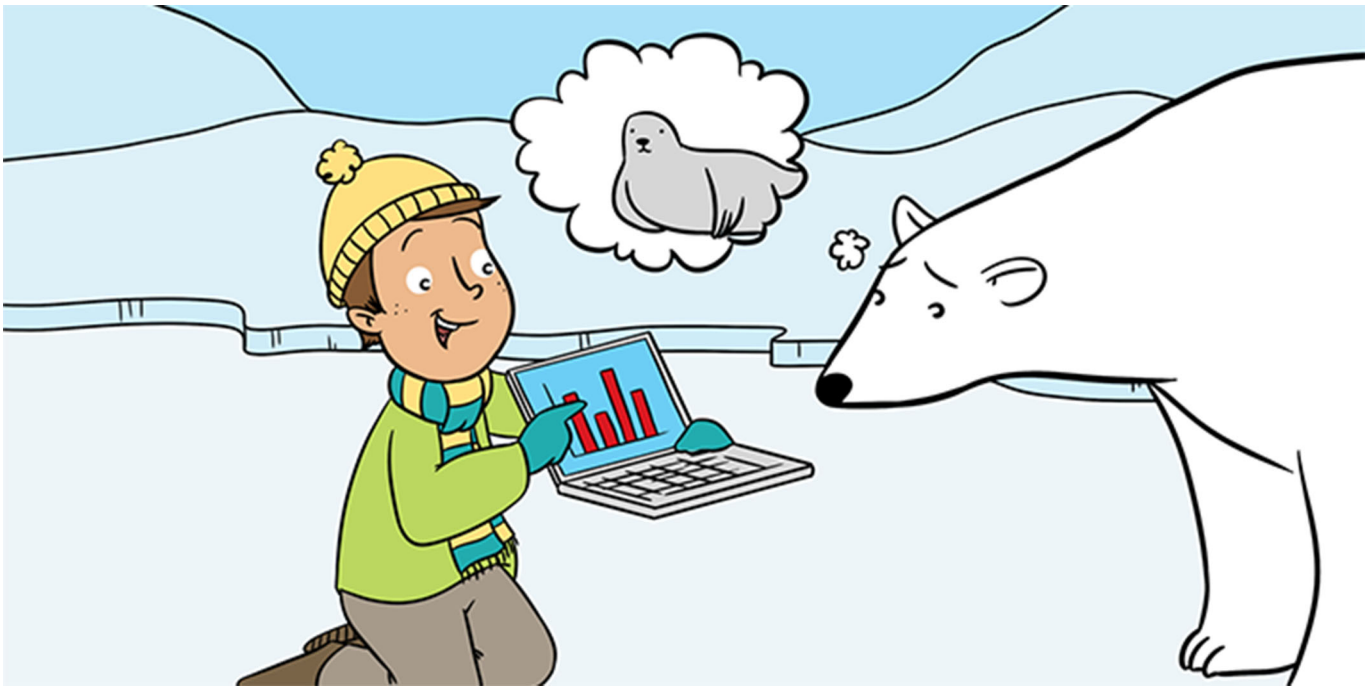
صحة الإنسان
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 12 مايو 2023
doi: 10.3389/frym.2020.00103-ar



كيف يؤثر تغير المناخ على الحياة في القطب الشمالي؟

Michael R. Heath[1*], Deborah Benkort[2], Andrew S. Brierley[3], Ute Daewel[2], Richard Hofmeister[2], Jack H. Laverick[1], Roland Proud[3] و Douglas C. Speirs[1]

[1]قسم الرياضيات والإحصاء، جامعة ستراثكلايد، غلاسكو، المملكة المتحدة
[2]معهد أبحاث هلمهولتز زينتروم، مركز أبحاث المواد والسواحل، غيزتاخت، ألمانيا
[3]المعهد الاسكتلندي للمحيطات، كلية الأحياء، جامعة سانت أندروز، سانت أندروز، المملكة المتحدة

يؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى ذوبان الجليد الذي يغطي المحيط المتجمد الشمالي، مما يسمح بنفاذ ضوء الشمس إلى المياه التي كانت مظلمة منذ آلاف السنين. وتتحول المناطق القاحلة التي كان يكسوها الجليد في السابق إلى بحار منتجة. وفي هذا المقال، سنتناول كيف يمكن استخدام النمذجة الحاسوبية للتنبؤ بمدى تأثير هذا التحول على الشبكة الغذائية التي تربط العوالق بالأسماك والمفترسات العليا، مثل الحيتان والدببة القطبية. أصبحت صور الدببة القطبية التي تتضور جوعًا رمزًا لتأثيرات ارتفاع درجة حرارة المناخ. فمن المتوقع أن يؤدي ذوبان الجليد البحري إلى خفض قدرة الدببة على مطاردة الفقمة. بيد أن هذا يتزامن مع حقيقة أن الشبكة الغذائية التي تعتمد عليها الدببة أصبحت أكثر إنتاجية، لذلك ليس من الواضح تمامًا ما ستؤول إليه الأمور في نهاية المطاف. وتساعدنا النماذج الحاسوبية على فهم هذه الأنظمة وعلى اتخاذ قرارات سياسية حول إدارة الموارد المتوفرة حديثًا في القطب الشمالي.

المراجعون الصغار

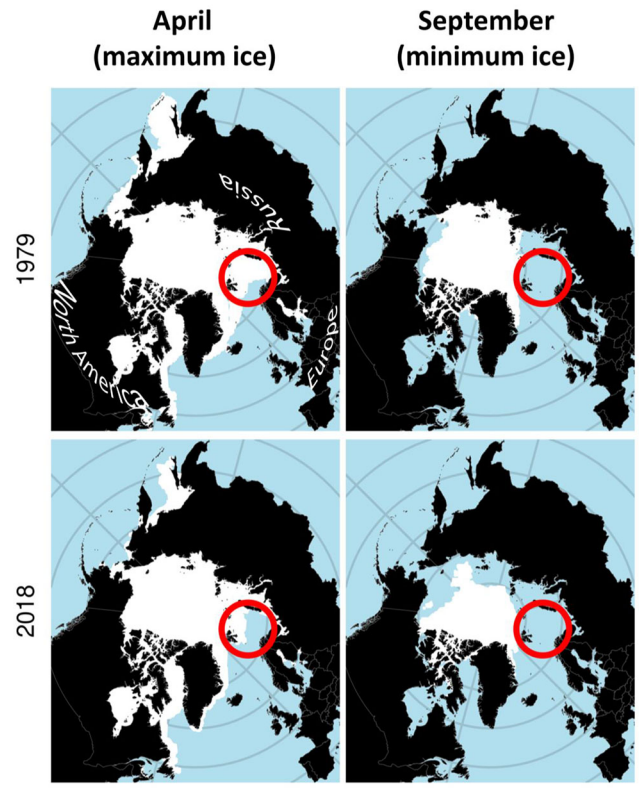
LILU
العمر: 11

مقدمة

يُعد القطبان الشمالي والجنوبي من بين أقسى البيئات على كوكبنا. ففي الشتاء، لا تشرق الشمس أبدًا، وتكون درجات حرارة الهواء شديدة البرودة، ويتراكم الثلج والجليد. وفي الصيف، لا تغرب الشمس أبدًا، ويكون الجو أكثر دفئًا، ويذوب الجليد مرة أخرى باتجاه القطبين. ولكن، لا شك أن كمية الجليد تتقلص مع ارتفاع درجة حرارة كوكبنا. ويحدث هذا في البر والبحر على حدٍ سواء. فعلى البر، تذوب الأنهار الجليدية وتتراجع في أماكن مثل القارة القطبية الجنوبية وغرينلاند وألاسكا. وفي البحر، تتضاءل مساحة الجليد العائم -الذي نسميه الجليد البحري- كل عام [1] (شكل 1).

الجليد البحري (Sea-ice)

هو جليد عائم يتكون من تجمد سطح البحر.



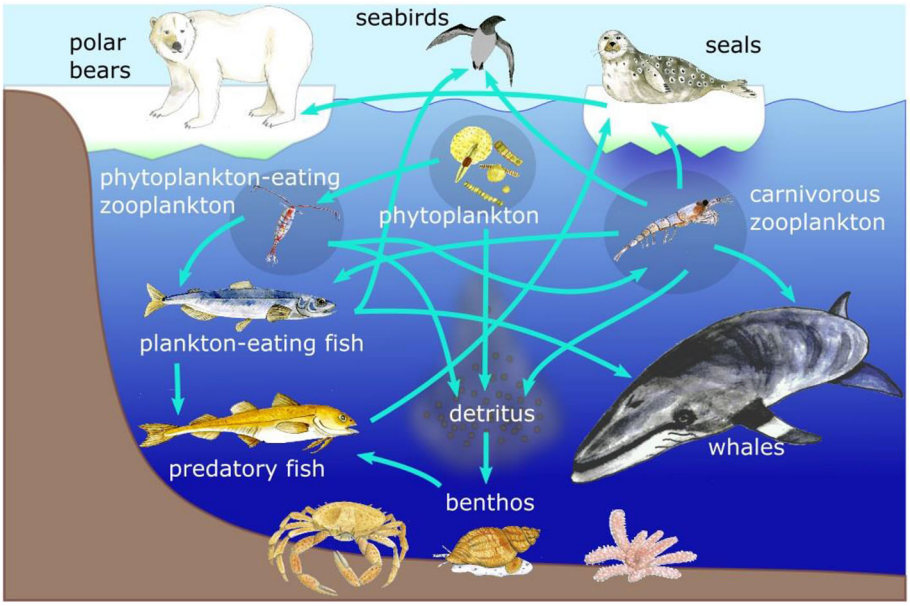
شكل 1

التغيرات في مدى الجليد البحري (المناطق البيضاء) في القطب الشمالي بين عامي 1979 و2018. في جهة اليسار، يمكنك رؤية منطقة الجليد في شهر أبريل عندما يكون الجو باردًا والجليد عند أقصى حد له. وفي جهة اليمين، يمكنك رؤية منطقة الجليد في شهر سبتمبر عندما يكون الجو أكثر دفئًا والجليد عند أدنى حد له. وتتمركز كل خريطة على القطب الشمالي؛ وتظهر اليابسة باللون الأسود، حيث تظهر أمريكا الشمالية في الزاوية اليسرى السفلية وروسيا في أعلى اليمين وأوروبا في أسفل اليمين. وتوضح الدائرة الحمراء بحر بارنتس، وهو المنطقة التي شهدت أكبر تغير في الغطاء الجليدي (المصدر: https://www.ncdc.noaa.gov/snow-and-ice/extent/).

وقد أصبح مقطع فيديو سجلّته قناة ناشيونال جيوغرافيك لدب قطبي يتضور جوعًا تحت عنوان «هذا ما يبدو عليه تغيّر المناخ» رمزًا معترفًا به دوليًا لتأثيرات ذوبان الجليد البحري على النظام البيئي في القطب الشمالي [2, 3]. وتتلخص القصة وراء الفيديو في أن الدببة القطبية تعتمد على قدرتها على التجول فوق الجليد بحثًا عن الفقمة لتأكلها. ولأن الجليد يتقلص، فهي تكافح من أجل الحصول على ما يكفي من الطعام. وسنوضح في هذا المقال السبب الذي قد يجعل القصة أكثر تعقيدًا مما تبدو عليه للوهلة الأولى، وكيف أن استخدام النماذج الحاسوبية للنظم البيئية قد يساعدنا في فهم هذه التعقيدات.

الشبكات الغذائية والنظم البيئية

النظام البيئي هو مجتمع من البكتيريا والنباتات والحيوانات التي تسكن في الموطن نفسه. وجميع الكائنات الحية في النظام البيئي مترابطة من خلال شبكة علاقات المفترسات والفرائس. ونطلق عليها اسم الشبكة الغذائية (شكل 2). وأينما وجدت النباتات ضوء الشمس والعناصر الغذائية الكافية، فإنها تصنع المواد اللازمة للحياة في عملية تُسمى عملية التمثيل الضوئي. توفر عملية التمثيل الضوئي الطاقة اللازمة لدعم جميع الحيوانات في بقية الشبكة الغذائية.



شكل 2

ومعظم النباتات التي تعيش في البحر مجهرية ونسميها العوالق النباتية. وتتغذى مجموعة متنوعة من الحيوانات الدقيقة على العوالق النباتية، ويصل حجم هذه الحيوانات تقريبًا إلى حجم حبة أرز، وتُسمى بالعوالق الحيوانية. ثم تصبح العوالق الحيوانية غذاءً للعوالق الحيوانية الأكبر حجمًا وقناديل البحر والأسماك التي تتغذى على العوالق، مثل الكبلين. ثم تحلل البكتيريا النفايات التي تنتجها العوالق (التي تُسمى المخلفات) عند سقوطها في قاع المحيط، حيث توفر الغذاء للحيوانات التي تعيش في القاع (تُسمى أحياء قاع المحيط). وتُعد الأسماك التي تتغذى على العوالق وأحياء قاع المحيط غذاءً للأسماك المفترسة مثل سمك القد والنازلي، والطيور البحرية، والثدييات مثل الفقمة والحيتان. وفي القطب الشمالي، تصطاد المفترسات العليا مثل الدببة القطبية جميع هذه الحيوانات. وينتمي البشر أيضًا إلى المفترسات العليا في الشبكة الغذائية، لأننا نصطاد الأسماك ونطارد الفقمة والحيتان.

عملية التمثيل الضوئي Photosynthesis (foh-toh-sin-thi-sis)

هي تفاعل كيميائي في النباتات وبعض البكتيريا. تستخدم الطاقة المُستمدة من الضوء لتحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى مركبات عضوية.

شكل 2

الشبكة الغذائية للمفترسات والفرائس في القطب الشمالي. تربط الأسهم كل مجموعة فرائس بمجموعة مفترسيها (العمل الفني: دوغلاس سيبرز).

العوالق النباتية Phytoplankton (fie-toh-plangktuhn)

هي خلايا نباتية مجهرية تنجرف في الماء. وثمة العديد من أنواع العوالق النباتية.

العوالق الحيوانية Zooplankton (zohuh-plangktuhn)

هو مصطلح عام لمجموعة كبيرة ومتنوعة من الحيوانات الصغيرة التي تنجرف في الماء.

المخلفات Detritus (di-trie-tuhs)

هي بقايا الكائنات الحية الميتة أو الفضلات الناتجة عن الكائنات الحية.

أحياء قاع المحيط Benthos (ben-thos)

هي مصطلح عام يُطلق على مجموعة كبيرة من الحيوانات التي تعيش في قاع البحر وعلى قاع البحر.

كيف يؤثر احترار الكوكب على الشبكات الغذائية في القطب الشمالي؟

الأيض
Metabolism (muh-tab-uh-li-zuhm)
هو مزيج من التفاعلات الكيميائية اللازمة للحياة.

للاحترار تأثير مباشر على جميع الكائنات الحية. حيث يعتمد الأيض على درجة الحرارة [4]. ويتضمن الأيض جميع العمليات التي تسمح للكائنات الحية بإنتاج الطاقة من الطعام الذي تتناوله.

ولجميع الكائنات الحية نطاق درجات حرارة يمكن لعملية الأيض أن تؤمّن لها فيه راحة العيش. فالأنواع الاستوائية -مثلًا- أقل تحملًا للظروف الباردة من الأنواع القطبية. ويعني هذا أنه مع ارتفاع درجة حرارة المحيطات، نتوقع من الأنواع التي تعيش في المناطق الدافئة أن تتوسع في توزيعاتها، وأن تتراجع الأنواع التي تفضل المياه الباردة نحو القطبين. وعلى مدار الخمسين عامًا الماضية، لاحظ العلماء تحرك بعض العوالق الحيوانية وأنواع الأسماك نحو القطبين، بسبب ارتفاع درجة حرارة المحيطات [5].

ولتأثيرات الاحترار على الجليد البحري أهمية بالغة أيضًا لشبكات الغذاء في القطب الشمالي. ويقلل وجود الجليد البحري بشدة من كمية ضوء الشمس التي تنفذ إلى المحيط. ويعني تقلص مساحة الجليد البحري (شكل 1) أن بعض أجزاء المحيط تتعرض لأشعة الشمس في فصل الصيف لأول مرة منذ عدة آلاف من السنين. ويسمح الضوء للعوالق النباتية بالنمو وإجراء عملية التمثيل الضوئي في المناطق التي كانت قاحلة في السابق، مما يزيد من إنتاجية القطب الشمالي.

وقد تُعد الزيادة في العوالق النباتية تغييرًا إيجابيًا، يؤدي إلى مزيد من أشكال الحياة في البحر ومزيد من الغذاء للعوالق الحيوانية وأحياء قاع المحيط والأسماك والطيور والفقمة والحيتان والدببة القطبية في نهاية المطاف [6]. بيد أن بعض الأنواع في القطب الشمالي تطورت لتعتمد على وجود الجليد. ويوفر الجليد البحري وسيلة لخروج الفقمة والفظ من الماء. فهما يحتاجان إلى الخروج للحصول على قسط من الراحة والتكاثر والهروب من المفترسات البحرية الأخرى، مثل الحيتان القاتلة. وتعتمد الثدييات الأخرى -مثل الدببة القطبية- على قدرتها على السفر عبر البحر المتجمد للبحث عن الفقمة. ولكن ذوبان الجليد يجعل السفر أكثر صعوبة لأن الجليد الرقيق لا يتحمل وزن الدببة. ومن جهة أخرى، يُعد الجليد عائقًا أمام أنواع الحيتان لأنها يجب أن تكون قادرة على الوصول إلى الهواء لتتنفس. وبصفة عامة، ليس من الواضح تمامًا أي من الحيوانات المفترسة في السلسلة الغذائية ستستفيد من ذوبان الجليد البحري وأيها سيتضرر منه.

التنبؤ بما سيحدث في القطب الشمالي

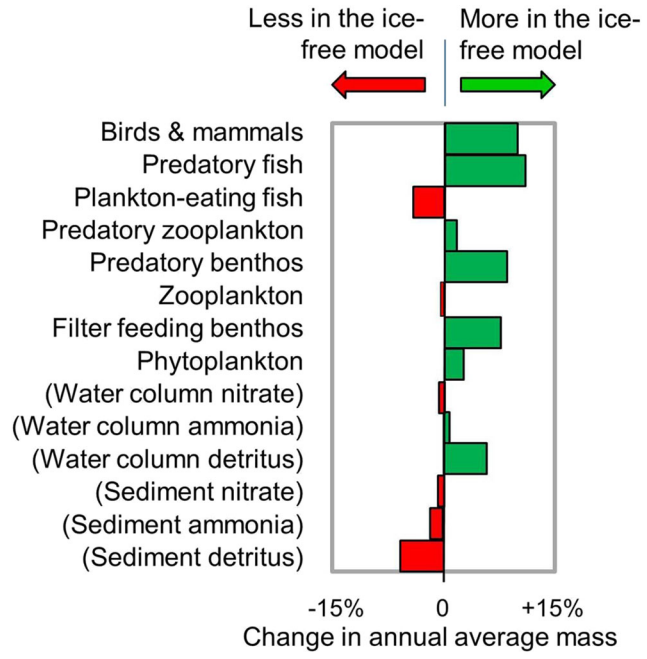
نستعين بالنماذج الحاسوبية للتنبؤ بالتأثيرات التي ستتسبب فيها التغيرات في الجليد البحري للسلاسل الغذائية. ولكي نتمكن من إعداد هذه النماذج، ندوّن أولًا العمليات والمكونات الرئيسية للشبكة الغذائية في شكل معادلات رياضية. وتشمل هذه العمليات التغذية والأيض والتمثيل الضوئي والمفترسات والفرائس. ثم نحوّل المعادلات إلى رمز حاسوبي. ويوفر لنا هذا عالمًا افتراضيًا، حيث يمكننا إجراء تجارب على النظام البيئي

للنموذج. وتُصَّمم هذه التجارب بحيث تساعدنا على فهم كيف يمكن أن يتغير النظام البيئي في المستقبل.

ولقد أعددنا نموذجًا بسيطًا للنظام البيئي لبحر بارنتس في القطب الشمالي النرويجي/الروسي (شكل 1). ويتضمن هذا النموذج بيانات حول ظروف الجليد ودرجة الحرارة، ومعادلات لتمثيل بعض ما نعرفه عن نباتات النظام البيئي وحيواناته. ويكمن موضع التبسيط الرئيسي في دمج بعض الأنواع في مجموعات تتشارك الخصائص نفسها، مثل الحجم أو البنية أو النظام الغذائي.

ولقد دمجنا -مثلًا- جميع الطيور والثدييات في مجموعة واحدة، لأنها من ذوات الدم الحار، مما يعني أنها قادرة على استخدام الطاقة المستمدة من طعامها للحفاظ على درجة حرارة الجسم الدافئة بصرف النظر عن البيئة التي تعيش فيها، على عكس العوالق ومعظم الأسماك. ويعني هذا التبسيط أنه لا يمكننا التمييز -في نموذجنا- بين الدببة القطبية والحيتان مثلًا. ولا يتسم نموذجنا المُبسط بالمثالية، ومع ذلك فهو يستنسخ الاستجابات العامة للنظام البيئي الطبيعي لبحر بارنتس.

وتتضمن المعادلات الواردة في النموذج المؤشرات التي تحدد النتائج. وتشمل هذه المعادلات -في نموذجنا- مثلًا معدلات التغذية القصوى أو معدلات غرق المخلفات. ويمثل اختيار قيم المؤشرات خطوة مهمة في بناء النموذج. ونحاول اختيار القيم التي تسمح للنموذج بمطابقة البيانات الحقيقية المستمدة من النظام البيئي قدر الإمكان. ويضمن هذا أن يكون النموذج واقعيًا قدر الإمكان. وبمجرد إعداد النموذج، يمكننا تغيير ظروف الجليد ودرجة الحرارة لما قد تكون عليه في المستقبل، واستخدام النموذج للتنبؤ بما قد يحدث في الحياة الواقعية. وفي شكل 3، نعرض مثالًا لمقارنة بين نتائج



شكل 3

شكل 3

النتائج المُحصلة من نموذج حاسوبي يقارن كتلة المكونات المختلفة للنظام البيئي (بمتوسط أكثر من عام) في مستقبل محتمل أكثر دفئًا وخالٍ من الثلج في بحر بارنتس بوقتنا الحالي. المكونات المكتوبة بين قوسين هي عناصر غذائية غير عضوية أو مواد ميتة. وتوضح الأشرطة الخضراء إلى جهة اليمين أن كمية مكون الشبكة الغذائية أكثر في النموذج المستقبلي منها في النموذج الحالي. وعلى العكس من ذلك، تشير الأشرطة الحمراء إلى جهة اليسار إلى كتلة أقل لتلك المكونات في النموذج المستقبلي.

النموذج الحالي والمستقبل. فيمثل النموذج الحالي بحر بارنتس كما هو اليوم. في حين يخلو النموذج المستقبلي من الجليد، مع ارتفاع درجة حرارة الماء بمقدار 0.5 درجة مئوية على مدار السنة. ومن المتوقع أن يكون التمثيل الضوئي أعلى في النموذج المستقبلي. والحيوانات التي ستستفيد من هذا هي أحياء قاع المحيط والأسماك المفترسة ومجموعة الطيور والثدييات. وستصبح العوالق الحيوانية والأسماك التي تتغذى على العوالق أقل وفرة مما هي عليه اليوم. ويرجع هذا إلى أن العوالق النباتية والمخلفات -التي تتغذى عليها أحياء قاع المحيط والعوالق الحيوانية- تستقر في قاع البحر بسرعة أكبر عند انعدام الجليد. ولأننا لا يمكننا التمييز بين مختلف الطيور والثدييات المفترسة في هذا النموذج، فلا يمكننا استخدامه لتوضيح الأنواع التي ستكون أكثر وفرة أو أقل وفرة في المستقبل.

ومع ذلك، يتنبأ النموذج بأن مجموعة الطيور والثدييات برمتها سيكون لها نظام غذائي مختلف عن نظامها الحالي، مع زيادة تغذيتها على الأسماك المفترسة وقلة تغذيتها على الأسماك التي تتغذى على العوالق.

ولكن، ما أهمية كل ما سبق؟

ترتفع درجة حرارة القطب الشمالي أسرع من بقية الكوكب. وقد زاد متوسط درجات حرارة الهواء السنوية في القطب الشمالي بنحو درجتين مئويتين بين عامي 1970 و2010 مقارنةً بـ0.6 درجة مئوية للكوكب بأسره [7]. وقد أصبحت درجات الحرارة في فصل الصيف في القطب الشمالي الكندي الآن أعلى من أي وقت مضى خلال الـ44.000 سنة الماضية [8]. وخلال فترة عمر الإنسان، ظهر المحيط المتجمد الشمالي جزئيًا من أسفل غطاء الجليد البحري الذي تشكّل على مدار آلاف السنين.

وثمة سباق بين الدول المتهافتة على المطالبة بقاع البحر والموارد الموجودة في القطب الشمالي عند ظهوره من بين الجليد. وستتشكل طرق جديدة للسفن للسفر بين أوروبا وآسيا وأمريكا الشمالية. وفي يوم 30 نوفمبر 2017، اتفق الاتحاد الأوروبي وتسع دول رئيسية معروفة بصيد الأسماك على عدم تطوير مصايد أسماك في المحيط المتجمد الشمالي حتى عام 2033 على الأقل. ومن المفترض أن يوفر هذا وقت للعلماء لتطوير نماذج لازمة لإدارة مخزون الأسماك بطريقة تضمن له الاستدامة [9]. وما زال علينا إجراء المزيد من الأبحاث قبل أن نفهم تأثيرات الاحترار على القطب الشمالي تمامًا.

المراجع

1. Comiso, J. C. 2012. Large decadal decline of the arctic multiyear ice cover. *J. Clim.* 25:1176–93. doi: 10.1175/JCLI-D-11-00113.1
2. Gibbens, S. 2017. *Heart-Wrenching Video Shows Starving Polar Bear on Iceless Land*. Available online at: https://www.nationalgeographic.com/news/2017/12/polar-bear-starving-arctic-sea-ice-melt-climate-change-spd/

3. Mittermeier, C. G. 2018. *Starving-Polar-Bear Photographer Recalls What Went Wrong*. Available online at: https://www.nationalgeographic.com/magazine/2018/08/explore-through-the-lens-starving-polar-bear-photo/
4. Gillooly, J. F., Brown, J. H., West, G. B., Savage, V. M., and Charnov, E. L. 2001. Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science* 293:2248–51. doi: 10.1126/science.1061967
5. Kortsch, S., Primicerio, R., Fossheim, M., Dolgov, A. V., and Aschan, M. 2015. Climate change alters the structure of arctic marine food webs due to poleward shifts of boreal generalists. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 282:20151546. doi: 10.1098/rspb.2015.1546
6. Darnis, G., Robert, D., Pomerleau, C., Link, H., Archambault, P., Nelson, R. J., et al. 2012. Current state and trends in Canadian Arctic marine ecosystems: II. Heterotrophic food web, pelagic-benthic coupling, and biodiversity. *Clim. Change* 115:179–205. doi: 10.1007/s10584-012-0483-8
7. IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge; New York, NY: Cambridge University Press.
8. Miller, G. H., Lehman, J. J., Refsnider, K. A., Southon, J. R., and Zhong, Y. 2013. Unprecedented recent summer warmth in Arctic Canada. *Geophys. Res. Lett.* 40:5745–51. doi: 10.1002/2013GL057188
9. Hoag, H. 2017. Nations agree to ban fishing in Arctic Ocean for at least 16 years. *Science*. doi: 10.1126/science.aar6437

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 12 مايو 2023

المحرر: Roxana Suehring

'مرشدو العلوم': Nathan M. Good

الاقتباس: Heath MR, Benkort D, Brierley AS, Daewel U, Hofmeister R, Laverick JH, Proud R و Speirs DC (2023) كيف يؤثر تغير المناخ على الحياة في القطب الشمالي؟ Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2020.00103-ar

مُترجَم ومقتبس من: Heath MR, Benkort D, Brierley AS, Daewel U, Hofmeister R, Laverick JH, Proud R and Speirs DC (2020) How Is Climate Change Affecting Marine Life in the Arctic? Front. Young Minds 8:103. doi: 10.3389/frym.2020.00103

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 © Heath, Benkort, Brierley, 2023 و Speirs Daewel, Hofmeister, Laverick, Proud. 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

LILU, العمر: 11
أحب الدببة القطبية وأكافح تغيّر المناخ للحفاظ عليها! كما أنني أحب جروي والخنازير الغينية.

المؤلفون

MICHAEL R. HEATH
أنا أستاذ في قسم الرياضيات والإحصائيات في جامعة ستراثكلايد، اسكتلندا، وأدرس علم البيئة البحرية منذ حوالي 40 عامًا. وتتمحور اهتماماتي البحثية حول وضع نماذج رياضية وإحصائية لمجموعات الأسماك ومصائد الأسماك وديناميات النظم البيئية. m.heath@strath.ac.uk*

DEBORAH BENKORT
أنا عالمة في معهد أبحاث هلمهولتز زينتروم، غيزتاخت، ألمانيا، وأعمل على وضع نماذج لكيمياء القطب الشمالي والعوالق التي تعيش فيه. وأثناء إعدادي لرسالة الدكتوراة، تمحور بحثي حول ديناميات العوالق الحيوانية في خليج سانت لورانس على الساحل الشرقي الكندي. وقد طورت نماذج لدراسة نموها وتكاثرها.

ANDREW S. BRIERLEY
أنا عالم بيئة في المعهد الاسكتلندي للمحيطات، جامعة سانت أندروز، اسكتلندا. وقد كنت أدرس البحار القطبية منذ التسعينيات. ويتمحور تخصصي حول استخدام مسابير الصدى لدراسة العوالق الحيوانية والأسماك. ولكنني أعمل حاليًا في بحيرة فيكتوريا بشرق إفريقيا. إنها تبعد كثيرًا عن القطب الشمالي، لكن النظم البيئية للبحيرة تحكمها الأنواع نفسها من الشبكات الغذائية التي نجدها في البحر، لذا فثمة قاسم مشترك بينه وبين بحثي.

UTE DAEWEL
أنا عالمة في معهد أبحاث هلمهولتز زينتروم، غيزتاخت، ألمانيا. ويتمحور تركيزي حول دراسة مدى تأثير الفيزياء على بيولوجيا الأنواع المختلفة من الكائنات الحية في البحر. وسبيلي إلى تحقيق هذا هو إعداد نماذج رياضية. وتتمثل إحدى الأغراض الرئيسية لبحثي الأخير في فهم التغييرات في شبكة الغذائية البحرية.

RICHARD HOFMEISTER

حصلت على درجة الدكتوراة في علم المحيطات الفيزيائي من جامعة روستوك بألمانيا. ويتمحور بحثي في معهد أبحاث هلمهولتز زينتروم وجامعة هامبورغ على وضع نماذج للتيارات المحيطية لتحديد كيفية انتقال العوالق في البحار.

JACK H. LAVERICK

أنا حاصل على درجة الدكتوراة في الأبحاث البيئية من جامعة أكسفورد، حيث درست النظم البيئية للشعاب المرجانية في هندوراس. وقد استخدمت مزيجًا من التعلّم الآلي والنمذجة لدراسة تغيّر بنية المجموعات في تدرجات العمق. وأنا حاليًا باحث في مرحلة ما بعد الدكتوراه في جامعة ستراثكلايد، اسكتلندا.

ROLAND PROUD

أنا زميل أبحاث ما بعد الدكتوراة في المعهد الاسكتلندي للمحيطات، جامعة سانت أندروز، اسكتلندا. كما أنني حاصل على درجة الدكتوراة في علم البيئة البحرية، وماجستير في الفيزياء والفيزياء الفلكية وماجستير البحوث في إدارة النظم البحرية القائمة على النظم الإيكولوجية. وأجري بحثًا حول بيئة وبيولوجيا العوالق الحيوانية والسوابح الدقيقة التي تعيش في المحيطات المفتوحة.

DOUGLAS C. SPEIRS

أنا محاضر أول في قسم الرياضيات والإحصاء في جامعة ستراثكلايد، اسكتلندا. ويتضمن بحثي تطوير نماذج حاسوبية فعالة لمجموعات العوالق الحيوانية والرصيد السمكي. وتشمل هذه النماذج تمثيلات مفصلة لعلم الأحياء، بما في ذلك نمو الكائنات مع تقدمها في العمر، وطريقة تحرك مجموعاتها عبر المحيط.

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

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