



מכה כפולה לחיים באדמה? ההשפעות של בצורת ושימוש בדשנים

Marie Sünemann^{1,2*}, Julia Siebert^{1,2}, Nico Eisenhauer^{1,2}

¹אקולוגיית אינטראקציה ניסיונית, המרכז הגרמני לחקר מגוון ביולוגי אינטגרטיבי (iDiv) הלה-ג'נה-לייפציג, לייפציג, גרמניה
²המכון לביולוגיה, אוניברסיטת לייפציג, לייפציג, גרמניה

סוקר צעיר

JEDIDIAH
גיל: 14



בשתי המאות האחרונות, אנו, בני האדם, שינינו את כדור הארץ על ידי אֶרֶח חיינו. פעולותינו לא רק גורמות לשינויי אקלים ומובילות לתקופות ארוכות של בצורת, אלא גם להצטברות יתר של חומרי מזון באדמה, כתוצאה משריפת דלקי מאובנים ושימוש בדשנים בשדות חקלאיים. שני הגורמים הללו מאיימים על העולם שמתחת לרגלינו: האדמה. אדמות עשויות להיראות משעממות וחסרות חיים, אולם הן ביתם של אורגניזמים רבים – מחיידקים זעירים ועד למרבי רגליים זרזים ולתולעי אדמה חלקלקות – שכולם תורמים לתהליכים ההכרחיים לחיים על פני כדור הארץ. לדוגמה, פעילותם של האורגניזמים האלה מעודדת את ההירקבות של חומר צמחי, שבתורה מבטיחה כי האדמות החקלאיות שבהן אנו מגדלים את מזוננו יישארו פורייות. מאחר שכמעט כל האורגניזמים באדמה רגישים מאוד לשינויים בסביבתם, רצינו לדעת מה יקרה בעת התרחשות במקביל של בצורת ודישון יתר.

פעילויות אנושיות משנות מערכות אקולוגיות

במהלך 200 השנים האחרונות, פעילויות אנושיות שינו את העולם במידה רבה. שינויי אקלים מבוססי מעשי אדם גורמים להתחממות כדור הארץ, ומלווים בתקופות בצורת ארוכות ביותר (תקופות ממושכות עם מעט גשם) באזורים מסוימים. בה בעת, שדות החקלאות והמרעה השתנו באופן דרמטי בעשורים האחרונים. אוכלוסיית העולם גדלה באופן קבוע, והאנשים הרבים צריכים לאכול. לכן, כיום משתמשים בכמויות גדולות של דשנים בשדות חקלאיים, מה שמוביל ליבולי גידולים בכמויות רבות יותר [1]. פעולות אלה אומנם עשויות לספק מספיק מזון למיליארדי בני אדם, אך בצידין חיסרון משמעותי: בדומה לבצורת, עודף בדשנים משפיע לא רק על הצמחים שנראים מעל לאדמה, אלא גם על מערכת אקולוגית מורכבת מתחת לקרקע – האדמה והאורגניזמים שחיים בה.

חשיבות המערכת האקולוגית של האדמה

אדמות הן חלק חשוב במערכת האקולוגית היבשתית. אף על פי שלעיתים קרובות איננו מודעים להם, האדמות מלאות ביצורים חיים. ישנם מיקרואורגניזמים, כמו למשל חיידקים ופטריות, שהם כל כך זעירים שאי אפשר לראותם בעין בלתי מזוינת. על מה שחסר להם מבחינת גודל, הם מפצים בכמויות: כפית אחת של אדמה מכילה כמה מיליוני מיקרואורגניזמים של האדמה. גם רבים מהיצורים המעט יותר גדולים, כמו למשל קרדיות וקפזנבאים, יכולים להיראות רק באמצעות זכוכית מגדלת. בין חיות האדמה הגדולות ביותר ישנם סרטנאים, מרבי רגליים ותולעי אדמה. כל יצורי האדמה המעט גדולים יותר דומים זה לזה בכך שאין להם שלד מרכזי, וזו הסיבה לכך שהם נקראים **חסרי חוליות**. היצורים האלה חיים יחד באדמה ומתקשרים בדרכים שונות: חלק ניזונים זה מזה, בעוד שאחרים פועלים יחד.

חסרי החוליות באדמה מבצעים מטלות שונות שהכרחיות לקיומנו. אחת מהחשובות ביותר בקרב **תפקודי המערכת האקולוגית** האלה היא **ריקבון**, שדורשת שיתוף פעולה של הרבה יצורים. אורגניזמים באדמה אחראים על פירוק של חומר צמחי מת. עלים יבשים, שורשים מתים וזרעים הם מקורות המזון שלהם. הם מפרקים את החומר הצמחי המת לפיסות קטנות יותר ויותר. התרכובות הזעירות הנותרות, בתורן, מהוות מקור מזון מצוין למיקרואורגניזמים באדמה כמו חיידקים ופטריות. בסופו של דבר, המקורות האלה מומרים חזרה לצורה שצמחים יכולים להשתמש בה עבור גדילתם, כלומר לפחמן דו-חמצני ולחומרי מזון.

כל יצורי האדמה האלה, כמו מרבית צורות החיים על פני כדור הארץ, תלויים במים עבור שתייה ונשימה, או אפילו כאמצעי תעבורה. לכן, תקופות ארוכות ותכופות יותר של בצורות מהוות בעיה עבור אורגניזמים קטנים רבים. גרוע מכך, מה קורה אם גורמים מזיקים אחרים מתרחשים באותו הזמן? שימוש יתר בדשנים, למשל, יכול להזיק לאורגניזמים באדמה, מאחר שהוא משנה את **ערך ה-pH** של האדמה והופך אותה לחומצית יותר. אורגניזמים רבים באדמה לא יכולים לסבול תנאי אדמה חומציים. האם דשנים עלולים להוסיף גורם סטרס (עקה) נוסף, מה שמקשה עוד יותר על אורגניזמים באדמה להתמודד עם תנאי

מערכת אקולוגית (Ecosystem)

קהילה של צמחים, חיידקים, חיות ופטריות במיקום מסוים, נוסף על הרכיבים הלא חיים שנמצאים באותה הסביבה.

חסרי חוליות (Invertebrates)

חיות חסרות עמוד שדרה, כמו למשל מרבי רגליים, סרטנים, רכיכות ותולעי אדמה.

תפקודי מערכת אקולוגית (Ecosystem Functions)

תהליכים טבעיים שמתרחשים במערכת אקולוגית.

ריקבון (Decomposition)

אחרי המוות, אורגניזמים חיים מפורקים לפיסות קטנות יותר ויותר. תהליך זה משחרר חומרי מזון, שבתורם נדרשים לגדילה של צמחים.

ערך pH (pH Value)

סקאלה בין 0 ל 14 למדידת חומציות או בסיסיות של תמיסה. ככל שהערך נמוך יותר, כך התמיסה חומצית יותר. ערך 7 הוא ניטרלי וערך גבוה יותר מעיד על כך שהתמיסה בסיסית.

יובש? וכיצד בדיוק אנו יכולים ללמוד האם בצורת ודישון מזיקים לאורגניזמים באדמה ומתערבים בתפקודיהם?

כיצד חקרנו מיקרואורגניזמים באדמה?

במטרה להבין את ההשפעות של בצורת ודישון על אורגניזמים באדמה, ערכנו ניסוי שדימה את שני הגורמים השכיחים האלה המושפעים מפעילותם של בני האדם [2]. בחרנו שדה מרעה במרכז גרמניה, ובו מיקמנו אזורים קטנים שנקראים חלקות ניסוי, וטיפלנו בהן בדרכים שונות. רבע מחלקות הניסוי טופל בבצורת באמצעות גגות (איור 1), רבע נוסף טופל באמצעות דשנים, ורבע נוסף טופל בשילוב בין בצורת לדשנים. הרבע האחרון לא טופל כלל, וזו הייתה חלקת הביקורת שלנו. חלקות ביקורת הן חשובות מאחר שהן מאפשרות לנו להשוות בין הטיפולים לבין התנאים הרגילים.

איור 1

הגגות שבהם השתמשנו בניסוי שלנו. במחצית מחלקות הניסוי במחקר שלנו, השתמשנו בגגות כדי לדמות בצורת. מחצית החלקות השנייה קיבלה גגות "מזויפים" עם פאנלים של גשם שהונחו הפוך במטרה להתחשב בתופעות הלואי הפוטנציאליות של מבני הגגות האלה (כמו שינויים במהירות הרוח ובכמות האור). ©Julia Siebert.



איור 1

במטרה להבין כיצד בצורת ודישון משפיעים על אורגניזמים באדמה, התבוננו על חסרי חוליות ועל מיקרואורגניזמים באדמה בנפרד. בחנו את פעילותם של חסרי חוליות באדמה בכל אחת מהחלקות שלנו. כדי לעשות זאת, השתמשנו בקשי פלסטיק דקים עם כמה חורים קטנים, שנקראים "רצועות מבחן הפיתיון" (bait lamina test strips). כל חור מולא בתערובת של פיתיון, שחסרי חוליות באדמה אוהבים לאכול. הכנסנו חלק מקשי הבדיקה האלה אל תוך האדמה בחלקות הניסוי שלנו (איור 2). כעבור שלושה שבועות, בחנו את כמות הפיתיון שנאכלה על ידי חיות האדמה. אקולוגים של אדמה משתמשים בשיטה הזו במטרה להעריך כמה חסרי חוליות באדמה אוכלים, שזו אינדיקציה טובה מאוד לפעילותם באופן כללי.

במטרה לבחון את המיקרואורגניזמים שבאדמה מקרוב יותר, לקחנו כמות אדמה קטנה מכל אחת מהחלקות שלנו למעבדה. קבענו את כמות הפעילות המיקרובית בדגימות האלה על ידי מדידת הנשימה של המיקרואורגניזמים. ממש כמו בני אדם, מיקרואורגניזמים באדמה נושמים חמצן (O_2) ונושפים פחמן דו-חמצני (CO_2), ולכן ככל שהתרחשה יותר נשימה בדגימה, כך המיקרואורגניזמים היו פעילים יותר. כדי למדוד נשימה מיקרובית, השתמשנו במכשיר עם חיישן מיוחד שיכול למדוד את כמות החמצן שמיקרואורגניזמים השתמשו בו לצרכי נשימה, ונתונים אלה הועברו למחשב לצורך אחסון ועיבוד. באמצעות ידיעת פעילותם

איור 2

מה לימדו אותנו קשי הניסוי? במטרה לקבוע את פעילותם של חסרי חוליות באדמה בחלקות הניסוי שלנו, השתמשנו בקשי ניסוי שנקראים "רצועות מבחן הפיתיון". הקשים הוכנסו במלואם לאדמה כדי שחסרי החוליות באדמה יאכלו מהם. כעבור שלושה שבועות, בדקנו כמה מהחורים הקטנים שהכילו מזון היו מלאים, ריקים, או חצי ריקים. ככל שחסרי החוליות באדמה פעילים יותר ורעבים יותר, כך יותר מהפיתיון נאכל. ©Gottschall/Siebert



איור 2

ביומסה (Biomass)

מדד לכמות של כל המיקרובים שחיים בכמות אדמה מוגדרת.

של המיקרואורגניזמים האלה באדמה, יכולנו לחשב את הביומסה שלהם, שהיא מדד לכמות של כל המיקרואורגניזמים שחיים בכמות אדמה מוגדרת, כמו למשל בכפית אחת של אדמה.

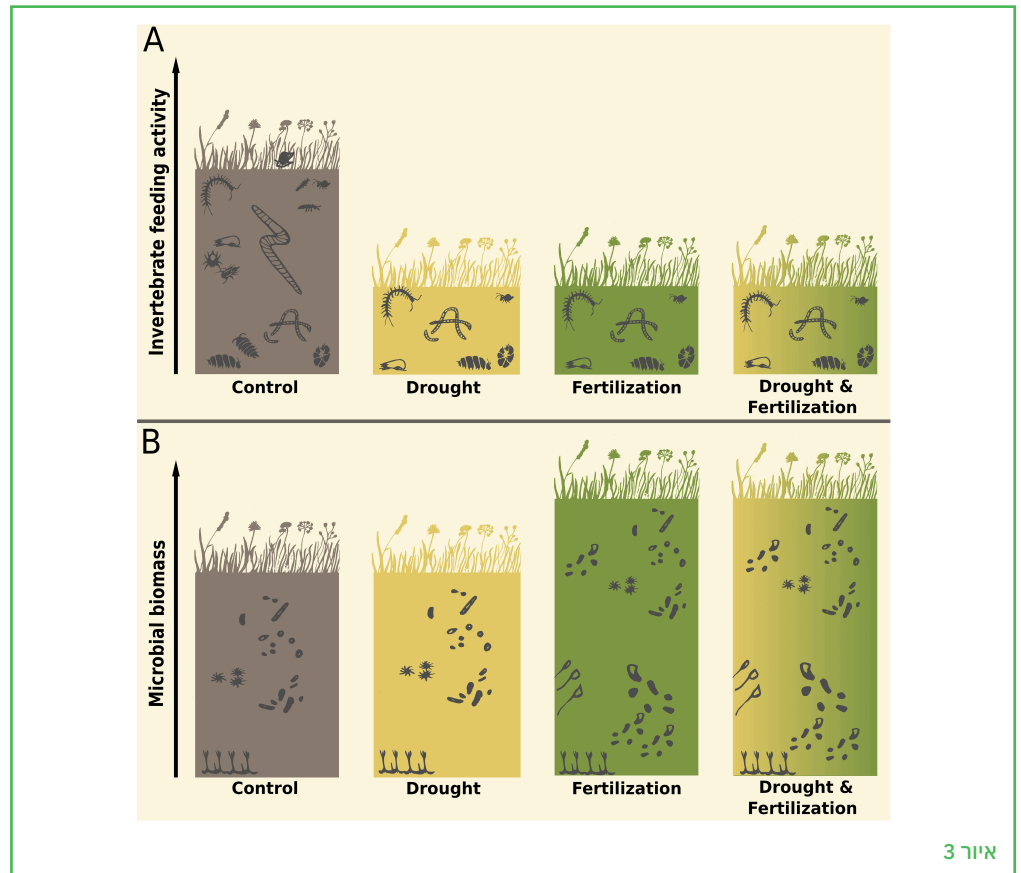
בצורת ודישון יכולים להשפיע על חסרי חוליות באדמה

השתמשנו במבחנים סטטיסטיים על הנתונים שלנו, במטרה למצוא כיצד קהילות חסרי החוליות והמיקרובים באדמה הגיבו לבצורת ולדישון. מצאנו שגם בצורת וגם דישון התערבו באופן חמור בפעילות של חסרי חוליות באדמה. אף על פי שהגורמים הללו הראו השלכות שליליות בפני עצמם, שילובם לא הפחית יותר את פעילותם של חסרי החוליות (איור 3A). אולם מיקרובים באדמה הגיבו אחרת לגמרי. בצורת לא פגעה בהם, ודישון נוסף אפילו הגדיל את הביומסה שלהם (איור 3B).

מדוע בצורת ודישון פגעו בחסרי חוליות יותר מאשר במיקרואורגניזמים? שתי הקבוצות תלויות מאוד בלחות של האדמה, וקשה להן להתמודד עם בצורות. בין השאר, המזון שלהן נעשה כל כך יבש שקשה להן לעכל אותו [3]. כדי להימנע מתנאים של בצורת, חסרי חוליות צריכים להתקדם עמוק יותר, לשכבות לחות יותר באדמה שלא הגענו אליהן במבדקים שלנו. אך מדוע דישון מקטין גם הוא את פעילותם? הסיבה היא שדישון מוביל לחומציות מוגברת של האדמה, כלומר ערך ה-pH יורד מתחת ל-5. תולעי אדמה והרבה חסרי חוליות

איור 3

מה מצאנו? (A) בצורת (drought), דישון (fertilization), שניהם יחד וכל אחד לחוד הפחיתו משמעותית את פעילות ההזנה של חסרי חוליות באדמה. (B) מיקרואורגניזמים באדמה לא הופרעו ביחס לתנאי הביקורת (control) על ידי טיפול הבצורת. דישון אף גרם לעלייה בביימוסה של מיקרובים באדמה.



אחרים באדמה לא אוהבים לחיות בתנאי pH נמוכים, דבר היכול לפגוע בעורם העדין. ללימון, לדוגמה, יש ערך pH של 2. האם אי פעם היה לכם חתך באצבע ונגעתם במיץ לימון? לא הכי נעים.

טיפול הבצורת לא פגע במיקרואורגניזמים באדמה. זה הפתיע אותנו, מאחר שהטיפול שלנו הפחית בחצי את כמות הגשם, מה שהוביל לאדמה יבשה במיוחד. אך אנו חושבים שייטכן שחיידיקים ופטריית שחיים באופן נורמלי בשכבות העליונות של האדמה חשופים כל הזמן למחזורי טמפרטורה ולחות של עונות השנה. מסיבה זו, הם צריכים להיות מסוגלים לשרוד אפילו בעונות היבשות ביותר [4]. דרך אחת שבה הם עושים זאת היא באמצעות בניית קליפת הגנה סוכרית סביבם, שמונעת מפני השטח שלהם להתייבש. לחלופין, הם יכולים ליצור צורה עמידה מאוד שמאפשרת להם לשרוד, שנקראת נְבֶגָה. נבגים נמצאים במצב רדום ויכולים לחיות בתנאי חום ובצורת קיצוניים למשך עד אלף שנים. אנו מאמינים שזו הסיבה לכך שתנאי הבצורת בניסוי שלנו בקושי פגעו במיקרואורגניזמים באדמה. אולם ייתכן גם שהניסוי שלנו היה קצר מדי כדי לראות את ההשפעות השליליות של הבצורת.

דישון, מצד אחר, היה אפילו מועיל עבור המיקרואורגניזמים. הסיבה לכך היא שחומרי המזון הנוספים מהדשן עודדו מאוד את גדילת הצמח. לא רק שהצמחים הגיבו על ידי גידול שורשים ארוכים יותר, פרחים גדולים יותר והרבה יותר עלים, הם גם שחררו יותר משאבים אל תוך האדמה דרך שורשיהם, והמיקרואורגניזמים יכלו לאכול את מקורות המזון הנוספים האלה.

שמחנו לגלות שבצורת ודישון לא מחזקים את ההשפעות זה של זה, מה שאומר כי שני הגורמים יחד לא נראים מזיקים יותר מכל אחד מהם בפני עצמו. זה עשוי ללמד שלמערכות האקולוגיות יש מנגנוני התמודדות מצוינים כנגד מתקפות סביבתיות מזיקות. אולם במחקר הזה, מדדנו רק את הפעילות של אורגניזמים באדמה אחרי שנה אחת. אנו צריכים לבחון את האדמה לאחר שנים רבות של בצורת ודישון, כדי לראות אם התוצאות נותרות אותו הדבר.

מה יביא עימו העתיד עבור אדמותינו?

לסיכום, נראה שחסרי חוליות באדמה פחות מותאמים לשינויים עתידיים בסביבה ביחס למיקרואורגניזמים. מה המשמעות של כך עבור אדמותינו בעתיד? לירידה בפעילות של חיות אדמה יש כמה השלכות על מערכות אקולוגיות, ולכן גם על בני אדם. כפי שכבר למדנו, כל האורגניזמים באדמה הכרחיים לשמירה על התרחשות תהליך הריקבון. תהליך הריקבון מתחלק למספר שלבים, שהם הכרחיים זה לזה. בעוד שחסרי חוליות אחראים בעיקר על פירוק פיסות גדולות יחסית של חיות וצמחים, מיקרואורגניזמים מעכלים פיסות קטנות יותר בשלב הבא, ומשחררים מגוון חומרי מזון. יחד, האורגניזמים באדמה יוצרים חברת הזנה גדולה, שבה לכל מין יש את המיקום המיוחד שלו, וכולם ממלאים את המטלות המסוימות שלהם. אולם, אם חוליה אחת בשרשרת הזו חסרה, כל המערכת ככל הנראה תצא מאיזון [5]. משמעות הדבר עשויה להיות שאדמות עלולות לאבד את פוריותן בטווח הארוך. התוצאה תהיה שלא רק דשא, אלא גם חיטה ותירס לא יגדלו בשדותינו באותו השפע, ובסופו של דבר יהיו לנו קשיים בהזנת בני האדם שבכדור הארץ. לכן, אנו תלויים ברווחה של כל היצורים באדמה, וצריכים לזכור את חשיבותם כשאנו מקבלים החלטות עתידיות שיכולות להשפיע על אדמתנו.

הודות

אנו רוצים להודות לתחנת המחקר הניסויית Bad Lauchstädt על סיועם בתחזוקת אתר הניסוי, ול-Kavtea, Tom Künne ו-Pruschitzki Ulrich על תמיכתם במעבדה ובעבודת השטח. אנו מודים לתיאום של ניסוי רשת הבצורת הבינלאומית עבור סיפוק פרוטוקולים ותמיכה, וכן ל-Susan Debad על העזרה בעריכה.

מאמר המקור

Siebert, J., Sünnemann, M., Auge, H., Berger, S., Cesarz, S., Ciobanu, M., et al. 2019. The effects of drought and nutrient addition on soil organisms vary across taxonomic groups, but are constant across seasons. *Sci. Rep.* 9:639. doi: 10.1038/s41598-018-36777-3

מקורות

1. Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., et al. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends,

- questions, and potential solutions. *Science* 320:889–92. doi: 10.1126/science.1136674
2. Siebert, J., Sünnemann, M., Auge, H., Berger, S., Cesarz, S., Ciobanu, M., et al. 2019. The effects of drought and nutrient addition on soil organisms vary across taxonomic groups, but are constant across seasons. *Sci. Rep.* 9:639. doi: 10.1038/s41598-018-36777-3
 3. Thakur, M. P., Reich, P. B., Hobbie, S. E., Stefanski, A., Rich, R., Rice, K. E., et al. 2018. Reduced feeding activity of soil detritivores under warmer and drier conditions. *Nat. Clim. Change* 8:75–8. doi: 10.1038/s41558-017-0032-6
 4. Tonkin, J. D., Bogan, M. T., Bonada, N., Rios-Touma, B., and Lytle, D. A. 2017. Seasonality and predictability shape temporal species diversity. *Ecology* 98:1201–16. doi: 10.1002/ecy.1761
 5. Simpson, J. E., Slade, E., Riutta, T., and Taylor, M. E. 2012. Factors affecting soil fauna feeding activity in a fragmented lowland temperate deciduous woodland. *PLoS ONE* 7:e29616. doi: 10.1371/journal.pone.0029616

פורסם אונליין: 30 במרץ 2023

עורכת: Helen Phillips

מנחה מדעי: Gary Bates

ציטוט: Sünnemann M, Siebert J and Eisenhauer N (2023) מכה כפולה לחיים באדמה? ההשפעות של בצורת ושימוש בדשנים. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.547630-he

Sünnemann M, Siebert J and Eisenhauer N (2020) Double Whammy for Life in Soil? The Effects of Drought and Fertilizer Use. *Front. Young Minds* 8:547630. doi: 10.3389/frym.2020.547630

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

© 2020 © Sünnemann, Siebert and Eisenhauer. 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 (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

JEDIDIAH, גיל: 14

ידידיה מתעניין במדע ובמתמטיקה, במיוחד באופן שבו הסביבה משפיעה על חיי היומיום שלו. הוא מבלה זמן בטיפוח הגינה המשפחתית, ומרוויח כסף ממכירת ביצים וירקות שהוא מסייע לגדל. בזמנו הפנוי, ידידיה אוהב לשחק בייסבול ומשחקי וידאו.



הכותבים



MARIE SÜNNEMANN

כשהייתה בת שש, חברתה הטובה ביותר הציבה בפניה אתגר: לאכול תולעת אדמה. אף על פי שכיום היא לא הייתה עושה זאת, סקרנותה לגבי כל מה שזוחל ונע מתחת לאדמה נותרה חזקה כפי שהייתה. כיום, כסטודנטית לדוקטורט, מְרִי חוקרת את תגובותיהם של אורגניזמים באדמה לשינויי אקלים בשדות מרעה ובשדות חקלאיים. בזמנה הפנוי, היא עוסקת בספורט לחימתי ונהנית להיות בחוץ.

*marie.suennemann@idiv.de



JULIA SIEBERT

ג'וליה הייתה מרותקת מהטבע מאז שהייתה ילדה. היא בילתה כמה שיותר זמן בחוץ, בנתה בתי טבח ביער וחיפשה את כל סוגי החיות. היא עקבה אחרי תשוקתה ולמדה ביולוגיה ותקשורת המדע, ותמיד התעניינה במציאת דרכים להעביר ידע לקהלים שונים. המחקרים המדעיים שלה מתמקדים באופן שבו תנאי אקלים משפיעים על אורגניזמים באדמה ועל תפקודים שהם מבצעים במערכת אקולוגית. יתרה מזו, היא חקרה דרכים לְעָרֵב תלמידי בית ספר במדע של מגוון ביולוגי. בזמנה הפנוי, היא נהנית מרכיבה על סוסים, מטיולים, מצפרות, מרכיבה על אופניים בהרים ומכל סוגי הספורט שאפשר לבצע בחוץ.



NICO EISENHAUER

ניקו התעניין בטבע מגיל צעיר. הוא חפר ומצא תולעי אדמה, תפס צפרדעים ודגים וסייע ללטאות לשרוד את חודשי החורף. הוא תמיד היה מרותק מיפי הטבע, ומונע על ידי שאלות כמו מדוע מין צמח או חיה מסוים מופיע במקום אחד, אך לא באחר. במהלך לימודי הביולוגיה שלו, הוא גילה עניין בחיות אדמה ובפעילויותיהן החשובות שחיוניות לתפקוד של מערכות אקולוגיות. כשאינו בעבודה, ניקו אוהב לשחק כדורגל ובדמינטון, לרוץ ולבלות זמן עם משפחתו וחבריו.

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