frontiers | فرونتيرز.. العلوم للعقول الشابة

التنوع الحيوي
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 07 أبريل 2023
doi: 10.3389/frym.2019.00131-ar

# الثلاثي المرح: الأسماك والطحالب والمحار

***Emmanuelle Roque D'Orbcastel[1*], Elyse Boudin[2], Meng Li[3,4], Frédérique Carcaillet[2] و Eric Fouilland[1]***

[1]وحدة استغلال التنوع البيولوجي البحري وحفظه، بالتعاون مع جامعة مونبلييه، معهد البحوث من أجل التنمية، معهد البحوث الفرنسي لاستغلال البحار، المركز الوطني الفرنسي للبحث العلمي، بسيت فرنسا

[2]وحدة استغلال التنوع البيولوجي البحري وحفظه، بالتعاون مع جامعة مونبلييه، معهد البحوث من أجل التنمية، معهد البحوث الفرنسي لاستغلال البحار، المركز الوطني الفرنسي للبحث العلمي، بمونبلييه، فرنسا

[3]كلية مصايد الأسماك ، جامعة المحيط الصينية، تشينغداو، الصين

[4]وحدة استغلال التنوع البيولوجي البحري وحفظه، بالتعاون مع جامعة مونبلييه، معهد البحوث من أجل التنمية، معهد البحوث الفرنسي لاستغلال البحار، المركز الوطني الفرنسي للبحث العلمي، ببالافاس ليه فلوتس، فرنسا

في السابق، تتمحور تربية الأسماك أو تربية الأحياء المائية حول نوع واحد فقط مثل السلمون. وتتضمن أنظمة تربية الأحياء المائية الحديثة تربية نوعين أو أكثر معًا، استنادًا إلى ما يحدث عادةً في السلسلة الغذائية، بحيث يمكن لأحد الأنواع أن يوفر مصدر الغذاء لنوع آخر في المزرعة. ويتناول هذا المقال النتائج التي انتهت إليها تجربة تجمع بين تربية الأسماء واستزراع الطحالب وتربية المحار، حيث نوضح أن الطحالب يمكنها النمو على فضلات الأسماك، والمحار يمكنه التغذي على الطحالب لإنتاج غذاء صحي جيد، مما يقلل من التلوث الناجم عن تربية الأحياء المائية.

## المراجعون الصغار

ANNA-MARIE
العمر: 15

SAMEEN
العمر: 14

## ما المقصود بتربية الأحياء المائية؟

يلتهم البشر عددًا كبيرًا من الحيوانات والنباتات من البحر. ويمكنهم الاختيار من وجبات البحر التي تضم قائمة من الأسماك والمحار والطحالب.

وعادةً ما نشتري منتجات المأكولات البحرية هذه طازجة أو مجمدة من السوبر ماركت، حيث تُحصد من بيئتها الطبيعية أو يربيها البشر في مزارع تتكون من خزانات متصلة بالبحر أو أقفاص في البحر. ويُطلق على زراعة البشر للحيوانات والنباتات البحرية تربية الأحياء المائية.

والمصطلح الإنكليزي (aquaculture) مُشتق من الكلمة اللاتينية «*aqua*» وتعني المياه و«*culture*» وتعني النمو، وبالتالي فهو يعني شيئًا «ينمو في المياه». وتساعدنا تربية الأحياء المائية على تجنب استنزاف الموارد البحرية من خلال الإفراط في الصيد وعلى إنتاج ما يكفي من الغذاء لإطعام عدد البشر المتزايد على وجه الأرض. ويعرف مزارعو الأسماك نوعية المياه المستخدمة بدقة وكمية الحيوانات التي يربونها بغية بيعها. وبمقدور مزارعو الأسماك أيضًا اختيار أنواع الأسماك حسب مناخ المنطقة ونوع المأكولات البحرية التي يتناولها عادةً الأشخاص الذين يعيشون في تلك المنطقة.

وثمة عدة أساليب لتربية الأحياء المائية، فيتخصص المزارعون البحريون فيما يسمونه تربية النوع الواحد، التي تعني زراعة كائن واحد، مثل الأسماك أو الطحالب البحرية أو المحار (المحار أو بلح البحر). وهذا النوع من الزراعة هو ما سنشير إليه في هذا المقال باسم تربية الأحياء المائية التقليدية. وفي المقابل، يربي بعض المزارعين البحريين أنواعًا مختلفة معًا في الوقت نفسه!

وثمة أسباب عديدة وراء تربية المزارعين البحريين أنواعًا مختلفة معًا في بعض الأحيان، إذ إن الأنواع لها طرق تغذية مختلفة: فالبعض لا يتغذى إلا على الحيوانات الأخرى (اللواحم)، والبعض يتغذى على الحيوانات الأخرى والطحالب (القوارت)، والبعض لا يتغذى إلا على الطحالب (العواشب). وتتغذى الطحالب -في النظام البيئي الطبيعي للبحر- على الجزيئات الصغيرة الموجودة في الماء؛ وتتغذى الأنواع مثل المحار على الطحالب؛ وتتغذى الأنواع مثل الأسماك العاشبة على الطحالب والنباتات البحرية؛ في حين تتغذى الأسماك اللاحمة على الحيوانات الصغيرة (شكل 1)؛ وأخيرًا، تتغذى بعض نجوم البحر والديدان -التي تُسمى آكلة الفتات- على براز الحيوانات الأخرى! وتشكل هذه الأنماط المختلفة للتغذية السلسلة الغذائية، ويمكن للبشر استخدام السلسلة الغذائية لتصميم مزارع بحرية مُراعية للبيئة.

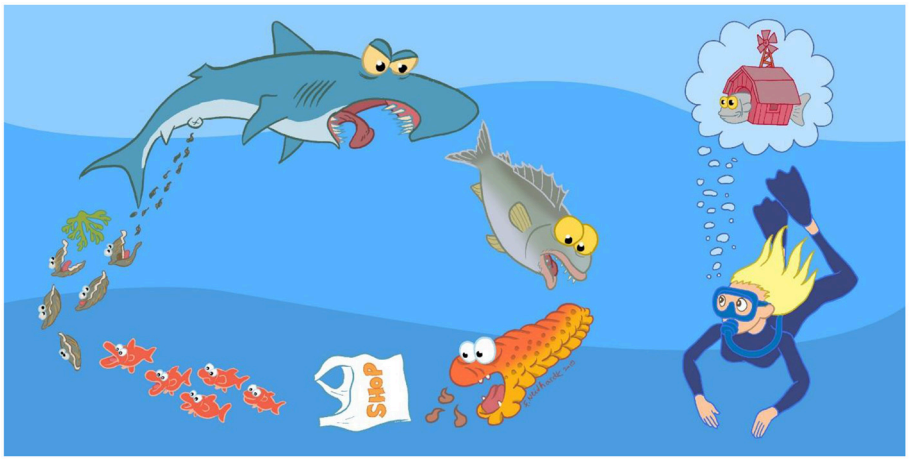
فمثلًا، يمكن استخدام الطحالب لتنقية المياه التي تُزرع فيها الأسماك. ويسمح هذا بإعادة استخدام المياه ثم التخلص منها في البحر دون تلويث البيئة. وإذا زرع مزارعو البحر أنواعًا معينة من الطحالب، فيمكنهم إطعامها للمحار. وعلى هذا النحو، يكرر

**تربية الأحياء المائية (AQUACULTURE)**

المصطلح الإنكليزي مُشتق من الكلمة اللاتينية «*aqua*» وتعني المياه و«*culture*» وتعني النمو، وبالتالي فهو يعني شيئًا «ينمو في المياه».

**السلسلة الغذائية (FOOD CHAIN)**

هي علاقات التغذية بين الكائنات الحية؛ وتقع النباتات في أسفل السلسلة الغذائية ويُطلق عليها اسم المنتجين. وتُسمى الكائنات الحية التي تتغذى على النباتات المستهلكين. وتوضح السلسلة الغذائية كيفية حصول كل كائن حي على الغذاء، وكيفية انتقال المغذيات والطاقة من كائن إلى آخر.




**شكل 1**

تظهر هذه الرسمة الهزلية السلسلة الغذائية الطبيعية، مع مجموعة من الأنواع التكميلية: الأسماك اللاحمة والقارتة وخيار البحر بوصفها أنواع آكلة للفتات، والطحالب التي تلتهم المغذيات الموجودة في الماء، والمتغذيات بالترشيح (مثل بلح البحر) التي تتغذى على الجزيئات العضوية الصغيرة. وقد استلهم العلماء أنظمة تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية من السلسلة الغذائية، حيث تتغذى الأنواع في هذه الأنظمة على بعضها بعضًا حسب طريقة تغذيتها. مرسوم من قِبَل Frederic Neidhardt (رسّام فكاهي).

مزارعو البحر السلسلة الغذائية في مزارعهم. وتُسمى هذه الطريقة من زراعة الأحياء المائية -حيث تُزرع أنواع متعددة معًا- تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية.

## ما مميزات تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية؟

تقدم تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية للمزارعين طرقًا جديدة لإنتاج الغذاء للبشر أو الحيوانات. وعلاوةً على الأسماك، يمكن للمزارعين زراعة الطحالب (التي تنقسم إلى نوعين الطحالب الكبيرة والطحالب الدقيقة) أو المحار أو بلح البحر أو الديدان أو خيار البحر. ويمكن استخدام الطحالب الدقيقة بوصفها مكونات للغذاء البشري وعلف الحيوان ومستحضرات التجميل وحتى الوقود الحيوي. وبمجرد أن تنتهي الطحالب من تنظيف مياه الأسماك، لن يعد المزارعون البحريون بحاجة إلى اللجوء إلى معالجة المياه باهظة الثمن. ويوفر هذا لهم الكثير من الأموال.

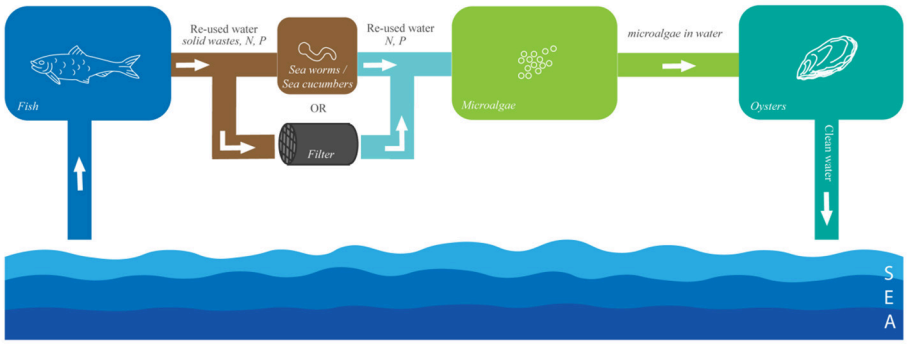
لذا، دعونا نلقي نظرة على مزرعة تربية أحياء مائية متكاملة متعددة التغذية درسها باحثون فرنسيون (شكل 2). سنجد أن كل نوع يُربى في خزان منفصل، حيث يخضع نموه للتحكم بعناية. ويمكن التخلص من النفايات الصلبة التي تخرج من الأسماك -مثل البراز- من خلال تمرير الماء عبر مُرشح أو توجيه الماء نحو خزان تتغذى فيه الديدان على جزيئات النفايات. ثم تُصرف هذه المياه الخالية من الجزيئات إلى خزان مليء بالطحالب الدقيقة. ولا تزال المياه تحتوي على جزيئات صغيرة جدًا لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة -تمامًا كما يحدث عندما يُخلط السكر في الماء- ولكن يمكن للطحالب أن تتغذى على هذه الجزيئات. وبمجرد تنظيف الطحالب الدقيقة للمياه، يمكن إعادة استخدامها في خزانات الأسماك أو تصريفها في البحر دون التسبب في التلوث. وتُستخدم الطحالب الدقيقة المُستزرعة في النهاية بوصفها طعامًا للمحار.

**تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية (IMTA OR INTEGRATED MULTI-TROPHIC AQUACULTURE)**

هي طريقة لتربية الأحياء المائية تنمو فيها أنواع متعددة معًا.

**الطحالب الدقيقة (MICROALGAE)**

هي الطحالب المجهرية التي تستخدم ضوء الشمس والماء والمعادن (النيتروجين والفوسفور) وثاني أكسيد الكربون لنموها.




شكل 2

**شكل 2**

رسم تخطيطي للوصلات بين الخزانات في نظام تربية أحياء مائية تجريبي متكامل متعدد التغذية. تصل مياه البحر إلى خزان الأسماك. وتأكل الديدان البحرية/خيار البحر الفضلات الناتجة من خزان الأسماك أو تمر هذه الفضلات عبر المرشحات، وتحتوي مياه الصرف المتبقية على النيتروجين والفوسفور اللذين تستهلكهما الطحالب الدقيقة. ويأكل المحار الطحالب الدقيقة، ثم يمكن إرجاع المياه النظيفة بأمان إلى البحر. مرسوم من قِبَل E. Boudin.

غير أن الحصول على مزرعة بحرية تعمل بالكامل يستلزم وجود ما يكفي من الديدان والطحالب الدقيقة لتنظيف المياه في الخزانات وما يكفي من الطحالب الدقيقة لإطعام المحار.

وغالبًا ما يكون من الصعب الحفاظ على التوازن المثالي بين الخزانات المختلفة، لأنها تتأثر بسهولة بالعوامل المناخية مثل المطر ودرجة الحرارة، وبوجود الأنواع غير المرغوب فيها، مثل الطفيليات أو الكائنات التي تتغذى على الطحالب. ولهذا السبب يتعاون الباحثون مع مزارعي الأسماك للوقوف على أفضل الطرق لتوصيل الخزانات والتحكم في نمو الأنواع الجاري تربيتها.

## عمل جماعي: الباحثون ومزارعو الأسماك

أولًا، اختبر الباحثون قدرة الطحالب الدقيقة على تنظيف المياه من خزانات الأسماك. ثانيًا، اختبروا مدى ملاءمة الطحالب الدقيقة لأن تكون غذاءً للطحالب وما إذا كان المحار المُربى بهذه الطريقة جيدًا بما فيه الكفاية للاستهلاك البشري.

ووصّل الباحثون ثلاثة خزانات مختلفة: خزانًا لتربية الأسماك وخزانًا لاستزراع الطحالب الدقيقة وخزانًا لتربية المحار (شكل 3). ويكرر الباحثون دائمًا كل تجربة ثلاث مرات للتأكد مما توصلوا إليه من نتائج والاطمئنان أن لديهم ما يكفي من بيانات، لذا كان هناك إجمالًا ثلاثة خزانات للأسماك وثلاثة خزانات للطحالب الدقيقة وثلاثة خزانات للمحار.

ويعني هذا أن موت الحيوانات في أحد الخزانات ليس نهاية المطاف، لأن الباحثين يمكنهم الحصول على نتائج من الخزانين الآخرين. وقد وضع الباحثون مُرشحات بين خزانات الأسماك وخزانات الطحالب الدقيقة لإزالة النفايات الصلبة الناتجة من الأسماك. واستمرت هذه التجربة لمدة شهرين، وأخذ الباحثون قياسات مختلفة.

فقد قاس الباحثون جودة المياه في خزان الأسماك وفي خزان الطحالب الدقيقة لملاحظة قدرة الطحالب الدقيقة على تنظيف المياه. وقد تكونت نفايات الأسماك بصورة أساسية من النيتروجين والفوسفور. وانتهى الباحثون إلى أنه لم يكن ثمة نفايات تقريبًا في

**شكل 3**

**شكل 3**
الإعداد التجريبي لتربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية. **(A)** خزانات الأسماك **(B)** مُوصلة بخزانات الطحالب الدقيقة **(C)** التي تغذي خزانات المحار (المصدر: E. Roque D'Orbcastel، وحدة استغلال التنوع البيولوجي البحري وحفظه، بجامعة مونبلييه).

الماء عند خروجه من خزان الطحالب الدقيقة، لأن الطحالب الدقيقة التهمت معظمها. وخلص الباحثون إلى أن الطحالب الدقيقة فعالة جدًا في إزالة النفايات التي تحتوي على النيتروجين والفوسفور والتي تنتجها الأسماك.

ولاختبار ما إذا كانت الطحالب الدقيقة غذاءً مناسبًا للمحار، قاس الباحثون حجم المحار في بداية التجربة التي دامت لشهرين وفي نهايتها، ففي العادة، كلما تغذى المحار، زاد حجمه. ولكن، مما يثير الدهشة في هذه التجربة أن نمو المحار كان ضعيفًا، ولم ينمو بعض المحار على الإطلاق. وثمة فرضيتان تفسران ضعف نمو المحار. أولًا، من الممكن أن يكون نوع الطحالب الدقيقة المُستخدمة لا يفي بالمتطلبات الغذائية للمحار. والاحتمال الثاني أن خزانات المحار لم يكن بها ما يكفي من الطحالب لتغذية جميع المحار.

ولاختبار الفرضيتين المحتملتين، أُجريت تحقيقات إضافية لتحديد ما إذا كانت الطحالب التي تنتجها تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية مصدر غذاء كافٍ للمحار. وأوضحت النتائج أن المحار يمكنه النمو بالتغذي على الطحالب التي تنتجها

تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية. ومدلول هذا أن الفرضية الثانية ربما كانت صحيحة: فلم يكن ثمة ما يكفي من الطحالب في الماء لإطعام جميع المحار أثناء التجربة التي دامت لشهرين. ويرجع هذا إلى أن الماء في خزان المحار لم يكن مخلوطًا بما فيه الكفاية، مما حال دون وصول الطحالب إلى المحار. وستكون الخطوة التالية أن يجري الباحثون التجربة مجددًا بعد تحسين دوران الماء في خزانات المحار.

وختامًا، تُعد تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية موضوعًا بحثيًا يستدعي أن يتعاون الباحثون ومزارعو الأسماك لتحسين تربية الأحياء المائية، فمن خلال إعادة إنشاء سلسلة غذائية بسيطة، تستفيد تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية من أحد المبادئ الأساسية للطبيعة، وهو أن جميع الأنواع مفيدة ومترابطة من خلال اضطلاعها بدور الفريسة أو المفترس. فتقليد البشر للطبيعة يسمح لهم بتطوير أساليب مواتية أكثر للأنواع المُستزرعة وللبيئة.

## مقال المصدر الأصلي

Li, M., Callier, M. D., Blancheton, J.-P., Galès, A., Nahon, S., Triplet, S., et al. 2019. Bioremediation of fishpond effluent and production of microalgae for an oyster farm in an innovative recirculating integrated multi-trophic aquaculture system. *Aquaculture* 504:314–25. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.02.013

**نُشر على الإنترنت بتاريخ:** 07 أبريل 2023

**المحرر:** Didone Frigerio

**'مرشدو العلوم':** Irina Moshkova و Usman Atique

**الاقتباس:** Roque D'Orbcastel E, Boudin E, Li M, Carcaillet F و Fouilland E (2023) الثلاثي المرح: الأسماك والطحالب والمحار. Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2019.00131-ar

**مُترجَم ومقتبس من:** Roque D'Orbcastel E, Boudin E, Li M, Carcaillet F and Fouilland E (2019) Fish, Algae, and Oysters: The Winning Trio in Aquaculture. Front. Young Minds 7:131. doi: 10.3389/frym.2019.00131

**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 و Roque D'Orbcastel, Boudin, Li, Carcaillet Fouilland. 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

**ANNA-MARIE، العمر: 15**
مادتي المفضلة هي الأحياء، وأحب الإلكترونيات الحيوية. وأود أن أعمل في المستقبل على لوازم جديدة ومواد جديدة. ويعتريني فضول لحل ألغاز العالم، فثمة الكثير الذي ينتظرني لاكتشافه.

**SAMEEN، العمر: 14**
مرحبًا، أنا ساميين من مدينة ماندي بهاودين. أذهب إلى مدرسة تنافسية للغاية خاصةً في المواد العلمية ولكني أحب علم الأحياء. أحب أن أعرف العمليات الطبيعية خاصة في الأنواع المائية. وأحب قراءة الصحف وكتب التاريخ وتعلّم لغات جديدة. كما أنني أتمنى المشاركة في النوادي البيئية والرحلات الميدانية. وأريد دراسة النظم البيئية وعلم الأحياء عندما أكبر.

## المؤلفون

**EMMANUELLE ROQUE D'ORBCASTEL**
باحثة في مجال علم الأحياء البحرية بمعهد البحوث الفرنسي لاستغلال البحار الملحق بوحدة استغلال التنوع البيولوجي البحري وحفظه (جنوب فرنسا). ويتمثل هدف الوحدة في دراسة التنوع البيولوجي البحري، واستخدام الجنس البشري للأنواع في النظم البيئية المختلفة. وبصورة أكثر تحديدًا، تعمل إيمانويل على النظم البيئية للتربية المائية، حيث تدرس التفاعلات بين الحيوانات (أي الأسماك) وبيئتها، وكيفية تحسين هذه النظم. كما أنها مهتمة بالتعاون مع مزارعي الأسماك للتوصل إلى طرق تحد من الآثار البيئية، من خلال معالجة النفايات الناتجة من مزارع الأسماك أو استخدامها بطرق أخرى. emmanuelle.roque@ifremer.fr*

**ELYSE BOUDIN**
طالبة ماجستير في الهندسة البيئية من جامعة مونبلييه. وقد كان هذا العمل جزءًا من فترة تدريب الماجستير في مختبر استغلال التنوع البيولوجي البحري وحفظه. وتريد إيليز العمل في مجال التعليم وتدريس المفاهيم البيئية والتنمية المستدامة وأن تبني جسرًا للتواصل بين الباحثين والشباب.

**MENG LI**
حاصل على درجة ما بعد الدكتوراة بكلية البيئة، جامعة تسينغهوا. وقد حصل على درجة الدكتوراة في الزراعة من جامعة المحيط الصينية في يوليو 2018. وأثناء عمله على رسالة

الدكتوراة، حصل على تدريب مدته 12 شهرًا في معهد البحوث الفرنسي لاستغلال البحار بفرنسا، وشارك في مشروع البحث الأوروبي "تأثير تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية (COFASP 2016–2019)، تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية من أجل الكفاءة والحفاظ على البيئة". وتتمحور اهتمامات مينق لي البحثية حول معالجة مياه الصرف الناتجة من تربية الأحياء المائية (باستخدام الأراضي الرطبة المبنية مثلًا) وتطوير تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية.

**FRÉDÉRIQUE CARCAILLET**

محاضرة أولى في مجال علم البيئة المائية بجامعة مونبلييه في فرنسا، حيث تدرّس علم البيئة والتواصل العلمي البيئي. ويشمل بحثها وظيفة النظام البيئي والتواصل العلمي والتعليم البيئي. كما أنها تدير حلقات عمل علمية للرسوم المتحركة لتعليم الطلاب كيفية توصيل العلوم لعامة الناس. https://www.youtube.com/channel/UCdMXIvXqFZxiSFtsnFUQiZg/videos

**ERIC FOUILLAND**

باحث في المركز الوطني للبحوث العلمية في فرنسا. ويتمحور بحثه حول التفاعلات بين الطحالب الدقيقة والبكتيريا في بيئات بحرية مختلفة (القطب الشمالي والقطب الجنوبي والقطب الاستوائي والمياه المعتدلة). وقد أوضح عمله أن التفاعلات القوية مع البكتيريا قد تحدث عند نمو الطحالب الدقيقة بسرعة. ولهذه الملاحظة العديد من التطبيقات في مجال إزالة تلوث المياه والوقود الحيوي وتربية الأحياء المائية باستخدام الطحالب الدقيقة بالاشتراك مع أنواع محددة من البكتيريا لتعزيز نمو الطحالب. وبصرف النظر عن أبحاثه، يستمتع إيريك بقضاء الوقت مع أطفاله الخمسة وقضاء الوقت مع أصدقائه الطيبين من جميع أنحاء العالم.

**النسخة العربية مقدمة من**
Arabic version provided by

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