

Ο ΣΥΝΑΡΠΑΣΤΙΚΟΣ ΚΟΣΜΟΣ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Cristiana Ariotti¹, Elena Giuliano¹, Paolina Garbeva² και Gianpiero Vigani^{1,2*}

¹ Plant Physiology Unit, Department of Life Sciences and Systems Biology, University of Turin, Turin, Italy

² Department of Microbial Ecology, Netherlands Institute of Ecology (NIOO-KNAW), Wageningen, Netherlands

ΝΕΑΡΟΣ ΚΡΙΤΗΣ:



**SHASHI
PREETHAM**
Ηλικία: 13

Αν είσαι ένα μικρόβιο μέσα στο έδαφος, πώς θα πεις κάτι στους γείτονές σου; Μάλλον το να μιλάς Ελληνικά, Αγγλικά, ή Γαλλικά δεν θα σε βοηθήσει πολύ μέσα στη γη. Αντί γι' αυτό, θα πρέπει να χρησιμοποιήσεις μόρια για λέξεις! Τα μικρόβια του εδάφους (εδαφόβια μικρόβια) επικοινωνούν μεταξύ τους και με άλλους οργανισμούς, όπως ζώα ή φυτά, παράγοντας διαφορετικούς τύπους μορίων. Μερικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν αυτά τα μόρια σαν χημικές λέξεις. Τα μόρια μπορούν να ταξιδέψουν εύκολα μέσα από τις φυσαλίδες αέρα που υπάρχουν στο έδαφος, τους λεγόμενους πόρους αέρα. Έτσι, μπορούν να μεταφερθούν πολύ μακριά, κάτι σαν επικοινωνία εξ' αποστάσεως. Άλλα μόρια είναι υδατοδιαλυτά, δηλαδή μπορούν να διαλυθούν στο νερό, επιτρέποντας έτσι την επικοινωνία μεταξύ οργανισμών που βρίσκονται κοντά ο ένας με τον άλλο. Οι οργανισμοί οι οποίοι λαμβάνουν τα μηνύματα μπορούν να αποκριθούν με διαφορετικούς τρόπους, όπως με το να αναπτυχθούν πιο γρήγορα ή να παραγάγουν άλλα μόρια ως απάντηση. Σε αυτό το άρθρο θα εξερευνήσουμε τον συναρπαστικό και μυστηριώδη κόσμο της υπόγειας

χημικής επικοινωνίας και τον ρόλο της στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ μικροβίων και φυτών.

Η ΖΩΗ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ

Το σύνολο των διαφορετικών οργανισμών (φυτά, ζώα, και μικρόβια) οι οποίοι αλληλεπιδρούν με τη νεκρή ύλη σε μία συγκεκριμένη περιοχή.

Το έδαφος είναι ένα από τα πιο συναρπαστικά και περίπλοκα **οικοσυστήματα** στη Γη. Δεν αποτελεί απλώς την εξωτερική επιφάνεια του πλανήτη μας, στην οποία μεγαλώνουν φυτά, αλλά, είναι επιπλέον ένας εντυπωσιακός, κρυμμένος κόσμος όπου διαβιούν πολλά διαφορετικά είδη οργανισμών. Το έδαφος αποτελείται από ακανόνιστα κομμάτια πετρών, μικρούς πόρους αέρα και οργανική ύλη (νεκρά φυτά και ζώα). Αυτό το περιβάλλον είναι ένα υπέροχο μέρος για να ζήσουν μικρόβια, έντομα και φυτά. Δεν ακούγεται απίστευτο ότι το έδαφος είναι γεμάτο ζωή; Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους (μέγεθος πετρών, είδος φαγητού, ποσότητα νερού κλπ.), μπορούν να ζήσουν μέσα σε αυτό διαφορετικοί οργανισμοί. Αυτοί οι διαφορετικοί οργανισμοί συγκροτούν μία συγκεκριμένη κοινότητα, δηλαδή, μία μοναδική ομάδα διαφορετικών οργανισμών οι οποίοι ζουν μαζί.

Ξέρετε τι είναι τα εδαφόβια μικρόβια; Είναι εξαιρετικά μικροσκοπικοί οργανισμοί οι οποίοι ζουν κολλημένοι πάνω σε σωματίδια εδάφους ή σε άλλους ζωντανούς οργανισμούς. Υπάρχουν μύκητες οι οποίοι έχουν σχήμα το οποίο μοιάζει με πολύ λεπτές ρίζες, έτσι ώστε να μπορούν να αγγίζουν και να ανταλλάσσουν πληροφορίες με τους γείτονές τους. Επίσης, υπάρχουν βακτήρια, τα οποία είναι οργανισμοί που αποτελούνται από ένα μόνο κύτταρο και συνήθως είναι ευδιάκριτα μόνο με χρήση μικροσκοπίου. Όταν αυτοί οι οργανισμοί ζουν στη **ριζόσφαιρα** (το τμήμα του εδάφους που περιβάλλει τις ρίζες των φυτών), ονομάζονται μικρόβια της ριζόσφαιρας. Μπορούν επίσης να ζουν στην επιφάνεια των ριζών ή και μέσα στις ρίζες [1]. Στη ριζόσφαιρα, βρίσκονται ωφέλιμα (καλά) μικρόβια, τα οποία μπορούν να βοηθήσουν τα φυτά να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν, ή επιβλαβή (κακά) μικρόβια, τα οποία επιτίθενται στα φυτά και τους προκαλούν ασθένειες.

ΡΙΖΟΣΦΑΙΡΑ

Το τμήμα του εδάφους το οποίο περιβάλλει τις ρίζες, όπου φυτά και μικρόβια επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας μόρια.

ΠΩΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΟΥΝ ΤΑ ΕΔΑΦΟΒΙΑ ΜΙΚΡΟΒΙΑ ΚΑΙ ΤΑ ΦΥΤΑ ?

Ιδιαίτερα συναρπαστική είναι η ικανότητα των εδαφόβιων μικροβίων να επικοινωνούν μεταξύ τους, όπως και με άλλους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων των φυτών και των ζώων. Η επικοινωνία μεταξύ μικροβίων και φυτών έχει μελετηθεί από πολλούς επιστήμονες. Η επικοινωνία αυτή βασίζεται στη χρήση μορίων ως λέξεις, και ονομάζεται **χημική επικοινωνία**. Φανταστείτε ένα μόριο σαν μία ομάδα από πολλές μικροσκοπικές σφαίρες (που ονομάζουμε άτομα) οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους. Τα άτομα αυτά είναι σημαντικά χημικά στοιχεία, όπως άνθρακας (C), υδρογόνο (H), οξυγόνο (O), και άζωτο (N), τα οποία ενώνονται μεταξύ τους (σαν παζλ) και σχηματίζουν μόρια όπως το νερό (H₂O) ή το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Ο διαφορετικός συνδυασμός ατόμων δημιουργεί μόρια με διαφορετικές ιδιότητες.

ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

Η επικοινωνία που συμβαίνει μεταξύ δύο ή περισσότερων διαφορετικών οργανισμών (φυτά, ζώα, και μικρόβια) χρησιμοποιώντας μόρια.

ΥΔΑΤΟΔΙΑΛΥΤΗ ΟΥΣΙΑ

Μία ουσία που διαλύεται στο νερό, όπως το αλάτι και η ζάχαρη.

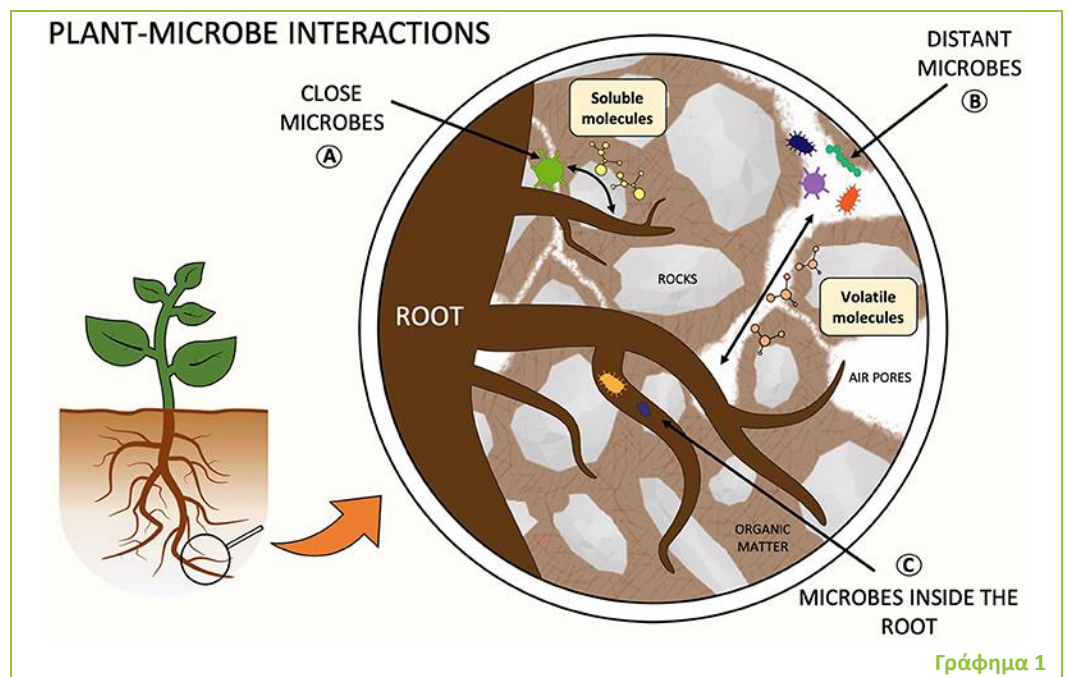
ΠΤΗΤΙΚΗ ΟΥΣΙΑ

Μία ουσία η οποία μετατρέπεται εύκολα σε αέριο και διαχέεται στον αέρα, όπως η μυρωδιά ενός λουλουδιού.

Γράφημα 1

Αλληλεπιδράσεις φυτών-μικροβίων στη ριζόσφαιρα (Plant-microbe interactions). Η εικόνα δείχνει 3 τύπους αλληλεπιδράσεων: **(A)** αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυτών και μικροβίων τα οποία ζουν στην επιφάνεια ή κοντά στις ρίζες (close microbes), με τη βοήθεια υδατοδιαλυτών μορίων (soluble molecules). **(B)** αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυτών και μικροβίων τα οποία ζουν μακριά από τις ρίζες (distant microbes), με τη βοήθεια πτητικών μορίων (volatile molecules) και. **(C)** αλληλεπιδράσεις με μικρόβια τα οποία ζουν εντός των ριζών (microbes inside the root), με άμεση επαφή με τα ριζικά κύτταρα. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις συμβαίνουν στο έδαφος, το οποίο αποτελείται από πέτρες (rocks), πόρους αέρα (air pores) και οργανική ύλη (organic matter).

Τα εδαφόβια μικρόβια μπορούν να παράγουν πολλούς διαφορετικούς τύπους μορίων, τα οποία μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες: τα **υδατοδιαλυτά** μόρια και τα **πτητικά** μόρια. Τα υδατοδιαλυτά μόρια διαλύονται στο νερό, όπως ένας κύβος ζάχαρης στο τσάι, και μπορούν να μεταφερθούν με το νερό μέσα στο έδαφος. Συνήθως, μιλούν με φυτά τα οποία μεγαλώνουν κοντά στα μικρόβια. Τα πτητικά μόρια, τα οποία λέγονται επίσης πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), χρησιμοποιούνται για επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις (Γράφημα 1). Αυτές οι ασταθείς ενώσεις είναι αέρια, τα οποία ταξιδεύουν εύκολα μέσα στους πόρους αέρα του εδάφους. Οι ρίζες των φυτών μπορούν να μυρίσουν τα αέρια αυτά, όπως η μύτη σας μπορεί να μυρίσει ένα λουλούδι ή το φρεσκοψημένο ψωμί [1]. Η χημική επικοινωνία δεν συμβαίνει μόνο προς μία κατεύθυνση (από τα μικρόβια προς τα φυτά), αλλά σε δύο κατευθύνσεις - τα φυτά παράγουν επίσης μόρια τα οποία μπορούν να γίνουν αντιληπτά από τα μικρόβια.



Γράφημα 1

ΤΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΧΟΥΝ ΤΑ ΜΟΡΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ?

Μερικά παραδείγματα από το τι συμβαίνει μεταξύ μικροβίων και φυτών όταν αρχίζουν να επικοινωνούν μεταξύ τους.

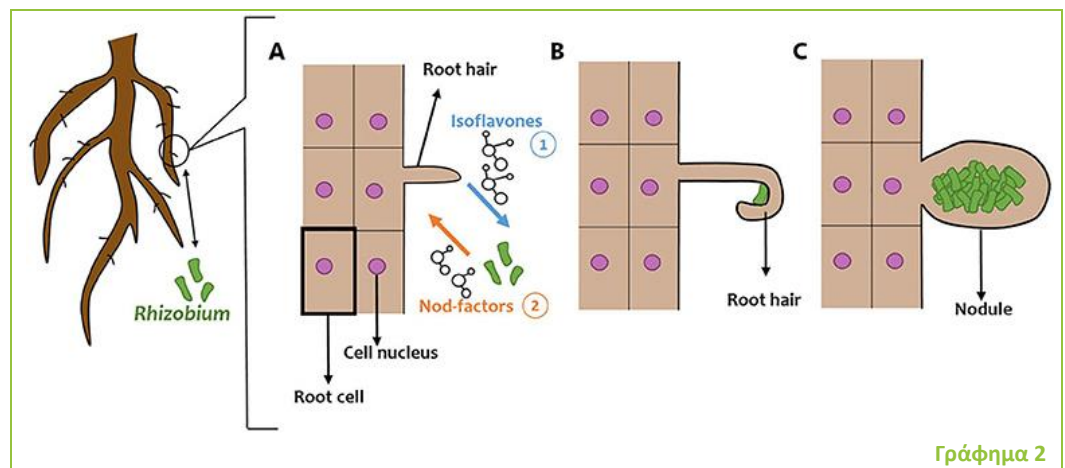
Φυτά και μικρόβια βοηθούν το ένα το άλλο με αντάλλαγμα τροφή

Πολλά εδαφόβια μικρόβια μπορούν να βοηθήσουν τα φυτά να μεγαλώσουν, καθώς καθιστούν περισσότερο διαθέσιμα συστατικά τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Για παράδειγμα, ένα βακτήριο που λέγεται *Rhizobium*, μπορεί να μετατρέψει το άζωτο του αέρα (N_2) σε ένα διαφορετικό μόριο: την αμμωνία (NH_3). Αυτή η μετατροπή ονομάζεται αζωτοδέσμευση και πραγματοποιείται μέσα στο έδαφος. Η αζωτοδέσμευση είναι πολύ σημαντική για τα φυτά καθώς χρειάζονται άζωτο προκειμένου να αναπτυχθούν και είναι ικανά να προσλάβουν μόνο NH_3 από το έδαφος. Μετατρέποντας N_2 σε NH_3 , το *Rhizobium* βοηθά τα φυτά να μεγαλώσουν και τα κάνει πιο δυνατά!

Ακόμη περισσότερο ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι το *Rhizobium* μπορεί να επικοινωνήσει μόνο με μία συγκεκριμένη ομάδα φυτών, η οποία περιλαμβάνει τα φασόλια και τον αρακά. Πώς όμως πραγματοποιείται αυτός ο διάλογος; Αρχικά, το φυτό απελευθερώνει στη ριζόσφαιρα μόρια που ονομάζονται ισοφλαβόνες, οι οποίες μπορούν να προσελκύσουν *Rhizobium*. Τα βακτήρια «ακούν» το φυτό να «μιλάει» και πηγαίνουν προς τα εκείνο. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής τους, τα *Rhizobium* αρχίζουν να παράγουν άλλα μόρια, γνωστά ως παράγοντες nod, τα οποία μπορούν να πουν στο φυτό να δημιουργήσει έναν χώρο στις ρίζες του, το φυμάτιο, μέσα στο οποίο μπορούν να ζήσουν τα βακτήρια. Με αντάλλαγμα χώρο για να ζήσουν και τροφή (σάκχαρα) από το φυτό, τα *Rhizobium* δίνουν σε αυτό μεγάλα ποσά NH_3 (Γράφημα 2). Ως αποτέλεσμα, τα φυτά τα οποία επιτρέπουν στα *Rhizobium* να ζουν μέσα σε αυτά, αναπτύσσονται πολύ περισσότερο. Τόσο για το φυτό όσο και για το *Rhizobium*, η συμβίωση είναι πλεονεκτική, αφού και οι δύο οργανισμοί έχουν περισσότερη τροφή απ' ό,τι όταν ζουν μόνα τους, και έτσι, μπορούν να μεγαλώνουν καλύτερα [2].

Γράφημα 2

Η επίδραση των αλληλεπιδράσεων φυτό-*Rhizobium* στη δομή της ρίζας. **(Α)** Φυσιολογική δομή ρίζας και έναρξη της χημικής επικοινωνίας. Αρχικά, το φυτό απελευθερώνει ισοφλαβόνες (1, isoflavones), στη συνέχεια το *Rhizobium* αποκρίνεται απελευθερώνοντας nod-παράγοντες (2, nod-factors). **(Β)** Το *Rhizobium* κατευθύνεται προς τη ρίζα και κολλάει σε ένα ριζικό τριχίδιο (root hair), το οποίο με τη σειρά του μεταβάλλει το σχήμα του αγκαλιάζοντας το βακτήριο έτσι ώστε αυτό να εισέλθει στη ρίζα. **(C)** Σχηματισμός φυματίου (nodule), το οποίο αποτελεί το μέρος όπου πολλαπλασιάζονται τα βακτήρια και πραγματοποιείται η ανταλλαγή σακχάρων και αζώτου. Cell nucleus: πυρήνας κυττάρου, Root cell: κύτταρο ρίζας



Γράφημα 2

Τα μικρόβια μπορούν να προστατέψουν τα φυτά από παθογόνους οργανισμούς και παράσιτα

Βιοτικοί παράγοντες είναι τα ζωντανά μέρη ενός περιβάλλοντος, όπως τα φυτά, τα ζώα, και τα μικρόβια (Γράφημα 3). Βιοτική καταπόνηση είναι το «στρες» που βιώνει ένας οργανισμός, όπως ένα φυτό, ο οποίος έχει υποστεί ζημιά από βιοτικούς παράγοντες, όπως «κακά» μικρόβια, τα λεγόμενα παθογόνα μικρόβια, ή από «κακά» έντομα, που ονομάζουμε παράσιτα. «Καλά» μικρόβια μπορούν να βοηθήσουν τα φυτά να αμυνθούν απέναντι στα παθογόνα μικρόβια και τα παράσιτα με δύο τρόπους. Πρώτον, τα μικρόβια μπορούν να διώξουν μακριά τον παθογόνο οργανισμό/παράσιτο ή και να το σκοτώσουν. Για παράδειγμα, μερικά «καλά» μικρόβια παράγουν VOCs, οι οποίες μπορούν να διακόψουν την ανάπτυξη ενός παθογόνου ή να σταματήσουν την επίθεση ενός παράσιτου στο φυτό. Ο δεύτερος τρόπος με τον οποίο τα «καλά» μικρόβια μπορούν να βοηθήσουν τα φυτά στην καταπολέμηση των παθογόνων, είναι να «πουν» στο φυτό να προετοιμαστεί για μάχη, ενισχύοντας την άμυνά του. Πιθανώς, κάποιος δικός σας, τον χειμώνα μπορεί να σας λείει να τρώτε πορτοκάλια επειδή περιέχουν ένα σημαντικό μόριο, τη βιταμίνη C, η οποία ενισχύει την άμυνα του ανοσοποιητικού σας συστήματος και σας προστατεύει από το να αρρωστήσετε. Ο μηχανισμός είναι ο ίδιος και για τα μικρόβια και τα φυτά! Για

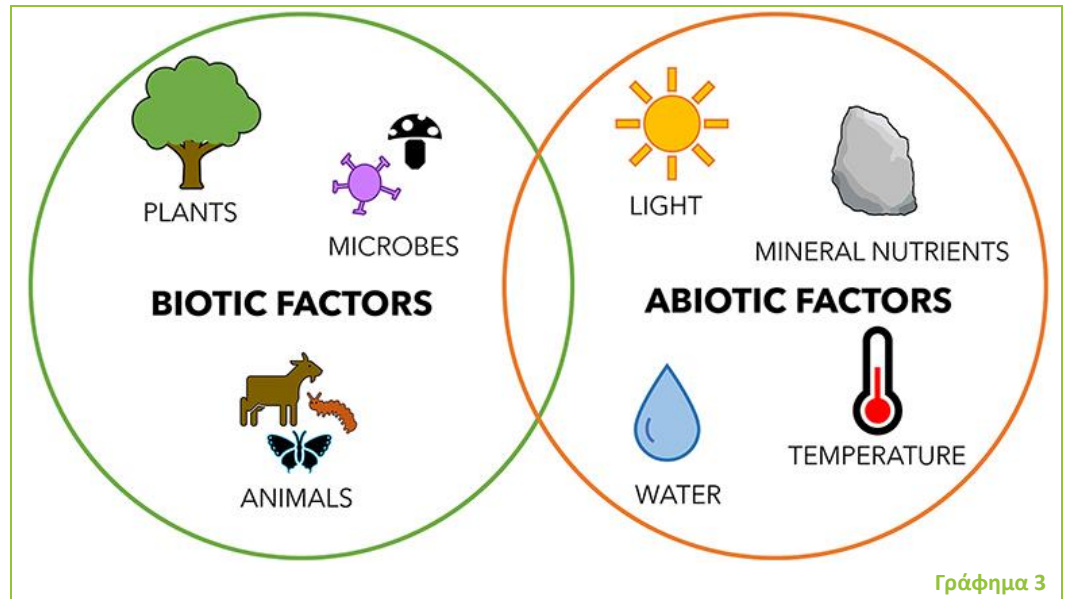
ΒΙΟΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι ζωντανοί παράγοντες ενός περιβάλλοντος, όπως τα φυτά, τα ζώα και τα μικρόβια.

παράδειγμα, τα μόρια τα οποία απελευθερώνονται από το βακτήριο *Pseudomonas fluorescens* επιτρέπουν στα φυτά να αντισταθούν καλύτερα στην επίθεση παθογόνων μικροβίων [3].

Γράφημα 3

Σημαντικοί βιοτικοί (biotic) και αβιοτικοί (abiotic) παράγοντες (factors) οι οποίοι αλληλεπιδρούν στο περιβάλλον. Επιδρούν στην ανάπτυξη των φυτών και μπορούν να επηρεάσουν τη χημική επικοινωνία μεταξύ φυτών και μικροβίων στο έδαφος. Plants: φυτά, Microbes: μικρόβια, Animals: ζώα, Light: φως, Mineral nutrients: θρεπτικά ανόργανα άλατα, Water: νερό, Temperature: θερμοκρασία



Γράφημα 3

Τα μικρόβια μπορούν να βοηθήσουν τα φυτά να επιβιώσουν σε δυσμενή περιβάλλοντα

Αβιοτικοί παράγοντες είναι τα μη-ζωντανά μέρη ενός περιβάλλοντος και περιλαμβάνουν το φως του ήλιου, τη θερμοκρασία και το νερό (Γράφημα 3). Η αβιοτική καταπόνηση είναι η αρνητική επίδραση τέτοιων παραγόντων σε έναν ζωντανό οργανισμό. Παραδείγματα αβιοτικής καταπόνησης που αποδυναμώνει τα φυτά, είναι η χαμηλή διαθεσιμότητα νερού και τα αυξημένα επίπεδα αλατότητας. «Καλά» μικρόβια μπορούν να βοηθήσουν τα φυτά να ζήσουν σε δυσμενή περιβάλλοντα με κακές συνθήκες διαβίωσης. Για παράδειγμα, το βακτήριο *Pseudomonas chlororaphis* O6 επιτρέπει σε κάποια είδη φυτών να επιβιώσουν σε συνθήκες όπου δεν υπάρχει αρκετό νερό [4]. Άλλα μικρόβια, όπως το βακτήριο *Bacillus subtilis*, βοηθούν τα φυτά να επιβιώσουν σε εδάφη με υψηλή συγκέντρωση αλατότητας, ελαττώνοντας την ποσότητα άλατος που εισέρχεται στις ρίζες τους [5].

ΓΙΑΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΝΑ ΚΑΤΑΝΟΗΣΟΥΜΕ ΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ?

Η χημική επικοινωνία μεταξύ μικροβίων και άλλων οργανισμών άρχισε να εξελίσσεται εκατομμύρια χρόνια πριν. Πριν από 450 εκατομμύρια χρόνια, τα φυτά μετακινήθηκαν από τη θάλασσα και ξεκίνησαν να ζουν στη στεριά. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι οι μύκητες στο έδαφος βοήθησαν τα φυτά να πραγματοποιήσουν αυτή τη μετακίνηση στην ξηρά. Οι μύκητες βοήθησαν τα φυτά να χρησιμοποιήσουν σημαντικά θρεπτικά συστατικά προκειμένου να επιβιώσουν [6]. Έτσι λοιπόν, για εκατομμύρια χρόνια, η χημική επικοινωνία μεταξύ εδαφόβιων οργανισμών έχει υπάρξει σημαντική για την ευημερία και την ανάπτυξη των φυτών. Στο άρθρο αυτό, εξηγήσαμε πώς οι αλληλεπιδράσεις φυτών-μικροβίων μπορούν να δώσουν περισσότερη τροφή στα φυτά ή να τα βοηθήσουν να καταπολεμήσουν παθογόνους μικροοργανισμούς ή να

επιβιώσουν σε δυσμενή περιβάλλοντα. Δυστυχώς, οι αλληλεπιδράσεις αυτές κινδυνεύουν! Η αυξημένη χρήση αντιβιοτικών, εντομοκτόνων, και λιπασμάτων στη γεωργία μπορεί να τροποποιήσει το έδαφος και, με τον τρόπο αυτό, να μεταβάλλει τις κοινότητες του εδάφους, σκοτώνοντας κάποιους εδαφόβιους οργανισμούς και βοηθώντας άλλους να αναπτυχθούν. Μεταβολές στη μικροβιακή κοινότητα μπορεί να έχουν δραματικές επιπτώσεις στα φυτά: για παράδειγμα, τα μικρόβια που τελικά αναπτύσσονται μπορεί να είναι παθογόνα.

Ο ανθρώπινος πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται, και από τη στιγμή που οι άνθρωποι χρειάζονται τροφή για να επιβιώσουν, πρέπει να βρεθούν νέες μέθοδοι αύξησης της ανάπτυξης των φυτών και της παραγωγής τροφής. [2]. Τα μικρόβια χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο ως φυσικοί βοηθοί στη βελτίωση της ανάπτυξης των φυτών και της παραγωγής τροφής. Η μελέτη της επικοινωνίας μικροβίων-φυτών είναι απαραίτητη προκειμένου να κατανοήσουμε ποια μικρόβια μπορούν να βοηθήσουν τα φυτά να αναπτυχθούν. Πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί ώστε να επιλέξουμε τα σωστά μικρόβια! Για παράδειγμα, μπορεί να σκεφτείτε ότι ο μύκητας *Fusarium culmorum* μπορεί να ήταν μία καλή ιδέα, αφού βοηθά συγκεκριμένα φυτά να αναπτυχθούν σε δυσμενή περιβάλλοντα, πλούσια σε άλατα. Ωστόσο, ο *Fusarium culmorum* είναι επιβλαβής για το καλαμπόκι – αποτελεί παθογόνο οργανισμό! Γι' αυτούς τους λόγους, οι ερευνητές θέλουν να καταλάβουν όσο το δυνατόν περισσότερο τη χημική επικοινωνία, να διευρύνουν τη γνώση σχετικά με τα οικοσυστήματα του εδάφους, να κατανοήσουν πώς αλληλεπιδρούν οι οργανισμοί σε αυτά τα οικοσυστήματα και να μας βοηθήσουν να χρησιμοποιήσουμε τις αλληλεπιδράσεις φυτών-μικροβίων ώστε να αυξήσουμε την ανάπτυξη των φυτών για να έχουμε περισσότερη τροφή, προστατεύοντας παράλληλα τα οικοσυστήματα του εδάφους.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] van Dam, N. M., Weinhold, A., and Garbeva, P. 2016. Calling in the dark: the role of volatiles for communication in the rhizosphere. *ISME J.* 12:1252–62. doi: 10.1007/978-3-319-33498-1_8
- [2] Tomer, S., Suyal, D. C., and Goel, R. 2016. “Biofertilizers: a timely approach for sustainable agriculture,” in *Plant-Microbe Interaction: An Approach to Sustainable Agriculture*, eds D. Choudhary, A. Varma, and N. Tuteja (Singapore: Springer). p. 375–95. doi: 10.1007/978-981-10-2854-0_17
- [3] Van Wees, S. C. M., Van der Ent, S., and Pieterse, C. M. J. 2008. Plant immune responses triggered by beneficial microbes. *Curr. Opin. Plant Biol.* 11:443–8. doi: 10.1016/j.pbi.2008.05.005
- [4] Garbeva, P., and Weiskopf, L. 2020. Airborne medicine: bacterial volatiles and their influence on plant health. *New Phytol.* 226:32–43. doi: 10.1111/nph.16282
- [5] Ortíz-Castro, R., Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., and López-Bucio, J. 2009. The role of microbial signals in plant growth and development. *Plant Signal. Behav.* 4:701–12. doi: 10.4161/psb.4.8.9047

[6] Field, K. J., Pressel, S., Duckett, J. G., Rimington, W. R., and Bidartondo, M. I. 2015. Symbiotic options for the conquest of land. *Trends Ecol. Evol.* 30:477–86. doi: 10.1016/j.tree.2015.05.007

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: Rémy Beugnon, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

ΑΝΑΦΟΡΑ: Ariotti C, Giuliano E, Garbeva P and Vigani G (2020) The Fascinating World of Belowground Communication. *Front. Young Minds* 8:547590. doi: 10.3389/frym.2020.547590

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

COPYRIGHT © 2020 Ariotti, Giuliano, Garbeva and Vigani. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

ΝΕΑΡΟΣ ΚΡΙΤΗΣ



SHASHI PREETHAM, ΗΛΙΚΙΑ: 13

Γεια σας, με λένε Shashi, είμαι 13 ετών και πηγαίνω στο σχολείο Penglais. Μου αρέσει να παίζω ποδόσφαιρο και μπάσκετ. Τα αγαπημένα μου μαθήματα είναι τα Μαθηματικά και η Πληροφορική. Βρίσκομαι στο 8^ο έτος των σπουδών μου. Έχω κερδίσει τέσσερις φορές το ρεκόρ Guinness για το παιχνίδι Rocket League και το όνομά μου βρίσκεται στο βιβλίο 2018 Guinness World Record Gamers Edition.

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ



CHRISTIANA ARIOTTI

Αποφοίτησα πρόσφατα από το Πανεπιστήμιο του Τορίνο με πτυχίο στην Περιβαλλοντική Βιολογία. Τώρα κάνω το διδακτορικό μου στο Πανεπιστήμιο του Τορίνο, όπου μελετώ την επικοινωνία μεταξύ φυτών και εδαφόβιων μικροβίων που αναπτύσσονται σε συνθήκες έλλειψης σιδήρου. Στον ελεύθερό μου χρόνο μου αρέσει να σκαφαλώνω βουνά (μένω κοντά στις Άλπεις!) και να τραγουδάω σε χορωδίες.



ELENA GIULIANO

Πρόσφατα αποφοίτησα από το Πανεπιστήμιο του Τορίνο με σπουδές στην Περιβαλλοντική Βιολογία. Θα ήθελα να ξεκινήσω διδακτορικό στον τομέα της Βοτανικής. Με ενδιαφέρουν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυτών και μικροβίων, καθώς και η προστασία των φυτών από τη βιοτική και αβιοτική καταπόνηση. Μου αρέσει να μοιράζομαι ιδέες και γνώση με ανθρώπους από

διαφορετικές κουλτούρες και, στον ελεύθερό μου χρόνο, λατρεύω να διαβάζω και να βγάζω φωτογραφίες.



PAOLINA GARBEVA

Είμαι η επικεφαλής της ομάδας στο Τμήμα Μικροβιακής Οικολογίας του Ινστιτούτου NIOO στο Wageningen της Ολλανδίας. Κύριο αντικείμενο της έρευνάς μου είναι η κατανόηση των βασικών μηχανισμών των μικροβιακών χημικών αλληλεπιδράσεων και επικοινωνίας.



GIANPIERO VIGANI

Είμαι ερευνητής στο Πανεπιστήμιο του Τορίνο (Ιταλία). Το βασικό ερευνητικό μου αντικείμενο είναι η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα φυτά προσλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά και νερό από το έδαφος, καθώς και του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιούνται οι αλληλεπιδράσεις φυτών-μικροβίων μέσα στο έδαφος. *gianpiero.vigani@unito.it

ΜΕΤΑΦΡΑΣΤΡΙΑ

ALKYONI SFENDOURAKI-BASAKAROU

Η Αλκυόνη συνεργάζεται με το εργαστήριο Vector Ecology and Applied Entomology του Joint Services Health Unit (JSHU, British Forces Cyprus), στο Ακρωτήρι της Κύπρου.