كيف يؤثر تغيّر المناخ على البحيرات الكبرى؟

تمّ تحرير المقال وترجمته من *Science Journal for Kids*:
https://www.sciencejournalforkids.org/articles/how-does-climate-change-affect-the-great-lakes/

المقال الأصلي:

O'Beirne, M., Werne, J., Hecky, R. et al. Anthropogenic climate change has altered primary productivity in Lake Superior. Nat Commun 8, 15713 (2017). https://doi.org/10.1038/ncomms15713

تلخيص

هناك إجماع بين العلماء على أن أعمال الإنسان، مثلًا: حرق الوقود الأحفوري، تجعل الغلاف الجوي للكرة الأرضية يلتقط مزيدًا من الحرارة، مما يؤدي إلى تغيّر المناخ. أردنا أن نكتشف كيف يؤثر تغير المناخ على البحيرات ومصادر المياه العذبة الكبيرة. لذلك جمعنا عدد من النوى الرسوبية في بحيرة سوبيريور (أكبر "البحيرات الكبرى" في أمريكا الشمالية) بهدف بحث عينات طين من قاع البحيرة. في المختبر، حللنا قطع صغيرة من النباتات الميتة والطحالب المحاصرة بين رواسب البحيرة. من هذه العينات، استطعنا أنْ نكتشف أنّ كمية الطحالب في مياه بحيرة سوبيريور ازدادت بوتيرة بطيئة خلال فترة زمنية طويلة. ومع ذلك، في المائة سنة الماضية، ازدادت وتيرة زيادة الطحالب بشكل كبير. نفترض أن هذا التغيير الجذري حدث نتيجة لتغيّر المناخ من صُنع الإنسان ومن ارتفاع درجة الحرارة، مما أدى إلى فترات طويلة بدون جليد في البحيرة. نتيجة لذلك، نمّت الطحالب والنباتات التي تنمو في الماء مدة زمنية أطول، لذا ازدادت كميتها في البحيرة بشكل كبير جدًّا.

قبل أن نبدأ

1. تقع بحيرة سوبيريور في أمريكا الشمالية، بين الولايات المتحدة وكندا. معنى كلمة superior "أعظم" أو "متفوق". ابحثوا واجمعوا معلومات عن البحيرة، واكتبوا ثلاث حقائق مثيرة للاهتمام وجدتموها عنها.

2. في هذا البحث، جمعنا عينات من نوى رسوبية (أُسطوانات من الطين التي يتمّ استخراجها بالحفر، انظروا الصورة) لفحص عينات طين من البحيرة. كيف تؤخذ حُفر الرواسب؟ شاهدوا الفيلم القصير في الرابط الذي يظهر فيه فريق بحث بحري يجمع عينة من قاع البحر. ما الذي يمكن أن نتعلّمه، حسب رأيكم، من فحص نوى الرواسب؟

نوى رسوبية تمّ أخذها من بحيرة. مصدر الصورة National Science Foundation

3. في هذا البحث، استخدم العلماء نوى الرواسب لفحص التغيرات في كميات الطحالب والنباتات الأخرى في البحيرة. ومع ذلك، المواد التي تطير في الهواء تسقط في الماء وتصبح رواسب مع مرور الوقت. افترضوا: ما الذي يمكن أن نتعلمه أيضًا من بحث النوى الرسوبية؟

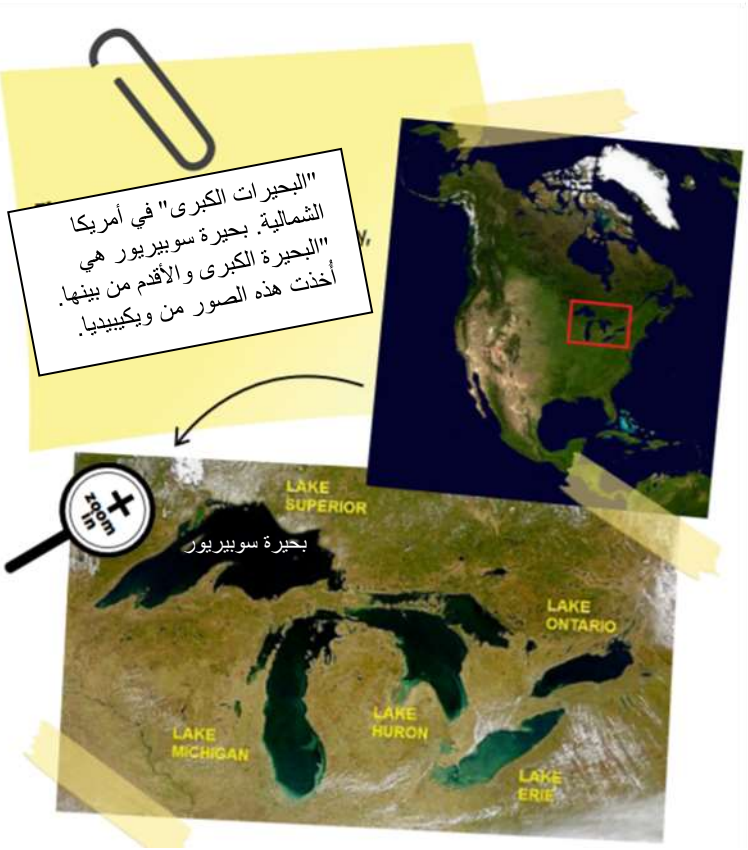
4. يمكن أن تكون لزيادة كمية الطحالب تأثيرات مختلفة على النظام البيئي. ما هي العوامل الأحيائية واللاأحيائية التي يمكن أن تؤثر عليها الزيادة في كمية الطحالب؟ اشرحوا كيف.

مقدمة

منذ أن زاد الإنسان من حرق الوقود الأحفوري بشكل كبير، يتمّ إطلاق كميات كبيرة من غازات الدفيئة، مثلًا: ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي، لذا تسخن الكرة الأرضية ويستمر مناخنا في التغير.

كيف تؤثر هذه التغييرات في الغلاف الجوي على بيئة أجسام المياه العذبة الكبيرة، والتي تعمل كبيوت تنمية مهمة للعديد من أنواع الكائنات الحية، وتوفر مياه الشرب الأساسية للكثير من الناس؟

للإجابة على هذا السؤال، أجرينا بحث في بحيرة سوبيريور. لهذه البحيرة يوجد أكبر مساحة سطح خارجي من بين جميع أجسام المياه العذبة على الكرة الأرضية، والتي تُعتبر بدائية نسبيًّا (انظروا الرسمة 1)



الرسمة 1 - "البحيرات الكبرى" في أمريكا الشمالية . بحيرة سوبيريور هي البحيرة الأكبر والبدائية من بينها، هناك أجرينا بحثنا.

لفحص التغييرات التي حدثت في سوبيريور مع مرور الوقت، طُلب منا معرفة حالتها في الماضي. لحسن الحظ، من الرواسب الطينية في قاع البحر المعروفة باسم الرواسب **Sediments** يمكننا التعرُّف على الكائنات الحية التي عاشت في الماء في الماضي. عندما تموت الطحالب والنباتات الدقيقة (العوالق النباتية) في الماء، فإنها تغرق في قاع البحيرة وتتراكم هناك.. تمامًا كما هو الحال مع الطاولة التي عليها أوراق جديدة فوق أوراق قديمة، كذلك يوجد في أرضية البحيرة العديد من طبقات الرواسب، حيث تتراكم الطبقات الجديدة فوق الطبقات القديمة. تساعدنا مقارنة العينات المأخوذة على مرّ السنين من هذه الرواسب على فهم كيفية تغيّر بيئة البحيرة مع مرور الوقت. هذا المجال العلمي يسمّى **علم البحيرات القديمة** **Paleolimnology** (Paleo- قديم، limnology علم البحيرات)

أجيبوا عن الأسئلة

5. تُعتبر بحيرة سوبيريور بدائية نسبيًّا. **المساحة الطبيعية البدائية** (في اللغة الإنجليزية Wilderness – البرية) هي منطقة طبيعية نقية لم تتأثر من نشاط الإنسان. اعتبارًا من عام 2019، تمّ الإعلان عن 767 منطقة كمناطق بدائية في الولايات المتحدة، حيث تغطي مساحة إجمالية تبلغ حوالي 4.5% من مساحة الولايات المتحدة (ويكيبيديا).

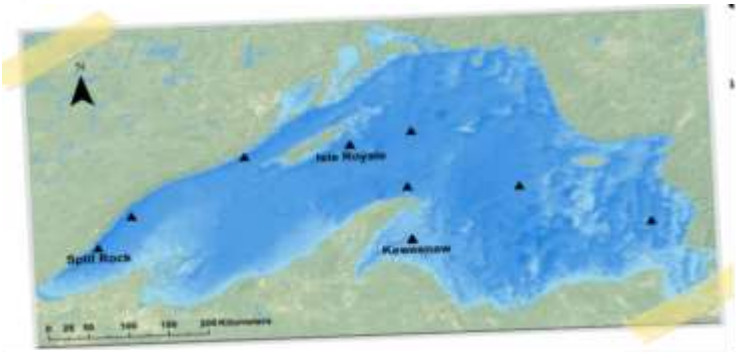
هل تعتقدون أن هناك مناطق طبيعية بدائية في إسرائيل أيضًا؟ ابحثوا عن مثال لمنطقة طبيعية بدائية في إسرائيل.

6. Sediments هو راسب. عندما نبحث رواسب مأخوذة من قاع البحيرة خلال مدة زمنية طويلة يمكن أن نتعرف على تاريخ البحر أو البحيرة. هل تعرفون طرق أخرى، في مجالات أخرى، لبحث التغيرات مع مرور الوقت؟

7. كيف يستطيع العلماء التعرُّف على التاريخ البيئي للبحيرة من بحث رواسبها؟

الطرق

خرجنا في عدّة رحلات لعدة أيام، استخدمنا جهاز لأخذ عينات نوى رواسب (عينات على شكل أسطوانة) من مواقع مختلفة في قاع بحيرة سوبيريور. (الرسمتان 2،3).



الرسمة 3: جمعنا عينات رواسب من تسعة أماكن مختلفة في البحيرة، المشار إليها بمثلثات سوداء.

الرسمة 2- A: سفينة البحث . "R/V Blue Herron" .

B. طاقم علماء وتقنيون بحريون من جامعة فيتسبورغ يأخذون عدة عينات نوى رواسب من بحيرة سوبيريور بمساعدة جهاز متعدد النوى (يستطيع أن يأخذ 4 عينات في نفس الوقت)

عندما أردنا أن نأخذ نواة من الرواسب أنزلنا أنبوبًا بلاستيكيًا شفافًا إلى قاع البحر ودفعناه في الحمأة. بعد ذلك، أغلقنا الجزء العلوي من الأنبوب لإنشاء شفط، مما أدى إلى حبس الرواسب في داخله، ورفعنا الجهاز إلى السفينة (الرسمة 4). هذه العملية تشبه ضخ الآيس كريم من اللبن المخفوق: يتمّ إدخال المصاصة (التي تعمل كأنبوب بلاستيكي) في الآيس كريم (رواسب البحيرة)، نُغلق الفتحة العلوية للقشة بالإصبع (على غرار غطاء الفتحة العلوية للأنبوب المعدّ لشفط وحبس الرواسب)، ثم نُخرج الأنبوب مع الآيس كريم (رواسب البحيرة) الموجود داخل اللبن المخفوق.

بعد إخراج الرواسب، جمدنا النوى (كي لا تتكاثر البكتيريا الموجودة في العينات، وكي لا تتغيّر مكونات الحمأة) وأخذناها إلى المختبر. هناك فحصنا الأشكال المختلفة لذرة الكربون المسمّاة **بالنظائر** الموجودة على طول نوى الرواسب المأخوذة من قاع البحيرة. تتيح لنا هذه الطريقة فحص كمية الطحالب والعوالق النباتية التي عاشت في البحيرة في كل وقت معطى.

الرسمة 4- نواة رواسب تمّ جمعها بالقرب من شاطئ المتنزه القومي في مينسوتا. انتبهوا إلى الفروق بين الألوان في الطبقات المختلفة للرواسب. في هذه النواة، الشريط الأخضر السميك مكوّن من نفايات منجم صخرة تاكونيت تدفقت إلى البحيرة في القرن العشرين. تحته توجد رواسب "عادية" من هذه المنطقة قبل تدخُّل الإنسان في البحيرة. في القسم العلوي من النواة، تأثرت الرواسب البنية/ الحمراء بمدى معين من الإنسان، لكن ليس كالشريط الأخضر الموجود تحته.

إثراء

- ما هو عنصر الكربون وما هي أهميته؟ يمكنكم أن تقرأوا هنا
- ما هي النظائر؟ شاهدوا الفيلم القصير في الرابط
- نظائر الكربون 12، الكربون 13 والكربون 14 – شاهدوا هنا

نتائج

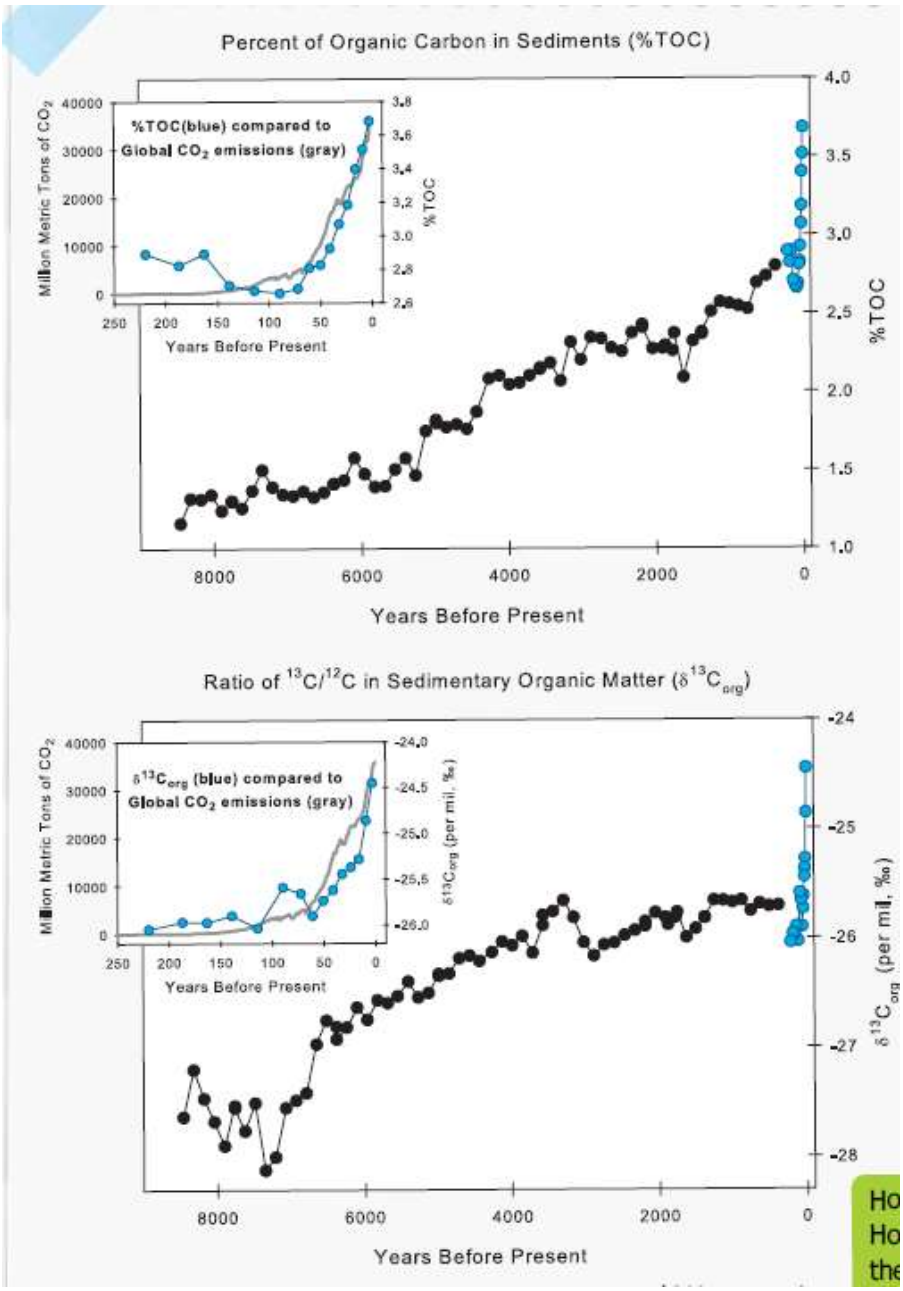
في الرسمين البيانيين (الرسمة 5)، يمكن رؤية التغيّرات، على مدى آلاف السنين، في مقاييس مختلفة لعينات نوى رواسب أُخذت من بحيرة سوبيريور.

المحور X هو محور الزمن. انتبهوا: السنوات السابقة تقع على اليسار، والتقدم إلى اليمين يدل على التقدُّم في محور الزمن حتى الزمن 0 وهو الوقت الحاضر.

- تُشير النقطة الزرقاء الفاتحة إلى رواسب تشكّلت في قاع البحر مؤخرًا (منذ 200 عام حتى الوقت الحاضر).

محور Y العلوي: Total TOC (Organic Carbon) – النسبة المئوية للكربون العضوي الكلي. هذه هي النسبة المئوية للرواسب التي مصدرها من الكائنات الحية (مثل: العوالق النباتية والطحالب) من إجمالي الحمأة في العينة.

محور Y السفلي: يتمّ قياس نسبة الكربون 13 / الكربون 12 في المادة العضوية من الرواسب التي مصدرها من الكائنات المائية. نسمّي النسبة $\delta^{13}C_{org}$ ("دلتا" كربون "13" عضوي) ويُعبر عنها بوحدات أجزاء في ألف (‰).



الرسمة 5: التغيرات في الرواسب في بحيرة سوبيريور على مر السنين

نرى في الرسوم البيانية تغيّرات في نوى الرواسب التي تشير إلى ازدياد كمية الكائنات الحية التي تحتوي على الكربون، مثل: الطحالب والعوالق النباتية في بحيرة سوبيريور على مدار الـ 9000 سنة الأخيرة.

النسبة المئوية لـ TOC (Total Organic Carbon) في الرسم البياني العلوي، والنسبة بين كربون 13 / كربون 12 ($\delta^{13}C_{org}$) في الرسم البياني السفلي هي مقياس لكمية العوالق النباتية والطحالب في البحيرة.

وجدنا في جميع عينات الرواسب التي بحثناها أنّ كمية الطحالب والعوالق النباتية التي عاشت في البحيرة، ازدادت ببطء وتدريجيًّا على مر السنين منذ تكوينها حتى عام 1900.

في القرن العشرين، ارتفعت كميتها بشكل حاد وشاذ (الرسمة 5). كان هذا الازدياد أكبر بكثير من أي تذبذب في كمية الحياة في البحيرة في العشرة آلاف سنة الماضية!

تُظهر الرسوم البيانية الداخلية الصغيرة كميات الكربون التي تمّ قياسها في البحيرة (باللون الأزرق) مقارنة بكميات ثاني أكسيد الكربون العالمية (باللون الرمادي) المنبعثة إلى الغلاف الجوي في آخر 250 عامًا.

هل ترون هذه العلاقة؟

كيف تدل الزيادة في كمية نظير الكربون 13 ($\delta^{13}C$) على نمو الطحالب / العوالق النباتية؟

كي نفهم ذلك، من المهم أن نفهم أن الطحالب والعوالق النباتية لا تُفضل نظيري الكربون بالتساوي. فكروا في نوعين مختلفين من نظائر الكربون: كربون 13 (^{13}C) وكربون 12 (^{12}C) كحلوى في علبة حلويات. الحلوى المفضلة عليكم، هي تلك الحلوى التي تختارونها عند فتح العلبة، وهي كالكربون 12 الذي تُفضله الطحالب والعوالق النباتية - إنها تُفضل حقًا الكربون 12! ولكن عندما تختفي الحلوى المفضلة عليكم تبدؤون في تناول الحلوى التي تفضلونها بشكل أقل والتي تشبه الكربون 13 للطحالب والعوالق النباتية. بالنسبة لها، الكربون 13 "معقول" فقط. لذلك، عندما تنمو الطحالب والعوالق النباتية تضطر إلى استهلاك المزيد والمزيد من الكربون 13. يمكننا الكشف عن كميات متزايدة من الكربون 13 في الرواسب، حتى بَعد قرون منذ الفترة التي استهلكته الطحالب والعوالق النباتية وماتت أيضًا - رائع جدًا! عندما يكون نقص في المواد الغذائية تضطر الكائنات الحية إلى أن تكتفي بالكربون 13 أيضًا بسبب النقص النسبي في الكربون 12.

أجيبوا عن الأسئلة

8. أ. ما هي المقاييس التي تمّ اختيارها للتعبير عن كمية الطحالب والعوالق النباتية التي عاشت في البحيرة؟

ب. كيف تعبر هذه المقاييس عن كمية الطحالب والعوالق النباتية التي عاشت في البحيرة؟

9. تظهر في الرسوم البيانية زيادة تدريجية في النسبة المئوية لإجمالي الكربون وفي كربون 13 على مر السنين. ما الذي يؤدي إلى الزيادة التدريجية في كمية الطحالب والعوالق النباتية التي عاشت في البحيرة؟

10. توضح الرسوم البيانية الصغيرة وجود علاقة بين التغيّر في كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وكمية الكربون في العينات السفلية من أرضية البحيرة.

أ. هل يمكن أنْ نحدد أنّ هناك علاقة بينهما، هذا يعني أن كمية الكربون، في عينات أرضية البحيرة، ازدادت نتيجة لزيادة كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟ اشرحوا تحديدكم.

ب. إذا لم يكن الأمر كذلك، اقترحوا فرضيات - ما هي العوامل الأخرى التي يمكن أن تؤدي إلى زيادة كمية الكربون في قاع البحيرة؟

نقاش

ربما كانت الزيادة التدريجية في عدد الطحالب والعوالق النباتية، التي عاشت في بحيرة سوبيريور، ناتجة عن إضافة مواد غذائية (عناصر غذائية) تحتاجها للنمو، والتي مصدرها من الصخور التي تفتت ببطء في الماء. حدثت الزيادة الكبيرة في عدد هذه النباتات المائية في بحيرة سوبيريور على مدى 100 سنة الماضية، وذلك بالتوازي مع الزيادة في كمية غازات الدفيئة الناتجة عن نشاط الإنسان وتغير المناخ. وجد علماء آخرون أن هذه التغيرات المناخية أدت إلى ارتفاع درجة حرارة سطح البحيرة، مما أدى إلى فترات زمنية طويلة بدون غطاء جليدي.

يساهم بحثنا في فهم تأثير تغيّر المناخ، حيث وجدنا زيادة في كمية الطحالب والعوالق النباتية في البحيرة، وذلك بالتوازي مع زيادة درجة الحرارة وانخفاض في فترة تجمد سطح البحيرة. نفهم من ذلك أنه حتى بحيرة ضخمة ونقية كبحيرة سوبيريور ليست محصنة ضد تأثيرات المناخ المتغير.

تعتبر التغييرات في الطحالب والعوالق النباتية ذات أهمية كبيرة لبيئة البحيرة. تعتمد الأسماك والحيوانات الأكبر حجمًا على هذه النباتات كمصادر غذائية، لذلك من المرجح أن يؤدي أي تغيير في الشبكة الغذائية إلى رد فعل متسلسل. ومع ذلك، لا يمكننا حتى الآن تحديد ما إذا كانت هذه التغييرات تؤدي إلى ازدهار الأسماك أو تعرضها للأذى. بالإضافة إلى ذلك، بحيرة سوبيريور هي الأولى في سلسلة التواصل بين "البحيرات الكبرى". بسبب الارتباط المادي بين البحيرات، فإن أي تغيير في النظام البيئي داخل البحيرة يؤثر بالتأكيد على البحيرات الرئيسية الأخرى في السلسلة: بحيرة ميشيغان، بحيرة يورون، بحيرة أيرلندا وبحيرة أونتاريو.

أجيبوا عن الأسئلة

11. كيف أدى ارتفاع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في المائة سنة الماضية في زيادة عدد الطحالب والعوالق النباتية التي عاشت في البحيرة؟

12. بعد أن تعلمتم أن تغير المناخ أدى إلى تكاثر سريع للطحالب والعوالق النباتية في بحيرة سوبيريور، قد تكون لديكم أسئلة حول أهمية هذه الظواهر بالنسبة للأشخاص الذين يعتمدون على البحيرة لإنتاج الغذاء، الماء والمواصلات.

اقترحوا أسئلة تستحق البحث من أجل فهم أفضل لكيفية تأثير الزيادة في كمية الطحالب والعوالق النباتية على السكان والبيئة المحيطة.

13. هل الزيادة في كمية الطحالب والعوالق النباتية في البحيرة ظاهرة سلبية بالضرورة؟ افترضوا، ماذا يمكن أن تكون الفوائد من هذه الزيادة؟

تلخيص

يُظهر بحثنا أن تغير المناخ الذي يسببه الإنسان يمكن أن يكون له تأثيرات دراماتيكية حتى في المناطق التي نعرّفها على أنها بدائية. على الرغم من ذلك، من المهم أنْ نتذكر أنّ درجة الاحترار في المستقبل تعتمد على عملياتنا اليوم، هذا يعني مدى استمرار المجتمعات البشرية في حرق الوقود الأحفوري. يُساعد تقليل استهلاك الطاقة (عن طريق إطفاء الضوء

والأجهزة غير المستخدمة) وتقليل استهلاك الوقود (عن طريق المشي أو استخدام الدراجة الهوائية بدلًا من ركوب السيارة) في تقليل انبعاث غازات الاحتباس الحراري المتعلقة بنمط حياتنا.

مهمة

اكتبوا أكبر عدد ممكن من العمليات التي يمكن القيام بها في البيت، المدرسة، البلدة والدولة من أجل تقليل غازات الاحتباس الحراري.

البيت	المدرسة	البلدة	الدولة

قائمة مصطلحات

النظائر - أشكال مختلفة من نفس العنصر. كلها متساوية في عدد البروتونات في النواة، لكنها تختلف في عدد النيوترونات. على سبيل المثال، يحتوي الكربون على ثلاثة نظائر في الطبيعة: كربون 12، كربون 13 وكربون 14.
تحتوي جميعها على 6 بروتونات، لكنها تحتوي على 6، 7، 8 نيوترونات على التوالي.

طحالب - نباتات طلائعية بسيطة تعيش في الماء أو بالقرب منه. تقوم بعملية التركيب الضوئي كسائر جميع النباتات، لكنها غير مبنية كالنباتات على الأرض التي لها جذر، ساق، أوراق وأزهار.

علم البيئة - علم يبحث في التأثير المتبادل، الكائنات الحية المختلفة والتأثير المتبادل بين الكائنات الحية والبيئة المحيطة غير الحية.

بدائي (في البداية) - غير ملوث، نقي، لم يتأثر من نشاط الإنسان.

غازات الاحتباس الحراري (غازات الدفيئة) - غاز في الغلاف الجوي يمتص أشعة الشمس ويحولها إلى حرارة تتراكم في الغلاف الجوي. تؤدي الزيادة في انبعاث غازات الاحتباس الحراري، بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون، في الغلاف الجوي إلى ارتفاع درجات الحرارة وتغيّر المناخ على الكرة الأرضية.

النواة الرسوبية - عينة على شكل أسطوانة من الرواسب، وهي تُظهر تاريخ تراكم هطول الأمطار في قاع البحيرة. تقع الرواسب القديمة في قاع النواة، بينما تقع الرواسب الجديدة في الجزء العلوي.

الشبكة الغذائية - وصف يمثّل انتقال المواد والطاقة بين الكائنات الحية في بيوت التنمية. مجموع سلاسل الغذاء التي يتمّ من خلالها نقل الطاقة من المنتجين إلى المستهلكين وإلى المحللات والعلاقة بينها.

الكربون - عنصر شائع جدًّا في الطبيعة. وهو أحد مكونات المادة العضوية التي تتكون منها جميع الكائنات الحية في الكرة الأرضية.

ثاني أكسيد الكربون - غاز يشكل حوالي 0.04% من الغلاف الجوي. تمتصه النباتات التي تقوم بعملية التركيب الضوئي، وينبعث في عملية التنفس الخلوي. ينبعث ثاني أكسيد الكربون خلال احتراق الوقود الأحفوري أيضًا، ويساهم (جنبًا إلى جنب مع الغازات الأخرى) في ازدياد تأثير الاحتباس الحراري.

العوالق النباتية - كائنات حية مجهرية تطفو أو تعوم في الماء. تشمل هذه المجموعة النباتات والبكتيريا التي تقوم بعملية التركيب الضوئي. العوالق النباتية ذات أهمية بيئية. تُشير التقديرات إلى أن عشائر العوالق النباتية تُساهم بحوالي 50% من الأكسجين في هواء العالَم.

علم الأحياء القديمة - بحث أحافير ورواسب لإعادة بناء تاريخ البحيرات.

الرواسب - مواد رسبت في قاع بحيرة أو في قاع سوائل أخرى.

تغيرات المناخ - تغيرات في الأنماط المناخية للأمطار ودرجات الحرارة الناتجة عن أعمال الإنسان أو نتيجة للعمليات الطبيعية. منذ منتصف القرن العشرين، تمّ توثيق تغيرات مناخية رئيسية تُعزى إلى الزيادة الكبيرة في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي نتيجة للزيادة في حرق الوقود الذي يقوم به الإنسان.