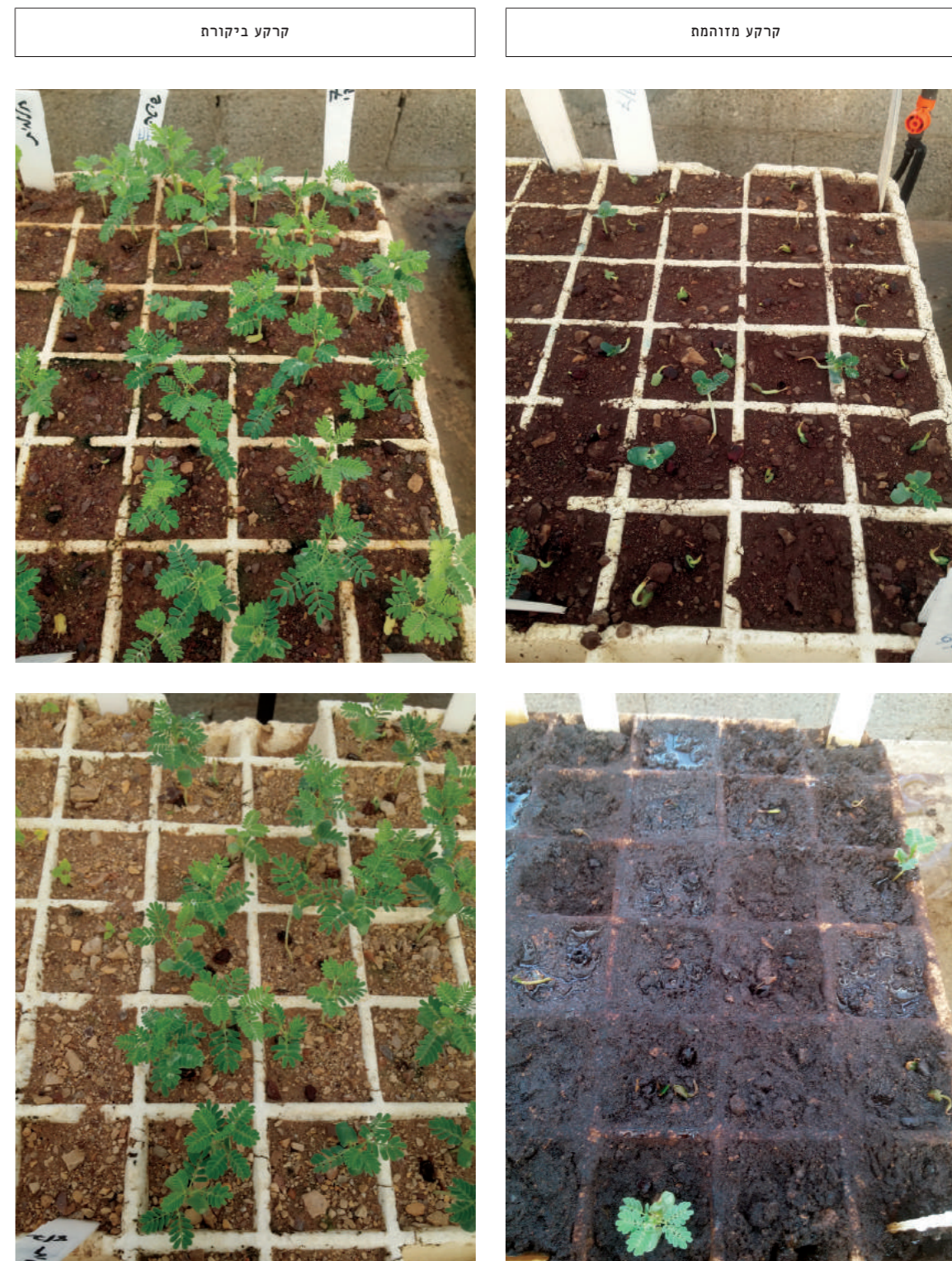


איור 1. נבטי שיטה סלילנית חודשיים לאחר זריעה בקרקעות ערוצים שזוהמו בנפט (ב-1975 וב-2014) ובקרקעות הביקורת



1974

2014

פגיעה בשיטים, יחד עם מיני הצומח האחרים המושפעים מאירוע הדליפה, תשפיע על הסביבה האקולוגית כולה לאורך שנים רבות. לנוכח תוצאות אלה ברור שאי אפשר להשאיר את המצב ללא טיפול, מאחר שגם טווח של עשרות שנים אינו מאפשר פירוק טבעי של שרידי הנפט, ועל כן לא מתאפשר שיקום הצומח בשמורה. לאחר עבודות משקמות שיתרחשו בשמורה בביקוח רשות הטבע והגנים, ימשיך בנק הגנים לבצע מבחני נביטה כגון אלה, ויעזור בהבנת הצלחות השיקום של השמורה.

1 ועל כן סביר שלא יצליחו לבצע פוטוסינתזה איכותית ולא ישרדו לאורך זמן. אם כן, ברור כי הדליפה החדשה אינה מאפשרת לרוב המכריע של הזרעים לנבוט, ואלה שמצליחים לנבוט, אינם שורדים לאורך זמן בערוצים המזוהמים. עם זאת, גם הדליפה שאירעה לפני 40 שנה, ששרידיה לא סולקו מעולם מהקרקעות, עדיין נותנת את אותותיה ומורידה משמעותית את יכולת הנביטה של הזרעים, את קצב הנביטה, את כושר ההישרדות ואת יכולת ההתפתחות של הצמחים שגדלים בערוצים המזוהמים.

מעבר פחמן בין שורשים של עצי יער גבוהים דרך רשת קורי פטריות

תמיר קליין^[1], רולף זיגוולף^[2] וכריסטיאן קירנר^[3]

[1] המכון למדעי הקרקע, המים, והסביבה, מנהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני
 [2] המעבדה לכימיה אטמוספרית, מכון פול שרר, וילינגן, שווייץ
 [3] המכון הבוטני, אוניברסיטת באזל, שווייץ
 tamirkli@volcani.agri.gov.il *



מנוף בתחנת המחקר ביער ליד באזל (שווייץ), המאפשר גישה לחופת היער (40 מטר מעל פני הקרקע), כולל התקנת מערכת שפולטת פחמן דו-חמצני מסומן על עצי האשוח

נסו לדמיין עץ המוסר כמויות גדולות של פחמן לעץ אחר. כיצד זה ישנה את החשיבה שלנו על מחזור הפחמן של היערות, מאגר הפחמן הביולוגי הגדול ביותר על פני כדור הארץ? אילו מעבר פחמן כזה היה אפשרי, היו נדרשים מערכת הולכה ומפל ביקוש-היצע. במאמר שפורסם אשתקד בכתב העת המדעי Science^[1] אנו מראים כי תרחיש דמיוני כביכול זה, מתרחש בבתי שורשים חופפים של עצים גבוהים ביער ממוזג רב-מיני. באמצעות סימון חופות עצים בפחמן דו-חמצני בעל איזוטופ פחמן יציב מסומן, הראינו כי פחמן שקובע על-ידי עץ מסוג אשוח (*Picea abies*) מועבר דרך השורשים לאשור (*Fagus sylvatica*), לעץ ממשפחת הארזים (*Larix decidua*) ולאורן (*Pinus sylvestris*) שכנים. יחס האיזוטופים בשורשי העצים השונים הראה כי מעבר הפחמן בין המינים היה כ-40% מסך הפחמן בשורשים העדינים, שהם כ-28 ק"ג לדונם בשנה. זוהי העדות הראשונה למעבר פחמן בין עצים בוגרים ממינים שונים ברמת היער. המעבר התבצע ככל הנראה דרך רשתות משותפות של קורי פטריות המקיימות מיקוריזה (*mycorrhiza*, שותפות פטרייה-שורש), שגם בהן נמצא הפחמן המסומן. תצפיות אלה מצביעות על כך שאף על פי שתחרות על משאבים (אור, מים, חומרים מזינים) נתפסת כשולטת ביחסי הגומלין בין עצים ביער, למעשה, העצים מגיבים זה לזה בדרכים מורכבות יותר, כולל העברה של כמויות פחמן משמעותיות. מעבר של פחמן בין שורש לשורש דרך מיקוריזה היה ידוע כבר לפני יותר מ-40 שנה^[4]. חלוצי המחקר השתמשו בסימון של פחמן רדיואקטיבי C14 במעבדה, וממשיכי דרכם אף הראו מעבר בין שורשי שתילים בשטח בעזרת סימון באיזוטופ יציב C13^[5]. אף על פי כן, סימון של עצים בוגרים וגדולים נדמה עד לא מזמן בלתי אפשרי, ולכן לא היה ידוע אם תהליך זה מתקיים בטבע: כלומר, אם גם עצים בוגרים ביער מחליפים ביניהם פחמימות, ואם כן, מה חשיבותה של תופעה זו לאקולוגיה של היער. בר-זמן התפתחה הטכנולוגיה של ניסוי העשרה בפחמן דו-חמצני, עד כדי ניסוי בעצי יער גבוהים ביער טבעי. בניסוי זה

מקורות

- [1] Klein T, Siegwolf RTW, and Körner C. 2016. Belowground carbon trade among tall trees in a temperate forest. *Science* 352(6283): 342–344.
- [2] Körner C, Asshoff R, Bignucolo O, et al. 2005. Carbon flux and growth in mature deciduous forest trees exposed to elevated CO₂. *Science* 309: 1360–1362.
- [3] Mildner M, Bader MKF, Leuzinger S, et al. 2014. Long-term 13C labeling provides evidence for temporal and spatial carbon allocation patterns in mature *Picea abies*. *Oecologia* 175: 747–762.
- [4] Reid CPP and Woods FW. 1969. Translocation of 14C-labelled compounds in Mycorrhizae and its implications in interplant nutrient cycling. *Ecology* 50(2): 179–187.
- [5] Simard SW, Perry DA, Jones MD, et al. 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature* 388: 579–582.

שבשווייץ, העשירו החוקרים באופן פרטני חמישה עצים מסוג אשוח בפחמן דו-חמצני מסומן בעזרת מערכת צינורות מחוררים, שפלטו את הגז בכל שעות היום [2]. השימוש בפחמן המסומן אפשר מעקב אחר אופן הפיזור וקצב הפיזור בתוך רקמות העץ, החל בעלים, לתוך הענפים והגזע, וכלה בשורשים [3]. מאחר שאתר הניסוי הוא יער רב-מיני, בזמן דגימת השורשים היה צורך להפריד את שורשי העץ מהסוג אשוח משורשי עצים שכנים ממינים אחרים. בניגוד לציפייה, התגלה כי כל השורשים העדינים, כולל אלה שזוהו כשייכים למיני העצים האחרים, הכילו רמה גבוהה של הפחמן המסומן. שורשי עצים שלא גדלו בשכנות לעצים המסומנים, מכל מין שהוא, לא הכילו את הפחמן המסומן. נוסף על כך, לא נמצאו עקבות של פחמן מסומן בחופות של העצים השכנים, עדות לכך כי פחמן זה לא הוטמע על-ידם.

כיצד עובר פחמן משורשי עץ אחד לשורשי עץ אחר? שורשי עצים עשויים להתאחות זה עם זה לעתים, בתהליך המוכר בשם הרכבת שורשים טבעית. עם זאת, בחפירות שנערכו באתר המחקר לא נמצאו איחויים כאלה, מה גם שהאיחויים הללו חלים בין שורשים של עצים מאותו המין או ממינים קרובים זה לזה, ולא כפי שנמצא כאן. אפשרות שנייה היא שפחמן מסומן הופרש משורשי עצים מסומנים והתמוסס בקרקע, ומשם נספג לתוך שורשי העצים השכנים. הפרשת פחמימות משורשים היא תהליך נפוץ, ואכן התגלו עקבות של פחמן מסומן בקרקע, אם כי ברמה נמוכה. עם זאת, כאשר נבדקו שורשים של שלושה מינים של שיחים בתת-היער, לא נמצא הסימון, כך שספיגת פחמן מסומן, אם התרחשה, הייתה זניחה בהיקפה. לשלושת מיני השיחים שנבדקו היו קשרי מיקוריזה, אך עם קבוצה שונה מזו של פטריות העצים. זאת ועוד, נמצא כי הפטריות שקיימו מיקוריזה עם שורשי העצים הכילו גם הן את הפחמן המסומן. באתר המחקר זוהו מעל 20 מיני פטריות כאלה, שארבעה מהם ידועים כסימביוטים (צוותאים) של כל ארבעת מיני העצים גם יחד. אחד המינים הוא קרוב של פטריית הארנייה הנפוצה ביערות הארץ. עד כה נלמדו פטריות אלה בקשר לתרומתן למאזן המים והמומסים של הצמח, ובקשר להשפעתן על מגוון המינים ועל יצרנות בית הגידול. מן המחקר שהוצג כאן עולה האפשרות שיש להן תפקיד חשוב בהעברת פחמן מעץ לעץ. נשיאת הפחמן ברשת הקורים של הפטריות מאפשרת להן להרחיב את גדילתן לכיוון חדש, בעוד הן נסמכות על פחמן שמקורו בשורשי עצים באזור אחר. ייתכן שבתנאי עקה (עקב בצורת, קרה, או שכפת יער), עשויים מיני העצים המקושרים על-ידן ליהנות מיתרון על פני מינים אחרים המוגבלים במקורות הפחמן שלהם.



מטפסי עצים מקצועיים בטיפוס על אחד מחמשת עצי הביקורת (מהמין *Picea abies*). הטיפוס נערך כדי לדגום מחטים מחופת העץ, מאחר שאין אליהן גישה מהמנוף שהוצב ביער | צילום: תמר קליין

	סקירות		
●●●●●●●●	106	תזונה מקיימת	ביטחון תזונתי וקיימות – האם אחד יכול להתקיים בלי השני? Berry EM, Dernini S, Burlingame B, Meybeck A, and Conforti P
●●●●●●●●	117	תזונה מקיימת	המדריך הסביבתי של דפוסי תזונה שונים, תפריט ים תיכוני מול תפריט מערבי: לא רק יתרונות בריאותיים Sáez-Almendros S, Obrador B, Bach-Faig A, and Serra-Majem L
●●●●●●●●	127	תזונה מקיימת	אבדן קרקע חקלאית – עידוד לשימור המשאב הציבורי באמצעות תמריצים: ג'ניה גוטמן, בני יעקבי, דני לסקה, רמי זיידנברג וגיל אשל
●●●●●●●●	137		ממשק אוכלוסיות יתר של תנים – מתאוריה למציאות: עמית דולב, דרור קפוטא, עידן טלמון, אלון רייכמן, יהודה יהודה, חווה גולדשטיין, רוני קינג ודויד זלץ
●●●●●●●●	145		בל תשחית – מודעות סביבתית בשכונה חרדית בעיר – המקרה של אשדוד: שרון מרק, נורית אלפסי ויצחק אומר