

כמה מזין יהיה האוקיינוס הארקטי בעתיד?

Pearse J. Buchanan^{1*}, Robyn E. Tuerena², Alessandro Tagliabue¹, Claire Mahaffey¹

¹המחלקה למדעי כדור הארץ, האוקיינוס ואקולוגיה, אוניברסיטת ליברפול, ליברפול, בריטניה

²בית הספר לגיאוגרפיה, אוניברסיטת אדינבורו, אדינבורו, בריטניה

סוקר צעיר

SASYAK

גיל: 12



גז חממה

(Greenhouse Gas)

גז שתורם להתחממות של כדור הארץ שידועה בשם 'אפקט החממה', על ידי החזקת חום בתוך האטמוספירה של כדור הארץ.

נראה שהאוקיינוס נראה אותו הדבר בכל מקום, בין אם אתם הולכים לחוף המקומי שלכם או לאוקיינוס הארקטי הקר. אולם תכונות של אוקיינוסים משתנות מאוד. כמו סוגים שונים של אדמה על הקרקע, חלק ממי הים עשירים בחומרי מזון, בעוד שאחרים לא. אם יותר חומרי מזון זמינים, חיים רבים יותר יכולים לגדול באוקיינוס. כשיש יותר חיים, האוקיינוס יכול להסיר כמות גדולה יותר של פחמן דו-חמצני מהאטמוספירה, ולייצר יותר דגים עבורנו. כיום, שינויי האקלים משנים את כמות חומרי המזון במי הים של האוקיינוס הארקטי. מי ים עשירים בחומרי מזון מהאוקיינוס הפסיפי זורמים במהירות גדולה יותר אל האוקיינוס הארקטי, בעוד שמי ים עם מעט חומרי מזון מהאוקיינוס האטלנטי גם פולשים. איזה סוג מי ים יהיו דומיננטיים באוקיינוס הארקטי החם יותר ונטול הקרח? האם האוקיינוס הארקטי יהפוך עשיר בחומרי מזון ויתמוך במערכות אקולוגיות יצרניות, או שהוא יהפוך לאוקיינוס מדברי? מדענים עדיין עובדים קשה כדי לחזות מה יתרחש בעולם חם יותר.

שינויי אקלים והאוקיינוס הארקטי

אקלים כדור הארץ משתנה. האטמוספירה והאוקיינוס מתחממים כשבני אדם מזרימים פחמן דו-חמצני (CO₂) וגזי חממה אחרים לתוך האטמוספירה [1]. האוקיינוס הארקטי חווה את

השינויים הקיצוניים ביותר, עם קצב כפול של התחממות ביחס למוצע הגלובלי, אובדן מהיר של קרח ים ושינויים בזרמי האוקיינוס. אנו יודעים שהשינויים האלה ישפיעו על מערכות אקולוגיות ארקטיות, אולם כיצד בדיוק? לרוע המזל, מדענים עדיין לא בטוחים כיצד המערכות הימיות באוקיינוס הארקטי ישתנו. אחת מחוסר הוודאויות המרכזיות מגיעה מחוסר יכולתנו לחזות מה יקרה לחומרי המזון שמומסים במי הים באוקיינוס הארקטי.

מדוע שיהיה לנו אכפת מחומרי מזון?

ממש כמו קרקעות שמאפשרות לירקות שאתם אוכלים לגדול, מי ים מכילים חומרי מזון שמאפשרים ל**פיטופלנקטון** לגדול. פיטופלנקטון הם צמחים זעירים מיקרוסקופיים שחיים באזור שנקרא **euphotic zone** (האזור בפני השטח של האוקיינוס שמואר על ידי השמש). פיטופלנקטון זקוקים לאור ולחומרי מזון כדי לחיות. אוקיינוס מזין הוא אוקיינוס שיש בו מספיק חומרי מזון כדי לתמוך בחברת פיטופלנקטון **יצרנית**, כזאת עם ריבוי של פיטופלנקטון שגדלים מהר.

פיטופלנקטון חיוניים עבור שרשרות מזון ימיות. אם מספיק חומרי מזון זמינים עבור פיטופלנקטון, הצמחים המיקרוסקופיים האלה יכולים לתמוך במגוון של חיות ימיות. חברות פיטופלנקטון יצרניות תומכות, לכן, בחוות דיג, וכמעט מיליארד אנשים מסתמכים עליהן לקבלת מזון באופן יומיומי.

פיטופלנקטון גם מקררים את כדור הארץ על ידי ספיגת פחמן דו-חמצני כשהם גדלים ומבצעים **פוטוסינתזה**, ושואבים את הגז הזה החוצה מהאטמוספירה אל תוך האוקיינוס. כאשר פיטופלנקטון מתים, הפחמן הדו-חמצני שהם ספגו שוקע אל מעמקי האוקיינוס ועשוי להיקבר במשקעים [1]. לכן אזורים מזינים של האוקיינוס שתומכים בחברות פיטופלנקטון יצרניות עשויים לשאוב פחמן דו-חמצני החוצה מהאטמוספירה, ולסייע לקירור של כדור הארץ המתחמם במהרה.

זו הסיבה לכך שאכפת לנו מחומרי מזון. על ידי תמיכה בחברות פיטופלנקטון יצרניות, חומרי מזון מהווים חלק חשוב במערכות אקולוגיות, בחוות דיג ובאקלים.

האם האוקיינוס הארקטי הוא אוקיינוס מזין?

לא כל מי הים זהים. בחלק מהאזורים באוקיינוס, למרות קבלת אור שמש רב עבור פוטוסינתזה, חומרי המזון הם מועטים והחיים דלילים. באזורים אחרים, חומרי מזון הם עשירים וחיים ימיים הם שופעים.

אנו יכולים לצפות ב"מְדַבְּרִים" וב"גִּינוֹת" של האוקיינוס באמצעות לוויינים, שיכולים לאתר כמה הפיטופלנקטון יצרניים, בכל רחבי העולם. לוויינים עושים זאת על ידי מדידת שינויים קטנים בצבע של האור שמוחזר מהאוקיינוס [2]. לפיטופלנקטון יש **פיגמנטים** ייחודיים בתוך תאיהם שמשמשים לפוטוסינתזה. הפיגמנטים האלה משנים את צבע האור שמוחזר מהאוקיינוס ופונה חזרה אל החלל, מה שמאפשר ללוויינים לאתר שינויים בפיטופלנקטון. מחקרי לוויינים של

פיטופלנקטון (Phytoplankton)

אצות ימיות זעירות שמהוות את בסיס שרשרות המזון הימיות.

Euphotic Zone

החלק העליון של האוקיינוס שבו אור השמש זמין.

יצרני

(Productive)

היכולת לייצר כמויות גדולות של משהו. בהקשר לפיטופלנקטון, "יצרני" מתייחס לריכוזים גדולים של האורגניזמים האלה באזור מסוים.

פוטוסינתזה

(Photosynthesis)

תהליך של המרת אור שמש ופחמן דו-חמצני (CO₂) לאנרגיה כימית בצורת סוכרים ופחמימות אחרות, כך שצמחים יוכלו לגדול.

פיגמנטים

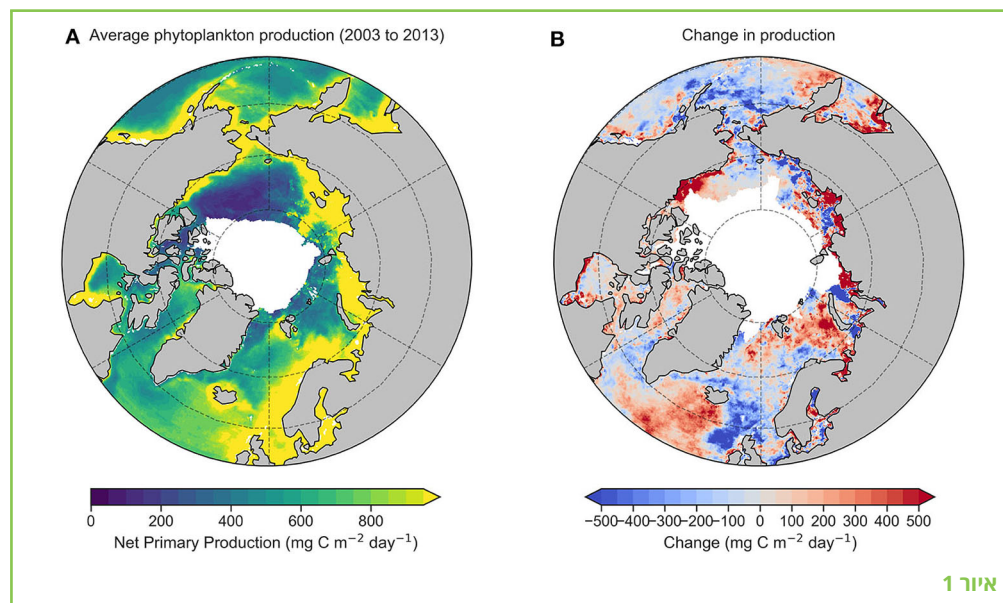
(Pigments)

חומר הצביעה הטבעי של רקמה, במקרה הזה התרכובות שבתוך תאי פיטופלנקטון שסופגות אורכי גל מסוימים של האור לצורך פוטוסינתזה.

איור 1

מדדות לוויין של ייצור פיטופלנקטון באוקיינוס הארקטי. (A)

ייצור פיטופלנקטון ממוצע בין השנים 2003 ל-2013, עם אזורים יצרניים בירוק ובצהוב. אתם יכולים לראות שהרבה מקומות באוקיינוס הארקטי הם יצרניים. (B) השינויים בייצור הפיטופלנקטון בין שנה חמה יותר (2012) לשנה קרה יותר (2003). בעוד שישנם הרבה טלאים, עליות בייצור פיטופלנקטון (צבעים אדומים) היו שכיחות סביב לקצה של קרח הים (אזור לבן), אשר נמס במהרה ומעלה את כמות האור הזמין עבור פיטופלנקטון. אתם יכולים גם לראות שהאזור הזה בקרח הים קטן יותר ב-(A) מאשר ב-(B), בשל אובדן קרח הים מאז 2003.



איור 1

האוקיינוס הארקטי הראו שבסך הכול האוקיינוס הארקטי הוא יצרני בהרבה אזורים (איור 1A). מה שאומר שמי האוקיינוס הארקטי הם מזינים.

שינויים אחרונים

ישנה אפשרות ממשית שהאוקיינוס הארקטי יהפוך יצרני יותר כאשר הוא יתחמם. כשקרח הים נמס, אור רב יותר נעשה זמין לתדלוק גדילת פיטופלנקטון. עם יותר פיטופלנקטון, האוקיינוס הארקטי יכול לתמוך ביותר דגים. הוא גם יכול לספוג יותר פחמן דו-חמצני, ואולי לסייע לשאוב חלק מהפחמן הדו-חמצני החוצה מהאטמוספירה שמתחממת במהירות.

למעשה, ייצור פיטופלנקטון גדל ב-30% במהלך העשורים האחרונים, עם עליות גדולות במקומות שבהם אובדן קרח הים היה הקיצוני ביותר (איור 1B). אולם מדענים לא יודעים אם העלייה בייצור פיטופלנקטון תמשיך. האבולוציה של ייצור פיטופלנקטון ארקטי תהיה תלויה באם מי הים ישארו מזינים. כדי לחזות כמה מזין יהיה האוקיינוס הארקטי בעתיד, עלינו להבין כיצד האוקיינוס הארקטי מקבל את חומרי המזון שלו. כדי לעשות זאת, עלינו לעזור את האוקיינוס הארקטי.

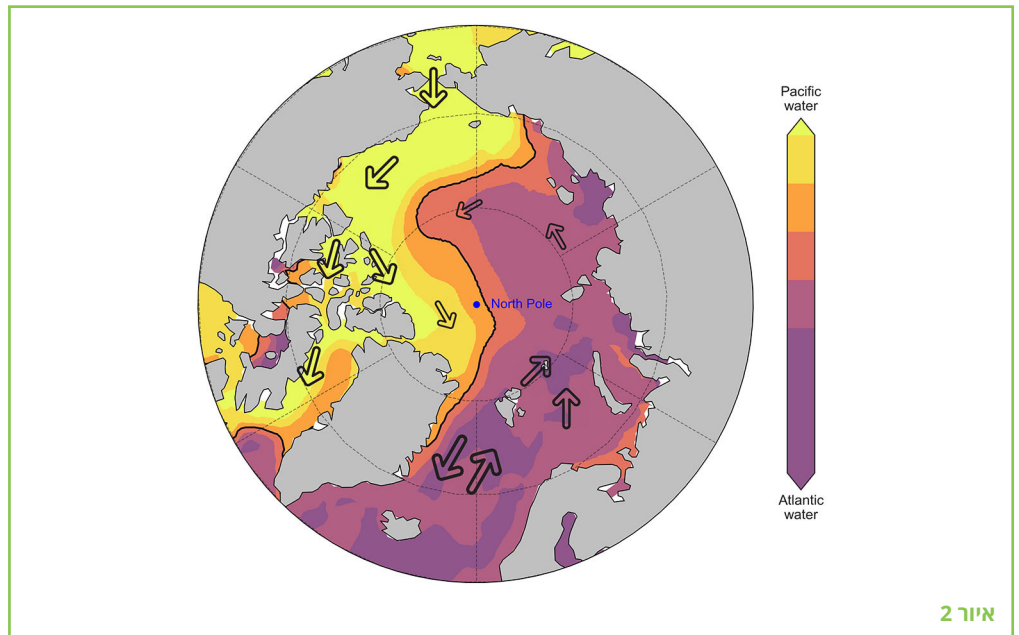
השותפים של האוקיינוס הארקטי: האוקיינוסים הפסיפי והאטלנטי

אף על פי שהאוקיינוס הארקטי קטן, הוא נקודת פגישה חשובה של שני אוקיינוסים: האוקיינוס הארקטי והאוקיינוס הפסיפי (איור 2).

האוקיינוס הארקטי מקבל מי ים מהאוקיינוס הפסיפי דרך מצר הים ברינג, שהוא פתח קטן ורדוד בין אלסקה לבין רוסיה. באותו הזמן, מי ים אטלנטיים זורמים לתוך האזור הארקטי שבין גרינלנד לסקנדינביה. מי ים פסיפיים שולטים באזור הארקטי המערבי ליד קנדה, בעוד שמי ים אטלנטיים שולטים באזור המזרחי ליד אירופה ורוסיה.

איור 2

מי ים פסיפיים (בצהוב) ומי ים אטלנטיים (בסגול) שולטים באזורים מסוימים של האוקיינוס הארקטי. אתם יכולים לראות את הגבול שבין מים הים הפסיפיים והאטלנטיים על ידי הקו השחור המלא. מי ים פסיפיים מזינים מאוד בהשוואה למי ים אטלנטיים, אז אתם יכולים לחשוב על האזורים שבצהוב כאזורים עשירים בחומרי מזון. חיצים מצביעים על תבנית סירקולציה בסיסית, כפי שנקבע על ידי הדמיית מודל האוקיינוס.



הבחנה בין זרימות פסיפית ואטלנטית חשובה מאחר שתכולת חומרי המזון של מי ים פסיפיים ואטלנטיים שונה במידה משמעותית. מי ים פסיפיים הם עשירים במזון, בעוד שמי ים אטלנטיים מכילים מעט חומרי מזון. לכן, ההשפעה היחסית של מי ים פסיפיים ואטלנטיים באזור הארקטי קובעת עד כמה המים מזינים, מה שקובע כמה פיטופלנקטון יהיו יצרניים שם.

הנה מגיע שינוי האקלים: קרב בין האוקיינוסים הפסיפי והאטלנטי

כיום, יותר מים נעים אל האוקיינוס הארקטי משני האוקיינוסים, הפסיפי והאטלנטי, כלומר יותר מים ארקטיים נדחפים החוצה [3, 4].

אם כן, מה זה אומר? ראשית, שהתכונות של מי ים ארקטיים משתנות במהרה. מהירות השינוי מאימת לשנות את חברות הפיטופלנקטון, מה שיכול להשפיע על אורגניזמים עליונים יותר בשרשרת המזון, כולל יונקים ימיים, ואולי לגרום לארגון מחדש כולל של מערכות אקולוגיות ארקטיות.

שנית, אנו חושבים שהתחרות בין האוקיינוס הפסיפי והאטלנטי תקבע את היצרנות של פיטופלנקטון שחיים באזור הארקטי, ובסופו של דבר את סוגי החיות שיחיו שם. אם ההשפעה האטלנטית תמשיך לגדול, אז האוקיינוס הארקטי עלול שלא להיות יצרני, אפילו עם הרבה אור שמש והימסות קרח ים משמעותית. אולם אם ההשפעה הפסיפית תגדל ותעקוף את ההשפעה האטלנטית, אז האוקיינוס הארקטי יכול להיות מזין ויצרני יותר.

אולם חשוב להבין שעלייה אפשרית בפיטופלנקטון באוקיינוס הארקטי לא גורמת להתחממות האקלים להיות חיובית. התחממות האקלים גורמת לשינויים אדירים בכל רחבי הביוספירה של כדור הארץ, שהאוקיינוס הארקטי הוא רק חלק קטן ממנה. עלייה במפלס הים ברחבי העולם יכולה להעתיק אנשים רבים מבתיהם, וחלק מהמערכות האקולוגיות עשויות להיפך לפחות יצרניות, במיוחד באזורים טרופיים. העלייה הפוטנציאלית בכמויות הדגים ובספיגת פחמן דו-חמצני באוקיינוס הארקטי מהווה חלק קטן בלבד מהסיפור הגלובלי.

אז, כמה האוקיינוס הארקטי יהיה מזין בעתיד?

התשובה הקצרה היא שאיננו יודעים עדיין כמה האוקיינוס הארקטי יהיה מזין. אף על פי שמדענים משתמשים בלוויינים, בספינות ובמודלים ממוחשבים כדי לנטר את האוקיינוס הארקטי [3–5], עדיין קשה לחזות מה יקרה שם בעתיד, כתוצאה מהסיבוכיות של מערכות פיזיקליות וביולוגיות. חוסר הוודאות הזה מקשה על חיזוי ההשלכות עבור מערכות אקולוגיות ארקטיות, על חוות הדיג שלו, ועל תרומתו להפחתת פחמן דו-חמצני באטמוספירה.

אולם, מה שכן ברור הוא שהאוקיינוס הארקטי משתנה במהרה, ושאספקת חומרי המזון מהאוקיינוסים השותפים שלו, הפסיפי והאטלנטי, נעשית חשובה בעת שקרח הים נמס.

מקורות

1. Faust, J. C., März, C., and Henley, S. F. 2019. The carbon story of a melting Arctic. *Front. Young Minds* 7:136. doi: 10.3389/frym.2019.00136
2. Behrenfeld, M. J., Boss, E., Siegel, D. A., and Shea, D. M. 2005. Carbon-based ocean productivity and phytoplankton physiology from space. *Glob. Biogeochem. Cycles* 19:1–14. doi: 10.1029/2004GB002299
3. Oziel, L., Neukermans, G., Ardyna, M., Lancelot, C., Tison, J. L., Wassmann, P., et al. 2017. Role for Atlantic inflows and sea ice loss on shifting phytoplankton blooms in the Barents Sea. *J. Geophys. Res. Ocean.* 122:5121–39. doi: 10.1002/2016JC012582
4. Woodgate, R. A. 2018. Increases in the Pacific inflow to the Arctic from 1990 to 2015, and insights into seasonal trends and driving mechanisms from year-round Bering Strait mooring data. *Prog. Oceanogr.* 160:124–54. doi: 10.1016/j.pocean.2017.12.007
5. Arrigo, K. R., and van Dijken, G. L. 2015. Continued increases in Arctic Ocean primary production. *Prog. Oceanogr.* 136:60–70. doi: 10.1016/j.pocean.2015.05.002

פורסם אונליין: 10 ביוני 2022

נערך על ידי: Christian März

מנחה מדעי: Suhas Kumar

ציטוט: Buchanan PJ, Tuerena RE, Tagliabue A and Mahaffey C (2022) כמה מזין יהיה האוקיינוס הארקטי בעתיד? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00093-he

Buchanan PJ, Tuerena RE, Tagliabue A and Mahaffey C (2020) How Nutritious Will the Future Arctic Ocean Be? *Front. Young Minds* 8:93. doi: 10.3389/frym.2020.00093

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

זהו © 2020 © COPYRIGHT Buchanan, Tuerena, Tagliabue and Mahaffey 2022. מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחבר(ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקר צעיר

SASYAK, גיל: 12

Sasyak הוא תלמיד בן 12 מהודו. הוא קורא נלהב של כמה ז'אנרים של ספרים. הוא משתתף חרוץ בתחרויות חידונים ובאולימפיאדות, והוא אלוף בתחרות איות. הוא הולך לשיעורי כדורגל ונהנה לרכוב על אופניים.



הכותבים

PEARSE J. BUCHANAN

אני חוקר פוסט-דוקטורנט באוניברסיטת ליברפול. תמיד התעניינתי בתהליכים מעגליים ובמערכות. המחקר שלי מתמקד במנגנונים ששולטים במחזורי חומרי מזון, פחמן וחמצן, במיוחד כאלה שמעריבים אינטראקציות בין פלנקטון לבין הסביבה הפיזית והכימית שלהם. אני משתמש במודלים של אקלים כדי לעשות זאת. *pearse.buchanan@liverpool.ac.uk



ROBYN E. TUERENA

אני חוקרת פוסט-דוקטורנטית באוניברסיטת אדינבורו. המחקר שלי מתמקד במחזור חומרי מזון בטוח של סביבות ימיות. בפרט, אני חוקרת פחמן וחנקן, וכיצד הריכוזים והזמינות שלהם באוקיינוס עשויים להשתנות בעתיד. אני מבלה זמן רב במעבדה ועל ספינות, ומשתמשת בשיטות גיאוכימיות כדי לחקור את ההשפעות של מחזור חומרי מזון על פיטופלנקטון ועל ייצור ימי ראשוני.



ALESSANDRO TAGLIABUE

אני פרופסור למדעי האוקיינוס באוניברסיטת ליברפול. אני משתמש במודלים של האוקיינוס כדי להבין את התהליכים ששולטים בחומרי מזון, בפחמן ובמחזורי יסודות אחרים, וכיצד הם מתקשרים עם חיים מיקרוביים.



CLAIRE MAHAFFEY

אני פרופסורית למדעי האוקיינוס באוניברסיטת ליברפול. אני מתעניינת באופן שבו פיטופלנקטון שורדים בטווח של סביבות ימיות, כיצד הם רוכשים חומרי מזון והתפקיד שפיטופלנקטון ממלאים במחזור פחמן וחומרי מזון, וכיצד הם שומרים על מערכות אקולוגיות ימיות.



מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK