



# Η Γεωργική μας Έρευνα

## Χρήση ρομποτικής τεχνολογίας στη γεωργία

Γεώργιος Αδαμίδης

Ανώτερος Λειτουργός Γεωργικών Ερευνών  
στο Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών

**Η** χρήση ρομποτικής τεχνολογίας στη γεωργία μπορεί να αποτελέσει μίαν αποτελεσματική λύση στα υφιστάμενα προβλήματα, αφού ως γνωστό το γεωργικό επάγγελμα φθίνει, η εξεύρεση εργατικού δυναμικού είναι δύσκολη, ενώ από την άλλη, υπάρχει η ανάγκη για αύξηση της γεωργικής παραγωγής έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι αυξανόμενες ανάγκες παραγωγής τροφίμων. Επιπλέον, οι γεωργικές εργασίες συχνά είναι επίπονες, επαναλαμβανόμενες αλλιά όχι πανομοιότυπες, ενώ εκτελούνται συνήθως κάτω από αντίξοες καιρικές συνθήκες σε απρόβλεπτο και δύσκολο περιβάλλον. Αυτό είναι μιν κίνητρο για χρήση ρομποτικών συστημάτων στη γεωργία, είναι όμως και μια πρόκληση, αφού, είτε λόγω της υφιστάμενης τεχνολογίας, είτε ή λόγω του δυναμικού περιβάλλοντος (π.χ. σκίαση, φυσικός φωτισμός, φυσικά ή τεχνητά εμπόδια, κλπ.), τα αυτόνομα ρομπότ δύσκολα αντεπεξέρχονται των περιήλοκων και συχνά επικίνδυνων γεωργικών ασχολιών. Σε αντίθεση, η χρήση ρομποτικής τεχνολογίας σε επίπεδο εργοστασίου ή βιομηχανίας, όπως κατασκευή αυτοκινήτων, όπου τα ρομπότ εργάζονται σε πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον, είναι απόλυτα επιτυχής. Στη γεωργία, εργασίες που είναι σχετικά απλές για τον άνθρωπο, όπως για παράδειγμα το να απλώσει το χέρι για να αποκόψει τον καρπό από ένα δένδρο ακόμη και αν εμποδίζεται από το φύλλωμα ή κλαδιά του δένδρου, για ένα ρομπότ είναι μια πολύπλοκη και πολύσύνθετη διαδικασία, η οποία βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό επίπεδο.

Το Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών συμμετέχει στο έργο Agrirobot (<http://agrirobot.ouc.ac.cy>), το οποίο συντονίζει το Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου και σε αυτό συμμετέχουν επίσης, το Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, και το E.U.C. Research Center Ltd. Το έργο χρηματοδοτείται από το Ίδρυμα Προώθησης Έρευνας ΑΕΙΦΟΡΙΑ/ΓΕΩΡΓΟ/0609(BE)/06.

Στόχος του έργου είναι η μελέτη της περίπτωσης τηλεχειρισμού ενός αγροτικού ρομπότ (agricultural robot teleoperation). Με τον όρο τηλεχειρισμό εννοούμε ότι ο αγρότης είναι επιβλήπων και καθοδηγητής του ρομπότ, το οποίο βρίσκεται σε χωράφι ή θερμοκήπιο, ενώ ο ίδιος βρίσκεται σε ένα ασφαλές και άνετο περιβάλλον, που θα μπορούσε να είναι ένας χώρος κοντά στο χωράφι ή ακόμα και στο σπίτι του. Το ρομπότ, λοιπόν, δεν αντικαθιστά τον αγρότη, αλλιά τον υποβοηθά στην εκτέλεση των εργασιών στο χωράφι ή στο θερμοκήπιο. Στόχος είναι να εκμεταλλευτούμε τη γνώση και εμπειρία του αγρότη στις πολύπλοκες γεωργικές εργασίες, αφήνοντας τη σκληρή, επίπονη, επαναλαμβανόμενη και επικίνδυνη εργασία στο ρομπότ.

Στο συγκεκριμένο έργο, η γεωργική εργασία που επιλέξαμε για να δοκιμάσουμε τη χρήση ρομποτικής τεχνολογίας είναι αυτή του ψεκασμού (εικόνα 1). Με την επιλογή αυτή στοχεύσαμε στο να απομακρύνουμε τον αγρότη από τα επικίνδυνα χημικά στα οποία εκτίθεται κατά τη διάρκεια του ψεκασμού. Παράλληλα, με την ακρίβεια που προσφέρει το



Εικόνα 1: Τηλεχειριζόμενο ρομπότ ψεκαστήρας σε αμπελώνια

ρομπότ στον ψεκασμό επιτυγχάνεται τόσο μείωση του ψεκαστικού διαλύματος που χρησιμοποιείται, άρα μειώνεται και το κόστος, όσο και προστασία του περιβάλλοντος καθώς χρησιμοποιούνται λιγότερα χημικά.

Ο τηλεχειρισμός του ρομπότ προϋποθέτει το σχεδιασμό και ανάπτυξη κατάλληλων διεπαφών για επικοινωνία του χρήστη (αγρότη) με το ρομπότ (user interface for human-robot interaction). Έτσι, το έργο Agrirobot επικεντρώνεται στην κατασκευή διεπαφών χρήστη, κατάλληλων για τηλεχειρισμό αγροτικών ρομπότ, επιτρέποντας στον αγρότη να ελέγχει το ρομπότ χρησιμοποιώντας διάφορες μορφές αλληλεπίδρασης.



*Εικόνα 2: Διεπαφή για επικοινωνία χρήστη-ρομπότ. Περιλαμβάνει την κάμερα που δείχνει το μονοπάτι στο οποίο κινείται το ρομπότ, περιφερειακή κάμερα και κάμερα που βλέπει τα τσαμπιά που έχει να ψεκάσει.*

κουμε να καταδείξουμε τα στοιχεία εκείνα που είναι αναγκαία ώστε να βελτιώσουμε την επίγνωση που χρειάζεται να έχει ο αγρότης κατά την αλληλεπίδραση του με το αγροτικό ρομπότ. Με την τεχνική αυτή – και δεδομένου ότι το ρομπότ βρίσκεται σε απομακρυσμένη από το χρήστη περιοχή – επιδιώκουμε, μέσω της διεπαφής, ο χρήστης να έχει επίγνωση της εργασίας που εκτελεί το ρομπότ, επίγνωση του περιβάλλοντα χώρου όπου βρίσκεται το ρομπότ, επίγνωση της λειτουργικής κατάστασης του ρομπότ, και επίγνωση της αποστολής που έχει να εκτελέσει.

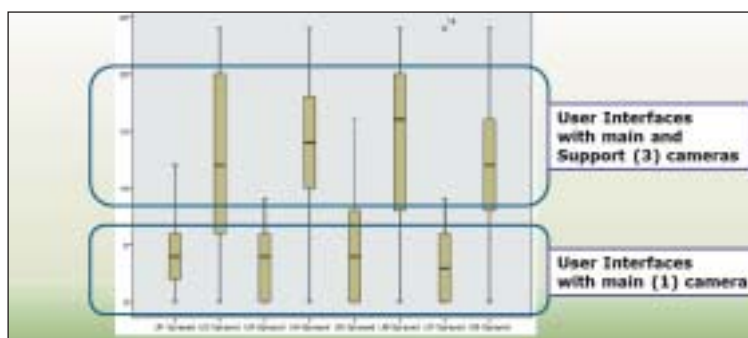
Σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν διάφορα πειράματα πεδίου στους Πειραματικούς Σταθμούς του Ινστιτούτου Γεωργικών Ερευνών. Τα πειράματα έχουν προκαταρκτικά καταδείξει ότι ένας βασικός παράγοντας στη διεπαφή μεταξύ του χρήστη και του ρομπότ είναι μια περιφερειακή άποψη του χώρου γύρω από το ρομπότ, καθώς επίσης και άποψη του χώρου μπροστά του, όπως φαίνεται στην εικόνα 2. Επίσης για τη στόχευση και ψεκασμό των στόχων (π.χ. τσαμπιά σταφυλιών) χρειάζεται μια κοντινή άποψη πάνω από το ψεκαστικό. Αν παραληφθεί έστω και μια από τις τρεις απόψεις, η εργασία οδήγησης και ψεκασμού γίνεται πολύ πιο δύσκολη και με περισσότερα λάθη (εικόνα 3).

Από τα προκαταρκτικά αποτελέσματα προκύπτει ότι, ο βασικός στόχος του έργου, δηλαδή **ο τηλεχειρισμός αγροτικού ρομπότ, είναι εφικτός**. Παράλληλα μετρήθηκε και η αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα της διεπαφής χρήστη-ρομπότ που αναπτύχθηκε.

Κύριος στόχος ήταν ο καθορισμός κατάλληλων διεπαφών που θα χρησιμοποιήσει ένας αγρότης για να τηλε-χειριστεί αγροτικό ρομπότ, συμπεριλαμβανομένου της καθοδήγησης στο χωράφι και της επιλογής στόχων (π.χ. για να ψεκάσει, να κηλαδέψει, να μαζέψει κλπ) [1, 2].

Το τελικό αποτέλεσμα είναι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση διεπαφής για αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και του ρομπότ που να είναι εύκολη στη χρήση, να περιορίζει το χρόνο εκμάθησης της χρήσης της, και να είναι αποδοτική και αποτελεσματική. Δεδομένου ότι ο χρήστης βρίσκεται απομακρυσμένος από το χώρο στον οποίο λειτουργεί το ρομπότ, η διεπαφή θα πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει όλη την αναγκαία πληροφορία στον αγρότη ώστε να τηλεχειριστεί το αγροτικό ρομπότ.

Μέσα από τη διαδικασία της σχεδίασης, ανάπτυξης και μελέτης των διεπαφών χρήστη-ρομπότ, επιδιώ-



*Εικόνα 3: Ο μέσος αριθμός τσαμπιών που ψεκάστηκαν με διεπαφές που είχαν υποστηρικτικές κάμερες ήταν πιο υψηλός σε σχέση με τις διεπαφές που ο χρήστης είχε μόνο μία κάμερα.*

[1] Adamides, G., Berenstein, R., Ben-Halevi, I., Hadzilacos, T., & Edan, Y. "User Interface Design Principles for Robotics in Agriculture: The Case of Telerobotic Navigation and Target Selection for Spraying". In Conference Proceedings of the 8<sup>th</sup> Asian Conference on Information Technology in Agriculture (AFITA 2012), Taipei 3-6 September 2012.

[2] Adamides, G., Katsanos, C., Christou, G., Xenos, M., & Hadzilacos, T. "Human-Robot Interaction in Agriculture: Usability evaluation of three input devices for spraying grape clusters". In conference proceedings of the EFITA-WCCA-CIGR Conference: Sustainable Agriculture through ICT innovation (EFITA 2013), Turin 23-27 June 2013. ■

## Μυκόρριζες: εργαλείο διατήρησης και βελτίωσης της γονιμότητας των εδαφών

Δρ Μιχάλης Ομήρου  
Λειτουργός Γεωργικών Ερευνών και  
Δρ Ιωάννης Μ. Ιωαννίδης  
Ανώτερος Λειτουργός Γεωργικών Ερευνών  
στο Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών

**Ο**ι μυκόρριζες είναι η συμβιωτική σχέση που σχηματίζεται μεταξύ μυκήτων που ανήκουν στο φύλο *Glomerozyma* και αυτότροφων φυτικών οργανισμών. Αυτή η συμβίωση είναι η πλέον διαδεδομένη που παρατηρείται στα χερσαία οικοσυστήματα αφού το 90% των φυτικών οργανισμών σχηματίζουν τέτοιες συμβιωτικές σχέσεις. Οι μυκόρριζες διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο που αποικίζουν τα φυτά σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις ενδομυκόρριζες (AM) και τις εκτομυκόρριζες (EM). Η πρώτη κατηγορία παρουσιάζει έντονο γεωργικό ενδιαφέρον αφού τα περισσότερα είδη που αποικίζουν τα καλλιιεργούμενα φυτά αποικίζουν το ριζικό σύστημα σχηματίζοντας δομές μέσα στους ιστούς. Οι εκτομυκόρριζες εντοπίζονται συνήθως σε δασικά είδη και δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο γεωργικό ενδιαφέρον. Το κύριο όφελος των φυτών-ξενιστών που σχηματίζουν συμβιωτικές σχέσεις με ενδομυκόρριζες αφορά την αποτελεσματικότερη πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων και νερού.

Πέραν όμως από τις ευεργετικές επιδράσεις που έχουν διαπιστωθεί σε αυτούς τους τομείς, ορισμένα είδη ενδομυκόρριζων φαίνεται να επιδρούν θετικά στην αντιμετώπιση εδαφογενών παθογόνων και στην αποφυγή της τοξικότητας βαρέων μετάλλων από τα φυτά. Ως εκ τούτου οι ενδομυκόρριζες και τα εμπορικά τους σκευάσματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε γεωργικά συστήματα με στόχο τη βελτίωση της γονιμότητας των εδαφών και κατ' επέκταση της αποδοτικότητας των φυτών. Σκοπός του άρθρου είναι να αναπτύξει θέματα που αφορούν τις ευεργετικές επιδράσεις των ενδομυκόρριζων στα φυτά, τις επιπτώσεις που έχουν οι καλλιιεργητικές πρακτικές σε αυτές από αποτελέσματα που προκύπτουν από την εργασία που επιτελείται από την ερευνητική μας ομάδα.

### Ευεργετικές επιδράσεις του αποικισμού των φυτών με ενδομυκόρριζες

Μεγάλος αριθμός δημοσιεύσεων έχει αποδείξει πλέον ότι τα αποικισμένα από AM φυτά σε σύγκριση με μη αποικισμένα φυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα θρεπτικών στοιχείων τόσο στη ρίζα όσο και στο υπέργειο τμήμα. Ιδιαίτερη ανταπόκριση παρουσιάζουν τα φυτά στο φώσφορο όπου αποικισμένα φυτά παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις του θρεπτικού αυτού στοιχείου. Τα τελευταία χρόνια, μελέτες έχουν δείξει ότι, εκτός από τον φώσφορο, ο ρυθμός απορρόφησης αζώτου και αφομοίωσης του αζώτου αυξάνει σημαντικά παρουσία AM ενώ παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί και για άλλα θρεπτικά στοιχεία όπως ο Zn, ο Fe και ο Cu. Η αύξηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων στις πηλίστες των περιπτώσεων συνοδεύεται από αύξηση του ρυθμού φωτοσύνθεσής και συσχετίζεται με αύξηση της παραγωγής βιομάζας. Πέρα όμως από την αύξηση της πρόσληψης των θρεπτικών στοιχείων, τα AM φυτά έχουν την ικανότητα να απορροφούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την αποδοτικότητα χρήσης του νερού στην καλλιέργεια. Η εκτεταμένη ανάπτυξη των μυκηλιακών υφών στο έδαφος και στην περιοχή της ριζόσφαιρας καθιστά εφικτή την αξιοποίηση χώρων που το ριζικό σύστημα των φυτών δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί. Αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος για τον οποίο τα AM φυτά παρουσιάζουν αυτές τις ιδιότητες.

## Επίδραση των καλλιεργητικών φροντίδων στην ποικιλιότητα των μυκορριζών στο έδαφος

Τα παραπάνω αποτελέσματα αφορούν μελέτες οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί σε ελεγχόμενες συνθήκες. Η πραγματικότητα, όμως, σε συνθήκες αγρού είναι αρκετά διαφορετική και είναι σε αυτό το σημείο που υπεισέρχεται η μεγάλη σημασία της επιλογής του εμβολίου, των συνθηκών που επικρατούν, καθώς επίσης και οι καλλιεργητικές φροντίδες.

Μελέτες που έχει πραγματοποιήσει η ερευνητική μας ομάδα, δείχνουν ότι η ανταπόκριση φυτών καρπουζιού σε συνθήκες έλλειψης νερού είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με τα φυτά τα οποία αναπτύχθηκαν σε επάρκεια νερού και στα οποία ο εμβολιασμός με AM δεν είχε ούτε θετική ούτε αρνητική επίδραση (Πίνακας). Το τελευταίο αποδίδεται στη σημαντική ποικιλιότητα AM στα εδάφη και τα οποία παρουσιάζουν έντονη λειτουργικότητα σε σχέση με την καλλιέργεια. Δείξαμε με μοριακές μεθόδους ότι, στις

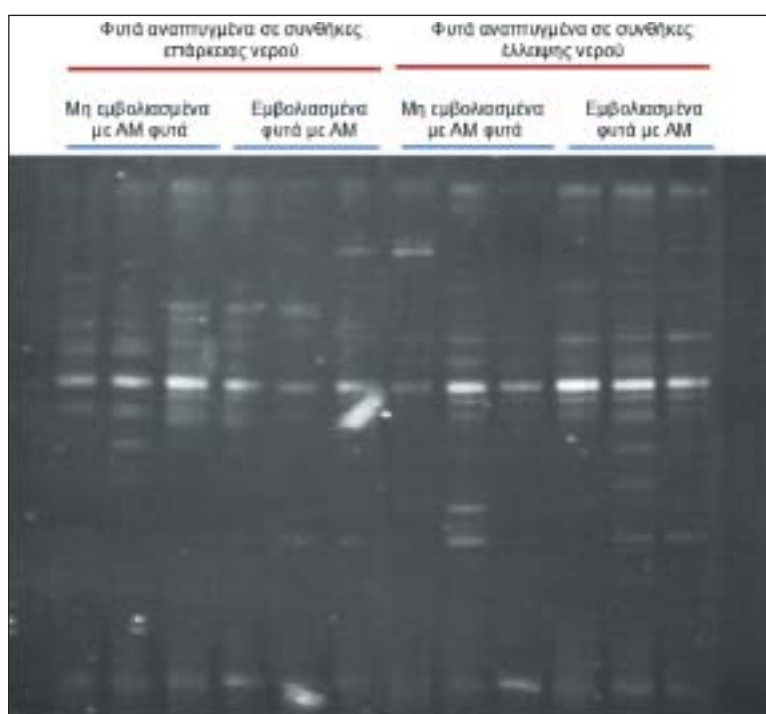
**Πίνακας:** Απόδοση καρπών (kg/plant), Αποτελεσματικότητα Χρήσης Νερού (A.X.N) (g/mm), ολικό N και P στις ρίζες (%EB) εμβολιασμένων (M) και μη εμβολιασμένων φυτών καρπουζιού που αναπτύχθηκαν σε συνθήκες έλλειψης (NW) και επάρκειας (W) νερού.

Μεταχειρίσεις		Απόδοση (kg/φυτό)	A.X.N (g/mm)	N %	P %
Άρδευση	Εμβολιασμός				
W	M	14.24 A <sup>a</sup> a <sup>b</sup>	23.91 Ab	1.29 Aa	1.01 α <sup>c</sup>
W	NM	13.96 Aa	23.47 Ab	1.28 Aa	0.78 β
NW	M	10.96 Ab	34.63 Aa	0.92 Ab	0.52 γ
NW	NM	8.84 Bb	28.08 Ba	0.67 Bb	0.31 δ

<sup>a</sup> Διαφορετικοί κεφαλαίοι Λατινικοί χαρακτήρες υποδηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων της άρδευσης (p<0.05). <sup>b</sup> Διαφορετικοί μικροί Λατινικοί χαρακτήρες υποδηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων του εμβολιασμού (p<0.05) <sup>c</sup> Διαφορετικοί Ελληνικοί χαρακτήρες υποδηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων (p<0.05), (LSD).

περιπτώσεις που δεν υπάρχουν συνθήκες καταπόνησης, ο εμβολιασμός των φυτών εμποδίζει τον αποικισμό των φυτών με γηγενείς πληθυσμούς στους οποίους πιθανότατα να οφείλεται η διατήρηση της αποδοτικότητας (εικόνα 1). Στις ίδιες συνθήκες ο εμβολιασμός με AM δεν είχε καμιά επίδραση σε φυτά τομάτας και αγγουριού καταδεικνύοντας τη σημασία του ξενιστή στον αποικισμό και τη λειτουργικότητα του εμβολίου.

Η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, καθώς, επίσης, και τα επίπεδα CO<sub>2</sub> επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση των καλλιεργειών σε σχέση με τον αποικισμό τους από μυκορριζές. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση του φωσφόρου στο έδαφος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανταπόκριση των φυτών στον εμβολιασμό τους με AM. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι, επίπεδα φωσφόρου στο έδαφος μεγαλύτερα από 30ppm είτε αποτρέπουν τον αποικισμό

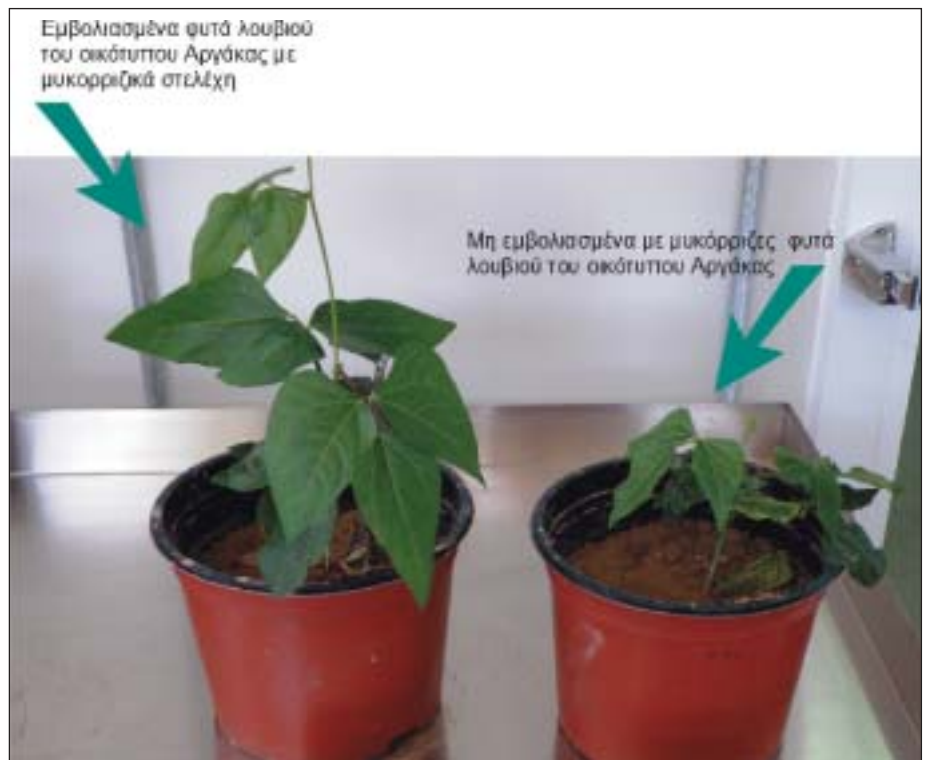


Εικόνα 1: Μοριακό Αποτύπωμα των γηγενών μυκορριζικών ειδών σε συνθήκες έλλειψης νερού και εμβολιασμού φυτών καρπουζιού όπου φαίνεται η σημαντική επίδραση τόσο της εισαγωγής του εμβολίου όσο και η έλλειψη νερού στην μυκορριζική κοινότητα των φυτών.

των φυτών είτε τα φυτά δεν αυξάνουν την απόδοση τους παρουσία του μύκητα (Omirou et al. 2012). Αύξηση της ποσότητας χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων, είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του αποικισμού των ριζών των φυτών ενώ, η εξάρτηση της αποδοτικότητας των φυτών από τις μυκόρριζες μειώθηκε σημαντικά. Η άρδευση φυτών εμβολιασμένων με AM, με νερό υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα, είχε ως αποτέλεσμα τον διπλασιασμό της απόδοσης της καλλιέργειας και την αύξηση της πρόσληψης των θρεπτικών στοιχείων σε σύγκριση με φυτά που δεν εμβολιάστηκαν με AM.

Τα παραπάνω αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι οι AM είναι πολύ πιο πιθανό να αποδώσουν σε συνθήκες χαμηλών εισροών θρεπτικών στοιχείων ή νερού ή σε υποβαθμισμένα εδάφη. Όντως, σε συνθήκες έλλειψης αζώτου σε φυτά λουβιού ο εμβολιασμός των φυτών με AM είχε ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της παραγόμενης βιομάζας των φυτών (εικόνα 2) ενώ φαίνεται ότι υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση με άλλες ομάδες μικροοργανισμών όπως είναι τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια. Σε αυτά τα πλαίσια μελετούνται θέματα που αφορούν την αλληλεπίδραση των AM με τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια που αποικίζουν ψυχανθή καθώς επίσης και τις σχέσεις των AM με διάφορα ψυχανθή.

Η ορθή διαχείριση των γηγενών πληθυσμών και η ορθή χρήση μυκορριζικών εμβολίων μπορεί λοιπόν να αποτελέσει ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την αύξηση της παραγωγικότητας αγροτικών συστημάτων χαμηλών εισροών. Η λειτουργικότητα των γηγενών πληθυσμών επηρεάζεται σημαντικά από τις διάφορες πρακτικές που εφαρμόζονται από τους παραγωγούς και η ορθή χρήση των πόρων και των εισροών μπορεί να ενισχύσει την ευεργετική δράση αυτών των μικροοργανισμών στις καλλιέργειες. Για το λόγο αυτό μελετούμε την επίδραση που έχουν διάφορες πρακτικές στον αποικισμό και την ποικιλότητα των γηγενών πληθυσμών AM που φαίνεται να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών στην Κύπρο. Με αυτό τον τρόπο, στοχεύουμε στην επιλογή συγκεκριμένων AM, που σε συνδυασμό με άλλες πρακτικές, μπορεί να βελτιώσουν σημαντικά την αποδοτικότητα χρήσης των πόρων προς όφελος της παραγωγικότητας των αγροτικών οικοσυστημάτων.



Εικόνα 2: Φυτά λουβιού του οικότυπου Αργάκας εμβολιασμένα με τα στελέχη *Rhizophagus intraradices* και *Glomus mosseae* σε σύγκριση με μη εμβολιασμένα φυτά σε συνθήκες έλλειψης αζώτου

Omirou M., Ioannides M.I., Ehaliotis C. (2013) Mycorrhizal inoculation affects arbuscular mycorrhizal diversity in watermelon roots, but leads to improved colonization and plant response under water stress only. *Applied Soil Ecology* 63:112-119

Omirou M., Ipsilantis I., Karpouzas G.D., Ioannides M.I., Papadopoulou K.K., Constantinos Antoniadis C., Athina-Christina S., Skiada G.V., Constantinos Ehaliotis. AMF inocula: Are we targeting the right selection attributes? 5 MBK Conference, Athens Greece 2012. ■