التنوع البيولوجي
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 31 ديسمبر 2025
doi: 10.3389/frym.2024.1337067-ar

الحياة بالطاقة الشمسية: كيف تنتج النباتات والكائنات الحية الأخرى طعامها؟

Lina Aragón * **و *Kenneth J. Feeley***
قسم الأحياء، جامعة ميامي، كورال جابلز، فلوريدا، الولايات المتحدة الأمريكية

يمكن لبعض الكائنات الحية إنتاج طعامها من خلال عملية اسمها التمثيل الضوئي، وفيها يتم تحويل الطاقة الضوئية وثاني أكسيد الكربون والمياه إلى سكريات تساعدها على النمو جسديًّا والتكاثر، كما يمكن أن تكون هذه العملية مصدرًا للطاقة للكائنات الحية الأخرى. من خلال دراسة عملية التمثيل الضوئي في الطبيعة والمختبر، حصل العلماء على معلومات مهمة حول آثار تغيّر المناخ على النباتات والكائنات الحية الأخرى التي تقوم بهذه العملية. على سبيل المثال، تساعد هذه الدراسات العلماء على فهم ما إذا كان الطعام سيظل متوفرًا بما فيه الكفاية لإطعام البشر مع تغيّر المناخ. في هذه المقالة، سنناقش أهمية الكائنات الحية التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي وكيف يتم تحويل الطاقة الضوئية وثاني أكسيد الكربون والمياه إلى سكر أثناء هذه العملية والتحديات التي تواجهها النباتات البرية حاليًا وكيف ولماذا يقيس العلماء التمثيل الضوئي في النباتات.

المراجعون الصغار

ANAGHA
العمر: 9

ANVITHA
العمر: 12

ERIC
العمر: 11

SRINIKA
العمر: 12

إنتاج السكر من خلال ضوء الشمس

تمنح السكريات جميع الكائنات الحية الطاقة اللازمة للحركة والنمو والتكاثر. تحصل بعض الكائنات الحية (ومنها البشر) على السكريات اللازمة من تناول الطعام. أما الكائنات الأخرى وتُسمّى المنتجون الأوليون، فلا تحتاج إلى الأكل لأنها تصنع السكريات بنفسها. يستخدم أغلب المنتجين الأوليين ضوء الشمس لتحويل ثاني أكسيد الكربون والمركبات الأخرى إلى سكريات من خلال عملية اسمها التمثيل الضوئي. وتُعد هذه العملية ضرورية لجميع الكائنات الحية لأنها تنقّي الهواء من ثاني أكسيد الكربون (غاز مهم من الغازات المسببة للاحتباس الحراري) وتنشر الأكسجين وتصنع الأغذية التي تتناولها الكائنات الأخرى.

تُعدّ النباتات أشهر المنتجين الأوليين ولكن هل تعلم أنها ليست الكائنات الحية الوحيدة التي يمكنها القيام بالتمثيل الضوئي؟ هناك أنواع متعددة ومختلفة من المنتجين الأوليين تقوم بالتمثيل الضوئي. تشكّلت الأرض قبل أكثر من 4.6 مليار سنة، ولم تظهر النباتات البرية إلا في آخر 500 مليون سنة تقريبًا. وبعض البكتيريا (تحديدًا البكتيريا الزرقاء) تعيش في البحر وتقوم بالتمثيل الضوئي وتنشر الأكسجين قبل النباتات بمدة 3 مليارات سنة [1]. بالإضافة إلى ذلك، فالكائنات الحية الأخرى غير النباتية (مثل الطحالب) من المنتجين الأوليين أيضًا وتقوم بالتمثيل الضوئي في البحيرات والبحار. وكل الكائنات الحية غير النباتية التي تقوم بالتمثيل الضوئي تنتج بالفعل أغلب الأكسجين الذي نتنفسه.

أين يحدث التمثيل الضوئي؟

إن إنتاج السكريات بواسطة المنتجين الأوليين عملية كيميائية معقدة تستهلك ضوء الشمس والمياه وثاني أكسيد الكربون (الشكل 1). وتستخدم النباتات والبكتيريا البلاستيدات الخضراء (أعضاء صغيرة داخل خلاياها وأوراقها) للقيام بالتمثيل الضوئي. وتحتوي هذه الأعضاء الدقيقة على أصباغ الكلوروفيل الخضراء المُستخدَمة لسحب الطاقة من ضوء الشمس وإنتاج السكريات.

تتكون عملية التمثيل الضوئي من نوعين رئيسيين من التفاعلات: نوع يعتمد على الضوء وآخر لا يعتمد عليه. التفاعلات المعتمدة على الضوء هي الخطوة الأولى في إنتاج السكريات، وخلالها يمتص زوجان من جزيئات الكلوروفيل الطاقة الضوئية ويحولاها إلى طاقة كيميائية. ونتيجة لذلك، تنتج النباتات جزيئين مهمين: ATP وNAPDH.

تُسمى التفاعلات غير المعتمدة على الضوء أيضًا "حلقة كالفن". وفيها، تستخدم النباتات جزيئات ATP وNADPH الناتجة في التفاعلات المعتمدة على الضوء. تساعد ATP وNAPDH النباتات في تحويل ثاني أكسيد الكربون (الذي تمتصه من الهواء من خلال الثغور) إلى سكريات (الشكل 2). وبعد ذلك، يمكن للنباتات استخدام هذه السكريات لمواصلة نمو جذورها وسيقانها وأوراقها وكذلك لإنتاج الزهور

المنتجون الأوليون (PRIMARY PRODUCERS)

كائنات حية قادرة على صنع غذائها من خلال تحويل ضوء الشمس والمياه والمعادن وثاني أكسيد الكربون إلى كربون عضوي (سكر).

البلاستيدات الخضراء (CHLOROPLASTS)

بِنى صغيرة شبيهة بالأعضاء (عضيات) توجد داخل خلية النبات التي تحدث فيها عملية التمثيل الضوئي.

الكلوروفيل (CHLOROPHYLL)

صبغة توجد في البلاستيدات الخضراء داخل خلايا النباتات، وهي مسؤولة عن امتصاص الضوء الأزرق والأحمر لإنتاج السكر.

ATP (ATP)

الأدينوسين ثلاثي الفوسفات، هو "عملة الطاقة" في الخلية، ويُستخدَم لتنفيذ التفاعلات الخلوية التي تتطلّب وجود الطاقة.

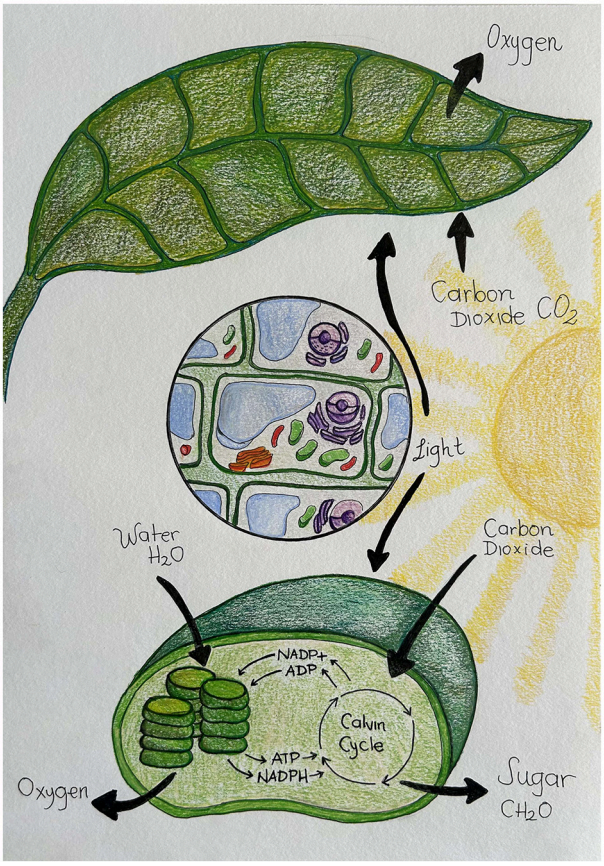
NAPDH (NAPDH)

هيدروجين فوسفات ثنائي نيوكليوتيد الأدينين وأميد النيكوتين، وهو جزيء حامل للطاقة يوفّر الطاقة لحلقة كالفن في شكل ذرات هيدروجين.

الثغور (STOMATA)

بِنى خلوية في الأوراق تتكون من فتحة محاطة بخليتين حارستين وتتحكم في تبادل الغازات والمياه مع البيئة.

والفواكه والبذور. وتستخدم الحيوانات والفطريات أيضًا تلك السكريات كغذاء عندما تأكل النباتات.



شكل 1

عملية التمثيل الضوئي في ورقة نبات: المكونات الرئيسية هي ضوء الشمس والمياه وثاني أكسيد الكربون. تحتاج التفاعلات المعتمدة على الضوء والتي تحدث داخل البلاستيدات الخضراء إلى الضوء وتنتج عنها جزيئات ATP وNADPH. تحدث التفاعلات غير المعتمدة على الضوء أو حلقة كالفن داخل الفراغ الداخلي في البلاستيدات الخضراء وتؤدي إلى إنتاج السكر (حقوق الصورة: أليخاندرا كاستيو).

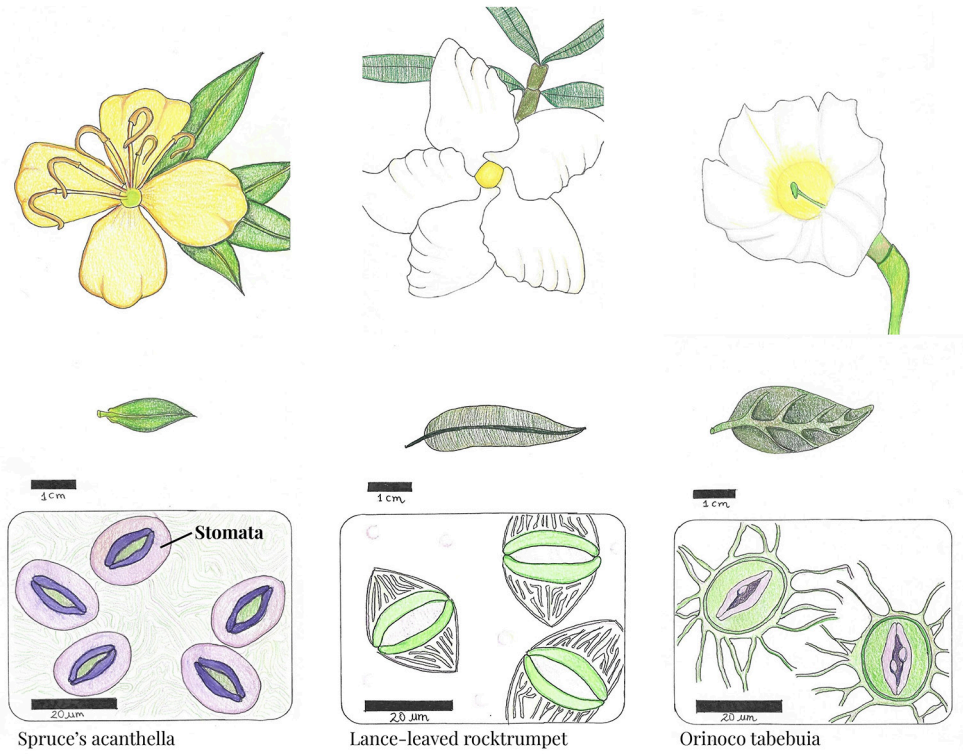
إذًا في المرة التالية التي ترى فيها نباتًا، تذكّر أنه يستخدم الطاقة الشمسية لإنتاج طعامه ولصنع كل ما نأكله نحن والحيوانات. شكرًا لك أيتها النباتات الطيّبة.

التحديات التي تواجهها النباتات البرية اليوم

عندما نستخدم الوقود الأحفوري (على سبيل المثال الفحم والغاز الطبيعي والنفط)، فنحن نزيد كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي للأرض. قد تكون تعتقد أن زيادة ثاني أكسيد الكربون تكون جيدة للنباتات وتسمح لها بإنتاج المزيد من السكر والأكسجين. ولكن للأسف، لا تعني زيادة ثاني أكسيد الكربون دائمًا تكرار عملية التمثيل الضوئي بوتيرة أكبر. وهذا لأن النباتات تحتاج أيضًا إلى الكثير من المياه للقيام بهذه العملية. تحصل النباتات على المياه من التربة من خلال الجذور. وتمدّ هذه المياه الكلوروفيل بالهيدروجين للحفاظ على سير التفاعلات المعتمدة على الضوء، كما أنها مصدر الأكسجين الذي تنشره النباتات في الهواء. بالإضافة إلى ذلك، عندما تفتح النباتات ثغورها لامتصاص ثاني أكسيد الكربون من الهواء، فإنها تفقد الكثير من المياه

من خلال النتح التبخري. وفي المتوسط، تفقد النباتات في الواقع حوالي 400 جزيء ماء مقابل كل جزيء تحصل عليه من ثاني أكسيد الكربون.

وللأسف، تتسبب زيادة كميات ثاني أكسيد الكربون في الهواء في تغير المناخ الذي يؤدي إلى ارتفاع درجات حرارة الهواء وانخفاض هطول الأمطار أو إطالة المواسم الجافة في الكثير من الأماكن.



Spruce's acanthella | Lance-leaved rocktrumpet | Orinoco tabebuia

شكل 2

تعني قلة هطول الأمطار وارتفاع درجة الحرارة نقص المياه المتاحة للعديد من النباتات. إذًا، عند استخدام الوقود الأحفوري وإطلاق المزيد من ثاني أكسيد الكربون في الهواء، فنحن في الواقع نصعّب على النباتات قيامها بالتمثيل الضوئي. وقد اختبر العلماء هذه الفكرة بزراعة نباتات في الهواء مع إضافة ثاني أكسيد الكربون. ووجدوا أن النباتات استطاعت في الواقع القيام بالمزيد من التمثيل الضوئي والنمو بسرعة أكبر *لفترة من الوقت* بسبب الكميات الإضافية من ثاني أكسيد الكربون، ولكن هذه الدفعة المُعززة لم تستمر طويلاً. فبعد وقت قصير، بدأ نمو النباتات يبطؤ، بل وبدأت تموت لقلة كفاية المياه أو مواد التربة المغذية اللازمة لإبقائها على قيد الحياة [2].

كيف يمكننا قياس عملية التمثيل الضوئي في الطبيعة؟

يستخدم العلماء الذين يدرسون النباتات آلات متطورة جدًا اسمها أجهزة تحليل الغازات بالأشعة تحت الحمراء (IRGA) لقياس سرعة قيام النباتات

النتح التبخري (EVAPOTRANSPIRATION)

تحرّك المياه من سطح الأرض إلى الغلاف الجوي من خلال عمليتي التبخر والنتح (فقدان الماء عبر أوراق النبات).

شكل 2

الأزهار والأوراق والثغور في ثلاثة أنواع نباتات تنمو على النتوءات الصخرية الاستوائية الكبيرة في كولومبيا: أكانتيلا التنوب (على اليسار) ومانديفيلا ساندیري ذو الأوراق الرمحية (في الوسط) وأورينوكو تابيبويا (على اليمين). تحتوي الأوراق الكبيرة في الغالب على القليل من الثغور. ويعني هذا أن الأوراق الصغيرة كتلك الموجودة في أكانتيلا التنوب بها الكثير من الثغور الصغيرة، بينما تحتوي الأوراق الكبيرة كتلك الموجودة في أورينوكو تابيبويا على القليل من الثغور (حقوق الصورة: أليخاندرا كاستيو).

محلل الغازات بالأشعة تحت الحمراء (INFRARED GAS ANALYZER)

أجهزة تحلل ضوء الأشعة تحت الحمراء الذي تمتصه الغازات في الهواء، وتستخدم مستشعرات ضوئية خاصة تقيس كمية ثاني أكسيد الكربون.

بالتمثيل الضوئي وتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى سكريات (الشكل 3). تكتشف أجهزة IRGA ضوء الأشعة تحت الحمراء الذي تمتصه مختلف الغازات في الهواء. ولاستخدام IRGA، يضع العلماء ورقة أو نباتًا صغيرًا داخل حجرة خاصة محكمة الإغلاق. ثم يملؤونها بمقدار من الهواء يحتوي على كمية معلومة من ثاني أكسيد الكربون. وبعد ذلك، يواصلون قياس كمية ثاني أكسيد الكربون في الحجرة. إذا كان النبات يقوم بالتمثيل الضوئي، فسيمتص غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء وبالتالي سينخفض تركيزه في الحجرة. وكلما زادت سرعة عملية التمثيل الضوئي، تمت إزالة ثاني أكسيد الكربون من الحجرة بسرعة أكبر.

شكل 3

عالة تقيس نسبة التمثيل الضوئي في ورقة نبات باستخدام محلل الغازات بالأشعة تحت الحمراء (IRGA؛ حقوق الصورة: أليخاندرا كاستيو).

شكل 3

باستخدام IRGA، يمكن للعلماء أيضًا قياس تركيز المياه في الهواء داخل الحجرة. تذكّر أن النباتات تفقد الكثير من المياه من خلال النتح التبخري أثناء امتصاصها لثاني أكسيد الكربون، ولذلك كلما زادت كمية المياه المُطلقة في الهواء، فقد النبات المياه بسرعة أكبر وهو يقوم بالتمثيل الضوئي. يمكن لبعض النباتات (مثل الصبار) القيام بالكثير من التمثيل الضوئي دون فقدان مقدار كبير من المياه. قد تكون لدى هذه النباتات حيل أو عمليات تكيّف معينة لاستخدام القليل من المياه، ولهذا فهي تجيد العيش في الصحراء أو غيرها من الأماكن الجافة. تفقد أنواع أخرى من النباتات الكثير من المياه عند قيامها بالتمثيل الضوئي، وبالتالي تواجه هذه النباتات المتعطشة للمياه تحديات في العيش في أماكن جافة، وقد تواجه صعوبة في النجاة إذا استمر تغيّر المناخ في جعل عالمنا أكثر حرارة وجفافًا.

من الأشياء الأخرى التي يمكن للعلماء اختبارها باستخدام IRGA كمية الضوء الذي تحتاج إليه النباتات للقيام بعملية التمثيل الضوئي [3]. يمكنهم أيضًا اختبار مدى سرعة النباتات في القيام بالتمثيل الضوئي مع وجود كميات مختلفة من ثاني أكسيد الكربون في الهواء أو عند درجات حرارة مختلفة [4]. ولكن يمكن أن تكون أنواع هذه القياسات

بطيئة. على سبيل المثال، يستغرق الأمر حوالي 45 دقيقة لقياس مقدار الضوء اللازم للورقة للقيام بالتمثيل الضوئي نظرًا لأن العالِم يجب أن يُعرّضها لمستويات مختلفة من الضوء ويجب أن يمنح النبات الوقت اللازم للتكيف والراحة بين كل معالجة. قد لا تبدو فترة الـ 45 دقيقة طويلة ولكن ضع في اعتبارك أن بعض العلماء يحتاجون إلى قياس التمثيل الضوئي في وسط غابة مطيرة أو صحراء حارة. وجعل آلة IRGA تعمل لهذا الوقت الطويل قد يكون صعبًا لأنها ضعيفة للغاية وتستهلك مقدارًا كبيرًا من طاقة البطارية، كما أن العلماء لا يقيسون ذلك في ورقة واحدة. فللقيام بدراسة جيدة، يحاولون قياس التمثيل الضوئي في مئات الأوراق من عدة نباتات. وهذا جهد كبير، ولكنه يستحق كل العناء إذا كان يساعد العلماء على فهم ما تحتاجه أنواع معينة من النباتات للقيام بالتمثيل الضوئي وما إذا كانت هذه النباتات مُعرضة للخطر بسبب تغيّر المناخ.

لماذا نحتاج إلى هذه المعلومات؟

يقيس العلماء التمثيل الضوئي لعدة أسباب، أحدها دراسة آثار تغيّر المناخ على قدرة نباتاتنا على نمو العديد من الخضراوات والفواكه [5]. على سبيل المثال، يمكن للعلماء زراعة النباتات التي يحب الناس أكلها، مثل الفاصولياء أو الطماطم أو الجزر أو الأفوكادو في درجات حرارة مختلفة وبكميات متفاوتة من المياه. ولتغيير درجات الحرارة، يمكن للعلماء استخدام صوبات (دفيئات) خاصة لجعل درجات الحرارة أعلى للنباتات. ويمكنهم أن يمدّوا النباتات أيضًا بكل الماء اللازم لها أو حجب المطر وإجبارها على العيش بكميات قليلة من المياه. ويستطيع العلماء كذلك تغيير وقت العام الذي تحصل فيه النباتات على المياه. من خلال هذه التجارب البارعة، يمكن للعلماء مراقبة صحة النباتات المزروعة في ظروف مختلفة وكذلك متابعة عملية التمثيل الضوئي فيها، لمعرفة ما إذا كانت ستتمكن من مواصلة إنتاج طعامنا عندما يتغير المناخ. وبالنظر إلى مدى أهمية النباتات والمنتجين الأوليين لكوكبنا، فهذا مجال بحثي مثير للاهتمام ومهم للغاية.

الملخص

تستخدم النباتات وغيرها من الكائنات الحية التي تقوم بالتمثيل الضوئي الطاقة الشمسية لصنع غذائها وأثناء هذه العملية، تمدّنا بالغذاء والأكسجين وتنقي الهواء من ثاني أكسيد الكربون وتساعد في حماية الكوكب من تغيّر المناخ. ويقيس العلماء التمثيل الضوئي لدراسة كيفية تعمل النباتات وكيف يتأثر التمثيل الضوئي بتغيّر المناخ. ويستخدم العلماء مهاراتهم الإبداعية وأجهزة IRGA لقياس التمثيل الضوئي في أنواع مختلفة من النباتات وفي وجود ظروف متفاوتة. وستساعد هذه المعلومات المهمة العلماء في فهم أداء النباتات في ظروف مناخية أعلى حرارة وجفافًا وما إذا كانت ستتمكن من مواصلة العديد من المهام الرائعة للبشر ولكل الكائنات الحية على كوكب الأرض. إذا كنت عالِمًا، فما تجارب النباتات التي ستقوم بها؟

إفصاح أدوات الذكاء الاصطناعي

تم إنشاء النص البديل (alt text) المرفق بالأشكال في هذه المقالة بواسطة "فرونتيرز" (Frontiers) وبدعم من الذكاء الاصطناعي، مع بذل جهود معقولة لضمان دقته، بما يشمل مراجعته من قبل المؤلفين حيثما كان ذلك ممكناً. في حال تحديدكم لأي خطأ، نرجو منكم التواصل معنا.

المراجع

1. Sánchez-Baracaldo, P., and Cardona, T. 2020. On the origin of oxygenic photosynthesis and Cyanobacteria. *New Phytol.* 225:1440–6. doi: 10.1111/nph.16249
2. Li, F., Guo, D., Gao, X., and Zhao, X. 2021. Water deficit modulates the CO_2 fertilization effect on plant gas exchange and leaf-level water use efficiency: a meta-analysis. *Front. Plant Sci.* 12:775477. doi: 10.3389/fpls.2021.775477
3. Aragón, L., Messier, J., Atuesta-Escobar, N., and Lasso, E. 2023. Tropical shrubs living in an extreme environment show convergent ecological strategies but divergent ecophysiological strategies. *Ann. Bot.* 2023:mcad002. doi: 10.1093/aob/mcad002
4. Taylor, T. C., Smith, M. N., Slot, M., and Feeley, K. J. 2019. The capacity to emit isoprene differentiates the photosynthetic temperature responses of tropical plant species. *Plant Cell Environ.* 42:2448–57. doi: 10.1111/pce.13564
5. Tito, R., Vasconcelos, H. L., and Feeley, K. J. 2018. Global climate change increases risk of crop yield losses and food insecurity in the tropical Andes. *Glob. Change Biol.* 24:e592–602. doi: 10.1111/gcb.13959

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 31 ديسمبر 2025

المحرر: Vishal Shah

مرشدو العلوم: Nancy Lo Man Hung و Praveen Rao Juvvadi

الاقتباس: Feeley KJ و Aragón L (2025) الحياة بالطاقة الشمسية: كيف تنتج النباتات والكائنات الحية الأخرى طعامها؟ Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2024.1337067-ar

مُترجَم ومقتبس من: Aragón L and Feeley KJ (2024) Solar-Powered Life: How Plants And Other Organisms Produce Their Own Food. Front. Young Minds 12:1337067. doi: 10.3389/frym.2024.1337067

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

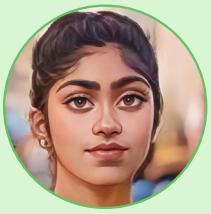
حقوق الطبع والنشر © 2024 © 2025 Feeley و Aragón. هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا وأن يتم 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

ANAGHA، العمر: 9
اسمي Anagha، وأحب القراءة والرسم والرقص. وموادي المفضلة هي فنون اللغة الإنجليزية الرياضيات والعلوم. وأود أن أكون مُعلّمة في المستقبل.

ANVITHA، العمر: 12
اسمي Anvitha وأعتقد أن الدببة القطبية مدهشة، كما أنني أحب كل الأنشطة المتعلقة بالموسيقى، سواء الرقص عليها أو تلحينها أو مجرد الاستماع إليها. وأستمتع بالتعرف على ما يجري في العالم، لذلك أنا سعيدة حقًا بأن أكون في فريق المراجعين الصغار لمجلة Frontiers for Young Minds.

ERIC، العمر: 11
اسمي Eric وأنا برازيلي. أبلغ من العمر 11 عامًا وأنا طالب في الصف السادس. أحب الجري والمشاركة في أنشطة رياضية مثل السباحة والكابويرا وكرة القدم وركوب الدراجة. أستمتع أيضًا بلعب ألعاب الفيديو والعزف على الكمان والذهاب إلى الشاطئ واللعب مع قطتي "كريستال". وأنا مهتم كثيرًا أيضًا بالفضاء والروبوتات.



SRINIKA، العمر: 12
اسمي Srinika، وأحب تجربة الأشياء الجديدة. تشمل هواياتي لعب الشطرنج والرسم وركوب الدراجة، كما أنني أحب التنزه في الهواء الطلق. والمادتان المفضلتان لي هما الرياضيات والعلوم. وآمل أن أصبح طبيبة يومًا ما في المستقبل.

المؤلفون

LINA ARAGÓN
مستكشفة في ناشيونال جيوغرافيك وطالبة دكتوراة في جامعة ميامي. وهي عالمة بيئة كولومبية مهتمة بدراسة الاستراتيجيات البيئية للنباتات التي تعيش في البيئات القاسية والآليات التي تعمل على استقرار مجموعات النباتات الاستوائية في جبال الأنديز. وفي غير أوقات العمل، تحب السفر إلى بلدان جديدة لاكتشاف أماكن جديدة مع عائلتها والذهاب إلى السينما وممارسة الرياضة. linamarce94@gmail.com*

KENNETH J. FEELEY

بروفيسور في علم الأحياء في جامعة ميامي ومدير "مشتل جون سي جيفورد" في الجامعة. وهو يدرس بيئة الغابات والحفاظ عليها مع التركيز على فهم كيفية تأثير تغير المناخ على الأشجار الاستوائية. ويستمتع في أوقات فراغه بالأعمال الخشبية والطهي واللعب مع كلبه "بنجي".

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

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