



צלילה בן-דוד

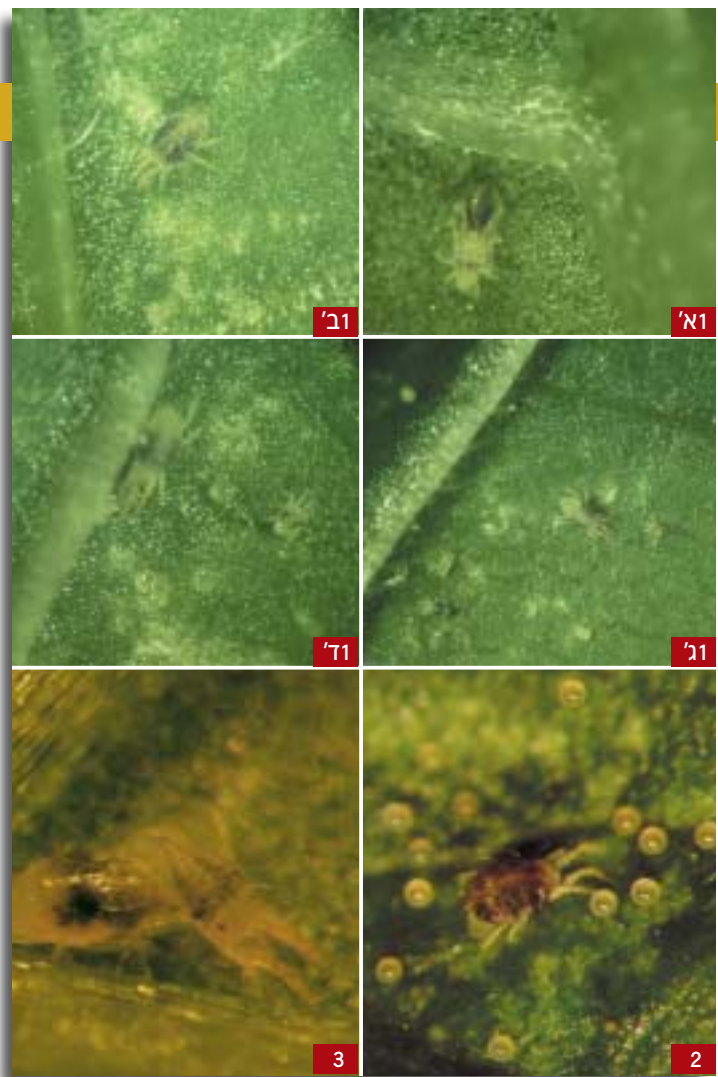
קיטלוג מולקולרי של מיני אקריות הקורים בישראל

צלילה בן-דוד / השירותים להגנת הצומח ולביקורת, משרד החקלאות

- העבודה בוצעה בהנחייתם של פרופ' אורי גרזון ושי מורין, המחלקה לאנטומולוגיה, הפקולטה לחקלאות, רחובות
- תמצית מעבודת דוקטורט, מוגשת לאוניברסיטה העברית בירושלים.
- העבודה מומנה על ידי השירותים להגנת הצומח ולביקורת.

הטקסונומיה הקלאסית מתבססת על מורפולוגיה ולעתים רחוקות מיתוספים גם מבחני הכלאות. בשיטה זו נדרשים לצורך ההגדרה פרטים בוגרים, נקבות וזכרים. לאחרונה החלו בעולם לפתח כלים מולקולריים המאפשרים זיהוי מיני חרקים ואקריות, בדרגות ההתפתחות השונות, באמצעות סמני DNA. בעבודה זו נעשה שימוש במקטע DNA גרעיני בשם ITS2, המשמש להבחנה בין מינים קרובים במשפחה זו.

עבודות מולקולריות אחדות שנערכו באירופה מאמצע שנות התשעים בחנו אוכלוסיות מרחבי אירופה, הים התיכון, ארה"ב ויפן. הן הראו, כי באקריות צהובות מצויות (*Tetranychus urticae* Koch) ואדומות מצויות שיוחסו (גם בישראל) למין *T. cinnabarinus*, קיימת זהות של המקטע ITS2 ושונות מועטה בלבד במעקבות הגן המיטוכונדריאלי COI. הסימנים המורפולוגיים שאמורים להבדיל ביניהם שנויים במחלוקת. הסימן החשוב - צורת קצה איבר המין הזכרי, תלוי מאד בתנוחת הזכר במתקן המיקרוסקופי, כך, שמלבד צבע גוף הבוגרות אי אפשר להבדיל ביניהם. בעקבות דיווחים על הכלאות מוצלחות בין אקריות אדומות וצהובות, ובתוספת ההוכחות המולקולריות שהוזכרו, הדעה הרווחת באירופה היא כי שני מזיקים אלה שייכים לאותו המין. מכאן, שהשם *cinnabarinus*, שניתן לאדומה



צילומים: צלילה בן-דוד

שפחת אקריות הקורים (Tetranychidae) כוללת כ-1,200 מינים בכל העולם, ביניהם מזיקי מפתח התוקפים גידולי ירקות, פרחים, צמחי נוי ועצי פרי רבים. למרות החשיבות הכלכלית של משפחה זו היא לא נחקרה בישראל ביסודיות עד העשור האחרון. רק 12 מינים המזיקים לחקלאות ועוד שני מינים ייחודיים לצמחי בר תועדו מישראל עד שנת 2004.

הגדרת מיני בעלי חיים הוא הבסיס להבנת השוני בין מינים, קשרים משפחתיים ותהליכים אבולוציוניים. זיהוי נכון חיוני להשוואה בין מחקרים שונים ולהתקדמות המדע. כמו כן, לזיהוי מדויק חשיבות רבה ומשמעות כלכלית למניעת העברה של נגעים בין מדינות ולהדברה כימית וביוולוגית של מזיקים.

בתמונות למעלה: תמונות 1א'-ד' - צילומים מיקרוסקופיים של האקריות הטורקסטנית *T. turkestanii*; תמונה 2: אקרית אדומה מצויה RF *T. urticae* בוגרת במושבה עם ביצים; תמונה 3: זכר ונקבה של *T. urticae* לפני הזדווגות

מהלך העבודה

במהלך עונת 2004/05 נאספו אקריות קורים מ-32 צירופי אתר/פונדקאי מ-21 אתרים בשלושת אזורי האקלים של ישראל: ים תיכוני, חצי מדברי ומדברי (ראה טבלה בעמ' 36). הופקו מעקבות ITS2 (sequences) עבור 16 מינים, מהן מעקבות של 12 מינים שזו הפעם הראשונה שהם מופקדים בבנק הגנים העולמי, שהכיל עד אז רק 12 מינים. נמצא, כי לכל מין אורך שונה של המקטע ITS2 - בין 360 ל-540 זוגות בסיסים, חוץ מאשר לשני המינים הקרובים *T. turkestanii* ו-*T. urticae*, שלהם מעקבות ITS2 זהות באורכן וזדומות מאוד. עם זאת, קיים רצף ייחודי ואופייני לכל אחד מהם - חמש מוטציות נקודתיות קבועות, המאפשר אבחנה חד משמעית ביניהם. יש לזכור כי אפשר למצות DNA מפרט בודד, ללא הבדל בין נימפות לבוגרים.

במהלך המחקר נאספו והוגדרו מולקולרית ומורפולוגית שלושה מינים שלא תועדו קודם לכן בישראל:

1. *Aplonobia histicrina* (Berlese);
2. *Tetranychus ludeni* Zacher;
3. *T. evansi* Baker & Pritchard.

כמו כן נמצאו שלושה מינים נוספים שלא תועדו מישראל, אך לא הוכנסו לקטלוג המולקולרי עקב מיעוט הפרטים שנאספו:

1. *Bryobia graminum* (Schrank);
2. *Eotetranychus hirsti* Pritchard & Baker;
3. *Oligonychus coniferarum* (McGregor).

שישה מינים אלה הם מזיקים במספר מקומות בעולם, ואף שנאספו בישראל מצמחי בר ועדיין לא גרמו נזקים משמעותיים לחקלאות בישראל (חוץ מ-*T. evansi*, המעדיף סולניים ותקף כבר תפוחי אדמה בעמק החולה ובנגב הצפוני, ו-*O. coniferarum*, שהסב נזק לברושים בחיפה) הם עלולים להפוך למזיקי חקלאות, יער וגני וחשוב להכירם, לדעת לזהותם ולתעד את המצאותם בארץ למטרות הדברה ולצורכי הייבוא והייצוא של ישראל (פונדקאים של מינים אלה ומיקומם הגיאוגרפי ראה בטבלה בעמ' 36).



תמונה 4: נזק של *Tetranychus evansi* בתפוח אדמה בנגב הצפוני

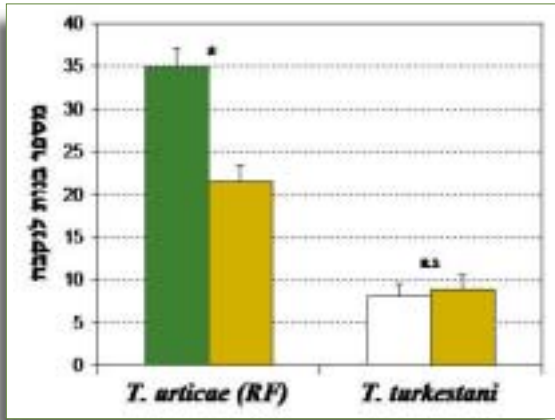
שנים לאחר שתוארה הצהובה, הוא סינונים, ובעצם מבטל. כיום הם מופיעים בספרות כ"הצורה" האדומה (Red Form) RF, המכונה בחלק מהספרים בעברית טטרניך הקורים, וה"צורה הירוקה" GF (Green Form), שאנו קוראים לה אקרית צהובה מצויה, או טטרניך צהוב. באקריות אלו קביעת מין הצאצאים נעשית על ידי מנגנון הפלו-דיפלו, כלומר הנקבה מטילה ביצים מיד עם התברורתה, גם אם לא הזדווגה. מביצים לא מופרות מתפתחים זכרים ומביצים מופרות מתפתחות נקבות. הזדווגויות בין מינים שונים באקריות קורים תוצאתן לרוב צאצאים זכרים בלבד (חוסר הפריה).

בניסויים הקדמיים בוצעה הכלאה בין אקרית צהובה מצויה GF *T. urticae*, שנאספה מצמח פורמיום במשתלה בכפר הס, לבין האקרית האדומה המצויה RF *T. urticae*, כאשר הנקבות היו אדומות והזכרים צהובים (ללא אפשרות בחירה), התקבלו נקבות פוריות בדור F₁ והתפתח דור F₂ נורמלי. למרות שבכיוון ההפוך ההכלאות לא הצליחו וכל הצאצאים היו זכרים, המסקנה שהתבקשה היא כי אלה שני גזעים של אותו מין. ההבדלים בצבע גוף הבוגרות והיכולת של הצהובות להיכנס לתרדמת חורף (האדומות לא), עשוי להעיד על קיומו של תהליך ספציאציה שיביא בסופו של דבר להיפרדותם המלאה של שני הגזעים. למרות זאת, עלינו לקבל בישראל את הדעה המבוססת על תפיסת ה"מין הביולוגי", כי שתי הצורות עדיין שייכות לאותו מין. המשמעות המעשית של הדבר היא, שתכונות כגון עמידות לתכשירי הדברה, עלולות לעבור בין שני הגזעים. עבודה זאת עוסקת בהרחבה בשני מינים של אקריות קורים:

1. האקרית האדומה המצויה RF *T. urticae*, הנפוצה ביותר בחקלאות ישראל כיום ונחשבת למין מקומי שהיה פה מאז ומתמיד;
2. האקרית הטורקסטנית Ugarov & Nikolskii *Tetranychus turkestanii*, מין דומה וקרוב מאוד לאקרית הצהובה המצויה GF *T. urticae*, גם מורפולוגית, גם מולקולרית וגם אקולוגית, והוא מזיק רב פונדקאי קוסמופוליטי כמותה. הטורקסטנית יכולה גם היא לעבור תקופה של טמפרטורות נמוכות בתרדמת בוגרות. בישראל לא הייתה עד כה התייחסות ל-*T. turkestanii*, ואין מידע על מועד פלישתו של מזיק זה לאזורנו. בקטלוג העולמי של משפחת אקריות הקורים (1998) הוא מוזכר כמצוי בישראל על סמך ידע אישי, היות שלא הוזכר בפרסום מדעי או ברשימות מזיקי ישראל. לאחרונה נזכר כמזיק של כותנה במערב ארה"ב, תות שדה בארה"ב ורוסיה, חציל באירן, תירס וחמונית בצרפת, אולם ברשימת פונדקאיו צמחי בר ותרבות רבים, כולל עצים נשירים. הזכרים של GF *T. urticae* ו-*T. turkestanii* מחזרים ומזדווגים עם נקבות המין השני, התנהגות שעלולה לגרום להפרעה רבייתית המוגדרת כפגיעה בהצלחה הרבייתית כתוצאה מיחסי גומלין בין שני מינים שונים בתהליך רבייתם. מטרות העבודה העיקריות היו ייצור קטלוג מולקולרי לזיהוי מיני אקריות הקורים הקיימות בישראל בהשוואה למקובל על פי הסווג המורפולוגי ותיעוד השונות הגנטית בתוך המינים. כן ביקשנו ללמוד האם המרחק הגנטי הקצר בין שני מזיקים חשובים, *T. urticae* RF ו-*T. turkestanii*, מעיד על תהליך התמיינות לא מושלם, שעלול להוביל להפרעה רבייתית במפגש ביניהם.

שסברנו עד אז. האחרונה אמנם נמצאת בישראל, אך אינה נפוצה ביותר, כפי שעולה מאוכלוסיות שנאספו מ-50 צירופי אתר/פונדקאי ובוצעו כחלק ממאמץ למצוא את המזיק ולברר את מידת פיזורו בישראל (לא מופיעים בטבלה). כלומר, האקרית הטורקסטנית שולטת באופן מובהק בבתי גידול של עצים נשירים בישראל, ליתר דיוק במטעי תפוח, אפרסק, שקד ותאנה ובעשבי בר בסביבתם. לעומת זאת, *T. urticae* GF נמצאו בצמחי נוי, באבטיח ובנקטרינה תחת רשת והאדמות נאספו מצמחים עשבוניים בחממות ובשטח הפתוח, ירקות, עשבי בר ומטעים תחת רשת. שני המינים נמצאו יחדיו בשטחים פתוחים של אבטיח בגולן ובעמק החולה.

באיור מוצג מספר הבנות הממוצע לכל אם אדומה (*Tetranychus urticae* RF) וטורקסטנית (*T. turkestanii*), עם שגיאת תקן



הערות לאיור: הניסוי נערך במשך שבועיים על צמח שעועית בעציץ.
 - עמודות צהובות מציינות את התוצאות של כל מין כאשר האוכלוסיות היו מעורבות (עשרה זוגות מכל אחד מהמינים על כל צמח);
 - עמודה ירוקה - אקריות אדומות בלבד (היקש);
 - עמודה לבנה - אקריות טורקסטני בלבד (היקש). בהיקשים אולם כל צמח ב-20 זוגות מאותו מין (species).
 - כוכבית (*) מציינת הבדל מובהק בתוך המין ברמה של 0.05. הבדל לא מובהק מצוין ב-N.S.

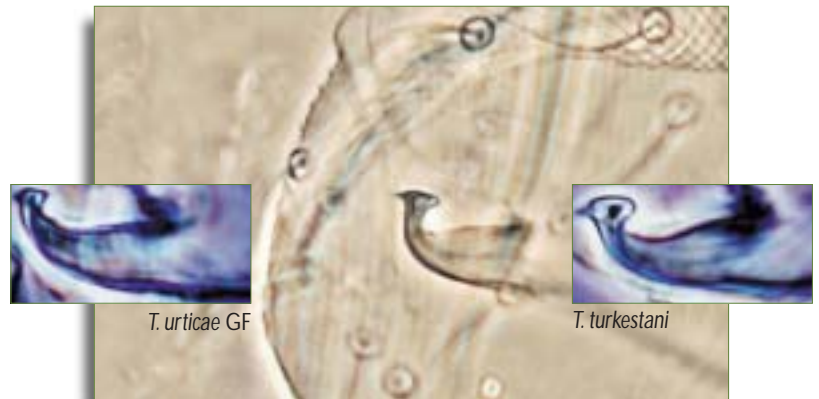
לגבי ההיסטוריה של *T. turkestanii* בישראל, ניתן להניח כי מין זה נמצא באזורנו שנים רבות, ובגלל הדמיון הרב בינו לבין האקרית הצהובה המצויה יתכן כי חלה טעות בזיהויו כבר בתחילת שנות השישים, כאשר תועדה לראשונה נוכחות האקרית הצהובה המצויה *T. urticae* GF בארץ על ידי פלאות ופלדמן ממטע תפוח ניסויי בנוה יער שרוסס בתכשירים חריפים. באותו מאמר (פורסם בעברית ב-1966) נמסר, כי האקרית החדשה "דחקה את רגלי האקרית האדומה המצויה ממטעי אגס ותפוח" תוך שנים ספורות. כמו כן יתכן שהמין *T. turkestanii* חדר לישראל מאוחר יותר ודחק את קודמו *T. urticae* GF מאותו בית גידול. לצערנו לא נמצאו המתקנים המיקרוסקופיים ששימשו ב-1965 להגדרת המין הפולש הצהוב. העדות המוקדמת ביותר ל-*T. turkestanii* בישראל שנמצאה הייתה באוסף של פרופ' אורי גרזון - פרט זכר מארטישוק ברביבים משנת 1980, תקופה בה גידלו אפרסקים בנגב. גם כיום ניתן למצוא את

מזיק רב פונדקאי מקומי, האקרית האדומה המזרחית *Eutetranychus orientalis* (Klein), נמצא בעל השונות הרבה ביותר בהרכב הבסיסים בקטע ITS2. המעקובת השכיחה ביותר בודדה מכל האתרים בהם נאסף המין מפונדקאים שונים והיא מופיעה גם בפרטים הטרוזיגוטיים, לצד מעקובות נוספות שבודדו מכלל הנקבות באתרים השונים. בנייתו גנטי של מעקובות אלו לא נראה מבנה או דגם שמעיד על תהליך אדאפציה שיכול לשפוך אור על מאפייני התפשטות המזיק מאזור בקעת הירדן למישור החוף ולערבה מאז שנות השלושים של המאה שעברה ועד כה. המעקובת המשותפת מעידה על כך, שבין אוכלוסיות האקרית המזרחית באזורי הארץ השונים ואף המרוחקים ביותר, התרחש חילוף גנים, ויש להניח שהפעילות החקלאית האינטנסיבית בארץ, כמו גם התרחבות ענף ההדרים לערבה ולנגב, הן שתרמו להרחבת אזור התפוצה של המין. לא נמצאו בישראל מינים נוספים מאותו סוג דוגמת אלה שתוארו מתימן וממצרים השכנה, ולא "מינים חבוים" חדשים שטרם תוארו.

המרחק הגנטי (אחוז הנוקלאוטידים השונים במעקובת) הקטן ביותר בין מקטעי הסמן ITS2 של שני מינים נמצא כאמור בין *T. urticae* (אדומות וצהובות) ו-*T. turkestanii* והוא נע בין 1.1 ל-1.5%. יש הטוענים כי מרחק של פחות מ-2% יכול להתקיים בתוך אותו מין, ורק מעבר לו נחשבות אוכלוסיות כאלו כמינים נפרדים.

לפי סמן נוסף המצוי בבנק הגנים (COI), לא ניתן כלל להבחין בין שני מינים אלה. למרות שצבע גוף הנקבות והיכולת להיכנס לתרדמה זהים בין *T. urticae* GF לאקרית הטורקסטנית, ועל אף שההבדל המורפולוגי היחיד ביניהם הוא בצורתו של קצה איבר המין הזכרי (תמונה 5), אין ייחוס בעולם האקולוגי כי אלה שני מינים שונים. בכל זאת, לא הוכח כי תהליך ההפרדות והספציאציה של מינים אלה הושלם.

במאספים מהשנים 2004/05, בנידולי קקלאות בכל האזורים בישראל, נמצא כי אקרית הקורים הצהובה המזיקה במטעים נשירים בישראל היא *T. turkestanii*, ולא האקרית הצהובה המצויה *T. urticae* GF, כמו



תמונה 5: איבר המין הזכרי באקריות קורים (*Tetranychus turkestanii*), גודלו יחסית לגוף ומיקומו, כפי שנראה במתקן מיקרוסקופי בהגדלה X 100 (הצילום המקורי הגדל במחשב). תמונה קטנה בצד שמאל: איבר המין הזכרי של אקרית אדומה מצויה (*Tetranychus urticae* RF), תמונה קטנה בצד ימין: איבר המין הזכרי של האקרית הטורקסטנית (*T. turkestanii*) - ההבדל המורפולוגי היחיד בין שני המינים

והתוצאה היא ירידה רבה יותר בהצלחה הרבייתית של האקריות האדומות באוכלוסיות מעורבות (ראה מאחר שבניסויי המעבדה נמצא כי ההטלה והישרדות הצאצאים גבוהות יותר באקרית האדומה לעומת אלו של *T. turkestanii*, נראה כי האדומה בעלת קצב ריבוי גבוה יותר בתנאים אלה. שקלול קצב הריבוי וההפרעה הרבייתית, המשפיעים באופנים מנוגדים על דינמיקת האוכלוסין של האקריות האדומות, עשוי להסביר את הדו-קיום של שני המינים בבית גידול חד שנתי (אבטיח), מבלי שאחד מהם זוחק את השני. כנראה שבמטעי הנשירים מעורבים בנוסף גורמים אקולוגיים אחרים, כמו חריפה באתר, תרדמה בעת הצורך, צפיפות יחסית התחלתית ושינויים באיכות הפונדקאי או במערכות ההגנה שלו - בשליטתו של המין *T. turkestanii* בבית הגידול.

לסיכום, בעבודה זו בוססה שיטה מולקולרית יעילה ביותר לזיהוי אקריות ממשפחת ה-*Tetranychidae*. כן הורחב מאגר מעקבות ITS2 שניתן להשתמש בו כבסיס ליצירת שיטה בינלאומית אחידה ומדויקת להגדרת מינים אלה למטרות הגנת הצומח ושמירה על מגוון המינים. רשימת מיני אקריות קורים מישראל עודכנה ונוספו לה שישה מינים שלא תועדו קודם לכן, חלקם מזיקים פוטנציאליים. בנוסף הוברר לאשורו כי האקרית ה"צהובה" השולטת בבתי הגידול של עצי פרי נשירים בארץ אינה *T. urticae* GF, כפי שסברנו עד כה, אלא המין הקרוב *T. turkestanii*, והושגה התקדמות בהבנת יחסי הגומלין בין מין זה לאקרית האדומה המצויה, שניהם מזיקי חקלאות חשובים בישראל.

ספרות

במאמר זה לא נכללת הפניה למאמרים ואין לו רשימת ספרות. ועם זאת, חלק מממצאי עבודה זו פורסמו בעיתונות המדעית (להלן). למעוניינים, באמצעות פנייה אל כתובת המחברת - zllabd@gmail.com - ניתן יהיה לקבל קובץ pdf ולעיין בעבודה בשפה האנגלית.

1. Ben-David T., Melamed S., Gerson U., Morin S. (2007): ITS2 sequences as barcodes for identifying and analyzing spider mites (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 41: 169-181
2. Ben-David T., Gerson U., Morin S. (2009): Asymmetric reproductive interference between two closely related spider mites: *Tetranychus urticae* and *T. turkestanii* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 48: 213-227. ☒

טבלה: מיני אקריות קורים בישראל, אתרי האיסוף, הפונדקאים ומספר המעקבות שבדודו לכל מין. כוכבית מציינת מין שמעקבות ITS2 שלו לא הופקדו בבנק הגנים לפני מחקר זה

מספר מעקבות ITS2	אתר	פונדקאי		מין האקרית
1	שפיים, רחובות	<i>Oxalis pes-caprae</i>	חמציץ נטוי	<i>Aplonobia histricina</i>
1	רחובות	<i>Malva sp.</i>	חלמית	<i>Bryobia praetiosa</i>
1	רחובות	<i>O. corniculata</i>	חמציץ קטן	<i>Petrobia harti</i>
1	יקום	<i>Avena sterilis</i>	שיבולת שועל	<i>Petrobia Tunisiae</i>
	גילת	<i>Hordeum glaucum</i>	שעורה	
9	יטבתה	<i>Citrus paradise</i>	הדרים	אקרית אדומה מזרחית <i>Eutetranychus orientalis</i>
	נוה יער	<i>C. reticulata</i>	הדרים	
	יד מרדכי	<i>Prunus dulcis</i>	שקד	
	טירת צבי	<i>Salix sp.</i>	ערבה	
2	כפר אדומים	<i>Phoenix canariensis</i>	דקל קנרי	<i>Eutetranychus palmatus</i>
	סעד	<i>P. loureirii (=roebelinii)</i>	דקל רובליני	
3	עכו, שפיים	<i>Persea americana</i>	אבוקדו	אקרית האבוקדו <i>Oligonychus perseae</i>
1	קליה, יטבתה	<i>P. dactylifera</i>	תמר	אקרית הקורים של חנטי התמר <i>Oligonychus afrasiaticus</i>
2	חצבה	<i>Mangifera indica</i>	מנגו	<i>Oligonychus mangiferus</i>
5	יד מרדכי, שפיים	<i>C. sinensis</i>	הדרים	אקרית ארגמנית <i>Panonychus citri</i>
7	אלוני הבשן, צובה, מגדל עוז	<i>Malus sylvestris</i>	תפוח	אקרית אירופית <i>Panonychus ulmi</i>
1	רעננה	<i>Asparagus virgatus</i>	אספרג	<i>Schizotetranychus asparagi</i>
3	בית הגדי	<i>Citrullus lanatus</i>	אבטיח	אקרית אדומה וצהובה מצויה <i>Tetranychus urticae</i>
	לכיש	<i>Solanum lycopersicon</i>	עגבניה	
	ציפורי	<i>S. nigrum</i>	סולנום שחור	
2	אביחיל	<i>Ficus carica</i>	תאנה	<i>Tetranychus turkestanii</i>
	אלוני הבשן	<i>M. sylvestris</i>	תפוח	
	בנימינה	<i>Prunus persica</i>	נקטרינה	
1	שער הגולן	<i>Vithania somnifera</i>	ויטניה משכרת	<i>Tetranychus evansi</i>
	ערוגות, סמר	<i>S. nigrum</i>	סולנום שחור	
3	אביחיל	<i>Lavatera sp.</i>	מעוג	<i>Tetranychus ludeni</i>

המזיק בעצי שקד בתחנת הניסויים במו"פ רמת הנגב. אם הזיהוי הראשון היה מזיק, התחוללו באזור בתוך כ-20 שנה שני אירועי דחיקה של המזיק על ידי מין פולש קרוב באותו בית גידול, מבלי שהבחנו בכך. מהו הסיכוי שתסריט כזה אכן התרחש? לא בלתי אפשרי.

בניסויי ברירת פונדקאים על ידי נקבות *T. urticae* אדומות ו-*T. turkestanii*, נמצא כי נקבות בודדות של שני המינים מעדיפות עלים של אבטיח על פני עלי תפוח, כותנה ואפרסק. כלומר, אבטיח הוא פונדקאי מועדף, ואינטראקציה רבייתית בין מיני תפוחים צפויה להתרחש בנישה אקולוגית חופפת זו. תצפיות על התנהגות רבייתית ומעקב אחר מין הצאצאים באוכלוסיות מעורבות בצפיפות של זוג אחד, שני זוגות ו-20 זוגות נערכו במעבדה. נמצא, כי קיים מחסום רבייה פוסט זיגוטי ביניהם, ומעט נקבות הכלאיים שהתקבלו היו בלתי פוריות לחלוטין. הזכרים מנסים להזדווג עם נקבות שני המינים ללא העדפה ברורה לבנות אותו המין. אולם, נקבות האקרית הטורקסטנית בררניות יותר מהנקבות האדומות,