



**Μικροβιακές αλληλεπιδράσεις:
αγρο-οικολογικές προοπτικές για αειφορική ανάπτυξη
(βιοέλεγχος, αύξηση ανθεκτικότητας και ανάπτυξης)**

Ιωάννα Πυρρή

Περιβαλλοντική βιοτεχνολογία

Μικροβιακές αλληλεπιδράσεις

Δύο τύποι αλληλεπιδράσεων

Ενδοειδικές

Μεταξύ
οργανισμών του
ιδίου είδους

Διαειδικές

Μεταξύ οργανισμών
διαφορετικού είδους

Μικροβιακός
πληθυσμός

Μικροβιακός
πληθυσμός

Φυτά

Ζώα

Μικροβιακές αλληλεπιδράσεις





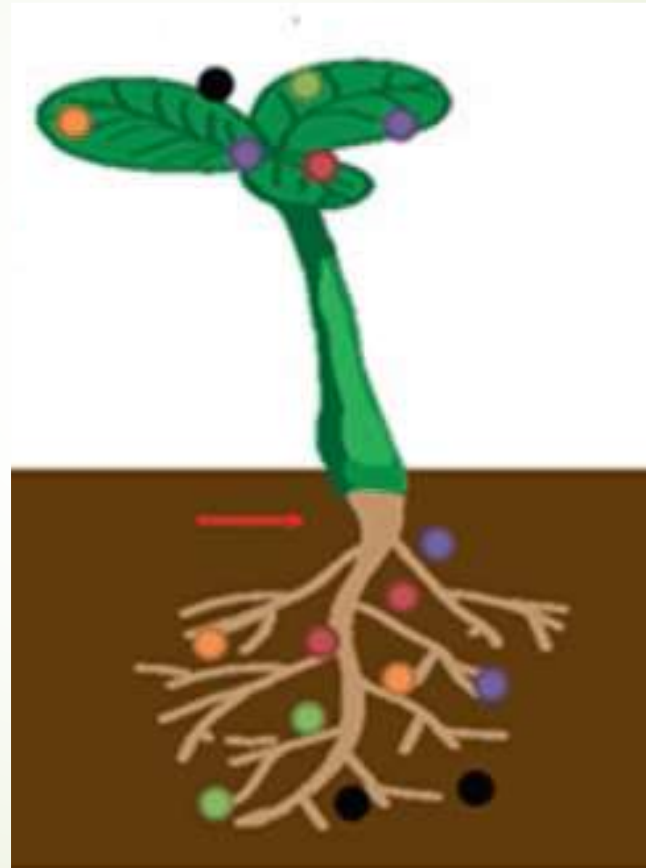
Μεταοργανισμός με διακριτό μικροβίωμα και στενές συμβιωτικές σχέσεις με ποικιλία μικροοργανισμών

Ένας φυτικός οργανισμός αλληλεπιδρά με μικροοργανισμούς που βρίσκονται

στην επιφάνεια

στους ιστούς

στο έδαφος



Φυλλόσφαιρα

Επιφυτικοί μικροοργανισμοί Phylloplane microorganisms



Οργανισμοί που αναπτύσσονται στο υπέργειο τμήμα (φύλλα, βλαστός) του φυτού

Η ποικιλότητα των επιφυτικών μικροοργανισμών καθορίζεται από το είδος του φυτού, τη γεωγραφική θέση και την διαθεσιμότητα θρεπτικών

Χαρακτηριστικό φάσμα μικροοργανισμών που δείχνει συνεξέλιξη με τα φυτά

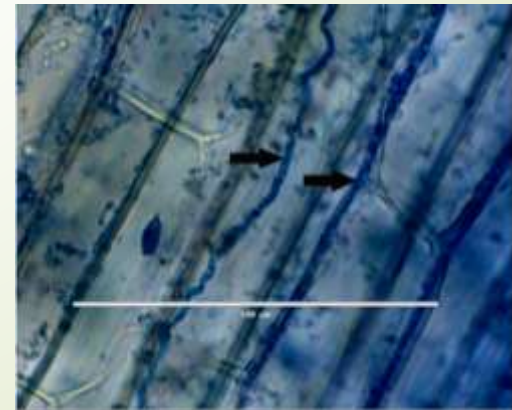
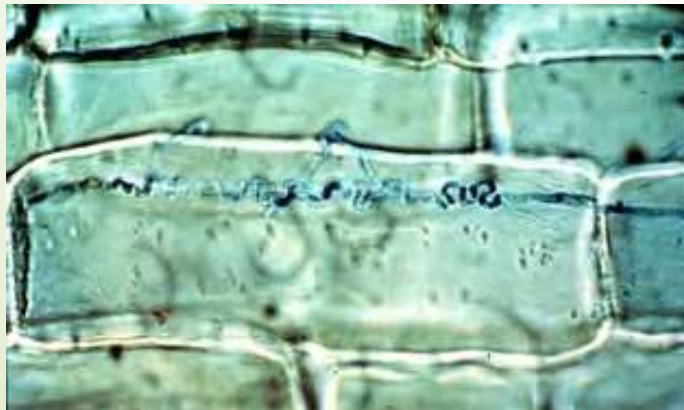


Ενδόσφαιρα

Ενδοφυτικοί μικροοργανισμοί endophytic microorganisms

Οργανισμοί που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του φυτού, είτε στο εσωτερικό των κυττάρων ή στο μεσοκυττάριο διάστημα

Υποχρεωτικά ή προαιρετικά ενδοφυτικοί

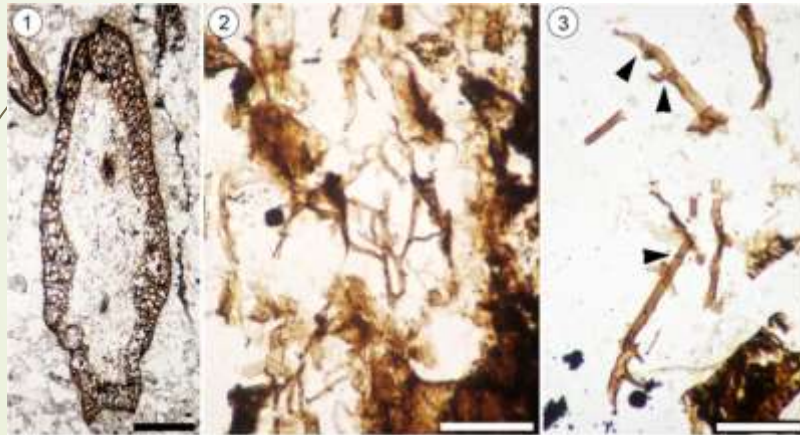


Ενδόσφαιρα

Ενδοφυτικοί μικροοργανισμοί

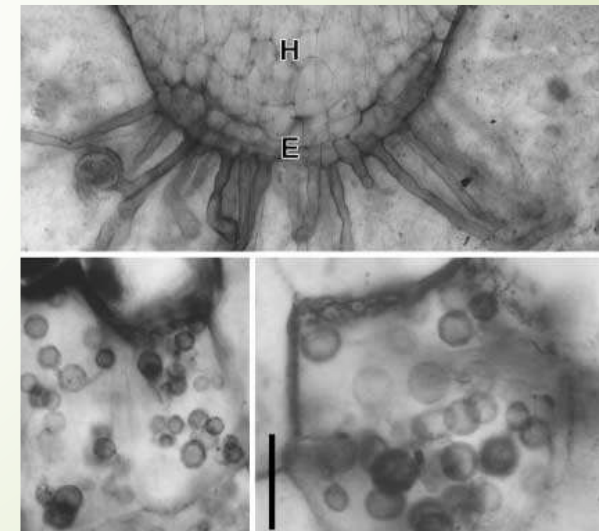
Παρουσία ενδοφυτικών οργανισμών σε απολιθώματα

Προέλευση και εξέλιξη της σχέσης φυτών-μικροοργανισμών από την εποχή της εμφάνισης των φυτών στη γη



Lalica & Tomescu 2022

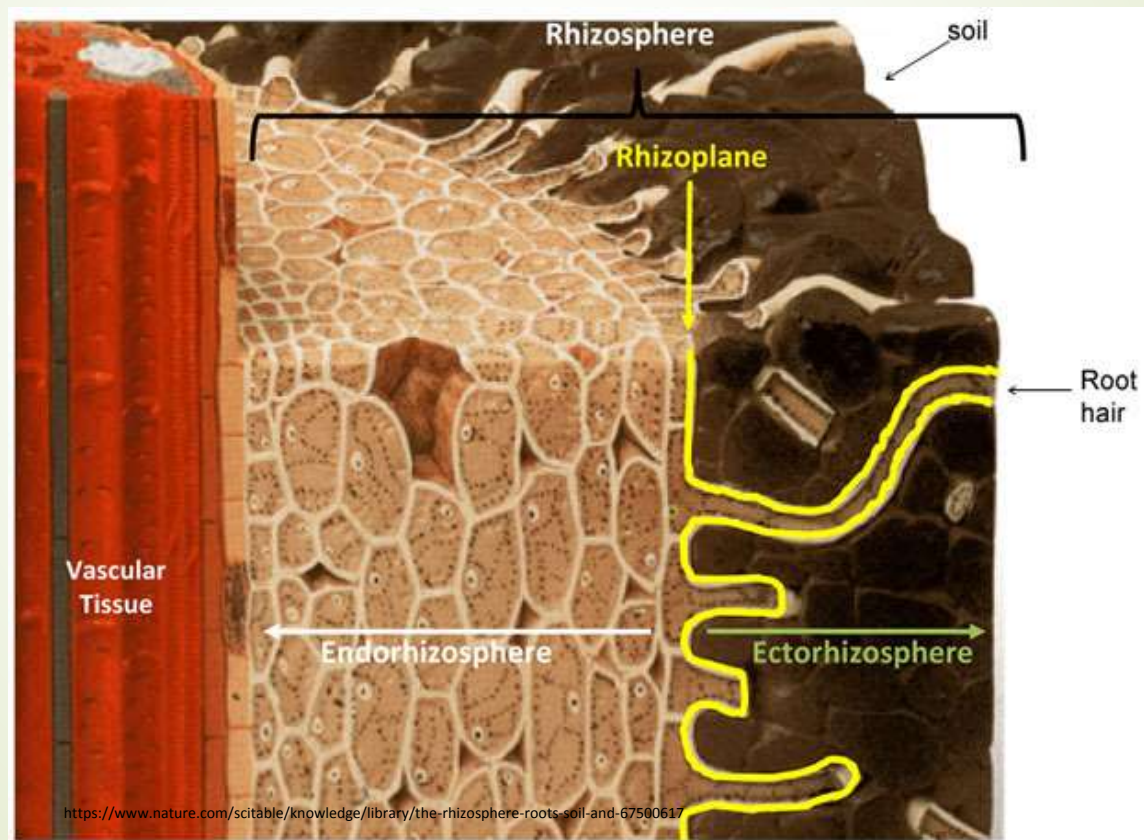
φυτά με έναν ή και περισσότερους τύπους ενδοφυτικών οργανισμών και πολλά είδη, περισσότερα από 100 σε ορισμένα φυτικά είδη



Krings et al. 2006

Ριζόσφαιρα

Μικροοργανισμοί του εδάφους οι οποίοι αλληλεπιδρούν με το ριζικό σύστημα των φυτών



Το φυτό επιλέγει συγκεκριμένη κοινότητα μικροοργανισμών στη ριζόσφαιρα

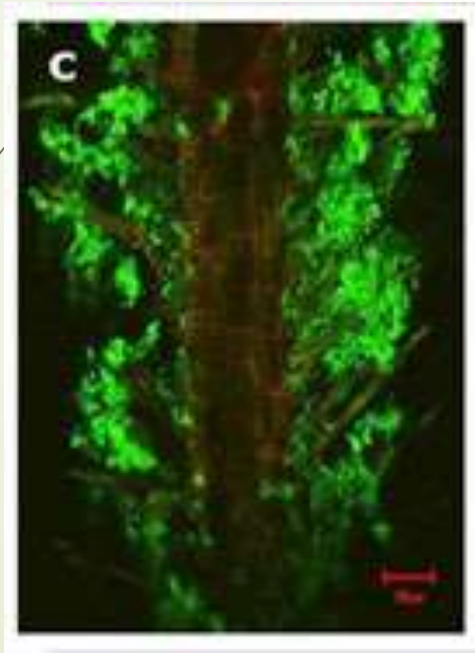
Ριζόσφαιρα (εκτοριζόσφαιρα)

- ❖ Μικροοργανισμοί που διαβιούν στην παρακείμενη στιβάδα εδάφους που περιβάλλει το ριζικό σύστημα των φυτών (ectorrhizosphere)



Ριζόσφαιρα (επιριζικοί μικροοργανισμοί)

- ❖ Μικροοργανισμοί που εγκαθίστανται στην επιφάνεια των ριζών (rhizoplane)



Σχηματισμός βιοτάππητα από το βακτήριο *Bacillus subtilis* στην επιφάνεια της ρίζας του φυτού *Arabidopsis thaliana*

Ριζόσφαιρα (ενδοριζόσφαιρα)

- ❖ Μικροοργανισμοί που εισέρχονται στους εσωτερικούς ιστούς των ριζών (endorhizosphere)



Βακτήρια (*Rhizobium leguminosarum*) που σχηματίζουν φυμάτια (rhizobia) στις ρίζες των Fabaceae (Leguminosae)

Ριζόσφαιρα (ενδοριζόσφαιρα)

- ❖ Μικροοργανισμοί που εισέρχονται στους εσωτερικούς ιστούς των ριζών

Μυκόρριζες

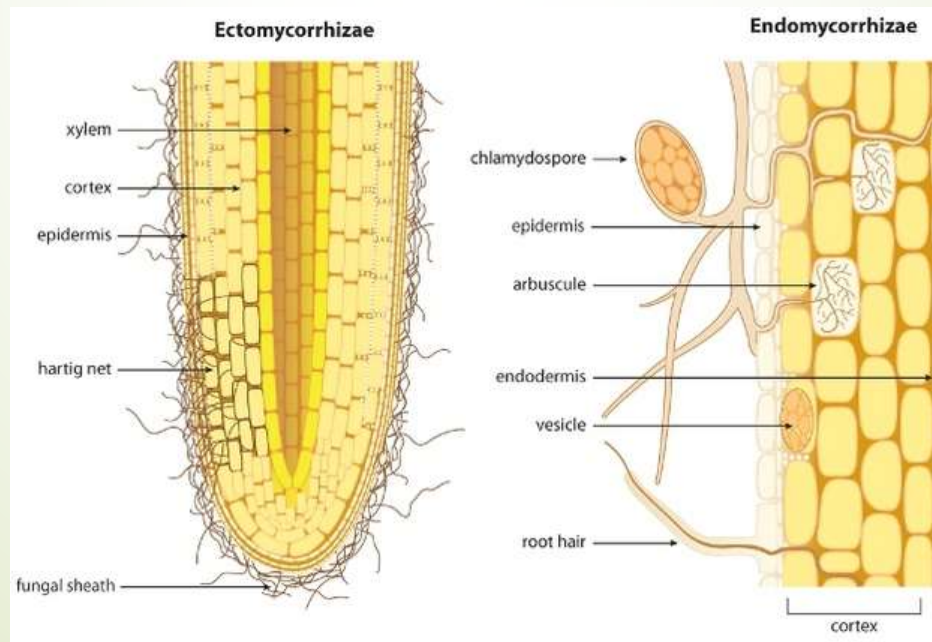


Ριζόσφαιρα (ενδοριζόσφαιρα)

- ❖ Μικροοργανισμοί που εισέρχονται στους εσωτερικούς ιστούς των ριζών

Εκτομυκκόριζες
Σχηματίζουν δίκτυο στο
μεσοκυττάριο διάστημα του
φλοιού

Ενδομυκκόριζες
Εισέρχονται στα κύτταρα του φλοιού
σχηματίζοντας δενδρόμορφους
σχηματισμούς (arbuscules)



Αύξηση πληθυσμού



Εντατικοποίηση της γεωργίας

Σε συνδυασμό με την
τεχνολογική ανάπτυξη



Σύγχρονη αγροοικονομία
(ανάπτυξη υβριδίων, ζιζανιοκτόνων,
παρασιτοκτόνων, λιπασμάτων)



Ευρεία οικολογική βλάβη στο περιβάλλον
Αρνητικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία



Οι προκλήσεις των επόμενων δεκαετιών

- Υπερπληθυσμός (αναμενόμενη μεγάλη αύξηση του πληθυσμού τις επόμενες δεκαετίες)
- Διπλασιασμός της παραγωγής με υποδιπλασιασμό της χρήσης πόρων έως το 2050
- Αρνητική επίδραση των αγροχημικών, νέες οδηγίες για νιτρικά, φώσφορο, αγροχημικά και εκπομπές CO²
- Κλιματική αλλαγή

γεωργική ανάπτυξη και προστασία του περιβάλλοντος → μείζονος σημασίας για όλες τις οικονομίες

Μικροοργανισμοί και φυτά

Η θετική επίδραση των μικροοργανισμών στους φυτικούς οργανισμούς μπορεί να συμβάλει

- ο στην αειφορική ανάπτυξη της αγροοικονομίας και
- ο στην προστασία του περιβάλλοντος

Αειφορικά γεωργικά συστήματα

Πράσινη γεωργία ή βιολογική γεωργία ή
ευφυής γεωργία

Αειφόρος γεωργία

Κάλυψη των βασικών αναγκών του ανθρώπου σε τρόφιμα και ίνες με ανανεώσιμες πρακτικές:

- Χρήση τοπικά διαθέσιμων πόρων
- Διατήρηση, ανανέωση και ανάπτυξη των φυσικών πόρων
- Στήριξη στην τοπική βιοποικιλότητα
- Χρήση φυσικών διαδικασιών
- Περιορισμός της χρήσης αγροχημικών και μη ανανεώσιμης ενέργειας



Χρησιμοποιεί τους τοπικά διαθέσιμους πόρους και τους ανανεώνει

Διατηρεί και βελτιώνει τις χημικές, φυσικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους = διατήρηση της γονιμότητας

Αειφόρος γεωργία

Προστατεύει τη βιοποικιλότητα

Εφαρμόζει κατάλληλη τεχνολογία

Διατηρεί την ενεργειακή ισορροπία



Τέσσερις άξονες θετικών επιδράσεων

**Πρόσληψη
θρεπτικών**

Ανάπτυξη

Ανθεκτικότητα

**Άμυνα
Προστασία**

Πρόσληψη θρεπτικών

Ενίσχυση της πρόσληψης θρεπτικών

Ανθεκτικότητα στο αβιοτικό στρες από περιορισμένα θρεπτικά



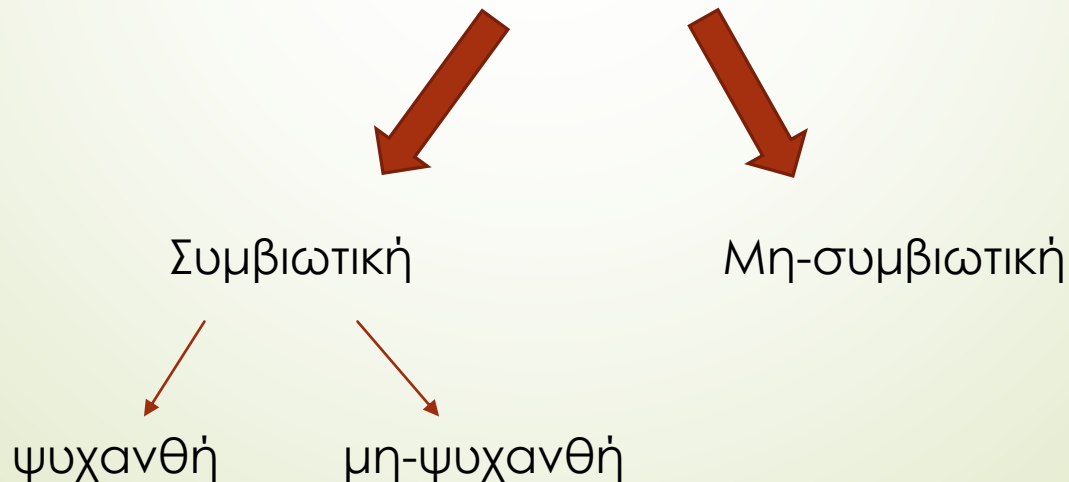
Plant Growth-Promoting Microorganisms (PGPM)
Βελτίωση της ανάπτυξης μέσω της αύξησης της
πρόσληψης θρεπτικών

Πρόσληψη Θρεπτικών

- ❖ Βιολογική στερέωση του αζώτου (biological nitrogen fixation BNF)

Μετατροπή N_2 σε NH_4^+ από προκαρυωτικούς οργανισμούς (βακτήρια και αρχαία)

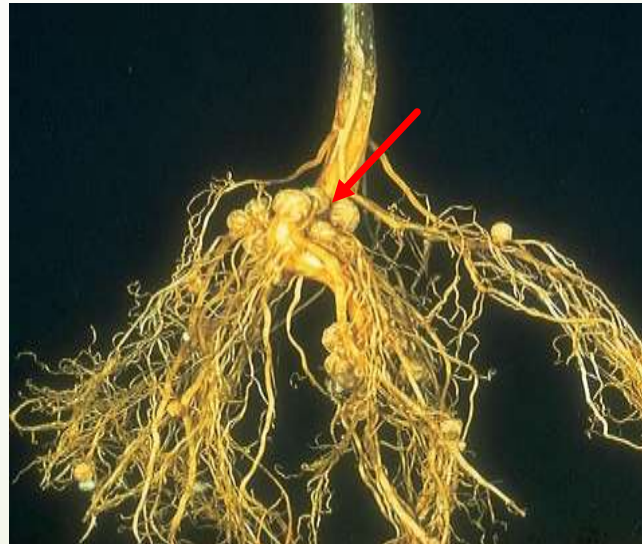
Κωδικοποιούν το εξαιρετικά συντηρημένο ενζυμικό σύμπλοκο της νιτρογενάσης



Πρόσληψη θρεπτικών

Συμβιωτική βιολογική στερέωση του αζώτου

- Fabaceae με είδη του βακτηρίου *Rhizobium*



Ρίζα σόγιας

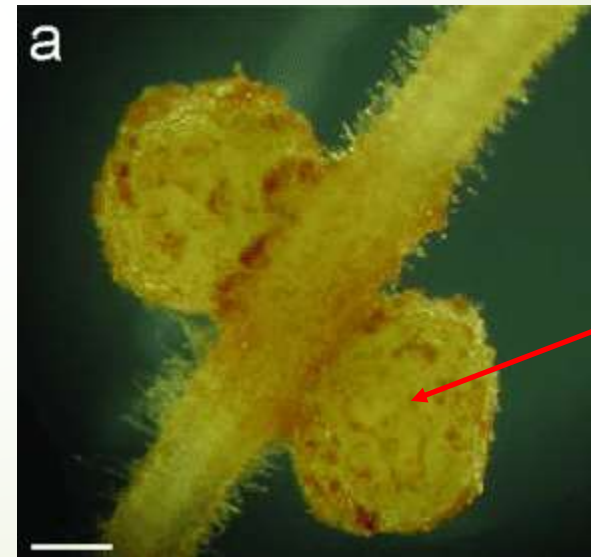
Πρόσληψη θρεπτικών

Συμβιωτική βιολογική στερέωση του αζώτου

Canabaceae με είδη του βακτηρίου *Rhizobium*



μη-ψυχανθή



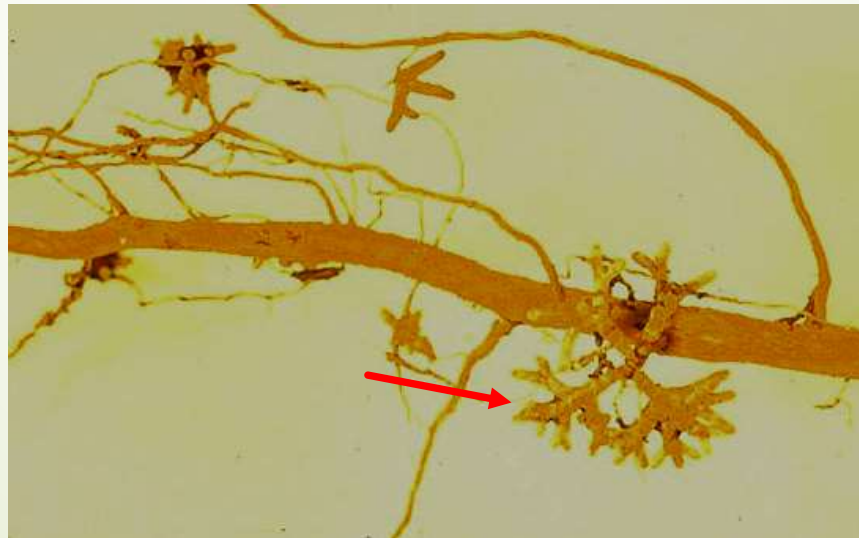
φυμάτια

Parasponia

Πρόσληψη θρεπτικών

Συμβιωτική βιολογική στερέωση του αζώτου

- Rosales και Cucurbitales με είδη του ακτινοβακτηρίου *Frankia*



Πρόσληψη θρεπτικών

Συμβιωτική βιολογική στερέωση του αζώτου

- Γυμνόσπερμα και αγγειόσπερμα με φωτοσυνθετικούς προκαρυωτικούς οργανισμούς (*Anabaena*, *Nostoc*)



<http://archive.bio.ed.ac.uk/jdeacon/microbes/nitrogen.htm>



<http://www.indefenseofplants.com/blog/2017/10/2/the-nitrogen-fixing-abilities-of-cycads>

Cycadaceae

μη-ψυχανθή

Συμβιωτική αζωτοδέσμευση

Τα συμβιωτικά αζωτοδεσμευτικά βακτήρια και ακτινοβακτήρια περιέχουν όλο το γενετικό υλικό για να δεσμεύουν άζωτο και στην ελεύθερη τους μορφή αλλά μπορούν να το δεσμεύσουν μόνο στα συμβιωτικά συστήματα

Στα συμβιωτικά συστήματα οι αζωτοδεσμευτικοί μικροοργανισμοί παρέχουν στο φυτό περίσσεια N υπό την μορφή NH_3 που την ενσωματώνουν σε οργανικές ενώσεις ενώ τα φυτά παρέχουν στους μικροοργανισμούς C για την επιβίωση τους

Συμβιωτική αζωτοδέσμευση

Μηχανισμός Αζωτοδέσμευσης

Γονίδια Nod: ελέγχουν την έκκριση ουσιών απαραίτητων για την αναγνώριση του φυτού-ξενιστή, την έναρξη προσβολής και την δημιουργία των φυματίων

Γονίδια Nif και Fix: Τα γονίδια nif εκφράζονται στο εσωτερικό των φυματίων και ελέγχουν την παραγωγή της νιτρογενάσης ενώ τα γονίδια fix ελέγχουν την μεταφορά ηλεκτρονίων στην νιτρογενάση

Η συμβίωση φυτών-μικροοργανισμών ξεκίνησε από ένα κοινό πρόγονο αλλά στην πορεία της εξέλιξης πολλοί φυτικοί οργανισμοί έχασαν τα γονίδια που συμμετείχαν στο ξεκίνημα της συνεργασίας φυτών-μικροοργανισμών. Πιθανόν αυτό να προέρχεται από τις μυκκώριζες που εμφανίστηκαν νωρίτερα.

Πρόσληψη θρεπτικών

Μη-συμβιωτική βιολογική στερέωση αζώτου

Ετερότρεφα ελεύθερα διαβιούμενα βακτήρια *Azotobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Klebsiella*

Σημαντικά σε καλλιέργειες με δημητριακά, βαμβάκι ή λαχανικά

Στερέωση του 1/10 του αζώτου σε σχέση με τα συμβιωτικά βακτήρια

Προσεταιριστική στερέωση αζώτου

Είδη του γένους *Azospirillum* σχηματίζουν στενές σχέσεις με τα *Roaceae* συμπεριλαμβανομένου των καλλιεργειών οικονομικής σημασίας (ρύζι, σιτάρι, καλαμπόκι, βρώμη και κριθάρι)

Το άζωτο στερεώνεται στη ριζόσφαιρα του φυτού

Εφαρμογές

Αντικατάσταση των χημικών αζωτούχων λιπασμάτων από μια φυσική διεργασία: αζωτοδέσμευση από μικροοργανισμούς

Βακτήρια χρησιμοποιούνται για τον εμπλουτισμό με N των εδαφών που καλλιεργούνται

Σε αρκετές χώρες (ΗΠΑ, Αργεντινή, Αυστραλία, Αίγυπτος, Ισραήλ, Ν. Αφρική και Ν. Ζηλανδία) δεν εφαρμόζεται πλέον αζωτούχος λίπανση διότι τα φυτά εμβολιάζονται με βακτήρια του γένους *Rhizobium*

Πρόσληψη θρεπτικών

❖ Διαλυτοποίηση και κινητοποίηση φωσφόρου

Ο P βρίσκεται σε αφθονία στο έδαφος αλλά κυρίως σε αδιάλυτες ανόργανες (οξείδια, υδροξείδια Fe, Al) ή οργανικές μορφές (φυτικό οξύ)

Τα φυτά μπορούν να προσλάβουν P από το έδαφος μόνο σε δύο μορφές: H_2PO_4^- και HPO_4^{2-}

Διαλυτοποίηση ανόργανου και οργανικού φωσφόρου από βακτήρια (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Rhizobium*) και μύκητες (*Aspergillus*, *Penicillium*) (P-solubilizers)

Κινητοποίηση του φωσφόρου και μεταφορά από μακρινές αποστάσεις από μύκητες που σχηματίζουν μυκόρριζες (*Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Scutellospora*) (P-mobilizers)

Πρόσληψη θρεπτικών

Διαλυτοποίηση ανόργανου φωσφόρου

Τα βακτήρια μετατρέπουν μη διαθέσιμες μορφές ανόργανου P σε διαθέσιμες μορφές παράγοντας οξέα (γλυκονικό, 2-κετογλυκονικό οξύ, οξαλικό, μαλονικό και ηλεκτρικό οξύ) που προκαλούν οξίνιση του βακτηριακού μικρο-περιβάλλοντος και διαλυτοποίηση των οξειδίων Fe, Al που περιέχουν P

Πρόσληψη Θρεπτικών

Διαλυτοποίηση οργανικού φωσφόρου

Τα βακτήρια μετατρέπουν οργανικές μορφές P (νουκλεϊκά οξέα, φωσφολιπίδια, σάκχαρα, φυτικό οξύ) σε διαθέσιμες μορφές με την βοήθεια φωσφατασών (υδρολυτικά ένζυμα που διασπούν φωσφοεστερικούς δεσμούς)

Όξινες φωσφοεστεράσες

Αλκαλικές φωσφοεστεράσες

Πρόσληψη θρεπτικών

❖ Παραγωγή σιδηροφόρων (siderophores)

Χημικές ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους που δεσμεύουν τα αδιάλυτα ιόντα σιδήρου (Fe^{3+}) σε συνθήκες έλλειψής του

Η παραγωγή σιδηροφόρων συμβάλλει και στην προστασία των φυτών από παθογόνα με δύο τρόπους

- 1) Μειώνει τη διαθεσιμότητα σιδήρου για τους παθογόνους ανταγωνιστές
- 2) Αντιμικροβιακή δράση των σιδηροφόρων

Ανάπτυξη

Προαγωγή της ανάπτυξης των φυτών μέσω της...

Παραγωγή φυτοορμονών (Plant Growth Phytohormones) που ενεργοποιούν την κυτταρική διαίρεση, επιμήκυνση και αύξηση συγκεκριμένων φυτικών ιστών

Αυξίνες (*Azospirillum*, *Rhizopus*), Γκιμπερελίνες (*Azospirillum*, *Gibberella*), Κυτοκινίνες (*Bacillus*), Αιθυλένιο, Αμπσχισικό οξύ (*Magnaporthe*)

Ενδοφυτικό *Epicoccum nigrum* στο *Saccharum officinarum* (ζαχαροκάλαμο) προωθεί την αύξηση της βιομάζας των ριζών

Ανθεκτικότητα στο αβιοτικό στρες

Παράγοντες αβιοτικού στρες: ξηρασία, ακραίες θερμοκρασίες, υπερβολικές βροχοπτώσεις, αλατότητα, χημική τοξικότητα

Περιοριστικός παράγοντας για την εξάπλωση των φυτικών οργανισμών αλλά και για την παραγωγικότητα

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιδεινώσει το αβιοτικό στρες

Ανθεκτικότητα των φυτών στην ξηρασία και στις ακραίες θερμοκρασίες και διατήρηση της παραγωγικότητας για την επίτευξη αειφορικής γεωργίας

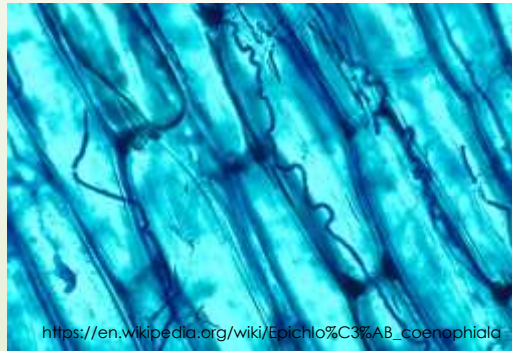
Χαμηλή διαθεσιμότητα νερού

Τροποποιήσεις βιολογικές, φυσιολογικές και βιοχημικές με τη βοήθεια μικροοργανισμών

A) Βελτιωμένη ανάπτυξη και αύξηση

B) Ενισχυμένη οσμωτική ισορροπία

Γ) Αποτελεσματικότερη φωτοσυνθετική διαδικασία



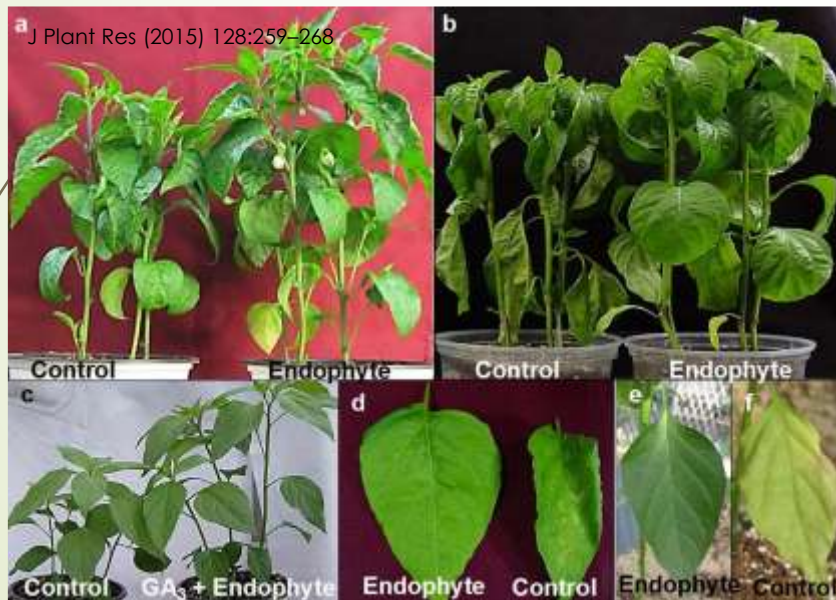
Epichloë coenophiala



Festuca

Χαμηλή διαθεσιμότητα νερού

A) Βελτιωμένη ανάπτυξη και αύξηση με εμβολιασμό των φυτών με το μύκητα *Penicillium resedanum*



Capsicum annuum

Χαμηλή διαθεσιμότητα νερού

B) Ενισχυμένη οσμωτική ισορροπία

Παραγωγή χημικών ενώσεων (osmolytes) από τους ενδοφυτικούς οργανισμούς: ιόντα, αμινοξέα και σάκχαρα για την επίτευξη αρνητικού οσμωτικού δυναμικού



Διατήρηση ευνοϊκής διαβάθμισης για τη ροή νερού από το έδαφος στις ρίζες

και

Μικρότερη κατανάλωση νερού

Χαμηλή διαθεσιμότητα νερού

Γ) Αποτελεσματικότερη φωτοσυνθετική διαδικασία




Βελτίωση της φωτοσυνθετική ικανότητα με αύξηση της περιεκτικότητας του φυτού σε χλωροφύλλη ή/και αύξηση της επιφάνειας των φύλλων

Penicillium indica στο *Arabidopsis* → διπλάσια περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη

Ακραιές θερμοκρασίες

Εμβολιασμός σπερμάτων ντομάτας με **ψυχροανθεκτικά** βακτήρια *Arthrobacter*, *Flavobacterium*, *Flavimonas* έχει ως αποτέλεσμα βελτιωμένη ανάπτυξη του φυτού και της ρίζας και μείωση των βλαβών στις μεμβράνες των φύλλων

Εμβολιασμός με το **θερμοανθεκτικό** *Pseudomonas putida* συνεισφέρει στην αντιμετώπιση της υψηλής θερμοκρασίας στις καλλιέργειες σιταριού



Οι μικροοργανισμοί που επιδρούν θετικά στη θρέψη, ανάπτυξη και ανθεκτικότητα των φυτικών οργανισμών και χρησιμοποιούνται στα βιολογικά γεωργικά συστήματα αναφέρονται σήμερα ως

Βιολογικό λίπασμα (biofertilizer)

Περιέχει ζωντανούς μικροοργανισμούς, οι οποίοι όταν εφαρμοστούν σε σπόρους, φυτικές επιφάνειες ή στο έδαφος μπορούν να αποικίσουν το εσωτερικό του φυτού ή τη ριζόσφαιρα και να βοηθήσουν την ανάπτυξη του φυτού αυξάνοντας την παροχή ή την διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων για το φυτό

μείγμα φυσικών σαπροτροφικών
βακτηρίων σε πορώδες ορυκτό
(ζεόλιθος)



**ΚΟΚΚΩΔΕΣ
ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟ
ΒΙΟΛΙΠΑΣΜΑ**



Άμυνα-Προστασία

Παράγοντες βιοτικού στρες των φυτών: **βακτήρια, μύκητες, έντομα**, πρωτόζωα, νηματώδεις, ιοί, άλλα φυτά

Χρήση φυτοφαρμάκων για την αντιμετώπιση των φυτοπαθογόνων οργανισμών και των ζιζανίων

Μείωση ή και αντικατάσταση της χρήσης χημικών ουσιών

Βιολογικός έλεγχος ή βιοέλεγχος

Χρήση ζωντανών οργανισμών στην αντιμετώπιση προβλημάτων και ασθενειών που προκαλούνται από οργανισμούς στα γεωργικά συστήματα

Άμυνα Προστασία

```
graph TD; A[Άμυνα Προστασία] --> B[Άμεση]; A --> C[Έμμεση]; B --> D[Παραγωγή αντιμικροβιακών]; C --> E[Επαγωγή της άμυνας των φυτών]; C --> F[Ανταγωνισμός];
```

Άμεση

Παραγωγή
αντιμικροβιακών

Έμμεση

Επαγωγή της
άμυνας των φυτών

Ανταγωνισμός

Βιολογικός έλεγχος

Άμεση

Οι ενδοφυτικοί μικροοργανισμοί στο φυτό *Capsicum annuum* (pepper) παράγουν αντιμυκητιακά και παρέχουν προστασία από: *Phytophthora capsici*, *Colletotrichum acutatum*, *Fusarium oxysporum*

Παραγωγή αντιμικροβιακών ουσιών από βακτήρια και μύκητες που διαβιούν στο έδαφος
Παραγωγή zwittermicin A από το *Bacillus cereus* κατά της *Phytophthora* που προκαλεί σηψιρριζία σε καλλιέργειες άλφα-άλφα (*Medicago sativa*)

Βιολογικός έλεγχος

Άμεση

Οι ενδοφυτικοί *Pichia inositonora* και *P. acaciae* παράγουν αντιμυκητιακές, κυτοτοξικές πρωτεΐνες που αναστέλλουν την ανάπτυξη παθογόνων μυκήτων στις καλλιέργειες

Η ενδοφυτική *Beauveria bassiana* παρέχει προστασία από τα έντομα στις καλλιέργειες αραβόσιτου (*Zea mays*) και σιταριού (*Triticum aestivum*)



Βιολογικός έλεγχος

Έμμεση

❖ Ανταγωνισμός για απαραίτητα θρεπτικά

Αντιμετώπιση του παθογόνου *Heterobasidion annosum* στα δάση κωνοφόρων με την εισαγωγή του ανταγωνιστικού αλλά μη-παθογόνου *Phlebiopsis gigantea*



Βιολογικός έλεγχος

Έμμεση

- ❖ Καταπολέμηση νηματωδών σκωλήκων με νηματωδοκτόνους μύκητες (nematophagus fungi) *Dactyella* , *Arthrobotrys*



Arthrobotrys

Βιολογικός έλεγχος

Έμμεση

- ❖ Αντιμετώπιση εντόμων με τη χρήση εντομοπαθογόνων μυκήτων (*Beauveria*, *Cordyceps*, *Metarhizium*) βιοεντομοκτόνα



Beauveria



Cordyceps

Βιολογικός έλεγχος

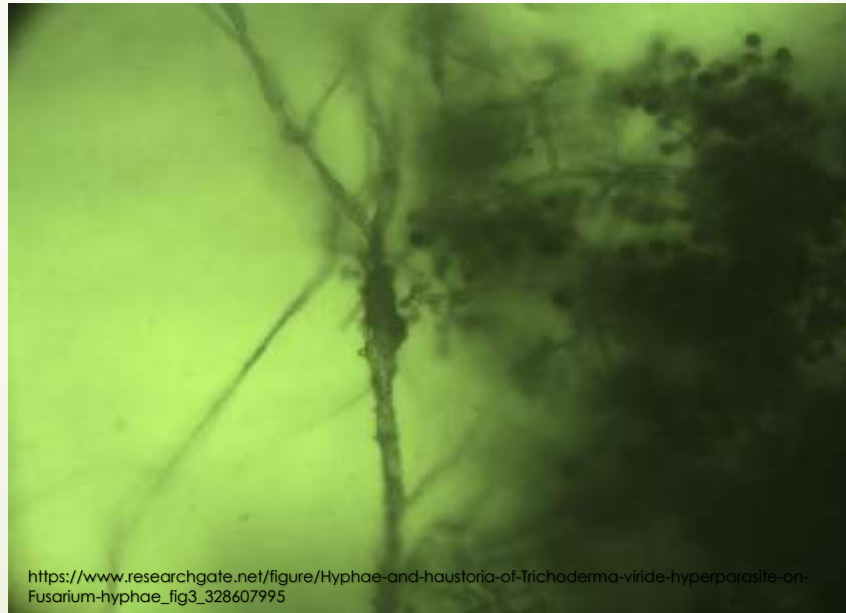
Συνδυασμένη εφαρμογή *Beauveria bassiana* και *Metarhizium flavoviride* για την αντιμετώπιση των θερμοκρασιακών περιορισμών κατά τη χρήση εντομοπαθογόνων μυκήτων για τον έλεγχο του πληθυσμού των ακρίδων σε καλλιέργειες



Βιολογικός έλεγχος

Έμμεση

- ❖ Αντιμετώπιση παθογόνων μυκήτων με τη χρήση υπερπαρασίτων (*Trichoderma*, *Gliocladium*) βιομυκητοκτόνα



Υφές του υπερπαρασίτου *Trichoderma viride*
στο *Fusarium*

Βιολογικός έλεγχος

Έμμεση ❖ Αντιμετώπιση ζιζανίων με τη χρήση φυτοπαθογόνων μυκήτων (*Puccinia*) βιοζιζανιοκτόνα



Silybum marianum



Puccinia

Βιολογικός έλεγχος

Έμμεση

- ❖ Αντιμετώπιση παθογόνων μικροοργανισμών με την παραγωγή τοξικών μεταβολιτών από άλλους μικροοργανισμούς

παραγωγή της τοξίνης pyrrolnitrin από το βακτήριο *Pseudomonas* για την καταπολέμηση των φυτοπαθογόνων μυκήτων *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea*, *Verticillium dahliae* και *Sclerotinia sclerotiorum*

Βιολογικός έλεγχος

Στα θετικά της χρήσης είναι ότι

- δεν είναι τοξικά και παθογόνα για τον άνθρωπο
- στοχεύουν συγκεκριμένες ομάδες παθογόνων οργανισμών και δεν επηρεάζουν τους ωφέλιμους οργανισμούς
- δεν αφήνουν τοξικά κατάλοιπα στο περιβάλλον

Στα αρνητικά είναι

- επίδραση στο οικοσύστημα ?
- ειδικές συνθήκες συντήρησης
- το κόστος



Ενεργά συστατικά
Trichoderma harzianum strain T-22,
Trichoderma virens strain G-41

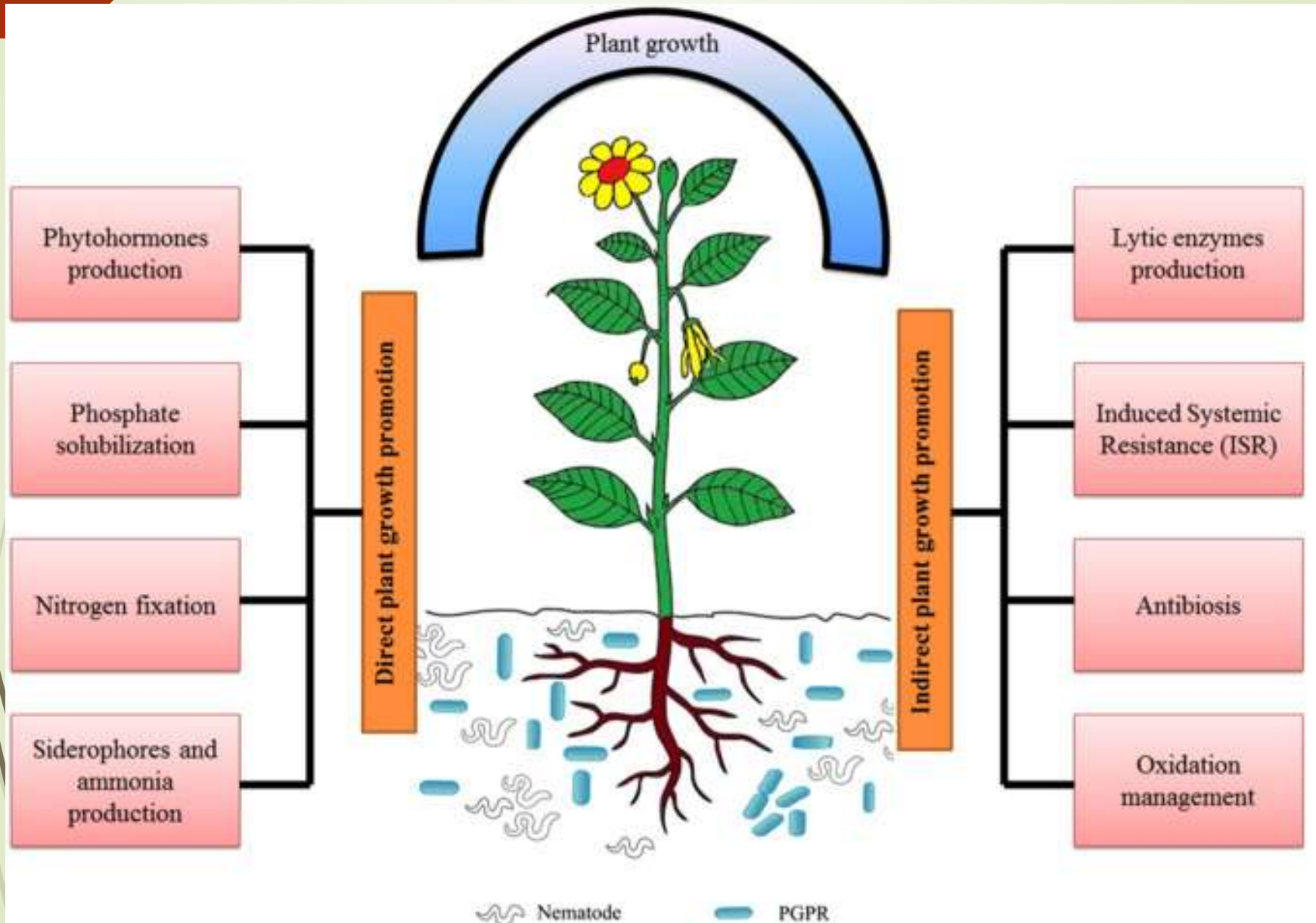
Έλεγχος ειδών *Phytophthora*, *Pythium*,
Fusarium, *Rhizoctonia*, *Cylindrocladium*,
και *Thielaviopsis*

Gliocladium virens strain GL-21

Ανταγωνιστικό για φυτοπαθογόνους
μύκητες όπως είδη των γενών *Pythium*
και *Rhizoctonia*



Χρήση μικροοργανισμών με πολλαπλά οφέλη



Ο πολυφασικός ρόλος της *Trichoderma*

Αύξηση και ανάπτυξη

Αποικοδόμηση νεκρής οργανικής ύλης και διαλυτοποίηση θρεπτικών
Επαγωγή της παραγωγής ορμονών ανάπτυξης

Αύξηση ανθεκτικότητας

Επαγωγή της απελευθέρωσης ορμονών αντιμετώπισης στρες
Τροποποίηση της ριζόσφαιρας

Βιοέλεγχος παθογόνων

Μυκητοπαράσιτο
Παραγωγή αντιμικροβιακών ουσιών και δευτερογενών μεταβολιτών

Απορρύπανση ριζόσφαιρας

Αποικοδόμηση ξενοβιοτικών ουσιών
Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο μυκήλιο

Ενδοφυτικοί μύκητες

Ενδοφυτικοί μύκητες ευρέου φάσματος
Δύο μηχανισμοί αλληλεπίδρασης με το φυτό ξενιστή

άμεσα



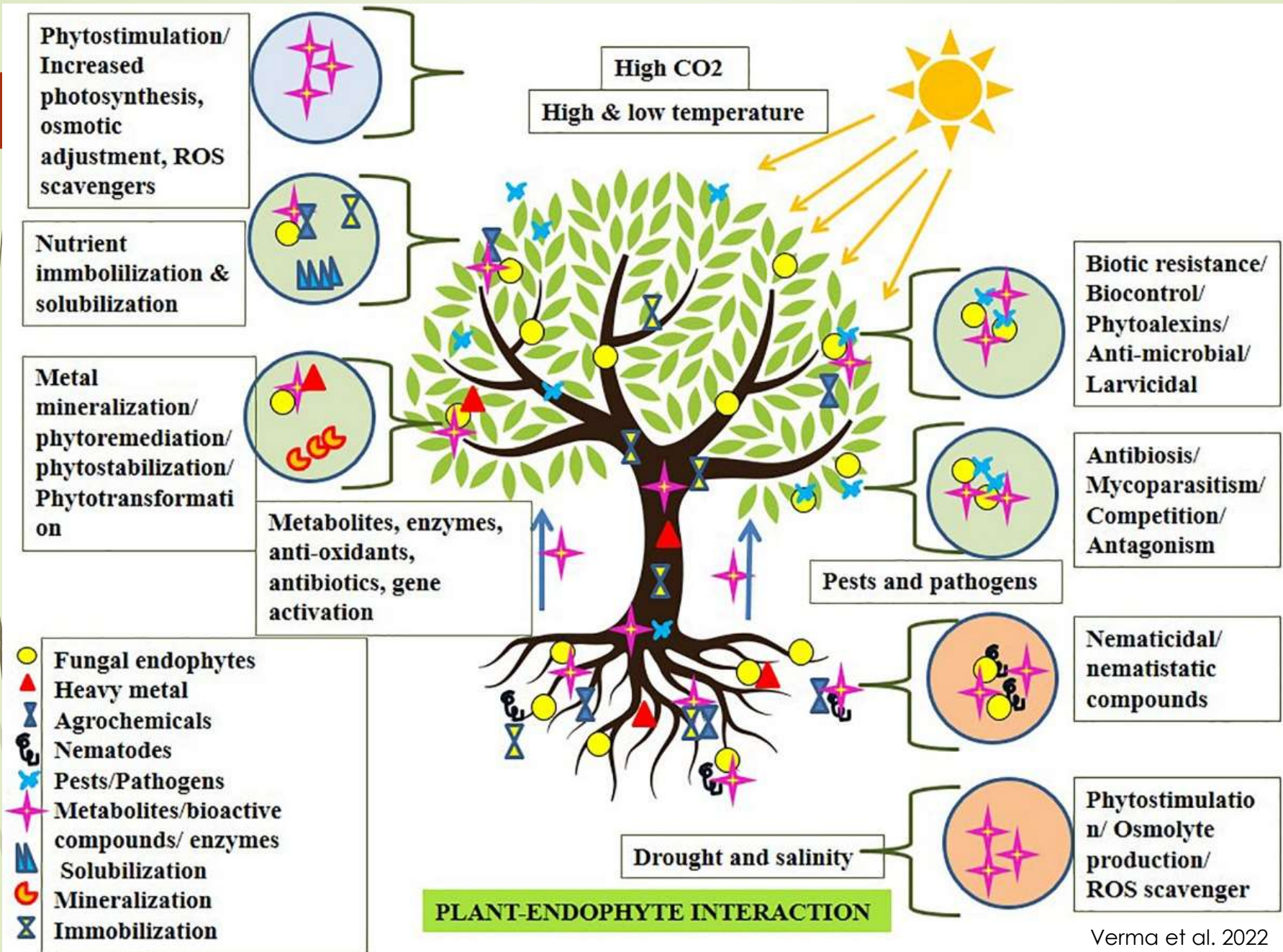
παραγωγή φυτοορμονών,
στερέωση αζώτου,
διαλυτοποίηση φωσφόρου,
παραγωγή σιδηροφόρων,
παραγωγή μεταβολιτών με
αντιμικροβιακή δράση

έμμεσα



Ανθεκτικότητα στο αβιοτικό και
βιοτικό στρες με τροποποίηση της
διαδικασία τους μεταβολισμού,
βιοέλεγχος, βιοαποκατάσταση

Crop	Botanical name	Naturally occurring fungal endophytes
Wheat	<i>Triticum aestivum</i>	<i>Alternaria</i> , <i>Acremonium</i> , <i>Aureobasidium</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Sarocladium</i> , <i>Anthracocestis</i> , <i>Cryptococcus</i> , <i>Sporobolomyces</i> , <i>Vishniacozyma</i> Rojas et al., 2020
Apple	<i>Malus domestica</i>	<i>Chaetomium</i> , <i>Epicoccum</i> , <i>Biscogniauxia</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Diaporthe</i> , <i>Phlyctema</i> Liu et al., 2020
Orchid	<i>Vanda cristata</i>	<i>Fusarium</i> sp. Srivastava et al., 2018; Chand et al., 2020
Crucifers	<i>Brassica oleracea</i> , <i>B. rapa</i> and <i>Raphanus sativus</i>	<i>Colletotrichum</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Trichoderma</i> (major) <i>Aspergillus bombycis</i> , <i>Aspergillus nomius</i> , <i>Aspergillus penicillioides</i> , <i>Aspergillus tamarii</i> , <i>Aspergillus westerdijkiae</i> , <i>Cladosporium</i> <i>subuliforme</i> , <i>Cladosporium xanthochromaticum</i> , <i>Trichoderma</i> <i>hamatum</i> , <i>T. harzianum</i> , and <i>Zopfiella</i> (stems) <i>Alternaria alternata</i> , <i>Alternaria burnsii</i> , <i>Phialemoniopsis pluriloculosa</i> , <i>Aspergillus flavipes</i> , <i>Colletotrichum siamense</i> , <i>F. fujikuroi</i> , <i>Gilmaniella subornata</i> , <i>Macrophomina</i> sp., <i>Mycotribulus mirabilis</i> and <i>Penicillium</i> <i>citrinoviride</i> (leaves) Chen et al., 2020
Onion	<i>Allium cepa</i>	<i>Clonostachys rosea</i> , <i>Fusarium</i> sp., <i>Hypocrea lixii</i> , <i>Trichoderma</i> <i>asperellum</i> , <i>T. atroviride</i> , <i>T. harzianum</i> Muvea et al., 2014; Caruso et al., 2020
Citrus	<i>Citrus reticulata</i>	<i>Alternaria alternate</i> , <i>Alternaria brassicicola</i> , <i>Alternaria carthami</i> , <i>Ascochyta medicaginicola</i> , <i>Aspergillus pallidofulvus</i> , <i>Aureobasidium</i> <i>melanogenum</i> , <i>Cladosporium cladosporioides</i> , <i>Colletotrichum</i> , <i>Diaporthe</i> , <i>Didymella</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Meyerozyma</i> , <i>Myrothecium</i> , <i>Neocosmospora</i> , <i>Neosetophoma</i> , <i>Phaeoacremonium</i> , <i>Pseudozyma</i> , <i>Scedosporium</i> , <i>Talaromyces</i> Sadeghi et al., 2019
Tomato	<i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Alternaria</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Chaetomium</i> , <i>Curvularia</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Hypoxylon</i> , <i>Leptosphaerulina</i> , <i>Meyerozyma</i> , <i>Nigrospora</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Periconia</i> , <i>Stemphyllium</i> , <i>Trichoderma</i> Bogner et al., 2016; Xia et al., 2019
Chrysanthemum	<i>Dendrobium</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp., <i>Colletotrichum</i> sp. Shah et al., 2018
Banana	<i>Musa paradisiaca</i>	<i>Colletotrichum</i> , <i>Cochliobolus</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Lasiodiplodia</i> , <i>Nigrospora</i> , <i>Pestalotiopsis</i> , <i>Phoma</i> , <i>Penicillium</i> Zakaria and Aziz, 2018
Maize	<i>Zea mays</i>	<i>Acremonium zeae</i> , <i>Cladosporium oxysporum</i> , <i>Colletotrichum</i> <i>boninense</i> , <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Coprinopsis cinerea</i> , <i>Curvularia lunata</i> , <i>Epicoccum sorghinum</i> , <i>Fusarium fujikuroi</i> , <i>Gibberella moniliformis</i> , <i>Nemania</i> sp., <i>Penicillium</i> sp., <i>Rigidoporus</i> <i>vinctus</i> , <i>Sarocladium zeae</i> , <i>Scopulariopsis gracilis</i> . Renuka and Ramanujam, 2016
Onion	<i>Allium longicuspis</i>	<i>Alternaria</i> sp., <i>A. terreus</i> , <i>Aspergillus ochraceus</i> , <i>Aspergillus</i> <i>versicolor</i> , <i>Aspergillus spectabilis</i> , <i>A. flavus</i> , <i>Fusarium sambucinum</i> Abdulmyanova et al., 2016



Χρήση μικροοργανισμών στα γεωργικά συστήματα και στα οικοσυστήματα

Τα μικρόβια ακολουθούν μια πολύπλοκη διαδικασία για την εποίκιση του φυτού-ξενιστή

Η διαδικασία αυτή καθορίζεται από:

- 1) Την παραγωγή μεταβολιτών (σάκχαρα, αμινοξέα, φλαβονοειδή, αλκαλοειδή κά)
- 2) Την παραγωγή ορμονών
- 3) Το ρυθμό παραγωγής των ουσιών αυτών



Χρήση μικροοργανισμών στα γεωργικά συστήματα και στα οικοσυστήματα

Υψηλός φόρτος εργασίας (διατήρηση, πολλαπλασιασμός, μεταφορά)

Βελτίωση των μεθόδων εγκατάστασης και διατήρηση ιδανικών συνθηκών για την επιτυχημένη εγκατάσταση

Στόχοι για την αντιμετώπιση

Ενσωμάτωση γονιδίων σε άλλους μικροοργανισμούς

Ενσωμάτωση των γονιδίων στα καλλιεργούμενα φυτά

Ανάγκη για ευεργετικά μικρόβια

