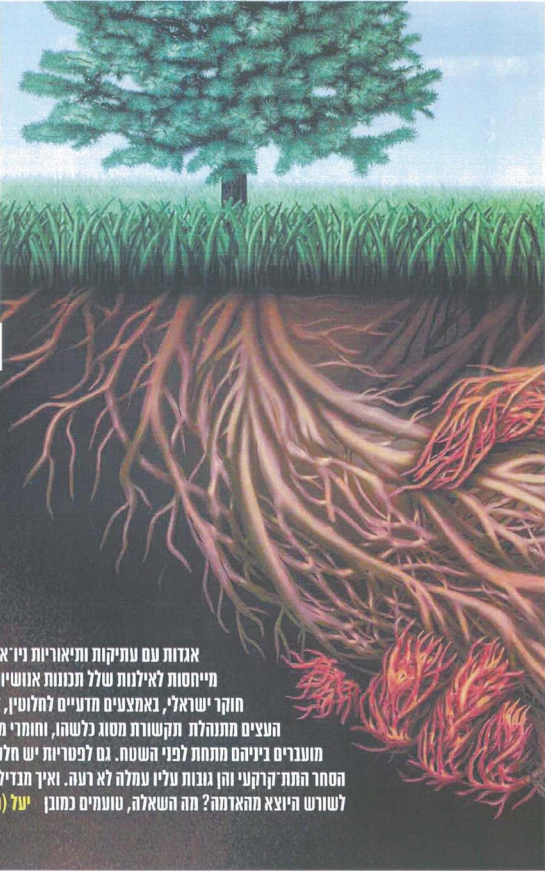




עמוק באדמה

האשוחים מעבירים חומרים לאורנים, הפטריות לא חוסכות בדמי תיווך והשורשים ערבים לחץ: ד"ר תמיר קליין חפר באדמה ומצא תגלית ששומטת את הקרקע תחת רגלי אקולוגים בכל העולם יעל (פרינד) אברהם | 24

מערכת הקשרים שמנהלים העצים מתחת לפני הקרקע יעל (פרינד) אברהם. 24



אגדות עם עתיקות ותיאוריות ניו אייג' משוונות מייחסות לאילנות שלל תכונות אנושיות. עכשיו הצלחין חוקר ישראלי, באמצעים מדעיים לחלוטין, להוכיח שבין העצים מתנהלת תקשורת מסוג כלשהו, וחומרי מזון חיוניים מועברים ביניהם מתחת לפני השטח. גם לפטריות יש חלק משמעותי במערך הסחר התת-קרקעי והן גובות עליו עמלה לא רעה. ואיך מבדילים בין שורש לשורש היוצא מהאדמה? מה השאלה, טועמים כמוכן **יעל (פרינד) אברהם**

ד"ר תמיר קליין

ע

צי האשור שביע העבט ליר באול לבשו תג, כלי שהיסימס נראה באופק, צינורות מורדרות לופמו סכיו הענפים ותגורות הורק סכיו מוהני העצים המתמרים לגובה ארבעים מטרים. מכל ענק בגובה המישה מטרים, שהוכיח לוחק הורקיסר'י בחבורה את הסילו מחויבצים, עמד לא הורק והמשיך לראוג באנמנות לאספקה סרירה של פחמן דרחמצני.

ביער שבו רדים זה לצד זה עצי אשוח, אריות, בוק ואורן ניסו הורקיסים, בניצורו של פרופ' כריסטיאן קרנר, להבין איך יוראו היעיות שלנו בעתיד, כשהתעשייה תמשיך לפלוס עוד ועוד גזי הממה. על ההשפעות הרות האסוק הויעו המוני חוקרים בעשרות השנים האחרונות וגרשו מאמרים, על התועלת שאמורה לצמוח - תרתי משמע - מהדתממות הגלובלית נכתב הרבה פחות. היו אלה פרופ' רם אורן מאוניברסיטת ריוק ופרופ' ריצ'רד נורבי מאוניברסיטת טנסי שהחליטו בתחילת המילניום להרים את ההפפה לכוחות את התזה שסרקה קצת את חוון הקטטטורפה שאמורה לפקוד את העולם. הדעיין פשוט: פחמן דרחמצני, שאדריא לצד גזים אדריים לאפקט הממה, הוא כירוע גם מונם של העצים. אלה ישתמשו בו בתהליך הפרוטסינתוז, ישודרו לאדם עוד חמצן לנשימה, יפחיתו על הדרך את ריכוז הפחמן הדרחמצני באטמוספירה שגולל בקצב מסירה, ובינתיים גם יתפז מנות ומאספקת אוכל גדולה מבעבר.

במשך 15 שנה, חוקרים באוניברסיטאות ברחבי ארה"ב עברו במסדה להריגים את צדקת טענתם על מטעים שניסיעו במיוחד לשם כך. הם טיפקו לעצי המסע פחמן דרחמצני, ראו את הגורלה של העצים מאיימת להתפקע לא ירוע את נפשם מאושה.

ירוע כל חוקר באקרמיה שאין כמו תוה שמוכיחה את עצמה. עם זאת, ירוע כל חוקר באקרמיה שאין כמו להפריך תזה של חוקר אוד. בא פרופ' קרנר, אקולוג צמחים בעל שם עולמי, ועשה מה שחוקרים אהבים לעשות ולקלנח מהתוחם: לבאס. עם כל הכבוד, טען קרנר, המטעים שניסיעו באופן מלאכותי לא רומים ליעד כונג במצמאות. כונג ליעד האמריקני ה"הודגס", שניסיע כרווחים וטיפק תנאים נוחים, ביער שאינו מעשה ירי ארם העצים גרלים בצפיפה, מתחרים על משאבים, רבים על ארד ועל מים, האם רוצים לראות איך יגיב היער לרמת פחמן עתידית - צריך יער אמיתי.

קרנר הקים תחנת מחקר, צדף אליו את הפרוטס ודוקטורנט הורקיסר'י תמיר קליין, גייס צבא סטורנטים קטן האיכותי מאוניברסיטת באול, ויחד הם יצאו ליער, ליפשו צינורות שמתוכן יזרום פחמן, ראונו למשאית שתמלא את הסילו אחת לשבעינים, הורק סכיו העצים גרודומטרים - רצועות המורדרות היק - וחיכו לתוצאות. במשך כשלוש שנים הפקיד קליין להגיע



לעבוד עם תורת המשחקים. ד"ר אדי טיטין

לשטת, וכאחות טיפת חלב ממרה ברק שוב ושוב כמה השמין העץ לעומת תבריו, עצי בקוצת הביקורת, שלא זכו ל"חילוקי" פחמן. בעודות מגוון שגונים למשמה הוא טיפס מעלה לראות אם גרלו הענפים, בעודת מעיד דוא חפר מטה כדי למרוד אם ארכו השורשים, ובחן מה השתנה במחטים. כל זה כדי לגלות ששום דבר לא קרה. עצי היער לא גילו כל גידול עודף ביחס לאדריים, ואת חיובו של פרופ' קרנר לפני פרישתו לנפטיה אפשר כבר לרמיון. גם אדרי ימים

רבים שר מיריות חודרות ונשנות במעברה לא מצא קליין את התאונות שחיפש, אבל המלוכה צצה באופן בלתי צפוי ממעבה הארמה.

שורשים זה טעים

במחן וינו שעבר עמד ד"ר תמיר קליין, בן 39, בוועיה השנתית למרוע ולסביבה בתל-אביב, הציג אלה מול קהל משתאה את מבצאי המחקר העצמאי שלו. כמה שבעות קודם לכן, בווינה, הוא חשף לראשונה על הבמה הנחשבת של האיגורו הגיאופיזי האיורפי (EGU) את המסקנות המפתיעות. אלה נסקרו גם במגזין המדעי Science, ומאז כבר דוסיפו גם בסינית וביוגרית, ועיסורו ירועות מרע פופולרי באירופה ובארה"ב. הרעש הגדול התעורר בעקבות גילוי המסנציוני של קליין שבניגוד

ד"ר תמיר קליין: "כשהיו לנו לבטים באיזה שורש מורבר היינו מריחים אותו, ואם גותר ספק היינו טועמים. טעמו של שורש בוק לא דומה לטעמו של אשוח. לעיסה קטנה ואת כבר מקבלת את הטעם"



"ישראל הרבר הראשון שריגש אותו היה לעבוד ביער צפוף ומלא בעצים שאני לא מכיר". קליין

ר"ר תמיד קליין:
 "להפתעתנו
 הסימון שמעיד
 על הפחמן הופיע
 לא רק בשורשים
 של האשוח, כמו
 שציפינו, אלא
 גם בשורשים
 של מיני עצים
 אחרים שבודאות
 לא קיבלו אותו.
 היינו בהלם, לא
 ציפינו לזה. הייתה
 לנו בידים עדות
 למעבר פחמן
 בין העצים דרך
 השורשים. העצים
 ניהלו שם מערכת
 של תן וקח, גם
 בין עצים ממינים
 שונים"

שלבשק מחוקר עצים לחתמקר באשוח ביער מעורב זה
 כמו לתת לחתול לשמור על שמנת מול מקרר מוצרי
 החלב בסופר.

"ישראל הרבר הראשון שריגש אותי בתחנת
 המחקר הייתה לעבוד ביער שלא מוכר לי, יער צפוף
 וגדול כמו באנגות", אומר קליין בחרדו במכון למדעי
 הקרקע, המים והסביבה במכון וולקני. "התלהבתי
 מזה שיש מיני עצים שאני לא מכיר, ואמרת לאנשי
 הצוות שלי 'תשמעו, אני רוצה לברוק גם עצים אחרים'.
 שותפי המחקר השיבו חד-משמעית שלא, 'אתה אחראי
 על האשוחים, תתרכז בהם'. ואני אכן המשכתי עם
 האשוחים, אבל כל הזמן נמשכתי לאלונים שהם ממין
 שונה ממה שיש לנו פה, לעץ הבוק, מה שנקרא פאגוס,
 שהוא אולי העץ הכי חשוב לגידול באירופה כי הוא
 משמש לריהוט. אז המשכתי למרוד אשוחים ובמקביל

למה שנהוג לחשוב, בין עצים מתנהלת תקשורת,
 אינטראקציה שמערכת בתוכה גם שחקנים אחרים
 מתחת לאדמה. בשקט-בשקט, תחת עיניים
 הפחות של חוקרי עצים, מועברים חומרים
 מעץ אחד לאחרי מקרמט רגא. אם חשבו תמיד
 על הדינמיקה ביער כאל עץ לעץ זאב, הרי
 שהמציאות סבוכה לפחות כמו מערכת
 השורשים שם למטה.

כרי להבין איר הגיע קליין
 למסקנה מרוחיקת הלכת שלו, צריך
 לחזור לניסוי העשיר והפחמן,
 קליין הופקר על מעקב הנגילה
 של עצי האשוח כלבר, אבל נראה

מרת'י גם את העצים האחרים. למתוך גרנדומטרים עץ צצים אדמים זה סיפור פשוט".
 כדי לבחון מה קרה לשורשי העצים שקיבלו הורמה של פחמן דרוחמצני השתמשו קליון וחבריו בצילינדרים שהוא שולף עכשיו בקלילות משיקט. מרובך בגלילי רשת מחוררים ברובם. חורחים לעומק של 20 ס"מ באדמה, מוציאים ממנה קרקע שמכילה בליל של שורשים, ואז במשך שעות יושבים סטורנטים סגורים וממינים את השורשים הוצצה מהארמה. קליון ביקש

מגזנות לא לדווק את האדמה, אלא להחזיר אותה אל הקרקע בתוך צילינדר כזה. עם הזמן יחזרו השורשים העריגים את הרשת וייצרו את קופסת השורשים האולטימטיבית לחוקר. הצילינדרים סומנו בדגלונים קטנים, וכעבור שנתיים חזרו החוקרים אל הדגלונים, פתחו את הגלילים ונתקלו בשורשים בכל מיני צבעים וגדלים. הם הפירוז בין שורשי האשוח, הבוק וכל שאר עצי היער, ומרדו.

איך מבדילים בין שורש לשורש אני שואלת, ומתחמטת אחרי שמי רקות. "כשהיו לנו לבטים היינו מרחיחים את השורש, ואם היה עריין ספק היינו טועמים אותו כדי להבריל".

רגע, אכילת שורשים של אשוח? זה לעים במללז מה, אתה מכיר את הטעם של כל שורש?

"אשוח, כן, זה לעיס. שנית, הכתי את טעם האשוח מהחלקת התחרות חלקת שנמוע בהם מין אתר בלבד, י"א וידעת? מה דומה יותר לטעם של העץ, וכן, טעמי ואת שורש בוק לא דומה לטעמו של אשוח. לעיסה קטנה מאד כבר מקבלת את הטעם. באירופה מכינים שיקויים משורשי עצים, מכינים אותם בליקרים, ואמרים שיש להם סגולות רפואיות".

הפחמן הדרחמצני שהביאו החוקרים לסטח שונה מהגו הנטביע שבאטמוספירה. את ההברל לא רואים בעיניים, אבל אפשר לבחון אותו בעזרת מכשיר ששמו ספקטרומטר מסה איוסופי. ההברל הבלתי גראה מאפשר לחוקרים להבריל בין הפחמן הקני לפחמן הטבעי. כך למשל יכלו החוקרים לדעת בתוך כמה זמן נסע הפחמן ממערכת העיכול של העץ, מהמחטים לענפים, מהענפים לגזוע ומהגזוע לשורשים: שבועיים. אלא שמשווע בתהליך גראה מורז לקליון ולשורצים". להפתעתנו, הסימוך שמעריע על הפחמן שסיפקנו לא הפיע רק בשורשים של האשוח, כמו שציפינו, אלא גם בשורשים של מיני עצים אחרים

שבנוראות לא קיבלו אותו. היינו בהלם, לא ציפינו לזה. הייתה לנו ביריים עזות למעבר פחמן בין העצים דרך השורשים. עצים ניהלו מערכת של תן וקח לא רק עם בני משפחתם אלא גם בין עצים ממינים שונים".
 קצת נתונים שנאספו אחיי ההלם הראשוני: 40 אחוזים מהפחמן הדרחמצני שנמצא בקצוות השורשים הגיע מעצים אחרים. אם נסתכל על המאזן הכללי של פחמן דרוחמצני ביער, מרובך בארבעה אחוזים שעוברים ברשת דתת'יקרית.



חמלה במי עצמה. אורחיה

כמו כל תלמיד גאה, קליון הגרש עץ עם התוצאות אל המורה. אבל פרופ' קרנר טריב להזרע. "כשראיתי שהסימן האיוסופי בשורשי אשוח שזרעשור במחמן דר' חמצני והה לסימן בשורשי עצים שלא קיבלו אספקה, קראתי מיד להמיר", מספר פרופ' כריסטיאן קרנר. "ידענו שזו תגלית שתיכנס למגזון גרול, אבל הייתי ספקן. אמרתי לו שאני לא סומך על עבודת המיון של הסטורנטים. שלחתי אותו בחורה לשטח, לחפור ולחשוף את מערכת השורשים בשלמתה, כדי שגורה כמחום בנוראות שהוצאנו את

השורשים הנכונים.

"הלכנו עם מעדרים וכלי עבודה והתחלנו לחפור – מהגזע, דרך השורש העבה שגניה דק יותר ויותר", משחור קליון. "זער לשורשים העריגים, כדי לראות, שהם שייכים לעץ המסוים. שוב ראינו את אותה חוצאה: בשורשי עץ בוק מספר 7 שנמצא לצד עץ אשוח מספר 3 מופיע אותו סימן איוסופי של פחמן דרוחמצני קני. מישור העביר לשורשי בוק את החומר. חודתי אליו, והוא אמר 'שכנעת אותי, את זה לא הראו עד היום'".
 ואולי יש דרך אחרת להבסר איך החומר נמצא אצל שני עצים שונים, משווי שלא קשור בתקשורת ביניהם?
 "יכולות להיות לכך שלוש סיבות, ועל כל אחת מתן חשבנו. הראשונה היא שיש איחוי בין שורשים, דבר שכבר ראינו שקיים בטבע – כלומר, יכול להיות שעץ ארוך שגדל בסמוך לארוך אחר יאוח שורשים עם שכנו, בעיקר אם השורשים נלחצים מכיב סלע למשל. אבל איחוי כזה לא קרה בין מינים רחוקים. יש דוגמאות מעטות מאוד לאיחוי בין מינים שונים, ורק בין מינים קרובים מאוד. אנחנו כאן <



כל קשת הרגשות האנושיים הושלכה על הצמחים. תוך פרקן מחקשות עם מציצים



אלפי עותקים. וכיזת התרגום של נרכשו במדינות רבות. מטבע הדברים, מדענים הרימו גבה מול השלאתנו שבא אחרי יצירות מסאדורמדריעזל ישנות כמו "עולם המתחרין של הצמחים", שיצא בשנות השבעים. ניסוח האדם לכמת על עולם הטבע רפוסים מפסכולוגיים שהיא מכיר מבני האנוש טמון כנראה ביכולת לישוק עם הרטמינולוגיה. בשנת 1983, למשל, פרסמו העצקים ג'ק פולדק ואיון גולדווין מאמד



בכתב העת Science ובו טענו שמצאו ארייה לתקשורת בין צמחים. צמי המדענים האמריקנים הראו שעצי צמצפה מייפל שנפגעו שחררו אחרות כימיים להגנה, כלומר העלו את ריכוז של חומר כימי שנמצא ברקמת הצמח שלהם. מה שמפיע היה ששכניהם – כאת הודוית או בניסוח למגע סכנה – העלו את אותו החומר לשיעור ורמה ברקמת הצמח שלהם. בתחילה הקהיליה המדעית לא התרשמה, אך עם הזמן נאלצה לדוודת שיש כאן משא. המרששת להדנהגויות הצצפת תונה כירי העצק. למשל, האם העוכרה עצמיה תודנית לבנה מפרישים חומר רעיל כשחול אוכל אותם – כפי שרדאו צמי חוקים בשנת 2014 – מלמדת על אינטליגנציה והבנה שחוקים קרב, או שאילוי זה סכניקת השרודת אבולוציונית תלוי את מי שואלים.

הדמיטריציה של המחקר שלנו מבחינתי לא הייתה למצוא תקשורת בין עצים, וגם לא השתמשנו במשגים כאלה, אומר קליין. "אני מעדיף לדבר על מעבר משהו נסיעת חומר. אני גם לא חושב שעצמי 'מריגשים' במובן שאנחנו מריגשים, כי אין להם מערכת עצבים. 'מריגשים' לא אצורים לבדוק רברים שהם לא יכולים להוכיח או להפריך. מבחינתי זה כמו לחפש רוחה מעדיית לשאלה אם יש אלוהים או לא. כדי להוכיח מסוד

< מרברים על עצים שונים לגמרי. תמתכלי על עלי הבוק הדרכים ומחשי האריות, הם שונים. מה גם שמפריו והסתכלנו מקרוב ולא מצאנו אחייהם". אפשרות אחרת שיכולה להסביר את התקשורת ה"עצמית", מסביר קליין, היא ששורשים לעתים מפרשים לתוך הקרקע וחמצות אורגניות מרכיבים של פמון וריחצני, ולכן ייתכן שפמון הלחל במסרה לשורשים אחרים. אבל בריקית הוכיחו שחומר כמעט לא הלחל לקרקע, או גם האפשרות האת ירדה מהפרק. או ניסו החוקרים את החשוד הבא, ואם היו שואלים אתי, הייתי מפנה אליו אצבע מאשימה מראש נוכח קריפיותו: הפטריות.

"יש פטריות שמקיימות קשרי סימביוזה, כלומר יחסי שיתוף עם שורשי צמח אחר, מה שנקרא פטריות מיקריות, 'שפניות' בעברית. לנו בארץ יש למשל אורנית ליד האודן, ויש לתק קטנים שמתחברים לתוך השורש ומסייעים לו לקלוט מינרלים מהקרקע. 20 מינים של פטריות מיקריותה ארינו ביער, ואלה שגרלו ליד עצים שקיבלו פמון וריחצני מממון הכילו פמון כזה. הוא שנגילו ליד עצים לא מסומנים לא ודאו את הפמון הזה. אנחנו הצבענו על הפטריות בתוך האחריות למעבר הזה".

אל תאכל אותי, זה כואב!

אם אתם תוהים איפה כאן הסנסציה, צריך לפשפש אחריות במר. החוקרים נכרו במאמרים מתעבר כדי לראות מה ידוע על התופעה. הם גילו שכבר בשנות השישים רווח על פטריות שמעבירות חומרים לצמח אחר, אבל רק במעברה חוק על עצים קטנים – כלומר, משתלבי עצים שנוצרו כדי לשמש מורל במעברה. המחשבה לא הייתה שאמעברה הצליחה לייצר תנאים שבהם זה קורה, ושזו לא תופעה שאכן מתרחשת על בסיס קבוע. מאז לא נמצאו כל אריות נוספות לכך.

מה שכן מצאו החוקרים הן תוכנות חדשות על עולם הצומח, עצמחו כפטריות מיקריותה אחר הגשם. אם בעבר חשבו על עצים כעל פרט בריד שפועל רק לטובתו, כשנים האחרונות החלו לדבר על תקשורת בין עצים, על העברת אותות ביניהם, על תחושות של כאב בצמחים – כשלא ברור איפה נגמר המדע ומתחיל הניו אייג'. כל קשת הרגשות שמיוחסת לאדם הושלכה על הצמחים. צמחים רוטטים לשמע מוזיקה, טענו במקום אחר. צמחים עשירים לבעליהם שמרכיבים אליהם, נטען במקום אחר. במגוון Modern Farmer נסקר מחקר מאוניברסיטת מיורו שנתן אינטליגנציה של צמחים, ריחוח בועות שהם מריגשים כאב כשאוכלים אותם. בשנה שעברה יצא בנרמניה ספרו של פיטר וולבן – "יחיה הגמטרים של העצים: מה הם מריגשים, כיצד הם מתקשרים – תגליות מעולם סורי". וולבן, יען גרמני, הראה בספר הביכורים שלו כיצד עצים "משוחחים" זה עם זה, מה מסמנים להחברים להתגונן מפני סכנות, חשים ככאב כשקוללהם "נפצעת", רואים להיי נצח של חבריהם שנחטבו, ומגלים דמיון עז לשכניהם האנושיים, הכול במובן בשימוש מופרז – ואולי מתקטב – בהאנשה.

הספר הרמקם במקום הראשון בטבלאות רבי המכר בתחום העיון במדינה, ונמכר במאות



צמרת העץ עוד לשרשים הערומים כיוור. צוות מחקר באלון במיתלה

ד"ר ארי סיטריין:
 "פטריוה רוצה לקבל את שלה, וברשת הקורים הזאת אפשר להסתכל עליה כמו אל סוחר שעובר עם כמה חברות. היא אומרת לעצמה: אני אעבוד עם כמה חברות ביטוח, ואראה מי גותן לי הכי הרבה"

באופן מרעני צריך להראות את כל התהליך, מתחילתו ועד סופו. לא מספיק להראות צמח רוטט ממויקה. צריך קבוצת ביטוח, צריך לברוק אם הוא מגיב כך גם לגירוי אחר, וצריך להוודא מליפול לפוטליום".

הפטריות הן הדילריות

נחזור מטה אל העולם התת־קרקעי. אחרי שהחקרים הגיעו למסקנה שהפטריות אחראיות לתהליך מעבר הפחמן הדרומצני לעצים אחרים, כראי להכיר אותן קצת יותר מקרוב. "פטריוה היא לא צמח. בהגדרה היא ממלכה בפני עצמה. אם תפתחי פטריוה תראי שאין לה נבעול ופי, אלא הבול מין שפגו של אדם תאים ואין התמיינות לאיברים שונים", מסביר קליין. שיטת העבודה של הפטריוה כוללת מתיות קורים פתלתלים. אלה נבנסים לתוך הדיקמה של השרוש ומתאחים אתה, או לחלופין מתלפפים סביב שורש העץ, חודרים את הקליפה החיצונית, "שותים" את החומר ומעבירים הלאה תוך ליפוף העץ השני. מה הדיוח והרדיז? אני שואלת את קליין, "נודג לחשוב שעצים מרוויחים מים וחומרי הונה מהפטריות והפטריות מרוויחות פחמן דרומצני מהעצים, אבל מה שראינו פה הוא לא רק שכן הדיוויז פחמן דרומצני מעצים מסוימים, אלא שעצים נוספים הצליחו להשיג את החומר הזה דרכן. זה החלק שאנחנו מוחות מבינים - למה ויתרו הפטריות על הפחמן לוטובת עצים אחרים? "אנחנו חושבים - הפוטסידוקוטנסים שעברו לפני ככר ראו את התופעה ביער - שסביב העצים שקיבלו

פחמן דרומצני הייתה יותר צמיחה של פטריות, והן גם גרלו יותר. זאת אומרת, יכול להיות שהן נוגו מעודף הפחמן ואז היו צריכות להעביר פחמן למקומות אחרים כדי להתרוב. כלומר, הן הבינו את הקרקע עם רשת הקורים הענקית שלהן. כך הגיע הפחמן הדרומצני לשרשי העצים האחרים. אנחנו לא חושבים שהעצים 'דצו' להעביר עודפים לעצים אחרים, אלו הפטריות ששולטות בתהליך".

מה בעצם עובר בראשן של הפטריות? החקרים לא מבינים עדיין. מה שהם כן יודעים הוא שהפטריות הן הדילריות: כל החומר התת־קרקעי הזה עובר דרכן. כמי ששולטות בניינים הן מעולם לא חשו נאמנות, לעץ אחר בלבד. יש פטריות שמתחברות רק לאורגים, יש כאלה שמתחברות כלי להניד עמקעי לאורגים וגם לאחורים, ריש כאלה שרק לברכרשים או לארוים. כך

צילום: שאטרסטוק



אסקת מחמן דר'חמצני זמיה ליום מעונן. אשוח

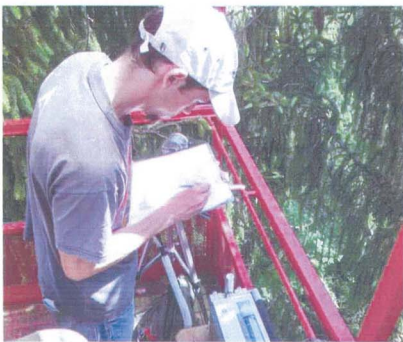
גמתחים הקורים ויוצרים רשת מוספת וענקית. לרכיבי הרשת החברתית הענפה הזאת קראו החוקרים "גילדות". ביער מעורב פועלות יחד גילדות שונות עם המון שחקנים ושלל מערכות יחסים. "פטרייה שמחוברת ליותר מינים יכולה להרוויח מהטרונגיות ביער", אומר קליין. "האשחים, למשל, גבוהים ולכן יכולים לכבוע פוטוסינתזה טובה יותר. בשנה מעוננת יהיה להם עורף של פחמן דר'חמצני. מי שמחבר אליהם מלמטה יכול רק להרוויח. פטרייה שמחוברת בו זמנית גם לעץ אחר שעמיד בצורת תוכל להרוויח גם ממנו. כפיצור, כמו בחיים תמיד צריך קשרים", צוחק קליין.

בטבע אין פראירים

עניין המטביציה של הפטריות לא נתן לי מנוח, אז חיפשתי תשובה אצל ר"ר ארי סטרין, מיקרוביולוג סביבתי וחוקר במכון למדעי הקרקע, המים והסביבה במכון וולקני.

"חוקרים שמתעסקים במערכים אקולוגיים כמו זה

צילום: תמיר קליין ובנימין קרנר



פרופ' כריסטיאן קרנר (למטה): "ידענו שזו תגלית שתיכנס למגזין גדול אבל הייתי ספקן. אמרתי לו שאני לא סומך על עבודת מיון השורשים של הסטרונגטים. שלחתי אותו בחזרה לשטח, לחפור ולחשוף את מערכת השורשים בשלמותה, כדי שנהיה בטוחים בוודאות שהוצאנו את השורשים הנכונים. הוא אושש את התגלית"

שמרתחש מתחת לפני הקרקע משתמישים לא פעם **טו ו ד 1** בתורת המשחקים. ברור לנו שלכל מיקרואורגניזם יש שאיפה לקבל כמה שיותר ולתרום כמה שפחות, וכל אחד מנסה קודם כולל למנף את עצמו. לכן אנכי יש לנו תופעה אקולוגית של יצורים שנקראים רמאים, כלומר יצורים שעשו מרומיפקציה לכך שהם פחות תורמים ויותר מקבלים.

"פסרייה רוצה לקבל את שלה, וברשת הקווים האת אפשר להסתכל עליה כמו לא סודר שעובר עם כמה חברות. היא אימרת לעצמה: אני אעבור עם כמה חברות ביטוח, ואראה מי נותן לי הכי הרבה. בתוך המניפה המתפתחת הזאת הוא מגשרת בין המרכיבים, ברובו כמו שלאוות מגבר ייכנסו כמה הויסם של גטרות חשמליות שונות. יש כאן מערך סימביוטי של קהילה שלמה, של קת ותן".

מובן למח היא רוצה לקבל מהמן דרי המצוני. אבל למח בדאי לה לתת? "מהמטבה הפשוטה שהעץ הוא לא פראירי. כמו שמיקרואורגניזמים מנסים 'לתחמן' את המערכת, גם העצים יכולים בעצמם 'לתחמן' או לבנות מערכות משל עצמם. הפסרייה צריכה את הפחמן

הזה. העץ צריך תנמן וזרחן ומינרלים מהקרקע, והוא נתנת לו אותם. מעבר לזה, התרומה שלה עוד יותר גדולה. אם עץ אחד יודע לייצר הרבה חומר מסוג X, אבל לא מסוג Y, ועץ אחר יודע לייצר Y ולא X, במקום שכל אחד ישקיע בבניית מהנגננים שלו, כל אחד מהם מייצר חומר אחר והפסרייה מתווכת ביניהם. כמו כל סוכן טוב היא לוקחת דמי תווך.

"הטעות שלנו היא שאנחנו נוהגים הרבה פעמים להסתכל על האורגניזם הבודד, אבל בפועל בטבע - המחוקק הזה מצליח להראות את זה יפה - אנחנו מכירים הרבה מאוד מקרים של אינטראקציה בין מגוון אורגניזמים. לפעמים זה בא לידי ביטוי בתחרות ולפעמים

זה בא לידי ביטוי בניצול משותף של משאבים".
יכול להיות שנספסמנו עוד שחקנים בתהליך?

"איינטיין אמר פעם שמחקר טוב הוא מעלה יותר שאלות משוויו בתחילתו. כדי למצוא את המתוכים האלה צריך לחזור לפני השטח ולנסות לראות,

בכלים הזמינים למחקר של ד"ר קליין, אם יש עדות למיקרואורגניזמים אחרים שמתמפים בתהליך האלה כמתוכים. אני משוכנע שאנחנו רק בקצה הקרחון".
"אני מנסה לרוחף ביולוגים מולקולריים לגלות את זהות פטריות המיקרויה בשורשי העצים, ולפענח איזה פטרייה משרתת איזה עץ, ובאיזה שכוחות זה מתרחש בינינו", אומר קרנר, שגם בפנסיונו שווייצרי לא נטש את עולם המחקר.

קליין עצמו נמצא אמנם בעיצומם של מחקרים אחרים, אבל בחלט נשאר לו טעם של עוד. אשוח. "אני רוצה להמשיך לעבוד על מעבר פחמן דרומצוני, לנסות להבין מה מניע את המעבר הזה, לחזור למעבדה, ובניגוד למחקרים הקודמים לשחק ולראות מה קורה כשאנחנו מכניסים ליעץ עצים ממינים שונים, מה קורה בפטריות ממינים שונים, מי עוד משתתף בתהליך.

"עוד דבר שהייתי שומע לעשות, הוא לערוך ניסוי דומה שבו אנחנו לא מעשירים את העצים בכמות פחמן דרומצוני, אלא עובדים עם רמת הפחמן שיש היום באטמוספירה. איפשרה, כל הזמן נמקר לי מאחורי הראש החשש שאולי חלק כמה שראינו הוא תוצרי לוואי לזה שאנחנו בעצמנו העשרנו את היער". אולי. ■

תלנוכות: dyokan@makorishon.co.il



רונן נדמה שחונן הקטסטרומלי נוסף מליט גני המחה בפועל ים המלח

תלנוכות: dyokan@makorishon.co.il