

הַאֲבָקָה: הַסְּפּוֹר הַמְּלִיא

Pollination Unveiled التلقيح

אוצרת: מיכל קרסני אוצר מדעי: ד"ר זוהר ינאי



The Museum is the Butterfly

מבית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

בית המדע לבוטניקה

הרמוניה בטבע
انسجام في الطبيعة
Harmony in nature



תוכן העניינים

4.....	האבקה: הסיפור המלא - מבט אוצרותי
9	האבקה כאשנב למחקר
15	האבקה: הסיפור המלא
33	אשליית הגמול: כיצד פרחים מרמים חרקים?
43	עולם ההאבקה הישראלי: עבר, הווה ועתיד
47	תרומת חקר גרגרי אבקת פרחים למחקר הארכיאולוגי
51	קרדיטים ותודות

האבקה: הסיפור המלא מבט אוצרותי

מיכל קרסני
אוצרת התערוכה

התערוכה "האבקה: הסיפור המלא" נולדה מתוך הרצון להציג את סיפור ההאבקה כתהליך ביולוגי מרכזי במערכות אקולוגיות; גם, ואולי בעיקר, בשל העובדה שהוא לא תמיד נראה לעין. ההאבקה מתרחשת בשולי התודעה של רובנו, על אף שתוצאותיה נוכחות באופן יומיומי על שולחנו ובנופים המקיפים אותנו. הפער הזה, בין חשיבותה המכרעת של ההאבקה ובין שקיפותה, נתן לתערוכה משנה תוקף ורלוונטיות והפך את תהליך העבודה על התערוכה למרתק.

כתערוכה מתחלפת במוזיאון הטבע, התערוכה מציגה ממצאים, נתונים ותצפיות, המדגימים את יחסי הגומלין המורכבים בין צמחים למאביקים. אולם כבר בשלבי התכנון הראשונים התברר כי הצגה אינפורמטיבית בלבד לא תוכל לשקף באופן מלא את מהות היחסים, וכי לא נוכל להסתפק בהסברים על אודות מנגנון העברת גרגרי האבקה; יהיה עלינו לעשות הכול על מנת להעביר בדרך חזותית, אסתטית ומעניינת את העובדה שמדובר ברשת דינמית של יחסים, תלות הדדית, התאמות אבולוציוניות ומגוון ביולוגי רחב היקף, ובעיקר שמדובר באחד התהליכים היפים, המרתקים, הרומנטיים והססגוניים ביותר בטבע.

בעבודתי המשותפת עם האוצר המדעי של התערוכה, **ד"ר זוהר ינאי**, בחרנו להרחיב את נקודת המבט ככל האפשר. כך, במקום להתמקד במאביק אחד מוכר כסמל, דבורת הדבש למשל, ביקשנו להציג את ריבוי השחקנים במערכת: מגוון חרקים לצד יונקים, פרחי ארץ ישראל לצד סחלב אקזוטי ממדגסקר, האבקה המונעת על ידי רוח





ומים וחשיבותה המכרעת של ההאבקה בחקלאות. ההחלטות בבחירת הנושאים בתערוכה לא היו רק טכניות; ביקשנו גם לבטא ולהדגיש שעוצמתה של המערכת טמונה בגיוונה; המגוון הביולוגי אינו משמש תפאורה צבעונית קסומה, אלא מהווה תנאי יסוד ליציבות אקולוגית.

עבודות האמנות בתערוכה הן חלק אינטגרלי ממנה. לא מדובר רק בתוספת אסתטית או רצון להעשיר את נקודות המבט על התהליך, אלא רצון להנגיש פרשנות המאפשרת התבוננות נוספת על הטבע ועל תהליכים שהמדע מתאר. בשל כך, בחרנו בדימויי פרחי הבר מתוך אינוונטר "פלורה פלשתינה" של **נורית גור לביא קרני**, המוצבים בכניסה לתערוכה ומציעים מבט רחב על הצמחייה המקומית. שלא כמו מסורת האזור הבוטני הקלאסי, המדגישה פרח בודד ומזוהה, עבודתה של גור לביא קרני יוצרת תחושה של שדה, של מערכת שבה מינים רבים מתקיימים זה לצד זה. הבחירה להציב עבודה זו כנקודת הפתיחה של התערוכה מדגישה כי ההאבקה היא תופעה מערכתית, ולא אירוע מבודד. בחרנו לפרוס את הדימויים לאורך כל הקיר ולמלא גובהו כדי לייצר מרחבי שדה כבר בכניסה לתערוכה.

קיר הפרחים המיובשים של **מרב כהן** מפגיש את המבקרים עם שאלת הזמניות והשימור. הפרחים, שעברו תהליך ייבוש מדויק בטכניקה מסורתית, שומרים על צורתם לאחר תום מחזור חייהם הטבעי. הצבתם בתערוכה היא ללא ספק מחווה ליופי הבוטני, אבל לא רק; היא מבקשת להעמיד לדיון את יחסנו למחזורי חיים, לשימור ולזיכרון. ובהקשר של האבקה – תהליך שבמהותו מבטיח המשכיות – פעולת השימור הופכת למעין הדהוד אנושי למנגנון הטבעי של המשך החיים.



בתערוכה ייצוג של מגוון מאביקים מתוך אוספי המוזיאון, לצד קיר פרפרים צבעוני, המוצב מצידו האחר של קיר הפרחים. על אותו קיר, המציג את השחקנים הראשיים במערכה, מוצב גם מעגל הצרעות של **דפנה קפמן**. אלו הן צרעות עשויות זכוכית בעבודת מבער, ריאליסטיות למראה; עבודה מעניינת ומתעתעת, שסקרנות המבקרים הצריכה את הגנתה. המוטיב המעגלי בעבודה זו מדגיש מחזוריות והמשכיות, בעוד שהזכוכית, כחומר שברירי ומדויק, מזכירה את פגיעותן של אוכלוסיות המאביקים בעידן של שינוי האקלים ופגיעה בבתי גידול. הבחירה להציב עבודה זו לצד פריטי האוסף המדעי מדגישה את הזיקה בין תיעוד מדעי לפרשנות אמנותית, ואת האפשרות של שני התחומים להאיר זה את זה.

איוריה הבוטניים של **ברכה אביגד** ז"ל המוצגים בתערוכה משמשים עדות היסטורית לכוחה של האמנות לחולל שינוי תודעתי. בתחילת שנות ה־50, במסגרת מסע ציבורי לשמירה על פרחי הבר בישראל, הפכו דימוייה של אביגד לכלי חינוכי בעל השפעה ממשית. שילובם בתערוכה הוא משמעותי, בעיקר בשל יופיים המרהיב והאסתטי, אך הוא גם מדגיש את ההבנה כי מפגש בין ידע, דימוי וקהל רחב יכול להוביל לשינוי התנהגותי ולהגנה על הטבע.

השיטוט בתערוכה מזמן הצצה לעולם טבע עשיר ורב־שכבות, שרובו נטוע בנוף המקומי. היה לנו חשוב להתחיל מכאן: מן הצמחייה, החרקים והסיפורים של המקום שבו אנו חיים. אולם ככל שהעמקנו בתהליך ההאבקה, התברר לנו כי כדי להבין את עומק התופעה ואת תחכומה האבולוציוני, עלינו גם להביט הרחק מכאן, אל סיפורים שנולדו באקלים אחר, אך מאירים את אותו עיקרון של הדדיות מדויקת.



אחד מסיפורים אלה הוא סיפורו של הסחלב שחקר **צ'ארלס דרווין**. לאחר שקיבל לידין סחלב ממדגסקר בעל דורבן צוף ארוך במיוחד, הציע דרווין השערה נועזת: קיים בטבע מאביק בעל חדק ארוך דיו על מנת שיוכל להגיע אל הצוף. רק שנים ארוכות לאחר מכן אכן התגלה עש לילה, שממדיו התאימו בדיוק לחיזוי. סיפור זה, שהוא אחד המופעים המרשימים של חיזוי אבולוציוני, מדגים עד כמה מערכת היחסים בין פרח למאביק היא תוצר של התאמה הדדית. הרצון להציג את הסחלב המדובר הובילה אותנו למסע ארוך, בעל ממד בלשי, בין מגדלי סחלבים בישראל. המסע הסתיים בהצלחה, וצמח סחלב אמיתי מוצג בתערוכה בוויטרינה המותאמת לו.

מן המסע אל מחוזות רחוקים, שבנו אל החקלאות המקומית. כאן ביקשנו לשלב את אחד המיזמים והמחקרים שלהם שותפים גם חוקרים מהמוזיאון. בחרנו בדבורת הבומבוס, מאביקה בעלת תפקיד מרכזי בהאבקת גידולים חקלאיים. זהו רובד נוסף של מערכת ההאבקה: ידע חקלאי מתקדם, תכנון והפעלה מודעת של מאביקים כחלק ממערך ייצור המזון, שפועל כאן בישראל. ומכאן גם ההחלטה להציג במוזיאון כוורת פעילה ושוקקת של דבורי בומבוס.

לצד היופי והתחכום, אי אפשר להתעלם מן המשבר המאיים: שינוי האקלים, אובדן בתי גידול וצמצום המגוון הביולוגי משפיעים באופן ישיר על מיני החרקים והצמחים, התלויים זה בזה. תהליך ההאבקה, שנדמה לאורך הדורות כתהליך יציב ומובן מאליו, מתגלה כרגיש יותר מכפי שדימינו. השאלה כיצד נשמר את המערכת הזו מופנית לכולנו באופן ישיר ולמרחב שבו אנו חיים ופועלים. בעידן שבו שטחי הבר מצטמצמים ומערכות אקולוגיות ניצבות בפני שינוי מואץ, האחריות לשימור אינה מונחת רק על כתפי החוקרים או מקבלי ההחלטות. היא מתרחבת ונפרשת אל המרחב הביתי והקהילתי.

"לא רק עניין, הנאה וסיפוק – גינת הבר נותנת לבעליה גם רגעים של אושר ממש...
כמו שירת הדבורים מתוך האלון ומתוך האשחר, שבכל פעם מפתיעה ומשמחת אותי
מחדש", כך כתב מאיר שלו בפרק "רגעי אושר" בספרו "גינת בר". שלו היטיב ללכוד את אותם רגעים קטנים של חסד שמעניקה גינת הבר: שירה עדינה, כמעט חרישית, פעימה של חיים מתחדשים. מאחורי השמחה הפשוטה שמתאר שלו מסתתרת מערכת שלמה של יחסי גומלין: בין פרח למאביק, בין עץ לרוח, בין האדם המתבונן לגינה שהוא מטפח. המנגינה הזו, הממלאת את האוויר מבלי שנבחין בה תמיד, היא זו שביקשנו לייצר בתערוכה.

גינת בר קטנה בחצר פרטית, בגינה קהילתית, בשטח בית ספר ואפילו באדנית על אדן החלון, יכולה להפוך לחוליה נוספת בשרשרת ההאבקה. זריעת צמחי בר מקומיים, יצירת מקומות מסתור לחרקים, הימנעות משימוש בחומרי הדברה מזיקים – כל אלה תורמים ליציבותה של הרשת העדינה המתקיימת בין פרחים ומאביקים. יש מקום גם לפעולות אנושיות, לא ככוח מפר, אלא כשותף אחראי; אלו הן פעולות צנועות לכאורה, אך בעלות הד רחב.

בתערוכה זו ביקשנו להציג לצד הסיפור המדעי גם סיפורים מקומיים ורחוקים, פריטי אמנות, גאווה ישראלית ושירה. כולם מצביעים על עיקרון אחד, פשוט ומורכב כאחד:

החיים מתקיימים בקשר. והקשר הזה נטוע בטבע שסביבנו – בנופים, בשדות, בגינות ובמערכות האקולוגיות השבריריות המקיימות אותנו. הוא זקוק לאחריותנו, כשם שאנו זקוקים לו.



האבקה כאשנב למחקר

ד"ר זוהר ינאי

האוצר המדעי של התערוכה

אוצר באוסף האנטומולוגי,
מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט,
אוניברסיטת תל אביב



עולם הטבע רחב ומגוון וניתן לאפיין אותו בדרכים שונות; אין ספור תופעות, חלקן שכיחות ואחרות יוצאות דופן, מזמינות מחקר מעמיק וחיפוש מתמיד אחרי חוקים אוניברסליים. חוקרי טבע רבים כבר השלימו עם הקושי בניסוח עקרונות כלליים, ולרוב מסתפקים בתיאור מעמיק של תופעה אחת או מקרה אחד, ולאחר מכן מחילים אותם בהרחבה על מינים, אזורים ותנאים נוספים.

מבין כל המערכות רחבות ההיקף בטבע, ההאבקה בולטת במיוחד. כתופעה, היא זוכה לתשומת לב בתחומים שונים ומגוונים, והופכת לאבן יסוד במחקר, בהוראה וביצירה.

בראש ובראשונה, האבקה היא יחסי גומלין אקולוגיים, שמערבים יצורים שונים ואת תנאי הסביבה שבה הם חיים. מצד אחד עומד הצמח הפורח, או ליתר דיוק, מבחר רחב מאוד של צמחים פורחים. הפרח הוא איבר הרבייה של הצמח, ותהליך ההאבקה דרוש לצורך העמדת צאצאים בכל צמחי הפרחים. הפרח הוא גם איבר הפרסומת של הצמח, שבעזרתו הוא מושך את המאביק. מהצד השני עומד סוכן ההאבקה: לעיתים אביוטי, כמו רוח או זרמי מים; ולעיתים קרובות ביוטי, כלומר בעל חיים שמתווך את העברת גרגרי האבקה מפרח לפרח. מבנה היחסים הבסיסי הזה מתפתח ומסתבך: בכל מערכת אקולוגית נוכחים בדרך כלל מספר רב של מאביקים וצמחים, וגורמים שונים מכתיבים את הקשרים שנטווים ביניהם. בחלק מהמקרים יש שותף אחד, ספציפי; באחרים – מספר רב של שותפים. רשתות יחסי הגומלין המורכבות שנטוות בכל מערכת אקולוגית משקפות העדפות והתאמות רבות, ומהוות כר פורה לשאלות, כמו מה הופך קשר מסוים ברשת ההאבקה ליציב או לשברירי יותר מאחר? האם כל הרשתות פועלות באותו אופן בכל העולם? ועוד.



הפרח והמאביק המתאימים מוצאים זה את זה באמצעות תקשורת. הפרחים מפזרים אותות בצורות שונות – צורה, גודל, צבע, ריח – והמאביק קולט את האותות ואת ההזמנה המשתמעת לקחת חלק בתהליך ההאבקה ולזכות בגמול. לעיתים המסרים מורכבים, לעיתים הם מופנים לקהל ייחודי, ולעיתים הם כלל לא מהימנים. גם בעולם ההאבקה יש פתיינות ורמאות. למשל, **בן־סחלב מצִיר** שמוצג בתערוכה מחקה את צבעי הזמזומית ומושך מאביקים שלא יזכו בשום גמול, אך הצלחתו של תרגיל ההטעיה תלויה בשכיחות הסחלבים בקרב אוכלוסיית הזמזומיות. היבטים כלכליים ודמוגרפיים משתלבים בניסיונות להסביר את הצלחת התופעה.

הן לצמחים והן למאביקים יש התאמות לתפקודם בתהליך ההאבקה. התאמות אלה מתבטאות במבנה הגוף, באיברי החושים, בהתנהגות, במועד הפעילות ועוד. פרחים שמואבקים על ידי חרקים גדולים וכבדים, כמו חיפושיות פרחים, ייראו שונים לחלוטין מפרחים שמואבקים על ידי ציפורים מרחפות כמו קוליברי או על ידי פרפרים עדינים וארוכי חדק. גם למאביקים יש התאמות לטיפוס הפרחים שאליו הם נמשכים, המתבטאות באיברי החושים, במבנה איברי איסוף האבקה הפזורים על גופם ובמבנה איבר ההאכלה, שמאפשר למאביק להגיע למקום המתאים בפרח. כמה דוגמאות בולטות להתאמות בין פרחים למאביקים מוצגות בתערוכה, כמו חיפושיות, זבובים, ציפורים ומאביקים אחרים, לצד טיפוסי הפרחים שבדרך כלל מקושרים אליהם. התאמות יש אפילו בגרגרי האבקה עצמם: לגרגרי האבקה של פרח מואבק רוח כושר אווירודינמי מעולה, שמאפשר להם להינשא באוויר בקלות; לגרגרי האבקה של פרח מואבק חרקים יש דופן מחוספסת, שמסייעת להם להיצמד לחרק המאביק. המבקרים בתערוכה מוזמנים להתרשם גם מדגמים מוגדלים של גרגרי אבקה מסוגים שונים.

כל תכונה כזו משרתת את מנגנון ההאבקה הרלוונטי באופן שאינו מכוון, אך נראה מושלם למשימה. הדבר אינו מקרי: זהו מופת של התפתחות אבולוציונית, כאשר כל מין השתנה באיטיות ובהדרגה עד שהגיע למופעו הנוכחי. השינוי התרחש במקביל לשינוי שעבר שותפו להאבקה, וכך מערכת היחסים בין הצמחים למאביקים עודכנה שוב ושוב והפכה מדויקת יותר ויותר. שרשרת אירועים כזו, שבה כל צד בתורו מגיב למהלכיו של שותפו ומשכלל את יכולותיו בהדרגה, מכונה **קוֹ-אבולוציה** (כלומר, אבולוציה משותפת). והתהליך נמשך גם היום! בכל דור חדש של צמחים או מאביקים קיים פוטנציאל לחידוד נוסף של היכולות והתכונות, וכך ההאבקה יכולה ללבוש פנים חדשות.

ההאבקה מאפשרת בחינה מעמיקה של תהליך אבולוציוני מרתק נוסף – **אבולוציה מתכנסת** (קונברגנציה). בקנה מידה גיאוגרפי נרחב נחשפים מופעים שנראים דומים ביבשות רחוקות או במערכות אקולוגיות נפרדות. מדענים מזהים איברים, תכונות ודפוסי התנהגות בקבוצות רחוקות אלה מאלה של צמחים ובעלי חיים, כך שהתפתחות מאב קדמון משותף אינה יכולה להסביר את הדמיון ביניהם. מופעים אלה התגבשו תחת תנאים ולחצי סלקציה דומים, והם מלמדים אותנו שיעור חשוב על מנגנוני התמודדות עם אתגרים בעולם הטבע.

פעמים רבות, הגמול שמקבל המאביק הוא אבקת פרחים או צוף, אבל קיימים גם סוגי גמול פחות שכיחים, כמו מקום מפגש, מחסה ללינת לילה, טמפרטורה מתאימה ועוד. מעניינים במיוחד הם המקרים שבהם המאביקים לא זוכים כלל לגמול, מכיוון שהצמחים הם צמחים "חקיינים", שמטעים את המאביק ומושכים אותו בהבטחות כזב. קיימים גם מאביקים ש"בוזזים" אבקה או צוף ולא מספקים שירותי האבקה תמורתם. מערכת מורכבת כזו של הבטחה, פרסומת, גמול, למידה, תגובתיות, ענישה, חקיינות ורמאות היא מודל מצוין למחקר בתחומי הפסיכולוגיה או הכלכלה, ובפרט לבחינת



יציבותן של מוסכמויות חברתיות תחת תנאים שונים. סיפורי האבקה נוספים מהטבע המקומי שלנו, מלווים בתמונות מרהיבות ובהסברים מפורטים, תוכלו למצוא בספר **"האבקה בראי ישראלי"** (דפני ואיזיקוביץ).

האבקה היא אחד משירותי המערכת החיוניים ביותר בטבע, וגם האדם נהנה ממנה ללא השקעת מאמץ מצידו. אבל היא אינה מובנת מאליה. כל רכיב במערכת היחסים העדינה המתקיימת בין צמחים למאביקים עלול להיפגע כתוצאה מהפרעות בלתי צפויות, ובעיקר מהשפעת האדם.

פגיעה בבית הגידול הופכת אותנו לבלתי מתאים לנביטה או לגדילה של צמחים מסוימים, או לקינון או מחסה למאביקים. בנוסף, פעילות האדם עלולה להפריע למעבר חופשי של מאביקים ושל גרגרי אבקה בין בתי גידול, מעבר שמבטיח חילופי גנים בין אוכלוסיות מרוחקות. מינים זרים למערכת, כמו מיני צמחים פולשים, או מאביקים אגרסיביים במיוחד, כמו **דבורת הדבש**, עלולים להתחרות במינים המקומיים ולפגוע בביצועיהם. חומרי הדברה ורעלנים אחרים משבשים גם הם את תפקודם של צמחים וחרקים. ונוסף על כל אלה, משבר האקלים ההולך ומתגבר משפיע על המחזוריות העונתית ועלול לפגוע בתזמון השברירי בין תקופת הפריחה למועד פעילותם של המאביקים. כל גורמי האיום האלה נחקרים במערכות של האבקה, ומהם גוזרים המדענים השלכות גם על תפקודים אחרים של מערכות אקולוגיות.

כדי להבין לעומק את מערכות היחסים המורכבות בין צמחים ובעלי חיים יש להכיר את המינים הספציפיים המעורבים בהן. דבר זה נעשה באמצעות מחקר טקסונומי, התחום המדעי שעוסק במיון, זיהוי ואפיון המינים השונים בטבע. מומחים בזיהוי ובהגדרה



של צמחים ושל בעלי חיים ממלאים תפקיד משמעותי בהבנת תהליך ההאבקה בזכות היכרותם עם המגוון הביולוגי. מחקר טקסונומי ענף מתקיים בישראל, מדינה עשירה במיוחד בחי ובצומח (חפשו את הקיר שמציג את דבורת ה**אנדרנה** בתערוכה...).

ענף מדעי שלם – **פלינולוגיה** – עוסק בגרגרי האבקה עצמם. המחקר בתחום מתאפשר הודות לעמידות הגבוהה ולמבנה הייחודי של גרגרי האבקה. זהו מדע עם יישומים רבים, והוא משמש ברחבי העולם לזיהוי אלרגנים, למיפוי רשתות האבקה מאיסוף מאביקים, לשחזור נופי צומח קדומים, להעמקת הידע ההיסטורי והארכיאולוגי, לפיענוח פשעים ועוד ועוד.

מעבר לפן המדעי והאובייקטיבי, ההאבקה מהווה השראה לשלל תוצרים אמנותיים ותרבותיים: פסלים וציורים, שירה, מוזיקה, ספרות ותחומים נוספים של התרבות הפופולרית. השחקנים המרהיבים – חרקים פעלתנים, צמחים עם פרחים ססגוניים – בסביבתם המשמחת והמרגיעה, מזמינים את המתבוננים להעמיק עוד, להרחיב את העיסוק בהם ולהטמיע את האווירה הייחודית בעלילות, במטאפורות ובדימויים רבים.

לסיכום, אין ספק שההאבקה מפרנסת תחומי דעת שונים: ביולוגיה של הרבייה, בוטניקה, זואולוגיה, אקולוגיה, אבולוציה, גנטיקה, טקסונומיה, ביו־גיאוגרפיה, חקלאות, שמירת הטבע, פיזיקה, ביומכניקה, כלכלה, ארכיאולוגיה ועוד. ההאבקה היא הזדמנות מופלאה לציבור הרחב להיחשף לעולם המדע ולהתאהב בטבע מזוויות חדשות. תוכלו להתרשם מהיבטים נוספים של הקשר בין ענפי מדע שונים ובין תהליך ההאבקה בעת הביקור בתערוכה "האבקה: הסיפור המלא". בין דפיו של קטלוג זה תמצאו רשימות נוספות, שמרחיבות אף הן את היריעה על הנושאים שהוזכרו כאן.





מרב כהן
גינת בר ארץ ישראלית
פרחים מיובשים במכש. טכניקה: Pressed Flower
סטודיו Merav Cohen Moments By
2025

האבקה: הסיפור המלא

האֲבָקָה היא יותר ממנגנון ביולוגי. זהו מופע קסום של הטבע, המתקיים כבר מיליוני שנים. אינספור מיני פרחים לצד שפע אדיר של מאביקים יוצרים מארג יחסים מורכב, שבו גרגרי אֲבָקָה נעים מפרח אל פרח בעזרת הרוח, המים או בעלי חיים הנמשכים אל הפרחים.

הצמחים אינם פסיביים. מחקרים מגלים כי הם מאזינים, מגיבים ומפתים בצבעים וניחוחות, ובכך מנהלים שיח שקט עם המאביקים. להאבקה תפקיד מכריע במערכות האקולוגיות ובחיי היום־יום שלנו. יותר משליש מהמזון שאנו אוכלים תלוי במערכת יחסי גומלין עדינה זו, המצויה כיום בסכנה. התערוכה מזמינה אתכם להיכנס אל מאחורי הקלעים של אחד הקשרים המרהיבים בטבע ולגלות את הסיפור המלא.



נורית גור לביא קרני,
"פלורה פלשתינה"
מראה הצבה

במהלך מיליוני שנות אבולוציה נרקמה בטבע מערכת יחסים הרמונית בין צמחי פרחים לבעלי חיים מאביקים. כל פרח הוא הזמנה פתוחה למפגש. מאביקים מגיעים אל הפרחים בחיפוש אחר מזון, מחסה או מקום מפגש, ובזמן הביקור בפרח נצמדים לגופם גרגרי אֶבָּקָה, שחלקם ייפלו כשיגיעו לפרח הבא שבו יבקרו. מנגנון מתוחכם זה, שמפגיש בין פרחים מרוחקים ומאפשר את מחזור החיים של הצמחים, נקרא הֶאָבָקָה.

הפרח הוא איבר הרבייה של הצמח, וגם דרך מרהיבה, ריחנית ומשוכללת למשוך מאביקים. אין ספור סוגי פרחים, בשלל צורות, צבעים, מרקמים וריחות, מאפשרים לצמחים למשוך אליהם את המאביק המתאים להם.

דבורת הדבש היא אולי המאביקה המוכרת לנו ביותר, אולם הטבע שופע מאביקים: אלפי מינים של דבורי בר, חיפושיות, פרפרים, עשים, זבובים, ואפילו עטלפים, ציפורים, לטאות, סרטנים ותולעים. לכל אחד מהם התאמות חושיות, מבניות והתנהגותיות, שמאפשרות לו להגיע לפרח המותאם להֶאָבָקָה על ידו.



מראה הצבה



דפנה קפמן,
"מעגל צרעות"



מראה הצבה

בתערוכה מוצגים 25 איורים של ברכה אביגד, מתוך אוסף הציורים שהורישה לגן הבוטני בהר הצופים. אביגד, אמנית ירושלמית, ביקשה לחשוף את אהבתה לטבע דרך מכחול ונייר. קשר מיוחד נרקם בינה ובין צוות הגן הבוטני של האוניברסיטה העברית בירושלים, שבו בחרה להפקיד בו את ציוריה, שאותם כינתה "ילדיי". האיורים בתערוכה הם סריקות דיגיטליות של עבודות המקור, כחלק משאיפתנו להנגיש את אוצרותיה היקרים של אביגד לציבור.



ברכה אביגד, 1919–2016,
"פרחי ארצנו, אוסף צמחי בר ארץ-ישראלים"
 באדיבות הגן הבוטני של האוניברסיטה העברית בהר הצופים, ירושלים

הרמוניה בטבע

במשך מיליוני שנים, צמחים ומאביקים התפתחו תוך השפעה הדדית מתמשכת. צמחים שמשכו יותר מאביקים – באמצעות צבע, ריח, צורה או תזמון פריחה מדויק – הצליחו להעביר יותר גרגרי אֶבְקָה לצמחים אחרים; מאביקים שהצליחו לנצל בצורה יעילה יותר את הגמול הטמון בפרחים זכו ליתרון אבולוציוני על פני אלה שהצליחו פחות.

שיתוף הפעולה בין הצמחים למאביקים תרם להצלחתם של שני הצדדים בהעמדת צאצאים ובהעברת תכונותיהם לדור הבא. תהליך הקו־אבולוציה – האבולוציה המשותפת של מינים המקיימים ביניהם יחסי גומלין – הוביל להתאמות מורכבות, מופלאות לעיתים.



מראה הצבה



דבר אליי בפרחים

פרחים אולי אינם מדברים, אך הם שולחים מסר ברור
וחד־משמעי: "בואו אליי!"

במהלך האבולוציה התפתחו אצל הצמחים מגוון
אמצעים למשיכת מאביקים: צבעים, ריחות, צורות
ואף מבנים שמחקים יצורים אחרים. המפגש בין פרח
למאביק אינו מקרי; בין השניים מתקיימת תקשורת,
המבוססת על גירויים חושיים, תגובות מדויקות
ותיאום מופלא.

המאביק מעניק לפרח שירותי האֵבֶקָה ונהנה מגמול:
צוף מתוק או גרגרי אֵבֶקָה מזינים, ולעיתים מחסה,
תנאים נוחים או נקודת מפגש.



מראה הצבה

האבקה אי־ביוטית

לא כל הצמחים זקוקים לעזרת בעלי חיים כדי להתרבות. לעיתים ההאָבְּקה נעשית בעזרת רוח או מים, שנושאים את גרגרי האַבְּקה מפרח אחד לאחר. לרוב, הפרחים של צמחים אלו הם קטנים, חיוורים וחסרי צוף.

האבקת רוח

צמחים כמו חיטה, תירס, אלון, אורן, תמר וזית, משחררים לאוויר המוני גרגרי אַבְּקה קלים ואווירודינמיים, וחלקם מוצאים את דרכם לפרח מתאים. זה אולי נשמע חסר סיכוי, אבל בזכות השפע העצום של גרגרי האַבְּקה, זה עובד.

האבקת מים

אצל חלק מצמחי המים, הזרם הוא ש"עושה את העבודה". גרגרי האַבְּקה צפים על פני המים או נסחפים בזרם, עד שהם פוגשים בפרח הנכון.



מראה הצבה

גרגרי אבקה

גרגרי אבקה הם תאי רבייה זכריים זעירים של צמחים פורחים. כל גרגר עטוף בדופן חיצונית קשיחה ועמידה במיוחד, העשויה מחומרים אורגניים, מהחזקים ביותר בטבע. תכונה זו מאפשרת לגרגרי האבקה להשתמר כמאובנים באדמה ובסלעים לאורך אלפי ואף מיליוני שנים, כמעט ללא שינוי.

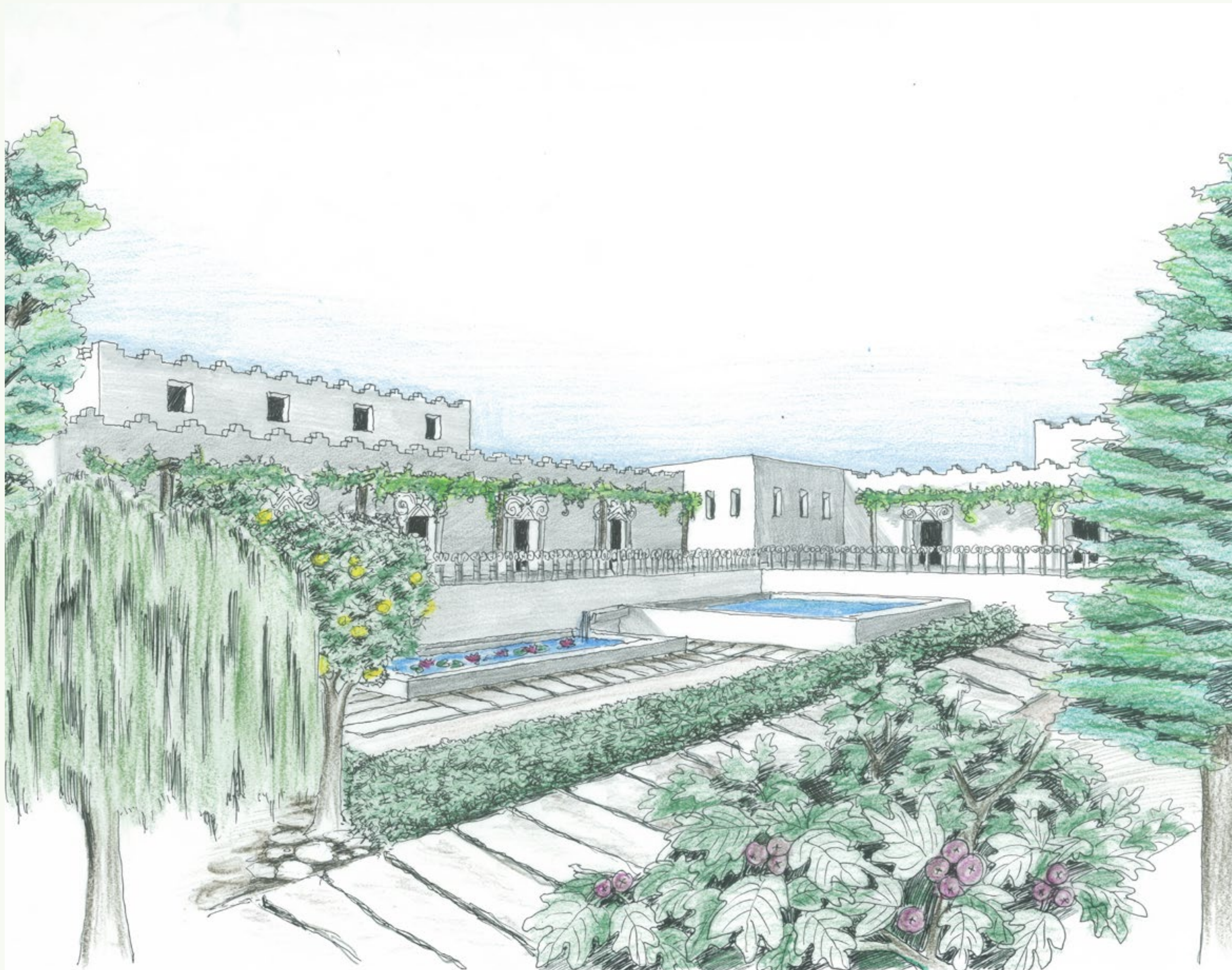
לגרגרי האבקה יש מבנה ייחודי, המשמש מעין "טביעת אצבע" בוטנית. הודות לכך, הם הפכו לכלי מחקר רב-תחומי: בגיאולוגיה הם מסייעים בשחזור הצמחייה והאקלים הקדומים; בארכיאולוגיה הם מספקים מידע על צמחים ששימשו למזון, מרפא, טקסי פולחן, גני נוי ועוד; באקולוגיה הם חושפים קשרים בין צמחים למאביקים ותורמים להבנת תהליכים טבעיים ולשמירת טבע; וברפואה הם עוזרים לזהות מקורות לאלרגיות עונתיות. במקרים מסוימים, גרגרי אבקה משמשים ככלי פורנזי בחקירת פשעים, כאשר החוקרים מסתייעים בהם כדי לקשור בין זירת הפשע למעורבים.

מראה הצבה



שחזור גני נוי קדומים

גנו של נציג האימפריה הפרסית, ששלטה באזורנו במאות ה־4–5 לפני הספירה, שוחזר באמצעות זיהוי גרגרי אֶבְקָה שנלכדו בטיח של אחת מבריכות הגן. לצד עצים ושיחים מקומיים, כמו גפן, הדס, תאנה וערבה, זוהו גם צמחים מיובאים כמו ארז הלבנון ואגוז מלך. הממצא המפתיע ביותר היה גרגרי אֶבְקָה של אתרוג, עץ שמוצאו בדרום מזרח אסיה והוא העדות המוקדמת ביותר לגידול הדרים באגן הים התיכון. בהמשך חדר ליהדות כאחד מארבעת המינים שנוטלים בחג סוכות.



נירית קדם

שחזור הגן המלכותי הפרסי ברמת רחל

מאות 4–5 לפני הספירה (באדיבות האמנית)
עטים, צבעי עיפרון
2012

תעלומת הסחלב והמאביק המסתורי

צ'ארלס דרווין (1809–1882) היה מדען בריטי, מהבולטים בהיסטוריה, שפעל באנגליה ויצא למסעות מחקר ברחבי העולם. דרווין ניסח את רעיון הברירה הטבעית והסביר כיצד מינים משתנים ומתפתחים במהלך הדורות. מחקריו, שעסקו בבעלי חיים ובצמחים, הניחו את היסודות להבנת האבולוציה בטבע, כולל הקשרים המורכבים בין פרחים למאביקים.

כשדרווין בחן פרח סחלב ממדגסקר בעל דורבן (צינור פרח) ארוך במיוחד, הוא קבע שחייב להיות מאביק בעל חדק גמיש וארוך במיוחד, עש כנראה, שמתאים בדיוק למבנה הפרח.

רק כארבעים שנים לאחר מכן התגלה הרפרף שמתמחה בהאבקת "הסחלב של דרווין". על אף שדרווין עצמו לא זכה למצוא את המאביק המיוחד הזה, התחזית שלו התבררה כנכונה, כאשר הודגם שגם במקרה הזה התפתחו במקביל, בתהליך של אבולוציה הדדית (קו־אבולוציה), הפרח והמאביק הייחודי לו.

מראה הצבה





מראה הצבה



מראה הצבה

חקלאות והאבקה

החקלאות תלויה בהאבקה. פירות וזרעים מתפתחים רק לאחר שהפרחים שלהם עברו הפריה מוצלחת. גם בגידולים שבהם אנו אוכלים את העלים או השורשים, כמו חסה או גזר, תהליך ההאבקה חיוני להבטחת יכול עתידי. על פי ההערכות, כשליש מהמזון בצלחת שלנו תלוי בהאבקה שמבצעים חרקים. החקלאות המודרנית לא מחליפה את הטבע, אלא מעצימה אותו באמצעות טכנולוגיות חדשניות, כדי להבטיח ייצור מזון איכותי, בריא ויציב לאורך זמן.



מראה הצבה



האבקה על ידי דבורי דבש

המאביק העיקרי בחקלאות הוא דבורת הדבש (*Apis mellifera*): החרק המבוית הנפוץ ביותר, שמאכלס כוורות רבות ברחבי העולם ותורם להאבקותם של גידולים חקלאיים רבים, כגון תפוח, חמניות, מלפפון, כותנה ועוד. מעבר לתפקידן הקריטי בהאבקה, דבורי הדבש תורמות גם לענף כלכלי חשוב נוסף – ייצור דבש – שהוא תוצר מתוק של פעילותן הענפה.



האבקה בסיוע האדם

דקלים מואבקים בעזרת הרוח, אך במטעים חקלאיים צפופים, הרוח לבדה אינה מספיקה. חקלאים מצאולכך מענה בשיטות של האבקה ידנית, המותאמות לתכונות של כל זן תמרים ולתנאי הגידול בכל אזור בארץ.



האבקות רוח

חלק מהגידולים החשובים ביותר להזנת האדם מואבקים על ידי הרוח. מדובר בעיקר בדגנים, כמו חיטה, שעורה, תירס ואורז, שהם מקור האנרגיה העיקרי בתזונה העולמית.



האבקה על ידי דבורי בומבוס

דבורת הבומבוס היא מאביקה חשובה בחקלאות. היא גדולה יותר מדבורת הדבש ומבצעת גם "האבקת זמזום": היא מרטיטה את כנפיה בתנועות מהירות, וכך מרעידה את הפרח ומנערת ממנו את גרגרי האבקה. בזכות תכונה זו, דבורת הבומבוס מצטיינת בעיקר בהאבקת פרחים שגרגרי האבקה שלהם חבויים בעומק הפרח או שאינם ניתקים בקלות, כמו עגבניות, חצילים ומלונים.

חשיבותם של מאביקי בר

לצד דבורי הדבש ודבורי הבומבוס, שבהן משתמשים החקלאים בחקלאות המודרנית, גם מאביקי בר תורמים להצלחתם של הגידולים החקלאיים. מאביקים אלה מגיעים לשטחי החקלאות באופן טבעי, ונוכחותם מורגשת היטב בתנובה ובאיכות היבול. כאשר הם נעלמים מהנוף, נפגעת גם החקלאות. במקרים של ירידה בתפקוד המאביקים המנוהלים, כלומר דבורי הדבש ודבורי הבומבוס, מאביקי הבר מהווים "רשת ביטחון" טבעית למערכת החקלאית.

מראה הצבה

ישראל כמעצמה של מגוון ביולוגי

ישראל שוכנת בצומת גיאוגרפי ואקלימי ייחודי: מפגש בין שלוש יבשות, אזורי אקלים שונים וחבלי צומח מגוונים. בזכות תנאים סביבתיים אלה, המתקיימים בשטח גיאוגרפי קטן יחסית, ישראל היא בית למגוון רחב של צמחים ובעלי חיים ולמערכות אקולוגיות משגשגות. בקרב קבוצות ביולוגיות מסוימות, המגוון הביולוגי בישראל אף גבוה מזה שבאזורים נרחבים ממנה בהרבה. דוגמה בולטת לכך היא דבורי הבר מהסוג אנדרנה (*Andrena*), דבורים יחידאיות המקננות בקרקע ואינן יוצרות מושבות חברתיות.



דבורי בר מהסוג אנדרנה
מראה הצבה

האבקה: שלא ייגמר לעולם

בעידן הנוכחי, מגוון הצמחים והמאביקים נתון לאיומים חמורים מאי פעם. פעילות האדם פוגעת ביכולתם של המינים לשרוד, דוחקת רבים מהם אל סף הכחדה ומערערת את יציבותן של המערכות האקולוגיות.

בתי גידול טבעיים נהרסים לטובת בנייה וחקלאות, ואוכלוסיות של צמחים ומאביקים מנותקות זו מזו בשל תשתיות כמו כבישים ומבנים. שימוש בלתי מושכל בחומרי הדברה פוגע בצמחים ובחרקים, זיהום אור משבש את מחזורי הפעילות היומיים שלהם, ומינים פולשים מערערים את יחסי הגומלין העדינים המתקיימים בטבע. אפילו דבורת הדבש, שותפה חשובה של האדם בחקלאות, עלולה לפגוע במאביקי הבר כשהיא חורגת מעבר לשטחים החקלאיים. בנוסף, משבר האקלים משנה את מחזורי העונות ואת משטרי הטמפרטורה והמשקעים, ובכך מפר את הסנכרון בין עונת הפריחה לעונת פעילות המאביקים.

מראה הצבה



הפתרון נמצא גם בבית

חלק מהאיומים ניתנים לפתרון רק באמצעים מערכתיים, והם מצויים בידיהם של מתכננים, מקבלי החלטות ונבחרי ציבור. אבל, יש צעדים משמעותיים שכל אחת ואחד מאיתנו יכולים לנקוט כדי לסייע לצמחי הבר ולמאביקים.

כדי לפצות על אובדן שטחי הבר האיכותיים והמגוונים
נוכל לעודד זריעה של צמחי בר מקומיים בגינת הבית,
בגינה קהילתית, בגינת בית הספר ואפילו באדניות
ובעציצים במרפסת או בחלון הבית. אפשר להתעניין
במיזמים שמספקים זרעים ממקור מקומי על פי בית
הגידול והאזור בארץ שבו מתגוררים. בנוסף, ניתן
להציב "בית מלון" לחרקים על מנת לספק פתרונות
דיור למאביקי בר שונים. כמו כן, מומלץ לצמצם או
להימנע לחלוטין משימוש בחומרי הדברה כימיים נגד
חרקים או עשבים. אם משתמשים בהם, יש להשתמש
רק בחומרים מותרים לשימוש, על פי הוראות היצרן
והחוק, ובסיוע איש מקצוע כשיש בכך צורך.

בית מלון למאביקים
מראה הצבה

תחפושת היא אשליה

“רבי פורים, רבי פורים
אמור נא לי מדוע.
מדוע לא יחול פורים.
פעמיים בשבוע.”

כך מחה לוין קיפניס. תחפושת מורכבת מפריטי לבוש ואיפור, המציגים את המשתמש בהם בזהות השונה מזהותו האמיתית. לעיתים היא משמשת לרמייה, להתחזות ולהטעיה. בעולם הפרחים, תופעת ההתחפשות אינה מצטמצמת ליום אחד בשנה, אלא נמשכת במשך כל עונת הפריחה. הפרח ה“מתחפש” מחקה במראה, בצבע, בריח או במאפיין אחר, צמח אחר או בעל חיים, וכך מרמה את המאביק, מוליך אותו שולל, שכן הוא אינו מציע כל גמול למבקריו.

אשליית הגמול: כיצד פרחים מרמים חרקים?

כדי להוכיח שאכן מתקיימת חקיינות (mimicry) בין שני פרחים ממינים שונים, או בין פרח ליצור חי אחר, יש להראות שמתקיימים ארבעה תנאים:

1. יצור אחד (החקיין) מתחזה ליצור אחר (המודל) ודומה לו במראה, בריח או במאפיין אחר.
2. החקיין והמודל חיים באותו בית גידול ופעילים באותה עונה.
3. יש מאביק המתקשה להבדיל בין אות המשוגר על ידי המודל ובין אות המשוגר על ידי החקיין, וכתוצאה מכך הוא מבקר בשניהם.
4. המודל מתגמל את המאביקים המגיעים אליו. החיקוי מבוסס על הטעיית המאביק, שאינו מקבל את הגמול המצופה בעת הביקור בפרח החקיין.

במאמר זה אציג כמה דוגמאות מרתקות של פרחים חקיינים, שרובן מוצגות בתערוכה "האבקה: הסיפור המלא".

דבורנית: פרח המחקקה דבורה

פרחיה של הדבורנית (ממשפחת הסחלביים) דומים מאוד לדבורי בר ומכאן שמה. והדמיון אינו דמיון חזותי בלבד. הפרח גם מייצר תערובת ריחות המדמה את ריחם של פרומוני המין שמפרישה נקבה של דבורת בר המוכנה להזדווגות. דמיון זה, במראה ובריח, מעלה את השאלה: מה היתרון בכך שהפרח דומה לדבורה? ראשית, נסביר כאן כי מדובר בדבורי בר (ולא בדבורת הדבש), שאינן חברתיות. לכל נקבה קן משלה, ותפקיד הזכר מסתכם בהפריית הנקבות. זיהוי הנקבות הצעירות על ידי הזכרים נעשה באמצעות ריחן הייחודי. זכרי הדבורים מגיחים מהגולם כשבועיים-שלושה לפני הנקבות, ובדיוק במועד זה פורחת הדבורנית. הזכר נמשך אל הפרח כאילו היה דבורה נקבה, ומנסה להזדווג איתו. עד מהרה הוא מגלה את הטעות ועובר לפרח אחר, אך לא לפני שגוש האבקה נדבק לראשו ומועבר לפרח הבא שבו יבקר. וכך מתבצעת ההאבקה.

לרוב, כל מין של דבורנית זוכה לביקורים של זכרי דבורים ממין מסוים. לעיתים רחוקות הזכרים עשויים להתבלבל ולהעביר אבקה בין מינים שונים של דבורנית, וכך עשויים להיווצר בני כלאיים. ריחה של נקבת דבורת הבר משתנה לאחר ההזדווגות, ומאז היא אינה מושכת עוד זכרים. למרבית ההפתעה, גם הדבורנית משנה את ריחה לאחר ההאבקה, כך שזכרי הדבורים נמשכים רק לפרחים שעדיין לא הוּאבְּקוּ. בכך קטנה התחרות בין הפרחים על שירותי ההאבקה של הזכרים.



דבורנית דינסמור
צילום: נעם עביצ'ן



Ophrys arachnites

מין דבורנית שאינו מצוי בארץ

The Watercolors of Vincent Fossat: Art in the Service of Science – Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/publication/357628537_The_Watercolors_of_Vincent_Fossat_Art_in_the_Service_of_Science/figures?lo=1

כפי שאופייני למיני פרחים רמאים, תדירות ביקור המאביקים בהם היא נמוכה. כל פרח פורח כשבועיים-שלושה (לעומת שלושה-ארבעה ימים אצל מרבית הצמחים), ותקופה ארוכה זו מפצה על הסיכוי הנמוך להאבקה.

בין החוקרים קיימת מחלוקת: האם זו רמייה גמורה, שבה הפרח מתחפש לנקבה והזכר לא מקבל שום גמול, או שמא הוא מקבל טובת הנאה כלשהי? יש הטוענים, שזכרים שהתאמנו על פרחי דבורניות, הפורחים כשבועיים-שלושה לפני שמופיעות נקבות הדבורים האמיתיות, יהיו מנוסים ויעילים יותר, ולכן יקדימו להזדווג עם נקבות הדבורים שהופיעו בסביבה. השערה אחרת גורסת, שריבוי פרחי הדבורניות, המייצרות את ריח הפיתוי, גורם לאווירה המעודדת את פעילות הזכרים התרים אחר הנקבות.



האבקה של מין דבורנית שאינו מצוי בארץ (*Ophrys bombyliflora*) על ידי זכר של מחושית (*Eucera*). שימו לב לדמיון שבין שעירות הפרח והדבורה.

<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=q0LcGbLcdA>

בן־סחלב מצויר: פרח המחקקה פרח אחר

פרחיו של בן־סחלב מצויר דומים מאוד לפרחיה של הַזְמְזוּמִית המצויה הפורחת באותו בית גידול ובאותה עונה. הדמיון בין השניים מתבטא בייחוד בכתמים הכהים על רקע הבהיר. לדעתנו, הנקודות הסגולות שעל השפית (החלק בפרח השלוח קדימה והמשמש לנחיתת החרקים) של בן־הסחלב הן חיקוי של האבקנים הסגולים של הזמזומית.



בן־סחלב מצויר
צילום: איתן שפירא

בתצפיות שנערכו בשדה נמצא, שבן־סחלב מצויר וזמזומית מצויה חולקים את אותם מאביקים, וששיעור יצירת ההֶלְקָטִים (הפירות) של הראשון תלוי בצפיפותה של השנייה בבית הגידול. עוד נמצא, שאת פרחי בן־הסחלב ביקרו זבובי פרחים שעירים (בומביל) וכן דבורי בר מהסוגים מחושית ומדרונית, שנצפו עוברים גם אל הזמזומית. כאשר נאספו כמה עשרות ממבקרי הזמזומית, נמצא שכחמישית מהם היו עטורים בגושי אבקה של בן־סחלב מצויר, עדות ברורה לכך שביקרו קודם לכן בפרח זה. ממצא זה הוא הוכחה לשיתוף במאביקים, ולכך כי אותם מבקרים טועים בין בן־סחלב לזמזומית ומאביקים אותו. לפיכך, הוצע שפרחי בן־סחלב מצויר מחקים את אלה של הזמזומית המצויה.

מחקר שבדק את הדמיון החזותי שבין החקיין למודל הראה שאכן הוא הגורם לטעויות של המאביקים. הדבורים רואות את הפרחים של שני מיני הצמחים באופן דומה וטועות ביניהם.



בן־סחלב מצויר וזמזומית
צילום: נעם עביצל

השפית של בן־חרש גדול (משפחת הסחלביים) עשויה שני חלקים: חלקה הפנימי דמוי סירה מוארכת, שצבעה הבסיסי צהוב ובמרכזה בליטות כהות בצבע אדום כהה עד שחור; חלקה החיצוני, השלוח קדימה, דמוי לב ובעל שתי אונות צדדיות משולשות וזקופות. הקצה בעל כתם לבן מבהיק. בין שני חלקי השפית יש שנץ המאפשר תנועה של החלק החיצוני כתוצאה מהפעלת לחץ הנובע ממשקלו של המאביק.

אבקת הצמח ארוזה בגושים ואינה נאספת על ידי חרקים למאכל. כמות קטנה של צוף מופרשת בבסיס השפית, בסמוך לגבשושיות הכהות. הפרחים צהובים, בעלי פסים אדומים כהים, ובולטים לעין האדם. ריח הפרחים חלש ביותר לאף האנושי.

אופן ההאבקה אופייני לכל מיני זבובי הרחף שנצפו: הזבוב (זכר או נקבה) נוחת על חלקה הקדמי של השפית, וגורם, עקב משקלו, לכיפופה כלפי מטה, כמו בעת ישיבה על נדנדה (ציר התנועה הוא השנץ המחבר את שני חלקי השפית). כאשר מתקדם הזבוב ומגיע לקרקעית הפרח,



בן־חרש גדול
צילום: יעל אורגד



בן־חורש גדול
מראה מלפנים
צילום: אמוץ דפני



בן חורש גדול, מבט אל פנים השפית.
מבחינים בבליטות הכהות הנחשבות
כחיקוי אופטי לכנימות.
צילום: אורי שטיין

שם נמצא הצוף, מתערער שיווי המשקל שבין שני חלקי השפית. כתוצאה מכך חוזרת קדמת השפית, שנלחצה קודם כלפי מטה, למקומה הקודם והודפת את הזבוב אל הצלקת הדביקה הנמצאת מעל מקור הצוף. בניסיונותיו של הזבוב להיחלץ נדבקים אליו גושי האבקה. בהגיע זבוב טעון בגושי אבקה אל פרח אחר, נתפסים גושי האבקה שהביא עימו בנוזל הדביק המכסה את פני הצלקת, וכך מבוצעת ההאבקה. נקבות הזבוב

מטילות חלק מביציהן על חלקים שונים של פרחי בן־חורש, ולעיתים ממש ליד הבליטות הכהות שבמרכז החלק הפנימי של השפית. נצפו נקבות זבובים שמיששו בליטות כהות אלה בקצה בטנן, ואז הטילו ביצים ממש לידן. לאור ממצאים אלו הצענו שהבליטות הכהות של השפית הן חיקוי בצבע, ואולי גם בריח, של כנימות הנמצאות על הפרחים.

בדיקה של חומרי הריח גילתה נוכחות של שלוש תרכובות הקיימות גם בהפרשות של כנימת הבקיה. בדיקות של תגובת זבובי רחף גילתה, שהן הזכרים והן הנקבות "מכירים" את חומרי הריח האלו. בדיקות נוספות הראו שנוכחות חומרים אלו גורמת לנקבות זבובי הרחף להטיל ביצים בדיוק כפי שגורמת לכך נוכחותן של כנימות אמיתיות. נקבות זבובי הרחף מטילות את ביציהן בסמוך לריכוזי כנימות, והזחלים הבוקעים מהביצים ניזונים מהכנימות. נקבות הזבובים בוחרות בקפידה את מקום ההטלה על סמך גירויים חזותיים וגירויי ריח. חומרי הריח שזוהו מפרחי בן־החורש הגדול הם פרומון האזעקה של כמה מיני כנימות. את הפרומון הזה מפרישות הכנימות באופן קבוע, אך בעת סכנה הוא מופרש בכמות רבה יותר. נראה אפוא שפרחי בן־החורש הגדול



**זבוב רחף בביקור בפרח בן־חורש גדול
(משמאל). מימין – שתי ביצים שהטיל
על הפרח הזבוב רחפן נפוץ
צילום: יוהנס שטקל**

מחקרים את פרומון האזעקה של הכנימות, המושך זבובי רחף. סברה זו נתמכת בניסויי ההתנהגות, שהראו שריח הפרחים (הן הטבעי והן המסונתז) משרה הטלת ביצים אצל נקבת הזבוב. זו עדות לכך שזבובי רחף טורפים משתמשים בפרומון של הכנימות כאות (סיגנל) מהימן המסייע באיתור מושבותיהן. הנתונים מצביעים על כך שהפרח אינו מחקה מין מסוים של כנימות, אלא חומרים המופרשים על ידי מיני כנימות רבים, ולכן מדובר בחיקוי המושך מינים שונים של זבובי רחף.

בפרחי בן־חורש יש אומנם כמות קטנה של צוף, ועל כן ייתכן שעל פי ההגדרה, מין זה אינו "רמאי". מצד שני, האות שמפרסם הצמח ומושך אליו את המאביקים מטעה ומציע להם גמול אחר (כנימות למאכל, שבמקרים רבים כלל אינן נמצאות על הצמח), ולכן נחשבת פרסומת זו כ"פרסומת שקרית". נשאר השאלה מה מחיר ההאבקה מנקודת מבטו של המאביק, מאחר שזחלים שהתפתחו מביצים שהוטלו בפרח שאין בו כנימות עלולים למות מרעב.

בכל מקרי הרמייה שהובאו לעיל, ושחלקם מוצגים גם בתערוכה, הפרחים יוצרים בעזרת צבע, צורה וריח "מצג שווא" המעורר "אשליה" אצל החרק המבקר, הסבור שמדובר בפרח גומל, לאור ניסיונו הקודם בביקור בפרחים "הוגנים", קרי כאלה המשלמים גמול אמיתי עבור הביקור. השאלה המרחפת סביב הסוגיה כולה היא מדוע כדאי לפרחים "לרמות" את החרקים? לחוקרים אין פתרון מוסכם. קיימות שתי דעות עיקריות: יש המשערים שצמח "רמאי" חוסך אנרגיה הדרושה לייצור צוף ויכול להפנותה לצרכים אחרים, כמו גדילה או ייצור פרחים נוספים. אחרים גורסים שהעובדה שהמאביקים מבקרים מעט פרחים של צמחים "רמאים" ועוברים לצמחים המציעים גמול מגבירה את הסיכוי להאבקה זרה, שיש לה יתרון לעומת האבקה עצמית.

מתוך: דפני, א' ואיזיקוביץ, ד' (2023).
האבקה בראי ישראלי. הוצאת פרדס, חיפה

ד"ר גדעון פיזנטי

אוצר באוסף הדבורים והצרעות הטפיליות,
מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב



בזכות מיקומה הייחודי בצומת בין יבשות
ועושר בתי הגידול שבה, ישראל התברכה
במגוון ביולוגי עשיר, הכולל כ־2,300 מיני
צמחים ואלפי מיני חרקים מאביקים.

תחום ההאבקה בישראל מהווה אבן שואבת לאינספור מחקרים
בתחומי הבוטניקה, אנטומולוגיה, אקולוגיה, אבולוציה וחקלאות.
אפילו המחקר של גרגרי האבקה עצמם, אותם פתיתים
מיקרוסקופיים המעבירים את המטען הגנטי מצמח אחד לאחר,
מקנה לנו מידע יקר מפז. למשל, נוכחות גרגרי אבקה במשקעים
פרהיסטוריים מספקת לנו הצצה ייחודית אל עולם הצומח
שהתקיים לפני עשרות אלפי שנים באגן הים התיכון¹.

עולם ההאבקה הישראלי: עבר, הווה ועתיד



גידול דבורים במכוורת ידוע בארץ ישראל מזה כ־3,000 שנה. ניתוח של ממצאי כוורות שהתגלו בחפירות תל רחוב חשף, שבארץ ישראל גודלו דבורי דבש אנטוליות, תת־מין שעודנו קיים באזור טורקיה של ימינו. כיום, בגידול המסחרי נעשה שימוש בדבורים מתת־המין האיטלקי. בארץ ישראל היה קיים גם תת־מין מקומי של דבורי דבש, המכונה "דבורה סורית", שהיה תוקפני יותר ופחות נוח לביות, אך במהלך המאה ה־20 הוא נעלם מהטבע.²

חשוב לזכור, כי בעולם הפרחים, החרקים וההאבקה, דבורי הדבש אינן כל הסיפור. דבורת הדבש היא מין יחיד של דבורה מתוך מעל 1,200 מיני דבורים שהתברכה בהם ישראל. רשימת מיני הדבורים של ישראל ממשיכה לגדול כל הזמן עקב גילויים חדשים במחקר הסיסטמטי³. מינים רבים של דבורים "מתמחים" בקבוצה מצומצמת ביותר של צמחים, כל מין של דבורה והצמח המותאם לו. התמחות זו משמעותה, לעיתים קרובות, יכולות האבקה ייחודיות ומשופרות, שאין לדבורים פחות בררניות, כגון דבורת הדבש.

גם קבוצות אחרות של חרקים, ובייחוד הזבובים, העשים והחיפושיות, מתאפיינים בעושר מינים גבוה בישראל, וקיימים מינים רבים של צמחים המותאמים להאבקה על ידם (למשל לוף ארצישראלי, חבצלת החוף ופרג אגסני, בהתאמה). מאביקים שאינם חרקים כמעט שלא נחקרו בישראל, אולם אחת מציפורי ארצנו – הצופית – משתייכת לקבוצה של ציפורים טרופיות הניזונות בעיקר מצוף פרחים, ואת חלקם אף מאביקות⁴.

הטבע הישראלי מפגין עושר של אינטראקציות ייחודיות בין צמחים למאביקיהם. נזכיר כאן רק כמה דוגמאות: הרקפת המצויה, שמבנה הפרח שלה מתאים להאבקה על ידי דבורים גדולות, אך בפועל היא מואבקת בעיקר על ידי עשים; הכלנית המצויה, שפורחת במגוון צבעים, שלכל אחד מהם כושר משיכה שונה למאביקים שונים; החצב המצוי, המושך קשת רחבה ביותר של מאביקים בעונה שבה הכול מסביב יבש ואין לו מתחרים; ואירוס הארגמן, שאינו מספק למאביקיו צוף או אבקה, אך משמש מקלט לילה לזכרי הדבורים⁴.

1. Langgut, D. et al. 2011. Vegetation and climate changes in the South Eastern Mediterranean during the Last Glacial-Interglacial cycle (86 ka): new marine pollen record. Quaternary Science Reviews, 30: 3960–3972.

2. Soroker, V. et al. 2018. Apiculture in Israel. In: P. Chantawannakul et al. (eds.), Asian Beekeeping in the 21st Century. Springer.

3. Pisanty et al. 2022. Twenty-five new species of mining bees (Hymenoptera: Andrenidae: Andrena) from Israel and the Levant. Zootaxa, 5185: 1–109.

4. דפני, א' ואיזיקוביץ, ד' 2023. האבקה בראי ישראלי. פרדס הוצאה לאור.

אך הדוגמאות הייחודיות ביותר בעולם ההאבקה שמורות לסחלבים. משפחה זו, המיוצגת בישראל רק על ידי 34 מינים, מהווה את שיא התחכום בניצול המאביקים. רוב מיני הסחלבים בישראל הם "רמאים", המצליחים למשוך את מאביקיהם ללא מתן כל גמול בתמורה. חלקם (כגון בן־סחלב מצויר) עושים זאת על ידי חיקוי צמחים אחרים, וחלקם (כגון הדבורנית) על ידי חיקוי נקבות של דבורים, המושכות את הזכרים לצורך הזדווגות.⁴

כמדינה מובילה בייצור, בפיתוח ובטכנולוגיה של אמצעים חקלאיים, מחקרים רבים נעשו בישראל על שיפור ההאבקה של מגוון גידולי חקלאות באמצעות מאביקים שונים, בעיקר דבורי דבש. נמצא שלמיקום הכוורות ולתזמון של הכנסתן לשדה או למטע יש חשיבות מכרעת להצלחת ההאבקה. מאביק נוסף שנעשה בו שימוש רב בחקלאות הוא דבורת בומבוס האדמה. למין זה שרירי כנפיים חזקים, המאפשרים האבקה מיטבית של פרחים ממשפחת הסולניים, כגון עגבנייה, פלפל וחציל, בתהליך המכונה "האבקת זמזום".⁵

כמה מינים נוספים נחקרו באשר לכושר ההאבקה שלהם ולפוטנציאל השימוש המסחרי בהם בחקלאות, בייחוד מיני דבורים המקננות בגבעולים חלולים, שאותם ניתן להציב בשטחים החקלאיים.⁵ מחקרים מהשנים האחרונות הדגישו גם את חשיבותן של אוכלוסיות מאביקים טבעיים החיים בסמוך לשטחים החקלאיים, ואף בתוכם, כבעלי תרומה חשובה להאבקת הגידולים, שמתווספת לתרומת המאביקים המסחריים, ואף מהווה "רשת ביטחון" למקרים של מחסור בהם.⁶ מחקרים אחרים ניסו למצוא דרכים לשיפור ההאבקה באמצעים טכנולוגיים ומכאניים, ללא תלות בגורמים טבעיים.⁷

ומה צופן העתיד לעולם ההאבקה הישראלי? אתגרי שמירת הטבע במדינתנו הצפופה אינם מרפים לרגע, והשילוב של צמצום השטחים הטבעיים, שינוי האקלים ומגוון הפרעות מקומיות שיוצר האדם מעמיד בסכנה מינים רבים של צמחים ומאביקים, ואף מערכות אקולוגיות שלמות. כאשר השטחים הטבעיים מצטמצמים, נוצרת תחרות בין שחקנים שונים בעולם ההאבקה, ובייחוד בין

5. Dag, A. 2009. Interaction between pollinators and crop plants: The Israeli experience. Israel Journal of Plant Sciences, 57: 231–242.

6. Pisanty, G. et al. 2016. Watermelon pollinators exhibit complementarity in both visitation rate and single-visit pollination efficiency. Journal of Applied Ecology, 53: 360–370.

7. Bechar et al. 1999 Modeling and experiment analysis of electrostatic date pollination. Transactions of the ASAE, 42: 1511–1516.

דבורי הדבש המסחריות לדבורי בר ולמאביקים טבעיים אחרים. הקושי לאזן בין צורכי האדם והחקלאות לצורכי הטבע בא לידי ביטוי בחדירה מוגברת של דבורי דבש מסחריות לתוך שטחים טבעיים על חשבון המאביקים הטבעיים החיים בשטחים אלו⁸. כמו כן, קיימים איומים ממינים פולשים שונים, כגון דבורת הדבש הננסית, שחדרה לאזור אילת ומתפשטת צפונה⁹. אתגרים אלו ורבים אחרים דורשים מכולנו פעילות נמרצת, אך גם ראייה ארוכת טווח לשימור עולם הצמחים והמאביקים, על העושר הרב שבו.

8.
Tourbez, C. et al. 2025. Commercial honey bee keeping compromises wild bee conservation in Mediterranean nature reserves. *Apidologie*, 56: 11.

9.
Moritz, R.F.A. 2010. Invasion of the dwarf honeybee *Apis florea* into the near East. *Biological Invasions*, 12: 1093–1099.



פרופ' דפנה לנגוט

המכון לארכיאולוגיה ומוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט,
אוניברסיטת תל אביב



תרומת חקר גרגרי אבקת פרחים למחקר הארכיאולוגי

גרגרי האבקה של הצמח נוצרים באבקנים, איברי המין הזכריים של הפרחים, ונושאים את תאי המין הזכריים. הם מועברים באמצעות רוח, מים או בעלי חיים (בעיקר חרקים) אל העלי, איבר המין הנקבי של הפרח, וכך מתרחשת ההפריה. לכל צמח צורת גרגר אבקה האופיינית לו, ועל כן משמשים הגרגרים מעין "תעודת זהות" של הצמחים. גרגרי האבקה הם זעירים, גודלם ממיקרונים (אלפית המילימטר) ספורים ועד כמה עשרות מיקרונים, וזיהויים נעשה בעיקר באמצעות מיקרוסקופ אור.

לגרגרי אבקה המופצים באמצעות הרוח תפוצה רחבה מזו של אלה המופצים על ידי חרקים, והם מגיעים ביתר קלות למרחקים ניכרים. בנוסף, כדי להעלות את סיכויי ההאבקה, צמחים מואבקי רוח מייצרים גרגרי אבקה בכמויות גדולות יותר מאלה שמייצרים צמחים שמואבקים על ידי חרקים.



גרגרי אבקת פרחים וארכיאולוגיה

לגרגרי אבקת פרחים יכולת השתמרות גבוהה מאוד; הם עשויים להשתמר כמאובנים במשך מאות ואף אלפי שנים, ועל כן יכולים לסייע בפתרון תעלומות ארכיאולוגיות. תנאי השימור של גרגרי האבקה הם טובים במיוחד במקומות שבהם תהליכי החמצון איטיים מאוד, כגון משקעים שמצטברים בקרקעית ימים, אגמים וביצות, וכן בסביבה מדברית. באמצעות שחזור הצמחייה הקדומה מקישים החוקרים על אודות שינויי אקלים. באמצעות זיהוי גרגרי אבקה מאובנים באתר ארכיאולוגי (תחום מדע הנקרא **ארכיאובוטניקה**) אפשר לענות על מגוון רחב של שאלות הנוגעות לאורחות חייהם של תושבי האזור הקדומים. למשל, באיזו עונה יושב האתר, מה הייתה תזונת התושבים, מתי החלו לביית צמחים? – מנהגי פולחן, קשרי מסחר, צמחי נוי בגינות פאר ועוד.

את גרגרי האבקה המאובנים באתר ארכיאולוגי אפשר לדגום מרצפות, מכלים קרמיים, מטיח שטויח על מבנים, מגללי בעלי חיים וכדומה.

הארמון ברמת רחל

לאחרונה התגלו בארץ ממצאים ייחודיים, השופכים אור חדש על חקר גנים מלכותיים קדומים באזורנו. בחפירות באתר רמת רחל שליד ירושלים נחשף מבנה ארכיטקטוני מפואר, שזוהה כארמונו של נציג האימפריה הפרסית באזורנו, לפני כ־2,500 שנים לערך. מסביב לארמון, בחפירות שנערכו בשנים האחרונות, חשפו פרופ' עודד ליפשיץ ופרופ' יובל גדות (מנהלי החפירה הארכיאולוגית), גן מלכותי קדום. הארכיאולוגים היו סקרנים עד מאוד לדעת מה גדל בגן זה, אולם לא נשתמרו בקרקע שרידים בוטניים, וחידת הצומח בגן נותרה ללא מענה. לפיכך היה ברור לחוקרים כי יש לנקוט טכניקות ארכיאובוטניות שגרתיות פחות. הוחלט לנסות לזהות האם נלכדו בטיח של מבני הגן גרגרי אבקת צמחים. המבנים טויחו במהלך השנים בכמה שכבות טיח למטרות תחזוקה. הנחת העבודה הייתה שאם אחת השכבות טויחה בעונת האביב, בעת שהגן עמד בשיא פריחתו, אזי עשויים היו גרגרי אבקה שריחפו באוויר באותה עת להידבק לטיח הרטוב ולהיחתם בו.

זיהוי הצמחים שגדלו בגן מבוסס על בידודם של גרגרי אבקה מאובנים מטיח שכיסה את אחת מבריקות המים שהיו בגן. בבדיקה המיקרוסקופית זוהה אוסף ייחודי ומפתיע של עצי פרי, צמחי נוי ועצים שאינם גדלים בר באזורנו, ואשר הובאו לגן המלכותי ממרחק רב.

הממצא הייחודי ביותר שהתגלה במחקר זה הוא האתרוג. זוהי העדות הבוטנית הישירה הקדומה ביותר לגידולו של עץ זה באגן הים התיכון. מוצאו של האתרוג במזרח הודו ובדרום סין, והוא המין הראשון במשפחת ההדרים שהתפשט מערבה, ככל הנראה דרך פרס (איראן של היום). שמו העברי אף מרמז על מוצאו: בפרסית נקרא האתרוג אתרונג'. מאחר שלקראת סוף המאה הרביעית לפני הספירה יצא הגן ברמת רחל מכלל שימוש, הרי שזיהוי גרגרי האבקה של האתרוג בגן מלמד שבתקופה הפרסית לכל המאוחר כבר גודל האתרוג בארץ ישראל.

עץ נוסף שאינו גדל בר בישראל, ואשר זוהה במאסף גרגרי האבקה מן הגן, הוא ארז הלבנון. זיהויים של גרגרי האבקה של הארז בגן ברמת רחל מעיד כי הוא גודל בגן.

אגוז המלך אף הוא אינו גדל בר במרחב הישראלי. מוצאו של צמח זה בבתי גידול ממוזגים וקרירים בפרס וסביבתה, ושם ככל הנראה תורבת לראשונה. גם גרגרי אבקה של עץ זה זוהו במאסף גרגרי האבקה שנמצא בטיח בריכת הגן המלכותי.

מעצי הפרי הגדלים באופן טבעי באזורנו, ואשר זוהו ברמת רחל, יש להזכיר את הגפן והתאנה. קיומם של עצים אלה במאסף צמחי הגן הוא ייחודי, משום שלגרגרי האבקה של מינים אלה יכולת תפוצה מוגבלת, כי הם אינם נישאים למרחק רב. הגפן המתורבתת לרוב מואבקות עצמית, והתאנה מואבקות על ידי צרעה בתוך הפרי. כך שמציאותם של גרגרי אבקה של שני צמחים אלה בטיח הבריכה מעידים על כך שהם צמחו בקרבתה.

בין הצמחים הנוספים שזוהו בעזרת גרגרי אבקה במחקר זה עצי צפצפה, עצים גבוהים ומהירי צמיחה, שייתכן ששימשו ליצירת גדר היקפית; הדס מצוי, הנפוץ בגינות נוי בשל ריחו הנעים, פריחתו הממושכת והאפשרות לגזום אותו בקלות יחסית בעיצוב המושך את העין; וכן עדשת המים ושושנת המים, שני מינים של צמחי מים שגודלו בבריכות הגן למטרות נוי.

מחקר זה מראה כיצד זיהוי גרגרים מאובנים של אבקת פרחים עשוי להאיר סוגיות ארכיאולוגיות שעד היום היו נסתרות מן העין. שיטת הדגימה הייחודית אפשרה לשחזר לראשונה באופן מדויק את מרכיבי הצומח של גינת פאר מלכותית. מתוך הבנת מנגנוני ההאבקה ופרמטרים בוטניים נוספים של הצמחים השונים שזוהו בגן, אפשר לדמיין כיצד נראה הגן. מאסף גרגרי האבקה שזוהה בגן המלכותי שבאתר רמת רחל בולט בהרכבו הנדיר ומעיד על רצונו של השליט המקומי, יושב הארמון, שהיה ככל הנראה נציגה של האימפריה הפרסית במרחב, להתהדר בגן מפואר לצורכי תעמולה, למען יראו מבקרי הגן ונתיני האזור את יכולותיו המופלגות. לכן ייבא עצים ממקומות מרוחקים בממלכה, כדוגמת האתרוג, ארז הלבנון ואגוז המלך, ושתל בגן צמחים הדורשים השקיה וטיפול – הערבה, הצפצפה והגפן – אשר בסביבתם הטבעית גדלים לרוב ליד מקווי מים, ונוכחותם באתר העידה על השקייתם. יש לזכור גם, שהאתר קרוב לספר המדבר, והגן הפורח בו ודאי בלט מאוד על רקע סביבתו הטבעית. הגן נועד אפוא להציג את יושב המקום כשליט כל יכול, השולט בטבע ומעצבו כרצונו, כשם שהוא שולט בנתיניו.

האבקה: הסיפור המלא

אוצרת: מיכל קרסני

אוצר מדעי: ד"ר זוהר ינאי

מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט

יו"ר המוזיאון: פרופ' תמר דיין

מנכ"ל: אלון ספן

ועדת היגוי: פרופ' מיכל גרונטמן, פרופ' נטע דורצ'ין,

פרופ' אברהם חפץ, פרופ' דפנה לנגוט,

פרופ' יעל מנדליק, פרופ' יובל ספיר, ד"ר גדעון פיזנטי,

ד"ר מנחם גורן, ד"ר רויטל בן דוד זסלון,

ד"ר אילאיל פרת, ד"ר תומר גויטע, ג'וליה טוביאס,

תמר צדוק, דנה סילורה שריר, עדי כץ שפירא

תודה מיוחדת לאוצרים ולמנהלי אוספי הטבע

הלאומיים במוזיאון: ד"ר עמוס בלמקר, ד"ר לירון גורן,

ד"ר אליזבת מרגוליס, ד"ר טטיאנה נובוסלקי,

אריאל לאוניד לייבעלע פרידמן, אופיר תומר

עיצוב, ביצוע והקמה

סטודיו אנטונינה בע"מ

Antonina Studio Ltd

שפה חזותית, עיצוב לוגו ואיורים

שלי אלכסנדר

עיצוב גרפי בתערוכה

אורית אלזנר רזיאל

עריכה לשונית בעברית

דפנה לב

מיתוג ותקשורת חזותית

הקולר הכחול Blue Collar

צילומי הצבה

שי בן אפרים

תודות

ד"ר מני נוימן, מנהל הגן הבוטני לצמחי הבר,

האוניברסיטה העברית, הר הצופים

ד"ר אורי פרגמן-ספיר, מנהל מדעי,

הגן הבוטני האוניברסיטאי, ירושלים

ד"ר מתן בן ארי,

מנהל הגן הבוטני במכללת אורנים

רננה אורנבוכ, מנהלת המגוון הביולוגי ובית

הפרפרים ע"ש הילרי טיש

יונתן כנעני, חברת AgroBee, מושב עין יהב

אהוד רזיאל, חברת זרעי ג'נסיס –

ייצור ומחקר זרעים אורגניים, ישראל

אילון גליץ, צילום





THE STEINHARDT
museum
of natural
history
מוזיאון
הטבע
שטיינהרדט
متحف
الطبيعة
مستانهارت

