



## הירקבות באדמות כְּבֹול: מיהם השחקנים ומה משפיע עליהם?

Carlos Barreto\*†, Zoë Lindo†

מעבדת מגוון ביולוגי של האדמה ותפקוד מערכת אקולוגית, המחלקה לביולוגיה, מרכז ביוטרון לחקר ניסויי של שינוי אקלים, אוניברסיטת ווסטרן, לונדון, אונטריו, קנדה

### סוקרים צעירים

ADAM

גיל: 14



ALEXANDER

גיל: 12



### הירקבות

(Decomposition)

פירוק של צמחים וחיות מתים, אשר נמדד כאובדן.

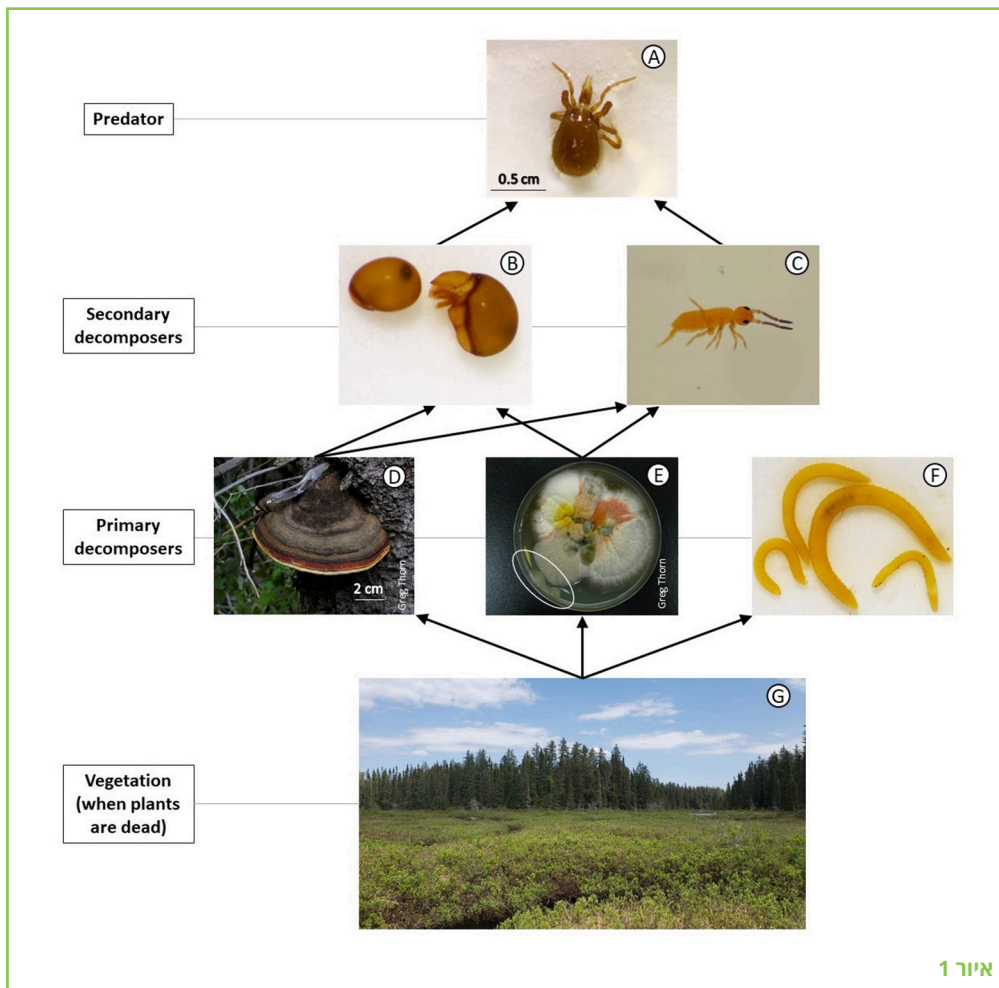
כל האדמות מאחסנות פחמן. כשצמחים גדלים, הם לוקחים פחמן מהאטמוספירה, והפחמן הזה נכנס לאדמה כשהם מתים. החומר הצמחי המת הזה נרקב בהדרגה כאשר אורגניזמים כמו למשל חיידקים, פטריות וחיות זעירות שנקראות קרדיות וקפזנבאים משתמשים בפחמן זה כמקור מזון. הירקבות היא תהליך איטי מאוד באדמות כְּבֹול, וכתוצאה מכך הרבה פחמן מצמחים מתים נשאר באדמה, מה שמסייע להאט את התחממות האקלים. הירקבות באדמות כְּבֹול תלויה בכמה האדמה רטובה, ובסוגים השונים של צמחים ושל האורגניזמים שבאדמה. אנו גילינו שבאדמות כְּבֹול בצפון קנדה, חומר צמחי מת של סוגי צמחים שונים נרקב בקצבים שונים, ויותר קרדיות וקפזנבאים שמסייעים לפירוק נמצאו באזורים רטובים יותר. מאחר שאדמות כְּבֹול חשובות לאחסון פחמן, הבנת שחקני הירקבות חשובה עבור הבנת האופן שבו אפשר להאט את התחממות האקלים.

### הקדמה

**הירקבות** היא תהליך טבעי של פירוק צמחים וחיות מתים. במהלך ההירקבות, ההרכב הכימי של צמחים וחיות מתים משתנה, ופחמן משוחרר אל האטמוספירה. הירקבות נובעת מפעילויות

**איור 1**

**דוגמה לשרשרת מזון מפורשת באדמה.** דוגמה לטורף (A) קרדית טורפת; מפרקת משנית (B) דוגמה לקרדית אוריבתידיה (C) דוגמה לקפזנבאים; מפרק ראשוני (D) פטריה. (E) פטריה עם חיידק בתחתית התמונה (אליפסה). (F) תולעי אדמה. (G) צמחייה באדמת כבול (רק צמחים מתים נרקבים). החיצים מייצגים קשרי הזנה ומצביעים בכיוון של זרימת האנרגיה.



איור 1

**אורגניזם (Organism)**

צמח אינדיבידואלי, חיה, חיידק, או פטרייה.

**אדמות כבול (Peatlands)**

אדמות כבול הן סוג של אדמות רטובות. המושג "אדמות כבול" מתייחס לאדמה עצמה ולבית הגידול של האדמה הרטובה שגדל על פני השטח שלה.

**שינוי אקלים (Climate Change)**

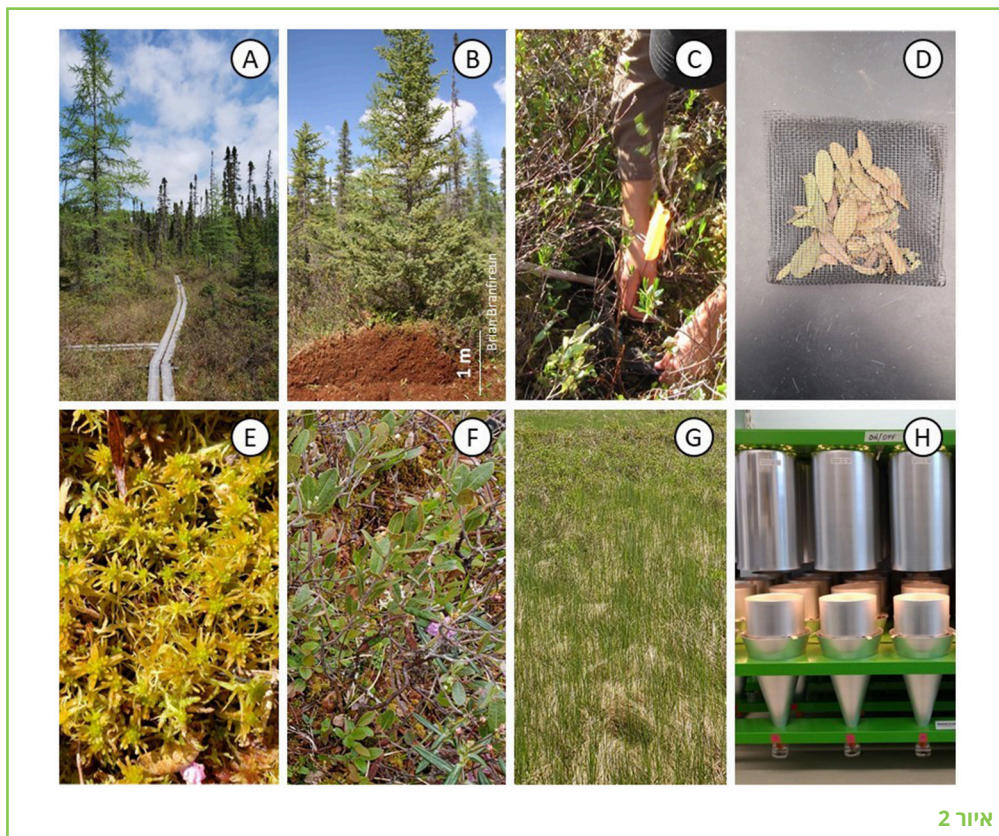
שינוי אקלים הוא התחממות של כל כדור הארץ, שנגרמת בעיקר על ידי עלייה ברמות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה. המקור העיקרי של פחמן דו-חמצני הוא פעילויות אנושיות.

של סוגים שונים של **אורגניזמים** כמו פטריות (איור 1D), חיידקים (איור 1E), תולעים (איור 1F), קרדיות אוריבתידי (איור 1B) וקפזנבאים (איור 1C). לדוגמה, חיידקים ופטריות מפרקים ישירות חומר צמחי מת, ונחשבים מפרקים ראשוניים. פטריות וחיידקים (מפרקים ראשוניים) נאכלים על ידי קרדיות אוריבתידי וקפזנבאים (מפרקים שניוניים). בתורן, הקרדיות הטורפות (איור 1A). צורכות מפרקים שניוניים. לכן, קרדיות אוריבתידי וקפזנבאים משפיעים בעוקף עדיף על המהירות שבה מתרחש הפירוק.

**אדמות כבול** הן מערכות אקולוגיות חשובות שצוברות צמחייה שנרקבה חלקית (איור 1G), ולכן מאחסנות פחמן שמוכל בחומר הצמחי הנרקב [1] (איור 2A). סוג הצמח העיקרי הוא אָזוּב. צמחי אָזוּב הם צמחים קטנים שגדלים לאט וזקוקים להרבה מים כדי לשרוד מאחר שאין להם שורשים. הם גם נרקבים לאט מאוד באדמות כבול אחרי שהם מתים. אדמות כבול הן רטובות מאוד וההירקבות איטית בהשוואה למערכות אקולוגיות אחרות כמו למשל יערות או ערבות שהם יבשים יותר. כתוצאה מכך, יותר צמחים מתים מצטברים, מה שאומר שפחות פחמן משוחרר לאטמוספירה מאדמות כבול מאשר מהרבה סוגים אחרים של מערכות אקולוגיות. במילים אחרות, יותר פחמן נכנס ומוחזק בתוך אדמות הכבול מאשר משוחרר חזרה לאטמוספירה כפחמן דו-חמצני. פחמן דו-חמצני הוא גז חממה שכולא חום באטמוספירה של כדור הארץ, ולכן אדמות כבול מסייעות להאט את התחממות האקלים או להחזירה אחורה. אדמות כבול יכולות לסייע להחזיר אחורה את **שינוי האקלים** על ידי אחסון יותר פחמן באדמתן.

## איור 2

(A) אדמת כבול. (B) תל לפני העץ ומאחוריו. (C) שקעים שאל תוכם מושלכות שקיות אשפה. (D) שקיות אשפה (בגודל 10X7 סנטימטרים עם חורים בגודל של 1 מילימטר). (E) טחב (*Sphagnum* מין) שיח (*sp.*) (*Chamaedaphne calyculata*) כריך - צמח בר הגדל באזורי ביצות (מין *Tullgren* (*Carex sp.*)). (H) (fauna extractor) funnel.



איור 2

## חברה

## (Community)

קבוצה של מינים שונים שחיים יחד באותו אזור, ושמתקשרים זה עם זה.

## מין

## (Species)

אורגניזמים שחולקים את אותם המאפיינים הפיזיים והגנטיים; לדוגמה, כל בני האדם יוצרים מין, כמו גם כל הכלבים, גם כל החתולים נחשבים כמין אחד.

גורמים שונים יכולים להשפיע על הירקבות באדמות כבול; למשל, כמה האדמה רטובה, הסוגים השונים של צמחים מתים שנמצאים בה, וחברת האדמה - הסוגים השונים של אורגניזמים שנמצאים באדמה. מאחר שרצינו לדעת מה משפיע על הירקבות באדמות כבול הלכנו ליער צפוני בצפון אונטריו, קנדה, במטרה לחקור את הקרדיות ואת הקפזנבאים שחיים באדמת הכבול היפהפייה. חקרנו חברות של קרדית ושל קפזנבאים שחיות באזורים שונים של אדמת הכבול משתי סיבות: ראשית, מאחר שעדיין לא היה ידוע איזה מין של קרדיות ושל קפזנבאים נמצא בחברות אדמות הכבול, ושנית, מאחר שגם רצינו לדעת כמה הם יכולים לעזור בפירוק עלים.

## מה עשינו?

קבוצת חוקרים מאוניברסיטת ווסטרן (לונדון, אונטריו, קנדה) עבדה באדמות הכבול בצפון אונטריו (קנדה) בשיתוף פעולה עם מדעני ממשלת אונטריו המחוזית במכון חקר יערות של אונטריו. אנו מנסים לענות על שאלות שונות לגבי אדמות הכבול על ידי חקירת הצמחים, הקרדיות, החרקים, הכספית, הפחמן והמים שבאתר הזה. אתר אדמת הכבול הזה מכוסה בעיקר על ידי טחב מסוג *Sphagnum* שיוצר אזורים מוגבהים שנקראים תל (איור 2B) ועמקים שנקראים שקעים (איור 2C). תלים הם הצטברות של טחב ושל צמחים אחרים, והם יבשים בפני השטח. מצד שני, שקעים, בעודם אזורים נמוכים באדמה, הם בדרך כלל רטובים בפני השטח. עבור המחקר הזה רצינו לדעת אם חברות קרדית וקפזנבאים (מפרקים שניוניים), כמו גם קצבי הפירוק (עד כמה מהר צמחים מתים מתפרקים), שונים בין תלים לבין שקעים באתר אדמת הכבול שלנו.

## מה עשינו באדמת הכבול?

דרך אחת לחקור הירקבות היא להשתמש בשקיות אשפה מיוחדת [2]. שקיות האשפה האלה הן שקיות קטנות שמורכבות מחומר רשתי שיכול להיות ממולא עם צמחים מתים; החורים ברשת מאפשרים לאורגניזמים זעירים להיכנס ולצאת. מילאנו את השקיות (איור 2D) עם עלים של שלושה צמחים שונים: טחב (איור 2E), שיח (2F איור, אלה שיחים קטנים), או עלי כריך (2G איור, אלה צמחים דמויי דשא), ושקלנו אותם כדי לדעת את הכמות ההתחלתית של עלים יבשים בכל שקית.

ביוני 2015, מיקמנו שקית אחת של כל סוג צמח (שלוש שקיות בסך הכול) על חמישה תלים שונים (אזורים מורמים ויבשים) וחמישה שקעים שונים (אזורים נמוכים ורטובים). השקיות הוצמדו לפני השטח של האדמה והושארו שם במשך שנה שלמה, כך שלאורגניזמים יהיה מספיק זמן לאכלס את השקיות ולסייע לפרק את העלים. אחרי שנה אחת חזרנו לאתר אדמת הכבול, אספנו את השקיות, והבאנו אותן חזרה למעבדה שלנו באוניברסיטת ווסטרן, דרום אונטריו (קנדה).

## מה עשינו במעבדה?

במעבדה, מיקמנו כל שקית בפיסת ציוד מיוחדת שנקראת Tullgren funnel (איור 2H) שמכילה בתוכה נורה חשמלית, וכאשר היא דולקת היא מחממת את כל השקית ומכריחה את האורגניזמים לצאת החוצה מהשקית אל צלוחית קטנה, שם אנו יכולים להסתכל עליהם. לאחר מכן, חתכנו את השקיות וייבשנו את העלים בתנור, ואז שקלנו אותם על משקל. צפינו באורגניזמים שאספנו מהשקיות באמצעות מיקרוסקופ, והפרדנו אותם למינים שונים בהתבסס על המראה שלהם. ספרנו כמה פרטים מכל מין מצאנו בכל שקית. החלק הזה של העבודה לקח לשני חוקרים כחמישה ימי עבודה מלאים. לבסוף, השווינו את המשקל של עלי הצמחים שהשארנו באתר אדמת הכבול שלנו במשך שנה, למשקל הראשוני של העלים לפני שהם היו באתר אדמת הכבול. ההבדל במשקל אמר לנו כמה מהעלים הרקיבו במהלך שנה אחת, ובמילים אחרות כמה החיות אכלו.

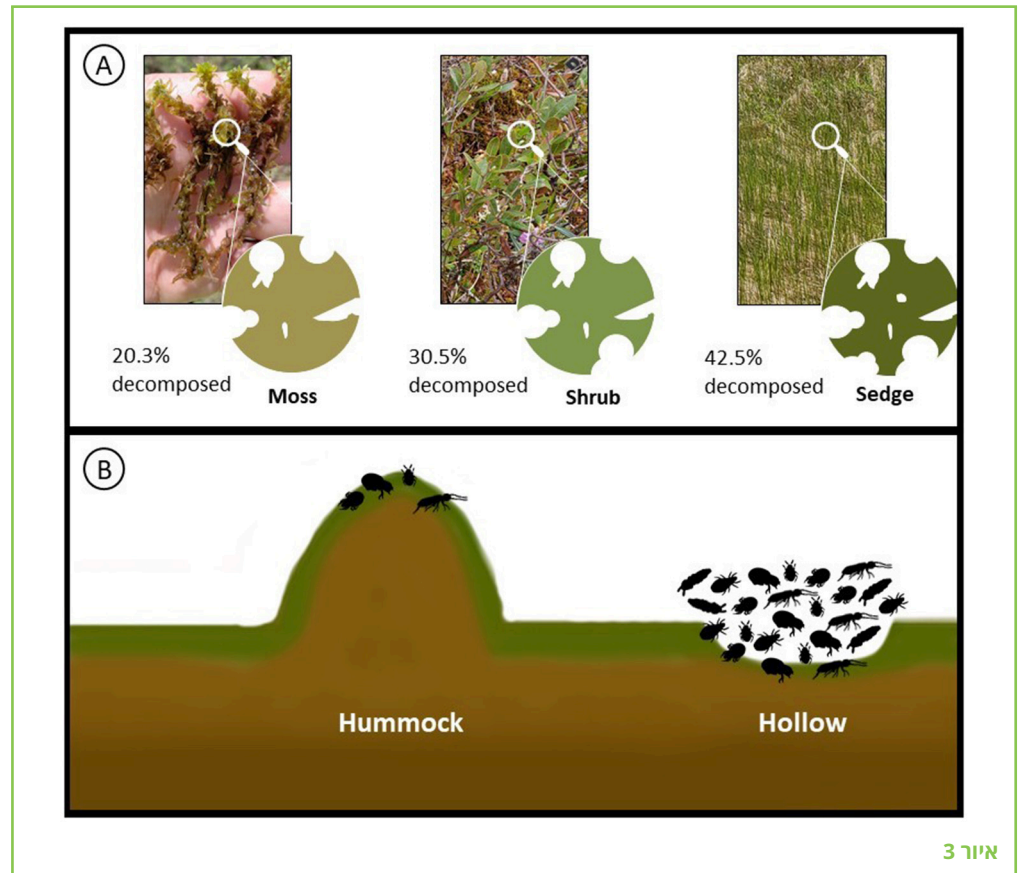
## מה מצאנו?

עלים מצמחים שונים נרקבו בקצבים שונים. עלי הכריך, שדומים לדשא (הפחתה של 42.5%), נרקבו יותר מאשר עלי השיח (הפחתה של 30.5%), שבתורם נרקבו יותר מאשר הטחב (הפחתה של 20.3%) בשקיות (איור 3A). אולם זה לא שינה אם השקיות היו על פני השטח של התל או בשקע, מאחר שמצאנו כמויות דומות של הירקבות בשני המקרים. הסיבה לכך הייתה שאף על פי שהשקעים היו רטובים יותר מהתלים, אף אחד מהם לא היה רטוב במידה כזו שהפירוק היה מואט באופן משמעותי באתרים שלנו, בהשוואה לאזורים שקועים אחרים באדמת הכבול.

שקית יחידה הכילה בין 0 לבין 203 פרטי קרדית, ובין 0 ל-123 פרטי קפוזנבאים. מצאנו יותר קרדיות וקפוזנבאים מהשקיות שמוקמו בשקעים (אזורים נמוכים ורטובים) מאשר בתלים (אזורים יבשים מורמים) (איור 3B). אולם לחיות הזעירות לא היה סוג-עלה מועדף, כלומר מצאנו מספרים דומים בשקיות שהכילו שיחים, כריכים וטחב. קרדיות מסוימות שנקראות קרדיות

## איור 3

(A) רמות שונות של הירקבות בסוגים שונים של עלים; עלי כריך נרקבו יותר בתוך שנה אחת של הניסוי. (B) בשקעים היו יותר מינים ופרטים של קרדיות אוריתביד וקפזנבאים. התמונות אינן בסקאלה.



אוריתביד (איור 1B) היו קבוצה דומיננטית בשקיות (53.6% ממספר הפרטים הכולל), אחריהם הקפזנבאים שייצגו 40% מהפרטים. קבוצות אחרות של קרדית לא היו רבות, ונאספו גם כמה עכבישים וכמה זחלי חרקים, אולם יחד הם היוו רק 6.4% מהחיות בשקית. נוסף על הכלת פריטים רבים יותר, שקעים (אזורים נמוכים רטובים) גם הכילו יותר מינים. בסך הכול מצאנו 20 מינים מ-506 קרדיות אוריתבריד, ושבעה מינים מ-378 פרטי קפזנבאים (איור 1C). החברות של קרדיות אוריתבריד היו דומות יותר זו לזו בשקעים, והכילו את מרבית המינים שנמצאו. המינים של קרדיות אוריתבריד שנמצאו בתלים נראו אקראיים.

## מדוע זה חשוב?

מעט מחקרים נערכו עבור קרדיות וקפזנבאים באדמות כבול, ולכן הסיבה הראשונה לכך שערכנו את המחקר הייתה להשיג מידע על אלו מינים של קרדיות אוריתבריד חיים באדמות הכבול שלנו. נוסף על כך הבנת האופן שבו חברות של חיות זעירות שונות זו מזו מספקת לנו כיוון כללי על המהירות או האיטיות שבהן הירקבות מתרחשת באופן טבעי על עלים באדמות כבול.

אף על פי שבמרבית המקרים קרדיות אוריתבריד וקפזנבאים נחשבים מפרקים שניוניים [3] מאחר שהם ניזונים מפטריות ומחיידקים, הבנת מיהם, היכן הם חיים וכמה הם תורמים לתהליך הפירוק חשובה לחזות את כמות הפחמן שמשוחרר לאטמוספירה מהאדמות. אדמות כבול הן

מקרה מיוחד מאחר שהן מהוות אחוז קטן מהעולם, אולם ההירקבות האיטית שמתרחשת בהן מעידה על כך שהן אוגרות כמויות גדולות מאוד של פחמן [1].

עליות בטמפרטורה הגלובלית כתוצאה משינוי אקלים צפויות לשנות את סוגי הצמחים שאנו רואים באדמות כבול. בפרט, טמפרטורות גבוהות יותר יאפשרו לכריכים להשתלט על יותר מקום שקודם לכן טחב אכלס [4]. במחקר שלנו, מצאנו שכריכים נרקבו מהר יותר מטחב, וזה אומר ששינוי בסוג הצמחים באדמות כבול מטחב לכריכים עשוי להגדיל את כמות הפחמן שמשוחרר דרך הירקבות.

אף על פי שלא אספנו חיידקים ופטריות במחקהזה, מחקרים אחרים שערכה קבוצת חוקרים שלנו באותה אדמת הכבול מצאו שחברות של פטריות [5] ושל חיידקים [6] גם השתנו בין תלים לשקעים. קרדיות וקפזנבאים לא נחקרו מספיק, ולכן בחרנו להתמקד בהם. תוצאות עבור פטריות וחיידקים מציעות ששינוי האקלים עשוי לשנות את יכולת אחסון הפחמן באדמות כבול. במילים אחרות, עלייה בטמפרטורות עשויה להאיץ את הפירוק הכללי של עלים, מה שישחרר יותר פחמן דו-חמצני לאטמוספירה, ויגרום לשינוי האקלים להיות חזק עוד יותר. עם זה עלינו לקחת חלק בשימור של אדמות כבול, מאחר שאלה מערכות אקולוגיות חשובות עבור החיים שלנו בעתיד, שבו צפוי להיות יותר פחמן דו-חמצני באטמוספירה. הזמן לפעולות שימור הוא עכשיו!

## תודות

אנו מודים על המימון מהוועדה הקנדית לחקר מדעי הטבע וההנדסה (NSERC), תוכנית מענק דיסקאברי (ZL #418241-2012), ופרס החוקר הצעיר של משרד המחקר, החדשנות והמדע של אונטריו (ZL). אנו מודים לדוקטור מקלאפלין (משרד אונטריו למשאבי טבע וליערות) עבור גישה לנהר הלבן בשדה אונטריו, ולדוקטור בריאן ברנפירון עבור התמיכה השוטפת שלהם בתוכנית המחקר שלנו. אנו מודים לדוקטור גרג ת'ורן ולדוקטור ברנפירון עבור חלק מהתמונות. תודה מיוחדת לקייטלין ליונס, שסייעה לנו עם הנגשת השפה לילדים, ולסוקרים הצעירים הנהדרים שלנו והמנטורים המדעיים שלהם. אנו גם מודים לדוקטור מלטה יוצ'ום עבור ההזמנה להיות חלק מהיוזמה הנהדרת הזו.

## תרומת המחברים

CB ו-ZL כתבו את כתב היד, ו-CB יצר את התמונות.

## מאמר המקור

Barreto, C., and Lindo, Z. 2018. Drivers of decomposition and the detrital invertebrate community differ across a hummock-hollow microtopology in Boreal peatlands. *Ecoscience* 25:39–48. doi: 10.1080/11956860.2017.1412282

## מקורות

1. Gorham, E. 1991. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecol. Appl.* 1:182–95.
2. Moore, T. R., Trofymow, J. A., Prescott, C. E., and Titus, B. D. 2017. Can short-term litter-bag measurements predict long-term decomposition in northern forests? *Plant Soil* 416:419–26. doi: 10.1007/s11104-017-3228-7
3. Lehmitz, R., and Maraun, M. 2016. Small-scale spatial heterogeneity of stable isotopes signatures ( $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ) in *Sphagnum* sp. transfers to all trophic levels in oribatid mites. *Soil Biol. Biochem.* 100:242–51. doi: 10.1016/j.soilbio.2016.06.005
4. Dieleman, C. M., Branfireun, B. A., Mclaughlin, J. W., and Lindo, Z. 2015. Climate change drives a shift in peatland ecosystem plant community: implications for ecosystem function and stability. *Glob. Change Biol.* 21:388–95. doi: 10.1111/gcb.12643
5. Asemaninejad, A., Thorn, R. G., and Lindo, Z. 2017. Vertical distribution of fungi in hollows and hummocks of boreal peatlands. *Fungal Ecol.* 27:59–68. doi: 10.1016/j.funeco.2017.02.002
6. Asemaninejad, A., Thorn, R. G., Branfireun, B. A., and Lindo, Z. 2019. Vertical stratification of peatland microbial communities follows a gradient of functional types across hummock-hollow microtopographies. *Ecoscience* 26:249–58. doi: 10.1080/11956860.2019.1595932

פורסם אונליין: 10 ביוני 2022

נערך על ידי: Malte Jochum

מנחות מדעיות: Maskit Maymon and Kirsty Salmon

**ציטוט:** Barreto C and Lindo Z (2022) הירקבות באדמות כבול: מיהם השחקנים ומה משפיע עליהם? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00107

Barreto C and Lindo Z (2020) Decomposition in Peatlands: Who Are the **תורגם והותאם:** Players and What Affects Them? *Front. Young Minds* 8:107. doi: 10.3389/frym.2020.00107

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

**COPYRIGHT** © 2020 © Barreto and Lindo 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.

## סוקרים צעירים

### ADAM, גיל: 14

היי, קוראים לי Adam. אני גר עם ההורים שלי, אחי הגדול, כלב, דג ושתי ציפורים. אני אוהד מושבע של מדע ושל היסטוריה. אני אוהב לצייר, לכתוב ולקרוא. הספורט האהוב עליי הוא כדורגל. אני נהנה לשחות באוקיינוס ולשחק במשחקי וידאו.



### ALEXANDER, גיל: 12

אני ילד בן 12 בכיתה ז', והמקצוע האהוב עליי הוא מתמטיקה. אני גם מנגן על גיטרה ולומד לנגן על תופים.



## הכותבים

### CARLOS BARRETO

מגיל צעיר מאוד הבנתי שאני אוהב חיות, אולי יותר מדע. מדע בבית הספר תמיד היה המקצוע האהוב עליי, כל הדרך לתיכון. אז החלטתי שאני רוצה לעשות משהו שמקרב מדע ובעלי חיים. ניסיתי להיות וטרינר; זה לא עבד. אין חרטות. אז, נעשיתי אקולוג כמה שנים מאוחר יותר, ועבדתי קצת עם חיות (בעיקר חרקים וקרדיות) ביערות טרופיים, מערות עפרות ברזל ואבן סיד, יערות צפוניים, מגרשים עירוניים ואדמות כבול בשלוש יבשות: דרום אמריקה, צפון אמריקה ואירופה. <sup>†</sup>[orcid.org/0000-0003-2859-021X](https://orcid.org/0000-0003-2859-021X) \*[cbarreto@uwo.ca](mailto:cbarreto@uwo.ca)



### ZOË LINDO

דוקטור Zoë Lindo היא מומחית במגוון ביולוגי של האדמה ובתפקוד מערכת אקולוגית. היא עבדה באופן נרחב ביערות קנדיים, כולל היערות המערביים הצפוניים של אלברטה, הטיגה הסאב-ארקטי של קוויבק, יער הגשם המתן של חופי בריטיש קולומביה, ואדמות האשוחית/כבול של אונטריו. "הפוקוס הכולל של המחקר שלי מכוון לעצור אובדן של מגוון ביולוגי שקשור בשינויים סביבתיים מונעי אדם, ולשמור על תפקוד מערכת אקולוגית ביער הקנדי ובמערכות אקולוגיות באדמה. אני מתארת את עצמי כמדענית של מגוון ביולוגי כדי לתפוס את רוחב המחקר שלי בתחומים של אקולוגיה של קהילה, אקולוגיה של אדמה וטקסונומיה". <sup>†</sup>[orcid.org/0000-0001-9942-7204](https://orcid.org/0000-0001-9942-7204)



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



הוצאת פרונטיר מדע לצעירים ישראל  
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK