



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Βιοχημείας και
Βιοτεχνολογίας

“Βιοτεχνολογία – Διασφάλιση Ποιότητας στη Διατροφή και το
Περιβάλλον”

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΔΟΓΕΝΩΝ ΜΥΚΟΡΡΙΖΙΚΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ
ΩΣ ΦΟΡΕΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ
ΑΓΡΟΥ

ΑΘΗΝΑ - ΧΡΙΣΤΙΝΑ Σ. ΣΑΒΒΑΝΑΚΗ

ΛΑΡΙΣΑ 2010

**Αξιολόγηση ενδογενών μυκορριζικών πληθυσμών ως φορείς
αξιολόγησης φυτικής ανάπτυξης σε επίπεδο αγρού**

Τριμελής επιτροπή

1. Επιβλέπων: Καρούζας Δημήτριος, Επίκουρος Καθηγητής Περιβαλλοντικής Μικροβιολογίας και Βιοτεχνολογίας, Τμήματος Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
2. Μέλος: Παπαδοπούλου Καλλιόπη, Επίκουρος Καθηγήτρια Βιοτεχνολογίας φυτών, Τμήματος Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
3. Μέλος: Οιχαλιώτης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής Γονιμότητας και Βιολογίας Εδάφους, Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΥΚΟΡΡΙΖΕΣ	6
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ	6
1.2 ΕΙΔΗ ΜΥΚΟΡΡΙΖΑΣ	7
2. ΡΟΛΟΣ ΜΥΚΗΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ	10
2.1 ΟΦΕΛΗ ΣΤΑ ΑΝΩΤΕΡΑ ΦΥΤΑ	10
2.2 ΑΛΛΟΙ ΡΟΛΟΙ ΣΤΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ	12
2.3 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΥΚΟΡΡΙΖΙΚΩΝ ΜΥΚΗΤΩΝ	14
3. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΜΥΚΟΡΡΙΖΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	14
4. ΣΚΟΠΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	14
5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	15
5.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	15
5.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	17
5.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΟΛΥΣΜΑΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ (MPI TEST)	18
5.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΙΚΙΣΜΟΥ	19
5.5 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΦΥΤΩΝ ΠΙΠΕΡΙΑΣ	20
5.6 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	26
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΙΠΕΡΙΑΣ	27
7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	42
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	44
9.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	45

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχίζοντας την εργασία μου θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο καθηγητή κ. Καρπούζα Δημήτριο, που δέχτηκε να αναλάβει την επίβλεψη της εργασίας, καθώς και την παραχώρηση του χώρου και των εφοδίων του εργαστηρίου όπου χρειαστήκανε δεκάδες ώρες προετοιμασίας για την πραγματοποίηση της εργασίας στον αγρό και την μελέτη των αποτελεσμάτων αυτής.

Επίσης ευχαριστώ την κ. Παπαδοπούλου Καλλιόπη, Επίκουρη Καθηγήτρια Βιοτεχνολογίας Φυτών και το κ. Οιχαλιώτη Κωνσταντίνο, Επίκουρο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών για τις χρήσιμες συμβουλές τους.

Ιδιαίτερα όμως θα σταθώ στην καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές καθώς και τις ατελείωτες ώρες που αφιέρωσε ο κ. Υψηλάντης Ιωάννης, Μεταδιδακτορικός ερευνητής του Τμήματος Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας, χωρίς την πολύτιμη βοήθεια του οποίου θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη η ολοκλήρωση της εργασίας μου. Γι' αυτό και τον ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΘΕΡΜΑ.

1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΥΚΟΡΡΙΖΕΣ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

ΜΥΚΟΡΡΙΖΑ ονομάζεται το δομικό και λειτουργικό σύμπλεγμα που δημιουργείται μεταξύ μιας ρίζας και ενός μύκητα (Brundrett, 2004). Οι ρίζες στην πλειονότητα τους αναπτύσσουν συμβιωτικές σχέσεις με μύκητες. Μελέτες έδειξαν ότι οι μυκορριζικές ρίζες απορροφούν δυο ή τρεις φορές περισσότερα θρεπτικά συστατικά από τις μη μυκορριζικές (Cotton κ.α, 1982). Γενικά ισχύει ότι ο μύκητας παρέχει στο φυτό ανόργανα συστατικά και ρυθμίζει την παροχή σε φώσφορο και άζωτο καθώς και πιο πολύπλοκες ενώσεις που συνθέτει ο ίδιος και τις ανταλλάσει με υδατάνθρακες που δεσμεύει από το φυτό (Alexopoulos, 1989). Έχει παρατηρηθεί πως πάνω από το 80% των χερσαίων φυτικών ειδών μπορούν να σχηματίσουν μυκόρριζες (Ulrich κ.α., 2002). Οι μυκόρριζες έχουν παρατηρηθεί στο 79% των δικοτυλήδονων, το 85% των μονοκοτυλήδονων φυτών και το 100% των γυμνόσπεμων (Wilcox κ.α, 1991).

1.2 ΕΙΔΗ ΜΥΚΟΡΡΙΖΑΣ

Οι μυκόρριζες χωρίζονται κυρίως σε δυο κατηγορίες: τις εκτομυκόρριζες (ECM) (ΕΙΚΟΝΑ 1.2.1) και τις ενδομυκόρριζες (ΕΙΚΟΝΑ 1.2.2) (Smith και Read, 1997).

Οι πρώτες σχηματίζονται κυρίως από τη συμβίωση μεταξύ των βασιδιομυκήτων ή ασκομυκήτων με τις ρίζες και τα ριζικά τριχίδια πολυετών φυτών (Harley και Harley, 1987). Το δομικό τους σύστημα αποτελείται από: τη ρίζα του φυτού, τον μανδύα που σχηματίζεται γύρω από τη ρίζα του ανώτερου φυτού, το δίκτυο των υφών του μύκητα που σχηματίζεται μεταξύ των κυττάρων του φλοιού της ρίζας (δίκτυο Hurting) και ενός μυκηλιακού σώματος που αναπτύσσεται στο έδαφος (Wilcox κ.α, 1991). Στις εκτομυκόρριζες ανήκουν τα περισσότερα είδη μανιταριών όπως και η τρούφα (Anderson και Rasmussen, 1996).



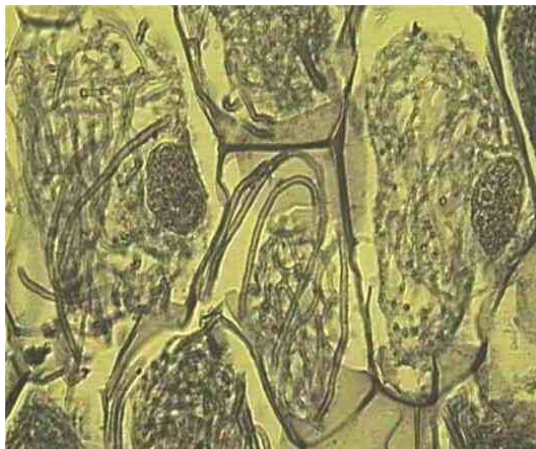
ΕΙΚΟΝΑ 1.2.1.: Συμβίωση *Eucalyptus maculata* και *Astraeus pteridis* υπό ελεγχόμενες συνθήκες όπου παρατηρούνται σχετικά μη διακλαδισμένες οι εκτομυκόρριζες και οι μυκηλιακές τους υφές (ΠΗΓΗ: Molina και Trappe, 2002)

ΕΙΚΟΝΑ 1.2.2: Ενδομυκορριζικός τύπος μύκητα σε ρίζα τριφυλλιού, όπου παρατηρούνται οι κύστες, οι θύσανοι και οι υφές του μύκητα. (ΠΗΓΗ: Deacon, 1999)

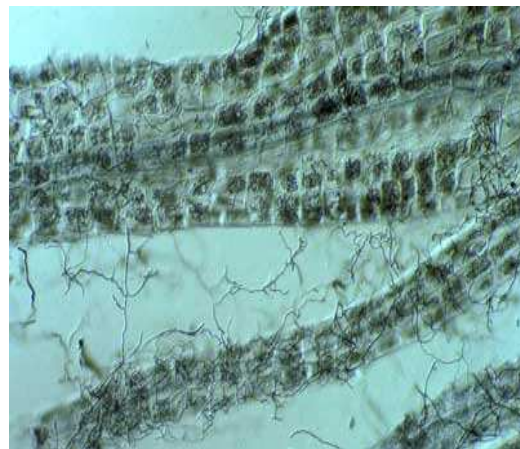
Οι ενδομυκορριζες ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες: ενδομυκόρριζες που σχηματίζονται στα φυτικά είδη της οικογένειας Orchideaceae, ενδομυκόρριζες που σχηματίζονται στα φυτά της τάξης Ericales, και τις κυστοειδείς δενδροειδείς μυκόρριζες (VAM) που είναι ο πλέον κοινός μυκορριζικός τύπος (Wilcox κ.α, 1991).

Ορχιδεοειδείς μυκόρριζες (*Orchid mycorrhizas*), (ΕΙΚΟΝΑ 1.2.3) είναι μια συμβιωτική σχέση φυτών της οικογένειας Orchideaceae και μιας ποικιλίας μυκήτων. Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί πως κατά τη διάρκεια της βλάστησης στα σπέρματα της ορχιδέας, δεν υπάρχουν σημαντικά αποθέματα ενέργειας. Οι μύκητες που αποτελούν τις ορχιδεοειδείς μυκόρριζες είναι συνήθως βασιδιομύκητες και συνδέονται με σαπροφυτικούς ή παθογόνους μύκητες ή ακόμη και με κάποια είδη εκτομυκορριζικών μυκήτων. Ο τελευταίος τύπος συνήθως αποτελεί «τρίπτυχο» ένωσης καθώς αποτελείται από το φυτό, τον εκτομυκορριζικό μύκητα και τις εκτομυκορριζικές υποδοχές της ορχιδέας (Landis κ.α ,2002).

Οι ενδομυκόρριζες που ανήκουν στην τάξη Ericales (*Ericoid mycorrhizas*) (ΕΙΚΟΝΑ 1.2.4) διαχωρίζονται σε δυο τύπους: τον ενδομυκορριζικό τύπο, που χαρακτηρίζεται από το «τύλιγμα» των υφών χωρίς να επηρεάζονται τα επιδερμικά κύτταρα της ρίζας και ανήκουν στην κατηγορία των βασιδιομυκήτων και τον εκτενδομυκορριζικό τύπο που χαρακτηρίζεται από ένα λεπτό στρώμα εξωτερικών υφών το οποίο περιβάλλει τη ρίζα και ανήκει στους ασκομύκητες (Wilcox κ.α, 1991).



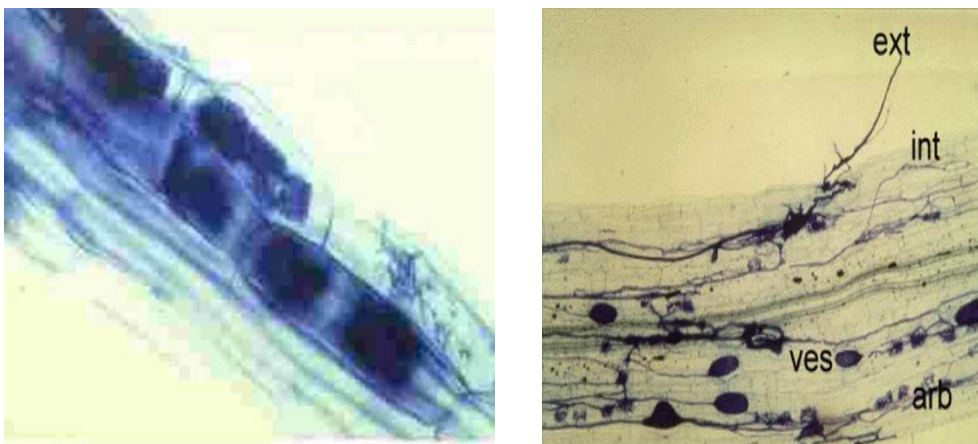
ΕΙΚΟΝΑ 1.2.3: Ορχιδεοειδείς μύκητες όπου παρατηρούνται τα κύτταρα της ρίζας να είναι γεμάτα με σπείρες μυκηλιακών υφών. Σε κάποια από τα κύτταρα φαίνονται και οι πυρήνες τους.
(ΠΗΓΗ: Anderson και Rasmussen, 1996)



ΕΙΚΟΝΑ 1.2.4: Ερικοειδείς μυκορριζικοί μύκητες σε ριζικά τριχίδια του *Leucopogon verticillatus*
(ΠΗΓΗ: Frank C. Landis, 2002)

Οι κυστοειδείς θυσσανοειδείς μυκόρριζες (*Vesicular Arbuscular Mycorrhizas-VAM*) (EIKONA 1.2.5) ανήκουν στο φύλο Glomeromycota και θεωρείται ότι υπάρχουν εδώ και εκατομμύρια χρόνια (Trappe και Molina 1986, Brudnett, 2002). Όμως, επειδή σπάνια εμφανίζονται κύστεις έχει επικρατήσει το είδος αυτό του μύκητα να είναι γνωστό ως AM μύκητες (*Arbuscular mycorrhizas*) (Smith και Read, 1997). Οι AM μυκορριζικοί μύκητες χαρακτηρίζονται από θυσσανωτές δομές εντός των κυττάρων (Harley και Harley, 1987) και παρατηρούνται κυρίως σε τέσσερις τάξεις φυτών (αγγειόσπερμα, γυμνόσπερμα, γαμετόφυτα και πτεριδόφυτα (Lamond, 1982), ενώ οι οικογένειες που γενικά δε σχηματίζουν AM είναι οι Brassicaceae, Polygaliaceae, Caryophyllaceae και Juncaceae (Smith και Read, 1997). Αυτά τα είδη μυκήτων έχουν παγκόσμια εμβέλεια (Abbott και Robson, 1991). Οι AM χρησιμοποιούνται συνήθως για ταξινόμηση, σύγκριση αποτελεσμάτων σε πειράματα ή επιλογή στελεχών για πρακτική χρήση. Περιγράφονται πάνω από 200 είδη μυκήτων και είναι συμβατά σε συμβίωση με τα περισσότερα ανώτερα φυτά (Brundrett κ.α., 1996).

Τα δομικά τους στοιχεία είναι: η ρίζα, οι μυκηλιακές υφές που αναπτύσσονται ανάμεσα και μέσα στα κύτταρα του φλοιού της ρίζας και το μυκήλιο που επεκτείνεται στο έδαφος. Οι υφές εντός των κυττάρων εμφανίζουν θυσσανωτή μορφή ενώ υπάρχουν και κάποιες σε μορφή ελύτρων (Smith και Read, 1997). Με τη βοήθεια των ενδοκυτταρικών αυτών υφών γίνεται η μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων από το μύκητα στο φυτό και από το φυτό στο μύκητα (Smith και Gianninazzi –Pearson, 1988).



EIKONA 1.2.5 : Θυσσανωτός σχηματισμός μυκήτων σε φλοιώδη ριζικά κύτταρα. Στην αριστερή εικόνα, η δομή του μύκητα εμφανίζεται μπλε μετά από διαδικασίες χρώσης ενώ στη δεξιά, εμφανίζονται καθαρά οι θύσανοι, οι κύστες και το μυκήλιο του μύκητα. (Οι σημειώσεις της εικόνας σημαίνουν (ext)-external root: εξωτερικό ρίζας, (int)-internal mycelium: μυκήλιο, (ves)-vesicular: θύσανος και (arb)-arbuscular: κύστη) (ΠΗΓΗ: Sieverding, 1992)

2. ΡΟΛΟΣ ΜΥΚΟΡΡΙΖΑΣ

Η συνεισφορά της μυκόρριζας είναι πολλαπλή στη γεωργία. Στην ενότητα αυτή περιγράφεται με συντομία η συνεισφορά των μυκορριζών στην ανάπτυξη των φυτών και τον ρόλο των μυκορριζικών μυκήτων στο οικοσύστημα (Allen και Brundrett, 1991).

2.1 ΟΦΕΛΗ ΣΤΑ ΑΝΩΤΕΡΑ ΦΥΤΑ

Το μεγαλύτερο όφελος που παρέχεται στο φυτό το οποίο είναι αποικισμένο με μυκορριζικούς μύκητες είναι η ευκολότερη και αποτελεσματικότερη πρόσληψη και απορρόφηση θρεπτικών συστατικών όπως ο φώσφορος (P), το στοιχείο αυτό δε διαλύεται εύκολα στο έδαφος (Brundrett και Abbott 2002, Brundrett και Cairney 2002, Tarafdar και Marschner 1994). Εξαιτίας της επέκτασης της επιφάνειας απορρόφησης μέσω του εκτενούς δικτύου υφών στο έδαφος υπάρχει αυξημένη παροχή θρεπτικών συστατικών προς το φυτό (Brundrett και Abbott 2002, Brundrett και Cairney 2002, Tarafdar και Marschner 1994, Schweiger κ.α. 1995, Kahiluoto και Vestberg 1998). Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόσληψη των ιχνοστοιχείων από το φυτό είναι: το είδος του φυτού ή της καλλιέργειας, ο τύπος της μυκόρριζας, το pH του εδάφους, οι εδαφικές φυσικές συνθήκες, η θερμοκρασία του εδάφους και τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών (Crowley κ.α, 2002). Έτσι, η ζήτηση ενός συγκεκριμένου στοιχείου εξαρτάται από τις εσωτερικές ανάγκες του κάθε φυτικού είδους ενώ η πρόσληψη του από το έδαφος εξαρτάται κυρίως από τη διαθεσιμότητα του στοιχείου σε αυτό (Russell 1977, Marschner 1995).

Αν και έχει βρεθεί πως οι AM μύκητες βοηθούν στην πρόσληψη και μεταφορά του αζώτου στο φυτό (Raven κ.α 1978, Smith 1980, Ames κ.α 1983, Bago κ.α 1996, Mader κ.α, 2000), η συνεισφορά τους στον τομέα της θρέψης δεν έχει εκτιμηθεί ικανοποιητικά μέχρι σήμερα (Read και Perez-Moreno, 2003). Το προαναφερθέν φαινόμενο, μπορεί εν μέρει να ερμηνευτεί με την υπόθεση πως οι AM μύκητες έχουν μικρή ικανότητα να προμηθεύουν το φυτό με «ευκίνητα» ιόντα, όπως τα νιτρικά, επειδή αυτά διαχέονται έντονα μέσα στο έδαφος (Tinker και Nye, 2000). Όμως, όπως γνωρίζουμε από τη βιβλιογραφία, τα αμμωνιακά ιόντα και τα κατιόντα καλίου, ψευδαργύρου, ασβεστίου και μαγνησίου διαχέονται δύσκολα επειδή σχηματίζουν δυσδιάλυτες μορφές. Οι AM μυκόρριζες φαίνεται να συνεισφέρουν αποτελεσματικά στην πρόσληψη τους από τα φυτά και ο μηχανισμός στον οποίο οφείλεται αυτή η

αυξημένη πρόσληψη θεωρείται ότι είναι ίδιος με τον αντίστοιχο που εκδηλώνεται κατά την πρόσληψη και μεταφορά του φωσφόρου από το έδαφος στο φυτό, μέσω των υφών του μύκητα (Clark και Zeto, 2000).

Τα φυτά αποθέτουν το μεγαλύτερο μέρος των προϊόντων της φωτοσύνθεσης τους στις ρίζες και τους μύκητες που σχηματίζουν μυκόρριζες, όταν ο φώσφορος και το άζωτο είναι περιοριστικοί παράγοντες για την αύξησή τους, δεδομένου ότι οι μυκόρριζες συμβάλλουν στη θρέψη των φυτών (Mosse και Phillips, 1971). Έχει παρατηρηθεί πως όταν ο φώσφορος υπάρχει σε σημαντικές ποσότητες ή σε περίσσεια με την προσθήκη λιπασμάτων, αναστέλλεται η δράση και ο αποικισμός των ριζών από AM μύκητες με συνέπεια να μην αναπτύσσονται οι μυκόρριζες καθώς τα φυτά διαθέτουν το μεγαλύτερο μέρος των υδατανθράκων τους στα φύλλα και τους βλαστούς τους (Chapin 1980, Tilman 1988, Read 1991, Marschner κ.α 1996, Smith κ.α, 2003). Η προσθήκη φωσφορικών λιπασμάτων, μειώνει τόσο τον αποικισμό των φυτών με AM μύκητες όσο και τη συνεισφορά τους στην αύξηση των ξενιστών τους (Sanders και Tinker 1973, Abbott κ.α 1984). Επίσης, και η προσθήκη νιτρικών λιπασμάτων στο έδαφος επηρεάζει αρνητικά τους AM μύκητες περιορίζοντας την αφθονία τους (Buwalda και Goh 1982, Egerton και Allen 2000, Corkidi κ.α, 2002). Μια πρόσφατη μελέτη έδειξε πως η προσθήκη αζώτου μείωσε την αφθονία των AM μυκήτων σε ποσοστό της τάξης του 15% (Treseder, 2006).

Κάποιοι εκτομυκορριζικοί τύποι μυκήτων και κάποιοι ερικοειδείς μύκητες εμφανίζουν την ικανότητα να διασπών φαινολικές ενώσεις στα εδάφη, επειδή μπορούν να παρεμβαίνουν στην πρόσληψη θρεπτικών συστατικών (Bending και Read 1997). Ακόμη, ο αποικισμός της ρίζας από ECM και AM μύκητες περιορίζει τις προσβολές από παθογόνους μύκητες και νηματώδεις σκόληκες (Duchesne κ.α 1989, Grandmaison κ.α 1993, Newsham κ.α 1995, Little και Maun 1996, Cordier κ.α 1998, Morin κ.α. 1999). Έχουν αναφερθεί μη θρεπτικά οφέλη για τα φυτά λόγω της αλλαγής στην υδατική κατάσταση, του επίπεδου φυτοορμονών και στην αφομοίωση του άνθρακα (Brundrett 1991, Smith και Read 1997). Επίσης, στα μυκορριζικά οφέλη περιλαμβάνονται η μεγαλύτερη απόδοση, η συσσώρευση θρεπτικών συστατικών και ή η αναπαραγωγική επιτυχία (Lewis και Koide 1990, Stanley κ.α 1993). Οι μυκόρριζες είναι πιθανό να προκαλέσουν αλλαγές στη μορφή ανάπτυξης και στη δομή της ρίζας, του αγγειακού ιστού και αλλού (Daniels Hetrick κ.α. 1988, Miller κ.α 1997). Έχει παρατηρηθεί καταστολή της δράσης φυτών ανταγωνιστών σε μια καλλιέργεια εξαιτίας της δράσης μυκορριζικών μυκήτων (Allen κ.α, 1989).

Οι μυκόρριζες επηρεάζουν τον μικροβιακό πληθυσμό του εδάφους μέσω των εκκρίσεων τους στην υφόςφαιρα και μυκορριζόσφαιρα (Ames κ.α 1984, Bansal και Mukerji 1994, Olsson κ.α. 1996, Andrade κ.α. 1998). Επιπροσθέτως έχει παρατηρηθεί πως τα δίκτυα από υφές που υποστηρίζονται από ανώτερα φυτά μπορεί να βοηθήσουν στην εγκατάσταση ή να συμβάλλουν στην ανάπτυξη κάποιων άλλων φυτικών ειδών (Hogberg κ.α. 1999, κ.α. 1999). Τέλος, έχει παρατηρηθεί μεταφορά θρεπτικών συστατικών από νεκρούς φυτικούς ιστούς στους ξενιστές (Eason κ.α., 1991).

2.2 ΑΛΛΟΙ ΡΟΛΟΙ ΣΤΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα οφέλη που παρέχουν οι μυκορριζικοί μύκητες και συγκεκριμένα οι AM μύκητες εντοπίζονται τόσο σε επίπεδο φυτού ατομικά όσο και σε επίπεδο φυτοκοινότητας (Howeler κ.α., 1983). Οι υφές του μύκητα είναι «αγωγοί» οι οποίοι μπορούν να μεταφέρουν άνθρακα από τις ρίζες των φυτών στο έδαφος και συνεπώς και σε άλλους οργανισμούς του εδάφους. Ως εκ τούτου, αλληλεπιδρούν με μικροοργανισμούς και συμβάλλουν στην αποσύνθεση ουσιών (Brundrett και Cairney 2002). Επίσης, οι μυκορριζικοί μύκητες συμβάλλουν στην αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος καθώς μεταβάλλουν την ποιότητα και την ποσότητα των οργανικών υλών σε αυτό (Ryglewicz και Andersen 1994). Επιπλέον, οι υφές των μυκορριζών ενδέχεται να βοηθούν στην πρόληψη ελλείψεων φωσφόρου από την συμβίωση φυτού μύκητα, επειδή μπορούν να δεσμεύουν και να αποθηκεύουν φώσφορο και άλλα θρεπτικά συστατικά στους φυτικούς ιστούς και να τα διαθέτουν στο φυτό όταν οι ρίζες είναι ανενεργές και το φυτό τα έχει ανάγκη. Η περιεκτικότητα του φωσφόρου στους ιστούς αυτούς, μετρήθηκε με συσκευή ανάλυσης ακτινών X σε κατεψυγμένο υλικό (Lussenhop και Fogel 1999). Επιπρόσθετα, τα επίγεια και υπόγεια σποροκάρπια των ECM και AM μυκήτων αποτελούν σημαντικές πηγές τροφής για τα θηλαστικά και σύμφωνα με έρευνα που έγινε στα τροπικά δάση της Βοραιοανατολικής Αυστραλίας εξετάστηκε η παρουσία τους σε 17 είδη θηλαστικών (138 δείγματα). Το αποτέλεσμα της έρευνας αυτής ήταν πως τα σπόρια των μυκορριζικών μυκήτων ανιχνεύθηκαν σε ποσοστό 57% στα 12 είδη σε ποσοστό 38% και 40% για τους ECM και AM μύκητες αντίστοιχα (McGee και Baczocha 1994, Janos κ.α 1995, Reddell et al. 1997, Mcilwee και Johnson 1998, Claridge 2002).

Άλλο ένα όφελος των μυκορριζών στο οικοσύστημα είναι πως οι AM μυκορριζικές ρίζες, οι υφές και το εδώδιμο τμήμα του μύκητα λειτουργούν ως πηγές θρέψης στο φυσικό περιβάλλον για ασπόνδυλα (Fogel και Peck 1975, Rabatin και Stinner 1989, Lawrence και Milner 1996, Setälä 1995). Συμπληρωματικά, οι AM μύκητες έχουν την ικανότητα να βελτιώνουν τη συσσωμάτωση εδαφικών τεμαχιδίων και να βελτιώνουν έτσι τη δομή του εδάφους (Miller και Jastrow, 2000). Οι υφές των AM μυκήτων παράγουν ένα είδος οργανικής «κόλλας», τη γλομαλίνη (Wright και Upadhyaya, 1998) η οποία ενώνει τα εδαφικά συσσωματώματα και βελτιώνει το πορώδες του εδάφους (Degens κ.α 1994). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ευκολότερη κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος, ο καλύτερος αερισμός των ριζών, η μεγαλύτερη ανάπτυξη της ρίζας και κατ'επέκταση του φυτού και η καλύτερη σταθεροποίηση του στο έδαφος (Fitter, 2005). Χαρακτηριστικό της γλομαλίνης είναι ότι μπορεί και αδρανοποιεί τα βαριά μέταλλα προτού αυτά διεισδύσουν στο φυτό (Gonzales και Chaves, 2004).

Επιπλέον, λόγω της πολυμορφίας τους, οι μύκητες αποτελούν βιοδείκτες για την ποιότητα του περιβάλλοντος και είναι πολύ σημαντικό κομμάτι της μικροβιακής βιομάζας. Εικάζεται πως οι AM μύκητες μπορούν να περιορίσουν τη ρύπανση που προκαλούν τα βαριά μέταλλα, όπως ψευδάργυρος και κάδμιο, καθώς έχει βρεθεί ένας σημαντικός αριθμός μυκήτων που αποικίζει φυτά σε ρυπασμένα με βαρέα μέταλλα εδάφη (Allen 1991, Brundrett 1991). Η ικανότητα των AM μυκήτων να ανθίσταται στη ρύπανση μπορεί να οφείλεται: είτε στη δέσμευση των μετάλλων στις υφές τους (Denny και Wilkins 1987, Marschner κ.α. 1998, Brunner και Frey 2000), είτε στη μεταφορά μετάλλων στα ανώτερα σημεία του φυτού (Burke κ.α., 2000).

3. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΜΥΚΟΡΡΙΖΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Βιολογική Γεωργία είναι η καλλιέργεια φυτών χωρίς την χρήση χημικών λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Επιτρέπεται η χρήση ορυκτών λιπασμάτων όπως για παράδειγμα το ΠΑΤΕΝΚΑΛΙ (Θεικό Καλιομαγνήσιο 0-0-30+10 Mg) καθώς και οργανικής ουσίας προερχόμενης από βιολογική εκτροφή ζώων ή από την αμειψισπορά με ψυχανθή, για την προσθήκη στο έδαφος και την απόδοση αζώτου (N) στα φυτά από τη συμβίωση των ψυχανθών με αζωτοδεσμευτικά βακτήρια.

Η συμβίωση μυκορριζικών μυκήτων με φυτά είναι γνωστό ότι βοηθά κυρίως στην ευκολότερη και αποτελεσματικότερη πρόσληψη και απορρόφηση φωσφόρου (P) (Bhat και Nye 1974, Russell 1977, Marschner 1995). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η παρουσία φωσφόρου σε σημαντικές ποσότητες στο έδαφος περιορίζει τον αποικισμό των ριζών από AM μύκητες (Smith κ.α, 2003).

Από τα ανωτέρω αναφερόμενα συμπεραίνεται ότι η χρήση μυκορριζικών μυκήτων θα μπορούσε να βοηθήσει σημαντικά στη γεωργία και ειδικότερα τη βιολογική γεωργία, διότι θα μπορούσε να καλύψει μέρος της απώλειας παραγωγής της καλλιέργειας λόγω της μη χρήσης χημικών λιπασμάτων προστατεύοντας παράλληλα το περιβάλλον.

4. ΣΚΟΠΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η αξιολόγηση πέντε μυκορριζικών εμβολίων που είχαν απομονωθεί από βιολογικούς αγρούς στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα (MC3, MC4, MC10, MC22 και MC27) ενός μίγματος (ΜΙΓΜΑ) και ενός εμπορικού σκευάσματος (ΕΜΠΟΡΙΚΟ) που κυκλοφορεί στην αγορά, σε σύγκριση μεταξύ τους και με τον μάρτυρα για την προώθηση της φυτικής ανάπτυξης αλλά κυρίως της παραγωγής σε καλλιέργεια πιπεριάς.

5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

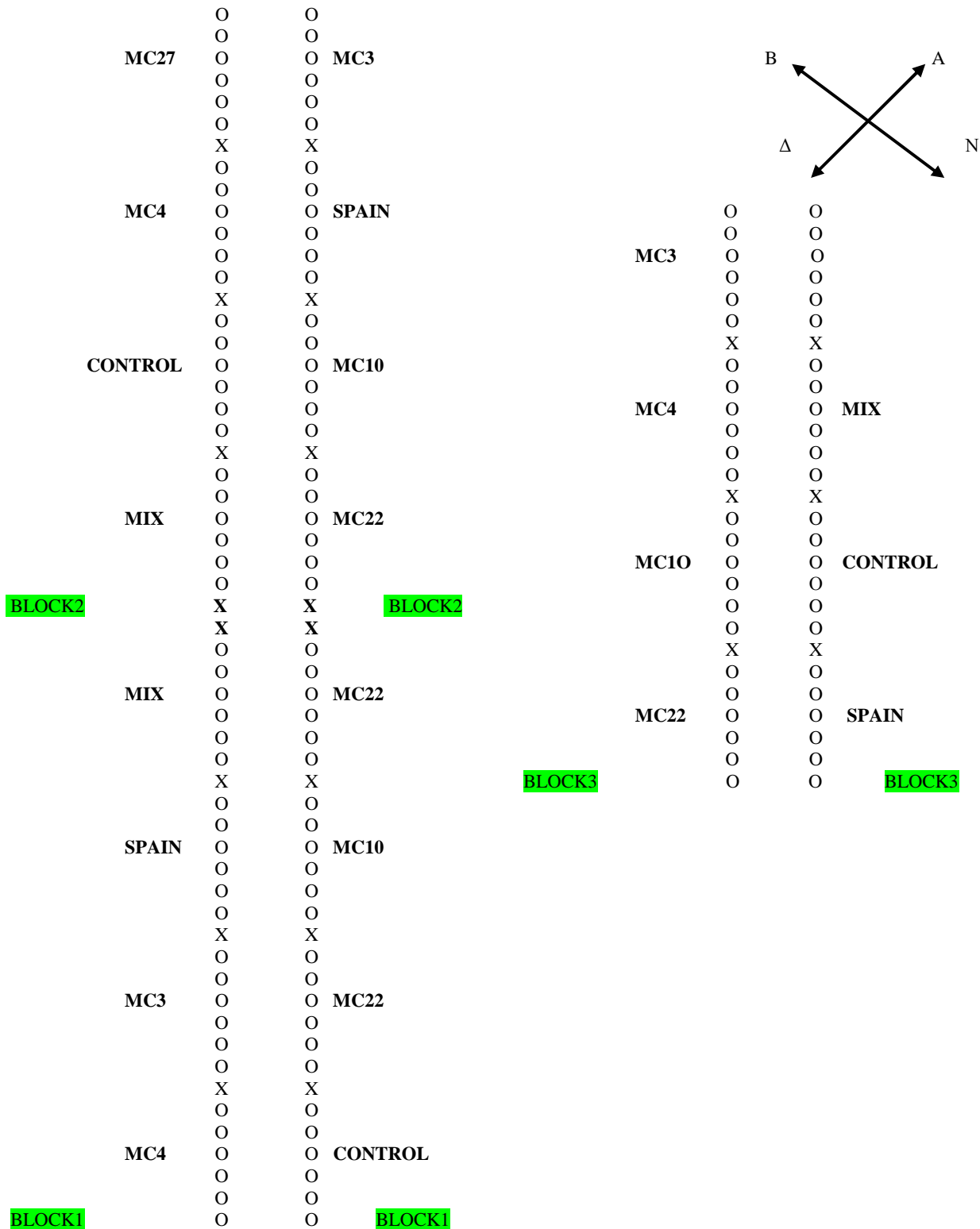
Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο θερμοκήπιο του Στέργιου Β. Σαββανάκη στην παλιά Εθνική Οδό Βόλου- Λάρισας, έναντι Σιδηροδρομικού Σταθμού Βελεστίνου. Την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο στο θερμοκήπιο είχαν αναπτυχθεί σπορόφυτα μαρουλιού και ρόκας χωρίς όμως να γίνει καμία φυτοπροστατευτική επέμβαση ή εφαρμογή λίπανσης.

Ο σχεδιασμός του πειράματος ήταν το πλήρως τυχαιοποιημένο μοντέλο, σύμφωνα με το οποίο η φύτευση έγινε σε 3 ομάδες και 6 επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση στην κάθε ομάδα. Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 5 ενδογενείς μυκορριζικοί μύκητες (MC3, 4, 10, 22, 27) οι οποίοι αρχικά απομονώθηκαν από αγρούς βιολογικής γεωργίας και πολλαπλασιάστηκαν από τον Κ. Αντωνιάδη (Αντωνιάδης, 2009), το μίγμα τους (ΜΙΓΜΑ), ένα εμπορικό σκεύασμα (ΕΜΠΟΡΙΚΟ) και μη εμβολιασμένος μάρτυρας. Το εμβόλιο των μυκήτων αυτών αποτελούνταν από μίγμα τεμαχιδίων ρίζας, εδάφους, σπορίων και υφών προερχόμενο από καλλιέργειες των μυκήτων σε καλαμπόκι (ξενιστής) (ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.1.1.).

Τα ενδογενή εμβόλια που χρησιμοποιήθηκαν έχουν ταυτοποιηθεί με ανάλυση του 18S rRNA γονιδίου τους στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας του κ. Αντωνιάδη Κ. και αποτελούνται από τους παρακάτω μύκητες όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.1).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.1.: Ταυτοποίηση των μυκήτων από τον κ. Αντωνιάδη (2009)

Εμβόλιο	Μύκητας
MC3	<i>Glomus intraradices</i>
MC4	<i>Glomus etunicatum</i>
MC10	<i>Glomus mosseae</i>
MC22	<i>Glomus mosseae</i>
MC27	<i>Glomus mosseae, Glomus etunicatum</i>



Σχεδιάγραμμα 5.1.1.: Σχεδιάγραμμα πειραματικού αγρού στο οποίο φαίνεται η διάταξη της καλλιέργειας στο φυτώριο

5.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η δειγματοληψία του εδάφους του θερμοκηπίου στο οποίο διεξήχθη το πείραμα έγινε λαμβάνοντας από διαφορετικά σημεία των σειρών - παρτεριών τομές εδάφους με φτυάρι. Το βάθος από το οποίο έγινε η λήψη εδάφους ήταν 0-30 cm.

Ο υπολογισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους έγινε με τη μέθοδο Βουγιούκου. Το pH και η αγωγιμότητα μετρήθηκαν με ηλεκτρονικό pHμετρο-αγωγιμόμετρο. Το ανθρακικό ασβέστιο υπολογίστηκε με αντίδραση εξουδετέρωσης με υδροχλώριο. Η οργανική ουσία μετρήθηκε με τη μέθοδο της υγρής καύσης. Τα στοιχεία όπως φώσφορος, κάλιο και μαγνήσιο προσδιορίστηκαν με ατομική απορρόφηση με τη μέθοδο του οξικού αμμωνίου (Perkin Elmer 4100). Το έδαφος όπου έγινε η καλλιέργεια χαρακτηρίστηκε ως πηλώδες (L) , (49% Άμμος: 34% Ιλύς: 17% Άργιλος) (ΕΘ.Ι.Α.ΓΕ Λάρισας, ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.1) με pH 8.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.1: Ανάλυση του εδάφους του θερμοκηπίου

ΑΝΤΑΛΛΑΞΙΜΑ ΚΑΤΙΟΝΤΑ (Meq/100gr εδάφους)			ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ (mg kg ⁻¹)				ΜΑΚΡΟΣΤΟΙΧΕΙΑ (mg kg ⁻¹)
Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Fe ^{+2,3}	Cu ^{+2,4}	Zn ^{+2,4}	Mn ^{+2,+4}	P ^{-3,+3+5}
16,6	0,6	0,84	13,0	2,3	3,6	11,0	79,0

5.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΟΛΥΣΜΑΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΥΚΟΡΡΙΖΙΚΟΥ ΕΜΒΟΛΙΟΥ

Ο έλεγχος της μολυσματικής ικανότητας του μυκορριζικού εμβολίου έγινε με βάση την ακόλουθη διαδικασία:

Σε γλάστρες όγκου 150 ml τοποθετήθηκε αποστειρωμένο υπόστρωμα σε αναλογία 1:1:1 (άμμος: περλίτης: βερμικουλίτης) και προστέθηκε σε λωρίδα εμβόλιο όγκου 15 ml. Στη συνέχεια το εμβόλιο σκεπάστηκε με υπόστρωμα και σπάρθηκαν προφυτρωμένοι σπόροι καλαμποκιού. Οι σπόροι είχαν απολυμανθεί διάλυμα 10% χλωρίνης εμπορίου για 5 λεπτά, ξεπλύθηκαν με αποστειρωμένο νερό και τοποθετήθηκαν πάνω σε νοτισμένο διηθητικό χαρτί σε τρυβλία Petri. Με την πάροδο 28 ημερών έγινε η συγκομιδή, η πλύση και η βαφή των ριζών για τον προσδιορισμό του ποσοστού του αποικισμού των μυκορριζικών μυκήτων στα φυτά. (ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.1).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.1: Ποσοστό αποικισμού των ριζών από 7 εμβόλια μυκορριζικών μυκήτων (μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις σε παρένθεση) σε καλαμπόκι 28 ημερών

ΜΥΚΟΡΡΙΖΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΑΠΟΙΚΙΣΜΟΣ
ΜΑΡΤΥΡΑΣ	14(8)
MC3	25(3)
MC4	26(3)
MC10	27(3)
MC22	77(4)
MC27	73(3)
ΜΙΓΜΑ	79(5)

5.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΙΚΙΣΜΟΥ

Η εκτίμηση του αποικισμού έγινε σύμφωνα με τον Sylvania (1994). Αρχικά, τοποθετήθηκαν οι ρίζες σε διάλυμα καυστικού καλίου (KOH) συγκέντρωσης 10% μέσα σε πλαστικούς σωλήνες φυγοκέντρησης. Οι σωλήνες αυτοί εισήχθησαν σε υδατόλουτρο για 40 λεπτά στους 80 °C. Έπειτα, ξεπλύθηκαν με νερό και οξύνθηκαν σε διάλυμα υδροχλωρίου (HCl) για 15 λεπτά. Στη συνέχεια, οι ρίζες βαφτήκαν με χρωστική trypan- blue με σκοπό να γίνει ευκολότερα ορατός ο αποικισμός των ριζών από AM μύκητες στο μικροσκόπιο. Για την προετοιμασία της χρωστικής χρησιμοποιήθηκαν 800 ml λακτικό οξύ, 800 ml γλυκερίνης, 800ml αποσταγμένου νερού και 1,2 gr trypan blue. Χρησιμοποιήθηκαν 30 ρίζες μήκους περίπου 1cm οι οποίες τοποθετήθηκαν σε αντικειμενοφόρο πλάκα και καλύφθηκαν με PLVG (Polyvinyl alcohol-Lactic acid Glycerol) (ΕΙΚΟΝΑ 5.4.1). Το ποσοστό αποικισμού μετρήθηκε σε μικροσκόπιο (LEICA DFC 490) σε μεγέθυνση 400X , σε σύνολο 100 διασταυρώσεων (Giovannetti και Mosse 1980, Clapp et al., 1996).



ΕΙΚΟΝΑ 5.4.1: Προετοιμασία αντικειμενοφόρου πλάκας για έλεγχο του αποικισμού μυκορριζικών μυκήτων.

Διακρίνουμε από τα αριστερά προς τα δεξιά, την αντικειμενοφόρο πλάκα με τις ρίζες πιπεριάς και το τρυβλίο όπου έχουν τοποθετηθεί οι ρίζες με νερό έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η συλλογή τους και η τοποθέτησή τους στην πλάκα.

5.5 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΦΥΤΩΝ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

Την παραμονή της μεταφύτευσης, στις 03/05/09, το έδαφος φρεζαρίστηκε για την καλύτερη κατεργασία του εδάφους και την καταστροφή πιθανών ζιζανίων και ποτίστηκε για να είναι ευκολότερη η μεταφύτευση των φυτών. Στις 04/05/09 το έδαφος ισοπεδώθηκε και επεξεργάστηκε με τη βοήθεια ζουγκράνας και έγινε ο εμβολιασμός και η φύτευση. Ομοιόμορφα φυτά πιπεριάς ποικιλίας F1 OSHO – “Clause” (προσφέρθηκαν από την εταιρία Agris) (144) δυο εβδομάδων και ύψους 20 cm, εμβολιάστηκαν με προσθήκη στην τρύπα μεταφύτευσης περίπου 30 g εμβολίου (ή αποστειρωμένου σε αυτόκαυστο εμβολίου για το μάρτυρα) ή σύμφωνα με τις περιγραφόμενες για το εμπορικό σκεύασμα οδηγίες. Το εμβόλιο των μυκήτων αυτών αποτελούνταν από μίγμα τεμαχιδίων ρίζας, εδάφους, σπορίων και υφών προερχόμενο από καλλιέργειες των μυκήτων σε καλαμπόκι (ξενιστής). Οι αποστάσεις φύτευσης ήταν 90 cm μεταξύ των σειρών και 40 cm μεταξύ των φυτών στη γραμμή. Για την καλύτερη και ταχύτερη ανάπτυξη του φυτού και για να επιτευχθεί ταχύτερη ενσωμάτωση του μολύσματος σε αυτό, το πότισμα έγινε με το χέρι στην αρχή κάθε δεύτερη ημέρα και από τις 15/06/09 έως το πέρας του πειράματος όταν ήταν απαραίτητο (ΕΙΚΟΝΑ 5.5.1). Αφαιρέθηκε το πρώτο άνθος σύμφωνα με τη συνηθισμένη γεωργική πρακτική (17/06/2009). Πριν την έναρξη της συγκομιδής καρπών έγιναν μετρήσεις ύψους φυτών (09/06/09, 16/06/09 και 23/06/09), αριθμού ανθέων (23/06/09) και αριθμού καρπιδίων (23/06/09). Η συγκομιδή των καρπών γινόταν με το χέρι και ήταν εβδομαδιαία, εκτός από μια δειγματοληψία κατά την οποία δεν υπήρχαν καρποί για συγκομιδή και την τελευταία δειγματοληψία στην οποία οι καρποί συγκομίσθηκαν μετά από διάστημα δυο εβδομάδων. Το κριτήριο για τη συγκομιδή ήταν η ωρίμανση και το μέγεθος κατ’ εκτίμηση ώστε να ήταν ο καρπός της πιπεριάς εμπορεύσιμος. Η συλλογή και το ζύγισμα των καρπών γινόταν με φορητή ζυγαριά με ακρίβεια 2 g. Έπειτα καταγράφηκε το βάρος του κάθε καρπού που συγκομίσθηκε από κάθε πιπεριά. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με την καταγραφή του βάρους των καρπών που επιλέχθηκαν από κάθε φυτό του πειράματος (ΕΙΚΟΝΑ 5.5.3).

Η συνολική διάρκεια του πειράματος, ήταν 19 εβδομάδες (04/05/09- 17/09/09) και η ημερομηνία λήξης του πειράματος, επιλέχθηκε με βάση τη μείωση του εμπορικού βάρους των καρπών. Η μέση θερμοκρασία αέρος στο θερμοκήπιο κατά τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο ήταν 23° C, 29° C, 31° C, 29° C και 28° C. Αντίστοιχα η ελάχιστη για τους παραπάνω μήνες ήταν 7,5° C, 16° C, 20° C, 18° C, 17° C και η μέγιστη 36° C, 42° C, 44° C, 40° C και 39° C. Η θερμοκρασία μετρήθηκε με ηλεκτρονικό θερμόμετρο τρεις φορές την ημέρα (πρωί- μεσημέρι- βράδυ).

Το τελικό στάδιο του πειράματος ήταν η κοπή των βλαστών στο λαιμό με κλαδευτικό ψαλίδι και η τοποθέτηση τους σε χάρτινες σακούλες. Τα φυτά ξεριζώθηκαν με πατόφτυαρο για να ληφθεί δείγμα ριζοσφαιρικού εδάφους και ριζών (ΕΙΚΟΝΑ 5.5.4). Οι ρίζες πλύθηκαν σε κόσκινο (1mm mesh) με νερό και έγινε λήψη δείγματος για βαφή ριζών με σκοπό την καταμέτρηση του ποσοστού αποικισμού των ΑΜ μυκήτων στις ρίζες. Οι βλαστοί και οι υπόλοιπες ρίζες τοποθετήθηκαν σε κλίβανο σε θερμοκρασία 90° C για 72 ώρες για να μετρηθεί το ξηρό τους βάρος. Οι πιπεριές ομαδοποιήθηκαν με βάση το βάρος κατά συγκομιδή σε κλάσεις : ≤60 g, 61-80 g, 81-100 g και >100 g.

Στις 06/08/09 όπου παρατηρήθηκε μεγάλος πληθυσμός αφίδων και τετρανύχου, οπότε έγινε ψεκασμός με ειδικό σκεύασμα talstar (bifenthrin 10% β/ο, βοηθητικές ουσίες 87,53% β/β και διαλύτης xylene), ένα εντομοκτόνο-ακαρεοκτόνο που ανήκει στην οικογένεια των πυρεθρινών νέας γενιάς χαμηλής τοξικότητας για τον άνθρωπο και τα υπόλοιπα θηλαστικά. Η αναλογία του ψεκαστικού διαλύματος ήταν 4 ml σκευάσματος σε 10 lt νερό.



ΕΙΚΟΝΑ 5.5.1: Ενέργειες που διενεργήθηκαν για την εγκατάσταση της καλλιέργειας.

Αρχικά έγινε η ισοπέδωση και επεξεργασία του εδάφους με ζουγράνα (πάνω αριστερά). Ακολούθησε ο εμβολιασμός με 20 g μυκορριζικού σκευάσματος στο φυτό. (πάνω δεξιά). Στη συνέχεια έγινε η φύτευση σε βάθος 10 cm και σταθεροποίηση του φυτού με χώμα (κάτω αριστερά) και τέλος η καλλιέργεια ποτίστηκε για να αναπτυχθεί το φυτό και να ενσωματωθούν ταχύτερα οι μύκητες σε αυτό (κάτω δεξιά).



ΕΙΚΟΝΑ 5.5.2: Ανάπτυξη των φυτών πιπεριάς την 3^η, 6^η και 9^η εβδομάδα φύτευσης.



ΕΙΚΟΝΑ 5.5.3: Συγκομιδή και καταγραφή του βάρους των καρπών.

Αρχικά έγινε η επιλογή των καρπών με κριτήριο το βάρος (πάνω αριστερά) και η συλλογή τους (πάνω δεξιά). Στη συνέχεια οι καρποί ζυγίστηκαν σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας (κάτω αριστερά), και τέλος καταγράφηκε το βάρος του φυτού (κάτω δεξιά).



ΕΙΚΟΝΑ 5.5.4: Διαδικασία λήξης του πειράματος.

Αρχικά έγινε η κοπή βλαστών στο ύψος του λαιμού με κλαδευτικό ψαλίδι και η τοποθέτηση τους σε χάρτινες σακούλες. Στη συνέχεια τα φυτά ξεριζώθηκαν με τη βοήθεια πατόφτυαρου (πάνω δεξιά) και έγινε λήψη δείγματος ριζοσφαιρικού εδάφους και ριζών. Στην κάτω εικόνα

παρατηρούμε τον έντονο κίτρινο χρωματισμό της ρίζας της πιπεριάς, ένδειξη που μας παραπέμπει στην πιθανότητα αποικισμού της ρίζας από AM μύκητα (εμπειρικά).

5.6. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η στατιστική ανάλυση παραλλακτικότητας για τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα έγινε με βάση το μοντέλο της πλήρους τυχαιοποιημένης ομαδοποίησης και οι συγκρίσεις έγιναν με τις μεθόδους Tuckey-Kramer και Duncan σε επίπεδο $\alpha = 0.05$. Επίσης οι μετρήσεις που έγιναν σε διαφορετικά χρονικά σημεία αναλύθηκαν με βάση το μοντέλο των διαδοχικών μετρήσεων σε πλήρως τυχαιοποιημένη ομαδοποίηση. Στον αρχικό σχεδιασμό η συγκομιδή της πιπεριάς θα γίνονταν ανά εβδομάδα, αλλά σε μια δειγματοληψία δεν υπήρχαν καρποί αρκετά μεγάλοι για να συγκομιστούν, και η τελευταία δειγματοληψία έγινε με απόσταση δύο εβδομάδων. Για τη στατιστική επεξεργασία, έγινε μετατροπή των δεδομένων σε τόξο ημιτονίου.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

Μετρήθηκαν οι εξής παράμετροι για το κάθε φυτό: ύψος φυτών πριν τη συγκομιδή (συνολικά και σε 3 διαδοχικές εβδομάδες προ συγκομιδής) (ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.1), αριθμός ανθέων (11 μέρες προ συγκομιδής) (ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.2), βάρος και αριθμός καρπών συνολικά και σε κλάσεις βάρους καρπών κατά τις 8 ημερομηνίες δειγματοληψίας και στο τέλος του πειράματος (ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ 6.1.4 - 6.1.10), βάρος ξηράς ουσίας βλαστών και φυλλώματος (ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.11) καθώς και ο αποικισμός του μύκητα στη ρίζα των φυτών πιπεριάς (ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.3). Το βάρος και ο αριθμός των καρπών από κάθε εμβόλιο εκφράστηκαν και σε σχέση με τον μάρτυρα με τον τύπο: $[(\epsilon-\mu)/\mu] \times 100$, όπου ϵ το εμβόλιο και μ ο μάρτυρας.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα εμβόλια σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός από τον αριθμό των καρπών κάτω των 60 g, ενώ σημαντική ήταν και η επίδραση της ομαδοποίησης των φυτών, δηλαδή του εδάφους και της θέσης των φυτών στο θερμοκήπιο, αλλά και η αλληλεπίδραση μεταξύ εμβολίου και ομαδοποίησης (ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.1). Η ανάλυση της παραλλακτικότητας όσον αφορά στις επιδράσεις των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο χρόνο σε συνδυασμό με τις επιδράσεις της ομαδοποίησης στα εμβόλια έδειξε πως εκτός από το πλήθος και το βάρος των καρπών που ανήκαν στην κλάση έως 60 g, υπήρχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές για την ομαδοποίηση, ενώ η αλληλεπίδραση των εμβολίων με την ομάδα έδωσε σημαντικές διαφορές σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός από τον αριθμό των καρπών που ανήκαν στην κλάση από 100 g και άνω (ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.2). Στον τρίτο πίνακα, παρατηρούμε πως υπάρχει σημαντική επίδραση των εμβολίων για τις διαδοχικές μετρήσεις στο χρόνο, ενώ σημαντική είναι και η αλληλεπίδραση τους με την ομάδα και το χρόνο (ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.3).

Σαν συνολικό βάρος καρπών ορίζουμε το ολικό βάρος των καρπών που ανήκουν στις κλάσεις έως 60 g, από 61-80 g, από 81-100 g και από 101 g και άνω. Στην πρώτη κλάση ανήκουν οι μικροί σε μέγεθος καρποί οι οποίοι δεν είναι και εμπορεύσιμοι, οι οποίοι συγκομίσθηκαν είτε επειδή ήταν δύσμορφοι, ηλιοκαμένοι, είτε εξαιτίας κακής εκτίμησης, είτε επειδή «πέσανε» από το φυτό ως αποτέλεσμα φυσικής αραίωσης. Στις υπόλοιπες κλάσεις ανήκαν οι καρποί με το επιθυμητό εμπορικό βάρος.

Για το ύψος παρατηρήθηκε ότι με τον χρόνο αυξάνονταν οι διαφορές ανάμεσα στο μάρτυρα και τα φυτά που ήταν εμβολιασμένα με τα εμβόλια MC3, 10, 22 και 27 (ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.1) ενώ μειωνόταν οι διαφορές ανάμεσα στα μυκορριζικά εμβόλια. Για το συνολικό βάρος των καρπών, φυτά εμβολιασμένα με τα εμβόλια MC3 και MC10 δώσανε το μεγαλύτερο συνολικό βάρος καρπών σε σύγκριση με τα άλλα εμβόλια και το μάρτυρα (ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.5). Για τον αριθμό των ανθέων παρατηρήθηκε πως ενώ γενικά υπήρχε σημαντική επίδραση του εμβολίου η μεγαλύτερη ανθοφορία παρατηρήθηκε στα εμβολιασμένα με το ΕΜΠΟΡΙΚΟ σκεύασμα φυτά και ακολούθησαν τα φυτά που ήταν εμβολιασμένα με το MC3 και το MC4 (ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.2). Για το ποσοστό αποικισμού των ριζών φαίνεται ότι υπήρχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μυκορριζικών εμβολίων, με μεγαλύτερο αποικισμό στο ΕΜΠΟΡΙΚΟ εμβόλιο και μικρότερο στο MC3, με τον αποικισμό του μη εμβολιασμένου μάρτυρα από ενδογενείς μύκητες να βρίσκεται σε χαμηλό επίπεδο, σε σχέση με τα εμβολιασμένα φυτά (ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.3).

Αναφορικά με την παραγωγή, ο εμβολιασμός με τα μυκορριζικά εμβόλια, ενδογενή ή το εμπορικό σκεύασμα βελτίωσε σημαντικά την ποιότητα και την ποσότητα των φυτών πιπεριάς. Αναλυτικότερα, εμβολιασμός με τα AM εμβόλια MC3, MC10 και MC22 οδήγησαν σε συνολική συγκομιδή μεγαλύτερου αριθμού καρπών πιπεριάς συμπεριλαμβανομένου όμως και των μη εμπορεύσιμων, μικρού μεγέθους (ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.5). Αντίστοιχα τα MC3 και MC10 οδήγησαν και σε υψηλότερες τιμές συνολικού βάρους καρπών (ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.5).

Αναλυτικότερα για το βάρος των καρπών κατά κλάση παρατηρήθηκαν τα εξής: στην κλάση καρπών βάρους έως 60 g ο μη εμβολιασμένος μάρτυρας παρήγαγε περισσότερους καρπούς σε σχέση με τα AM εμβόλια (ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.6, ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.7). Αντίθετα στα φυτά που εμβολιάστηκαν με τα MC3 και MC10 παρατηρήθηκε σημαντικά υψηλότερος αριθμός καρπών της κλάσης 61 – 80 g ενώ τα ίδια AM εμβόλια μαζί με το MC27 οδήγησαν σε σημαντικά υψηλότερους αριθμούς καρπών της κλάσης 81 – 100 g. Τέλος για την κλάση καρπών με βάρος από 101g και άνω, περισσότεροι σε αριθμό καρποί παρατηρήθηκαν στα φυτά που ήταν εμβολιασμένα με τους μύκητες MC10 και MC3. Οι χαμηλότερες τιμές για τα εμβολιασμένα φυτά τόσο ως προς το βάρος καρπών όσο και ως προς τον αριθμό των καρπών παρατηρήθηκαν στα φυτά που εμβολιάστηκαν με το εμβόλιο MC4 και το ΜΙΓΜΑ των μυκορριζικών εμβολίων.

Η εβδομαδιαία συχνότητα συλλογής καρπών από τα φυτά πιπεριάς οδήγησε σε αυξομειώσεις από συγκομιδή σε συγκομιδή τόσο στο βάρος όσο και στον αριθμό των

καρπών χωρίς όμως κάποια ξεκάθαρη τάση (ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ 6.1.4, 6.1.7-6.1.10). Η μεσολάβηση δύο εβδομάδων μεταξύ της προτελευταίας και της τελευταίας συγκομιδής οδήγησε σε συγκομιδή μεγάλου αριθμού πιπεριών που άνηκαν στις κλάσεις 61-80 και >100 g για όλα τα εμβόλια σε σχέση με τον μάρτυρα αλλά ειδικότερα υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στα φυτά που εμβολιάστηκαν με τα MC3, MC10, MC27.

Όσον αφορά τη βιομάζα των βλαστών και του φυλλώματος των φυτών πιπεριάς δεν παρουσιάστηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα εμβόλια (ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.4) και για τις συγκρίσεις που έγιναν με τη μέθοδο Tuckey, ενώ κατά Duncan υπήρχαν μικρές διαφορές, με το MC4 να έχει μεγαλύτερη βιομάζα από το ΕΜΠΟΡΙΚΟ και το MC10 (ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.11).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.1: Ανάλυση παραλλακτικότητας (τιμές P) για τις επιδράσεις του τελικού εμβολίου, της ομαδοποίησης και της αλληλεπίδρασης τους στο τελικό άθροισμα από τις ημερομηνίες συγκομιδής των μετρούμενων παραμέτρων

	Ολικό άθροισμα αριθμού καρπών	Άθροισμα αριθμού καρπών	Συνολικό βάρος καρπών	Αριθμός καρπών <60 g	Αριθμός καρπών 61-80 g	Αριθμός καρπών 81-100 g	Αριθμός καρπών >100 g	Βάρος καρπών <60 g	Βάρος καρπών 61-80 g	Βάρος καρπών 81-100 g	Βάρος καρπών >100 g
Ομάδα	<.0001	<.0001	<.0001	0.0028	<.0001	<.0001	0.0006	0.0001	<.0001	<.0001	0.080
Εμβόλιο	<.0001	<.0001	<.0001	0.100	<.0001	<.0001	<.0001	0.090	<.0001	<.0001	<.0001
Ο x E	<.0001	<.0001	<.0001	0.100	<.0001	0.0004	0.100	0.080	<.0001	0.0007	0.080

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.2: Ανάλυση παραλλακτικότητας (τιμές P) με διαδοχικές μετρήσεις για τις επιδράσεις του εμβολίου, της ομαδοποίησης και της αλληλεπίδρασης τους στο χρόνο.

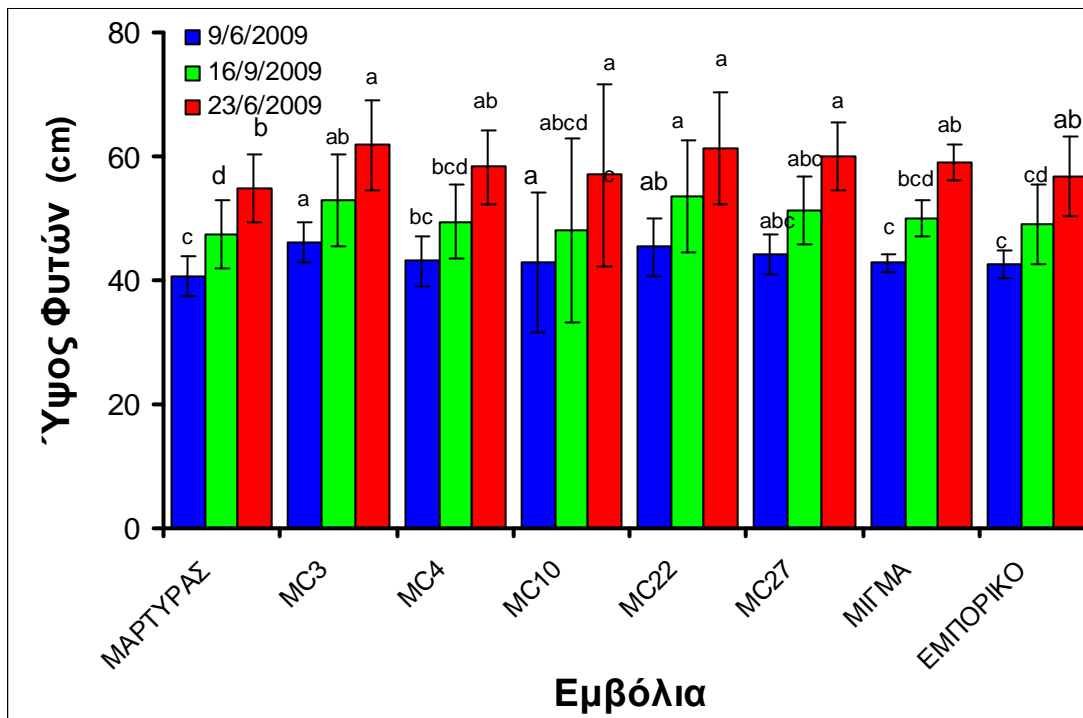
	Ολικό άθροισμα αριθμού καρπών	Άθροισμα αριθμού καρπών	Συνολικό βάρος καρπών	Αριθμός καρπών <60 g	Αριθμός καρπών 61-80 g	Αριθμός καρπών 81-100 g	Αριθμός καρπών >100 g	Βάρος καρπών <60 g	Βάρος καρπών 61-80 g	Βάρος καρπών 81-100 g	Βάρος καρπών >100 g
Ομάδα	<.0001	<.0001	<.0001	0.200	<.0001	<.0001	<.0001	0.100	<.0001	<.0001	<.0001
Εμβόλιο	<.0001	<.0001	<.0001	0.0042	<.0001	<.0001	0.0012	0.0002	<.0001	<.0001	0.0015
Ο x E	<.0001	<.0001	<.0001	0.090	<.0001	0.005	0.100	0.06	<.0001	0.0011	0.080

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.3: Ανάλυση παραλλακτικότητας (τιμές P) με διαδοχικές μετρήσεις για τις επιδράσεις του χρόνου και της αλληλεπίδρασής του με το εμβόλιο, την ομαδοποίηση, και του συνδυασμού τους.

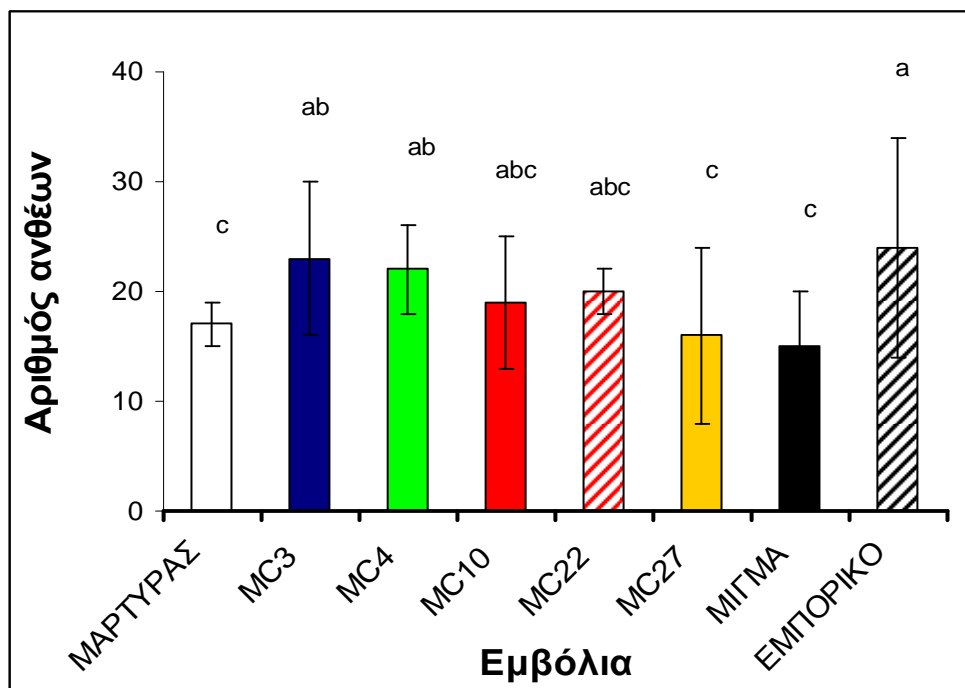
	Ολικό άθροισμα αριθμού καρπών	Άθροισμα αριθμού καρπών	Συνολικό βάρος καρπών	Αριθμός καρπών <60 g	Αριθμός καρπών 61-80 g	Αριθμός καρπών 81-100 g	Αριθμός καρπών >100 g	Βάρος καρπών <60 g	Βάρος καρπών 61-80 g	Βάρος καρπών 81-100 g	Βάρος καρπών >100 g
Χρόνος	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
XxE	<.0001	<.0001	<.0001	0.100	<.0001	<.0001	<.0001	0.100	<.0001	<.0001	<.0001
XxO	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0003	<.0001	<.0001	<.0001	0.0002	<.0001
X x ExO	<.0001	<.0001	<.0001	0.090	0.0002	0.0078	<.0001	<.0001	0.0004	0.0064	<.0001

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.4: Ανάλυση παραλλακτικότητας (τιμές P) για τις επιδράσεις του εμβολίου, της ομαδοποίησης και της αλληλεπίδρασης τους στο βάρος ξηράς ουσίας βλαστών και φύλων και του αποικισμού των ριζών κατά την τελευταία συγκομιδή, και του ύψους και του αριθμού των ανθέων πριν την έναρξη της συγκομιδής.

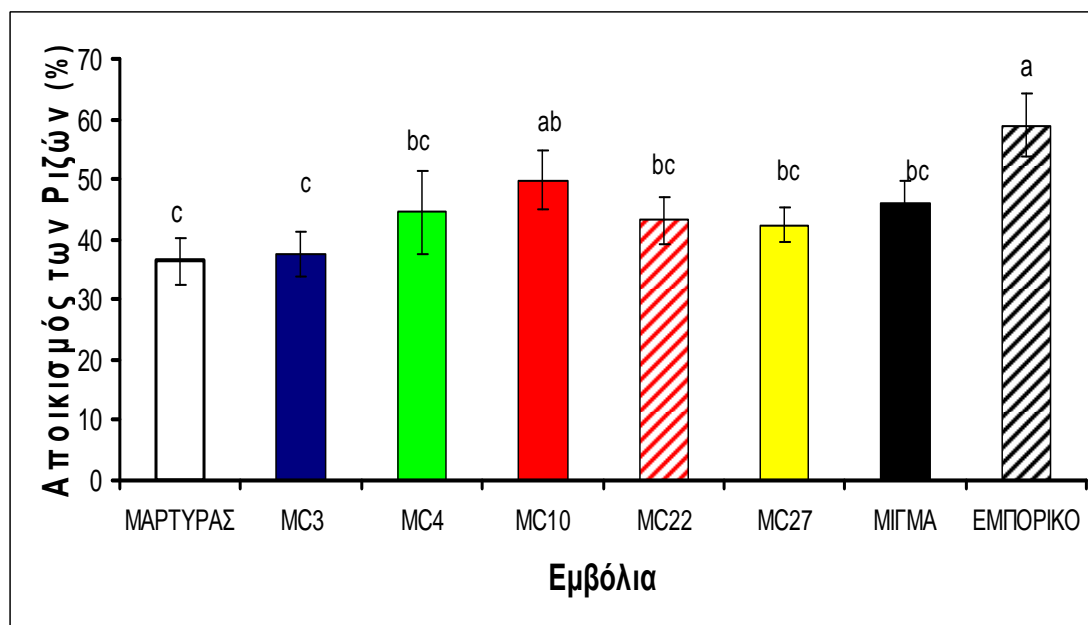
	Βάρος ξηράς ουσίας	Αριθμός Ανθέων	Ύψος	Αποικισμός
Ομάδα	0.0030	0.300	<.0001	<.0001
Εμβόλιο	0.100	0.0102	<.0001	<.0024
O x E	0.0219	0.0002	<.0001	<.0001



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.1: Μέτρηση ύψους πιπεριάς (μέσες τιμές \pm τυπική απόκλιση) σε διαδοχικές ημερομηνίες, προ συγκομιδής. Στήλες με τα ίδια γράμματα από πάνω δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $\alpha=0,05$ με τη μέθοδο Tuckey, $n=18$.

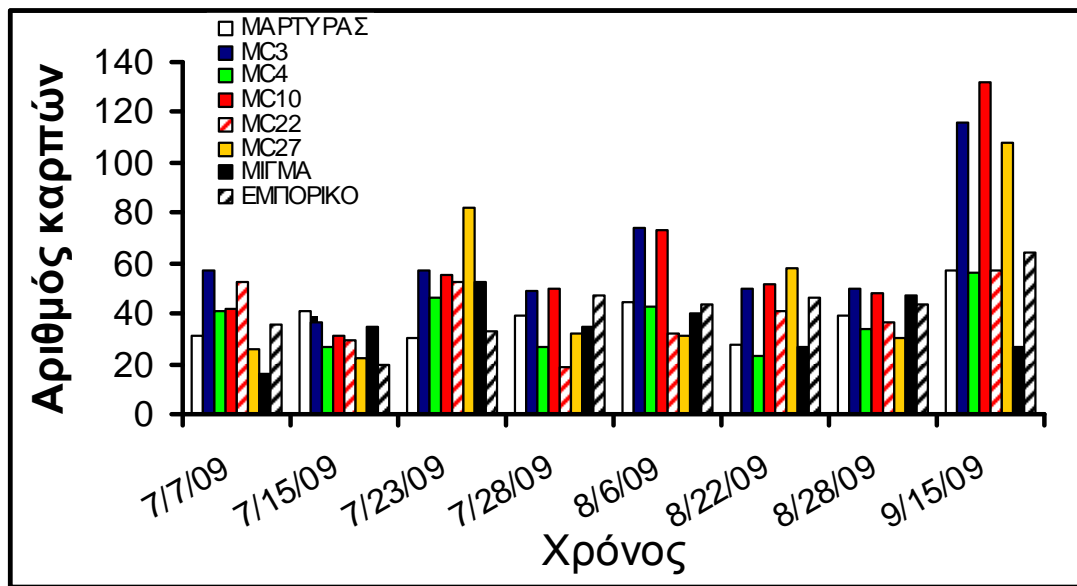


ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.2: Μέτρηση αριθμού ανθέων των φυτών (μέσες τιμές ± τυπική απόκλιση) 11 ημέρες προ της πρώτης συγκομιδής καρπών. Στήλες με τα ίδια γράμματα από πάνω δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $\alpha=0,05$ με τη μέθοδο Duncan, $n=18$.

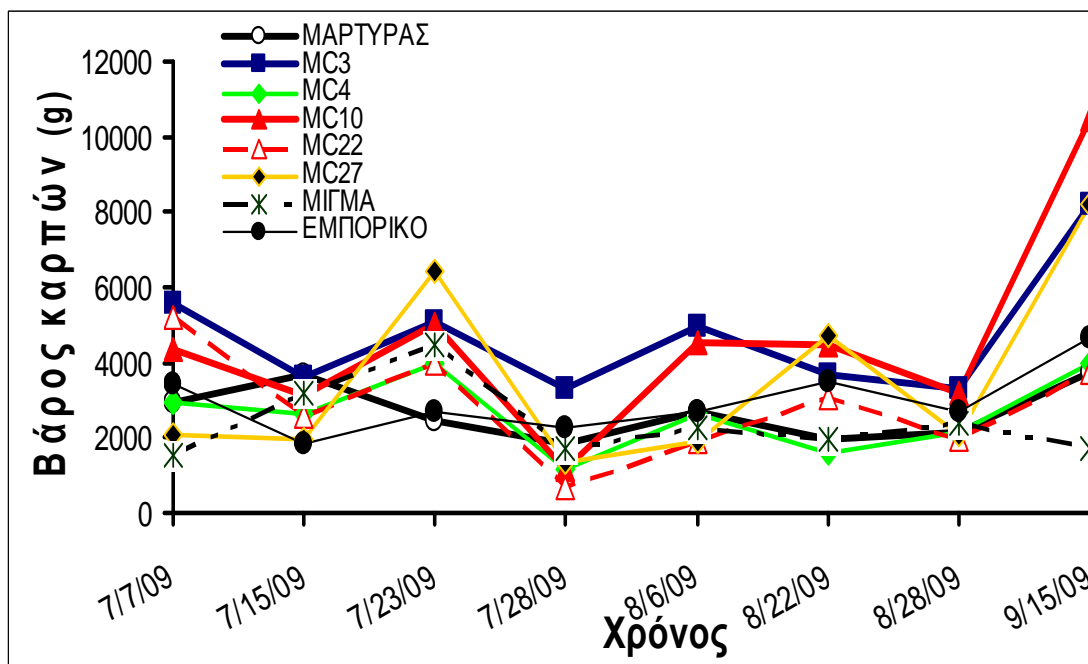


ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.3: Μέτρηση αποικισμού των μυκήτων στη ρίζα των φυτών (μέσες τιμές ± τυπική απόκλιση). Στήλες με τα ίδια γράμματα από πάνω δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $\alpha=0,05$ με τη μέθοδο Tuckey, $n=18$.

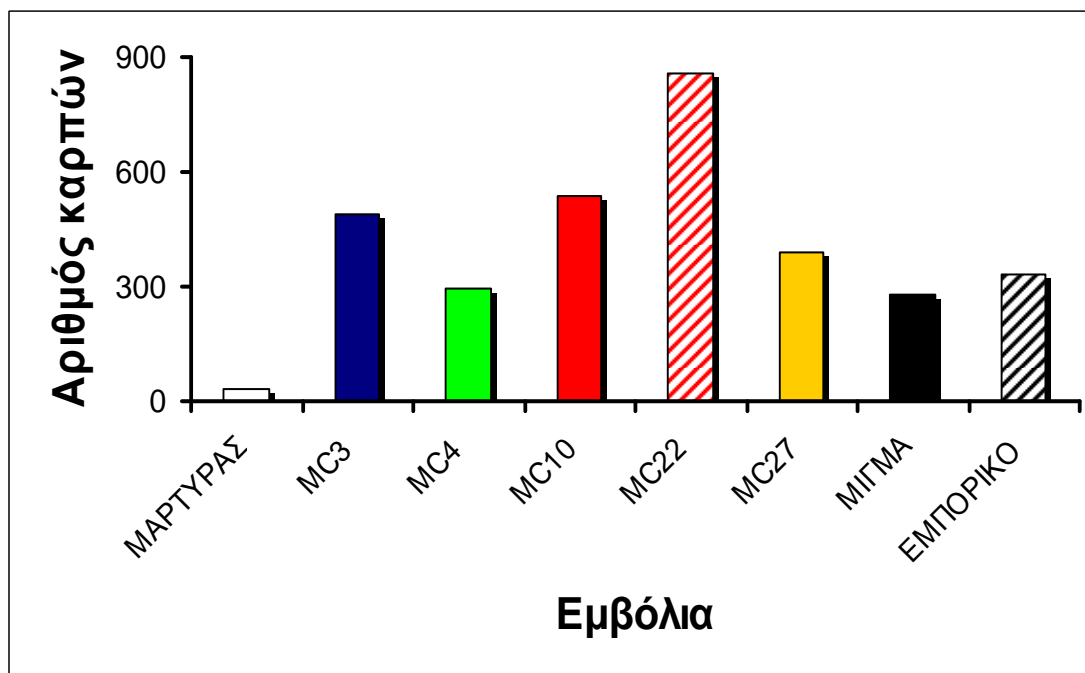
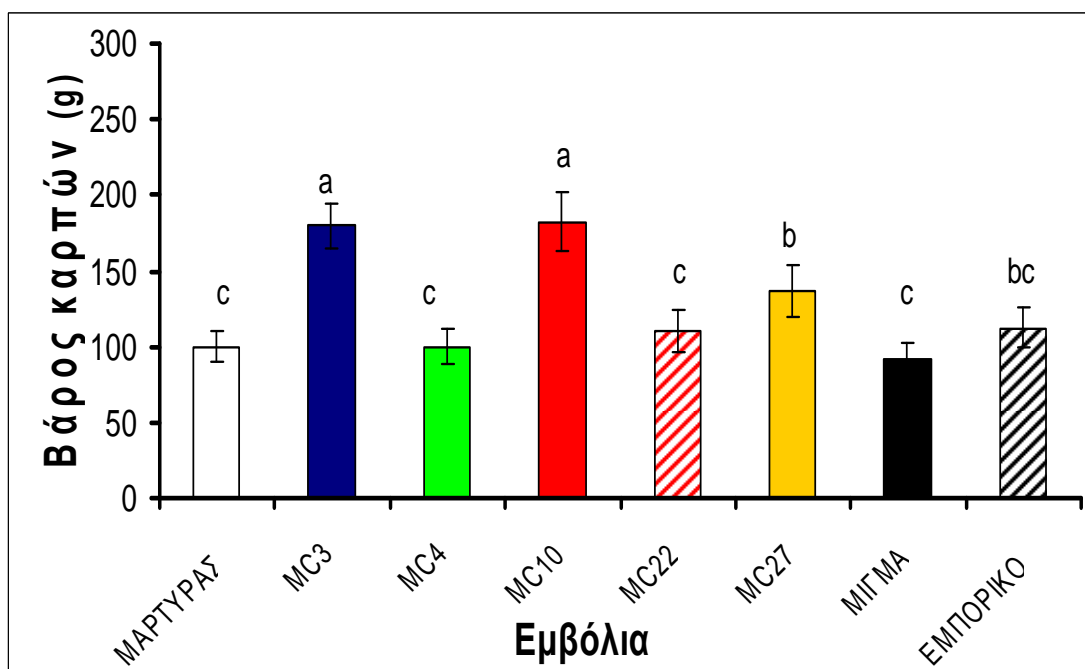
A



B

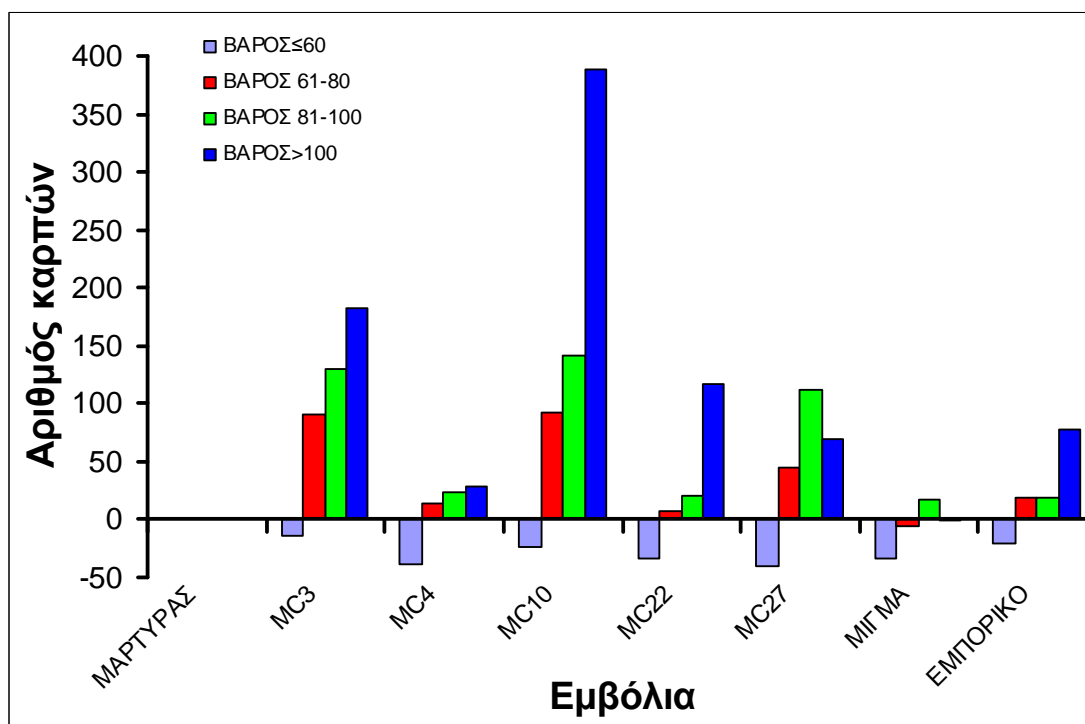


ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.4: Μέτρηση αριθμού (A) και βάρους (B) καρπών πιπεριάς όπου φαίνονται οι παρατηρήσεις που ελήφθησαν από το κάθε εμβόλιο στις διάφορες ημέρες συγκομιδής (μέσες τιμές, στα γραφήματα το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου δε φαίνεται επειδή είναι πολύ μικρό, n=18).

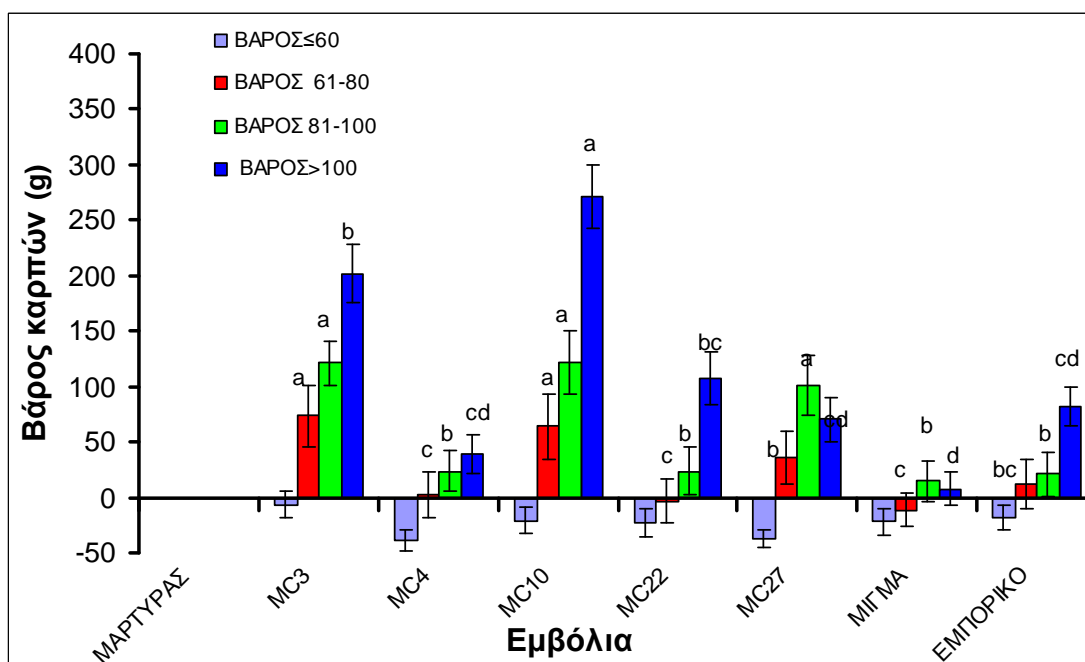
A**B**

ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.5: Μέτρηση συνολικού αριθμού (A) και βάρους (B) καρπών πιπεριάς για όλες τις ημερομηνίες που ελήφθησαν οι παρατηρήσεις και για όλες τις κλάσεις βάρους καρπών. Στήλες με τα ίδια γράμματα από πάνω δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $\alpha=0,05$ με τη μέθοδο Tuckey, $n=18$.

A

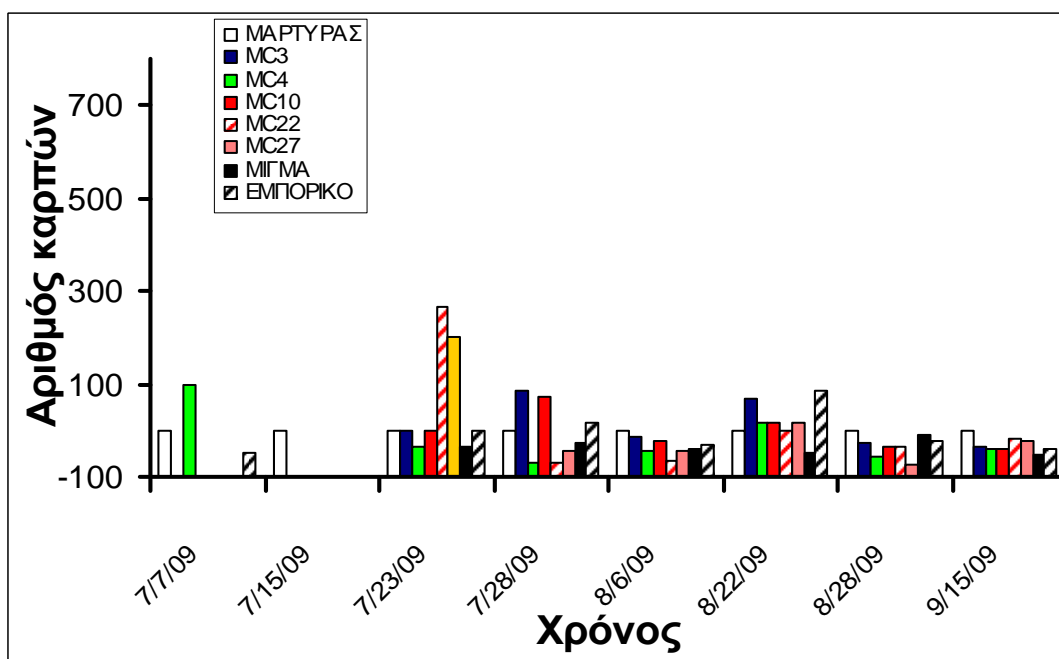


B

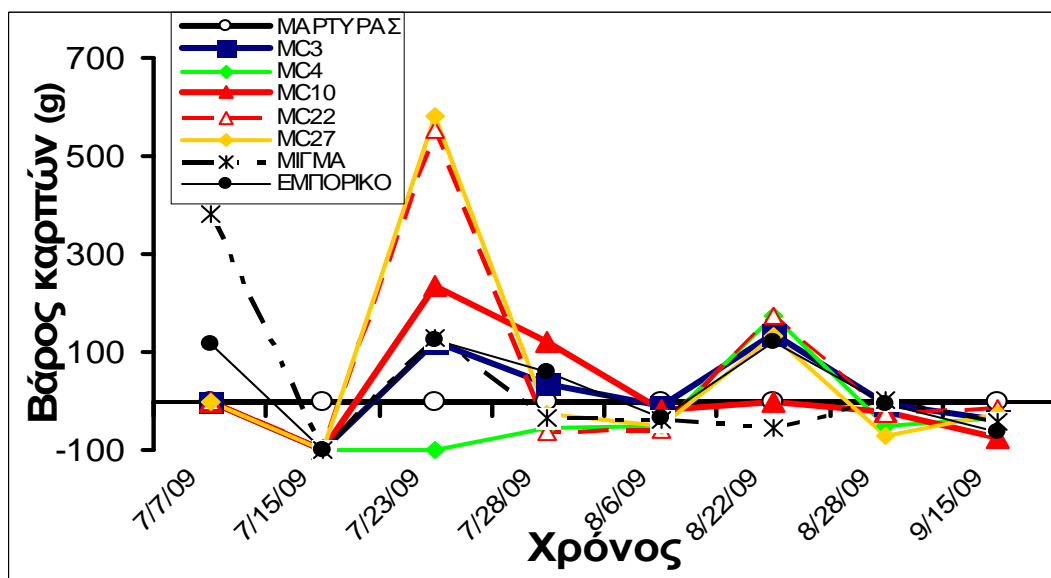


ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.6: Μέτρηση συνολικού αριθμού (A) και βάρους (B) καρπών πιπεριάς σε σχέση με το μάρτυρα, για τις ημερομηνίες που ελήφθησαν οι παρατηρήσεις κατά κλάσεις βάρους καρπών. Στήλες από τα διάφορα εμβόλια για την ίδια κλάση βάρους καρπών που δε σημαίνονται με τα ίδια γράμματα από πάνω δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $\alpha=0,05$ με τη μέθοδο Tuckey, $n=18$.

A

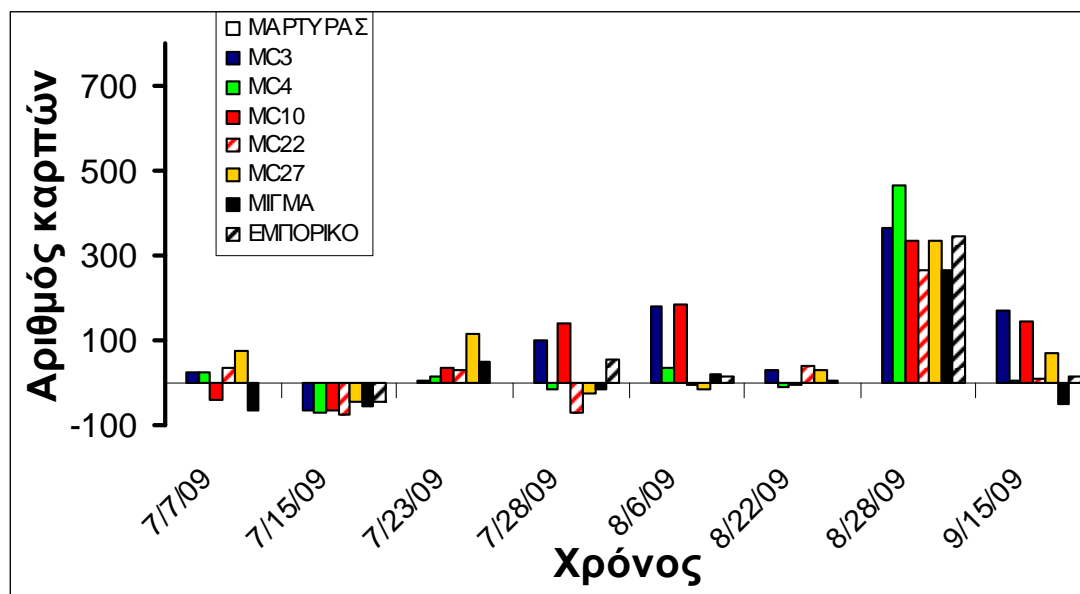


B

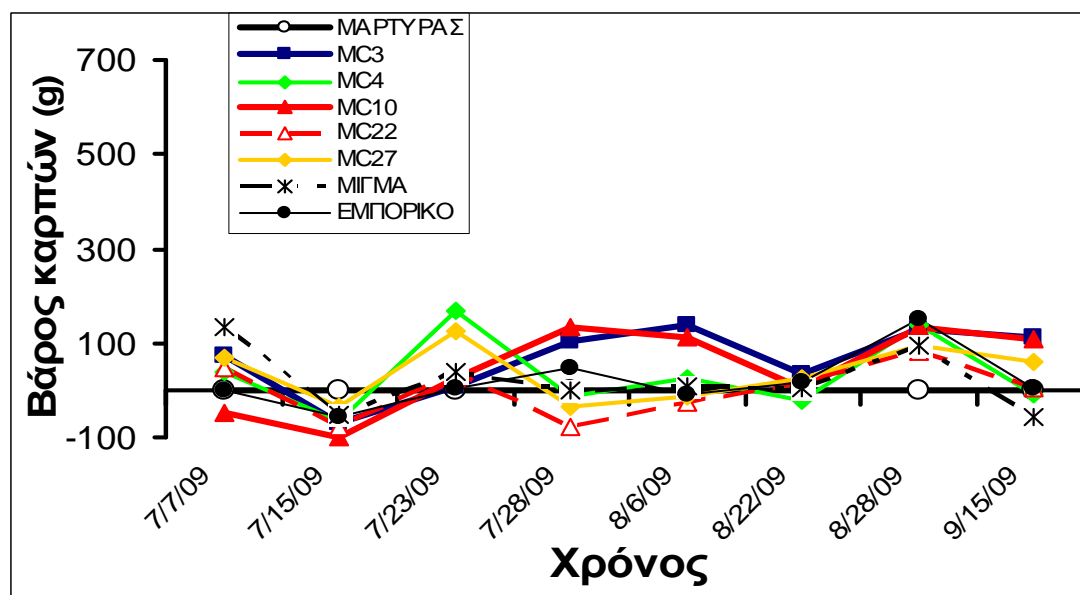


ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.7: Μέτρηση συνολικού αριθμού (A) και βάρους (B) καρπών πιπεριάς με βάρος < 60g σε σχέση με το μάρτυρα στις επιμέρους ημερομηνίες δειγματοληψίας (στα γραφήματα το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου δε φαίνεται επειδή είναι πολύ μικρό, n=18).

A

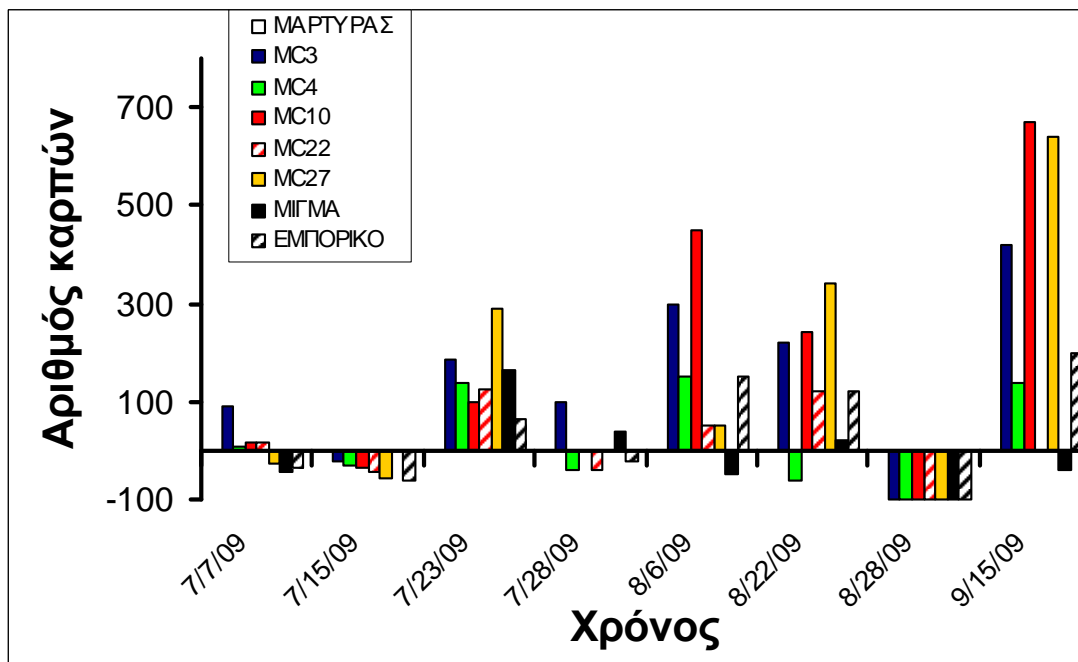


B

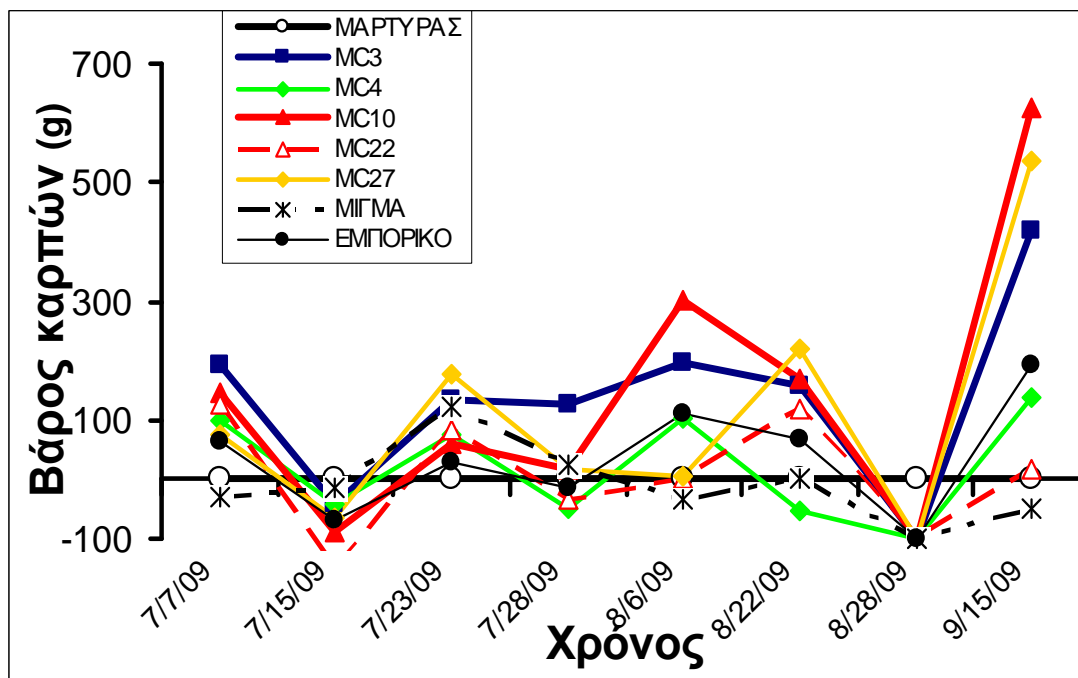


ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.8: Μέτρηση συνολικού αριθμού (A) και βάρους (B) καρπών πιπεριάς με βάρος από 61-80 g σε σχέση με το μάρτυρα στις επιμέρους ημερομηνίες δειγματοληψίας (στα γραφήματα το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου δε φαίνεται επειδή είναι πολύ μικρό, n=18).

A

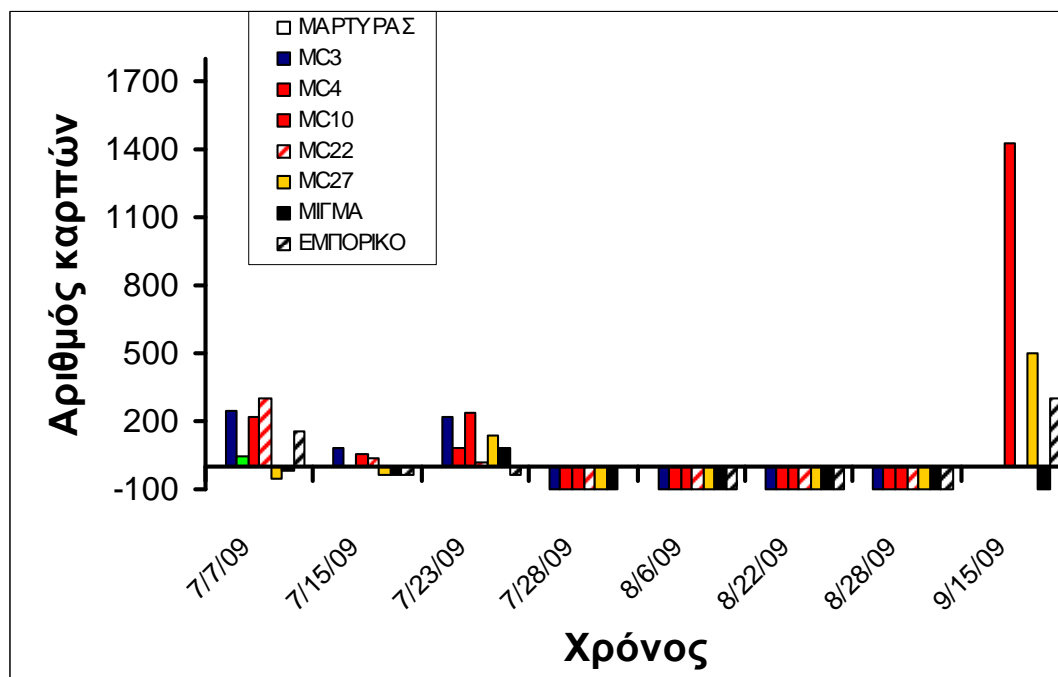


B

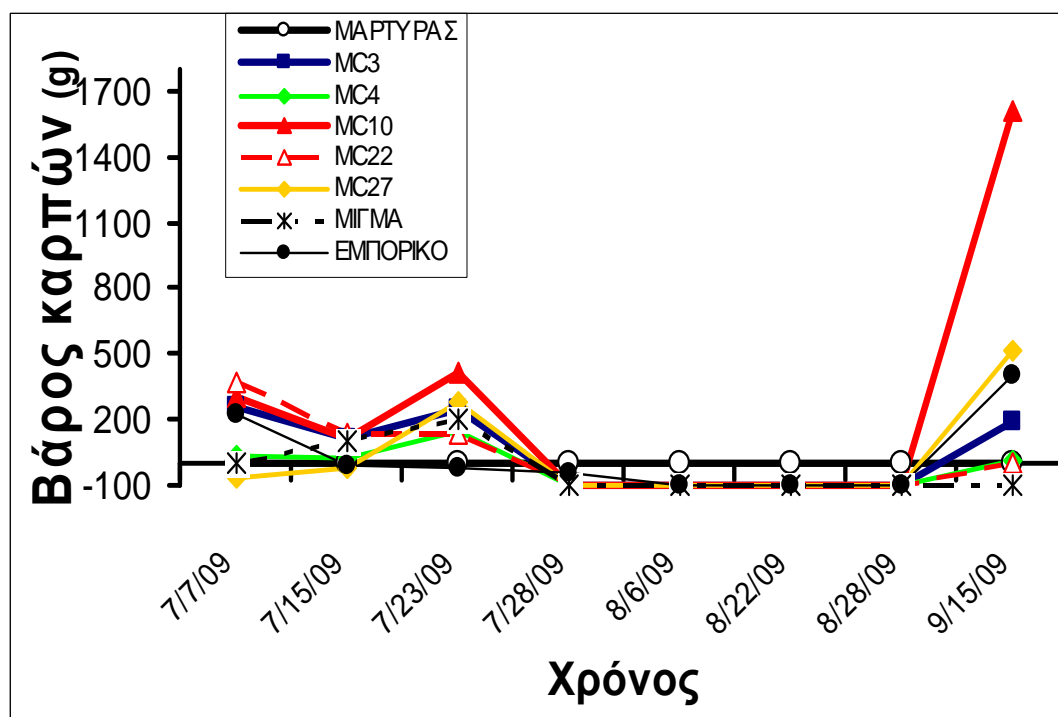


ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.9: Μέτρηση συνολικού αριθμού (A) και βάρους (B) καρπών πιπεριάς με βάρος από 81-100 g σε σχέση με το μάρτυρα στις επιμέρους ημερομηνίες δειγματοληψίας (στα γραφήματα το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου δε φαίνεται επειδή είναι πολύ μικρό, n=18).

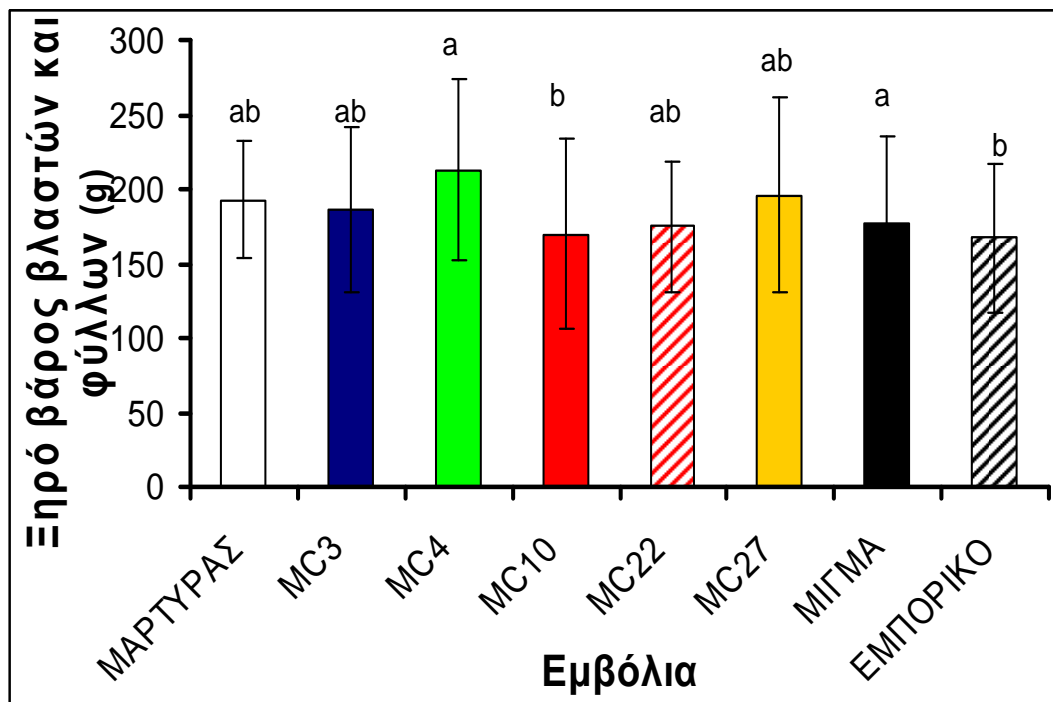
A



B



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.10: Μέτρηση συνολικού αριθμού (A) και βάρους (B) καρπών πιπεριάς με βάρος από > 100 g σε σχέση με το μάρτυρα στις επιμέρους ημερομηνίες δειγματοληψίας (στα γραφήματα το τυπικό σφάλμα του μέσου όρου δε φαίνεται επειδή είναι πολύ μικρό, n=18).



ΓΡΑΦΗΜΑ 6.1.11: Μέτρηση ξηρού βάρους βλαστών και φύλλων (μέσες τιμές \pm τυπικές αποκλίσεις) των πέντε εμβολίων, του μίγματος των εμβολίων, του μάρτυρα και του εμπορικού σκευάσματος. Στήλες με τα ίδια γράμματα από πάνω δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $\alpha=0,05$ με τη μέθοδο Tuckey, $n=18$.

7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Είναι γνωστό ότι οι μυκορριζικοί μύκητες συμβάλλουν σημαντικά στην ανάπτυξη των ξενιστών φυτών με πολλούς και ποικίλους τρόπους, όπως πρόσληψη και απόδοση στο φυτό ανόργανων στοιχείων όπως φωσφόρου, αζώτου, ασβεστίου ψευδαργύρου, στην αποθήκευση άνθρακα καθώς και στη βελτίωση της δομής του εδάφους. Σκοπός όμως της παρούσας εργασίας δεν ήταν να αναλυθούν οι ανωτέρω παράγοντες χωριστά αλλά η χρήση συγκεκριμένων μυκορριζικών μυκήτων σε συνθήκες αγρού και η αξιολόγηση της ικανότητάς τους να προωθούν την παραγωγή φυτών πιπεριάς σε σχέση με το μη μυκορριζικό μάρτυρα.

Έτσι λοιπόν η έναρξη του πειράματος έγινε στις 03/05/09, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 5.5, και η πρώτη μέτρηση αξιολόγησης έγινε στις 09/06/09 και αφορούσε το ύψος των φυτών πιπεριάς. Σύμφωνα με τον Quahmane και άλλους ερευνητές (2007) σε πείραμα που διεξήχθη σε θερμοκήπιο, ο εμβολιασμός της πιπεριάς με AM μύκητες αύξησε το ύψος και την καρποφορία της πιπεριάς σε σχέση με το μάρτυρα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του πειράματος συμφωνούν απόλυτα με την παραπάνω έρευνα καθώς από την πρώτη κιόλας μέτρηση φαίνεται ότι όλα τα φυτά που ήταν εμβολιασμένα με AM μύκητες είχαν μεγαλύτερο ύψος από το μάρτυρα, με ελαφρά υπεροχή του MC3 και MC22. Στην δεύτερη και τρίτη μέτρηση οι διαφορές συνέχισαν να υπάρχουν πλην του MC10 που στο τέλος φαίνεται να ισοφαρίζεται από το μάρτυρα.

Στις 23/06/09 μετρήθηκε ο αριθμός των ανθέων ανά φυτό με μια υπεροχή των εμβολίων MC3 και ΜΠΓΜΑ όπου και παρατηρήθηκε γενικά σημαντική επίδραση των εμβολίων στη μέτρηση. Το παραπάνω αποτέλεσμα έρχεται σε συμφωνία με την έρευνα των Smith και Read (1997) οι οποίοι ανακάλυψαν σημαντική διαφορά στην ανθοφορία των AM μυκήτων στην πιπεριά έναντι του μάρτυρα.

Οι επιδράσεις των μυκορριζικών μυκήτων στη μέτρηση του ξηρού βάρους των βλαστών και των φύλλων της πιπεριάς δεν είχαν σημαντικές διαφορές. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε αντίθεση με προηγούμενα ευρήματα των Mena – Violante και των άλλων ερευνητών (2006), οι οποίοι διαπίστωσαν τις ευεργετικές επιπτώσεις των AM μυκήτων στο ξηρό βάρος της πιπεριάς και το απέδωσαν στην ευκολότερη δέσμευση του φωσφόρου από τους AM μύκητες.

Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές (Mena–Violante κ.α, 2006), οι θετικές επιπτώσεις του εμβολιασμού των φυτών με AM μύκητες είναι ιδιαιτέρως εμφανείς στην αύξηση και ανάπτυξη του ξενιστή αλλά και στη βελτίωση της ποιότητας και του βάρους του καρπού της πιπεριάς, γεγονός που συμβαδίζει με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας όπου ο εμβολιασμός των φυτών πιπεριάς με τα μυκορριζικά εμβόλια προκάλεσε σημαντική αύξηση τόσο στον αριθμό των συνολικά εμπορεύσιμων καρπών όσο και στο συνολικό βάρος παραγωγής. Το μέγεθος των καρπών σε σχέση με το ολικό βάρος και ο συνολικός αριθμός των καρπών, είναι ίσως οι σημαντικότερες παράμετροι μέτρησης διότι αποτελούν ποιοτικά κριτήρια για να κριθεί κάποιος καρπός εμπορεύσιμος. Σχεδόν σε όλες τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του πειράματος τα εμβόλια MC3 και MC10, υπερέχουν των υπολοίπων μεταχειρίσεων στα παραπάνω δυο κριτήρια, εκτός από δύο μετρήσεις όπου υπερείχε το MC27 (23/07 και 22/08), χωρίς όμως να υπάρχει κάποια προφανής εξήγηση για τη συγκεκριμένη υπεροχή. Εξετάζοντας και τις τρεις παραμέτρους: συνολικό βάρος, αριθμό και βάρος καρπών, στην ολοκλήρωση της εργασίας φαίνεται ότι οι μεταχειρίσεις ΜΙΓΜΑ, MC4 και ΕΜΠΟΡΙΚΟ δεν έχουν σημαντικές διαφορές από τον ΜΑΡΤΥΡΑ, τα MC22 και MC27 υπερέχουν από αυτόν, ενώ τα εμβόλια που οδήγησαν στις σημαντικότερες ποιοτικές ποσοτικές αυξήσεις της παραγωγής ήταν τα MC3 και MC10, τα οποία αποτελούν αμιγείς καλλιέργειες των μυκήτων *G. intraradices* και *G. mosseae* αντίστοιχα. Όσον αφορά τους εμπορικούς καρπούς με βάρος από 61 έως 99 g φαίνεται καθαρά ότι υπερέχει το εμβόλιο MC10 ενώ ακολουθεί το MC3 με μικρή διαφορά, ενώ για την κλάση βάρους από 100g και άνω υπερέχουν τα MC10 και MC27.

Η περιορισμένη αποτελεσματικότητα του μίγματος των μυκορριζικών εμβολίων (ΜΙΓΜΑ) στην προαγωγή της παραγωγής μπορεί να οφείλεται σε ανταγωνισμό μεταξύ των μυκορριζών που αποτέλεσαν το εμβόλιο.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του πειράματος στον αποδεικτικό αγρό, έδειξε ότι τα ενδογενή μυκορριζικά εμβόλια που είχαν απομονωθεί από βιολογικούς αγρούς της Κεντρικής και Βόρειας Ελλάδας θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια αξιόπιστη εναλλακτική πρόταση «θρέψης-λίπανσης» λαχανοκομικών καλλιεργειών κυρίως για τη βιολογική γεωργία.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

-Α-

1. Abbott LK. 1982. Comparative anatomy of vesicular-arbuscular mycorrhizas formed on subterranean clover. *Australian Journal of Botany*. 30: 485-499.
2. Abbott LK, Robson AD. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 35: 121-150.
3. Abbott, LK, Robson, AD, Gazey C. 1992. Selection of inoculant vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. In: Norris JR, Read DJ, Varma AK (eds) *Methods in Microbiology*. Vol. 24. Techniques for the study of mycorrhiza Academic Press, London. pp. 1-21.
4. Adams F, Reddell P, Webb MJ, Shipton WA. 2006. Arbuscular mycorrhizas and ectomycorrhizas on *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae) trees and seedlings in native forests of tropical north-eastern Australia. *Australian Journal of Botany* 54: 271-281.
5. Alarcón C, G. Cuenca G. 2005. Arbuscular mycorrhizas in coastal sand dunes of the Paraguaná Peninsula, Venezuela. *Mycorrhiza* 16: 1-9.
6. Allen N, Nordlander M, McGonigle T, Basinger J, Kaminsjy S. 2006. Arbuscular mycorrhizae on Axel Heiberg Island (80°N) and at Saskatoon (52°N) Canada. *Canadian Journal of Botany* 84: 1094-1100
7. Ames RN, Reid CPP, Ingham ER. 1984. Rhizosphere bacterial population responses to root colonization by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytologist* 96: 555-563
8. Anderson TF & Rasmussen HN (1996) The mycorrhizal species of *Rhizoctonia*. pp. 379-390 In *Rhizoctonia species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control* (B Sneh *et al.*, eds) Kluwer Academic, Dordrecht.

9. Bianciotto, V., Lumini, E., Lanfranco, L., Minerdi, D., Bonfante, P., Perotto, S., 2000. Detection and identification of bacterial endosymbionts in arbuscular mycorrhizal fungi belonging to the family Gigasporaceae. *Applied and Environmental Microbiology* 66, 4503-4509.
10. Bidartondo, M.I., Redecker, D., Hijri, I., Wiemken, A., Bruns, T.D., Domínguez, L., Sérsic, A., Leake, J.R., Read, D.J., 2002. Epiparasitic plants specialized on arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature* 419, 389-393
11. Bansal M, Mukerji KG. 1994. Positive correlation between VAM-induced changes in root exudations and mycorrhizosphere mycoflora. *Mycorrhiza* 5: 39-44.
12. Bell TL, Pate JS. 1996. Nitrogen and phosphorus nutrition in mycorrhizal Epacridaceae of South-west Australia. *Annals of Botany* 77: 389-397.
13. Bending GD, Read DJ. 1997. Lignin and soluble phenolic degradation by ectomycorrhizal and ericoid mycorrhizal fungi. *Mycological Research* 101: 1348-1354.
14. Berch SM, Gamiet S, Deom E. 1988. Mycorrhizal status of some plants in south-western British Columbia. *Canadian Journal of Botany* 66: 1924-1928.
15. Berch SM, Kendrick B. 1982. Vesicular-arbuscular mycorrhizae of southern Ontario ferns and fern-allies. *Mycologia* 74: 769-776.
16. Brundrett MC. 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist* 154: 275-304
17. Brundrett, M. C. 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Review* 79: 473-495.
18. Brundrett MC. 2007. Scientific approaches to Australian temperate terrestrial orchid conservation *Australian Journal of Botany* 55: 293-307.
19. Buwalda J.G. and K.M. Goh. 1982. Host –fungus competition for carbons as cause of growth depression in vesicular – arbuscular mycorrhizal ryegrass. *Soil Biology and Biochemistry* 14: 130-106

20. Chapin, F. S. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 233-260
21. Clarkson DT, Robards AW. 1975. The endodermis, its structural development and physiological role. In: Macfadyen A, Ford ED (eds) *The Development and Function of Roots*. Academic Press, New York. pp. 415-436.
22. Clayton JS, Bagyaraj DJ. 1984. Vesicular-arbuscular mycorrhizas in submerged aquatic plants of New Zealand. *Aquatic Botany* 19: 251-262.
23. Cook R. 1977. *The Biology of Symbiotic Fungi*. John Wiley and Sons, London.
24. Cordier C, Pozo MJ, Barea JM, Gianinazzi S, Gianinazzi-Pearson V. 1998. Cell defence responses associated with localized and systematic resistance to *Phytophthora parasitica* induced by an arbuscular mycorrhizal fungus. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 11: 1017-1028.
25. Corkidi, L., D. L. Rowland, and N.C Jonshon. 2002. Nireogen fertilization alters the functioning of arbuscular mycorrhizas at two semiarid glasslands. *Plant and Soil* 240: 299-310.
26. Cornwell WK, Bedford BL, Chapin CT. 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus-poor wetland and mycorrhizal response to phosphorus fertilization. *American Journal of Botany* 88: 1824-1829
27. Cullings KW. 1996. Single phylogenetic origin of ericoid mycorrhizae within the Ericaceae. *Canadian Journal of Botany* 74: 1896-1909

-D-

28. Daniels Hetrick BA, Leslie JF, Thompson Wilson G, Gerschevske Kitt GD. 1988. Physical and topological assessment of effects of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on root architecture of big bluestem. *New Phytologist* 110: 85-96.
29. da Silva, dos Santos BA, Alves MV, Maia LC. 2001. Arbuscular mycorrhiza in species of Commelinidae (Liliopsida) in the state of Pernambuco (Brazil). *Acta Botanica Brasilia* 15: 155-165.
30. Davey ML, Currah RS. 2006. Interactions between mosses (Bryophyta) and fungi *Canadian Journal of Botany* 84: 1509-1519
31. Dell B, Malajczuk N, Grove TS, Thomson GT. 1990. Ectomycorrhiza formation in Eucalyptus IV. Ectomycorrhizas in the sporocarps of the hypogeous fungi *Mesophellia* and *Castorium* in eucalypt forests of Western Australia. *New Phytologist* 114: 449-456.
32. Dell B, Malajczuk N, Thomson GT. 1990. Ectomycorrhiza formation in Eucalyptus V. A tuberculate ectomycorrhiza of *Eucalyptus pilularis*. *New Phytologist* 114: 633-640.
33. Degens BP, Sparling GP, Abbott LK. 1994. The contribution from hyphae, roots and organic carbon constituents to the aggregation of a sandy loam under long-term clover-based and grass pastures. *European Journal of Soil Science* 45: 459-468.

-E-

34. Eason WR, Newman EI, Chuba PN. 1991. Specificity of interplant cycling of phosphorus: the role of mycorrhizas. *Plant and Soil* 137: 267-274.
35. Ernst WHO, Van Duin WE, Oolbekking GT. 1984. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in dune vegetation. *Acta Botanica Neerlandica* 33: 151-160.
36. Esau K. 1977. *Anatomy of seed plants*. John Wiley and Sons, Toronto.

-F-

37. Fisher JB, Jayachandran K. 2005. Presence of arbuscular mycorrhizal fungi in South Florida native plants. *Mycorrhiza* 15: 580-588.
38. Fitter AH, Hay RKM. 1987. *Environmental Physiology of Plants*. Academic Press, London.
39. Fitter AH. 2005. Darkness visible: reflection of underground ecology. *Journal of ecology* 93:231-243
40. Fogel R, Peck SB. 1975. Ecological studies of hypogeous fungi. I. Coleoptera associated with sporocarps. *Mycologia* 67: 741-747.
41. Fortin, J.A., Becard, G., Declerck, S., Dalpe, Y., St, A.M., Coughlan, A.P., Piche, Y., 2002. Arbuscular mycorrhiza on root-organ cultures. *Canadian Journal of Botany* 80, 1-20

-G-

42. Gerdemann, J.W., Trappe, J.M., 1974. Endogonaceae in the Pacific Northwest. *Mycologia Memoirs* 5, 1-76.
43. Gianinazzi-Pearson, V, Brechenmacher, L . 2004. Functional genomics of arbuscular mycorrhiza: decoding the symbiotic cell programme. *Canadian Journal of Botany* 82, 1228-1234
44. Graham, JH, Eissenstat DM, Drouillard DL. 1991. On the relationship between a plant's mycorrhizal dependency and rate of vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization. *Functional Ecology* 5: 773-779
45. Giovannetti M., Mosse B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular- arbuscular mycorrhizal infections in roots. *New Phytologist* 100: 613-621

-H-

46. Handreck, KA. 1997. Phosphorus requirements of Australian native plants
Australian Journal of Soil Research 35: 241-289.
47. Harrier L. A., Watson C. A., 2003. The role of arbuscular mycorrhizal fungi
in sustainable cropping systems. *Advances in Agronomy*,79,185-225
48. Helgason, T., Fitter, A.H., Young, J.P.W., 1999. Molecular diversity of
arbuscular mycorrhizal fungi colonising *Hyacinthoides non-scripta*
(bluebell) in a seminatural woodland. *Molecular Ecology* 8, 659-666.
49. Helgason, T., Watson, I.J., Young, J.P.W., 2003. Phylogeny of the
Glomerales and *Diversisporales* (Fungi: *Glomeromycota*) from actin
and elongation factor 1-alpha sequences. *FEMS Microbiology Letters*
229, 127-132.
50. Hendrix, J.W., Jones, K.J., Nesmith, W.C., 1992. Control of Pathogenic
Mycorrhizal Fungi in Maintenance of Soil Productivity by Crop-
Rotation. *Journal of Production Agriculture* 5, 383-386.
51. Hijri, M., Redecker, D., Macdonald-Comber Petetot, J.A., Voigt, K.,
Wöstemeyer, J., Sanders, I.R., 2002. Identification and isolation of two
Ascomycete fungi from spores of the arbuscular mycorrhizal fungus
Scutellospora. *Applied and Environmental Microbiology* 68, 4567-
4573.
52. Hijri, M., Sanders, I.R., 2005. Low gene copy number shows that arbuscular
mycorrhizal fungi inherit genetically different nuclei. *Nature* 433, 160-
163

-J-

53. Janos DP, Sahley CT, Emmons LH. 1995. Rodent dispersal of vesicular-
arbuscular mycorrhizal fungi in Amazonian Peru. *Ecology* 76: 1852-
1858.
54. Joner EJ, Leyval C. 1997. Plant uptake of Cd through arbuscular
mycorrhiza, an important group of symbiotic fungi. In: *Contaminated
Soils: 3rd International Conference on the Biogeochemistry of Trace
Elements*, Paris, France, 15-19 May, 1995. pp. 195-207.

-K-

55. Kuhn, G., Hijri, M., Sanders, I.R., 2001. Evidence for the evolution of multiple genomes in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature* 414, 745-748.

-L-

56. Lawrence JF, Milner R. 1996. Associations between arthropods and fungi. In: *Fungi of Australia Vol. 1B Introduction-Fungi in the Environment*. Ed by: Orchard AE. ABRS/CSIRO Canberra, Australia. pp. 137-202.
57. Lewis DH. 1985. Symbiosis and mutualism: crisp concepts and soggy semantics. In: *The Biology of Mutualism*. Ed by: Boucher DH. Croom Helm, London, pp. 29-39.
58. Lewis JD, Koide RT. 1990. Phosphorus supply, mycorrhizal infection and plant offspring vigour. *Functional Ecology* 4: 695-702.
59. Lindahl B, Stenlid J, Olsson S, Finlay R. 1999. Translocation of ³²P between interacting mycelia of a wood-decomposing fungus and ectomycorrhizal fungi in microcosm systems. *New Phytologist* 144: 183-193.
60. Liu, A. ,C. Hamel, R. I. Hamilton, and D.L. Smith. 2000. Mycorrhizae formation and nutrient uptake of new corn (*Zea Mays L.*) hybrids with extreme canopy and leaf architecture as influenced by soil N and P levels. *Plant and Soil* 221: 157-166.
61. Lovett C. Barbara. 1989. *Plant Physiological Ecology*. Springer. City. Link
62. Lodge DJ, Wentworth TR. 1990. Negative associations among VA-mycorrhizal fungi and some ectomycorrhizal fungi inhabiting the same root system. *Oikos* 57: 347-356.
63. Lussenhop J, Fogel R. 1999. Seasonal changes in phosphorus content of *Pinus strobus*-*Cenococcum geophilum* ectomycorrhizae. *Mycologia* 91: 742-746.

-M-

64. Marschner H, Dell B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159: 89-102.
65. Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London.
66. Marschner H., E. Kirkby, and I. Cakmak. 1996. Effects of mineral nutritional status on shoot – root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of Experimental Botany* 47: 1255-1263
67. McCormick MK, Whigham DF, O'Neill J. 2004. Mycorrhizal diversity in photosynthetic terrestrial orchids. *New Phytologist* 163: 425-438.
68. McGee PA, Baczocha N. 1994. Sporocarpic Endogonales and Glomales in scats of *Rattus* and *Perameles*. *Mycological Research* 98: 246-249.
69. Menge JA, Grand LF, Haines LW. 1978. The effect of fertilization on growth and mycorrhizae numbers in 11-year-old loblolly pine plantations. *Forest Science* 23: 37-44.
70. Morton, J.B., 1988. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi: Classification, nomenclature, and identification. *Mycotaxon* 32, 267-324.
71. Morton, J.B., Benny, G.L., 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order Glomales, two new suborders Glomineae and Gigasporineae and two new families Acaulosporaceae and Gigasporaceae with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37, 471-491.
72. Morton, J.B., Bever, J.D., Pflieger, F.L., 1997. Taxonomy of *Acaulospora gerdemannii* and *Glomus leptotichum*, synanamorphs of an arbuscular mycorrhizal fungus in Glomales. *Mycological Research* 101, 625-631.
73. Morton, J.B., Redecker, D., 2001. Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters. *Mycologia* 93, 181-195.
74. Mosse, B., and J. M. Phillips. 1971. The influence of phosphate and other nutrients on the development of vesicular arbuscular mycorrhiza in culture. *Journal of General Microbiology*. 1971: 157-166.

-N-

75. Newsham KK, Fitter AH, Watkinson AR. 1995. Arbuscular mycorrhiza protect an annual grass from root pathogenic fungi in the field. *Journal of Ecology* 83: 991-1000.
76. Nicolson TH. 1959. Mycorrhiza in the Gramineae. I. Vesicular-arbuscular endophytes, with special reference to the external phase. *Transactions of the British Mycological Society* 42: 421-438.

-O-

77. Ocampo JA. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhizal infection of “host” and “non-host” plants: effect on the growth responses of the plants and competition between them. *Soil Biology and Biochemistry* 18: 607-610.
78. O'Connor PJ, Smith, SE, Smith FA. 2001. Arbuscular mycorrhizal associations in the southern Simpson Desert. *Australian Journal of Botany* 49: 493-499
79. Oehl, F., Sieverding, E., 2004. *Pacispora*, a new vesicular arbuscular mycorrhizal fungal genus in the Glomeromycetes. *Journal of Applied Botany* 78, 72-82

-P-

80. Pawlowska, T., Taylor, J.W., 2004. Organization of genetic variation in individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature* 427, 733-737.
81. Peterson RL, Ashford AE, Allaway WG. 1985. Vesicular-arbuscular mycorrhizal associations of vascular plants on Heron Island, a Great Barrier Reef coral cay. *Australian Journal of Botany* 33: 69-76.
82. Pirozynski, K.A., Malloch, D.W., 1975. The origin of land plants: a matter of mycotropism. *BioSystems* 6, 153-164.

-R-

83. Rabatin SC, Stinner BR. 1989. The significance of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungal- soil macroinvertebrate interactions in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 27: 195-204.
84. Ratnayake M, R. T. Leonard and J.A. Menge. 1978. Root exudation in relation to supply of phosphorus and its possible relevance to mycorrhizal formation. *New Phytologist* 81: 543-552
85. Read, D. J. 1991. Mycorrhizas in ecosystems- nature's responses to the 'Law of Minimum'. Pages 101-130 in D.L. Hacksworth, editor. *Frontiers in mycology*, CAB International, Wallingford, CT
86. Reddell P, Spain AV, Hopkins M. 1997. Dispersal of spores of mycorrhizal fungi in scats of native mammals in tropical forests of Northeastern Australia. *Biotropica* 29: 184-192.
87. Redecker, D., Morton, J.B., Bruns, T.D., 2000b. Ancestral lineages of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 14, 276-284.
88. Redecker, D., Morton, J.B., Bruns, T.D., 2000c. Molecular phylogeny of the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus sinuosum* and *Sclerocystis coremioides*. *Mycologia* 92, 282-285.
89. Reed ML. 1987. Ericoid mycorrhiza of Epacridaceae in Australia. In *Mycorrhizae in the Next Decade, Practical Applications and Research Priorities*. Ed by: DM Sylvia, LL Hung, JF Graham. Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida, Gainesville. p. 335.
90. Remy, W., Taylor, T.N., Hass, H., Kerp, H., 1994. Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91, 11841-11843
91. Rose SL. 1981. Vesicular-arbuscular endomycorrhizal associations of some desert plants of Baja California. *Canadian Journal of Botany* 59: 1056-1060.

92. Sanders F. E. and P. B. Tinker. 1973. Phosphate flow into mycorrhizal roots. *Pesticide Science* 4: 385-395
93. Schüßler A, Schwarzott AD, Walker C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105: 1413-1421.
94. Schweiger PFG. 1994. Factors effecting VA mycorrhizal uptake of phosphorus. PhD Thesis, University of Western Australia, Perth.
95. Schüßler, A., Mollenhauer, D., Schnepf, E., Kluge, M., 1994. Geosiphon pyriforme, an endosymbiotic association of fungus and cyanobacteria - The spore structure resembles that of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. *Botanica Acta* 107, 36-45.
96. Schüßler, A., Bonfante P., Schnepf, E., Mollenhauer, D., Kluge., M (1996) Characterization of the Geosiphon pyriforme symbiosome by affinity techniques: confocal laser scanning microscopy (CLSM) and electron microscopy. *Protoplasma* 190: 53-67.
97. Schwarzott, D., Walker, C., Schüßler, A., 2001. Glomus, the largest genus of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales), is non-monophyletic. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 21, 190-197.
98. Schweiger PFG. 1994. Factors effecting VA mycorrhizal uptake of phosphorus. PhD Thesis, University of Western Australia, Perth
99. Setälä H. 1995. Growth of birch and pine seedlings in relation to grazing by soil fauna on ectomycorrhizal fungi. *Ecology* 76: 1844-1851.
100. Sieverding, E., 1991, Vesicular-arbuscular Mycorrhiza Management. Gesellschaft für technische Zusammenarbeit, Eschborn, Germany.
101. Simard SW, Perry DA, Jones MD, Myrold DD, Durall DM, Molina R. 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature* 388: 579-582.
102. Simon, L., Bousquet, J., Levesque, R.C., Lalonde, M., 1993. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature* 363, 67-69.

103. Smith FA, Smith SE. 1997. Tansley Review No. 96. Structural diversity in (vesicular)-arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytologist* 137: 373-388.
104. Smith SE, Gianinazzi-Pearson V. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 39: 221-244.
105. Smith, S.E., Read, D.J., 1986, *Mycorrhizal symbiosis*, 2nd Edition. Academic Press, London
106. St John TV, Hunt HW. 1983. Statistical treatment of VAM infection data. *Plant and Soil* 73: 307-313
Sward RJ. 1978. Studies on Vesicular-Arbuscular Mycorrhizas of some Australian Heathland Plants. PhD Thesis, Monash University.
107. Sylvia, D. M., and L. H. Neal. 1990. Nitrogen affects and phosphorus response of VA mycorrhiza. *New Phytologist* 115: 303-310

-T-

108. Tao L, Jianping L, Zhiwei Z. 2004. Arbuscular mycorrhizas in a valley-type savanna in southwest China. *Mycorrhiza* 14: 323-327.
109. Tarafdar JC, Marschner H. 1994. Efficiency of VAM hyphae in utilisation of organic phosphorus by wheat plants. *Soil Science and Plant Nutrition* 40: 593-600.
110. Tilman, D. 1988. *Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
111. Trappe JM. 1987. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. In: *Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants*. Ed. by: Safir GR. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp. 5-25
112. Trappe JM, Molina R. 1986. Taxonomy and genetics of mycorrhizal fungi: their interactions and relevance. In: *Mycorrhizae: Physiology and Genetics*. Ed. by: Gianinazzi-Pearson V, Gianinazzi S. INRA, Paris. pp. 133-146.
113. Treseder K. K. 2006. A meta-analysis of mycorrhizal responses to nitrogen, phosphorus and atmospheric CO₂ in field studies. *New Phytologist* 164: 347-355

-V-

114. van der Heijden, M.G.A., Klironomos, J.N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I.R., 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396, 69-72.
115. Van den koornhuysen, P., Husband, R., Daniell, T.J., Watson, I.J., Duck, J.M., Fitter, A.H., Young, J.P.W., 2002. Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a grassland ecosystem. *Molecular Ecology* 11, 1555-1564

-W-

116. Walker, C., 1983. Taxonomic concepts in the Endogonaceae: spore wall characteristics in species descriptions. *Mycotaxon* 18, 443-455.
117. Walker C. 1992. Systematics and taxonomy of the arbuscular mycorrhizal fungi. *Agronomie* 12: 887-897.
118. Walker, C., Blaszkowski, J., Schüßler, A., 2004. *Gerdemannia* gen. nov., a genus separated from *Glomus*, and *Gerdemanniaceae* fam. nov., a new family in the Glomeromycota. *Mycological Research* 108, 707-718.
119. Walker, C., Schüßler, A., 2004. Nomenclatural clarifications and new taxa in the Glomeromycota. *Mycological Research* 108, in press
120. Wilcox H. 1964. Xylem in roots of *Pinus resinosa* Ait. in relation to heterorhizy and growth activity. In: Zimmerman, MH (ed) *The Formation of Wood in Forest Trees*. Academic Press, New York. pp. 459-478.
121. Winther JL, Friedman WE. 2008. Arbuscular mycorrhizal symbionts in Lycopodiaceae. *New Phytologist* 177: 790-801.

-Z-

122. Zimmer K, Hynson NA, Gebauer G, Allen EB, Allen MF, Read DJ. 2007. Wide geographical and ecological distribution of nitrogen and carbon gains from fungi in pyroloids and monotropoids (Ericaceae) and in orchids. *New Phytologist* 175: 166–175.

ΒΙΒΛΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

1. Mark Brundrett, Neale Bougher, Bernie Dell, Tim Grove and Nick Malajczuk, Working with mycorrhizas in forestry and agriculture, Australian Centre for International Agricultural Research, 1996
2. S. E. Smith and D. J. Read, Mycorrhizal symbiosis, Academic Press; 3 edition (April 23 2008)
3. Horst Marschner, Mineral nutrition of higher plants, Academic press; 2 edition

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

1. <http://invam.caf.wvu.edu>
2. <http://cropsoil.psu.edu/sylvia/mycorrhiza.htm>
3. http://eprints.usq.edu.au/3157/1/Dearnaley_Further_advances_in_orchid_mycorrhizal_research.pdf
4. <http://mycorrhizas.info/ozplants.html>
5. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.