

מערכות אקולוגיות באדמה משתנות עם הזמן

Enrique Doblas-Miranda*

CREAF, בֶּלְטֵרָה (סרדניולה דל וואייס), ברצלונה, ספרד

סוקרים צעירים

RUTENDO

גיל: 14



NOKUTENDA

גיל: 14



כל החיות שחיות מתחת לרגלינו אינן דוממות. הן יכולות לנוע למקומות רבים מאחר שהאדמה היא מרחב תלת-ממדי; וכן להשתנות – לדוגמה, ממצב של גולם למצב פעיל. לכן, אותה האדמה שמתחת לחלקת שדה עשויה שלא להכיל את אותן חֶבְרוֹת של חיות בחורף ובקיץ, או אפילו במהלך יום שמשי לעומת לילה קר. לדוגמה, מחקר על זחלי חיפושיות אדמה הראה תנועות אנכיות עונתיות, כאשר הזחלים חיפשו תנאי מחיה טובים יותר. יתרה מזו, האדמה משתנה רבות במהלך היווצרותה, וכתוצאה מכך גם מי שמאכלסים אותה משתנים. במקרה של אורִיבְטִיָדָה, קבוצה זעירה אך מגוונת של קרדיות אדמה, מדענים הבחינו בשינויים בחֶבְרָה זו במהלך עשרות עד מאות שנים! מחקרים רבים הצביעו על עקרון בסיסי וחזק: מערכות אקולוגיות אינן תמונות דוממות, אלא סביבות שמשנות כל הזמן.

מערכות אקולוגיות אינן סטטיות

כשאנו חושבים על מגוון של מערכת אקולוגית, לעיתים קרובות אנו מדמיינים מערכות אקולוגיות כיציבות ובלתי משתנות, כמו תמונות בספר, כשכל הצמחים והחיות מתקיימים במצב סטטי של איזון. בראשינו (ובספרי תמונות רבים), צמחים זמינים לאכילתם של אוכלי

מגוון ביולוגי של אדמה (Soil biodiversity)

המגוון הכולל של יצורים חיים שמאכלסים את האדמה.

חסרי חוליות (Invertebrates)

חיות ללא עצמות. באדמה, הכוונה היא בעיקר לתולעים ופרוקי רגליים (נדלים, טקביזות, חרקים, עכבישים ועוד).

נקבוביות אדמה (Soil pores)

חללים קטנים ביותר (פחות מ-0.075 מילימטרים) במבנה המוצק של אדמה, שממלאים בעיקר באוויר ובמים [1].

הגירה אנכית (Vertical migration)

הגירה מסוג זה היא טיפוסית באדמה ובסביבות ימיות, שבהן אורגניזמים ניידים אינם מוגבלים לתנועה על פני שטח אופקיים. כמו כל הגירה אחרת, היא בדרך כלל מונחית על ידי מציאת משאבים או תנאי סביבה טובים יותר.

מזופאונה של אדמה (Soil mesofauna)

יצורים שמאכלסים את האדמה, שגודלם קטן מ-2 מילימטרים, כמו למשל קפזנבאים, קרדיות ותולעים זעירות [2].

תזוזה פסיבית (Passive dispersal)

אורגניזמים ניידים יכולים לנוע באופן אקטיבי (למשל באמצעות רגליהם, שמסייעות להם לנוע בטריטוריה) או לאפשר לעצמם "לנוע עם הזרם" (של מים, של רוח, או אפילו של חיות אחרות), מה שמכונה תזוזה או תפוצה פסיבית.

כיצד מתחולל השינוי מתחת לרגלינו?

כמובן, **מגוון ביולוגי של אדמה** משתנה עם הזמן, אף על פי שלא בהכרח באותו האופן שבו שינוי מתרחש מעל לאדמה. ראשית, תנועה היא ללא ספק קשה יותר באדמה. תולעי אדמה, זחלי חרקים, ערצבים (גם חפרפרות, אך אנו עומדים להתמקד ב**חסרי חוליות** קטנים), והרבה יצורים זעירים אחרים צריכים לחפור עם פיותיהם, רגליהם או הצבתות שלהם. יצורים קטנים יותר נעים דרך האדמה בעיקר באמצעות חללים זעירים מלאי אוויר שנקראים **נקבוביות אדמה**.

יצורים שמאכלסים את האדמה אינם מוגבלים לתנועות האופקיות הטיפוסיות של חיות בפני השטח. חסרי חוליות באדמה יכולים גם לנוע למעלה ולמטה מתחת לאותו אזור של פני שטח, מה שמכונה **הגירה אנכית**. הגירות אנכיות יכולות להתרחש במהלך יום בודד, או על פני עונות. תולעים זעירות ביותר בשם אנציטראידים – (Enchytraeids) הן אחד הסוגים היחידים בקרב חיות אדמה שנצפו מהגרים במהלך היום. תולעי אנציטראידים נעות עמוק יותר אל תוך האדמה כדי לברוח מתנאי פני שטח יבשים באמצע היום, וחוזרות מהמעמקים בערב, כאשר תנאי הלחות המועדפים עליהן שוב מתקיימים. ההגירה הזו היא הבסיס לאחת משיטות המחקר השכיחות ביותר של **מזופאונה של אדמה**. שיטה זו כוללת ייבוש של דגימת אדמה בתעלה עם נורה מעליה, כך שהיצורים "בורחים" על ידי נפילה למכל איסוף בתחתית (איור 1).

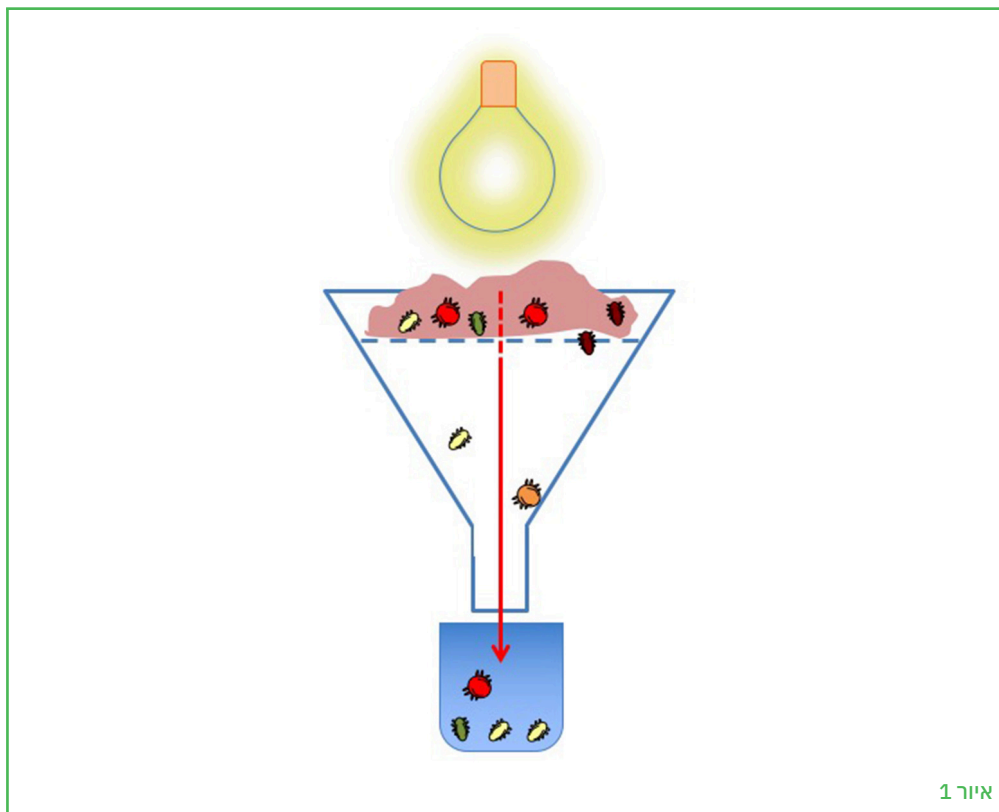
חסרי חוליות רבים באדמה יכולים להתקיים בצורות עמידות שמאפשרות להם לשרוד תנאים קשים במשך זמן רב. חרקים קטנים, עגולים ומעניינים מאוד בשם "פניני אדמה" (Ground pearls), הם דוגמה מושלמת לכך. הם יכולים להפריש סביבם ציפוי דמוי-פנינה, אשר יוצר ציסטה כדורית או כלוב "מנוחה", שבתוכו הם יכולים להישאר במשך עשרות שנים! אך כאשר שורשים טעימים נהיים זמינים, הציסטות מתפתחות ונעשות בוגרים זלזלים. אם התנאים טובים באמת, הרבה מיני פניני אדמה יכולים לשכפל את עצמם כדי להרוויח כמה שניתן מהתנאים המועדפים. כך, חקלאי ענבי יין חסר מזל עשוי שלא לראות את פניני האדמה הזעירות במשך שנה אחת, ולמצוא את היבולים שלו מלאים בחרקים הבוגרים בשנה שלאחר מכן.

בפני השטח של האדמה, הרבה חיות קטנות יכולות להינשא על ידי הרוח, המים ואפילו על ידי חיות אחרות. חלק מהיצורים שחיים על פני השטח גם נעים באופן הזה. **תזוזה פסיבית** של פאונה של אדמה קיבלה תשומת לב מחקרית רבה לאחרונה, מאחר שהיא עשויה להסביר תנועות של אורגניזמים באדמה על פני מרחקים גדולים.

איור 1

בידוד חסרי חוליות

למטרות מחקר. תעלת מלכודת טולג'רן או ג'רלס טיפוסית, שנקראת על שם ממציאיה. האדמה ממוקמת בחלק העליון של התעלה, ומוחזקת על ידי שכבה של רשת. נורה מחממת ומייבשת את האדמה, ומאלצת את האורגניזמים באדמה לרדת כלפי מטה. הם נופלים מהדגימה אל תוך מכל איסוף, שבדרך כלל מלא בחומר ששומר עליהם בחיים. כך ניתן לחקור את האורגניזמים.



איור 1

שינויים עונתיים

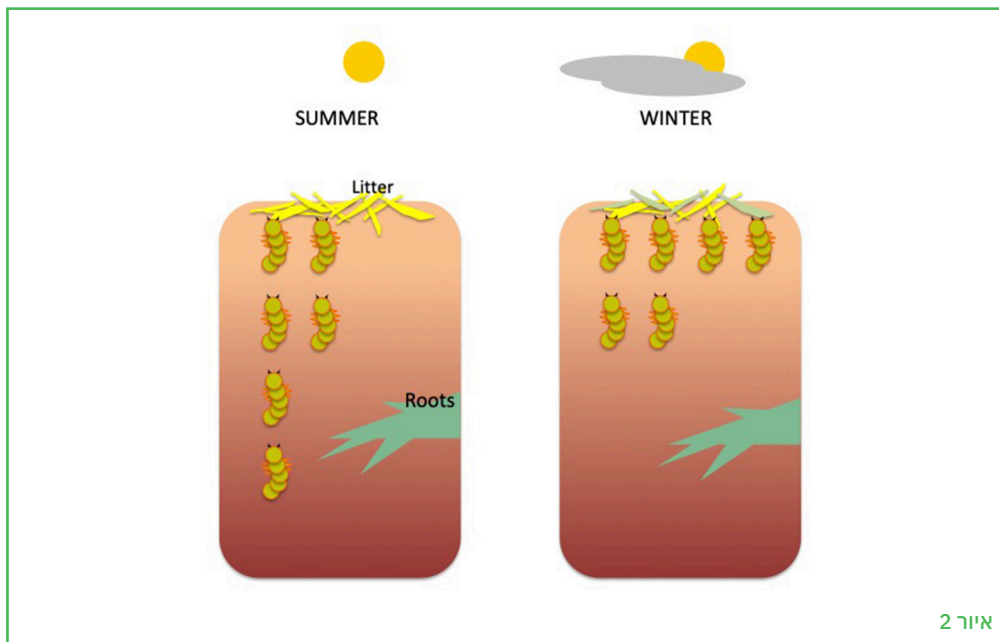
במהלך שנותיי המוקדמות כחוקר, תנועות של אורגניזמים באדמה לא היו מובנות כפי שהן היום, וכל תגלית הייתה מרגשת מאוד לרבות התגלית כי חלק מהחרקים שחיים באדמה מבצעים הגירות אנכיות עונתיות [3]!

אדמה נדגמה במיקומים רבים מדי חודש במשך שנתיים, באדמת דמוית-מדבר בדרום ספרד. דגימות אדמה נאספו בעומקים שונים, מערמות בפני השטח ועד לעומק של 50 סנטימטרים באדמה. עבור כל דגימה, כל חסרי החוליות הגדולים נספרו וזוהו. אחרי ניתוח כלל הדגימות, מכל עונה ומכל עומק אדמה, מדענים מצאו שהזחלים של משפחת חיפושיות שכיחה אחת, שנקראת שחרוריתיים (Tenebrionidae), אשר אוכלים פסולת אורגנית, ביצעו את אותן התנועות בכל שנה. הם היו שכיחים יותר בפני השטח של האדמה בחורף מאשר בקיץ (איור 2).

באזור הנחקר, הקיצים חמים ויבשים מאוד. אך המנה האהובה על חיפושיות ממשפחת השחרוריתיים – פסולת עלים וענפים – נמצאת ב"מסעדות" שחשופות אל פני השטח של האדמה, כמו שיחים ותילי נמלים. לכן, זחלי החיפושיות האלה מעדיפים לזלול פסולת עלים וענפים על פני השטח במהלך מזג האוויר הנעים בחורף, ונהנים מ"מסעדות" אחרות עמוקות יותר, כמו למשל שורשים נרקבים, בקיץ. כאשר הזחלים מבצעים את ההגירה האנכית הזו, הם גם עושים שירות חשוב לכל המערכת האקולוגית. כמו תולעי אדמה במערכות אקולוגיות לחות יותר, הזחלים הקשוחים האלה נעים באדמה בסביבות צחיחות, כך שאוויר, מים וחומרים אורגניים מתערבבים באדמה, מה שתורם מאוד לבריאותה.

איור 2

הגירה אנכית של זחלי חיפושית, כתלות בעומק האדמה ובעונה. בקיץ, הזחלים שכיחים במידה זהה בפני השטח ובשכבות העמוקות יותר של האדמה, אך בחורף הם שכיחים הרבה יותר בפני השטח, שם הם יכולים לאכול ערמות עלים ולא להינזק מהתנאים החמים והיבשים שמאפיינים את הקיץ.



איור 2

מערכות אקולוגיות יכולות לגדול... ואפילו להזדקן!

שינויים בתנאי מזג אוויר וזמינות מזון הם לא המאפיינים המשתנים היחידים של מערכות אקולוגיות. מערכת אקולוגית שלמה יכולה להשתנות בתהליך שנקרא **סוקצסיה של מערכת אקולוגית**. מדענים חקרו כיצד המגוון של חיות אדמה משתנה במהלך סוקצסיה של מערכת אקולוגית, תוך התמקדות בקבוצת קרדיות אדמה שנקראת אוריבטידה. קרדיות אוריבטידה הן זעירות, שכיחות ומגוונות, מה שאומר שניתן למצוא חברה שלמה שלהן בדגימת אדמה קטנה. ישנם גם משאבים רבים שזמינים לסייע בזיהוי מיני אוריבטידה שונים, כך שהם האורגניזם המושלם לצפות בו במטרה לחקור את השינויים במגוון מערכות אקולוגיות באדמה. נוסף על כך הניידות של קרדיות אוריבטידה מוגבלת יחסית. מאחר שהן חיות בעומק האדמה הן מוגבלות לתנועה דרך נקבוביות אדמה, ולעיתים הן גם נעות באמצעות תזוזה פסיבית. לכן, חברות אוריבטידה מתפתחות בעיקר דרך תהליך של סוקצסיה של מערכת אקולוגית.

מחקר בנושא נערך על ידי מדענים בתצורה שנקראת **chronosequence**, ביערות שגדלים מחדש אחרי נטישה של אדמות יבול. הם רצו לדעת האם ביערות דומים בגילים שונים ישנן אותן חברות של אורגניזמים באדמה. מדענים שיערו כי אדמות יבול ככל הנראה יכולו כמה מיני אוריבטידה בשכיחות נמוכה, אך חברות מורכבות עם מגוון גדול יתפתחו ביערות בוגרים יותר. באמצעות השוואה של תמונות אוויריות עכשוויות עם תמונות משנות ה-1950, מדענים קבעו אילו אזורים היו יערות בשנות ה-1950 (יערות מבוססים ובוגרים), ואילו היו אדמות יבול (יערות חדשים). בין היערות החדשים נערכה אבחנה נוספת בין יערות מבודדים (שמוקפים בעיקר על ידי אדמות יבול וככל הנראה מכילים חברות אוריבטידה דומות לאלה שנמצאות באדמות יבול), לבין יערות שמחוברים עם יערות אחרים (ככל הנראה עם חברות אוריבטידה שדומות לאלה שנמצאות ביערות מבוססים).

סוקצסיה של מערכת אקולוגית (Ecosystem succession)

התהליך שבו מערכות אקולוגיות "נולדות" ו"גדלות" אחרי היווצרות של פני שטח חדשים, כמו אי אלמוגים חדש או האדמה שמתגלה אחרי הימסות קרחונים, או האופן שבו מערכות אקולוגיות "גדלות מחדש" אחרי הפרעות כמו שרפות ביער.

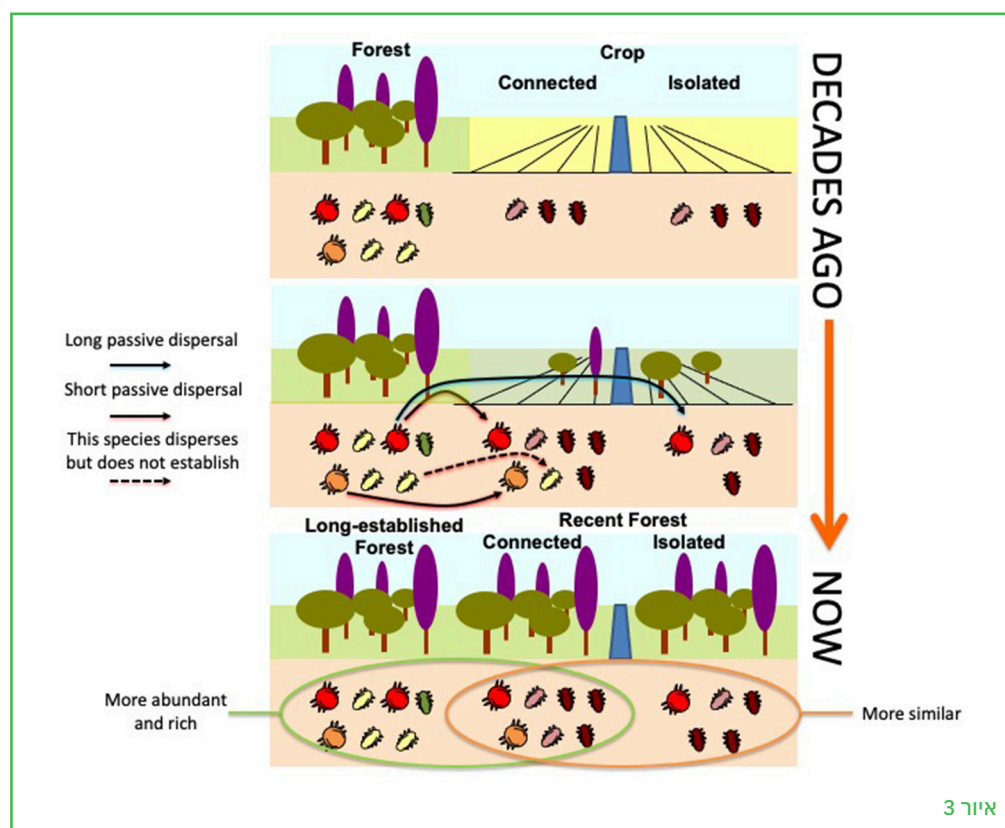
Chronosequence

קבוצת מערכות אקולוגיות שנחקרת באותו הזמן, שהן דומות במקור, במיני הצמחים ובאזור הגיאוגרפי, אולם הן בגילים שונים. חקירת מערכות אקולוגיות בתצורה זו הכרחית מאחר שאיננו יכולים לחכות במשך עשורים כדי לדגום מערכת אקולוגית אחת לאורך מחזור התפתחותה.

מדענים הבחינו בשתי תוצאות חשובות. ראשית, יערות מבוססים ויערות חדשים אך מחוברים עם יערות אחרים, הראו מספרים דומים של אוריבטידה ומספרים דומים של מינים, שהיו גבוהים יותר ממה שנראה ביערות מבודדים. שנית, בחברות אוריבטידה ביערות מבודדים וביערות מחוברים, חדשים היו יותר מינים מאשר ביערות מבוססים (איור 3, למטה). סביר שמיני אוריבטידה מגיעים בעיקר באמצעות תזוזה פסיבית בשלב מוקדם בהתפתחות של מערכת אקולוגית. זו ככל הנראה הסיבה לכך שיערות חדשים שמחוברים ליערות מבוססים, מבססים במהירות חברות אוריבטידה דומות לאלה שנמצאות ביערות בוגרים. אך כשהמערכת האקולוגית של היער החדש ממשיכה להתפתח, מחסור במחסה ובגישה למזון עשוי למנוע מחלק ממיני האוריבטידה להתבסס שם באופן קבוע. דבר זה עשוי להסביר מדוע חברות אוריבטידה ביערות חדשים ומחוברים דומות יותר לאלה שביערות מבודדים, ולכן לאלה שבאדמות יבול (איור 3).

איור 3

מערכות אקולוגיות משתנות וגדלות עם הזמן. בשנות ה-1950 (בחלק העליון של האיור), היו חברות עשירות ושופעות יותר של אוריבטידה ביערות מאשר באדמות יבול. אחרי נטישה של יבולים (איור אמצעי), פריטים של חלק מהמינים מהיער הגיעו לאדמות יבול מחוברות בעיקר באמצעות תזוזה פסיבית (ראו סימון החיצים). לבסוף, ההיעלמות (חץ מקווקו) של כמה מינים, שכלל הנראה הזדקקו לאדמה מפותחת יותר, יצרה את ההבדלים הנוכחיים בין שלושת סוגי היערות (בחלק התחתון של האיור).



איור 3

מערכות אקולוגיות לא רק "גדלות", אלא גם "מזדקנות" אם לא מתרחשת הפרעה משמעותית, כמו למשל שרפה. מדענים חקרו הזדקנות של יערות טייגה קנדיים [4]. הם דגמו קרדיות אוריבטידה בשיטת chronosequence בהתבסס על הזמן מאז שרפת היער האחרונה, שתוארכה מתוך מפות בנות 100 שנים, טבעות עצים בנות עד 200 שנים ותיארוך כימי של אדמה עמוקה, שהגיע עד ל-700 שנים! אף על פי שהשכיחות של אוריבטידה פחתה באופן דרסטי במהלך 200 השנים הראשונות של התפתחות יערות אחרי השרפה האחרונה, מספר המינים השונים לא כל כך הושפע עד לשלבים המאוחרים של הזדקנות יערות. משמעות הדבר היא שההפחתה המדורגת של חומרי מזון כמו זרחן וחקן לא יכלה לתחזק אוכלוסיות עשירות, ומאוחר יותר אפילו לא אוכלוסיות שלמות של מינים מסוימים. מדענים גם חקרו דגימות אדמה מתחת לבולי עץ ואדמה חשופה, ומצאו

שאוריבטידה מתחת לבולי עץ היו פחות שכיחות מאלה שחיות על אדמה חשופה, אף על פי שהן שימרו את האוכלוסיות שלהן יציבות. זה הוביל מדענים למסקנה שמִיני אוריבטידה שחיים על אדמה חשופה הושפעו יותר על ידי הזדקנות, ככל הנראה בשל הפחתה בזמינות של פסולת עלים עם הזדקנות היער.

מערכות אקולוגיות-דינמיקה של שינויים

אני מקווה שעכשיו, כשאתם מדמיינים מגוון של מערכת אקולוגית ביער, יש לכם יותר מאשר תמונה דוממת בראש, מאחר שכל היצורים החיים האלה משתנים ונעים, מופיעים ונעלמים... אני מקווה שאתם מדמיינים את היצורים שמאכלסים את האדמה שמתחת לרגליכם!

מערכות אקולוגיות, כתרחישים חיים, אינן סטטיות אלא דינמיות מאוד על ציר הזמן. היצורים הזעירים, המגוונים, שחיים באדמה משתנים עם המערכות האקולוגיות, באמצעות מגוון אסטרטגיות שונות ומדהימות. יצורים שחיים באדמה חשובים במיוחד עבור המערכת האקולוגית, מאחר שהם משמרים את בריאות האדמה והם חלק חיוני במְחזור של עלים ושורשים מתים, תהליך שמסייע להפחית את ההתחממות הגלובלית ותורם לבריאות כדור הארץ כולו.

מקורות

1. Nielsen, U. (Ed.). 2019. "Soil and its fauna," in *Soil Fauna Assemblages: Global to Local Scales* (Cambridge: Cambridge University Press). p. 1–41. doi: 10.1017/9781108123518.002
2. Orgiazzi, A., Bardgett, R. D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M. J. I., Chotte, J. L. et al. (Eds.). 2016. *Global Soil Biodiversity Atlas*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
3. Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F., and González-Megías, A. 2009. Vertical distribution of soil macrofauna in an arid ecosystem: are litter and belowground compartmentalized habitats? *Pedobiologia* 52:361–73. doi: 10.1016/j.pedobi.2008.11.006
4. Doblas-Miranda, E., and Work, T. T. 2015. Localized effects of coarse woody material on soil oribatid communities diminish over 700 years of stand development in black-spruce-feathermoss forests. *Forests* 6:914–28. doi: 10.3390/f6040914

פורסם אונליין: 10 באוגוסט 2023

נערך על ידי: Helen Phillips

מנחים מדעיים: Hannah Simba

ציטוט: Doblas-Miranda E. (2023) מערכות אקולוגיות באדמה משתנות עם הזמן. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2021.543498-he

Doblas-Miranda E (2021) Soil Ecosystems Change With Time. Front.: **תורגם והותאם מ:** Young Minds 9:543498. doi: 10.3389/frym.2021.543498

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

זכויות יוצרים © 2021 © Doblas-Miranda 2023. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). 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

RUTENDO, גיל: 14

נולדתי בזימבבואה ויש לי שני אחים ואחות אחת. אני אוהב מתמטיקה, קריאת ספרים והאזנה למוזיקה. כשאגדל, אני רוצה להיות רופא, מדען, פסיכולוג או ארכיטקט.

NOKUTENDA, גיל: 14

התחביבים שלי הם בעיקר בישול וציור (אנימה לרוב). אני שואף להיות שף כשאגדל. אני אוהב אומנויות יצירה, ובזמני הפנוי נהנה לצייר את מה שהנפש שלי מבטאת. בזמנים אחרים, אני מנסה למצוא זמן לקרוא נובלות של פנטזיה.

הכותבים

ENRIQUE DOBLAS-MIRANDA

לאנריקה יש דוקטורט בביוכימיה והוא חוקר ב-CREAF. הוא גם מתעניין בשיתוף פעולה בינלאומי, והיה ראש פרויקט אירופיים-תיכוני שנקרא MENFRI, שמתוכו ייסד ארגון שיוצר שותפויות במטרה להתגבר על אתגרים מורכבים שקשורים להתפתחות ולסביבה. אנריקה תרם למחקר על עמידות אדמה ועל ניהול בהקשר לשינוי גלובלי, והוא ממשיך את קו המחקר העיקרי שלו על וריאציות במגוון ביולוגי של מערכות אקולוגיות לאורך הזמן. באמצעות כמה חברות של חסרי חוליות באדמה, אנריקה חקר את הדינמיקות של יערות ואדמות יבול בספרד, בניו זילנד ובקנדה. [*e.doblas@creaf.uab.cat](mailto:e.doblas@creaf.uab.cat)



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