

שאלה:

הקקטוסים — מי הם ומה הם?

יפתח בירן, ירושלים

תשובה:

התשובה הפשוטנית לשאלה תהיה: אלה הם צמחים השייכים למשפחת הקקטוסיים (Cactaceae), הגדלים ברמדבריות אמריקה הצפונית, אמריקה המרכזית ואמריקה הדרומית. מאז גיי לוי אמריקה הופצו בני משפחה זו כצמחי-נוי וכצמחים לגדר-חיה לשאר חלקי העולם. עתה יתברר לישראל, הגאה בהיותו "צבר", כלומר יליד-הארץ, כי הצבר עצמו, אותו צמח-גדרות ממשפחת הקקטוסיים, אינו יליד הארץ אלא עולה חדש!

המגוון הגדול ביותר של בני משפחת הקקטוסיים נמצא במדבריות אמריקה, אך לא רק בהם. באיזור לח, יחסית, קטן מספר מיני הקקטוסים, ואילו באיזור שחון רב מספרם בנוף הצמחי. במלים אחרות, משפחה זו מותאמת לתנאי המדבר. תנאי הסביבה הקשים במדבר מתבטאים במיעוט מים ובאי-סדירות בירידת הגשמים. כלל הוא, שככל שכ-מות הגשם במדבר נמוכה, סדירותו קטנה ואין ודאות שאכן ירד גשם בש-נה או בעונה מסוימת. כיצד מותאמים הקקטוסים לתנאי היובש?

אחת הבעיות הקשות של צמחי המדבר היא, שהם מאבדים מים יקרים בשעה שהם פותחים את הפיוניות כדי לקלוט פחמן-דו-חמצני. אצל מרבית משפחות

הצמחים נעשית פתיחת הפיוניות במ-שך היום — ואילו לבני הקקטוסים יש מנגנון הטמעה שונה. צמחים ממשפחת הקקטוסיים פותחים את הפיוניות וקול-טים פחמן-דו-חמצני בשעות הלילה הק-רירות, ומבצעים את תהליך ההטמעה במשך שעות היום. כאשר הצמח סוגר את הפיוניות שלו, איבוד המים שלו דרך הקוטיקולה* המכסה את הדופן החיצוני של תאי האפידרמיס**, הוא אפסי. הפחמן-דו-חמצני, הנפלט בש-עות היום בתהליכי הנשימה, נקבע בתוך הצמח עצמו מבלי שהצמח פותח את הפיוניות ופולט אותו. במרבית צמחי הקקטוסים, העלים מנוונים לקו-צים זעירים. מה שנראה לנו כעלים גדולים ותפוחים, הם לאמיתו של דבר גבעולים, שתפקידם אינו רק תמיכה בצמח, אלא גם הטמעה ואגירת מים.

בחתך רוחב דרך גבעול טיפוסי של צמח כזה נראה, בחלקו החיצוני, שכ-בת אפידרמיס עבה, שכבה של תאים ירוקים המתפקדים בהטמעה, ושכבה עבה של תאים אוגרי מים שממדיהם גדולים משל שאר התאים, ובמרכז הגבעול — רקמת הובלה* (רקמה המ-כילה מערכת של "צינורות" להובלת מים, מינרלים ומוטמעים). התאים של הרקמה אוגרת המים, הם בעלי דפנות

- * הקוטיקולה היא שכבה של חומר שעוותי, בלתי חדיר כמעט למים.
 - ** אפידרמיס — שכבות התאים החי-צוניות של צמחים ובעלי-חיים.
- בצמחים האפידרמיס עשוי לרוב שכבת תאים אחת.

מלי, וזוהי של המזון, וח הפעולה עלינו לז- כל חלקיק ח שהמזון מזנק אל יות האור, ק זה אינו לנו עקרון-צמית של אול בערך.

(גי'אול).

ת ≈ Δz

הזה, אם האור C, ס"מ בש-ז"מ בקי-קורב של

י בתהלי-ים פוטו-ידי חל-ידי פו-כן טוח אינסופי. כל להת-מי-הוור-י וירטו-(מלא-ו טיב):

Handwritten note: 3349 (9-10) 29-30 (979)

קולט מעט מים מהתעבות הטל על גבי האבנים ופורח לעתים נדירות, אך הוא חי וקיים מתחת לאבנים. ייתכן כי הוא נובט אחת לכמה שנים, כאשר יורד גשם יעיל, ואוגר בגבעולו הסמוך לפני הקרקע כמות של מים המאפשרת לו את קיומו. בנצלו את מעט הטל הוא אוגר לו, לאט לאט, כמות של מים וחומרי מזון המאפשרים לו לפרוח כעבור שנים אחדות ולהפיץ את זרעיו, המתפתחים לצמחים חדשים בזמן המתאים.

מינים רבים אחרים של קקטוסים גדלים בנופים גשומים יותר, ומגיעים לגובה של 10 מ' ויותר, כפי שהראה וולט דיסני בסרטו "המדבר המתעורר" (תמונה מס' 1). במדבריות אמריקה יש מגוון עצום של מיני קקטוסים, השונים זה מזה בממדיהם ובצורתם החיצונית, ועל כך רבה שמחתם של אספני הקקטוסים. גם בין חובבי הקקטוסים בישראל יש, בוודאי, בכל עיר אספן מושבע, המתחרה בחו"כים האחרים על התואר — "בעל הקקטוסיה הגדולה ביותר ב...".

תושבי אמריקה המרכזית מכינים מפירות הקקטוס המטפס משקה ערב שטעמו מיוחד, וגלידה מיוחדת ("פיט-איה"), שצבעם סגול עמוק. קקטוס זה נובט על הקרקע ליד עצים והוא מופץ למרחקים על-ידי ציפורים הנמשכות אל הפרי, הבולט בצבעו האדום. לגבי עול יש שורשי הדבקה, דוגמת השורש שים של הקיכוס המטפס על קירות ועל עצי-חורש בארצנו. הוא מסתעף על הצמח התומך, וברבות השנים מצויה כל המסה של הקקטוס על העץ התומך, ולעתים אף מבלי שיהיה לו חיבור לאדמה. שורשי הקקטוס, הצמודים אל גזע העץ, קולטים מים מקליפת הגזע ברדת הגשמים. למעשה, צמחים כאלה נדחקים על-ידי מתחריהם מהקרקע העשירה במים, אל הגזע, שבו המים מועטים ורק צמחים בודדים מסוגלים לנצלם. גם ביער הטרופי, שכמות המשקעים השנתית הממוצעת בו היא 3,000 מ"מ, יש קקטוסים הגדלים על גזעי עצים.

צורת התאמה של צמחים לתנאי מדבר, כשהגבעולים העבים ממלאים את תפקיד ההטמעה ואגירת המים, מצויה לא רק במשפחת הקקטוסיים אלא גם במשפחות אחרות: חלבוביים, מורכביים, טבוריתיים ואסקלפיים.

בארצנו — בהרי יהודה, במדבר יהודה, בנגב ובסיני, גדלים בר צמחים סוקרי לנטיים (אוגרי מים, בשרניים), הדור-



תמונה מס' 1: Saguaro — קקטוס ממדבריות דרום מערב ארה"ב — יכול להגיע לגובה של יותר מ-15 מטרים, להכיל מאות ליטרים של מים ולחיות 200 שנה ויותר



תמונה מס' 2: אצבוע

העשויות להתקפל כמפוחית; כשיש לצמח מים הם מתנפחים כשלפוחיות לממדיהם המרביים. כך יש לצמח הקקטוס מאגר מים פנימי, המוקף במעטה אטום, המונע איבוד מים על-ידי התאיידות ישירה. אחר ממיני הקקטוסים טוסיים הוחזק בארון תצוגה במוזיאון, מנותק מהקרקע ומאספקת מים כלשהי במשך שש שנים (!) ולא מת, הודות למנגנונים שמנינו. הוא איבד רק חלק מזער ממשקלו מדי יום; להשוואה — מרידות דיות* שנערכו בעמק הערבה על-ידי זהרי ואורשן הראו, כי העלים של עץ השיטה מאבדים במשך כשעה כמות מים השווה למשקלם ועל כן, אין השיטה מסוגלת להתקיים אם אין לה די מים בבית השורשים. הקקטוסים מותאמים לקיום במדבר על-ידי מערכת אגירת המים ומערכת איטום הצמח. כאשר יורד גשם בבית גידולם המדברי, הם קולטים כמות רבה של מים וממלאים את המאגר שבגופם. ואם לפני תוספת המים נראה הצמח מקומט ומצומק, הרי משקלט מים הוא תופח. כיוון שתאי רקמת המים התמלאו. למרבית הקקטוסיים יש מערכת שורשים שטחית, ועל כן גם הרטבה שטחית של הסביבה שבה הם גדלים מאפשרת להם לנצל את המים ולהנות מהם במשך חודשים רבים אחר-כך. זהו מנגנון מופלא של קליטת מים במשך זמן קצר וקיום הצמח במשך זמן רב לאחר מכן, בין אם יורד גשם ובין אם לא. צמחים חד-שנתיים הגדלים בארצנו, תלויים בפריחתם במידה רבה בכמות הגשם — אם אין גשם הם אינם צומחים ופרחיהם אינם נגלים לעין. המרבה לטייל במדבר מודע, בוודאי, להבדל בין שנה טובה, עתירת פרחים, לבין שנה שחונה, שבה אין רואים פריחה. בעיה כזאת אינה קיימת אצל הקקטוסיים: קצב חייהם קבוע ורבים מהם פורחים אף ללא קשר לכמות הגשם היורדת באיזור, כמובן, לא כל מיני הקקטוסיים גדלים בכל מקום, ויש מינים המותאמים ליובש יותר מאחרים. בכינוס הבינלאומי לאקולוגיה, שהתקיים בירושלים בספטמבר 1978, סיפר אחד החוקרים על קקטוס, הגדל לחוף האוקיינוס השקט באחת מארצות אמריקה הדרומית, מקום שיורד בו גשם אחת לכמה שנים. אותו קקטוס גדל בעומק של 2—3 ס"מ מתחת לחצץ דק. הצמח

* דיות (טרנספירציה) היא איבוד אדי מים על-ידי הצמח, בעיקר דרך הפיוניות.

30/10/20

20 מ"מ

מים לבני משפחת הקקטוסיים והם שייכים לסוג אצבוע (ממשפחת האסקי-לפיים). רבים מבני הסוג הזה גדלים באפריקה הדרומית. בארץ יש מספר מינים של אצבוע; זה הגדל בחבל הים התיכון על סלעים ומצוקים (בעיקר אלה הפונים דרומה), הוא אצבוע אירופי; זה הגדל בנגב ובסיני וגבעות ליו עבים בחלקם העליון כמעט כמו הגבעול עצמו — הוא אצבוע הנגב (תמונה מס' 2). אצבוע סיני גדל בסיני, בנגב הדרומי ובבקעת ים המלח, וענפיו הדקים — דקים, והולכים כלפי מעלה. אצבוע הנגב גדל בסדקים של משטחי סלע ומצוקים — בעיקר קר באלה הפונים דרומה. בסדקים אלה הוא קולט תוספת מים ולפי מחקר המערכת, עד כדי תוספת או חיסרון של מזון.

המזון הזה הוא מזון וירטואלי, וזהו דוגמה לחלקיק וירטואלי.

אגב, מתוך ידיעת המסה של המזון, אנו יכולים להעריך מהו טוחח הפעולה של הכוח הגרעיני. לשם כך עלינו לזכור, שהמהירות המרבית של כל חלקיק היא מהירות האור. אם נניח שהמזון הנוצר על-ידי הנייטרון, מזנק אל הפרוטון ונבלע בו במהירות האור, בקירוב, נוכל להניח שמרחק זה אינו גדול בהרבה מזה שמרשה לנו עקרון אי-הוודאות. האנרגיה העצמית של המזון שווה ל- 2.2×10^{-11} ג'אול בערך. כדי שתתקיים המשוואה

$$\Delta t = \Delta z \times (שנייה) \times 2.2 \times 10^{-11} \text{ ג'אול},$$

$$10^{-34} \text{ ג'אול} \times \text{שנייה}$$

עלינו להניח: 4.5×10^{-24} שניות $\approx \Delta t$.

המרחק שהמזון יעבור בזמן הזה, אם מהירותו קרובה למהירות האור C , שערכו הוא, לערך, 3×10^{10} ס"מ בשנייה, שווה ל- 1.4×10^{-13} ס"מ בקירוב. זהו טוחח פעולתו המקורב של הכוח הגרעיני.

ראינו קודם, שאפשר להניח כי בתהליכים כים אלקטרומגנטיים משתתפים פוטונים וירטואליים, הנוצרים על-ידי חלקיקים טעונים, או נבלעים על-ידי פוטונים חסרי מסת-מנוחה, ועל כן טוחח הכוח האלקטרומגנטי יהיה אינסופי. אף במרחקים גדולים מאוד נוכל להתקרב למינימום האפשרי של אי-הוודאות על-ידי העברת פוטונים וירטואליים.

משמעות המלה וירטואלי (מלא-טינית: virtus — כוח או טיב): דבר אפשרי, שכוח.

דיהם של אבן-ארי וחבריו בהי הנגב, הוא גם מוגן שם מפני קרינת השמש. לאצבוע הנגב יש מנגנון הטמעה הדו-מה לזה שתארנו במשפחת הקקטוסיים — איטום מלא של הגבעול ופתיחת פיוניות בשעות הלילה. כדי לבדוק את עמידותו של הצמח בתנאי יובש, הדו-מים לאלה שתוארו בספרות לגבי קקטוס שחי שש שנים בלא תוספת מים, בחנתי את אצבוע הנגב, שנלקח לא הרחק מגבעת צפית, מזרחית לדימונה בואכה סדום. הגבעול המצולם כאן (תמונה מס' 2), נותר חי במשך שנה שלמה ואיבד, בממוצע, כ-5 אלפיות ממשקלו ביום. משקלו של ענף זה הגיע ל-36.2% ממשקלו ההתחלתי — שנה לאחר הבדיקה. לאחר שתילתו

שאלה:

הקקטוסים — מי הם ומה הם?

יפתח ביות, ירושלים

תשובה:

התשובה הפשוטית לשאלה תהיה: אלה הם צמחים השייכים למשפחת הקקטוסיים (Cactaceae), הגדלים ברמדבריות אמריקה הצפונית, אמריקה המרכזית ואמריקה הדרומית. מאז גילו אמריקה הופצו בני משפחה זו כצמחי-נוי וכצמחים לגדר-חיה לשאר חלקי העולם. עתה יתברר לישראל, הגאה בהיותו "צבר", כלומר יליד-ארץ, כי הצבר עצמו, אותו צמח-גדרות ממשפחת הקקטוסיים, אינו יליד-ארץ אלא עולה חדש!

המגוון הגדול ביותר של בני משפחת הקקטוסיים נמצא במדבריות אמריקה, אך לא רק בהם. באיזור לח, יחסית, קטן מספר מיני הקקטוסים, ואילו באיזור שחון רב מספרם בנוף הצמחי. במלים אחרות, משפחה זו מותאמת לתנאי המדבר. תנאי הסביבה הקשים במדבר מתבטאים במיעוט מים ובאי-סדירות בירידת הגשמים. כלל הוא, שככל שכמות הגשם במדבר נמוכה, סדירותו קטנה ואין ודאות שאכן ירד גשם בשנה או בעונה מסוימת. כיצד מותאמים הקקטוסים לתנאי היובש?

אחת הבעיות הקשות של צמחי המדבר היא, שהם מאבדים מים יקרים בשעה שהם פותחים את הפיוניות כדי לקלוט פחמן-דו-חמצני. אצל מרבית משפחות

בעציץ, חזר הצמח לחיות מלאה, ליב-לב ועיתת ענפים חדשים. אנו למדים מכך, שהאצבוע מסוגל לעמוד בתקופות יובש ארוכות, וכמו הקקטוסיים, הוא עושה זאת בזכות מאגר מים גדול, אפידרמיס אטום ושמירה על מאגר מים מוגן, המאפשר לו קיום, פריחה והבשלת פירות וזרעים אף כאשר הגשם אינו סדיר. אצבוע סיני יכול להיחשב "גיבור מדבר" גדול עוד יותר, כיוון שהוא גדל במדרונות דרומיים שאינם סלעיים ואינם מוצלים ועל אף זאת — יוצר גושי צמחים גדולים וצפופים.

ד"ר אבינועם דנין
המחלקה לבוטניקה
האוניברסיטה העברית בירושלים

47

הצמחים נעשית פתיחת הפיוניות במשך היום — ואילו לבני הקקטוסים יש מנגנון הטמעה שונה. צמחים ממשפחת הקקטוסיים פותחים את הפיוניות וקולטים פחמן-דו-חמצני בשעות הלילה הקרירות, ומבצעים את תהליך ההטמעה במשך שעות היום. כאשר הצמח סוגר את הפיוניות שלו, איבוד המים שלו דרך הקוטיקולה* המכסה את הדופן החיצוני של תאי האפידרמיס**, הוא אפסי. הפחמן-דו-חמצני, הנפלט בשעות היום בתהליכי הנשימה, נקבע בתוך הצמח עצמו מבלי שהצמח פותח את הפיוניות ופולט אותן. במרבית צמחי הקקטוסים, העלים מנוונים לקורצים זעירים. מה שנראה לנו כעלים גדולים ותפוחים, הם לאמיתו של דבר גבעולים, שתפקידם אינו רק תמיכה בצמח, אלא גם הטמעה ואגירת מים.

בחתך רוחב דרך גבעול טיפוסי של צמח כזה נראה, בחלקו החיצוני, שכבת אפידרמיס עבה, שכבה של תאים ירוקים המתפקדים בהטמעה, ושכבה עבה של תאים אוגרי מים שממדיהם גדולים משל שאר התאים, ובמרכז הגבעול — רקמת הובלה* (רקמה המכילה מערכת של "צינורות" להובלת מים, מינרלים ומוטמעים). התאים של הרקמה אוגרת המים, הם בעלי דפנות

* הקוטיקולה היא שכבה של חומר שעוותי, בלתי חדיר כמעט למים.
** אפידרמיס — שכבות התאים החיצוניות של צמחים ובעלי-חיים. בצמחים האפידרמיס עשוי לרוב שכבת תאים אחת.