



צמחי קייצת בשולי שדות מרכז המחקר נוה יער. בעקבות שינוי האקלים המביא עמו טמפרטורות גבוהות אף בתחילת עונת החורף, הצמחים הללו ממשיכים לפרוח ולהפיץ זרעים אל השדות החקלאיים אף לאחר עונת הגידול הרגילה שלהם | צילום: מאור מצרפי

בתנאי סביבה משתנים מוגדרת כעמידות מותנית תנאי סביבה. מרבית המחקרים שנעשו בנושא מצביעים על כך כי בטמפרטורות גבוהות ובסביבה מועשרת בפחמן דו-חמצני יורדת יעילותם של קוטלי עשבים בפרט ושל חומרי ההדברה ככלל^[3]. במקרים שמנגנון העמידות המותנית תנאי סביבה נבחן בהם, נמצא כי השתנות תנאי הסביבה משפיעה על ההובלה ועל קצב הפירוק של קוטלי עשבים בעשב המטרה, זאת באופן דומה למנגנונים הקשורים לעמידות תלוית פירוק ולהובלה לקויה של קוטלי עשבים באוכלוסיות עשבים עמידים^[5,2,1]. רוב המחקרים שנעשו בנושא בחנו את השפעתו של גורם יחיד על יעילות קוטלי עשבים (טמפרטורה, עוצמת אור, פחמן דו-חמצני ועוד) וכמעט ולא קיים מידע על ההשפעה המשולבת של מספר גורמי סביבה על יעילותם של קוטלי עשבים.

במחקר שנערך לאחרונה על-ידי הכותב ואחרים^[4], בוצע ניסוי שבחן את ההשפעה הבריאה ואת השילוב של שני גורמים, טמפרטורות ורמות פחמן דו-חמצני, על יעילות קוטל העשבים גלייפוסט (Roundup®). גלייפוסט, קוטל העשבים הנפוץ ביותר בשימוש בארץ ובעולם, מעורר באחרונה דיון ציבורי חסר תקדים בשל דיווחים שונים על ההשפעות הבריאותיות של השימוש בתכשירים המכילים את המולקולה הפעילה בו והאיסור על שימוש בחומר במדינות שונות. בניסוי נבחנו שני משטרי טמפרטורה (רגילות וגבוהות, בהתייחס לחורף באקלים ים תיכוני) ושתי רמות פחמן דו-חמצני (הרמה הקיימת כיום, ורמה גבוהה ב-75% הצפויה במהלך המאה הנוכחית אם לא תצומצם פליטתו) (איור 1). צמחים

חשש לירידה ביעילות הדברת עשבים כימית עקב שינוי תנאי הסביבה

מאור מצרפי

המחלקה למחלות צמחים וחקר העשבים, מרכז המחקר נוה יער, מנהל המחקר החקלאי – מרכז וולקני

maorm@volcani.agri.gov.il

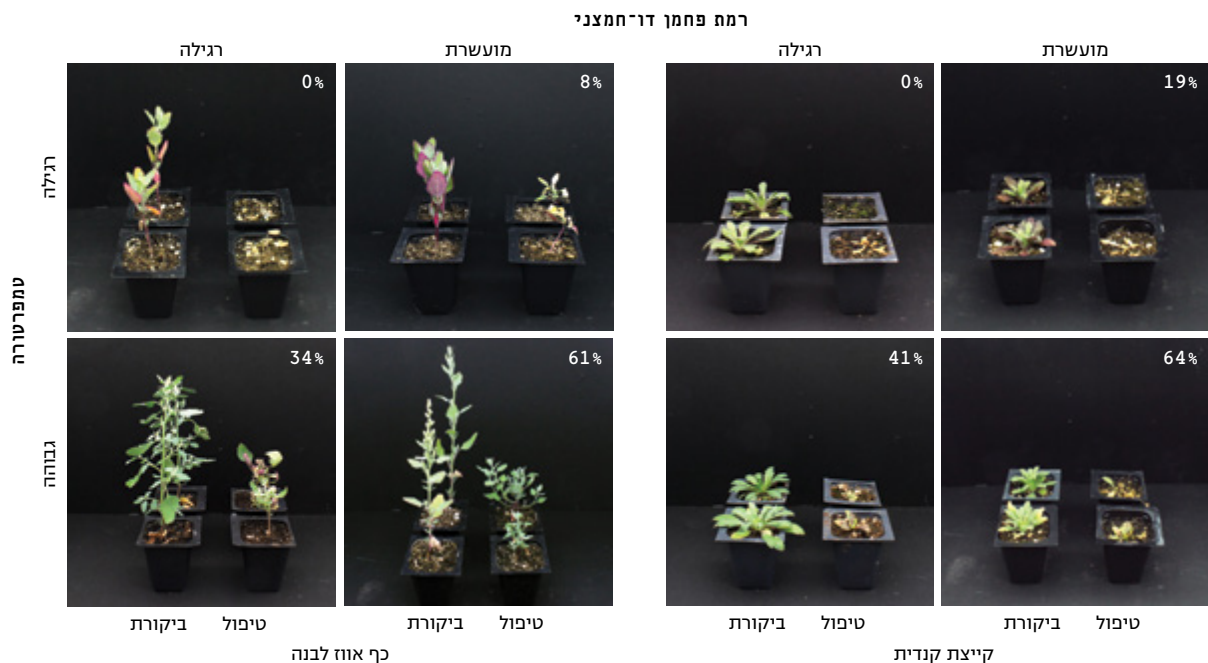
עשבים רעים נחשבים למזיק הקשה ביותר בחקלאות, יכולים להביא לפחיתה ממוצעת של 34% ביבולי גידולים שונים כגון תירס, חיטה, כותנה וסויה. באוסטרליה בלבד נזקי העשבים מוערכים ב-4.8 מיליארד דולר לשנה^[6]. קוטלי עשבים הם הדרך היעילה והחסכונית ביותר להדברת עשבים בחקלאות. בשנים האחרונות יש עלייה במספר מקרי כישלונות הדברת עשבים המדווחים על-ידי חקלאים. היות שיעילות הפעולה של קוטלי עשבים מושפעת בצורה משמעותית מתנאי הסביבה השוררים בזמן השימוש בהם, אחת ההשערות היא כי מגמה זו נובעת משימוש בקוטלי עשבים בתנאים שאינם מיטביים. אי לכך, חקלאים נאלצים להשתמש במינונים גבוהים ולעיתים לרסס מספר פעמים כדי להגיע לאותה יעילות הדברה שהושגה בעבר בשימוש במינון המומלץ. השימוש המוגבר בקוטלי עשבים מעלה את הסיכון להתפתחות עמידות, וכמו כן הגדלת העומס הסביבתי של אותם כימיקלים כרוכה במחיר סביבתי כבד. יכולתם של עשבים שונים לשרוד בטיפול בקוטלי עשבים

של קוטל העשבים אל מחוץ לאזורים אלה. בשלב זה, רמות קוטל העשבים בשאר הצמח נשארות נמוכות ומאפשרות התפתחות של ניצנים משניים, עלים ושורשים חדשים (איור 1). נוסף על כך, בצמחים מטופלים שגדלו בטמפרטורות גבוהות ובסביבה מועשרת בפחמן דו-חמצני, נצפה אובדן שלטון קודקודי, כלומר החלו הנצה של ענפים צדדיים והצצה מוקדמת של איברי פריחה (איור 1). בחלק מהמקרים התופעה הזו הביאה לעלייה במספר התפרחות בצמחים שטופלו בקוטל העשבים, כך שלאחר הטיפול בגלייפוסט הצמחים לא רק שלא הדברו, אלא אף הראו פוטנציאל ייצור זרעים יותר גבוה. ממצאי מחקר זה ואחרים מדגישים את חשיבות תנאי הסביבה לא רק בזמן השימוש בקוטלי עשבים אלא גם לאחריו. אנו חיים בעידן שיש בו חשיבות הולכת וגדלה לשיפור ולהעלאה של תפוקת היבולים, ומנגד מודעות גדלה להשפעתם הסביבתית של חומרי הדברה כימיים. לימוד השפעת היעילות של חומרי הדברה בתנאי סביבה משתנים חשוב מאין כמוהו, ויכול לתרום רבות לשיפור מערך ההדברה, להעלאת יכולת הייצור החקלאית ולמניעת שימוש מופרז ולא יעיל בחומרי הדברה. שיפור מערך ההדברה הוא צעד נוסף בשיפור הביטחון התזונתי לאוכלוסיית העולם ההולכת וגדלה.

מאוכלוסיות שונות של שני מיני עשבים חד-שנתיים, הידועים כמזיקים קשים בחקלאות ישראל ובמדינות נוספות בעלות אקלים ים תיכוני, כך אווז לבנה (*Chenopodium album*) וקייצת קנדית (*Conyza canadensis*), רוססו בקוטל העשבים גלייפוסט במינון המומלץ ובשלב ההתפתחותי המתאים וגודלו בשילובים שונים של תנאי הסביבה שלעיל. נרשמה ירידה ביעילות גלייפוסט בצמחים שגודלו בטמפרטורות גבוהות לעונה ובצמחים שגודלו בסביבה מועשרת בפחמן דו-חמצני בהשוואה לטיפול הביקורת (טמפרטורות רגילות לעונה וסביבה בעלת רמת פחמן דו-חמצני רגילה) (איור 1). בבחינת ההשפעה המשולבת של שני הגורמים נצפה אפקט תוספתי, שהביא לעלייה ברמת השרידות של הצמחים שטופלו בקוטל העשבים בהשוואה לגידול בעקבות שינוי של כל גורם סביבתי בנפרד ולקבוצת הביקורת.

בבחינת מנגנון העמידות נמצא כי תנועה מהירה של קוטל עשבים בצמח ומידור באזור שעלים ושורשים צעירים מתפתחים בו, הן ככל הנראה הסיבות המובילות לירידה ברגישות הצמח השלם לגלייפוסט. ניתן לשער כי עלידי הובלה מהירה של מרבית קוטל העשבים לרקמות אלה, הצמח "מקריב" מספר מצומצם של עלים ושורשים קיימים, דבר המונע תנועה של מולקולות ויחד איתן

איור 1. השפעת קוטל העשבים גלייפוסט (Roundup®) על צמחי קייצת קנדית וכף אווז לבנה שגודלו בטמפרטורות רגילות (18/12°C) וגבוהות (32/26°C) לחורף באקלים ים תיכוני (לילה/יום), ובסביבה בעלת רמת פחמן דו-חמצני רגילה, הקיימת כיום (400ppm) ומועשרת (700ppm) התמונות צולמו 21 יום לאחר הריסוס בקוטל העשבים, אחוזי השרידות בכל טיפול מוצגים בפינה הימנית העליונה של כל תמונה. מעובד מתוך Matzrafi ואחרים^[4].



תקלאות בקצרה

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 חי 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.