frontiers FOR YOUNG MINDS

Translated by Raghad S. Mouhamad.

الفطريات الصغيرة في التربة كالطب للطبيعة

Lena Neuenkamp [1]* and Nadia I. Maaroufi [1,2]

[1] Institute of Plant Sciences, University of Bern, Bern, Switzerland

[2] Department of Forest Mycology and Plant Pathology, BioCenter, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Uppsala, Sweden

كالبشر ، تَمتَلِك الأنْواع النَّباتيَّة والْحيوانيَّة نوْعًا مُفضل مِن الأماكن يُسمَّى نِظامًا بِيئيًّا، حَيْث تُفضِّل العيْش فيه إِذَا تَغيَّر النِّظَام البيئيُّ بشكل كبيرً فستخْتفي بَعْض الأنْواع، بِنَفس الطَّريقة اَلتِي يَتَجنَّب بِهَا البشر العيْش في الصَّحْراء لِأنَّهَا شَدِيدَة الحرارة وَجَافَّة لذا يُعدِّل اَلعدِيد مِن النُّظم البيئيَّة بِشدَّة ، فِي بَعْض الأحْيان لا يُمْكِن لِنباتات أو حيوانات تقْريبًا العيْش بنفس البيئات بَعْد الآن. لِمساعدة النُّظم البيئيَّة المتضرِّرة على التَّعافي نَبدَأ غالبًا بِزراعة الأشْجار أو النَّباتات. وجد عُلَماء الأحْياء أنَّ فطْريَّات المايكورايزا، وَهِي فُطْريَّات صَغِيرَة تعيش فِي التُّرْبة وَداخِل جُذُور النَّباتات يُمْكِن أن تُسْرِع مِن اِسْتعادة النِّظَام البيئيِّ مِن خِلَال جَعْل النَّباتات تَنمُو بِشَكل أَسرَع

وأقْوى فِي هَذِه المقالة نوضح كَيْف يُمْكِن تَعزِيز اِسْتعادة النُّظم البيئيَّة مِن خِلَال فطْريَّات المايكورايزا وكيف تكون مُفيدَة بِشَكل خاصٍّ.

المراجعون

JOVENA
AGE: 9

KAVIN
AGE: 9

TANISHKAA
AGE: 8

THUVISHA
AGE: 13

VETRIVEL
AGE: 12

النُّظم البيئيَّة المتدهْورة تَحْتاج إلى مُساعدتنَا

النُّظم البيئيَّة الطَّبيعيَّة بِيئة مُسْتعْمرة مِن قَبْل كائنَات مُختلفَة تعيش وتتفاعل مع بعْضهَا البعْض، مِثْل الغابات أو الأراضي العشْبيَّة أو المسْتنْقعات حيث تعْمل كمنازل لِلنَّباتات والْحيوانات والْكائنات الحية الدَّقيقة فِي التُّربة. تَقُوم بَعْض النُّظم البيئيَّة بتَوفُّر اَلعدِيد مِن الوظائف منها تَرْشِيح الميَاه وتخْزينهَا، والْحفاظ على اتزان الكرْبون خَارِج الغلَاف الجوِّيّ، والْحفاظ على طَبقَة تُربَة صِحِّية حَيْث يُمْكِن لِلنَّباتات أن تَنمُو وَتنتِج فَواكِه وخضْروات لِنأْكلهَا. تَوفُّر النُّظم البيئيَّة هَذِه الوظائف إِذَا كَانَت صِحِّية وَسَليمَة ، وَلكِن قد تُصْبِح النُّظم البيئيَّة مُضطربَة ومتدهورة وتتوَقَّف عن العمل بِشَكل جَيِّد، ومن هذه الاضْطرابات الحرائق والْفيضانات أو سُقُوط الأشْجار بَعْد العواصف. لكن لِحسْن اَلحَظ يُمْكِن لِلنُّظم البيئيَّة الصِّحِّيَّة أن تَتَعافَى بِسهولة مِن هَذِه الاضْطرابات او المشاكل . ومع ذَلِك ، إِذَا حَدثَت الاضْطرابات شَدِيدَة لِلْغاية وبِشَكل مُتَكرر على مدى فَتْرَة طَوِيلَة، فَإِن النُّظم البيئيَّة تُوَاجِه صُعُوبَة أَكبَر فِي التَّعافي وقد تَتَغيَّر. مثلا قد تُصْبِح الغابة أرْضًا عُشْبِية بَعْد عَاصِفة شَدِيدَة تَسحَق جميع الأشْجار او بَعْد فَتْرَة طَوِيلَة مِن الجفَاف، قد تُوَاجِه النَّباتات صُعُوبَة فِي النُّموِّ مَرَّة أُخرَى حَتَّى عِنْدمَا تَتَوفَّر الميَاه ثانية. إِذَا ان تَغيرَات النُّظم البيئيَّة بَعْد الاضْطرابات تؤدي الى عدد أقلّ مِن الأنْواع اَلتِي تعيش فِيهَا، وأقلّ وفرة لذا نسميها النظم البيئيَّة المتدهْورة، وَالذِي يُؤثِّر سَلْبا على الكائنات الحيَّة اَلتِي تعيش فِيه ويعيق عمل **النِّظَام البيئِيّ**. لِخَلق مِساحة لِلْمدن يَستخْر البشر النُّظم البيئيَّة لِإِنْتَاج الغذَاء فِي اَلحُقول الزِّراعيَّة، أو لِلتَّعْدين مِن أَجْل اِلْبنَاء أو التَّصْنيع . غالبًا هَذِه الأنْشطة البشريَّة تُزْعِج النُّظم البيئيَّة بِشدَّة ولفتْرة طَوِيلَة بِحَيث يَتِم دَفْع النُّظم البيئيَّة إِلى حَافَّة الهاوية او التدهور حَيْث لَم يُعَد بِإِمْكانهَا التَّعافي دُون مُسَاعدَة. **عُلَماء البيئة** همُّ عُلَماء يَدرُسون كَيفِية عمل النُّظم البيئيَّة وَكيف يمكِن أن تَكُون موْطنًا لِلْعدِيد مِن الأنْواع، وَيمكِن أن يُساعدوا فِي اِسْتعادة **النُّظم البيئيَّة المتدهْورة**، واِسْتعادة صِحَّتهم ووظائفهم. عِنْدمَا يَستعِيد عُلَماء البيئة النُّظم البيئيَّة، قد يزْرعون الأشْجار لِلْمساعدة فِي اِسْتعادة الغابات بَعْد قَطْع الأشْجار لِإِنْتَاج الأخْشاب، أو زَرْع اَلبُذور لِمساعدة الأراضي العشْبيَّة على التَّعافي بَعْد اِسْتخْدامهَا كَحقُول زِراعِيَّة. فِي بَعْض الأحْيان لَا تَنمُو النَّباتات الجديدة بِشَكل جَيِّد، أو يَبدُو النِّظَام البيئِيُّ بَعْد التَّرْميم مُخْتلِفًا عَمَّا كان عليْه قَبْل الاضْطراب او التدهور . السؤال هنا لِماذَا لَا تَعمَل الاسْتعادة فِي بَعْض الأحْيان ؟ فِي اَلآوِنة الأخيرة ، بدأ عُلَماء البيئة فِي فَهْم أنَّ الاسْتعادة النَّاجحة لِلنِّظَام البيئِيّ تَحْتاج إِلى رِعاية كُلِّ مِن النَّباتات والْحيوانات الموْجودة فَوْق الأرْض والْكائنات الحيَّة اَلتِي تعيش فِي التُّربة .

لماذا الكائنات الحية الصغيرة التي تعيش في التربة مهمة جدًا؟

النباتات لا تستطيع الحركة فإنها تستخدم جذورها للبحث عن العناصر الغذائية والمياه في التربة. تعتبر التربة جزءًا مهمًا من النظام البيئي وهي موطن للعديد من الكائنات الصغيرة [1]. لو قدر ما في ملعقة صغيرة من التربة لنجد يسكنها عدد من الكائنات الحية أكثر من عدد البشر على الأرض (ما يقارب 7.5 مليار) [2] (الشكل 1 أ) تتفاعل كل هذه الكائنات الصغيرة مع بعضها البعض وتساهم في عمل النظام البيئي، لذلك تكون صحة هذه الكائنات الحية في التربة مهمة جدًا لاستعادة النظام البيئي. تعتبر البكتيريا والفطريات أكثر الكائنات الحية في التربة وفرة اذ ان البعض منها يسمى محللات الكائنات الحية التي تتغذى على المواد النباتية والحيوانية الميتة، وبهذا يتم تقسيم هذه المادة إلى العناصر الغذائية المختلفة التي تتكون منها حتى تصبح تربة مرة أخرى.

النباتات تأخذ بدورها العناصر الغذائية من التربة كغذاء. معظم **المُحلّلات** (decomposers) هي من فطريات تتغذى على النباتات الميتة وتساعد على تكسير المادة النباتية حتى تصبح تربة مرة أخرى [3]. بعض كائنات التربة تسمى مسببات الأمراض للكائنات الحية (pathogens) يمكن أن يهاجم جذور النباتات ويجعلها مريضة. ايضا توجد الكائنات الحية التعايشية (symbionts) التي تتعاون مع النباتات من خلال تبادل العناصر الغذائية معها. الفطريات المايكورايزا (Mycorrhizal fungi) هي مجموعة من الكائنات الحية التعايشية التي يعتقد الباحثون أنها قد تساعد في استعادة النظام البيئي [4 ، 5] (الشكل 1 ب).

النظام البيئي

بيئة مستعمرة من قبل كائنات مختلفة تعيش معًا وتتفاعل مع بعضها البعض.

عالم البيئة

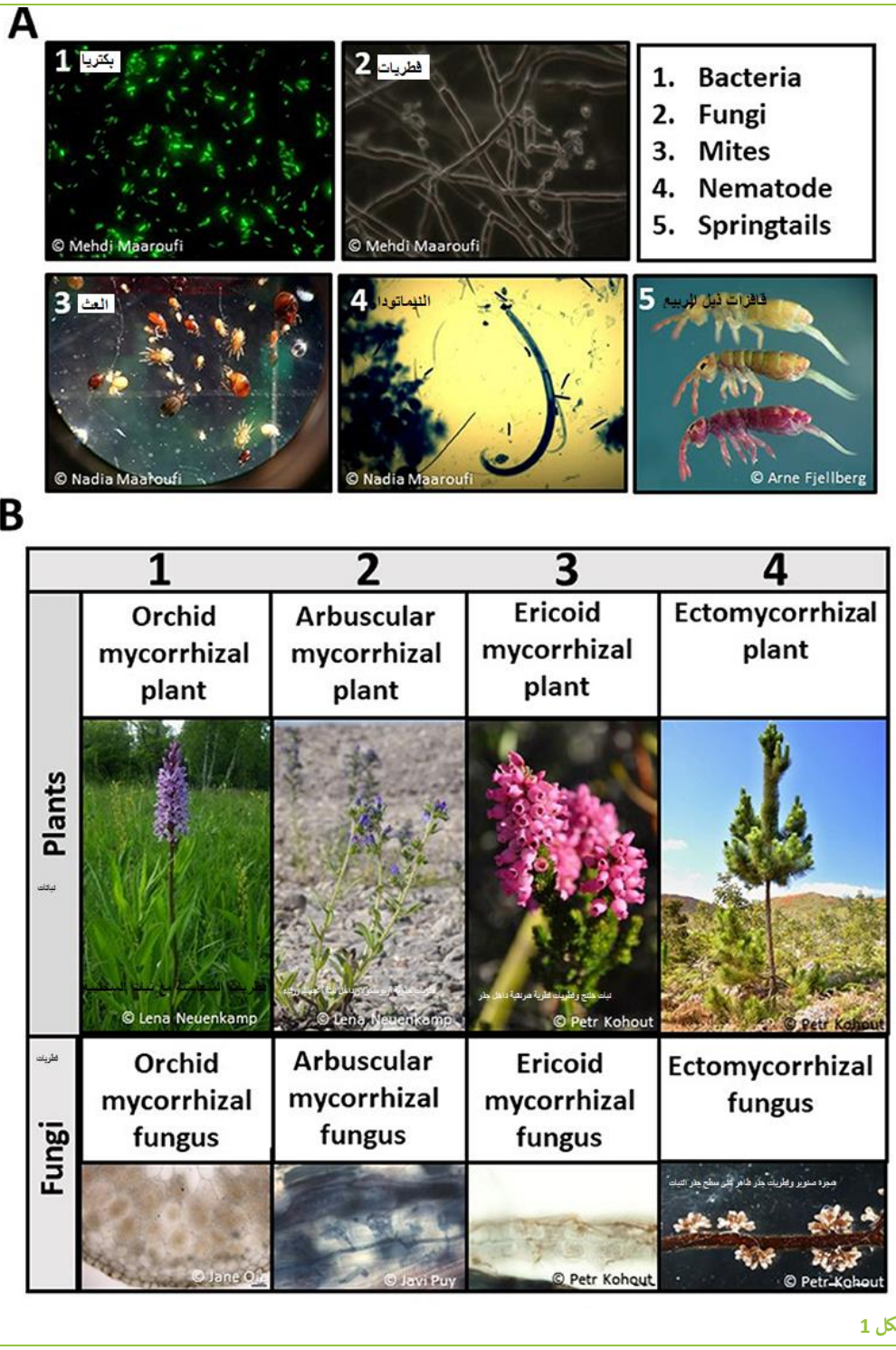
عالم يدرس كيفية عمل النظم البيئية وكيف تتفاعل الكائنات الحية في نظام بيئي مع بعضها البعض ومع البيئة.

النظام البيئي المتدهور

النظام البيئي الذي تعرض للضرر أو التدمير والذي يؤثر بشكل سلبي على الكائنات الحية التي تعيش فيه ويعيق عمله.

المُحلّلات

الكائنات الحية التي تتغذى على المواد النباتية والحيوانية الميتة وبهذا تتحلل هذه المواد إلى العناصر الغذائية المختلفة التي تتكون منها حتى تصبح تربة مرة أخرى. النباتات بدورها تأخذ العناصر الغذائية في التربة كغذاء وان العديد من المُحلّلات هي فطريات.



الشكل 1

الكائنات الصغيرة التي صور مجهرية .تسكن التربة للبكتيريا والفطريات والعث والنيماتودا وقافزات ذيل الربيع. النيماتودا عبارة عن ديدان مستديرة صغيرة ، والعث يشبه إلى حد ما العناكب الصغيرة ، وقافزات ذيل الربيع عبارة عن حشرات صغيرة يمكن أن تقفز في بعض الأحيان (اعتماد الصورة: مهدي معروفي ، ونادية معروفي ، وآرني فجيلبيرج). (ب) صور لأنواع مختلفة من الفطريات الجذرية والنباتات المضيفة لها. (1) فطر مايكورايزا السحلبية داخل جذر النبات. (2) فطريات مايكورايزا جذرية أربوسكولار داخل نبتة الأعشاب زرقاء. (3) نبات خلنج وفطرياتالمايكورايزا الشرنقية داخل جذر النبات. (4) شجرة صنوبر وفطريات الجذرية ظاهرة على سطح جذر النبات (اعتماد الصورة: لينا نوينكامب ، بيتر كوهوت ، جين أوجا ، جافي بوي).

فطريات المايكورايزا هي علاج قوي للنباتات

الفطريات الميكوريزاية يمكن أن تساعد جذور النبات في جمع المزيد من العناصر الغذائية والمياه من التربة ، وبالتالي مساعدتها على النمو بشكل أفضل. لذا، دعونا نسميها الفطريات المساعدة من الآن فصاعدًا. بالإضافة إلى ذلك، يمكن لهذه الفطريات المساعدة في حماية النباتات من **مسببات الأمراض** التي يمكن أن تسبب أمراضًا نباتية في مقابل تمنح النباتات الفطريات المساعدة بعضًا من الكربون الخاص بها لذا فإن الشراكة بين النباتات والفطريات هي حالة مربحة لكلا الشريكين وتسمى **التكافل**. اختبر علماء البيئة آثار الفطريات المساعدة للمساعدة في استعادة النظام البيئي (الشكل 2). تسمى عملية إضافة الفطريات المساعدة (الفطريات أو البكتيريا الفطرية) إلى التربة بتلقيح التربة، أظهرت

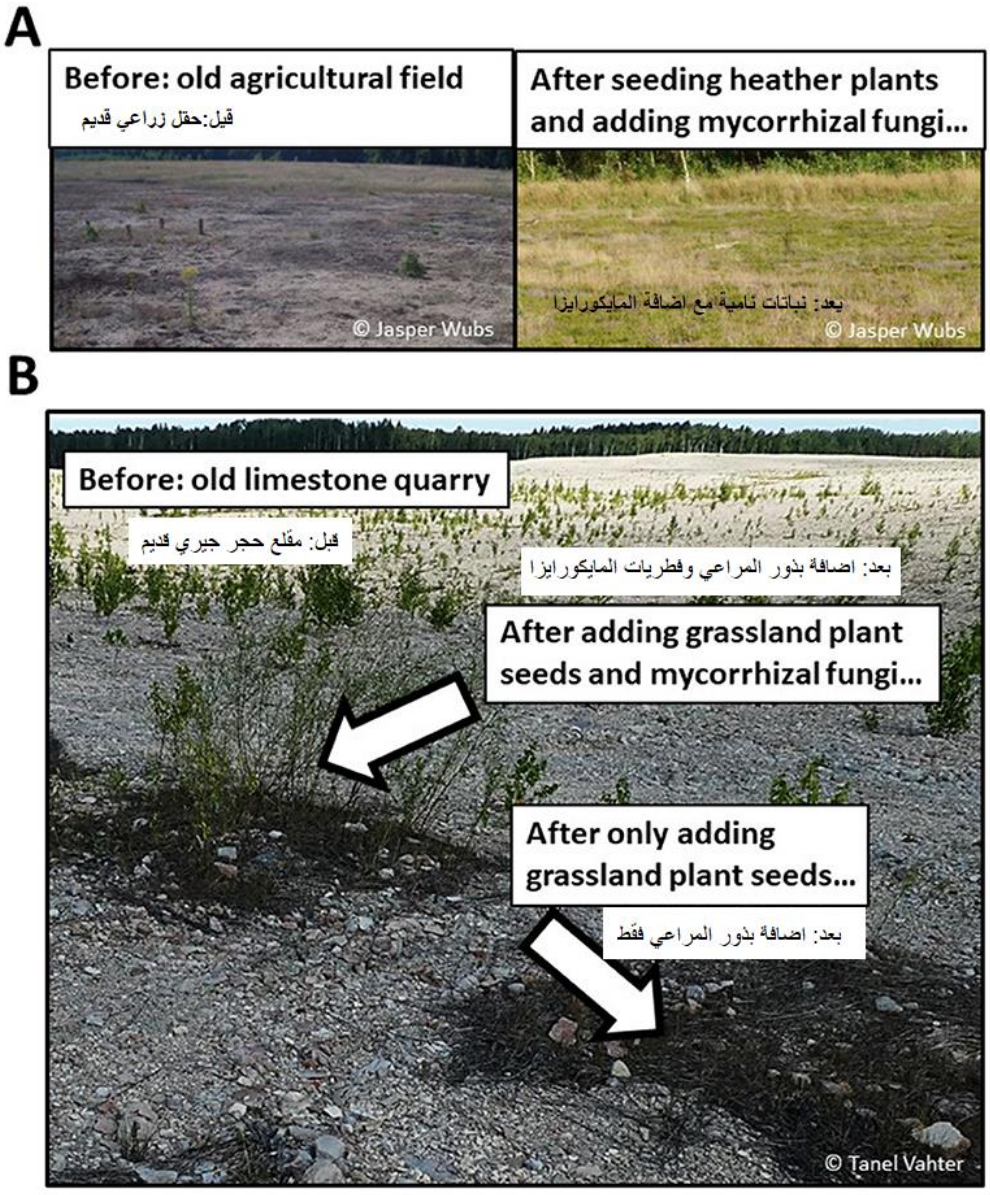
مسببات الأمراض / الفطريات الممرضة

الكائنات الحية التي تسبب الأمراض مثل الفطريات الممرضة التي تجعل أوراق النبات تتحول إلى اللون البني وغير قادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي.

الدراسات التي تختبر آثار **تلقيح التربة** على استعادة النظام البيئي أن شتلات الأشجار المزروعة والأعشاب نمت بشكل أفضل عند إضافة الفطريات المساعدة إلى التربة [4]. بالإضافة إلى ذلك ، أظهرت الدراسات أن المراعي المستعادة بإضافة الفطريات المساعدة كانت أكثر ثراءً في الأنواع النباتية.

اختلاف قوة الفطريات المساعدة

الشراكة بين الفطريات والنباتات المساعدة توجد بأنواع مختلفة اعتمادًا على كثرة أنواع الفطريات وفرة في نظام بيئي معين (الشكل 1 ب). تختلف النباتات والفطريات المساعدة في وقت ومقدار حاجتهم لبعضهم البعض ومدى عدالة تبادل الموارد والفوائد مع بعضهم البعض، إن استعادة النظم البيئية بالنباتات التي تعتمد بشدة على الفطريات المساعدة قد تحتاج إلى فطريات جذرية كدواء أكثر من النظم البيئية الأخرى التي تكون فيها النباتات أكثر استقلالية عن الفطريات المساعدة [5]. وجدوا العلماء أن فوائد إضافة الفطريات المساعدة تتفاوت بين الدراسات في جميع تجارب استعادة النظام البيئي التي تستخدم الفطريات المساعدة [4]. لذا ، فإن الفطريات المساعدة هي دواء جيد للنباتات ولكن اعتمادا على النباتات والنظام البيئي.



الشكل 2

المتكافل / الفطريات التكافلية

الكائنات الحية التي تعيش معًا وتساعد بعضها البعض مثال ذلك الفطريات التكافلية مثل الفطريات الجذرية التي تعيش في جذور النباتات وتساعد النباتات على امتصاص المغذيات من التربة مقابل الكربون الذي تنتجه النباتات في أوراقها.

تلقيح التربة

إضافة كائنات التربة (الفطريات الفطرية أو البكتيريا) إلى التربة لجعل النباتات تنمو بشكل أفضل.

الشكل 2

أمثلة على نتائج مشاريع استعادة النظام البيئي باستخدام الفطريات (أ) استعادة الفطرية الأراضي الصحراوية في هولندا ، بهدف إعادة إنشاء أرض برية في حقل زراعي قديم بمساعدة نباتات الخلنج والفطريات المايكورايزا الشرنقية. (ب) ترميم مقلع الحجر الجيري في إستونيا، بهدف تسريع إعادة الغطاء النباتي لمحجر الحجر الجيري المهجور بمساعدة بذور المراعي والتبن والفطريات الفطرية الجذرية (اعتمادا الصورة: Jasper Wubs ،Tanel Vahter.)

) الفطريات الفطرية
MI-CO-RYE-Z-ALL FUN-GUY)

مجموعة من الفطريات التي تعيش في التربة وجذور النباتات تساعد الفطريات النباتات على امتصاص العناصر الغذائية ومقاومة الجفاف أو الأمراض التي تسببها الفطريات الأخرى وفي المقابل تحصل الفطريات على الطعام من النباتات.

لخص العلماء الفطريات المساعدة الأكثر فائدة في الحالات الثلاثة التالية:

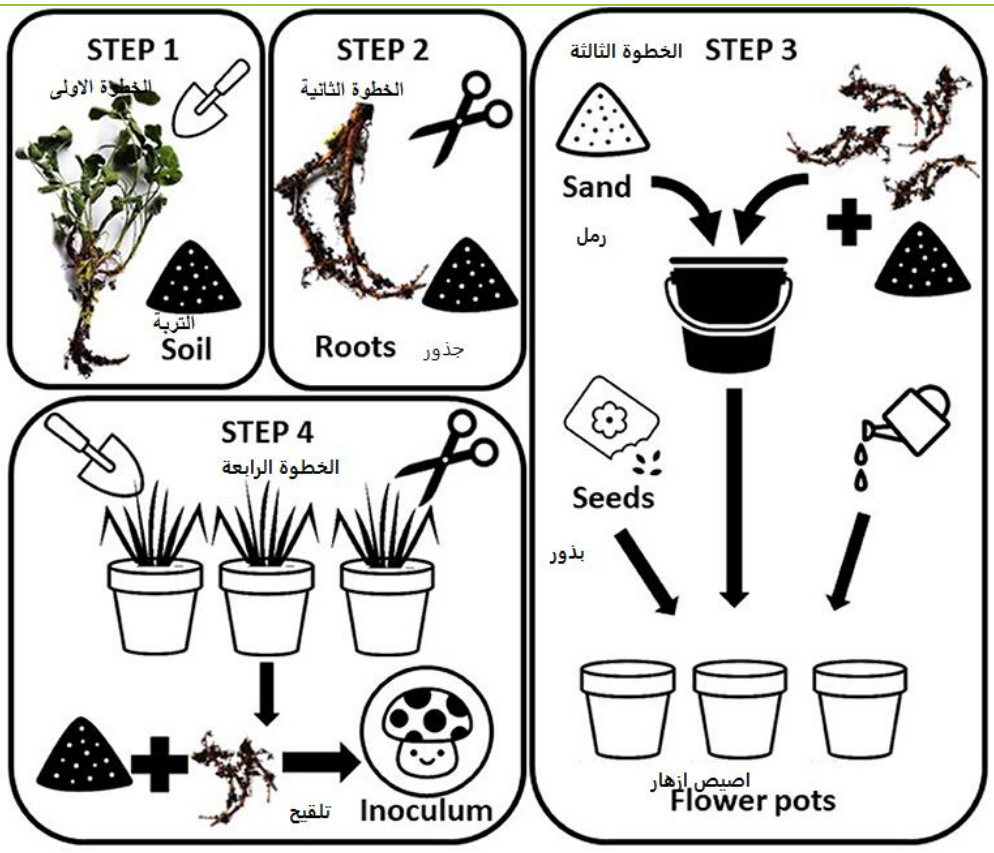
- للنباتات التي توفر مأوى في جذورها للبكتيريا، مما يجعل النباتات جائعة بما يكفي لها وللبكتريا (مثل نباتات البازلاء أو الفول).
- للنباتات التي جذورها أكبر من أن تصل إلى مسام التربة الصغيرة لذا تواجه صعوبة في العثور على العناصر الغذائية حيث توجد (مثل بعض الأعشاب).
- للنباتات التي تنمو في تربة متدهورة بشدة وتفتقر إلى المغذيات.

هل تريد مساعدة النباتات المنزلية الخاصة بك؟

جميع النباتات او حوالي 80 ٪ من نباتاتك المحفوظة في أصيص في المنزل لها تعايش مع نوع واحد من الفطريات المساعدة، يسمى الفطريات الجذرية الشوكية. يمكنك الحفاظ على صحة نباتاتك عن طريق صنع لقاح فطري جذري خاص بك (الشكل 3). كثير من البستانيين يفعلون هذا بالفعل! ستحتاج إلى مجرفة ودلو سعته 10 لترات لخلط التربة و 3-5 لتر من الرمل، وبذور العشب ونباتات البرسيم، و4-6 زهور.

الخطوات:

- **اختيار النبات**: اختر نباتًا واحدًا أو نبتين من حديقتك التي تشكل تكافلات جذرية شجيرية (نبتة عشبية ونبات البرسيم) واستخرجها مع جزء كبير من التربة حول الجذور.



الشكل 3

الشكل 3

أهم خطوات إنتاج اللقاح بناءً) الفطري الخاصة بك على التعليمات الواردة هنا: https://orgprints.org/35308/1/symanczik-etal-2018-Mycorrhizal-fungi-as-natural-biofertilizer_technical_note.pdf).

- **لقاح المصدر**: قم بإزالة الأوراق والسيقان من كلا النباتين وقطع جذورها إلى قطع صغيرة، وخلط جميع الجذور والتربة جيدًا. هذا هو اللقاح المصدر الخاص بك ، والذي سنقوم بمضاعفته حتى لا نضطر لاستخراج الكثير من نباتات الحدائق لإنشاء اللقاح.

- **تكاثر اللقاح**: امزج اللقاح المصدر بالرمل (جزء واحد من اللقاح مع جزء واحد من الرمل ، أو حتى جزء واحد من اللقاح مع جزأين من الرمل) وضعه في أواني الزهور. أضف العشب وبذور البرسيم إلى الأواني وقم بسقيها واتركها تنمو لمدة 2-4 أشهر. تسمى الأنواع المصنفة **نباتات الطعم** تستخدم النباتات كإغراء لجذب الفطريات الجذرية من جذورها حيث تتكاثر الفطريات الجذرية وتنمو. يمكن بعد ذلك استخدام المادة الفطرية المتكاثرة في الجذور والتربة المحيطة لإنتاج لقاح فطري لأنها تجتذب الفطريات الجذرية. عندما تبدأ نباتات الطُعم بالنمو ، فإن الفطريات الجذرية الشجرية ستستعمر جذورها وستنمو أعداد الفطريات كلما طالت فترة نمو النباتات زاد عدد الفطريات في التربة.

- **حصاد اللقاح**: بعد 2-4 أشهر قم بإزالة جميع الأوراق من نباتات الطعم وقطع جذورها إلى قطع صغيرة وخلطها مع التربة اللقاح جاهز الآن لإضافته بكميات صغيرة إلى نباتات الأصيص - إما جافة أو ممزوجة بالماء.

نباتات الطُعم

تستخدم النباتات كإغراء لاجتذاب الفطريات الجذرية من جذورها حيث تتكاثر الفطريات الفطرية وتنمو ويمكن بعد ذلك استخدام المادة الفطرية المتكاثرة في الجذور والتربة المحيطة لإنتاج لقاح فطري.

خذ رسالة المنزل

يمكن أن تؤدي الأنشطة البشرية إلى تدهور النظم البيئية بشدة لدرجة أنها تحتاج إلى مساعدة للتعافي. الفطريات المايكورايزا هي فطريات مساعدة للنباتات يمكن أن تدعم استعادة النظام البيئي لأنها يمكن أن تزيد من امتصاص النباتات للمغذيات وتحمي النباتات من الأمراض أو الجفاف توجد أنواع مختلفة من الفطريات المساعدة بخصائص مختلفة وبالتالي فإن متى وأي الفطريات المساعدة هي الأقوى لاستعادة النظام البيئي يعتمد على النباتات والنظام البيئي.

الاشتراكات مع الكاتب

تصور LN و NM الفكرة الأصلية وكتبوا المسودة الأولى للمخطوطة. أعطى جميع المؤلفين الموافقة النهائية للتقديم.

المراجع

1. Maaroufi, N. I., and De Long, J. R. 2020. Global change impacts on forest soils: linkage between soil biota and carbon-nitrogen-phosphorus stoichiometry. Front. For. Glob. Change 3:16. doi: 10.3389/gc.2020.00016

2. Available online at: http://www.soil-net.com/ (accessed November 06, 2020).

3. Maaroufi, N. I., Nordin, A., Palmqvist, K., Hasselquist, N. J., Forsmark, B., Rosentstock, N. P., et al. 2019. Anthropogenic nitrogen enrichment enhances soil carbon accumulation by impacting saprotrophs rather than ectomycorrhizal fungal activity. Glob. Change Biol. 25:2900–14. doi: 10.1111/gcb.14722

4. Neuenkamp, L., Prober, S. M., Price, J. N., Zobel, M., and Standish, R. J. 2019. Benefits of mycorrhizal inoculation to ecological restoration

depend on plant functional type, restoration context and time. Fungal Ecol. 40:140–9. doi: 10.1016/j.funeco.2018.05.004

5. Neuenkamp, L., Moora, M., Öpik, M., Davison, J., Gerz, M., Männistö, M., et al. 2018. The role of mycorrhizal type and status in modulating the relationship between plant and arbuscular mycorrhizal fungal communities. New Phytol. 220:1236–47. doi: 10.1111/nph.14995

المحرر: هيلين فيليبس
(German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany)

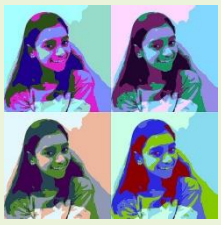
مرشدي العلوم: فينوسيلفي باريوثام

الاقتباس:
Neuenkamp L and Maaroufi NI (2020) Tiny Fungi in the Soil Are Like Medicine for Nature. Front. Young Minds 8:557383. doi: 10.3389/frym.2020.557383

تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث تم إجراؤه في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

حقوق النشر © Neuenkamp and Maaroufi 2020
هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص Creative Commons Attribution (CC BY License) . يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو النسخ في منتديات أخرى ، بشرط أن يُنسب الفضل إلى المؤلف (المؤلفين) الأصليين ومالك (مالكي) حقوق الطبع والنشر وأن يتم الاستشهاد بالمنشور الأصلي في هذه المجلة ، وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون



JOVENA, AGE: 9
I like reading a lot. I usually read magical books like Harry Potter books. They are my favorite series to read. I also like to read mystery books. I love animals. I like playing Roblox. I enjoy playing with my friends. I like skate boarding and roller-skating. My dream is to 1 day be a pro skateboarder. Hasta Luego Baby!

KAVIN, AGE: 9
Science is important and interesting.

TANISHKAA, AGE: 8
I have been interested in learning science since my childhood. I would like to explore every part of science. My favorite part of science is learning about the human body. I like science very much because it is very very interesting. I want science to be a part of my whole life.

THUVISHA, AGE: 13

I like Science because it is something new and makes us discover a lot of things that are related to our daily life. It is always interesting. We need science in our world.

VETRIVEL, AGE: 12

I like to make paper airplanes and do simple experiments. I like to learn about scientists. I like to do many experiments and am exploring more and more ideas.

YUTHIGA, AGE: 8

I am interested in painting and playing chess. I won third prize and got trophy at district level chess tournament. My favorite subjects are English, Science, and Mathematics. I spend my holidays exploring new things.

المؤلفون

LENA NEUENKAMP

I am a plant ecologist, and I started to investigate the soil because it could help me to understand plants. Well, I then became fascinated by mycorrhizal fungi and how they interact with plant roots. I am working as a researcher at the University of Bern in Switzerland. I am interested in understanding how human disturbances and climate change influence plant and soil communities, as well as the interactions between plants and soil organisms. I would like to use that knowledge to predict how Neuenkamp and Maaroufi Mycorrhizal Fungal Medicine for Nature well ecosystems can function and provide services to humans, in the face of current human disturbances and climate change.
*lena.neuenkamp@ips.unibe.ch

NADIA I. MAAROUFI

I am a soil ecologist interested in the small creatures inhabiting the soil. I am working both at the University of Bern in Switzerland and at the Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala in Sweden. I am particularly interested in understanding how soil organisms are impacted by human and natural disturbances, and how these disturbances affect forest and grassland ecosystem functioning.

المتُّرجم

RAGHAD S. MOUHAMAD