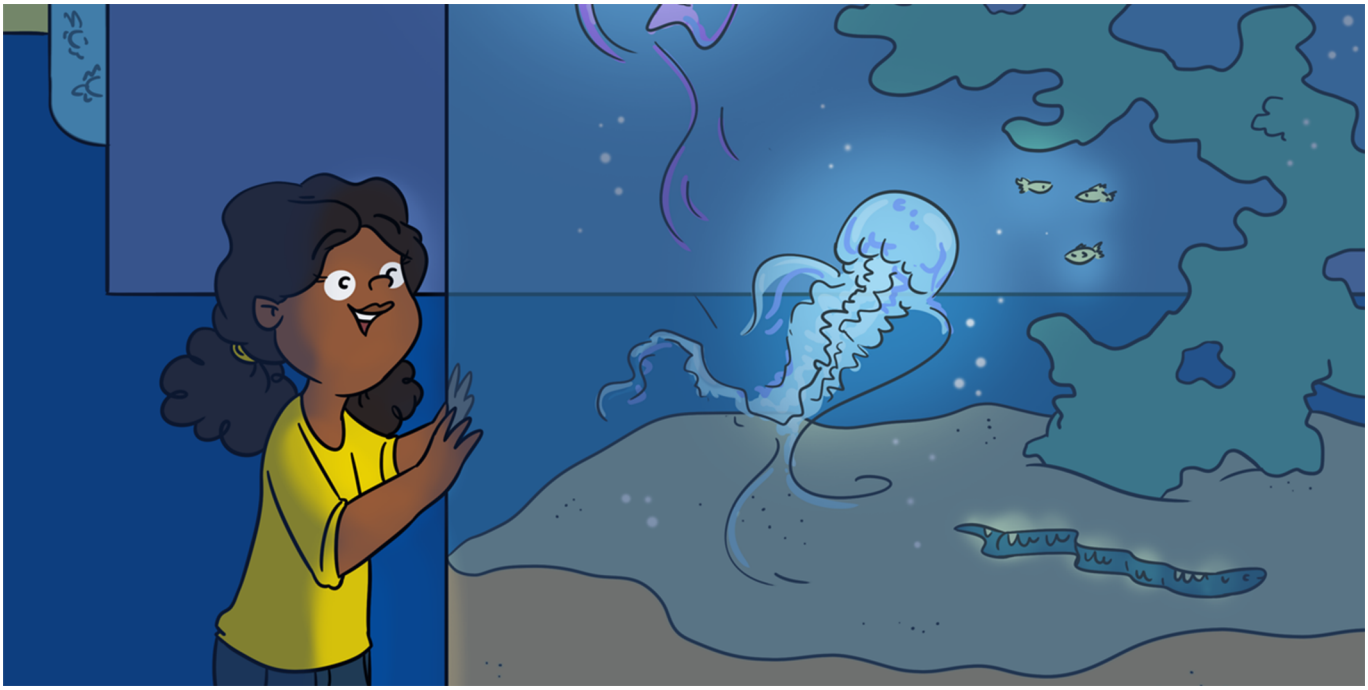
frontiers FOR YOUNG MINDS

التنوع الحيوي
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 25 أكتوبر 2021
doi: 10.3389/frym.2020.00069-ar



المحيط المظلم مليء بالكائنات المتوهجة!

Séverine Martini[1*] and Warren R. Francis[2]

[1]UMR7093 Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, Villefranche-sur-Mer, France
[2]Department of Biology, University of Southern Denmark, Odense, Denmark

تخيل أن جسمك يمكن أن ينبعث منه الضوء كلما احتجت إليه، حينها لن تخاف أبدًا في الظلام أو في الليل، لأنك تستطيع أن تضيء العالم من حولك. ويمكنك إطلاق سحابة وامضة من تحت سريرك حتى تعمى الوحوش في الظلام أثناء هروبك منهم. والواقع أنه يُمكن للعديد من الحيوانات في المحيط فعل ذلك؛ وتُسمى هذه القوة العظمى بظاهرة التوهج الحيوي! يتمتع حوالي ثلاثة أرباع الحيوانات بالتوهج الحيوي في أعالي البحار، ويمكن لهذه الحيوانات أن تعيش في أي مكان من السطح وصولًا إلى عمق 4000 متر. ويُعد هذا الانبعاث الضوئي وسيلة فعالة للتواصل مع الأصدقاء أو جذب فريسة أو الهروب من الحيوانات المفترسة في ظلام المحيطات.

المراجعون الصغار:

JOHN FISKE ELEMENTARY SCHOOL
العمر:12-14

التوهج الحيوي (BIOLUMINESCENCE)

انبعاث الضوء من الكائنات الحية.

مقدمة

هل تعلم أن معظم الحيوانات البحرية لديها قوة خارقة لا نملكها نحن البشر؟ يُطلق عليها **التوهج الحيوي (bioluminescence)**، وهي مكونة من كلمتين "bios"، وتعني الحياة في اليونانية، و"lumen"، وتعني الضوء في اللاتينية. فيُقصد بالتوهج الحيوي قدرة بعض الكائنات الحية على بعث

ضوء خاص بها. قد تبدو كلمة التوهج الحيوي مشابهة لكلمات أخرى مثل ''الوميض الفسفوري'' (فكر في الألعاب التي تضئ في الظلام)، أو ''التوهج الفلوري'' (فكر في أقلام تمييز النص)، ولكنها ظواهر مختلفة تمامًا [1]. ويتمثل الاختلاف الرئيسي في أن التوهج الحيوي لا يتطلب أي مصدر خارجي للضوء مثل الشمس أو المصباح الضوئي. فالتوهج الحيوي هو في الواقع تفاعل كيميائي (أشبه بعصا متوهجة). ووصف عالم الأحياء الفرنسي Raphael Dubois هذا التفاعل لأول مرة في عام 1887. ويتطلب تفاعل التوهج الحيوي مادتين كيميائيتين، إحداهما تسمى ''**لوسيفيرين**'' **(luciferin)** (الذي يجري استهلاكه مثل البطاريات)، والأخرى تسمى **إنزيم luciferase**. تتفاعل المادتان الكيميائيتان معًا مع قليل من الأكسجين لإنتاج الضوء.

لوسيفرين (LUCIFERIN)

مادة كيميائية تعمل مع إنزيم الـ luciferase أثناء التفاعل الكيميائي الخاص بالتوهج الحيوي.

إنزيم (LUCIFERASE)

إنزيم مشارك في التفاعل الكيميائي الخاص بالتوهج الحيوي.

لماذا تبعث الحيوانات البحرية الضوء؟

لماذا تستهلك الحيوانات طاقتها في صنع الضوء؟ أحد أسباب انبعاث الضوء هو أن ضوء الشمس يخترق بالكاد المحيط بقدر أعمق من بضع مئات من الأمتار. ويسود الظلام الدامس تحت هذا العمق. وفي أثناء الليل، حتى سطح المحيط يكون مظلمًا، باستثناء التوهج الخافت الصادر من ضوء القمر، لذا فإن الضوء يعد وسيلة تواصل رائعة لدى الحيوانات. ولكن مع من تتواصل؟ ومن بإمكانه أيضًا رؤية هذه الإشارات؟ بالنسبة للأنواع البحرية، فإن انبعاث الضوء أو البحث عن الضوء في الظلام يساعدها في العثور على شركاء تزاوج أو حتى شيء لتأكله. فعلى سبيل المثال، تستخدم سمكة أبو الشص استراتيجية الإغراء بالتوهج لجذب فريسة صغيرة ستنتهي بلا شك في معدتها (الشكل 1A). ونظرًا لأن الفريسة لا تريد أن تؤكل بطبيعة الحال، فيُمكنها استخدام التوهج الحيوي أيضًا، ولكن كوسيلة للدفاع عن نفسها. ويُمكن استخدام العديد من الاستراتيجيات المختلفة [2]. يُعد إطلاق سحابة من المخاط المتوهج وسيلة لخداع الحيوانات المفترسة لبضع ثوان (الشكل 1B). تخيل أنك كنت في غرفة مظلمة لبضع دقائق. ودخل شخص ما ووجه مصباحًا يدويًا إلى عينيك، فستصاب بالعمى لبضع ثوانٍ ولن تتمكن من رؤية أي شيء لمدة تكون كافية أن تهرب فيها الفريسة المحتملة.

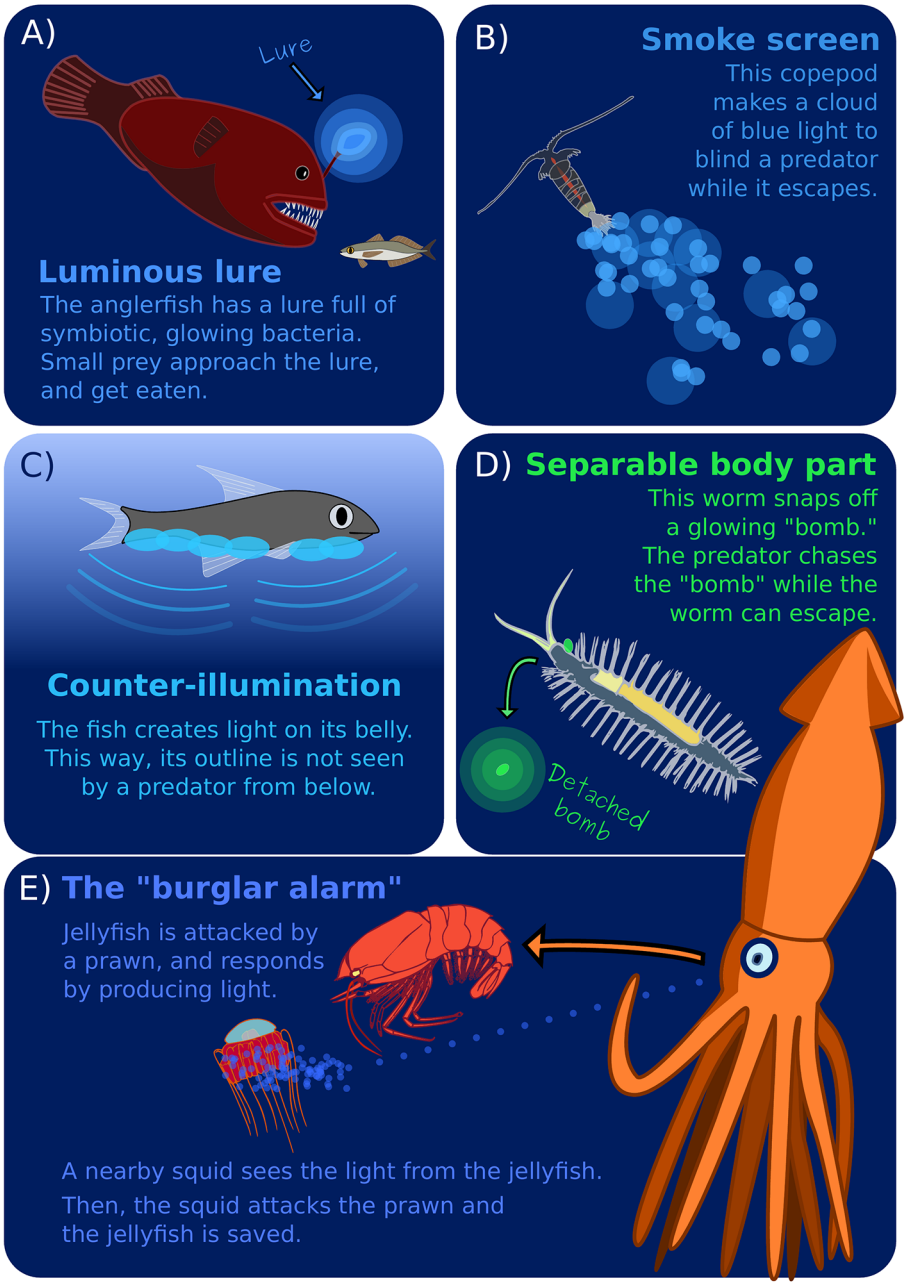
تستخدم بعض أنواع الأسماك والحبار التوهج الحيوي لبعث إضاءة مضادة (الشكل 1C). فعادة، إذا كانت هذه الحيوانات تسبح على السطح خلال النهار، فسيكون ظل صورتها المواجه للشمس مرئيًا للحيوانات المفترسة التي تسبح تحتها. ويمكن لبعض أنواع الأسماك والحبار رغم ذلك إنتاج الضوء من بطونها لتشويش صور ظلها وإخفاء أنفسها من الحيوانات المفترسة المحتملة. وتستخدم بعض أنواع الحبار والديدان استراتيجية أخرى ألا وهي فصل جزء من أجسادها كهدف مضيء يتم التضحية به (الشكل 1D). ثم يطارد المفترس الجزء المتوهج المنفصل بينما تهرب الفريسة، على غرار الطريقة التي يمكن لبعض الزواحف من خلالها فصل ذيولها للهروب من الحيوانات المفترسة. وأخيرًا، تستخدم بعض الحيوانات الضوء لطلب المساعدة إذا كانت مطاردة، وهو ما يسمى أحيانًا ''رسالة استغاثة'' (الشكل 1E). قد تواجه الحيوانات البطيئة أو الضعيفة صعوبة في الهروب من حيوان مفترس بمفردها، لذا تستخدم الضوء لاستدعاء شيء أكبر وأكثر شراسة قد يرغب في أكل الكائن الحي الذي يضايقها.

تنوع الكائنات البحرية المضيئة

تعد الكائنات الحية ذات التوهج الحيوي غير شائعة على اليابسة، على الرغم من أنك ربما قد شاهدت الكائنات ذات التوهج الحيوي في حديقتك أو في الريف، إلا أنها موجودة في كل مكان في المحيط. وهناك مجموعة متنوعة من الحيوانات المضيئة: الأسماك والحبار وقناديل البحر وبعض الشعاب المرجانية وأنواع مختلفة من الديدان البحرية والمشطيات (ctenophores)

شكل 1

تستخدم حيوانات أعماق البحار طرق مختلفة للتوهج الحيوي. **(A)** طُعم مضيء أو الإغراء بالتوهج، **(B)** سحابة من الدخان، **(C)** إضاءة مضادة، **(D)** جزء من الجسم قابل للفصل، **(E)** ''رسالة استغاثة''.



شكل 1

(وتنطق "TEEN-o-fours"، أي الهلاميات المشطية) ونجوم البحر والقشريات (مثل: الجمبري). ومن بين الحيوانات المتوهجة الأكثر غرابة، توجد الهلاميات النارية وهي كائنات حية تشبه الأنابيب الجيلاتينية الطويلة (الشكل 2A). وينبعث منها ضوء لامع ومستمر غير عادي، والأكثر إثارة للدهشة، أنها تبعث الضوء استجابة للتحفيز بالضوء الخارجي (الشكل 2B).

يبدو معظم التوهج الحيوي المنبعث من حيوانات المحيط باللون الأزرق أو الأخضر، وهي الألوان (أو الأطوال الموجية، بلغة علم الفيزياء) التي تنتقل إلى أبعد نقطة تحت الماء. وقد لوحظ أن انبعاثات الضوء الأخضر توجد بشكل أساسي في البيئات المائية الضحلة، بينما تأتي انبعاثات الضوء الأزرق

شكل 2

شكل 2

الهلاميات النارية: حيوانات مثيرة للاهتمام تتمتع بخاصية التوهج الحيوي. تُعد الهلاميات النارية حيوانات طليقة الحركة على شكل أنبوب. وقد يتراوح طولها من بضعة سنتيمترات إلى بضعة أمتار. **(A)** قد يُلاحظ الهلام الناري تحت الضوء الأبيض، والذي يشبه ضوء الشمس أو المصباح (©MBARI). **(B)** هلام ناري يتوهج باستخدام التوهج الحيوي (بإذن من S.H.D. Haddock, ©https://biolum.eemb.ucsb.edu/).

الفيروزي عادة من الكائنات **البحرية العميقة**، وهي الكائنات التي تعيش في المياه المفتوحة [3]. ومع ذلك، تستخدم الكائنات البحرية ذات التوهج الحيوي ألوان قوس القزح بأكمله. ويجعل بعض قناديل البحر الضوء وكأنه أرجوانيًا. وتبعث الدودة البحرية المسماة ''دودة ذات الزعانف'' (Tomopteris) (وتُنطق "toe-MOP-ter-iss") ضوءًا أصفر على شكل جسيمات متوهجة لامعة، وهو لون نادر جدًا ينبعث في أعماق البحار. ولا يزال العلماء غير قادرين على فهم كيفية إنتاج هذه الدودة للضوء الأصفر ولماذا. وأخيرًا، تنتج بعض الأسماك التي تُسمى سمكة التنين (dragonfish) ضوءًا أحمر. وبالكاد ترى أعيننا هذا الضوء الأحمر عند هذا الطول الموجي الشديد، ولكن عدسات الكاميرا يمكنها ذلك. ويُستخدم الضوء الأحمر على الأرجح للبحث عن الفريسة، نظرًا لأن معظم فرائس سمكة التنين لا تستطيع رؤية الضوء الأحمر أيضًا.

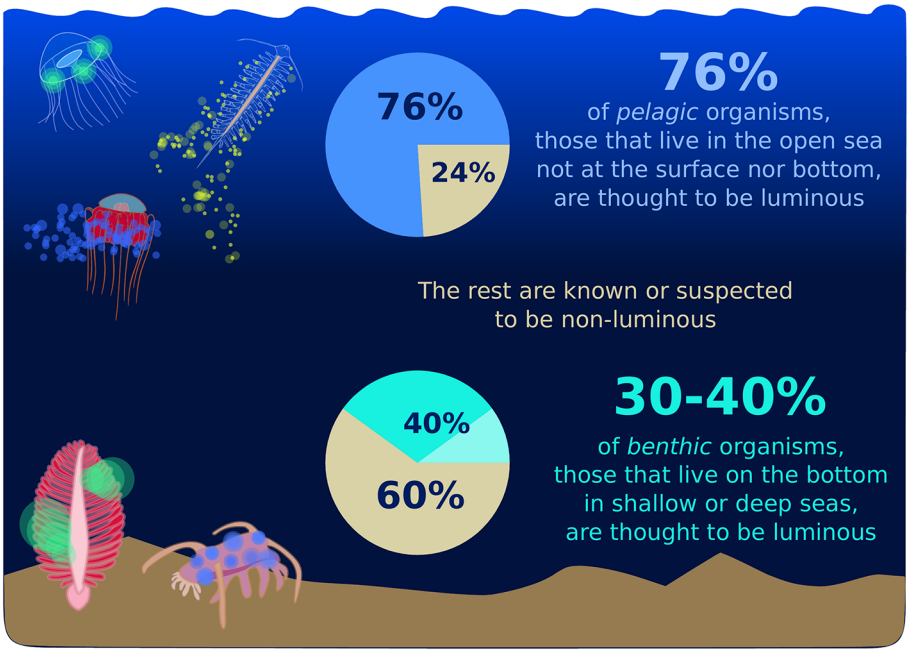
المناطق البحرية العميقة (PELAGIC)

المتعلقة بالمياه المفتوحة للمحيطات، كما تتميز مناطقها عن مناطق قاع المحيط.

عادةً ما يكون الضوء المنبعث من الحيوانات ذات التوهج الحيوي قصير العمر للغاية، حيث يستمر من <1 ثانية إلى حوالي 12 ثانية. وتُعتبر أنماط الضوء متنوعة للغاية. وتنبعث ومضات قصيرة من الضوء الساطع من مجدافيات الأرجل، وتتكون سحب من التوهج الحيوي من بعض المشطيات، والسحاريات (من أقارب قناديل البحر التي تشكل سلاسل طويلة)، أو الديدان السهمية (وتُسمى عادة ديدان السهم). وهناك مثال آخر يدعى خِيار البحر حيث لا يبدو جميلًا جدًا تحت الإضاءة العادية، إلا أنه حين يضيء بعضه في الظلام، يمكننا أن نرى أنماطًا دائرية خلابة من الضوء على أجسامها بالكامل وكأنها ألعابًا نارية حية[1] . ويُعد الشيء الأكثر إثارة للإعجاب هو أن هناك بالتأكيد العديد من أنماط التوهج الحيوي الخفي في أعماق المحيطات التي لم يرها أحد من قبل.

[1] https://www.nature.com/articles/d41586-018-06660-2

ليست حيوانات المحيط الكبيرة فقط هي التي تستخدم الضوء بهذه الطرق؛ فبعض الكائنات المجهرية يُمكن أيضًا أن تتمتع بخاصية التوهج الحيوي. الطحالب دوامية السياط (Dinoflagellates) (تنطق "dino-FLA-jel-lits") غالبًا ما تكون مسؤولة عن التوهج الحيوي الذي يُلاحظ على سطح البحر. ويمكن أحيانًا رؤية آثارها المضيئة في الليل خلف القوارب الشراعية، أو إذا حركت يدك في الماء على الشاطئ. حتى البكتيريا يمكن أن تتمتع بخاصية التوهج الحيوي. وعلى النقيض من الكائنات الحية الأكبر حجمًا، يكون ضوء التوهج الحيوي للبكتيريا مستمرًا. يُمكن العثور على البكتيريا الحيوية في كل مكان في المحيط: سواء حرّة تسبح في المياه، أو ملتصقة بمواد مثل



شكل 3

شكل 3

يُمكن العثور على حيوانات تتمتع بالقدرة على التوهج الحيوي في جميع أنحاء المحيط. عُثر على الكائنات البحرية في المياه المفتوحة بين السطح والقاع، وحوالي 76% من هذه الحيوانات مضيئة. وعُثر على كائنات بالقرب من قاع البحر، و30-40% منها يتمتع بقدرة التوهج.

فضلات العوالق أو الطبقات العظمية من هياكل الأسماك أو حتى في أحشاء الأسماك. كما يُمكن العثور على هذه البكتيريا في علاقة تكافلية مع الحيوانات الأخرى و تعيش في أعضاء مضيئة معينة لبعض أنواع الأسماك أو الحبار. الأمر أشبه بالفريق الذي يشارك كل عضو فيه بشيء مفيد، بحيث يوفر الحيوان الأكبر حجمًا العناصر الغذائية (الغذاء) للبكتيريا، وفي المقابل، يُستخدم الضوء البكتيري لجذب الفريسة. يعد سمك أبو الشص من الأمثلة الشائعة على هذه الحالة. حيث يعيش هذا السمك في أعماق المحيط ولديه طُعم مضيء مليء بالبكتيريا المضيئة على رأسه، تقوم مقام صنارة الصيد. يعيش سمك أبو الشص والبكتيريا معًا في علاقة تكافلية. ومع ذلك، لا يُعد التوهج الحيوي من خلال **التكافل** ظاهرة شائعة، وتُعتبر معظم الكائنات الحية كائنات ذاتية الإضاءة، باستخدام خلايا متخصصة تسمى **الأعضاء المضيئة**.

التكافل (SYMBIOSIS)

التفاعل أو العلاقة الحية الوثيقة بين الكائنات الحية من الأنواع المختلفة، وعادة ما تعود هذه العلاقة بالنفع والفوائد على أحد الكائنات الحية أو لكليهما.

العضو المضيء (PHOTOPHORE)

عضو باعث للضوء موجود في بعض الحيوانات التي تتمتع بقدرة التوهج الحيوي.

إلى أي مدى يعتبر التوهج الحيوي شائعًا في المحيطات؟

أفاد باحثون يعملون على متن غواصات أنه أثناء هبوطهم في أعماق المحيط، كانت الكثير من المخلوقات التي أزعجتها المركبة تتلألأ. ولا يزال من الصعب للغاية مراقبة هذه الحيوانات المتوهجة في بيئاتها التي تقع على بعد عدة آلاف من الأمتار تحت سطح المحيط. يقدر تحليل أُجري مؤخرًا أن 76% من الكائنات البحرية (تلك التي تعيش في المياه المفتوحة) لديها القدرة على بعث الضوء [4]. وهذا يعني أن معظم الحيوانات التي تعيش بين السطح وأعماق المحيط لديها هذه القوة الخارقة. وبالنسبة **لأحياء قاع البحر** (تلك التي تعيش بالقرب من قاع البحر)، تكون النسبة أقل قليلًا - حيث يتمتع حوالي 40% من هذه الحيوانات بقدرة التوهج الحيوي (الشكل 3). ويرتبط هذا التباين بالأطوال الموجية لألوان الضوء الأكثر وضوحًا في هذه البيئات. لماذا توجد مثل هذه النسبة المئوية المتنوعة من الكائنات البحرية المضيئة مقارنةً بأحياء قاع البحر؟ تُفيد إحدى الفرضيات الرئيسية بأن التوهج الحيوي هو وسيلة للتواصل، حيث يكون الضوء فعالًا للغاية في البيئة البحرية للتواصل مع كائن بعيد. وعلى العكس، بالنسبة لحيوانات القاع، فهناك الكثير من العوائق مثل

الكائنات القاعية (BENTHIC)

تتعلق بقاع البحر أو الكائنات الحية التي تعيش فيه.

الصخور والشقوق والكهوف، أو يمكن أن تكون المياه غائمة بسبب الرواسب التي تثيرها وتحركها التيارات المحيطية. ونتيجة لذلك، قد لا يكون استخدام الضوء فعالًا بالنسبة لكائنات قاع البحر. وقد يكون الضوء أيضًا أقل أهمية لسكان القاع، نظرًا لوجود العديد من الأماكن للاختباء.

الخلاصة

يُعد التوهج الحيوي قوة خارقة رائعة يمتلكها العديد من الكائنات البحرية التي تعيش في محيطاتنا وكثيرًا ما تُعرض في الأفلام أو البرامج التلفزيونية. ورغم أن العلماء على دراية بهذه القدرة وآلياتها منذ قرون، فإننا ما زلنا بعيدين عن معرفة كل شيء عن التوهج الحيوي. والواقع أن الباحثين لم يكتشفوا جميع الأسباب التي تجعل الحيوانات أو البكتيريا تتوهج حيويًا. ولا يزال التفاعل الكيميائي الذي يُحدث التوهج الحيوي، على الرغم من فهم بعض الحيوانات له ومعرفتها به، سرًا بالنسبة للعديد من الحيوانات الأخرى، مثل بعض الديدان والعديد من الأسماك.

ومن المهم للعلماء أن يواصلوا دراسة التوهج الحيوي، لأن هذه القدرة الرائعة للكائنات تظل غير موصوفة أو بالكاد مفهومة لدى العديد من الحيوانات، في حين أن لها أهمية كبيرة في أوساط المحيط حالكة الظلام.

المراجع

1. *The Bioluminescence Web Page*. Available online at: https://biolum.eemb.ucsb.edu/
2. Haddock, S. H., Moline, M. A., and Case, J. F. 2010. Bioluminescence in the sea. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 2:443–93. doi: 10.1146/annurev-marine-120308-081028
3. Widder, E. A. 2010. Bioluminescence in the ocean: origins of biological, chemical, and ecological diversity. *Science* 328:704–8. doi: 10.1126/science.1174269
4. Martini, S., and Haddock, S. H. 2017. Quantification of bioluminescence from the surface to the deep sea demonstrates its predominance as an ecological trait. *Sci. Rep.* 7:45750. doi: 10.1038/srep45750

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 25 أكتوبر 2021

حرره: Sanae Chiba, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Japan

الاقتباس: Martini S and Francis WR (2021) المحيط المظلم مليء بالكائنات المتوهجة! Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2020.00069-ar

مُترجَم ومقتبس من: Martini S and Francis WR (2020) The Dark Ocean Is Full of Lights. Front. Young Minds 8:69. doi: 10.3389/frym.2020.00069

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 © 2021 Martini and Francis. 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

JOHN FISKE ELEMENTARY SCHOOL، العمر: 12–14

نحن مجموعة من الطلاب العلماء الشباب الأذكياء المشاركين في نادي SMART العلمي. نحن مهتمون بالمواد الكيميائية والمواد المختلفة. نحن في الصف السابع والثامن في مدرسة John Fiske الابتدائية. إننا متحمسون لإتاحة الفرصة للعمل مع العلماء الذين يدرسون ويكتبون عن التوهج الحيوي. أسماءنا هي Joi وBrianna وKingsley وTaliya وHallel وShamari وShamar وCamron.

المؤلفون

SÉVERINE MARTINI

لقد بدأت العمل على البكتيريا الحيوية أثناء دراستي للدكتوراة في مرسيليا، بفرنسا، في معهد البحر الأبيض المتوسط لعلوم المحيطات (The Mediterranean Institute of Oceanography). وكان هدفي هو فهم كيفية تكيُّف هذه الكائنات الدقيقة مع أعماق البحار (الضغط العالي والظلام). ولمتابعة بحثي حول الأنواع البحرية الكبيرة (الرخويات، اللافقاريات ...)، عملت لمدة عامين في معهد أبحاث الأحياء المائية بخليج مونتيري Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI)، في كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية. MBARI هو مختبر رائد عالميًا متخصص في أبحاث وتقنيات أعماق البحار. martini.severine@gmail.com*

WARREN R. FRANCIS

مجال خبرتي هو الكيمياء الحيوية. ولقد حصلت على درجة الدكتوراة من معهد أبحاث الأحياء المائية بخليج مونتيري (The Monterey Bay Aquarium Research Institute) في كاليفورنيا، ودرست التوهج الحيوي في مجموعة من الحيوانات تسمى المشطيات، تحديدًا الهلاميات المشطية. ولديّ مشاريع جارية على مجموعة متنوعة من الحيوانات المضيئة ومتعددة الأشواك والحبار والشعاب المرجانية والهلام من منظور وراثي وكيميائي.

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

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