

תקופת המחקר: 2001-2003	קוד מחקר: 131-1127-03
Subject: EXPERIMENTS ON MONITORING AND CONTROL OF THE RED PALM WEEVIL.	שם המחקר: ניסויים לניטור והדברה של חדקונית הדקל האדומה בתמרים.
Principal investigator: VICTORIA SOROKER	חוקר ראשי: ויקטוריה סורוקר
Cooperative investigator: SIMON BITON, DANIEL BLUMBERG, YAAKOV NAKASH, AMOS NAVON, LEONID ANSHELEVICH, ODED BAR SHALOM, ALLY HARARI,	חוקרים שותפים: שמעון ביטון, דניאל בלומברג, יעקב נקש, עמוס נבון, לאוניד אנשלבץ, עודד ברשלום, אלי הררי, מירית המבורגר-רישרד
Institute: Agricultural Research Organization (A.R.O)	מוסד: מינהל המחקר החקלאי, ת.ד. 6 בית דגן 50250

תקציר

הצגת הבעיה: חדקונית הדקל האדומה היא מזיק קשה של דקלים. הזחלים מתפתחים בתוך העץ ובנגיעות רבה מביאים לקריסתו. ההדברה בעייתית בשל העדר סימני נגיעות ראשוניים וקושי בהדברת המזיק החבוי בגזע. מטרת המחקר: שיפור שיטות ניטור ופתוח כלים כימיים וביולוגיים להדברה.

מהלך ושיטות עבודה: המחקר התבצע במטע ובמעבדה. במטעים עקבנו אחר רמת הלכידות ורוב המלכודות מופו ע"י צוות השירותים להגה"צ באמצעות GPS. בחנו מספר צורות מלכודות במספר צפיפויות ואת משך פעילות הנדיפיות. במעבדה, הקמנו גידול של המזיק, סרקנו וירולנטיות של פיטריות ונמטודות אנטומופטוגניות, בחנו את השפעת קונפידור על ההתפתחות והתנהגות הזחלים ופיזורו של התכשיר בגזע התמר. כמו כן, בחנו את יעילותו של תכשיר קרטה –מקס נגד הבוגרים. בנוסף למדנו את החותם האקוסטי של הזחלים הנוברים בגזע התמר.

תוצאות עיקריות. מאז שנת 2000 אנו עדים לירידה במספר הלכידות של בוגרי החדקונית ומאז 2002 לא נתגלו עצים נגועים. רמת הלכידות הנמוכה הקשתה על הסקת מסקנות ברורות מניסויי בחינת סוגי המלכודות וצפיפותן. עם זאת, נראה כי מלכודות משפך נוחות יותר לשימוש ויעילות לא פחות ממלכודות דלי.

זוהו מספר גזעים של פיטריות אנטומופטוגניות הפוגעות בביצים, זחלים ובוגרים. הוכחה יעילותו של קונפידור כטיפול מניעה נגד החידקונית. לגבי ריסוסי גזע, סיאלוטרין-(קרטה סמוראי) נמצא גם בעל שאריתית גבוה בתנאי שדה וקטלני לבוגרים במעבדה. במחקר האקוסטי בודדו מספר תדרים אופייניים לזחלי חדקונית.

מסקנות והמלצות: מיעוט הלכידות, באופן כללי, מרמז על בלימת המזיק בכל השיטות הננקטות נגדו. עם זאת, החידקוניות שכן נלכדו, מצביעות על כך שיש בשטח עצים נגועים בחדקונית וללא אמצעי ניטור יעילים וללא פיקוח קפדני עלול המזיק להתפרץ ואף להתפשט.

הומלץ על מינון נדיפיות למלכודת לשנה ועל המלכודת המשפכית. אנו רואים בפיטריות אנטומופטוגניות פוטנציאל הדברה ביולוגי יעיל במיוחד במטעים אורגניים, יתכן שניתן לשלב גם

את הנמטודות האנטומופטוגניות אך יש להמשיך ולחפש אחר תבדידים יעילים ביותר, לפתח פורמולציה ואת דרך היישום האופטימלית.
כטיפול מניעה כימיים נראה כי קונפידור בהגמעה וריסוסי גזע ב- Cyhalotrin (קרטה-מקס 0.3%) עשויים להוות טיפולי מניעה יעילים.

רשימת פרסומים

- חוברת סיכום מחקרי תמרים (תקצירים) 2001, שולחן תמר-מועצת הפירות
חוברת סיכום מחקרי תמרים (תקצירים) 2002, שולחן תמר-מועצת הפירות
חוברת סיכום מחקרי תמרים (תקצירים) 2003, שולחן תמר-מועצת הפירות
(2002). Zada, A. Soroker, V., Harel M., Nakashe, J., and E. Dunkelblum
Quantification of Secondary alcohol pheromones: Determination of the release
rate of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* pheromone from lures.
J. of Chemical Ecology 28:2299-2306.
Soroker, V., Nakash, Y., Mizrach, A., Hetzroni, A., Landau, U. and Gerling, D.
(2004). Utilization of sounding methodology to detect infestation by
Rhynchophorus ferrugineus on palm offshoots. Phytoparasitica: 32:6-8.
Soroker, V., Blumberg D., Haberman A. and Harari A. The Red palm weevil
infestation in date palm plantations in Israel, current status (submitted to
Phytoparasitica)

Experiments on monitoring and control of the red palm weevil

מוגש לקרן המדען במשרד החקלאות ולהנהלת מ"פ מטעים

ע"י

ויקטוריה סורוקר, אלי הררי, לאוניד אנשלביץ, ענת זאדה, דן בלומברג, גלונה גינדין, עמוס נבון, סלבט טלבייב, סעדיה רנה, דבורה גורדון, מרים הראל, מרים אליהו, שלומית לבסקי-המחלקה לאנטומולוגיה ונמטולוגיה – מינהל המחקר החקלאי, בית דגן

אמוץ חצרוני, עמוס מזרח – המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי

שמעון ביטון, שה"ם, משרד החקלאות

יעקב נקש, התחנה לניסיונות עדן ומכון פרס לשלום

מירית המבורגר ועמי הברמן, האגף להגנת הצומח ולבקורת, משרד החקלאות

Victoria Soroker, Salavat Talebaev & Saadia Renah¹ Email: sorokerv@agri.gov.il

Ally Harari & Dvora Gordon¹, Email: aharari@agri.gov.il

Anat Zada & Miriam Harel¹ Email: anatzada@agri.gov.il

Leonid Ansheleviz¹. Email: lashel@int.gov.il

Galina Gindin Email¹: gindin@agri.gov.il

Amos Navon & Shlomit Levsky¹ Email: navona@agri.gov.il

Dan Blumberg & Miriam Aliahu¹ Email: vpblum@agri.gov.il

¹ARO, Institute of plant protection, Department of Entomology, P.O.B.6

Yaakov Nakash, Experimental Station Eden, Bet Shean

Amots Hezroni & Amos Mizrah, Institute of Agricultural Engineering, ARO.

Shimon Biton Plant Protection, Extension Services. Ministry of Agriculture, Email: shibit@shaham.moag.gov.il

Ami Haberman & Mirit Humburger-Richard, PPIS, Ministry of Agriculture, Bet Dagan: Email: ppisneg@int.gov.il

ממצאים בדו"ח הזה הנם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים.

חתימת החוקר _____ ד"ר סורוקר ויקטוריה

רשימת פרסומים

חוברת סיכום מחקרי תמרים (תקצירים) 2001, שולחן תמר-מועצת הפירות

חוברת סיכום מחקרי תמרים (תקצירים) 2002, שולחן תמר-מועצת הפירות

חוברת סיכום מחקרי תמרים (תקצירים) 2003, שולחן תמר-מועצת הפירות

Zada, A. Soroker, V., Harel M., Nakashe, J., and E. Dunkelblum. (2002). Quantification of Secondary alcohol pheromones: Determination of the release rate of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* pheromone from lures. J. of Chemical Ecology 28:2299-2306.

Soroker, V., Nakash, Y., Mizrach, A., Hetzroni, A., Landau, U. and Gerling, D. (2004). Utilization of sounding methodology to detect infestation by *Rhynchophorus ferrugineus* on palm offshoots. *Phytoparasitica*: 32:6-8.

Soroker, V., Blumberg D., Haberman A. and Harari A. The Red palm weevil infestation in date palm plantations in Israel, current status (submitted to *Phytoparasitica*)

תקציר

הצגת הבעיה: חדקונית הדקל האדומה היא מזיק קשה של דקלים. הזחלים מתפתחים בתוך העץ ובגזע רבה מביאים לקריסתו. ההדברה בעייתית בשל העדר סימני נגיעות ראשוניים וקושי בהדברת המזיק החבוי בגזע. מטרות המחקר: שיפור שיטות ניטור ופתוח כלים כימיים וביולוגיים להדברה.

מהלך ושיטות עבודה: המחקר התבצע במטע ובמעבדה. במטעים עקבנו אחר רמת הלכידות ורוב המלכודות מופו ע"י צוות השירותים להגה"צ באמצעות GPS. בחנו מספר צורות מלכודות במספר צפיפויות ואת משך פעילות הנדיפיות. במעבדה, הקמנו גידול של המזיק, סרקנו וירולנטיות של פיטריות ונמטודות אנטומופטוגניות, בחנו את השפעת קונפידור על ההתפתחות והתנהגות הזחלים ופיזורו של התכשיר בגזע התמר. כמו כן, בחנו את יעילותו של תכשיר קרטה-מקס נגד הבוגרים. בנוסף למדנו את החותם האקוסטי של הזחלים הנוברים בגזע התמר.

תוצאות עיקריות: מאז שנת 2000 אנו עדים לירידה במספר הלכידות של בוגרי החדקונית ומאז 2002 לא נתגלו עצים נגועים. רמת הלכידות הנמוכה הקשתה על הסקת מסקנות ברורות מניסויי בחינת סוגי המלכודות וצפיפותן. עם זאת, נראה כי מלכודות משפך נוחות יותר לשימוש ויעילות לא פחות ממלכודות דלי.

זוהו מספר גזעים של פיטריות אנטומופטוגניות הפוגעות בביצים, זחלים ובוגרים. הוכחה יעילותו של קונפידור כטיפול מניעה נגד החדקונית. לגבי ריסוסי גזע, סיאלוטריין-קרטה (סמוראי) נמצא גם בעל שאריתית גבוהה בתנאי שדה וקטלני לבוגרים במעבדה. במחקר האקוסטי בודדו מספר תדרים אופייניים לזחלי חדקונית.

מסקנות והמלצות: מיעוט הלכידות, באופן כללי, מרמז על בלימת המזיק בכל השיטות הננקטות נגדו. עם זאת, החדקונית שכן נלכדו, מצביעות על כך שיש בשטח עצים נגועים בחדקונית וללא אמצעי ניטור יעילים וללא פיקוח קפדני עלול המזיק להתפרץ ואף להתפשט.

הומלץ על מינון נדיפיות למלכודת לשנה ועל המלכודת המשפכית. אנו רואים בפיטריות אנטומופטוגניות פוטנציאל הדברה ביולוגי יעיל במיוחד במטעים אורגניים, יתכן שניתן לשלב גם את הנמטודות האנטומופטוגניות אך יש להמשיך ולחפש אחר תבדידים יעילים ביותר, לפתח פורמולציה ואת דרך היישום האופטימלית.

כטיפול מניעה כימיים נראה כי קונפידור בהגמעה וריסוסי גזע ב- Cyhalotrin (קרטה-מקס 0.3%) עשויים להיות טיפולי מניעה יעילים.

מבוא

חדקונית הדקל האדומה, (*Rhynchophorus ferrugineus*) (RPW) מהווה מזיק קשה של מיני דקלים, כולל תמרים (Giblin-Davis, 2001). החדקונית בעלת תפוצה עולמית נרחבת ומצויה באוסטרליה, אסיה, אירופה (ספרד) ואפריקה. הגיע לאזורנו באמצע שנות השמונים של המאה הקודמת וגרמה לנזקים רבים בדקלי קוקוס בדרום מזרח אסיה ותמרים במזרח התיכון (Murphy and Briscoe, 1999). מועד הגיעה לישראל לא ידוע (Kehat, 1999). ב-1999 נתגלו החיפושיות ועצי תמר נגועים בבקעת הירדן ובאזור קלי"ה-אלמוג ובהמשך נלכדו חיפושיות אף במטעי טירת צבי. המזיק נמצא גם בירדן ויתכן שגם בשטחי הרשות. אחת הבעיות שלנו היא קרבת מטעי התמר בארץ לאלו של מדינות שכנות בהן קיים המזיק ברמה גבוהה ועשויות לשמש מקור אילוח בלתי צפוי ומיידי לעצי התמר בארץ.

הנקבה הבוגרת מטילה בבסיסי הכפות הצעירות, ובמיוחד בפצעי גידום, חיתוך חוטרים, ובפצעים אחרים. עם הבקיעה חודרים הזחלים לתוך העץ, ניזונים מתכולת הגזע ויוצרים בו מחילות שגורמות לניתוק מערכת ההובלה של העץ, ולהחלשתו. נגיעות רבה מביאה לבסוף לקריסתו של העץ. הזכרים של חדקונית הדקל ממינים שונים משחררים

פרומון התקהלות אליו נמשכים זכרים ונקבות (Giblin-Davis et al., 1996). המרכיב העיקרי של פרומון חדקונית הדקל האדומה הוא כוהל פרוגנוול (4S, 5S)-4methyl-5-nonanol (ferrugineol) ומרכיב נוסף הוא קטון 4-methyl 5-nonanone (Halett et al., 1993; Perez et al., 1996). מהספרות ידוע כי נדיפים מהדקל הפגוע מושכים מספר מינים של חדקוניות. יתר על כן, בחדקוניות מהסוג *Rhychophorus* נמצא כי לחומר הצמחי יש השפעה סינרגיסטית שמגבירה את המשיכה לפרומון ההתקהלות עד לרמות של פי 20 מהמשיכה של הפרומון לבדו (Giblin-Davis et al., 1996). לפיכך, שיטת הלכידה של חדקוניות הדקל השונות מבוססת כיום על מלכודות טעונות "פיתיון" שהוא שילוב של הפרומון יחד תערובת של חומר צמחי תוסס המורכב מגזע תמר קצוץ, קנה סוכר, או תמצית תמרים ושמרים (Oehlschlager et al., 1993a, b; 1995).

בארצות נגועות בחדקוניות, כמו גם בישראל, לכידת הבוגרים באמצעות מלכודות טעונות פרומון ההתקהלות של החדקוניות ופיתיון צמחי מהווה אמצעי רב חשיבות באיתור מוקדם של המזיק ואף ללכידה המונית. מאוגוסט 1999 ועד אוגוסט 2001 הופעלו כ- 5,000 מלכודות לנטור וללכידה המונית של החדקוניות במטעי תמר מסחריים ובעצי תמר לנוי - באזור הערבה, ים המלח, בקעת הירדן, עמק הירדן ובית שאן.

הדברת החדקוניות בעייתית במיוחד בשל שתי סיבות עיקריות: העדר סימני נגיעות ראשוניים וקושי בהדברת המזיק החבוי בתוך גזעי התמר. גילוי מוקדם של התפתחות החדקוניות עשוי לייעל טיפול הדברתי בטרם נגרם נזק כבד לגידול, למקד את הטיפול, ולמנוע טיפולי הדברה מיותרים. אולם, כאמור, גילוי זחלי החדקוניות החבויים בגזע הינו בעייתי ודורש שיטות זיהוי מיוחדות. פעילויות שונות של מזיקים גורמות לקולות ולתנודות אקוסטיות אופייניות הניתנות לקליטה ולזיהוי. ביניהם נמצאים קולות הנבירה והכרסום של החרקים במהלך התפתחותם. גילוי אקוסטי נמצא בשימוש למזיקי מחסן (Mankin et al. 1977), לגילוי נוכחות טרמיטים בעץ (Scheffrahn et al. 1993) וכן לגילוי מזיקי קרקע (Mankin et al. 2000).

פיתוח ממשק הדברה מחייב, בין היתר, אופטימיזציה של שיטת הלכידה והניטור. המטרה העיקרית של המחקר הנוכחי שהחל ב-2001 היתה פתוח כלים להדברת חדקונית הדקל האדומה ומניעת התפשטותה אל מחוץ לשטח ההסגר, תוך התמקדות בנושאים הבאים: לימוד הביולוגיה של המזיק בתוך העץ ומחוצה לו, שיפור שיטת הניטור ולכידת הבוגרים, פיתוח אמצעי הדברה כימיים וביולוגיים נגד המזיק וכן פיתוח שיטות לגילוי מוקדם של נגיעות. המחקר מתבצע במטע ובמעבדה בכמה מישורים:

1. לכידה המונית וניטור

1.1 מעקב ממוחשב אחר פיזור אוכלוסיות המזיק בארץ

באזור הנגיעות העיקרי המשתרע, בין מטעי קיבוץ קלי"ה בדרום ורועי בצפון, וכולל 70000 עצי תמר מתבצע מעקב שבועי אחר רמת הלכידות במלכודות במהלך כל השנה. מסוף שנת 1999 הופעלו כ- 5000 מלכודות בכל השטח. מספר המלכודות של השירותים להגנת הצומח הינו דינאמי ותלוי בלכידות, כאשר כל לכידה חדשה מביאה לתגבור מערך הלכידה על ידי הוספת מלכודות.

כיום המלכודות המתופעלות על ידי השירותים להגנת הצומח, כ-1200 במספר, מסומנות בקוד זיהוי אישי. מערך ניטור ההידקוניות הינו חלק ממערך ניטור כלל ארצי לנגעי הסגר של השירותים להגנה"צ. עם הקמתן ממופות המלכודות באמצעות GPS לתוך מפות אורטופוטו. ברקוד אישי המוצמד לכל מלכודת מאפשר עידכון הפרמטרים הקשורים להתנהגות אוכלוסיות המזיק והזנת הנתונים שנאספו בבדיקת תכולת כל מלכודת למסופון בשטח. כל העדכונים

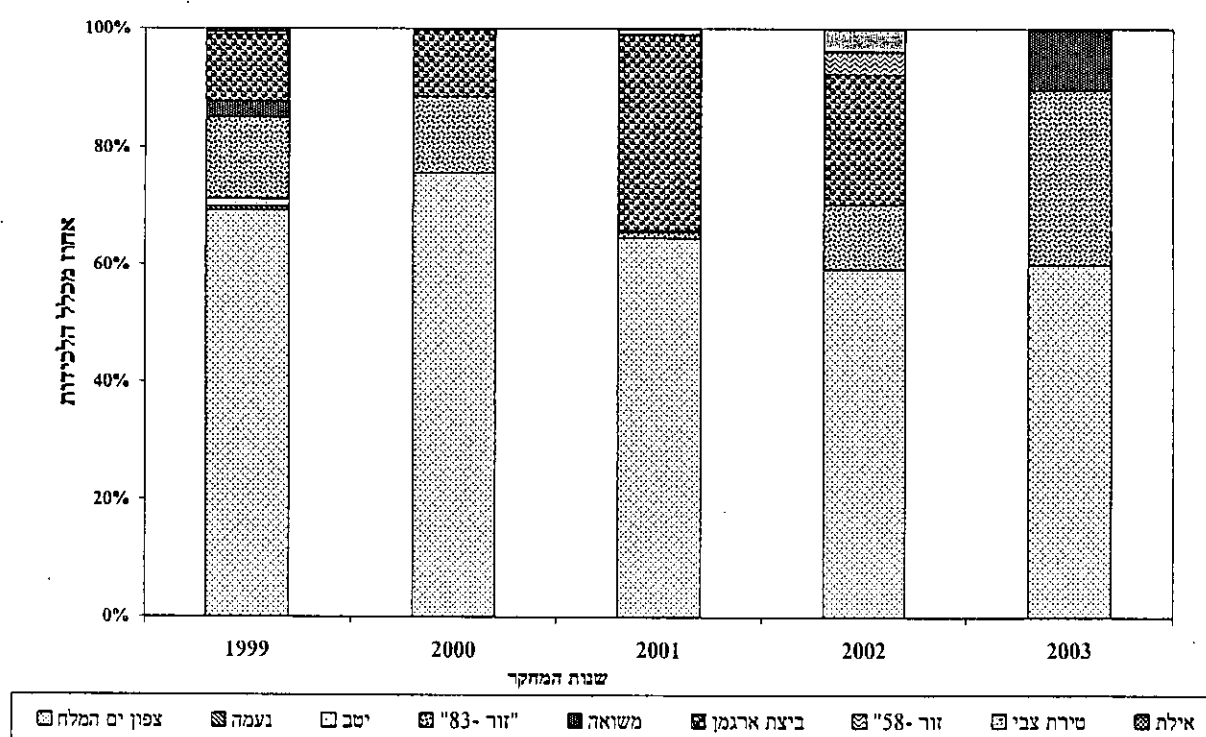
מוזרמים למרכז הבקרה בשירותים להגה"צ שם נקבעת בהתאם מדיניות של המשך טיפול בשטח. תהליך המיפוי הסתיים. מופו 1250 מלכודות באיזור הערבה, בקעת בית שאן ובקעת כינרות. בנוסף פועלים בשטח כ- 1200 מלכודות נוספות המופעלים על ידי החקלאים בתאום עם השירותים להגה"צ.

מאז 2002 הניטור התאפיין בגמישות והתאמה לצרכים המשתנים על פי העונה ומצב הלכידות: בחלקה בה היו לכידות חזרות (דוגמת, בית הערבה) הוספנו מלכודות מסביב למלכודת הלכידת ומספר הבדיקות הוגבר לפעם בשבוע. איור 1 מתאר את הפיזור הכללי של הלכידות בארץ לפי אזורים מ-1999-2003. כפי שניתן לראות רוב הלכידות התרכזו בצפון ים המלח, ובבקעה באיזור הזור וביצת ארגמן. למעט לכידה בודדת באילת, שתי חידקוניות בטירת צבי ושתי חידקוניות שנלכדו השנה בערבה, באילות.

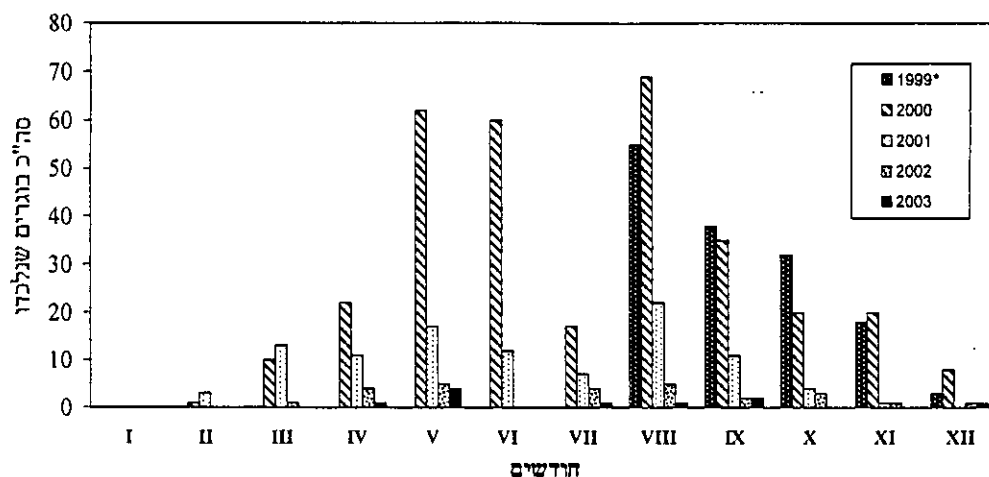
איור 2 מתאר את כלל הלכידות של ארבעת השנים האחרונות. השנים 2002-2003 התאפיינו בירידה מתמשכת במספר הלכידות. היחס בין זכרים לנקבות היה דומה במהלך השנים. רוב הנלכדים היו נקבות (טבלה 1).

מיעוט הלכידות, באופן כללי, מרמז על בלימת המזיק בכל השיטות הננקטות נגדו. בשנתיים אחרונות לא נתגלו עצים נגועים אם כי במטע של בית הערבה היו לכידות חוזרות.

עם זאת, הלכידות בשטח, שאומנם נמוכות, מצביעות על כך שיש בשטח עצים נגועים בחידקונית. בעיה מיוחדת עבורנו מהווים המטעים בירדן הגובלים במטעים שלנו דוגמת המטע הגובל במטע של אילות. ב-2002 נתגלתה בירדן נגיעות חמורה, שישה עצים נעקרו והיתר טופלו בהדברה כימית. המטע הירדני הנגוע הנו סמוך לנהר הירדן ולאזור המטעים שלנו בזור ואכן, נלכדו במטעים שלנו חיפושיות אחדות כאשר אחת מהן נלכדה במטע הביולוגי.



איור 1: התפלגות הלכידות לפי איזורים.



איור 2: לכידות החדקנית בחמשת השנים האחרונות. יש לקחת בחשבון שמספר המלכודות אינו זהה בין השנים וב-1999 המלכודות הוצבו רק באוגוסט. מאז ועד אוגוסט 2001 הופעלו 5000 מלכודות. מאז מספר המלכודות הנו גמיש.

טבלה 1: התפלגות בוגרי החדקנית מאוכלוסיות מטע וגידול מעבדה לפי זווית.

שנה	נקבות	זכרים	סה"כ	יחס זוויתים (נקבות/זכרים)	*הסתברות (χ^2)
2000	193	86	279	2.2	$P<0.001$
2001	65	17	82	3.8	$P<0.001$
2002	20	6	26	3.3	$P<0.01$
גידול מעבדה	101	69	170	1.5	$P<0.05$

*הסתברות שיחס הזוויתים הוא 1:1

1.2. בחינת יעילות שיטת הלכידה ההמונית בפיזורים שונים של מלכודות ובדיקת יעילות הלכידות במלכודות השונות.

במשך שנתיים השווינו בין שלוש צפיפויות של מלכודות 1, 2 ו-3 לדונם. הניסוי נערך במטע של קיבוץ אלמוג על השטח של כ-45 דונם. כפי שרואים בטבלה 2 רמת הלכידות היתה כה נמוכה במשך שתי העונות עד כי קשה להסיק מסקנות ברורות לגבי משמעות הצפיפויות של המלכודות. בשנת 2000 רוב הלכידות היו בצפיפות 3 מלכודות לדונם, אך ב-2001 דווקא בצפיפות של מלכודת אחת לדונם. בשנת 2000 באיזור הלכידות נתגלו שלושה עצים נגועים. מאז 2001 ועד היום לא גילינו באיזור זה עצים נגועים.

טבלה 2: השוואה של לכידת חידקניות בצפיפויות שונות של המלכודות.

צפיפות המלכודות לדונם	סה"כ חיפושיות שנלכדו 2001	סה"כ חיפושיות שנלכדו 2000
-----------------------	------------------------------	------------------------------

1	1	3
2	1	1
3	6	1

1.3 סוג המלכודות: השווינו את יעילותן של שלוש מלכודות. בניסוי ראשון השווינו בין שלושה סוגי מלכודות: מלכודת דלי (משקית), מלכודת רדיאטור ומלכודת משפכית. כל המלכודות צוידו בנדיפית פרומון מתוצרת ChemTica, בקבוקון של אתיל אצטט ותערובת צמחית תוססת של תמרים, מולסה ומים. בניסוי שני התמקדנו בהשוואה בין המלכודות המשפכית למישקית שהראו את התוצאות הטובות ביותר בניסוי הראשון. ניסוי שני נערך ב-15 צמדים של מלכודות בצפיפות של 2 מלכודות לדונם במשך 3 שנים. מספר הלכידות בשני הניסויים מובא בטבלה 3. מספר הלכידות הכולל היה נמוך ביותר ובשנת 2002 לא היו בכלל לכידות באיזור הניסוי אך ב-2001 ו-2002 הלכידות היו במלכודת משפכית ולא במלכודת דלי הצמודה למשפכית. נראה שמלכודות משפך לא נופלות ביעילותן ממלכודות דלי סטנדרטיות, יחד עם זאת, מלכודת משפכית נוחה לבדיקת התכולה וגם שומרת על תכולתה עקב אידוי נמוך של מים מתוכה וכך חוסכת זמן יקר בטיפול.

טבלה 3: השוואת לכידת החידקוניות במלכודות מסוגים שונים

ניסוי/סוג המלכודת	דלי	משפך	רדיאטור
ניסוי א.	11*	4	1
ניסוי ב-2001	0	3**	לא נבדק
ניסוי ב-2003	0	1	לא נבדק

*שתי מלכודות דלי היו צמודות לעצים הנגועים; ** כל הלכידות במלכודת אחת

1.4 בדיקת משך פעילותן של נדיפיות.

במלכודות הפרומון המוצבות כיום במטעי התמרים משתמשים בנדיפית של יצרן אחד (ChemTica, Costa Rica), על כן בחרנו לבחון את משך פעילותה בארץ בתנאים השונים. משך פעילות הנדיפית נבדק בתנאי בקעת הירדן ובתנאי מרכז הארץ במנהל המחקר החקלאי. בשני המיקרים המלכודות הוצבו בצל עצי תמר. הניסויים נערכו בשלושה מועדים באיזור בית שאן: א. אפריל-מאי, ב. אוגוסט-נובמבר ג. נובמבר-פברואר, ובאיזור בית דגן בין אפריל לאוקטובר. לשם כך פיתחנו שיטה לאנליזה כמותית מדויקת של החומרים הפעילים שבנדיפית בגז כרומטוגרף (Zada et al., 2002). ממצאינו מראים כי קצב שיחרור הפרומון מהנדיפית משתנה מאד במהלך השנה. גם כאשר הנדיפית לכאורה ריקה היא עדיין מתפקדת. ממצאי בחינת חיי הנדיפית של ChemTica מגלים שבעוד באיזור הבקעה יש צורך בשלוש נדיפיות לשנה למלכודת, באיזור המרכז מספיקות שתי נדיפיות.

1.5 בחינת סוגי נדיפיות:

ניסינו להשוות את יעילותן של 5 סוגי נדיפיות משלושה יצרנים בתנאי מטע של מושב בקעות בשטח של 50 דונם, ב 10 בלוקים באקראי. מלכודות פוזרו בצפיפות של מלכודת אחת לדונם. בניסוי נבדקו נדיפיות סטנדרטיות של חברת ChemTica מול 3 סוגי נדיפיות של חברת Trifolio-M- ונדיפית אחת 700-Rhyllure WAT של חברת Russel UK. לא היו לכידות בשטח בתקופת הניסוי. מאחר ואוכלוסיית המזיק הצטמצמה לא חזרנו על ניסוי זה.

מקבוצה של 30 בוגרים שנאספו מעץ נגוע אחד בפברואר 2001 במטע של בקעות הקמנו גידול יציב של החדקונית בתנאי הסגר. במהלך המחקר בחנו כמה קרקעות מזון מלאכותי וקנה סוכר כמצע גידול חדקונית. הורכב קרקע מזון חדש שהכיל: נבטי חיטה וכן נבחן קרקע מזון מספרד (Allacron et al., 2002) ומצריים (יוסרי, מידע אישי). מכל מצעי הגידול שבחנו עד כה, קנה הסוכר נמצא המתאים ביותר לגידול החדקונית מדרגת ביצה ועד בוגר. אולם עדיין החדקונית המתפתחות במעבדה קטנות בגודלן באופן מובהק סטטיסטית לפי כל המדדים (אורך כנף קידמית, רוחב חזה קידמי ורוחב חדק) מאלו של אוכלוסיית הבר ($p < 0.001$, Anova). גידול המעבדה נוצל לפיתוח שיטות ההדברה ולניסויים בזיהוי קולי של פעילות החדקונית.

3. הדברה

3.1 הדברה כימית - כוונתנו הראשונית היתה לבחון תכשירים כימיים במטע בשני מישורים: טיפולי מניעה וטיפול הדברה. מאחר ומאז תחילת המחקר נתגלו רק 4 עצים עם נגיעות ודאית במזיק לא ניתן היה לערוך ניסויים הדברה והתרכזנו בטיפול המניעה.

במטע נבדקה יעילותם של טיפולי המניעה הבאים: ריסוסי גזע בכותניון או דיזיקטול, ריסוסי גזע + טיפול סיסטמי (קונפידור) וטיפול סיסטמי ללא ריסוס. הניסויים נערכו במטעי קיבוץ אלמוג ובמטע בקעות של אברהם סלומון, בשני בלוקים של מינימום 33 עצים בכל אחד מהמטעים. טיפול סיסטמי בקונפידור בריכוז של 5 סמ"ק לעץ בהגמאה לקרקע ניתן 3 פעמים במרווחים של כחודש ימים החל מ- 22.3 באלמוג ו-8 באפריל בבקעות. כותניון א"ר 0.2% או דיזיקטול ת"מז 0.3% רוססו על הגזעים לסירוגין (במידת האפשר) מאפריל ועד סוף אוגוסט. באלמוג באזור הניסיון נלכדו 18 חיפושיות רובן באזור שקיבל טיפול בקונפידור וריסוסי גזע אך לא נתגלה אף עץ נגוע ואין לנו בשלב זה הסבר לתופעה זאת. בבקעות באזור הניסוי לא היו לכידות וגם לא נתגלו עצים נגועים.

מאחר ובוגרי החדקונית מסתובבים על גזע התמר בין הסיבים והזחלים, לעומת זאת, חודרים ונוברים בתוך הגזע בחנו שתי שיטות מניעה: ריסוס גזע וטיפול בהגמאה. בהמלצות להדברת חיפושיות התוקפות גזעי עצים נשירים מומלץ לאבק או לרסס את גזעי העצים בקוטלי חרקים כגון: דיאזינון, אצינפוס-מתיל וכלורפיריפוס. הרעלת הסיבים בקוטלי חרקים עשויה לקטול את החיפושיות וכן לשבש את תהליך ההטלה, הבקיעה וחדירת זחלי החיפושית לליבת הגזע. בניסוי זה בחרנו תכשיר קרטה מקס (Cyhalothrin 50 גרם לליטר) מקבוצת הפירתרואידים משתי סיבות: א. היותו קוטל מגע טוב, ב. החומר מורשה לשימוש בתמר להדברת עשים וחיפושיות התוקפים את פרי התמר. התכשיר רוסס על גזעי עצים עד גובה 2.5 מטר בנפח תרסיס של 1.5 ליטר לעץ בריכוז 0.3%. הריסוס בוצע על עצי מג'הול בוגרים במטע קיבוץ אלמוג בשעה 10.00 בבוקר ב- 7.07.03 ובשעה 13.00 נדגמו 3 קטעי (100 ס"מ כל אחד) סיבים מכל עץ שרוסס (זמן 0). בהמשך דגמנו סיבים בשני מועדים נוספים: כעבור 35 ו-175 יום. כל הדגימות נבדקו לתכולת החומר הפעיל במעבדת בקטוכם בע"מ. השפעתו של התכשיר נבחנה גם על בוגרים במעבדה. 5 נקבות ו-10 זכרים הושמו בנוכחות קני סוכר על סיבי תמר מוספים ב-0.3% תכשיר במים או במים בלבד (בקורת).

התכשיר הסיסטמי שהוצע נגד המזיק הוא קונפידור (Chloronicotinyl imidocloprid). חומר זה הינו תכשיר הפוגע בהולכה עצבית תקינה. תצפיות השדה שערכנו עם חומר זה נתנו תוצאות מביטחות. אולם חשוב היה ללמוד על מידת יעילותו ופיזורו בעץ. על מנת לבחון את השפעת קונפידור על זחלי החדקונית פיתחנו מבחן ביולוגי בקנה סוכר. השתמשנו בחלקי קנה סוכר באורך של כ- 17 ס"מ. לאחר השרשתם במים אילחנו את הקנים בזחלים דרך פתח

שקדחנו בחלקו העליון של הקנה. זחל אחד בגודל ממוצע של 334 ± 195 מ"ג הוחדר לכל קנה. לאחר שלושה ימים של התבססות הזחלים הוחלפו המים שבתחתית הכלוב למים עם קונפידור או למים נקיים (ביקורת). ריכוז הקונפידור חושב לפי קוטר הקנה 1.5 ס"מ יחסית לקוטר תמר ממוצע 24 ס"מ (תכשיר לעץ 5 ס"מ מק ב-10 ליטר מים לקנה סוכר 0.3 סמ"ק ב-200 מ"ל מים). כעבור 7 ימים נוספים הופסק הניסוי, הקנים נפתחו והזחלים הוצאו לצורך בדיקת מצבם, שקילה ומדידת אורך המחילה אותה קדחו בקנה. על מנת ללמוד את פיזור החומר הפעיל ברקמות התמר ערכנו מספר תצפיות שדה במטע אלמוג וכן ניסוי על ארבע עצי תמר בבית דגן. 3 עצים קיבלו 5 סמ"ק קונפידור בהגמאה בשלוש מנות מידי 20 יום ועץ אחד נשאר ללא טיפול (בקורת). מכל עץ נלקחו דגימות גזע (בגובה 1 מטר) על ידי קידוח, 30 הוצים, 10 סנסנים 4 פעמים לפני כל טיפול, חודש וחמישה חודשים אחרי הטיפול האחרון דגימה אחרונה כללה גם תמרים. תחולת אימידוקלופריד נבדקה בחברת בקטוכם נס ציונה, בשיטת ה-HPLC מול סטנדרטים שנתקבלו מחברת Bayer.

על מנת ללמוד על פיזורו של אימידוקלופריד וכן על יעילותו כטיפול מניעתי ערכנו ניסוי בתנאי גידול מבוקרים על שתילי תמר מזן מג'ול בני שנתיים שתולים בעציצים של 10 ליטר. השתילים קיבלו אחד משני מינוני קונפידור 4 מ"ל, 2 מ"ל או מים בלבד (ביקורת). שלושה שבועות לאחר הטיפול אולחו כל השתילים בזחלים במשקל דומה. התפתחות הזחלים נבדקה באמצעות מעקב אקוסטי וכן על ידי מעקב אחר הפרשות העץ בנקודת האילוח. הזחלים התפתחו ב-4 מתוך 5 עצי ביקורת אך אף לא באחד מהשתילים המטופלים. כעבור 91, 129, ו-190 יום נותח עץ אחד מכל טיפול וכעבור 252 יום (בתום הניסוי) נותחו שני עצים מכל טיפול. בחנו את נוכחות המזיק ואו שרידי פעילותו. בכל מועד נדגמו הוצים, גזע ושורשים. רמת האימידוקלופריד נקבעו במעבדת בקטוכם באמצעות HPLC ע"פ סטנדרט על מנת לבחון את שאריתיות של חומר פעיל גם מבחינה ביולוגית. העצים שנותרו אולחו פעם נוספת בזחלי החקיקה במקביל לעצי בקורת נוספים. משקל הזחלים בעת האילוח מוצג בטבלה 4.

טבלה 4: גודל הזחלים בעת האילוח.

מועדי האילוח ממועד ההגמעה בימים	משקל הזחלים במ"ג (ממוצע ושגיאת התקן)
14	98 ± 6.4
91	66 ± 11.5
129	64 ± 2.7
190	60 ± 1.3

תוצאות:

כפי שרואים בטבלה 5 רמת הסיאלוטריין יציבה ע"ג הסיבים לאורך של 5 חודשים לפחות. כאשר בחנו את יעילות התכשיר בתנאי מעבדה על חידקוניות בוגרות נמצא כי כעבור 72 שעות בקבוצת המטופלים כל החיפושיות גססו אם כי עדיין חיו בעוד כל החיפושיות שרדו בקבוצת הביקורת.

טבלה 5: שארית התכשיר סיאלוטריין בסיבי תמר.

מועד הדגימה מתאריך היישום (בימים)	שארית התכשיר ב – ppm (ממוצע של שלוש דגימות \pm סטית התקן)
0	2.3 ± 0.1

35	1.4±0.98
175	2.0±1.44

טבלה 6: השפעת הזמן על התפלגות רמות אימידוכלופריד ברקמות השונות של שתילי תמר.

כמות קונפיידור בטיפול	זמן לאחר הטיפול (ימים)	מספר העצים	כמות אימידוכלופריד מ"ג לק"ג דגימה			
			הוצים	גזע	שורשים	ה"כ
2ml	91	1	6.5	5.5	6.7	18.7
	129	1	0.97	0.07	1.9	4.0*
	190	1	1.05	2.5	3.6	7.2
	252	2	1.0	0.3	1.8	3.0
4ml	91	1	57.6	12.4	54.6	70
	129	1	2.0	11.5	15.5	13.5*
	190	1	11.1	1.8	12	24.9
	252	2	11.2	0.2	4.2	15.6
0ml	91	4	0.4	0.4	0.6	1.4

* מדוע 129 יום אחר הטיפול רמות אימידוכלופריד בעץ נמוכות יותר מאלו שנמדדו אחרי 190 יום אינו ברור ויתכן ונובע משגיאת מדידה.

בניסוי בקנה סוכר, למעט מיקרה אחד של מות הזחל בטיפול בקונפיידור כל יתר הזחלים נשארו חיים עד סוף הניסוי. אך בטבלה מס' 4 רואים כי טיפול בקונפיידור בכל זאת השפיע על הזחלים. בהשפעת קונפיידור הזחלים נברו באופן מובהק פחות בגזע וכנראה גם פחות אכלו כפי שמתבטא בעליה פחותה במשקל (172% בממוצע בקונפיידור לעומת 350% בממוצע בביקורת). תוצאות אלה מצביעות על כך שהקונפיידור משפיע באופן שלילי על הזחלים גם בריכוזים טוב-לטליים.

בניסוי במטע, למעט תוצאה חד משמעית שהחומר אינו מצוי בפרי, נתוני תחולתו בגזע ובהוצים לא נתנו תוצאות עקביות. לכישלון גילוי בגזע הועלו מספר סיבות: א. העץ מאדה כמות מים רבה והחומר, הרגיש לאור, מגיע תוך זמן קצר לעלים ומתפרק שם. ב. החומר נמצא בצמח ברמות שמתחת ליכולת הזיהוי של המכשיר, אך אין זאת אומרת שהחומר או נגזרותיו אינם ברמה של פעילות להדברת המזיק.

בטיפול בהגמאה בשתילי תמר בתנאי מעבדה לא התפתחו הזחלים בשתילים מטופלים ב-2 ו-4 מ"ל תכשיר קונפיידור בכל מועדי האילוח (14, 91, 129 ו-190 יום אחרי הגמאה). הצלחת התפתחות הזחלים בעצי הביקורת היתה 75% (6 מתוך שמונה). בטבלה 6 נראה בבירור שהשתילים המטופלים מכילים אימידוכלופריד גם כ-8.5 חודשים לאחר הטיפול. מעקב אחר התפלגות רמות אימידוכלופריד ברקמות הצמחים מגלה כי בעוד כמות החומר הולכת ויורדת מזמן הטיפול במיוחד בגזע, החומר מתרכז בעיקר בהוצים (מקום מבלע) ובשורשים מכילים מאגר של החומר הפעיל. אך עדיין נשארו שאלות רבות לגבי ישום התכשיר, למשל: מה הן הרמות הדרושות בגזע להדברת הזחלים, מהו המינון המינימלי הדרוש על מנת להגן על שתילי התמר מפני המזיק וכמה זמן נשאר מאגר של חומר הפעיל בקרקע.

3.2 הדברה ביולוגית

בחנו את יעילותם של מספר גורמים פטוגניים: פיטריות וגמטוזות אנטומופטוגניות. חשיבות גורמי הדברה אלו יכולה להיות רבה במיוחד במטעים אורגניים, בעצי תמר הצעירים, בהם הזחלים הנזכרים ולאו המתגלמים יצאו מהעץ כשהם קרובים לפני הקרקע או אף בתוך הקרקע.

3.2.1 פיטריות אנטומופטוגניות: בניסיון לאחר שיטות הדברה מיקרוביאלית של החדקונית סרקנו מספר תבדידים של פיטריות אנטומופטוגניות *Paecilomyces fumosoroseus*, *Beaveria bassiana* ו- *Metarhizium anisopliae*. התמקדנו בעיקר בגזעים שבודדו מישראל ומאפריקה. בחנו את התבדידים על בוגרים, זחלים וביצים. זחלים בדרגה שניה 110-50 מ"ג משקל טופלו בתרחיף נבגי הפיטריות בריכוז של $2-3 \times 10^7$ נבגים למיליליטר תמיסת טרייטון במים 0.001% או במים עם טרייטון (בקורת). לאחר הטיפול הזחלים הוחזקו בנפרד על נסורת קנה סוכר לא מטופלת. מותם של הזחלים נקבע אחרי 4 ו-7 ימים. התפתחות נבגי הפטרייה כגורם המוות נבדק בזחלים המתים. השפעת הפיטריות משני גזעים של *Metarhizium anisopliae* שנמצאו יעילים ביותר נגד הזחלים נבדקו על בוגרים, ביצים וזחלים הבוקעים בריכוז נבגים של 5×10^7 למיליליטר תמיסה. ביצים בני 1-2 יום ו- 3-4 יום הוכנסו ל 2-3 גרם נסורת מטופלת בתרחיף נבגי פיטריה. חמישים גרם נסורת טופלו ב- 10^7 מיליליטר תרחיף נבגים בריכוז של כ- 5×10^7 נבגים למיליליטר בתמיסת טרייטון במים. כבקורת שימשו ביצים שהודגרו בנסורת מטופלת בתמיסת טרייטון 0.001% במים. הביצים הודגרו ב- 27 מעלות בחושך. על מנת לקבוע את השפעת הפיטריות נבדקו מזדים הבאים: שיעור תמותת הביצים, שיעור בקיעת הביצים, שיעור תמותת הזחלים ומשקל הזחלים המתפתחים 10 יום לאחר הטיפול (בטבלה 8). לפיתוח שיטת יישום אפשרית של הפטרייה השווינו שלוש שיטות של הדבקת בוגרים: טבילה, ריסוס ואיבוק. כביקורת לשיטת האיבוק בנבגי הפיטריה איבקנו קבוצה נוספת של בוגרים בטלק.

תוצאות

כפי שרואים בטבלה 7 מספר גזעים היו פתוגניים לזחלי החדקונית. הגזעים היעילים ביותר היו ה- *Metarhizium anisopliae*, MA Risinga, 108. בבוגרים רק גזע Risinga היה בעל פטוגניות גבוהה ושימש להמשך העבודה. כפי שרואים בטבלה 8 היעילות הגבוהה ביותר התקבלה בשיטת האיבוק. התמותה החלה כעבור ימים מספר מהטיפול אך התהליך היה הדרגתי ותמותה מלאה התקבלה תוך פחות משלושה שבועות. חשוב לציין שהפטרייה השפיעה גם על פוריות הנקבות מאחר ונקבות מודבקות העמידו כמחצית מהצאצאים שהיו לנקבות הביקורת. איבוק הבוגרים בטלק לא גרם לתמותת הבוגרים ומכאן ניתן להסיק כי הפטרייה היא זו שגרמה למות החיפושיות ולא הפגיעה הפיסית של האבקה. שני גזעי המטריזיום שנבדקו הנם קטלניים גם לעוברים בביצה וגם לזחלים הבוקעים מביצים בשני הגילים (טבלה 9) כאשר בכל שלב יש קטילה של כ-50%. חשוב לציין שהזחלים השורדים בני 10 ימים ירודים באופן מובהק במשקל לעומת הזחלים מקבוצת הביקורת 61 ± 3 מ"ג לעומת גזעים בפיטריה Ma או ב- Rusinga (33 ± 5 ו- 22 ± 4) מ"ג בממוצע עם שגיאת תקן בהתאמה, (Anova, $p < 0.001$). עובדה זאת עשויה להיות בעלת השפעה משמעותית על שרידותם בהמשך וחייבת להיבדק.

טבלה 7: בחינת יעילות פיטריות אנטומופטוגניות נגד זחלי החדקונית. NT- לא נבחן

שיעור תמותה אחרי טיפול ב-%		גזע	מיני הפטריות האנטומופטוגניות
7 d	4 d		
100	67	Rusinga	<i>Metarhizium anisopliae</i>
100	50	ISIPE-30	
100	80	108	
100	67	MA	
83	33	7	
80	40	PPRC-29	
40	40	EE	
100	10	Nab	<i>Beauveria bassiana</i>
60	0	Kle	
80	0	FF	
20	0	Botanigard 0.1%	
0	0	M22	<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>
NT	0	92134	
0	0	תמיסת טרייטון 0.001% במים	ביקורת

טבלה 8: השוואת היעילות של שלוש שיטות הדבקת בוגרים בפטריה אנטומופטוגנית (*M. anisopliae* (Rusinga)

שיטת יישום (שיעור תמותה %)			זמן (ימים)
איבוק	טבילה	ריסוס	
28	NT	NT	4
38	28	NT	7
85	57	40	14
100	71	NT	17
-	86	80	28

טבלה 9: השפעת שני גזעים של פטריה אנטומופטוגנית *M. anisopliae* על ביצים והזחלים הבוקעים של חדקונית הדקל.

גזע	גיל הביצים (ימים לאחר ההטלה)	מספר ביצים לטיפול	שיעור בקיעת הביצים ב-%	השרדות הזחלים שבקעו ב-%	הישרדות ב-%*כללית
Rusinga	1 - 2	13	69	56	39
MA	1 - 2	13	54	71	39
בקורת	1 - 2	13	77	100	77
Rusinga	3 - 4	10	44	75	30
MA	3 - 4	10	50	60	30
בקורת	3 - 4	11	91	90	82

• אחוז הזחלים שהתפתחו מכלל הביצים שהוטלו ביום השישי לאחר הטיפול.

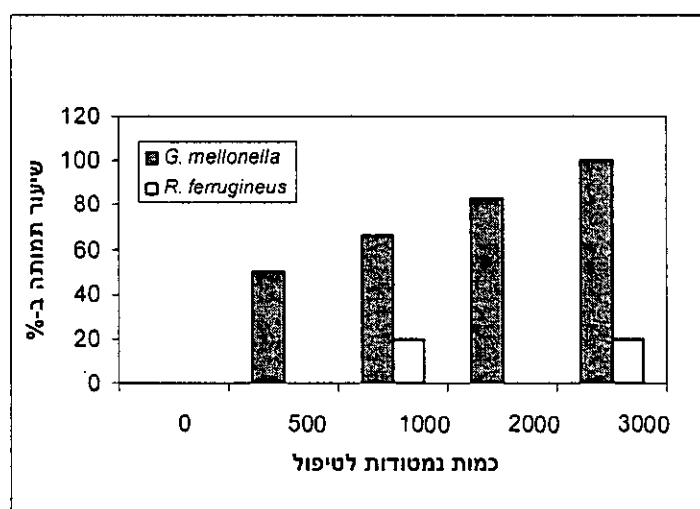
3.2.2. נמטודות אנטומופטוגניות: בחנו את יכולת הנמטודות להגיע באופן פעיל אל הזחלים ולקטול אותם. כביקורת לעילות הנמטודה השתמשנו בזחלי עש הדוג *Galleria mellonella*. לצורך ניסוי זה פיתחנו מבחן ביולוגי שאיפשר השוואת ניידות ופטוגניות של הנמטודות בשני מצעים: חול (המצע הטבעי של הנמטודות) ונסורת קנה סוכר (מצע הדומה לסביבה הטבעית של זחל החדקונית). בשיטה זו הנמטודות בדרגת הזחל המדביק (infective juvenile) שוחררו בריכוז 3000 נמטודות במרחק כ-2 ס"מ מהזחל והיה עליהם להגיע אל הזחלים באופן פעיל. בשלב ראשון השווינו חמישה מינים השייכים לשני סוגים: *Steinernema riobrave* (SR), *Steinernema feltiae* (SF), *Steinernema glaseri* (SG), *Heterorhabditis bacteriophora* (HB), *carpocapsae* (SC). להמשך העבודה בחרנו בזן SR שהיה יעיל בשני המצעים. ערכנו את הניסויים בריכוזים שונים של SR ולשני פרקי זמן 24 ו-48 שעות.

תוצאות

בסריקת הנמטודות נתגלתה פטוגניות בכל הגזעים. אולם כפי שרואים בטבלה 10 יעילותם בשני המצעים לא היתה זהה. גזע SR שהצליח להגיע לזחלים גם בנסורת וגם בחול שימש לבחינת היעילות היחסית של הנמטודות כלפי שני סוגי הזחלים. בבדיקת כמות הנמטודות שהגיעו לסביבת הזחל נמצא כי לעש הדוג מגיעים בממוצע פי 10 נמטודות לעומת אלו המגיעים אל החדקונית. ממצא המצביע שיעילות ה-SR נמוכה לגבי זחלי החדקונית לעומת זחלים של עש הדוג. מאוור 3 עולה כי יעילות הנמטודות נגד זחלי עש הדוג הגיעה ל-100%, והייתה תלויה בריכוזן. לעומת זאת יעילות הנמטודות נגד זחלי החדקונית היתה נמוכה ובלתי תלויה בריכוז. ממצא זה מצביע על כך שהגעת הנמטודות לזחלים היתה אקראית ולא נבעה ממשיכה ספציפית. חוסר היעילות של הנמטודות שבדקנו יכול לבוע מסיבות שונות וקיימת האפשרות שניתן לאתר נמטודות ספציפיות ויעילות. את אלו יש לחפש באוכלוסיה טבעית במטעי תמר.

טבלה 10: בחינת יעילות נמטודות אנטומופטוגניות נגד זחלי החדקונית וזחלי עש הדונג. NT - לא נבחנו. + - גרם לתמותה כל הזחלים. - - לא גרם לתמותה, \pm - גרם לתמותה רק בכמהצית מהמקרים.

נמטודות	SG		SC		SR		SF		HP	
מצא	נסורת	חול	נסורת	חול	נסורת	חול	נסורת	חול	נסורת	חול
חדקונית	-	\pm	+	\pm	+	+	+	+	-	+
עש הדונג	NT	NT	NT	NT	+	+	+	+	-	+



איור 3. השפעת כמות הנמטודות על תמותת זחלי החדקונית וזחלי עש הדונג.

4. פיתוח שיטות לגילוי מוקדם של המזיק:

קולות נבירה של זחלי החדקונית בתוך חוטרים שתולים ובקנה סוכר הוקלטו בדרגות שונות של ההתפתחות. ההקלטות התבצעו באמצעות מיקרופונים ומגבר (Larven Lausher, NIR), לתוך מקלט דיגיטאלי (Sony TCD-D100) ומכשיר הקלטה אנלוגי (Sony M730V). במקביל הועברו הקולות לאזניות שמע להערכה סובייקטיבית של פעילות הזחל על ידי המקליט. ההקלטות הועברו למחשב על ידי המרה (אנלוגי לדיגיטאלי) באמצעות כרטיס הקול הפנימי של המחשב דרך תכנת הקלטה (Ulead Audio Editor, ver. 5.02, system Inc), בהפרדה של 8 bit בתדירות של 44.1 קילוהרץ, בשני ערוצים (סטריאו) ונשמרו כקבצים בפורמט wav. לצורך דגימת האותות ועיבוד ראשוני פותחה במיוחד לשם כך על ידי החוקרים מהמכון להנדסה חקלאית תכנה בסביבת Matlab (ver 6.1, Natick, MA, USA) שמתבססת על מודל הבחנה של ריבועי שגיאות (quadratic discrimination error) (Johnson and Wichern, 1992).

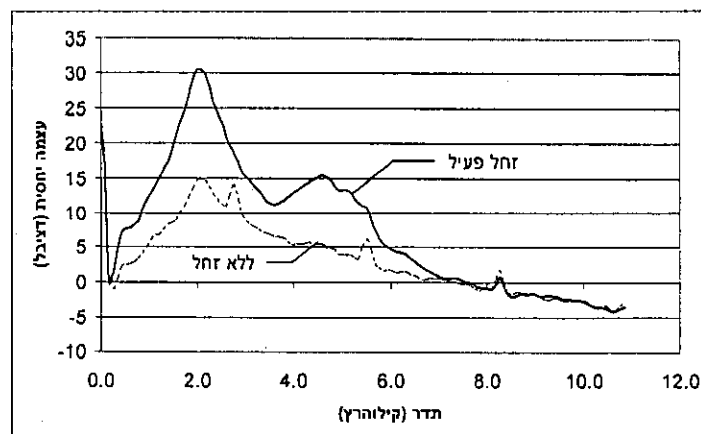
עד כה נדגמו קטעי קול (באורך 1024 דגימות כל אחד) שסומנו כמכילים קולות ברורים של פעילות זחל החדקונית, וקטעי קול בהם לא ניכרה פעילות הזחל אך מכילים לעיתים קולות שונים אחרים. כל קטע עבר התמרה למישור התדר בהתמרת FFT בהפרדה של 256 תדרים. התוצר של כל התמרה הוא רשימה של עצמת האות בכל אחד

מהתדרים (סה"כ 129 תדרים שהם חצי מהפרדת FFT עקב סימטריות). לצורך זיהוי פעילות הזחל בכל אחד מהקטעים נערכה אנליזה של התכנות ובחירת פרמטרים (תדרים) שיאפשרו הפרדה בין קבוצות הקול. לצורך זה נעשה שימוש בפרוצדורת Stepdisc בתכנת SAS.

תוצאות

בהאזנה לשיתילי התמר המאולחים, נשמעו הקולות כבר כשבוע לאחר האילוח, כאשר הזחלים היו עדיין קטנים כ-100 מ"ג. נמצא גם כי הפעילות האקוסטית של זחל החדקוניית אינה רציפה, ולא בכל מועד ניתן היה לשמוע את קולות הזחלים, למרות נוכחותם.

השוואת התפלגויות התדרים המאפיינים קולות נבירה של הזחלים לעומת תדרים של קולות הסביבה הצביעה על הבדלים משמעותיים בתחום 3.4 – 6.0 קילוהרץ (איור 4). לעומת זה, הבדלים שנמדדו בתחום 0.2 – 3.4 קילוהרץ הינם כפי הנראה ממצא שווא – כלומר לא נובעים רק מפעילות זחל החדקוניית. התדרים 3.4, 4.2, ו-5.1 קילוהרץ (מתוך התחום של 3.4 – 6.0 קילוהרץ) נמצאו כמשמעותיים לצורך ההפרדה בין קטעי קול, שמכילים קולות כרסום של חדקוניית לקטעים בהם לא אובחנה פעילות של הזחל (באמצעות פרוצדורת StepDisc).



איור 4: התפלגות תדרים מגורמלת של קולות הנובעים מפעילות כרסום של זחלים בגזע (קו מלא) וקולות רקע.

מסקנות והשלכותיהן

עבודות המטע: יש להמשיך לעקוב אחר המזיק ביסודיות כדי למנוע התפשטות המזיק והתפתחות אוכלוסיות שיסכנו את מטעי התמרים.

הדברה ביולוגית:

פיתחנו שיטה לבדיקת יעילות פיטריות אנטומופטוגניות, סרקנו מינים וגזעים שונים וזיהינו שני גזעים אלימים נגד ביצים, זחלים ובוגרים. בשלב זה נראה שלפיטריות הפטוגניות יש פוטנציאל טוב בהדברת זחלי החדקוניית. עדיין נותרה הבעיה כיצד להביא את הפיטריות אל הזחלים שבגזע התמר. בשלב זה נראה כי הדרך היעילה תהיה לפזר את התכשיר על העץ כך שימצא באיזורים הרגישים לנגיעות, משם יגיעו אל הביצים המוטלות. לגבי נמטודות תוקפות חרקים נראה כי ניתן ליישמן נגד דרגות הזחל האחרון והגולם המצויים לעיתים בקרקע ובאיזורים הסמוכים לה.

הדברה כימית:

מצאנו כי קונדפידור המיושם בהגמאה הנו תכשיר סיסטמי יעיל נגד החדקוניית. תוצאות דומות נתקבלו גם בעבודה באמירויות המיפרץ (Kaakeh et al., 2000). החומר בעל שאריתיות גבוהה וגם בריכוז של 2 מ"ל לשיתיל יעיל לתקופה של לפחות 6 חודשים. מניסויים בקנה סוכר למדנו שהחומר פוגע בהתפתחות זחלים גם בריכוזים סוב-ליטליים.

מומלץ לשקול את יישומו כטיפול מונע לשחילי תמר במשתלות, אך יש עדיין לבחון את יעילותו בתנאי מטע, למצוא מינונים אופטימליים ולברר את טווח פעילותם. בשלב זה הדבר אינו אפשרי (כפי שנוכחנו לדעת מניסיונו) עקב רמת נגיעות נמוכה. טיפול מגיע נוסף יכול להיות ריסוס גזע בקרטה -מקס 0.3%. החומר בעל שאריתית גבוהה בתנאי מטע וגם יעיל נגד הבוגרים.

גילוי אקוסטי: תוצאות עבודה זו מצביעות על התכנות סבירה לזיהוי פעילות של חדקונית בגזע העץ באמצעות ניתוח ספקטראלי של הקולות המלווים את פעולת הנגיסה. קולות הנבירה נשמעו גם כאשר הזחלים היו עדיין קטנים כ- 100 מ"ג. יחד עם זאת נדרשת עבודה השוואתית מקיפה בין קולות של זיירים אחרים בגזע ופעילות פיסיולוגית של העץ לבין קולות החדקונית ומעקב אחר פעילות יומית של הזחל בתוך הגזע כשלב מקדים לשיטת ניטור אקוסטי של הזחל. אנו ממשיכים במחקר בנושא זה לפיתוח מכשיר ושיטת ניטור אקוסטי במסגרת פרויקט אחר.

רשימת ספרות:

- Allacron, F. J, T. F. Martinez, P. Barranco, T. Cabello, M. Diaz and Moyano, F.J. (2002). Digestive protease during development of larvae of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera: Curculionidae). *Insect. Biochem. Molecular Biol.* 32: 265-274.
- Giblin-Davis, R.M. (2001) Borers of Palms. In: *Insects on Palms*. Ed. Howard, F.W., Moore, D., R.M., Giblin-Davis and Abad, R.G. CABI Publishing, Wallingford, UK. Pp 267-305.
- Giblin-Davis, R.M., Oehlschlager, A.C., Perez, A., Gries, G., Gries, R., Weissling, T.J., Chinchilla, C.M., Pena, J.E., Hallett, R.H., Pierce, H.D. and Gonzalez, L.M. (1996). Chemical and behavioral ecology of palm weevils (Curculionidae: Rhynchophorinae). *Florida Entomologist* 79: 153-167.
- Hallett, R.H., Gries, G., Gries, R., Borden, J.H., Czyzewska, E., Oehlschlager, A C; Pierce, H.D., Angerilli, N.P.D. and Rauf, A (1993). Aggregation pheromones of two Asian palm weevils *Rhynchophorus ferrugineus* and *R. vulneratus*. *Naturwissenschaften* 80: 328-331.
- Johnson, R.A., and D.W. Wichern. 1992. *Applied multivariate statistical analysis*. 3 ed: Prentice Hall.
- Kaakeh, W.A., Khamis A. A., and Abul-Nour, M.M. (2000?) Evaluation of the systemic Insecticide Confidor for the control of the red palm weevil in United Arab Emirates. The third Annual research conference at U.A.E. University , College of Food systems A4-A6.
- Kehat, M. 1999. Threat to date palms in Israel, Jordan and the Palestinian Authority by the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. *Phytoparasitica* 27: 241 – 242.
- Murphy, S.T. and Briscoe, B.R. (1999) The red palm weevil as an alien invasive: biology and prospects for biological control as a component of IPM. *Biocontrol News and Information*. 20:35-45.

- Mankin, R. W., J. Brandhorst-Hubbard, K. L. Flanders, K. Flanders, M. Zhang, R. L. Crocker, S. L. Lapointe, C. W., McCoy, J. R. Fisher and D. K. Weaver (2000). Eaves dropping on insects hidden in soil and interior structures of plants. *J. Econ. Entomol.* 93: 1173-1182.
- Mankin, R. W., D. Shuman and J. A. Conffelt (1977). Acoustic counting of adult insects with different rates and intensities of sound production in stored wheat. *J. Econ. Entomol.* 90: 1032-1038.
- Oehlschlager, A. C., Chinchilla, C.M., Jiron, L.F., Morgan, B. and Mexzon, R.G. (1993a). Development of an effective pheromone based trapping system for the American palm weevil, *Rhynchophorus palmarum*, in oil palm plantations. *Journal Econ.Entomol.* 86: 1381-1392.
- Oehlschlager, A.C., Chinchilla, C.M. and Gonzalez, L.M. (1993b) Optimization of a Pheromone-Baited Trap for the American Palm Weevil *Rhynchophorus palmarum* (L.). *Palm Oil Research Institute of Malaysia International Palm Oil Congress, Kuala Lumpur, Malaysia, September.*
- Oehlschlager, A.C., McDonald, R.S., Chinchilla, C.M. and Patschke, S.N. (1995) Influence of a pheromone-based mass trapping system on the distribution of *Rhynchophorus palmarum* (L.) and the incidence of red ring disease in oil palm. *Environmental Entomology* 24 : 1004-1012.
- Perez A.L., Hallett, R.H., Gries, R., Gries G., Oehlschlager, A.C. and Borden, J. H. (1996). Pheromone chirality of Asian palm weevils, *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) and *R. vulneratus* (Panz) (Coleoptera: Curculionidae). *J. Chem. Ecol.* 22: 357-367.
- Scheffrahn, R. H., W. P. Robbins, P. Busey, N. Y. Su and Mueller, R. K. (1993). Evaluation of a novel, hand-held, acoustic emissions detector to monitor termites (Isoptera: Kalotermitidae, Rhinotermitidae) in wood. *J. Econ. Entomol.* 86: 1720-1729.
- Zada, A. Soroker, V., Harel M., Nakashe, J., and E. Dunkelblum. (2002). Quantification of Secondary alcohol pheromones: Determination of the release rate of the red palm weevil, *Rhynchoforus ferrugineus* pheromone from lures. *J. Chem. Ecol.* 28:2299-2306.

סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר לתקופת הדו"ח התייחסות לתוכנית העבודה

1. לימוד הביולוגיה והפנוולוגיה של המזיק בתוך העץ, ומחוצה לו.
2. שיפור שיטת הלכידה, כולל דגם פיזור המלכודות, סוג המלכודות והרכב הנדיפים.
3. מיפוי כללי של לכידות החדקוניות.
4. פיתוח אמצעי הדברה כימיים וביולוגיים נגד המזיק.
5. פיתוח אמצעים לאיתור מוקדם של העץ הנגוע.

עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח.

1. נבחנו שלושה סוגי מלכודות ושלוש צפיפויות של מלכודות - אך עקב חוסר לכידות אין מסקנות סופיות מניסוי זה. יחד עם זאת, נראה כי מלכודות משפך נוחות יותר לשימוש ויעילות לא פחות ממלכודות דלי.
2. התבצע מיפוי מלכודות הניטור בארץ בשיטת GPS.
3. נסרקו מספר גזעי פיטריות ונמטודות אנטומופטוגניות ונמצאו גזעים הפוגעים באופן משמעותי בזחלים.
4. נבחנה השפעת קונפידור על זחלי החידקונית בקנה סוכר ובשתילי תמר. נמצא כי קונפידור פוגע בהתפתחות זחלים ובעל שאריתיות גבוהה מאד ברקמות הצמח.
5. נבחנה שאריתיות סיאלוטרין על גזעי תמר במטע בצפון ים המלח ונבחנה פעילות התכשיר קרטה מקס באותו הריכוז נגד בוגרי החידקונית במעבדה.
6. הוקלטו קולות נבירה של זחלי החידקונית. ניתוח ממוחשב של ההקלטות העלה תדרים אופייניים.

המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו

1. הורחב השימוש במלכודת המשפך בכוונה להחליף אותן במלכודות הקיימות במידה והדבר יתאפשר מבחינה כלכלית.
2. המיפוי הממוחשב של כל המלכודות והלכידות מאפשר מעקב אחר תנועת המזיק ברמה איזורית וארצית.
3. המחקר הצביע על יעילות שימוש בקונפידור בהגמאה גם כשיטת הדברה וגם כשיטת מניעה במיוחד במשתלות.
4. ניסויים עם גורמים מיקרוביאליים הצביעו על פוטנציאל שימוש בפיטריות ונמטודות אנטומופטוגניות, חשוב להמשיך ולפתח את הנושא לפיתוח יישום אפשרי של ההדברה המיקרוביאלית.
5. זוהתה התכונות לניטור אקוסטי של פעילות של החידקונית בחוטרי תמר (ואולי אף בגזע עץ בוגר) באמצעות ניתוח ספקטראלי של הקולות המלווים את פעולת הנגיסה. חשוב להמשיך לחקור את הנושא על מנת להגיע לפיתוח גלאי רגיש ויישומי.

הבעיות שנותרו לפתרון ואו השינויים שחלו במהלך עבודה (טכנולוגיים, שיווקיים, ואחרים): התייחסות המשך המחקר לגביהן.

בשלב זה רמת האוכלוסיה של המזיק בשטח נמוכה, הלכידות הנמוכות מצביעות על כך שיש בשטח עצים נגועים בחידקונית. ללא אמצעי ניטור יעילים וללא פיקוח קפדני עשוי המזיק להתפרץ בכל רגע.

האם הוחל בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח

- יום פתוח מכון וולקני בית דגן, 8 אוקטובר 2002.
- הוועדה המקצועית של הדקלאים, קיבוץ אלמוג, 17 אוקטובר 2002.
- כנס החברה האנטומולוגית 11-12 פברואר 2002.
- כנס, פרומונים, IOBC, סיציליה, ספטמבר 2002.
- מפגש באגף להגנת הצומח, אוגוסט 2003, ינואר 2004.

פרסום הדו"ח: אני ממליצה לפרסם את הדוח רק בספריות