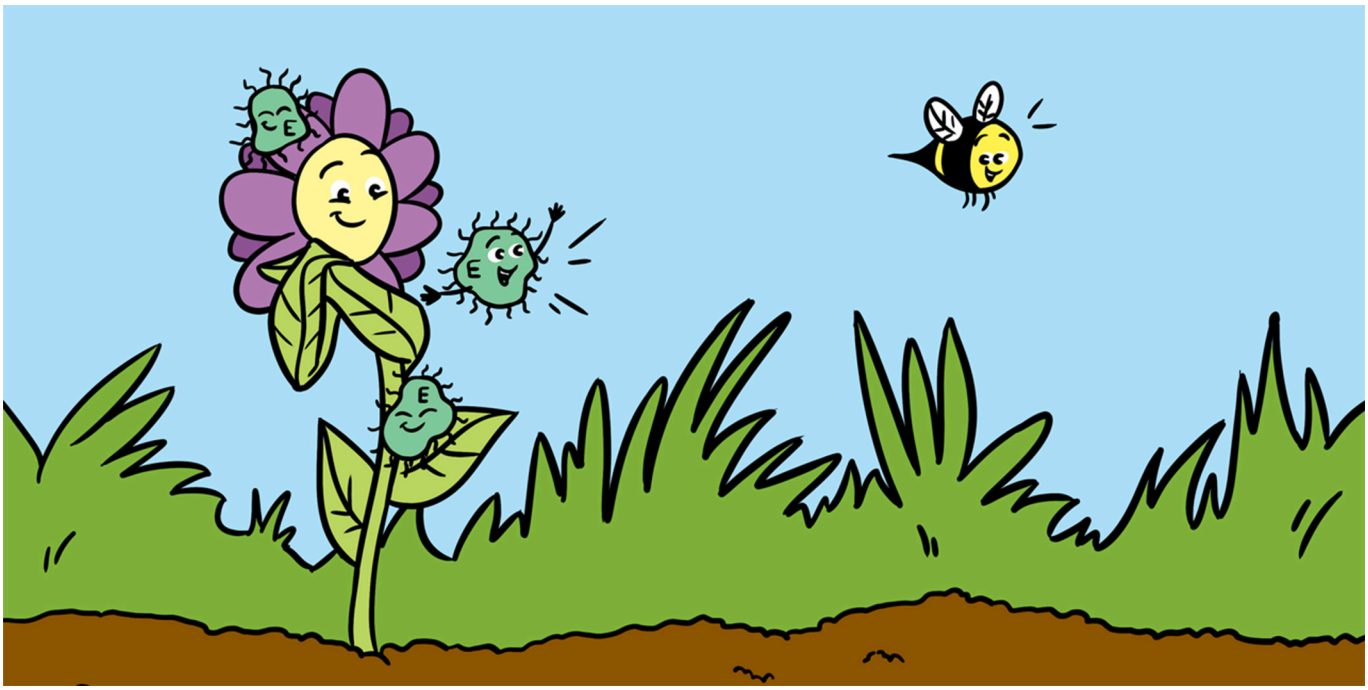
التنوع الحيوي
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 28 نوفمبر 2024
doi: 10.3389/frym.2019.00011-ar



النوابيت الداخلية (الميكروبات المساعدة المختبئة داخل النباتات): التعرّف عليها وبعض استخداماتها في الوقت الحالي

***Rosario del Carmen Flores-Vallejo*[1*], *Jorge Luis Folch-Mallol*[2], *Ashutosh Sharma*[3], *Alexandre Toshirrico Cardoso-Taketa*[1] و *María Luisa Villarreal*[1*]**

[1]مختبر أبحاث النباتات الطبية، مركز أبحاث التكنولوجيا البيولوجية، الجامعة المستقلة في ولاية موريلوس، كويرنافاكا، المكسيك

[2]مختبر البيولوجيا الجزيئية للفطريات، مركز أبحاث التكنولوجيا البيولوجية، الجامعة المستقلة في ولاية موريلوس، كويرنافاكا، المكسيك

[3]كلية الهندسة والعلوم، جامعة مونتيري للتكنولوجيا، سانتياغو دي كويريتارو، المكسيك

الميكروبات كائنات حية دقيقة يمكن العثور عليها في كل مكان، والنوابيت الداخلية هي الميكروبات التي تعيش داخل النباتات السليمة. وتعيش النباتات مع النوابيت الداخلية في علاقة تكافل، ما يعني أنها تتعاون معًا لمساعدة بعضها البعض. فالنباتات توفر المأوى والغذاء لضيوفها من الميكروبات التي تزودها في المقابل بالمواد الكيميائية لمساعدتها على النمو بسرعة أكبر أو مقاومة الجفاف أو التصدي للكائنات آكلة النباتات. ويهتم العلماء كثيرًا بدراسة المواد الكيميائية التي تنتجها النوابيت الداخلية لأنه من الممكن استخدامها لتصنيع الأدوية والمنتجات الزراعية الجديدة. في هذا المقال، سنتعرّف على التفاعلات بين النباتات والنوابيت الداخلية ونجيب عن الأسئلة التالية بخصوصها. كيف يختار العلماء نباتًا مضيفًا ويستخرجون منه

المراجعون الصغار

ALAN
العمر: 13

MARIANA
العمر: 14

النوابيت الداخلية؟ وكيف يمكن أن تساعدنا دراسة النوابيت الداخلية في حياتنا اليومية؟ وما أنواع النوابيت الداخلية التي تم عزلها عن النباتات في المكسيك؟

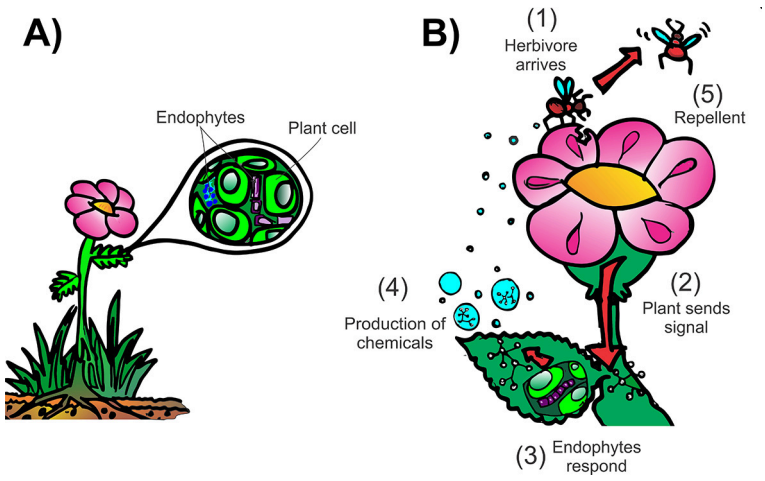
النباتات والميكروبات المساعدة المختبئة داخلها (النوابيت الداخلية)

النباتات كائنات حية لا تستطيع التحرك للهروب من الحيوانات أو الحشرات التي تريد التهامها (آكلات العشب)، على عكس أنواع الكائنات الحية الأخرى. فكيف تواجه النباتات عجزها عن الحركة لمواصلة البقاء على قيد الحياة؟ منذ العصور القديمة، تطورت النباتات جنبًا إلى جنب مع الميكروبات، وهي كائنات حية دقيقة لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة. وهذا التعاون مع الميكروبات من الاستراتيجيات التي ساعدت النباتات على التكيف والبقاء على قيد الحياة والنمو [1]. النوابيت الداخلية هي الميكروبات التي تعيش داخل الأنسجة السليمة للنباتات دون أن تسبب لها المرض، وتُسمى بالإنجليزية endophyte (هذه الكلمة مشتقة من الكلمتين اللاتينيتين: "*endo*" أي "داخل" و"*phyton*" أي "النبات").

تشمل أمثلة النوابيت الداخلية الفطريات والبكتيريا، بل والفيروسات. وتتعاون النوابيت الداخلية مع النباتات المضيفة لها في علاقة تكافل، أي أن كلاهما يحصلان على منافع من علاقتهما. فالنباتات ترسل إشارات إلى النوابيت الداخلية لتحذيرها في حال تعرضها لهجوم من آكلات العشب. وفي المقابل، تساعد النوابيت الداخلية في إطلاق مواد كيميائية تستخدمها النباتات المضيفة في ردع آكلات العشب ومنعها من التهامها. يمكن أن تساعد النوابيت الداخلية أيضًا في إنتاج أنواع أخرى من المواد الكيميائية المفيدة (الشكل 1). ومن أمثلتها المواد الكيميائية التي: (1) تجذب ناقلات حبوب اللقاح، مثل النحل والخفافيش؛ و(2) تساعد نباتاتها المضيفة في النمو بسرعة أكبر وامتصاص المغذيات من التربة بسهولة أكثر؛ و(3) تجعل نباتاتها المضيفة مقاومة للجفاف وظروف الطقس القاسية؛ و(4) تكافح عدوى وأمراض النباتات.

التكافل (SYMBIOSIS)

علاقة طويلة الأمد تتبادل فيها الكائنات الحية المنافع.



شكل 1

تتعاون النباتات والنوابيت الداخلية معًا في علاقة تكافل. **(A)** تعيش النوابيت داخل أنسجة النباتات المضيفة التي تمدها بالمأوى والغذاء. **(B)** مثال على دور النوابيت الداخلية في حماية النباتات المضيفة لها. **(1)** يهاجم آكل العشب النبات؛ **(2)** يرسل النبات إشارات لتحذير النوابيت من الهجوم؛ **(3)** تستجيب النوابيت الداخلية لإشارات النبات وتساعد في إنتاج مواد كيميائية؛ **(4)** يفرز النبات المواد الكيميائية التي تصل إلى الحيوان؛ **(5)** يتم صدّ الحيوان بواسطة المواد الكيميائية التي تم إنتاجها بمساعدة النوابيت الداخلية.

في مقابل تلك الخدمات، توفر النباتات المأوى والغذاء للنوابيت الداخلية، ما يساعدها في التكاثر ويتيح لها فرصة للانتقال إلى نباتات جديدة من خلال بذور النباتات المضيفة لها [1].

قد تتساءل الآن عن كيفية دخول النوابيت إلى النباتات. تمتلك النباتات جهاز مناعة يحميها في العادة من أي شيء يحاول اجتياح خلاياها، بما في ذلك الميكروبات التي توجد عادةً على السطح الخارجي للنبات، واسمها النوابيت البرانية. في ظل ظروف معينة، عندما يضعف الجهاز المناعي للنبات، تستغل النوابيت البرانية الفرصة وتدخل إلى النبات من خلال الجروح الموجودة على الجذور أو الأوراق. وعندما تصل هذه الميكروبات إلى داخل النبات، يتمكن بعضها من التعايش مع الجهاز المناعي للنبات دون التسبب في أي أعراض مرضية وتصبح تلك الميكروبات نوابيت داخلية، ولكن بعض الميكروبات الأخرى تُمرض النبات، وهي التي تُعرف باسم مسببات الأمراض النباتية [1].

النوابيت البرانية (EPIPHYTES)
ميكروبات تعيش على سطح النباتات.

مسببات الأمراض النباتية (PHYTOPATHOGENS)
ميكروبات تسبب المرض للنباتات.

كيف يمكن أن تساعدنا النوابيت الداخلية في حياتنا اليومية؟

بدأ العلماء الاهتمام أكثر بدراسة النوابيت الداخلية عندما أثبتت مجموعة علماء أن تلك النوابيت قادرة على تصنيع مواد كيميائية كنا نعتقد في البداية أنها من إنتاج النباتات. واكتشفت هذه المجموعة قدرة نابوت داخلي على إنتاج مادة كيميائية اسمها باكليتاكسيل (تاكسول) وتُستخدم في علاج السرطان. يتم الحصول على هذه المادة الكيميائية بشكل رئيسي من لحاء شجرة الطقسوس الباسيفيكي (*تاكسوس بريفيفوليا*). ولاستخراج ما يكفي من هذه المادة الكيميائية لعلاج مرضى سرطان الثدي والمبيض لمدة عام، يجب قطع ما متوسطه 270.000 شجرة ناضجة (أي عمرها 100 عام) تقريبًا، مما يؤثر سلبيًا على أعداد هذه الأشجار القليلة بالفعل [2]. ومعنى اكتشاف قدرة النوابيت الداخلية على إنتاج مادة باكليتاكسيل أن هناك طريقة مجدية لإنتاجها باستخدام الكائنات الحية الدقيقة دون الإضرار ببقاء شجرة الطقسوس الباسيفيكي على قيد الحياة. وشجّع هذا الاكتشاف العلماء أيضًا على استكشاف الميكروبات التي تعيش داخل النباتات من أجل "اصطياد" أنواع (غير معروفة حتى الآن) يمكنها إنتاج مواد كيميائية مهمة قد تفيد البشرية.

عند دراسة النوابيت الداخلية، يمكن أن نحصل على مجموعة متنوعة من التكنولوجيات البيولوجية التي قد تساعدنا في حياتنا اليومية. على سبيل المثال فيما يلي: (1) تطوير أدوية جديدة والتوصل إلى طرق لتصنيعها؛ و(2) إنتاج منتجات تقاوم الظروف القاسية لدرجات الحرارة أو التآكل؛ و(3) اكتشاف طرق جديدة لتطهير المناطق الملوثة؛ و(4) تصنيع منتجات تتيح نمو المحاصيل باستخدام كميات أقل من الأسمدة والمياه و(5) اكتشاف طرق صديقة للبيئة لمكافحة آكلات العشب المزعجة أو أمراض النباتات بطرق أكثر استدامة.

التكنولوجيات البيولوجية (BIOTECHNOLOGIES)
منتجات وخدمات يتم تصنيعها من الكائنات الحية أو أجزائها.

البحث عن النوابيت الداخلية

تعيش النوابيت الداخلية في كل أنواع النباتات، فقد تم العثور عليها في نباتات بحرية مثل الطحالب الخضراء ونباتات برية مثل الهندباء البرية التي تنمو على جوانب الطرق. ويمكن أن تعيش هذه النوابيت داخل نباتات تنتمي إلى أماكن مرتفعة الحرارة وقليلة المياه، مثل الصبار أو أشجار النخيل الاستوائية وأشجار المانجروف الساحلية أو في السراخس والطحالب بمنطقة القطب الجنوبي الباردة [3]. وإذا كانت النوابيت الداخلية متواجدة بكل النباتات، فكيف يمكننا اختيار النبات الجدير بالدراسة من هذه الناحية؟

يحتوي كل نبات على نابوت داخلي مهم واحد على الأقل، ولكن أهمية النابوت الداخلي تعتمد على الوظيفة التي يؤديها في النبات والفوائد التي يوفرها (على سبيل المثال، مساعدة النبات على مقاومة الجفاف). ترتبط بعض النوابيت الداخلية ارتباطًا وثيقًا للغاية بالنبات المضيف لها وتؤدي دورًا في عمليات مختلفة مهمة لبقاء النبات على قيد الحياة. ولدراسة النشاط البيولوجي الذي تقوم به النوابيت داخل نباتها، علينا أولاً اختيار نوع من النباتات.

هناك طرق مختلفة لاختيار النباتات بهدف دراسة النوابيت الداخلية بها. ويعتمد اختيار النبات على عدة معايير تبدأ من الاختيار العشوائي لعدد من النباتات المختلفة في نظام بيئي، على أمل العثور على شيء مفيد. أو قد يعتمد الاختيار على خواص معينة للنبات للعثور على المواد الكيميائية ذات النشاط البيولوجي المهم (التنقيب البيولوجي). وهذا الأساس للاختيار يرجع إلى شكل النبات المعين و/أو العمر و/أو الكوة البيئية و/أو الوضع البيئي و/أو التاريخ العرقي النباتي (الاستخدامات الطبية) [3]. وعند تطبيق هذه الأسس بهدف اختيار نبات معين ودراسة النوابيت داخله، يمكن للباحثين اقتراح تجارب مهمة لاختبار مسألتهم البحثية (على سبيل المثال، اختبار إذا كانت النوابيت داخل النباتات الصحراوية تنتج مواد كيميائية تساعد نباتها المضيف على مقاومة الجفاف). والمسألة البحثية هي ما توجّه عملية الاكتشاف العلمية بأكملها وتساعد العلماء على شرح وظائف النوابيت داخل النبات المضيف وفهم قدرتها على إنتاج مواد كيميائية ذات نشاط بيولوجي محدد.

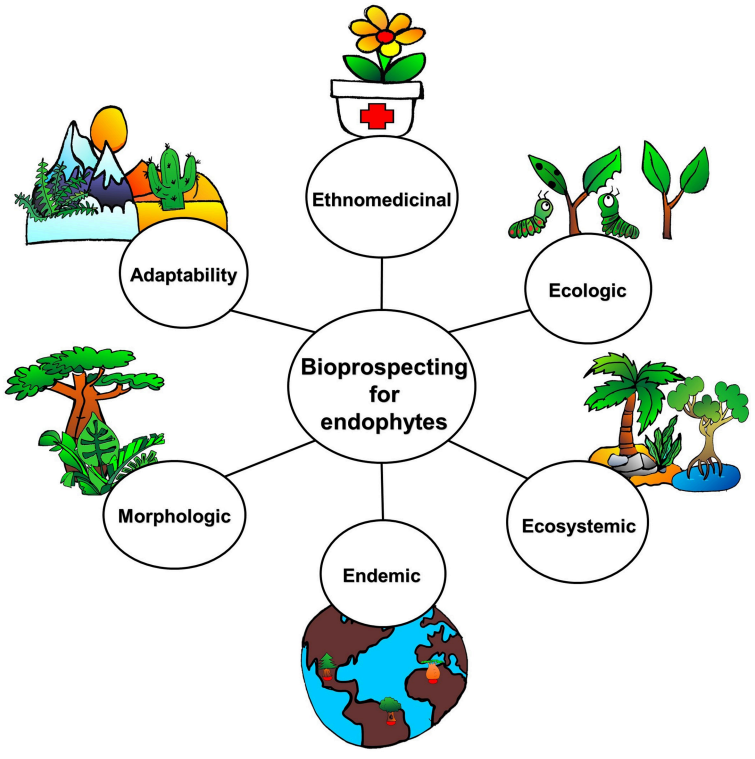
ثمة أسس مختلفة للاختيار يعتمد عليها العلماء لاختيار نبات معين والتنقيب البيولوجي عن النوابيت الداخلية به [3]. على سبيل المثال، اتبع مكتشفو النابوت الداخلي المفرز لمادة باكليتاكسيل *أساسًا عرقيًا طبيًا* واختاروا نباتًا له استخدامات طبية معروفة. وفي حالتهم، كان النبات معروفًا باستخدامه في علاج أعراض شبيهة بالسرطان (بسبب وجود مادة باكليتاكسيل في لحائه). يمكن أن يستخدم علماء آخرون *أساسًا إيكولوجيًا* من خلال اختيار نباتات تظل سليمة حتى عندما تكون النباتات المجاورة لها مريضة أو يتم الهجوم عليها من آكلات العشب. وقد تحتوي هذه النباتات على نوابيت داخلية يمكنها إنتاج مواد كيميائية قادرة على ردع الحشرات أو البكتيريا.

النظام البيئي (ECOSYSTEM)
مجتمع كائنات حية والمكان الذي تتفاعل فيه.

التنقيب البيولوجي (BIOPROSPECTING)
دراسة الطبيعة للبحث عن مواد كيميائية مهمة في مجال التكنولوجيات البيولوجية.

الكوة البيئية (ECOLOGICAL NICHE)
المكان المحدد والوظيفة المعينة للكائن الحي داخل نظامه البيئي.

من الأسس الأخرى لاختيار النباتات بهدف دراستها خاصية *التكيف*، أي اختيار نباتات تعيش في بيئات قاسية أو فريدة مثل الصحراء أو بالقرب من البراكين أو في الطقس شديد البرودة. وقد تحتوي هذه النباتات على نوابيت داخلية تساعدها على مقاومة هذه الظروف القاسية أو التكيف معها. على الجانب الآخر، عند استخدام *أساس النظام البيئي*، يختار العلماء النباتات التي تعيش في أنظمة بيئية شديدة التنوع البيولوجي. ومما يثير الاهتمام أن النباتات التي تنمو في المناطق الاستوائية أو شبه الاستوائية حيث تتعدد أنواع النباتات تتميز بتنوع أكبر في النوابيت الداخلية، مقارنةً بتلك النباتات التي تنمو في الأنظمة البيئية ذات التنوع النباتي الأقل [3]. أما *الأساس الشكلي*، فيعتمد عليه العلماء لاختيار النباتات ذات الخواص المادية غير الشائعة، مثل شكل الأوراق أو الجذع أو وجود بنى فريدة. وآخر أساس هو *التوطّن*، ويتم فيه اختيار النباتات الأصلية في منطقة معينة أو النباتات التي تعيش لفترة طويلة جدًا، على سبيل المثال "شجرة تولي" المكسيكية (*تاكسوديوم ميكروناتوم*) في أوخاكا أو شجرة ياكشي (*سيبا بيتاندرا*) في يوكاتان. ويمكن أن تحتوي هذه النباتات على نوابيت داخلية تساعد في إبطاء التقدّم في العمر (الشكل 2).



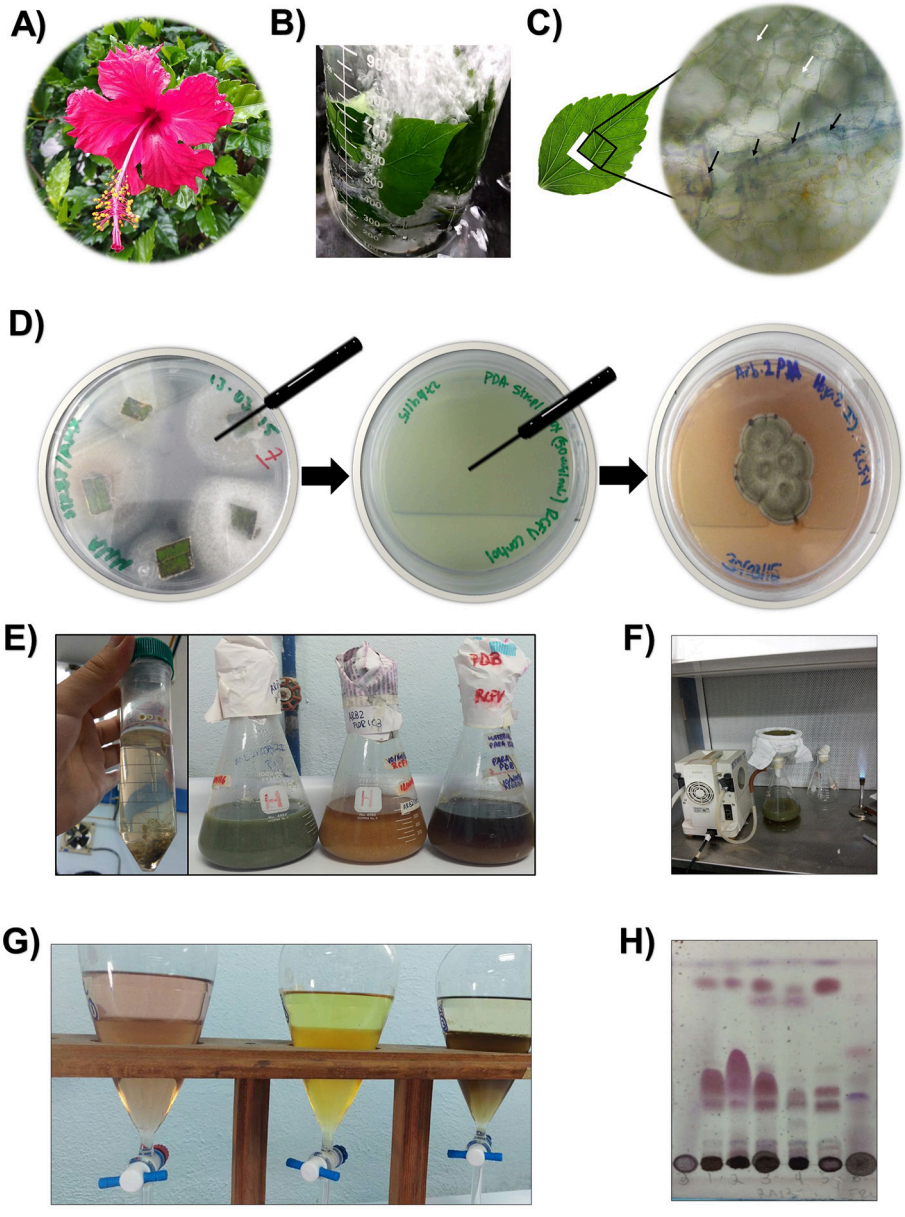
شكل 2

شكل 2

التنقيب البيولوجي عن النوابيت الداخلية: الأسس المتبعة لاختيار نبات محدد للبحث عن النوابيت الداخلية ذات الأنشطة البيولوجية المهمة:
(1) الطب العرقي: النباتات المسجّل استخداماتها الطبية؛
(2) الإيكولوجيا: النباتات التي تقاوم الأمراض وهجوم آكلات العشب؛
(3) النظام البيئي: النباتات الموجودة في البيئات (الموائل) ذات التنوع البيولوجي الكبير؛
(4) التوطّن: النباتات الأصلية والمعمّرة في منطقة معيّنة؛
(5) الشكل: النباتات ذات الخصائص المادية غير الشائعة؛
(6) التكيف: النباتات التي تنمو في الظروف القاسية

كيف يمكننا استخراج النوابيت الداخلية من النباتات؟

تتعدد خطوات استخراج النوابيت الداخلية من النباتات وزراعتها في المختبر. لاحظ في الشكل 3 أننا اخترنا نباتًا معروفًا في المكسيك باسم "توليبان موتيادو" (*هيبيسكوس روزا سينينسيس*).



شكل 3

شكل 3

كيف يمكننا استخراج النوابيت الداخلية من النباتات؟ **(A)** اختر نباتًا. **(B)** طهّر أسطح أنسجة النبات. **(C)** استأصل الأنسجة المطهّرة. في هذا اللوح، يتم تمييز خلايا النوابيت الداخلية الفطرية بصبغة الأنيلين الأزرق (الأسهم الداكنة) وتراها تعيش بين خلايا النبات (الأسهم البيضاء). **(D)** ضع الأنسجة على أطباق آجار حتى تخرج النوابيت الداخلية من أنسجة النبات، ثم اعزل النوابيت وازرعها على أطباق آجار أخرى. **(E)** تُزرع النوابيت الداخلية في مفاعلات بيولوجية حيث يمكن أن تنمو في مرق سائل وتحوّل العناصر الغذائية إلى مواد كيميائية أخرى. **(F)** قم بتصفية المرق لفصل الخلايا الميكروبية عنه. **(G)** استخرج المواد الكيميائية من المرق. **(H)** تُستخدم إجراءات مختلفة لتحديد المواد الكيميائية التي تنتجها النوابيت الداخلية. وهنا يمكنك ملاحظة مواد كيميائية معروفة باسم التيربينات (الأشرطة الأرجوانية) ولها خواص بيولوجية مختلفة.

جمعنا بعض النباتات السليمة وغسلنا سطح أنسجة النباتات، مثل الأوراق، بمواد مطهرة مختلفة. وبعد ذلك، تم تقطيع أنسجة النباتات ووضع الأجزاء في أطباق تحتوي على الآجار (مادة هلامية تشتمل على عناصر غذائية وماء)، لمساعدة النوابيت على النمو والخروج من أنسجة النباتات. تضمنت عملية التطهير الموثوقة خطوة

نهائية للتأكّد من إزالة النوابيت البرانية التي تعيش على السطح من أنسجة النبات، وذلك حتى لا تتسلل إلى الدراسة. ثم استُخرجت النوابيت الداخلية من أطباق الآجار وزُرعت داخل حاويات أكبر مليئة بمرق غني بالعناصر الغذائية، وتُسمى هذه الحاويات أيضًا المفاعلات البيولوجية، وفيها تحوّل النوابيت الداخلية العناصر الغذائية إلى مواد كيميائية أخرى.

المفاعلات البيولوجية (BIOREACTORS)

أوعية تحتوي على عناصر غذائية وتنمو فيها الكائنات الحية وتنتج المواد الكيميائية.

في النهاية، فُصلت النوابيت الداخلية عن المرق واستُخلصت المواد الكيميائية منه حتى يتمكن العلماء من دراسة هوية وطبيعة المواد الكيميائية واستخداماتها المحتملة (الشكل 3).

وتجدر الإشارة إلى أنه حتى وقتنا الحالي، تتراوح نسبة الميكروبات الموجودة في نظام بيئي والتي يمكن زراعتها في المختبر بين 1 و10% فقط، بينما لم يتم التعرّف بعد على حوالي 0.9 مليون من الفطريات والبكتيريا [3]. وإذا كان هذا القدر الهائل من الميكروبات (بما فيها النوابيت الداخلية) غير قابل للزراعة في المختبر، فكيف يمكننا دراستها؟ في هذه الحالات، غالبًا ما يستخرج العلماء الحمض النووي الرِيبي منقوص الأكسجين (DNA) الميكروبي الذي يتم العثور عليه داخل النباتات، ثم يبحثوا عن أجزاء محددة من الحمض لا تتغير كثيرًا بمرور الوقت. ويمكن استخدام هذه الأجزاء كـ "رمز شريطي" (باركود) لميكروب معين تتم مقارنته بسجل رموز شريطية على الكمبيوتر، مما يساعد الباحثين في التعرف على أغلب النوابيت الداخلية التي لا يمكن زراعتها وتكوين نطاق أكثر تكاملاً للتنوع البيولوجي للميكروبات التي تسكن النباتات.

النوابيت الداخلية في النباتات التي تنمو في المكسيك

اكتشفت مجموعات مختلفة من العلماء نوابيت داخلية في نباتات تنمو في المكسيك، ووجدوا أن تلك النوابيت يمكن استخدامها لتصنيع أدوية وإنتاج منتجات غذائية أو تجميلية معينة. وفيما يلي بعض الأمثلة الشيّقة لهذه الاكتشافات.

يحتوي النبات الطبي المعروف باسم "كوبالتشي" (*هينتونيا لاتيفلورا*) على نابوت داخلي ينتج المواد الكيميائية التي يمكن استخدامها في علاج مرض السكري [4]. وفي أنواع أخرى من النباتات الطبية، مثل "الجراندیلا" (*كاليكاريا أكومیناتا*) وشجرة "الكوبال" (*بورسيرا سيماروبا*)، وجد العلماء نوابيت داخلية تنتج المواد الكيميائية التي يمكنها القضاء على الأعشاب الضارة ومكافحة الفطريات المسببة لأمراض النباتات [4]. تم أيضًا العثور على نوابيت داخلية في الشجرة الطبية "كواشالالات" (*أمفيتريجيوم أدسترينجينس*) ويمكن استخدام هذه النوابيت في إنتاج المواد الكيميائية المعالجة للسرطان أو العدوى البكتيرية لدى البشر [5]. واكتشف العلماء في النبات الطبي "مانو دي أوسو" (*ديندروباناكس أربوريوس*) نوابيت داخلية يمكنها إنتاج مواد كيميائية تحارب الميكروبات الضارة التي تمرض البشر [6].

تمت أيضًا دراسة النوابيت الداخلية في النباتات التي يتناولها المكسيكيون في وجباتهم اليومية. على سبيل المثال، درس العلماء النوابيت الداخلية التي تعيش في "التوماتيلو" (*فيزاليس إكزوكاربا*) [7]، والذي يُستخدم لإعداد صلصات لذيذة. واهتم العلماء الذين درسوا نبات القهوة (*كوفي أرابيكا*) الذي ينمو في فيراكروز ببحث ما إذا كانت الظروف البيئية تؤثر في عدد أو نوع النوابيت الداخلية التي تعيش في النبات. ووجدوا أن تنوع النوابيت الداخلية ومجتمعاتها داخل نبات القهوة قد يرجع في الأساس إلى المنطقة التي ينمو فيها النبات [8].

أخيرًا وليس آخرًا، اكتشفت مجموعة من العلماء بعض النوابيت الداخلية في نباتات الذرة والتي يتم استخدامها في صناعة خبز "التورتيلا" [9]. ويمكن أن تساعد هذه النوابيت الداخلية النباتات في امتصاص العناصر الغذائية الضرورية بسهولة أكبر، ما يعاون النباتات على النمو حتى في وجود كميات قليلة من الأسمدة.

في هذا المقال، تعرّفت على النوابيت الداخلية، تلك الميكروبات المساعدة المختبئة داخل النباتات. وبطبيعة الحال ما زال هناك الكثير من النوابيت الداخلية التي لم تُكتشف بعد. فهل أنت مستعد لقبول التحدي والانضمام إلى صائدي النوابيت الداخلية الماهرين؟

شكر وتقدير

تلقى هذا البحث دعمًا من المجلس الوطني للعلوم والتكنولوجيا (CONACyT) من خلال مِنح العلوم الأساسية [رقم 386198] المقدّمة إلى MLV ومنحة الدراسات العليا المقدّمة إلى RCFV [رقم 222714]. وهذا المنتج جزء من أطروحة ماجستير العلوم التي أعدتها RCFV.

المراجع

1. Zhang, H. W., Song, Y. C., and Tan, R. X. 2006. Biology and chemistry of endophytes. *Nat. Prod. Rep.* 23:753–71. doi: 10.1039/b609472b
2. Stierle, A., Strobel, G., Stierle, D., Grothaus, P., and Bignami, G. 1995. The search for a taxol-producing microorganism among the endophytic fungi of the Pacific yew, *Taxus brevifolia*. *J. Nat. Prod.* 58:1315–24. doi: 10.1139/w02-023
3. Strobel, G., and Daisy, B. 2003. Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 67:491–502. doi: 10.1128/MMBR.67.4.491-502.2003
4. Mata, R., Figueroa, M., Rivero, I., and Macías, M. L. 2018. Insights in fungal bioprospecting in Mexico. *Planta Med.* 84:594–605. doi: 10.1055/s-0044-101551
5. Centeno-Leija, S., Vinuesa, P., Rodríguez-Peña, K., Trenado-Uribe, M., Cárdenas-Conejo, Y., Serrano-Posada, H., et al. 2016. Draft genome sequence of an endophytic *Actinoplanes* species, encoding uncommon trans- acyltransferase polyketide synthases. *Genome Announc.* 4:e00164-16. doi: 10.1128/genomeA.00164-16

6. Ramos-Garza, J., Rodríguez-Tovar, A. V., Flores-Cotera, L. B., Rivera-Orduña, F. N., Vásquez-Murrieta, M. S., Ponce-Mendoza, A., et al. 2016. Diversity of fungal endophytes from the medicinal plant *Dendropanax arboreus* in a protected area of Mexico. *Ann. Microbiol.* 66:991–1002. doi: 10.1007/s13213-015-1184-0
7. Marquez-Santacruz, H. A., Hernandez-Leon, R., Orozco-Mosqueda, M. C., Velazquez-Sepulveda, I., and Santoyo, G. 2010. Diversity of bacterial endophytes in roots of Mexican husk tomato plants (*Physalis ixocarpa*) and their detection in the rhizosphere. *Gen. Mol. Res.* 9:2372–80. doi: 10.4238/vol9-4gmr921
8. Saucedo-García, A., Anaya, A. L., Espinosa-García, F. J., and González, M. C. 2014. Diversity and communities of foliar endophytic fungi from different agroecosystems of *Coffea arabica* L. in two regions of Veracruz, Mexico. *PLoS ONE* 9:e98454. doi: 10.1371/journal.pone.0098454
9. Estrada, P., Mavingui, P., Cournoyer, B., Fontaine, F., Balandreau, J., and Caballero-Mellado, J. 2002. A N2-fixing endophytic Burkholderia sp. associated with maize plants cultivated in Mexico. *Can. J. Microbiol.* 48: 285–94. doi: 10.1139/w02-023

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 28 نوفمبر 2024

المحرر: Francisco Barona-Gomez

مرشدو العلوم: Cesar Aguilar Martinez

الاقتباس: Flores-Vallejo RdC, Folch-Mallol JL, Sharma A, Villarreal ML و Cardoso-Taketa AT (2024) النوابيت الداخلية (الميكروبات المساعدة المختبئة داخل النباتات): التعرّف عليها وبعض استخداماتها في الوقت الحالي. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2019.00011-ar

مُترجَم ومقتبس من: Flores-Vallejo RdC, Folch-Mallol JL, Sharma A, Cardoso-Taketa AT and Villarreal ML (2019) Hidden Microbial Helpers Living Inside Plants: Getting to Know Endophytes and Some of Their Applications in Our Daily Lives. Front. Young Minds 7:11. doi: 10.3389/frym.2019.00011

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 © 2019 © Flores-Vallejo, Folch-Mallol, Sharma, 2024 Villarreal و Cardoso-Taketa. 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

ALAN، العمر: 13
أدرس حاليًا في الصف الثاني الثانوي. أتمتع بشدة الملاحظة ولديّ ذاكرة قوية جدًا وأهتم كثيرًا بالتكنولوجيا وألعاب الفيديو. تهمني كذلك الحيوانات البحرية وعالم البكتيريا. أودّ دراسة الطب لأني منبهر بوظائف الجسم البشري وأريد مساعدة الآخرين.

MARIANA، العمر: 14
أنا طالبة من جواناخواتو في المكسيك وألعب الإسكواش لصالح فريق الإسكواش الوطني للناشئين، كما أنني متطوعة في نادي ليونز في جواناخواتو. تتكوّن أسرتي من أمي وأبي وأخويّ. ولديّ حيوانان أليفان رائعان، أحدهما اسمه "هان سولو" والآخر اسمه "إسكواش".

المؤلفون

ROSARIO DEL CARMEN FLORES-VALLEJO
منذ صغري، وأنا متلهفة لطرح الكثير من الأسئلة ووجدت في دراسة الكيمياء والأحياء أجوبة مدهشة ومبهرة للغاية. وقد شجعني ذلك لاحقًا على دراسة هندسة التكنولوجيا البيولوجية. أعمل حاليًا في وظيفة مساعد باحث وأواصل سعي وراء الإجابات من خلال استكشاف منظومة الميكروبات التي تعيش داخل النباتات. أطمح لتسخير معرفتي بالتفاعلات الجزيئية بين النباتات والميكروبات لابتكار منتجات طبيعية جديدة تحارب الأمراض المسببة للالتهابات والبكتيريا المقاومة للأدوية. في أوقات فراغي، أمارس أنشطتي المفضلة وهي الرسم والتصوير الفوتوغرافي وركوب الدراجة. *rosario.floresv@uaem.edu.mx

JORGE LUIS FOLCH-MALLOL
عندما كنت طفلاً، أنشأت حديقة صغيرة للحشرات في منزلي بسبب رعب النساء في عائلتي. وضمّت الحديقة فرس النبي (السرعوف) وخنفساء الروث وحشرة العصا وغيرها، كما كان لدي ثعبان مائي صغير. درست بطبيعة الحال علم الأحياء وأصبحت مهتمًا كثيرًا بالفطر (أو الفطريات). أدهشتني هذه الكائنات الحية كثيرًا لأنها لا تستطيع التحرك، لذا إذا هاجمها أسد، فلن تتمكن من الهروب مثل الحمير الوحشية أو الظباء. إذًا، كيف تستطيع البقاء على قيد الحياة على الرغم من وجود الكثير من الحيوانات المفترسة حولها؟ في النهاية، تحولت إلى عالم المختبرات وكرست جهودي لدراسة عدة جوانب من الفطريات.

ALEXANDRE CARDOSO-TAKETA
أنا حاليًا باحث في مختبر النباتات الطبية في الجامعة المستقلة في ولاية موريلوس. أركز في أبحاثي على النباتات الطبية المستخدمة في الطب الشعبي المكسيكي، ومنها السراخس ذات الخصائص الدوائية العصبية. أهتم أيضًا بتقنيات مثل الرنين المغناطيسي النووي (NMR) وتقنية الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء (UPLC)/الكروماتوغرافيا الغازية مع مطياف الكتلة (GC-MS) وكروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة عالية الأداء (HTPLC) لتحليل عمليات التمثيل الغذائي التي تقوم بها النباتات. أسعد كثيرًا باكتشاف جزيئات جديدة يمكنها تحسين

حياة البشر. وفي وقت فراغي أحب الطهي، حيث أمزج النكهات من الثقافتين البرازيلية واليابانية اللتين أحملهما في دمائي مع النكهات المكسيكية القوية.

MARIA LUISA VILLARREAL
بدأ اهتمامي بعلم الأحياء منذ أن كنت بعمر السادسة عندما أراني والدي جمال الكائنات الحية تحت المجهر. درست علم الأحياء وتخصصت في التكنولوجيا البيولوجية، حيث أبحث عن أدوات فعلية يمكنها تحسين جودة الحياة. أركز على النباتات وأدرس عمليات تمثيلها الغذائي الثانوية المذهلة والمهمة بهدف استخدامها لصالح صحة البشر. توليت على مدار 25 عامًا إدارة مجموعة بحثية في الجامعة المستقلة في ولاية موريلوس، تمكنت من اكتشاف جزيئات مهمة مستخلصة من النباتات الطبية المكسيكية ولها فائدة دوائية. أحب السفر في أوقات فراغي.
*luisav@uaem.mx

ASHUTOSH SHARMA
نشأت في لاتيبور في الهند. مُنحت زمالة وحصلت على درجة الدكتوراة في المكسيك حيث درست النباتات الطبية المُستخدمة في علاج الاضطرابات العصبية. أصبحت عالمًا وأستاذًا متفرغًا متخصصًا في مجالات التكنولوجيا البيولوجية للنباتات وعلم النبات العرقي والمعلوماتية البيولوجية وعلم الجينوم وعلم التمثيل الغذائي. وحاليًا أشغل منصب المدير الإقليمي لقسم الهندسة البيولوجية في جامعة مونتيري للتكنولوجيا في كويريتارو. أتحدث الكثير من اللغات بطلاقة وفي وقت فراغي أحب صيد الأسماك وقضاء الوقت مع أسرتي.

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

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