

מיקוריזה: שיתוף-פעולה תת-קרקעי

מאת חיים קריקון, ריימונד ברק, ליביו ליבסקו, המחלקה לפתולוגיה של צמחים, גילת ג'רי האס, המחלקה לפתולוגיה של צמחים, מרכז וולקני

יצחק שפיגל, המחלקה לנמטולוגיה מינהל המחקר החקלאי*

(3) *Arbuscles*. אלה הם גופי תפטיר, החודרים דרך דופן התא ונלחצים כנגד הציטופלסמה שלו. דרך מבנה מיוחד זה מקבלת הפטריה מזון מתאי הצמח, כגון חומצות-אמינו וסוכרים, ומשחררת לשורש זרחן ו עוד יסודות. הגופים הם קצרי חיים: ימים אחדים בלבד.

(4) *Vesicles*. אלה הם גופים, הנוצרים בשלבי התפתחות מאוחרים יותר, והם עשירים בחמרי תשמורת.

כל הגופים האלה מחוברים לקורי תפטיר, היוצאים מהשורש ופעילים בקליטת זרחן, ובמקרים מסוימים יתכן שגם קולטים אבץ, נחושת וכדול.

למרות נסיונות רבים של חוקרים בתחום זה, עדיין לא ידועה קרקע מזון מלאכותי שעליה אנו מסוגלים לגדל את הפטריה לזמן ארוך. בקרקעות מזון אנו מסוגלים לקבל נביטת נבנים וגדילה מוגבלת, אך אין אפשרות לקיים את מחזור החיים של הפטריה, אלא יש צורך בתאים חיים.

תפקיד הקשר המיקוריטי בטבע

התפקיד העיקרי שנמצא עד כה בקשר הסימביוטי — הוא סיוע לצמחים עילאיים לקלוט זרחן. בניסויים רבים הוכח, שצמחים שגודלו ללא פטריות — ננסיים בהשוואה לצמחים שגדלו עם הפטריה באותם תנאים מבוקרים, והיסוד שהיה חסר ברקמות הצמחים הננסיים היה זרחן. בניסויים דומים נמצא, כי תוספות זרחן עשויות לשפר את מצב הצמח או לכטל לגמרי את הצורך בפטריות המיקוריה, תלוי בסוג הקרקע. כדי להבין את משמעות הנאמר יש להיות ערים לעובדה, שכין היסודות העיקריים שהצמח זקוק להם — חנקן, אשלגן וזרחן — האחרון בולט בכמותו הקטנה בקרקעות כדור הארץ. בנוסף, בין שלושת יסודות אלה, הזרחן הוא הקשור ביותר, כימית ופיזית, ליסודות ולחלקיקים אחרים בקרקע. הדבר גורם לו להיות בלתי קליל לשרשי צמחים, בהשוואה ליסודות אחרים.

כיום יש הסבר כפול לגבי יעילות הפטריה: (א) הפטריות מגדילות בהרבה את שטח הפנים של שרשי הצמחים לשם קליטת זרחן; (ב) קורי התפטיר מתפשטים למרחק גדול בהרבה בהשוואה לשעורות

במאמר זה מתואר הקשר הסימביוטי בין שרשי צמחים לפטריה קרקע מסוימות, הידועות כמיקוריזה. כמו כן מתוארים המבנים המורפולוגיים של הפטריה ביחס לשורש. נדונה חשיבות הסימביוזה המיקוריטית בטבע ובחקלאות.

הקשר הסימביוטי — מהו?

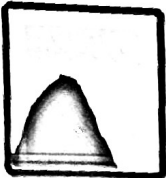
פרדוכס מעניין הוא, שבעשורים של התפתחות הידע בביווגיה מולקולרית ובהנדסה גנטית — ידוע כה מעט על אודות הקשר הסימביוטי הנפוץ ביותר בטבע. הכוונה היא לקשר בין קבוצה קטנה של פטריות קרקע לבין 80% מהצמחים הגדלים על הקרקע, הסימביוזה האנדו-מיקוריטית. לשם הבהרה ראוי להוסיף, שכרבים מן הצמחים האחרים, בעיקר עצים וצמחים שביער, יש יחס סימביוטי אחר, עם מגוון פטריות גדול בהרבה, יחס אקטו-מיקוריטי. מאמר זה יתייחס רק ליחס הראשון — אנדו-מיקוריטי.

בסימביוזה זו משתתפים 80 — 90 מינים (30 סוגי נבנים) הנמנים עם משפחת *Endogonaceae*. פטריות אלה אינן ברניות בסוג הצמחים שמהם הן מקיימות יחסים סימביוטיים. הן אותרו ביותר מאלף סוגי צמחים מ-200 משפחות, בקירוב.

הקשר מורכב מיחסים הדוקים בין מבנים פטרייתיים מסוימים לבין תאים קורטיקליים בשרשי הצמחים. הפטריה מייצרת ארבעה סוגי מבנים, כלהלן:

- (1) נבג. זהו גוף בר-קיימא של הפטריה, היכול להישאר בקרקע זמן ממושך ובתנאים קשים. הוא נוצר בסוף מחזור החיים. בדרך-כלל, הוא עגול-גלובסי ובעל דופן עבה. קטרו נע, בהתאם למין, בין 35 ל-500 מיקרונים (מיקרון = אלפית מ"מ).
- (2) תפטיר. כרוב הפטריות, זהו שלב התפתחות של הפטריה. נביטת הנבג ליד שרשים גורמת התפתחות תפטיר, העובר בין תאי הקורטקס של השורש.

* פירסום של מינהל המחקר החקלאי, סדרה ה' 1983, מס' 1418. מחקר זה נתמך מאת הקרן למחקר ופיתוח חקלאי ארה"ב — ישראל (קמ"ח), מס' I-160-80.



הראשונה היא, שפטירות מיקוריות נפוצות רק באזורים שבהם קיימת צמיחה רבה. עם התפשטות החקלאות לאזורים שחונים, על-די הבאת מים והשקיה — יש צורך להתחשב בעובדת חוסר מיקוריות או כמות מעטה שלה במקומות אלה. חשוב להבין נקודה זו, שכן בהעדר מיקוריות ייכשלו גידולים רבים בקרקעות אלו, גם אם יזכו בהשקיה ובדישון ברמות רגילות. באזורים אלה חשוב לעודד התרבות מיקוריות — על-ידי גידול צמחים בעלי מערכות שרשים מפותחות, כגון חיטה ושעורה, ורק אחר-כך אפשר לגדל צמחים ששרשיהם מפותחים פחות (כגון ירקות שונים), ואלה יקיימו קשר סימביוטי עם המיקוריות שהתרבתה בקרקע בעקבות גדול הדגנים. השנייה היא, שמלבד זה שעלולה להיות מיקוריות מועטה בקרקעות שונות — החבר שיש הבדלים משמעותיים בהשפעת מיני מיקוריות שונים על אותו גידול בקרקעות שונות. בעבודה שנעשתה בזמן האחרון מצאנו, כי מיני מיקוריות שונים מארבעה אזורים בגב השפיעו באופן שונה על גדילת פלפל. מכאן, שלא כל סוג מיקוריות יהיה טוב לכל גידול וגידול, ויש ללמוד דבר זה היטב. מכיון שהמיקוריות דורשת הרבה מהצמח, עלול להווצר מצב שבמקום שהוא תעודד גידול — היא תדכא. מצב כזה, כפי שעולה מההסבר, עלול להווצר אם סוג המיקוריות המסוים אינו מתאים לקרקע ולגידול שבהם הוא נמצא.

השלישית היא, שחוסר מיקוריות עלול להיגרם מחיטוי קרקע. בחקלאות המודרנית, בייחוד בישראל, יש הצטברות מתוללית מחלות קרקע, בשל אינטנסיביות הגידולים. אחת הדרכים הנפוצות להתגבר על הבעיה — היא חיטוי קרקע. בטיפולים אלה משמידים את הפטריות הטפיליות, אך בריזמנית קוטלים את הפטריות המיקוריות. בגידולים מסוימים אין חשיבות רבה להעדר מיקוריות; אך באחרים, כגון פלפל, בצל וכרפס בקרקעות מסוימות, אין אפשרות לפצות על העדר מיקוריות גם בעזרת כמויות גדולות של סופרפוספט. בטבלה 1 — תוצאות ניסוי בנידון זה.

שעל השורש, ומאפשרים בכך קליטת חמרים מגפח קרקע גדול בהרבה. הוכח, שהעברת הזרחן בתוך התפטיר היא בצורת חלקיקי פוליפוספט.

בניגוד ליחסי גומלין בירניים מאוד בין פטריות טפיליות לפונדקאיהן — יכולה פטריה מיקורית אחת ליצור יחסי גומלין עם מאות ואולי אלפי מיני צמחים. לכן, מין מסוים של פטריה כזאת בגב יכול לבסס יחס סימביוטי עם הדריס, אבוקדו, חיטה, עשב סודני, פלפל, כרפס, בצל, מילון וחמניות. חוסר בירנות זה חשוב מאוד לקיום הפטריה, וכמובן — לצמיח החיים עמה; מכיון שיש תחלופת צמחים בטבע ובחקלאות לפי עונות, וטוב שאותה פטריה יכולה לקיים יחס סימביוטי עם כולם. לכן, נבגים שנצרכו על צמח אחד תותרו בקרקע כמותו — יכולים להדביק צמחים המובאים לאותו איזור בדרכים טבעיות או הנורעים ביד אדם.

דוגמה אפשר למצוא בקרקע חול-דיונה שיושרה בתחנת-ניסיונות אזורית רמת-הנגב. תכולת הזרחן בקרקע היתה מעטה ביותר (0.2 חלקי-מיליון), ונמצא בה מין מיקוריות מסוים על צמחי בר. נזרעו שעורה וכותנה בזו אחר זו, וחלק מהצמחים הודבקו בפטריה, שפירורה לא היה אחיד. אלה שלא הודבקו היו ננסיים בהשוואה למדוכים קים, ונמצא גם שצמחי הבר באיזור דל-זרחן זה היו מדוכים בפטריות מיקוריות.

בקרקעות בלתי מעובדות, שאינן מקבלות תוספת דשנים, בעיקר זרחן — חשיבות המיקוריות רבה יותר, ונראה שהיא הגורם המאפשר התבססות צמחים בהן. הדבר חשוב בייחוד לגבי עצי יער, וכדאי להזכיר שוב, שברכים מהם יש גם יחסי אקטו-מיקוריות.

תפקיד הקשר המיקוריטי בחקלאות

בהתייחסות להשפעות ישירות בחקלאות אפשר לשאול: אם פטריות המיקוריות מפוזרות כה הרבה בקרקע — מדוע אנו חוקרים בעניין זה? יש כמה תשובות לשאלה זו.

טבלה 1. השפעת אידוי במתיל-ברומיד על משקל יכול לצמח, בגרמים, של כרפס, פלפל ובצל, ועל אחוז זרחן בחומר יבש, בארבע רמות זרחן בקרקע.

רמת הזרחן ¹	כרפס				פלפל		בצל	
	סה"כ		יבול מסחרי		מחוטא	לא מחוטא	מחוטא	לא מחוטא
	מחוטא	לא מחוטא	מחוטא	לא מחוטא				
משקל יבול לצמח, גרמים								
P ₀	116	1,569	0	620	18	620	27	90
P ₁	533	1,563	0	572	58	670	36	85
P ₂	665	1,763	0	636	59	697	41	85
P ₃	754	1,655	0	599	75	748	49	91
אחוז זרחן בחומר יבש								
P ₀	0.07	0.18			0.09	0.21	0.06	0.13
P ₁	0.13	0.20			0.11	0.23	0.06	0.21
P ₂	0.13	0.29			0.12	0.23	0.08	0.17
P ₃	0.12	0.20			0.12	0.27	0.09	0.16

P₀, P₁, P₂, P₃ = ללא תוספת זרחן. 100, 200 ו-300 ק"ג/ד' סופרפוספט, לפי אותו דבר.

(חמשך בעמוד הבא)

מיקוריזה: שיתוף-פעולה תת-קרקעי

(המשך מעמוד קודם)

כפי שאפשר להוכיח מהטבלה, תוספת זרחן שיפרה את המצב בחלקות המטופלות, אך לא די לקבלת יכול בקנה-מידה מסחרי. ההסבר לחוסר הצלחה זה נעוץ בכך, שהזרחן נספח בצורה מהירה וחזקה ביותר לחלקיקי הקרקע שבה נעשה הניסוי, ולכן אינו קליט לצמח הגדל בהעדר מיקוריזה. ראוי לציין, שגם חמרי הדברה אחרים הניתנים לקרקע עלולים להשפיע לרעה על הסימביוזה המיקוריטית. כפי שהוזכר לעיל, נמצא שבקרקעות מסוימות אין סופרפוספט יעיל במקרי חוסר מיקוריזה לגידולים מסוימים. שיטה הננקטת בזמן האחרון היא החדרת זרחן לקרקע על-ידי הכנסת מנות מפוצלות של חומצה זרחתית למערכת הטפטוף. שיטה זו נבדקה בזמן האחרון בשתי קרקעות בעלות ספיחת זרחן מרובה — ונמצאה יעילה. כעת נמשכים מחקרים וניסויים בכיוון של נקיטת שיטה זו.

MYCORRHIZA: COOPERATION UNDERGROUND

J. Krikun¹, R. Barak², L. Livescu¹, J. Haas² and Y. Spiegel³

The mycorrhizal association and its effect on phosphorus uptake and plant growth are described. Lack of natural inoculum, as in desert areas; or its kill by soil fumigation are considered, especially in high P sorbing soils. The effect of methyl bromide fumigation in P uptake and plant yield, at four soil P levels on celery, pepper and onion, are presented as examples of mycorrhizal kill effects. It was shown that at the lowest soil P level, mycorrhizal plants outyielded non-mycorrhizal plants grown at the highest P level. Analysis of tissues showed that the P concentration was about twice as much in the mycorrhizal plants as compared to the non-mycorrhizal ones.

¹ Dept. of plant Pathology, Gilat Experimental Station.

² Dept. of Plant Pathology and ³ Dept. of Nematology, the Agricultural Research Organization, Volcani Center.