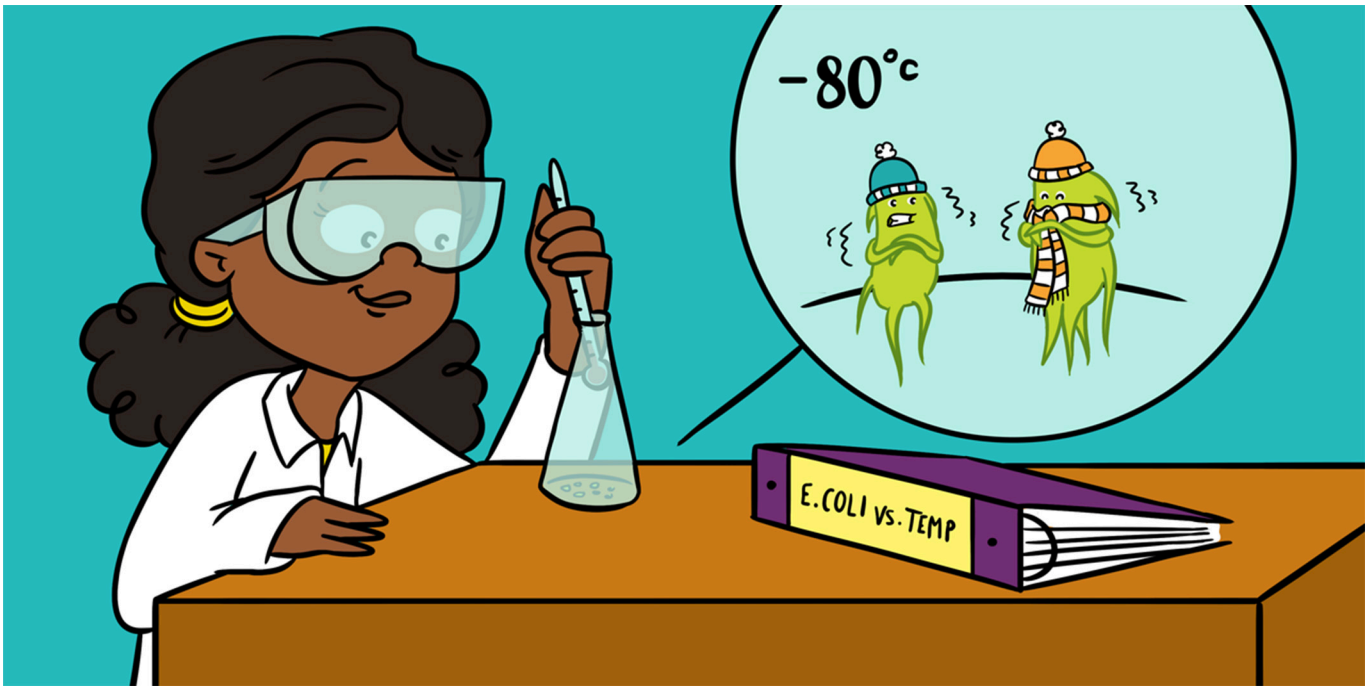
التنوع الحيوي
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 07 أبريل 2023
doi: 10.3389/frym.2019.00075-ar



كيف تتكيّف البكتيريا مع البيئات القاسية؟

César Aguilar*
المختبر الوطني لعلم الجينوم للتنوع البيولوجي، وحدة الجينوم المتقدمة، مركز البحوث والدراسات المتقدمة في المعهد الوطني للفنون التطبيقية، غواناخواتو، المكسيك

التطور هو العملية التي تؤدي إلى إحداث تغييرات في الكائنات الحية بمرور الوقت، مما يسمح لها بالتكيف مع البيئات المختلفة. والتطور هو ما تسبب في التنوع الكبير للكائنات الحية التي تعيش على سطح الأرض. فباستخدام البكتيريا، يدرس العلماء كيفية حدوث التطور، من خلال دراسة الحمض النووي البكتيري وطفراته، واللذين يُمثلان السبب الرئيسي لتغيرات الحمض النَّووي الرِّيبي منزوع الأكسجين (DNA) التي تؤدي إلى التطور. لماذا نختار دراسة البكتيريا؟ لأنها على الأرجح أكثر الكائنات الحية تكيفًا على وجه الأرض. فيمكنها البقاء على قيد الحياة في أكثر الظروف تنوعًا وقسوة، انطلاقًا من البراكين تحت الماء ووصولًا إلى أرض ألاسكا المتجمدة. ولإجراء هذا البحث، وقع اختيارنا على بكتيريا تُسمى *الإشريكية القولونية* لتكون موضوع الاختبار في بعض التجارب المذهلة التي سنصفها في هذا المقال.

المراجعون الصغار

CARLOS
العمر: 16

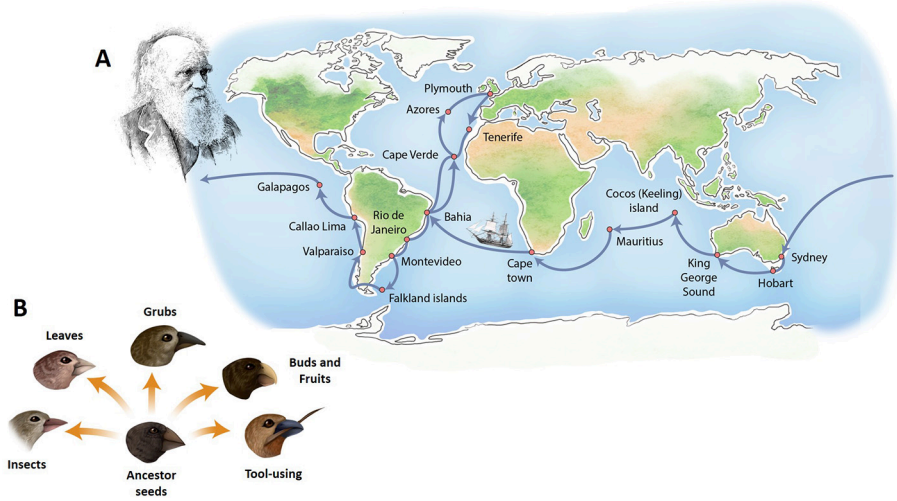
DANIEL
العمر: 14

MAR'IA JOS'E
العمر: 14

ما هو التطور؟

ثمة كائنات حية مجهرية تعيش في كل ركن من كوكبنا تقريبًا: إنها البكتيريا. وثمة حوالي مليار نوع من البكتيريا على سطح الأرض. ولكن، ما السبب وراء التنوع الهائل للبكتيريا التي تسكن كوكبنا؟

التطور هو الأساس، حيث تُستخدم كلمة التطور لوصف التغيرات في الكائنات الحية التي تحدث على مدى أجيال عديدة. وفي عام 1831، بدأ عالم الطبيعة الإنجليزي تشارلز داروين رحلة مدتها 5 سنوات على متن سفينة الأبحاث البريطانية إتش إم إس. بيغل. وقد لاحظ داروين أثناء الرحلة أنماطًا مثيرة للاهتمام في توزيع العديد من الكائنات الحية وخصائصها. وأشار إلى أن هذه الخصائص كانت عبارة عن تغييرات ساعدت الكائنات الحية على التكيّف مع البيئات التي عاشت فيها (شكل 1). وقد ساعدت هذه الرحلة داروين في التوصل إلى نظرية التطور التي أوضح فيها كيف تتغير الكائنات الحية كل جيل، وتتكيف مع ظروف بيئتها لكي يتسنى لها البقاء [1].



شكل 1

كيف يحدث التطور؟

كان أحد الأسئلة المهمة التي نشأت من نظرية داروين هو كيف حدثت التغيرات التي لاحظها. ونحن الآن نعرف أن هذه التغيرات ناتجة أساسًا من الطفرات. فالطفرات هي تغيرات في جينات الكائن الحي. والجينات هي تعليمات تمتلكها جميع الكائنات الحية. ويتألف كل جين من مزيج فريد من أربعة جزيئات تُسمى النوكليوتيدات: الأدينين والسياتوزين والغوانين والثايمين. ويحدد ترتيب هذه النوكليوتيدات -التي تُسمى بالتسلسل الجيني- وظيفة كل جين. ويُسمى مجموع كل الجينات في الكائن الحي

التطور (EVOLUTION)

يُعرف في علم الأحياء بأنه تغيير في أي سمة من سمات الكائن الحي. وهذه التغييرات مُستمدة من الطفرات التي تحدث عبر الأجيال.

شكل 1

رحلة إتش إم إس بيغل. **(A)** في عام 1831، بدأ عالم الطبيعة الإنجليزي تشارلز داروين رحلة مدتها 5 سنوات على متن سفينة الأبحاث البريطانية إتش إم إس. بيغل. واستكشفت سفينة بيغل عدة أماكن، مُوضحة بنقاط حمراء على الخريطة. وقد أظهرت ملاحظات داروين للكائنات الحية التي تعيش في هذه الأماكن أنماطًا مثيرة للاهتمام في توزيع العديد من الكائنات وخصائصها، مثل السلاحف وطيور البرقش وبلح البحر والفئران الجرابية وخُلد الماء بطيّ المنقار، مما جعل داروين يفكر في التكيّف. **(B)** كان أشهر مثال على التكيّف وجده داروين هو التنوع الكبير لمناقير طيور البرقش. فقد بدت مناقير طيور البرقش المختلفة مُصممة لتناول الطعام الموجود في المكان الذي تعيش فيه. وقد توصل داروين إلى نظرية التطور عن طريق الانتقاء الطبيعي من خلال الاستعانة بجميع ملاحظاته.

الطفرة (MUTATION)

هي تغييرات في تسلسل النوكليوتيدات في الجينات.

الجين (GENE)

هو مجموعة محددة من النوكليوتيدات. ويحدد ترتيب هذه النوكليوتيدات ونوعها وظائف الجين.

بالجينوم. ويحتوي الجينوم على ترميز المعلومات لجميع خصائص الكائن الحي، لذا فإن تغيير في واحد أو أكثر من النوكليوتيدات في الجين (يُسمى التغيير الجيني) من شأنه إحداث اضطراب في سمة من سمات الكائن الحي، مثل لون العينين أو الطول أو طريقة معالجة الطعام. وهذه المعلومات الجينية موروثة، بمعنى أنها تنتقل من جيل لآخر.

ويمكن أن تحدث الطفرات في الجينات تلقائيًا أو استجابة لعوامل الإجهاد في البيئة، ولكن جميع الطفرات عشوائية بغض النظر عن السبب [2]، ويعني هذا أن التغيرات الجينية يمكن أن تحدث في أي موضع في جينوم الكائن الحي. وربما يكون تراكم الطفرات عبر الأجيال مفيدًا أو ضارًا أو ليس له تأثير على البقاء. وقد لخّص داروين جميع هذه الحقائق في مفهوم بسيط هو الانتقاء الطبيعي [1]، فالانتقاء الطبيعي هو عملية التراكم البطيء للطفرات المفيدة عبر الأجيال، مما يتسبب في تكيّف الكائنات بصورة أفضل مع بيئاتها. وستواجه الكائنات الأقل تكيفًا صعوبة أكبر في البقاء من تلك التي ستواجهها الكائنات التي ساعدتها طفراتها على التكيّف. فعندما تتسبب الطفرات في إحداث تغيرات كبيرة في الكائن الحي، فقد تؤدي إلى تطور أنواع جديدة [1].

النوكليوتيدات (NUCLEOTIDE)

هي أربعة جزيئات عضوية تسمى الأدينين والسياتوزين والغوانين والثايمين، تمثل وحدات تشكيل الحمض النَّووي الرِّيبي منقوص الأكسجين (DNA)، وهو الجزيء الحيوي الأساسي لجميع أشكال الحياة على الأرض.

الجينوم (GENOME)

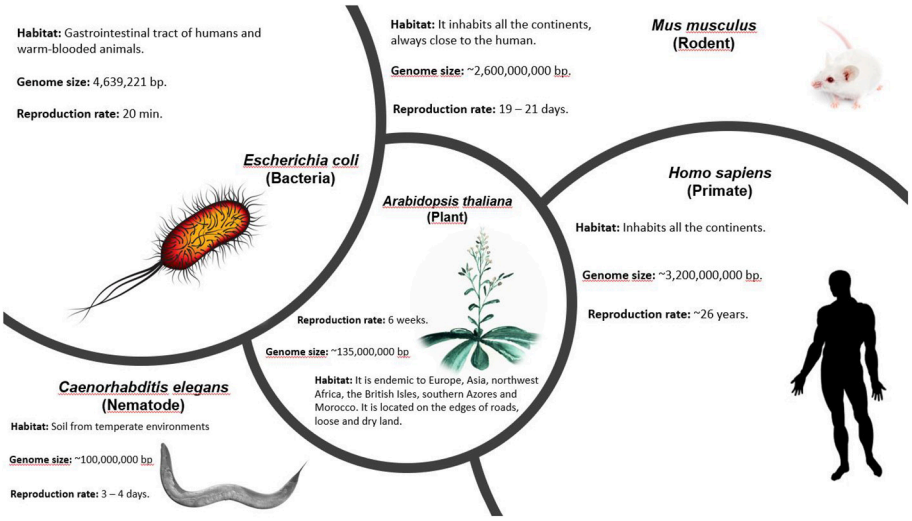
هو جميع الجينات التي يمتلكها الكائن الحي.

الانتقاء الطبيعي (NATURAL SELECTION)

هو عملية التراكم البطيء للطفرات المفيدة عبر الأجيال، مما يتسبب في تنحية الكائنات الحية الأقل تكيفًا وانقراضها في نهاية المطاف.

أهمية البكتيريا في دراسة التطور

تتمثل الطريقة الكلاسيكية في إثبات أن الأنواع تتغير بمرور الوقت في السجل الأحفوري. فتوضح الحفريات كيف تكونت الحياة البدائية، وإذا حالفنا الحظ ووجدنا ما يكفي من الحفريات، فمن الممكن أن نرصد كيف تطور الكائن الحي بمرور الوقت. ولكن، إذا كان السجل الأحفوري غير مكتمل، فمن المستحيل رؤية جميع هذه التغيرات أو معرفة كيفية تطور الكائن الحي. ولحل هذه المشكلة، سيكون من الأسهل دراسة التطور مباشرةً، من خلال فحص جميع التغيرات الجينية التي تحدث في كل جيل. ويستلزم هذا الفحص أن يجد الباحثون أولًا كائنًا حيًا مثاليًا لدراسته. وتُعد البكتيريا خيارًا واضحًا، لأن من السهل زراعتها في المختبر، كما أنها تتكاثر بسرعة، *فالإشريكية القولونية* أحد أنواع البكتيريا الخاضعة لدراسة واسعة النطاق والتي تسكن الجهاز الهضمي للإنسان والحيوانات الأخرى ذوات الدم الحار (شكل 2). ولأغراض المقارنة فقط، إذا أردنا إجراء تجربة تطورية مع البشر، فسنحتاج إلى الانتظار 26 عامًا في المتوسط لنحظى بجيل جديد، في حين تنتج *الإشريكية القولونية* جيلًا جديدًا في 20 دقيقة، أي أقل من الوقت الذي تستغرقه لطهو البيتزا! ناهيك عن أن *الإشريكية القولونية* تحتوي على جينوم صغير، ما يجعلها الخيار الأسهل والأرخص لدراسة التغيرات الفعلية في النوكليوتيدات التي تحدث في كل جيل (شكل 2). وسنصف في الأقسام التالية بعض التجارب التي أجراها العلماء باستخدام *الإشريكية القولونية* لدراسة عملية التطور في المختبر.



شكل 2

شكل 2

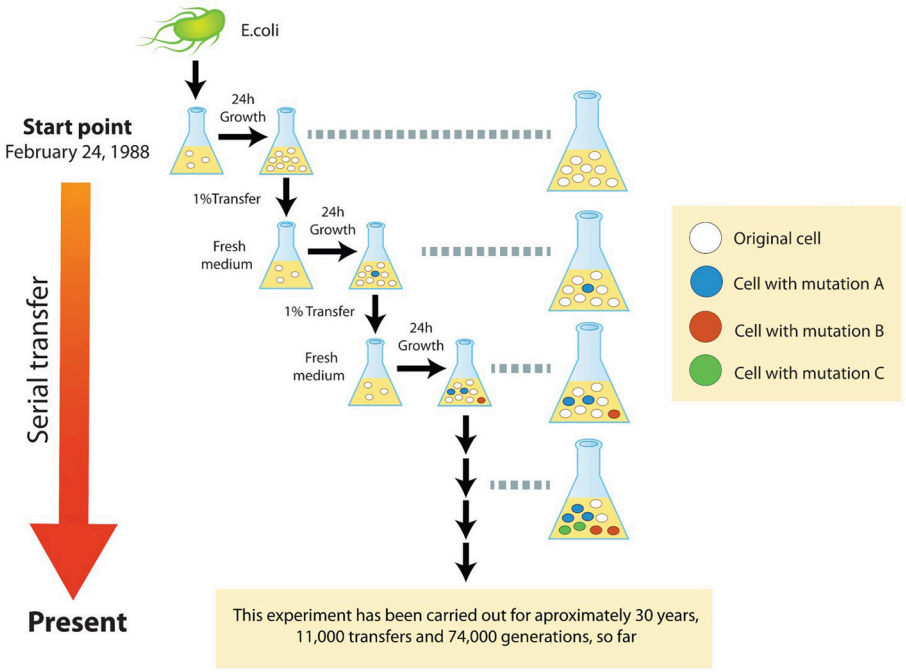
الإشريكية القولونية هي كائن حي له فائدة في تجارب التطور. وثمة العديد من الكائنات الحية يستخدمها العلماء عادةً لإجراء جميع الأنواع من التجارب. ومن بين الكائنات الأكثر شيوعًا نبات رشاد أذن الفأر ومن القوارض *فأر النازل* و*دودة الرباء الرشيقة*. بيد أن إجراء تجارب على التطور يستلزم أن يجد العلماء كائنًا حيًا يتكاثر في وقت قصير ولديه جينوم صغير. وإذا نظرنا إلى بكتيريا *الإشريكية القولونية* لوجدناها تتكاثر في 20 دقيقة فقط! وهي مثالية لإجراء مثل هذه التجارب في جميع أنحاء العالم نظرًا لمعدل الانقسام السريع وجينومها الصغير. وفي هذا الشكل، يمكنك أن ترى معدل التكاثر وحجم الجينوم (بالأزواج القاعدية) لدى البشر والكائنات الحية الأخرى التي يشيع استخدامها في التجارب العلمية.

كيف تطورت البكتيريا في مواجهة البرد القارس؟

درست مجموعة من العلماء *الإشريكية القولونية* في المختبر على أمل أن تفهم المجموعة كيفية تكيّف البكتيريا مع البرد القارس. ولكي يتسنى لهم القيام بهذا، ابتكروا تجربة تعرضت فيها *الإشريكية القولونية* لبرودة قارسة لفترات طويلة. وتكونت التجربة من 150 دورة من التجميد عند حرارة تبلغ −80 درجة مئوية تحت الصفر لمدة 22.5 ساعة، ثم الذوبان في درجة حرارة الغرفة لمدة ساعة ونصف. والنتيجة؟ زادت قدرة *الإشريكية القولونية* على البقاء، لأنها تطورت.

الإشريكية القولونية هي كائن حي له فائدة في تجارب التطور. وثمة العديد من الكائنات الحية يستخدمها العلماء عادةً لإجراء جميع الأنواع من التجارب. ومن بين الكائنات الأكثر شيوعًا نبات رشاد أذن الفأر ومن القوارض *فأر النازل* و*دودة الرباء الرشيقة*. بيد أن إجراء تجارب على التطور يستلزم أن يجد العلماء كائنًا حيًا يتكاثر في وقت قصير ولديه جينوم صغير. وإذا نظرنا إلى بكتيريا *الإشريكية القولونية* لوجدناها تتكاثر في 20 دقيقة فقط! وهي مثالية لإجراء مثل هذه التجارب في جميع أنحاء العالم نظرًا لمعدل الانقسام السريع وجينومها الصغير. وفي هذا الشكل، يمكنك أن ترى معدل التكاثر وحجم الجينوم (بالأزواج القاعدية) لدى البشر والكائنات الحية الأخرى التي يشيع استخدامها في التجارب العلمية.

عندما درس العلماء جينوم هذه البكتيريا المتطورة، وجدوا طفرات تعطل الجين الذي له دور في إنتاج الكارديوليبين، وهو جزيء يجعل الغطاء الخارجي للخلية البكتيرية متينًا وصلبًا. وقد أثبت مزيد من الدراسات أن إيقاف إنتاج الكارديوليبين ساعد على الحفاظ على الحالة السائلة والمرنة للغطاء بعد التجميد، مما أدى إلى تعزيز قدرتها على البقاء [3].



شكل 3

شكل 3

تجربة التطور طويلة الأمد. بدأت تجربة التطور طويلة الأمد في عام 1988. وقد استخدم العلماء لهذه التجربة أسلوبًا يُسمى النقل التسلسلي، مما يعني نقل 1% من زجاجة استزراع *الإشريكية القولونية* إلى وسط استزراع جديد، كل يوم منذ 24 فبراير 1988. وبمرور الوقت، تحدث طفرات ضارة ومفيدة. وتؤدي الطفرات المفيدة إلى تكيفات تساعد البكتيريا على التعامل مع ظروف المجاعة التي تواجهها التجمعات يوميًا. ولم ينتهِ هذا المشروع بعد. والآن، بعد أكثر من 74,000 جيل، اكتسبنا الكثير من المعرفة.

دراسة التطور الأكثر طموحًا

أجرى عالم يدعى ريتشارد لينسكي دراسة التطور الأكثر طموحًا. فقد احتفظ لينسكي *بالإشريكية القولونية* في زجاجة خاصة بها سائل -يُسمى الوسط- يحتوي على عدد محدود من المغذيات (شكل 3). وقد نمت البكتيريا بسرعة في وسط الاستزراع المذكور ولكنها استنفدت المغذيات بالسرعة نفسها. ثم دخلت البكتيريا في حالة من «الجوع» استمرت 24 ساعة، ونُقل بعدها بعض من تلك البكتيريا الجائعة والمجهدة إلى زجاجة أخرى بها وسط جديد يحتوي على المغذيات نفسها. وقد كرر لينسكي هذه العملية مرارًا وتكرارًا. وعلى مدى فترة زمنية طويلة، أدى الإجهاد الذي تعرضت له البكتيريا أثناء العملية إلى ظهور طفرات، والتي أدت بدورها إلى تطور التجمعات البكتيرية. وقد بدأ لينسكي ومعاونوه تجربة التطور طويلة الأمد هذه في عام 1988 ولا تزال مستمرة [4]. والآن، بعد أكثر من 74,000 جيل، حدث العديد من الأشياء المثيرة للاهتمام.

تجربة التطور طويلة الأمد (LTEE)

تشير إلى التجارب التي تُجرى لفترات طويلة.

النتائج المذهلة لتجربة التطور طويلة الأمد

كانت إحدى أكثر الملاحظات إثارة للاهتمام من تجربة التطور طويلة الأمد هي الزيادة الملحوظة والمستمرة في اللياقة خلال أول 5000 جيل (حوالي عامين). فما معنى هذا؟ تتكيف الكائنات الحية ذات اللياقة الأعلى بصورة أفضل مع بيئتها وتنتج نسلًا أكثر مقارنةً بمنافسيها الأقل لياقة.

اللياقة (FITNESS)

هي مدى تكيّف الكائن الحي مع بيئته، الذي يحدد عدد النسل الذي يمتلكه ذلك الكائن الحي.

وقد لاحظ لينسكي أن أول عامين من التجربة شهدا ظهور تغيرات جينية في بعض البكتيريا، مما سمح لتلك البكتيريا بالتكيف مع البيئة وبأن تكون أكثر لياقة [4]. وتكيفت بعض البكتيريا جدًا مع البيئة لدرجة أنها فقدت وظائف معينة لم تعد ضرورية في ظل الظروف التجريبية. ويشبه هذا ما حدث لحيوانات معينة بعد مئات أو آلاف السنين من العيش في ظلام دامس، كما هو الحال في الكهوف. فقد تكيفّت هذه الحيوانات بحيث فقدت عيونها في نهاية المطاف، لأن العيون ليست مفيدة في تلك الظروف المظلمة جدًا.

وإحدى النتائج المذهلة الأخرى التي خرجت بها تجربة التطور طويلة الأمد أنه في واحدة من التجارب، لم يكن هذا التجمع المُتكيف من *الإشريكية القولونية* هو التجمع الوحيد، بل تعايش معه تجمع ثانوي آخر لأنه طوّر القدرة على الاستفادة من الأسيتات، وهي منتج فضالي للتجمع المهيمن. ويشبه هذا العلاقة بين الأسود والحيوانات القمّامة، فتتغذى الأسود على الحيوانات التي اصطادتها وتصبح البقايا التي تتركها طعامًا للحيوانات الأخرى، مثل الضباع أو النسور.

وكما ذكرنا في موضع سابق، تصبح الكائنات الحية التي تلحق بها تغيرات جينية وبنيوية نوعًا جديدًا. ولكن، هل يمكن أن تكون هذه العملية قد حدثت في تجربة التطور طويلة الأمد؟ تمتلك *الإشريكية القولونية* خصائص معينة هي ما تجعلها الإشريكية القولونية وليست أنواعًا بكتيرية أخرى. ومن بين هذه الخصائص عدم القدرة على استخدام مادة تُسمى السترات بوصفها مصدرًا للغذاء عند وجود الأكسجين. ومن المثير للدهشة أن العلماء لاحظوا أن أحد تجمعات *الإشريكية القولونية* بدأ في استخدام السترات بوصفها مصدرًا للغذاء بعد 31,500 جيل (أكثر من 12 عامًا) [4].

تُعد القدرة على استخدام السترات نادرة للغاية! فكيف كان هذا ممكنًا؟ تمتلك *الإشريكية القولونية* جميع الجينات اللازمة لاستهلاك السترات، لكن هذه الجينات تتعطل ولا تعمل إلا في حالة غياب الأكسجين. وعندما لاحظ العلماء جينوم الكائنات المتطورة، أدركوا أن ثمة طفرات معينة فعّلت تلك الجينات، مما مكّن *الإشريكية القولونية* من استخدام السترات بوصفها مصدرًا للغذاء. إذن، هل مستهلك السترات هذا من أنواع الإشريكيات الجديدة؟ ماذا تعتقد؟

الخاتمة

أثبتت لنا جميع دراسات التطور أن الحياة دائمًا ما تجد سبيلًا للاستمرار. ولهذا السبب، يمكن للجينومات البكتيرية التكيّف بطرق مدهشة عندما تواجه البكتيريا شدائد بيئية، فتسمح هذه العملية للبكتيريا باستعمار أماكن جديدة. وقد أصبحت *الإشريكية القولونية* الكائن النموذجي لهذه الدراسات التطورية لأنها تنمو بسهولة ولديها جينوم صغير ونحن نعرف الكثير عنها. وتساهم البيانات المُحصلة من هذه التجارب في دراسة المسائل التطورية المهمة وسوف تسمح لنا بفهم التطور بل وتوجيهه في المستقبل. هل يمكنك أن تتخيل مستقبلًا يمكن أن تعرف فيه جميع الجينات التي تتحكم في

الخصائص الفيزيائية لأي كائن حي والأمراض التي قد تصيبه؟ ربما لسنا بعيدين عن ذلك، وعندما يحدث هذا، يمكننا أن نساعد الكائنات الحية في مقاومة الأمراض وربما إيجاد طرق أخرى لمساعدة الكائنات -بما فيها البشر- على التكيّف مع بيئاتها.

إقرار

أتوجه بالشكر إلى دانيال إي. بوستوس دياز وديانا إي غارسيا هيرنانديز على مساعدتهما في المراجعة الدقيقة وتدقيق اللغوي للنسخة الإنجليزية من المقال. وأتوجه بالشكر كذلك إلى إريكا فيريديانا كروز بونيلا على مساعدتها في إنجاز الأشكال الواردة في هذا المقال.

المراجع

1. Darwin, C. R. 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. London: John Murray.
2. Foster, P. L. 2007. Stress-induced mutagenesis in bacteria. *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.* 42:373–97. doi: 10.1080/10409230701648494
3. Sleight, S. C., Orlic, C., Schneider, D., and Lenski, R. E. 2008. Genetic basis of evolutionary adaptation by *Escherichia coli* to stressful cycles of freezing, thawing and growth. *Genetics* 180:431–43. doi: 10.1534/genetics.108.091330
4. Barrick, J. E., Yu, D. S., Yoon, S. H., Jeong, H., Oh, T. K., Schneider, D., et al. 2009. Genome evolution and adaptation in a long-term experiment with *Escherichia coli*. *Nature* 461:1243–7. doi: 10.1038/nature08480

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 07 أبريل 2023

المحرر: Angelica Cibrian-Jaramillo

'مرشدو العلوم': J Abraham Avelar-Rivas

الاقتباس: Aguilar C (2023) كيف تتكيّف البكتيريا مع البيئات القاسية؟ Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2019.00075-ar

مُترجَم ومقتبس من: Aguilar C (2019) Evolution in a Bottle. Front. Young Minds 7:75. doi: 10.3389/frym.2019.00075

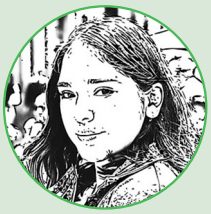
إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

COPYRIGHT © 2019 © 2023 Aguilar. 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

CARLOS، العمر: 16
تقع مدينتي في وسط المكسيك، وهي بلد رائع للعيش فيه لأن حضارتها عظيمة وشعبها لطيف للغاية مع بعضهم بعضًا ومع الشعوب الأخرى التي تزور بلدنا المدهش.

DANIEL، العمر: 14
أحب الرياضة، خاصةً كرة القدم والمبارزة. ووجبتي المفضلة هي ساندويتشات التاكو وأحب أيضًا الذهاب لمشاهدة السيارات والتعرف عليها.



MARÍA JOSÉ، العمر: 14
اسمي ماريا خوسي، وأبلغ من العمر 14 عامًا وأحب الباليه، وأمارسه منذ أن كان عمري 3 أعوام، وأحب أيضًا العلوم وأود دراسة الطب.

المؤلف

CÉSAR AGUILAR
أنا باحث في المختبر الوطني لعلم الجينوم للتنوع البيولوجي بالمكسيك. وأنا حاصل على درجة الدكتوراة في الكيمياء الحيوية ولدي معرفة أساسية حول الأبحاث المتعلقة بالتطور البكتيري. كما أنني أحب جميع أشكال الحياة، لا سيما الكائنات الحية الدقيقة. وقد كنت عاكفًا على دراستها لأكثر من 10 سنوات: كيف تظل على قيد الحياة، كيف تؤدي عملية الأيض، كيف تطورت، والأهم من ذلك، كيف يمكنها أن تساهم معنا في جعل هذا الكوكب مكانًا أفضل للعيش فيه. وفي أوقات فراغي، أحب ممارسة الرياضة ولعب كرة القدم والقراءة. كما أنني أحب عائلتي وأحب القهوة والأفلام والرسوم الهزلية. وبطلي الخارق المفضل هو كابتن أمريكا.
*cesar.aguilar@cinvestav.m

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by
جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology