



התמודדות בעצי הנוי והיער עם נגע האמברוזיה, החיפושית *Euwallacea fornicatus*

הפטריות הסימביוטיות שהיא נושאת

צביקה מנדל^{1*}, סטנלי פרימן¹, אילן נזריאן², ענת אידלמן³, ניצן בירנבוים³, אלי בקר⁴, פול בנימין⁵,
עומר גולן³, שחר סמרה⁶, דניאל בן סימון⁷, מאור אלרון⁸, דנה מנט^{1**}

- 1 המכון להגנת הצומח, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני
- 2 קוד אילן בע"מ
- 3 אגף הייעור, קק"ל
- 4 הגן הבוטני האוניברסיטאי בגבעת רם, ירושלים
- 5 המרכז הבהאי העולמי, גני חיפה ועכו
- 6 השירותים להגנת הצומח, משרד החקלאות
- 7 תחום הנדסת הצומח, אגף משאבי סביבה, שה"מ, משרד החקלאות
- 8 מרחב מרכז, קק"ל

* zmendel@volcani.agri.gov.il

** Danam@volcani.agri.gov.il

תקציר

חיפושית האמברוזיה של האבוקדו *Euwallacea fornicatus* התגלתה בישראל בשנת 2009, והיא פוגעת בעיקר בעצים דולב מזרחי, דולב מערבי, אלון ארוך-עוקצים, אלון אנגלי ואדר מילני. חלק ממיני העצים שחיפושית האמברוזיה תוקפת, נפגעים אף על פי שאינם מתאימים עבורה למטרות רבייה. הפגיעה נגרמת משילוב של נבירת מחילות (הגלריות) בעצה על ידי החיפושית יחד עם התבססות בגלריות של פטריות סימביוטיות, בעיקר המין *Fusarium euwallaceae*, הנישאות על ידי החיפושית. אוכלוסיית החיפושית מתרבה ביעילות בעצים שהפטרייה הסימביוטית הזו מתבססת בהם במהירות.

אויבים טבעיים או לכידה המונית אינם הכלים המתאימים להתמודדות עם אוכלוסיית החיפושית, ויש לעשות זאת באמצעות הדברה. מטרת מערכות ההדברה המוצגות במאמר הייתה לבחון ממשק המבוסס על הזרקת תכשירי הדברה מערכתיים, ולהתמקד בשני מיני עצים – אלון ודולב – בשל חשיבותם היערנית והנופית. הניסוי המוצג בהרחבה התבצע במקביל בגן הבוטני האוניברסיטאי בגבעת רם, בירושלים, וכן בעצי נוי ביישוב שכניה, בגליל המערבי. ניסויים נוספים נערכו באגמון החולה ובפארק בעיר מודיעין, והם מוצגים בקצרה. בכל ארבעת הניסויים קוטל החרקים היה תכשיר עם החומר הפעיל אממקטין בנזואט שניתן בהזרקה. בניסוי המוצג בהרחבה ניתן בהזרקה גם תכשיר קוטל הפטריות המערכתי טקטו (תיאבנדזול). באגמון החולה ובפארק בעיר מודיעין ניתנו תכשירים מקבוצת הפרתירואידיים בריסוס (טלסטאר וקרטה מקס, בהתאמה). התוצאות שהתקבלו עד כה חלקיות, והן מדגימות את הפוטנציאל שיש לטיפול שבוצעו. עם זאת, שימוש בודד, כפי שהתבצע בשתיים מהמערכות, אינו מספיק להדברת הנגע ולהתאוששות העצים. שילוב של מידע מהספרות המקצועית עם המידע שהתקבל במחקר מצביע על: א. חשיבות ניטור אוכלוסיית החיפושית שיאפשר תגובה כבר בשלב האכלוס המוקדם; ב. הצורך להרחיב בחינת תכשירים מבוססי פטריות אנטומופוטוגניות כאמצעי

התגוננות ידידותי כנגד הנגע; ג. הצורך בהפעלת שיקול דעת לגבי נטיעה עתידית של מיני עצים רגישים לנגע.

מילות מפתח:

אלון, דולב, חיפושית אמברוזיה, ממשק הדברה, פטריות אנטומופתוגניות

חיפושיות האמברוזיה

מיני חיפושיות אמברוזיה מייצגים את הסימביוזה המוקדמת ביותר בין חרקים לפטריות, שהחלה לפני כ-100 מיליון שנים (Jordal, 2015). רוב מיני חיפושיות האמברוזיה המוכרים נוברים את מחילותיהם בעומק עצת הירך של העץ. בדופן המחילות גדלים מיני פטריות ספציפיים שהחיפושיות מביאות איתן. גופי הפרי של הפטריות והנבגים יוצרים בתוך המחילות שבעצה בית גידול מתאים לחיפושיות ומקור מזון עשיר בפחמימות וחלבונים (Lehenberger et al., 2021). הפטריות הן המזון הבלעדי של זחלי החיפושיות והחיפושיות הבוגרות של מרבית המינים הידועים.

בעולם מוכרים כ-7,500 מיני חיפושיות אמברוזיה, ובישראל מוכרים עשרה. לפחות שמונה מהם הם מינים פולשים (מנדל ושות', 2021). דרגות ההתפתחות הצעירות של החיפושית – הביצה, שלוש דרגות הזחל והגולם – נמצאות בתוך המחילה שחופרת החיפושית האם. לנקבה בוגרת יש אברי נשיאה מיוחדים לפטריות המכונים מיקנגיה (mycangia), ומצויים בקבוצות שונות של חיפושיות אמברוזיה על חלקי גוף שונים. פטריות ממינים שונים נמצאות יחד באיבר הנשיאה של הנקבה, וממשיכות להתפתח בתוכו תוך שהן צורכות חומצות אמינו חופשיות שחיפושית מספקת (Li et al., 2019). מעגל ההתפתחות של הפטריות הסימביוטיות כולל שני שלבים: שלב סימביוטי, שבו לכאורה החיפושית שולטת בפטרייה, אך ייתכן שהמצב הפוך (Skelton et al., 2019; Huang et al., 2020), ושלב אפואסימביוטי, שבו הפטרייה מתפתחת בעצה של העץ. שלב זה נמשך גם לאחר סיום התפתחות הצאצאים והגחתם (Freeman et al., 2019). במערכת זו פטריות סימביוטיות אינן יכולות להתפשט ולנגע את העצים ללא הסימביוזה עם החיפושית.

תקיפת עצים על ידי חיפושיות אמברוזיה

בבתי הגידול הטבעיים של חיפושיות האמברוזיה היא מתרבה בעצים חולים, חלשים מאוד או כאלה שנכרתו או קרסו. הימצאות מיני חיפושיות אמברוזיה מחוללי מחלות בעצים בריאים היא תופעה חדשה ומפתיעה (Hulcr and Dunn, 2011). תופעה זו היא תוצאה של התבססות החיפושית בבתי גידול חדשים או של מפגש עם מיני עצים פונדקאים רגישים. לעיתים המפגשים עם מיני עצים חדשים הם אלימים מאוד, והתוצאה היא תחלואה קשה ותמותה של העצים. בעשרים השנים האחרונות עלה מספר

המפגשים האלימים שמחוללים מיני חיפושיות אמברוזיה. חוקרי חיפושיות האמברוזיה הציעו שלושה תנאים שבעקבותיהם תתרחש תקיפה של עצים חיוניים: א. אינטראקציה חדשה בין מין החיפושית למין העץ; ב. משיכה לחומרים נדיפים של העץ עצמו, או לחומרים נדיפים הנוצרים עקב פגיעה אקראית של החיפושית; ג. יכולת של אחת הפטריות שנושאת החיפושית להתגבר על עמידות העץ המותקף ולשגשג בתוכו, וכך לאפשר את התרבות החיפושית (Ploetz et al., 2013; Mendel et al., 2021).

חיפושית האמברוזיה של האבוקדו, הפטריות הסימביוטיות ופגיעתן בעץ

המאמר עוסק במין *Euwallacea fornicatus*, המכונה בישראל חיפושית האמברוזיה של האבוקדו (Polyphagous shot hole borer). מין זה שייך לתת-המשפחה Scolytinae. תת-המשפחה עצמה הופיעה כבר לפני 100–120 מיליון שנה, וטיפוח הפטריות הסימביוטיות בה החל לפני כ-50 מיליון שנה (Jordal and Cognato, 2012). במין זה זוג אברי הנשיאה נמצאים בקדמת הראש מעל הלסתות העליונות. מרחב התפוצה הטבעי שלה כולל את צפון תאילנד, וייטנאם, סין, טאיוואן ואזור אוקיאנוה (Stouthamer et al., 2017). בישראל התגלה המין ב-2009 בעצי אבוקדו בקיבוץ גליל ים. בארה"ב נמצאה החיפושית בשנת 2012 בקליפורניה, ואילו בדרום אפריקה היא תועדה לראשונה ב-2016.

החיפושית נושאת ומגדלת במערכת המחילות שהיא יוצרת שלושה מינים של פטריות סימביוטיות: *Fusarium euwallaceae* (להלן פוזריום, ובה נתמקד במאמר זה), *Graphium euwallaceae* ו-*Paracremonium pembeum* (Freeman et al., 2013; Lynch et al., 2016). כל מין פטרייה ממלא תפקיד משלו. שני התפקידים העיקריים של פטריית הפוזריום הם: (I) החלשה של עמידות העצה כדי לפעול בתוך העץ החי, כלומר פטרייה זו היא למעשה הפתוגן במערכת; (II) שימוש כמזון הראשון של החיפושית האם עם תחילת נבירת הגלריה ולאחר מכן של הזחלים. ישנם שלושה תסמינים המאפיינים את חדירת חיפושית האמברוזיה של האבוקדו: א. בעץ האבוקדו המאפיין הוא פריצה של סוכרים בנקודת החדירה של החיפושית לעץ. ההפרשה נראית כקצף לבן שהתגבש, וכוללת בעיקר את החומרים mannose ו-perseitol (Liu et al., 1999). חדירה למיני עצים אחרים, כמו מיני אלון ודולב, מתבטאת בהפרשה של גומי מימי, הניכרת ככתם רטיבות (Freeman et al., 2018), שמהותו טרם נחקרה. ב. כשחושפים את העצה, מתגלה הכתמה של סיבי העצה בפסים בגוונים שונים של צבע חום בהתאמה למין העץ. מקורו של הצבע הוא בפלווואידים שהרקמות הסמוכות לרקמה הפגועה של הצמח מייצרות, כחלק ממערכת ההתגוננות של העץ כנגד הפטריות שהחדירה החיפושית (Freeman et al., 2019). כל עוד הענף או הגזע חיוניים, הסות (הקליפה החיה) נותרת בריאה עם הצבע התואם. ג. התייבשות הענפים. תחילה מתייבשים הענפים הדקים ולאחר מכן ענפים בגודל בינוני, ובהמשך גם הענפים הגדולים. התייבשות הענפים הגדולים ניכרת היטב בעצי אלון או אדר, והיא נדירה למדי בעצי אבוקדו (התסמינים האלה שימשו אותנו בהערכת הפגיעה בעצים שהניסויים נערכו עליהם).

טווח הפונדקאים והרגישות

חיפושית האמברוזיה של האבוקדו תוקפת מאות מיני עצים. נזק קשה נגרם למיני עצים רגישים במיוחד שהפטריות הסימביוטיות משגשגות בהם, ובשל כך החיפושית מתרבה בהם בהצלחה (Mendel et al., 2021). בין מיני העצים הרגישים מוכרים בישראל דולב מזרחי (*Platanus orientalis*), דולב מערבי (*P. occidentalis*), אלון ארוך-עוקצים (*Quercus pedunculiflora*), אלון אנגלי (*Q. robur*), ואדר מילני (*Acer negundo*). לעיתים גם עצים שאינם מתאימים לרבייה נתקפים ועלולים לחלות, מפני שכאשר החיפושית נוברת בעץ, חודרות לתוכו פטריות פתוגניות שנמצאות עליה. באופן כללי אפשר לחלק את העצים לחמש קבוצות לפי יחסי הגומלין האפשריים שלהם עם החיפושית והפטריות הסימביוטיות: א. עצים שהחיפושיות נמשכות אליהם והפטריות משגשגות בתוכם, גם כשהעץ חיוני (כמו אדר מילני, אלון ארוך-עוקצים); ב. עצים שהחיפושית נמשכת אליהם רק כשהם סובלים מחולשה פיזיולוגית, או שנערכות עליהם התקפות מקריות של החיפושית כשהם סובלים מחולשה זמנית (כמו דולב), ואוכלוסיית החיפושית משגשגת בהם; ג. עצים שהחיפושית נמשכת אליהם גם כשהם חיוניים, אך הם אינם מתאימים להתפתחות הפטריות הסימביוטיות (כמו צפצפה); ד. עצים שהחיפושית עשויה להימשך אליהם רק כשהם סובלים מעקה, וגם אז הם אינם מאפשרים התפתחות מיטבית של אוכלוסיית החיפושית (כמו אלון התבור, ערבה); ה. עצים שהחיפושית אינה נמשכת אליהם כלל (כמו מיני אורן). מכאן, שיש עצים במרחב שהחיפושית עלולה להיות הגורם לפגיעה קשה בהם, ומינים אחרים שהימצאות החיפושית בהם היא לא יותר מאשר תסמין למצבם הפיזיולוגי הקשה.

חלופות ההדברה של נגע האמברוזיה בעצי נוי בישראל

אין פעילות של אויבים טבעיים לחיפושיות האמברוזיה שעשויים לרסן את אוכלוסיותיהן. לכידה המונית של החיפושיות אינה יעילה, ככל הנראה בשל המשיכה החלשה לפיתיונות המסחריים, בהשוואה לעוצמת המשיכה של העצים המאוכלסים (מנדל ושות', 2016). לא ניתן להשתמש בפרומונים בממשק ההדברה מאחר שלא מוכרים פרומוני התקהלות או פרומוני מין של חיפושיות אמברוזיה מתת-המשפחה Scolytinae (בניגוד לתת-המשפחה Platypodinae). לכן, הגנה על מיני עצים רגישים כשהם עדיין חיוניים, מחייבת שימוש בתכשירי הדברה. חשוב לציין שגם זני האבוקדו המוכרים כרגילים לנגע האמברוזיה, רגישותם קטנה מזו של כמה מעצי הנוי והיער. במטעי האבוקדו בישראל נמנעים משימוש בתכשירי הדברה חריפים, וההתמודדות עם הנגע מתבססת בעיקר על סניטציה יעילה, תוך הסרת קטעי צמרת מאוכלסים בחיפושית. הרגישות הגבוהה של חלק מעצי הנוי והיער, יחד עם סבילות מסוימת למשטר הדברה כימי בעצים אלה, מעודדות את השימוש בתכשירי הדברה מערכתיים (סיסטמיים) המוזרקים לגזע.

ממשק ההדברה של חיפושית האמברוזיה של האבוקדו והפטרייה הסימביוטית פוזריום בעצי נוי

ויער

כמו במקרים רבים אחרים של התמודדות עם גורמי מחלה המועברים על ידי חרקים, ממשק ההדברה מכוון בעיקר כנגד החרק הנשא. אפשרויות ההדברה כנגד החיפושיות מוגבלות. השימוש בתכשירי הדברה כימיים מאתגר במיוחד, בהתחשב בכך שהחיפושיות מצויות רוב חייהן בעומק רקמת העצים הפונדקאים. ניתן להשתמש בתכשירים קוטלי חרקים על פני הקליפה כדי למנוע התקפות חדשות או לקטול את החיפושיות הבוגרות הצעירות המגיעות מהגלריות בדרכן לתקוף עצים נוספים (מנדל ושות', 2016; Eatough-Jones et al., 2017). עם זאת, באזורים חמים כמו ישראל, שהחיפושית פעילה בהם רוב חודשי השנה, גישה זו מחייבת טיפולים רבים, ועל כן בעייתית. על רקע זה עלו בספרות המקצועית רעיונות לטיפולים המשלבים קוטלי חרקים וקוטלי פטריות מערכתיים כאסטרטגיה למיקוד טוב יותר הן בחיפושיות שבתוך הגלריות הן בפטריות הסימביוטיות הגדלות בדופן הגלריות (Mayorquin et al., 2018; Grosman et al., 2019).

במסגרת מחקר קודם (מנדל ושות', 2021) נבחנו תשעה קוטלי חרקים מערכתיים מסחריים כנגד זחלי החיפושית שהתפתחו במעבדה על תפטיר הפוזריום הסימביוטי. חלק מהתכשירים שנבחנו הציגו יעילות קטילה גבוהה, בעיקר פרוקליים (על בסיס אממקטין בנזואט, Emamectin Benzoate), קונפידור (Imidacloprid) וקורגן (Cyantraniliprole). כל השלושה הם תכשירים מערכתיים. כמו כן, נבחנה השפעה של 39 תכשירים, רובם קוטלי פטריות, על עיכוב התפתחות הפוזריום הסימביוטי. שמונה המצטיינים היו קוטלי פטריות מובהקים, אוקטב (Prochloraz Manganese), דלסן (Carbendazim), טקטו (תיאבנדזול), אגרוסטר (Metconazole), פאנץ (Flusilazole), אוריוס ופוליקור (Tebuconazole) ווקפטן (Bromuconazole). פרוקליים גם עיכבו ב-50% את התפתחות הפוזריום. במחקר במעבדה בקליפורניה נמצא שהתכשיר פרופיקונזול (Propiconazole) מבטיח מאוד בהדברת הפוזריום הסימביוטי של חיפושית האמברוזיה של האבוקדו (Eskalen et al., 2016), אך בארץ הוא נגנז ואינו משווק.

תכנון הניסוי

מטרת הניסויים הייתה גיבוש ממשק המבוסס על הזרקה של תכשירי הדברה מערכתיים כדי למזער את נזקי החיפושית. בחרנו להתמקד בשני מיני עצים – אלון ודולב – בשל חשיבותם היערנית והנופית. אתרי הניסוי שנבחרו הם: א. הגן הבוטני בגבעת רם, ירושלים; ב. שטחי הנוי הפרטי והציבורי ביישוב שכניה, בגוש משגב. עצים בשני האתרים האלה סווגו על פי עוצמת הנגיעות הכללית בחיפושית האמברוזיה באמצעות בחינה חיצונית. נקבעו ארבע דרגות של מדד הנזק – 0: ללא נזק (בריא), 1: נזק קל (דרגה 2 אינה קיימת כדי לכמת נכון את עוצמת הנזק), 3: נזק בינוני, 4: נזק קשה. הבאנו בחשבון שייתכן כי עצים במצב קשה לא יתאימו לטיפול בשל שיבוש ההתפשטות של התכשיר בעצה. נערך מעקב אחר השינויים בתסמיני הנזק שהחיפושית חוללה לפני הטיפול ולאחריו, ותוצאותיו שימשו להערכת יעילות הטיפול.

הביקורת כללה עצים בריאים, אך גם עצים מקטגוריות הנזק האחרות (טבלה 1). העצים במסגרת הניסוי סומנו בברקוד (בעזרת חברת "קוד אילן"). בוצעו ארבעה סקרים, וכל אחד מהם נערך על ידי ארבעה-חמישה סוקרים, השותפים למחקר. בגן הבוטני בוצעו ארבעה סקרים (בין אפריל 2022 ליוני

2023). בשכניה בוצעו שלושה סקרים (בין יוני 2022 ליוני 2023). הזרקות תכשירי ההדברה לגזעי העצים (כמפורט בהמשך) בוצעו באפריל 2022 בגן הבוטני וביוני 2022 ביישוב שכניה.

בשני האתרים נבחרו בעיקר מיני אלון הנחשבים רגישים לנגע האמברוזיה, בעיקר אלון ארוך-עוקצים ואלון אנגלי. בשכניה נכללו גם כמה פרטים של דולב וכליל החורש. הסקרים בוצעו בשני האתרים על ידי אותה קבוצת סוקרים, עם שינויים קלים בצוות.

טבלה 1. תכנון הניסוי

שכניה	הגן הבוטני	אתר קבוצה
16	30	עצים שעברו טיפול
16	53	עצי ביקורת
32	83	סך הכול

לצורך המבחן הסטטיסטי חושב הממוצע של מדד הנזק. התייחסנו לממוצע שהתקבל כמשתנה רציף. נבנה מודל Fit Least Squares שמשווה בין שתיים או שלוש הדגימות בהתאמה ובכל אתר בנפרד. המודל מתחשב בטיפול וכן במין העץ, במדד הנזק לפני טיפול ובקוטר הגזע בגובה החזה (DBH). נעשה שימוש גם במבחן 'effect test', והנתונים נותחו לכל אתר בנפרד ולשני האתרים יחד.

התכשירים שהוזרקו לעצים

לעצים הוזרקו שני תכשירים: א. ארבורמקטין (ArborMectin) – תכשיר על בסיס אממקטין בנזואט. התכשיר פועל כנגד מזיקי שלד בעץ בשל תנועתו המערכתית הטובה בעץ (Byrne et al., 2020). הבחירה בתכשיר נעשתה לאור תוצאות ראשוניות שהתקבלו בישראל ובניסוי מעבדה ושדה בקליפורניה; ב. טקטו (על בסיס תיאבנדזול) – הטקטו שייך לקבוצה כימית (benzimidazoles, דומה לזו של פרופיקונזול) ונמצא, כאמור לעיל, יעיל כנגד הפוזריום של נגע האמברוזיה במבחני צלחות במעבדה.

בשל היקף הניסוי לא יכולנו לבצע טיפולים עם כל תכשיר בנפרד, לכן לכל עץ מטופל הוזרקו שני התכשירים. המינון של כל אחד מהתכשירים לעץ היה סמ"ק אחד של תכשיר טכני (לא מהול) לכל ס"מ קוטר הגזע בגובה החזה. לשמונה מהעצים שטופלו בגן הבוטני הוזרק מינון כפול של שני התכשירים (כלומר 2 סמ"ק תכשיר טכני לכל ס"מ קוטר הגזע).

טכניקות קידוח החדרת התכשירים לעץ התבצעה באמצעות הזרקה בלחץ גבוה. בשני האתרים השתמשנו במערכת הזרקה QUICK JET AIR של חברת ARBORJET (מסצ'וסטס, ארה"ב). התכשירים הוזרקו לתוך עצה חיה. חישוב כמות התכשיר מתבסס על קוטר הגזע ועל גודל הנוף. הקידוח התבצע במקדח 6 מ"מ בעל סליל כפול המבטיח את פליטת הנסורת מחור הקדח. לתוך פתח חור

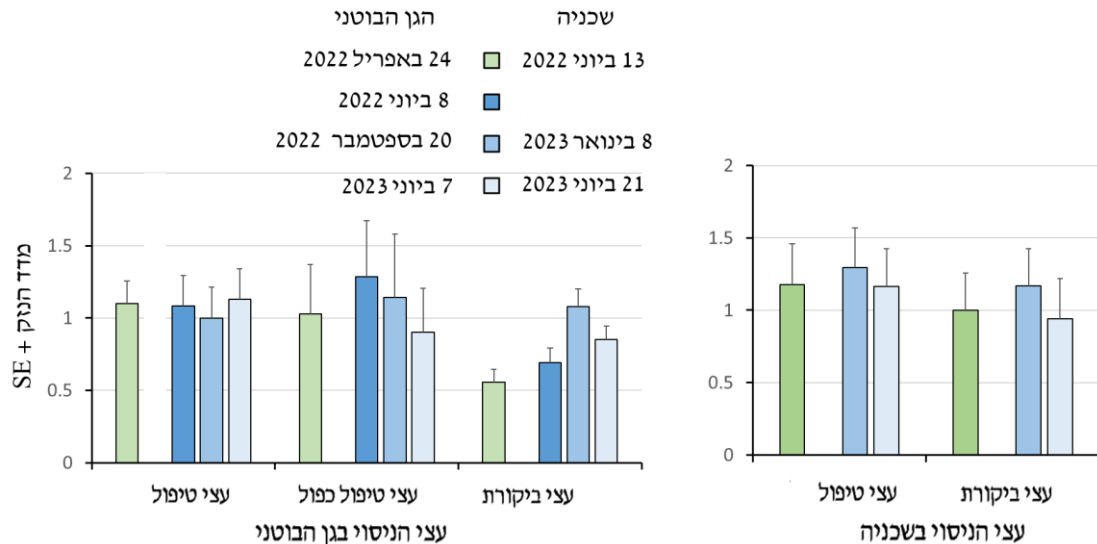
הקדח ננעץ פקק עם שסתום סיליקון חד-כיווני האוטם היטב את חור הקידוח שמבטיח מניעת זרימה של התכשיר המוזרק החוצה, ולכן הזיהום הסביבתי בחומרי הדברה מזערי.

במהלך הטיפול נתקלנו בקושי להזריק את התכשירים למרבית העצים, ובייחוד את התכשיר טקטו. בשל כך, בכמחצית מהעצים ביצענו מיהול נוסף לטקטו כדי להקל על ההזרקה, אך הדבר לא סייע באופן משמעותי. חלק מעצי האלון הגיבו באופן שלילי להזרקה, והתפתחו בהם כיבים והפרשות, בעיקר בטווח הזמן הקצר. עם זאת, כשנה לאחר ביצוע ההזרקה הייתה החלמה טובה; ברוב העצים ההחלמה של 'כיבי ההזרקה' הייתה מלאה.

תוצאות

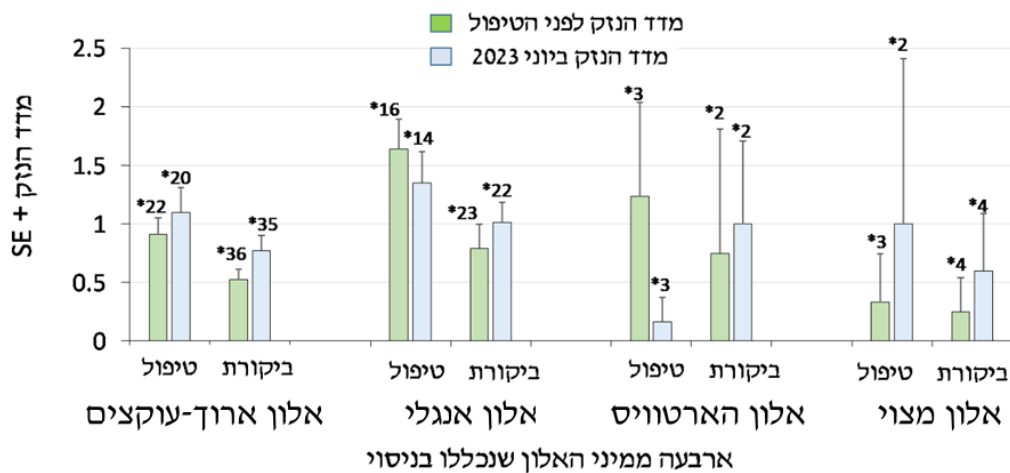
נמצאו הבדלים מובהקים בממד הבריאות ($P < 0.0001$) בין העצים שטופלו לבין עצי הביקורת בשני אתרי הניסוי. לא נמצא הבדל מובהק בממד הבריאות ($\text{Prob} > F = 0.9168$) של מיני העצים בגן הבוטני (כולם מיני עצי אלון), אך נמצא הבדל מובהק בשכניה ($\text{Prob} > F = 0.0121$). לא נמצאה השפעה מובהקת של הטיפולים בשני האתרים ($\text{Prob} > F = 0.7516$ ו- $\text{Prob} > F = 0.5866$, בהתאמה). גם ההבדלים בממדי הנזק בין האתרים לא היו מובהקים ($\text{Prob} > F = 0.1995$).

שינויים עיתיים בממד הנזק בשתי קבוצות העצים לפני טיפול ההזרקה ואחריו מוצגים באיור 1. גם בעצים שהוזרק להם מינון כפול לא נרשמו שינויים משמעותיים בממד הנזק עם הזמן. בעצי הביקורת בגן הבוטני נרשמה מגמה מסוימת של החמרה, אך כאמור, ההבדלים בין מועדי הדגימה לא היו מובהקים. ההבדלים בממד הנזק בין חמשת מיני האלון שנבחנו בגן הבוטני היו קטנים מאוד ולא מובהקים (טווח של 0.85–1.08 על פי הסדר מהגבוה לנמוך: אלון אנגלי [*Q. robur*], אלון האס [*Q. haas*], אלון שסוע [*Q. cerris*], אלון הארטוויס [*Q. hartwissiana*] ואלון ארוך-עוקצים [*Q. pedunculiflora*]). ההבדלים בממדי הנזק בשלושת מיני האלונים שנבחנו בשכניה היו גדולים יותר (טווח של 0.46–2.22 על פי הסדר מהגבוה לנמוך: אלון אנגלי, אלון ארוך-עוקצים ואלון מצוי [*Q. calliprinos*]). באיור 2 מוצגים הנתונים של מדד הנזק בארבעה מיני אלון בשני האתרים במשותף. שני מיני אלון, אלון ארוך-עוקצים ואלון אנגלי, נבחנו במספרי עצים גדולים יחסית לאחרים. רק באלון אנגלי נצפתה מגמה מעודדת (אם כי לא מובהקת), כלומר פחיתה בממד הנזק בטיפול, ועלייה בממד הנזק בעצי הביקורת.



איור 1. השוואת מדד הנזק בכל העצים בהתאמה לטיפולים בשני אתרי הניסוי

אתרי הניסוי הם הגן הבוטני בגבעת רם וביישוב שכניה. מועד הדגימה המוקדם בכל אתר הוא תאריך ביצוע ההדברה.



איור 2. השוואת מדד הנזק בעצי אלון מארבעת המינים העיקריים שנכללו בניסוי בשני האתרים

מספר העצים שנכללו בקבוצת הטיפול מצוין בכוכבית.

ההתמודדות עם חיפושית האמברוזיה של האבוקדו כמזיק של עצי נוי ויער היא אתגר ממשקי, כלכלי ואקולוגי כאחד. היות שאמצעים ידידותיים לסביבה, כמו אויבים טבעיים או שימוש במלכודות, אינם חלק מהכלים היעילים, במקרים שמדובר בעצים פונדקאים שאינם מצוידים במערכות הגנה שימנעו את הפגיעה, נדרשת הגנה באמצעות תכשירי הדברה. מכאן גם נגזר אתגר ההתמודדות, ונדרש לדון בשאלה אם יש להמשיך ולטעת מיני עצים הרגישים לנגע.

מערך הניסוי שביצענו בגן הבוטני בגבעת רם וביישוב שכניה לא סיפק תשובות חדות וברורות לגבי השפעת שני התכשירים המערכתיים שהופעלו, שהתבטאו בהזרקת חומר קוטל חרקים אממקטין בנזואט וחומר קוטל פטריות תיאבנדזול. עם זאת למרות מגבלות הניסוי (ראו להלן) התקבלו מגמות חיוביות. במערכת ניסויים מורכבת יותר שהתבצעה בקליפורניה נמצא שהזרקה של אממקטין בנזואט לגזע בשילוב קוטל הפטריות המערכתי פרופיקונזול הפחיתה את אכלוס עצי דולב בחיפושית ומנעה במידה רבה אכלוס של החיפושיות בעצים בריאים (Grosman et al., 2019). הניסוי כלל שני מחזורי הזרקה, והראה שההזרקה כטיפול מונע מוצלחת למדי. באף מקרה לא התקבלה מניעה מלאה של האכלוס בחיפושית. יש להניח שהתכשירים המערכתיים לא יועילו הרבה בעצים המאוכלסים בכבדות בחיפושית, מכיוון שהחומר לא יגיע ליעדו. זרימת המים בעצה המאופיינת בגלריות צפופות של החיפושית – משובשת, והגעת התכשיר למקום הימצאות החיפושיות והפטריות הסימביוטיות ככל הנראה אינה יעילה. ייתכן שזו אחת הסיבות לתמונה הלא ברורה שהתקבלה במערכת הניסוי שלנו. נתקלנו בשני מכשולים עיקריים במערך הניסוי: א. הניסויים האלה מורכבים ויקרים, ובשל מגבלות תקציב לא היה ניתן להרחיב את הניסוי ולחזור על הטיפולים; ב. שטחי הניסוי נמצאים בשטחי נוי הצמודים למגורי התושבים, והצורך לתאם כל בדיקה עם הדיירים הקשה על הפעלת המערך.

ראוי לציין כי תמונת ההדברה ברורה וחיובית יותר בעצים שהוזרק להם מינון כפול, כחלק מדרישת השירותים להגנת הצומח ולביקורת, לצורך בדיקת פיטוטוקסיות, שקשורות למהלך רישוי החומרים. היבט נוסף הקשור להדברה יעילה של אוכלוסיית החיפושית בעצים בבית הגידול קשור לאפשרות לבצע ממשק הדברה מרחבי. התפשטות אוכלוסיית החיפושית במרחב מודגשת בתיאור בשני המקרים המתוארים בחלונות 1 ו-2, באגמון החולה ובמודיעין. בשני המקרים היה צורך להתמודד עם אוכלוסיית חיפושית המתאפיינת בפעילה גבוהה גם באמצעות תכשיר פריטרואידי הפועל כרעל מגע וזאת נוסף על השימוש בתכשיר המערכתי. טיפולים בודדים וחלקיים ואי-ביצוע תוכנית הממשק שהומלצה בחלון 1 אפשרו למעשה את המשך התפרצות החיפושית והתרחבות הנזקים שנגרמו.

בדיעבד אפשר לשער במידה רבה של ביטחון שהזרקה מניעתית של התכשירים בכל עצי הדולב באגמון ובעצים פונדקאים רגישים אחרים, כמו אלון ארוך-עוקצים, הייתה מונעת את הנזק או ממתנת אותו. שאלה זו נותרת פתוחה, וצריכה להיבחן על רקע העלויות והמשמעויות האקולוגיות הכרוכות בכך. ההתפרצות בעיר מודיעין (המתוארת בחלון 2) מדגישה בדיעבד את הצורך במעקב קפדני אחר התפתחות אוכלוסיות של החיפושית, תגובה מיידית והגנה על העצים הרגישים (שלא התבצעה במקרה זה לפני ביצוע תוכנית ההדברה). פעולות ההדברה הנמרצות שבוצעו במודיעין מחייבות המשך ניטור ופעילות הדברה כמומלץ (חלון 2). מחקרים בקליפורניה (Eatough Jones et al., 2017;) ו-2018 (Mayorquin et al.) הצביעו על כך שריסוס חיצוני, כמו שנעשה בתכשירים פריטרואידיים,

בעייתי מבחינה סביבתית. שימוש בתכשירים מערכתיים, כמו אממקטין בנזואט, אפשרי גם בעצי מטע. במחקר אחר נמצא שאממקטין בנזואט מתבסס היטב ומהר אם החומר מוזרק לאחר דילול, ובשימוש כזה החומר נשמר בריכוז גבוה ברקמות עצי אבוקדו משך תשעה חודשים (Byrne et al., 2020).

שאלה חשובה אחרת היא אם להמשיך ולטעת מיני עצים רגישים לנגע האמברוזיה. שאלה זו נוגעת לשורה ארוכה של מיני עצים הנפגעים מחרקים מזיקים קשים. בכל הקשור לנגע האמברוזיה, רשימת העצים שנדרש להעריך את כדאיות נטיעתם קשורה לשורה של שיקולים, כמו עלות ההדברה ומידת הסיכון שבפגיעה. לדוגמה, עץ רגיש כמו אדר מילני אינו מתאים כיום לנטיעה, ונטיעתם של מיני דולב שעמידים להתקפות כל עוד הם בריאים וחיוניים, קשורה למאמץ הניטור הנדרש ולאפשרות הכלכלית להגיב במידת הצורך. גם האפשרות לבצע ניטור הדוק של בריאות העצים על ידי מנהלי השטח היא אחד השיקולים המרכזיים. הגנה על העצים תוכל להיות מושגת באמצעים פשוטים וכלכליים יותר, כמו שימוש בתכשירים ידידותיים פטרייתיים (הנתונים אינם מובאים). מחקר ופיתוח בתחום זה חיוניים במיוחד לממשק המזיקים בעצי הנוי.

חלון 1

התמודדות עם פגיעת נגע האמברוזיה בעצי הדולב באגמון החולה

עצי דולב מזרחי באגמון החולה ניטעו על ידי קק"ל בין השנים 1994–2000. כיום נטועים באתר כ-150 עצי דולב, מיעוטם דולב מקסיקני. בשנת 2018 זוהו תקיפות ראשונות של חיפושית האמברוזיה של האבוקדו בעצי אלון ארוך-עוקצים באגמון החולה. בוצעה פעולת הזרקה אחת בפרוקליים, שלא שיפרה את מצבם בשל הנזק החמור שכבר נגרם. שנה לאחר מכן כבר ניכר נזק בעצי הדולב במקום. נכתבה תוכנית פעולה שכללה את המהלכים הבאים: א. כריתת ענפים תחתונים פגועים; ב. צילום העצים לפני הטיפול למעקב; ג. הסרת קטעי קליפה פגועים וריסוס נקודתי בקוצייד (תכשיר על בסיס גופרת נחושת); ד. הזרקת פרוקליים; ה. ריסוס טלסטאר (Bifenthrin) 2% על הגזעים והענפים התחתונים עד לגובה 9 מטר לפחות; ו. ניטור אוכלוסיית החיפושיות באמצעות מלכודות; ז. מעקב אחת לחודשיים במהלך העונה החמה על חורי חדירה חדשים; ח. חזרה על סעיפים ד' ו-ה' לאחר שנה. בפועל, בשל שורה של מגבלות בוצעה פעולת הדברה בודדת כדי להגן על עשרה עצי דולב עם סימני פגיעה מובהקים, שכללה הזרקה לגזע של פרוקליים בסוף יוני 2020, וכחמישה שבועות מאוחר יותר התבצע ריסוס הגזע והענפים בטלסטאר. בזמן הטיפול הנגיעות הייתה גבוהה, ואחד העצים לא שרד. בסקר מקיף שבוצע בקיץ 2023 נמצאו מעל ל-100 עצי דולב באגמון עם דרגות פגיעה שונות. חלק מהעצים ממשיכים להתדרדר מבחינה בריאותית, אצל חלק מהם עד כדי מוות בשל אי-התעוררות מהשלכת או מייד לאחר ההתעוררות. נמצא שהסרת ענפי שלד בעצים בוגרים מעודדת התקפה של חיפושית האמברוזיה ואכלוס אפקטיבי בפצעי הגיזום סביבם. עצים הגדלים סמוך למקורות מים, ככל הנראה מהמין דולב

מקסיקני, לא נתקפו למרות שכיחות החיפושית הגבוהה במרחב הקרוב להם. בשל הפגיעה הקשה בעצי הדולב אין כוונה להמשיך ולטעת אותם בשטח האגמון.

ריכוז המידע: עומר גולן, אפי נעים, מאור אלרון, וניצן בירנבאום

חלון 2

התמודדות עם התפרצות חיפושית האמברוזיה של אבוקדו בעצי הפארק הירוק בעיר במודיעין

רצועת הפארק הירוק שבשדרת יצחק רבין בעיר מודיעין ניטעה בשנת 2000, ובקטע הפארק הזה נטועים כ-300 עצים: אלון אנגלי, אלון ארוך-עוקצים ודולב מקסיקני מהווים 80% מכלל העצים בפארק. במהלך חודש מאי 2023 בחנו את הפגיעה בעצים בפארק. הבדיקה העלתה שאוכלוסיית חיפושית האמברוזיה של האבוקדו גבוהה מאוד, ושהיקף ועוצמת הפגיעה נרחבים.

נכתבה תוכנית פעולה שתכליתה לנסות ולהציל כמה שיותר עצים ולמנוע, או לפחות לצמצם נזק חמור לעצים שטרם נפגעו באופן אנוש. התוכנית הייתה דומה לפרוטוקול בחולה. בחינת מצב העצים שטופלו בתכשירים מקבוצת הפרתירואידיים בריסוס (טלסטאר [Bifenthrin] וקרטה מקס [Lambda Cyhalothrin]) בנובמבר 2023 העידה שהפעילות וההתפשטות של הנגע נעצרו. במאי 2024 בוצע ריסוס של העצים שטופלו באמצעות תכשיר ביווריה. התכשיר מבוסס על פטריה אנטומופתוגנית *Beauveria bassiana* ומיועד להגן על העצים מפני אכלוס חדש של החיפושית, ללא חשש של פגיעה בסביבה ובמשתמשים בפארק.

ריכוז המידע: אילן נזריאן

מקורות

מנדל צ, פרטסוב א, מימון מ ופרימן ס. 2021. פתוגנים סימביוטיים כמחוללי מחלות צמחים: נגע האמברוזיה בישראל. בתוך: אלעד י, דומברובסקי א, מנוליס-ששון ש ועזרא ד (עורכים). **תובנות חדשות במחלות צמחים**. המחלקה לפתולוגיה של צמחים וחקר העשבים. עמ' 1–25.

<https://volcaniarchive.agri.gov.il/skn/tu/e55413>

מנדל צ, פרטסוב א, מרגלית ע, פלבסקי א, פרימן ס, מימון מ ושות'. 2016. אמברוזיה באבוקדו: החיפושית והפטירות שהיא נושאת – תובנות חדשות. **עלון הנוטע**, 71, 32–37.

Byrne FJ, Almanzor J, Tellez I, Eskalen A, Grosman DM, and Morse JG. 2020. Evaluation of trunk-injected emamectin benzoate as a potential management strategy for Kuroshio shot hole borer in avocado trees. *Crop Protection*, 132, 105136.

Eatough-Jones M, Kabashima J, Eskalen A, Dimson M, Mayorquin JS, Carrillo JD, et al. 2017. Evaluations of insecticides and fungicides for reducing attack rates of a new invasive ambrosia beetle (*Euwallacea* sp., Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in infested landscape trees in California. *Journal of the Entomological Society of America*, 110, 1611–1618.

Eskalen A, Lynch SC, Na F, Mayorquin JS, Carrillo JD, Lira A, et al. 2016. *Fusarium* dieback in California: Another ambrosia beetle associated disease of avocado and urban forest.

Freeman S, Miller G, Maymon M, Elazar M, Protasov A, and Mendel Z. 2018. Interactions between three symbiotic fungi associated with an invasive ambrosia beetle and their host trees in Israel. 14th European Conference on Fungal Genetics. Haifa. pp. 60.

Freeman S, Miller G, Protasov A, Maymon M, Elazar M, David-Schwartz R, et al. 2019. Aposymbiotic interactions of three ambrosia beetle fungi with avocado trees. *Fungal Ecology*, 39, 117–130.

Freeman S, Sharon M, Maymon M, Mendel Z, Protasov A, and Aoki T. 2013. *Fusarium euwallaceae* sp. nov. a symbiotic fungus of *Euwallacea* sp., an invasive ambrosia beetle in Israel and California. *Mycologia*, 105(6), 1595–1606.

Grosman DM, Eskalen A, and Brownie C. 2019. Evaluation of emamectin benzoate and propiconazole for management of a new invasive shot hole borer (*Euwallacea* nr. *forficatus*, Coleoptera: Curculionidae) and symbiotic fungi in California sycamores. *Forest Entomology*, 112, 1267–1273.

Huang YT, Skelton J, and Hulcr J. 2020. Lipids and small metabolites provisioned by ambrosia fungi to symbiotic beetles are phylogeny-dependent, not convergent. *The International Society for Microbial Ecology Journal*, 14(5), 1089–1099.

Hulcr J and Dunn R. 2011. The sudden emergence of pathogenicity in insect-fungus symbioses threatens naive forest ecosystems. *Proceedings of the Royal Society of London*, 278, 2866–2873.

Jordal BH. 2015. Molecular phylogeny and biogeography of the weevil subfamily *Platypodinae* reveals evolutionarily conserved range patterns. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 92, 294–307.

- Diehl JMC, Kowallik V, Keller A, and Biedermann PHW. 2022. First experimental evidence for active farming in ambrosia beetles and strong heredity of garden microbiomes, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 289, 20221458.
- Lehenberger M, Foh N, Göttlein A, Six D, and Biedermann PHW. 2021. Nutrient-poor breeding substrates of ambrosia beetles are enriched with biologically important elements. *Frontiers in Microbiology*, 12, 664542.
- Li Y, Ruan Y, Stanley EL, Skelton J, and Hulcr J. 2019. Plasticity of mycangia in *Xylosandrus* ambrosia beetles. *Insect Science*, 26:732–742.
- Liu X, Robinson P, Madore M, Witney G, and Arpaia M. 1999. ‘Hass’ avocado carbohydrate fluctuations. I. Growth and phenology. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124, 671–675.
- Lynch S, Twizeyimana M, Wang D, Mayorquin J, Na F, Kayim M, et al. 2016. Identification, pathogenicity, and abundance of *Paracremonium pembeum* sp. nov. and *Graphium euwallaceae* sp. nov. – two new mycangial fungal associates of the polyphagous shot hole borer (*Euwallacea* sp.) in California. *Mycologia*, 108, 313–329.
- Mayorquin JS, Carrillo JD, Twizeyimana M, Peacock BB, Sugino KY, Na F, et al. 2018. Chemical management of invasive shot hole borer and *Fusarium* Dieback in California sycamore (*Platanus racemosa*) in Southern California. *Plant Disease*, 102, 1307–1315.
- Mendel Z, Lynch SC, Eskalen A, Protasov A, Maymon M, and Freeman S. 2021. What determines host range and reproductive performance of an invasive ambrosia beetle *Euwallacea fornicatus*; lessons from Israel and California. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 654702.
- Ploetz R, Hulcr J, Wingfield M, and de Beer Z. 2013. Destructive tree diseases associated with ambrosia and bark beetles: black swan events in tree pathology? *Plant Disease*, 97(7), 856–872.
- Skelton J, Johnson AJ, Jusino MA, Bateman CC, Li Y, and Hulcr J. 2019. A selective fungal transport organ (mycangium) maintains coarse phylogenetic congruence between fungus-farming ambrosia beetles and their symbionts. *Proceedings of the Royal Society B*, 286(1894), p.20182127.

Stouthamer R, Rugman-Jones P, Thu PQ, Eskalen A, Thibault T, Hulcr J, et al. 2017. Tracing the origin of a cryptic invader: Phylogeography of the *Euwallacea fornicatus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) species complex. *Agriculture and Forest Entomology*, 19, 366–375.