

בחום של 37 מעלות ערכנו סיור בהיבט חקלאי. 22 איש. 30.5.2019. יום חמישי. כן, יום חמישי, בהחלט חריג.

" חוות מתיתיהו משמשת כתחנת מחקר לעצי פרי נשירים. החווה מופעלת ע"י מועצה אזורית גליל עליון, בשותפות עם מועצה אזורית מרום הגליל. החווה ממוקמת על גבול לבנון ליד קיבוץ ברעם. החווה הוקמה בראשית שנות ה-60 ע"י הסוכנות היהודית, והיא נקראת על שם מתיתיהו כהנביץ ז"ל, שהיה מנהל חבל ההר במחלקת ההתיישבות של הסוכנות היהודית.



שטח החווה 250 דונם והיא מנוהלת כיום ע"י יובל עגני (נייד – 0505532581).

גידולים – תפוח, אפרסק, נקטרינה, דובדבן, אגס, ענבי מאכל, רימון ואפרסמון. בנוסף נמצאות בחווה חלקות לאיקלום גידולים חדשים. חלק מגידולים אלו מיועדים לחקלאות תיירותית ולקטיף. ...

בחווה ממוקם המרכז להדברה משולבת של מו"פ (מחקר ופיתוח) צפון (מהד"מ) הכולל חדרי גידול לחרקים ובתי רשת לצמחים.

בחווה ממוקם מרכז המחקר לפטריות מאכל של מו"פ צפון. המרכז כולל מעבדה וחדרי גידול לפטריות". ועוד (מתוך דף המינהל לפיתוח חקלאי).

התכנסנו על המרפסת המוצלת והחמה. התכבדנו בדובדבנים (מזן בורלא) ושתייה קרה. כאן שמענו על פעילות המקום מפי שלושה חוקרים – עופר דנאי (מהילה) חוקר יישומי של גידול פטריות מאכל.

יובל עגני (ממטולה) מנהל החווה.

לוטם אזולאי (מעברון, אחיינו של רועי) חוקר הגנת הצומח ו ...

בהמשך יצאנו לסיור קצר עם תצפית לנוף והדגמה מעשית במציאת כמהין שחורות על ידי פיסקו (הכלב) ולוטם.

**עופר דנאי** – חוקר פטריות מטעם מיג"ל – מרכז ידע גליל עליון.

המחקר היישומי מתעסק בעיקר ביצירת ידע להתפרנסות מפטריות. עיקר המאמץ עד כה התרכז בשמפיניון (פקועה דו-נבגית). היה מאמץ לשנות את חומרי האריזה, מכאלו שמבוססים על תעשיית הנפט לחומרים ביולוגיים מתכלים. מאמץ נוסף נעשה על מצע הגידול. הגיעו לחומר צהוב דמוי קלקר, חומר ביולוגי שעשוי מסיבים צמחיים מעורבים בתפטיר הפטרייה.

הגיעו לשיפור ניכר ביבולים וקיצור המחזורים. מהתחלה של 12 ק"ג למטר ב- 12 שבועות, הגיעו למחזור של 4-5 שבועות עם כ- 40 ק"ג למטר. הכל בגידול אינטנסיבי מבוקר. כיום עובדים על מערכות רובוטיקה בקטיף, שזו ההוצאה הכי גדולה.

יש כבר התחלה של גידול פטריות אחרות – אורי בן שטרית מבצת מגדל מיני פטריות מהמזרח שנועדו לשיווק במזרח – שיטאקי ועוד. יש בהן חומרים רפואיים מעניינים. יש גם ייצור חלבון "צמחי" מפטריות.

הפטריות הן ממלכה בפני עצמה והן קרובות יותר לבעלי חיים מאשר לצמחים. יש בהן חומרי תשמורת וכיטין דומים יותר לבעלי חיים. פטריות הן מערכות קשר בין עצים, הן מעבירות פחמן. התפטיר מכסה יערות שלמים. למעשה הן האינטרנט של היער, והאורגניזם הכי גדול שקיים בעולם. (ראו בסוף האגרת מאמרים בנושא).

את הפטריות מחלקים בגדול לשתי קבוצות: "פטריות בסיסה" ובתוכן גם "פטריות הכובע", ו"פטריות נאדיד" ובתוכן "כמהין".

כמהין (טראפל באנגלית) – Tuber – להבדיל מהכמהה המדברית שנקראת טרפציה. כאן מגדלים כמהה שחורה קיצית שהיא מיקוריטית עם עצים מארחים שונים. יש ניסיונות גם עם כמהה שחורה חורפית שנחשבת לטובה יותר. המחקר התחיל בצרפת בשנות השבעים על ידי הדבקות נבגים באזורי אלונים. בארץ המחקר התחיל בשנות השמונים. הודבקו חלקות שונות בארץ בכמהה חורפית ?!!!. שלוש חלקות בצפון – קרית שמונה, עמק החולה וברעם. בשנת 2009 נמצאו חורי חדירת בעלי חיים בגדר החלקה בברעם (עשרים פלוס שנים אחרי ההדבקה) וגם גופי כמהה, שהתגלתה כקיצית דווקא. (הרבה מאד יונקים נמשכים לריח החזק ולארומה שמשחררת הכמהה בעת פיזור הנבגים מתחת לאדמה). יתכן שהיו כמהין עוד קודם לגילוי. (בבישול מגרדים את הפטרייה על האוכל, לא מבשלים או מחממים אותה, שכן, אז היא מאבדת את הערכים שלה. צריך גם להוסיף לה שומן, שמן זית עדיף, כי הטעמים מסיסים בשומן).

היום יש חברה מסחרית ברמת הגולן – "אילסר" – שעובדת על כמהה שחורה חורפית. נטעה עשרות דונמים של עצי אילסר ואלונים שנוגעו שורשיהם בתפטיר במשתלה מיוחדת לעניין. הם עובדים עם כלבים. צפון רמת הגולן.

יש חלקות בקיבוצים במרום הגליל, חלקות של כמהה קיצית. בין העץ לפטרייה יש מיקוריזה, סוג של שיתוף פעולה. הפטרייה עוזרת לעצים לקלוט זרחן וברזל בתנאים של אדמה גירנית, היא גם עוזרת ליונקות לקלוט יותר מים, כך שלעץ יש כושר עמידות יותר גדול. העץ נותן לפטרייה חלבונים וסוכרים.

יש היום גם חלקות אורנים של קק"ל שמטופלות בנטופות ערבות ואורניות.

- נעשה ניסוי בקטיף פטריות. הסתבר שכאשר מוציאים את כל הפטרייה עם הרגל, השטח נהיה יותר בריא (פחות מאולח) ומניב יותר בשנה העוקבת. זאת לעומת שטח שבו השאירו חלק מהרגל.

**יובל עגני – מנהל החווה.**

התקציב מקורו בעיקר מהפרי שנמכר, חלקו מחברות שמחפשות להריץ חומרים חדשים, וגם מיסים של חקלאים למועצת הצמחים דרך המדען הראשי של משרד החקלאות.

נערכים בחווה כ- 30 מחקרים כל שנה. רובם קצרים – "ספריי אנד פריי" – פחות חשוב מחקר ארוך שמבין את התהליך, יותר חשוב למצוא את מה שעובד טוב. כך למשל במחקר של שינטוע בתפוחים על ידי התאמת כנות. מנסים הרבה כנות ומחפשים את הטובות בלי הבנה למה דווקא הן עובדות. כך גם עם ריסוס של חיידקים על דובדבן כדי למנוע ריקבון.

המחקרים נעשים על פי דרישה מהשטח, או דרישות של חוקרים, או חומרים שחברות רוצות להריץ.

לגבי שאלה על הדברה ביולוגית, יובל מסביר שהמחקר כאן מתרכז בנושאים הבאים: 1. הפחתת שימוש ברעלים (הדברה משולבת). 2. בדיקת זנים חדשים וקלונים (עדיפות חיי מדף הם ההיפך מטעם טוב באופן מובהק, - לכן מחפשים קווים שיהיו גם וגם). 3. ממשק – עיצוב, איך לגדל עצים. התאמה למיכון (לדוגמא עם בצרת מסיימים שטל שבעבר עבדו בו 30 איש בשבוע, ב- 3 שעות עם 3 אנשים).

**לוטם אזולאי** – עובד במעבדה של הגנת הצומח.

**הדברה משולבת** – שילוב של אמצעים טבעיים, אגרו-טכניים ותכשירים צרי טווח שאינם פוגעים במועילים באדם ובסביבה (ביולוגים).

עקרונות היישום – הפסקת השימוש בתכשירים רחבי טווח ומפרי איזון. טיפול במוקדי נגיעות בלבד באמצעים שאינם פוגעים במועילים. יישום אזורי בשטחי גידול חקלאיים רציפים (רב-ענפי).

השוק האירופאי כבר לא רוצה טיפולים כימיים. גם הקונפידור שניתן בהגמעה, שהוא ערוץ מציל חקלאים, כבר בסימן שאלה לגבי האפשרות להמשיך עבודה איתו.

בארץ עובדים היום לפי התקן האירופי המחמיר. לוקחים דגימות מפרי למשלוח.

לוטם נתן דוגמאות של טיפולים שונים כמו עש התפוח והקפנודיס.

- עצברית – הכנימה שפגעה קשה בסברס, טופחה בכוונה בדרום אמריקה כדי להשמיד סברסים במרעה. לאחרונה הביאו לארץ מין של מושית טורפת נגד הכנימה. הזכירו גם שבעבר גידלו סברס בשביל כנימה שגודלה ליצירת צבע.

### סיור בחווה

יובל לקח אותנו לסיבוב קצר. ראינו את הנוף היפה מסביב, חלקו שייך ללבנון. בולטת מאד העובדה שהחלק הלבנוני חום צהוב לעומת הירוק הישראלי – נטיעת יערות על ידי קק"ל, שמירה על יערות על ידי חוקים, מים – בלבנון אין מערכת ארצית שדואגת להבאת מים לצורכי חקלאות).

ראינו חממות בהן מגדלים עציצי "שושן הפסחא". הענף של יצוא עציצים פורחים לאירופה נמצא כעת בגדילה משמעותית.

### חיפוש כמהין

לסיום הגענו אל גולת הכותרת של הסיור. התאספנו מול גדר היקפית המקיפה חלקה קטנה של עצי פקאן ודשא. עוד לפני שנדרש ממנו מצא פיסקו הכלב כמהה מחוץ לגדר. פיסקו אולף למצוא כמהין. הוא רוצה לרצות את הבעלים, תמורת משחק עם כדור טניס.

בתוך הגדר פיסקו מתחיל לחפש כמהין לפי הפקודה "למצוא". כשהוא מוצא הוא נשכב על הדשא כששתי רגליו הקדמיות מונחות במקום הנכון. לפי הפקודה "לחפור" הוא חופר את הנקודה עצמה. כדי שלא יפצע את הפטרייה לוטם ממשיך את החפירה בעדינות בעזרת מברג. כאשר נמצאת פטריה פיסקו מקבל את הכדור. בשבילנו פיסקו מצא שתי פטריות, וגם עשה כמה קפיצות מעל הגדר.







תודה גדולה לאנשי חוות מתיתיהו המארחים – יובל עוגני, לוטם אזולאי ועופר דנאי.

יש אפשרות ואף רצוי להביא למקום קבוצות בתיאום מראש עם יובל – 0505532581  
(אנו זכינו להדגמה מיוחדת של מציאת הכמהין – אך לא ניתן לכלול זאת כאשר באים עם קבוצה לסיור  
במקום).

רשם והריח כמהה – גדעון סגלי

נספחים בהמשך למי שמחפש הרחבה

## האינטרנט של הטבע: עובדות שלא ידעתם על פטריות איתמר וייסמן

28.10.2015

**פטריות הן ממלכה קסומה, ענקית ומיוחדת שלא זוכה לתשומת לב מספיקה מצדנו. איתמר וייסמן מסביר למה פטריות אחרי הגשם הן סימן למשהו טוב שקורה באדמה, ובמה תפטיר הפטריות בעומק הקרקע דומה לרשת אינטרנט**

פטריות הן ממלכה של אורגניזמים מיוחדת במינה שלא זוכה לתשומת לב מספיקה מצדנו, פרט למקרים שהן נמצאות בסלט או בחביתה שלנו. אולם אי אפשר להתייחס אל הפטרייה רק כתוספת לארוחה או גרוע מכך, כמשהו שמציק בקצה בציפורן.

כשאני רואה גוף פרי של פטרייה מגיח מבעד לחיפוי העלים בערוגה, אני מתלהב ומסתקרן. משהו טוב קורה מתחת לקרקע. האם היא אכילה או רעילה? איך הגיעה לכאן? מה שבטוח, הערוגה שבה גדלה תניב ירק מעולה מכיוון שזהו סימן מבורך לכך שהערוגה עשירה בלחות ומלאה בחומר אורגני זמין והיא תמשיך להיות מלאה בו לאורך זמן בגלל הפעילות הפטרייתית בה שמייצרת כל הזמן חומר אורגני נוסף ותומכת בגדילתם של חיידקים מועילים..

הפטריות ידועות כ'שיניים של הטבע' שיוצרות לפרק כמעט הכל. אלו הן יצורים אוקריוטיים כמונו (כלומר בעלי גרעין תא) שיכולים להופיע כפטריות ביער, עובש על הקירות או על מזון ואפילו כחד-תאים (שמרים למשל). פטריות אינן צמחים מכיוון שהן לא מכילות כלורופילים ולא עושות פוטוסינתזה, הן פשוט ממלכה בפני עצמה. למעשה, יש לממלכת בעלי החיים ולפטריות מכנה משותף רב כגון נשימת חמצן ופליטת פחמן דו-חמצני ומבנה התא הבסיסי (למעשה אנו שייכים למשפחת-על חדשה שהוגדרה לאחרונה: משפחת אופיסטוקונטה. אז בעצם אנו קרובי משפחה של פטריות. תחשבו על זה פעם הבאה שאתם נוגסים בהן).

קורי הפטרייה (fungi) יוצרים רשת ענפה של שלוחות מתחת לפני הקרקע. בניגוד לחיידקים, אורגניזמים חד-תאיים, הפטריות מצויות במקבצים ומתחברות דרך דפנות התאים הקרובים וכך יוצרות יחידה גדולה יותר, תפטיר, המוקפת בדופן תא גדול. התפטיר הוא בעצם רשת סנסורית תת קרקעית ללא צורה מוגדרת אך אינסופית באורכה (היצור החי הגדול ביותר על פני הפלנטה הוא תפטיר אדיר בגודל של כמה קילומטרים ריבועיים החי בחופה המערבי של ארה"ב). בעבר הדגימו כי הרשת הסנסורית הזו ממש חשה שדורכים על הקרקע מעליה (מפחיד לא?). רשת התפטיר אף יכולה ליצור מבנים מסודרים מעל פני האדמה לצורך התרבות על ידי הפצת נבגים – זהו גוף הפרי (mushroom) שאנו רואים מעל האדמה בערוגות שלנו או ביערות. אלו הם איברי הרבייה של הפטריות (שקיים בחלק ממיני הפטריות אך לא בכלם) האחראים לייצר נבגים רבים אשר מופצים עם הרוח ולאחר שהם נכנסים לקרקע סביבם, יוצרים רשתות תפטיר אדירות חדשות (ב-10 סמ"ק קרקע יכולים להיות כ-8 ק"מ של תאי תפטיר). גופי פרי אלו עלולים להיות רעילים אך חלקם גם אכילים וטעימים.

תפטיר פטריות נמצא בכל האדמות, הוא חזק מאוד ומחזיק את האדמה, עד פי 30,000 מהמסה שלו.

ישנה תיאוריה שהועלתה על ידי פול סטמץ (Paul Stamets) שטוענת שהפטריות והתפטיר שהן מייצרות הם האינטרנט של הטבע: בתוך ודרך הרשת הזו מועברים חומרים וגדלות מושבות של מיקרואורגניזמים. ממש יקום תחת רגלינו. ביער, חומרי התזונה עוברים בין צמחים שונים דרך רשת התפטיר. אם העצים והצמחים אכן מתקשרים ביניהם, אז זה כנראה באמצעות תפטירי הפטריות.

במערכות אקולוגיות רבות המפרקים העיקריים הם הפטריות. הן היחידות שמסוגלות להשתמש באנזימים לפירוק ליגנין (החומר שאחראי לחוזקו המכני של צמחים ובעיקר עצים). הפטריות מפרקות את האורגניזם על ידי הפרשת אנזימים וחומצות מגופן שגורמות לו להירקב ולהתמוסס, וקולטות אותו

חזרה ביחד עם החומצה והאורגניזם המומס. במשך הזמן הפטריות יאכלו את כל האורגניזם הרקוב. הפטריות הן המפרקות החזקות של הטבע. מפרקות כמעט הכל: עץ, עצמות ואפילו נפט. התפטיר של פטריות מסויימות מפריש חומצה אוקסאלית שיכולה לפורר אפילו סלעים.

### עוד כמה עובדות מעניינות על הפטריות:

הפטריות הן קבוצה עצומה עם 80.000 מינים מוגדרים, והחוקרים משערים שיש עוד כמיליון מינים לא ידועים. הן לפי המשוער האורגניזם הראשון שהתפתח על כדור הארץ לפני 1.3 מיליארד שנה (הרבה לפני הצמחים). מעריכים כי בעבר היו פטריות ענק בגובה כמה מטרים על פני כדור הארץ.

הפטריות מייצרות הומוס (קומפוסט בדרגת פירוק גבוהה) בכל האדמות. חלקן מייצרות גם אנטיביוטיקות חזקות (כדי לנצח בתחרות מול החיידקים על משאבי הסביבה).

פטריות מיקוריזיות חיות בסימביוזה על שורשי רוב הצמחים, ניזונות מהסוכרים שזולגים מהשורשים ובתמורה עוזרות להם לקלוט מים וחומרי תזונה מהסביבה. האורנית למשל, חיה בסימביוזה עם עץ האורן, והכמהין, בארץ קשורה לשיח המדברי שמשון יושב. מלבד זה, הן יצורים הטרוטרופיים הצורכים (כמונו) תרכובות אורגניות מהסביבה כדי להתפתח ולהתרבות (ולא מייצרים בתהליך פוטוסינטטי אוטוטרופי כמו צמחים). כבר אמרנו שאנחנו קרובי משפחה?

ישנן פטריות רדיוטרופיות המנצלות קרינה רדיואקטיבית כמקור אנרגיה (ולא אור כמו הצמחים). הן התגלו למשל סביב הכור הגרעיני בצ'רנוביל). אגב, הסיכוי שיתפתחו פטריות על כוכבים רחוקים וחשוכים הרבה יותר גבוה מאשר שיתפתחו יצורים התלויים באור שמש.

בקיזור, יש לנו כאן עסק עם קבוצה אדירה של יצורים שלחלק מהן חשיבות קריטית ביצירת האדמה ובהחזרת חומרים אורגניים אליה. פטריות שישגשו מעל ובעיקר מתחת לערוגות שלנו ידאגו לאיזון של אוכלוסיות המיקרואורגניזמים באדמה, יפרקו בצורה יעילה חומרים אורגניים וישיבו לאדמה את החיוניות שלה. פטריות הן המרכיב העיקרי בבנייה וטיוב של קרקע.

יחד עם זאת, כדאי לזכור שישנן פטריות שמזיקות לנו וכאלו שפוגעות ביבול שלנו. אך אל דאגה, הטבע דואג לאזן את עצמו אם לא מפריעים לו. אז איך נעזור לפתח אוכלוסיית פטריות (ומיקרואורגניזמים בכלל) בערוגות שלנו: קודם כל, שמירה מתמידה על לחות האדמה. גם שימוש בחיפוי קרקע אורגני (עלים, רסק יער) או פיזור של ענפים או גזעי עצים כמצע גידול לפטריות. כמו כן, פיזור מוצרים מיוחדים למטרה זו העשירים בפטריות (כגון EM, אבקת מיקוריזה ועוד) או פיזור אדמה שאספנו מיערות או גינות בהן יש אוכלוסיית צמחים מגוונת ועשירה. באדמה שנטמיע נקבל גם אוכלוסיות מיקרואורגניזמים יציבות ומועילות (כי הן נלקחו ממערכות מאוזנות). רק זכרו להתייחס אל האדמה שלכם כעל יצור חי: לא לדרוך אם לא צריך, לא לשפוך חומרי ניקוי או חומרים כימיים, ולא להציק (עדירת והפיכת האדמה שוב ושוב מעכבת את גדילת התפטירים).



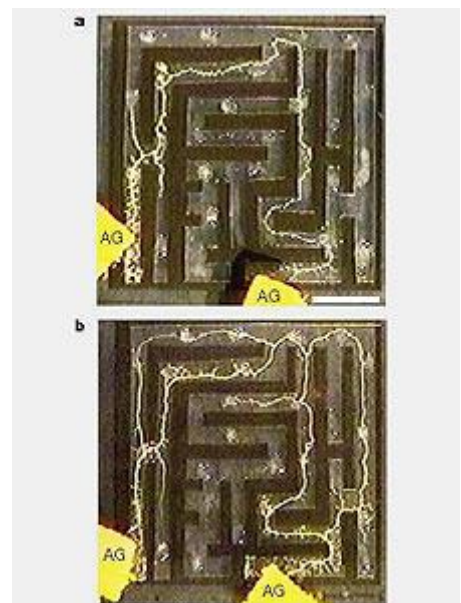
## על מה פטריות חושבות? אורן הוברמן

איך התחבא האינטרנט במשך מיליוני שנה מתחת לאדמה, ומה הרשת החברתית שמנהלות הפטריות מלמדת אותנו על אינטליגנציה אנושית

בשנת 2000 לקח פרופ' טושיוקי נקאגאקי, ביולוג ופיזיקאי מאוניברסיטת הוקאידו ביפן, חתיכה זעירה של פטריית עובש צהובה (הערה מאוחרת: ההגדרה הטקסונומית של *Physarum polycephalum* כפטרייה שנויה במחלוקת. במשך שנים היא נחשבה לפטרייה, אך בשנים האחרונות חלק מהחוקרים רואה בה כקרובת משפחה של הפטריות, אך לא כפטרייה "אמיתית". הרחבה בנושא כאן) והניח אותה בפתחו של מבוך קטן - העתק בגודל 30 סמ"ר של מבוך המשמש בדרך כלל לבדיקת אינטליגנציה וזיכרון אצל עכברים. בצדו השני של המבוך הוא הניח קוביית סוכר.

לרוב, פטריות מצמיחות סביבן רשת עגולה וסימטרית של קורים. אבל הפטרייה הצהובה, *Physarum polycephalum*, הצומחת בטבע לצד עלים וסלעים, התנהגה אחרת לגמרי: כאילו הריחה מרחוק את הסוכר, היא החלה לשלוח אל המבוך זרועות ולחפשו. קור הפטרייה התפצל בכל צומת, וקורים שהגיעו למבוי סתום פנו פניית פרסה וניסו את מזלם בפניות אחרות. בתוך כמה שעות קורי הפטרייה מילאו את מסדרונות המבוך, ועד סוף אותו יום מצאה אחת משלוחות הקורים את דרכה לסוכר.

בהמשך, טושיוקי וצוות החוקרים שלו לקחו חתיכה זעירה מהקור שהשתתף בניסוי הראשון והניחו אותה בפתחו של העתק מדויק וריק של אותו המבוך, כולל קוביית הסוכר. את מה שקרה מכאן איש לא יכול היה לחזות. מהרגע הראשון הקור התפצל לשניים: זרוע דקיקה ומדויקת ניווטה את דרכה בלי אף סיבוב מיותר אל הסוכר. הזרוע השנייה טיפסה על קיר המבוך וחצתה אותו בקו ישר, מהתקרה, אל המטרה. קור הפטרייה לא רק זכר את הדרך, הוא שבר את כללי הניסוי. הניסוי שוחזר שוב ושוב ובמבוכים שונים. באחד מהם המדענים הניחו קוביות סוכר בשתי יציאות שונות של המבוך. לקור הספיק ניסיון אחד כדי לדעת באיזה צומת להתפצל כדי להגיע לשתי הקוביות בדרך הקצרה ביותר. (הערה מאוחרת: תיאור ניסוי זה לקוח מדבריו של המיקולוג פול סטמץ, כפי שנאמרו בראיון טלפוני שערכתי עמו. לא מצאתי לו כל סימוכין נוספים).



פטריית עובש מפצחת מבוך עכברים. למעלה: הביקור הראשון במבוך. למטה: דגימת תרבית של הפטרייה מפגינה זיכרון מושלם של המסלול

"חשבתי על הניסוי ברגע שהעזתי להתגבר על הנטייה הטבעית להתייחס ליצורים האלה כאל סוג של צמחים", אומר טושיוקי בראיון טלפוני ל"מוסף כלכליסט". "אחרי שאתה חוקר פטריות במשך כמה שנים אתה מבחין בשני דברים. הראשון הוא שהן הרבה יותר קרובות לעולם החי ממה שנדמה. השני הוא שההתנהגות שלהן נראית לפעמים כמו החלטה מודעת, כלומר דברים שאי אפשר להסביר באינסטינקט בלבד. חשבתי שלתת לפטריות לנסות לפתור חידות יכול להיות כיוון טוב להבנה של מה שבאמת הולך שם".

המחקר (הראשון -א.ה.) זכה לתהודה עולמית, פורסם בכתב העת המדעי הנחשב בעולם "נייצ'ר" ואף זיכה את המעורבים בפרס האיגנובל - "על מחקרים שבתחילה גורמים לך לצחוק, ואחר כך גורמים לך לחשוב" לשנת 2008. בשנה שעברה טושיוקי זכה באיגנובל שנית, הפעם בשל מחקר שגילה כי פטריות יכולות לתכנן תוואי תחבורה לא פחות טוב ממהנדסים מקצועיים - והרבה יותר מהר מהם. טושיוקי לקח מפה של יפן, והניח פיסות מזון בנקודות שמייצגות ערים גדולות במדינה. את הפטרייה הניח על העיר טוקיו, והמתין 23 שעות, הזמן הדרוש לה לבנות תשתית קורים ליניארית לכל פיסות המזון. התוצאה היתה העתק כמעט מושלם של מפת הרכבות הקיימת סביב טוקיו. "צריך להבין שזאת לא חוכמה גדולה לחבר עשרות נקודות, אבל לחברן זו לזו בצורה היעילה והחסכונית ביותר זה עניין לא פשוט בכלל", מחמיא טושיוקי. כשנערכו ניסויים דומים על המפות של אנגליה וספרד התקבלו דגמים מדויקים של מערכות הכבישים הקיימות במדינות, לרבות, בחלק מהמקרים, הרחבות ותיקונים שנעשו רק באחרונה בגלל תכנון מקורי לקוי. בימים אלה מנסים באוניברסיטת הוקאידו לתרגם את היכולת המופלאה של הפטרייה למודל ממוחשב. "אני מאמין שהדברים שאנחנו לומדים עכשיו יעזרו בעתיד להבין לא רק איך בונים ארכיטקטורה טובה יותר של תשתיות, אלא גם איך עושים רשתות תקשורת מהירות ויעילות יותר", אומר טושיוקי.

### החידה הגדולה של הטבע

מה שמדהים בפטרייה הצהבהבה של טושיוקי הוא שהיא אינה יוצאת דופן בשום מובן. בכדור הארץ, על פי הערכות, קיימים כ-160 אלף זני פטריות, ולרבים מהם יכולות מרשימות לא פחות.

לפני שלוש שנים נמצא בעיר נטושה באוקראינה זן חדש של פטריות שניזון מקרינה רדיואקטיבית, ומטהר בדרך את האוויר סביבו. הפטריות אותרו על קיר מתפורר במרכזו של מתקן אטומי שיצא משימוש אחרי אסון צ'רנוביל, והפיץ סביבו במשך שנים רבות קרינה שחיסלה כל צורת חיים במרחק קילומטרים. לגילוי אחראי רובוט עם מכשירים למדידת קרינה ומצלמה, שנשלח ממרחק בטוח לבדוק את מצב המתקן. "אף אחד לא חשד אפילו שדבר כזה אפשרי", טענו חוקרים מאלברט איינשטיין קולג'. בשבועות האחרונים הפטרייה הזאת מצאה את דרכה ליפן, שם בוחנים שימוש בה לניקוי חלק מהנזקים הרדיואקטיביים שנותרו אחרי הצונאמי האחרון.

בשבוע שעבר דווח ב־CNN כי שני סטודנטים לביולוגיה מאוניברסיטת ייל מצאו, במסגרת סיור מחקרי ביערות האמזונס, זן של פטרייה בשם *Pestalotiopsis microspora* שמסוגלת לפרק פלסטיק. הדבר התגלה כשנעלמה אחת מצלחות הפטרי שבהן גודלו הפטריות. התברר שהיא אכלה את הצלחת ולא הותירה שום רמז אחריה. פרופ' סקוט א' סטרובל, שהוביל את קבוצת המחקר, אמר שזאת הפעם הראשונה בהיסטוריה שמתגלה יצור חי שמסוגל לפרק פלסטיק במהירות גדולה כל כך. "עד היום כל המדע והטכנולוגיה שלנו לא הצליחו לעשות את זה", אמר סטרובל, "זיהום פלסטיק הוא אחת הבעיות הכי גדולות שיש לנו. הפטרייה הזאת היא תקווה ענקית".

לפני קצת יותר משבועיים פורסם ב"ניו יורק טיימס" כי חוקרים במכון האמריקאי לביו-אנרגיה הצליחו, באמצעות שינוי גנטי, לגרום לזן של פטריות לעכל במהירות רבה יותר את הסוכר הטבעי קסילוז. משמעות הגילוי, אם יצליחו במעבדה לשכפל את ההצלחה, היא שיטה חדשה, מהירה וזולה פי כמה לייצור דלק ביולוגי נקי. פטריות אחרות שנמצאו לאחרונה כוללות כמה מההבטחות הגדולות ביותר לריפוי סרטן.



המחקרים האחרונים ועוד מאות אחרים לפנייהם גורמים לנו, בני האדם, תחושה מוזרה ולא אופיינית של חוסר ביטחון. איך ייתכן שאורגניזם פרימיטיבי כמו פטרייה, חסר מוח ומוגבל בתנועה, מחולל בטבע פלאים שהמדע העדכני ביותר נותר מולם בלסת שמוטה? ולמה דווקא הוא, מכל הצמחים ובעלי החיים בעולם, עושה זאת שוב ושוב?

הכתבה הזאת היא שיעור בצניעות מאחד היצורים המתוחכמים ביותר בטבע. הוא חולק איתנו את כדור הארץ ממש מהרגע הראשון, והתפתח במשך מיליוני שנים במקביל אלינו, ובהישגים לא פחותים שרק בשנים האחרונות אנחנו לומדים להעריך.

אבל כדי לנסות ולהבין מעט מעולמו, צריך לפני כן לעשות מעט סדר. שיטאקי, פורטובלו ושמפיניון אינם רק שמותיהם של פטריות מאכל. כל אחת מהן, בנפרד, היא אורגניזם חי העשוי מרשת של אלפי קורים דקיקים וארוכים להדהים הנמצאים מתחת לפני האדמה. הפטריות המציצות מן האדמה הן רק קצות אצבעותיהן של הקורים הללו - הן הכלים שבאמצעותם האורגניזם מפיץ את זרעו אל מחוץ לאדמה. בכל אצבע כזאת מסתתרים, לרוב מתחת לכובע הפטרייה, מאות דפים שחורים או לבנים. כל אחד מהם מכיל אלפי נבגים. כשחלק מהנבגים הללו נופלים על הקרקע, באמצעות הרוח או גלליהם של בעלי חיים, הם נובטים ויוצרים רשתות קורים חדשות. אם התנאים מתאימים, ייתכן שגם הרשתות הללו יוציאו פטריות בעצמן.

היצור הזה נושם חמצן, כמונו. הוא אינו מסוגל לנוע מעל הקרקע, אך קוריו יכולים לקחת אותו למרחקים עצומים בתוך האדמה. הוא כל כך יוצא דופן מבחינה ביולוגית עד שגם פוסקי ההלכה וגם מדענים עכשוויים מסכימים פה אחד שמן הראוי להפריד אותו לממלכה נפרדת משלו, "ממלכת הפטריות", במרחק בטוח מאלו של החיות והצמחים. על גופי הרבייה שלו, שצורתם משונה ומרקמם בשרי, יהודים עד היום מתבקשים לברך "שהכל נהיה בדברו", ברכה השמורה בעיקר למזון מן החי, אף פעם לא כזה שמקורו באדמה.

אבל מה אנחנו באמת יודעים על צורת החיים הזאת? "מעט מאוד, וגם את מה שאנחנו יודעים קשה לנו לעכל", אומר ל"מוסף כלכליסט" מייקל פולאן, עיתונאי המזון המשפיע של "הניו יורק טיימס" ומחברם של שישה רבי-מכר, ובהם "דילמת השפע" ו"הבוטניקה של התאוה". במסגרת תחקיר ממושך שערך ל"דילמת השפע" חקר פולאן במשך חודשים את עולם הפטריות ודיבר עם עשרות חוקרי פטריות, המכונים מיקולוגים, מרחבי ארצות הברית. "גם המומחים הגדולים ביותר לא יודעים מה גורם לתפטר - מערכת הקורים התת-קרקעית של הפטריות - לבחור להצמיח פטריות על הקרקע, למה פטרייה אחת גדלה רק לצד עץ אחד ואחרת לצד עץ אחר, ולמה כמה מהן מייצרות רעלים קטלניים ואחרות טעמים וארומות מסחררים", הוא אומר. "בחלק מהמקרים אנחנו אפילו לא יודעים לנקוב בלוח הזמנים של ההתפתחות שלהן. פטריות יכולות לצוץ בטבע בתוך שלוש שנים או 30 שנה מהרגע שהנבג מצא לעצמו את העץ הנכון. במילים אחרות, אנחנו לא יודעים על פטריות את הדברים הבסיסיים ביותר".

## מלכת המתים

כל כך קשה לנו להבין פטריות בגלל המבנה האנטומי שלהן, מסבירה המיקולוגית המוערכת ד"ר סגולה מוצפי ממכון המחקר הביוטכנולוגי מיג"ל שבגליל. "כשאתה לוקח ביד עגבנייה אתה מחזיק את הדבר עצמו. אבל אתה לא יכול לקטוף פטרייה ולחקור את המבנה שלה. הפטרייה עצמה היא רק הפרי של אורגניזם גדול ומורכב, ורשת הקורים שלה עדינה מכדי שאפשר יהיה לחלץ אותה מהאדמה בלי שתתפרק".

"ועוד בעיה היא שאת רוב פטריות הבר אי אפשר לביית וקשה מאוד לגדל, גם לצורכי מחקר וגם לגידול תעשייתי", אומר פולאן. "הן בוחרות את המצע ואת העצים המסוימים שבעזרתם יגדלו, והן בוחרות מתי לנבוט. לעתים קרובות מדובר בעצים עתיקים שאי אפשר להזיז ממקום למקום. וגם אם נטעת ביער מאות עצים מתאימים ופיזרת מיליארדי נבגים על האדמה, אין שום ערובה לכך שתקבל פטריות. לפחות לא בלוח הזמנים שלך".

כל מערכות התזונה, הגדילה, הרבייה וייצור האנרגיה של פטריות שונות לחלוטין מאלה של צמחים, ושונות לחלוטין מאלה של בעלי חיים. "אין להן כלורופיל, ולכן בשונה מצמחים הן לא משתמשות באנרגיית השמש", מסביר פולאן. "כמו בעלי חיים, הן מעכלות מזון, והן עושות את זה או מחומר אורגני מת או באמצעות התחברות לשורשים של צמחים חיים. שמפיניון, שיטאקי ופורטובלו, לדוגמה, צומחות על מצע צמחים שנבלו. אבל אופן האכילה שלהן שונה מזה של בעלי חיים, שכן הן מעכלות את המזון מחוץ לגופן: הפטריות מפרישות אנזימים שמפרקים את החומר האורגני לגורמיו, ואז סופגות את המולקולות".

"התכונה הזאת הופכת את הפטריות לגורם חשוב וחסר תחליף עבור כל מה שחי בעולם", כותב פולאן בספרו, "אם האדמה היא קיבתו של כדור הארץ, הפטריות הן מערכת העיכול. בלא יכולתן לפרק ולמחזר חומר אורגני האדמה מזמן היתה נחנקת. החומר המת היה נערם עד בלי סוף, מחזור הפחמן היה מפסיק להתקיים ולכל הדברים החיים לא היה מה לאכול. אנחנו מתמקדים במחקרנו בחיים ובצמיחה, אבל המוות והריקבון חשובים לא פחות בטבע, והפטריות הן השליטות הבלתי מעורערות של הממלכה הזאת. לכן, אגב, הן גם נפוצות מאוד בבתי קברות".

"אבל התעלומה הגדולה ביותר היא האנרגיות האדירות של הפטריות", אומר פולאן, "יש פטריות שמסוגלות לבקע אספלט, לזהור בחושך, לעכל בן לילה ערימה של פסולת פטרוכימית ולהפוך אותה לחומר אכיל ומזין. קופרינוס אטמנטריוס יכולה בתוך כמה שעות להצמיח גופי פרי ואחר כך, ביום אחד, להתפרק לשלולית דיו שחורה. פטריות פסילוסביה יכולות לשנות את מצב ההכרה של בני אדם. יש פטריות רעל שיכולות לחסל פיל; והפרדוקס הוא שכולן מכילות כמות זעירה של קלוריות, שזה סוג האנרגיה שחוקרים מודדים בדרך כלל. כנראה הדרך שבה אנחנו מודדים אנרגיה אינה רלבנטית בהקשר הזה. קלוריות הן בבסיסן גלגול של אנרגיית שמש שנאגרה אצל הצמחים. לפטריות יש קשר דל לשמש. הן מציצות בלילה וקמלות באור היום. והאנרגיות שלהן הן מסדר גודל שונה לגמרי".

### האינטרנט שמתחת לאדמה

כשפולאן תיאר את חשיבותן המהותית של הפטריות לקיום החיים הוא לא הגזים. ייתכן שהוא אף הפחית מעט מערכן. "קורי התפטיר של הפטריות הם לדעתי אחת ההמצאות הגדולות של הטבע", אומר ל"מוסף כלכליסט" פול סטמץ, מיקולוג שנחשב לערכאה העליונה בחקר הפטריות, ושבין היתר חתום על עשרות פטנטים לתרופות שהופקו מכימיקלים שמקורם בפטריות ושישה ספרים פורצי דרך בתחום. "התפטיר הוא התשתית הסבוכה שעליה יושבים כל הצמחים בעולם. ב-10 סמ"ק של אדמה אפשר למצוא 8 ק"מ של קורים כאלה. שטח של כף רגל אנושית מכסה כחצי מיליון ק"מ של קורים צפופים".

### מה מתרחש בקורים האלה?

"בתחילת שנות התשעים עלה לראשונה הרעיון שרשת הקורים הזאת לא רק מעבירה מזון וכימיקלים, היא גם רשת תקשורת חכמה ולומדת. כשמתבוננים אפילו בדגימות קטנות של הרשת הזאת, מזהים מיד תבנית מוכרת. כשמתפרסמים מדי פעם מיפויים גרפיים של שרתי האינטרנט, הם נראים בדיוק ככה. זה מסועף באופן בלתי נתפס, ואם ענף אחד נשבר הוא מוחלף במהירות בהצטלבות של צמתים אחרים. צמתים באזורים אסטרטגיים, שמהנדסי אינטרנט אולי יכנו נקודות חמות, הופכים עם הזמן לגדולים יותר, על חשבון מקומות שאין בהם פעילות.

"יש לקורים האלה יכולות חישה פרימיטיביות", ממשיך סטמץ, "וכל קור יכול להעביר אינפורמציה לכל הרשת. כשכמות גדולה של אשפה אורגנית נזרקת באזור מסוים, אנחנו רואים שינוי בתמהיל הפטריות שצמחו גם באזורים אחרים לגמרי של הרשת. וכמו באינטרנט, אין 'שרת מרכזי'. כל קור הוא עצמאי, המידע שהוא אוסף יכול לעבור אל הרשת בכל נתיב. זאת מחשבה די מדהימה שהמודל הבסיסי של האינטרנט היה פה כל הזמן, מהימים הראשונים של כדור הארץ, ורק הסתתר באדמה. אגב, הרשת

עצמה יכולה לגדול, פחות או יותר, עד אינסוף. לאחרונה נמצאה במישיגן פטרייה יחידה שהתפשטה על פני שטח של 9 קמ"ר מתחת לפני האדמה. מעריכים שהיא חיה שם כבר 2,000 שנה".

## מתי הרשת מחליטה להוציא פטריות?

"זאת שאלת השאלות. לפעמים הסיבה היא סכנה לעתיד הרשת. אם, לדוגמה, היער שממנו הרשת ניזונה נשרף, התפטיר מפסיק לקבל סוכרים משורשי העצים, ואז הוא מנביט פטריות בקצוות הרחוקים של הרשת כדי שאלה יפיצו את נבגי הפטרייה ויאפשרו לגנים שלה להיחלץ ולמצוא מקום חדש. כך גם צץ המושג 'פטריות אחרי הגשם'. הגשם שוטף מהאדמה את הרקב האורגני ולמעשה לוקח את מקור התזונה שלה, והיא שולחת כוחות חילוץ עם נבגים שיחפשו בית חדש".

## סרט האימה של החרקים

"חיפוש הבית החדש" של הפטריות הוא עוד דבר שמבדיל אותן מעולמות החי והצומח כאחד. ישנן פטריות שעוטות צבעים ודוגמאות מרהיבים, וכך מפיצות את נבגיהן כמו שפירות מפיצים את זרעיהן. אחרות מייצרות פרומונים, הורמוני מין נדיפים, שגורמים לבעלי חיים להשתוקק אליהן באופן כפייתי. מלקטים של פטריות הכמהין הלבנות הנדירות, לדוגמה, נעזרים לעתים בחזירות מיוחמות, שכן ריח הכמהין דומה לריחו של זכר האלפא החזירי האולטימטיבי.

אבל ישנן גם שיטות מתוחכמות ואכזריות בהרבה. לפני כמה שנים התגלה שנמלים מהזן המערב-אפריקאי *Megaloponera foetens* נוטות, פעם בשנה, לטפס מסיבה לא ברורה על עצים גבוהים, ואז לנעוץ את צבתותיהן בעוצמה בגזע ולמות בהמוניהן משלא הצליחו להשתחרר. זאת היתה הפעם הראשונה שבה תועדה התאבדות נמלים המונית בטבע ללא כל סיבה נראית לעין. במעקב מצולם שנערך אחרי הנמלים הללו - אפשר למצוא לא מעט סרטונים מזוויעים ביוטיוב - התבררה הסיבה להתאבדות ההמונית. הנמלים לא עשו זאת מרצונן. הן נשלחות אל מותן.

פול סטמץ: "יש לרשת הקורים של הפטריות יכולות חישה פרימיטיביות וכישרון למידה בלתי רגיל. כל קור יכול להעביר אינפורמציה לכל הרשת, וכמו באינטרנט, זה לא עובר דרך שרת מרכזי אלא בנתיבי תקשורת מתחלפים. זה מדהים שהמודל של האינטרנט הסתתר באדמה מהימים הראשונים של כדור הארץ" צילום: Paul Stamets

מתברר שנבגים זעירים של פטריית הטומנטלה שנישאים באוויר מצליחים לעתים לחדור לפיהן של נמלים, ושם פועלים באופן שמזכיר סרטי אימה גרועים במיוחד: הנבג מתיישב בראשה של הנמלה ושולח כימיקלים למוחה הזעיר. כמעט מיד לאחר מכן הנמלה מתחילה לטפס על העץ הראשון הנקרה בדרכה ונועצת בקליפתו את צבתותיה. רק אז היא מתחילה לנוע בפראות, כאילו התעוררה מחלום רע, מנסה להימלט עד שלא נותרת לה עוד אנרגיה ונופחת את נשמתה. כעבור שבועיים פורצת מראשה פטריית הטומנטלה.

על עצים בקמרון אפשר לראות מאות פטריות צומחות מתוך גופות נמלים קטנות. עבור הפטריות, ההשתלטות המוחית הזאת היא בסך הכל אמצעי התרבות: הן נעזרות ברגלי הנמלה כדי לטפס על העץ, והגובה הרב מסייע להן להפיץ את נבגיהן למרחק באמצעות הרוח, וכך למצוא בתים חדשים - ונמלים חדשות.

אצל פטריות אחרות בעולם נמצאו יכולות משוכללות אף יותר. הפטרייה *Ophiocordyceps unilateralis* הנפוצה בתאילנד זכתה לכינוי "פטריית זומבי" בשל יכולתה להשתלט על מוחות הנמלים האוכלות אותה ולגרום להן לטפס על עלים ספציפיים הצומחים רק על אדמת יערות רטובה בזמנים מסוימים

בשנה. הנמלים הנגועות צועדות אל העלים האלה בדרך ארוכה, שלרוב עולה על המרחק שהן צועדות בכל ימי חייהן, ומתות מרעב ועייפות כשהן מגיעות ליעד. הפטריות פורצות מגופן אחרי שבועיים של דגירה.

לאחרונה נמצאו ארבעה זנים חדשים של פטריית זומבי בג'ונגלים בברזיל. "הן חיות מרתקות, אולי הכי מרתקות שראיתי", אומר פרופ' דיוויד יוז מאוניברסיטת פנסילבניה, האיש שזיהה את התופעה וחקר אותה במשך שנתיים. "אנחנו מעריכים שהן מייצרות כימיקלים שדומים ל-LSD, אבל עדיין לא פגשנו סמים שמסוגלים לייצר התנהגות כל כך ספציפית, שתואמת אינטרסים כה מדויקים".

יוז טוען שנתקל גם בפטריות שמשלטות על מוחות עכבישים, כינים וזבובים. "אין פה צירוף מקרים, ברירה טבעית או תוצאות לוואי של תהליך אחר. החרקים האלה נשלחים נגד רצונם למקום האחרון שהם צריכים להיות בו, שהוא גם המקום היחיד שמתאים לצמיחת הפטריות הללו. כשהעברנו נמלים נגועות לעלים אחרים, הפטריות פשוט לא נבטו".

את ההיגיון שמאחורי ייצור חומרי הזיה נגד טורפים עוד אפשר להבין, אבל למה החומרים הללו גורמים לשינוי מצבי תודעה אצל בני אדם? "אנחנו לא שונים מחיות אחרות, מלבד העובדה שמוחתינו מורכבים יותר, ולכן גם ההשפעות של פטריות ההזיה לובשות צורות מורכבות יותר", אומר הפסיכיאטר ד"ר ארתורו לרנר, שחוקר זה 20 שנה השפעות של סמי הזיה. "דרך אגב, בכמויות קטנות ובפיקוח יש לזה גם יתרונות. עוד ועוד חוקרים בוחנים את הסברה שכמה דתות, וכמה מהיצירות הספרותיות והפילוסופיות הגדולות של האנושות, צמחו ממפגשים עם פטריות כאלה. הנביא שבלע אותו לווייתן, אנשים שעולים בסערה השמימה, אלה דיבורים שאתה שומע מאנשים שהתנסו בפטריות. את הפטרייה אמניטה מוסקריה למשל הרבה אנשים מזיהים מהאירורים בספר 'אליס בארץ הפלאות'. שינויי הממדים שמתוארים בספר הם בדיוק הדיווחים שאנחנו מקבלים ממי שלקח מעט מהפטרייה הזאת. מובן שלא הייתי ממליץ לאף אחד להתקרב אליהן", הוא אומר.



בג הפטרייה מתיישב בראשה של הנמלה ושולח כימיקלים למוחה הזעיר. לאחר מכן הנמלה מתחילה לטפס על העץ הראשון הנקרה בדרכה, נועצת בקליפתו את צבתותיה, ומנסה להימלט עד שהיא נופחת את נשמתה. כעבור שבועיים פורצת מראשה פטריית הטומנטלה צילום מסך: BBC

## איך הומצאה האנטיביוטיקה

ליכולתן של הפטריות לייצר רעלים חזקים יש גם היבט חיובי: כמה מהרעלים האלה הם הנשק היעיל ביותר עלי אדמות נגד אויבים משותפים שלנו. חיידקים למשל. "משפחות האנטיביוטיקה הטובות ביותר שיש לנו כיום, מקורן בפטריות", אומר סטמץ.

אף על פי שידוע שזה אלפי שנים נעשה שימוש רפואי בפטריות, המדע המודרני גילה את הנושא רק במחצית השנייה של המאה ה-20. "המחקר הרציני התחיל כשחוקרים מצאו כמה כפרים ביפן

שהתושבים שלהם לא חלו בסרטן מעולם, ושמה שאפיון אותם היה התפריט עמוס הפטריות שלהם", אומר סטמץ. "לכמה רגעים הנושא היה בראש סדר היום ומשום מה נזנח. יכול להיות שזה משום שפטריות הן פתרון זול מדי".

סטמץ מספר שמתוך 160 אלף זני פטריות, שגופן מכיל תרכובות כימיות מתוחכמות, המדע הצליח לפענח ולשחזר תרכובות מכ-20 זנים בלבד, "ומאלה הומצאו כמה מהתרופות הכי חשובות המוכרות לאדם", הוא אומר.

"יש סיבה טובה ללמה פטריות מייצרות תרופות. תראה איפה הן חיות", אומרת אלינור שביט, לשעבר נשיאת האגודה המיקולוגית של ניו יורק. "הן תמיד גדלות במקומות הגרועים ביותר, בטחב, בחום, באזורים שהם בית חרושת לחיידקים ווירוסים. רוב הצמחים חסרי ישע מול מזיקים כאלה, אבל הפטריות מחזירות מלחמה. התרופה הנמכרת בעולם, ליפיטור, שהיא אחד הפתרונות היחידים שיש לנו נגד כולסטרול וסוכרת, התגלתה בפטרייה סינית אדומה. פטריות אנוקי ושיטאקי הן חלק מסל התרופות שמקבלים חולי סרטן ביפן".

אבל סטמץ טוען שמגוון התרופות האדיר הזה הולך ומצטמצם במקום לצמוח. הסיבה לכך היא חיסול יערות עתיקים ברחבי העולם, ובמיוחד ביערות האמזונס. "לצד העצים וצורות החיים שגדלות סביבם, אנחנו הורגים גם את הפטריות. המבחר שלהן הולך ופוחת בהתמדה, וזה מטריד אותי מסיבות אינטרסנטיות לחלוטין. קיבלנו עם העולם הזה מתנה מדהימה - מעבדה עצומה של יצרני תרופות שמיליוני שנות אבולוציה, או אלוהים, תקרא לזה איך שאתה רוצה, הכינו לשימושנו. מהפניצילין ועד תרופות למחלות כמו סרטן, איידס, שפעת ופגעי ההזדקנות. המצרים הקדמונים ידעו משהו כשקראו לפטריות 'אל-מוות'. היתה שם תרופה לכל מחלה שהיתה לאנושות עד למאות השנים האחרונות, וכנראה גם לרוב המחלות שעוד יגיעו. ואנחנו מחסלים את המעבדה הזאת באופן סדרתי על ידי כך שאנחנו מחסלים את היערות שמזינים אותן. דורות על דורות יבכו על זה, וזה בלתי הפיך".

סטמץ מספר על פטרייה בשם פומיטופיסיס הגדלה אך ורק ביערות עתיקים. היא התגלתה בשנת 65 לספירה כטיפול יעיל בשחפת, וגדלה היום רק בחמישה מקומות בארצות הברית. באירופה היא נכחדה כליל. "יצאנו עם צוות מומחים עשרות פעמים ליערות בניסיון למצוא עוד כמה כאלה. אחרי מאמץ רב השגנו דגימה אחת, שהצלחנו לגדל בהצלחה בתרבות. מי יודע כמה אנשים היא עוד תציל בעתיד".

בשנה שעברה הצטרף סטמץ לתוכנית השימור הביולוגית של משרד ההגנה האמריקאי וסייע באיתור ושימור 300 זני פטריות נדירות. "בשלושה מהם מצאנו הגנות טבעיות נגד וירוסים של אבעבועות. ד"ר ארל קרן, כנראה המומחה הכי גדול בעולם לאבעבועות שחורות שעובד במשרד ההגנה האמריקאי, לא האמין למראה עיניו. כל מה שהמעבדות היקרות הפיקו ב-40 השנים האחרונות הפטריות האלה עושות לבד. עכשיו התחלנו למצוא פטריות עם חומר פעיל מאוד נגד שפעת, ומתחילה להיווצר ההסכמה, גם בממשל האמריקאי, ששימור היערות העתיקים הוא כבר אינטרס של ביטחון לאומי".

עוד דבר שהתגלה בשנים האחרונות הוא שאפשר לעשות שימוש בפטריות, באופן מכוון, לניקוי וטיהור אזורים מזהמים. "בניסוי שעשינו אספנו ארבע ערימות של דיזל ופסולת נפל", סיפר סטמץ בהרצאה שהעביר בכנס TED. "ערימה אחת היתה ערימת הביקורת שלנו, בשתי הערימות האחרות שמנו חומרים כימיים וביולוגיים המפרקים אשפה, ועל האחרונה פיזרנו נבגי פטרייה. כשחזרנו חודשיים לאחר מכן גילינו שלוש ערימות כהות ומסריחות ואחת בהירה, עמוסה במאות קילוגרמים של פטריות אויסטר".

"חלק מהחומרים הרעילים הפכו כבר לחומרים אורגניים. וקרה עוד דבר: הפטריות משכו חרקים, שהשריצו ביצים וזחלים, ואז באו הציפורים - וכל הערימה הזאת הפכה לתל ירוק מלא חיים. כשניסו לעשות אותו הדבר בנחלים מזהמים גילינו הפחתה משמעותית בכמות הרעלים. זה בדיוק מסוג הדברים שצריך להמשיך לחקור. ייתכן שכל בעיות הזיהום שלנו יכולות להיפתר באמצעות שימוש בפטריות הנכונות".



## איפה המוח?

אם הפטריות הן אורגניזם מורכב וחכם כל כך, היכן האיבר שבו מתרכזים הנתונים ומתקבלות ההחלטות? במילים אחרות, איפה המוח? אני שואל את פרופ' טושיוקי נקאגאקי את השאלה הזאת, ולרגעים ארוכים יש שקט על הקו. "השאלה הזאת מזכירה לי את השאלה 'מי מנהל את העולם?'", הוא אומר. "ברצינות, האם אתה יכול לתת לי את הטלפון שלו?".

"לבני אדם יש נטייה לחפש את מערכת ההפעלה, איזשהו צומת מרכזי שהכל זורם אליו וממנו", הוא אומר. "זה כנראה משהו שמגיע מהגנטיקה שלנו, לחפש את המנהיג שמקבל את ההחלטות. אבל בעולם הביולוגיה והפיזיקה, ואני חושב שגם בתחומים רבים אחרים, דברים לא עובדים ככה. האם לטוקיו יש מוח מרכזי? לאינטרנט? ומה לגבי מושבות של נמלים וכוורות דבורים? ומי מנהל אלף הולכי רגל על מדרכה אחת בניו יורק? איפה מתקבלות שם ההחלטות?".

יש סיבה שטושיוקי בחר דווקא בדוגמאות הללו. בעשורים האחרונים נחקרות התנהגויותיהם המתואמות של עדרים, נחילי חרקים, להקות דגים והולכי רגל במדרכות עמוסות. כל הקבוצות הללו מפגינות התנהגות מתואמת, כמעט כשל אורגניזם חי אחד, אך בלא תיאום, כוונה או כללים. התופעה אף שימשה בסיס לתיאוריית "חוכמת המונים", שמסבירה איך ממוצע התשובות של פרטים רבים הוא לרוב מדויק ומעמיק מתשובתו של מומחה אחד.

ולפי התיאוריה הזאת, ומקבילותיה בטבע, אותה "חוכמת המונים" או "אינטליגנציה עדרית" היא בינה שאפשר לייחסה רק למבנה הרשת עצמה, לא לאף אחד מהמוחות והתודעות שמרכיבים אותה. אוסף האינסטינקטים של הדגים, שכל אחד מהם מנסה לברוח מהטורף באופן הכי יעיל לו עצמו, של האנשים במדרכות ניו יורק שרק מנסים להציץ מעבר לכתפו של ההולך מולם, ואפילו של אוהדי הכדורגל, שכל אחד מהם חוגג את הגול בדרכו, יוצרים יחד את מה שנראה ככוריאוגרפיה מתוזמרת, מדויקת ורבת-עוצמה.

"אחת ההערכות היא שאצל הפטרייה זה עובד באופן דומה", אומר טושיוקי, "מבחינה ביולוגית טהורה, כל קור מקבל בנפרד אותות כימיים מהסביבה בנוגע ללאן כדאי לו לנוע ומאיפה לברוח. סך האותות האלה יוצרים סוג של מערכת קבלת החלטות. כלומר, האינטליגנציה של הפטרייה היא הרשת. תוסיף לזה מיליוני שנות אבולוציה בתנאים הקשים ביותר כפול מאה ומשהו אלף זנים שונים, ותקבל משהו שהוא, באופן כללי, חייב להיות די חכם".

זהה הסבר שלך לדברים המוזרים שקורים שם?

"זאת התחלה".

# הגביע של המיקולוגים

המירוץ הבלתי אפשרי אחר הכמהין הישראלית

אורן הוברמן 11.08.11

הפטרייה המפורסמת ביותר בעולם היא הכמהין. היא מלווה את התרבות האנושית מימיה הראשונים, ומוזכרת בשמה ובתיאור מדויק שלה במגילות המוקדמות ביותר שנכתבו, אי שם במסופוטמיה של לפני יותר מ-4,000 שנה. בעולם העתיק היא היתה סמל הנהנתנות האולטימטיבי, גם בגלל ריחה יוצא הדופן, וכנראה אפילו יותר משום שכבר אז היתה חריגה בכך שלא שיחקה לידיהם של בני האדם. הכמהין מסתתרת מתחת לאדמה באופן שאינו מותיר אף רמז להיותה שם. היא צומחת באופן אקראי וקשה מאוד לביות.

באיטליה אפשר כיום להשיג כמהין לבנה במחיר ממוצע שנע בין 5,000 ל-10,000 יורו לק"ג. פטריות במשקל מאות גרמים שוות את משקלן ביהלומים. במסעדות פורסים אותה מול עיני הלקוח לפרוסות דקיקות בעזרת גיליוטינה חדה. בעל הבית שולף מאזניים ושוקל בזהירות את הפרוסות. באיטליה נהוג להניח כמה פרוסות כאלה על שתי ביצי עין לוחטות, ולשאוף מלוא הריאות רגע לפני הביס. זאת כמובן דרך משונה להגיש את מזון הגורמה היקר בעולם, אבל שנים של ניסוי וטעייה הוכיחו שאין טובה ממנה. קשה שלא להרהר לרגע באפשרות שהפטרייה הזאת משתעשעת מעט על חשבוננו.

"הכמהין היא הגביע הקדוש של עולם המזון, אין יותר גבוה מזה", אומר חוקר הפטריות הישראלי ד"ר ירון שטרית, "מבחינה מדעית היא מאתגרת במיוחד משום שהיא אחד היצורים העקשנים ביותר שאנחנו מכירים. זאת רק הדרך שלה, או שום דרך".



פטריות כמהין. תורג'מן: "התכוננו נפשית לראות יבולים רק עוד עשר שנים" צילום: איי אף פי

שטרית הוא ראש המעבדה היחידה בישראל, בין מעטות בעולם בכלל, שמנסה לביית פטריות כמהין. זו הרפתקה יומרנית ומלאת חוצפה. היא החלה ברעיון של פרופ' ורדה צור ופרופ' נורית רות בז'רנו, שחיפשו דרך לנצל את אדמות הנגב הצחיחות לגידולים נדירים ועתירי רווח. הכמהין האירופית היקרה, הגדלה במקומות ספורים בעולם, סומנה כמטרה. זה היה הימור

גדול, מהסוג שיכול היה להפוך את ישראל למובילה עולמית בתחום, או לבזבז קריירות שלמות, תקציבי מחקר שמנים ואת זמנם של כל המעורבים.

פטריית הכמהין הטובות נחשבות לכמעט בלתי אפשריות לגידול. אפילו סתם למצוא אותן בסביבתן הטבעית זה עניין שדורש בעלי מקצוע נדירים וכלבי ציד שאומנו כל חייהם לתפקיד. ועדיין, צור ובז'רנו שמרו על אופטימיות. 30 שנות מחקר אינטנסיבי ואלפי ניסיונות הפכו את השתיים למומחיות בעלות שם עולמי בנישה הצרה. המעבדה שלהן באוניברסיטת בן-גוריון צברה מאגר ידע חסר תקדים בהיקפו. אבל הניסוי נכשל. אף לא פטרייה אחת ב-30 שנה. צור ובז'רנו פרשו לגמלאות. "זו היתה תחושה חמצמצה", מתוודה צור.

שטרית, שהיה עד אז חוקר צמחים, הסכים ליטול את המושכות תמורת הבטחה שהשתיים ימשיכו לייעץ לו עד יומן האחרון. האדמה נותרה צחיחה, עד שלפני שנתיים צצה באחת מחלקות הניסוי פטריית כמהין אירופית קיצית - הפטרייה השלישית באיכותה בעולם. ואז עוד שתיים. ואחר כך עשרות רבות נוספות. מחיר ק"ג כמהין קיצית נע באירופה סביב אלף יורו לק"ג. "מכיר את סיפור הילדים שנקרא 'זרע של צנונית'?", שואלת צור. "זה סיפור ילדים חביב על ילד ששם באדמה זרע של צנונית והשקה אותו, אבל כולם אמרו לו שהצנונית בחיים לא תגדל. אמא שלו אמרה לו לוותר, אבא שלו אמר שאין סיכוי והחברים שלו מבית הספר אמרו לו שחבל על הזמן. אבל הוא המשיך, ויום אחד יצאה משם צנונית. ככה הרגשתי ביום שקיבלתי את הטלפון מירון. היו לי דמעות בעיניים", היא אומרת.

"אני לא יודע כמה שכל וכמה מזל היה בזה, אבל היום אנחנו יודעים איך לייצר בישראל כמהין קיציות בכמויות יפות", אומר שטרית. עכשיו הפרויקט הגדול הוא לנסות להגדיל את היבול גם בפטריית הכמהין המדבריות - זן נחות וזול יותר של הכמהין, אך כזה הנהנה משוק גדול יותר.

במעבדה של שטרית אני פוגש את הדוקטורנט תדהר תורג'מן. תורג'מן עובד בשלוש השנים האחרונות על מחקר פורץ דרך על מערכת היחסים הייחודית בין פטריית הכמהין לשיח הפונדקאי שלה. בכמהין הוא מתעניין עוד מימיו כנער. "בבתים מרוקאיים מוסיפים כמהין לתבשילים בחגים מסוימים, כמו פסח ופורים, ואצלנו תמיד היו מדברים על זה סביב השולחן. יש המון מסתורין סביב הסיבה להופעת גופי הפרי, וחשבתי שזה יהיה מדהים אם אצליח לגלות את הסיפור".

שטרית ותדהר ביצעו בשנתיים האחרונות עשרות ניסויים לביות הכמהין המדברית בחממה הקטנה בבאר שבע. "זה מדע, אבל זה מרגיש יותר כמו יריות באפלה. כמות המשתנים שיכולים להשפיע על העניין היא אינסופית", אומר תדהר.

לאחרונה, אחרי ששינעו לאוניברסיטה שתי משאיות מלאות חול מאזור הנגב המערבי ושתלו שם את הפטריית והצמחים, החלו לצוץ בשטח הניסוי כמה פטריית כמהין מדבריות ראשונות. "כשאתה מגדל כמהין, אתה מביא בחשבון שייקח לה בין שלוש לעשר שנים לגדל גופי פרי. הכנו את עצמנו נפשית, ואז למרבה ההפתעה בתוך שבעה חודשים יצאו כמה פטרייות. מאז הן לא חזרו. זה עולם מוזר שם בחוץ".