την πολύτιμη βοήθειά του στις αναλύσεις φυτικών ιστών και εδάφους. Ευχαριστώ, επίσης, την Υποψήφια Διδάκτορα Ευδοξία Ευσταθιάδου για την προετοιμασία των καλλιεργειών εμβολιασμού. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον Καθηγητή Ιωάννη Γιαννακού για τις συμβουλές του και για το αυθημερόν ταξίδι του στην Πρέβεζα για τις ανάγκες της δειγματοληψίας εδάφους για νηματώδεις. Επιπλέον, ευχαριστίες στο Εργαστήριο Γεωργικής Ζωολογίας και Εντομολογίας του ΓΠΑ και ιδιαίτερα στον

Καθηγητή Διονύσιο Περγίκη για τις συμβουλές του στην αντιμετώπιση των εντομολογικών προσβολών και στην Χριστίνα Χαλκιά για τις γνώσεις της στους γαιοσκώληκες που μοιράστηκε μαζί μου.

Θερμές ευχαριστίες στο Τμήμα Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (πρώην ΤΕΙ Ηπείρου) για τη φιλοξενία και την άδεια χρήσης του Εδαφολογικού Εργαστηρίου για την προετοιμασία φυτικών και εδαφικών δειγμάτων και για τη διενέργεια των αναλύσεων νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων στο έδαφος. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Νίκο Μάντζιο για τις οδηγίες του και τη βοήθεια που, αφειδώς, μου προσέφερε στην διεξαγωγή των παραπάνω εδαφολογικών αναλύσεων, καθώς και την Παρασκευή Υφαντή για τη συνδρομή της κάθε φορά που ήταν απαραίτητη. Βέβαια, αυτό το πλήθος αναλύσεων θα ήταν αδύνατο να ολοκληρωθεί χωρίς τη μεθοδική και κοπιαστική εργασία της Πηνελόπης Μπαλτζώη. Μαζί με Κωνσταντίνα Φωτιά με συντρόφεψαν σε αυτή τη μεγάλη και κοπιαστική διαδρομή, εύχομαι και στις δύο καλή επιτυχία στη δική τους διδακτορική διατριβή. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Καθηγητή Ιωάννη Τσιρογιάννη για την παροχή όλου του εξοπλισμού ελέγχου και καταγραφής της υγρασίας και θερμοκρασίας, εδάφους και αέρα και ιδιαίτερα για το χρόνο που εύρισκε πάντα να συζητάει μαζί μου και να μου δίνει οδηγίες. Ευχαριστώ, επίσης, τον Καθηγητή του Πανεπιστημίου Πατρών Παντελή Μπαρούχα για την σειρά πλήρων εδαφολογικών αναλύσεων αλλά και για τις συμβουλές του σε αυτό το πεδίο. Δεν μπορώ να παραλείψω του Ιταλούς Καθηγητές Luisella Celi και Daniel Said-Pullicino για τη διεξαγωγή των αναλύσεων φυτικών ιστών και εδάφους και ειδικά για τον προσδιορισμό της συμβιωτικής αζωτοδέσμευσης από τα ψυχανθή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον προϊστάμενο της ΔΑΟΚ Πρέβεζας, Ιωάννη Αυγέρη για τη θετική εισήγησή του στο αίτημά μου για χορήγηση εκπαιδευτικής άδειας. Επίσης, ευχαριστώ τον προϊστάμενο του Τμήματός μου, Σταύρο Μιχάλη για τον παραπάνω λόγο αλλά και για την προσωπική του εργασία στα πρώτα πειράματα. Τέλος, ευχαριστώ όλους τους συναδέλφους μου στη Υπηρεσία που επιφορτίστηκαν με επιπλέον αρμοδιότητες για το διάστημα που έκανα χρήση της ειδικής άδειας.

Θα πρέπει να αναφέρω ότι το μεγαλύτερο μέρος των δαπανών για να πραγματοποιηθεί αυτή η έρευνα καλύφθηκε από Πρόγραμμα HORIZON2020

“TOMRES —A novel and integrated approach to increase multiple combined stress tolerance in plants using tomato as a model” (Grant Agreement 727929). Όμως, λόγω της έκτασης του έργου έπρεπε να εξασφαλιστούν και άλλοι πόροι. Ευχαριστώ θερμά, λοιπόν, την εταιρεία Πλαστικά Κρήτης που πρόσφεραν το πλαστικό κάλυψης του θερμοκηπίου, τον Χαράλαμπο Λουκάκη για την προσφορά του κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου και τις εταιρείες Bayer Crop Science και Κ.Ν Ευθυμιάδης ΑΕΒΕ για την παροχή βιολογικών σκευασμάτων φυτοπροστασίας. Ιδιαίτερα, ευχαριστώ τον εξαιρετικό γεωπόνο Μιχάλη Κολυβά για τη βοήθεια του και τις αναλύσεις εδάφους, νερού, κοπριάς και φύλλων στο εργαστήριο Agrolab RDS. Θερμές ευχαριστίες στην εταιρεία Anthesis ΕΠΕ και τον Θεόδωρο Ρουσιάκη για την παροχή ωφέλιμων οργανισμών και του συστήματος Isonet®T. Ευχαριστώ την εταιρεία Plantas Α.Ε. και τον γεωπόνο Ευάγγελο Μουτάφη για την προμήθεια των εμβολιασμένων φυτών τομάτας σε τιμή κόστους. Επιπλέον, ευχαριστώ το Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών φυτών και ειδικά τον Δρ. Δημήτρη Βλαχοστέργιο για την παροχή της ποικιλίας κουκιών «Τανάγρα». Τέλος, ευχαριστώ όλους τους συναδέλφους γεωπόνους που συνέβαλλαν στην υλοποίηση αυτής της εργασίας με γνώσεις και εφόδια. Ιδιαίτερη αναφορά θέλω να κάνω στον φοιτητή του ΓΠΑ Χαράλαμπο Παπαθανασίου, καθώς η βοήθειά του στο θερμοκήπιο στην πρώτη καλλιεργητική περίοδο ήταν πολύτιμη.

Για να καλυφθούν όλες οι δαπάνες, οι παραπάνω πόροι ήταν αναγκαίο να συμπληρωθούν με την εμπορία της παραχθείσας τομάτας και σε αυτό συνέβαλλε ο σύζυγος της αδερφής μου, Μιχάλης Κασκάνης, που παρείχε τα φορολογικά έγγραφα αλλά και το μεταφορικό μέσο. Επιπλέον, τον ευχαριστώ θερμά για την προμήθεια και μεταφορά της κοπριάς βοοειδών, καθώς και για την προσωπική εργασία του κατά την εφαρμογή της. Επίσης, ευχαριστώ την αδερφή μου και τη μητέρα μου για την εργασία τους και τη συμπαράστασή τους. Δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου για τα παραπάνω οικογενειακά βάρη που επωμίστηκε, αλλά και τα παιδιά μου για την ψυχολογική αποφόρτιση που μου πρόσφεραν στον λίγο ελεύθερο χρόνο μου.

Αφήνω για το τέλος τον πατέρα μου, Παναγιώτη Γάτσιο, γιατί ήταν η «πέτρα-κλειδί» για το όλο εγχείρημα. Όχι μόνο γιατί παρείχε το θερμοκήπιο και τον εξοπλισμό, αλλά κυρίως για την καθημερινή παρουσία του στο πείραμα, για

τη φροντίδα του και την εργασία του. Η ανησυχία του για την επιτυχή έκβαση των πειραματικών καλλιεργειών, κατά πάσα πιθανότητα, ξεπερνούσε και τη δική μου. Χωρίς τη συμβολή του δεν θα είχα ξεκινήσει αυτήν την απαιτητική έρευνα.

Η έγκριση της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής από το Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέως. (Ν. 5343 / 1932 άρθρο 202, παρ. 2).

«Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από το λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και πρωτοτυπία της»

Πίνακας περιεχομένων

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η	4
A B S T R A C T	7
Περιεχόμενα Πινάκων.....	18
Περιεχόμενα Σχημάτων.....	20
Περιεχόμενα Εικόνων.....	21
1. Εισαγωγή – Ανασκόπηση βιβλιογραφίας.....	22
1.1 Η βιολογική γεωργία – Ανάπτυξη – Θεσμικό πλαίσιο.....	22
1.2 Η λίπανση στη βιολογική γεωργία.....	27
1.3 Η καλλιέργεια της τομάτας – Απαιτήσεις σε N.....	32
1.4 Ερευνητικός στόχος – Δομή των πειραμάτων.....	33
2. Γενικά υλικά και μέθοδοι.....	35
2.1 Τοποθεσία – Πειραματικό Θερμοκήπιο.....	35
2.2 Εδαφικά και κλιματικά δεδομένα.....	36
2.3 Πολλαπλασιαστικό υλικό.....	38
2.4 Άρδευση.....	38
2.5 Φυτοπροστασία.....	40
2.6 Εκτίμηση απόδοσης της τομάτας.....	43
2.7 Δειγματοληψία και προσδιορισμός θρεπτικών στοιχείων σε φυτικούς ιστούς.....	44
2.8 Εκτίμηση βιομάζας και προσδιορισμός συμβιωτικής αζωτοδέσμευσης στα ψυχανθή.....	45
2.9 Δειγματοληψία εδάφους – Προσδιορισμός θρεπτικών στοιχείων N, P, K.....	47
2.10 Στατιστική ανάλυση.....	48
3. Τα ψυχανθή ως χλωρή λίπανση και ως συγκαλλιέργεια με τομάτα, εμβολιασμένα ή μη με ριζόβια ή άλλα ωφέλιμα ριζοβακτήρια (PGPR), σε συνδυασμό με ζωική κοπριά (1 ^η Πειραματική Ενότητα).....	49
3.1 Δομή και στόχοι 1 ^{ης} Πειραματικής Ενότητας.....	49
3.2 Υλικά και μέθοδοι.....	49
3.3 Αποτελέσματα.....	55
3.3.1 Συμβιωτική αζωτοδέσμευση και υπέργεια βιομάζα ψυχανθών.....	55
3.3.2 Μετρήσεις στο έδαφος.....	59
3.3.3 Στοιχεία απόδοσης τομάτας.....	63
3.3.4. Ανάλυση φύλλων τομάτας.....	64
3.3.5. Εκτίμηση της προσβολής από νηματώδεις σκώληκες.....	66
3.4 Συζήτηση.....	67
3.5 Συμπεράσματα.....	75

4. Δυνατότητα υποκατάστασης της ζωικής κοπριάς ως πηγή N στις βιολογικές καλλιέργειες τομάτας από νωπή βιομάζα ψυχανθών ή κομπόστ, ή το συνδυασμό και των δύο (2 ^η Πειραματική Ενότητα).....	77
4.1 Δομή και στόχοι 2 ^{ης} Πειραματικής Ενότητας.....	77
4.2 Υλικά και μέθοδοι	77
4.3 Αποτελέσματα.....	80
4.3.1 Συμβιωτική αζωτοδέσμευση και υπέργεια βιομάζα ψυχανθών	80
4.3.2 Μετρήσεις στο έδαφος.....	82
4.3.3 Στοιχεία απόδοσης τομάτας	84
4.3.4 Ανάλυση φύλλων τομάτας	85
4.3.5 Εκτίμηση της προσβολής από νηματώδεις σκώληκες	85
4.4 Συζήτηση	86
4.4.1 Βιομάζα ψυχανθών και βιολογική αζωτοδέσμευση.....	86
4.4.2 Μετρήσεις στο έδαφος.....	87
4.4.3 Ανάπτυξη τομάτας και απόδοση.....	89
4.5 Συμπεράσματα	90
5. Αξιολόγηση της συνεισφοράς μίας προηγηθείσας καλλιέργειας ψυχανθών για παραγωγή νωπών λοβών ή για χλωρή λίπανση στην αζωτούχο θρέψη μίας βιολογικής καλλιέργειας τομάτας στο θερμοκήπιο (3 ^η Πειραματική Ενότητα) ..	92
5.1 Δομή και στόχοι 3 ^{ης} Πειραματικής Ενότητας.....	92
5.2 Υλικά και μέθοδοι	92
5.3 Αποτελέσματα.....	95
5.3.1 Βιολογική αζωτοδέσμευση, υπέργεια βιομάζα ψυχανθών και απόδοση	95
5.3.2 Μετρήσεις στο έδαφος.....	97
5.3.3 Στοιχεία απόδοσης τομάτας	99
5.4 Συζήτηση	101
5.4.1 Βιολογική αζωτοδέσμευση, υπέργεια βιομάζα ψυχανθών και ισοζύγιο N	101
5.4.2 Μετρήσεις στο έδαφος.....	105
5.4.3 Ανάπτυξη τομάτας και απόδοση.....	106
5.5 Συμπεράσματα	108
6. Η επίδραση της μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης με βάση τα ψυχανθή (4 ^η Πειραματική Ενότητα).....	111
6.1 Δομή και στόχοι 4 ^{ης} Πειραματικής Ενότητας.....	111
6.2 Υλικά και μέθοδοι	111
6.3 Αποτελέσματα.....	112

6.3.1 Βιομάζα κουκιών, συμβιωτική αζωτοδέσμευση και εισροή N στο έδαφος.....	112
6.3.2 Μετρήσεις στο έδαφος.....	113
6.3.3 Στοιχεία απόδοσης τομάτας	116
6.3.4 Ανάλυση φύλλων τομάτας και περιεκτικότητα καρπών σε N.....	117
6.4 Συζήτηση	118
6.4.1 Υπέργεια βιομάζα κουκιών, συσσώρευση N και συμβιωτική αζωτοδέσμευση	118
6.4.2 Μετρήσεις στο έδαφος.....	119
6.4.3 Ανάπτυξη τομάτας και απόδοση.....	120
6.5 Συμπεράσματα	124
7. Γενική συζήτηση – Συμπεράσματα	126
7.1 Αναγκαιότητα εμβολιασμού ψυχανθών	126
7.2 Εμπλουτισμός του εδάφους με N μέσω της χλωρής λίπανσης με ψυχανθή	127
7.3 Εμπλουτισμός του εδάφους με N μέσω της συγκαλλιέργειας ψυχανθών με τομάτα	128
7.4 Επίδραση της καλλιέργειας ψυχανθών για συγκομιδή χλωρών λοβών στην ακόλουθη καλλιέργεια τομάτας	129
7.5 Χλωρή λίπανση με μεταφερόμενη βιομάζα ψυχανθών	129
7.6 Πολυπλοκότητα συστήματος βιολογικής καλλιέργειας – Περιορισμοί της έρευνας.....	130
7.7 Ρυθμός ανοργανοποίησης οργανικών υλικών και αζωτούχος θρέψη της τομάτας	132
7.8 Προτάσεις για την βελτιστοποίηση του συγχρονισμού μεταξύ διαθεσιμότητας N στο έδαφος και αναγκών τομάτας σε N	134
7.9 Εξέλιξη αποδόσεων τομάτας	136
7.10 Βασικά συμπεράσματα	136
8. Βιβλιογραφία.....	138
Δημοσιεύσεις	152

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1.1: Ποσοστό βιολογικής καλλιέργειας στο σύνολο καλλιεργήσιμης γης ανά χώρα, για το 2018.....	23
Πίνακας 1.2: Ποσοστό βιολογικής καλλιέργειας κηπευτικών στο σύνολο της καλλιεργήσιμης με κηπευτικά γης και έκταση βιολογικής καλλιέργειας κηπευτικών, πλήρως ή υπό μετατροπή, ανά χώρα για το 2018.....	24
Πίνακας 2.1: Βασικά χαρακτηριστικά και περιεκτικότητα του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία στις 2 πειραματικές μονάδες.....	36
Πίνακας 3.1: Ημερομηνίες εγκατάστασης καλλιέργειας, έναρξης συγκομιδής και τερματισμού των καλλιεργειών ψυχανθών και τομάτας σε κάθε πείραμα.....	50
Πίνακας 3.2: Περιγραφή μεταχειρίσεων στα 3 διαδοχικά πειράματα.....	51
Πίνακας 3.3: Υπέργεια νωπή (NB) και ξηρή βιομάζα (XB), περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία (ΞΟ), ολική συγκέντρωση N (ΟΣΝ) στην ξηρή βιομάζα, ολικό N και συνολική ποσότητα συμβιωτικά δεσμευμένου N (BNF) ανά μονάδα έκτασης που καλλιεργείται με ψυχανθές (αμπελοφάσουλα ή κουκιά) σε τρία διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.....	58
Πίνακας 3.4: Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στον οργανικό C, στο συνολικό N και στο διαθέσιμο στο φυτό P και K στο έδαφος, σε 3 εβδομάδες μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών, σε τρία διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.....	63
Πίνακας 3.5: Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στα στοιχεία απόδοσης τομάτας σε τρία διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.....	64
Πίνακας 3.6: Επίπτωση των διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στις συγκεντρώσεις N, P και K στα φύλλα σε τρία διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.....	65
Πίνακας 3.7: Επίδραση των μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στην ένταση προσβολής των ριζών τομάτας από κομβονηματώδεις στο 1 ^ο πείραμα.....	66
Πίνακας 4.1: Ημερομηνίες εγκατάστασης καλλιέργειας, έναρξη συγκομιδής και τερματισμός των καλλιεργειών ψυχανθών και τομάτας σε κάθε πείραμα.....	77
Πίνακας 4.2: Περιγραφή μεταχειρίσεων στα δύο πειράματα.....	78
Πίνακας 4.3: Υπέργεια νωπή (NB) και ξηρή βιομάζα (XB), περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία (ΞΟ), ολική συγκέντρωση N (ΟΣΝ) στην ξηρή υπέργεια βιομάζα, ολικό N ανά μονάδα καλλιεργούμενης έκτασης, ποσοστό N που προέρχεται από τον αέρα (Ndfa) και συνολική ποσότητα βιολογικά δεσμευμένου N (BNF) για το αμπελοφάσουλο που χρησιμοποιήθηκε ως χλωρή λίπανση και για το κουκί που συγκαλλιεργήθηκε με την τομάτα.....	81
Πίνακας 4.4: Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στον οργανικό C, στο ολικό N και στο διαθέσιμο στο φυτό P και K στο έδαφος, τρεις εβδομάδες μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών σε δύο διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.....	82
Πίνακας 4.5: Επίδραση των διαφορετικών βιολογικών λιπάνσεων στα στοιχεία απόδοσης τομάτας σε δύο διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.....	84
Πίνακας 4.6: Επιπτώσεις των διαφορετικών βιολογικών λιπάνσεων στις συγκεντρώσεις ολικού N, P και K στα φύλλα, σε δύο διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.....	85

Πίνακας 4.7. Επίδρασεις των μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στην προσβολή από νηματώδεις σε φυτά τομάτας που καλλιεργούνται σε θερμοκήπιο στο 1 ^ο πείραμα.....	86
Πίνακας 5.1. Περιγραφή των μεταχειρίσεων που εφαρμόστηκαν για τη δοκιμή της επίδρασης των ψυχανθών στην επόμενη καλλιέργεια βιολογικής τομάτας.	93
Πίνακας 5.2. Ημερομηνίες εγκατάστασης της καλλιέργειας, έναρξη της συγκομιδής και λήξη της καλλιέργειας για τα ψυχανθή και την καλλιέργεια τομάτας.....	95
Πίνακας 5.3. Υπέργεια νωπή και ξηρή βιομάζα λοβών (ΒΛ), βιομάζα ενσωματωμένη στο έδαφος (ΒΕ) μετά τον τερματισμό της καλλιέργειας, συνολική παραγόμενη βιομάζα (ΒΣ) και δείκτης συγκομιδής (ΔΣ) σε καλλιέργειες φασολιού και αμπελοφάσουλου για συγκομιδή φρέσκου λοβού και κουκιού για χλωρή λίπανση.	96
Πίνακας 5.4. Συνολικές συγκεντρώσεις N στους ιστούς των φυτών, ολικό N που παρέχεται στην επόμενη καλλιέργεια με ενσωμάτωση της βιομάζας ψυχανθών στο έδαφος, δείκτης συγκομιδής N (ΔΣN), ποσοστό N που προέρχεται από την ατμόσφαιρα στη βιομάζα ψυχανθών (%Ndfa) και συνολική ποσότητα βιολογικά δεσμευμένου N (BNF) ανά μονάδα έκτασης που καλλιεργείται με ψυχανθή.....	97
Πίνακας 5.5. Επιπτώσεις των διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στις συγκεντρώσεις οργανικού C, ολικού N, διαθέσιμου P (Olsen) και ανταλλάξιμου K στο έδαφος.....	98
Πίνακας 5.6. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων οργανικής λίπανσης στα στοιχεία απόδοσης βιολογικής καλλιέργειας τομάτας θερμοκηπίου.	100
Πίνακας 5.7. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων οργανικής λίπανσης στις συγκεντρώσεις N, P και K στα φύλλα βιολογικής καλλιέργειας τομάτας. .	101
Πίνακας 6.1. Ξηρή βιομάζα, συγκεντρώσεις N και C στους ιστούς, αναλογία C/N και εισροή συνολικού N μέσω της μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης	112
Πίνακας 6.2. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης στα στοιχεία απόδοσης βιολογικής τομάτας θερμοκηπίου. .	116
Πίνακας 6.3. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων οργανικής λίπανσης στις συγκεντρώσεις N, P, K στην ξηρά ουσία των φύλλων βιολογικής τομάτας θερμοκηπίου.	117
Πίνακας 6.4. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων οργανικής λίπανσης στις συγκεντρώσεις N, P, K της ξηράς ουσίας καρπών και απομάκρυνση N μέσω συγκομιδής καρπών σε βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.	118

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Μηνιαίοι μέσοι όροι για τις μέση, μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (Θμέση, Θμεγ. και Θελαχ. αντίστοιχα) μέσα στο θερμοκήπιο κατά την πειραματική περίοδο	37
Σχήμα 2.2 Μηνιαίοι μέσοι όροι για τις μέση, μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια σχετική υγρασία (ΣΥμέση, ΣΥμεγ. και ΣΥελαχ. αντίστοιχα) μέσα στο θερμοκήπιο κατά την πειραματική περίοδο	37
Σχήμα 3.1 Ποσοστό N που προέρχεται από δέσμευση ατμοσφαιρικού N ₂ (%Ndfa) στους βλαστούς του αμπελοφάσουλου στο Π1 και Π3, και του κουκιού Π2 σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, όπως επηρεάζεται από το εμβολιασμό ή όχι, με ριζόβια ή μείγμα ριζοβίων και PGPR. Χρησιμοποιήθηκε <i>Bradyrhizobium</i> sp. VUL111 (BV) στο αμπελοφάσουλο και <i>Rhizobium leguminosarum viciae</i> (RV) στο κουκί.....	57
Σχήμα 3.2 Αντίκτυπος διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στη συγκέντρωση NH ₄ -N επί ξηρού εδάφους σε διαφορετικές ημερομηνίες κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου σε τρία διαδοχικά πειράματα τομάτας θερμοκηπίου (Π1, Π2, Π3). Σημείωση: ZK= ζωική κοπριά, Ψ= ψυχανθή, ΜΕ= μη εμβολιασμένα, Ρ= εμβολιασμός με ριζόβια, ΡGPR= εμβολιασμός με ΡGPR, ΟΥ = οργανικά υλικά (ΖΚ, βιομάζα ψυχανθών).....	61
Σχήμα 3.3 Αντίκτυπος διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στη συγκέντρωση NO ₃ -N επί ξηρού εδάφους, σε διαφορετικές ημερομηνίες κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, σε τρία διαδοχικά πειράματα τομάτας θερμοκηπίου (Π1, Π2, Π3). Σημείωση: ZK= ζωική κοπριά, Ψ= ψυχανθή, ΜΕ= μη εμβολιασμένα, Ρ= εμβολιασμός με ριζόβια, ΡGPR = εμβολιασμός με ΡGPR, ΟΥ = οργανικά υλικά (ΖΚ, βιομάζα ψυχανθών).....	62
Σχήμα 4.1 Επίδραση των μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στη συγκέντρωση NH ₄ -N επί ξηρού εδάφους, σε διαδοχικές μετρήσεις μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών, σε δύο πειράματα (Π1, Π2) με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.....	83
Σχήμα 4.2 Επίδραση των μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στη συγκέντρωση NO ₃ -N επί ξηρού εδάφους, σε διαδοχικές μετρήσεις μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών, σε δύο πειράματα (Π1, Π2) με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.....	83
Σχήμα 5.1 Επίδραση διαφορετικών μεταχειρίσεων οργανικής λίπανσης στις συγκεντρώσεις NO ₃ -N (Σχήμα Α) και NH ₄ -N (Σχήμα Β) επί ξηρού εδάφους, κατά την καλλιέργεια βιολογικής τομάτας. ΖΚ: κοπριά, Κομπόστ: κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείων, ΟΥ: οργανικά υλικά.....	99
Σχήμα 6.1 Οργανικός C (Α), ολικό N (Β), αναλογία C/N (C), διαθέσιμος P (D) και K (E), σε ξηρό έδαφος πριν από την ενσωμάτωση της βιομάζας ψυχανθών (H 0), μετά τη φύτευση τομάτας (H 26) και κατά τη λήξη της καλλιέργειας τομάτας (H 124).	114
Σχήμα 6.2 Συγκεντρώσεις NH ₄ -N στο έδαφος σε βιολογική καλλιέργεια τομάτας θερμοκηπίου, όπως επηρεάζεται από διαφορετικές μεταχειρίσεις μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης.....	115
Σχήμα 6.3 Συγκεντρώσεις NO ₃ -N στο έδαφος σε βιολογική καλλιέργεια τομάτας θερμοκηπίου, όπως επηρεάζονται από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης.....	116

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 2.1 Αριστερά: η τοποθεσία του πειραματικού θερμοκηπίου κοντά στην πόλη της Πρέβεζας. Δεξιά: το θερμοκήπιο μετά την κάλυψη της έκτασης που χρησιμοποιήθηκε στον πειραματισμό.....	35
Εικόνα 2.2 Πάνω: Καταγραφικό υγρασίας και θερμοκρασίας εδάφους EM50. Κάτω: Έναρξη άρδευσης και λήξη άρδευσης με βάση τις ενδείξεις τασιμέτρου..	39
Εικόνα 2.3 Πάνω αριστερά: <i>Macrolophus pygmaeus</i> (Anthesis), δεξιά: <i>Nesidiocoris tenuis</i> (φυσικός πληθυσμός). Κάτω αριστερά: φωτεινή και βιολογική παγίδα (Araneae), δεξιά: <i>Mantis</i> spp. σε αναμονή.....	43
Εικόνα 2.4 Εκχύλιση εδαφικών διαλυμάτων, χρώσεις και μετρήσεις NH ₄ και NO ₃ στο φασματοφωτόμετρο (Εργαστήριο Εδαφολογίας - Τμήμα Γεωπονίας Πανεπιστημίου Ιωαννίνων - Κωστακιοί Άρτας).....	48
Εικόνα 3.1 Κλίμακα αξιολόγησης έντασης προσβολής των ριζών από κομβονηματώδεις (Bridge and Page, 1980).....	54
Εικόνα 3.2 Πάνω αριστερά: αμπελοφάσουλο εμβολιασμένο με ριζόβια και δεξιά, μη εμβολιασμένο. Κάτω επιτυχημένη συμβίωση και δημιουργία ενεργών φυματίων από τα ριζόβια.....	56
Εικόνα 3.3 Τεμαχισμός κουκιών και υπολειμμάτων τομάτας, αριστερά και αμπελοφάσουλων, δεξιά.....	60
Εικόνα 3.4 Αριστερά: Προσβολή νηματωδών σε ρίζα τομάτας που είχε εφαρμοστεί χλωρή λίπανση. Δεξιά: Ρίζα τομάτας στον μάρτυρα που είχε εφαρμοστεί μόνο κοπριά.....	66
Εικόνα 3.5 Εμφάνιση συμπτωμάτων τροφопενίας N στα φυτά τομάτας.....	76
Εικόνα 4.1 Αριστερά: σπορά κουκιών μεταξύ των γραμμών τομάτας. Δεξιά: η ανάπτυξη των κουκιών	81
Εικόνα 4.2 Πάνω, εγκατάσταση και κάτω, ανάπτυξη καλλιέργειας τομάτας	91
Εικόνα 5.1 Οι μεταχειρίσεις της 3ης Πειραματικής Ενότητας	94
Εικόνα 5.2 Ωρίμανση και συγκομιδή τομάτας.....	100
Εικόνα 5.3 Ανάπτυξη και ωρίμανση καρπών τομάτας	110
Εικόνα 6.1 Αριστερά: Ανάπτυξη κουκιών εκτός θερμοκηπίου. Δεξιά: Pellets μηδικής που παράγονται για ζωοτροφή.	113

1.Εισαγωγή – Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

1.1 Η βιολογική γεωργία – Ανάπτυξη – Θεσμικό πλαίσιο

Η βιολογική γεωργία είναι ένα σύστημα παραγωγής που διατηρεί την υγεία των εδαφών, των οικοσυστημάτων και των ανθρώπων. Βασίζεται στις οικολογικές διεργασίες, στην βιοποικιλότητα και στην ανακύκλωση, προσαρμοσμένες στις τοπικές συνθήκες και όχι στη χρήση εισροών με δυσμενείς επιπτώσεις, σύμφωνα με τη Διεθνή Ομοσπονδία Κινημάτων Βιολογικής Γεωργίας. Η βιολογική γεωργία συνδυάζει την παράδοση, την καινοτομία και την επιστήμη για να ωφελήσει το κοινό περιβάλλον και να προωθήσει δίκαιες σχέσεις και καλή ποιότητα ζωής για όλους τους εμπλεκόμενους (IFOAM, 2008). Ο αντίστοιχος όρος για τη βιολογική γεωργία στα Αγγλικά και στη διεθνή ορολογία είναι «organic agriculture». Ο όρος «οργανική» δεν υποδηλώνει τη μη χρήση συνθετικών χημικών ουσιών αλλά την θεώρηση ότι τα μέσα και το σύστημα παραγωγής αποτελούν ένα ενιαίο οργανικό σύνολο (Σάββας, 2016).

Τα συστήματα βιολογικής γεωργίας βασίζονται σε φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές, όπως η αμειψισπορά καλλιεργειών, η ενίσχυση της γονιμότητας του εδάφους μέσω βιολογικών διεργασιών, η κομποστοποίηση και ο βιολογικός έλεγχος των επιβλαβών οργανισμών, αποκλείοντας ταυτόχρονα τη χρήση συνθετικών χημικών (Kremen and Miles, 2012). Επιπλέον, η βιολογική γεωργία βασίζεται στη διαχείριση της οργανικής ουσίας του εδάφους για την ενίσχυση των χημικών, βιολογικών και φυσικών ιδιοτήτων του, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η παραγωγή των καλλιεργειών (Watson et al., 2002a).

Η αυξημένη ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σχετικά με την ασφάλεια των τροφίμων είναι μία βασική αιτία που οδήγησε σε σημαντική επέκταση της γεωργικής γης που καλλιεργήθηκε σύμφωνα με τις πρακτικές της βιολογικής γεωργίας τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Αυτό αντανακλάται σαφώς στην αύξηση της συνολικής βιολογικά καλλιεργούμενης έκτασης παγκοσμίως, από 11 εκατομμύρια εκτάρια το 1999 σε 71,5 εκατομμύρια εκτάρια το 2018, πενταπλασιάζοντας αντίστοιχα το ποσοστό της βιολογικής, στη συνολική καλλιεργήσιμη έκταση αυτές τις δυο δεκαετίες (Willer et al., 2020). Επιπλέον, η παγκόσμια αγορά βιολογικών προϊόντων έχει αυξηθεί περισσότερο από 3 φορές

τα τελευταία 20 χρόνια λόγω της ζήτησης των καταναλωτών για αυτά τα προϊόντα.

Σύμφωνα με στοιχεία από τους Willer et al. (2020), οι χώρες με το μεγαλύτερο ποσοστό βιολογικής καλλιέργειας στο σύνολο της καλλιεργήσιμης γης του, σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο για το 2018, φαίνονται στον Πίνακα 1.1

Πίνακας 1.1: Ποσοστό βιολογικής καλλιέργειας στο σύνολο καλλιεργήσιμης γης ανά χώρα, για το 2018

A/A	ΧΩΡΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ	A/A	ΧΩΡΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ
1	Λίχτενσταϊν	38,5	17	Σλοβενία	9,9
2	Σαμόα	34,5	18	Δανία	9,8
3	Αυστρία	24,7	19	Φίτζι	9,7
4	Σάο Τομέ και Πρίνσιπε	22,5	20	Ισπανία	9,6
5	Εσθονία	21,6	21	Γερμανία	9,1
6	Σουηδία	19,9	22	Αυστραλία	8,8
7	Ανατολικό Τιμόρ	16,8	23	Νήσοι Φερόες	8,4
8	Ιταλία	15,8	24	Λιθουανία	8,3
9	Λετονία	15,4	25	Γαλλία	7,3
10	Ελβετία	15,4	26	Δομινικανή Δημοκρατία	7,2
11	Ουρουγουάη	14,9	27	Βέλγιο	6,8
12	Βανουάτου	13,7	28	Κροατία	6,6
13	Φινλανδία	13,0	29	Ελλάδα	6,0
14	Τσεχία	12,8	30	Πορτογαλία	5,9
15	Γαλλική Γουιάνα	10,1	31	Κύπρος	5,4
16	Σλοβακία	10,0	32	Κιριμπάτι	4,7

Επίσης σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα, σε πολύ χαμηλό επίπεδο όσον αφορά το ποσοστό βιολογικής καλλιέργειας κηπευτικών στο σύνολο της καλλιεργήσιμης με κηπευτικά γης, εμφανίζεται η χώρα μας στην ευρωπαϊκή και παγκόσμια κατάταξη (Πίνακας 1.2). Το γεγονός ότι το ποσοστό της βιολογικής καλλιέργειας είναι 6%, αλλά για τα βιολογικά κηπευτικά είναι μόλις 2,2%, καταδεικνύει την υστέρηση του κλάδου αυτού, σε σχέση με τη συνολική ανάπτυξη της βιολογικής γεωργίας στην Ελλάδα. Το αντίστοιχο ποσοστό βιολογικών κηπευτικών στο σύνολο της Ε.Ε. ήταν 7,2%, ενώ για το σύνολο της βιολογικής καλλιέργειας ήταν 7,7%. Ενδεικτικά, η γειτονική μας Ιταλία έχει ποσοστό 12,1% και μία έκταση βιολογικής καλλιέργειας κηπευτικών πάνω από

600.000 στρ, ενώ η Βουλγαρία έχει ποσοστό 8,8 % και μεγαλύτερη έκταση από τη χώρα μας.

Πίνακας 1.2: Ποσοστό βιολογικής καλλιέργειας κηπευτικών στο σύνολο της καλλιεργήσιμης με κηπευτικά γης και έκταση βιολογικής καλλιέργειας κηπευτικών, πλήρως ή υπό μετατροπή, ανά χώρα για το 2018.

ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ %	ΕΚΤΑΣΗ (ha)		
		Σύνολο	πλήρως	μετατροπή
Λουξεμβούργο	54,1	64	52	13
Δανία	34,6	3916	3.771	144
Ισλανδία	30,5	13	13	
Αυστρία	25,4	4309		
Σουηδία	22,0	2379	2.287	92
Ελβετία	15,8	2583		
Ιταλία	12,1	60732	45.119	15.613
Γαλλία	12,0	26363	23.127	3.237
Καναδάς	11,5	8777	8.777	
Φινλανδία	10,2	1223	382	841
Σλοβακία	10,0	517	449	68
Βουλγαρία	8,8	2648		
Γερμανία	8,1	12477		
ΗΠΑ	7,7	64461		
Ολλανδία	7,6	7297	7.232	
Ουγγαρία	7,1	3976	3.410	567
Πορτογαλία	6,1	3278	3.064	214
Εσθονία	6,0	217	196	22
Ισπανία	5,7	22105	18.680	3.425
Νορβηγία	5,6	420	413	8
Αυστραλία	5,2	3902		
Ηνωμένο Βασίλειο		5681	5.307	375
Βασίλειο	4,9			
Λετονία	4,6	379	291	
Ιρλανδία	4,1	274	260	15
Σλοβενία	4,1	235	208	26
Κροατία	3,7	416	232	184
Λιθουανία	3,4	446	415	32
Πολωνία	3,3	6480	5.137	1.343
Βέλγιο	2,9	1846	1.654	
Ελλάδα	2,2	1871	1.079	792
Κύπρος	2,2	71	27	45

Με βάση τα στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων η έκταση που καλλιεργήθηκε με βιολογικά κηπευτικά το 2018 ήταν 18909 στρ. (ΥΠΑΑΤ, βιολογική καλλιέργεια, 2018) και ανήλθε στα 23847 στρ. το 2019

(ΥΠΑΑΤ, βιολογική καλλιέργεια, 2019), έχοντας μια καθαρά αυξητική τάση. Όμως, στατιστικά στοιχεία για τη βιολογική καλλιέργεια ανά είδος, δεν διατηρεί καμία Υπηρεσία της χώρας μας, καθώς δεν υπάρχουν τα πρωτογενή δεδομένα. Οι φορείς πιστοποίησης καταγράφουν τις καλλιέργειες που πιστοποιούν συνολικά ως κηπευτικά και όχι ανά είδος. Επιπλέον, στοιχεία για τις εκτάσεις και τις αποδόσεις δεν διατηρούν ούτε οι αναγνωρισμένοι Σύλλογοι βιοκαλλιεργητών.

Επίσημα στατιστικά δεδομένα για την βιολογική καλλιέργεια κηπευτικών σε θερμοκήπια δεν υπάρχουν, ούτε στη χώρα μας, ούτε σε επίπεδο Ε.Ε. Σύμφωνα με ανεπίσημα στοιχεία για το έτος 2014 καλλιεργούνταν βιολογικά στην Ιταλία μία έκταση θερμοκηπίων περίπου 20.000 στρ, στην Ισπανία, επίσης, 20.000 στρ, στη Γαλλία 5.500 στρ, στη Γερμανία 2.630 στρ και στην Ολλανδία 1.250 στρ.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (2018) η τομάτα θερμοκηπίου καλλιεργήθηκε σε έκταση 24.248 στρ. και η υπαίθρια 63.076 στρ. για το 2018, κατέχοντας ποσοστά 3,64 % και 9,47 % αντίστοιχα επί της συνολικής έκτασης των κηπευτικών στη χώρα μας. Ενώ, με βάση τα στοιχεία του ΥΠΑΑΤ (2019) για το ίδιο έτος, η τομάτα καλλιεργήθηκε στο θερμοκήπιο σε έκταση 25.969 στρ. και υπαίθρια σε 83.784, με ποσοστά 3,35 % και 10,8 %, αντίστοιχα, επί της συνολικής έκτασης των κηπευτικών. Τέλος, σύμφωνα με τις καλλιέργειες που δηλώθηκαν στον ΟΠΕΚΕΠΕ για το 2018, η τομάτα θερμοκηπίου κατείχε έκταση 21.945 στρ. και η υπαίθρια 18.546 στρ. με ποσοστά 4,58 % και 3,87 % αντίστοιχα.

Επίσης, στοιχεία για τις αποδόσεις της βιολογικής τομάτας δεν παρέχονται από καμία Υπηρεσία. Οι μέσες αποδόσεις της συμβατικής τομάτας θερμοκηπίου στην χώρα μας, το 2018 κυμάνθηκαν στους 8,7 t/στρ με βάση τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (2018) και 11,2 t/στρ σύμφωνα με τα στοιχεία του ΥΠΑΑΤ (2019). Στη μελέτη που εκπονήθηκε από τον Ταβουλάρη (2012), οι μέσες αποδόσεις της τομάτας θερμοκηπίου στην Ελλάδα διαμορφώνονται από 10-12,5 t/στρ, ανάλογα με την καλλιεργητική περίοδο. Τα αντίστοιχα στοιχεία για τις αποδόσεις τομάτας στο Ν. Πρέβεζας είναι 3,9 t/στρ και 3,5 t/στρ, σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ (2018) και το ΥΠΑΑΤ (2019), αντίστοιχα, για το 2018. Η εκτίμηση της Δ/νσης Αγροτικής Οικονομίας και Κτηνιατρικής Πρέβεζας (προσωπική

επικοινωνία) είναι 12,5-15 t/στρ απόδοση για τη ανοιξιάτικη και 10 t/στρ για τη φθινοπωρινή καλλιέργεια τομάτας και θεωρείται πιο ρεαλιστική.

Παρά την αυξανόμενη ζήτηση για προϊόντα βιολογικής παραγωγής, η έκταση που καλλιεργείται βιολογικά δεν αυξάνεται ανάλογα. Η μείωση της απόδοσης σε σχέση με τη συμβατική καλλιέργεια θεωρείται ότι είναι το πιο σημαντικό εμπόδιο στη περαιτέρω επέκταση της βιολογικής γεωργίας (Röös et al., 2018). Σύμφωνα με τους περισσότερους ερευνητές και την πρακτική εμπειρία, υπάρχει μία υστέρηση απόδοσης άνω του 20% της βιολογικής, σε σχέση με τη συμβατική γεωργία (Ponisio et al., 2015; Birkhofer et al., 2016; Seufert and Ramankutty, 2017).

Η βιολογική γεωργία χαρακτηρίζεται από πολλούς κανόνες και περιορισμούς που απορρέουν, είτε από τα πρότυπα πιστοποίησης των Οργανισμών με ευρεία διεθνή αποδοχή (πχ. IFOAM) ή και από πιο εξειδικευμένες απαιτήσεις άλλων φορέων (πχ. BIOLAND, DEMETER), είτε από τη νομοθεσία ή ακόμη και από άλλες ιδιωτικές συμφωνίες παραγωγής. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η βιολογική γεωργία ρυθμιζόταν από τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 834/2007 του Συμβουλίου, της 28ης Ιουνίου 2007, για τη βιολογική παραγωγή και την επισήμανση των βιολογικών προϊόντων και τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 889/2008 της Επιτροπής, της 5ης Σεπτεμβρίου 2008, σχετικά με τη θέσπιση λεπτομερών κανόνων εφαρμογής του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 834/2007 του Συμβουλίου για τη βιολογική παραγωγή και την επισήμανση των βιολογικών προϊόντων όσον αφορά τον βιολογικό τρόπο παραγωγής, την επισήμανση και τον έλεγχο των προϊόντων τους, ενώ από την 1-1-2021 ισχύει ο νέος Κανονισμός (ΕΕ) 2018/848 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Μαΐου 2018, για τη βιολογική παραγωγή και την επισήμανση των βιολογικών προϊόντων που κατέργησε τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 834/2007.

Μεταξύ των διαφόρων προτύπων και κανονισμών υπάρχουν σε κάποια ζητήματα ουσιαστικές διαφορές. Έτσι στις ΗΠΑ, το USDA Organic επιτρέπει την υδροπονική βιολογική παραγωγή αλλά και τη χρήση ορυκτού νιτρικού νατρίου (Νίτρο της Χιλής) μέχρι ένα ποσοστό (20% των ολικών αναγκών σε άζωτο (N)), ενώ στην Ευρώπη απαγορεύονται. Επίσης, στο πρότυπο της Bioland απαγορεύεται η χρήση ζωικής κοπριάς αλλά και των αποβλήτων της διαδικασίας σφαγής ζώων(πχ. αίμα, κόκαλα).

1.2 Η λίπανση στη βιολογική γεωργία

Βέβαια, σε όλα τα πρότυπα βιολογικής καλλιέργειας δεν επιτρέπεται η χρήση συνθετικών λιπασμάτων βιομηχανικής παραγωγής (Birkhofer et al., 2016). Η χορήγηση φωσφόρου (P), και καλίου (K), καθώς και ασβεστίου (Ca), μαγνησίου (Mg), θείου (S) και μικροθρεπτικών συστατικών όποτε χρειάζονται, είναι σχετικά εύκολο να πραγματοποιηθεί σε βιολογικά συστήματα καλλιέργειας, χρησιμοποιώντας οργανικά λιπάσματα αλλά και ανόργανα υλικά φυσικής προέλευσης, όπως οστεάλευρα, φωσφορικά πετρώματα, θειικό καλιομαγνήσιο, γύψο, δολομίτη κ.λπ. (Gatsios et al., 2019).

Οι Voogt et al. (2011) ανέφεραν ότι στις βιολογικές καλλιέργειες θερμοκηπίου παρατηρείται συσσώρευση P, καθώς εφαρμόζονται συνεχώς μεγαλύτερες ποσότητες από τις ανάγκες των φυτών. Αυτό, προφανώς, συμβαίνει γιατί τα βασικά λιπάσματα - εδαφοβελτιωτικά που χρησιμοποιούνται, όπως η κοπριά και το κομπόστ, έχουν συνήθως μεγαλύτερη αναλογία P σε σχέση με τις ανάγκες των κηπευτικών. Επιπλέον, σε συνθήκες θερμοκηπίου οι ενδεχόμενες απώλειες P είναι αμελητέες και σαφώς μικρότερες από τις απώλειες σε N και K. Η έλλειψη σε K, όταν διαπιστωθεί, είναι σχετικά εύκολο να διορθωθεί με προσθήκη ορυκτού θειικού καλίου, ακόμα και σε υδατοδιαλυτή μορφή μέσω του συστήματος άρδευσης, καθώς επιτρέπεται η χρήση του στη βιολογική καλλιέργεια.

Όμως, σε πολλές χώρες και σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση η χρήση ανόργανου N στη βιολογική γεωργία απαγορεύεται ακόμη και αν είναι ορυκτής προέλευσης. Κατά συνέπεια, η διαθεσιμότητα N στα φυτά στη βιολογική γεωργία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προσθήκη και την ανακύκλωση οργανικών υλικών. Ωστόσο, ο ρυθμός αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας του εδάφους και άρα καθαρής ανοργανοποίησης του N είναι δύσκολα προβλέψιμος, υπό συνθήκες αγρού (Cabreza et al., 2005).

Επομένως, η επαρκής αζωτούχος θρέψη είναι δύσκολο να επιτευχθεί στη βιολογική γεωργία και συχνά εμφανίζεται τροφопενία N (Dahlin et al., 2005), αποτελώντας τον κύριο περιοριστικό παράγοντα και μία διαρκή πρόκληση για ικανοποιητικές αποδόσεις (Clark et al., 1999; Askegaard et al., 2011; Castro Bustamante and Hartz, 2015). Σε κάθε περίπτωση, η διαθεσιμότητα N είναι μέγιστης σημασίας για την επιτυχή καλλιέργεια σε οποιαδήποτε μορφή

γεωργίας (Dumas et al., 1993; Stockdale et al., 2019; Watson et al., 2002a). Οπότε, η αύξηση της διαθεσιμότητας N έχει μεγάλες δυνατότητες βελτίωσης της απόδοσης στη βιολογική γεωργία (Doltra et al., 2011), καθώς οι εισροές N είναι στις περισσότερες περιπτώσεις κάτω από το βέλτιστο επίπεδο (Röös et al., 2018).

Οι κύριες πηγές N στη βιολογική γεωργία είναι η ενσωμάτωση χλωρής λίπανσης και υπολειμμάτων καλλιέργειας, καθώς και η εφαρμογή κοπριάς ζώων ή/και κομπόστ (Watson et al., 2002a). Ωστόσο, οι μόνες πραγματικές εισαγωγές N στο βιολογικό αγρό είναι αυτές που προέρχονται από κοπριά, κομπόστ ή άλλα επιτρεπόμενα λιπάσματα που προμηθεύονται από άλλες επιχειρήσεις, όπως και το ατμοσφαιρικό N₂ που δεσμεύεται βιολογικά από μικροοργανισμούς εδάφους (Briggs, 2008).

Η κοπριά είναι μία από τις κύριες πηγές του N σε πιστοποιημένες βιολογικές καλλιέργειες αλλά η μέγιστη ετήσια ποσότητα που επιτρέπεται να εφαρμοστεί, δεν πρέπει να παρέχει πάνω από 170 kg N ανά εκτάριο, σύμφωνα με τους Κανονισμούς της ΕΕ. Επιπλέον, η κοπριά πρέπει να προέρχεται από εκτατική κτηνοτροφία και κατά προτίμηση να είναι κομποστοποιημένη και από βιολογική εκτροφή. Όμως, ολοένα και περισσότερο παρατηρείται αποσύνδεση της φυτικής από τη ζωική παραγωγή, γεγονός που ισχύει ειδικά στην θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας, καθώς απαιτεί υψηλή εξειδίκευση των παραγωγών (Körke, 2019). Οπότε, βασικό ζήτημα είναι η διαθεσιμότητα ζωικής κοπριάς καλής ποιότητας σε σχετικά κοντινή απόσταση (<20χλμ) για να είναι οικονομικά αποδεκτό το κόστος μεταφοράς (Dahlin et al., 2005).

Ο άλλος κύριος πυλώνας της βιολογικής γεωργίας, το κομπόστ δεν έχει περιορισμό στην ποσότητα που εφαρμόζεται ανά καλλιεργούμενη έκταση αλλά έχει περιορισμένο ρυθμό προσφοράς θρεπτικών ουσιών. Έτσι, μόνο το 5-25% και συνήθως το 5-10% του συνολικού N είναι διαθέσιμο στην επόμενη καλλιέργεια, ποσοστό που εξαρτάται κυρίως από το λόγο άνθρακα/αζώτου (C/N) (Baldwin, 2006; Nair and Delate, 2016). Στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες δεν υπάρχουν διαθέσιμα οργανικά υλικά για την παρασκευή κομπόστ, εφόσον τα φυτικά υπολείμματα ενσωματώνονται άμεσα στο έδαφος, οπότε το κομπόστ πρέπει να προμηθεύεται από άλλες εκμεταλλεύσεις. Οργανικά υλικά κατάλληλα για κομπόστ μπορεί να προέρχονται από τις βιομηχανίες μεταποίησης

αγροτικών προϊόντων, που μετά από επεξεργασία διατίθενται στην αγορά. Η προμήθεια τους προκαλεί κόστος στη βιολογική καλλιέργεια αλλά από την άλλη, επιπλέον του N, προσθέτει όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών και αυξάνει την οργανική ουσία του εδάφους. Οι περιορισμοί ως προς την ποιότητα και τη εγγύτητα της πηγής που προαναφέρθηκαν για την κοπριά ισχύουν φυσικά και για το κομπόστ.

Η θετική επίδραση των ψυχανθών στις αποδόσεις και ιδιαίτερα στα φτωχά εδάφη είχε επισημανθεί, ήδη, από τους αρχαίους Έλληνες (Δαουτόπουλος και Κουτσούκος, 2008). Ενώ, οι πρώτοι που απέδειξαν ότι η αζωτοδέσμευση στα ψυχανθή πραγματοποιείται από τα βακτήρια που υπάρχουν στα φυμάτια των ριζών ήταν οι Γερμανοί επιστήμονες Hermann Hellriegel και Hermann Wilfarth το 1886 (Δαουτόπουλος και Κουτσούκος, 2008). Σήμερα, το γεγονός ότι η χρήση των ψυχανθών ως χλωρή λίπανση ή συγκαλλιέργεια μπορεί να είναι μία σημαντική πηγή οργανικού N στις βιολογικές καλλιέργειες είναι καλά τεκμηριωμένο (Olasantan, 1991; Lenzi 2009, Fatima 2012; Stagnari et al., 2017). Η μοναδική ικανότητα των ψυχανθών να δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό N₂ μέσω της συμβίωσης με αζωτοβακτήρια είναι θεμελιώδης για την χορήγηση N στη βιολογική γεωργία (Watson 2002; Peoples et al., 2009; Reckling et al., 2016). Τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια αποκαλούνται ριζόβια και δημιουργούν συμβιωτικές σχέσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό εξειδίκευσης όσον αφορά το είδος του φυτού και του συμβιωτικού αζωτοδεσμευτικού βακτηρίου (Relic et al., 1994). Διαφορετικά είδη ψυχανθών αποικίζονται από διαφορετικά είδη ριζοβίων. Επομένως, όταν το κατάλληλο είδος ριζοβίου για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια ψυχανθών δεν υπάρχει στο έδαφος, ο εμβολιασμός είναι απαραίτητος για ικανοποιητική συμβιωτική δέσμευση N₂ και μπορεί να αυξήσει αποτελεσματικά τη συνολική ποσότητα παραγόμενης βιομάζας (Denton et al., 2017; Gatsios et al., 2019).

Εξειδικευμένα πειράματα που διεξήχθησαν σε υπαίθριους αγρούς (Campiglia et al., 2011; Sugihara et al., 2013; Thönnissen et al., 2000) και σε θερμοκήπια (Araki, 2016; Gatsios et al., 2019) έχουν αποδείξει την προσφορά N από τα ψυχανθή που ενσωματώθηκαν στο έδαφος στην επόμενη βιολογική καλλιέργεια τομάτας. Ωστόσο, σύμφωνα με πολλούς ερευνητές (Lenzi et al., 2009; Reckling et al., 2016; Thönnissen et al., 2000) το όφελος της χλωρής

λίπανσης δεν είναι τόσο εμφανές σε εύφορα εδάφη, όπως πρέπει να είναι αυτά των θερμοκηπίων. Επιπλέον, για την παραγωγή ικανοποιητικής βιομάζας ψυχανθών έτσι ώστε η ποσότητα βιολογικής αζωτοδέσμευσης (biological nitrogen fixation - BNF) να είναι αντίστοιχα μεγάλη, πρέπει να διατεθεί σημαντικός χρόνος ανάπτυξης των ψυχανθών (Unkovich et al., 1994), κάτι που δεν είναι πάντα εφικτό στα θερμοκήπια, καθώς είναι επενδύσεις υψηλής έντασης κεφαλαίου (Tittarelli et al., 2016).

Η μέθοδος κοπής και μεταφοράς της βιομάζας ψυχανθών που έχουν αναπτυχθεί σε άλλο αγρό έχει δοκιμαστεί επιτυχώς σε άλλες καλλιέργειες (Palomba, 2016; Sorensen and Grevsen, 2016; van der Burgt et al., 2018) και μπορεί, ίσως, να συμβάλει σημαντικά στην αζωτούχο θρέψη της τομάτας του θερμοκηπίου. Στον υπαίθριο αγρό τα ψυχανθή μπορεί να διατηρήσουν υψηλό επίπεδο BNF λόγω μικρής προσφοράς εδαφικού N, γεγονός που δεν συμβαίνει πάντα στο έδαφος του θερμοκηπίου που πρέπει να είναι πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία, ιδιαίτερα σε N (Barker, 2010; Gatsios et al., 2019; Unkovich et al., 1994).

Η σημαντική συνεισφορά των pellets μηδικής στη αζωτούχο θρέψη άλλων υπαίθριων καλλιεργειών έχει αποδειχθεί σε πολλές μελέτες (Burgt et al., 2018; Kaniszewski et al., 2019; Qian et al., 2008). Η εφαρμογή pellets μηδικής δεν απαιτεί την ύπαρξη άλλου αγρού, καθώς είναι προϊόν που παράγεται ήδη για ζωοτροφές, αλλά έχει επιπλέον κόστος λόγω ξήρανσης, μεταφοράς και εμπορίας. Η αποξηραμένη και συμπιεσμένη βιομάζα έχει το πρόσθετο πλεονέκτημα της εύκολης αποθήκευσης και χρήσης έναντι της φρέσκιας βιομάζας ψυχανθών.

Επιπλέον, ενώ η κλασική μέθοδος χλωρής λίπανσης με ψυχανθή προσφέρει στο έδαφος μόνο N, στην περίπτωση της μεταφερόμενης βιομάζας όλα τα μακροθρεπτικά συστατικά και τα ιχνοστοιχεία που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών προστίθενται στο έδαφος. Από την άλλη πλευρά, το όφελος της αμειψισποράς που αντιστοιχεί στη βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους από το ριζικό σύστημα των ψυχανθών και στη μείωση των παθογόνων των φυτών χάνεται (Peoples et al., 2009; Reckling et al., 2016; Stagnari et al., 2017).

Η αμειψισπορά είναι ο ακρογωνιαίος λίθος των συστημάτων βιολογικής καλλιέργειας, καθώς συμβάλλει καθοριστικά τόσο στη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους όσο και στον έλεγχο των παρασίτων, των ασθενειών και των ζιζανίων (Atkinson and Walker, 2019; Berry et al., 2003). Ως εκ τούτου, πολλοί επιστήμονες πρότειναν την επανεισαγωγή των ψυχανθών στα συστήματα αμειψισποράς, καθώς λειτουργούν ως πηγές λίπανσης N για την επόμενη καλλιέργεια. Οι Ponisio et al. (2015) διαπίστωσαν ότι η εφαρμογή συστημάτων αμειψισποράς με βάση τα ψυχανθή στη βιολογική γεωργία μειώνει το προαναφερθέν χάσμα απόδοσης στο 8%. Ωστόσο, η συνεισφορά των καρποδοτικών ψυχανθών στο ισοζύγιο του N στο έδαφος είναι περιορισμένη, επειδή σημαντικό μέρος του συμβιωτικά δεσμευμένου N απομακρύνεται με τη συγκομιδή των καρπών (Briggs, 2008), έτσι ώστε μερικές φορές το πλεόνασμα να μην υπερβαίνει το επίπεδο των 2,5 kg N /στρ. (Berry et al., 2003) ή και τελικά να αφαιρείται N από το έδαφος (Briggs, 2008).

Ωστόσο, τα φυτά ελάχιστες ποσότητες N μπορούν να απορροφήσουν σε οργανική μορφή, σύμφωνα με τους Quemada et al. (2016) και Stockdale et al. (2019). Για να γίνει αφομοιώσιμο, το οργανικό N θα πρέπει να μετατραπεί σε ανόργανη μορφή μέσω της αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας (Quemada et al., 2016). Αυτή η βιολογική διαδικασία συντελείται στο έδαφος με τη συμβολή ετερότροφων βακτηρίων. Το οργανικό N στην αρχή μετατρέπεται σε $\text{NH}_4\text{-N}$, στη συνέχεια σε $\text{NO}_2\text{-N}$ από τα *Nitrosomonas* και μετά σε $\text{NO}_3\text{-N}$ από τα *Nitrobacter* (Stockdale et al., 2019).

Σε κάθε περίπτωση και ανεξάρτητα από την πηγή του οργανικού N, η μεγαλύτερη πρόκληση στη βιολογική θρέψη των καλλιεργειών είναι ο συγχρονισμός του ρυθμού ανοργανοποίησης του N με τις απαιτήσεις των φυτών (Berry et al., 2002; Dahlin et al., 2005; Watson et al., 2002a). Διαφορετικά είδη φυτών και ποικιλίες μπορεί να έχουν διαφορετικούς ρυθμούς ανοργανοποίησης, όταν ενσωματώνονται στο έδαφος (Dahlin et al., 2005). Επιπλέον, η φρέσκια βιομάζα μπορεί να έχει υψηλότερα ποσοστά αποσύνθεσης σε σύγκριση με την ξηρή βιομάζα (Dahlin et al., 2005).

1.3 Η καλλιέργεια της τομάτας - Απαιτήσεις σε N

Η τομάτα είναι ένα από τα πιο σημαντικά και ευρέως καταναλισκόμενα κηπευτικά στον κόσμο. Επιπλέον, είναι ένα πολύ καλά μελετημένο και προσαρμοζόμενο φυτό, που χρησιμοποιείται ως πρότυπο και για άλλες καλλιέργειες καρποδοτικών κηπευτικών (Schwarz et al., 2014). Η καλλιέργεια τομάτας θερμοκηπίου είναι ένα εντατικό ή πολύ εντατικό σύστημα καλλιέργειας, που χαρακτηρίζεται από μεγάλες απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά, λόγω των υψηλών ρυθμών ανάπτυξης και του μεγάλου φορτίου καρπών (Charagain and Wiesman, 2004; Gatsios et al., 2020; Sainju et al., 2003a). Σε ένα πείραμα θερμοκηπίου, ο Sonneveld, (2002) διαπίστωσε ότι από μια μεγάλου κύκλου καλλιέργεια τομάτας με απόδοση περίπου 60 kg m^{-2} , η συνολική πρόσληψη N ήταν 1185 kg ha^{-1} . Επιπλέον, η παραγωγή 20 kg m^{-2} καρπών τομάτας, η οποία είναι μία προσδοκώμενη απόδοση (Tittarelli et al., 2017) σε θερμοκήπια βιολογικής τομάτας, αφαιρεί περίπου 240 kg N ha^{-1} μέσω της συγκομιδής, υποθέτοντας μια περιεκτικότητα καρπών σε ξηρά ουσία 6% και συγκέντρωση N 20 mg g^{-1} ξηρού βάρους, όπως αναφέρεται από τους Colla et al. (2002). Τέλος, με βάση έρευνα των Gianquinto et al. (2013) για την παραγωγή 10 τόνων καρπών τομάτας απαιτούνται από 20 έως 74 kg και κατά μέσο όρο 35 kg N.

Από την άλλη πλευρά, τα αποθέματα του εδάφους σε N είναι περιορισμένα και απαιτούν συχνή αναπλήρωση μέσω της λίπανσης. Ανεπαρκή επίπεδα ανόργανου N στο έδαφος μπορεί να οδηγήσουν σε τροφopenία N στις καλλιέργειες τομάτας θερμοκηπίου, η οποία εκδηλώνεται με καχεκτική αδύναμη ανάπτυξη, μικρά και ανοιχτοκίτρινα άνθη και κιτρίνισμα των παλαιότερων και ενδιάμεσων φύλλων (Needham, 1973). Ως αποτέλεσμα, η απόδοση μειώνεται σημαντικά λόγω της μείωσης, τόσο του αριθμού των καρπών ανά φυτό, όσο και του μέσου μεγέθους των καρπών, ενώ η ποιότητα επηρεάζεται επίσης αρνητικά (Sainju et al., 2003a). Επομένως, η λίπανση N είναι μείζονος σημασίας για την παραγωγή τομάτας θερμοκηπίου και θα πρέπει να γίνεται αποτελεσματικά για τη βελτιστοποίηση τόσο της απόδοσης, όσο και της ποιότητας των καρπών.

Στις βιολογικές καλλιέργειες θερμοκηπιακής τομάτας, η κοπριά είναι μία από τις κύριες πηγές του N. Ωστόσο, οι μέγιστες ετήσιες ποσότητες N από κοπριά που επιτρέπεται να εφαρμοστούν σε πιστοποιημένες βιολογικές

καλλιέργειες δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 170 kg ha⁻¹, όπως αναφέρθηκε. Αυτή η ποσότητα μπορεί να είναι ικανοποιητική για υπαίθριες καλλιέργειες, αλλά είναι ανεπαρκής για καλλιέργειες τομάτας θερμοκηπίου, τόσο λόγω της διάρκειας της περιόδου καλλιέργειας όσο και της μεγάλης ποσότητας καρπών που απομακρύνονται από το χωράφι με τη συγκομιδή. Αυτό ισχύει ακόμη και αν η αναμενόμενη ετήσια απόδοση στη βιολογική καλλιέργεια τομάτας είναι αρκετά χαμηλότερη από το παραπάνω αναφερόμενο επίπεδο των 60 kg m⁻², λαμβάνοντας υπόψη ότι τα 20 kg N θεωρούνται ως το ελάχιστο όριο για την παραγωγή 10 τόνων τομάτας σε θερμοκήπιο (Gianquinto et al., 2013).

Επομένως, η ανάγκη για την εξεύρεση άλλων εναλλακτικών ή συμπληρωματικών πηγών οργανικού N στις βιολογικές καλλιέργειες θερμοκηπίου είναι επιτακτική. Επίσης, κρίσιμος παράγοντας για την αζωτούχο θρέψη στη βιολογική γεωργία είναι ο ρυθμός ανοργανοποίησης του N, ώστε η διαθεσιμότητά του να συγχρονιστεί με τις ανάγκες των φυτών τομάτας.

1.4 Ερευνητικός στόχος - Δομή των πειραμάτων

Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα διατριβή διερευνήθηκε η αποτελεσματικότητα της χρήσης των ψυχανθών, ως προς τον εμπλουτισμό του εδάφους με ατμοσφαιρικό N₂ που έχει δεσμευτεί συμβιωτικά, στην βελτίωση της αζωτούχου θρέψης και στην αύξηση της απόδοσης της βιολογικής καλλιέργειας τομάτας θερμοκηπίου. Τα ψυχανθή δοκιμάστηκαν σε σύγκριση ή σε συνδυασμό, με κοπριά βοοειδών ελευθέρως εκτροφής ή με κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου. Επιπλέον, προσδιορίστηκε η επίπτωση του εμβολιασμού των σπόρων ψυχανθών με συμβιωτικά αζωτοβακτήρια ή και με ριζοβακτήρια που πιθανώς προάγουν την ανάπτυξη των φυτών (plant growth promoting rhizobacteria - PGPR). Τέλος, εξετάστηκε αν το κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου μπορεί μόνο του, ή σε συνδυασμό με τη βιομάζα ψυχανθών, να υποκαταστήσει τη ζωική κοπριά στη λίπανση της βιολογικής τομάτας θερμοκηπίου.

Για το σκοπό αυτό σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν οι τέσσερις παρακάτω πειραματικές ενότητες:

Στην **1^η Πειραματική Ενότητα** δοκιμάστηκαν το αμπελοφάσουλο (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) για χλωρή λίπανση και το κουκί (*Vicia faba* L.) σε

συγκαλλιέργεια με τομάτα (*Solanum lycopersicum* L.), εμβολιασμένα ή όχι με ριζόβια ή και με PGPR, ως προς την αποτελεσματικότητά τους να βελτιώσουν την αζωτούχο θρέψη και να αυξήσουν την απόδοση καρπών της καλλιέργειας τομάτας.

Στην **2^η Πειραματική Ενότητα** μελετήθηκε αν το αμπελοφάσουλο ως χλωρή λίπανση και το κουκί σε συγκαλλιέργεια με τομάτα, σε συνδυασμό ή όχι, με κομπόστ από υπολείμματα ελαιοτριβείου μπορούν να αντικαταστήσουν την ζωική κοπριά ως προς τη διαθεσιμότητα N στην καλλιέργεια τομάτας.

Στην **3^η Πειραματική Ενότητα** διερευνήθηκε η επίδραση της καλλιέργειας ψυχανθών στην αζωτούχο θρέψη και την απόδοση της ακόλουθης καλλιέργειας τομάτας. Δοκιμάστηκε το κοινό φασόλι (*Phaseolus vulgaris* L.) και το αμπελοφάσουλο που καλλιεργήθηκαν για συγκομιδή φρέσκων λοβών και το κουκί για χλωρή λίπανση σε συνδυασμό με κοπριά ή κομπόστ.

Στην **4^η Πειραματική Ενότητα** μελετήθηκε η αποτελεσματικότητα χρήσης pellets μηδικής και βιομάζας κουκιού που καλλιεργήθηκε σε υπαίθριο αγρό, στη βελτίωση της θρέψης και της απόδοσης της καλλιέργειας τομάτας θερμοκηπίου.

Σε όλα τα πειράματα προσδιορίστηκε η ποσότητα του συμβιωτικά δεσμευμένου ατμοσφαιρικού N₂ στην υπέργεια βιομάζα των ψυχανθών. Μετρήθηκε η επίδραση των μεταχειρίσεων στο ολικό N και στον οργανικό άνθρακα (C) του εδάφους. Μέσω της καταγραφής, σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά την καλλιέργεια της τομάτας, του ανόργανου εδαφικού N ως σύνολο των νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων, εκτιμήθηκε το επίπεδο της καθαρής ανοργανοποίησης του N σε σχέση με τις απαιτήσεις των φυτών τομάτας σε N. Η αζωτούχος θρέψη της τομάτας προσδιορίστηκε με αναλύσεις ολικού N στα φύλλα. Εκτός από το N, μετρήθηκε η επίδραση των μεταχειρίσεων στη συγκέντρωση στο έδαφος και στα φυτά της τομάτας των άλλων δύο πρωτευόντων μακροστοιχείων (P, K). Τέλος, καταγράφηκε η απόδοση της τομάτας σε ώριμους καρπούς, καθώς και ο αριθμός καρπών ανά φυτό και το μέσο βάρος τους.

2. Γενικά υλικά και μέθοδοι

2.1 Τοποθεσία – Πειραματικό Θερμοκήπιο

Η παρούσα έρευνα περιλαμβάνει 4 πειραματικές ενότητες που πραγματοποιήθηκαν διαδοχικά ανά 2, σε 2 διαφορετικές μονάδες του ίδιου θερμοκηπίου που βρίσκεται στην Πρέβεζα ($38^{\circ}59'29.2''\text{N}$, $20^{\circ}45'36.1''\text{E}$, 5 m υψόμετρο) και έχει ΒΒΑ-ΝΝΔ προσανατολισμό. Όλα τα πειράματα διεξήχθησαν από το Μάιο 2017 μέχρι και τον Ιούλιο 2019 σε 4 καλλιεργητικές περιόδους. Οι ακριβείς ημερομηνίες εγκατάστασης και περάτωσης των πειραμάτων δίνονται στις επιμέρους πειραματικές ενότητες.

Το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν τυποποιημένο, μεταλλικό, τροποποιημένο τοξωτό, μία κατασκευή που συνηθίζεται στην περιοχή της Πρέβεζας και είχε παραμείνει ακαλλιέργητο και χωρίς κάλυψη από το 2004, μέχρι την έναρξη των πειραμάτων. Καλύφθηκε για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας με πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας τεχνολογίας 7 στρώσεων, πάχους 180μm με αντισταγονική και αντιομιχλική ιδιότητα (EVO AC, Πλαστικά Κρήτης). Το θερμοκήπιο αποτελούνταν από 2 κατασκευαστικές μονάδες και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της καθεμίας ήταν: ύψος υδροροής=2,8 m, ύψος κορυφής=3,5 m, πλάτος 7,5 m, μήκος 44 m και εμβαδό 330 m². Σε κάθε μία μονάδα διεξαγόταν κάθε φορά ένα ανεξάρτητο πείραμα και έτσι την ίδια καλλιεργητική περίοδο υλοποιούνταν δύο πειραματικές ενότητες. Ο εξαερισμός του θερμοκηπίου ήταν φυσικός και γινόταν με περιμετρικά ανοίγματα στις 4 πλευρές του, έκτασης 150 m².



Εικόνα 2.1 Αριστερά: η τοποθεσία του πειραματικού θερμοκηπίου κοντά στην πόλη της Πρέβεζας. Δεξιά: το θερμοκήπιο μετά την κάλυψη της έκτασης που χρησιμοποιήθηκε στον πειραματισμό.

2.2 Εδαφικά και κλιματικά δεδομένα

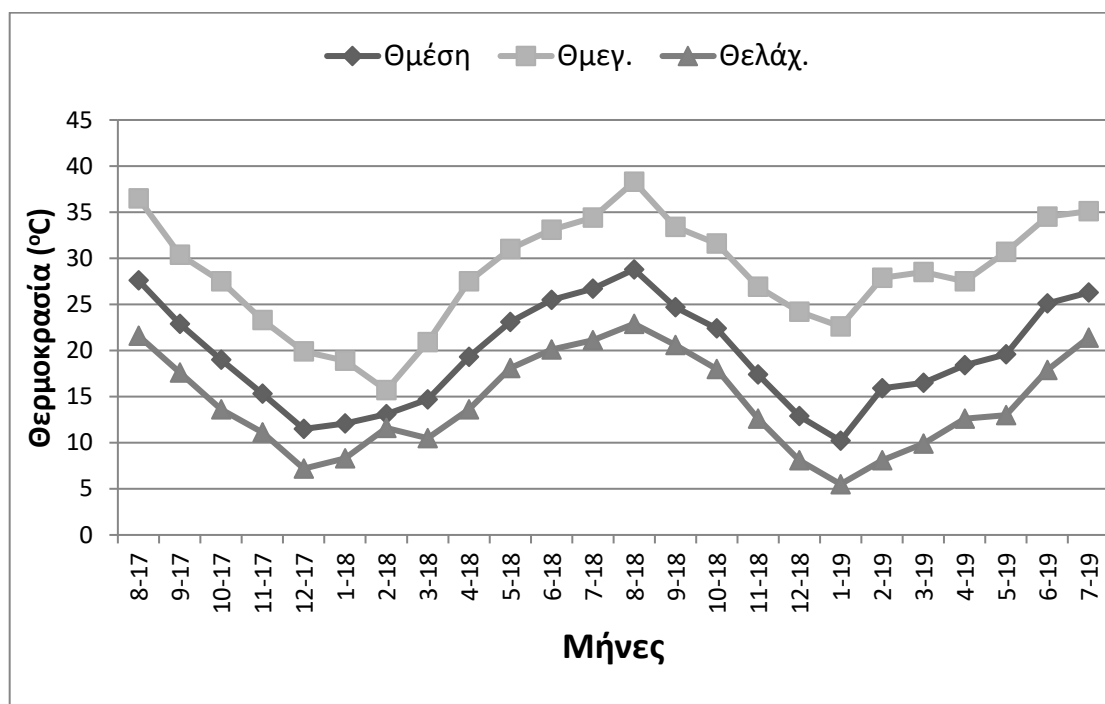
Το έδαφος σε βάθος μέχρι 20 cm από πλευράς μηχανικής σύστασης χαρακτηρίζεται ως αμμοπηλώδες. Σε μεγαλύτερο βάθος το ποσοστό της αργίλου αυξάνεται κατακόρυφα και το έδαφος μεταβάλλεται σε αργιλώδες. Επιπλέον, η ενσωμάτωση των οργανικών υλικών γινόταν στα πρώτα 20 cm του εδάφους, καθώς ο ρυθμός ανοργανοποίησής τους είναι σημαντικά υψηλότερος σε αυτή τη ζώνη. Για τους παραπάνω λόγους οι δειγματοληψίες του εδάφους επιλέχθηκε να γίνονται σε βάθος 20 cm. Η μηχανική σύσταση και η περιεκτικότητα του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία δίνονται στον Πίνακα 2.1, εκτός από τα δεδομένα για τα πρωτεύοντα μακροστοιχεία (N,P,K) και τον οργανικό C που καταγράφονται σε κάθε πείραμα ξεχωριστά.

Πίνακας 2.1: Βασικά χαρακτηριστικά και περιεκτικότητα του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία στις 2 πειραματικές μονάδες.

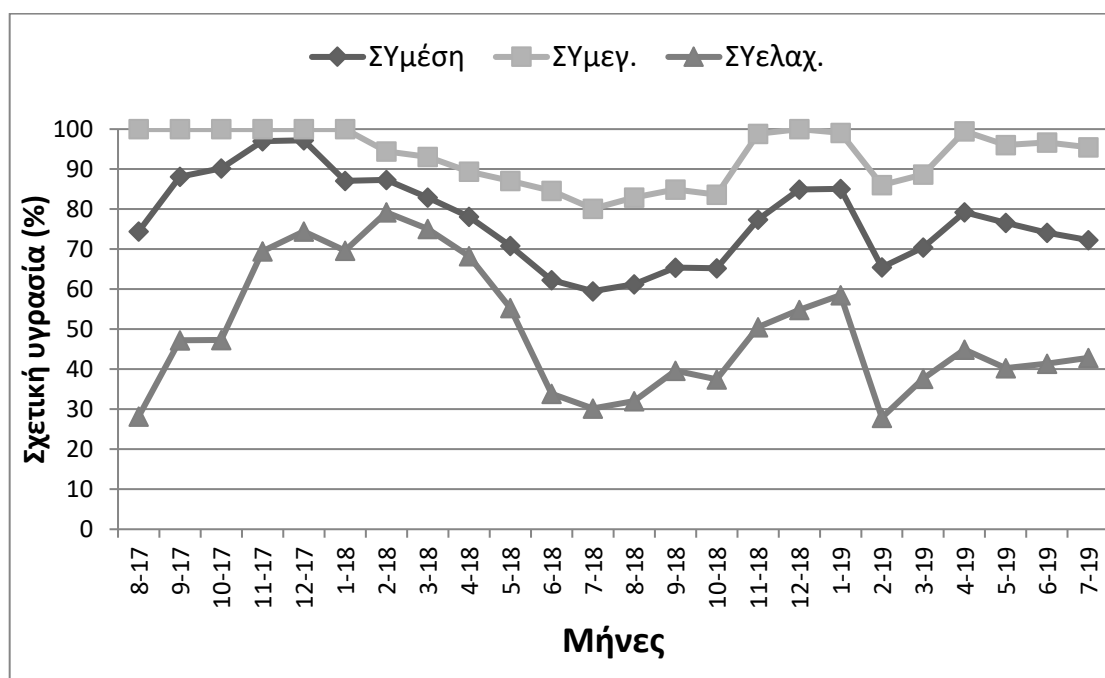
	Μονάδα 1	Μονάδα 2
Άμμος %	56	62
Ιλύς %	24	19
Άργιλος %	20	19
pH	7,5	7,5
EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	370	360
Ολικό CaCO_3 %	1,0	1,0
Ca (mg kg^{-1})	1334	1234
Mg (mg kg^{-1})	152	150
Na(mg kg^{-1})	57	51
Fe (mg kg^{-1})	77	61,2
Cu (mg kg^{-1})	0,7	0,8
Zn (mg kg^{-1})	14,5	13,1
Mn (mg kg^{-1})	33	21,5
B (mg kg^{-1})	0,8	0,8

Τα κλιματικά δεδομένα μέσα στο θερμοκήπιο κατά την πειραματική περίοδο και συγκεκριμένα η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα καταγραφόταν σε ωριαία βάση με καταγραφικό HOBO (Onset Computer Corporation, USA). Οι μηνιαίοι μέσοι όροι της θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) και της

σχετικής υγρασίας (%) (ελάχιστη, μέγιστη και μέση ημερήσια) καταγράφονται στα Σχήματα 2.1 και 2.2, αντίστοιχα.



Σχήμα 2.1 Μηνιαίοι μέσοι όροι για τις μέση, μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (Θμέση, Θμεγ. και Θελάχ. αντίστοιχα) μέσα στο θερμοκήπιο κατά την πειραματική περίοδο



Σχήμα 2.2 Μηνιαίοι μέσοι όροι για τις μέση, μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια σχετική υγρασία (ΣΥμέση, ΣΥμεγ. και ΣΥελάχ. αντίστοιχα) μέσα στο θερμοκήπιο κατά την πειραματική περίοδο

2.3 Πολλαπλασιαστικό υλικό

Για τις καλλιέργειες της τομάτας χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά υβρίδια τα οποία καλλιεργούνταν σε μεγάλο ποσοστό στην περιοχή της Πρέβεζας την αντίστοιχη καλλιεργητική περίοδο. Έτσι, στις δύο φθινοπωρινές καλλιέργειες (2017 και 2018) προτιμήθηκε το υβρίδιο Elpida F1 (Αγροτικός Οίκος Σπύρου ΑΕΒΕ) ενώ στην πρώτη ανοιξιάτικη (2018) το υβρίδιο Ekstasis F1 (Genesis ΕΠΕ) και στη δεύτερη (2019) το υβρίδιο Nissos F1 (Hazera Ελλάς Α.Ε.). Η μεταφύτευση των φυταρίων τομάτας έγινε στο στάδιο των 6 πραγματικών φύλλων, σε αποστάσεις 0,5 m επί της γραμμής και τα φυτά διαμορφώθηκαν με ένα στέλεχος σε όλα τα πειράματα, εκτός από το 1^ο πείραμα της 2^{ης} Πειραματικής Ενότητας. Στο τελευταίο η φύτευση έγινε σε απόσταση 1 m επί της γραμμής, αλλά τα φυτά διαμορφώθηκαν με δύο στελέχη. Τέλος, σε όλα τα πειράματα τα φυτά τομάτας κορυφολογήθηκαν στις 7 ταξιανθίες, πρακτική που συνηθίζεται στις εμπορικές καλλιέργειες τομάτας στην περιοχή της Πρέβεζας.

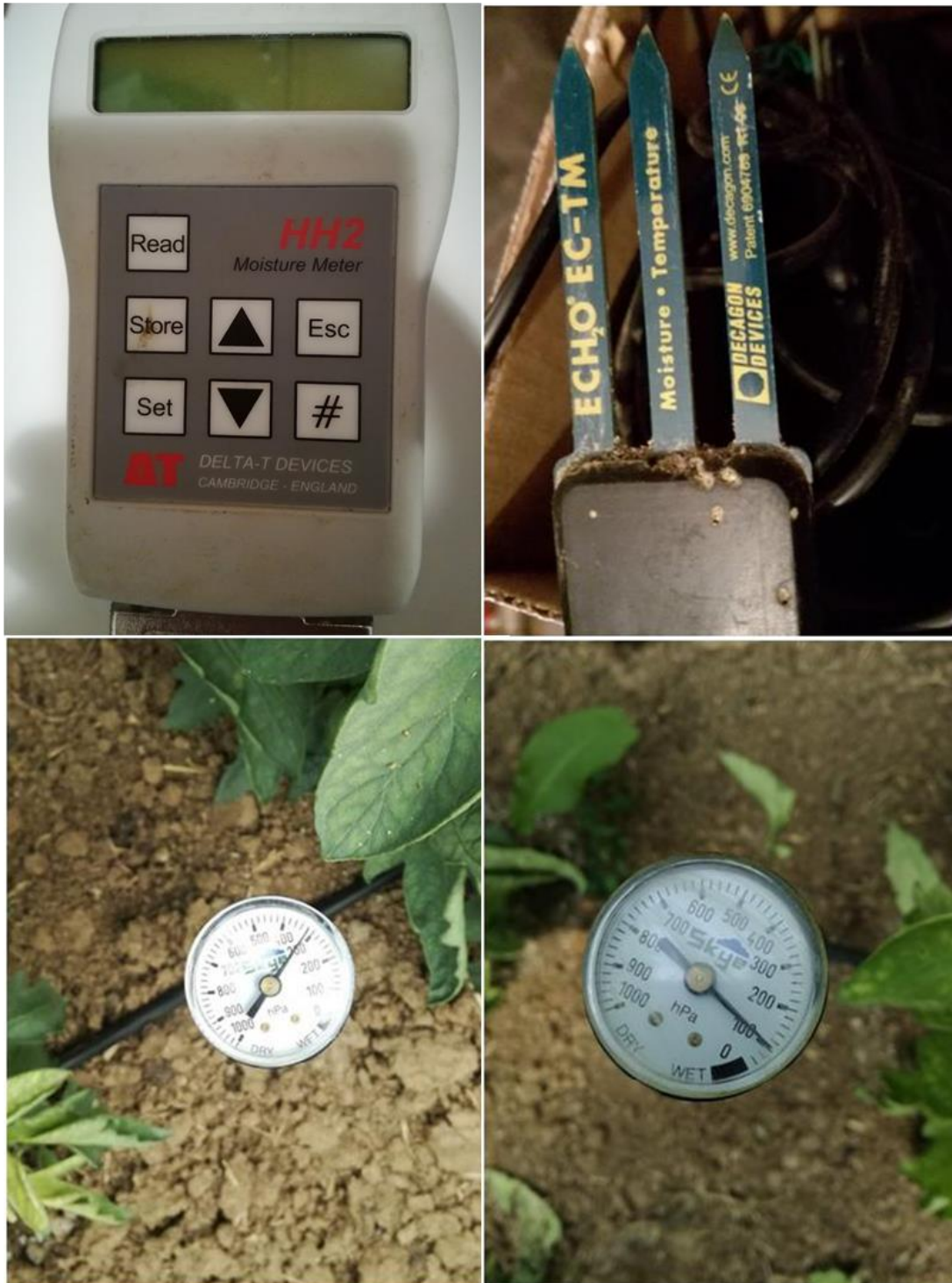
Ως χλωρή λίπανση το καλοκαίρι χρησιμοποιήθηκε το αμπελοφάσουλο και συγκεκριμένα μία τοπική ποικιλία από το Καναλάκι Πρέβεζας κατά το πρώτο έτος (2017) και η ποικιλία Iron Clay (Seed Ranch Company, Odessa, TX, ΗΠΑ) κατά το δεύτερο έτος (2018). Η ποικιλία κουκιών Τανάγρα (Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών, Λάρισα) χρησιμοποιήθηκε για χλωρή λίπανση και συγκαλλιέργεια με τομάτα. Η ποικιλία φασολιού Barbouni anarichomeno (Evotris, Θεσσαλονίκη) και η ποικιλία αμπελοφάσουλου Un Metro Maximina (Γενική Φυτοτεχνική Αθηνών ΑΕΒΕ) χρησιμοποιήθηκαν για συγκομιδή χλωρών λοβών.

2.4 Άρδευση

Η άρδευση στις καλλιέργειες τομάτας έγινε με σταλακτηφόρο σωλήνα με απόσταση μεταξύ των σταλακτών 50 cm. Η άρδευση των αμπελοφάσουλων για χλωρή λίπανση έγινε με καταΐονισμό με μικροεκτοξευτήρες ενώ των αμπελοφάσουλων και φασολιών για συγκομιδή φρέσκου λοβού και των κουκιών για συγκαλλιέργεια ή χλωρή λίπανση έγινε με σταλακτηφόρους σωλήνες με απόσταση μεταξύ των σταλακτών 20 cm.

Ο έλεγχος της άρδευσης έγινε με τη χρήση τασιμέτρων. Η άρδευση ξεκινούσε όταν η ένδειξη ήταν στα -300 hPa και σταματούσε στα -100 hPa. Η

ποσότητα του νερού ανά άρδευση μετρήθηκε με τη χρήση υδρομέτρων. Τέλος, η καταγραφή της διακύμανσης της εδαφικής υγρασίας αλλά και της θερμοκρασίας έγινε με το καταγραφικό EM50 (Meter Group, Inc. Pullman, WA, USA).



Εικόνα 2.2 Πάνω: Καταγραφικό υγρασίας και θερμοκρασίας εδάφους EM50. Κάτω: Έναρξη άρδευσης και λήξη άρδευσης με βάση τις ενδείξεις τασιμέτρου

2.5 Φυτοπροστασία

Η φυτοπροστασία στην βιολογική καλλιέργεια υπόκειται σε σημαντικούς περιορισμούς. Οι δραστικές ουσίες που επιτρέπονται θα πρέπει να είναι φυσικής προέλευσης και να περιλαμβάνονται στο Παράρτημα ΙΙ του Ευρωπαϊκού Κανονισμού 889/2008. Επιπλέον, τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα θα πρέπει να έχουν εγκριθεί από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων για χρήση στη συγκεκριμένη καλλιέργεια. Και όπως είναι εύλογο η επιτυχημένη φυτοπροστασία έχει καθοριστική σημασία για την υλοποίηση των πειραμάτων, ώστε οι δυσμενείς επιδράσεις των επιβλαβών οργανισμών να είναι στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο και να μην έχουν σημαντική επίπτωση στην ανάπτυξη των φυτών, στην παραγωγή βιομάζας και στη μετρήσιμη συγκομιδή.

Το σημαντικότερο πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί στην αρχή των πειραμάτων ήταν η προσβολή των ριζών της τομάτας από τους κομβονηματώδεις *Meloidogyne sp.* Παρόλο που το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν ακαλλιέργητο για τα τελευταία 13 χρόνια και τα κυρίαρχα αυτοφυή ήταν αγρωστώδη, οι νηματώδεις δημιούργησαν πρόβλημα στην πρώτη καλλιεργητική περίοδο τομάτας. Ένα καλοκαιρινό «παράθυρο» ανάπτυξης, κατά τα προηγούμενα χρόνια, της περικοκλάδας *Convolvulus arvensis* L. που είναι ξενιστής των νηματωδών του γένους *Meloidogyne*, διατήρησε τον εχθρό. Η καλλιέργεια της τοπικής ποικιλίας αμπελοφάσουλου αποδείχθηκε ευαίσθητη στους νηματώδεις και σε συνδυασμό με τις θερμοκρασίες εδάφους που υπερέβησαν τους 28°C, κατά την μεταφύτευση, οδήγησαν σε σοβαρές προσβολές στην πρώτη καλλιέργεια τομάτας.

Τα μέτρα που λήφθηκαν για την αντιμετώπιση των νηματωδών αφορούσαν, κυρίως, στην επιλογή ανθεκτικού/ανεκτικού πολλαπλασιαστικού υλικού. Το επόμενο καλοκαίρι επιλέχθηκε για χλωρή λίπανση η ποικιλία αμπελοφάσουλου Iron Clay που θεωρείται ανθεκτική (Harrison et al., 2006). Τα υβρίδια τομάτας εμβολιάστηκαν στο υποκείμενο Maxifort F1 (*Solanum lycopersicum* × *Solanum habrochaites*) που παρέχει ουσιαστική προστασία έναντι κομβονηματωδών (Louws et al., 2010). Επιπλέον, έγιναν εφαρμογές στο έδαφος των μικροοργανισμών *Bacillus firmus* και *Purpureocillium lilacinus* strain 251 που παρέχουν πρόσθετη προστασία (Dahlin et al., 2019; Giné and Sorribas, 2017). Τέλος, το δεύτερο καλοκαίρι στην 3^η Πειραματική Ενότητα εφαρμόστηκε

η μέθοδος της ηλιοαπολύμανσης. Το έδαφος, μετά από καλό φρεζάρισμα και πολύ καλό πότισμα με καταϊονιστήρες μέχρι τον κορεσμό του, καλύφθηκε για 2,5 μήνες με το ειδικό πλαστικό Orgasun® (Πλαστικά Κρήτης).

Πολύ σημαντικός εχθρός της τομάτας την τελευταία δεκαετία είναι το λεπιδόπτερο *Tuta absoluta* (Meyrick). Για να αντιμετωπιστεί καλύφθηκαν όλα τα ανοίγματα εξαερισμού με εντομοστεγές δίχτυ (8x10) και κατασκευάστηκε προθάλαμος εισόδου στο θερμοκήπιο από το ίδιο υλικό. Λίγες ημέρες πριν από την εγκατάσταση της τομάτας τοποθετήθηκαν εξατμιστήρες φερομόνης σε αναλογία 100 τεμάχια/στρ. με στόχο την παρεμπόδιση της σύζευξης (μέθοδος Isonet®T, Anthesis), και κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου γινόταν ενίσχυση με άλλα 80 τεμάχια/στρ. Από την αρχή επίσης τοποθετήθηκαν μαύρες κολλητικές παγίδες, φωτεινές παγίδες, όπως και παγίδες φερομόνης για την παρακολούθηση του πληθυσμού και τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της μεθόδου ISONET®T. Μετά την εγκατάσταση της τομάτας και με την εκκόλαψη των αυγών του εντόμου έγινε ένας ψεκασμός κάλυψης με Laser 480 SC (δραστική ουσία spinosad, Dow Agrosiences Export SAS). Στη συνέχεια εφαρμόστηκε μηχανική καταστροφή των προνυμφών με το χέρι και ψεκασμοί με βάκιλλο Θουριγγίας (Bactospeine, Χελλαφάρμ Α.Ε.). Στην πρώτη καλλιεργητική περίοδο έγινε εξαπόλυση του παρασιτοειδούς *Trichogramma achaea* (Tricholine, Anthesis) και του αρπακτικού *Macrolophus pygmaeus* (Macroline, Anthesis). Τέλος, στις φθινοπωρινές περιόδους που η πίεση προσβολής από τον εχθρό ήταν μεγαλύτερη, εισερχόταν στο θερμοκήπιο και δραστηριοποιούνταν φυσικός πληθυσμός του πολυφάγου αρπακτικού *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) συμβάλλοντας στον έλεγχο του εντόμου. Ο συνδυασμός των παραπάνω μέτρων κράτησε το πληθυσμό του *Tuta absoluta* σε εξαιρετικά χαμηλό επίπεδο σε σχέση με τις συμβατικές καλλιέργειες τομάτας στην περιοχή. Όλα τα παραπάνω μέτρα, εκτός από τις φερομόνες, είχαν δράση και στα μεγαλύτερα λεπιδόπτερα *Heliothis sp*, *Spodoptera sp*. καθώς και σε άλλους εχθρούς. Σε όλη τη διάρκεια των πειραμάτων παρατηρήθηκε μεγάλος αριθμός ζωικών οργανισμών που είναι αρπακτικά ή παρασιτοειδή των εχθρών της τομάτας.

Το άκαρι *Aculops lycopersici* (Masse) που αποτελεί ένα αναδυόμενο πρόβλημα για τη καλλιέργεια της τομάτας στην περιοχή, εμφανίστηκε και στο

πείραμα κυρίως στις φθινοπωρινές περιόδους. Αντιμετωπίστηκε με ψεκασμούς κάλυψης με βρέξιμο θείο και εξαπολύσεις του αρπακτικού ακάρεως *Amblyseius andersoni* (Anderline, Anthesis). Οι ψεκασμοί με θείο αντιμετώπισαν και μυκητολογικές ασθένειες την ίδια εποχή, όπως το ωίδιο.

Σχετικά με τις μυκητολογικές προσβολές, τα πιο σοβαρά προβλήματα στην περιοχή δημιουργεί ο βοτρυτής (*Botrytis cinerea* Pers.) λόγω της υψηλής σχετικής ατμοσφαιρικής υγρασίας που επικρατεί συνήθως. Για την αντιμετώπιση του, γινόταν προληπτικοί ψεκασμοί κάλυψης με laminarin, *Bacillus subtilis*-strain QST 713 (Serenade®Max, Bayer), *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* strain D747 (Amylo-X®, K&N Ευθυμιάδης). Επιπλέον, οι προσβολές που εντοπιζόταν απομακρυνόταν άμεσα από το χώρο του θερμοκηπίου. Για την προληπτική αντιμετώπιση του περονόσπορου και άλλων μυκητολογικών και βακτηριολογικών ασθενειών πραγματοποιήθηκαν ψεκασμοί με χαλκούχα σκευάσματα στη μορφή του υδροξειδίου και του τριβασικού θειικού χαλκού.

Για τις μυκητολογικές ασθένειες εδάφους πέραν της χρήσης του ανθεκτικού υποκειμένου Maxifort F1, έγιναν εφαρμογές μέσω του νερού άρδευσης με το *Trichoderma asperellum* T25 (formerly *T. harzianum*) strains ICC012, T25 και TV1 (Tusal®, K&N Ευθυμιάδης).



Εικόνα 2.3 Πάνω αριστερά: *Macrolophus pygmaeus* (Anthesis), δεξιά: *Nesidiocoris tenuis* (φυσικός πληθυσμός). Κάτω αριστερά: φωτεινή και βιολογική παγίδα (Araneae), δεξιά: *Mantis* spp. σε αναμονή.

2.6 Εκτίμηση απόδοσης της τομάτας

Το πειραματικό τεμάχιο είχε πλάτος 3,75 m και μήκος 5 m, επομένως το εμβαδόν του ήταν 18,75 m². Οι τομάτες είχαν φυτευτεί σε 4 γραμμές και με απόσταση 0,5 m επί της γραμμής, ο συνολικός αριθμός φυτών στο τεμάχιο ήταν 40. Όλα τα φυτά των 2 εξωτερικών γραμμών του τεμαχίου, καθώς και 10 εξωτερικά φυτά των 2 κεντρικών γραμμών θεωρήθηκαν ζώνη ασφαλείας (border) και δεν πραγματοποιήθηκαν σε αυτά δειγματοληψίες ή άλλες μετρήσεις.

Η επίδραση των πειραματικών μεταχειρίσεων στην απόδοση των καλλιεργειών τομάτας εκτιμήθηκε με τη συγκομιδή 7 ταξικαρπιών, από τα 10 εσωτερικά φυτά των 2 κεντρικών γραμμών, με συχνότητα 2 ή 3 φορές την εβδομάδα, ανάλογα με το ρυθμό ωρίμανσης. Για κάθε τεμάχιο καταγραφόταν ο αριθμός των καρπών και το συνολικό βάρος τους.

2.7 Δειγματοληψία και προσδιορισμός θρεπτικών στοιχείων σε φυτικούς ιστούς

Για να εκτιμηθούν οι ποσότητες των θρεπτικών ουσιών που απομακρύνθηκαν με τη συγκομιδή των καρπών τομάτας, συλλέχθηκαν 4 ώριμοι καρποί από τη 2^η ταξικαρπία 4 φυτών, από το κεντρικό παραλληλόγραμμο (2x2,5m) κάθε πειραματικού τεμαχίου. Οι καρποί τεμαχίστηκαν και ξηράνθηκαν σε φούρνο στους 65°C μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος τους. Έπειτα, κονιοποιήθηκαν με τη χρήση μύλου σφαιριδίων, κοσκινίστηκαν (0,5 mm), ομογενοποιήθηκαν και αναλύθηκαν χημικά για το ολικό N, P και K.

Για να προσδιοριστεί η θρεπτική κατάσταση των φυτών, συλλέχθηκε το νεότερο, πλήρως αναπτυγμένο φύλλο από 5 φυτά από το κεντρικό παραλληλόγραμμο (2x2,5m) κάθε πειραματικού τεμαχίου. Τα φύλλα πλύθηκαν με αποσταγμένο νερό, τεμαχίστηκαν και ξηράνθηκαν σε κλίβανο στους 65°C έως ότου έφθασαν σε σταθερό βάρος, κονιοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας μύλο με σφαιρίδια και κοσκινίστηκαν (0,5 mm).

Στα δείγματα φυτικών ιστών προσδιορίστηκαν ο ολικός C και το ολικό N με καύση σε υψηλή θερμοκρασία χρησιμοποιώντας έναν στοιχειακό αναλυτή (Unicube, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany). Οι συνολικές συγκεντρώσεις P στους ιστούς των φυτών προσδιορίστηκαν με αποτέφρωση στους 550 °C για 8 ώρες, διάλυση των διαλυτών αλάτων σε 4M HCl και ποσοτικοποίηση του P στα εκχυλίσματα με χρήση φασματοφωτομέτρου (U-2000, Hitachi, Tokyo, Japan) ακολουθώντας τη μέθοδο του κυανού του μολυβδαινίου (Olsen et al., 1982). Το K προσδιορίστηκε στο ίδιο υδατικό εκχύλισμα χρησιμοποιώντας φλογοφωτόμερο (Sherwood Model 410, Cambridge, UK).

2.8 Εκτίμηση βιομάζας και προσδιορισμός συμβιωτικής αζωτοδέσμευσης στα ψυχανθή

Για να εκτιμηθεί η βιομάζα και η συμβιωτική αζωτοδέσμευση στα ψυχανθή, είτε αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως χλωρή λίπανση (αμπελοφάσουλα, κουκιά), είτε σε συγκαλλιέργεια με τομάτα (κουκιά), είτε τέλος ως καλλιέργεια συγκομιδής χλωρών λοβών (αμπελοφάσουλα, φασολάκια), συλλέχθηκε όλη η βιομάζα τους από 1m² (1x1m) από το κέντρο κάθε πειραματικού τεμαχίου. Το δείγμα ζυγίστηκε νωπό, τεμαχίστηκε και ομογενοποιήθηκε και ένα υποδείγμα ξηράνθηκε στους 65°C μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος του και αναλύθηκε, όπως περιγράφηκε παραπάνω.

Από όλα τα πειραματικά τεμάχια με ψυχανθή, συλλέχθηκαν δείγματα ρίζας μαζί με έδαφος χρησιμοποιώντας ένα μεταλλικό δειγματολήπτη. Όλα τα δείγματα τοποθετήθηκαν για 24 ώρες σε ένα διάλυμα Calgon (παράγοντας διασποράς) που παρασκευάστηκε προσθέτοντας 40 g (NaPO₃)₆ και 10 g Na₂CO₃ ανά 1000 mL νερού. Στη συνέχεια, οι ρίζες πλύθηκαν προσεκτικά πάνω σε κόσκινο και μετρήθηκε ο αριθμός των φυματίων με την απόσπασή τους από τις ρίζες. Στη συνέχεια τα φυμάτια ξηράνθηκαν στους 65°C μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος τους, ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας και υπολογίστηκε το βάρος τους ανά ρίζα φυτού.

Το N που προήλθε από την ατμόσφαιρα προσδιορίστηκε στα υποδείγματα ψυχανθών εφαρμόζοντας τη μέθοδο που βασίζεται στη φυσική αφθονία του ισότοπου ¹⁵N στους φυτικούς ιστούς σε σχέση με τον αέρα (Ntatsi et al., 2019, 2018; Unkovich et al., 2008). Για να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος, προσδιορίστηκε η σταθερή ισοτοπική σύνθεση N των δειγμάτων ιστού ψυχανθών χρησιμοποιώντας ένα φασματόμετρο μάζας ισότοπου συνεχούς ροής Isoprime 100 συζευγμένο με έναν στοιχειακό αναλυτή Vario Isotope Select (Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany). Οι δ-τιμές βαθμονομήθηκαν σε σχέση με τον αέρα μέσω βαθμονόμησης 3 σημείων χρησιμοποιώντας τα πρότυπα υλικά αναφοράς IAEA-N1, IAEA-600 και IAEA-N2. Η αβεβαιότητα της μέτρησης παρακολουθήθηκε με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις εσωτερικών εργαστηριακών προτύπων και πρότυπων υλικών αναφοράς. Η ακρίβεια (precision) προσδιορίστηκε ότι είναι ± 0.19 ‰ με βάση

επαναλαμβανόμενες μετρήσεις των προτύπων βαθμονόμησης και εσωτερικών εργαστηριακών προτύπων. Η ορθότητα (accuracy) προσδιορίστηκε ότι είναι ± 0.19 ‰ με βάση τη διαφορά μεταξύ των παρατηρούμενων και γνωστών δ-τιμών των προτύπων ελέγχου και των τυπικών αποκλίσεων τους. Η συνολική αναλυτική αβεβαιότητα εκτιμάται ότι είναι $\pm 0,27$ ‰ για τις τιμές $\delta^{15}\text{N}$. Οι τιμές $\delta^{15}\text{N}$ υπολογίστηκαν ως ποσοστό επί τις χιλιάδες (‰) σε σχέση με το ονομαστικό διεθνές πρότυπο ατμοσφαιρικού N_2 (0,3663‰), χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση (Bedard-Haughn et al., 2003):

$$\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \left(\frac{\text{atom}\%^{15}\text{N}_{\text{δείγματος}} - 0,3663}{0,3663} \right) * 1000 \quad 1)$$

Ακολούθως, η αναλογία N που προέρχεται από την ατμόσφαιρα (% Ndfa) εκτιμήθηκε συγκρίνοντας το $\delta^{15}\text{N}$ (‰) του αζωτοδεσμευτικού ψυχανθούς με ένα μη αζωτοδεσμευτικό φυτό αναφοράς που αναπτύχθηκε στο ίδιο έδαφος, όπως υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2), που προτείνεται από τους Unkovich et al. (2008):

$$\% \text{Ndfa} = \left(\frac{\delta^{15}\text{N}_{\text{φυτού αναφοράς}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{ψυχανθούς}}}{\delta^{15}\text{N}_{\text{φυτού αναφοράς}} - B} \right) * 100 \quad 2)$$

όπου το "B" είναι το $\delta^{15}\text{N}$ σε βλαστούς ψυχανθών που καλλιεργούνται σε ένα αδρανές μέσο και στερούνται N κατά τη διάρκεια της ζωής τους, με αποτέλεσμα να εξαρτώνται πλήρως από την βιολογική αζωτοδέσμευση. Οι τιμές B που χρησιμοποιήθηκαν στην τρέχουσα μελέτη ήταν -0,50 για τα κουκιά, -1,61 για το αμπελοφάσουλο και -2,16 για τα φασολάκια, όπως προτείνεται από τους Unkovich et al. (2008). Το φυτό αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη για τον προσδιορισμό των αντίστοιχων τιμών $\delta^{15}\text{N}$ ήταν το αγρωστώδες *Digitaria sanguinalis* (L.).

Οι συνολικές ποσότητες βιολογικής δέσμευσης N_2 από τα ψυχανθή ανά μονάδα καλλιεργούμενης έκτασης (BNF, kg/στρ.) εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση (Collino et al., 2015):

$$\text{BNF} = \frac{\text{DB} * \text{Nt} * \% \text{Ndfa}}{100} \quad 3)$$

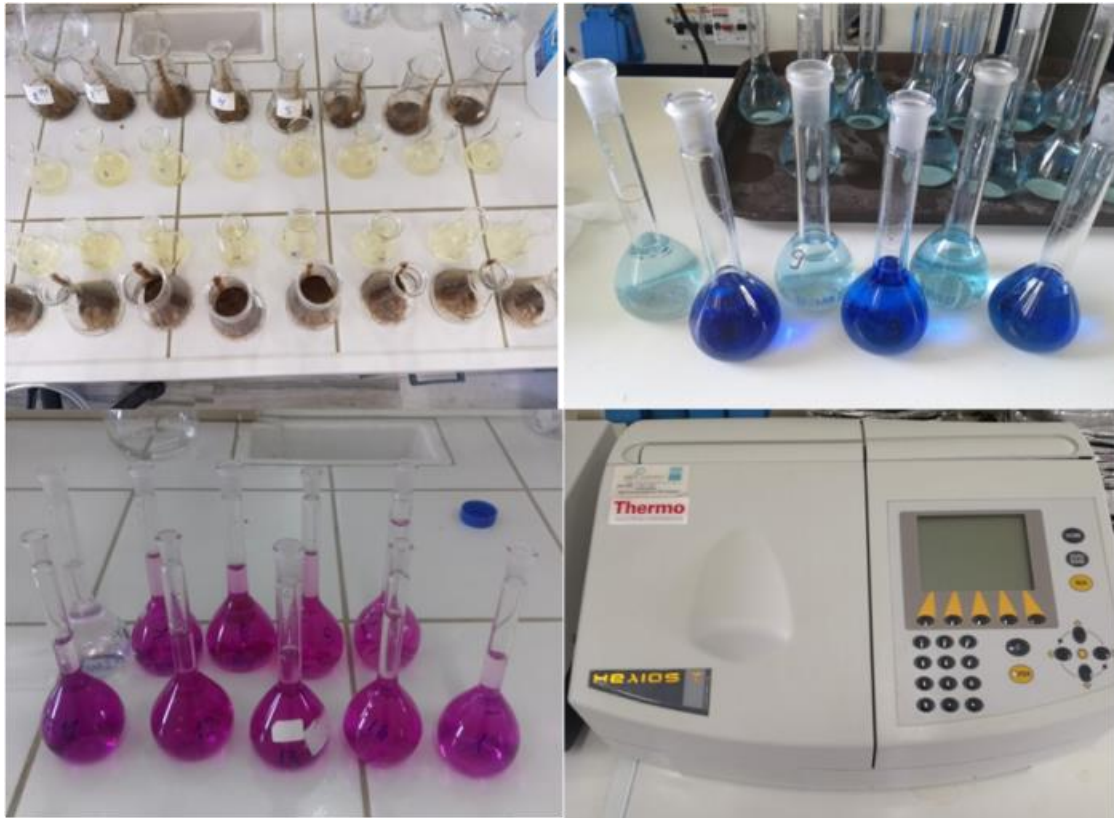
όπου DB είναι η ολική ξηρή βιομάζα της βλάστησης, Nt είναι η συνολική συγκέντρωση N (% β/β) στην ξηρή βιομάζα, ενώ η τιμή %Ndfa λαμβάνεται από την εξίσωση (2).

2.9 Δειγματοληψία εδάφους - Προσδιορισμός θρεπτικών στοιχείων N, P, K

Δείγματα εδάφους συλλεγόταν από το κεντρικό παραλληλόγραμμο (2x2,5 m) κάθε πειραματικού τεμαχίου. Από κάθε τεμάχιο λαμβάνονταν 5 δείγματα βάρους περίπου 400 γραμμαρίων από τη ριζόσφαιρα 5 φυτών και σε βάθος 0-20 cm. Τα δείγματα ξηραίνονταν σε φούρνο στους 40 °C μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος τους. Στη συνέχεια τα δείγματα υποβαλλόταν σε ήπια λειοτρίβηση, κοσκίνισμα (με κόσκινο οπών 2 mm), ομογενοποίηση και ανάλυση για να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις του οργανικού άνθρακα (C), του ολικού N, του NO₃-N, του NH₄-N και του διαθέσιμου P και K.

Ο οργανικός C και το ολικό N στα δείγματα εδάφους προσδιορίστηκαν με καύση σε υψηλή θερμοκρασία, χρησιμοποιώντας έναν στοιχειακό αναλυτή (Unicube, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany). Δεδομένου ότι το pH του εδάφους ήταν 7,5 εξαιτίας της παρουσίας ανθρακικών αλάτων, προσδιορίστηκε ο οργανικός C σε υπο-δείγματα εδάφους που είχαν υποβληθεί σε προκατεργασία με HCl για την απομάκρυνση του ανόργανου C πριν από την στοιχειακή ανάλυση.

Για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση του ανόργανου N (δηλ. NO₃-N + NH₄-N) στο έδαφος, κάθε δείγμα κοσκινισμένου εδάφους εκχυλίστηκε χρησιμοποιώντας διάλυμα KCl, όπως περιγράφεται από τους Keeney και Nelson (1983). Ακολούθως, οι συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων στα εκχυλίσματα προσδιορίστηκαν, εφαρμόζοντας τη μέθοδο αναγωγής τους μέσω του καδμίου σε νιτρώδη και ενώ των αμμωνιακών με τη μέθοδο της ινδοφαινόλης (indophenol blue method), αντίστοιχα (Keeney and Nelson, 1983), χρησιμοποιώντας φασματοφωτόμετρο Spectronic Helios (Thermo Electron Corporation, Mercers Row, Cambridge CB5 8HY, UK). Ο διαθέσιμος στο φυτό P προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των Olsen et al. (1954) και ποσοτικοποιήθηκε με χρωματομετρία μολυβδαινίου των Murphy και Riley (1962). Το ανταλλάξιμο εδαφικό K προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας φλογοφωτόμετρο (Sherwood Model 420, Sherwood Scientific, Cambridge, UK) μετά από εκχύλιση με διάλυμα οξικού αμμωνίου.



Εικόνα 2.4 Εκχύλιση εδαφικών διαλυμάτων, χρώσεις και μετρήσεις NH_4 και NO_3 στο φασματοφωτόμετρο (Εργαστήριο Εδαφολογίας - Τμήμα Γεωπονίας Πανεπιστημίου Ιωαννίνων - Κωστακιοί Άρτας)

2.10 Στατιστική ανάλυση

Σε όλα τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε το πειραματικό σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων με 4 επαναλήψεις - πειραματικά . Τα δεδομένα αναλύθηκαν στατιστικά με την εφαρμογή ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) χρησιμοποιώντας το πακέτο λογισμικού STATISTICA, έκδοση 12.0 για Windows (StatSoft Inc.2010, Tulsa, OK, USA). Πραγματοποιήθηκε έλεγχος πολλαπλών συγκρίσεων Duncan, όταν η ANOVA ήταν σημαντική σε επίπεδο $P < 0.05$. Τα δεδομένα παρουσιάζονται σε γραφήματα ως μέσοι \pm τυπικά σφάλματα των τεσσάρων επαναλήψεων ή σε πίνακες.

3. Τα ψυχανθή ως χλωρή λίπανση και ως συγκαλλιέργεια με τομάτα, εμβολιασμένα ή μη με ριζόβια ή άλλα ωφέλιμα ριζοβακτήρια (PGPR), σε συνδυασμό με ζωική κοπριά (1^η Πειραματική Ενότητα)

3.1 Δομή και στόχοι 1^{ης} Πειραματικής Ενότητας

Σε μία σειρά τριών πειραμάτων (εφεξής αναφερόμενα ως Π1, Π2 και Π3) μελετήθηκε η αποτελεσματικότητα της χρήσης των ψυχανθών ως χλωρή λίπανση ή ως συγκαλλιέργεια με τομάτα, σε συνδυασμό με ζωική κοπριά, ως προς τη συνεισφορά τους στη λίπανση και κυρίως στην αζωτούχο θρέψη και απόδοση της καλλιέργειας τομάτας. Επίσης, ερευνήθηκε η αναγκαιότητα εμβολιασμού των ψυχανθών με ριζόβια, αλλά και η επίδραση ριζοβακτηρίων που πιθανώς προάγουν την ανάπτυξη φυτών (PGPR), στη βιομάζα και στη βιολογική αζωτοδέσμευση των ψυχανθών.

Στο Π1 και στο Π3 δοκιμάστηκε το αμπελοφάσουλο ως χλωρή λίπανση, ενώ στο Π2 το κουκί σε συγκαλλιέργεια με τομάτα, εμβολιασμένα ή όχι με ριζόβια ή και με PGPR. Αξιολογήθηκε η συνεισφορά των ψυχανθών (i) στο ολικό N του εδάφους, (ii) στο ανόργανο εδαφικό N, (iii) στην αζωτούχο θρέψη των φυτών της τομάτας και (iv) στην παραγωγή καρπών της καλλιέργειας τομάτας.

3.2 Υλικά και μέθοδοι

Τα τρία πειράματα διεξήχθησαν διαδοχικά στην ίδια μονάδα του θερμοκηπίου και με το ίδιο πειραματικό σχέδιο. Το Π1 πραγματοποιήθηκε από τον Μάιο του 2017 έως τον Ιανουάριο του 2018, το Π2 από τον Φεβρουάριο του 2018 έως τον Ιούνιο του 2018 και, τέλος, το Π3 από τον Ιούνιο του 2018 έως τον Ιανουάριο του 2019. Οι ακριβείς ημερομηνίες για κάθε πείραμα και καλλιέργεια παρέχονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Ημερομηνίες εγκατάστασης καλλιέργειας, έναρξης συγκομιδής και τερματισμού των καλλιεργειών ψυχανθών και τομάτας σε κάθε πείραμα.

	Πείραμα 1	Πείραμα 2	Πείραμα 3
Σπορά ψυχανθών	23 Μαΐου 2017	26 Οκτωβρίου 2017	12 Ιουνίου 2018
Πλήρης άνθηση ψυχανθών	25 Ιουλίου 2017	-	-
Ενσωμάτωση ψυχανθών	30 Ιουλίου 2017	25 Ιανουαρίου 2018	7 Αυγούστου 2018
Φύτευση τομάτας	2 Αυγούστου 2017	8 Φεβρουαρίου 2018	12 Αυγούστου 2018
Έναρξη συγκομιδής	13 Οκτωβρίου 2017	4 Μαΐου 2018	17 Οκτωβρίου 2018
Τερματισμός καλλιέργειας	19 Ιανουαρίου 2018	11 Ιουνίου 2018	20 Ιανουαρίου 2019

Επιπλέον, τον Οκτώβριο του 2017, σπάρθηκαν κουκιά μεταξύ των σειρών τομάτας στο πείραμα Π1, αναπτύχθηκαν μέχρι τον τερματισμό της καλλιέργειας τομάτας και ενσωματώθηκαν στο έδαφος μαζί με τα υπολείμματα τομάτας κατά τον Ιανουάριο του 2018, για να ελεγχθεί εάν η συγκεκριμένη συγκαλλιέργεια θα μπορούσε να ενισχύσει σημαντικά τη διαθεσιμότητα N στην επόμενη καλλιέργεια τομάτας την άνοιξη του 2018 (Π2). Όλες οι μεταχειρίσεις εφαρμόστηκαν στα ίδια τεμάχια και στα τρία διαδοχικά πειράματα και παρατίθενται στον Πίνακα 3.2.

Στο Π1 η ζωική κοπριά (ZK) που προήλθε από εκτροφή βοοειδών κρεοπαραγωγής ελεύθερης εκτροφής εφαρμόστηκε στις 30 Ιουλίου 2017, σε ποσότητα 5 t/στρ σε όλες τις μεταχειρίσεις. Η ZK περιείχε 0.34% N, 0.15% P και 0.48% K. Αυτή η ποσότητα ZK ισοδυναμεί με την παροχή 17 kg N/στρ. που είναι η μέγιστη δόση με βάση τον Κανονισμό (ΕΚ) 889/2008 της Επιτροπής. Στη μεταχείριση 1 (ZK) που θεωρήθηκε μάρτυρας, δεν χρησιμοποιήθηκε καμία άλλη πηγή N εκτός από την κοπριά. Στις μεταχειρίσεις 2 (ZK + μη εμβολιασμένα ψυχανθή: Ψ-ME), 3 (ZK + ψυχανθή εμβολιασμένα με ριζόβια: Ψ-P) και 4 (ZK + ψυχανθή εμβολιασμένα με ριζόβια και PGPR: Ψ-P-PGPR) χορηγήθηκε πρόσθετο N συμβιωτικής προέλευσης, μέσω της σποράς αμπελοφάσουλου στις 23 Μαΐου 2017 και την ενσωμάτωσή του στο έδαφος στις 27 Ιουλίου 2017 (δηλαδή 6 ημέρες πριν από τη φύτευση τομάτας που έλαβε χώρα στις 2 Αυγούστου 2017). Στη ZK+Ψ-ME, οι σπόροι του αμπελοφάσουλου δεν εμβολιάστηκαν με ριζόβια. Στη ZK+Ψ-P, οι σπόροι του αμπελοφάσουλου εμβολιάστηκαν με *Bradyrhizobium* sp. VULI11 (BV) [12], ενώ στη ZK+Ψ-P-PGPR, οι σπόροι αμπελοφάσουλου εμβολιάστηκαν με ένα μείγμα BV και ριζοβακτηρίων που πιθανώς προάγουν την ανάπτυξη φυτών (PGPR), και απομονώθηκαν από φυμάτια αμπελοφάσουλου

(*Enterobacter* sp., *Enterobacter* sp. C1.5, *Enterobacter* sp., C3.1. και *Lelliottia* sp. D2.4. Τα στελέχη έχουν χαρακτηριστεί με ανάλυση πολυτοπικής αλληλούχισης (μη δημοσιευμένα δεδομένα). Οι χαρακτηρισμοί των στελεχών "C" και "D" αντιστοιχούν στην Ήπειρο και την Κρήτη, όπου συλλέχθηκαν, ενώ ακολουθεί ένας εργαστηριακός κωδικός αριθμός.

Πίνακας 3.2. Περιγραφή μεταχειρίσεων στα 3 διαδοχικά πειράματα

1^ο και 3^ο πείραμα (Π1 και Π3)		
α/α	Συντομογραφία μεταχείρισης	Περιγραφή μεταχείρισης
1.	ZK	Κοπριά βοοειδών (θεωρείται μάρτυρας)
2.	ZK + Ψ-ME	ZK και ψυχανθή (χλωρή λίπανση αμπελοφάσουλου) μη εμβολιασμένα
3.	ZK + Ψ-P	ZK και ψυχανθή (χλωρή λίπανση αμπελοφάσουλου) εμβολιασμένα με ριζόβια (<i>Bradyrhizobium</i> sp. VULI11)
4.	ZK + Ψ-P-PGPR	ZK και ψυχανθή (χλωρή λίπανση αμπελοφάσουλου) εμβολιασμένα με ριζόβια (<i>Bradyrhizobium</i> sp. VULI11) και PGPR ¹
2^ο πείραμα (Π2)		
α/α	Συντομογραφία μεταχείρισης	Περιγραφή μεταχείρισης
1.	ZK	Κοπριά βοοειδών (θεωρείται μάρτυρας)
2.	ZK + Ψ-ME	ZK και ψυχανθή (συγκαλλιέργεια ² κουκιών) μη εμβολιασμένα
3.	ZK + Ψ-P	ZK και ψυχανθή (συγκαλλιέργεια ² κουκιών) εμβολιασμένα με ριζόβια (<i>Rhizobium</i> sp. VFBL1)
4.	ZK + Ψ-P-PGPR	ZK και ψυχανθή (συγκαλλιέργεια ² κουκιών) εμβολιασμένα με ριζόβια (<i>Rhizobium</i> sp. VFBL1) και PGPR ¹

¹ Μίγμα *Enterobacter* sp. C1.2, *Enterobacter* sp. C1.5, *Enterobacter* sp. C3.1 και *Lelliottia* sp. D2.4.

² Η συγκαλλιέργεια εφαρμόστηκε στην προηγούμενη καλλιέργεια τομάτας (Π1).

Στις μεταχειρίσεις ZK+Ψ-ME, ZK+Ψ-P και ZK+Ψ-P-PGPR, τα κουκιά σπάρθηκαν ως συγκαλλιέργεια μεταξύ των σειρών τομάτας σε πυκνότητα 10,67 φυτά/ m², στις 26 Οκτωβρίου 2017. Τα κουκιά ενσωματώθηκαν στο έδαφος μετά τον τερματισμό του Π1 για να χρησιμεύσουν ως χλωρή λίπανση για την επόμενη καλλιέργεια τομάτας (Π2). Στη μεταχείριση ZK+Ψ-ME, οι σπόροι των κουκιών δεν εμβολιάστηκαν με ριζόβια. Στη μεταχείριση ZK+Ψ-P, οι σπόροι των κουκιών εμβολιάστηκαν με *Rhizobium* sp. symbionar (sv.) *viciae* VFBL1, που απομονώθηκε από φυμάτια καλλιεργούμενων κουκιών, ενώ στην μεταχείριση ZK+Ψ-P-PGPR οι σπόροι των κουκιών εμβολιάστηκαν με ένα μίγμα VFBL1 και

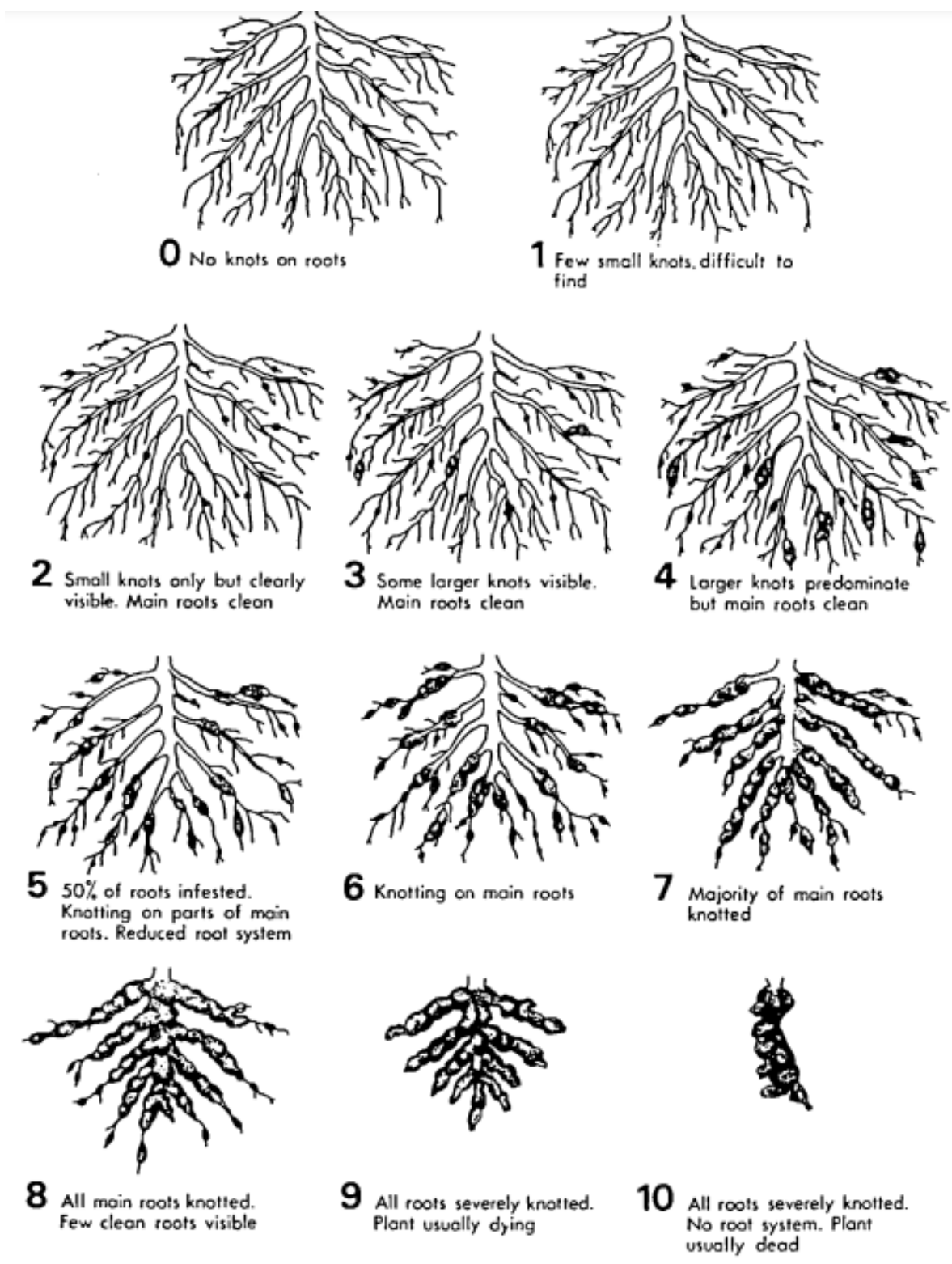
PGPR (*Enterobacter* sp., OI. .2, *Enterobacter* sp. C1.5, *Enterobacter* sp. C3.1 και *Lelliottia* sp. D2.4). Μετά τον τερματισμό της καλλιέργειας τομάτας στις 25 Ιανουαρίου 2018, ολόκληρα τα φυτά κουκιών και τα υπέργεια τμήματα των υπολειμμάτων τομάτας ενσωματώθηκαν στο έδαφος. Οι ρίζες της τομάτας αφαιρέθηκαν και απομακρύνθηκαν από το θερμοκήπιο επειδή είχαν σοβαρή προσβολή από κομβονηματώδη (*Meloidogyne* sp.) κατά τη διάρκεια του Π1. Στη συνέχεια, στις 29 Ιανουαρίου 2018, εφαρμόστηκε ΖΚ και στις 4 μεταχειρίσεις σε ποσότητα 5 t/στρ. Τέλος, στις 8 Φεβρουαρίου 2018, μεταφυτεύτηκαν νέα φυτάρια τομάτας για την εγκατάσταση μιας ανοιξιιάτικης-καλοκαιρινής καλλιέργειας τομάτας (Π2). Η καλλιέργεια αυτή ολοκληρώθηκε στις 11 Ιουνίου 2018 και τα υπολείμματα ενσωματώθηκαν πάλι στο έδαφος, συμπεριλαμβανομένων των ριζών, επειδή η προσβολή από νηματώδεις ήταν σε πολύ χαμηλό επίπεδο κατά τη διάρκεια του Π2.

Στις 12 Ιουνίου 2018, σπάρθηκε και πάλι αμπελοφάσουλο στα τεμάχια ΖΚ+Ψ-ME, ΖΚ+Ψ-P και ΖΚ+Ψ-P-PGPR, ως χλωρή λίπανση για την επόμενη καλλιέργεια τομάτας (Π3). Ομοίως με το Π1, οι σπόροι αμπελοφάσουλου στο Π3 είτε δεν εμβολιάστηκαν με οποιαδήποτε ριζόβια (ΖΚ+Ψ-ME), είτε εμβολιάστηκαν με *Bradyrhizobium* sp. VULI11 μόνο (ΖΚ+Ψ-P), ή εμβολιάστηκαν με το *Bradyrhizobium* sp. VULI11 και τα ίδια βακτήρια PGPR (ΖΚ+Ψ-P-PGPR). Στο Π3 χρησιμοποιήθηκε η εμπορική ποικιλία αμπελοφάσουλου Iron Clay, η οποία θεωρείται ανθεκτική στους νηματώδεις (Harrison et al., 2006). Τα φυτά αμπελοφάσουλου ενσωματώθηκαν στο έδαφος στις 7 Αυγούστου 2018 (δηλαδή, 56 ημέρες μετά τη σπορά). Στις 10 Αυγούστου 2018, εφαρμόστηκε κοπριά σε όλες τις μεταχειρίσεις με δόση 5 t/στρ. Τέλος, στις 12 Αυγούστου 2018, μεταφυτεύτηκαν τα φυτάρια τομάτας για την εγκατάσταση του Π3. Η συγκομιδή εμπορικά ώριμων καρπών τομάτας ξεκίνησε στις 17 Οκτωβρίου 2018 και η καλλιέργεια τερματίστηκε στις 20 Ιανουαρίου 2019.

Στο Π1 χρησιμοποιήθηκαν αυτόρριζα φυτάρια του εμπορικού υβριδίου τομάτας 'Elpida F1' για να εγκατασταθεί το πείραμα. Ωστόσο, επειδή κατά τη διάρκεια του Π1 υπήρξε σοβαρή προσβολή της ρίζας από κομβονηματώδη, στο Π2 καλλιεργήθηκε το εμπορικό υβρίδιο τομάτας 'Ekstasis F1' εμβολιασμένο στο εμπορικό υποκείμενο 'Maxifort F1' και στο E3 το υβρίδιο 'Elpida F1' εμβολιάστηκε, επίσης, στο 'Maxifort F1'. Η πυκνότητα των φυτών ήταν 2,13

φυτά/m² και στα τρία πειράματα. Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου των Π1 και Π3, δεν προστέθηκαν άλλα λιπάσματα στα φυτά σε καμία από τις μεταχειρίσεις. Εντούτοις, στην Π2, λόγω της εμφάνισης συμπτωμάτων έλλειψης N, 7 εβδομάδες μετά τη φύτευση, εφαρμόστηκε πρόσθετη λίπανση μέσω του συστήματος άρδευσης στάγδην σε όλες τις μεταχειρίσεις σε 4 δόσεις. Συγκεκριμένα στις 25 και 29 Απριλίου και στις 2 και 6 Μαΐου, προστέθηκε οργανικό λίπασμα με βάση τα αμινοξέα, που περιέχει 14% N με συνολική δόση εφαρμογής 16 g m⁻² (δηλαδή 2,24 kg N/στρ) σε όλα τα τεμάχια.

Στο τέλος του 1^{ου} πειράματος και κατά την εκρίζωση των φυτών τομάτας εκτιμήθηκε η ένταση της προσβολής από τους κομβονηματώδεις στις ρίζες 5 φυτών του κέντρου του κάθε πειραματικού τεμαχίου. Για το σκοπό υπολογίστηκε ο δείκτης κομβολογιάσματος των ριζών της τομάτας στην κλίμακα 1-10 (1 = χωρίς μόλυνση - 10 = πλήρως μολυσμένο) των Bridge και Page (1980), όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1 Κλίμακα αξιολόγησης έντασης προσβολής των ριζών από κομβοηματώδεις (Bridge and Page, 1980)

3.3 Αποτελέσματα

3.3.1 Συμβιωτική αζωτοδέσμευση και υπέργεια βιομάζα ψυχανθών

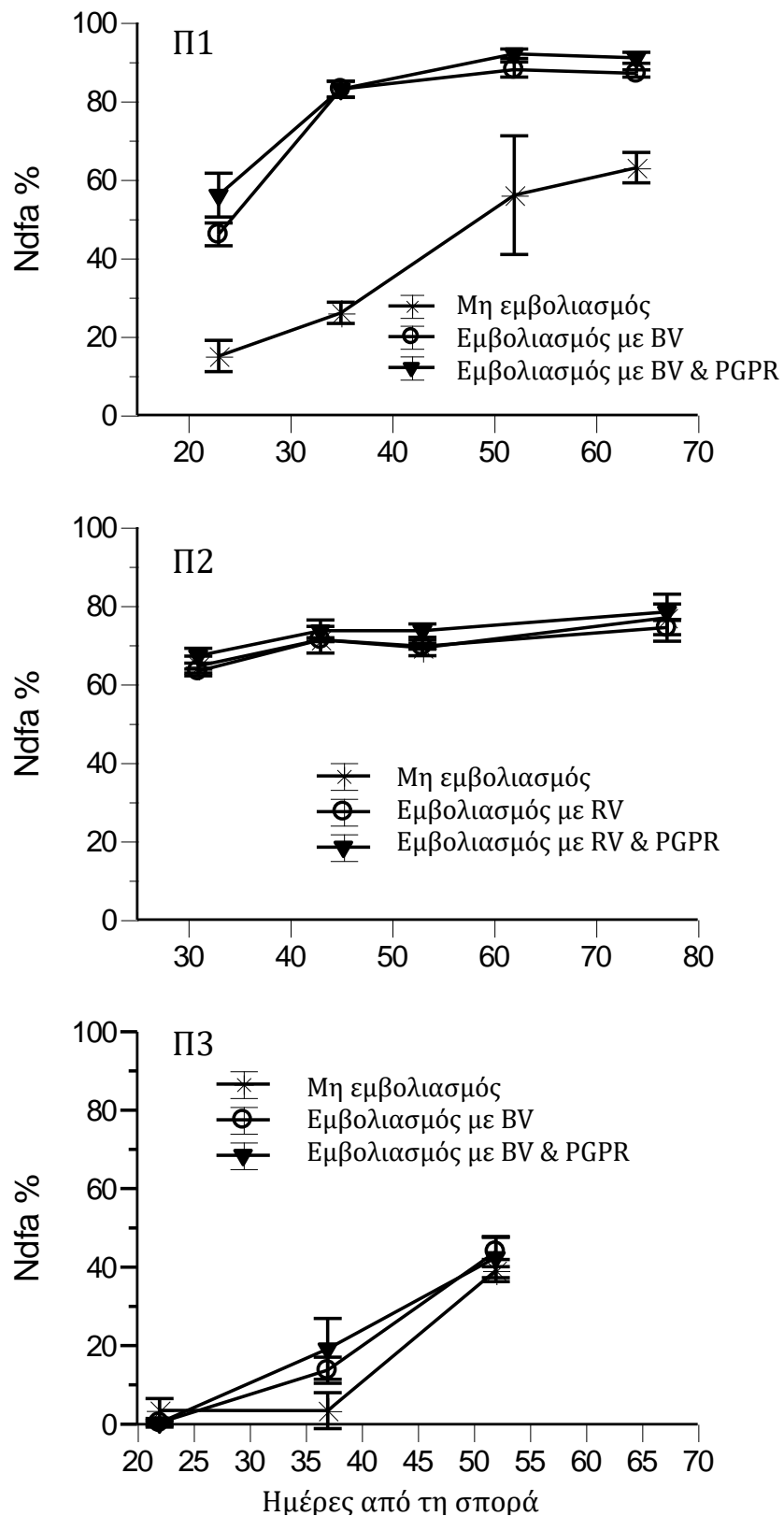
Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται η εξέλιξη του ποσοστού N που προέρχεται από την ατμόσφαιρα μέσω συμβιωτικής δέσμευσης N (%Ndfa) κατά την καλλιέργεια των αμπελοφάσουλων που χρησιμοποιήθηκαν ως χλωρή λίπανση (Π1 και Π3) και των κουκιών που συγκαλλιεργήθηκαν με την τομάτα (Π2). Τα δεδομένα δείχνουν καθαρά ότι το αμπελοφάσουλο που εμβολιάστηκε με *Bradyrhizobium* sp. VULI11 ήταν ικανό να δεσμεύσει βιολογικά, σημαντικά περισσότερο N₂ από τα μη εμβολιασμένα φυτά στο Π1, ενώ ο εμβολιασμός με PGPR μαζί με *Bradyrhizobium* δεν είχε επιπρόσθετο αντίκτυπο στο %Ndfa. Ωστόσο, σε αντίθεση με το Π1, στο Π3 ο εμβολιασμός του αμπελοφάσουλου με *Bradyrhizobium* sp. VULI11 αύξησε το %Ndfa μόνο σε μία ημερομηνία δειγματοληψίας (37 ημέρες μετά τη σπορά). Ο εμβολιασμός των κουκιών με *Rhizobium* sp. VFBL1 σε Π2 δεν είχε καμία επίδραση στο %Ndfa στους ιστούς των κουκιών (Σχήμα 1B). Ο συνδυασμένος εμβολιασμός των κουκιών με VFBL1 και PGPR αύξησε ελαφρώς το %Ndfa, αλλά η διαφορά σε σχέση με τα μη εμβολιασμένα φυτά ήταν σημαντική μόνο για μία ημερομηνία δειγματοληψίας (54 ημέρες μετά την φύτευση).

Ο εμβολιασμός των σπόρων αμπελοφάσουλου με *Bradyrhizobium* sp. VULI11 (BV) στην Π1 αύξησε αισθητά την υπέργεια νωπή και ξηρή βιομάζα των φυτών αμπελοφάσουλου που χρησιμοποιήθηκαν ως χλωρή λίπανση, ενώ η προσθήκη των PGPR (*Enterobacter* sp. C1.2, *Enterobacter* sp., C1.5, *Enterobacter* sp. *Lelliottia* sp. D2.4) δεν παρείχε επιπλέον πλεονεκτήματα στην παραγωγή φυτικής βιομάζας (Πίνακας 3.3). Επιπλέον, ο εμβολιασμός του αμπελοφάσουλου μόνο με *Bradyrhizobium* sp. VULI11 (BV) αύξησε σημαντικά τη συνολική συγκέντρωση N στους βλαστούς του αμπελοφάσουλου. Ως αποτέλεσμα, η συνολική ποσότητα N ανά μονάδα καλλιεργούμενης έκτασης, καθώς και η καθαρή ποσότητα N που δεσμεύθηκε συμβιωτικά και προστέθηκε στο έδαφος μέσω της χλωρής λίπανσης, αυξήθηκαν αισθητά με τον εμβολιασμό του αμπελοφάσουλου με BV στην Π1. Σε αντίθεση με το Π1, στο Π3 ο εμβολιασμός του αμπελοφάσουλου με BV δεν είχε καμία επίδραση στη φυτική βιομάζα, τη συνολική συγκέντρωση N στους βλαστούς και στην συμβιωτική

αζωτοδέσμευση, το οποίο ήταν αναμενόμενο, δεδομένου ότι το %Ndfa επίσης δεν επηρεάστηκε από τον εμβολιασμό με ριζόβια (Σχήμα 3.1).



Εικόνα 3.2 Πάνω αριστερά: αμπελοφάσουλο εμβολιασμένο με ριζόβια και δεξιά, μη εμβολιασμένο. Κάτω επιτυχημένη συμβίωση και δημιουργία ενεργών φυματίων από τα ριζόβια.



Σχήμα 3.1 Ποσοστό N που προέρχεται από δέσμευση ατμοσφαιρικού N₂ (%Ndfa) στους βλαστούς του αμπελοφάσουλου στο Π1 και Π3, και του κουκιού Π2 σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, όπως επηρεάζεται από το εμβολιασμό ή όχι, με ριζόβια ή μείγμα ριζοβίων και PGPR. Χρησιμοποιήθηκε *Bradyrhizobium* sp. VULI11 (BV) στο αμπελοφάσουλο και *Rhizobium leguminosarum viciae* (RV) στο κουκί.

Πίνακας 3.3. Υπέργεια νωπή (NB) και ξηρή βιομάζα (ΞΒ), περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία (ΞΟ), ολική συγκέντρωση N (ΟΣΝ) στην ξηρή βιομάζα, ολικό N και συνολική ποσότητα συμβιωτικά δεσμευμένου N (BNF) ανά μονάδα έκτασης που καλλιεργείται με ψυχανθές (αμπελοφάσουλα ή κουκιά) σε τρία διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.

Μεταχείριση	NB g m ⁻²	ΞΟ %	ΞΒ g m ⁻²	ΟΣΝ mg g ⁻¹	Ολικό N g m ⁻²	BNF kg/στρ
1^ο πείραμα						
Αμπελοφάσουλα μη εμβολιασμένα	1165 b	9,91 b	117 b	21 b	2,4 b	1,5 b
Αμπελοφάσουλα με BV	2925 a	12,90 a	378 a	30 a	11,1 a	9,6 a
Αμπελοφάσουλα με BV και PGPR	2638 a	12,88 a	339 a	38 a	13,1 a	12,0 a
Σημαντικότητα διαφορών	**	**	**	**	**	**
2ο πείραμα						
Κουκιά μη εμβολιασμένα	662	8,23	54,4	35,3	1,93	1,47
Κουκιά με RV	691	8,65	59,8	33,7	2,02	1,50
Κουκιά με RV και PGPR	723	8,09	58,4	36,9	2,16	1,69
Σημαντικότητα διαφορών	ns	ns	ns	ns	ns	ns
3ο πείραμα						
Αμπελοφάσουλα μη εμβολιασμένα	3219	9,70	313	35,9	11,3	4,4
Αμπελοφάσουλα με BV	3367	9,54	320	36,3	11,6	5,0
Αμπελοφάσουλα με BV και PGPR	3375	9,73	327	36,3	11,8	5,0
Σημαντικότητα διαφορών	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Σημείωση: Τα αμπελοφάσουλα και τα κουκιά ήταν είτε μη εμβολιασμένα, είτε εμβολιασμένα με *Bradyrhizobium* sp. VULI11 (BV) ή *Rhizobium* sp. VFBL1 (RV), αντίστοιχα, ή εμβολιάστηκαν τόσο με ριζόβια (BV ή RV) όσο και με PGPR.

Σε κάθε στήλη, μέσα σε κάθε πείραμα, οι μέσοι διαφορετικών μεταχειρίσεων (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά μικρά γράμματα είναι σημαντικά διαφορετικοί, σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan. Σημαντικές διαφορές στο p = 0.01 σημειώνονται με **, ενώ η έλλειψη σημασίας υποδηλώνεται ως ns.

Παρόμοια με το Π3, ο εμβολιασμός των κουκιών με *Rhizobium* sp. VFBL1 στο Π2 δεν είχε καμία επίδραση στη βιομάζα των φυτών, στη συνολική συγκέντρωση N ή στη συμβιωτική αζωτοδέσμευση, καθώς ο εμβολιασμός δεν είχε καμία επίδραση και στο τελικό % Ndfa σε αυτό το πείραμα.

3.3.2 Μετρήσεις στο έδαφος

Το Σχήμα 3.2 παρουσιάζει την εξέλιξη των συγκεντρώσεων $\text{NH}_4\text{-N}$ στο έδαφος, κατά τη διάρκεια της βιολογικής καλλιέργειας τομάτας στα Π1, Π2 και Π3, ξεκινώντας από την ημέρα ενσωμάτωσης των οργανικών υλικών (ΟΥ: είτε κοπριά μόνη της, είτε μαζί με την προσθήκη νωπής βιομάζας ψυχανθών) στο έδαφος. Όπως φαίνεται, η συγκέντρωση του $\text{NH}_4\text{-N}$ του εδάφους ήταν πολύ χαμηλή πριν από την εφαρμογή των ΟΥ και αυξήθηκε αισθητά 11 ημέρες μετά την ενσωμάτωση των ΟΥ (ΗΜΕΟΥ) στο Π1. Ωστόσο, η συγκέντρωση του $\text{NH}_4\text{-N}$ στο έδαφος μειώθηκε και πάλι στα $5,1 \text{ mg kg}^{-1}$ 74 ΗΜΕΟΥ (δηλ. 71 ημέρες μετά την φύτευση τομάτας) και μειώθηκε περαιτέρω σε πολύ χαμηλά επίπεδα κατά τον τερματισμό της καλλιέργειας. Η ενσωμάτωση του αμπελοφάσουλου ως χλωρή λίπανση μαζί με την κοπριά και ο εμβολιασμός με ριζόβια μόνο ή μαζί με PGPR δεν είχε σημαντική επίδραση στα επίπεδα $\text{NH}_4\text{-N}$ του εδάφους. Μια απότομη αύξηση της συγκέντρωσης του $\text{NH}_4\text{-N}$ στο έδαφος 18 ημέρες μετά την ενσωμάτωση των ΟΥ στο έδαφος (κοπριά μόνη της ή μαζί με τα κουκιά και τα υπολείμματα τομάτας από την προηγούμενη καλλιέργεια), ακολουθούμενη από μείωση σε σχεδόν αρχικά επίπεδα 48 ΗΜΕΟΥ παρατηρήθηκε επίσης στο Π2. Στο Π3, το εδαφικό $\text{NH}_4\text{-N}$ παρουσίασε επίσης μια υψηλή κορυφή 41 ΗΜΕΟΥ. Εντούτοις, στο Π3 το αρχικό επίπεδο $\text{NH}_4\text{-N}$ του εδάφους πριν από την ενσωμάτωση των ΟΥ στο έδαφος ήταν υψηλότερο ($4,2 \text{ mg kg}^{-1}$) από ότι στις Π1 και Π2 και η μείωση του $\text{NH}_4\text{-N}$ μετά την αρχικά υψηλή κορυφή δεν ήταν τόσο απότομη όσο και από τις Π1 και Π2. Οι μεταχειρίσεις στην παρούσα έρευνα δεν είχαν καμία επίδραση στο εδαφικό $\text{NH}_4\text{-N}$ για οποιαδήποτε ημερομηνία δειγματοληψίας ή πείραμα.

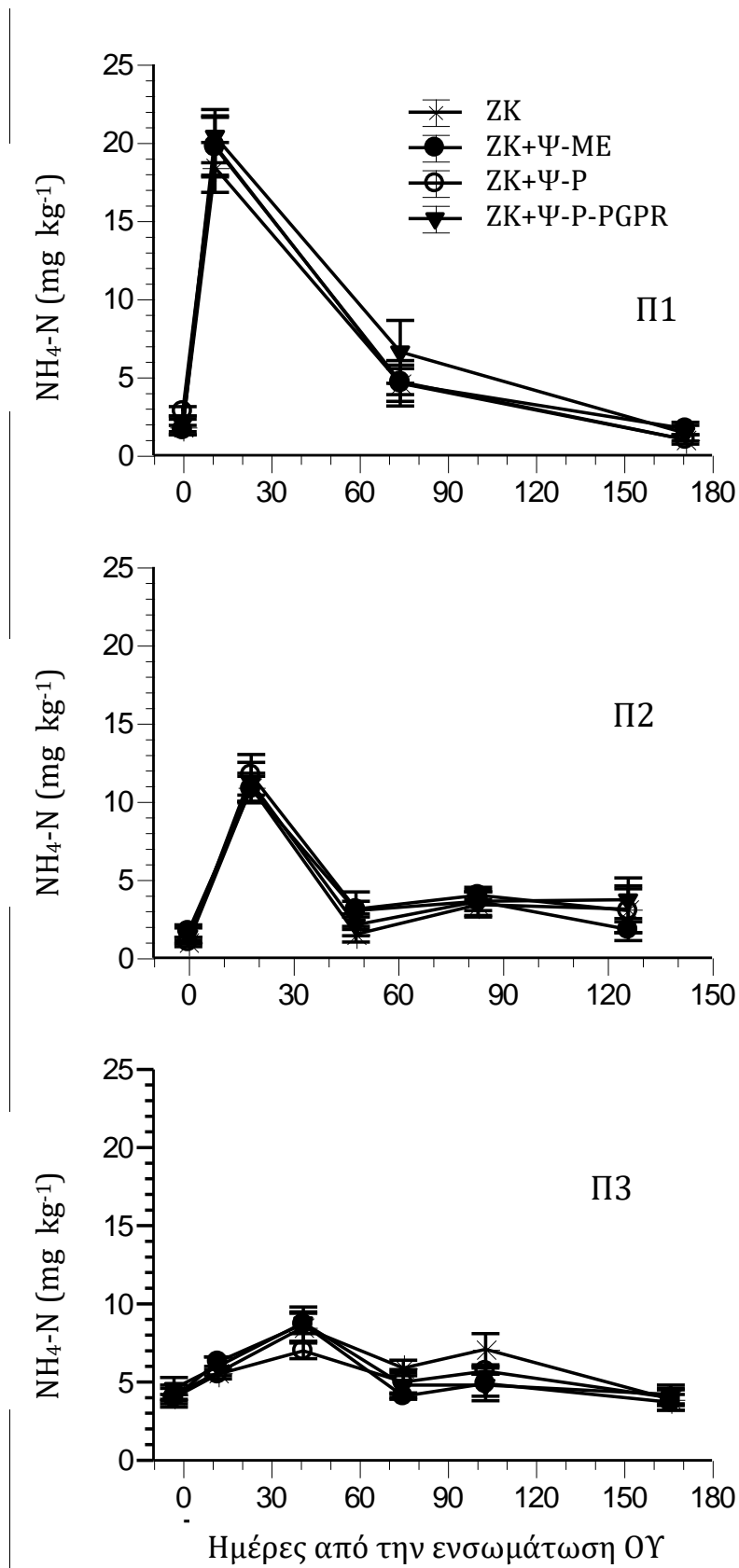
Στο Π1, το επίπεδο εδαφικού $\text{NO}_3\text{-N}$ ήταν πολύ χαμηλό ($9,1 \text{ mg kg}^{-1}$) πριν την ενσωμάτωση των ΟΥ στο έδαφος, αλλά στη συνέχεια αυξήθηκε απότομα στα 44 mg kg^{-1} όταν εφαρμόστηκε μόνο ΖΚ και στα 55 έως 66 mg kg^{-1} όταν εφαρμόστηκε, επιπλέον, χλωρή λίπανση (Σχήμα 3.2). Στη συνέχεια, το εδαφικό $\text{NO}_3\text{-N}$ μειώθηκε ελαφρώς κατά τη δεύτερη ημερομηνία δειγματοληψίας και αυξήθηκε και πάλι την τελευταία ημερομηνία δειγματοληψίας, ενώ οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν σταθερά στη μεταχείριση με εφαρμογή μόνο κοπριάς (ΖΚ). Ο εμβολιασμός με ριζόβια, μόνος ή μαζί με PGPR, δεν είχε σημαντική επίδραση στο εδαφικό $\text{NO}_3\text{-N}$. Παρόμοια με την Π1, οι χαμηλότερες

συγκεντρώσεις $\text{NO}_3\text{-N}$ στο έδαφος καταγράφηκαν στις μεταχειρίσεις των Π2 και Π3 με την εφαρμογή μόνο κοπριάς (ZK), με εξαίρεση την τελευταία δειγματοληψία κατά τον τερματισμό της καλλιέργειας στην Π2. Ωστόσο, ο εμβολιασμός με ριζόβια μόνο ή και με PGPR δεν είχε επιπρόσθετη επίδραση στο εδαφικό $\text{NO}_3\text{-N}$.

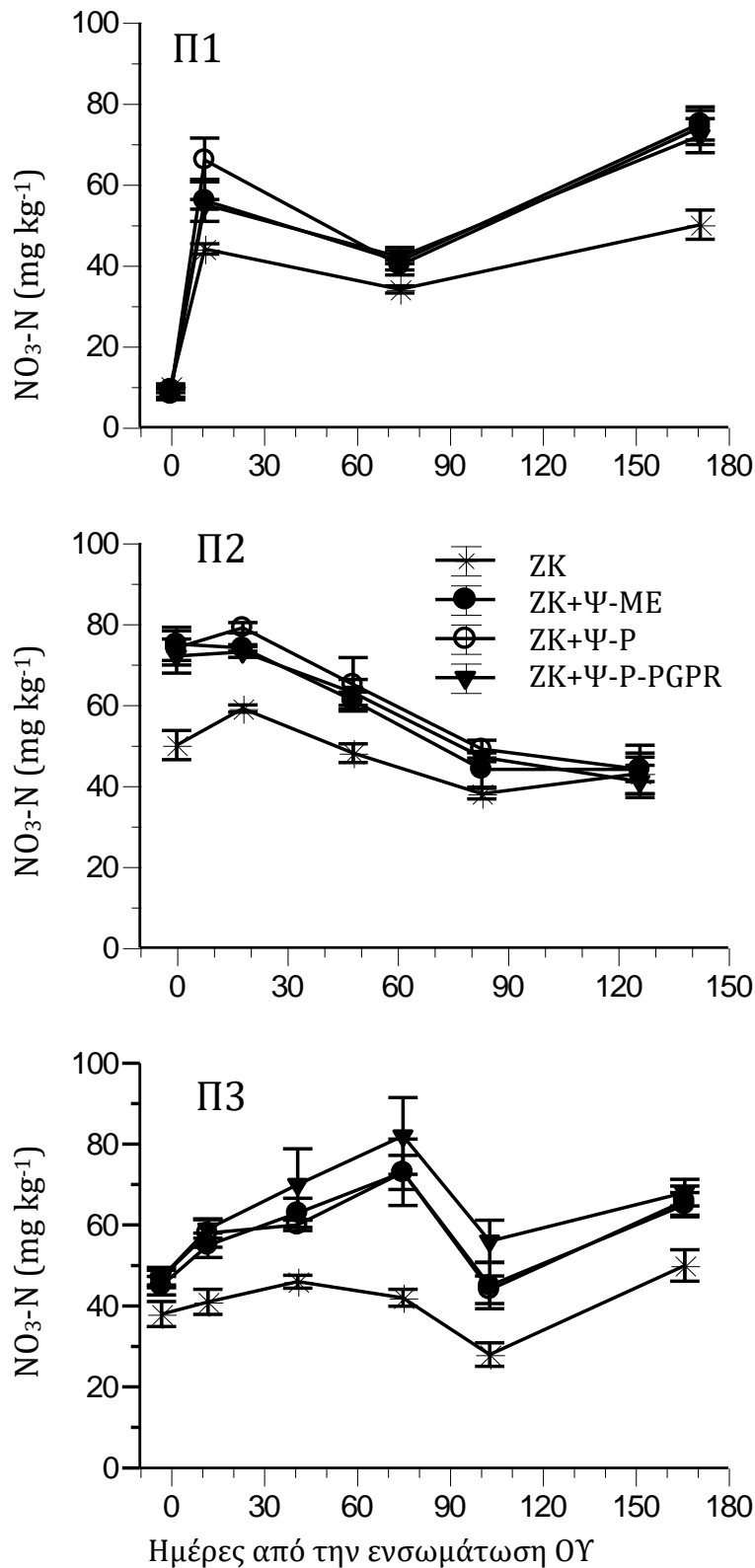
Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.4, η εφαρμογή αμπελοφάσουλων ως χλωρή λίπανση μαζί με ZK, αύξησε το συνολικό N στο έδαφος, σε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα από τη εφαρμογή μόνο ZK στο Π1. Εντούτοις, στα Π2 και Π3, η ενσωμάτωση των αμπελοφάσουλων ή των κουκιών στο έδαφος ως χλωρή λίπανση δεν είχε σημαντική επίδραση στο συνολικό επίπεδο N στο έδαφος. Στο Π1, η συνολική συγκέντρωση C ήταν σημαντικά υψηλότερη στις μεταχειρίσεις με χλωρή λίπανση, σε σύγκριση με τον μάρτυρα (ZK), ανεξάρτητα από τον εμβολιασμό με ριζόβια μόνο ή μαζί με PGPR. Εντούτοις, στα Π2 και Π3, δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στον C του εδάφους μεταξύ των δοκιμαζόμενων μεταχειρίσεων. Οι συγκεντρώσεις του εδάφους σε P και K δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από την εφαρμογή των ψυχανθών ως χλωρή λίπανση.



Εικόνα 3.3 Τεμαχισμός κουκιών και υπολειμμάτων τομάτας, αριστερά και αμπελοφάσουλων, δεξιά.



Σχήμα 3.2 Αντίκτυπος διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στη συγκέντρωση $\text{NH}_4\text{-N}$ επί ξηρού εδάφους σε διαφορετικές ημερομηνίες κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου σε τρία διαδοχικά πειράματα τομάτας θερμοκηπίου (Π1, Π2, Π3). Σημείωση: ZK= ζωική κοπριά, Ψ= ψυχανθή, ME= μη εμβολιασμένα, P= εμβολιασμός με ριζόβια, PGPR= εμβολιασμός με PGPR, ΟΥ = οργανικά υλικά (ZK, βιομάζα ψυχανθών).



Σχήμα 3.3 Αντίκτυπος διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στη συγκέντρωση $\text{NO}_3\text{-N}$ επί ξηρού εδάφους, σε διαφορετικές ημερομηνίες κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, σε τρία διαδοχικά πειράματα τομάτας θερμοκηπίου (Π1, Π2, Π3). Σημείωση: ZK= ζωική κοπριά, Ψ= ψυχανθή, ME= μη εμβολιασμένα, P= εμβολιασμός με ριζόβια, PGPR = εμβολιασμός με PGPR, ΟΥ = οργανικά υλικά (ZK, βιομάζα ψυχανθών).

Πίνακας 3.4. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στον οργανικό C, στο συνολικό N και στο διαθέσιμο στο φυτό P και K στο έδαφος, σε 3 εβδομάδες μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών, σε τρία διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.

Μεταχείριση	C (%)	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
1 ^ο πείραμα				
ZK	2,16 b	0,20 b	142	1018
ZK + Ψ-ME	2,52 a	0,23 a	140	1031
ZK + Ψ-P	2,48 a	0,23 a	146	1073
ZK + Ψ-P-PGPR	2,44 a	0,22 a	132	908
Σημαντικότητα διαφορών	*	*	ns	ns
2 ^ο πείραμα				
ZK	3,20	0,33	188	908
ZK + Ψ-ME	3,10	0,31	215	901
ZK + Ψ-P	3,50	0,28	201	981
ZK + Ψ-P-PGPR	3,60	0,29	174	908
Σημαντικότητα διαφορών	ns	ns	ns	ns
3 ^ο πείραμα				
ZK	3,82	0,40	209	763
ZK + Ψ-ME	3,90	0,40	201	646
ZK + Ψ-P	4,01	0,40	189	722
ZK + Ψ-P-PGPR	4,13	0,41	218	777
Σημαντικότητα διαφορών	ns	ns	ns	ns

ZK = ζωική κοπριά βοοειδών. ZK + Ψ-ME = ZK και ψυχανθή, μη εμβολιασμένα. ZK + Ψ-P = ZK και ψυχανθή εμβολιασμένα με ριζόβια. ZK + Ψ-P-PGPR = ZK και ψυχανθή εμβολιασμένα με ριζόβια και ριζοβακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών.

Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη και κάθε πείραμα υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p < 0,05), * σημαντική σε p < 0,05, ns = μη σημαντική.

3.3.3 Στοιχεία απόδοσης τομάτας

Στο Π1, η εφαρμογή αμπελοφάσουλων ως χλωρή λίπανση μαζί με ZK οδήγησε σε χαμηλότερη απόδοση από ότι στη μεταχείριση αποκλειστικά με εφαρμογή ZK, ανεξάρτητα από τον εμβολιασμό μόνο με ριζόβια ή ριζόβια και PGPR, ή χωρίς εμβολιασμό (Πίνακας 3.5). Η υψηλότερη απόδοση στη μεταχείριση ZK οφείλεται αποκλειστικά στον μεγαλύτερο αριθμό καρπών ανά φυτό, ενώ το μέσο βάρος των καρπών δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των μεταχειρίσεων. Σε αντίθεση με το Π1, στο Π2 η ενσωμάτωση των κουκιών εμβολιασμένων με ριζόβια στο χώμα μαζί με ZK είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερη απόδοση από την εφαρμογή μόνο ZK, ενώ ο εμβολιασμός επιπλέον με PGPR δεν παρείχε επιπλέον όφελος όσον αφορά την απόδοση. Όμοια με το Π2, στο Π3 η ενσωμάτωση στο έδαφος του αμπελοφάσουλου που εμβολιάστηκε με ριζόβια μαζί με ZK είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερη απόδοση από τη εφαρμογή μόνο ZK. Εντούτοις, στο Π3 η απόδοση βελτιώθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις όταν το

αμπελοφάσουλο εφαρμόστηκε ως χλωρή λίπανση μαζί με ΖΚ, ανεξάρτητα από τον εμβολιασμό με ριζόβια και με PGPR, σε σύγκριση με την εφαρμογή μόνο ΖΚ. Τόσο στο Π2 όσο και στο Π3, η υψηλότερη απόδοση που προέκυψε από την εφαρμογή των ψυχανθών ως χλωρή λίπανση σε σύγκριση με την εφαρμογή μόνο ΖΚ οφειλόταν αποκλειστικά σε μεγαλύτερο αριθμό καρπών ανά φυτό, ενώ το μέσο βάρος των καρπών δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Πίνακας 3.5. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στα στοιχεία απόδοσης τομάτας σε τρία διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.

Μεταχείριση	Ολική παραγωγή (kg m ⁻²)	Αριθμός καρπών /φυτό	Μέσο βάρος καρπών (g)
1ο πείραμα			
ZK	7,3 a	16,2 a	211
ZK + Ψ-ME	5,7 b	13,4 b	200
ZK + Ψ-P	5,6 b	13,2 b	200
ZK + Ψ-P-PGPR	5,7 b	13,2 b	203
Σημαντικότητα διαφορών	*	***	ns
2ο πείραμα			
ZK	8,3 b	19,1 b	203
ZK + Ψ-ME	8,3 b	19,4 b	201
ZK + Ψ-P	10,4 a	22,7 a	214
ZK + Ψ-P-PGPR	9,5 a	21,9 a	204
Σημαντικότητα διαφορών	*	*	ns
3ο πείραμα			
ZK	11,9 b	25,9 b	224
ZK + Ψ-ME	12,7 a	27,2 a	228
ZK + Ψ-P	12,8 a	27,7 a	223
ZK + Ψ-P-PGPR	13,1 a	28,3 a	228
Σημαντικότητα διαφορών	*	*	ns

Σημείωση: ΖΚ = ζωική κοπριά. ΖΚ + Ψ-ME = ΖΚ και ψυχανθή, μη εμβολιασμένα. ΖΚ + Ψ-P = ΖΚ και ψυχανθή εμβολιασμένα με ριζόβια. ΖΚ + Ψ-P-PGPR = ΖΚ και ψυχανθή εμβολιασμένα με ριζόβια και ριζοβακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών. Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη και κάθε πείραμα υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p < 0,05), * και *** σημαντική σε p < 0.05 και p < 0.001, αντίστοιχα, ns = μη σημαντική.

3.3.4. Ανάλυση φύλλων τομάτας

Στο Π1, τα επίπεδα του ολικού Ν και Κ στους φυτικούς ιστούς της τομάτας δεν επηρεάστηκαν από καμία μεταχείριση, ενώ ο Ρ ήταν σημαντικά χαμηλότερος όταν η εφαρμογή ΖΚ συνδυάστηκε με χλωρή λίπανση ψυχανθών εμβολιασμένων με *Bradyrhizobium* σε σύγκριση με την εφαρμογή μόνο ΖΚ (Πίνακας 3.6). Στο Π2, η εφαρμογή μόνο της ΖΚ οδήγησε σε σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα ολικού Ν

σε σύγκριση με την εφαρμογή ΖΚ σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση βιομάζας κουκιών που προέρχονταν από τη συγκαλλιέργεια με την προηγούμενη καλλιέργεια τομάτας. Οι συγκεντρώσεις των Ρ και Κ στα φύλλα δεν επηρεάστηκαν από οποιαδήποτε μεταχείριση στο Π2. Τέλος, στο Π3, η συνολική συγκέντρωση Ν στους ιστούς ήταν σημαντικά χαμηλότερη στην μεταχείριση ΖΚ, ενώ τα Ρ και Κ δεν επηρεάστηκαν από καμία από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις.

Πίνακας 3.6: Επίπτωση των διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στις συγκεντρώσεις Ν, Ρ και Κ στα φύλλα σε τρία διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.

Μεταχείριση	N (mg g ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)	K (mg g ⁻¹)
1^ο πείραμα			
ZK	13,4	2,84 a	53
ZK + Ψ-ME	14,1	2,48 ab	59
ZK + Ψ-P	14,1	1,96 b	50
ZK + Ψ-P-PGPR	12,6	2,14 b	54
Σημαντικότητα διαφορών	ns	*	ns
2^ο πείραμα			
ZK	15,0 b	2,25	81
ZK + Ψ-ME	17,1 ab	2,26	83
ZK + Ψ-P	18,3 a	2,16	87
ZK + Ψ-P-PGPR	18,3 a	2,26	87
Σημαντικότητα διαφορών	*	ns	ns
3^ο πείραμα			
ZK	28,2 b	2,50	117
ZK + Ψ-ME	31,8 a	2,37	113
ZK + Ψ-P	32,4 a	2,24	113
ZK + Ψ-P-PGPR	32,6 a	2,42	116
Σημαντικότητα διαφορών	*	ns	ns

Σημείωση: ΖΚ = ζωική κοπριά. ΖΚ + Ψ-ME = ΖΚ και ψυχανθή, μη εμβολιασμένα. ΖΚ + Ψ-P = ΖΚ και ψυχανθή εμβολιασμένα με ριζόβια. ΖΚ + Ψ-P-PGPR = ΖΚ και ψυχανθή εμβολιασμένα με ριζόβια και ριζοβακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών. Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη και κάθε πείραμα υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p < 0,05). * σημαντική σε p < 0,05. ns = μη σημαντική.

3.3.5. Εκτίμηση της προσβολής από νηματώδεις σκώληκες

Ο δείκτης κομβολογιάσματος των ριζών της τομάτας στο Π1 ήταν σημαντικά υψηλότερος, όταν η βιομάζα αμπελοφάσουλων ενσωματώθηκε στο έδαφος ως χλωρή λίπανση, σε σύγκριση με τη εφαρμογή μόνο της ΖΚ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.7. Ο εμβολιασμός του αμπελοφάσουλου μόνο με ριζόβια ή ριζόβια μαζί με PGPR δεν είχαν επιπρόσθετο αντίκτυπο στα εξογκώματα των ριζών, όπως υποδεικνύεται από το δείκτη κομβολογιάσματος των ριζών. Στα Π2 και Π3, ο δείκτης κομβολογιάσματος των ριζών ήταν πολύ μικρός σε όλα τα τεμάχια, χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Πίνακας 3.7. Επίδραση των μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στην ένταση προσβολής των ριζών τομάτας από κομβοηματώδεις στο 1^ο πείραμα.

Μεταχειρίσεις	Δείκτης κομβολογιάσματος
ZK	8,30 b
ZK + Ψ-ME	9,18 a
ZK + Ψ-P	9,32 a
ZK + Ψ-P-PGPR	9,37 a
Σημαντικότητα διαφορών	***

Σημείωση: Ο δείκτης κομβολογιάσματος των ριζών υπολογίστηκε σύμφωνα με τους Bridge and Page (1982) σε κλίμακα 1-10 (1 = χωρίς μόλυνση - 10 = πλήρως μολυσμένο). ΖΚ = κοπριά. ΖΚ + Ψ-ME = ΖΚ και ψυχανθή, μη εμβολιασμένα. ΖΚ + Ψ-P = ΖΚ και ψυχανθή εμβολιασμένα με ριζόβια. ΖΚ + Ψ-P-PGPR = ΖΚ και ψυχανθή εμβολιασμένα με ριζόβια και ριζοβακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών. Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p < 0,05). *** σημαντική σε p < 0,001



Εικόνα 3.4 Αριστερά: Προσβολή νηματωδών σε ρίζα τομάτας που είχε εφαρμοστεί χλωρή λίπανση. Δεξιά: Ρίζα τομάτας στον μάρτυρα που είχε εφαρμοστεί μόνο κοπριά.

3.4 Συζήτηση

Οι Atkinson και Watson (2000) εξέφρασαν την άποψη ότι η βιολογική γεωργία χαρακτηρίζεται από μια πολυπλοκότητα σχέσεων μεταξύ των διαφόρων συνιστωσών του συστήματος και επομένως η βιωσιμότητα εξαρτάται από τη λειτουργία του ολοκληρωμένου και αλληλένδετου συστήματος. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αποτελούν ένα καλό παράδειγμα της παραπάνω θέσης και της πολυπλοκότητας των παραγόντων που διέπουν την απόδοση στις βιολογικές καλλιέργειες. Έτσι, στο Π1, η απόδοση των καρπών τομάτας μειώθηκε σημαντικά όταν η νωπή βιομάζα αμπελοφάσουλου ενσωματώθηκε στο χώμα ως χλωρή λίπανση επιπλέον της κοπριάς, μολονότι αύξησε σημαντικά τα επίπεδα $\text{NO}_3\text{-N}$ στο έδαφος σε σύγκριση με την εφαρμογή μόνο κοπριάς, καθώς η ποικιλία αμπελοφάσουλου που χρησιμοποιήθηκε αποδείχθηκε ότι είναι καλός ξενιστής των *Meloidogyne* sp. Ως αποτέλεσμα, η καλλιέργεια τομάτας που ακολούθησε μετά την ενσωμάτωσή τους στο έδαφος δέχθηκε ισχυρότερη προσβολή από τον κομβονηματώδη των ριζών στα τεμάχια που είχε καλλιεργηθεί αμπελοφάσουλο για χλωρή λίπανση σε σύγκριση με αυτή που δεν δέχθηκε χλωρή λίπανση. Οι Watson et al. (2002b) είχαν επισημάνει ότι παρά τα οφέλη που προκύπτουν από την ενσωμάτωση της χλωρής λίπανσης στη διαχείριση του N, αυτή η καλλιεργητική πρακτική μπορεί να συνδέεται με τους κινδύνους εμφάνισης ασθενειών. Εντούτοις, στα Π2 και Π3, η απόδοση αυξήθηκε με την ενσωμάτωση της βιομάζας ψυχανθών στο έδαφος, καθώς η προσβολή των ριζών από νηματώδεις ελέγχθηκε αποτελεσματικά. Ο εμβολιασμός της τομάτας στο "Maxifort" παρέχει ουσιαστική προστασία έναντι των κομβονηματωδών των ριζών, σύμφωνα με τους Louws et al. (2010). Επιπλέον, στο Π3 επιλέχθηκε να καλλιεργηθεί για χλωρή λίπανση η ποικιλία αμπελοφάσουλου Iron Clay που θεωρείται ανθεκτική στην προσβολή από νηματώδεις (Harrison et al., 2006). Τέλος, μικροοργανισμοί που επιτρέπονται για την παραγωγή βιολογικής τομάτας, όπως το *Bacillus firmus* και το *Purpureocillium lilacinus* στέλεχος 251, χρησιμοποιήθηκαν για να προσφέρουν πρόσθετη προστασία (Dahlin et al., 2019; Giné and Sorribas, 2017). Έτσι, η επιλογή ανεκτικού/ανθεκτικού πολλαπλασιαστικού υλικού και η εφαρμογή παραγόντων βιολογικού ελέγχου κατά των νηματωδών, έλεγξαν αποτελεσματικά τη μόλυνση από νηματώδεις στα Π2 και Π3, εξαλείφοντας την

επίδρασή της στην απόδοση της καλλιέργειας. Ως αποτέλεσμα, η καλλιέργεια τομάτας επωφελήθηκε από τα υψηλότερα επίπεδα εδαφικού $\text{NO}_3\text{-N}$ που προέρχονταν από τις μεταχειρίσεις με ψυχανθή, όπως υποδεικνύεται από την σημαντικά υψηλότερη παραγωγή καρπών. Αυτό το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο, δεδομένου ότι το N αντιπροσωπεύει τον κύριο παράγοντα περιορισμού της απόδοσης από πλευράς θρέψης, σε συστήματα βιολογικής καλλιέργειας (Stockdale and Rees, 1995; Torstensson, 1998).

Στο Π1, τρεις εβδομάδες μετά την ενσωμάτωση κοπριάς και βιομάζας ψυχανθών στο έδαφος, οι μέσες συγκεντρώσεις $\text{NO}_3\text{-N}$ κυμαίνονταν από 55 έως 66 mg kg^{-1} στα τεμάχια που εφαρμόστηκε κοπριά και χλωρή λίπανση αμπελοφάσουλων και από 41 έως 46 στα τεμάχια που χορηγήθηκε μόνο κοπριά. Τα επίπεδα $\text{NO}_3\text{-N}$ που καταγράφηκαν σε όλα τα τεμάχια των μεταχειρίσεων με χλωρή λίπανση αμπελοφάσουλων σε αυτό το στάδιο της καλλιέργειας θεωρούνται επαρκή για την τομάτα (Bénard et al., 2009; Liling et al., 2005). Ωστόσο, τον Οκτώβριο του 2017 (75 ημέρες από την ενσωμάτωση των ΟΥ), το εδαφικό $\text{NO}_3\text{-N}$ στο Π1 μειώθηκε σε επίπεδα κοντά ή κάτω από 40 mg kg^{-1} σε όλες τις μεταχειρίσεις, τα οποία θεωρούνται ανεπαρκή για τα φυτά τομάτας που φέρουν μεγάλο φορτίο καρπών (Sainju et al., 2003a; van Eysinga, 1971). Σε επιβεβαίωση αυτής της εκτίμησης, συμπτώματα έλλειψης N παρατηρήθηκαν στα φυτά τομάτας μέχρι τα τέλη Οκτωβρίου στο Π1. Ενώ στο Π3, που διεξήχθη ένα χρόνο αργότερα κατά την ίδια εποχή και στα ίδια τεμάχια, το εδαφικό $\text{NO}_3\text{-N}$ διατηρήθηκε σε επαρκή επίπεδα για την παραγωγή τομάτας σε όλη την περίοδο καλλιέργειας, ειδικά όταν εφαρμόστηκε χλωρή λίπανση αμπελοφάσουλου εμβολιασμένο με ριζόβια. Αντίθετα, στα τεμάχια που χορηγήθηκε μόνο ΖΚ, η συγκέντρωση του $\text{NO}_3\text{-N}$ στο έδαφος κυμάνθηκε σε ανεπαρκή επίπεδα και στις Π1 και Π3 (<50 mg kg^{-1}) σύμφωνα με τους Sainju et al. (2003a). Η σημαντική αύξηση του εδαφικού $\text{NO}_3\text{-N}$ όταν εφαρμόστηκε, επιπλέον, χλωρή λίπανση με αμπελοφάσουλο σε σύγκριση με την εφαρμογή μόνο της ΖΚ, δείχνει ότι η χλωρή λίπανση με ψυχανθή είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την αύξηση των επιπέδων του διαθέσιμου στα φυτά N σε βιολογικές καλλιέργειες τομάτας σε θερμοκήπια. Ωστόσο, τα οφέλη της χλωρής λίπανσης αμπελοφάσουλου σε σχέση με τα επίπεδα $\text{NO}_3\text{-N}$ του εδάφους ήταν πιο σημαντικά στο Π3. Αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς στη βιολογική καλλιέργεια η διαχείριση της γονιμότητας

βασίζεται σε μια μακροπρόθεσμη ολοκληρωμένη προσέγγιση (Watson et al., 2002a), επειδή η απελευθέρωση θρεπτικών στοιχείων από τα οργανικά υλικά που ενσωματώνονται στο έδαφος είναι μια μακροχρόνια διαδικασία που υπερβαίνει τη διάρκεια ζωής των καλλιεργειών.

Το Π2 διεξήχθη κατά την άνοιξη-καλοκαίρι, αφού ενσωματώθηκε ως χλωρή λίπανση ένα χειμερινό ψυχανθές (κουκί) που είχε συγκαλλιεργηθεί με την προηγούμενη καλλιέργεια τομάτας στο Π1. Ο σκοπός ήταν να εκτιμηθεί κατά πόσον ένα ψυχανθές που συγκαλλιεργείται με μια καλλιέργεια τομάτας φθινόπωρου-χειμώνα είναι επωφελές για την επόμενη καλλιέργεια τομάτας της ανοιξιάτικης-καλοκαιρινής περιόδου, όσον αφορά την διαθεσιμότητα N στο έδαφος. Αυτό θα επέτρεπε την πραγματοποίηση δύο διαδοχικών καλλιεργειών βιολογικής τομάτας κατά το ίδιο έτος και επομένως θα βελτίωνε το εισόδημα του παραγωγού. Το κουκί επιλέχτηκε για να εξυπηρετήσει τον προαναφερθέντα ρόλο, επειδή αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η ενσωμάτωση στο έδαφος των υπολειμμάτων που προέρχονται από την προηγούμενη καλλιέργεια (συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής τους ως χλωρής λίπανσης) αυξάνει την ανάπτυξη και την απόδοση πολλών καλλιεργειών όπως η κάνναβη, ο αραβόσιτος, η πατάτα και το σιτάρι (O'Donovan et al., 2014; Sincik et al., 2008). Τα αποτελέσματα στο Σχήμα 3.3 δείχνουν ότι τα επίπεδα $\text{NO}_3\text{-N}$ του εδάφους στο Π2 ήταν σημαντικά υψηλότερα στην αρχή της καλλιέργειας τομάτας, όταν ενσωματώθηκε στο έδαφος η βιομάζα κουκιών που προέρχεται από τη συγκαλλιέργεια με την προηγούμενη καλλιέργεια τομάτας. Ωστόσο, τα επίπεδα και η διαφορά στο εδαφικό $\text{NO}_3\text{-N}$ ήταν παρόμοια με εκείνα που βρέθηκαν στο τέλος της καλλιέργειας τομάτας στο Π1 πριν την ενσωμάτωση της βιομάζας κουκιών στο έδαφος. Έτσι, η μεγάλη διαφορά στο εδαφικό $\text{NO}_3\text{-N}$ μεταξύ των τεμαχίων που εφαρμόστηκε αποκλειστικά κοπριά και εκείνων που χορηγήθηκε επιπρόσθετα με χλωρή λίπανση κουκιών στην Π2, ειδικά στην αρχή της καλλιέργειας, φαίνεται να σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα (π.χ., ευνοώντας την ανοργανοποίηση της κοπριάς) με τις σημαντικές εισροές N από την ενσωμάτωση του αμπελοφάσουλου κατά την προηγούμενη περίοδο καλλιέργειας. Κατά τη διάρκεια της περιόδου καλλιέργειας, αυτή η διαφορά τείνει να μειώνεται και τελικά να εξαλείφεται μέχρι το τέλος της καλλιέργειας τομάτας στην Π2. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα κουκιά δεν συνέβαλαν

ουσιαστικά στις ανάγκες N της τομάτας στην Π2. Το κουκί θεωρείται ένα αποτελεσματικό αζωτοδεσμευτικό ψυχανθές, καθώς στις καλλιέργειες που αποσκοπούν στην παραγωγή βρώσιμων λοβών, μπορεί να συμβάλλει μέσω της BNF σύμφωνα με τους Amanuel et al. (2000) και Neugschwandtner et al. (2015) από 13,9 έως 21 kg N/στρ και από 6,3 έως 21,9 kg/στρ, αντίστοιχα.. Αντίστοιχα με αυτά τα αποτελέσματα, οι Ntatsi et al. (2018) διαπίστωσαν ότι το κουκί συνεισέφερε μέχρι 19 kg N/στρ μέσω της συμβιωτικής αζωτοδέσμευσης όταν καλλιεργήθηκε για παραγωγή νωπών λοβών. Εντούτοις, στην παρούσα μελέτη, το κουκί καλλιεργήθηκε ως συγκαλλιέργεια, η οποία υπαγόρευσε μια πολύ χαμηλότερη πυκνότητα φύτευσης και μικρότερη διαθεσιμότητα φωτός από ό, τι σε κανονικές καλλιέργειες, ενώ ενσωματώθηκε στο έδαφος σε πρωιμότερο στάδιο ανάπτυξης σε σύγκριση με τις μελέτες που αναφέρονται από τους Amanuel et al. (2000), Neugschwandtner et al. (2015) και Ntatsi et al. (2018). Ως εκ τούτου, η καθαρή συνεισφορά της συγκαλλιέργειας κουκιού στο εδαφικό N μέσω BNF στην τρέχουσα μελέτη δεν υπερέβη τα 1,7 kg N/στρ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι η συγκαλλιέργεια κουκιού με προηγούμενη καλλιέργεια τομάτας δεν παρέχει σημαντικό όφελος, όσον αφορά την παροχή N μέσω της συμβιωτικής αζωτοδέσμευσης σε μια ακόλουθη καλλιέργεια τομάτας.

Η σημαντική αύξηση του N στους βλαστούς αμπελοφάσουλου που εμβολιάστηκαν με *Bradyrhizobium* sp. VULI11 στο Π1 λόγω δέσμευσης του ατμοσφαιρικού N₂ (%Ndfa) (Σχήμα 3.1) δείχνει ότι δεν υπήρχαν αποτελεσματικά στελέχη εγχώριου ριζοβίου κατάλληλα για το αμπελοφάσουλο στο έδαφος του θερμοκηπίου που χρησιμοποιήθηκε για αυτό το πείραμα. Αυτό επιβεβαιώθηκε από τον αισθητά υψηλότερο αριθμό και το μέσο ατομικό ξηρό βάρος των φυματίων που συλλέχθηκαν από τα εμβολιασμένα με ριζόβια αμπελοφάσουλα σε σύγκριση με αυτά που αποσπάστηκαν από τις ρίζες μη εμβολιασμένων φυτών. Όπως αναφέρθηκε από τους Soares et al. (2014), ο εμβολιασμός αμπελοφάσουλου με στελέχη *Bradyrhizobium* που χαρακτηρίζονται από υψηλή ικανότητα δέσμευσης N μπορεί να αυξήσει σημαντικά την ικανότητα αυτού του είδους φυτών να δεσμεύουν ατμοσφαιρικό N₂. Παρόλο που το αμπελοφάσουλο θεωρείται ένα είδος ικανό να δημιουργήσει αποτελεσματική συμβίωση με διάφορα συμβιωτικά ριζόβια (Marra et al., 2012),

οι πιο αποτελεσματικές συμβιωτικές σχέσεις επιτυγχάνονται με τα είδη *Bradyrhizobium* (Thies et al., 1991), ειδικά σε μη αλκαλικά εδάφη (Tampakaki et al., 2017a). Στην τρέχουσα μελέτη, το εγχώριο στέλεχος *Bradyrhizobium* VULI11 (Tampakaki et al., 2017b) που χρησιμοποιήθηκε για εμβολιασμό επέδειξε υψηλή ικανότητα δέσμευσης του N₂ με το αμπελοφάσουλο, όπως επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα του Π1. Παρόλα αυτά, στο Π3 το % Ndfa ήταν παρόμοιο σε φυτά αμπελοφάσουλου εμβολιασμένα και μη εμβολιασμένα, πράγμα που δείχνει ότι το εμβόλιο που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της Π1 ήταν ικανό να παραμείνει και να εξαπλωθεί σε ολόκληρη την έκταση του πειράματος και πιθανώς υπήρχε σε επαρκείς πληθυσμούς στο έδαφος σε όλα τα τεμάχια, ένα χρόνο αργότερα στο Π3. Έτσι, ο εμβολιασμός με *Bradyrhizobium* sp. δεν αύξησε την συμβιωτική αζωτοδέσμευση των φυτών αμπελοφάσουλου και επομένως δεν παρείχε κανένα όφελος για την ακόλουθη καλλιέργεια τομάτας στο Π3. Αυτά τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι ο εμβολιασμός του αμπελοφάσουλου με ριζόβια είναι ευεργετικός, κυρίως σε εδάφη όπου αυτό το φυτό δεν είχε καλλιεργηθεί τα τελευταία χρόνια, και έτσι δεν υπάρχουν κατάλληλα στελέχη ριζοβίων για το αμπελοφάσουλο στο έδαφος. Αρκετοί άλλοι ερευνητές δεν βρήκαν κανένα όφελος από τον εμβολιασμό των ψυχανθών με ριζόβια όταν υπήρχαν στο έδαφος αποτελεσματικά στελέχη ριζοβίων για αυτό το συγκεκριμένο είδος ψυχανθών (Giller, K.E. and Wilson, 2001; Kutcher et al., 2002; Thapa et al., 2018). Επιπλέον, η σημαντική μείωση του %Ndfa στο Π3 σε σύγκριση με το Π1 στις μεταχειρίσεις με εμβολιασμό αποδίδεται στις αισθητά υψηλότερες συγκεντρώσεις NO₃-N εδάφους στο Π3. Πράγματι, όπως δείχνουν άλλοι ερευνητές (Nishida and Suzaki, 2018; Saito et al., 2014), οι υψηλές συγκεντρώσεις NO₃-N στη ριζόσφαιρα των ψυχανθών συνδυάζονται με μειωμένο σχηματισμό φυματίων και χαμηλότερη συμβιωτική δέσμευση N₂.

Το % Ndfa στη νωπή βιομάζα κουκιών κυμάνθηκε από 73% έως 78% κατά το τέλος της καλλιέργειας, ενώ ο εμβολιασμός των κουκιών με *Rhizobium* sp. VFBL1 δεν είχε σημαντική επίδραση στο % Ndfa (Σχήμα 3.1B), στην παραγόμενη βιομάζα, στη συγκέντρωση N στους ιστούς ή τέλος στη συμβιωτική αζωτοδέσμευση (Πίνακας 3.3). Αυτά τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι στο έδαφος του θερμοκηπίου προϋπήρχαν στελέχη γηγενών ριζοβίων που ήταν ικανά να δημιουργούν φυμάτια στη ρίζα των κουκιών και να δεσμεύουν

αποτελεσματικά το ατμοσφαιρικό N_2 και έτσι εμβολιασμός με *Rhizobium* sp. VFBL1 δεν παρείχε κανένα όφελος στα φυτά. Αυτό το εύρημα συμφωνεί με τα αποτελέσματα που βρέθηκαν σε μια προηγούμενη μελέτη (Ntatsi et al., 2018), στην οποία το % Ndfa σε κουκιά που καλλιεργήθηκαν υπαίθρια για παραγωγή νωπού λοβού κυμαίνονταν από 79% έως 91%, αν και τα φυτά δεν εμβολιάστηκαν με ριζόβια. Οι Neugschwandtner et al. (2015) επίσης διαπίστωσαν ότι το κουκί ήταν ικανό να δεσμεύει υψηλές ποσότητες ατμοσφαιρικού N_2 (219 kg ha^{-1} κατά μέσο όρο), χωρίς το φυτό να έχει εμβολιαστεί με ριζόβια.

Σε μη όξινα εδάφη, με επαρκές οξυγόνο και υψηλή μικροβιακή δραστηριότητα, το NH_4-N που προέρχεται από ανοργανοποίηση οργανικής ύλης μετατρέπεται γρήγορα σε NO_3-N μέσω της διαδικασίας νιτροποίησης. Ως εκ τούτου, ενώ παρόμοιες τάσεις στις συγκεντρώσεις NH_4-N του εδάφους παρατηρήθηκαν σε όλα τα πειραματικά τεμάχια και στα τρία πειράματα, ανεξάρτητα από την εφαρμογή των ψυχανθών ως χλωρή λίπανση ή ενδιάμεση καλλιέργεια, οι διαφορές στις συγκεντρώσεις NO_3-N του εδάφους μεταξύ των μεταχειρίσεων αντικατοπτρίζουν καλύτερα τις διαφορές στην καθαρή ανοργανοποίηση N (κάτω από συνθήκες μη έκπλυσης, χαρακτηριστικές του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου).

Εκτός από τις διαφορετικές εισροές N, ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα N για τη σοδειά ως αποτέλεσμα της ανοργανοποίησης N είναι ο λόγος C/N της αποσυντιθέμενης οργανικής ύλης (Ribeiro et al., 2010). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο λόγος C/N καθορίζει την ισορροπία μεταξύ των ποσοστών μικροβιακής ακινητοποίησης N και ανοργανοποίησης και επομένως της καθαρής προσφοράς διαθέσιμου στα φυτά N (Bruun et al., 2006; Parton et al., 2007). Άλλοι παράγοντες που καθορίζουν τον ρυθμό ανοργανοποίησης N, όπως ο τύπος εδάφους και η θερμοκρασία του εδάφους (De Neve et al., 2003), ήταν παρόμοιοι μεταξύ των μεταχειρίσεων για το ίδιο χρονικό διάστημα στα πειράματα αυτής της μελέτης. Έτσι, η υψηλότερη διαθεσιμότητα ανόργανου N που παρατηρείται στα πειραματικά τεμάχια που εφαρμόστηκε χλωρή λίπανση ψυχανθών μαζί με ZK σε σχέση με αυτά που εφαρμόστηκε μόνο ZK, όπως υποδεικνύεται από τις γενικά υψηλότερες συγκεντρώσεις NO_3-N , μπορεί να αποδοθεί σε συνδυασμό υψηλότερων εισροών

οργανικού N καθώς και χαμηλότερη αναλογία C/N ενσωματωμένης οργανικής ύλης στα πρώτα.

Οι αλλαγές στη συγκέντρωση $\text{NO}_3\text{-N}$ του εδάφους με την πάροδο του χρόνου φαίνεται να επηρεάζονται όχι μόνο από τον χρόνο και την ποσότητα της ενσωματωμένης οργανικής ύλης στο έδαφος και το λόγο C/N στην οργανική ύλη, αλλά και από τη θερμοκρασία του εδάφους, η οποία έχει άμεσο αντίκτυπο στα ποσοστά ανοργανοποίησης του N (De Neve et al., 2003) και στην πρόσληψή του από τα φυτά. Πράγματι, όπως αναφέρεται από τους Bhogal et al. (2016), η ποσότητα N που ανοργανοποιείται σχετίζεται με τον θερμικό χρόνο (δηλαδή, τους αθροιστικούς ημεροβαθμούς πάνω από 5 °C). Έτσι, δεδομένου ότι η καλλιέργεια τομάτας στα Π1 και Π3 πραγματοποιήθηκε από τον Αύγουστο έως τον Ιανουάριο, θεωρείται ότι η μείωση των επιπέδων του εδάφους σε $\text{NO}_3\text{-N}$ σε ένα τελευταίο στάδιο συγκομιδής οφείλεται εν μέρει στη μειωμένη θερμοκρασία του εδάφους καθώς η καλλιέργεια μεγάλων, η οποία σταδιακά περιόριζε τον ρυθμό καθαρής ανοργανοποίησης N. Η μερική αναπλήρωση του εδαφικού $\text{NO}_3\text{-N}$ τον Ιανουάριο στα Π1 και Π3 αποδίδεται στη μειωμένη πρόσληψη ανόργανου N από την καλλιέργεια τομάτας λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας του εδάφους. Η βέλτιστη θερμοκρασία για τα νιτροποιητικά βακτήρια είναι 41 °C (Ouyang et al., 2017), ενώ το βέλτιστο επίπεδο στις ρίζες τομάτας για την πρόσληψη N είναι περίπου 27 °C (Tindall et al., 1990). Έτσι, φαίνεται ότι η σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος που σχετίζεται με την εποχή στα Π1 και Π3 περιόρισε αρχικά τη μετατροπή του οργανικού N σε $\text{NO}_3\text{-N}$, αλλά τον Ιανουάριο η περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος επηρέασε επίσης την πρόσληψη N, με αποτέλεσμα τη μικρή αύξηση του εδαφικού $\text{NO}_3\text{-N}$ σε αυτό το στάδιο της καλλιέργειας. Σε αντίθεση με το Π1, το οποίο ήταν μια φθινοπωρινή καλλιέργεια, στο Π2, που ήταν μια ανοιξιάτικη-καλοκαιρινή καλλιέργεια, το εδαφικό $\text{NO}_3\text{-N}$ έτεινε να μειώνεται σταθερά με τον χρόνο σε όλες τις μεταχειρίσεις, πιθανώς επειδή ο καθαρός ρυθμός ανοργανοποίησης του N ήταν χαμηλότερος από τον ρυθμό απορρόφησης N από τα φυτά. Αυτό είναι λογικό, δεδομένης της σχετικά χαμηλής ποσότητας συμβιωτικά δεσμευμένου N που συνεισέφεραν τα κουκιά (Πίνακας 3.3) και των αυξανόμενων αναγκών σε N από την καλλιέργεια με την πάροδο του χρόνου, καθώς οι κλιματολογικές συνθήκες

την άνοιξη και τις αρχές του καλοκαιριού είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξη των φυτών και κυρίως την παραγωγή καρπών.

Τα επίπεδα των διαθέσιμων για τα φυτά P και K στο έδαφος δεν επηρεάστηκαν από την ενσωμάτωση των ψυχανθών στο έδαφος, και συνεπώς οι συγκεντρώσεις των στοιχείων αυτών στους φυτικούς ιστούς που μελετήθηκαν δεν επηρεάστηκαν από τις μεταχειρίσεις που εφαρμόστηκαν στα τρέχοντα πειράματα, με εξαίρεση τη συγκέντρωση P των φύλλων στο Π1. Από μια πρώτη προσέγγιση, η έλλειψη επίπτωσης των μεταχειρίσεων στην τροφοδοσία των φυτών με P και K είναι λογική, δεδομένου ότι τα ψυχανθή που χρησιμοποιούνται ως χλωρή λίπανση χρησιμοποιούν τα διαθέσιμα P και K του εδάφους για να αναπτυχθούν και έτσι η ενσωμάτωσή τους στο έδαφος δεν έχει ως αποτέλεσμα καθαρή εισροή αυτών των θρεπτικών ουσιών στο έδαφος (Thorup-Kristensen et al., 2003). Σε πολλές περιπτώσεις, η χλωρή λίπανση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη χρήση διαθέσιμων θρεπτικών πόρων από βαθύτερα στρώματα του εδάφους (Witter and Johansson, 2001), ή θρεπτικών συστατικών που ενδεχομένως να εκπλενόταν μέσω βροχοπτώσεων (Thorup-Kristensen et al., 2003), εάν το χωράφι παρέμενε χέρσο. Ωστόσο, στο τρέχον πείραμα και τα δύο ψυχανθή καλλιεργήθηκαν για σύντομο χρονικό διάστημα και έτσι δεν είχαν χρόνο να αναπτύξουν ένα βαθύ ριζικό σύστημα, ενώ η λελογισμένη άρδευση στην καλλιέργεια τομάτας μέσα σε ένα θερμοκήπιο δεν επιτρέπει έκπλυση θρεπτικών ουσιών. Από την άλλη πλευρά, η χλωρή λίπανση μπορεί να ακινητοποιήσει μέρος των απορροφηθέντων P και K για περισσότερο από ένα έτος, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες (Talgre et al., 2014). Ωστόσο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.4, τα αποθέματα εδάφους P και K ήταν υψηλά στο έδαφος του θερμοκηπίου που χρησιμοποιήθηκε στα παρόντα πειράματα, και συνεπώς οποιαδήποτε μείωση της διαθεσιμότητάς τους λόγω ακινητοποίησης των υπολειμμάτων ψυχανθών που ενσωματώθηκαν στο έδαφος δεν είχε καμία επίδραση στη διατροφή της τομάτας σχετικά με το P και το K.

Η αύξηση των συγκεντρώσεων του οργανικού C, του συνολικού N και του διαθέσιμου P στο έδαφος στο Π2 σε σύγκριση με το Π1 και η περαιτέρω αύξησή τους στο Π3 δείχνουν ότι οι πρακτικές βιολογικής λίπανσης που εφαρμόστηκαν στην τρέχουσα μελέτη ήταν ικανές να αυξήσουν τη γονιμότητα του εδάφους καθώς αύξησαν τα αποθέματα οργανικής ύλης με χαμηλή αναλογία C/N. Αυτό

συμβαδίζει με τις εισηγήσεις των Janzen et al. (1990) και Watson et al. (2002a) ότι το πρωταρχικό πλεονέκτημα των βιολογικών πρακτικών διαχείρισης είναι η μακροπρόθεσμη απόθεση σταθερού οργανικού N στο έδαφος. Η παρούσα μελέτη έδειξε περαιτέρω ότι η κοπριά είναι ικανή να αυξήσει τα αποθέματα P του εδάφους σε βιολογικές καλλιέργειες τομάτας. Από την άλλη πλευρά, η μείωση του διαθέσιμου K του εδάφους στο Π2 σε σύγκριση με το Π1 και η περαιτέρω μείωσή του στο Π3 δείχνουν ότι, μακροπρόθεσμα, οι απαιτήσεις K της βιολογικής τομάτας θερμοκηπίου δεν μπορούν να ικανοποιηθούν μόνο με εφαρμογές βιολογικής λίπανσης (Voogt et al., 2011). Αυτό το εύρημα τονίζει την ανάγκη εφαρμογής ανόργανων μορφών K συμβατών με τη βιολογική γεωργία σε βιολογική τομάτα θερμοκηπίου, όπως το θειικό κάλιο-μαγνήσιο.

3.5 Συμπεράσματα

Η τρέχουσα μελέτη έδειξε ότι η ενσωμάτωση του αμπελοφάσουλου ως χλωρή λίπανση στο έδαφος μαζί με κοπριά μπορεί να αυξήσει τη συγκέντρωση τόσο του ολικού N όσο και του ανόργανου N στο έδαφος, οδηγώντας έτσι σε υψηλότερη απόδοση καρπών σε βιολογικές καλλιέργειες τομάτας.

Αντίθετα, η συγκαλλιέργεια ενός ψυχανθούς όπως τα κουκιά με την τομάτα θερμοκηπίου και η ενσωμάτωση του στο έδαφος δεν προσφέρει σχεδόν κανένα όφελος για την ακόλουθη καλλιέργεια τομάτας, και επομένως δεν συνιστάται να εφαρμοστεί στην καλλιέργεια βιολογικής τομάτας. Οι κύριες αδυναμίες αυτής της πρακτικής είναι η περιορισμένη έκταση που διατίθεται για τη συγκαλλιέργεια των κουκιών και η ανεπαρκής ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από το φύλλωμα της τομάτας. Οι παράγοντες αυτοί οριοθετούν σε μη ικανοποιητικά επίπεδα την ποσότητα του ατμοσφαιρικού N₂ που δεσμεύεται συμβιωτικά και αποδίδεται στο έδαφος με την ενσωμάτωση.

Παρά τα οφέλη που αποκομίστηκαν από την εφαρμογή χλωρής λίπανσης στη διαθεσιμότητα N, αυτή η καλλιεργητική πρακτική μπορεί να σχετίζεται με κίνδυνο ασθενειών, όπως υποδηλώνεται από την ισχυρότερη προσβολή από νηματώδεις στα πειραματικά τεμάχια που καλλιεργήθηκε αμπελοφάσουλο ως χλωρή λίπανση στο 1^ο πείραμα.

Επιπλέον, ο εμβολιασμός των ψυχανθών που χρησιμοποιούνται ως χλωρή λίπανση με συγκεκριμένα στελέχη ριζοβίων, ειδικά όταν το ψυχανθές σπέρνεται

για πρώτη φορά στο συγκεκριμένο έδαφος, μπορεί να ενισχύσει την δημιουργία φυματίων, να αυξήσει την αποδοτικότητα της συμβιωτικής δέσμευσης N και τις εισροές N στο έδαφος, και επομένως να βελτιώσει την απόδοση των καλλιεργειών.

Η σταδιακή αύξηση του οργανικού C και του ολικού N στο έδαφος, σε όλα τα πειραματικά τεμάχια και σε όλη τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου ενισχύει έντονα την θεωρία ότι το μεγαλύτερο όφελος των πρακτικών της βιολογικής καλλιέργειας είναι η διατήρηση και η αύξηση της γονιμότητας του εδάφους, συμβάλλοντας έτσι στην μακροπρόθεσμη παραγωγικότητα και βιωσιμότητα των καλλιεργειών.



Εικόνα 3.5 Εμφάνιση συμπτωμάτων τροφопενίας N στα φυτά τομάτας

4. Δυνατότητα υποκατάστασης της ζωικής κοπριάς ως πηγή N στις βιολογικές καλλιέργειες τομάτας από νωπή βιομάζα ψυχανθών ή κομπόστ, ή το συνδυασμό και των δύο (2^η Πειραματική Ενότητα)

4.1 Δομή και στόχοι 2^{ης} Πειραματικής Ενότητας

Σε δύο διαδοχικά πειράματα (Π1 και Π2) μελετήθηκε αν το αμπελοφάσουλο, ως χλωρή λίπανση και το κουκί, ως συγκαλλιέργεια με τομάτα, ή το κομπόστ από υπολείμματα ελαιοτριβείου, μόνα τους ή σε συνδυασμό, μπορούν να αντικαταστήσουν την ζωική κοπριά, ως προς τη διαθεσιμότητα N στην βιολογική καλλιέργεια τομάτας.

Στο Π1 δοκιμάστηκε το αμπελοφάσουλο ως χλωρή λίπανση, ενώ στο Π2 το κουκί σε συγκαλλιέργεια με τομάτα, εμβολιασμένα με κατάλληλα ριζόβια και με PGPR. Αξιολογήθηκε η συνεισφορά των ψυχανθών (i) στο οργανικό N του εδάφους, (ii) στο ανόργανο εδαφικό N, (iii) στην αζωτούχο θρέψη των φυτών της τομάτας και (iv) στην παραγωγή καρπών της καλλιέργειας τομάτας.

4.2 Υλικά και μέθοδοι

Σε αυτή την έρευνα τα δύο πειράματα διεξήχθησαν, διαδοχικά, στην ίδια μονάδα του θερμοκηπίου και με το ίδιο πειραματικό σχέδιο. Από τον Μάιο 2017 έως τον Ιανουάριο 2018 πραγματοποιήθηκε το Π1 και από τον Φεβρουάριο 2018 έως τον Ιούνιο 2018 το Π2. Οι ακριβείς ημερομηνίες για κάθε πείραμα και καλλιέργεια παρέχονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Ημερομηνίες εγκατάστασης καλλιέργειας, έναρξη συγκομιδής και τερματισμός των καλλιεργειών ψυχανθών και τομάτας σε κάθε πείραμα.

	Πείραμα 1	Πείραμα 2
Σπορά ψυχανθών	23 Μαΐου 2017	26 Οκτωβρίου 2017
Πλήρης άνθηση ψυχανθών	25 Ιουλίου 2017	-
Ενσωμάτωση ψυχανθών	30 Ιουλίου 2017	25 Ιανουαρίου 2018
Φύτευση τομάτας	2 Αυγούστου 2017	8 Φεβρουαρίου 2018
Έναρξη συγκομιδής	13 Οκτωβρίου 2017	4 Μαΐου 2018
Τέλος καλλιέργειας	19 Ιανουαρίου 2018	11 Ιουνίου 2018

Για να προσδιοριστεί η επίδραση των ψυχανθών που χρησιμοποιήθηκαν ως χλωρή λίπανση στην αζωτούχο θρέψη και στην απόδοση της βιολογικής τομάτας θερμοκηπίου, καλλιεργήθηκαν αμπελοφάσουλα πριν από την φύτευση τομάτας το καλοκαίρι του 2017 (Π1). Επιπλέον, τον Οκτώβριο του 2017, σπάρθηκαν κουκιά μεταξύ των γραμμών της τομάτας στο πείραμα Π1 και ενσωματώθηκαν στο έδαφος μαζί με τα υπολείμματα τομάτας κατά τον τερματισμό της καλλιέργειας τον Ιανουάριο του 2018, για να ελεγχθεί εάν η συγκαλλιέργεια θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά τη διαθεσιμότητα N στην επόμενη καλλιέργεια τομάτας, την άνοιξη του 2018 (Π2). Οι μεταχειρίσεις εφαρμόστηκαν στα ίδια τεμάχια και στα δύο διαδοχικά πειράματα και παρατίθενται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2. Περιγραφή μεταχειρίσεων στα δύο πειράματα

1^ο πείραμα (Π1)		
α/α	Συντομογραφία μεταχείρισης	Περιγραφή μεταχείρισης
1.	Κοπριά	Κοπριά βοοειδών (θεωρήθηκε μάρτυρας)
2.	Κομπόστ	Κομπόστ από υπολείμματα ελαιοτριβείου
3.	Χλωρή λίπανση	Χλωρή λίπανση με αμπελοφάσουλο
4.	Χλωρή λίπανση + Κομπόστ	Χλωρή λίπανση με αμπελοφάσουλο + Κομπόστ από υπολείμματα ελαιοτριβείου
2^ο πείραμα (Π2)		
α/α	Συντομογραφία μεταχείρισης	Περιγραφή μεταχείρισης
1.	Κοπριά	Κοπριά βοοειδών (θεωρήθηκε μάρτυρας)
2.	Κομπόστ	Κομπόστ από υπολείμματα ελαιοτριβείου
3.	Χλωρή λίπανση	Βιομάζα κουκιών που συγκαλλιεργήθηκαν με τομάτα του Π1
4.	Χλωρή λίπανση + Κομπόστ	Βιομάζα κουκιών που συγκαλλιεργήθηκαν με τομάτα του Π1 + Κομπόστ από υπολείμματα ελαιοτριβείου

Στο Π1, στις 30 Ιουλίου 2017, κοπριά που προήλθε από εκτροφή βοοειδών ελεύθερης βοσκής εφαρμόστηκε στην μεταχείριση 1 (κοπριά), σε ποσότητα 5 t/στρ. Η κοπριά περιείχε 0.34% N, 0.15% P και 0.48% K. Αυτή η ποσότητα κοπριάς ισοδυναμούσε με την προσθήκη N 17 kg/στρ. και ήταν σύμφωνη με τον Κανονισμό (ΕΚ) 889/2008 της Επιτροπής. Ταυτόχρονα, στη μεταχείριση 2 (Κομπόστ) εφαρμόστηκε κομπόστ από υπολείμματα ελαιοτριβείου σε ποσότητα 3 t/στρ. που περιείχε 1,26% N, 0,08% P και 1,03% K, επομένως παρείχε 37,8 kg

N/στρ. Ενώ στη μεταχείριση 3 (Χλωρή λίπανση) ενσωματώθηκε η βιομάζα του αμπελοφάσουλου που είχε σπαρθεί στις 23 Μαΐου 2017. Τέλος στη μεταχείριση 4 (Χλωρή λίπανση+Κομπόστ) ενσωματώθηκαν αμπελοφάσουλο όπως στην μεταχείριση 3 και κομπόστ όπως στη 2.

Όλοι οι σπόροι αμπελοφάσουλου είχαν εμβολιαστεί με ένα μείγμα *Bradyrhizobium* sp. VULI11 και ριζοβακτηρίων που πιθανώς προάγουν την ανάπτυξη φυτών (PGPR), και απομονώθηκαν από φυμάτια αμπελοφάσουλου (*Enterobacter* sp., *Enterobacter* sp. C1.5, *Enterobacter* sp., C3.1, Και *Lelliottia* sp. D2.4. Τα στελέχη έχουν χαρακτηριστεί με ανάλυση πολυτοπικής αλληλούχισης (μη δημοσιευμένα δεδομένα). Οι χαρακτηρισμοί των στελεχών "C" και "D" αντιστοιχούν στην Ήπειρο και την Κρήτη, όπου συλλέχθηκαν, ενώ ακολουθεί ένας εργαστηριακός κωδικός αριθμός.

Σε όλες τις μεταχειρίσεις στις 2 Αυγούστου 2017 φυτεύτηκε τομάτα. Στις μεταχειρίσεις 3 και 4, στις 26 Οκτωβρίου 2017, σπάρθηκαν κουκιά ως συγκαλλιέργεια μεταξύ των σειρών τομάτας σε πυκνότητα 10,67 φυτά/m². Τα κουκιά ενσωματώθηκαν στο έδαφος μετά τον τερματισμό του Π1 για να χρησιμεύσουν ως χλωρή λίπανση για την επόμενη καλλιέργεια τομάτας (Π2). Οι σπόροι των κουκιών εμβολιάστηκαν με *Rhizobium* sp. *symbiovar* (sv.) *viciae* VFBL1 και PGPR (*Enterobacter* sp., OI .2, *Enterobacter* sp. C1.5, *Enterobacter* sp. C3.1 και *Lelliottia* sp. D2.4). Στις 25 Ιανουαρίου 2018, ολόκληρα τα φυτά των κουκιών και τα υπέργεια τμήματα των υπολειμμάτων τομάτας ενσωματώθηκαν στο έδαφος. Οι ρίζες της τομάτας αφαιρέθηκαν και απομακρύνθηκαν από το θερμοκήπιο επειδή είχαν προσβολή από κομβονηματώδεις (*Meloidogyne* sp.) κατά τη διάρκεια του Π1. Στη συνέχεια, στις 29 Ιανουαρίου 2018, εφαρμόστηκε 5 t/στρ κοπριά στη μεταχείριση 1 και 3 t/στρ κομπόστ στις μεταχειρίσεις 2 και 4. Τέλος, στις 8 Φεβρουαρίου 2018, φυτεύτηκαν νέα φυτάρια τομάτας για την εγκατάσταση μιας ανοιξιάτικης καλλιέργειας τομάτας (Π2) που ολοκληρώθηκε στις 11 Ιουνίου 2018.

Στο Π1 χρησιμοποιήθηκε το εμπορικό υβρίδιο τομάτας 'Elpida F1' εμβολιασμένο στο εμπορικό υποκείμενο Arazi F1 (*Solanum lycopersicum* × *Solanum habrochaites*) για να εγκατασταθεί το πείραμα. Στο Π2 καλλιεργήθηκε το εμπορικό υβρίδιο τομάτας 'Ekstasis F1' εμβολιασμένο στο εμπορικό υποκείμενο 'Maxifort F1'. Η πυκνότητα των φυτών ήταν 1,07 και 2,13 φυτά/m²

στο Π1 και Π2, αντίστοιχα. Όμως, τα φυτά στο Π1 διαμορφώθηκαν σε δύο στελέχη και έτσι η πυκνότητα στελεχών ήταν ίδια και στα δύο πειράματα.

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου στο Π1 δεν προστέθηκαν άλλα λιπάσματα στα φυτά σε καμία από τις μεταχειρίσεις, αλλά στο Π2 εφτά εβδομάδες μετά τη μεταφύτευση, εφαρμόστηκε πρόσθετη λίπανση μέσω του συστήματος στάγδην άρδευσης σε 4 δόσεις. Συγκεκριμένα στις 25 και 29 Απριλίου και στις 2 και 6 Μαΐου, προστέθηκε οργανικό λίπασμα με αμινοξέα, που περιέχει 14% N και η συνολική ποσότητα εφαρμογής ήταν 16 g m^{-2} (δηλαδή 2,24 kg N/στρ) σε όλα τα πειραματικά τεμάχια.

4.3 Αποτελέσματα

4.3.1 Συμβιωτική αζωτοδέσμευση και υπέργεια βιομάζα ψυχανθών

Οι μεταχειρίσεις 3 (Χλωρή λίπανση) και 4 (Χλωρή λίπανση + κομπόστ) ήταν πανομοιότυπες πριν από την προσθήκη κομπόστ. Έτσι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στη υπέργεια νωπή και ξηρή βιομάζα, στην περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία, στη συγκέντρωση N στην ξηρή υπέργεια βιομάζα, στη ποσότητα N ανά μονάδα καλλιεργούμενης έκτασης, στο ποσοστό Ndfa και στη συνολική ποσότητα συμβιωτικά δεσμευμένου N, τόσο για το αμπελοφάσουλο όσο και για το κουκί, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.3. Η καλλιέργεια του αμπελοφάσουλου ως χλωρή λίπανση παρήγαγε υπέργεια βιομάζα πάνω από 3100 g m^{-2} , με περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία περίπου 13%. Σε συνδυασμό με το ποσοστό Ndfa που κυμαινόταν στο 90%, είχε ως αποτέλεσμα η συμβιωτική δέσμευση N να είναι περίπου 14 kg/στρ. Από την άλλη πλευρά, το κουκί που συγκαλλιεργήθηκε με τομάτα, ενώ διατήρησε υψηλό ποσοστό Ndfa (80%), δεν είχε επαρκή παραγωγή βιομάζας με αποτέλεσμα η συμβιωτική δέσμευση N να είναι μόνο 1,5 kg/στρ.

Πίνακας 4.3. Υπέργεια νωπή (NB) και ξηρή βιομάζα (ΞΒ), περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία (ΞΟ), ολική συγκέντρωση N (ΟΣΝ) στην ξηρή υπέργεια βιομάζα, ολικό N ανά μονάδα καλλιεργούμενης έκτασης, ποσοστό N που προέρχεται από τον αέρα (Ndfa) και συνολική ποσότητα βιολογικά δεσμευμένου N (BNF) για το αμπελοφάσουλο που χρησιμοποιήθηκε ως χλωρή λίπανση και για το κουκί που συγκαλλιεργήθηκε με την τομάτα.

Μεταχείριση	NB (g m ⁻²)	ΞΟ (%)	ΞΒ (g m ⁻²)	ΟΣΝ (mg g ⁻¹)	Ολικό N (g m ⁻²)	Ndfa (%)	BNF (kg/στρ)
Αμπελοφάσουλο ως χλωρή λίπανση στο 1^ο πείραμα							
Χλωρή λίπανση	3165	12,8	405	3,68	15,0	93,2	14,0
Χλωρή λίπανση + Κομπόστ	3128	13,4	417	3,65	15,2	88,0	13,4
Σημαντικότητα διαφορών	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Κουκί που συγκαλλιεργήθηκε στο 1^ο πείραμα ως χλωρή λίπανση για το 2^ο πείραμα							
Χλωρή λίπανση	650	8,21	53,6	3,53	1,89	77,8	1,47
Χλωρή λίπανση + Κομπόστ	630	8,56	54,1	3,44	1,86	80,2	1,50
Σημαντικότητα διαφορών	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = μη σημαντική διαφορά



Εικόνα 4.1 Αριστερά: σπορά κουκιών μεταξύ των γραμμών τομάτας. Δεξιά: η ανάπτυξη των κουκιών

4.3.2 Μετρήσεις στο έδαφος

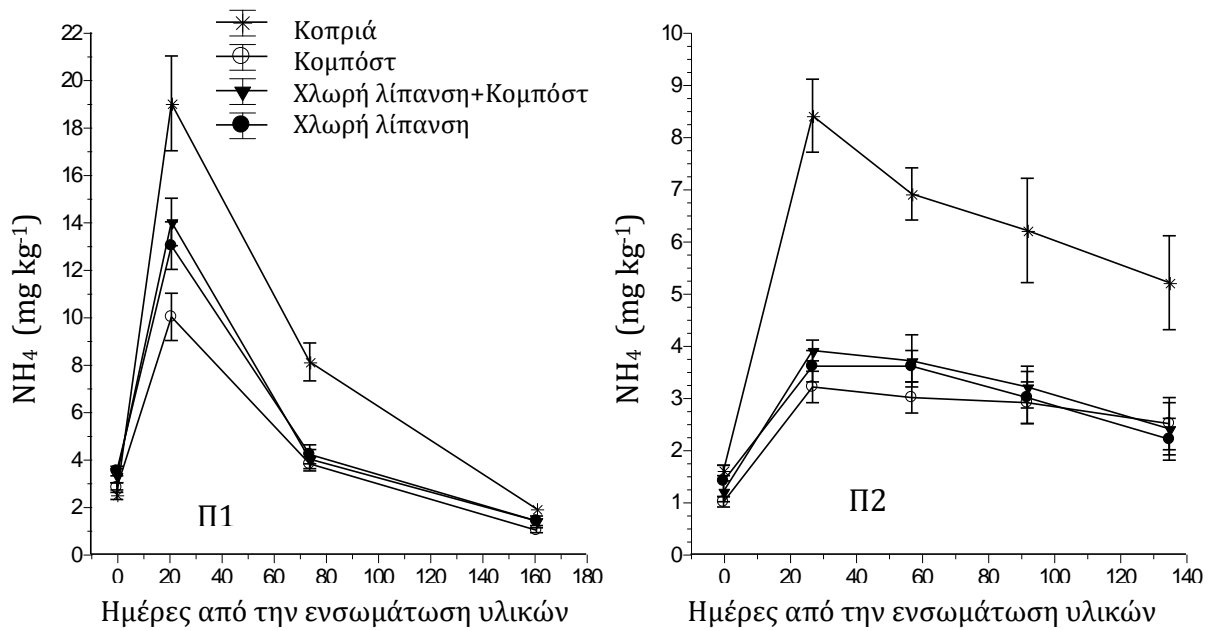
Οι μεταχειρίσεις με κοπριά ή κομπόστ οδήγησαν σε υψηλότερα επίπεδα οργανικού C, ολικού N και διαθέσιμου P και K στο έδαφος, σε σχέση με τη χλωρή λίπανση μόνη της και στα δύο πειράματα. Επιπλέον, η μεταχείριση με κοπριά επέφερε μεγαλύτερη αύξηση στον διαθέσιμο εδαφικό P από τις μεταχειρίσεις με κομπόστ στο 2^ο πείραμα (Πίνακας 4.4).

Πίνακας 4.4. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στον οργανικό C, στο ολικό N και στο διαθέσιμο στο φυτό P και K στο έδαφος, τρεις εβδομάδες μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών σε δύο διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.

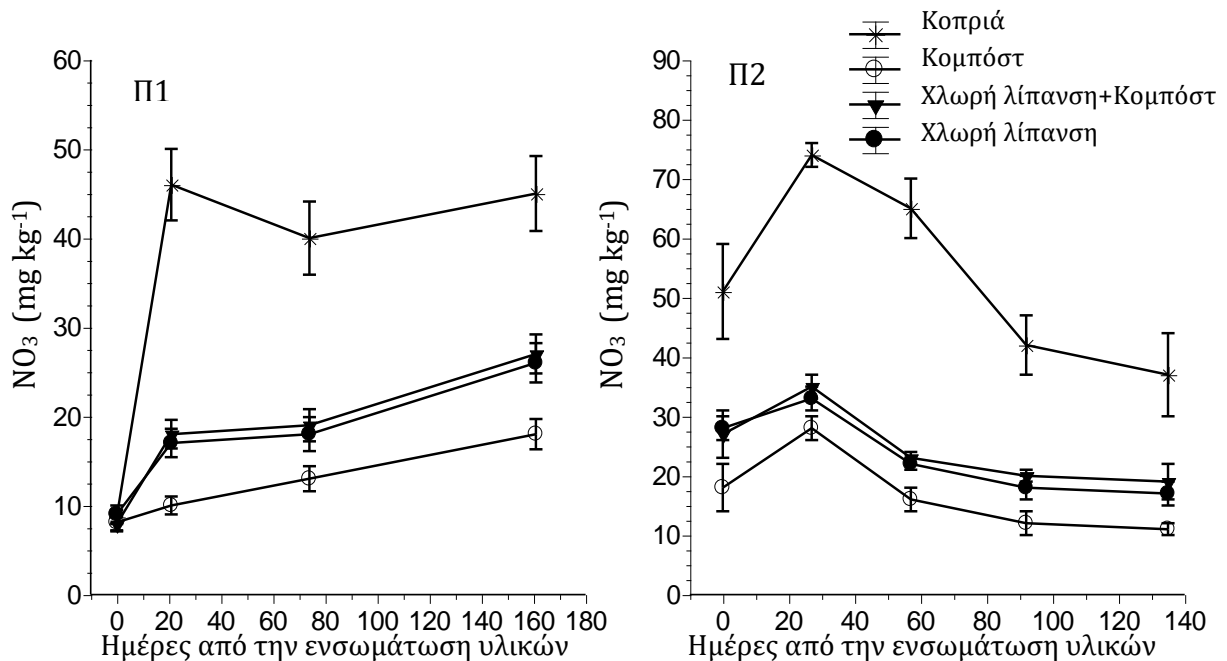
Μεταχείριση	C (%)	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
1^ο πείραμα				
Κοπριά	2,15 a	0,21 a	139 a	731 a
Κομπόστ	2,13 a	0,21 a	123 b	743 a
Χλωρή λίπανση	1,92 b	0,19 b	114 b	605 b
Χλωρή λίπανση +Κομπόστ	2,19 a	0,22 a	121 b	722 a
Σημαντικότητα διαφορών	*	*	*	**
2^ο πείραμα				
Κοπριά	2,71 a	0,22 a	167 a	756 a
Κομπόστ	2,75 a	0,23 a	132 b	783 a
Χλωρή λίπανση	2,01 b	0,20 b	112 c	556 b
Χλωρή λίπανση +Κομπόστ	2,81 a	0,24 a	130 b	763 a
Σημαντικότητα διαφορών	**	**	**	**

Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη και κάθε πείραμα υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p < 0,05). * και *** σημαντική σε p < 0.05 και p < 0.001, αντίστοιχα. ns = μη σημαντική.

Στη μεταχείριση με κοπριά σημειώθηκαν σημαντικά υψηλότερες τιμές NH₄-N σε σύγκριση με τις άλλες τρεις μεταχειρίσεις, σε όλες τις μετρήσεις και στα δύο πειράματα. Στις άλλες τρεις μεταχειρίσεις τα επίπεδα NH₄-N ήταν παρόμοια, εκτός από την πρώτη δειγματοληψία μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών (21 ΗΜΕΟΥ) του 1^{ου} πειράματος. Αυτή ήταν και μοναδική μέτρηση που σημειώθηκαν τιμές NH₄-N πάνω από 10 mg kg⁻¹ (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1 Επίδραση των μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στη συγκέντρωση $\text{NH}_4\text{-N}$ επί ξηρού εδάφους, σε διαδοχικές μετρήσεις μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών, σε δύο πειράματα (Π1, Π2) με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.



Σχήμα 4.2 Επίδραση των μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στη συγκέντρωση $\text{NO}_3\text{-N}$ επί ξηρού εδάφους, σε διαδοχικές μετρήσεις μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών, σε δύο πειράματα (Π1, Π2) με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.

Αντίστοιχα, η μεταχείριση με κοπριά οδήγησε στη μεγαλύτερη αύξηση $\text{NO}_3\text{-N}$ σε σχέση με τις άλλες τρεις μεταχειρίσεις, σε όλες τις δειγματοληψίες και στα

δύο πειράματα. Ενώ στην μεταχείριση με μόνο κομπόστ σημειώθηκαν οι χαμηλότερες τιμές NO₃-N σε σχέση με τις δύο μεταχειρίσεις με χλωρή λίπανση, σε όλες τις δειγματοληψίες και στα δύο πειράματα (Σχήμα 4.2).

4.3.3 Στοιχεία απόδοσης τομάτας

Η μεταχείριση με κοπριά σημείωσε τις μεγαλύτερες αποδόσεις σε καρπούς τομάτας, σε σχέση με τις άλλες τρεις μεταχειρίσεις και στα δύο πειράματα. Οι μεταχειρίσεις με χλωρή λίπανση είχαν παρόμοια απόδοση με αυτή με μόνο κομπόστ στο 1^ο πείραμα, αλλά είχαν σημαντικά υψηλότερη στο 2^ο πείραμα (Πίνακας 4.5). Οι διαφορές στην απόδοση οφειλόταν στον αριθμό αλλά και στο βάρος καρπών για το 1^ο πείραμα, ενώ μόνο στον αριθμό καρπών για το 2^ο πείραμα.

Πίνακας 4.5 Επίδραση των διαφορετικών βιολογικών λιπάνσεων στα στοιχεία απόδοσης τομάτας σε δύο διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.

Μεταχείριση	Απόδοση (g m ⁻²)	Αριθμός καρπών /στέλεχος	Μέσο βάρος καρπών (g)
1ο πείραμα			
Κοπριά	7249 a	16,0 a	213 a
Κομπόστ	4133 b	9,9 b	196 b
Χλωρή λίπανση	2759 b	7,0 b	185 c
Χλωρή λίπανση +Κομπόστ	3547 b	8,6 b	193 bc
Σημαντικότητα διαφορών	**	**	***
2ο πείραμα			
Κοπριά	7732 a	19,4 a	187
Κομπόστ	5048 c	13,1 c	181
Χλωρή λίπανση	6216 b	15,2 b	192
Χλωρή λίπανση +Κομπόστ	6413 b	15,8 b	190
Σημαντικότητα διαφορών	**	***	ns

Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη και κάθε πείραμα υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p <0,05). ** και *** σημαντική σε p<0.1 και p<0.001, αντίστοιχα· ns = μη σημαντική.

4.3.4. Ανάλυση φύλλων τομάτας

Η συγκέντρωση ολικού N στα φύλλα τομάτας της μεταχείρισης με κοπριά ήταν υψηλότερη από τις άλλες τρεις στο 1^ο πείραμα. Στο 2^ο πείραμα, στη μεταχείριση με κοπριά σημειώθηκε η μεγαλύτερη τιμή N, ενώ στη μεταχείριση με μόνο κομπόστ, η μικρότερη (Πίνακας 4.6). Η συγκέντρωση P στα φύλλα διαφοροποιήθηκε μόνο στο 1^ο πείραμα, όπου στις μεταχειρίσεις με τη χλωρή λίπανση βρέθηκαν σημαντικά χαμηλότερες τιμές. Η συγκέντρωση K στα φύλλα δεν επηρεάστηκε από καμία μεταχείριση στις δειγματοληψίες που έγιναν 75 ημέρες από τη μεταφύτευση και στα δύο πειράματα.

Πίνακας 4.6. Επιπτώσεις των διαφορετικών βιολογικών λιπάνσεων στις συγκεντρώσεις ολικού N, P και K στα φύλλα, σε δύο διαδοχικά πειράματα με βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.

Μεταχείριση	N (mg g ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)	K (mg g ⁻¹)
1^ο πείραμα			
Κοπριά	17,0 a	3,06 a	48
Κομπόστ	13,7 b	2,74 a	47
Χλωρή λίπανση	14,8 b	1,81 b	47
Χλωρή λίπανση +Κομπόστ	14,2 b	1,71 b	47
Σημαντικότητα διαφορών	*	**	ns
2^ο πείραμα			
Κοπριά	19,3 a	2,03	52
Κομπόστ	13,1 c	2,27	48
Χλωρή λίπανση	14,7 b	2,14	51
Χλωρή λίπανση +Κομπόστ	14,8 b	2,09	47
Σημαντικότητα διαφορών	**	ns	ns

Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη και κάθε πείραμα υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p <0,05). * και ** σημαντική σε p<0.05 και p<0.1, αντίστοιχα. ns = μη σημαντική.

4.3.5. Εκτίμηση της προσβολής από νηματώδεις σκώληκες

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.7, ο δείκτης κομβολογιάσματος των ριζών της τομάτας στο 1^ο πείραμα ήταν σημαντικά υψηλότερος, όταν η βιομάζα αμπελοφάσουλων ενσωματώθηκε στο έδαφος ως χλωρή λίπανση, είτε μόνη της, είτε σε συνδυασμό με κομπόστ, σε σύγκριση με τη εφαρμογή μόνο κομπόστ ή

κοπριάς. Στο 2^ο πείραμα ο δείκτης κομβολογιάσματος των ριζών ήταν πολύ μικρός σε όλα τα τεμάχια, χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Πίνακας 4.7. Επιδράσεις των μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στην προσβολή από νηματώδεις σε φυτά τομάτας που καλλιεργούνται σε θερμοκήπιο στο 1^ο πείραμα.

Μεταχειρίσεις	Δείκτης κομβολογιάσματος
Κοπριά	5,1 b
Κομπόστ	5,3 b
Χλωρή λίπανση	7,5 a
Χλωρή λίπανση +Κομπόστ	7,3 a
Σημαντικότητα διαφορών	***

Ο δείκτης κομβολογιάσματος των ριζών υπολογίστηκε σύμφωνα με τους Bridge and Page (1982) σε κλίμακα 1-10 (1 = χωρίς μόλυνση · 10 = πλήρως μολυσμένο).

Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p <0,05)· *** σημαντική σε p <0,001

4.4 Συζήτηση

4.4.1 Βιομάζα ψυχανθών και βιολογική αζωτοδέσμευση

Η ποσότητα του N που δεσμεύεται συμβιωτικά από μια καλλιέργεια ψυχανθών και εμπλουτίζει το έδαφος μετά την ενσωμάτωση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και μπορεί να κυμαίνεται από 1,7 έως 20 kg/στρ, όπως έχουν δείξει πολλοί ερευνητές (Cavigelli et al., 2008; Reinbott et al., 2004; Rochester et al., 1998). Σε αυτό το πείραμα, η ποσότητα βιομάζας που παράχθηκε από το αμπελοφάσουλο σε δίμηνη καλοκαιρινή καλλιέργεια ήταν αρκετά ικανοποιητική. Επιπλέον, το %Ndfa που επιτεύχθηκε ήταν υψηλότερο από αυτό που αναφέρεται από τους Peoples et al. (2009), πιθανώς λόγω του χαμηλού επιπέδου ανόργανου N που υπήρχε στο έδαφος. Ως αποτέλεσμα ένα σημαντικό ποσό συμβιωτικά δεσμευμένου N₂ (14 kg/στρ) ενσωματώθηκε στο έδαφος που ήταν ελαφρώς χαμηλότερο από τη μέγιστη ποσότητα N (17 kg/στρ.) που επιτρέπεται να εφαρμόζεται μέσω κοπριάς σε βιολογικές καλλιέργειες, βάσει του σχετικού Καν. (EC) 889/2008.

Το %Ndfa του κουκιών μετρήθηκε, επίσης, σε υψηλά επίπεδα σε σχέση με αυτά που αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Denton et al., 2017; Peoples et al., 2009). Από την άλλη πλευρά, τα κουκιά ως συγκαλλιέργεια με την τομάτα δεν παρήγαγαν επαρκή βιομάζα. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στην παρέμποδιση της

ηλιακής ακτινοβολίας από το φύλλωμα της καλλιέργειας τομάτας, καθώς τα κουκιά σπάρθηκαν 85 ημέρες από τη μεταφύτευση της τομάτας. Επιπλέον, η ηλιοφάνεια ήταν ήδη περιορισμένη λόγω της μικρής ημέρας και του νεφελώδους ουρανού, την εποχή φθινόπωρου-χειμώνα που αναπτύχθηκαν τα κουκιά. Τέλος, η πυκνότητα σποράς των κουκιών ήταν αρκετά χαμηλή 10,67 φυτά/m². Έτσι, το BNF κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα και στις δύο μεταχειρίσεις, περίπου στο 1,5 kg/στρ.

4.4.2 Μετρήσεις στο έδαφος

Η επίδραση της χλωρής λίπανσης στο ολικό εδαφικό N ήταν σημαντικά χαμηλότερη από αυτές της κοπριάς ή του κομπόστ. Όπως ανέφεραν οι Peoples et al. (1995), η επίδραση της χλωρής λίπανσης με ψυχανθή στο ολικό N του εδάφους δεν είναι πάντα εύκολο να καθοριστεί. Επίσης, σύμφωνα με τους Sainju et al. (2001) επαναλαμβανόμενες εφαρμογές πράσινης κοπριάς είναι απαραίτητες για την εμφάνιση σημαντικών διαφορών στο οργανικό έδαφος C και N ως σωρευτικό αποτέλεσμα.

Όπως ήταν αναμενόμενο, οι χαμηλότερες τιμές διαθέσιμου εδαφικού P και K καταγράφηκαν στη μεταχείριση με μόνο χλωρή λίπανση, καθώς κανένα άλλο θρεπτικό στοιχείο, εκτός από το βιολογικά δεσμευμένο N, δεν προστίθεται στο έδαφος. Παρόλα αυτά, οι συγκεντρώσεις P και K σε όλες τις μεταχειρίσεις και στα δύο πειράματα ήταν επαρκείς για την καλλιέργεια της τομάτας, σύμφωνα με τους Gianquinto et al. (2013) και Sainju et al. (2003a).

Η αύξηση του επιπέδου NH₄-N του εδάφους από 2,5-3,5 mg kg⁻¹ τον Ιούλιο σε 10-19 mg kg⁻¹ τον Αύγουστο σε όλες τις μεταχειρίσεις (Πίνακας 4.5) αποδίδεται στην έντονη ανοργανοποίηση της οργανικής ύλης που ενσωματώθηκε στο έδαφος, τρεις εβδομάδες πριν. Η υγρασία του εδάφους και η υψηλή θερμοκρασία που επικράτησε τον Αύγουστο, επιτάχυνε την ανοργανοποίηση οργανικής ύλης. Στη συνέχεια, η συγκέντρωση NH₄-N του εδάφους μειώθηκε σε τιμές κάτω από 10 mg kg⁻¹ σε όλες τις μεταχειρίσεις λόγω της αυξανόμενης πρόσληψης από τα φυτά της τομάτας. Επιπλέον, σε μη όξινα, καλά αεριζόμενα εδάφη με ικανοποιητική μικροβιακή δραστηριότητα, το NH₄-N που προέρχεται από ανοργανοποίηση οργανικής ύλης μετατρέπεται γρήγορα σε NO₃-N μέσω της διαδικασίας νιτροποίησης (Barnard et al., 2005; Li et al., 2020;

Pandey et al., 2018). Η περαιτέρω μείωση στα 1-2 mg kg⁻¹ τον Ιανουάριο αποδίδεται στη μειωμένη ανοργανοποίηση της οργανικής ύλης λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών του εδάφους. Μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών στο 2^ο πείραμα το επίπεδο του NH₄-N αυξήθηκε και πάλι αλλά χωρίς σε καμία δειγματοληψία να ξεπεράσει τα 10 mg kg⁻¹. Η σταθερά μεγαλύτερη συγκέντρωση NH₄-N στη μεταχείριση με κοπριά σε όλες τις δειγματοληψίες, προφανώς, αντικατοπτρίζει την υψηλότερη παροχή διαθέσιμου στα φυτά N που επέφερε η συγκεκριμένη μεταχείριση.

Το επίπεδο του NO₃-N αυξήθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις στο 1^ο πείραμα, τρεις εβδομάδες μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών, αλλά μόνο στη κοπριά προσέγγισε τιμές αποδεκτές για την αζωτούχο θρέψη της τομάτας (Bénard et al., 2009; Ren et al., 2010; Zotarelli et al., 2009). Ακόμα όμως και στη μεταχείριση με κοπριά, στην επόμενη δειγματοληψία, το NO₃-N ήταν μάλλον ανεπαρκές για τις ανάγκες της τομάτας σε N (Sainju et al., 2003a; van Eysinga, 1971). Η αύξηση των συγκεντρώσεων NO₃-N σε όλες τις μεταχειρίσεις τον Ιανουάριο αποδίδεται στη μειωμένη πρόσληψη των φυτών που ήταν στο τέλος της καλλιεργητικής τους περιόδου. Επιπλέον, το ριζικό σύστημα των φυτών είχε ζημιωθεί από νηματώδεις και συνεπώς είχε μειωμένη ικανότητα πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων.

Στο 2^ο πείραμα, η μεταχείριση κοπριάς οδήγησε σε τιμές NO₃-N εντός των επιθυμητών ορίων για την καλλιέργεια της τομάτας (Sainju et al., 2003a; van Eysinga, 1971), κατά τις δύο πρώτες δειγματοληψίες μετά την ενσωμάτωση. Στη συνέχεια (75 ΗΜΕΟΥ) όμως, η συγκέντρωση NO₃-N μειώθηκε σε ανεπαρκή επίπεδα. Στις άλλες τρεις μεταχειρίσεις, με ψυχανθή ή κομπόστ ή και το συνδυασμό τους, η συγκέντρωση NO₃-N σε όλες τις δειγματοληψίες και στα δύο πειράματα κυμάνθηκε κάτω από το επίπεδο επάρκειας. Στη μεταχείριση με κομπόστ μόνο καταγράφηκαν σταθερά χαμηλότερες τιμές NO₃-N σε σχέση με τις μεταχειρίσεις με ψυχανθή, υποδεικνύοντας ότι ο ρυθμός ανοργανοποίησής του ήταν σαφώς χαμηλότερος από της βιομάζα ψυχανθών και της κοπριάς (Baldwin, 2006; Nair and Delate, 2016).

4.4.3 Ανάπτυξη τομάτας και απόδοση

Ως αποτέλεσμα της χαμηλής διαθεσιμότητας ανόργανου εδαφικού N στο 1^ο πείραμα, συμπτώματα έλλειψης N, δηλ. φυτά με λεπτά στελέχη και ανοιχτό-πράσινο χρώμα φύλλων (Paradopoulos, 1991; Sainju et al., 2003a) εμφανίστηκαν σε όλες τις μεταχειρίσεις, ενώ ηπιότερα ήταν στη μεταχείριση με κοπριά. Επιπλέον, συμπτώματα λόγω της προσβολής του ριζικού συστήματος από νηματώδεις, όπως έλλειψη P, παρατηρήθηκαν κυρίως στις δύο μεταχειρίσεις με χλωρή λίπανση. Αυτές οι τροφοπενίες ανιχνεύτηκαν και στη δειγματοληψία φύλλων που έγινε 75 μέρες από τη μεταφύτευση. Έτσι, στη μεταχείριση με κοπριά η περιεκτικότητα των φύλλων σε ολικό N ήταν σημαντικά υψηλότερη από τις άλλες τρεις, αλλά κατώτερη των προτεινόμενων ορίων της βιβλιογραφίας (Gianquinto et al., 2013; Sainju et al., 2003a). Επιπλέον, στις δύο μεταχειρίσεις που περιείχαν χλωρή λίπανση, η περιεκτικότητα των φύλλων σε P ήταν κάτω του επιπέδου επάρκειας και σημαντικά χαμηλότερη από αυτή στις μεταχειρίσεις με κοπριά ή κομπόστ που ήταν επαρκής σύμφωνα με τους Gianquinto et al. (2013). Δεδομένης της επάρκειας διαθέσιμου P στο έδαφος, οι παραπάνω διαφορές αποδίδονται στη μεγαλύτερη ένταση προσβολής από νηματώδεις στις μεταχειρίσεις με χλωρή λίπανση αμπελοφάσουλου (Πίνακας 4.9). Με βάση και την εικόνα των ριζών του αμπελοφάσουλου, η τοπική ποικιλία που καλλιεργήθηκε το καλοκαίρι του 2017 αποδείχθηκε ευαίσθητη στους κομβονηματώδεις και οδήγησε στον πολλαπλασιασμό τους και στη εντονότερη προσβολή της επόμενης καλλιέργειας τομάτας. Από την άλλη πλευρά, η συγκέντρωση K των φύλλων ήταν παρόμοια σε όλες τις μεταχειρίσεις και θεωρήθηκε επαρκής (Gianquinto et al., 2013; Sainju et al., 2003a), σε αναλογία με τη διαθεσιμότητα του συγκεκριμένου θρεπτικού στοιχείου στο έδαφος.

Σε επιβεβαίωση των παραπάνω, η παραγωγή καρπών τομάτας στη μεταχείριση με κοπριά ήταν αισθητά υψηλότερη από τις άλλες τρεις μεταχειρίσεις που είχαν παρόμοια απόδοση. Ουσιαστικά, τα φυτά τομάτας στις δύο μεταχειρίσεις με χλωρή λίπανση δεν κατάφεραν να εκμεταλλευτούν το περισσότερο διαθέσιμο N που υπήρχε στο έδαφος σε σχέση με τη μεταχείριση με κομπόστ μόνο και να το μετατρέψουν σε μεγαλύτερη παραγωγή καρπών, λόγω της σοβαρότερης προσβολής του ριζικού τους συστήματος από τους

νηματώδεις. Το πλεονέκτημα στην απόδοση για τη μεταχείριση κοπριάς οφειλόταν και στον αριθμό ανά φυτό και στο μέσο βάρος των καρπών, ενώ στη μεταχείριση με μόνο χλωρή λίπανση σημειώθηκε το μικρότερο μέσο βάρος καρπών.

Στο 2^ο πείραμα, τα φυτά στις μεταχειρίσεις με κομπόστ ή/και χλωρή λίπανση συνέχισαν να αντιμετωπίζουν ανεπάρκεια N και να εμφανίζουν ανάλογα συμπτώματα, σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Στη μεταχείριση κοπριάς για τους δύο πρώτους μήνες το έδαφος ήταν επαρκώς εφοδιασμένο (Gianquinto et al., 2013; Sainju et al., 2003a) και τα φυτά είχαν αντίστοιχη εμφάνιση. Στη συνέχεια, όμως, το επίπεδο διαθέσιμου N μειώθηκε και τα φυτά εμφάνισαν συμπτώματα έλλειψης N και σε αυτή τη μεταχείριση. Η δειγματοληψία φύλλων που έγινε 75 ημέρες από τη μεταφύτευση επιβεβαίωσε αυτή την έλλειψη, καθώς η περιεκτικότητα σε ολικό N μετρήθηκε σε επίπεδα ανεπάρκειας. Το N των φύλλων στη μεταχείριση κοπριάς ήταν σημαντικά υψηλότερο από ότι στις άλλες 3 μεταχειρίσεις, αντικατοπτρίζοντας τη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα N στο έδαφος. Οι τιμές του P και K στα φύλλα, σε όλες τις μεταχειρίσεις ήταν εντός των επιθυμητών ορίων (Gianquinto et al., 2013; Sainju et al., 2003a), σε αντιστοιχία με την επάρκεια αυτών των στοιχείων στο έδαφος.

Και στο 2^ο πείραμα, στη μεταχείριση με κοπριά καταγράφηκε η υψηλότερη απόδοση σε καρπούς τομάτας. Όμως, οι μεταχειρίσεις με χλωρή λίπανση σημείωσαν αισθητά μεγαλύτερη παραγωγή από τη μεταχείριση με κομπόστ. Πράγματι, σε αυτό το πείραμα αντιμετωπίστηκε με επιτυχία η προσβολή από νηματώδεις και έτσι τα φυτά τομάτας κατάφεραν να εκμεταλλευτούν τη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα εδαφικού N και να αυξήσουν την καρποφορία τους. Οι διαφορές στην απόδοση οφειλόταν, αποκλειστικά, στον αριθμό καρπών ανά φυτό και όχι στο μέγεθος των καρπών.

4.5 Συμπεράσματα

Η χλωρή λίπανση με δίμηνη καλοκαιρινή καλλιέργεια αμπελοφάσουλου μπορεί να προσφέρει στην επόμενη καλλιέργεια τομάτας μια σημαντική ποσότητα συμβιωτικά δεσμευμένου N, που είναι λίγο χαμηλότερη από τη

μέγιστη ποσότητα N που επιτρέπεται να εφαρμοστεί μέσω ζωικής κοπριάς στη βιολογική γεωργία.

Αντίθετα, η συγκαλλιέργεια κουκιού με την τομάτα για ενσωμάτωση της βιομάζας δεν πρόσφερε αξιόλογη ποσότητα N στην επόμενη καλλιέργεια τομάτας, κυρίως λόγω των περιορισμών που υπήρχαν στη διαθέσιμη έκταση για ανάπτυξη αλλά και στη ανεπαρκή ηλιακή ακτινοβολία, κάτω από τις συνθήκες που δοκιμάστηκε.

Παρά το πλεονέκτημα που προσφέρει η χλωρή λίπανση με ψυχανθή στην αζωτούχο λίπανση, είναι πιθανό να αυξήσει τους κινδύνους που αφορούν την υγεία των φυτών, όπως συνέβη με την προσβολή από νηματώδεις σε αυτή την πειραματική ενότητα. Επιπλέον, η εφαρμογή κοπριάς φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματική στην παροχή ανόργανου N στα φυτά τομάτας και επομένως στην αύξηση της παραγωγής καρπών από τη χλωρή λίπανση, η οποία δείχνει να υπερτερεί σε σχέση με την εφαρμογή μόνο κομπόστ.



Εικόνα 4.2 Πάνω, εγκατάσταση και κάτω, ανάπτυξη καλλιέργειας τομάτας

5. Αξιολόγηση της συνεισφοράς μίας προηγηθείσας καλλιέργειας ψυχανθών για παραγωγή νωπών λοβών ή για χλωρή λίπανση στην αζωτούχο θρέψη μίας βιολογικής καλλιέργειας τομάτας στο θερμοκήπιο (3^η Πειραματική Ενότητα)

5.1 Δομή και στόχοι 3^{ης} Πειραματικής Ενότητας

Το παρόν πείραμα πραγματοποιήθηκε για να προσδιοριστεί εάν η αζωτούχος θρέψη, η ανάπτυξη και η απόδοση της βιολογικής τομάτας θερμοκηπίου μπορεί να βελτιωθεί ουσιαστικά, όταν η προηγούμενη καλλιέργεια είναι ψυχανθή που καλλιεργούνται για συγκομιδή νωπών λοβών ή για χλωρή λίπανση. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, η τομάτα καλλιεργήθηκε βιολογικά σε ένα θερμοκήπιο κατά την περίοδο Φεβρουαρίου-Ιουνίου, μετά από καλλιέργεια φθινοπώρου-χειμώνα τριών εναλλακτικών ειδών ψυχανθών. Δύο από τα υπό έρευνα είδη ψυχανθών, το φασόλι και το αμπελοφάσουλο, προορίζονταν για τη συγκομιδή χλωρού λοβού, ενώ το κουκί ενσωματώθηκε στο έδαφος για χλωρή λίπανση. Αξιολογήθηκε η συνεισφορά των ψυχανθών (i) στο ολικό N του εδάφους, (ii) στο ανόργανο εδαφικό N, (iii) στην αζωτούχο θρέψη των φυτών της τομάτας και (iv) στην παραγωγή καρπών της καλλιέργειας τομάτας.

5.2 Υλικά και μέθοδοι

Σε αυτό το πείραμα, εφαρμόστηκαν τέσσερις διαφορετικές μεταχειρίσεις για να διαπιστωθεί η επίδραση της καλλιέργειας των ψυχανθών στην επόμενη καλλιέργεια βιολογικής τομάτας (Πίνακας 5.1). Συγκεκριμένα, στις μεταχειρίσεις 1 και 2, το αμπελοφάσουλο και το φασόλι, αντίστοιχα, καλλιεργήθηκαν ως προσοδοφόρες καλλιέργειες που προορίζονταν για τη συγκομιδή χλωρών λοβών κατά το φθινόπωρο-χειμώνα του 2018. Στις μεταχειρίσεις 3 και 4 καλλιεργήθηκε κουκί και ενσωματώθηκε στο έδαφος πριν από την άνθηση, ως χλωρή λίπανση. Οι μεταχειρίσεις 3 και 4 ήταν πανομοιότυπες στο στάδιο της καλλιέργειας των ψυχανθών και στη συνέχεια διαφοροποιήθηκαν

εφαρμόζοντας διαφορετικές πηγές οργανικού υλικού, κοπριά και κομπόστ, αντίστοιχα, πριν από την εγκατάσταση της καλλιέργειας τομάτας.

Πίνακας 5.1. Περιγραφή των μεταχειρίσεων που εφαρμόστηκαν για τη δοκιμή της επίδρασης των ψυχανθών στην επόμενη καλλιέργεια βιολογικής τομάτας.

A/A	Συντομογραφία μεταχείρισης	Περιγραφή μεταχείρισης
Καλλιέργεια ψυχανθών		
1.	AΦ	Αμπελοφάσουλο (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) εμβολιασμένο με <i>Bradyrhizobium</i> sp. VULI11 και PGPR ¹ για συγκομιδή χλωρών λοβών
2.	KΦ	Φασόλι (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) εμβολιασμένο με <i>Rhizobium</i> sp. PVKA6 και PGPR ¹ για συγκομιδή χλωρών λοβών
3.	KK	Κουκί (<i>Vicia faba</i> L.) εμβολιασμένο με <i>Rhizobium</i> sp. VFLE1 και PGPR ¹ για ενσωμάτωση στο έδαφος ως χλωρή λίπανση
4.	KK	Κουκί (<i>Vicia faba</i> L.) εμβολιασμένο με <i>Rhizobium</i> sp. VFLE1 και PGPR ¹ για ενσωμάτωση στο έδαφος ως χλωρή λίπανση
Καλλιέργεια τομάτας		
1.	ZK+AΦ	Ζωική κοπριά & υπολείμματα αμπελοφάσουλου
2.	ZK+KΦ	Ζωική κοπριά & υπολείμματα φασολιού
3.	ZK+KK	Ζωική κοπριά & κουκί ως χλωρή λίπανση
4.	KO+KK	Κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου & κουκί ως χλωρή λίπανση

¹: Μείγμα *Enterobacter* sp. C1.2, *Enterobacter* sp. C1.5, *Enterobacter* sp. C3.1, και *Lelliottia* sp. D2.4.

Στη μεταχείριση 1, οι σπόροι του αμπελοφάσουλου εμβολιάστηκαν με *Bradyrhizobium* sp. VULI11 (Tampakaki et al., 2017a) και ριζοβακτηρίων που, πιθανώς, προάγουν την ανάπτυξη φυτών (PGPR), όπως στο Κεφάλαιο 3. Στη μεταχείριση 2, οι σπόροι του κοινού φασολιού εμβολιάστηκαν με *Rhizobium* sp. PVKA6 και PGPR, ενώ στις μεταχειρίσεις 3 και 4 οι σπόροι του κουκιού εμβολιάστηκαν με *Rhizobium* sp. VFLE1 (Efstathiadou et al., 2020) και PGPR.

Τα υπολείμματα καλλιέργειας του αμπελοφάσουλου και του φασολιού στις μεταχειρίσεις 1 και 2, αντίστοιχα και ολόκληρη η βιομάζα του κουκιού στις μεταχειρίσεις 3 και 4 ενσωματώθηκαν στο έδαφος στα τέλη Ιανουαρίου 2019. Στις μεταχειρίσεις 1, 2 και 3, η κοπριά βοοειδών (ZK) που προερχόταν από εκτατική κτηνοτροφία εφαρμόστηκε την 1η Φεβρουαρίου 2019 με δόση 5 t/στρ.

Η κοπριά περιείχε 0,34% N, 0,15% P και 0,48% K και η ποσότητα που εφαρμόστηκε παρείχε 17 kg N ανά στρέμμα, με βάση τον κανονισμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης 889/2008. Στην μεταχείριση 4, εφαρμόστηκε κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου, που περιείχε 1,26% N, 0,08% P και 1,03% K, με δόση 3 t/στρ, το οποίο παρείχε 37,8 kg N/στρ. Τέσσερις επαναλήψεις εφαρμόστηκαν για κάθε μεταχείριση.



Εικόνα 5.1 Οι μεταχειρίσεις της 3ης Πειραματικής Ενότητας

Η καλλιέργεια τομάτας εγκαταστάθηκε 20 ημέρες μετά την ενσωμάτωση της βιομάζας των ψυχανθών και της κοπριάς ή του κομπόστ στο έδαφος. Το εμπορικό υβρίδιο τομάτας «Nissos F1» (Hazera seed Ltd.) εμβολιασμένο στο εμπορικό υποκείμενο «Maxifort F1» μεταφύτευτηκε στις 20 Φεβρουαρίου 2019. Όλα τα φυτά διαμορφώθηκαν με ένα στέλεχος και η πυκνότητα φύτευσης ήταν 2,13 φυτά/m². Τα φυτά τομάτας και ψυχανθών αρδεύτηκαν με στάγδην

άρδευση. Κατά τη διάρκεια της περιόδου καλλιέργειας, δεν δόθηκαν πρόσθετα λιπάσματα στα φυτά σε καμία μεταχείριση. Οι ακριβείς ημερομηνίες για την εγκατάσταση, την έναρξη της συγκομιδής και τον τερματισμό της κάθε καλλιέργειας παρέχονται στον Πίνακα 5.2. Πριν από την έναρξη των μεταχειρίσεων, εφαρμόστηκε ηλιοαπολύμανση για τον έλεγχο των εδαφογενών παθογόνων, η οποία ξεκίνησε στις 13 Ιουνίου και διήρκεσε έως τις 5 Σεπτεμβρίου 2018.

Πίνακας 5.2. Ημερομηνίες εγκατάστασης της καλλιέργειας, έναρξη της συγκομιδής και λήξη της καλλιέργειας για τα ψυχανθή και την καλλιέργεια τομάτας.

Καλλιέργεια	Εγκατάσταση	Έναρξη συγκομιδής	Τέλος καλλιέργειας
Αμπελοφάσουλο	12/09/2018	22/11/2018	31/01/2019
Φασόλι	12/09/2018	02/11/2018	31/01/2019
Κουκί	25/09/2018	-	31/01/2019
Τομάτα	20/02/2019	21/05/2019	15/07/2019

Τα δεδομένα της βιομάζας από τις καλλιέργειες αμπελοφάσουλου και φασολιού χρησιμοποιήθηκαν περαιτέρω για τον προσδιορισμό του δείκτη συγκομιδής λοβών, ως ποσοστό της συγκομισθείσας βιομάζας λοβών, προς τη συνολική βιομάζα των λοβών και των φυτικών υπολειμμάτων. Ομοίως, ο δείκτης συγκομιδής N υπολογίστηκε ως το ποσοστό N που συσσωρεύτηκε στους λοβούς σε σχέση με το συνολικό N που συσσωρεύτηκε σε λοβό και υπολείμματα.

5.3 Αποτελέσματα

5.3.1 Βιολογική αζωτοδέσμευση, υπέργεια βιομάζα ψυχανθών και απόδοση

Το φασόλι είχε αισθητά μεγαλύτερη παραγωγή λοβών και φυτικών υπολειμμάτων σε σύγκριση με το αμπελοφάσουλο (Πίνακας 5.3). Ωστόσο, η νωπή και ξηρή βιομάζα του φασολιού και του αμπελοφάσουλου ήταν πολύ χαμηλότερη από την αντίστοιχη νωπή και ξηρή βιομάζα του κουκιού που ενσωματώθηκε στο έδαφος ως χλωρή λίπανση. Αυτή η μεγάλη διαφορά δεν οφειλόταν μόνο στους λοβούς που συλλέχθηκαν στην καλλιέργεια φασολιού και αμπελοφάσουλου, καθώς η συνολική βιομάζα τους, συμπεριλαμβανομένων των

λοβών, ήταν αισθητά χαμηλότερη από εκείνη του κουκιού. Ο δείκτης συγκομιδής λοβών του φασολιού ήταν υψηλότερος από εκείνο του αμπελοφάσουλου σε βάση νωπού βάρους, αλλά παρόμοιος μεταξύ των δύο ψυχανθών, όταν υπολογίστηκε σε ξηρό βάρος.

Πίνακας 5.3. Υπέργεια νωπή και ξηρή βιομάζα λοβών (ΒΛ), βιομάζα ενσωματωμένη στο έδαφος (ΒΕ) μετά τον τερματισμό της καλλιέργειας, συνολική παραγόμενη βιομάζα (ΒΣ) και δείκτης συγκομιδής (ΔΣ) σε καλλιέργειες φασολιού και αμπελοφάσουλου για συγκομιδή φρέσκου λοβού και κουκιού για χλωρή λίπανση.

	ΒΛ (g m⁻²)	ΒΕ (g m⁻²)	ΒΣ (g m⁻²)	ΔΣ (%)
Μεταχείριση	Νωπή βιομάζα			
Αμπελοφάσουλο	450 b	885 c	1335 c	33,7 b
Φασόλι	1660 a	2048 b	3708 b	44,8 a
Κουκί	-	7015 a	7015 a	-
Σημαντικότητα	***	***	***	*
	Ξηρή βιομάζα			
Αμπελοφάσουλο	43 b	79 c	122 c	35,2
Φασόλι	108 a	203 b	311 b	34,7
Κουκί	-	681 a	681 a	-
Σημαντικότητα	***	***	***	ns

Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p <0,05)· * και *** σημαντική σε p<0.05 και p<0.001, αντίστοιχα· ns = μη σημαντική.

Η συγκέντρωση N στους λοβούς του αμπελοφάσουλου ήταν υψηλότερη από του φασολιού, ενώ ήταν παρόμοια στα φυτικά υπολείμματα (Πίνακας 5.4). Και στα δύο ψυχανθή η συγκέντρωση N ήταν υψηλότερη στους λοβούς σε σύγκριση με τα φυτικά υπολείμματα. Η συνολική περιεκτικότητα σε N, που είναι το γινόμενο της συγκέντρωσης N επί της συνολικής ξηρής βιομάζας, ήταν σημαντικά υψηλότερη τόσο στους λοβούς, όσο και στα φυτικά υπολείμματα του φασολιού, σε σύγκριση με του αμπελοφάσουλου. Ωστόσο, η συνολική περιεκτικότητα σε N της βιομάζας κουκιού ήταν περίπου τρεις φορές υψηλότερη από αυτή της συνολικής βιομάζας φασολιών και περίπου επτά

φορές υψηλότερη από εκείνη της βιομάζας αμπελοφάσουλου. Το %Ndfa στη βιομάζα αμπελοφάσουλου (39,6%), ήταν σημαντικά υψηλότερο από εκείνο του φασολιού (18,2%), αλλά σημαντικά χαμηλότερο από της βιομάζας κουκιού (57%). Τέλος, η συνολική ποσότητα βιολογικά δεσμευμένου N στις μεταχειρίσεις αμπελοφάσουλου και φασολιού ήταν 1,51 και 1,65 g m⁻², αντίστοιχα, ενώ ήταν αισθητά υψηλότερη στη μεταχείριση με κουκί (15 g m⁻²). Ο δείκτης συγκομιδής N δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ κουκιού και φασολιού (44,8% και 43,4%, αντίστοιχα).

Πίνακας 5.4. Συνολικές συγκεντρώσεις N στους ιστούς των φυτών, ολικό N που παρέχεται στην επόμενη καλλιέργεια με ενσωμάτωση της βιομάζας ψυχανθών στο έδαφος, δείκτης συγκομιδής N (ΔΣΝ), ποσοστό N που προέρχεται από την ατμόσφαιρα στη βιομάζα ψυχανθών (%Ndfa) και συνολική ποσότητα βιολογικά δεσμευμένου N (BNF) ανά μονάδα έκτασης που καλλιεργείται με ψυχανθή.

Μεταχείριση	N ιστών (%)		Περιεχόμενο N (g m ⁻²)			ΔΣΝ	Ndfa	BNF
	Υπολείμματα	λοβοί	Υπολείμματα	λοβοί	Σύνολο	%	%	(g m ⁻²)
Αμπελοφάσουλο	2,67 b	3,97 a	2,11 b	1,71 b	3,82 c	44,8	39,6 b	1,51 b
Φασόλι	2,64 b	3,41 b	5,36 a	3,68 a	9,04 b	43,4	18,2 c	1,65 b
Κουκί	3,93 a	-	-	-	26,42 a	-	57,0 a	15,0 a
Σημαντικότητα	***	*	***	***	***	ns	***	***

Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p < 0,05). * και *** σημαντική σε p < 0,05 και p < 0,001, αντίστοιχα. ns = μη σημαντική.

5.3.2 Μετρήσεις στο έδαφος

Οι διαφορετικές μεταχειρίσεις λίπανσης που εφαρμόστηκαν στην βιολογική τομάτα θερμοκηπίου στην τρέχουσα μελέτη δεν είχαν σημαντική επίδραση στον οργανικό C, ολικό N, P (Olsen) και ανταλλάξιμο K του εδάφους σε όλη τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (Πίνακας 5.5). Μετά την εφαρμογή όλων των μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης, οι συγκεντρώσεις εδάφους C, N, P και K ήταν ελαφρώς υψηλότερες από εκείνες που μετρήθηκαν στην έναρξη του πειράματος, αλλά οι διαφορές ήταν σημαντικές μόνο για το K και P. Η ακόλουθη καλλιέργεια βιολογικής τομάτας δεν επηρέασε ουσιαστικά τις

συγκεντρώσεις C, ολικού N και P, αλλά μειώθηκε σημαντικά η συγκέντρωση ανταλλάξιμου K στο έδαφος.

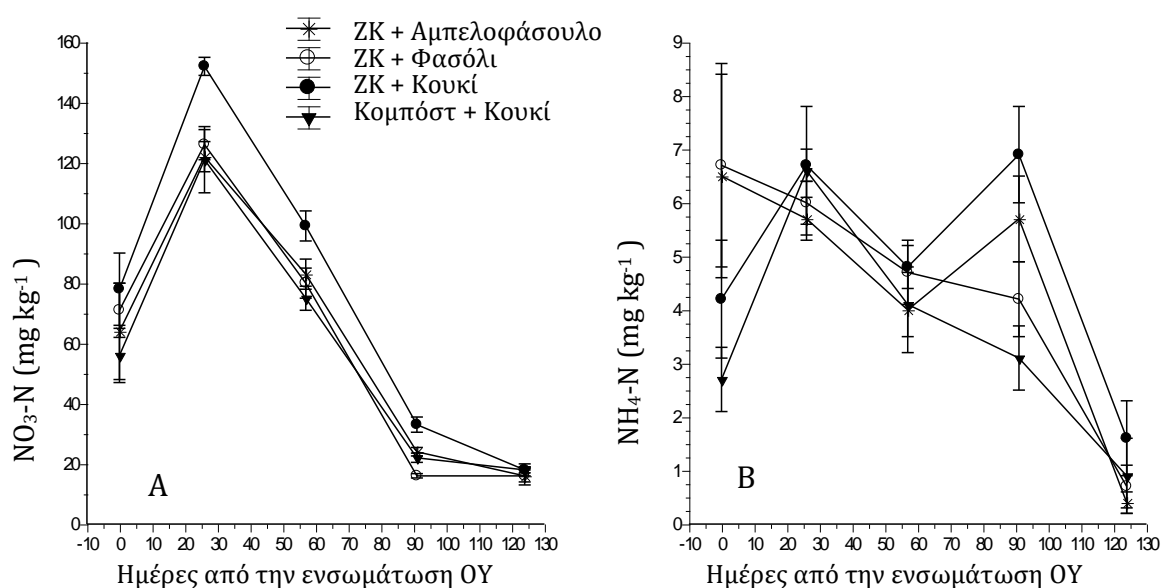
Πίνακας 5.5. Επιπτώσεις των διαφορετικών μεταχειρίσεων βιολογικής λίπανσης στις συγκεντρώσεις οργανικού C, ολικού N, διαθέσιμου P (Olsen) και ανταλλάξιμου K στο έδαφος.

Μεταχείριση	C	N	P	K
	%	%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
1^ο πείραμα: πριν τη σπορά των ψυχανθών				
ZK+υπολείμματα αμπελοφάσουλου	2,48	0,265	86,6	811
ZK+ υπολείμματα φασολιού	2,33	0,273	91,3	832
ZK+ χλωρή λίπανση κουκιού	2,41	0,270	86,3	811
KO+ χλωρή λίπανση κουκιού	2,36	0,260	92,1	784
Σημαντικότητα διαφορών	ns	ns	ns	ns
2^ο πείραμα: μετά τη φύτευση τομάτας				
ZK+υπολείμματα αμπελοφάσουλου	2,70	0,275	113	1038
ZK+ υπολείμματα φασολιού	2,63	0,281	116	1086
ZK+ χλωρή λίπανση κουκιού	2,57	0,283	122	1196
KO+ χλωρή λίπανση κουκιού	2,59	0,278	111	1141
Σημαντικότητα διαφορών	ns	ns	ns	ns
2^ο πείραμα: στο τέλος της καλλιέργειας τομάτας				
ZK+υπολείμματα αμπελοφάσουλου	2,64	0,264	109	825
ZK+ υπολείμματα φασολιού	2,55	0,271	110	853
ZK+ χλωρή λίπανση κουκιού	2,62	0,271	116	976
KO+ χλωρή λίπανση κουκιού	2,59	0,269	105	880
Σημαντικότητα διαφορών	ns	ns	ns	ns

ZK: ζωική κοπριά; KO: κομπόστ απόβλητων ελαιотριβείου. ns = μη σημαντική διαφορά σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan ($p < 0,05$)

Κατά την καλλιέργεια της τομάτας, η συγκέντρωση του εδαφικού NO₃-N αυξήθηκε σημαντικά σε όλες τις μεταχειρίσεις, 26 ημέρες μετά την ενσωμάτωση της οργανικής ύλης στο έδαφος (ΗΜΕΟΥ), αλλά μειώθηκε σταδιακά στη συνέχεια (Σχήμα 5.1Α). Η ενσωμάτωση της βιομάζας κουκιού στο έδαφος ως χλωρή λίπανση σε συνδυασμό με κοπριά, είχε ως αποτέλεσμα σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις NO₃-N στο έδαφος σε σύγκριση με τις άλλες τρεις

μεταχειρίσεις στις 26, 57 και 91 ΗΜΕΟΥ. Στις 91 ΗΜΕΟΥ η μεταχείριση με κοπριά και υπολείμματα φασολιού σημείωσε σημαντικά χαμηλότερη συγκέντρωση $\text{NO}_3\text{-N}$ σε σχέση με τις άλλες τρεις μεταχειρίσεις. Ωστόσο, λίγο πριν από την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών στο έδαφος και κατά τον τερματισμό της καλλιέργειας, το επίπεδο $\text{NO}_3\text{-N}$ στο έδαφος ήταν παρόμοιο σε όλες τις μεταχειρίσεις. Κατά την τελευταία δειγματοληψία (124 ΗΜΕΟΥ), η συγκέντρωση $\text{NO}_3\text{-N}$ ήταν κάτω από 19 mg kg^{-1} σε όλες τις διαφορετικές λιπάνσεις.



Σχήμα 5.1 Επίδραση διαφορετικών μεταχειρίσεων οργανικής λίπανσης στις συγκεντρώσεις $\text{NO}_3\text{-N}$ (Σχήμα Α) και $\text{NH}_4\text{-N}$ (Σχήμα Β) επί ξηρού εδάφους, κατά την καλλιέργεια βιολογικής τομάτας. ΖΚ: κοπριά, Κομπόστ: κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείων, ΟΥ: οργανικά υλικά

Η συγκέντρωση του εδαφικού $\text{NH}_4\text{-N}$ είχε διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου τομάτας, χωρίς όμως σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Σχήμα 5.1B). Συνολικά, το επίπεδο συγκέντρωσης $\text{NH}_4\text{-N}$ ήταν σχετικά χαμηλό σε όλες τις ημερομηνίες δειγματοληψίας και για όλες τις μεταχειρίσεις και κυμάνθηκε από 2 έως 7 mg kg^{-1} , ενώ στην τελευταία δειγματοληψία, η συγκέντρωση $\text{NH}_4\text{-N}$ μειώθηκε κάτω από $1,6 \text{ mg kg}^{-1}$ σε όλες τις μεταχειρίσεις.

5.3.3 Στοιχεία απόδοσης τομάτας

Όταν η προηγούμενη καλλιέργεια ψυχανθών ήταν κουκί για χλωρή λίπανση και συνδυάστηκε με εφαρμογή κοπριάς αύξησε την απόδοση της

τομάτας, σε σύγκριση με το συνδυασμό της με κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου (Πίνακας 5.6). Ωστόσο, η παραγωγή καρπών τομάτας μειώθηκε σημαντικά όταν η λίπανση με κοπριά συνδυάστηκε με ενσωμάτωση υπολειμμάτων αμπελοφάσουλου ή φασολιού στο έδαφος από καλλιέργειες που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκομιδή φρέσκων λοβών, σε σύγκριση με την χλωρή λίπανση με κουκί. Επιπλέον, η ενσωμάτωση υπολειμμάτων φασολιών στο έδαφος σημείωσε μικρότερη απόδοση σε καρπούς τομάτας, σε σύγκριση με την ενσωμάτωση υπολειμμάτων αμπελοφάσουλου. Η μείωση της απόδοσης οφειλόταν αποκλειστικά σε ανάλογη μείωση του αριθμού των καρπών τομάτας ανά φυτό, ενώ το μέσο βάρος των καρπών ήταν παρόμοιο σε όλες τις μεταχειρίσεις.

Πίνακας 5.6. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων οργανικής λίπανσης στα στοιχεία απόδοσης βιολογικής καλλιέργειας τομάτας θερμοκηπίου.

Μεταχείριση	Απόδοση kg m ⁻²	Αριθμός καρπών/φυτό	Μέσο βάρος καρπών
ZK+υπολείμματα αμπελοφάσουλου	14,5 b	28,3 b	241
ZK+ υπολείμματα φασολιού	11,4 c	22,8 c	235
ZK+ χλωρή λίπανση κουκιού	15,8 a	30,4 a	244
KO+ χλωρή λίπανση κουκιού	13,9 b	27,1 b	240
Σημαντικότητα διαφορών	***	***	ns

ZK: ζωική κοπριά; KO: κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου. Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p < 0,05). *** σημαντική σε p < 0,001. ns = μη σημαντική.



Εικόνα 5.2 Ωρίμανση και συγκομιδή τομάτας

5.3.4 Ανάλυση φύλλων τομάτας

Η υψηλότερη συγκέντρωση N στα φύλλα μετρήθηκε σε φυτά τομάτας που εφαρμόστηκε χλωρή λίπανση κουκιού σε συνδυασμό με κοπριά. Όταν η χλωρή λίπανση κουκιού συνδυάστηκε με κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου, η συγκέντρωση N στα φύλλα τομάτας ήταν σημαντικά χαμηλότερη από εκείνη που μετρήθηκε την παραπάνω μεταχείριση, αλλά παρόμοια με εκείνη που μετρήθηκε από την εφαρμογή κοπριάς μαζί με φυτικά υπολείμματα καλλιέργειας αμπελοφάσουλου για συγκομιδή λοβών. Τέλος, η ενσωμάτωση υπολειμμάτων φασολιού στο έδαφος μείωσε σημαντικά τη συγκέντρωση N φύλλων στην καλλιέργεια τομάτας σε σύγκριση με τις άλλες τρεις μεταχειρίσεις (Πίνακας 5.7). Από την άλλη πλευρά, οι συγκεντρώσεις φύλλων P και K δεν επηρεάστηκαν από καμία μεταχείριση λίπανσης στη βιολογική καλλιέργεια τομάτας.

Πίνακας 5.7. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων οργανικής λίπανσης στις συγκεντρώσεις N, P και K στα φύλλα βιολογικής καλλιέργειας τομάτας.

Μεταχείριση	N mg g ⁻¹	P mg g ⁻¹	K mg g ⁻¹
ZK+υπολείμματα αμπελοφάσουλου	27,4 b	3,21	71
ZK+ υπολείμματα φασολιού	25,2 c	3,25	72
ZK+ χλωρή λίπανση κουκιού	29,8 a	3,27	78
KO+ χλωρή λίπανση κουκιού	27,6 b	3,04	79
Σημαντικότητα διαφορών	**	ns	ns

ZK: ζωική κοπριά; KO: κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου. Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p < 0,05). ** σημαντική σε p < 0,01. ns = μη σημαντική.

5.4 Συζήτηση

5.4.1 Βιολογική αζωτοδέσμευση, υπέργεια βιομάζα ψυχανθών και ισοζύγιο N

Προκειμένου να υπολογιστεί το συμβιωτικά δεσμευμένο N, πρέπει να μετρηθούν τρεις τιμές, συγκεκριμένα, η συνολική ξηρή ουσία του φυτού που παράχθηκε ανά m², η συγκέντρωση N στον ιστό (N%) και το ποσοστό του N που

προέρχεται από το ατμοσφαιρικό N₂ (%Ndfa). Από αυτές τις τρεις παραμέτρους, η παραγωγή ξηράς ουσίας εμφανίζει τη μεγαλύτερη διακύμανση μεταξύ διαφορετικών ειδών και συστημάτων καλλιέργειας και είναι, επομένως, ο κύριος παράγοντας που διαφοροποιεί το συμβιωτικά δεσμευμένο N σε διαφορετικές καλλιέργειες ψυχανθών (M. Unkovich et al., 2008). Στην παρούσα μελέτη, το κουκί παρήγαγε πάνω από διπλάσια ξηρά ουσία από το φασόλι και πάνω από πενταπλάσια από το αμπελοφάσουλο. Αυτό οφείλεται πιθανώς σε διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της πυκνότητας των φυτών, η οποία ήταν σχεδόν τριπλάσια στα τεμάχια με κουκί που προορίζονταν για χλωρή λίπανση (11,7 φυτά/m²) σε σύγκριση με εκείνη που εφαρμόστηκε στις καλλιέργειες φασολιού και αμπελοφάσουλου (4,27 φυτά/m²). Επιπλέον, οι κλιματολογικές συνθήκες τους τελευταίους δύο μήνες των καλλιεργειών ψυχανθών ήταν πιο ευνοϊκές για το κουκί, παρά για το φασόλι και το αμπελοφάσουλο, καθώς το θερμοκήπιο δεν θερμαινόταν επαρκώς (Πίνακας 2.2). Τέλος, η βιομάζα από το κουκί ενσωματώθηκε στο έδαφος σε πιο κατάλληλο στάδιο, λίγο πριν από την άνθηση, ενώ τα υπολείμματα του φασολιού και αμπελοφάσουλου ενσωματώθηκαν μετά τη συγκομιδή όλων των λοβών. Το στάδιο ανάπτυξης των ψυχανθών έχει σημαντικό αντίκτυπο στη συσσώρευση N στους βλαστούς (Barker, 2010; Briggs, 2008). Έτσι, κατά το στάδιο της ενσωμάτωσης στο έδαφος, η συγκέντρωση N στους ιστούς του κουκιού ήταν σημαντικά υψηλότερη από ό,τι στο φασόλι και το αμπελοφάσουλο, τα οποία ήταν σε μεταγενέστερο στάδιο ανάπτυξης. Ένα σημαντικό μέρος του ολικού N που περιεχόταν στη φυτική βιομάζα απομακρύνθηκε με τη συγκομιδή των λοβών, στα πειραματικά τεμάχια αμπελοφάσουλου και φασολιού, μειώνοντας έτσι περαιτέρω την ποσότητα N που ενσωματώθηκε στο έδαφος. Έτσι, τελικά η ποσότητα N που προστέθηκε στο έδαφος μέσω της ενσωμάτωσης φυτικής βιομάζας στα τεμάχια κουκιού ήταν δέκα φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στα τεμάχια αμπελοφάσουλου και πέντε φορές μεγαλύτερη από του φασολιού. Η σημαντική διαφορά στο συνολικό N που προστέθηκε στο έδαφος με ενσωμάτωση υπολειμμάτων φασολιού κατά τον τερματισμό της καλλιέργειας σε σύγκριση με εκείνη που παρέχεται από τα υπολείμματα αμπελοφάσουλου οφειλόταν αποκλειστικά σε ανάλογες διαφορές στην παραγόμενη βιομάζα.

Το % Ndfa κυμάνθηκε χαμηλά σε όλες τις μεταχειρίσεις σε σύγκριση με τις τιμές που προσδιορίστηκαν για τα ίδια είδη ψυχανθών στις προηγούμενες Πειραματικές Ενότητες και πραγματοποιήθηκαν στο ίδιο έδαφος και με αυτές που έχουν αναφερθεί από άλλους ερευνητές (Herridge et al., 2008; Peoples et al., 2009). Αυτό αποδίδεται στην υψηλή συγκέντρωση ανόργανου N του εδάφους, ειδικά του NO₃-N, η οποία κυμαινόταν από 73 έως 95 mg kg⁻¹ όταν σπάρθηκαν τα ψυχανθή. Υψηλά επίπεδα διαθέσιμου για τα φυτά N (ΔΦN) συσσωρεύτηκαν κατά τη διάρκεια της ηλιοαπολύμανσης του εδάφους, η οποία εφαρμόστηκε για σχεδόν τρεις μήνες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού πριν από την εγκατάσταση των καλλιεργειών ψυχανθών. Οι συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας που επικράτησαν κατά τη διάρκεια της ηλιοαπολύμανσης του εδάφους ευνόησαν την ανοργανοποίηση N, ενώ η απουσία φυτών κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου διατήρησε το παραγόμενο ανόργανο N διαθέσιμο για την επόμενη καλλιέργεια. Είναι καλά τεκμηριωμένο (Barker, 2010; Peoples et al., 2009; Zahran, 1999) ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις ανόργανου N στο έδαφος αναστέλλουν τον αποικισμό των ριζών των ψυχανθών με ριζόβια και περιορίζουν τη συμβιωτική δέσμευση N₂. Ωστόσο, το % Ndfa του κουκιού ήταν σημαντικά υψηλότερο από αυτό που βρέθηκε στα άλλα δύο ψυχανθή, πιθανώς λόγω της υψηλής πυκνότητας των φυτών κουκιού, καθώς αυτή η καλλιέργεια προοριζόταν για εφαρμογή χλωρής λίπανσης. Κατά συνέπεια, αν και το επίπεδο ανόργανου N στο έδαφος ήταν το ίδιο για όλα τα ψυχανθή κατά την εγκατάσταση των καλλιεργειών, η ποσότητα N σε σχέση με τις συνολικές ανάγκες των φυτών ήταν μικρότερη στο κουκί και επομένως ήταν λιγότερο περιοριστική για τον αποικισμό ριζοβίων από ότι στα άλλα δύο ψυχανθή. Ένας επιπρόσθετος λόγος είναι ότι η ικανότητα BNF του κουκιού δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από το επίπεδο ανόργανου N στο έδαφος, πιθανώς επειδή αυτό το φυτό έχει σχετικά χαμηλή αποτελεσματικότητα στην εκμετάλλευση του εδαφικού N (Herridge et al., 2008; Peoples et al., 2009; Stagnari et al., 2017). Επιπλέον, η ικανότητα δέσμευσης N₂ του φασολιού είναι γενικά χαμηλότερη από αυτή των άλλων ψυχανθών, σύμφωνα με διάφορες μελέτες (Karavidas et al., 2020; Peoples et al., 2009; M. Unkovich et al., 2008). Η παρούσα μελέτη επιβεβαίωσε τη μικρότερη ικανότητα δέσμευσης N₂ του φασολιού, καθώς το % Ndfa σε αυτό το ψυχανθές ήταν αισθητά χαμηλότερο από εκείνη που βρέθηκε

στο αμπελοφάσουλο και το κουκί. Η ποσότητα του συμβιωτικά δεσμευμένου N ανά μονάδα καλλιεργούμενης έκτασης που χορηγήθηκε στην επόμενη καλλιέργεια με την ενσωμάτωση του κουκιού στο έδαφος, ως χλωρή λίπανση, ανήλθε στα 15 g m⁻². Αυτό το επίπεδο είναι ελαφρώς χαμηλότερο από τα 19 g m⁻² που βρέθηκαν από τους Ntatsi et al. (2018) σε μια καλλιέργεια για συγκομιδή φρέσκου λοβού, αλλά παρόμοια με αυτήν που ανέφεραν οι Stagnari et al. (2017). Σε σύγκριση με τα άλλα δύο ψυχανθή, η ποσότητα του συμβιωτικά δεσμευμένου N₂ που συσσωρεύτηκε από το κουκί ήταν δέκα φορές υψηλότερη από εκείνη του αμπελοφάσουλου και του φασολιού, που ήταν σε παρόμοιο επίπεδο. Αυτό αποδίδεται όχι μόνο στο υψηλότερο % Ndfa του κουκιού αλλά και στην σημαντικά υψηλότερη βιομάζα που παρήγαγε αυτό το ψυχανθές.

Η ηλιοαπολύμανση του εδάφους αυξάνει τα επίπεδα ΔΦN στο έδαφος λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επιταχύνουν την ανοργανοποίηση του N, και συνεπώς η εφαρμογή της μετά από μια καλλιέργεια απαιτητική για N, όπως η τομάτα που εξαντλεί την δεξαμενή ΔΦN στο έδαφος είναι ιδιαίτερα ευεργετική. Ωστόσο, η απελευθέρωση ΔΦN μέσω της ηλιοαπολύμανσης του εδάφους απαιτεί την παρουσία οργανικής ύλης με χαμηλή αναλογία C/N στο έδαφος. Η παρούσα μελέτη έδειξε ότι αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με την εισαγωγή μιας καλλιέργειας ψυχανθών σε ένα ετήσιο σχήμα αμειψισποράς με τομάτα. Η καλλιέργεια ψυχανθών μπορεί να καλλιεργηθεί, είτε για τη συγκομιδή λοβών είτε για χλωρή λίπανση, η οποία είναι χρήσιμη ιδιαίτερα σε άγονα εδάφη, όπως έχει αναφερθεί από τους Thönnissen et al. (2000). Επιπλέον, ψυχανθή που διατηρούν υψηλό % Ndfa ακόμη και σε υψηλές συγκεντρώσεις ΔΦN στο έδαφος, όπως το κουκί, μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως φαίνεται τόσο στο τρέχον πείραμα όσο και σε προηγούμενες μελέτες (Peoples et al., 2009; Stagnari et al., 2017). Τέλος, σε υψηλές συγκεντρώσεις ΔΦN στο έδαφος, η αποτελεσματικότητα της δημιουργίας φυματίων μπορεί να επηρεάζεται και από την ποικιλία ενός συγκεκριμένου είδους ψυχανθών, που μπορεί να αλληλεπιδράσει επίσης με τα στελέχη ριζοβίων, όπως αναφέρεται από τους Peoples et al. (2009).

Ο δείκτης συγκομιδής του φασολιού και του αμπελοφάσουλου ήταν μάλλον χαμηλός, σε σύγκριση με αυτόν που βρέθηκε σε άλλες μελέτες (Jensen et al., 2010; Oliveira et al., 2019) και αυτό οδήγησε σε χαμηλό δείκτη συγκομιδής N.

Η τελική συμβολή των ψυχανθών στο ισοζύγιο N του εδάφους εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ του % Ndfa και του δείκτη συγκομιδής N. Επομένως, στην περίπτωση του φασολιού, στο οποίο το % Ndfa είναι αισθητά χαμηλότερο από το δείκτη συγκομιδής N, το ισοζύγιο N του εδάφους ήταν αρνητικό, ενώ για το αμπελοφάσουλο ήταν ουδέτερο. Φυσικά, η συνεισφορά της υπόγειας βιομάζας ψυχανθών στο ισοζύγιο N πρέπει να ληφθεί υπόψη (φυμάτια, ρίζα και εκκρίσεις της), η οποία εκτιμάται σε περίπου 30% της υπέργειας ποσότητας N (Herridge et al., 2008; Peoples et al., 2009; Ruisi et al., 2017). Ωστόσο, το ισοζύγιο N του φασολιού παραμένει αρνητικό, ακόμη και αν ληφθεί υπόψη το N που συνεισφέρει η συμβιωτική δέσμευση μέσα στο έδαφος. Έτσι, η χαμηλότερη συγκέντρωση εδαφικού N και παραγωγής καρπών τομάτας μετά από φασόλι, σε σύγκριση με το αμπελοφάσουλο, αποδίδεται στη διαφορά μεταξύ του N που συνείσφερε η συμβιωτική αζωτοδέσμευση και του N που απομακρύνθηκε κατά τη συγκομιδή των λοβών.

5.4.2 Μετρήσεις στο έδαφος

Οι συγκεντρώσεις $\text{NH}_4\text{-N}$ ήταν αρκετά χαμηλές σε όλες τις δειγματοληψίες και οι διαφορές μεταξύ όλων των μεταχειρίσεων ήταν ασήμαντες. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς σε μη όξινα, καλά αεριζόμενα και με υψηλή μικροβιακή δραστηριότητα εδάφη, ο ρυθμός νιτροποίησης του NH_4 είναι υψηλός (Barnard et al., 2005; Li et al., 2020; Pandey et al., 2018). Αντιθέτως, οι συγκεντρώσεις $\text{NO}_3\text{-N}$ ήταν αρκετά υψηλές πριν από την ενσωμάτωση της οργανικής ύλης, υποδηλώνοντας τη μερική εκμετάλλευση του ΔFN από τα ψυχανθή. Πράγματι, όπως έχουν δείξει αρκετές μελέτες (Oliveira et al., 2019; Peoples et al., 2009; Thorup-Kristensen et al., 2003), η καλλιέργεια ψυχανθών δεν εξαντλεί την δεξαμενή ανόργανου εδαφικού N, όπως συμβαίνει με άλλα φυτά και ειδικά τα δημητριακά. Σε συνθήκες θερμοκηπίου, η έκπλυση των νιτρικών αλάτων είναι ασήμαντη, καθώς δεν υφίστανται κατακρημνίσεις και η άρδευση μπορεί να ελεγχθεί πλήρως. Η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης NO_3 στο έδαφος 26 ΗΜΕΟΥ σε όλες τις μεταχειρίσεις αντικατοπτρίζει τα υψηλά ποσοστά ανοργανοποίησης που προκύπτουν τις πρώτες εβδομάδες μετά την ενσωμάτωση της βιομάζας ψυχανθών στο έδαφος (Lenzi et al., 2009; Sullivan and Andrews, 2012; Thorup-Kristensen et al., 2003). Ωστόσο, τα επίπεδα του

NO₃-N ήταν υψηλότερα από το βέλτιστο εύρος που προτείνεται για την καλλιέργεια τομάτας στη βιβλιογραφία (Sainju et al., 2003a; van Eysinga, 1971). Στις 57 ΗΜΕΟΥ, η συγκέντρωση NO₃-N ήταν στο βέλτιστο εύρος, αλλά μετά στις 91 ΗΜΕΟΥ έπεσε σε χαμηλότερο επίπεδο από το προτεινόμενο ως επαρκές για την καλλιέργεια τομάτας (Bénard et al., 2009; Ren et al., 2010; Zotarelli et al., 2009). Κατά την τελευταία κρίσιμη περίοδο, η μεταχείριση ZK+KK διατήρησε σημαντικά υψηλότερη συγκέντρωση NO₃-N από τις άλλες τρεις μεταχειρίσεις, ενώ η μεταχείριση ZK+KΦ είχε ως αποτέλεσμα σημαντικά χαμηλότερο επίπεδο NO₃-N σε σύγκριση με τις μεταχειρίσεις ZK+AΦ και ΚΟ+ΚΚ. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υψηλότερη ποσότητα N απελευθερώθηκε μέσω ανοργανοποίησης στη μεταχείριση ZK + ΚΚ σε σύγκριση με το ΚΟ + ΚΚ, αν και η συνολική παρεχόμενη ποσότητα N μέσω της κοπριάς ήταν σημαντικά χαμηλότερη σε σχέση με το κομπόστ. Αυτό αποδίδεται στον πολύ βραδύτερο ρυθμό ανοργανοποίησης N στο κομπόστ κατά το πρώτο έτος εφαρμογής, το οποίο εκτιμάται σε 10% σε σύγκριση με το 50% της κοπριάς (Baldwin, 2006; Nair and Delate, 2016).

5.4.3 Ανάπτυξη τομάτας και απόδοση

Σε αντιστοιχία με το υψηλό επίπεδο ΔΦΝ του εδάφους, τα φυτά τομάτας στο πρώτο στάδιο ανάπτυξης έδειξαν συμπτώματα έντονης βλαστικής ανάπτυξης, έχοντας στριμμένα παχιά φύλλα, στέλεχος με μεγάλη διάμετρο και μεγάλες, μακριές ταξιανθίες (Papadopoulos, 1991). Οκτώ εβδομάδες μετά τη φύτευση, τα φυτά τομάτας ήταν ισορροπημένα ως προς τη διατροφή N, ενώ τον τρίτο μήνα ανάπτυξης έδειξαν συμπτώματα ανεπάρκειας N. Αυτή η ανεπάρκεια εκδηλώθηκε κυρίως με λεπτά στελέχη και ανοιχτό-πράσινα φύλλα, όπως περιγράφονται στη σχετική βιβλιογραφία (Papadopoulos, 1991; Sainju et al., 2003a), ενώ ήταν ηπιότερη στη μεταχείριση ZK + ΚΚ.

Η συγκέντρωση ολικού N που μετρήθηκε στα φύλλα 75 ημέρες μετά τη φύτευση ήταν αρκετά χαμηλότερη από τις βέλτιστες τιμές για την καλλιέργεια τομάτας σε όλες τις μεταχειρίσεις, εκτός από το ZK + ΚΚ που ήταν οριακά χαμηλότερη (Gianquinto et al., 2013; Sainju et al., 2003a). Αυτά τα αποτελέσματα ήταν σύμφωνα με τα παρατηρούμενα συμπτώματα ανεπάρκειας N που έγιναν ορατά σε αυτό το στάδιο καλλιέργειας. Το επίπεδο των

συγκεντρώσεων P και K στα φύλλα τομάτας σε όλες τις μεταχειρίσεις ήταν στο βέλτιστο εύρος (Gianquinto et al., 2013; Sainju et al., 2003a), όπως αναμενόταν λαμβάνοντας υπόψη τις συγκεντρώσεις αυτών των στοιχείων στο έδαφος.

Η σημαντική διαφορά στην απόδοση καρπών τομάτας μεταξύ των μεταχειρίσεων αποδίδεται στα επίπεδα ΔΦN στο έδαφος κατά τη διάρκεια του αναπαραγωγικού σταδίου, όταν έγιναν χαμηλότερα από αυτά που προτείνονται για την τομάτα, επιβεβαιώνοντας ότι η επαρκής παροχή N είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας για τη βιολογική καλλιέργεια (Askegaard et al., 2011; Bustamante and Hartz, 2015; Clark et al., 1999). Έτσι, η απόδοση της τομάτας στη μεταχείριση ZK + KK ήταν σημαντικά υψηλότερη από αυτή στις άλλες τρεις μεταχειρίσεις, ακολουθούμενη από τη ZK + ΑΦ, σε αντιστοιχία με τις ανάλογες διαφορές στα επίπεδα $\text{NO}_3\text{-N}$ του εδάφους.

Αρκετοί ερευνητές (Peoples et al., 2009; Reckling et al., 2016; Stagnari et al., 2017) υπολόγισαν ότι περίπου το 30% της θετικής επίδρασης των ψυχανθών στην ακόλουθη καλλιέργεια πρέπει να αποδοθεί σε άλλους παράγοντες πέραν της προσφοράς N, όπως στη βελτίωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους. Αυτή η επίδραση δεν μπορούσε να εκτιμηθεί στην παρούσα μελέτη. Επομένως, δεν είναι δυνατόν να εξαχθεί το συμπέρασμα εάν οι διαφορές απόδοσης επιβλήθηκαν μόνο από διαφορές στη διαθεσιμότητα ανόργανου N ή από άλλους παράγοντες όπως η βελτίωση στις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Ωστόσο, η έλλειψη οποιασδήποτε επίδρασης των διαφορετικών μεταχειρίσεων ψυχανθών στον εδαφικό C και τα επίπεδα διαθέσιμου K και P μπορεί να υποδηλώνουν ότι φυσικοί, βιολογικοί και χημικοί παράγοντες, εκτός από την ανοργανοποίηση N δεν είχαν μετρήσιμη επίδραση στις παρατηρούμενες διαφορές απόδοσης.

Στη βιολογική γεωργία, η πιο κρίσιμη πρόκληση είναι ο συγχρονισμός του ρυθμού ανοργανοποίησης N και των αναγκών των φυτών σε N, όπως έχει αναφερθεί από πολλούς ερευνητές (Berry et al., 2002; Dahlin et al., 2005; Watson et al., 2002b). Στην παρούσα μελέτη, τα δεδομένα που του Σχήματος 5.1 και η οπτική εμφάνιση των φυτών δείχνουν ότι το ΔΦN υπερέβη τις απαιτήσεις N της τομάτας, κατά τον πρώτο μήνα της ανάπτυξης των φυτών. Αυτό αποδίδεται στους υψηλούς ρυθμούς ανοργανοποίησης της βιομάζας ψυχανθών, κατά τις πρώτες 8 εβδομάδες μετά την ενσωμάτωσή του στο έδαφος, σύμφωνα

και με προηγούμενες μελέτες (Lenzi et al., 2009; Sullivan and Andrews, 2012). Ωστόσο, μετά τις πρώτες οκτώ εβδομάδες, όταν τα φυτά άρχισαν να αναπτύσσουν τους καρπούς, τα επίπεδα ΔΦΝ στο έδαφος μειώθηκαν γρήγορα, υποδηλώνοντας ότι οι ρυθμοί ανοργανοποίησης N δεν ήταν επαρκείς ώστε να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις πρόσληψης N των φυτών. Αυτή η έλλειψη συγχρονισμού μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης N είναι ζωτικής σημασίας και πρέπει να μετριαστεί με κάποιο τρόπο. Η συντόμευση του χρονικού διαστήματος μεταξύ της ενσωμάτωσης των οργανικών υλικών στο έδαφος και της φύτευσης της τομάτας μπορεί να μειώσει, τόσο το αρχικό υψηλό επίπεδο στο ΔΦΝ του εδάφους, όσο και τον ρυθμό της επακόλουθης μείωσης, διατηρώντας έτσι επαρκή επίπεδα N του εδάφους για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, ο αρχικός ρυθμός αποσύνθεσης της βιομάζας των φυτών μπορεί να μειωθεί με κατάλληλες επεξεργασίες, όπως η προσαρμογή του μεγέθους των τεμαχίων βλαστών ή η μερική ξήρανση της βιομάζας στην επιφάνεια του εδάφους πριν από την ενσωμάτωσή της (Dahlin et al., 2005; Jensen and Ambus, 2000). Επιπλέον, τα ψυχανθή μπορούν να συγκαλλιερηθούν με άλλα φυτά με υψηλότερο λόγο C/N προκειμένου να μειωθεί ο αρχικός ρυθμός ανοργανοποίησης (Briggs, 2008; Thorup-Kristensen et al., 2003). Τέλος, πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι στις καλλιέργειες βιολογικής τομάτας με στάγδην άρδευση στα θερμοκήπια διαβρέχεται μόνο ένα μέρος του εδάφους, επομένως ένα αντίστοιχο ποσοστό της οργανικής βιομάζας που ενσωματώνεται στο έδαφος μπορεί να αξιοποιηθεί από τα φυτά. Οπότε, η λήψη μέτρων για την ύγρανση συνεχώς επιπρόσθετων τμημάτων του εδάφους σε μεταγενέστερο στάδιο καλλιέργειας θα μπορούσε να ενισχύσει σημαντικά τα αποθέματα N του εδάφους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα φυτά, αποφεύγοντας ή ελαχιστοποιώντας τον περιορισμό της απόδοσης λόγω έλλειψης N. Ωστόσο, αυτή η υπόθεση πρέπει να δοκιμαστεί πειραματικά τροποποιώντας ανάλογα το σύστημα άρδευσης.

5.5 Συμπεράσματα

Στην βιολογική τομάτα θερμοκηπίου, μια προηγούμενη καλλιέργεια ψυχανθών μπορεί να παρέχει επιπλέον N στην καλλιέργεια, καθώς οι υψηλές απαιτήσεις N δεν μπορούν να καλυφθούν πλήρως από την εφαρμογή ζωικής

κοπριάς, λόγω περιορισμών στα ανώτατα επιτρεπόμενα ποσά που επιβάλλονται από τη νομοθεσία της ΕΕ. Το φασόλι όταν καλλιεργείται για συγκομιδή πράσινων λοβών δεν παρέχει σημαντικές ποσότητες N, καθώς η αποτελεσματικότητά του για δέσμευση του N₂ συμβιωτικά είναι χαμηλή. Ως εκ τούτου, η ποσότητα N που αφαιρέθηκε με τη συγκομιδή πράσινων λοβών είναι υψηλότερη από αυτήν που δεσμεύτηκε συμβιωτικά. Το αμπελοφάσουλο είναι πιο αποτελεσματικό στη δέσμευση N, ενώ το δυναμικό του για παραγωγή πράσινου λοβού είναι χαμηλότερο, και έτσι μπορεί να αφήσει κάποια ποσότητα συμβιωτικά δεσμευμένου N στην επόμενη καλλιέργεια. Ωστόσο, η καλύτερη επιλογή αποδείχθηκε ότι ήταν η καλλιέργεια του κουκιού ως χλωρή λίπανση, η οποία μπορεί να συμπληρώσει επιτυχώς ή ακόμη και να αντικαταστήσει την κοπριά σε ορισμένα σχέδια καλλιέργειας. Σε όλες τις μεταχειρίσεις στην τρέχουσα έρευνα, το %Ndfa ήταν χαμηλότερο από τα αναμενόμενα επίπεδα, λόγω των σχετικά υψηλών συγκεντρώσεων ανόργανου N στο έδαφος πριν από τη σπορά ψυχανθών, που προέρχονταν από έντονη ανοργανοποίηση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όταν εφαρμόστηκε η απολύμανση του εδάφους.

Το κομπόστ των υπολειμμάτων ελαιοτριβείου δεν αντικατέστησε επαρκώς την κοπριά, καθώς παρείχε χαμηλότερες ποσότητες ανόργανου N στο έδαφος, κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας τομάτας, που οδήγησε σε χαμηλότερη απόδοση καρπών.

Η έλλειψη συγχρονισμού στην προσφορά N μέσω της ανοργανοποίησης της βιομάζας ψυχανθών και της ζήτησης N από τομάτα επιβεβαιώθηκε από την παρούσα έρευνα. Κατά τη διάρκεια του βλαστικού και του αρχικού αναπαραγωγικού σταδίου της τομάτας υπήρχε μια περίσσεια στο ανόργανο N του εδάφους. Ωστόσο, τα επίπεδα του ανόργανου N μειώθηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα από το βέλτιστο εύρος, κατά τη διάρκεια του τελευταίου σταδίου καλλιέργειας σε όλες τις μεταχειρίσεις, αν και αυτή η μείωση ήταν ηπιότερη στα πειραματικά τεμάχια κουκιού. Η απόδοση ήταν ανάλογη με τα επίπεδα ανόργανου N στο τελευταίο στάδιο παραγωγής της τομάτας. Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει ότι το επίπεδο ανόργανου N είναι ο κύριος περιοριστικός παράγοντας για την απόδοση στην οργανική τομάτα θερμοκηπίου, η οποία έχει μεγαλύτερη περίοδο συγκομιδής από τις υπαίθριες καλλιέργειες. Πρακτικές που αυξάνουν την εκμετάλλευση της οργανικής ύλης που ενσωματώνεται στο

έδαφος ως πηγή λιπασμάτων N σε βιολογική τομάτα θερμοκηπίου, ενδέχεται να αποτρέψουν την ανεπάρκεια N εντός της καλλιεργητικής περιόδου και να βελτιώσουν την απόδοση.



Εικόνα 5.3 Ανάπτυξη και ωρίμανση καρπών τομάτας

6. Η επίδραση της μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης με βάση τα ψυχανθή (4^η Πειραματική Ενότητα)

6.1 Δομή και στόχοι 4^{ης} Πειραματικής Ενότητας

Ο στόχος του πειράματος ήταν να εκτιμηθεί η επίδραση της εφαρμογής βιομάζας κουκιών που μεταφέρεται από άλλον αγρό ή της εφαρμογής συμπιεσμένων τεμαχίων (pellet) μηδικής που παράγονται για ζωοτροφή, στη διαθεσιμότητα ανόργανου N στο έδαφος, στην αζωτούχο θρέψη και στην απόδοση μίας βιολογικής καλλιέργειας τομάτας στο θερμοκήπιο. Ένας επιπλέον στόχος της τρέχουσας έρευνας ήταν να προσδιοριστεί εάν ο ρυθμός ανοργανοποίησης N, είτε της βιομάζας φρέσκων φασολιών είτε των pellets μηδικής συγχρονίζεται με τις απαιτήσεις της τομάτας σε N.

6.2 Υλικά και μέθοδοι

Η προηγούμενη καλλιέργεια ήταν επίσης τομάτα και πριν από την εγκατάστασή της (τον Ιούλιο του 2018), εφαρμόστηκε ζωική κοπριά (ΖΚ) προερχόμενη από βοοτροφία ελεύθερης εκτροφής, που περιείχε 0,34% N, 0,15% P και 0,48% K. Η δόση εφαρμογής καθορίστηκε σε 5 t/στρ που αντιπροσωπεύει εισροή 17 kg N/στρ, το οποίο είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο επίπεδο ετησίως σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΚ) 889/2005 της Επιτροπής (Commission Regulation (EC) 889, 2008).

Εφαρμόστηκαν τέσσερις διαφορετικές μεταχειρίσεις με τέσσερις επαναλήψεις. Στην μεταχείριση 1 (ΜΑΡ), που θεωρήθηκε ο μάρτυρας, δεν ενσωματώθηκε βιομάζα ψυχανθών. Στις μεταχειρίσεις 2 (ΜΗΧ) και 3 (ΜΗΥ) εφαρμόστηκαν pellets μηδικής σε δόσεις των 330 g m⁻² και 660 g m⁻², αντίστοιχα. Στη μεταχείριση 4 (ΚΟΥ), εφαρμόστηκε νωπή υπέργεια βιομάζα κουκιών που καλλιεργήθηκε σε υπαίθριο αγρό, δίπλα στο πειραματικό θερμοκήπιο, μετά από ποσοτικό προσδιορισμό της συνολικής ξηράς μάζας υπεράνω και της περιεκτικότητας σε N. Η υπαίθρια καλλιέργεια κουκιών καταλάμβανε μια ίση έκταση με την θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας στην αντίστοιχη μεταχείριση (75 m²). Οι σπόροι κουκιών εμβολιάστηκαν με *Rhizobium* sp. VFLE1 (Efstathiadou et al., 2020) και σπάρθηκαν στις 16

Οκτωβρίου 2018. Η βιομάζα κουκιών συγκομίστηκε στις 31 Ιανουαρίου 2019, δηλαδή 3,5 μήνες μετά τη σπορά.

Η βιομάζα των ψυχανθών ενσωματώθηκε στο έδαφος στις 1 Φεβρουαρίου 2019 και η καλλιέργεια τομάτας εγκαταστάθηκε 20 ημέρες αργότερα. Το εμπορικό υβρίδιο τομάτας «Nissos F1» (Hazera seed Ltd.) εμβολιασμένο στο εμπορικό υποκείμενο Maxifort F1 μεταφυτεύτηκε με πυκνότητα 2,13 φυτά m⁻². Όλα τα φυτά διαμορφώθηκαν με ένα στέλεχος και αρδεύτηκαν με σταγόνες. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο μηνών καλλιέργειας, δόθηκε μέσω του νερού άρδευσης επιπλέον 1,3 kg N/στρ σε τρεις δόσεις, σε όλες τις μεταχειρίσεις, χρησιμοποιώντας ένα οργανικό λίπασμα N πιστοποιημένο για βιολογική καλλιέργεια.

6.3 Αποτελέσματα

6.3.1 Βιομάζα κουκιών, συμβιωτική αζωτοδέσμευση και εισροή N στο έδαφος

Η υπέργεια ξηρή βιομάζα των κουκιών ήταν 0,382 kg m⁻², ενώ οι συνολικές συγκεντρώσεις N και C ήταν 3,93% και 40,4%, αντίστοιχα (Πίνακας 6.1). Με βάση αυτά τα δεδομένα, η ποσότητα N που εφαρμόστηκε στη μεταχείριση ΚΟΥ εκτιμήθηκε ότι ήταν 15 kg/στρ και η αναλογία C/N 10,3. Το N που προέρχεται από την ατμόσφαιρα (Ndfa) στον ιστό των κουκιών ήταν 83,2% και έτσι το συμβιωτικά δεσμευμένο N ανήλθε σε 12,5 kg/στρ.

Πίνακας 6.1. Ξηρή βιομάζα, συγκεντρώσεις N και C στους ιστούς, αναλογία C/N και εισροή συνολικού N μέσω της μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης

Μεταχείριση	Ξηρή βιομάζα g m ⁻²	N %	C %	C/N ανα- λογία	εισροή N g m ⁻²
Μάρτυρας	-	-	-	-	-
Pellets μηδικής, χαμηλή δόση (330 g m ⁻²)	297	3,37	41,8	12,4	10
Pellets μηδικής, υψηλή δόση (660 g m ⁻²)	594	3,37	41,8	12,4	20
Νωπή βιομάζα κουκιών (4 kg m ⁻²)	382	3,93	40,4	10,3	15

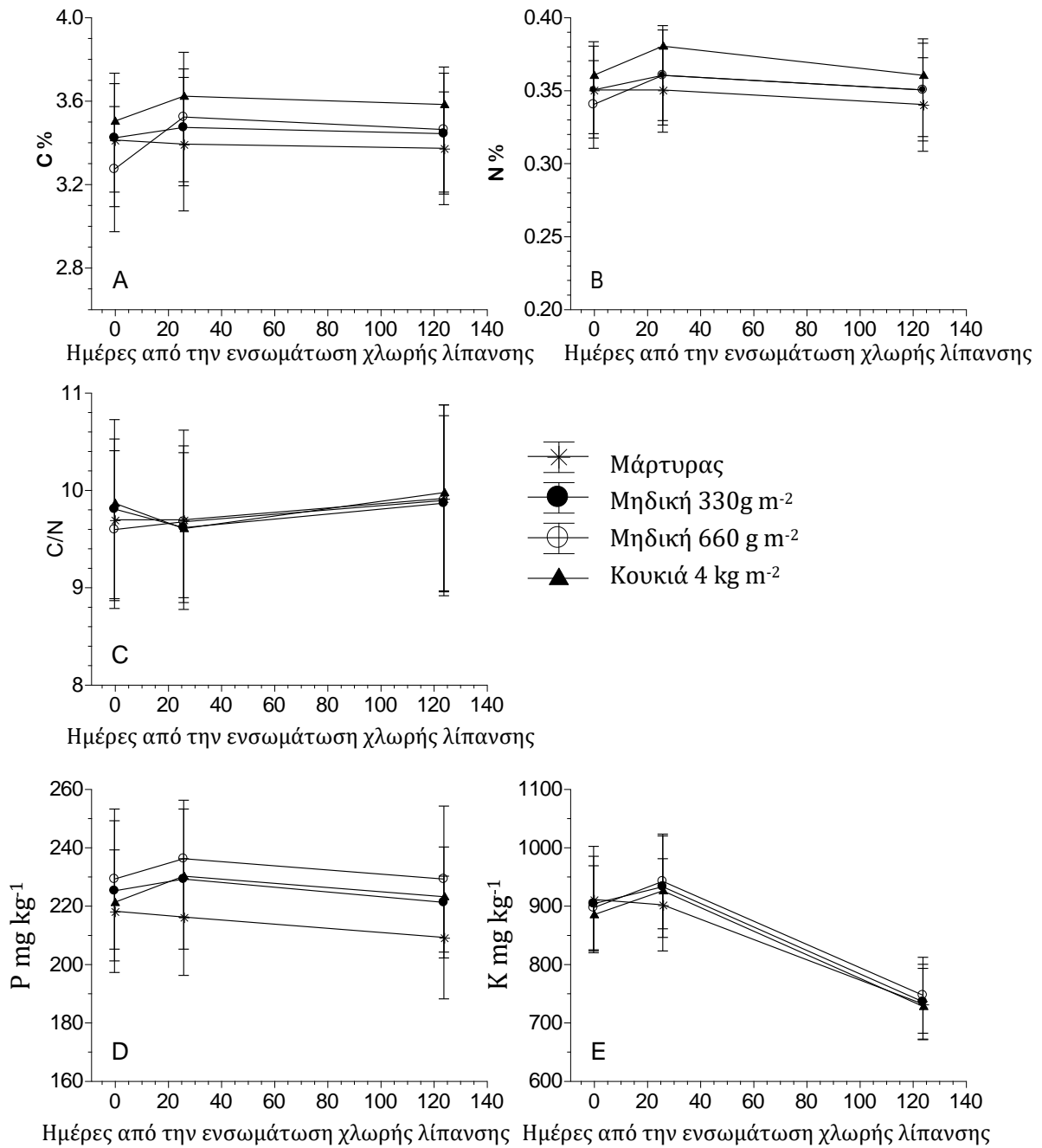
Η περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία των pellets μηδικής ήταν 90% και οι συνολικές συγκεντρώσεις N και C ήταν 3,37% και 41,8%, αντίστοιχα, με αναλογία C/N 12,4. Κατά συνέπεια, η ποσότητα N που εφαρμόστηκε μέσω της μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης ήταν 10 και 20 kg/στρ στις μεταχειρίσεις ΜΗΧ και ΜΗΥ, αντίστοιχα.

6.3.2 Μετρήσεις στο έδαφος

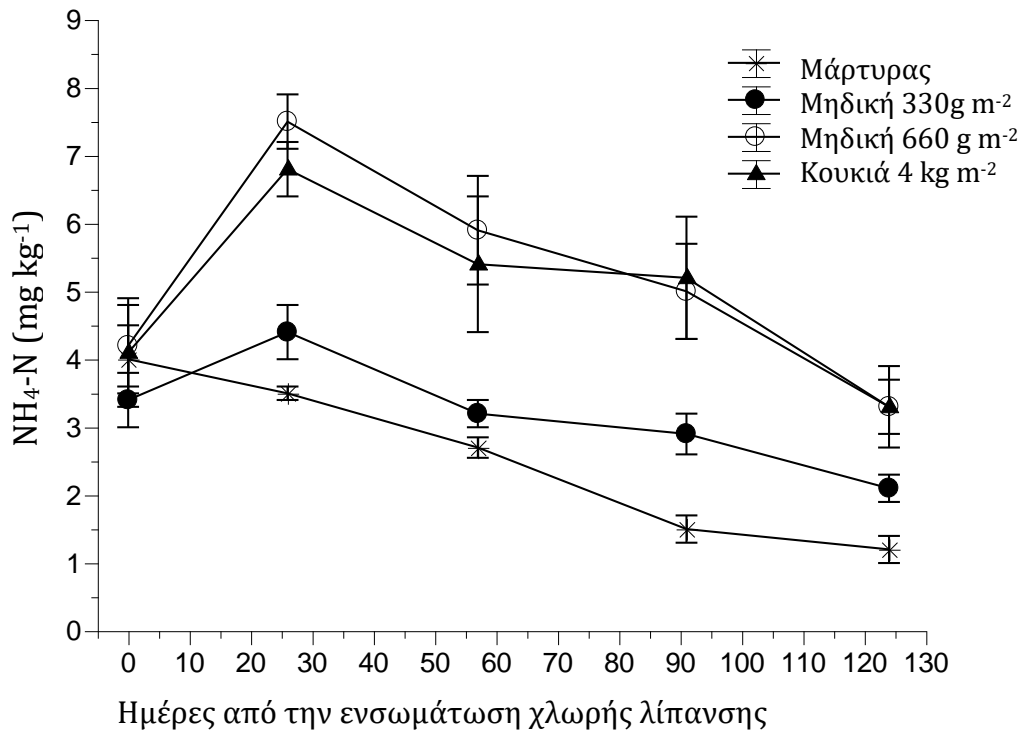
Οι διαφορετικές μορφές και τα είδη μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης δεν επηρέασαν σημαντικά τις συγκεντρώσεις οργανικού C και συνολικού N του εδάφους (Σχήμα 6.1 A, B). Αντίστοιχα, οι συγκεντρώσεις του διαθέσιμου P και K στο έδαφος δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από καμία μεταχείριση (Σχήμα 6.1 D, E). Η συγκέντρωση του εδάφους $\text{NH}_4\text{-N}$ ήταν συνεχώς χαμηλή σε όλες τις ημερομηνίες δειγματοληψίας και σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τιμές κάτω των 8 mg kg^{-1} (Σχήμα 6.2). Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις $\text{NH}_4\text{-N}$ του εδάφους μετρήθηκαν στις μεταχειρίσεις ΜΗΥ και ΚΟΥ, χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, ακολουθούμενες από τη ΜΗΧ, ενώ τα χαμηλότερα επίπεδα βρέθηκαν στον μάρτυρα. Οι συγκεντρώσεις $\text{NH}_4\text{-N}$ στον μάρτυρα μειώνονταν συνεχώς, ενώ στις άλλες τρεις μεταχειρίσεις παρατηρήθηκε μια κορύφωση μετά την ενσωμάτωση της οργανικής ύλης, ακολουθούμενη από μια πτωτική τάση στη συνέχεια.



Εικόνα 6.1 Αριστερά: Ανάπτυξη κουκιών εκτός θερμοκηπίου. Δεξιά: Pellets μηδικής που παράγονται για ζωοτροφή.

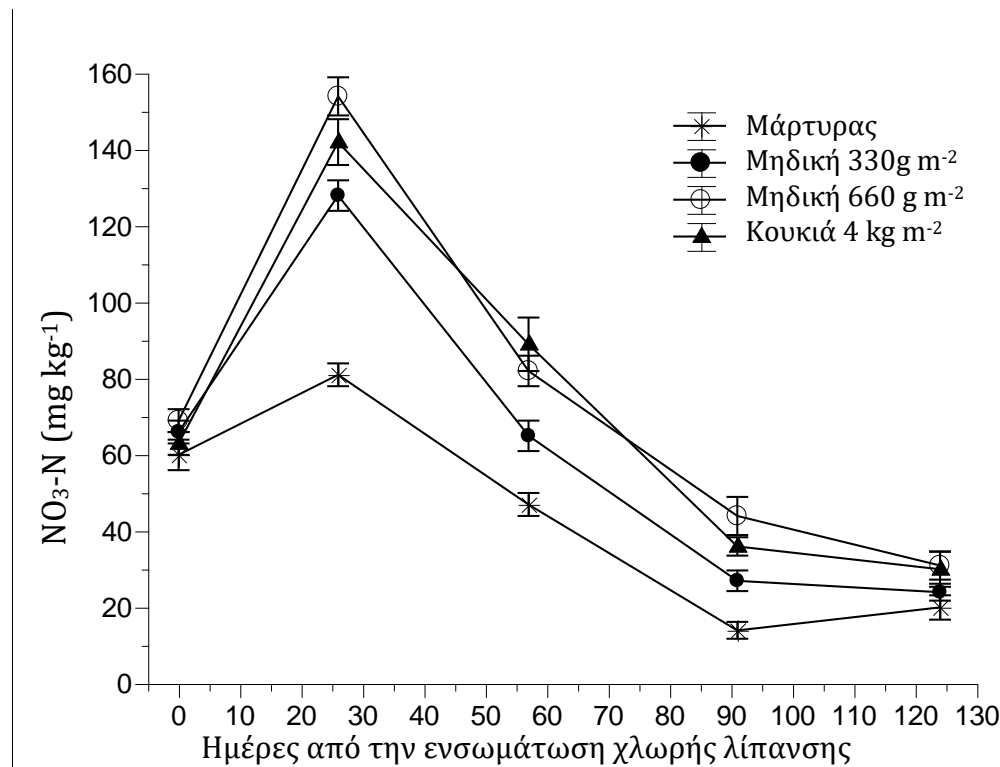


Σχήμα 6.1 Οργανικός C (A), ολικό N (B), αναλογία C/N (C), διαθέσιμος P (D) και K (E), σε ξηρό έδαφος πριν από την ενσωμάτωση της βιομάζας ψυχανθών (H 0), μετά τη φύτευση τομάτας (H 26) και κατά τη λήξη της καλλιέργειας τομάτας (H 124).



Σχήμα 6.2 Συγκεντρώσεις $\text{NH}_4\text{-N}$ στο έδαφος σε βιολογική καλλιέργεια τομάτας θερμοκηπίου, όπως επηρεάζεται από διαφορετικές μεταχειρίσεις μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης.

Η συγκέντρωση $\text{NO}_3\text{-N}$ σε όλες τις μεταχειρίσεις λίγο πριν την ενσωμάτωση κυμαινόταν μεταξύ 60 έως 69 mg kg^{-1} χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (Σχήμα 6.3). Στη συνέχεια, εμφάνισε μια κορύφωση σε όλες τις μεταχειρίσεις 25 ημέρες μετά την ενσωμάτωση της χλωρής λίπανσης (ΗΜΕΟΥ), η οποία ακολουθήθηκε από απότομη μείωση στη συνέχεια. Σε όλες τις δειγματοληψίες μετά την ενσωμάτωση, η συγκέντρωση $\text{NO}_3\text{-N}$ στις μεταχειρίσεις ΜΗΥ και ΚΟΥ ήταν παρόμοια και σημαντικά υψηλότερη από ό, τι στη μεταχείριση ΜΗΧ, ενώ στον μάρτυρα ήταν αισθητά χαμηλότερη από τις τρεις μεταχειρίσεις χλωρής λίπανσης.



Σχήμα 6.3 Συγκεντρώσεις NO₃-N στο έδαφος σε βιολογική καλλιέργεια τομάτας θερμοκηπίου, όπως επηρεάζονται από τις διαφορετικές μεταχειρίσεις μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης.

6.3.3 Στοιχεία απόδοσης τομάτας

Η απόδοση καρπών τομάτας ήταν παρόμοια στις μεταχειρίσεις ΜΗΥ και ΚΟΥ και σημαντικά υψηλότερη από ό, τι στις άλλες δύο μεταχειρίσεις, ενώ η μεταχείριση ΜΗΧ απέδωσε περισσότερο από τον μάρτυρα (Πίνακας 6.2). Οι διαφορές στην απόδοση της τομάτας οφείλονται τόσο στον αριθμό των καρπών ανά φυτό όσο και στο μέσο βάρος των καρπών.

Πίνακας 6.2. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης στα στοιχεία απόδοσης βιολογικής τομάτας θερμοκηπίου.

Μεταχείριση	Απόδοση kg m ⁻²	Αριθμός καρπών/ φυτό	Μέσο βάρος καρπών
Μάρτυρας	9,8 c	20,2 b	228 b
Pellets μηδικής, χαμηλή δόση (330 g m ⁻²)	11,7 b	23,7 a	231 b
Pellets μηδικής, υψηλή δόση (660 g m ⁻²)	13,0 a	24,0 a	254 a
Νωπή βιομάζα κουκιών (4 kg m ⁻²)	13,3 a	25,7 a	244 a
Σημαντικότητα διαφορών	***	**	**

Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p < 0,05) ** και *** σημαντική σε p < 0,01 και p < 0,001, αντίστοιχα. ns = μη σημαντική.

6.3.4 Ανάλυση φύλλων τομάτας και περιεκτικότητα καρπών σε N

Η συγκέντρωση ολικού N στα φύλλα ήταν αισθητά υψηλότερη στις μεταχειρίσεις ΜΗΥ και ΚΟΥ σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις, χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Ενώ, η συγκέντρωση ολικού N στα φύλλα στη μεταχείριση ΜΗΧ ήταν σημαντικά υψηλότερη από ό, τι στον μάρτυρα (Πίνακας 6.3). Αντιθέτως, οι συγκεντρώσεις P και K στα φύλλα δεν επηρεάστηκαν από καμία μεταχείριση.

Πίνακας 6.3. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων οργανικής λίπανσης στις συγκεντρώσεις N, P, K στην ξηρά ουσία των φύλλων βιολογικής τομάτας θερμοκηπίου.

Μεταχείριση	N mg g ⁻¹	P mg g ⁻¹	K mg g ⁻¹
Μάρτυρας	23,9 c	2,78	78
Pellets μηδικής, χαμηλή δόση (330 g m ⁻²)	26,6 b	2,80	81
Pellets μηδικής, υψηλή δόση (660 g m ⁻²)	28,1 a	2,99	86
Νωπή βιομάζα κουκιών (4 kg m ⁻²)	28,8 a	2,90	84
Σημαντικότητα διαφορών	***	ns	ns

Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p < 0,05). *** σημαντική p < 0,001. ns = μη σημαντική.

Σε αντίθεση με τα φύλλα, οι καρποί τομάτας παρουσίασαν παρόμοια επίπεδα οργανικού N σε όλες τις μεταχειρίσεις (Πίνακας 6.4), ενώ οι συγκεντρώσεις P και K στους καρπούς επίσης δεν επηρεάστηκαν από τις μεταχειρίσεις λίπανσης που δοκιμάστηκαν σε αυτό το πείραμα. Ωστόσο, λόγω της υψηλότερης απόδοσης, το N που απομακρύνθηκε από τον αγρό μέσω της συγκομιδής καρπών ήταν σημαντικά υψηλότερο στη ΚΟΥ και ΜΗΥ σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις.

Πίνακας 6.4. Επίδραση των διαφορετικών μεταχειρίσεων οργανικής λίπανσης στις συγκεντρώσεις N, P, K της ξηράς ουσίας καρπών και απομάκρυνση N μέσω συγκομιδής καρπών σε βιολογική τομάτα θερμοκηπίου.

Μεταχείριση	N mg g ⁻¹	P mg g ⁻¹	K mg g ⁻¹	Απομάκρυνση N με καρπούς g m ⁻²
Μάρτυρας	15,2	2,81	81	7,6 c
Pellets μηδικής, χαμηλή δόση (330 g m ⁻²)	15,5	2,61	84	8,9 b
Pellets μηδικής, υψηλή δόση (660 g m ⁻²)	16,2	2,84	81	10,7 a
Νωπή βιομάζα κουκιών (4 kg m ⁻²)	16,8	2,65	75	11,2 a
Σημαντικότητα διαφορών	ns	ns	ns	***

Οι μέσοι (n = 4) που ακολουθούνται από διαφορετικά γράμματα σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων Duncan (p < 0,05). *** σημαντική p < 0,001. ns = μη σημαντική.

6.4 Συζήτηση

6.4.1 Υπέργεια βιομάζα κουκιών, συσσώρευση N και συμβιωτική αζωτοδέσμευση

Το ποσοστό Ndfa στο κουκί που καλλιεργήθηκε σε υπαίθριο αγρό ήταν υψηλό (83,2%), επιβεβαιώνοντας έτσι προηγούμενες αναφορές (Gatsios et al., 2020; Herridge et al., 2008; Peoples et al., 2009) που έδειξαν ότι αυτό το ψυχανθές χαρακτηρίζεται από υψηλή ικανότητα αζωτοδέσμευσης. Υψηλό Ndfa είναι πιο δύσκολο να επιτευχθεί σε θερμοκήπια, καθώς η συμβιωτική αζωτοδέσμευση των ψυχανθών μειώνεται αισθητά όταν υπάρχει επαρκές ανόργανο N στο έδαφος (Barker, 2010; Gatsios et al., 2019; M. Unkovich et al., 2008). Επομένως, όταν ένα ψυχανθές καλλιεργείται για χλωρή λίπανση στο εύφορο έδαφος θερμοκηπίου, η καθαρή εισροή N μπορεί να είναι μικρή λόγω μειωμένου BNF. Στο παρόν πείραμα, το συμβιωτικά δεσμευμένο N ήταν 12,5 kg/στρ, και ήταν λίγο χαμηλότερο από ό, τι σε άλλες μελέτες (Ntatsi et al., 2019; Peoples et al., 2009). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η συγκέντρωση N στους ιστούς ήταν στο αναμενόμενο εύρος (3,93%), το χαμηλότερο BNF αποδίδεται στην μάλλον χαμηλή ποσότητα (4 kg m⁻²) παραγόμενης υπέργειας βιομάζας κουκιών. Η σχετικά χαμηλή παραγωγή βιομάζας στην καλλιέργεια κουκιών ήταν αποτέλεσμα της πρώιμης συγκομιδής, η οποία πραγματοποιήθηκε πριν από την άνθηση. Ωστόσο, αυτό ήταν αναπόφευκτο επειδή η εγκατάσταση της επόμενης

καλλιέργειας τομάτας δεν μπορούσε να καθυστερήσει πέρα από τα μέσα Φεβρουαρίου, όπως υπαγορεύεται από τις απαιτήσεις της τοπικής αγοράς.

Αν και η υπόγεια βιομάζα του κουκιού δεν μετρήθηκε στην τρέχουσα μελέτη, εκτιμάται ότι το N που περιέχεται στις ρίζες αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 20% του συνολικού N (Herridge et al., 2008; Peoples et al., 2009; Ruisi et al., 2017). Δεδομένου του υψηλού Ndfa, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το ισοζύγιο μεταξύ εισροής N μέσω συμβιωτικής αζωτοδέσμευσης και εκροής N μέσω υπέργειας συγκομιδής βιομάζας, ήταν θετική στη μεταχείριση κουκιών σε σχέση με το N. Ως εκ τούτου, η καλλιέργεια κουκιών είναι αιφορική ως προς το N, ενώ τα P και K πρέπει να διατηρηθούν στα επιθυμητά επίπεδα παρέχοντας οργανικά ή ανόργανα λιπάσματα στον υπαίθριο αγρό. Από την άλλη πλευρά, η εφαρμογή βιομάζας ψυχανθών στο έδαφος του θερμοκηπίου παρέχει όχι μόνο N, αλλά όλα τα απαραίτητα μακροθρεπτικά συστατικά και ιχνοστοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών.

6.4.2 Μετρήσεις στο έδαφος

Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν πολύ καλά εφοδιασμένο με οργανική ουσία (3,27-3,50% C) και ολικό N (0,34-0,36%). Ως εκ τούτου, η επίδραση των τριών μεταχειρίσεων λίπανσης στον οργανικό C και στο ολικό N του εδάφους δεν ήταν σημαντική. Όπως ανέφεραν οι Peoples et al. (1995), η επίδραση της χλωρής λίπανσης ψυχανθών στο ολικό N του εδάφους δεν είναι πάντα εύκολο να ανιχνευθεί, αλλά η επίδραση στο επίπεδο ανόργανου N είναι πολύ πιο σταθερή. Επίσης, σύμφωνα με τους Sainju et al. (2001) επαναλαμβανόμενες εφαρμογές χλωρής λίπανσης είναι απαραίτητες για την δημιουργία σημαντικών διαφορών στο οργανικό C και ολικό N του εδάφους ως σωρευτικό αποτέλεσμα. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις P και K του εδάφους πριν από την ενσωμάτωση της χλωρής λίπανσης ήταν ήδη επαρκείς για την καλλιέργεια τομάτας (Bryson and Barker, 2002; Gianquinto et al., 2013; Sainju et al., 2003a) και έτσι δεν ανιχνεύτηκε κάποια επίδραση των μεταχειρίσεων (Σχήμα 6.1D, E).

Αν και οι συγκεντρώσεις του $\text{NH}_4\text{-N}$ ήταν σημαντικά διαφορετικές, κυμάνθηκαν σε αρκετά χαμηλά επίπεδα σε όλες τις μεταχειρίσεις. Αυτό αποδίδεται στον υψηλό ρυθμό νιτροποίησης του $\text{NH}_4\text{-N}$ που χαρακτηρίζει τα μη όξινα εδάφη με επαρκή αερισμό και μικροβιακή δραστηριότητα (Barnard et al., 2005; Bonanomi et al., 2019; Li et al., 2020).

Πριν από την ενσωμάτωση της χλωρής λίπανσης, οι συγκεντρώσεις $\text{NO}_3\text{-N}$ ήταν υψηλές σε όλες τις μεταχειρίσεις, αντανακλώντας τα υψηλά επίπεδα ολικού N και τη χαμηλή αναλογία $\text{C/N} < 10$ (Σχήμα 6.1C) στο έδαφος (Bonanomi et al., 2019). Η αύξηση που σημειώθηκε στην επόμενη δειγματοληψία (26 ΗΜΕΟΥ) σε όλες τις μεταχειρίσεις, ακόμη και στον μάρτυρα, αποδίδεται στην απουσία πρόσληψης N, καθώς τα φυτά τομάτας εγκαταστάθηκαν 20 ΗΜΕΟΥ. Η πιο απότομη αύξηση $\text{NO}_3\text{-N}$ στις μεταχειρίσεις χλωρής λίπανσης αποδίδεται στο υψηλό ρυθμό ανοργανοποίησης που προέκυψε τις πρώτες εβδομάδες μετά την ενσωμάτωση της βιομάζας ψυχανθών (Lenzi et al., 2009; Sullivan and Andrews, 2012; Thorup-Kristensen et al., 2003). Ωστόσο, οι συγκεντρώσεις σε αυτές τις τρεις μεταχειρίσεις υπερέβησαν το κατάλληλο επίπεδο $\text{NO}_3\text{-N}$, σύμφωνα με τους van Eysinga (1971) και Sainju et al. (2003a). Στη συνέχεια (57 ΗΜΕΟΥ), τα επίπεδα $\text{NO}_3\text{-N}$ του εδάφους στις μεταχειρίσεις της μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης ήταν στο βέλτιστο εύρος, ενώ στον μάρτυρα ήταν χαμηλότερα (Bénard et al., 2009; Ren et al., 2010; Zotarelli et al., 2009). Στις δύο τελευταίες δειγματοληψίες οι διαφορές στις συγκεντρώσεις $\text{NO}_3\text{-N}$ μεταξύ των μεταχειρίσεων παρέμειναν, αλλά κυμάνθηκαν κάτω από το επίπεδο επάρκειας $\text{NO}_3\text{-N}$ για τη αζωτούχο θρέψη τομάτας. Τέλος, ενώ προστέθηκαν 5 kg/στρ (33%) περισσότερο N στην μεταχείριση ΜΗΥ σε σύγκριση με την ΚΟΥ, η επίδρασή τους στο ανόργανο N του εδάφους ήταν σταθερά παραπλήσια σε όλες τις ημερομηνίες δειγματοληψίας.

6.4.3 Ανάπτυξη τομάτας και απόδοση

Κατά τις πρώτες 6 εβδομάδες μετά τη μεταφύτευση, όταν τα επίπεδα ανόργανου N στο έδαφος και ιδιαίτερα των $\text{NO}_3\text{-N}$ ήταν υπερβολικά υψηλά, τα φυτά τομάτας ανέπτυξαν κατσαρωμένα παχιά φύλλα και παχύ στέλεχος στην κορυφή σε όλες τις μεταχειρίσεις εκτός από τον μάρτυρα. Αυτή η εμφάνιση ήταν χαρακτηριστική μιας πολύ έντονης βλαστικής ανάπτυξης, η οποία αποδόθηκε σε υπερβολικά υψηλά επίπεδα N στο έδαφος (Papadopoulos, 1991). Περίπου κατά την τρίτη ημερομηνία δειγματοληψίας εδάφους (57 ΗΜΕΟΥ), τα φυτά εμφάνισαν κανονική ανάπτυξη και είχαν ικανοποιητική καρπόδεση στις 4 πρώτες ταξικαρπίες. Ωστόσο, αυτή τη φάση ανάπτυξης ακολούθησε σταδιακή ανάπτυξη τυπικών συμπτωμάτων ανεπάρκειας N, που εκδηλώθηκε κυρίως με

λεπτούς μίσχους και φύλλα με ανοιχτό-πράσινο χρώμα (Papadopoulos, 1991; Sainju et al., 2003a), τα οποία εμφανίστηκαν πρώτα στον μάρτυρα και περίπου τρεις εβδομάδες αργότερα και στις μεταχειρίσεις μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης. Η μακροσκοπική διάγνωση της ανεπάρκειας N επιβεβαιώθηκε με ανάλυση φύλλων που πραγματοποιήθηκε 75 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Πράγματι, εκείνη την ημερομηνία οι συγκεντρώσεις φύλλων N σε όλες τις μεταχειρίσεις ήταν χαμηλότερες από 30 mg g⁻¹, που είναι το ελάχιστο όριο για την επάρκεια N στην τομάτα (Gianquinto et al., 2013; Sainju et al., 2003a). Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις P και K στα φύλλα σε όλες τις μεταχειρίσεις ήταν στο βέλτιστο εύρος (Gianquinto et al., 2013; Sainju et al., 2003a), καθώς το έδαφος ήταν πολύ καλά εφοδιασμένο με αυτά τα μακροθρεπτικά συστατικά. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Askegaard et al., 2011; Bustamante and Hartz, 2015), ο κύριος περιοριστικός παράγοντας για την απόδοση στη βιολογική γεωργία είναι η διαθεσιμότητα N. Επομένως, η μεταφερόμενη χλωρή λίπανση παρείχε σαφή οφέλη στην βιολογική τομάτα του θερμοκηπίου, καθώς αύξησε το ανόργανο N στο έδαφος και ταυτόχρονα την απόδοση των καρπών σε σύγκριση με τον μάρτυρα, ενώ καθυστέρησε την εμφάνιση συμπτωμάτων ανεπάρκειας N.

Όπως αναφέρθηκε από πολλούς ερευνητές (Berry et al., 2002; Dahlin et al., 2005; Watson et al., 2002a), ο συγχρονισμός της απελευθέρωσης N μέσω της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, με τις απαιτήσεις των φυτών σε N είναι μια σημαντική πρόκληση στις βιολογικές καλλιέργειες. Η τρέχουσα έρευνα έδειξε ότι η βιομάζα ψυχανθών που εφαρμόζεται ως χλωρή λίπανση στις τομάτες του θερμοκηπίου δεν μπορεί να αντιμετωπίσει επιτυχώς αυτήν την πρόκληση, καθώς αποσυντίθεται γρήγορα τις πρώτες 4-5 εβδομάδες μετά την ενσωμάτωσή της στο έδαφος, σύμφωνα και με προηγούμενες μελέτες (Araki, 2016; Bonanomi et al., 2019). Η ταχεία αποσύνθεση των ψυχανθών που εφαρμόζεται ως χλωρή λίπανση αποδίδεται στον χαμηλό λόγο C/N στην βιομάζα τους. Για να αυξηθεί ο λόγος C/N και να μειωθεί ο ρυθμός ανοργανοποίησης της βιομάζας που έχει ενσωματωθεί στο έδαφος ως χλωρή λίπανση, τα ψυχανθή μπορούν να συγκαλλιεργηθούν με αγρωστώδη (π.χ. σίκαλη) (Benincasa et al., 2017; Thorup-Kristensen et al., 2003). Παρομοίως, αντί να χρησιμοποιηθεί pellet μηδικής ζωοτροφής, μπορεί να παρασκευαστεί ένα μείγμα μηδικής και αγρωστώδους ή

άλλου οργανικού υλικού με στόχο την αύξηση της αναλογίας C/N στη βιομάζα που θα χρησιμοποιηθεί για τη λίπανση της βιολογικής τομάτας θερμοκηπίου.

Σύμφωνα με τους Benincasa et al. (2017) και Sorensen and Thorup-Kristensen (2011), καθώς η οντογένεση των φυτών εξελίσσεται, η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά μειώνεται λόγω του φαινομένου της «αραίωσης». Έτσι, ο λόγος C/N στη βιομάζα μηδικής μπορεί να αυξηθεί από 10 κατά την πρώιμη συγκομιδή σε 20 σε όψιμη συγκομιδή, (Sorensen and Thorup-Kristensen, 2011) και στα κουκιά από 11 σε 16 αντίστοιχα (Sorensen and Grevsen, 2016). Οπότε, η αναλογία C/N μπορεί να αυξηθεί επίσης με την κατάλληλη επιλογή του αναπτυξιακού σταδίου στο οποίο το όσπριο ενσωματώνεται στο έδαφος. Αυτή η στρατηγική έρχεται σε αντίθεση με την πρόταση των Sorensen and Grevsen (2016) να εφαρμόζεται χλωρή λίπανση με χαμηλή αναλογία C/N, αλλά αυτό μπορεί να είναι κατάλληλο για υπαίθριες καλλιέργειες σε εύκρατα κλίματα. Υπό συνθήκες θερμοκηπίου, η υψηλή θερμοκρασία του εδάφους και οι βέλτιστες συνθήκες υγρασίας ευνοούν την ταχεία αποσύνθεση της οργανικής ύλης, ενώ η διάρκεια της καλλιέργειας τομάτας θερμοκηπίου είναι σχετικά μεγάλη. Έτσι, στο θερμοκήπιο, φαίνεται σκόπιμο να εφαρμόζεται βιομάζα με υψηλότερη αναλογία C/N ως χλωρή λίπανση για να αποφευχθεί ο υπερβολικός ρυθμός ανοργανοποίησης N αμέσως μετά την ενσωμάτωσή της στο έδαφος, ακολουθούμενος από ανεπαρκή απελευθέρωση N στη συνέχεια.

Στην τρέχουσα μελέτη η δόση εφαρμογής των pellets μηδικής είχε σημαντικό αντίκτυπο, τόσο στα επίπεδα ανόργανου N του εδάφους, όσο και στην απόδοση καρπών τομάτας. Βέβαια, οποιαδήποτε αύξηση του λόγου C/N στη βιομάζα που εφαρμόζεται ως χλωρή λίπανση σε βιολογική τομάτα θερμοκηπίου θα πρέπει να συνοδεύεται από ανάλογη αύξηση της συνολικής εφαρμοζόμενης βιομάζας για τη διατήρηση υψηλού επιπέδου εισροής N στο έδαφος. Παρόλα αυτά, αν και η αύξηση του λόγου C/N στη βιομάζα που ενσωματώνεται στο έδαφος ως χλωρή λίπανση μπορεί να καθυστερήσει την εμφάνιση ανεπάρκειας N στην τομάτα του θερμοκηπίου, πιθανώς δεν μπορεί να την αποτρέψει εντελώς, λόγω των υψηλών απαιτήσεων N και της μεγάλης περιόδου καλλιέργειας. Επομένως, η εφαρμογή υδατοδιαλυτών οργανικών λιπασμάτων N που επιτρέπονται στη βιολογική καλλιέργεια μέσω υδρολίπανσης

μετά από μια συγκεκριμένη περίοδο καλλιέργειας, ή εναλλακτικά η εφαρμογή N ως επιφανειακή λίπανση, μπορεί να είναι η μόνη βιώσιμη πρακτική καλλιέργειας για τη διατήρηση του δυναμικού απόδοσης τοματών που καλλιεργούνται βιολογικά σε θερμοκήπια (Voogt et al., 2011).

Στο παρόν πείραμα, η απομάκρυνση του N από το έδαφος μέσω των φυτικών υπολειμμάτων είχε αναπληρωθεί εκ των προτέρων, καθώς τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας τομάτας είχαν ενσωματωθεί στο έδαφος σε όλες τις μεταχειρίσεις, ακολουθώντας κοινές πρακτικές στη βιολογική καλλιέργεια (Sainju et al., 2003b; Watson et al., 2002a). Η έκπλυση του $\text{NO}_3\text{-N}$ στα θερμοκήπια είναι ελάχιστη, όταν εφαρμόζεται σωστός προγραμματισμός άρδευσης μέσω στάγδην άρδευσης (Gianquinto et al., 2013), ενώ οι απώλειες N λόγω απονιτροποίησης ως εκπομπές N_2O ήταν χαμηλές. Οπότε, η απομάκρυνση N μέσω της συγκομιδής καρπών μπορεί να θεωρηθεί ως καλή εκτίμηση της συνολικής αφαίρεσης N από το έδαφος. Οι συγκεντρώσεις N στους καρπούς ήταν χαμηλές σε σύγκριση με εκείνες που αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία για τη συμβατική καλλιέργεια τομάτας (Colla et al., 2002; Sainju et al., 2003a). Πράγματι, στη βιολογική καλλιέργεια η συγκέντρωση N στους καρπούς είναι συνήθως χαμηλότερη από ό, τι στις συμβατικές καλλιέργειες (Campiglia et al., 2011; Colla et al., 2002). Κατά συνέπεια, χαμηλή ήταν επίσης η απομάκρυνση N μέσω των καρπών που συγκομίστηκαν, που κυμαίνονταν από 7,6 έως 11,2 g m⁻². Αυτά τα ποσά N είναι παρόμοια με αυτά που προστέθηκαν από τη μεταχείριση ΜΗΧ και χαμηλότερα από αυτά που προστέθηκαν από τις μεταχειρίσεις ΜΗΥ και ΚΟΥ. Ωστόσο, τα επίπεδα $\text{NO}_3\text{-N}$ και $\text{NH}_4\text{-N}$ ήταν ουσιαστικά χαμηλότερα στο τέλος της περιόδου καλλιέργειας από ότι πριν από την ενσωμάτωση της μεταφερόμενης χλωρή λίπανσης στο έδαφος. Αυτή η σταδιακή μείωση του ανόργανου N του εδάφους σε όλες τις μεταχειρίσεις κάτω από τα επίπεδα που μετρήθηκαν πριν από την ενσωμάτωση της οργανικής βιομάζας δείχνει ότι, μετά από ένα συγκεκριμένο στάδιο καλλιέργειας, τα φυτά κάλυπταν μέρος των απαιτήσεων N από τα αποθέματα εδάφους. Αυτό υποδεικνύει ότι ο ρυθμός ανοργανοποίησης N μετά την αρχική κορύφωση μειώθηκε σε επίπεδα που ήταν ανίκανα να καλύψουν τις απαιτήσεις του φυτού σε N, καθώς, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η συνολική ποσότητα N

που περιλαμβανόταν σε όλες τις μεταχειρίσεις χλωρής λίπανσης ήταν επαρκής για την κάλυψη της απομάκρυνσης N μέσω των καρπών.

Τέλος, η εφαρμογή ΚΟΥ είναι οικονομικά πιο συμφέρουσα καθώς με χαμηλότερη προσθήκη οργανικού N είχε την ίδια επίδραση στη αζωτούχο θρέψη και στην απόδοση της τομάτας με την ΜΗΥ, ενώ η τελευταία επιβαρύνεται επιπλέον με το κόστος ξήρανσης, μεταφοράς και εμπορίας των pellets μηδικής. Επιπλέον, η έκταση που καλλιεργείται με κουκιά, ή οποιοδήποτε άλλο ψυχανθές που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή μεταφερόμενης χλωρής κοπριάς, μπορεί να επεκταθεί σε σχέση με την έκταση του θερμοκηπίου. Επιπλέον, η μεταχείριση με ψυχανθή μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με την επέκταση της καλλιεργητικής περιόδου του ψυχανθούς για την ενίσχυση της καθαρής ποσότητας N που παρέχεται στην καλλιέργεια ντομάτας, καθώς και με τη συγκαλλιέργεια με αγρωστώδη, αυξάνοντας έτσι την αναλογία C/N για να επιτευχθεί μια πιο ομαλή καμπύλη της ανοργανοποίησης του N.

6.5 Συμπεράσματα

Η εφαρμογή βιομάζας ψυχανθών ως συμπληρωματικής πηγής N σε βιολογικές καλλιέργειες τομάτας που καλλιεργούνται σε θερμοκήπια, είτε σε μορφή μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης με κουκιά που καλλιεργήθηκαν εκτός θερμοκηπίου, είτε ως pellets μηδικής, αυξάνει σημαντικά το διαθέσιμο στο φυτό N του εδάφους και ταυτόχρονα βελτιώνει τη αζωτούχο διατροφή και την απόδοση. Το όφελος για την καλλιέργεια ντομάτας αυξάνεται ανάλογα με τη δόση εφαρμογής σφαιριδίων μηδικής, αλλά η προσθήκη οργανικού N μέσω μεταφερόμενης χλωρής λίπανσης με νωπή βιομάζα κουκιών φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματική και οικονομικά συμφέρουσα.

Ωστόσο, ο ρυθμός ανοργανοποίησης N δεν συγχρονίζεται με τις ανάγκες N της καλλιέργειας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια μη ισορροπημένη διαθεσιμότητα N, που μπορεί να επιφέρει περίσσεια N στο αρχικό στάδιο και ανεπάρκεια N σε μεταγενέστερο στάδιο καλλιέργειας. Με την επέκταση της καλλιεργούμενης έκτασης των κουκιών και τον κατάλληλο χειρισμό, η ποσότητα N και η αναλογία C/N μπορούν να αυξηθούν, προκειμένου να μετριαστεί αυτή η ανισορροπία στην αζωτούχο θρέψη της καλλιέργειας τομάτας. Παρόλα αυτά, η συμπληρωματική παροχή οργανικού N μέσω υδρολίπανσης ή επιφανειακής

λίπανσης φαίνεται ότι είναι απαραίτητη στις θερμοκηπιακές βιολογικές καλλιέργειες τομάτας, προκειμένου να διατηρηθεί το επίπεδο παραγωγικότητας των φυτών για μεγαλύτερη καλλιεργητική περίοδο.

7. Γενική συζήτηση – Συμπεράσματα

7.1 Αναγκαιότητα εμβολιασμού ψυχανθών

Όταν ένας είδος ψυχανθούς δεν έχει καλλιεργηθεί ή αναπτυχθεί ποτέ πριν σε ένα συγκεκριμένο έδαφος, τότε ο εμβολιασμός με τα κατάλληλα ριζόβια είναι απαραίτητος, προκειμένου να σχηματιστούν φυμάτια και να δεσμευτεί συμβιωτικά ατμοσφαιρικό N², σύμφωνα με τα ευρήματα της 1^{ης} Πειραματικής Ενότητας, καθώς και άλλων ερευνών (Soares et al., 2014; Thies et al., 1991). Ο μη εμβολιασμός του αμπελοφάσουλου, σε συνδυασμό με τα χαμηλά επίπεδα ανόργανου εδαφικού N, οδήγησε σε περιορισμένο σχηματισμό φυματίων με αποτέλεσμα τη σημαντικά μικρότερη παραγωγή υπέργειας βιομάζας σε σύγκριση με αυτή των εμβολιασμένων φυτών. Κατά συνέπεια, το όφελος που προσέφερε η χλωρή λίπανση με μη εμβολιασμένα αμπελοφάσουλα στην καλλιέργεια τομάτας που ακολούθησε αμέσως μετά ήταν πολύ μικρότερο, σε σύγκριση με αυτό της χλωρής λίπανσης με εμβολιασμένα φυτά.

Όταν, όμως, το επόμενο έτος στο 3^ο πείραμα της 1^{ης} Πειραματικής Ενότητας καλλιεργήθηκε πάλι αμπελοφάσουλο για χλωρή λίπανση στο ίδιο έδαφος, ο εμβολιασμός με ριζόβια δεν είχε σημαντική επίδραση στη συμβιωτική αζωτοδέσμευση, στην παραγωγή βιομάζας ή σε οποιαδήποτε άλλη από τις παραμέτρους που μετρήθηκαν. Αυτό υποδεικνύει ότι τα ριζόβια διασπάρθηκαν με επιτυχία σε όλα τα πειραματικά τεμάχια και επιβίωσαν στο έδαφος για τουλάχιστον ένα έτος. Επομένως, στη γεωργική πρακτική ο εμβολιασμός μπορεί να είναι απαραίτητος μόνο κατά την πρώτη καλλιέργεια των ψυχανθών, ενώ στη συνέχεια αυτή η δαπάνη μπορεί να αποφευχθεί.

Αντίθετα, τα κουκιά δε φάνηκαν να ωφελούνται ουσιαστικά από τον εμβολιασμό τους με τα αντίστοιχα ριζόβια, καθώς δε σημειώθηκε καμία διαφορά στη συμβιωτική αζωτοδέσμευση και στην παραγωγή βιομάζας, παρόλο που δεν είχαν καλλιεργηθεί πάλι στο συγκεκριμένο έδαφος. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι στο συγκεκριμένο έδαφος αναπτυσσόταν διάφορα αυτοφυή είδη τους γένους *Vicia*, που αποικίζονται από ριζόβια κατάλληλα για τα κουκιά. Τέλος, τα είδη των μη συμβιωτικών ωφέλιμων βακτηρίων (PGPRs) που πιθανώς προάγουν την ανάπτυξη των φυτών και δοκιμάστηκαν στην παρούσα έρευνα, δεν πρόσφεραν κάποιο σημαντικό πλεονέκτημα στα εμβολιασμένα ψυχανθή.

7.2 Εμπλουτισμός του εδάφους με N μέσω της χλωρής λίπανσης με ψυχανθή

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα όλων των Πειραματικών Ενοτήτων, η χλωρή λίπανση με ψυχανθή μπορεί να εμπλουτίσει το έδαφος με σημαντική ποσότητα N που έχει δεσμευτεί συμβιωτικά. Το ατμοσφαιρικό N που προστέθηκε στο έδαφος στην παρούσα έρευνα κυμάνθηκε από 12 kg/στρ για δίμηνη καλοκαιρινή καλλιέργεια αμπελοφάσουλου (1^ο πείραμα 1^{ης} Πειραματικής Ενότητας) έως 15 kg/στρ για τετράμηνη φθινοπωρινή-χειμερινή καλλιέργεια κουκιών (3^η Πειραματική Ενότητα). Αυτές οι ποσότητες N είναι λίγο χαμηλότερες από τη μέγιστη δόση N (17 kg/στρ) που επιτρέπεται να προστεθεί στο έδαφος μέσω εφαρμογής ζωικής κοπριάς.

Όμως, με τη σταδιακή αύξηση της οργανικής ουσίας στο έδαφος, του συνολικού N και, το σημαντικότερο, του ανόργανου N που είναι διαθέσιμο στα φυτά, το ποσοστό του N_dfa μειώνεται ουσιαστικά (Nishida and Suzaki, 2018; Saito et al., 2014). Ως αποτέλεσμα, το N που δεσμεύτηκε από τα αμπελοφάσουλα και εμπλούτισε το έδαφος περιορίστηκε στα περίπου 5 kg/στρ στο 3^ο πείραμα της 1^{ης} Πειραματικής Ενότητας, μολονότι το συνολικό N που συσσωρεύτηκε στη βιομάζα των ψυχανθών παρέμεινε στα ίδια υψηλά επίπεδα με το 1^ο πείραμα της ίδιας Ενότητας. Συνεπώς, η παρουσία σχετικά υψηλών ποσοτήτων ανόργανου N στο έδαφος κατά την εγκατάσταση ψυχανθών για χλωρή λίπανση μπορεί να μειώσει σημαντικά το μεγαλύτερο, ίσως, όφελος που αυτή προσφέρει, δηλαδή τον εμπλουτισμό του εδάφους με N.

Όπως φαίνεται στην 3^η Πειραματική Ενότητα, η υψηλή διαθεσιμότητα ανόργανου N στο έδαφος δεν έχει την ίδια επίπτωση σε όλα τα είδη ψυχανθών, όσον αφορά στη συμβιωτική αζωτοδέσμευση. Έτσι, για τα ίδια επίπεδα ανόργανου N το %N_dfa στα κουκιά ανέρχεται σε σχετικά υψηλά επίπεδα, στα αμπελοφάσουλα κυμαίνεται σε ενδιάμεσα, ενώ στο φασόλι σε χαμηλά επίπεδα. Σε κάθε περίπτωση τα συγκεκριμένα τρία είδη ψυχανθών κατατάσσονται σε διαφορετικές κατηγορίες ως προς τον αποικισμό τους από ριζόβια και την ικανότητα συμβιωτικής δέσμευσης N₂. Επομένως, με την κατάλληλη επιλογή ειδών ψυχανθών και ίσως και ποικιλιών για χλωρή λίπανση, αλλά και του συνδυασμού τους με τα κατάλληλα ριζόβια, η δυσμενής επίδραση του ανόργανου N στην αζωτοδέσμευση μπορεί να μετριαστεί, όπως προτείνουν και άλλοι ερευνητές (Peoples et al., 2009; Stagnari et al., 2017). Επιπλέον, η

αζωτοδέσμευση δεν αναμένεται να περιοριστεί όταν τα ψυχανθή καλλιεργούνται σε υπαίθριο αγρό εκτός θερμοκηπίου, καθώς το ανόργανο N στο έδαφος που γίνεται η εγκατάσταση της καλλιέργειας παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Στην περίπτωση των κουκιών της 4^{ης} Πειραματικής Ενότητας, το N₂ που δεσμεύτηκε, απομακρύνθηκε από τον αγρό μέσω της συγκομιδής της υπέργειας βιομάζας για να μεταφερθεί στο θερμοκήπιο. Συνεπώς, το οργανικό N στο συγκεκριμένο έδαφος δεν αυξάνεται, με συνέπεια το ανόργανο N να παραμένει σε χαμηλά επίπεδα και κατά την επόμενη καλλιεργητική περίοδο.

7.3 Εμπλουτισμός του εδάφους με N μέσω της συγκαλλιέργειας ψυχανθών με τομάτα

Η συγκαλλιέργεια κουκιών με τομάτα για την ενσωμάτωση της βιομάζας του ψυχανθούς στο έδαφος δεν παρείχε σημαντική ποσότητα οργανικού N για την λίπανση της επόμενης καλλιέργειας τομάτας, σύμφωνα με το 2^ο πείραμα της 1^{ης} και 2^{ης} Πειραματικής Ενότητας. Αν και η συγκέντρωση ολικού N στους ιστούς του κουκιού και το %Ndfa κυμάνθηκαν σε υψηλά επίπεδα συγκριτικά με τα αναφερόμενα στη βιβλιογραφία (Denton et al., 2017; Peoples et al., 2009), ο άλλος παράγοντας που καθορίζει το αναμενόμενο όφελος από την συμβιωτική αζωτοδέσμευση, δηλαδή η ποσότητα της παραγόμενης βιομάζας, κινήθηκε σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Έτσι, το N₂ που δεσμεύτηκε συμβιωτικά από τα κουκιά και εμπλούτισε το έδαφος δεν ξεπέρασε το 1,5 kg/στρ. Αυτό αποδίδεται καταρχήν στην χαμηλή πυκνότητα σποράς του κουκιού (10,67 φυτά/m²), καθώς ένα σημαντικό μέρος της καλλιεργούμενης έκτασης το καταλάμβαναν τα φυτά τομάτας. Αποδίδεται, όμως, σε σημαντικό βαθμό και στην περιορισμένη ηλιακή ακτινοβολία που έφτανε στα κουκιά, καθώς, εκτός από την σκίαση που προκαλούσε το φύλλωμα της τομάτας, η ηλιοφάνεια την συγκεκριμένη εποχή του έτους (φθινόπωρο-χειμώνας) ήταν περιορισμένη. Η συγκαλλιέργεια θα μπορούσε να δοκιμαστεί άλλη εποχή με μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, με σπορά ταυτόχρονα με τη φύτευση της τομάτας, ή και με αναρριχώμενα είδη ψυχανθών (αμπελοφάσουλο, φασόλι), ώστε να αυξηθεί, ίσως, τόσο η παραγόμενη βιομάζα όσο και το N₂ που δεσμεύεται συμβιωτικά.

7.4 Επίδραση της καλλιέργειας ψυχανθών για συγκομιδή χλωρών λοβών στην ακόλουθη καλλιέργεια τομάτας

Η καλλιέργεια φασολιού και αμπελοφάσουλου για συγκομιδή χλωρών λοβών πριν την βιολογική καλλιέργεια τομάτας είχε αρνητική ή ουδέτερη, αντίστοιχα, επίδραση στο ισοζύγιο οργανικού N στο έδαφος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της 3^{ης} Πειραματικής Ενότητας. Αυτό οφειλόταν στην ποσότητα N που απομακρύνεται μέσω της συγκομιδής λοβών, αλλά και στο χαμηλό επίπεδο αζωτοδέσμευσης λόγω της υψηλής συγκέντρωσης ανόργανου N στο έδαφος κατά την εγκατάσταση των δύο καλλιεργειών. Σε κάθε περίπτωση, η καλλιέργεια αμπελοφάσουλου έδειξε να προσφέρει μεγαλύτερο όφελος στην καλλιέργεια τομάτας που την διαδέχθηκε, καθώς οδήγησε σε υψηλότερη παραγωγή καρπών, σε σύγκριση με την καλλιέργεια φασολιού.

7.5 Χλωρή λίπανση με μεταφερόμενη βιομάζα ψυχανθών

Ενδεχομένως, το καλλιεργητικό πλάνο στο θερμοκήπιο να μην επιτρέπει πάντα την καλλιέργεια ψυχανθών ως χλωρή λίπανση, λόγω έλλειψης επαρκούς χρονικού διαστήματος για την παραγωγή βιομάζας. Σε αυτή την περίπτωση η μέθοδος της μεταφερόμενης βιομάζας ψυχανθών μπορεί να προσφέρει μια αξιόλογη λύση για τον εμπλουτισμό του εδάφους του θερμοκηπίου με οργανικό N, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της 4^{ης} Πειραματικής Ενότητας. Η καλλιέργεια κουκιών σε υπαίθρια έκταση, ίση με της αντίστοιχης μεταχείρισης του θερμοκηπίου πρόσφερε μία ποσότητα 15 kg N/στρ. Αυτή η ποσότητα μπορεί να αυξηθεί επιπλέον διευρύνοντας, είτε την καλλιεργούμενη υπαίθρια έκταση, είτε τη διάρκεια καλλιέργειας του ψυχανθούς, καθώς δεν υπάρχουν οι αντίστοιχοι χωρικοί και χρονικοί περιορισμοί του θερμοκηπίου. Επιπλέον, η παραγωγή και συγκομιδή βιομάζας στον υπαίθριο αγρό δείχνει να είναι αειφορική, όσον αφορά το N, καθώς η ποσότητα του εδαφικού N που απομακρύνεται με την υπέργεια βιομάζα αναπληρώνεται από το συμβιωτικά δεσμευμένο N που παραμένει στην υπόγεια βιομάζα (φυμάτια, ρίζα και εκκρίσεις της) σύμφωνα με τους Herridge et al. (2008), Peoples et al. (2009) και Ruisi et al. (2017). Φυσικά, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την αποφυγή πιθανής εξάντλησης των άλλων θρεπτικών στοιχείων του εδάφους.

Στην περίπτωση του pellet μηδικής η ποσότητα που θα εφαρμοστεί δεν έχει περιορισμό, καθώς είναι προϊόν που διατίθεται ήδη στην αγορά ως ζωοτροφή. Οπότε τα κριτήρια επιλογής είναι, αφενός το κόστος προμήθειας του προϊόντος σε σχέση με το ολικό N που απαιτείται για την καλλιέργεια της τομάτας, αφετέρου ο ρυθμός ανοργανοποίησης της βιομάζας και η προσφορά διαθέσιμου στα φυτά N. Επιπλέον πλεονέκτημα της μεταφερόμενης βιομάζας ψυχανθών είναι ότι παρέχονται στο έδαφος όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών, αν και όχι όλα σε επαρκείς ποσότητες για την απαιτητική καλλιέργεια της τομάτας θερμοκηπίου. Από την άλλη, χάνονται σημαντικά οφέλη της αμειψισποράς, όπως η βελτίωση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων και της μικροβιακής δραστηριότητας του εδάφους που συνοδεύει την ανάπτυξη των ριζών των ψυχανθών, καθώς και η διακοπή του βιολογικού κύκλου ασθενειών και εχθρών της κύριας καλλιέργειας.

7.6 Πολυπλοκότητα συστήματος βιολογικής καλλιέργειας – Περιορισμοί της έρευνας

Το σύστημα της βιολογικής καλλιέργειας είναι ιδιαίτερα περίπλοκο, καθώς διάφοροι παράγοντες αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους (Atkinson and Watson, 2000). Για αυτό και η χλωρή λίπανση με ψυχανθή μπορεί να έχει και αρνητικές συνέπειες στην κύρια καλλιέργεια τομάτας (Watson et al., 2002a), όπως συνέβη και στην παρούσα διατριβή και ειδικότερα στα πρώτα πειράματα της 1^{ης} και 2^{ης} Πειραματικής Ενότητας. Οι νηματώδεις *Meloidogyne* ευνοήθηκαν από την καλλιέργεια της τοπικής ποικιλίας αμπελοφάσουλου, καθώς τα ψυχανθή φυτά λειτούργησαν ως ξενιστές που πολλαπλασίασαν τον πληθυσμό τους, με συνέπεια η καλλιέργεια της τομάτας που επακολούθησε να προσβληθεί πιο έντονα. Την επόμενη χρονιά, με την επιλογή της ανθεκτικής στους νηματώδεις ποικιλίας αμπελοφάσουλου Iron Clay (Harrison et al., 2006) δεν παρατηρήθηκε το ίδιο πρόβλημα. Τα παραπάνω συνιστούν ένα πολύ καλό παράδειγμα για τον απρόβλεπτο τρόπο με τον οποίο διάφοροι βιοτικοί και αβιοτικοί παράγοντες μπορούν να αλληλοεπιδράσουν μεταξύ τους στη βιολογική γεωργία και να επηρεάσουν αρνητικά την καλλιέργεια και τη σοδειά.

Για την εξάλειψη της επίδρασης των νηματωδών στα αποτελέσματα των πειραμάτων, μετά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο της τομάτας που

εμφανίστηκε το πρόβλημα, επιλέχτηκε η μέθοδος του εμβολιασμού του επιλεγμένου υβριδίου τομάτας σε ανθεκτικό υποκείμενο τομάτας (Louws et al., 2010). Όμως, η επιλογή αυτή, πιθανώς, είχε συνέπειες και στη θρέψη των φυτών καθώς τα εμβολιασμένα φυτά είναι πιο εύρωστα και με μεγαλύτερο και πλουσιότερο ριζικό σύστημα και επομένως μπορούν να απορροφούν N και άλλα θρεπτικά με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από το έδαφος σε σχέση με τα αυτόρριζα (Khah et al., 2006; Passam et al., 2005). Επιπλέον, οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιήθηκαν τόσο για την αντιμετώπιση των νηματωδών, όπως ο *Bacillus firmus*, όσο και για την αντιμετώπιση εδαφογενών ασθενειών, όπως ο μύκητας *Trichoderma asperellum*, μπορεί να έχουν θετική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών (Patakioutas et al., 2014). Βέβαια, οι παραπάνω εφαρμογές έγιναν ομοιόμορφα σε όλα τα πειραματικά τεμάχια, ώστε να μην αλλοιώνουν τις επιδράσεις των πειραματικών μεταχειρίσεων.

Τα άλλα δύο μακροστοιχεία που έχουν ανάγκη τακτικής αναπλήρωσης τους μέσω της λίπανσης στα καλλιεργούμενα εδάφη, ο P και το K, δεν έδρασαν ως περιοριστικοί παράγοντες στην παραγωγή της τομάτας σε οποιαδήποτε πειραματική επέμβαση. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι το έδαφος του θερμοκηπίου που φιλοξένησε τα πειράματα της παρούσας διατριβής ήταν επαρκώς εφοδιασμένο, πιθανώς λόγω παλαιότερων χημικών λιπάνσεων που είχε δεχτεί. Ως αποτέλεσμα, μολονότι οι διαφορετικές μεταχειρίσεις παρείχαν διαφορετικές ποσότητες από αυτά τα δύο θρεπτικά στοιχεία, δεν σημειώθηκε αντίστοιχη επίδραση στη θρέψη της τομάτας. Οι σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση P που μετρήθηκαν στα φύλλα της τομάτας στα πρώτα πειράματα της 1^{ης} και 2^{ης} Πειραματικής Ενότητας αποδίδονται στη σημαντική προσβολή του ριζικού συστήματος από τους νηματώδεις. Οι προσβολές των νηματωδών επηρέασαν με διαφορετικό τρόπο την ικανότητα απορρόφησης P σε κάθε πειραματική επέμβαση, ανάλογα με την έκταση της προσβολής των νηματωδών σε αυτή. Τα επίπεδα του διαθέσιμου P στο έδαφος δεν φαίνεται να έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση P, καθώς αυτά ήταν επαρκή για τη θρέψη των φυτών.

Όπως παρατηρήθηκε στην 3^η Πειραματική Ενότητα, η μέθοδος της ηλιοαπολύμανσης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στη διαθεσιμότητα του N στο έδαφος, αυξάνοντας ουσιαστικά το επίπεδο του αμμωνιακών και νιτρικών

ιόντων. Αυτό αποδίδεται στις υψηλή υγρασία και θερμοκρασία κατά την εφαρμογή της ηλιοαπολύμανσης που ευνοούν την ανοργανοποίηση του N και ταυτόχρονα στην μη κατανάλωση αυτού του N λόγω της απουσίας φυτών. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να συνεκτιμηθεί και να αξιοποιηθεί κατά την κατάρτιση του καλλιεργητικού πλάνου. Συγκεκριμένα, προτείνεται μετά την ηλιοαπολύμανση να ακολουθεί μία κύρια καλλιέργεια απαιτητική σε N, ώστε να ωφεληθεί από τα αυξημένα επίπεδα διαθέσιμου στα φυτά N.

7.7 Ρυθμός ανοργανοποίησης οργανικών υλικών και αζωτούχος θρέψη της τομάτας

Εκτός από τη συνολική ποσότητα οργανικού N που προστίθεται στο έδαφος, ο ρυθμός ανοργανοποίησης του N είναι εξαιρετικά σημαντικός για την αζωτούχο θρέψη στη βιολογική γεωργία, καθώς η ικανότητα απορρόφησης οργανικού N από τα φυτά είναι ασήμαντη (Berry et al., 2002; Dahlin et al., 2005; Watson et al., 2002a). Έτσι, ενώ οι μεταχειρίσεις με κοπριά βοοειδών πρόσθεταν 17 kg N/στρ και οι μεταχειρίσεις με κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου έδιναν 37,8 kg N/στρ, αποδείχτηκε πως η λίπανση με κοπριά παρείχε σημαντικά περισσότερο ανόργανο N, συμβάλλοντας στην καλύτερη αζωτούχο θρέψη της τομάτας και στην υψηλότερη απόδοση σε καρπούς, σε σχέση με το κομπόστ. Αυτό το μειονέκτημα του κομπόστ αποδίδεται στο χαμηλότερο ρυθμό ανοργανοποίησης που το διακρίνει, σε σχέση με την κοπριά αλλά και με τη βιομάζα ψυχανθών (Baldwin, 2006; Nair and Delate, 2016).

Όσον αφορά τα ψυχανθή, ανεξάρτητα από το είδος σε κάθε μεταχείριση και πείραμα, διαπιστώθηκε ότι ένα σημαντικό μέρος της βιομάζας τους ανοργανοποιείται κατά τις πρώτες εβδομάδες από την ενσωμάτωσή τους στο έδαφος. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με προηγούμενα ευρήματα των Lenzi et al. (2009), Sullivan and Andrews (2012) και Thorup-Kristensen et al. (2003). Η ταχεία ανοργανοποίηση της βιομάζας των ψυχανθών οδήγησε σε πολύ αυξημένα επίπεδα ανόργανου εδαφικού N κατά την πρώτη δειγματοληψία μετά την εγκατάσταση της καλλιέργειας τομάτας, η οποία προκάλεσε υπερβολική βλαστική ανάπτυξη των φυτών σε αυτό το στάδιο καλλιέργειας. Στη συνέχεια ο ρυθμός ανοργανοποίησης των ενσωματωμένων οργανικών υλικών μειώθηκε δραστικά, ενώ οι ανάγκες των φυτών σε N αυξανόταν βαθμιαία μέχρι κάποιο

στάδιο καλλιέργειας, καθώς το μέγεθός τους και το φορτίο καρποφορίας μεγάλωναν. Το αποτέλεσμα ήταν να ακολουθεί πτωτική κατεύθυνση η καμπύλη συγκέντρωσης του ανόργανου N στο έδαφος με συνέπεια να μην καλύπτονται οι ανάγκες της τομάτας σε N. Αυτή η μείωση του ανόργανου N στο έδαφος συνοδεύτηκε με εμφάνιση συμπτωμάτων τροφopenίας N, τα οποία επιβεβαιώθηκαν από τις αντίστοιχες αναλύσεις φύλλων. Η εξάντληση του ανόργανου N και κατά συνέπεια η ανεπαρκής θρέψη των φυτών ήταν πιο έντονη κατά την ανοιξιάτικη-καλοκαιρινή καλλιέργεια τομάτας. Αυτό αποδίδεται στη μεγαλύτερη διάρκεια ημέρας και την αυξημένη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς αυτοί οι δύο κλιματικοί παράγοντες καθορίζουν μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης το ρυθμό αφομοίωσης του ανόργανου N. Κατά τη φθινοπωρινή-χειμωνιάτικη καλλιέργεια που η διάρκεια ημέρας ήταν μικρότερη και η νεφοκάλυψη ήταν συχνά σε υψηλά επίπεδα, οι απαιτήσεις των φυτών σε N ήταν μικρότερες. Μάλιστα κατά την τελευταία δειγματοληψία, τον Ιανουάριο, η συγκέντρωση ανόργανου N στο έδαφος παρουσίασε αυξητική τάση.

Σχετικά με την αζωτούχο θρέψη, όπως αυτή προσδιορίστηκε με μακροσκοπική παρατήρηση των φυτών τομάτας αλλά κυρίως με τις αναλύσεις φύλλων στο κατάλληλο στάδιο, η κοπριά σημείωσε την ευνοϊκότερη επίδραση, με τα ψυχανθή να ακολουθούν και το κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου να υπολείπεται των άλλων μεταχειρίσεων. Αντίστοιχες επιδράσεις καταγράφηκαν και στις αποδόσεις σε καρπούς τομάτας. Βέβαια, η καλύτερη επίδοση τόσο όσον αφορά στην επάρκεια N στο έδαφος, όσο και στην απόδοση σε καρπούς τομάτας, παρατηρήθηκε στη συνδυασμένη εφαρμογή κοπριάς και χλωρής λίπανσης με ψυχανθή. Επιπλέον, παρατηρήθηκε μία συνεχής αύξηση των αποδόσεων, από την πρώτη καλλιεργητική περίοδο τομάτας μέχρι την τέταρτη, η οποία αποδίδεται στη σταδιακή αύξηση της οργανικής ουσίας και του ολικού N στο έδαφος. Ως αποτέλεσμα, στα τελευταία πείραμα που συνδυάστηκε κοπριά και χλωρή λίπανση, οι αποδόσεις ήταν ανταγωνιστικές με τις αντίστοιχες που επιτυγχάνονται σε συμβατικές καλλιέργειες τομάτας στο θερμοκήπιο.

7.8 Προτάσεις για την βελτιστοποίηση του συγχρονισμού μεταξύ διαθεσιμότητας N στο έδαφος και αναγκών τομάτας σε N

Για να βελτιωθεί η αζωτούχος θρέψη και συνεπώς η απόδοση της βιολογικής τομάτας θερμοκηπίου, είναι απαραίτητο να συγχρονιστεί ο ρυθμός ανοργανοποίησης N με τις ανάγκες των φυτών και επομένως, να εξομαλυνθεί η καμπύλη συγκέντρωσης του ανόργανου N στο έδαφος. Το πρώτο ζήτημα είναι να μειωθεί η υψηλή συγκέντρωση N που παρουσιάζεται στο αρχικό στάδιο μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών και πριν αυξηθούν οι απαιτήσεις της τομάτας. Αυτό, πιθανώς, μπορεί να μετριαστεί με την φύτευση της τομάτας αμέσως μετά την ενσωμάτωση των οργανικών υλικών, με την επιφύλαξη της εμφάνισης, τυχόν, συμπτωμάτων αλληλοπάθειας και προσβολών από εδαφογενείς ασθένειες. Επιπλέον, μπορεί να γίνει διαφορετική διαχείριση της βιομάζας ψυχανθών, με ξήρανση πριν την ενσωμάτωση ή τον μη τεμαχισμό της (Dahlin et al., 2005; Jensen and Ambus, 2000). Η αύξηση του λόγου C/N στην ενσωματούμενη βιομάζα με συνδυασμό ψυχανθών και αγρωστωδών (Benincasa et al., 2017; Thorup-Kristensen et al., 2003), μπορεί επίσης να περιορίσει τον ρυθμό απελευθέρωσης ανόργανου N. Αυτή η επιλογή μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερα επίπεδα %Ndfa, ειδικά σε εύφορα εδάφη, καθώς τα αγρωστώδη είναι πιο αποτελεσματικά στην απορρόφηση του ανόργανου N του εδάφους από τα ψυχανθή (Stagnari et al., 2017; Watson et al., 2017).

Το σημαντικότερο πρόβλημα, όπως αναδύθηκε σχεδόν σε όλα τα πειράματα, ήταν η ανεπαρκής παροχή ανόργανου N στα μεταγενέστερα στάδια της καλλιέργειας τομάτας και ιδιαίτερα κατά την ωρίμανση της 4^{ης} και 5^{ης} ταξικαρπίας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι στα συγκεκριμένα πειράματα συγκομίστηκαν μόνο 7 ταξικαρπίες τομάτας, αν επιλεγθεί μεγαλύτερη καλλιεργητική περίοδος, το έλλειμμα N αναμένεται να είναι ακόμα υψηλότερο. Επομένως, πρέπει να αναζητηθούν επιπλέον καλλιεργητικές τεχνικές για να αντιμετωπίσουν αυτό το ζήτημα.

Εδώ θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι βασικό χαρακτηριστικό της στάγδην άρδευσης είναι η μερική διαβροχή του όγκου του εδάφους. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι πιο έντονο στην επιφάνεια του εδάφους και ειδικά στα πιο αμμώδη εδάφη. Το γεγονός αυτό στη συμβατική καλλιέργεια με την εφαρμογή της υδρολίπανσης δεν αποτελεί μειονέκτημα. Στην βιολογική γεωργία όμως, τα

οργανικά υλικά ενσωματώνονται σε όλη την επιφάνεια του εδάφους, σε ένα βάθος περίπου 20 cm, όπου η ανοργανοποίησή τους παρουσιάζει υψηλούς ρυθμούς (Lenzi et al., 2009; Stagnari et al., 2017). Η άρδευση με σταγόνα όμως διαβρέχει μόνο ένα μέρος του εδάφους γύρω από τον κάθε σταλάκτη και αυτή είναι η περιοχή του εδάφους στην οποία αναπτύσσεται η ρίζα των φυτών. Συνεπώς, μόνο ένα μέρος του εδάφους αξιοποιείται από το φυτό για απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων και αυτό μπορεί να περιορίσει σημαντικά την διαθεσιμότητα τόσο του N, όσο και των άλλων θρεπτικών στοιχείων.

Η εφαρμογή μικρής δόσης άρδευσης στην αρχή της καλλιέργειας, που θα μεγαλώνει σταδιακά και θα αυξάνει και τον όγκο εδάφους που διαβρέχεται, οπότε θα αυξάνεται ο ρυθμός ανοργανοποίησης N αλλά και ο χώρος ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των φυτών, μπορεί να δοκιμαστεί. Αυτό μπορεί να ενισχυθεί με την προσθήκη επιπλέον σταλακτών κατά την εξέλιξη της καλλιέργειας, οπότε θα αυξάνεται ο όγκος διαβροχής του εδάφους και ειδικά στην επιφάνειά του. Αυτές οι τεχνικές άρδευσης μπορούν να συνδυαστούν και με κάλυψη του εδάφους με συνθετικά ή οργανικά υλικά. Η εδαφοκάλυψη ενισχύει την επιφανειακή διύγρανση του εδάφους και επομένως την ανοργανοποίηση του N και την ανάπτυξη των ριζών στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους. Επιπλέον πλεονέκτημα της εδαφοκάλυψης είναι η αντιμετώπιση των ζιζανίων, που ειδικά στη βιολογική καλλιέργεια μπορεί να είναι σημαντικό πρόβλημα. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της εδαφοκάλυψης είναι η μείωση της σχετικής υγρασίας του αέρα την νύχτα μέσω του περιορισμού της εξάτμισης του νερού από την επιφάνεια του εδάφους, γεγονός πολύ σημαντικό, ειδικά για την περιοχή της Πρέβεζας όπου έγιναν τα πειράματα.

Θεωρείται, όμως, πιθανό ότι οι παραπάνω τεχνικές δεν θα μπορέσουν να αντιμετωπίσουν επαρκώς την έλλειψη ανόργανου N μετά από κάποιο στάδιο της καλλιέργειας τομάτας, ειδικά την εποχή του έτους με μεγάλη διάρκεια ηλιοφάνειας και για καλλιέργειες στις οποίες πρόκειται να συγκομιστούν περισσότερες από 7 ταξικαρπίες. Σε αυτή την περίπτωση, η εφαρμογή υδρολίπανσης ή επιφανειακής λίπανσης με σκευάσματα οργανικού N που επιτρέπονται στην βιολογική γεωργία είναι καθοριστικής σημασίας για την αύξηση της απόδοσης της βιολογικής καλλιέργειας τομάτας θερμοκηπίου.

7.9 Εξέλιξη αποδόσεων τομάτας

Η απόδοση σε καρπούς τομάτας ακολούθησε μια αυξητική τάση σε σχέση με το χρόνο υλοποίησης των πειραμάτων. Αυτό αποδίδεται κυρίως στη σταδιακή αύξηση της οργανικής ουσίας, του οργανικού N, και επομένως της γονιμότητας του εδάφους. Έτσι από 7,2 και 7,3 t/στρ στις καλύτερες μεταχειρίσεις στα δύο πρώτα πειράματα, η παραγωγή έφτασε σε 13,3 και 15,8 t/στρ στις καλύτερες μεταχειρίσεις στα δύο τελευταία πειράματα και ανταγωνίστηκε ευθέως τις μέσες αποδόσεις της συμβατικής καλλιέργειας τομάτας θερμοκηπίου στην περιοχή της Πρέβεζας για την ίδια εποχή και την ίδια διάρκεια καλλιέργειας.

7.10 Βασικά συμπεράσματα

Συνοπτικά, τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας διατριβής που θεωρούνται πρωτότυπα για τα ελληνικά ή και για τα παγκόσμια δεδομένα είναι:

1. Η χλωρή λίπανση με ψυχανθή και ειδικά με δίμηνη καλοκαιρινή καλλιέργεια αμπελοφάσουλου ή τετράμηνη φθινοπωρινή-χειμερινή καλλιέργεια κουκιού, μπορεί να προσφέρει σημαντικές ποσότητες ατμοσφαιρικού N στο έδαφος του θερμοκηπίου, που στην παρούσα πειραματική εργασία ανήλθαν σε 12 και 15 kg/στρ αντίστοιχα.
2. Η συγκαλλιέργεια του κουκιού με τομάτα, με τη μέθοδο που δοκιμάστηκε, δεν πρόσφερε αξιόλογες ποσότητες ατμοσφαιρικού N₂ στην επόμενη καλλιέργεια τομάτας.
3. Ο εμβολιασμός των σπόρων ψυχανθών με τα κατάλληλα ριζόβια είναι κομβικής σημασίας, όταν το ψυχανθές δεν έχει αναπτυχθεί ξανά στο συγκεκριμένο έδαφος του θερμοκηπίου, αλλά δεν κρίνεται απαραίτητο να επαναληφθεί την επόμενη χρονιά.
4. Σε περίπτωση που το καλλιεργητικό πλάνο δεν επιτρέπει την εφαρμογή χλωρής λίπανσης, η μεταφορά βιομάζας ψυχανθών που καλλιεργήθηκαν εκτός θερμοκηπίου ή προέρχεται από την αγορά, μπορεί να είναι μία καλή εναλλακτική επιλογή.
5. Ο ρυθμός ανοργανοποίησης του κομπόστ υπολειμμάτων ελαιοτριβείου, και επομένως η προσφορά του σε ανόργανο N στο έδαφος, είναι σημαντικά μικρότερος από τον αντίστοιχο των ψυχανθών και της ζωικής κοπριάς.

Συνεπώς, το κομπόστ αποδίδει λιγότερο ανόργανο N στην αμέσως επόμενη καλλιέργεια μετά την ενσωμάτωσή του, ακόμα και αν η εφαρμοζόμενη ποσότητά του περιέχει σημαντικά περισσότερο ολικό N, σε σύγκριση τόσο με τα ψυχανθή όσο και με την κοπριά.

6. Μετά την ενσωμάτωση ψυχανθών ή και κοπριάς στο έδαφος του θερμοκηπίου, στα πρώτα στάδια της καλλιέργειας τομάτας υπάρχει περίσσεια διαθέσιμου N στο έδαφος, ενώ στη συνέχεια, μετά από μία σύντομη περίοδο επάρκειας, εμφανίζεται έλλειψη. Αυτή η ανισορροπία στην αζωτούχο θρέψη πρέπει να αντιμετωπιστεί για να αυξηθεί περαιτέρω η απόδοση της βιολογικής καλλιέργειας τομάτας στο θερμοκήπιο.
7. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων φαίνεται να επιβεβαιώνεται η αντίληψη και για την καλλιέργεια τομάτας στο θερμοκήπιο ότι η βιολογική γεωργία, μέσω της σταδιακής αύξησης της οργανικής ουσίας, οδηγεί σε ανάλογη βαθμιαία αύξηση της γονιμότητας του εδάφους, η οποία διασφαλίζει την παραγωγικότητα και βιωσιμότητα της παραγωγής με αυτό το σύστημα καλλιέργειας.

8. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

- Amanuel, G., Kühne, R.F., Tanner, D.G., Vlek, P.L.G., 2000. Biological nitrogen fixation in faba bean (*Vicia faba* L.) in the Ethiopian highlands as affected by P fertilization and inoculation. *Biol. Fertil. Soils* 32, 353–359.
<https://doi.org/10.1007/s003740000258>
- Araki, H., 2016. Tomato Production with Cover Crops in Greenhouse. *Altern. Crop. Crop. Syst.* 87.
- Askegaard, M., Olesen, J.E., Rasmussen, I.A., Kristensen, K., 2011. Nitrate leaching from organic arable crop rotations is mostly determined by autumn field management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 142, 149–160.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.04.014>
- Atkinson, D., Watson, C.A., 2000. The research needs of organic farming: distinct or just the same as other agricultural research? *BCPC Conf. - Pests Dis.* 151–158.
- Atkinson, D., Walker, R.L., 2019. *Crop Rotations, The Science Beneath Organic Production.* John Wiley & Sons.
- Baldwin, K.R., 2006. Soil fertility on organic farms. *Cent. Environ.*
- Barker, A. V, 2010. *Science and technology of organic farming.* CRC Press.
- Barnard, R., Leadley, P.W., Hungate, B.A., 2005. Global change, nitrification, and denitrification: A review. *Global Biogeochem. Cycles.*
<https://doi.org/10.1029/2004GB002282>
- Bedard-Haughn, A., van Groenigen, J.W.W., van Kessel, C., 2003. Tracing 15N landscapes: potential uses and precautions. *J. Hydrol.* 272, 175–190.
[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00263-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00263-9)
- Bénard, C., Gautier, H., Bourgaud, F., Grasselly, D., Navez, B., Caris-Veyrat, C., Weiss, M., Génard, M., 2009. Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids, and phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 57, 4112–4123. <https://doi.org/10.1021/jf8036374>
- Benincasa, P., Tosti, G., Guiducci, M., Farneselli, M., Tei, F., 2017. Crop rotation as a system approach for soil fertility management in vegetables, in: *Advances in Research on Fertilization Management of Vegetable Crops.* Springer, pp. 115–

148.

Berry, P.M., Stockdale, E.A., Sylvester-Bradley, R., Philipps, L., Smith, K.A., Lord, E.I., Watson, C.A., Fortune, S., 2003. N, P and K budgets for crop rotations on nine organic farms in the UK. *Soil Use Manag.* 19, 112–118.

Berry, P.M., Sylvester-Bradley, R., Philipps, L., Hatch, D.J., Cuttle, S.P., Rayns, F.W., Gosling, P., 2002. Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? *Soil Use Manag.* 18, 248–255.

Bhogal, A., Williams, J.R., Nicholson, F.A., Chadwick, D.R., Chambers, K.H., Chambers, B.J., 2016. Mineralization of organic nitrogen from farm manure applications. *Soil Use Manag.* 32, 32–43. <https://doi.org/10.1111/sum.12263>

Birkhofer, K., Smith, H.G., Rundlöf, M., 2016. Environmental impacts of organic farming. *eLS* 1–7.

Bonanomi, G., Sarker, T.C., Zotti, M., Cesarano, G., Allevato, E., Mazzoleni, S., 2019. Predicting nitrogen mineralization from organic amendments: beyond C/N ratio by 13 C-CPMAS NMR approach. *Plant Soil* 441, 129–146.

Bridge, J., Page, S.L.J., 1980. Estimation of Root-knot Nematode Infestation Levels on Roots Using a Rating Chart. *Trop. Pest Manag.* 26, 296–298.

<https://doi.org/10.1080/09670878009414416>

Briggs, S., 2008. Nitrogen supply and management in organic farming. *Inst. Org. Train. Advice Res. Rev. Nitrogen Supply Manag. Org. Farming.*

Bruun, S., Luxhøi, J., Magid, J., de Neergaard, A., Jensen, L.S., 2006. A nitrogen mineralization model based on relationships for gross mineralization and immobilization. *Soil Biol. Biochem.* 38, 2712–2721.

<https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2006.04.023>

Bryson, G.M., Barker, A. V., 2002. Determination of optimal fertilizer concentration range for tomatoes grown in peat-based medium. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33, 759–777. <https://doi.org/10.1081/CSS-120003064>

Bustamante, S.C., Hartz, T.K., 2015. Nitrogen management in organic processing tomato production: Nitrogen sufficiency prediction through early-season soil and plant monitoring. *HortScience* 50, 1055–1063.

<https://doi.org/10.21273/hortsci.50.7.1055>

Cabrera, M.L., Kissel, D.E., Vigil, M.F., 2005. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. *J. Environ. Qual.* 34, 75–9.

<https://doi.org/doi:10.2134/jeq2005.0075>

Campiglia, E., Mancinelli, R., Radicetti, E., 2011. Influence of no-tillage and organic mulching on tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) production and nitrogen use in the mediterranean environment of central Italy. *Sci. Hortic.* 130, 588–598.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.012>

Cavigelli, M.A., Teasdale, J.R., Conklin, A.E., 2008. Long-Term Agronomic Performance of Organic and Conventional Field Crops in the Mid-Atlantic Region. *Agron. J.* 100, 785–794. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0373>

Chapagain, B.P., Wiesman, Z., 2004. Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. *Sci. Hortic.* 99, 279–288.

[https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(03\)00109-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(03)00109-2)

Clark, M.S., Horwath, W.R., Shennan, C., Scow, K.M., Lantni, W.T., Ferris, H., 1999. Nitrogen, weeds and water as yield-limiting factors in conventional, low-input, and organic tomato systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 73, 257–270.

[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00057-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00057-2)

Colla, G., Mitchell, J.P., Poudel, D.D., Temple, S.R., 2002. Changes of Tomato Yield and Fruit Elemental Composition in Conventional, Low Input, and Organic Systems. *J. Sustain. Agric.* 20, 53–67. https://doi.org/10.1300/J064v20n02_07

Collino, D.J., Salvagiotti, F., Peticari, A., Piccinetti, C., Ovando, G., Urquiaga, S., Racca, R.W., 2015. Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationships with crop, soil, and meteorological factors. *Plant Soil* 392, 239–252.

<https://doi.org/10.1007/s11104-015-2459-8>

Commission Regulation (EC) 889, 2008. Commission Regulation (EC) No 889/2008. *Off. J. L* 250 1–84.

Dahlin, P., Eder, R., Consoli, E., Krauss, J., Kiewnick, S., 2019. Integrated control of *Meloidogyne incognita* in tomatoes using fluopyram and *Purpureocillium lilacinum* strain 251. *Crop Prot.* 124, 104874.

<https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2019.104874>

Dahlin, S., Kirchmann, H., Kätterer, T., Gunnarsson, S., Bergström, L., 2005. Possibilities for improving nitrogen use from organic materials in agricultural cropping systems. *Ambio* 34, 288–295.

De Neve, S., Hartmann, R., Hofman, G., 2003. Temperature effects on N

mineralization: changes in soil solution composition and determination of temperature coefficients by TDR. *Eur. J. Soil Sci.* 54, 49–62.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2003.00521.x>

Denton, M.D., Phillips, L.A., Peoples, M.B., Pearce, D.J., Swan, A.D., Mele, P.M., Brockwell, J., 2017. Legume inoculant application methods: effects on nodulation patterns, nitrogen fixation, crop growth and yield in narrow-leaf lupin and faba bean. *Plant Soil* 419, 25–39. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3317-7>

Doltra, J., Lægdsmand, M., Olesen, J.E., 2011. Cereal yield and quality as affected by nitrogen availability in organic and conventional arable crop rotations: a combined modeling and experimental approach. *Eur. J. Agron.* 34, 83–95.

Dumas, Y., Quijada, J.S., Bonafous, M., 1993. Influence of nitrogen availability on growth and development of tomato plants until fruit-setting, in: *Optimization of Plant Nutrition*. Springer, pp. 235–241.

Efstathiadou, E., Savvas, D., Tampakaki, A.P., 2020. Genetic diversity and phylogeny of indigenous rhizobia nodulating faba bean (*Vicia faba* L.) in Greece. *Syst. Appl. Microbiol.* 43, 126149.

Gatsios, A., Ntatsi G., Celi L, Said-Pullicino D., Tampakaki A., Giannakou I, Savvas D., 2019. Nitrogen Nutrition Optimization in Organic Greenhouse Tomato Through the Use of Legume Plants as Green Manure or Intercrops. *Agronomy* 9, 766. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110766>

Gatsios, A., Ntatsi, G., Tampakaki, A., Celi, L., Savvas, D., 2020. Assessing the possibility to use legume plants as cover crops or intercrops in organic tomato production to optimize NUE. *Acta Hort.* 1286, 83–89.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1286.12>

Gianquinto, G., Muñoz, P., Pardossi, A., Ramazzotti, S., Savvas, D., 2013. Soil fertility and plant nutrition, in: *In Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops. Principles for Mediterranean Climate Areas*. FAO, Rome, pp. 205–269.

Giller, K.E. and Wilson, K.J., 2001. Nitrogen fixation in tropical cropping systems, 2nd ed. CAB International, Wallingford, UK., Wallingford.
<https://doi.org/10.1079/9780851994178.0000>

Giné, A., Sorribas, F.J., 2017. Effect of plant resistance and BioAct WG (*Purpureocillium lilacinum* strain 251) on *Meloidogyne incognita* in a tomato-

cucumber rotation in a greenhouse. *Pest Manag. Sci.* 73, 880–887.
<https://doi.org/10.1002/ps.4357>

Harrison, H.F., Thies, J.A., Fery, R.L., Smith, J.P., 2006. Evaluation of cowpea genotypes for use as a cover crop. *HortScience* 41, 1145–1148.

Herridge, D.F., Peoples, M.B., Boddey, R.M., 2008. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant Soil* 311, 1–18.

Janzen, H.H., Bole, J.B., Biederbeck, V.O., Slinkard, A.E., 1990. Fate of N applied as green manure or ammonium fertilizer to soil subsequently cropped with spring wheat at three sites in western Canada. *Can. J. Soil Sci.* 70, 313–323.

Jensen, E.S., Ambus, P., 2000. Prospects for manipulating crop residues to control nitrogen mineralisation-immobilisation in soil. *K. Skogs.-o Lantbr.-akad. Tidskr* 139, 8–25.

Jensen, E.S., Peoples, M.B., Hauggaard-Nielsen, H., 2010. Faba bean in cropping systems. *F. Crop. Res.* 115, 203–216.

Kaniszewski, S., Babik, I., Babik, J., 2019. New Pelleted Plant-Based Fertilizers for Sustainable Onion Production.

Karavidas, I., Ntatsi, G., Ntanasi, T., Vlachos, I., Tampakaki, A., Iannetta, P.P.M., Savvas, D., 2020. Comparative Assessment of Different Crop Rotation Schemes for Organic Common Bean Production. *Agronomy* 10, 1269.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10091269>

Keeney, D.R., Nelson, D.W., 1983. Nitrogen—Inorganic Forms. *Methods Soil Anal., Agronomy Monographs.*
<https://doi.org/https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c33>

Khah, E.M., Kakava, E., Mavromatis, A., Chachalis, D., Goulas, C., 2006. Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *J. Appl. Hortic.*, 8(1), 3–7.

Köpke, U., 2019. Improving organic crop cultivation. *Improv. Org. Crop Cultiv.*

Kremen, C., Miles, A., 2012. Ecosystem Services in Biologically Diversified versus Conventional Farming Systems. *Ecol. Soc.* 17, art40. <https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440>

Kutcher, H.R., Lafond, G., Johnston, A.M., Miller, P.R., Gill, K.S., May, W.E., Hogg, T., Johnson, E., Biederbeck, V.O., Nybo, B., 2002. Rhizobium inoculant and seed-applied fungicide effects on field pea production. *Can. J. Plant Sci.* 82, 645–661.

<https://doi.org/10.4141/P01-180>

- Lenzi, A., Antichi, D., Bigongiali, F., Mazzoncini, M., Migliorini, P., Tesi, R., 2009. Effect of different cover crops on organic tomato production. *Renew. Agric. Food Syst.* 24, 92–101. <https://doi.org/10.1017/S1742170508002445>
- Li, Z., Zeng, Z., Tian, D., Wang, J., Fu, Z., Zhang, F., Zhang, R., Chen, W., Luo, Y., Niu, S., 2020. Global patterns and controlling factors of soil nitrification rate. *Glob. Chang. Biol.*
- Liling, T., Qing, C., Xiaolin, L., Yongzhi, C., Guangguo, D., 2005. Studies on the target value of nitrogen supply for greenhouse tomato growth during autumn-winter season. *Plant Nutr. Fertilizer Sci.* 11, 230–235.
- Louws, F.J., Rivard, C.L., Kubota, C., 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Sci. Hortic.* 127, 127–146. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2010.09.023>
- Marra, L.M., Sousa Soares, C.R.F., de Oliveira, S.M., Ferreira, P.A.A., Soares, B.L., de Carvalho, R.F., de Lima, J.M., de Moreira, F.M.S., 2012. Biological nitrogen fixation and phosphate solubilization by bacteria isolated from tropical soils. *Plant Soil* 357, 289–307. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1157-z>
- Murphy, J., Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27, 31–36.
- Nair, A., Delate, K., 2016. Composting, crop rotation, and cover crop practices in organic vegetable production, in: *Organic Farming for Sustainable Agriculture*. Springer, pp. 231–257.
- Needham, P., 1973. Nutritional disorders. *UK Tomato Manual*. Grow. Books, London.
- Neugschwandtner, R., Ziegler, K., Kriegner, S., Wagentristl, H., Kaul, H.-P., 2015. Nitrogen yield and nitrogen fixation of winter faba beans. *Acta Agric. Scand. Sect. B — Soil Plant Sci.* 65, 658–666. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1042028>
- Nishida, H., Suzaki, T., 2018. Two Negative Regulatory Systems of Root Nodule Symbiosis: How Are Symbiotic Benefits and Costs Balanced? *Plant Cell Physiol.* 59, 1733–1738. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcy102>
- Ntatsi, G., Karkanis, A., Yfantopoulos, D., Olle, M., Travlos, I., Thanopoulos, R., Bilalis, D., Bebeli, P., Savvas, D., 2018. Impact of variety and farming practices on

growth, yield, weed flora and symbiotic nitrogen fixation in faba bean cultivated for fresh seed production. *Acta Agric. Scand. Sect. B — Soil Plant Sci.* 68, 619–630. <https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1452286>

Ntatsi, G., Karkanis, A., Yfantopoulos, D., Pappa, V., Konosonoka, I.H., Travlos, I., Bilalis, D., Bebeli, P., Savvas, D., 2019. Evaluation of the field performance, nitrogen fixation efficiency and competitive ability of pea landraces grown under organic and conventional farming systems. *Arch. Agron. Soil Sci.* 65, 294–307. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1501155>

O'Donovan, J.T., Grant, C.A., Blackshaw, R.E., Harker, K.N., Johnson, E.N., Gan, Y., Lafond, G.P., May, W.E., Turkington, T.K., Lupwayi, N.Z., Stevenson, F.C., McLaren, D.L., Khakbazan, M., Smith, E.G., 2014. Rotational Effects of Legumes and Non-Legumes on Hybrid Canola and Malting Barley. *Agron. J.* 106, 1921. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0236>

Oliveira, M., Castro, C., Coutinho, J., Trindade, H., 2019. N supply and pre-cropping benefits to triticale from three legumes in rainfed and irrigated Mediterranean crop rotations. *F. Crop. Res.* 237, 32–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.010>

Olsen, R., L.E., S., A.L., P., Page, R.H.M., Eds., D.R.K., 1982. *Methods of Soil Analysis*, in: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. ASA, Madison, Wisconsin, pp. 403–427.

Olsen, S.R., C., C.V.Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U.S. Dep. of Agric. Circ.*, p. 939.

Ouyang, Y., Norton, J.M., Stark, J.M., 2017. Ammonium availability and temperature control contributions of ammonia oxidizing bacteria and archaea to nitrification in an agricultural soil. *Soil Biol. Biochem.* 113, 161–172. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2017.06.010>

Palomba, I., 2016. Effects of C: N Ratio in Cut-and-carry Green Manure and Nitrogen Application Rate in Organic Potato Production.

Pandey, A., Li, F., Askegaard, M., Rasmussen, I.A., Olesen, J.E., 2018. Nitrogen balances in organic and conventional arable crop rotations and their relations to nitrogen yield and nitrate leaching losses. *Agric. Ecosyst. Environ.* 265, 350–362. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.032>

Papadopoulos, A.P., 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media. *Agric. Can. Pub.*, 1865/E 79 pp.

Parton, W., Silver, W.L., Burke, I.C., Grassens, L., Harmon, M.E., Currie, W.S., King, J.Y., Adair, E.C., Brandt, L.A., Hart, S.C., Fath, B., 2007. Global-Scale Similarities in Nitrogen Release Patterns During Long-Term Decomposition. *Science* (80-.). 315, 361–364. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1134853>

Passam, H.C., Stylianou, M., Kotsiras, A., 2005. Performance of eggplant grafted on tomato and eggplant rootstocks. *Eur. J. Hortic. Sci.* 70, 130–134.

Patakioutas, G., Dimou, D., Kostoula, O., Yfanti, P., Paraskevopoulos, A., Ntatsi, G., Savvas, D., 2014. Inoculation of tomato roots with beneficial micro-organisms as a means to control *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and improve nutrient uptake and yield, in: XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): 1107. pp. 141–148.

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-Nielsen, H., Jensen, E.S., 2009. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis* 48, 1–17. <https://doi.org/10.1007/BF03179980>

Peoples, M.B., Herridge, D.F., Ladha, J.K., 1995. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production?, in: *Management of Biological Nitrogen Fixation for the Development of More Productive and Sustainable Agricultural Systems*. Springer, pp. 3–28.

Ponisio, L.C., Gonigle, L.K.M., Mace, K.C., Palomino, J., Valpine, P. De, Kremen, C., 2015. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap.

Qian, P., Schoenau, J.J., King, T., Fatteicher, C., 2008. Effect of soil amendment with alfalfa pellets and glycerol on nutrition and growth of wheat, in: *Soils and Crops Workshop*.

Quemada, M., Delgado, A., Mateos, L., Villalobos, F.J., 2016. Nitrogen fertilization I: The nitrogen balance, in: *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Springer, pp. 341–368.

Reckling, M., Bergkvist, G., Watson, C.A., Stoddard, F.L., Zander, P.M., Walker, R.L., Pristeri, A., Toncea, I., Bachinger, J., 2016. Trade-Offs between Economic and Environmental Impacts of Introducing Legumes into Cropping Systems. *Front.*

Plant Sci. 7, 669. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00669>

Reinbott, T.M., Conley, S.P., Blevins, D.G., 2004. No-Tillage Corn and Grain Sorghum Response to Cover Crop and Nitrogen Fertilization. *Agron. J.* 96, 1158–1163. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.1158>

Ren, T., Christie, P., Wang, J., Chen, Q., Zhang, F., 2010. Root zone soil nitrogen management to maintain high tomato yields and minimum nitrogen losses to the environment. *Sci. Hortic.* 125, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.02.014>

Ribeiro, H.M., Figueiro, D., Alves, F., Vasconcelos, E., Coutinho, J., Bol, R., Cabral, F., 2010. Carbon-mineralization kinetics in an organically managed Cambic Arenosol amended with organic fertilizers. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173, 39–45. <https://doi.org/10.1002/jpln.200900015>

Rochester, I.J., Peoples, M.B., Constable, G.A., Gault, R.R., 1998. Faba beans and other legumes add nitrogen to irrigated cotton cropping systems. *Aust. J. Exp. Agric.* 38, 253–260. <https://doi.org/10.1071/ea97132>

Röös, E., Mie, A., Wivstad, M., Salomon, E., Johansson, B., Gunnarsson, S., Wallenbeck, A., Hoffmann, R., Nilsson, U., Sundberg, C., Watson, C.A., 2018. Risks and opportunities of increasing yields in organic farming. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 14. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0489-3>

Ruisi, P., Amato, G., Badagliacca, G., Frenda, A.S., Giambalvo, D., Di Miceli, G., 2017. Agro-ecological benefits of faba bean for rainfed mediterranean cropping systems. *Ital. J. Agron.* 12, 233–245. <https://doi.org/10.4081/ija.2017.865>

Sainju, U.M., Dris, R., Singh, B., 2003a. Mineral nutrition of tomato. *Food, Agric. Environ.* 1, 176–184.

Sainju, U.M., Singh, B.P., Whitehead, W.F., 2001. Comparison of the effects of cover crops and nitrogen fertilization on tomato yield, root growth, and soil properties. *Sci. Hortic.* 91, 201–214.

Sainju, U.M., Whitehead, W.F., Singh, B.P., 2003b. Cover crops and nitrogen fertilization effects on soil aggregation and carbon and nitrogen pools. *Can. J. Soil Sci.* 83, 155–165. <https://doi.org/10.4141/S02-056>

Saito, A., Tanabata, S., Tanabata, T., Tajima, S., Ueno, M., Ishikawa, S., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Ohyama, T., 2014. Effect of Nitrate on Nodule and Root Growth of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Int. J. Mol. Sci.* 15, 4464–4480.

<https://doi.org/10.3390/ijms15034464>

Schwarz, D., Thompson, A.J., Kläring H-P (2014), 2014. Guidelines to use tomato in experiments with a controlled environment. *Front. Plant Sci.* 5, 625.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00625>

Sincik, M., Turan, Z.M., Göksoy, A.T., 2008. Responses of Potato (*Solanum tuberosum* L.) to Green Manure Cover Crops and Nitrogen Fertilization Rates. *Am. J. Potato Res.* 85, 390–391. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9043-1>

Soares, B.L., Ferreira, P.A.A., Oliveira-Longatti, S.M. de, Marra, L.M., Rufini, M., Andrade, M.J.B. de, Moreira, F.M. de S., 2014. Cowpea symbiotic efficiency, pH and aluminum tolerance in nitrogen-fixing bacteria. *Sci. Agric.* 71, 171–180.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000300001>

Sonneveld, C., 2002. Composition of nutrient solution, in: Savvas, D., Passam, H. (Eds.), *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 179–210.

Sorensen, J.N., Grevsen, K., 2016. Strategies for cut-and-carry green manure production. *Acta Hortic.* 1137, 39–45.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1137.6>

Sorensen, J.N., Thorup-Kristensen, K., 2011. Plant-based fertilizers for organic vegetable production. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174, 321–332.
<https://doi.org/10.1002/jpln.200900321>

Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A., Pisante, M., 2017. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4, 2.
<https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>

Stockdale, E.A., Edwards, T.C., Watson, C.A., 2019. Soil Health and Its Management for Organic Farming. *Sci. Beneath Org. Prod.* 45–77.

Stockdale, E.A., Rees, R.M., 1995. Release of nitrogen from plant and animal residues and consequent plant uptake efficiency. *Biol. Agric. Hortic.* 11, 229–245.
<https://doi.org/10.1080/01448765.1995.9754708>

Sugihara, Y., Ueno, H., Hirata, T., Araki, H., 2013. Uptake and distribution of nitrogen derived from hairy vetch used as a cover crop by tomato plant. *J. Japanese Soc. Hortic. Sci.* 82, 30–38. <https://doi.org/10.2503/jjshs1.82.30>

Sullivan, D.M., Andrews, N.D., 2012. Estimating plant available nitrogen release from cover crops. *Pacific Northwest Ext. Publ.* 636, 1–23.

Talgre, L., Lauringson, E., Roostalu, H., Makke, A., 2014. Phosphorus and potassium release during decomposition of roots and shoots of green manure crops. *Biol. Agric. Hort.* 30, 264–271.
<https://doi.org/10.1080/01448765.2014.953582>

Tampakaki, A.P., Fotiadis, C.T., Ntatsi, G., Savvas, D., 2017a. Phylogenetic multilocus sequence analysis of indigenous slow-growing rhizobia nodulating cowpea (*Vigna unguiculata* L.) in Greece. *Syst. Appl. Microbiol.* 40, 179–189.
<https://doi.org/10.1016/j.syapm.2017.01.001>

Tampakaki, A.P., Fotiadis, C.T., Ntatsi, G., Savvas, D., 2017b. A novel symbiovar (*aegeanense*) of the genus *Ensifer* nodulates *Vigna unguiculata*. *J. Sci. Food Agric.* 97, 4314–4325. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8281>

Thapa, S., Adams, C.B., Trostle, C., 2018. Root nodulation in guar: Effects of soils, Rhizobium inoculants, and guar varieties in a controlled environment. *Ind. Crops Prod.* 120, 198–202. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2018.04.060>

Thies, J.E., Bohlool, B.B., Singleton, P.W., 1991. Subgroups of the Cowpea Miscellany: Symbiotic Specificity within *Bradyrhizobium* spp. for *Vigna unguiculata*, *Phaseolus lunatus*, *Arachis hypogaea*, and *Macroptilium atropurpureum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 57, 1540–5.

Thönnissen, C., Midmore, D.J., Ladha, J.K., Holmer, R.J., Schmidhalter, U., 2000. Tomato crop response to short-duration legume green manures in tropical vegetable systems. *Agron. J.* 92, 245–253.
<https://doi.org/10.1007/s100870050029>

Thorup-Kristensen, K., Magid, J., Jensen, L.S., 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Adv. Agron.* 79, 227–302. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)79005-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)79005-6)

Tindall, J.A., Mills, H.A., Radcliffe, D.E., 1990. The effect of root zone temperature on nutrient uptake of tomato. *J. Plant Nutr.* 13, 939–956.
<https://doi.org/10.1080/01904169009364127>

Tittarelli, F., Båth, B., Ceglie, F.G., del Carmen Garcia, M., Möller, K., Reents, H.J., Védie, H., Voogt, W., 2016. Soil fertility management in organic greenhouses in Europe. *BioGreenhouse COST Action*.

Tittarelli, F., Båth, B., Ceglie, F.G., García, M.C., Möller, K., Reents, H.J., Védie, H., Voogt, W., 2017. Soil fertility management in organic greenhouse: an analysis of

the European context. *Acta Hort.* 113–126.

<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1164.15>

Torstensson, G., 1998. Nitrogen Delivery and Utilization by Subsequent Crops after Incorporation of Leys with Different Plant Composition. *Biol. Agric. Hortic.* 16, 129–143. <https://doi.org/10.1080/01448765.1998.9755228>

Unkovich, M., Herridge, D., Peoples, M., Cadisch, G., Boddey, B., Giller, K., Alves, B., Chalk, P., 2008. Biological nitrogen fixation, in: *Measuring Plant-Associated Nitrogen Fixation in Agricultural Systems*. ACIAR, Canberra, pp. 9–20.

Unkovich, M.J., Herridge, D., Peoples, M., Cadish, G., Boddey, R., Giller, K., Alves, B., Chalk, P., 2008. ^{15}N natural abundance method, in: *Measuring Plant Associated Nitrogen Fixation in Agricultural Systems*. ACIAR, Canberra, pp. 131–162.

Unkovich, M.J., Pate, J.S., Sanford, P., Armstrong, E.L., 1994. Potential precision of the $\delta^{15}\text{N}$ natural abundance method in field estimates of nitrogen fixation by crop and pasture legumes in south-west Australia. *Aust. J. Agric. Res.* 45, 119–132.

<https://doi.org/10.1071/AR9940119>

van der Burgt, G.J., Rietema, C., Bus, M., 2018. *Planty Organic 5 year: evaluation of soil fertility, nitrogen dynamics and production*. Biowad, Louis Bolk Institute.

van Eysinga, J.R., 1971. *Fertilization of tomatoes with nitrogen*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands.

Voogt, W., de Visser, P.H.E., van Winkel, A., Cuijpers, W.J.M., Van de Burgt, G.J.H.M., 2011. Nutrient management in organic greenhouse production: navigation between constraints. *Acta Hort.* 915, 75–82.

<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.915.9>

Watson, C.A., Atkinson, D., Gosling, P., Jackson, L.R., Rayns, F.W., 2002a. Managing soil fertility in organic farming systems. *Soil use Manag.* 18, 239–247.

Watson, C.A., Bengtsson, H., Ebbesvik, M., Løes, A.-K., Myrbeck, A., Salomon, E., Schroder, J., Stockdale, E.A., 2002b. *A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of 1 soil fertility* SE-750 07 Uppsala, Sweden, Wiley Online Library.

Watson, C.A., Reckling, M., Preissel, S., Bachinger, J., Bergkvist, G., Kuhlman, T., Lindström, K., Nemecek, T., Topp, C.F.E., Vanhatalo, A., Zander, P., Murphy-Bokern, D., Stoddard, F.L., 2017. Grain Legume Production and Use in European Agricultural Systems, in: *Advances in Agronomy*. Elsevier, pp. 235–303.

<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.003>

Willer, H., Schlatter, B., Trávníček, J., Kemper, L., Lernoud, J., 2020. The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2020. world Org. Agric. Stat. Emerg. trends 2020.

Witter, E., Johansson, G., 2001. Potassium Uptake from the Subsoil by Green Manure Crops. *Biol. Agric. Hortic.* 19, 127–141.

<https://doi.org/10.1080/01448765.2001.9754917>

Zahran, H.H., 1999. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 63, 968–989.

Zotarelli, L., Dukes, M.D., Scholberg, J.M.S., Muñoz-Carpena, R., Icerman, J., 2009. Tomato nitrogen accumulation and fertilizer use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agric. Water Manag.* 96, 1247–1258. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.019>

Ελληνική

Δαουτόπουλος Γ. και Κουτσούκος Μ., 2008. Ιστορία της γεωργίας. ΖΥΓΟΣ: Θεσ/νίκη, σελ. 378

Σάββας Δ., 2016. Γενική Λαχανοκομία. Πεδίο: Αθήνα, σελ. 706

Πηγές διαδικτύου

ΕΛΣΤΑΤ, Εκτάσεις και παραγωγή λαχανικών, 2018. perma.cc/GG25-F5AA

Συγκεντρωτικά Στοιχεία Ενιαίων Αιτήσεων Εκμετάλλευσης, ΟΠΕΚΕΠΕ. perma.cc/Q9EA-TCA9

Ταβουλάρης Κ. Μέσες Αποδόσεις Φυτικών Καλλιεργειών στην Ελλάδα. ΥΠΑΑΤ, Αθήνα, 2012. perma.cc/5J6Q-4QQT

ΥΠΑΑΤ, βιολογική καλλιέργεια, 2018. perma.cc/NV4Z-68S8

ΥΠΑΑΤ, βιολογική καλλιέργεια, 2019. perma.cc/T9XM-APEK

ΥΠΑΑΤ, Εκτάσεις και παραγωγή λαχανικών. perma.cc/46LB-RVSW

Δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά με σύστημα κριτών

Gatsios, A., Ntatsi, G., Celi, L., Said-Pullicino, D., Tampakaki, A., Giannakou, I., & Savvas, D. (2019). Nitrogen nutrition optimization in organic greenhouse tomato through the use of legume plants as green manure or intercrops. *Agronomy*, 9(11), 766. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110766>
Impact factor: 3.417

Gatsios, A., Ntatsi, G., Celi, L., Said-Pullicino, D., Tampakaki, A., & Savvas, D. (2021). Impact of Legumes as a Pre-Crop on Nitrogen Nutrition and Yield in Organic Greenhouse Tomato. *Plants*, 10(3), 468.
<https://doi.org/10.3390/plants10030468>
Impact factor: 3.935

Gatsios, A., Ntatsi, G., Yfantopoulos, D., Baltzoi, P., Karapanos, I.C., Tsirogiannis, I.L., Patakioutas, G., Savvas, D (2021). Effects of different organic soil amendments on nitrogen nutrition and yield of organic greenhouse tomato crop. *Nitrogen*, 2, 347-358. <https://doi.org/10.3390/nitrogen2030024>
Impact factor: μη καθορισμένος ακόμα

Gatsios, A., Ntatsi, G., Celi, L., Said-Pullicino, D., Tampakaki, A., & Savvas, D. Legume-based mobile green manure can increase soil nitrogen availability and yield of organic greenhouse tomatoes. (submitted to *Plants* on 30 August 2021)
Impact factor: 3.935

Δημοσιεύσεις σε Πρακτικά Διεθνών Συνεδρίων και Συμποσίων

Gatsios, A., Ntatsi, G., Tampakaki, A., Celi, L. and Savvas, D. (2020). Assessing the possibility to use legume plants as cover crops or intercrops in organic tomato production to optimize NUE. *Acta Hort.* 1286, 83-90
doi: 10.17660/ActaHortic.2020.1286.12

Περίληψεις προφορικών ανακοινώσεων και γραπτές ανακοινώσεις σε Διεθνή Συνέδρια και Συμπόσια

Gatsios, A., Ntatsi, G., Tampakaki, A., Celi, L. and Savvas, D. Alternative sources of organic N in greenhouse tomato crops: the case study of inoculation of cowpea with Bradyrhizobium and endophytic bacteria. 8th MikroBioKosmos Conference, 18-20th April 2019, Patra, Greece

Gatsios, A., Ntatsi, G., Celi, L., Said-Pullicino, D., Tampakaki, A., & Savvas, D. Comparative assessment of different nitrogen fertilization alternatives in organic greenhouse tomato crop. IV International Symposium on Horticulture in Europe (SHE), 8-12 March 2021, Stuttgart, Germany.

Savvas, D., Gatsios, A. and Ntatsi, G. Climate-smart vegetable production in Greek greenhouses. Current situation, future trends, and a case study on organic greenhouse tomato. FAO-workshop on climate-smart agriculture and organic production of vegetables in protected cultivation in the region on 26 September 2021, Ohrid, North Macedonia

Περίληψεις προφορικών ανακοινώσεων σε Πρακτικά Ελληνικών Συνεδρίων

Τ. Γάτσιος, Γ. Ντάτση, L. Celi, A. Ταμπακάκη, Δ. Σάββας. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΖΩΤΟΥΧΟΥ ΘΡΕΨΗΣ ΣΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΨΥΧΑΝΘΩΝ ΩΣ ΧΛΩΡΗ ΛΙΠΑΝΣΗ Ή ΣΥΓΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ. 29^ο Επιστημονικό Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών «Εφαρμογές έρευνας και Τεχνολογίες Αιχμής στη Φυτική Παραγωγή», 15-18 Οκτωβρίου 2019, Πάτρα.

ΕΠΩΝΥΜΟ:	ΓΑΤΣΙΟΣ		
ΟΝΟΜΑ:	ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ		
ΟΝΟΜΑ ΠΑΤΡΟΣ	ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ		
ΤΟΠΟΣ ΓΕΝΝΗΣΗΣ	ΠΡΕΒΕΖΑ		
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΓΕΝΝΗΣΕΩΣ	16 ΜΑΡΤΙΟΥ 1970		
Δ/ΝΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ	Μ. ΜΠΟΤΣΑΡΗ 4, <u>48100</u> ΠΡΕΒΕΖΑ		
ΚΙΝΗΤΟ ΤΗΛΕΦΩΝΟ	6977094873		
Δ/ΝΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Λ. ΕΙΡΗΝΗΣ 65, <u>48100</u> ΠΡΕΒΕΖΑ		
ΤΗΛΕΦΩΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	2682024768 FAX: 2682029229		
Email:	tasosgatsios@gmail.com		
ΣΠΟΥΔΕΣ			
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ	ΤΙΤΛΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ	ΓΕΩΠΟΝΟΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	7,80	1987-1993
Πτυχιακή εργασία: Η επίδραση της ωσμοβελτίωσης στη βλαστική ικανότητα και βλαστική δύναμη της πιπεριάς, Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών		10,00	1992
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ			
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ/ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ	ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	ΘΕΣΗ - ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΗΠΕΙΡΟΥ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΚΤΗΝΙΑΤΡΙΚΗΣ ΠΡΕΒΕΖΑΣ	Ν.Π.Δ.Δ.	ΓΕΩΠΟΝΟΣ ΤΜΗΜΑ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ & ΦΥΤΟΪΓΕΙΟΝΟΜΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	2011-
ΝΟΜΑΡΧΙΑΚΗ ΑΥΤ/ΣΗ ΠΡΕΒΕΖΑΣ	Ν.Π.Δ.Δ.	ΓΕΩΠΟΝΟΣ ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ & ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	2005-2010
ΕΝΩΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΩΝ ΠΡΕΒΕΖΑΣ	ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΤΙΚΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗ	ΓΕΩΠΟΝΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΠΩΛΗΣΕΙΣ	2001 - 2005
ΦΑΡΜΑΧΗΜ ΑΒΕΕ	ΕΜΠΟΡΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΦΟΔΙΩΝ	ΓΕΩΠΟΝΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ - ΠΩΛΗΣΕΙΣ	1999 - 2001
VETERIN ΑΒΕΕ			1995 - 1998
ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ			
ΓΛΩΣΣΑ	ΠΤΥΧΙΟ /ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ	ΦΟΡΕΑΣ /ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΠΟΝΟΜΗΣ	ΕΤΟΣ
ΑΓΓΛΙΚΑ	ΤΟΕΙC 900/990	University of Michigan	2003
ΑΓΓΛΙΚΑ	Certificate of Competency in English	University of Michigan	2003

ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΕΙΣ - ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

- 1) Efthimioy Kostas, Gatsios Anastasios, Aretakis Kostas, Papayiannis Lampros, Katis Nikos
First Report of *Pepino mosaic virus* Infecting Greenhouse Cherry Tomatoes in Greece – APS
Plant Disease Vol 95, No 1, p. 78
- 2) Ευθυμίου Κ.Ε., Α.Π. Γάτσιος, Κ.Χ. Αρετάκης, Λ.Χ. Παπαγιάννης και Ν.Ι. Κατής.
Ταυτοποίηση του ιού του μωσαϊκού του πεπίνου (*Pepino mosaic virus*, *PepMV*) σε
θερμοκηπιακή καλλιέργεια μικρόκαρπης ντομάτας στην Ελλάδα
Εικονογραφημένη εργασία στο 15ο Πανελλήνιο Φυτοπαθολογικό Συνέδριο
- 3) Τσαπάρας Α., Α. Γάτσιος, Χ. Βαρβέρη και Π. Κουτρέτσης
Εντοπισμός του ιού της τριστέτσας των εσπεριδοειδών σε φυτά *calamondin*, σε
θερμοκηπιακή μονάδα του Νομού Πρέβεζας και λήψη μέτρων εκρίζωσης.
Ανακοίνωση στο 15ο Πανελλήνιο Φυτοπαθολογικό Συνέδριο
- 4) Δημητρίου Χ.Ν., Λ. Χ. Παπαγιάννης, Α. Γάτσιος, Χ. Ορφανίδου, Ι. Φωτίου και Ν.Ι. Κατής
Εύρος ξενιστών και χαρακτηρισμός των ιών του γένους *Crinivirus* και των αλευρωδών-
φορέων που σχετίζονται με τον ίκτερο της τομάτας στην Ελλάδα .
Εικονογραφημένη εργασία στο 15ο Πανελλήνιο Φυτοπαθολογικό Συνέδριο
- 5) Γ. Πατακιούτας, Π. Υφαντή, Δ. Παπαχρήστος, Α. Γάτσιος και Γ. Γκίζας
Καταγραφή ωφέλιμων εντόμων σε επιλεγμένους ελαιώνες της περιοχής Άρτας και
Πρέβεζας.
Ανακοίνωση στο 13ο Πανελλήνιο Εντομολογικό Συνέδριο
- 6) Σουλιώτης Κ., Ν. Παπανικολάου, Δ. Παπαχρήστος, Α. Γάτσιος, Κ. Παπαχρήστος, Μ. Βάσιου, Σ.
Ζαννοπούλου, Ι. Μυλωνόπουλος και Θ. Χατζητόλιου
Συμβολή του *Neodryinus typhlocybae* (Ashmead) (Hymenoptera: Dryinidae) στη βιολογική
καταπολέμηση του *Metcalfa pruinosa* (Say) (Homoptera: Flatidae).
Ανακοίνωση στο 12ο Πανελλήνιο Εντομολογικό Συνέδριο
- 7) Αν. Γάτσιος, Δ. Δήμου
Προβλήματα εισαγωγών-εξαγωγών και φυτοϋγειονομικός έλεγχος-Προτάσεις.
Εισήγηση στην 6η Συνάντηση Φυτοπροστασίας

ΕΙΔΙΚΕΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΕΣ - ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Μέλος της επιστημονικής ομάδας σύνταξης των Οδηγιών Ολοκληρωμένης Φυτοπροστασίας για τις καλλιέργειες των κηπευτικών θερμοκηπίων. ▪ Μέλος της επιστημονικής ομάδας σύνταξης των Οδηγιών Ολοκληρωμένης Φυτοπροστασίας για την καλλιέργεια των εσπεριδοειδών. | Ευχαριστήρια επιστολή από τον Γενικό Γραμματέα του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Μέλος της Θεματικής Ομάδας Εργασίας «Καινοτομία - Έρευνα – Κατάρτιση» για την Προγραμματική Περίοδο 2014-2020. ▪ Μέλος της Ομάδας Υποστήριξης για το Καλάθι Αγροτικών Προϊόντων Περιφέρειας Ηπείρου. | |

ΛΟΙΠΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

Άριστη γνώση εφαρμογών γραφείου Η/Υ (Microsoft Office κ.α.) -ECDL
Κάτοχος διπλώματος οδήγησης

ΕΤΟΣ

2001
1990

ΆΛΛΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Πρόεδρος του Συλλόγου Γεωπόνων Πρέβεζας
Πρόεδρος του ΓΕΩΤΕΕ- Παράρτημα Ηπείρου & Νήσων

ΕΤΟΣ

2010-2016
2016- 2018