

כיצד הימסות של קרח ים ארקטי יכולה להוביל להרעבת דובי קוטב

Doreen Kohlbach*, Benjamin A. Lange

מכון הקוטב הנורווגי, פרמסנטרט, טרומסו, נורווגיה

סוקרות צעירות

**DEVONPORT
HIGH SCHOOL
FOR GIRLS
(11C/2020)**



גיל: 15-16

קרח ים הוא סביבת מחיה חשובה לאורגניזמים רבים, החל מאורגניזמים מיקרוסקופיים ועד ליונקים גדולים כמו כלבי ים ודובי קוטב. חיות קטנות שנקראות זואופלנקטון יכולות לאכול אצות מיקרוסקופיות דמויות צמחים באופן ישיר. בתורן, חיות גדולות יותר, כמו למשל דגים, אוכלות זואופלנקטון, כלבי ים אוכלים דגים וזואופלנקטון גדולים יותר, ודובי קוטב צדים כלבי ים. באופן הזה, אנרגיה מועברת מאצות כל הדרך במעלה שרשרת המזון אל דובי קוטב. עליית טמפרטורות גרמה לשינויים בסביבות המחיה בקרח הים הארקטי. השינויים האלה ישפיעו על סביבות המחיה של טורפי-על במה שקשור לציד, להזנה ולהתרבות, וישנו את העברת האנרגיה מאצות קרח ים ובמעלה שרשרת המזון. על ידי חקירה של תכולת השומן של אצות ושל חיות, מצאנו שאצות קרח ים מביטחות את הישרדותן של הרבה חיות ארקטיות. לכן, סביבות המחיה המשתנות בקרח הים יכולות לגרום לבטן ריקה עבור זואופלנקטון, וכתוצאה מכך גם עבור טורפי-על.

קרח הים: בית נוח לאורגניזמים מיקרוסקופיים

במהלך הסתיו והחורף, הטמפרטורות הנמוכות מאוד של האזור הארקטי גורמות להיווצרות של קרח ים שצף על פני השטח של האוקיינוס. כתוצאה מנוכחות של מלח במים, כיסים קטנים,

אצות קרח ים (Sea-ice Algae)

אצות שחיות בתוך קרח הים, בעיקר קרוב לממשק בין קרח הים למים.

שנקראים תעלות מי מלח, נוצרים בתוך קרח הים. תעלות מי המלח האלה הן מאפיין חשוב מאוד של קרח הים, מאחר שהן מאפשרות לצמחים ולחיות לחיות בתוך הקרח ולנוע דרכו. קבוצה אחת של אורגניזמים מיקרוסקופיים דמויי צמחים שגדלים בתוך קרח הים ומתחתי נקראת **אצות קרח ים**. כדי לגדול ולהתרבות, אצות קרח ים צריכות אור כדי לבצע פוטוסינתזה. בפוטוסינתזה, האצות סופגות פחמן דו-חמצני (CO_2) מהאוקיינוס ומהאטמוספירה, ומתמילות אותו לשומנים ולסוכרים באמצעות אנרגיה מאור השמש. התרכובות האלה משמשות כמקור אנרגיה עבור אורגניזמים שניזונים מאצות קרח ים. במהלך החורף הארקטי, אין מספיק אור שמש כדי לבצע פוטוסינתזה, ולכן אצות לא יכולות לגדול. באביב, האור מתגבר ואצות קרח הים גדלות במהרה, מה שנקרא פריחת אצות קרח. הטמפרטורות הגבוהות יותר באביב מרככות את קרח הים, ותחתית הקרח מתחילה להימס. בשלב זה, אצות קרח הים בקרקעית הים משוחררות לתוך המים, שם הן נאכלות על ידי חיות מתמחות שנקראות לוחכי עשב.

לפני 30 שנים, האוקיינוס הארקטי נשלט על ידי קרח ים עתיק מאוד ועבה שנקרא קרח רב-שכבתי. קרח רב-שכבתי הוא קרח ששרד אחת מעונות הקיץ או יותר (איורים 1a,c). מרבית הקרח הרב-שכבתי הזה היה בן חמש-עשר שנים, והגיע לעובי של יותר מעשרה מטרים. כיום, הקרח העבה, העתיק והרב-שכבתי הזה כמעט נעלם, והשאירות של קרח רב-שכבתי נשלטות על ידי קרח בן שנתיים-ארבע שנים בעובי של שניים-חמישה מטרים [1]. שכבת הקרח הרב-שכבתי הנותרת הזו נמצאת כעת בעיקר באזור קטן בין קנדה, גרינלנד והקוטב הצפוני – מה שנקרא אזור הקרח אחרון. כשסביבת המחיה הארקטית ממשיכה להשתנות, אזור הקרח האחרון עשוי להיחפץ למקלט חשוב עבור חיות שתלויות בקרח ים לשם הישרדות.

בשל נוכחותו במשך כל עונות השנה, קרח רב-שכבתי הוא סביבת מחיה חשובה במיוחד בתוך המערכת האקולוגית הארקטית [2]. אולם כתוצאה משינויי אקלים, קרח רב-שכבתי מוחלף על ידי קרח ים דק וצעיר יותר שנקרא קרח של שנה ראשונה. זהו קרח ים שלא שרד את עונת הימסות הקיץ, ולכן הוא בן פחות משנה מעת היווצרותו (איורים 1a,b). קרח רב-שכבתי וקרח בשנתו הראשונה מספקים סביבות מחיה שונות לחיות ארקטיות. לדוגמה, רכסים של קרח ים, אשר נוצרים כששכבות קרח שצפות על פני המים מתנגשות זו בזו (ממש כמו האופן שבו הרים נוצרים כאשר לוחות טקטוניים מתנגשים יחד), הם מאפיינים ייחודיים של סביבת מחיה שאנו יודעים עליהם מעט מאוד. אולם אנו יודעים שרכסים של קרח ים נוצרים ביתר קלות כאשר הקרח דק יותר, ולכן סביר שמספר סביבות המחיה של רכסי קרח ים יגדלו כאשר הקרח הרב-שכבתי יוחלף על ידי קרח דק יותר בשנתו הראשונה.

באמצעות המחקר שלנו, אנו מנסים לשפוך אור על החשיבות של סביבות מחיה שונות של קרח ים עבור חיות ימיות. אנו מנסים להבין מה יהיה בתפריט של לוחכי העשב אם יהיו פחות אצות קרח ים באוקיינוס הארקטי העתידי, וכיצד זה ישפיע על טורפי-על.

מי אוכלים אצות קרח ים: שרשרת המזון הארקטית

באוקיינוס הארקטי, אצות קרח ים ואצות שחיות במים הפתוחים (שנקראות **פיטופלנקטון**), מייצגות את בסיס שרשרת המזון הימית. האצות האלה נקראות יצרנים ראשוניים, מאחר שהן ממירות אנרגיה מהשמש לכימיקלים שיכולים לשמש אורגניזמים שנמצאים גבוה יותר בשרשרת המזון, שנקראים צרכנים. אחרי האצות, **הרמה התזונתית** הבאה בשרשרת המזון

פיטופלנקטון (Phytoplankton)

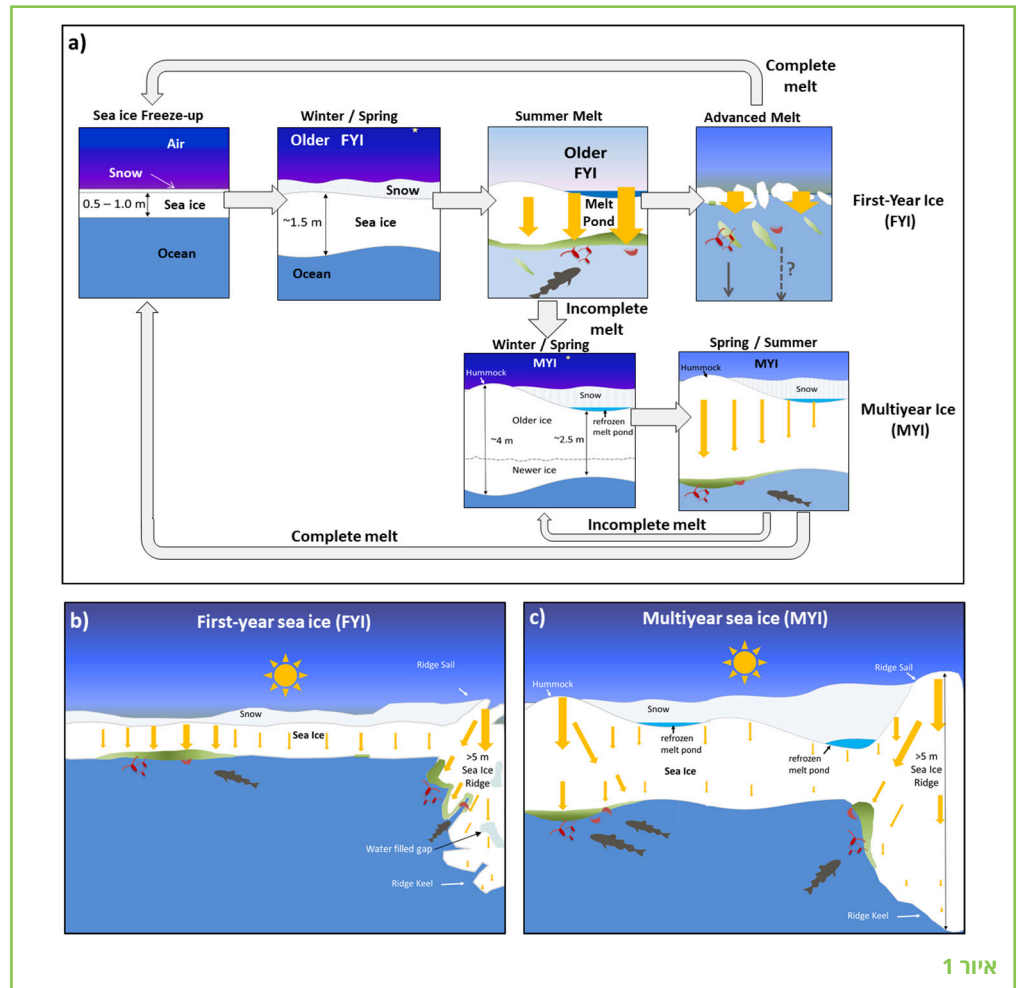
אצות שחיות בעמוד המים, ומשונעות עם זרמי האוקיינוס.

רמה תזונתית (Trophic Level)

“מי אוכל את מי” – המעמד של חיות בתוך שרשרת המזון. חיות שניזונות מאצות נמצאות נמוך יותר בשרשרת המזון מאשר חיות שניזונות גם מאצות וגם מחיות אחרות, או רק מחיות אחרות.

איור 1

השוואה בין קרח בשנתו הראשונה לקרח רב-שכבתי. (a) התפתחות של קרח ים והצטברות של שלג, שמראה את המעבר משלג בשנתו הראשונה לשלג רב-שכבתי. (b) שלג בשנתו הראשונה (c) שלג רב-שכבתי מכיל מאפיינים שונים של סביבת מחיה. גודל החיצים הצהובים מצביע על כמות האור. פיסות ירוקות הן אצות קרח ים.



איור 1

זואופלנקטון (Zooplankton)

חיות ימיות קטנות שנסחפות עם זרמי האוקיינוס. הן מהוות חוליה חשובה בין אצות לבין רמות תזונתיות גבוהות יותר באמצעות העברת אנרגיה לאורך שרשרת המזון הימית.

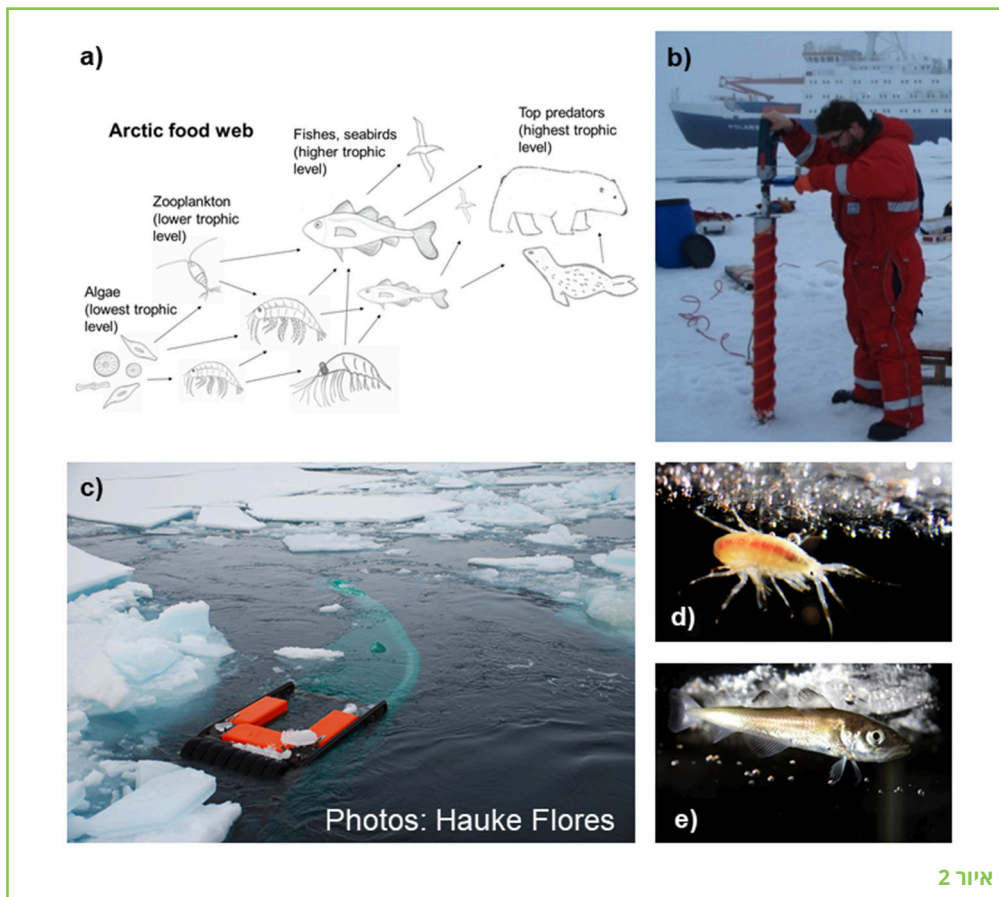
כוללת חיות קטנות שנקראות **זואופלנקטון**, אשר ניזונים מאצות קרח ים, פיטופלנקטון או שניהם. מעלה יותר בשרשרת המזון, זואופלנקטון גדולים יותר וניזונים מזואופלנקטון קטנים יותר. הזואופלנקטון הגדולים יותר האלו הם מקור אנרגיה טעים עבור דגים, ובתורם הדגים נמצאים בתפריט של כלבי הים. לבסוף, כלבי ים נצרכים על ידי דובי קוטב. כלבי ים ודובי קוטב נקראים טורפי-על, מה שאומר שהם מייצגים את נקודות הקצה בשרשרת המזון. במציאות, האינטראקציה בין חברי שרשרת המזון היא קצת יותר מבלגנת, מאחר שלהרבה חיות יש יותר ממקור מזון אחד, וזו הסיבה לכך שהקשרים של מי-אוכל-את-מי בדרך כלל נקראים שרשרת המזון (איור 2a). בתוך שרשרת המזון הימית, אנרגיה מועברת מרמה תזונתית אחת לאחרת בצורת פחמן, שהוא רכיב חשוב של מולקולות שמכילות אנרגיה. טורפי-על תלויים באופן עקיף באצות קרח הים ובפיטופלנקטון מאחר שהפחמן שמיוצר על ידי האצות האלה מגיע בסופו של דבר אל גופם של טורפי-העל. כמעט כל התהליכים בשרשרת המזון מחוברים זה לזה. משמעות הדבר היא שאם משהו משתנה בבסיס שרשרת המזון, יכול להיות "אפקט דומינו" כל הדרך למעלה לכלבי הים ולדובי הקוטב.

כיצד אנו יודעים את מה שאנו יודעים?

חוקרי קוטב משתמשים בליבות קרח, צינורות ארוכים עם להבים חדים בקצותיהם (איור 2b), כדי לקדוח חורים אל תוך הקרח במטרה להוציא ליבות של קרח ים לצורכי מחקר. מאחר שקרח

איור 2

(a) מבנה מפושט של שרשרת המזון הארקטית. אנרגיה מועברת מהרמה הטרופית הנמוכה ביותר אל טורפי העל. Benjamin A. Lange (b) לוקח ליבות של קרח ים (ברקע: שוברת הקרח הנרמנית *Polarstern*). (c) לקרח (SUIT) לדגימת אורגניזמים שחיים ישירות מתחת לקרח. (d) דוגמה לזואופלנקטון גדולים, *Gammarus wilkitzkii*, שהוא שטצדאי סימפאגי. (e) בקלות *Boreogadus saida* בקוטב ניוזונים משטרנליים ומשטצדאים.



איור 2

ים יכול להיות בעובי של כמה מטרים, קידוח ליבות קרח לוקח זמן רב ודורש מאמץ אינטנסיבי! כדי לאסוף זואופלנקטון ודגים, אנו משתמשים ברשתות שמורדות אל תוך המים. חלק מהחיות חיות בממשק שבין קרח הים למים, ישירות מתחת לקרח הים. החיות האלה יכולות להיתפס על ידי צוללנים עם רשתות מיוחדות שיכולות לנוע ישירות מתחת לקרח (איור 2c). זואופלנקטון אחרים הם **פלאגים**, מה שאומר שהם מבלים את מרבית זמנם באוקיינוס הפתוח (לא ליד קרח הים) בעומקי מים שונים. כדי להשיג דגימות מכלבי ים ומדובי קוטב, חוקרים עובדים באופן קרוב עם ציידים אסקימואים, שיכולים לספק שרירים, שומן לווייתנים ודגימות איברים.

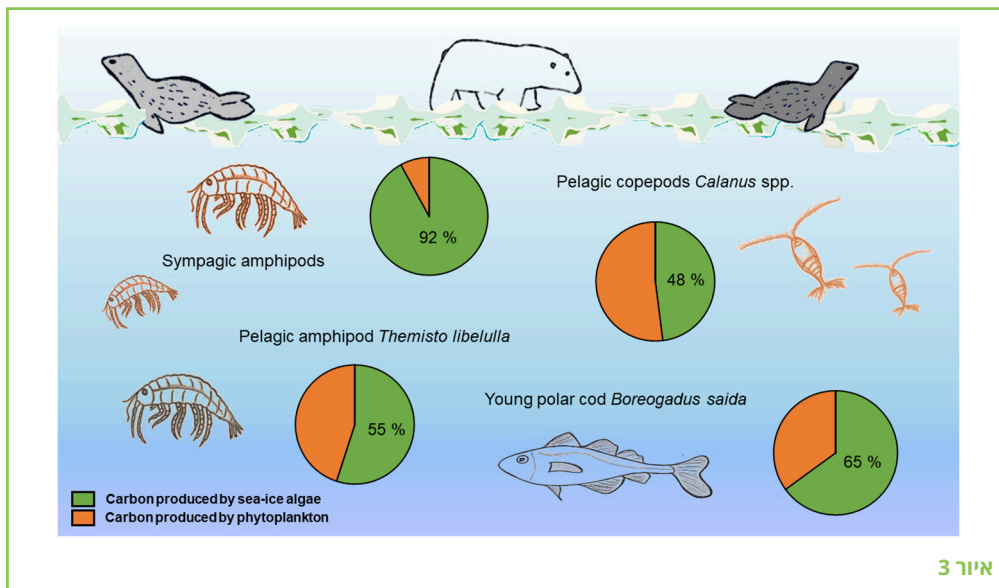
לאחר מכן, במעבדה, אנו חוקרים את תכולת הליפידים באצות ובחיות שאנו אוספים, מה שיכול לספר לנו מהיכן הגיע הפחמן שבגופי החיות. ליפידים הם שומנים, והם עשויים ממולקולות גדולות שמכילות פחמן שנקראות חומצות שומן. אצות קרח ויצרנים ראשוניים אחרים מייצרים חומצות שומן מסוימות שנקראות חומצות שומן סמניות, אשר מועברות ללא שינוי לחיות כאשר האצות נאכלות, כל הדרך עד לכלבי הים ולדובי הקוטב. אצות קרח ים ופיטופלנקטון יכולים לייצר כל אחד את קבוצת חומצות השומן הסמניות שלהם. זה נותן לנו הזדמנות נהדרת להבחין בין מקור הפחמן בצרכנים, כלומר אנו יכולים להניח אם האורגניזמים המדוברים מעדיפים לאכול אצות קרח ים או פיטופלנקטון, או שילוב של שניהם.

חיות ארקטיות רבות זקוקות לאצות קרח ים כדי לשרוד

למרבית החיות יש דיאטות מעורבות, והן מקבלות את האנרגיה שלהן גם מאצות קרח ים וגם מפיטופלנקטון. אולם, חלק מהזואופלנקטון, כולל סרטנאים קטנים שנקראים שטצדאים

איור 3

אחוז מקסימלי של פחמן שמיוצר על ידי אצות ים ונמצא בגוף של חיות ארקטיות שונות. כמות הפחמן זוהתה באמצעות כמה שיטות מעבדה [3, 4]. שטצדאים סימפאגים הם סרטנאים שמקושרים לקרח ים, שטרגליים פלאגים ושטצדאים אחרים מבליים את מרבית מחזורי החיים שלהם בעומקים גדולים יותר.



איור 3

סימפאגי (Sympagic)

סגנון חיים של חיות שחיות בקרבה צמודה לקרח ים. חיות סימפאגיות יכולות להשתמש בקרח ים כמקלט מטורפים, ו/או כסביבת מחיה להזנה. חלק מהחיות מחליפות בין סגנונות חיים פלאגים וסימפאגים במהלך זמנים שונים בשנה.

מבליים את מרבית חייהם בקשר קרוב עם קרח ים (מה שנקרא סגנון חיים **סימפאגי**). אורגניזמים סימפאגים משתמשים בקרח ים כמקום לחיות, לאכול ולהתחבא מטורפים. מצאנו שפחמן שנצרך על ידי שטצדאי סימפאגי בשם *Apherusa glacialis* הגיע כמעט רק מאצות קרח ים [3] (איור 3). במילים אחרות, החיות האלה תלויות כמעט ב-100% באצות קרח ים לצורך הישרדות! בקלת קוטב (איור 2e) היא מין דג חשוב באוקיינוס הארקטי, מאחר שהוא מקור מזון פופולרי עבור כלבי ים וציפורים. בקלת קוטב יכולה להיות מוזנת מטצדאים סימפאגים, מה שאומר שהמין הזה גם תלוי מאוד באצות קרח ים [4]. גבוה אפילו יותר בשרשרת המזון, אצות קרח ים יכולות להיות חשובות עבור דיאטות של כלבי ים ודובי קוטב שונים [5, 6].

מה קורה כשקרח הים נמס ויש מעט אצות קרח ים?

כיום, קצת קשה לחזות כיצד ההתחממות הגלובלית תשפיע על עתיד החיות הימיות. עבור חיות ארקטיות רבות, הידע שלנו על מה, על מתי, ועל כמה הן אוכלות עדיין די מוגבל. אנו יודעים שחלק מהמינים רגישים יותר לשינוי אקלים מאחרים, למשל חיות סימפאגיות. מהתוצאות שלנו, אנו יכולים להניח שההישרדות של החיות המקושרות לקרח האלה, כולל אלה ששייכות לרמות תזונתיות נמוכות או גבוהות, תהיה מאוימת כאשר קרח הים ייעלם. אולם אפשרות אחרת, ואחת שלה אנו מייחלים, היא שהחיות האלה ימצאו דרך להתמודד עם השינויים הסביבתיים על ידי מציאת מקורות מזון חלופיים או על ידי חיפוש מקלט בסביבות מחיה ייחודיות בקרח הים, כמו למשל רכסי קרח ים. מחקרים כמו שלנו יכולים לסייע ולספק מבט רחב יותר על סגנונות החיים של חיות ארקטיות. אפשר לקשר את התוצאות שלנו למחקרים אחרים שחוקרים שינויים אפשריים שהם מסוימים לכל אזור או עונה. כדי להבין לגמרי את האתגרים שעומדים בפני שרשרת המזון הארקטית, צריך לאסוף מידע נוסף במחקרים עתידיים על הדיאטות וסגנונות החיים של חיות ארקטיות, ועל הרגישות שלהן במה שנוגע לשינויים סביבתיים.

תודות

המחקר הזה היה חלק מקבוצת איגוד הלמהולץ לחוקרים צעירים Iceflux: Ice-ecosystem carbon flux in polar oceans (VH-NG-800) במכון אלפרד ווגנר בברמרהייבן, גרמניה.

מאמר המקור

Kohlbach, D., Graeve, M., Lange, B., David, C., Peeken, I., and Flores, H. 2016. The importance of ice algae-produced carbon in the central Arctic Ocean ecosystem: food web relationships revealed by lipid and stable isotope analyses. *Limnol. Oceanogr.* 61:2027–44. doi: 10.1002/lno.10351

מקורות

1. Lange, B. A., Beckers, J. F., Casey, J. A., and Haas, C. 2019. Airborne observations of summer thinning of multiyear sea ice originating from the Lincoln Sea. *J. Geophys. Res. Oceans.* 124:243–66. doi: 10.1029/2018JC014383
2. Lange, B. A., Flores, H., Michel, C., Beckers, J. F., Bublitz, A., Casey, J. A., et al. 2017. Pan-Arctic sea ice-algal chl a biomass and suitable habitat are largely underestimated for multiyear ice. *Glob. Change Biol.* 23:4581–97. doi: 10.1111/gcb.13742
3. Kohlbach, D., Graeve, M., Lange, B., David, C., Peeken, I., and Flores, H. 2016. The importance of ice algae-produced carbon in the central Arctic Ocean ecosystem: food web relationships revealed by lipid and stable isotope analyses. *Limnol. Oceanogr.* 61:2027–44. doi: 10.1002/lno.10351
4. Kohlbach, D., Schaafsma, F., Graeve, M., Lebreton, B., Lange, B., David, C., et al. 2017. Strong linkage of polar cod (*Boreogadus saida*) to sea ice algae-produced carbon: evidence from stomach content, fatty acid and stable isotope analyses. *Prog. Oceanogr.* 152:62–74. doi: 10.1016/j.pocean.2017.02.003
5. Wang, S. W., Springer, A. M., Budge, S. M., Horstmann, L., Quakenbush, L. T., and Wooller, M. J. 2016. Carbon sources and trophic relationships of ice seals during recent environmental shifts in the Bering Sea. *Ecol. Appl.* 26:830–45. doi: 10.1890/14-2421
6. Brown, T. A., Galicia, M. P., Thiemann, G. W., Belt, S. T., Yurkowski, D. J., and Dyck, M. G. 2018. High contributions of sea ice derived carbon in polar bear (*Ursus maritimus*) tissue. *PLoS ONE.* 13:e0191631. doi: 10.1371/journal.pone.0191631

פורסם אונליין: 10 ביוני 2022

נערך על ידי: Penelope Kate Lindeque

מנחה מדעי: Dave Parry

ציטוט: Kohlbach D and Lange BA (2022) כיצד הימסות של קרח ים ארקטי יכולה להוביל להרעבת דובי קוטב. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00111-he

תורגם והותאם: Kohlbach D and Lange BA (2020) How Melting Arctic Sea Ice Can Lead to Starving Polar Bears. *Front. Young Minds* 8:111. doi: 10.3389/frym.2020.00111

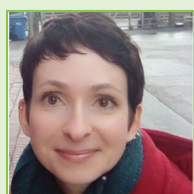
הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

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

סוקרות צעירות

DEVONPORT HIGH SCHOOL FOR GIRLS (11C/2020), גיל: 15-16

אנו קבוצה של תלמידות נלהבות בנות 11 שלומדות לבחינות ה-GCSE שלנו בקיץ 2020, ואנו מתעניינות מאוד בהשפעות של שינוי האקלים. נהנינו לגלות עוד על קריירה מדעית מהמנטורית המדעית שלנו, דוקטור Parry, שנהגה לעבוד כחוקרת ימית לפני שנהייתה מורה לבילוגיה.



הכותבים

DOREEN KOHLBACH

Doreen היא ביוכימאית ימית עם עניין מדעי באינטראקציות בשרשרת המזון בקוטב. Doreen נולדה בגרמניה, שם היא גם עשתה את הדוקטורט שלה. במטרה לרכוש ניסיון עבודה בחו"ל, היא עברה לקנדה וחקרה את חשיבותן של אצות קרח ים בשרשרת המזון באוקיינוס הארקטי הקנדי. Doreen נהנית לאסוף דגימות בשדה ולנתח אותן במעבדה. כיום, Doreen עובדת במכון הקוטב הנורווגי בטרומסו, נורווגיה. כאן, היא מעורבת בפרויקט נורווגי גדול שחוקר את ההשלכות של שינויי אקלים על שרשרת המזון בים ברנטס. <https://arvenetternansen.com/>. *doreen.kohlbach@npolar.no

BENJAMIN A. LANGE

Benjamin הוא ביו-פיזיקאי של קרח ים, שחוקר תכונות של סביבות מחיה של קרח ים, ותוצאות של שינוי אקלים על אצות קרח ים. Ben נולד בקנדה ועשה את הדוקטורט שלו בגרמניה. החלק האהוב על Ben בלהיות מדען הוא השתתפות במסעות מחקר, וכתובה ופרסום של מאמרים בעיתונים מדעיים. אחרי שהוא עבד במכון מחקר קנדי, Ben עובד כיום במכון הקוטב הנורווגי בטרומסו, נורווגיה. הוא חלק מפרויקט בינלאומי ענק שבו שוברת קרח גרמני, Polartern, תטייל באוקיינוס הארקטי במשך שנה שלמה כדי לאסוף דגימות. <https://follow.mosaic-expedition.org/>.

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