

מקורות

[1] Ganie ZA, Jugulam M, and Jhala AJ. 2017. Temperature influences efficacy, absorption, and translocation of 2,4-D or glyphosate in glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) and giant ragweed (*Ambrosia trifida*). *Weed Science* **65**: 588–602.

[2] Godar AS, Varanasi VK, Nakka S, et al. 2015. Physiological and molecular mechanisms of differential sensitivity of Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) to mesotrione at varying growth temperatures. *Plos One* **10**: e0126731.

[3] Matzrafi M. 2018. Climate change exacerbates pest damage through reduced pesticide efficacy. *Pest Management Science* **75**: 9–13.

[4] Matzrafi M, Brunharo C, Tehranchian P, et al. 2019. Increased temperatures and elevated CO2 levels reduce the sensitivity of *Conyza canadensis* and *Chenopodium album* to glyphosate. *Scientific Reports* **9**: 2228.

[5] Matzrafi M, Seiwert B, Reemtsma T, et al. 2016. Climate change increases the risk of herbicide-resistant weeds due to enhanced detoxification. *Planta* **244**: 1217–1227.

[6] McLeod R. 2018. Annual costs of weeds in Australia. eSYS Development Pty Limited. Canberra (Australia): Centre for Invasive Species Solutions.



בפרט, בוסס קשר חיובי חזק בין טמפרטורה וקצב ההתפתחות של חרקים^[3], והוערך שהתחממות של 2 מעלות צלזיוס עשויה לאפשר למזיקים שונים להשלים עד חמישה מחזורי רבייה נוספים בעונה^[5], ובכך להגביר באופן מעריכי את פוטנציאל הרבייה המרבי שלהם. לפיכך, צפוי שהתחממות האקלים תגרום להתפרצויות של אוכלוסיות נשאי מחלות, שגלומה בהן סכנה לאספקת המזון, כמו גם לאוכלוסיות בר ולאדם. קשה יותר להעריך את פוטנציאל הבקרה הביולוגית של מחלות על-ידי אויבים טבעיים בתנאים כאלה. לשם ביצוע הערכה כזו פיתחנו מודלים מתמטיים המתארים מנגנונים כלליים העומדים בבסיס דינמיקות ההפצה של שתי קבוצות מרכזיות של מחלות צמחים: מחלות שנגרמות מפתוגנים מתמידים (persistent), ששוכנים בגוף הנשאים לאורך רוב שלבי חיי הנשא, ומחלות שנגרמות מפתוגנים בלתי מתמידים (non-persistent),



תריפס קליפורני (*Frankliniella occidentalis*), מזיק ונשא של וירוס כתמי הנבילה של העגבניה (TSWV), הפוגע בעיקר בגידולי עגבניה ופלפל בישראל ובעולם | צילום: David Cappaert, Bugwood.org, CC BY-NC 3.0

השלכות התחממות האקלים על ההפצה והבקרה הביולוגית של מחלות צמחים – שינויים בקצבי ההתפתחות של נשאים

אור קיסר ואסף שדה*

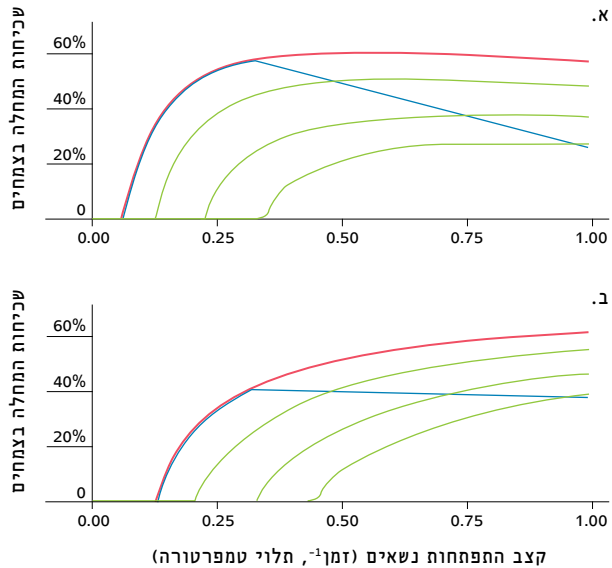
המעבדה לאגרואקולוגיה, המחלקה למשאבי טבע, מנהל המחקר החקלאי – מרכז וולקני asafsa@volcani.agri.gov.il *

שינוי האקלים צפוי להשפיע במידה ניכרת על מערכות אקולוגיות רבות^[4], על השירותים שהן מספקות לאדם, כמו ויסות מחלות ומזיקים, ועל יעילותם של ממשקי בקרה ביולוגית בחקלאות^[1]. השפעות שינוי האקלים על בקרת מזיקים נחקרות בעיקר בהיבטי ההתאמה העיתית בין טורף לנטרף או יחסי הצמח והמזיק, וההשפעות על מחלות צמחים נחקרות בעיקר בהיבט יחסי הצמח והפתוגן (האורגניזם מחולל המחלה). חסר מחקר העוסק בהשלכות שינוי האקלים על קצבי ההפצה של מחלות באוכלוסיות צמחים על-ידי חרקים נשאים.

מול הבהילות של משבר האקלים, קשה להעמיד מחקרים אמפיריים שיחזו את התהליכים המורכבים הקובעים את תפקודן של מערכות אקולוגיות ואת דפוסי ההפצה של מחלות. אף על פי כן, בשילוב מודלים תאורטיים כלליים ונתונים מהספרות המחקרית ניתן להעריך במהירות את ההשלכות האפשריות של מנגנונים שונים. גישה כזאת יכולה למקד את מאמצי המחקר האמפירי, שמצריך כסף רב, במערכות ובמנגנונים שצפויים להיות המשמעותיים ביותר, ולסייע בהבנת תוצאות בלתי צפויות.

קיים בספרות ידע רב על ההשפעות של משתני אקלים שונים על הפיזיולוגיה ועל משתני החיים של חרקים, כולל מזיקים רבים.

איור 1. שכיחות המחלה באוכלוסיית צמחים בשינוי משקל כפונקציה של קצב ההתפתחות של חרקים הנושאים פתוגנים מתמידים (א) ובלתי מתמידים (ב) מבני המודלים והנחותיהם מפורטים בנספח 1 באתר כתב העת.



מקורות

[1] Joern A, Logan JD, and Wolesensky W. 2005. Effects of global climate change on agricultural pests: Possible impacts and dynamics at population, species interaction, and community levels. In: Lal R, Uphoff N, Stewart BA, and Hansen DO (Eds). *Climate change and global food security*. Boca Raton (FL): CRC Press.

[2] Keissar O, Scharf I, and Sadeh A. In press. Predator modulation of plant pathogen spread through induced changes in vector development rates. *Ecological Entomology*. doi:10.1111/een.12790.

[3] Rebaudo F and Rabhi VB. 2018. Modeling temperature-dependent development rate and phenology in insects: Review of major developments, challenges, and future directions. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 166: 607–617.

[4] Walther GR, Post E, Convey P, et al. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389–395.

[5] Yamamura K and Kiritani K. 1998. A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones. *Applied Entomology and Zoology* 33: 289–298.

שורדים בגוף הנשא זמן קצר מאוד ביחס למחזור חייו^[2]. באמצעות המודלים ביצענו ניתוח תאורטי של ההשלכות האפידמיולוגיות הצפויות משינויים תלויי טמפרטורה בקצב ההתפתחות של החרקים הנשאים, ושל בקרתם הצפויה על-ידי טורפים כוללניים (generalists), הניזונים ממספר מקורות מזון) ומתמחים (המוגבלים למקור מזון אחד) הניזונים מהם. מידת ההתמחות של אויבים טבעיים היא ציר חשוב במגוון התפקודי של חברות פרוקי רגליים, ושל בקרת הנזקים שהן עשויות לספק. לדוגמה, טורפים כוללניים הם בסיס לגישת "הצבא הסדיר" (standing army) בבקרה ביולוגית משמרת, שלפיה אספקת מקורות מזון חלופיים עשויה לשמר אוכלוסיית טורפים קבועה שתמנע את התבססות המזיק בשלבים מוקדמים של הופעתו. כמו כן, קיים גידול מסחרי של טורפים משני הסוגים לבקרה ביולוגית מתגברת (augmentative) – שחרור מקומי של טורפים בתגובה להתפרצות מזיקים.

כצפוי, נמצא שעם התחממות האקלים, עלייה בקצב התפתחות הנשאים עשויה להגביר מאוד את יכולתם להפיץ מחלות, בעיקר במערכות שהגורם המגביל בהן הוא קצבי ההתפתחות (איור 1: עקומות אדומות). ההפצה המוגברת של מחלות מתמידות (איור 1א) צפויה להיות מוגבלת לקצבי התפתחות לא-גבוהים, מפני שהיא תלויה בכל שלבי החיים של הנשאים. בקרת שתי קבוצות המחלות על-ידי טורפים כוללניים לא צפויה להיות מושפעת משינויים בקצבי התפתחות הנשאים בגלל אדישותם היחסית של טורפים אלה לגודל אוכלוסיית הנשאים (איור 1: עקומות ירוקות). האפקטיביות של טורפים כאלה מְרֵבֵית כנגד נשאים בעלי קצבי התפתחות נמוכים, וגוברת ככל שניתן להעלות את כושר נשיאתם במערכת באמצעות אספקת משאבים תומכים, כמו פרחי צוף, אבקה וטרף חלופי. לעומת זאת, השינוי בקצב התפתחות הנשאים צפוי להגביר מאוד את יכולתם של טורפים מתמחים לדכא את הפצת המחלות, בעיקר במערכות שקצב ההתפתחות הבסיסי של הנשאים בהן גבוה (איור 1: עקומות תכולות).

יודגש שמודלים אלה לא נועדו לחיזוי ולניהול של מחלות, שכן שינוי האקלים צפוי להתבטא בהתפלגויות של מספר משתני אקלים, ולהשפיע על היבטים פיזיולוגיים נוספים של האורגניזמים במערכת. עם זאת, המודלים מספקים ציפיות בסיסיות לגבי ההשלכות של היבט פיזיולוגי ידוע ומרכזי אצל חרקים. על בסיס זה ועל בסיס נתונים אמפיריים נוספים מהספרות ניתן למדל בפירוט רב מחלות ספציפיות של גידולי מפתח וכך לחדד את התחזיות עבור גישות שונות לממשקי בקרה שלהן ולשפר את ממשקי הבקרה בעידן האקלים המשתנה.

