

תמיר קליין

המכון למדעי הקרקע, המים, והסביבה, מנהל המחקר החקלאי – מרכז וולקני

רולף זיגולף

המעבדה לכימיה אטמוספירית, מכון פול שרר, וילינגן, שווייץ

כריסטיאן קירנר

המכון הבוטני, אוניברסיטת באזל, שווייץ

ציטוט מומלץ

קליין ת, זיגולף ר וקירנר כ. 2016. מעבר פחמן בין שורשים של עצי יער גבוהים דרך רשת קורי פטריות. *אקולוגיה וסביבה* 7(2): 103–104.



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

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

[בקצרה](#)

גיליון קיץ 2016 / כרך 7(2) / תזונה מקיימת 17 במאי, 2016

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 לאשוח (*Fagus sylvatica*), לעץ ממשפחת הארזים (*Larix decidua*) ולארז (*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 ¹⁴C במעבדה, וממשיכי דרכם^[5] אף הראו מעבר בין שורשי שתילים בשטח בעזרת סימון באיזוטופ יציב ¹³C. 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. בו-בזמן התפתחה הטכנולוגיה של ניסוי העשרה בפחמן דו-חמצני, עד כדי ניסוי בעצי יער גבוהים ביער טבעי. בניסוי זה 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 האשוח 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.

ניצד 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 כסימביונטים (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 שרפת יער), עשויים מיני העצים המקושרים על-ידן ליהנות מיתרון על פני מינים אחרים המוגבלים במקורות הפחמן שלהם.



ז. טפסי עצים מקצועיים בטיפוס על אחד מחמשת עצי הביקורת (מהמין *Picea abies*). הטיפוס נערך כדי לדגום מחטים מחופות של עצים שאין אליהם גישה מהמנוף שהוצב ביער | צילום: תמיר קליין

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.