التنوع الحيوي
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 29 مايو 2024
doi: 10.3389/frym.2019.00156-ar

نباتات ضاربة في عمق التاريخ.. كل ما تحتاج معرفته عن السيكاسيات!

Fernando López Restrepo*, Diego Garfias Gallegos و Pablo de Jesús Suarez Moo
المختبر الوطني لعلم الجينوم للتنوع البيولوجي بالمكسيك، مركز الأبحاث والدراسات المتقدمة التابع للمعهد الوطني للفنون التطبيقية، إيرابواتو، المكسيك

هل سبق لك أن رأيت صورة ديناصور ولاحظت وجود نبات يشبه النخلة بجانبه؟ أو ربما كنت تتجول في حيِّك ورأيت النوع نفسه من النبات هناك؟ من الأمور التي لا تُصدق أن تلك النباتات التي تُسمى السيكاسيات موجودة منذ ملايين السنين. فالسيكاسية الواحدة يمكنها أن تعيش لفترة تصل إلى 2000 عام! ونعتقد أن السر وراء بقاء السيكاسيات وعمرها الطويل يكمن في بنية خاصة للغاية تُسمى الجذر المرجاني، الذي تعيش بداخله ميكروبات. لقد درسنا هذه الجذور المرجانية ووجدنا تنوعًا كبيرًا من الأنواع البكتيرية تعيش بداخلها، أكثر مما قد يتصوره أي إنسان. وعندما أمعنا النظر في هذه البكتيريا، تبيّن لنا أنها يمكنها إنتاج العديد من المُركّبات التي يمكن أن تساعدها في التواصل مع بعضها البعض ومع النبات، وفي نقل العناصر الغذائية وأداء وظائف أخرى لا تزال لغزًا غامضًا.

المراجعون الصغار

AURA
العمر: 14

MANU
العمر: 14

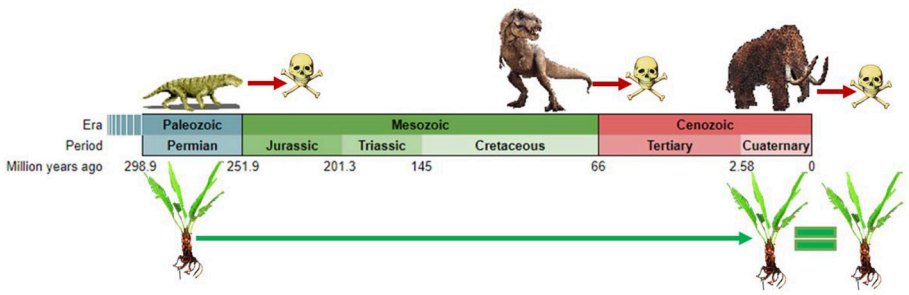
السيكاسيات: نباتات أكبر سنًا من الديناصورات

السيكاسيات هي نباتات حاملة للبذور ظهرت قبل عصر الديناصورات -خلال العصر البرمي- منذ ما يقرب من 280 مليون عام.

وعلى الرغم من كِبر حجم الديناصورات، فقد انقرض معظمها في حين تطور البعض الآخر في النهاية متحولًا إلى طيور. بيد أن السيكاسيات تمكنت من البقاء على قيد الحياة حتى يومنا هذا، وما زالت تشبه بالضبط أسلافها الذين عاشوا جنبًا إلى جنب مع الديناصورات (الشكل 1)! إذا لم يكن ذلك كافيًا لتشعر بمدى روعتها، فدعني أخبرك أن السيكاسيات يمكنها العيش في ظروف بيئية قاسية بها القليل للغاية من العناصر الغذائية في أماكن لا يمكن للنباتات الأخرى البقاء على قيد الحياة فيها، ومنها الكثبان الرملية والمنحدرات والجروف وحتى على الصخور [1].

السيكاسية (Cycad)

هي نباتات بذرية قديمة جدًا بقيت على قيد الحياة حتى يومنا هذا. ويمكن أن تشكّل تكافلًا فريدًا من خلال جذورها المرجانية



شكل 1

ظهرت العديد من الكائنات الحية واختفت من الكوكب، في حين واصلت السيكاسيات العيش. وظل مظهرها الخارجي كما هو، ولكننا نعتقد أن جذورها تغيرت وأنها هي سر بقائها على قيد الحياة.

ولكن، كيف تؤدي السيكاسيات هذه الوظائف المذهلة اللازمة للبقاء على قيد الحياة؟ السيكاسيات -مثل الأبطال الخارقين- لديها قدرات مختلفة تسمح لها بمقاومة البيئات الصعبة، ولكن ربما تكمن قوتها العظمى الرئيسية في جذورها. فتستطيع السيكاسيات تكوين بِنى جذرية فريدة تُسمى الجذور المرجانية، تشبه الشعاب المرجانية البحرية الضئيلة المتفرعة من الجذر الرئيسي. تحصل هذه الجذور المرجانية على المغذيات التي يحتاجها النبات، لا سيما النيتروجين. والنيتروجين (N_2) هو غاز موجود بوفرة في الغلاف الجوي. يمكن أن تمتص كائنات حية معينة النيتروجين N_2 وتحوله إلى أمونيوم(NH_3)، وهو عنصر غذائي يمكن أن تستخدمه السيكاسيات للعيش والنمو. ويُطلق على هذه العملية اسم تثبيت النيتروجين. وتثبيت النيتروجين هو إحدى الوظائف التي تؤديها الكائنات الحية التي تُسمى النابوت الداخلي، وهي عبارة عن ميكروبات (بكتيريا، مثلًا) تعيش داخل الجذور المرجانية. تتفاعل النوابيت الداخلية تفاعلًا وثيقًا مع النبات، في علاقة تُسمى التكافل [2].

الجذر المرجاني (Coralloid root)

هو جذور السيكاسيات المتخصصة التي يمكن للبكتيريا العيش فيها.

النابوت الداخلي (Endophytes)

هو أي كائن حي يعيش داخل نبات.

التكافل (Symbiosis)

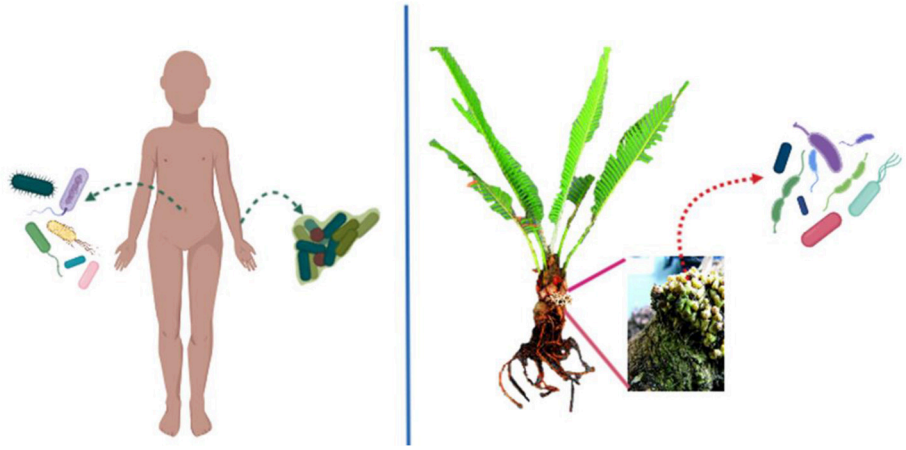
هو أي علاقة وثيقة وطويلة بين اثنين أو أكثر من الكائنات الحية المختلفة.

ولكي نفهم التكافل بين السيكاسية والنابوت الداخلي، ينبغي لنا التفكير في أجسامنا. لقد سمعنا جميعًا مقولة «الجسم السليم في الغذاء السليم» وربما تكون قد سمعت أيضًا أن علينا إضافة بكتيريا معينة -تُسمى البروبيوتك أو الكائنات الحية المفيدة- إلى

أنظمتنا الغذائية. وصحيح أن النظام الغذائي هو وسيلة مهمة لجعل البكتيريا النافعة تستوطن (أي تعيش في) بعض أنسجتنا وأعضائنا، مثل الأمعاء (الشكل 2). فالبكتيريا النافعة التي تعيش بداخلنا تساعدنا على هضم طعامنا وإنتاج المواد الكيميائية الصحية وحتى حمايتنا من الميكروبات الخطيرة التي تُسمى مسببات الأمراض [3]. ولكن ماذا عن السيكاسيات؟ هل ثمة بكتيريا تعيش بداخلها؟ وإذا كان الأمر كذلك، فما الذي تفعله تلك البكتيريا وكيف تفعل ذلك؟ بحث العلماء الذين يحاولون الإجابة عن هذه الأسئلة داخل الجذور المرجانية لأكثر من 100 عام. غير أننا لم نتمكن من إماطة اللثام عن التنوع الكبير للبكتيريا والوظائف المثيرة للاهتمام لتلك البكتيريا داخل الجذر المرجاني إلا مؤخرًا، بما في ذلك البكتيريا التي تقوم بتثبيت النيتروجين.

شكل 2

تشبه السيكاسيات أجسادنا تمامًا في أنها لديها مساعدين ضئيلين من البكتيريا.



شكل 2

بادئ ذي بدء، من أين تأتي هذه البكتيريا؟ إننا نعتقد أن بعض هذه الميكروبات قد تكون موروثة من أم النبات من خلال البذرة، على غرار الطريقة التي يحصل بها الأطفال الرُضّع على البكتيريا من أمهاتهم عن طريق الرضاعة الطبيعية. ولكن يبدو أن معظم البكتيريا داخل الجذور المرجانية مصدرها التربة الأقرب إلى الجذور، التي تُسمى النطاق الجذوري، حيث تنتج السيكاسيات مواد تجذب البكتيريا إلى النطاق الجذوري. وتلتصق تلك البكتيريا بعد ذلك بسطح السيكاسيات وتدخل الأنسجة الداخلية للجذور المرجانية من خلال الثقوب الصغيرة العديدة في جدران خلايا النبات.

النطاق الجذوري (Rhizosphere)

هو التربة التي تلامس جذور النبات مباشرةً

ونحن لا نعرف سوى القليل عن البكتيريا التي تعيش في التربة والتي يمكنها دخول جذور السيكاسيات، أو حتى عن عدد البكتيريا التي يمكنها فعلًا البقاء هناك.

كم عدد أنواع البكتيريا الموجودة داخل الجذور؟ هل يمكن لجميع أنواع البكتيريا الدخول، أم أن هذا «نادٍ [خاص] لكبار الشخصيات» البكتيرية؟ ما تأثير هذه البكتيريا على السيكاسيات؟ لم نجد إجابات لهذه الأسئلة الرئيسية حتى الآن، لأن معظم الدراسات السابقة التي أُجريت على الجذور المرجانية ركزّت على نوع محدد جدًا من البكتيريا يُسمى الزراقم. تُعد الزراقم خبيرة في تثبيت النيتروجين، مما يكسبها أهمية بالغة. ولكننا اعتقدنا أنه ربما تكون ثمة أنواع متعددة من البكتيريا -كما هو الحال في

الزراقم (Cyanobacteria)

هي كائنات حية دقيقة لديها القدرة على إجراء عملية التمثيل الضوئي (تمامًا مثل النباتات!) وتثبيت النيتروجين لتحويله إلى مركّبات مفيدة.

الأمعاء البشرية- بخلاف الزراقم. وعندما اختبرنا هذه الفكرة، تبيّن لنا أن ثمة العديد من الميكروبات الأخرى في الجذر المرجاني وأن الجذور قد تكون نوعًا من «نادي كبار الشخصيات»، لا ينضم إليه سوى نوابت داخلية معينة.

نظرة فاحصة على جذور السيكاسية

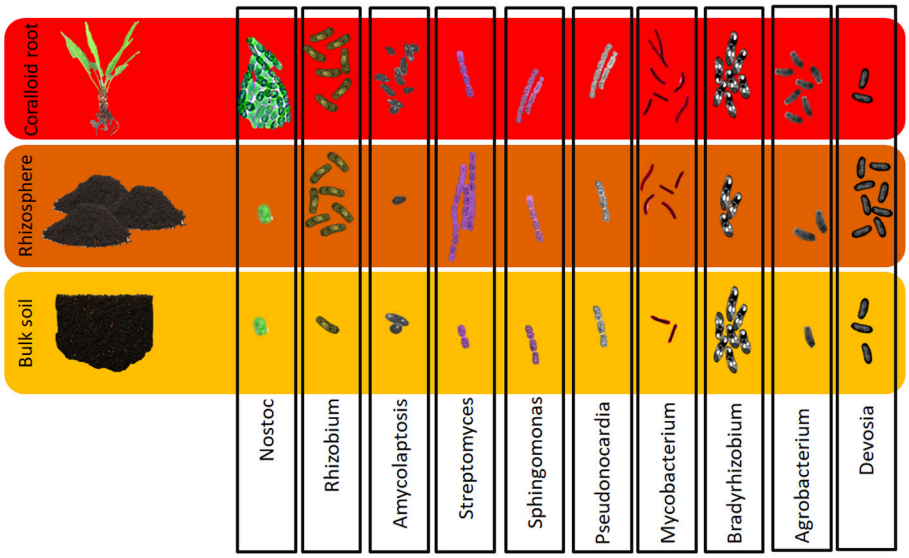
كانت فرضيتنا أن الجذور المرجانية -وجميع الميكروبات المختلفة الموجودة بداخلها- لها دور مهم في قدرة السيكاسيات على النمو في البيئات الصعبة. ولاختبار هذه الفكرة، جمعنا عينات من الجذور المرجانية والتربة من السيكاسيات من جنس ديون، من حديقة نباتية ومن مناطق طبيعية. والجنس هو مجموعة تتألف من العديد من الأنواع المرتبطة ارتباطًا وثيقًا. توجد السيكاسيات من جنس ديون في الغالب في المكسيك وهي مهددة بالانقراض، مما يجعل العثور عليها أمرًا صعبًا للغاية، لذلك يجب أن نتوخى الحذر الشديد حتى لا نتلفها.

كانت معظم السيكاسيات تنمو في أماكن يصعب الوصول إليها، لذا كان علينا امتلاك الأدوات الصحيحة والكثير من التصميم والقليل من الحظ.

جمعنا عينات الجذور المرجانية وخزّناها في النيتروجين السائل (وهو مادة باردة للغاية تبلغ درجة حرارتها حوالي–200 درجة مئوية) للحفاظ على الحمض النووي. وجمعنا أيضًا النطاق الجذوري والتربة الأخرى من المنطقة المحيطة بالسيكاسيات. وفصلنا عينات الجذور المرجانية حسب الأصل (موقع طبيعي أم حديقة نباتية) وبحثنا في عدد الأنواع المختلفة من البكتيريا في عينات التربة والجذور.

أعداد غفيرة من أصدقاء السيكاسيات

وجدنا أن ثمة 246 جنسًا من البكتيريا في عينات الجذور والتربة، ولكن معظم البكتيريا في العينات اندرجت ضمن 10 أجناس (الشكل 3). ومن هنا اكتشفنا أن مجموعات قليلة فقط من البكتيريا تؤدي أدوارًا مهمة حقًا. ومن الغريب أننا وجدنا وفرة أكبر من أنواع الزراقم في العينات الطبيعية مقارنةً بما وجدناه في عينات الحديقة النباتية. ولكن، لماذا وجدنا هذه الاختلافات؟ ربما لأن التربة التي جمعناها من المواقع الطبيعية تحتوي على مغذيات أقل من التربة الموجودة في أُصُص في الحديقة النباتية. وقد يعني هذا أن الزراقم تساعد السيكاسيات في الحصول على المواد الغذائية من التربة، وهي أقل أهمية في الحدائق النباتية عنها في الطبيعة. ويشتمل «نادي كبار الشخصيات» للجذور المرجانية على بكتيريا أخرى مُثبِتة للنيتروجين بالإضافة إلى الزراقم، مثل المستجذرة والعصوية والمتسلسلة، التي من المعروف أيضًا أنها تعيش في الجذور المرجانية لسيكاسيات أخرى إلى جانب السيكاسيات من جنس ديون.



شكل 3

وُجدت كميات وأنواع مختلفة من البكتيريا في جميع الأجزاء الثلاثة: الجذور المرجانية والنطاق الجذوري والتربة الظاهرية لجميع النباتات التي خضعت للدراسة. تُسرد أنواع البكتيريا على طول الجزء السفلي، ويوضح الرقم الظاهر بجانب كل نوع عينة ما إذا كان العدد الذي عُثر عليه في تلك العينة كبيرًا أم صغيرًا. ويجمع هذا الشكل بين النتائج المُحصّلة من نباتات من المجموعات الطبيعية والحدائق النباتية على حدٍ سواء. ويمكنك أن تلاحظ أن بعض البكتيريا فقط تنمو في الجذور، في حين يتمكن البعض الآخر من النمو بشق الأنفس.

ولكن لماذا نطلق على ميكروبات الجذور المرجانية لقب "نادي كبار الشخصيات"؟ لأن جزءًا صغيرًا فقط من الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش خارج السيكاسية قادر على الوصول إلى داخل الجذر المرجاني.

وبالتالي، تختلف أعداد البكتيريا التي تعيش داخل الجذور المرجانية وأنواعها عن تلك الموجودة في التربة الظاهرية والنطاق الجذوري، كما هو موضح في الشكل 3. إذن، هل يختار النبات البكتيريا التي تحصل على عضوية نادي كبار الشخصيات؟ أم أن بعض أنواع البكتيريا فقط يمكنها البقاء على قيد الحياة داخل الجذور؟ وهل لدى هذه البكتيريا الحاصلة على عضوية نادي كبار الشخصيات قدرات محددة تسمح لها بالحصول على هذه العضوية؟ لا يزال العلماء عاكفين على الإجابة عن هذه الأسئلة. فماذا تعتقد؟

لما كانت السيكاسيات من جنس ديون التي أشرنا إليها مرتبطة ارتباطًا وثيقًا ببعضها البعض، فقد اعتقدنا أن جميع هذه السيكاسيات قد تسمح للأنواع نفسها من البكتيريا بالدخول إلى جذورها المرجانية. ولكننا وجدنا اختلافات في أنواع البكتيريا الموجودة في جذور النباتات التي تنمو في المواقع الطبيعية مقارنةً بالحدائق النباتية. ونعتقد أن هذا يرجع إلى التربة التي تنمو فيها هذه السيكاسيات، علاوةً على الاختلافات الطفيفة بين النباتات ذات الصلة. فكِّر في البشر مرة أخرى: من المعروف أن الجينات والنظام الغذائي البشريَين يشكِّلان أنواع البكتيريا الموجودة في أحشائنا. قد ينطبق هذا الأمر على السيكاسيات من جنس ديون؛ فقد ترسل إشارات مختلفة تجذب أنواعًا مختلفة من الكائنات الحية الدقيقة إلى جذورها. ولا تزال الآلية الدقيقة لاختيار النوابيت الداخلية المرجانية غير معروفة، كما أنه لم يتم التعرف بعد على العوامل التي ينطوي عليها اختيار البكتيريا التي تنضم إلى نادي كبار شخصيات كل نوع من النباتات.

كيف يمكن أن تساعد الزراقم السيكاسيات في البقاء على قيد الحياة؟

هل البكتيريا التي تعيش في الجذور المرجانية هي السبيل إلى بقاء السيكاسيات على قيد الحياة بهذه الطريقة المذهلة؟ للإجابة عن ذلك، درس العلماء ما إذا كانت الزراقم قادرة على إنتاج مركّبات خاصة قد تساعد السيكاسيات في البقاء على قيد الحياة. وبحث العلماء عن أقسام الحمض النووي البكتيري التي تحدد شفرة البروتينات التي تُسمى المستقلبات، وهي المواد التي يمكن أن تساعد الكائنات الحية في البقاء على قيد الحياة في ظل الظروف البيئية الصعبة. نطلق على هذه الأجزاء من الحمض النووي العناقيد الجينية المُخلّقة بيولوجيًا، أو (ع.ج.م.ب) على سبيل الاختصار [4].

المستقلب (Metabolite)
هو مادة تتكوّن أثناء عملية الأيض التي يقوم بها الكائن الحي.

العنقود الجيني المُخلّق بيولوجيًا (Biosynthetic gene cluster (BGC))
هو أقسام الحمض النووي التي تنتج مواد معينة.

بحث العلماء عن 77 عنقودًا في الحمض النووي لأنواع الزراقم المرتبطة ارتباطًا وثيقًا. من بين هذه العناقيد، ثمة أربعة مشتركة في جميع أنواع الزراقم التي وجدناها داخل الجذور المرجانية. وقد أنتجت هذه العناقيد بعض السموم التي يمكنها أن تمنع البكتيريا الأخرى من النمو، وربما تحمي النبات من الأذى. وثمة أيضًا مستقلبات وجزيئات تستخدمها البكتيريا للتواصل مع المتكافلات الداخلية الأخرى وتوفير المغذيات للنبات، مثل الجزيئات الحاملة للأيونات الفلزية التي تُسمى حاملات الحديد. تساعد هذه الجزيئات النبات في امتصاص الأيونات المعينة التي ما كان النبات سيصل إليها لولا وجود هذه الجزيئات. ويمكن لهذه الأيونات أن تتوسط في الاستجابة الأيضية للعديد من أفراد المجتمع البكتيريين؛ وبالتالي تؤدي إلى تغيير الإشارات التي تستقبلها الكائنات الحية الدقيقة من البيئة.

إذن، ما هي الخطوة التالية؟

تقدم لنا البيانات التي جمعناها في هذه الدراسة فكرة جيدة للغاية عن المجتمع البكتيري داخل الجذور المرجانية للسيكاسيات. ونعتقد الآن أنه من الممكن أن تكون السيكاسيات قد نجت من عصر الديناصورات دون أن تضطر إلى التغير من الخارج لأن النوابيت الداخلية للسيكاسيات هي التي تتغير وتوفر مستقبلات جديدة وقدرات على التعامل مع الظروف الصعبة في البيئة. غير أننا ما زلنا لا نعرف الكثير عن هذه النباتات وعن متكافلاتها الداخلية، ولا يزال العلماء عاكفين على دراسة تفاعلاتها.

وقبل أن نختتم مقالنا، سنشير إلى ملاحظة مثيرة للاهتمام توصّلنا إليها أثناء دراستنا. فعند النظر داخل الجذور المرجانية، رأينا نوعًا آخر من الكائنات الحية التي بالكاد خضعت للدراسة على الإطلاق: هي الفطريات! كل ما نعرفه حتى الآن عن الفطريات الموجودة في الجذور المرجانية هي أن أنواعًا مختلفة من الفطريات تعيش في النوع الواحد من السيكاسيات. ولكننا لا نعرف في الوقت الراهن كيف تؤثر الفطريات على الكائنات الحية الأخرى وكيف تتفاعل مع السيكاسية والمتكافلات الداخلية البكتيرية. ونحن نعتقد أن الفطريات ربما تُعد شبكة لنقل المستقبلات إلى النبات، أو حماة للنبات أو البكتيريا. ولكن يمكن أن تتنافس الفطريات أيضًا على المساحة داخل الجذور، مما يجبر البكتيريا على التعاون. وكما ترى، ثمة الكثير من الأشياء التي يجب دراستها عن هذه النباتات

القديمة وجذورها المرجانية. غير أن ما تعلمناه عن هذه النباتات قد يساعدنا في فهم كيفية تكوّن العلاقات التكافلية بين الكائنات الحية في الأصل في النباتات، وكيفية تنظيم هذه العلاقات. ولما كانت جميع الكائنات الحية المعروفة تعتمد على علاقاتها مع بعضها البعض، فقد تخبرنا هذه المعلومات الكثير عن كيفية بقاء الكائنات الحية وتطورها على مدار تاريخ التطور، ليس بوصفها كائنات منعزلة، بل بوصفها أجزاءً من مجتمعات. والوقت وحده كفيل بإخبارنا عما ستظهره الاكتشافات المستقبلية عن الكائنات التي نتشارك معها العالم!

مقال المصدر الأصلي

Suarez-Moo, P. J., Vovides, A., Griffith, M. P., Barona-Gómez, F., and Cibrian-Jaramillo, A. 2019. Unlocking a high bacterial diversity in the coralloid root microbiome from the cycad genus Dioon. *PLoS ONE*14:e0211271. doi: 10.1371/journal.pone.0211271

المراجع

1. Norstog, K. J., and Nicholls, T. J. 1997. *The Biology of the Cycads*. New York, NY: Cornell University Press.
2. Kneip, C., Lockhart, P., Voß, C., and Maier, U. G. 2007. Nitrogen fixation in eukaryotes–new models for symbiosis. *BMC Evol. Biol.* 7:55. doi: 10.1186/1471-2148-7-55
3. Christian, N., Whitaker, B. K., and Clay, K. 2015. Microbiomes: unifying animal and plant systems through the lens of community ecology theory. *Front. Microbiol.* 6:869. doi: 10.3389/fmicb.2015.00869
4. Gutierrez-Garcia, K., Bustos-Díaz, E. D., Corona-Gomez, J. A., Ramos-Aboites, H. E., Selem-Mojica, N., Cruz-Morales, P., et al. 2019. Cycad coralloid roots contain bacterial communities including Cyanobacteria and *Caulobacter* spp. that encode niche-specific biosynthetic gene clusters. *Genome Biol. Evol.* 11:319–34. doi: 10.1093/gbe/evy266

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 29 مايو 2024

المحرر: Francisco Barona-Gomez

مرشدو العلوم: Michelle Crisely Munguía Figueroa

الاقتباس: Suarez Moo PdJ و López Restrepo F, Garfias Gallegos D (2024) نباتات ضاربة في عمق التاريخ.. كل ما تحتاج معرفته عن السيكاسيات!
Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2019.00156-ar

مُترجَم ومقتبس من: López Restrepo F, Garfias Gallegos D and Suarez Moo PdJ (2020) Cycads: Ancient Plants With Bacteria Living in Their Roots. Front. Young Minds 7:156. doi: 10.3389/frym.2019.00156

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

حقوق الطبع والنشر © 2020 © 2024 و López Restrepo, Garfias Gallegos Suarez Moo. هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار

AURA, العمر: 14

اسمي أورا. أبلغ من العمر 14 عامًا. وأعيش في غواناخواتو بالمكسيك وأحب الرقص. وأعتقد أن جميع العلوم مثيرة جدًا للاهتمام.

MANU, العمر: 14

اسمي مانويلا ولكن الجميع ينادونني مانو. أبلغ من العمر 14 عامًا وأدرس في السنة الثانية من المدرسة الثانوية. وأحب ركوب الخيل والفنون. وعندما أكبر، أود أن أصبح عالمة أحياء بحرية أو أن أدرس فن الطهي.

المؤلفون

FERNANDO LÓPEZ RESTREPO

أنا طالب دراسات عليا ولدي شغف بالعالم من حولنا وبجميع سكانه. ولدي خلفية عن دراسة النظم اليوماوي والإجهاد البيئي وتفاعلات الكائنات الحية. لقد بدأ اهتمامي بالعلوم والأحياء من خلال القراءة عن الحيوانات التي نتشارك العالم معها، ولم يرتوِ عطشي للمعرفة منذ ذلك الحين. كما أنني شغوف بالتاريخ والموسيقى والتصميم.
*fernando.lopez.r@cinvestav.mx

DIEGO GARFIAS GALLEGOS

أنا أحد عشاق الفن منذ الوقت الذي دفعتني فيه ألحان باخ وشوبان إلى اكتشاف أن ثمة أسئلة جديرة بالطرح وإجابات من الأفضل التعامل معها بوجهات نظر مختلفة. كما أنني مهووس بالعوالم الخيالية وغير المرئية مثل العوالم التي صوّرها تولكين أو برادبري وما يدفعني في النهاية إلى البحث عن إجابات في العلوم، هو أن ثمة عوالم كاملة تنتظر من يكتشفها.

PABLO DE JESÚS SUAREZ MOO

أنا حاليًا أستاذ مشارك في معهد البيئة بالمكسيك حيث أدرس دور الكائنات الحية الدقيقة (الميكروبات) في سلامة النباتات والحيوانات. وعندما بدأت دراسة علم الأحياء، كان اهتمامي البحثي منصبًا على بيولوجيا أسماء القرش (فأسماك القرش رائعة للغاية)، ولكنني الآن مهتم بالعالم المجهري (الفطريات والبكتيريا في المقام الأول) وبارتباطك (تكافلك) مع النباتات والحيوانات. ومع التقنيات الحديثة، نكتشف خصائص للكائنات الحية الدقيقة مفيدة لمضيفيها (وهذا أمر رائع للغاية!).

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology