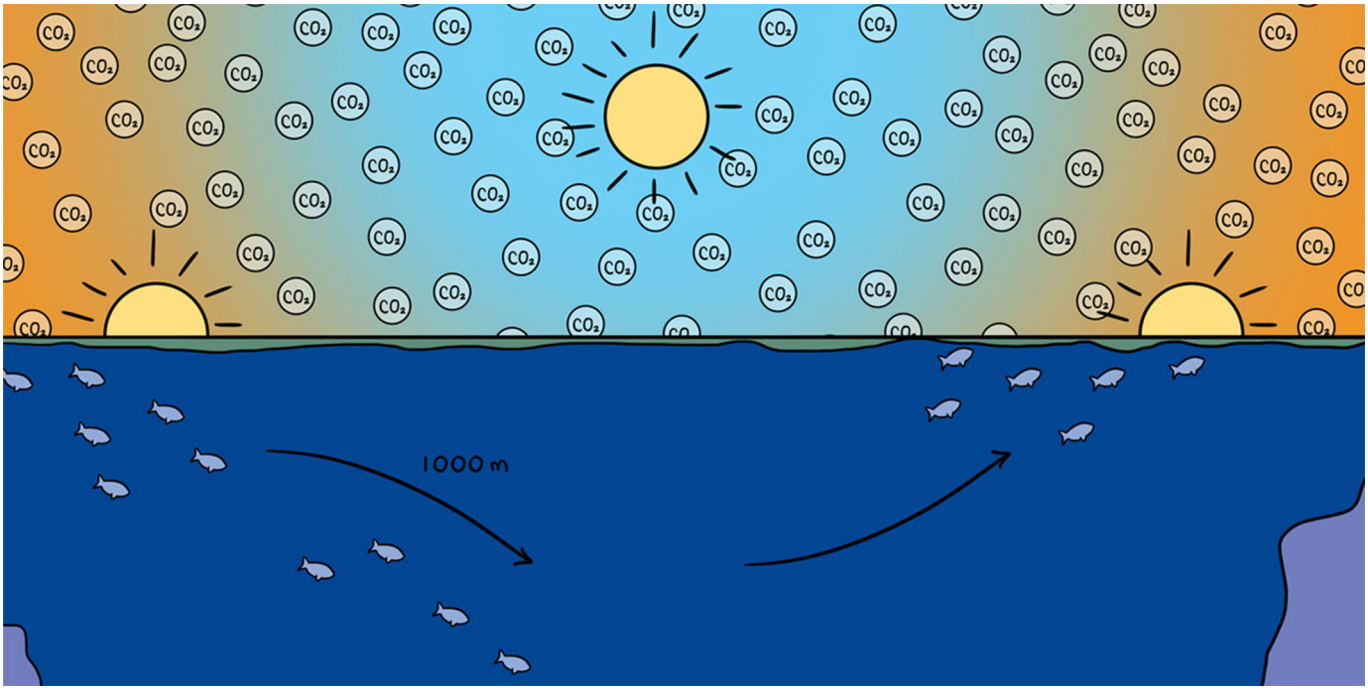
frontiers FOR YOUNG MINDS

التنوع الحيوي
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 16 مايو 2022
doi: 10.3389/frym.2020.00085-ar



الأسماك المهاجرة تمد البكتيريا بالغذاء في أعماق البحار

Maria Ll. Calleja[1,2*] *and Xosé Anxelu G. Morán*[1]

[1]قسم الهندسة والعلوم الحيوية والبيئية، مركز البحر الأحمر للبحوث، جامعة الملك عبد الله للعلوم والتكنولوجيا، ثول، المملكة العربية السعودية

[2]قسم الجيوكيمياء المناخية، معهد ماكس بلانك للكيمياء، ماينز، ألمانيا

تتمتع المحيطات، في كل مكان حول العالم، بأهميةً كبيرةً بالنسبة للحياة على الأرض. وذلك لأنها تنتج كل يوم كميةً كبيرةً من الأكسجين اللازم للتنفس، وتمتص - في الوقت نفسه - ثاني أكسيد الكربون الذي يُخرجه الإنسان. فإذا لم يكن لدينا محيطات، كانت ستزداد نسبة ثاني أكسيد الكربون في الجو بسرعة أكبر بكثير من الآن؛ مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض بصورة أسرع. ولكن يُمتص ثاني أكسيد الكربون في مياه سطح المحيط المُنارة بضوء الشمس، بواسطة خلايا حية صغيرة تُدعى "العوالق النباتية". وتُلتهم بعض هذه العوالق النباتية من قبل كائنات حيّة أكبر منها، وتُنقل إلى أعماق المحيط. وفي هذا المقال سنتقصى آثار الأسماك الصغيرة سريعة السباحة التي تتغذى في مياه السطح ليلًا، وتقبع في الأعماق خلال النهار. ومن ثمّ تنقل هذه الأسماك الكربون بهذه الطريقة من السطح، لتُغذي البكتيريا التي تعيش في المياه العميقة.

المراجعون الصغار:

CHLOE
العمر:15

HALA
العمر:15

HUSSAM
العمر:15

SABREEN
العمر:10

XENIA
العمر:15

لماذا تعتبر المحيطات مهمة للغاية؟

تُنتج المحيطات والبحار على كوكبنا الكثير من الأكسجين الذي نتنفّسه؛ نحن والكائنات الحية الأخرى. وهذا يعني أنّك عندما تتنفس، فإنك تستنشق أكسجينًا يحتوي على جزء من الأكسجين القادم من المحيط، سواءً كنت قريبًا من البحر أو تعيش وسط القارة. ويخرج الأكسجين من المحيط، لأن هناك مليارات الكائنات الحية الصغيرة جدًّا القريبة من السطح التي تُدعى **العوالق النباتية**، وتقوم بعملية **البناء الضوئي** تمامًا مثل النباتات على اليابسة. ويبلغ طول أكبر خلايا تلك العوالق النباتية 1 ملم تقريبًا. وتتخذ هذه الخلايا الكثير من الأشكال المختلفة والجميلة التي يُمكن رؤيتها تحت المجهر. وخلال عملية البناء الضوئي، تعمل العوالق النباتية البحرية على إطلاق الأكسجين وامتصاص ثاني أكسيد الكربون (Co_2) باستخدام الطاقة الشمسية. ويحدث ذلك في الجزء العلوي من المحيط، حيث توجد كمية كافية من ضوء الشمس، وتُساعد هذه العملية على تقليل كمية ثاني أكسيد الكربون الموجودة في الجو. ولولا وجود العوالق النباتية البحرية، كان سيتراكم ثاني أكسيد الكربون الذي ينتجه الإنسان من خلال حرق الوقود الحفري وجراء أنشطة صناعية أخرى، بصورة أسرع، وكانت ستزداد وتيرة الاحتباس الحراري على كوكبنا. لكننا محظوظون لأن 70% من سطح كوكبنا مغطى بالمحيطات التي تساعد على التخفيف من وطأة آثار تغير المناخ.

قصة عن دورة الكربون

ماذا يحدث لثاني أكسيد الكربون بمجرد امتصاصه بواسطة الكائنات الحية الموجودة في منطقة سطح المحيط؟ وإلى أين يذهب؟ الإجابة معقَّدة بعض الشيء، فهذا الجزيء الصغير يدخل في الكثير من التفاعلات الحيوية والكيميائية والفيزيائية التي نسميها **دورة الكربون المحيطية.** وفي هذا المقال سنركز على جزءٍ من تلك الدورة يتعلق بالحيوانات. فخلال عملية البناء الضوئي، تحول العوالقُ النباتية ثاني أكسيد الكربون إلى جزيئات **عضوية**. والجزيئات العضوية عبارة عن مواد مكوَّنة من ذرات الكربون المتحدة مع بعضها بعضًا في حلقات، أو سلاسل مع عناصر أخرى مثل الهيدروجين والأكسجين والنيتروجين. فمثلًا؛ الأحماض الأمينية عبارة عن جزيئات عضوية. وهذه الجزيئات إما أن تستخدمها العوالق النباتية لتنمو، أو تُطلقها في النهاية في مياه البحر في صورة فضلات. وتؤكل العوالق النباتية بواسطة كائنات حيَّة بحرية أكبر منها، وتؤكل تلك الكائنات الأكبر بواسطة حيوانات أكبر منها. وبهذه الطريقة توفِّر جزيئات الكربون العضوية التي تُنتجها العوالق النباتية، الغذاءَ والطاقةَ لكل الكائنات الحية الأخرى التي تُشكِّل شبكات الغذاء البحرية. وتُسمَّى فضلات العوالق النباتية **المواد العضوية الذائبة (DOM)**، وهي تتكون من جزيئات تخدم باعتبارها غذاءً لكل الكائنات الحية المجهرية التي تُدعى البكتيريا والعتائق التي يقل حجمها عن 1 ميكرومتر (علمًا بأن عرض شعرة واحدة من شعر الإنسان يبلغ 25 ميكرومترًا تقريبًا!). وتعيش هذا الكائنات الحية الدقيقة على كل عمقٍ من أعماق المحيط، بدءًا من السطح ونزولًا إلى القاع. وتُعد البكتيريا أشهر الكائنات الحية على الأرض، وتلعب دورًا مهمًّا للغاية في تدوير الكربون في المحيطات [1].

البكتيريا التي تقطن أعماق المحيط

البكتيريا والعتائق - على حد سواء - من **بدائيات النواة**، وهذا يعني أنها كائنات حية وحيدة الخلية وليست بها نواة. ولأن البكتيريا تتواجد عادةً بأعداد أكبر من العتائق؛ فسنستخدم البكتيريا للإشارة

العوالق النباتية (PHYTOPLANKTON)

كائنات حية ذاتية التغذية الضوئية، تعيش في مياه سطح المحيط المُنارة بضوء الشمس. وتمتص ثاني أكسيد الكربون من الجو وتُنتج الأكسجين ومواد عضوية.

البناء الضوئي (PHOTOSYNTHESIS)

عملية امتصاص النباتات الخضراء والعوالق النباتية لضوء الشمس، وتحويله إلى طاقة. وتستهلك هذه العملية ثاني أكسيد الكربون وتُنتج الأكسجين كمنتج ثانوي.

دورة الكربون المحيطية (OCEAN CARBON CYCLE)

خليط من عمليات استبدال الكربون بين أحواض مختلفة داخل المحيط، وكذلك استبداله مع الجو.

المادة العضوية (ORGANIC)

جزء من أي جهاز عضوي أو كائن حي أو مشتق منهما.

المادة العضوية الذائبة (DISSOLVED ORGANIC MATTER (DOM))

مادة عضوية تُنتجها العوالق النباتية في مياه سطح المحيط. وتُعد المادة العضوية الذائبة غذاءً للبكتيريا الموجودة في مياه السطح وفي أعماق المحيط.

بدائيات النواة (PROKARYOTES)

كائنات حية وحيدة الخلية ليست بها نواة. وتُعد البكتيريا من بدائيات النواة.

إلى كل بدائيات النواة. فنحن نعلم أن البكتيريا تزدهر في مياه سطح المحيط اعتمادًا على استهلاكها للمواد العضوية الذائبة التي تُنتجها العوالق النباتية، ولكن على أي شيء تعتمد في أعماق المحيط؟ حسنًا، تضطر البكتيريا إلى أكل المواد المتبقية من السطح والتي تغوص إلى المياه العميقة. ولكن البقايا التي تغوص إلى أعماق المحيط، ليست لذيذةً مثل تلك المواد الطازجة في مياه السطح. ولذلك، اعتقد العلماء لمدة طويلة أن البكتيريا الموجودة في الأعماق، أقل نشاطًا من تلك الموجودة عند السطح. ولكننا علمنا الآن، أن ذلك ليس صحيحًا. فقد تكون البكتيريا الموجودة في الأعماق بنفس نشاط البكتيريا الموجودة عند السطح [2]، وما زال العلماء يتقصون كيفية عمل الحياة البكتيرية في المحيط المظلم. فما زلنا لا نعلم عنها سوى القليل جدًّا. فكما تتخيل، تتسم دراسة مياه أعماق البحار بالصعوبة.

الأسماك تساعد بكتيريا الأعماق على التغذية

لقد قدَّمت التقنيات الحديثة معلوماتٍ جديدةً تساعدنا على فَهم الاتصال القائم بين السطح والطبقات الأعمق من المحيط فَهمًا أفضل. وقد فحص العلماء طويلًا، سلوك مجموعات السمك الصغير الذي يسبح لأعلى ولأسفل بين سطح المحيط وأعماقه كل يوم. ونسمي هذه الحركة **الهجرة العمودية اليومية (DVM)** (الشكل 2) [3]. حيث تعمل تلك الأسماك المهاجرة بمثابة حلقة وصل بين السطح والمياه العميقة. وبعضها يسبح إلى عمق 1000 مترا! وتنقل تلك الأسماك كميةً كبيرةً من الكربون لأعلى ولأسفل كل يوم. وعلى غرار الكائنات الحية الأخرى، تتكون أجسام هذه الأسماك نفسها من الكربون! نعلم أن هذه الأسماك الصغيرة يبلغ طولها القليل من السنتيمترات، وتفضِّل المكوث في مياه السطح ليلًا، حيث تأكل الكثير من العوالق النباتية والفرائس الأخرى قدر إمكانها. وعندما تبدأ الشمس في الشروق، تسرع تلك الأسماك إلى أعماق البحر. وتقضي كل النهار هناك بالأسفل، وعندما تغرب الشمس تسرع مرةً أخرى إلى السطح. لا نعلم بالضبط لماذا تقوم تلك الأسماك بالهجرة العمودية اليومية، ولكن ربما تفعل ذلك كي لا تأكلها الأسماك الأكبر منها. فتقضي النهار بأمان في الأعماق المظلمة دائمًا، وتذهب إلى السطح ليلًا حيث الظلام أيضًا، لتأكل. وعندما تقضي معظم أوقاتها في الظلام، فهي بذلك تتجنب أن تلتقطها الأسماك الكبيرة التي تريد افتراسها.

الهجرة العمودية اليومية (DIEL VERTICAL MIGRATION)

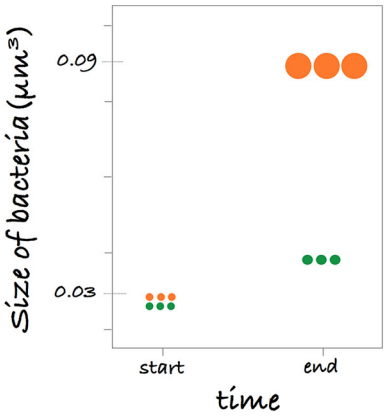
حركة متزامنة يوميًّا للأسماك والحيوانات الأخرى التي تسبح في الماء بين السطح والطبقات العميقة من المحيط. حيث تقضي تلك الكائنات النهار في الأعماق والليل بالقرب من السطح.

كيف تؤثر الأسماك ودرجة حرارة المياه على نشاط بكتيريا أعماق البحار؟

أردنا أن نعرف ما إذا كانت هجرة الأسماك مهمة بالنسبة لبكتيريا أعماق البحار أم لا؟ هل هناك أي علاقة بين الكربون العضوي الذي تستهلكه بكتيريا أعماق البحار، والكربون العضوي الذي توفره الأسماك المهاجرة؟

وللإجابة عن هذا السؤال؛ قمنا بتجربة في البحر الأحمر الذي يُعد واحدًا من أدفأ البحار على مستوى العالم.

فالبحر الأحمر على وجه الخصوص يثير اهتمامنا. وهو يُعد بيئةً قاسيةً بسبب درجات حرارته المرتفعة، وخاصةً في فصل الصيف! فدرجة حرارة مياه البحر العميقة المعتادة في الأجزاء الأخرى من العالم تتراوح ما بين 4 إلى 8 درجات مئوية. وهذه هي درجة حرارة المبردات في منازلنا؛ وهي شديدة البرودة! إلا أن درجة حرارة مياه البحر الأحمر العميقة (على عمق 200 متر) تبلغ 22 درجة مئوية تقريبًا. وفي مثل درجة الحرارة هذه، يُمكننا أن نخرج من المنزل بملابس ذات كم قصير! وكلما ارتفعت درجة الحرارة،



شكل 1

حجم الخلايا البكتيرية في بداية التجربة ونهايتها في مياه السطح (باللون الأخضر)، وحجمها في الطبقات الأخرى التي تتحرك إليها الأسماك في الاعماق (باللون البرتقالي). لا تنمو بكتيريا السطح كثيرًا، ولكن بكتيريا الطبقات الأخرى العميقة التي تتحرك إليها الأسماك أصبحت كبيرة للغاية في نهاية التجربة. وهذا يشير إلى أن الغذاء المتوفر للبكتيريا في المياه العميقة يكون غنيًا جدًّا بالمواد الغذائية.

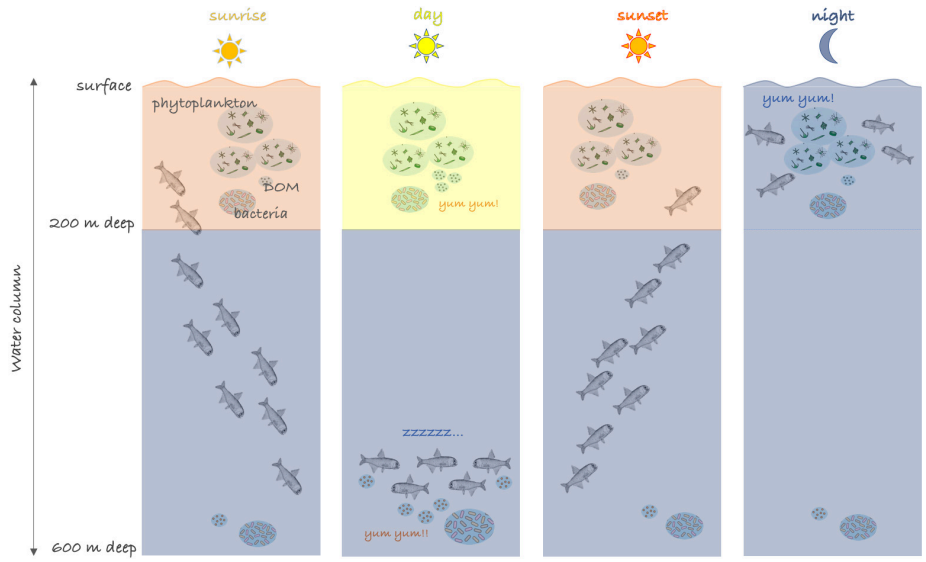
ازداد نشاط البكتيريا. لذلك يُمثّل البحر الأحمر وما فيه من أعداد مهولة من الأسماك المهاجرة والمياه العميقة الدافئة، مكانًا مثاليًّا لاختبار استجابة البكتيريا الموجودة في الأعماق لهجرة الأسماك.

تجربة في البحر الأحمر

للقيام بتجربتنا؛ ذهبنا في منتصف النهار وجمعنا عينة من مياه الأعماق التي تعود إليها الأسماك خلال النهار (التي نطلق عليها طبقات الأسماك). فقد علمنا بواسطة أداة تشبه الرادار يُمكنها رصد وجود الأسماك، أن الطبقات التي تتحرك إليها الأسماك، كانت على عمق يتراوح بين 500 و600 متر نحو القاع. ولذلك قررنا أن نأخذ المياه من على عمق 550 مترًا، ونقارن بينها وبين مياه السطح الموجودة على عمق 5 أمتار. وقمنا أولًا بترشيح مياه البحر بواسطة أغشية بها مسام صغيرة؛ كي تظل البكتيريا والمواد العضوية الذائبة في الماء بعد الترشيح، ثم أحضرنا هذه المياه إلى المختبر لإجراء دراسات إضافية عليها. ووضعنا عينات الماء في إحدى الحاضنات ذات الظروف القريبة قدر الإمكان من ظروف الموقع؛ حيث تتعرض البكتيريا للضوء والظلام لعدد الساعات نفسها التي تتعرض فيها للضوء والظلام في الموقع الحقيقي، وكذلك تُحاط بدرجة الحرارة نفسها التي تُحاط بها في المحيط. ولأن البكتيريا تنمو بسرعة؛ لاحظنا التغييرات في أعداد البكتيريا وحجمها خلال 8 أيام، فقد كنَّا نأخذ عيناتٍ يوميًّا من الزجاجات الموضوع فيها المياه من أجل إجراء التجربة؛ كي نقيس المعدَّل الذي تنمو به البكتيريا وكمية المواد العضوية المذابة التي تستهلكها.

ولاحظنا أن بكتيريا طبقات الأسماك تنمو بسرعة أكبر من بكتيريا مياه السطح. وليس هذا فقط، بل ازداد حجمها زيادة كبيرة (الشكل 1)!

ويعني ذلك أن المواد العضوية المذابة، التي توفرها الأسماك، تُعد مليئةً بالمواد الغذائية المفيدة للبكتيريا، أكثر من تلك التي توفرها العوالق النباتية عند السطح. لقد فوجئنا للغاية بهذه النتيجة. فلقد كنا نعتقد أن الأسماك تهضم وجبتها الليلية وتستريح عندما تكون في الطبقات التي تتحرك إليها خلال النهار. لكنها تسترخي في المياه العميقة وتُخرج المواد العضوية الذائبة كجزءٍ من فضلاتها، وتُصبح تلك المواد طعامًا لذيذًا لبكتيريا أعماق البحار الجائعة. ومن خلال هذه التجربة، أثبتنا أن الهجرة العمودية للأسماك بين مياه السطح والأعماق، لا تنقل الكربون لأعلى ولأسفل فحسب، ولكنها تمد البكتريا الموجودة في الأعماق بمصدر غذاءٍ جيد أيضًا!



شكل 2

الدروس المستفادة

يوضح الشكل 2 ما تعلمناه، حيث يُمثِّل الهجرة العمودية اليومية **لسمكة الفانوس من نوع "skinnycheek``** في البحر الأحمر. فبينما لا تتمكن العوالق النباتية سوى أن تعيش في الطبقات العليا التي يصل إليها الضوء، تتمكن البكتيريا من أن تعيش في أي مكان في المحيط. وقد اعتقدنا أن البكتيريا في المياه العميقة ليست نشِطة بالقدر الكافي، وأنها فقط تستهلك بقايا المواد العضوية المذابة التي تسقط ببطء من سطح الماء إلى القاع. إلا أن تجربتنا قد أوضحت أن هجرة الأسماك إلى المياه العميقة خلال النهار، تكوِّن بقعة غنية بالغذاء للبكتيريا الموجودة في الأعماق. ولم يسبق أن تم رصد هذه الظاهرة من قبل.

والسؤال التالي الذي يتبادر إلى أذهاننا هو: هل يحدث هذا الأمر في جميع المحيطات الأخرى؟ وإذا كانت الإجابة بنعم، فما تبعات ذلك؟ ما زلنا لا نعلم! فكلما يكتشف العلماء شيئًا ما، تظهر أسئلة جديدة على الساحة. وما زال هناك الكثير أمامنا لنعرفه عن المحيطات وعن آلية دورة الكربون!

إقرار

نود أن نشكر نورا جوتيريز أفيلو (13) وماريا دي لوش كاليجا سيرا (15)، وكذلك المراجعين الصغار ومعلمهم الذي قرأ المسودة الأصلية وقدَّم تعليقاتٍ مفيدةً لتحسين تلك المسودة، وجعلها مفهومةً لمن هم في مثل سنهم.

مقال المصدر الأصلي

Calleja, M. L., Ansari, M. I., Røstad, A., Silva, L., Kaartvedt, S., Irigoien, X., et al. 2018. The mesopelagic scattering layer: a hotspot for heterotrophic prokaryotes in the Red Sea twilight zone. *Front. Mar. Sci.* 5:259. doi: 10.3389/fmars.2018.00259

شكل 2

الهجرة العمودية اليومية لسمك الفانوس (skinnycheek) في البحر الأحمر. في اللوحة الأولى، مجموعة من الأسماك التي تسبح من السطح إلى المياه العميقة قرب شروق الشمس، وخلال النهار تتراجع إلى مياه أعمق (اللوحة الثانية). وعند غروب الشمس، تسبح تلك المجموعة إلى السطح مرةً أخرى (اللوحة الثالثة)، وتأكل العوالق النباتية خلال الليل (اللوحة الرابعة). فالعوالق النباتية تظل دائمًا بالقرب من السطح، بينما تتواجد البكتيريا والمواد العضوية المذابة بالقرب من السطح وكذلك في المياه العميقة. وخلال النهار، تستهلك بكتيريا السطح المواد العضوية المذابة التي تُنتجها العوالق النباتية، وتستهلك بكتيريا المياه العميقة المواد العضوية المذابة التي تنقلها الأسماك. عرض العوالق النباتية والبكتيريا والمواد العضوية المذابة، هو تعديل من بوشان وزملائه [5]. عرض سمكة الفانوس (skinnycheek) هو توضيح للأسماك من بارتون وارن إيفرمان [4].

سمكة الفانوس (SKINNYCHEEK LANTERN FISH)

مثال على أحد أنواع الأسماك التي تهاجر عموديًّا في المحيطات. حيث تظل في المياه العميقة خلال النهار، وتظل بالقرب من السطح خلال الليل. وهي موجودة في جميع المحيطات.

المراجع

1. Azam, F., Smith, D. C., Steward, G. F., and Hagström, Å. 1994. Bacteria-organic matter coupling and its significance for oceanica carbon cycling. *Microb. Ecol.* 28:167–79. doi: 10.1007/BF00166806
2. Arístegui, J., Gasol, J. M., Duarte, C. M., and Herndl, G. J. 2009. Microbial oceanography of the dark ocean's pelagic realm. *Limnol. Oceanogr.* 54:1501–29. doi: 10.4319/lo.2009.54.5.1501
3. Buchan, A., LeCleir, G. R., Gulvik, C. A., and González, J. M. 2014. Master recyclers: features and functions of bacteria associated with phytoplankton blooms. *Nat. Rev. Microbiol.* 12:686–98. doi: 10.1038/nrmicro3326
4. Jordan, D. S., and Evermann, B. W. 1902. *American Food and Game Fishes: A Popular Account of All the Species Found in America North of the Equator, With Keys for Ready Identification, Life Histories and Methods of Capture.* London: Hutchinson and Co.
5. Brierley, A. S. 2014. Diel vertical migration. *Curr. Biol.* 24:R1074. doi: 10.1016/j.cub.2014.08.054

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 16 مايو 2022

حرره: Christian Robert Voolstra

مرشدو العلوم: Susann Rossbach

الاقتباس: Calleja ML and Morán XAG (2022) الأسماك المهاجرة تمد البكتيريا بالغذاء في أعماق البحار. Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2020.00085-ar

مُترجَم ومقتبس من: Calleja ML and Morán XAG (2020) Red Sea Fishes That Travel Into the Deep Ocean Daily. Front. Young Minds 8:85. doi: 10.3389/frym.2020.00085

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 © 2020 © Calleja and Morán 2022. 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

CHLOE، العمر: 15

مرحبًا! اسمي كلوي، وعمُري الآن 15 عامًا. ومن ضمن هواياتي القراءة، والغناء، والكتابة، والبحث. كما أحب قضاء الوقت في القراءة عبر الإنترنت، أو قراءة الكتُب الورقية، وهذا يعتمد على مزاجي، ولكنني أحب القراءة بشتى أشكالها. وأعيش حاليًّا مع اثنتين من القطط الشيرازي اللتين تحبان الغناء ليلًا مثلي، كما أنهما كسولتان مثلي. وفي المُستقبل، أود أن أُصبح مُتخصصة في علم الفيروسات أو علم الوراثة، وإن لم أتمكن من ذلك، فحتمًا سأصبح مؤلفة.

HALA، العمر: 15

مرحبًا! اسمي هالة، وعمري 15 عامًا، وأقضي وقت فراغي في قراءة وكتابة القصص القصيرة. أهتم بالتاريخ والسياسة والاقتصاد وعلم الأحياء. وأتمنى أن أدرس الصحافة في المستقبل، كي أتمكن من كتابة مقالات كهذه!

HUSSAM، العمر: 15

اسمي حسام وأبلغ من العمر 15 عامًا. وهواياتي هي التلوين وممارسة رياضة الريشة الطائرة والتصوير. وعلم الأحياء هو العلم المفضَّل بالنسبة لي، وأعمل الآن في مجال الإنتاج الموسيقي ضمن أنشطتي بعد الدوام المدرسي.

SABREEN، العمر: 10

مرحبًا، اسمي صابرين وعمري 10 سنوات، ولديَّ الكثير من الاهتمامات؛ بما فيها العلوم والرياضيات. وأحب القراءة حبًا جمًا، وإحدى سلاسل الكتب المفضلة لديَّ هي ''هاري بوتر''. وأستمتع أيضًا بممارسة الرياضات مثل: كرة الشبكة، وكرة المضرب، وكرة الطاولة، والسباحة، وأستمتع كذلك بصنع الخبز.

XENIA، العمر: 15

اسمي زينيا. أُحب العلوم، وأعتقد أنه من الرائع حقًّا أن أمتلك القُدرة على قراءة مقال علمي وفَهمه جيدًا. كما أحبُّ القراءة، ومُمارسة رياضة الجمباز، والتقاط الصور في وقت فراغي.

المؤلفون

MARIA LL. CALLEJA

باحثة متخصصة في الشؤون البحرية، ركَّزت على فَهم دورة الكربون في المحيطات. وتسبب شغفها الكبير في جعلها تعمل على أنظمةٍ بيئية مختلفةٍ؛ بدرجة اختلاف الأنظمة البيئية الاستوائية والقطبية. ويركِّز بحث ماريّا على دور الكائنات الحية الميكروبية في التحكم في دورة الكربون المحيطية، وكيف يتغير ذلك في حالة درجات الحرارة المرتفعة. maria.calleja@mpic.de*

XOSÉ ANXELU G. MORÁN

أستاذ جامعي في علم المحيطات الحيوي وعلم البيئة الميكروبي، ويركّز على العوالق صغيرة الحجم، ودورها في دورة الكربون المحيطية. تضمنت اهتماماته التفاعلات القائمة بين البكتيريا والعوالق النباتية، وتباين عملية البناء الضوئي من نظام إلى آخر، والإنتاج الأولي، والتغيرات طويلة الأجل التي تطرأ على الكائنات الحية الميكروبية البحرية، مستهدفًا فَهم تركيب شبكات الغذاء الميكروبية ووظيفتها، واستجابتها للتغير العالمي.

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

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