

דו"ח מסכם לתוכנית מחקר מספר 14-0419-596

## הדברה של חיפושית הקפנודיס באמצעות נמטודות קוטלות חרקים

### Control of the *Capnodis spp.* by Entomopathogenic nematode

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

חיים ראובני, המרכז להדברה משולבת, מו"פ צפון

צבי מנדל, אנטומולוגיה, מינהל המחקר החקלאי

איתמר גלזר, נמטולוגיה-אנטומולוגיה, מינהל המחקר החקלאי

גלינה גינדין, אנטומולוגיה, מינהל המחקר החקלאי

שמעון שטיינברג, ביו-בי שדה אליהו בע"מ

ארנון אלוש, ביו-בי שדה אליהו בע"מ

Haim Reuveny, IPMC, Northern R&D. P.O.B. 831, Kiryat Shmona 11016. [ipmc@migal.org.il](mailto:ipmc@migal.org.il)

Zvi Mendel, Entomology, ARO, Bet Dagan 50250. [zmendel@volcani.agri.gov.il](mailto:zmendel@volcani.agri.gov.il)

Itamar Glazer, Nematology-Entomology, ARO, Bet Dagan 50250, [glazerit@volcani.agri.gov.il](mailto:glazerit@volcani.agri.gov.il)

Galina Gindin, Entomology, ARO, Bet Dagan 50250.

Shimon Steinberg, R&D BioBee Sde Eliyahu Ltd, Bet Shean Valley 10810, [s\\_stein@biobee.com](mailto:s_stein@biobee.com)

Arnon Allouche, R&D BioBee Sde Eliyahu Ltd, Bet Shean Valley 10810, [arnon\\_a@biobee.com](mailto:arnon_a@biobee.com)

#### תקציר

**הצגת הבעיה** – חיפושית הקפנודיס היא מזיק מפתח במטעי הגלעיניים. זחלי המזיק נזרעים בשורשים מחלישים את העץ ומוגנים מאמצעי ההדברה. הטיפול השגרתי במטע מבוסס על שימוש בזרחנים אורגניים ותכשירים רחבי טווח ומפרי איזון אחרים המיועדים לקטילת הבוגרים בחודשי האביב והקיץ. במחקר זה נבדקה יעילותו של תכשיר ביולוגי של מיני נמטודות קוטלות חרקים להדברת הזחלים לפני ואחרי החדירה לשורשים.

**מטרות המחקר** – (1) קביעת מין הנמטודה והמינון היעיל להדברת זחלי הקפנודיס, (2) קביעת העיתוי המתאים ליישום הנמטודות במטע המסחרי ויכולת הנמטודות להדברת הזחלים לאחר החדירה לשורשים, (3) קביעת השיטה היעילה ליישום הנמטודות במטע המסחרי והתרומה של חיפויי קרקע לשיפור ההדברה באמצעות הנמטודות.

**שיטות העבודה** – הניסויים נערכו במערכת של עצי משמש שנטעו בבתי רשת ואוכלסו באופן יזום עם חיפושית הקפנודיס ובמטעים מסחריים שהיו נגועים בקפנודיס. נבדקה יעילות ההדברה באמצעות שלושה מיני נמטודות במינונים של 1 ו-3 מיליון לעץ, לפני ואחרי חדירת הזחלים לשורשים. יעילות הטיפולים נקבעה לפי סימני נבירה וצפיפות הזחלים בשורשים ולפי סימני נגיעות אופייניים בנוף.

**תוצאות עיקריות** – לא נמצאו הבדלים ביעילותן של שלושת מיני הנמטודות. **טיפול במינון של 3 מיליון** נמטודות לעץ היה יעיל יותר בהשוואה למינון של 1 מיליון. **שני טיפולים בעונה, באביב וסתיו**, היו יעילים יותר בהשוואה לטיפול בודד בקיץ או לשני טיפולים במועדים אחרים: קיץ-סתיו, סתיו-סתיו. **בשתי שיטות יישום** שונות, בהצפה סביב הגזע או מתחת לטפטפת, התקבלו תוצאות הדברה דומות. **חיפוי קרקע** לא שיפר את ההדברה אך, תרם למשך זמן הישרדות הנמטודות.

**מסקנות והמלצות** – ניתן לשלב את הנמטודות בממשק ההדברה של הקפנודיס ביחד עם אמצעי עזר ידידותיים נוספים. נדרש להרחיב את ידיעותינו בשלושה תחומים עיקריים: (1) ללמוד על הגורמים המשפיעים על פעילות הנמטודות בקרקע, (2) לפתח מערכת לזיהוי המין ומקור הנמטודה, (3) ללמוד את האפשרויות ליישום הנמטודות במערכת ההשקיה המסחרית.

הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים ולא מהווים המלצות לחקלאי.

חתימת החוקר \_\_\_\_\_ תאריך \_\_\_\_\_

### תוכן העניינים

א. מבוא	3
ב. מטרת המחקר	3
ג. פרוט עיקרי הניסויים	4
ד. תוצאות	6
ה. סיכום דיון	8
סיכום עם שאלות מנחות	14

### א. מבוא

קפנודיס האבל (*Capnodis tenebrionus*) וקפנודיס השקדים (*C. carbonaria*) הם מזיקים קשים במטעים גלעיניים בעלי חשיבות כלכלית גדולה. הראשון נפוץ יותר בצפון הארץ והשני בדרומה. למעט הבוגרים כל יתר דרגות המזיק חבויות בקרקע. הבוגרים ניזונים בעיקר מהצימוח הצעיר על העץ או מהסורים המתפתחים סמוך לגזעים. הזחלים ניזונים מרקמת הסות של השורש וגורמים בכך להתנוונות העצים. כיום אין אמצעים יעילים להדברת הזחלים בקרקע או בשורשים וממשק ההדברה השגרתי מכוון לקטילת הבוגרים עם זרחנים אורגנים ותכשירים רחבי טווח אחרים החל ממועד הופעת הבוגרים בחודשי האביב ועד סוף הקיץ. במחקר הנוכחי נבדקה יעילותן של נמטודות קוטלות חרקים מהסוגים *Steinernema* ו-*Heterorhabditis* להדברת זחלי הקפנודיס לפני ואחרי החדירה לשורשי העץ. הנמטודות חודרות באופן אקטיבי לגוף החרק וקוטלות אותו ע"י אילוח ההמוצל בחיידקים סימביונטיים שהן נושאות (*Xerorhabdus spp.* ו-*Photorhabdus spp.*, בהתאמה). החיידקים מתרבים בגוף החרק ומפרישים חומרים רעילים הגורמים להרס הרקמות ותאי המעי. הנמטודות ניזונות מהרקמות המפורקות, מתרבות בגוף הזחל ונפוצות ממנו לסביבתו החיצונית.

### ב. מטרת המחקר

מטרת המחקר העיקרית היתה לבחון את יעילות ההדברה של הקפנודיס באמצעות נמטודות קוטלות חרקים. כאמצעי להפחתת השימוש בתכשירים שאינם ידידותיים ופיתוח ממשק של הדברה משולבת בגלעיניים. מטרת הביניים להשגת המטרה העיקרית היו:

1. קביעת מין הנמטודה והמינון היעיל להדברת זחלי הקפנודיס.
2. קביעת העיתוי המתאים ליישום הנמטודות במטע המסחרי ויכולת הנמטודות להדברת הזחלים לאחר החדירה לשורשים.
3. קביעת השיטה היעילה ליישום הנמטודות במטע המסחרי והתרומה של חיפויי קרקע לשיפור ההדברה באמצעות הנמטודות.

## ג. פירוט עיקרי הניסויים

### ג.1. פונדקאים גלעיניים במחקר

הניסויים נערכו על מערכת של עצי משמש שנטעו בבתי רשת ואוכלסו באופן יזום עם חיפושית הקפנודיס (ראה סעיף ג.3.) ובחלקות של עצי שזיף ונקטרינה הנגועים בקפנודיס במטעים מסחריים של חוות המטעים בעמק החולה וחוות מתתיהו במרום הגליל. עצי השזיף במטע (בשטח של 10 דונם) היו מזנים שונים הנטועים על כנות מריאן ומריאנה. עצי הנקטרינה (בשטח של 3 דונם) היו מהזן קווין ג'אינט על כנה 677. לא ניתנו במטעים אלו ריסוסים בקוטלי חרקים במשך כל תקופת המחקר. יעילות הטיפול נבדקה בעונה העוקבת. לצורך זה נעקרו עצי המשמש ונרשמו סימני נבירה וצפיפות זחלי הקפנודיס בשורשים של כל עץ. בעצים במטע המסחרי נבדקה הנגיעות לפי הימצאות הפרשת גומי בבסיס הגזע או/ו התנוונות ענפי שלד (להלן "סימני נגיעות אופייניים"). מניסיונו עצים עם סימנים אופייניים מצביעים על פעילות של זחלים בשורשים. עצים מתים נעקרו לבדיקת סימני נבירה וצפיפות זחלי הקפנודיס בשורשים. בדיקה זאת מאשרת שסיבת התמותה העיקרית נגרמה על ידי הקפנודיס.

### ג.2. נמטודות במחקר

הנמטודות למחקר התקבלו מחברת "ביו-בי שדה אליהו" והן מיוצרות על ידי חברת "Koppert" בהולנד. נבדקו שלושה מינים של נמטודות קוטלות חרקים: *Steinernema feltiae*, *S. carpocapsae* ו-*Heterorhantis bacteriophora*, שהתקבלו באריזות מסחריות המכילות פרטים בדרגת ההפצה (infective juveniles). לקראת היישום הועבר תוכן האריזה למיכל עם עשרה ליטר מים תוך ערבוב וזאת, כדי לאקלם את הנמטודות במדיום המתאים לפני היישום בשדה וכדי לאמוד כמותית את מספר הפרטים החיוניים בתמיסה. לצורך הספירה נלקחו מהמיכל שלוש דגימות נפרדות בנפח של 1 מ"ל. הדגימה הועברה לצלחת פטרי בקוטר 50 מ"מ ונספרו מספר הנמטודות החיוניות בעזרת בינוקולר. נמטודות חסרות תנועה נחשבו כלא חיוניות. בהתאם לתוצאות הספירה הועבר המינן הדרוש לכל טיפול לגביע פלסטיק בנפח של 1 ליטר. מספר הגביעים תאם את מספר העצים בניסוי בהתאם למינון שנקבע. הנמטודות בגביעים הועברו בקירור לאתר הניסוי ויושמו בשתי שיטות עיקריות: (1) **בשיטת ההצפה** – בה הועבר תוכן הגביע עם הנמטודות למיכל עם מים בנפח של כ-20 ליטר בעזרתו הוצפה הקרקע סביב הגזע של עץ הניסוי. (2) **מתחת לטפטפת** – מחצית מתוכן הגביע הוספגה ישירות על הקרקע מתחת לכל אחת משתי הטפטפות הקרובות לגזע. בשני המקרים ייושמו הנמטודות על רקע ההשקיה המסחרית במטע וזאת כדי להשיג הרטבה מיטבית של הקרקע היכולה לשפר את הפיזור והחדירה של הנמטודות לשורשי העץ. מערכת ההשקיה המסחרית פעלה שעה לפני ושעה אחרי יישום הנמטודות.

כדי לעקוב אחר כושר ההישרדות של הנמטודות בקרקע נאספו דגימות קרקע ונשלחו לבדיקה במעבדה לנמטולוגיה במינהל המחקר החקלאי. מכל טיפול נאספו שלוש דגימות קרקע לגביעי פלסטיק בנפח של 1 ליטר מעומק של כ-20 ס"מ מתחת לשתי הטפטפות הקרובות לגזע (נקודות היישום). דגימת אפס נאספה לפני יישום הנמטודות ויתר הדגימות במרווחים של כשבועיים לאחר היישום. בכל דגימה הוטמנה "מלכודת נמטודות" המורכבת מצלחת פטרי בקוטר 5 ס"מ עם חור מרושת (30 מש) בקוטר 3.5 ס"מ במכסה. בכל צלחת הונחו חמישה זחלים של עש הדונג *Galleria mellonella* הרגיש מאוד לנמטודות. הצלחות הוחזקו בטמפרטורה של 25°C למשך שבוע. מספר זחלי עש הדונג שנמצאו מתים היו המדד לפעילות הנמטודות.

### ג.3. תיאור המערכת לגידול המוני של חיפושית הקפנודיס והשיטות לאכלוס יזום של העצים

בוגרים של חיפושית הקפנודיס נאספו בכל שנה בתחילת הקיץ (החל ממחצית חודש יוני) ממטעים מסחריים מאוכלסים במזיק בעמק החולה. הבוגרים מוינו לזוויגים והועברו לכלובי הטלה מאווררים מחוץ למעבדה, ביחס של חמישה זכרים לחמש-עשר נקבות בכל כלוב. הכלובים ניבנו על בסיס של מכלי פלסטיק בנפח של 25 ליטר שהוגבהו עם רשת חלונות ממתכת לגובה של 50 ס"מ מעל שפת המיכל. תחתית המיכל הוסרה והוחלפה ברשת מתכת דרכה יכלו הנקבות להטיל ביצים על גיליון נייר שהונח מחוץ לכלוב. בתוך הכלוב ניזונו הבוגרים מענפים חד-שנתיים שנלקחו מעצי פרי גלעיניים נקיים מתכשירי הדברה. הבוגרים מכרסמים בענף ובבסיס הפטוטרות וגורמים לנשירת העלים. כדי למנוע מהנשר לחסום את תחתית הכלוב וכדי לאפשר לנקבות גישה לנייר ההטלה הוסרו העלים מהענפים והם חודשו פעמיים בשבוע.

כדי שתפתח בעצי המשמש נגיעות של קפנודיס הועברו כלובים עם נקבות פוריות וללא זכרים אל בתי הרשת. חלקו העליון של הכלוב נשאר פתוח כדי לאפשר לנקבות לצאת באופן חופשי. הזכרים הוצאו מהכלוב כדי להגביל את הפגיעה בנוף כתוצאה מהזנה של הבוגרים בצימוח הצעיר. ביום העוקב לא נמצאו נקבות בכלובים ובחלק מהעצים זהו סימני כרסום בענפים הצעירים, דבר המעיד על חיוניותן. בנוסף, לאחר מספר ימים נאספו כמחצית מהנקבות והוחזרו לכלובים כתוצאה מפגיעה בנוף העץ שהתבטאה בנשירה מוגברת של עלווה. בתנאים אלו ניתן לקבוע שלחץ האוכלוסייה בבית הרשת היה גדול דיו וצפויה לפיכך חדירה של זחלי קפנודיס לשורשי העצים.

### ג.4. תיאור הניסויים לקביעת מין הנמטודה והמינון היעיל להדברת זחלי הקפנודיס

נערכו שני ניסויים שבהם נבדקה יעילותן של שלושה מיני הנמטודות *S. carpocapsae*, *S. feltiae* ו- *H. bacteriophora*. הניסויים התבצעו במערכת של עצי משמש בני שנתיים שניטעו בבית רשת שאוכלס עם נקבות פוריות של חיפושית הקפנודיס (ראה סעיף ג.3.). הנמטודות יושמו בשיטת ההצפה (ראה סעיף ג.2.) במינונים של 1 לעומת 3 מיליון נמטודות לעץ, בשני מועדים. המועד הראשון לפני פיזור נקבות הקפנודיס בבית הרשת (טיפול מניעה) והמועד השני לאחר חודשיים (טיפול מניעה ותגובה). המינון הסופי לכל עץ היה 2 או 6 מיליון נמטודות לעץ. לביקורת שימשו עצים ללא טיפול בנמטודות. בכל טיפול היו 7-18 עצים (כל עץ הוא חזרה). כדי לבדוק את יעילות הטיפול נעקרו העצים, בעונה העוקבת, ונבדקו סימני הנבירה וצפיפות זחלי הקפנודיס בשורשים.

### ג.5. תיאור הניסויים לקביעת העיתוי המתאים ליישום הנמטודות ויכולתן להדביר את הזחלים לאחר החדירה לשורשים.

בניסויים אלו נבדקה יעילותן של שלושת מיני הנמטודות (ראה לעיל) כטיפול תגובה בעצים נגועים במינון של 3 מיליון לעץ. הניסויים נערכו במטעי שזיף ונקטרינה מסחריים (רה סעיף ג.1.). לפני הניסוי נעשתה הערכת נגיעות וסומנו כל העצים שבהם נמצאו סימני נגיעות אופייניים (ראה סעיף ג.1.). העצים חולקו לטיפולים השונים באקראיות גמורה והנמטודות יושמו בשני מועדים (סך 6 מיליון נמטודות לעץ לטיפול) או במועד בודד (סך 3 מיליון נמטודות לעץ לטיפול). נערכו ניסויים נפרדים שבהם נבדקה יעילות הנמטודות פעמיים בעונה - באביב ובסתיו (מאי וספטמבר), בקיץ ובסתיו (יולי וספטמבר), בחודשי הסתיו (ספטמבר ונובמבר) וכן, ביישום בודד בקיץ בלבד (יוני). הטיפולים ומספר העצים בכל טיפול מפורטים בטבלה 1 (סעיף ד.2. בפרק התוצאות). הנמטודות יושמו מתחת לטפטפת (ראה סעיף ג.2.) ויעילות הטיפולים נקבעה בעונה העוקבת לפי סימני הנזק האופייניים. בנוסף, עצי הנקטרינה שנמצאו נגועים נעקרו ונבדקו סימני הנבירה וצפיפות זחלי הקפנודיס בשורשים.

## ג.6. תיאור הניסויים לקביעת התרומה של חיפויי קרקע לשיפור ההדברה והישרדות הנמטודות.

הניסויים נערכו בעצי שזיף נגועים בדומה למפורט לעיל (סעיף ג.2). בטיפולים עם חיפוי הקרקע כוסתה הקרקע עם יריעת פוליאאתילן 100 מיקרון (תוצרת "גניגר מפעלי פלסטיקה בע"מ"), בקוטר של מטר וחצי מסביב לגזע. בניסוי הראשון נבדקו שלושת מיני הנמטודות והן יושמו בשני מועדים. הראשון בחודש מאי והשני בחודש ספטמבר (10-16 עצים לטיפול). בכל מועד היה המינון 3 מיליון נמטודות לעץ (סך 6 מיליון נמטודות לעץ לטיפול). לקראת היישום בטיפולים עם חיפוי הקרקע היריעה הוסרה באזור הטפטפות הקרובות לגזע והותקנה מחדש מיד לאחר יישום הנמטודות. מניסוי זה נלקחו דגימות קרקע כדי לעקוב אחר כושר ההישרדות של הנמטודות, כמפורט בסעיף ג.2. בניסוי השני נבדק יעילות הטיפול עם המין *S. carpocapsae* ביישום בודד בחודש יוני במינון של 3 מיליון נמטודות לעץ (13-17 עצים לטיפול).

## ד. תוצאות

### ד.1. קביעת מין הנמטודה והמינון היעיל להדברת זחלי הקפנודיס.

תוצאות הנגיעות מקפנודיס לאחר טיפול עם נמטודות קוטלות חרקים, לפי סימני הנבירה של הזחלים בשורשים של עצי המשמש (להלן "עצים נגועים"), מתוארות באיור 1. הנזק הנמוך ביותר (פחות מ- 13% עצים נגועים) התקבל בטיפול עם המין *S. feltiae* במינון של 3 מיליון נמטודות לעץ בשני ניסויים נפרדים (איור 1 A,B). בניסוי הראשון היו כל הטיפולים עם נמטודות יעילים בהשוואה לביקורת ללא נמטודות, שבה נמצאו 66.7% עצים נגועים (איור 1A). בניסוי השני נצפה נזק נמוך יחסית גם בטיפול עם המין *S. carpocapsae* במינון של 3 מיליון נמטודות לעץ (פחות מ- 14% עצים נגועים). בכל יתר הטיפולים עם נמטודות היו מעל 30% עצים נגועים וביקורת היו 25% עצים נגועים (איור 1B). ברוב המקרים מינון של 3 מיליון נמטודות היה יעיל יותר בהשוואה למינון של 1 מיליון עבור אותו מין הנמטודה (איור 1 A,B). בניסוי הראשון (A) לא נמצאו זחלים של קפנודיס בשורשים של העצים הנגועים. בניסוי השני (B) נמצאו 1-5 זחלים חיים בשורשים של העצים הנגועים בכל הטיפולים. עובדה זאת חשובה שכן, הדבר מעיד שסימני הנבירה שנמצאו בשורשים נגרמו על ידי זחלי הקפנודיס וניתן לזהות ולאפיין אותם גם כאשר לא מוצאים את הזחל בשורש. בנוסף, זה שלא נמצאו זחלים בטיפולים שבהם נמצאה הנגיעות הנמוכה ביותר מרמז על יעילותן של הנמטודות בקטילת הזחלים לאחר שחדרו לשורשים.

### ד.2. קביעת העיתוי המתאים ליישום הנמטודות במטע המסחרי ויכולת הנמטודות להדברת הזחלים לאחר שחדרו לשורשים.

תוצאות הניסויים לקביעת יעילות הנמטודות כגורם קטילה לאחר שחדרו זחלי הקפנודיס לשורשים (טיפול תגובה) מתוארות בטבלה 1. בשלושה ניסויים מתוך ארבעה שנערכו במטע שזיף מסחרי התקבלה בכל הטיפולים הפחתה משמעותית במספר העצים עם סימני נזק אופייניים (טבלה 1 ניסויים 1-3). בניסויים אלו בוצעו שני יישומים של נמטודות (סך 6 מיליון נמטודות לעץ) בתקופות שונות בעונה. הטיפולים היעילים ביותר היו עם המינים *S. carpocapsae* ו-*H. bacteriophora*. כאשר היה היישום בחודשי האביב והסתיו (מאי וספטמבר) לא נמצאו בטיפולים עם שני מיני נמטודות אלו עצים נגועים (0%) לעומת 16.7% בביקורת (טבלה 1, ניסוי 1). כאשר היה היישום בקיץ ובסתיו (יולי וספטמבר) נמצאו בעונה העוקבת 10.5% עצים נגועים בטיפולים עם שני מינים אלו לעומת 18.8% בביקורת (טבלה 1, ניסוי 2). בניסוי 2 נמצאה גם נגיעות נמוכה (10%) בטיפול עם המין *S. feltiae*. ייתכן שהתוצאה הטובה יותר שהתקבלה עם אותם המינים

בניסוי 1 בהשוואה לניסוי 2 קשורה למועדי יישום הנמטודות, באביב ובסתיו לעומת הקיץ והסתיו. טענה זאת מקבלת חיזוק בתוצאה שהתקבלה בניסוי 3 שבו בוצעו שני היישומים בסתיו (ספטמבר, נובמבר) עם המין *S. carpocapsae* והתקבלה נגיעות בשיעור של 21.4% לעומת 35.7% בביקורת (טבלה 1, ניסוי 3). וכן, בטיפולים בניסויים 4-5 שבהם התבצע יישום בודד בסוף האביב (יוני) ורמת הנגיעות בכל הטיפולים היתה גבוהה (טבלה 1, ניסויים 4-5). לסיכום, טיפולים עם נמטודות במינון של 3 מיליון לעץ היו יעילים יותר כאשר ניתנו שני יישומים באביב ובסתיו לעומת מועדים אחרים ולעומת יישום בודד.

נציין שני נושאים חשובים המתבטאים בתוצאות ניסויים אלו: 1) בעצי הביקורות של כל הניסויים נמצאה בעונה העוקבת הפחתה ברמת הנגיעות. הדבר מעיד, בין היתר, על: א) מעורבות גורמי תמותה נוספים המשפיעים על התפתחות הקפנודיס, ב) כושרם של העצים להתגבר על הנזק שנגרם לשורשים. 2) בניסוי במטע הנקטרינה נעקרו העצים הנגועים ונמצאו סימני נבירה ברורים וזחלים חיים בשורשים (טבלה 1, ניסוי 5). הדבר מעיד שסימני הנגיעות האופייניים בנוף העץ (הפרשת גומי בבסיס הגזע והתנוונות ענפי שלד) נגרמו כתוצאה מפגיעה של זחלי הקפנודיס בשורשים (ראה התייחסות נוספת לנושאים אלו בפרק הסיכום).

### 3.4. קביעת התרומה של חיפוי קרקע לשיפור ההדברה והישרדות הנמטודות.

חיפוי קרקע עם יריעה שכסתה שטח בקוטר של מטר וחצי מסביב לגזע העץ לא שיפר את יעילות ההדברה באמצעות נמטודות (איור 2). בניסוי הראשון נמצאו בעונה העוקבת פחות עצים נגועים בטיפולים ללא חיפוי קרקע לעומת הטיפולים עם חיפוי הקרקע (איור 2A). הטיפולים היעיל ביותר היה עם המין *S. carpocapsae* שבו לא נמצאו כלל עצים נגועים בעונה העוקבת. בטיפול עם המין *S. feltiae* נמצאו 10% עצים נגועים לעומת 16.7% בביקורת ובטיפול עם *H. bacteriophora* נמצאו 6.3% עצים מתים (איור 2A). בטיפולים עם חיפוי קרקע נמצאה הנגיעות הנמוכה ביותר בטיפול עם המין *S. feltiae* (8.3%) לעומת 16-25% עצים נגועים בכל יתר הטיפולים (איור 2A). בניסוי השני לא התקבלה הדברה יעילה ונמצאו בעונה העוקבת מעל 28% עצים נגועים, עם ובלי חיפוי קרקע (איור 2B). ייתכן שהדבר נובע מכך שבניסוי זה בוצע יישום בודד עם נמטודות בחודש יוני בלבד לעומת שני יישומים שנתנו בניסוי הראשון (A) בחודשים מאי וספטמבר. נציין, שגם בניסויים שתוארו לעיל (סעיף 7.2), התקבלה הדברה לא יעילה כאשר יושומו הנמטודות פעם אחת בלבד בעונה (טבלה 1, ניסויים 4-5) וכאשר היישומים היו בחודשים מאי וספטמבר התקבלה הדברה טובה יותר (טבלה 1, ניסוי 1). בשני הניסויים (איור 2A,B) נמצאו בעצים המתים סימני נבירה של זחלים בשורשים ובחלקם גם זחלים חיים וגלמים. הדבר מעיד שסיבת התמותה העיקרית היא תוצאה של הנגיעות בקפנודיס.

כאשר בדקנו, בניסוי 2A, את התרומה של חיפוי הקרקע על כושר ההישרדות של הנמטודות לא נמצאו ממצאים היכולים לקשור בין יעילות הטיפול עם נמטודות לבין התרומה של חיפוי הקרקע. כך למשל, בדגימות קרקע שהוצאו לאחר 42 ימים מהיישום נמצאו נמטודות של המינים *S. feltiae* ו-*H. bacteriophora*, רק בטיפול עם חיפוי הקרקע (איור 3). מספר העצים הנגועים בטיפול עם המין *S. feltiae* עם ובלי חיפוי קרקע היה דומה (8.3% ו 10%, בהתאמה) ומספר העצים הנגועים בטיפול עם המין *H. bacteriophora* היה גבוה יותר בעצים עם חיפוי קרקע (16.7%) בהשוואה לעצים ללא חיפוי קרקע (0%) (איור 2A). כמו כן, בדגימות קרקע שהוצאו לאחר 70 ימים מהיישום, נמצאו נמטודות של המינים *S. carpocapsae* ו-*H. bacteriophora*, רק בטיפול עם חיפוי הקרקע (איור 3). עם זאת, בטיפולים עם מינים אלו נמצאו יותר עצים נגועים עם חיפוי קרקע (25% ו 16.7%, בהתאמה) בהשוואה לעצים ללא חיפוי

קרקע (0%) (איור 2A). באופן כללי, לא התקבל דפוס אחיד ועקבי לנוכחות הנמטודות בקרקע והשוונות בדגימות היתה גדולה. לפי נתונים אלו לא ניתן לקבוע מסקנה ברורה, הן בהתייחס לנוכחותן וכושרן של הנמטודות לשרוד בקרקע והן בהתייחס לתרומה של חיפוי הקרקע לגורמים אלו. יש להדגיש, שגם בדגימות קרקע שהוצאו בסמוך לעצי הביקורת נמצאו נמטודות וזה מלמד כנראה על נוכחות טבעית של נמטודות בקרקע. לעומת זאת, לא נמצאו נמטודות בדגימת אפס לפני יישום הנמטודות. המסקנה המתבקשת מתוצאות אלו שנדרש לפתח שיטת יעילה יותר לדגימת הנמטודות בקרקע שבעזרתה ניתן יהיה לקבל מידע מדויק יותר על צפיפות מיני הנמטודות בקרקע וזיהוי המינים הרלוונטיים (ראה התייחסות לכך בפרק הסיכום).

## **ה. סיכום ודיון**

במחקר זה בדקנו את יעילות ההדברה של זחלי הקפנודיס באמצעות נמטודות קוטלות חרקים לפני ואחרי חדירתם לשורשים. תוצאות הניסויים מלמדות על המגמות הבאות: 1) לא נמצאו הבדלים ברורים ביעילותם של שלושת המינים שנבחנו, 2) טיפול במינון של 3 מיליון נמטודות לעץ היה יעיל יותר מטיפול במינון של 1 מיליון, 3) שני טיפולים בעונה, באביב ובסתיו, היו יעילים יותר בהשוואה לשני טיפולים במועדים אחרים או לטיפול בודד בקיץ, 4) בשתי שיטות היישום, בהצפה סביב הגזע ומתחת לטפטפת, הגיעו הנמטודות לאזור בית השורשים בהם נמצאו זחלי הקפנודיס, 5) חיפוי הקרקע לא שיפר את יעילות ההדברה אך, האריך את משך זמן הישרדות הנמטודות, 6) דגימות קרקע לקביעת משך זמן הישרדות הנמטודות ביטאו שונות גדולה ונדרש ללמוד את הגורמים בקרקע המשפיעים על פעילותן.

התוצאות מצביעות על מגמות בלבד, חסרה בהן אחידות ועקביות הנדרשת כדי לקבוע מסקנות ברורות. ייתכן שאחת הסיבות העיקריות לכך היא מעורבות של גורמים נוספים בקרקע המשפיעים על יעילות הנמטודות. התוצאות מצביעות על יכולתן של הנמטודות לקטול את זחלי הקפנודיס ואף נוכחנו ביעילותן לתקוף את הזחלים גם לאחר שחדרו לשורשים. על רקע זה נדרש לחקור את הגורמים המשפיעים על יעילות הנמטודות בקרקע, כגון: המבנה ומרקם הקרקע, רמת הרטיבות, איכות המים, מליחות ועוד. נדרש גם לפתח מערכת אמינה לקביעת רמת ההישרדות של הנמטודות בקרקע על ציר הזמן. יש חשיבות לכמת את צפיפות הנמטודות בקרקע מסוים והאם הנמטודות שנמצאו בדגימה מקורן במין מסחרי או במינים מקומיים. מידע מדויק של צפיפות הנמטודות ליחידת קרקע יאפשר, בין היתר, לפתח סף לתגבור ההדברה במידה והצפיפות אינה מספקת להדברה.

הנמטודות יושמו בשתי שיטות שונות וללא השוואה ביניהן באותו ניסוי. הבחירה בשיטות אלו נועדה לחקות שני גישות ברות יישום במטע מסחרי. היישום בשיטת ההצפה נועד להבטיח חדירה מיטבית של הנמטודות לאזור בית השורשים. שיטה זאת מתאימה ליישום מסחרי כאשר מטפלים במוקדי נגיעות בעצים בודדים. היישום מתחת לטפטפות מתאים ליישום מסחרי בשטח גדול כאשר הנגיעות היא בעצים רבים בחלקה. זאת בהנחה שהוא יבוצע דרך מערכת ההשקיה בדומה ליישום דשן נוזלי. במחקר זה יושמו הנמטודות מתחת לטפטפת ולא דרכה וזאת, כדי להבטיח חדירה מיטבית של הנמטודות לאזור בית השורשים. לקראת יישום מסחרי של הנמטודות במערכת ההשקיה נדרש יהיה לקבוע האם אין חסימה במעבר הנמטודות דרך מערכות הסינון והטפטפת. נציין, שבתצפיות שבהן בחנו את מעבר הנמטודות דרך מערכת ההשקיה והדישון המסחרית התקבלו במוצא הטפטפת נמטודות חיוניות. עם זאת, נושא זה מחייב מחקר נוסף כאשר לוקחים בחשבון, בין היתר, שקיימים במטע המסחרי סוגי מסננים וטפטפות שונות, הבדלים באיכות המים (מים מושבים ושפירים) ובלחץ המים במערכת. נציין, שבשיטות שנקטנו במחקר זה התקבלו תוצאות המצביעות על כך שהנמטודות הגיעו ליעדן לפי ההבדלים ברמת הנגיעות לאחר הטיפול.

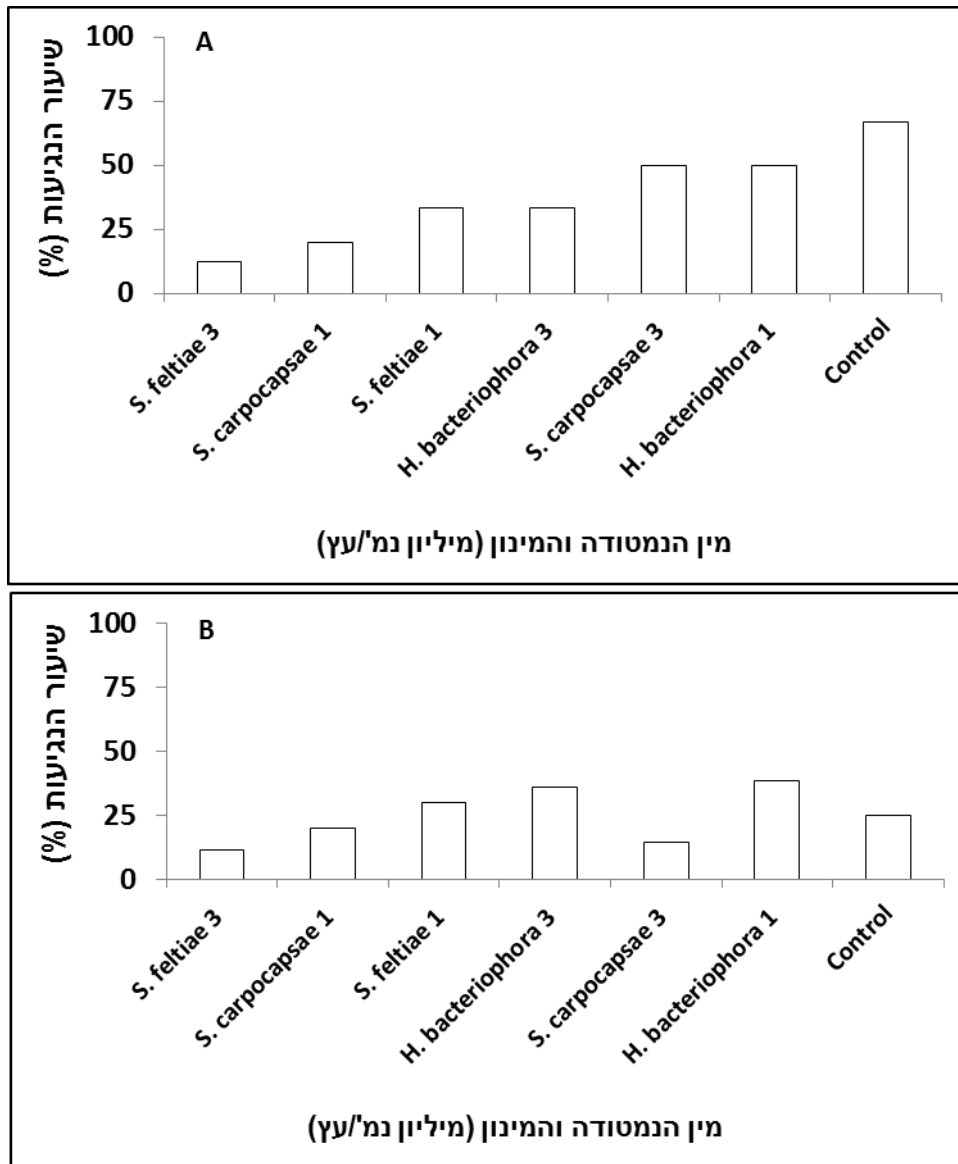
לדעתנו, במקרים שבהם לא התקבלה הדברה יעילה, לא נבע הדבר משיטת היישום אלא בשל גורמים אחרים המשפיעים על יעילותן בקרקע, כמפורט לעיל.

הראינו שניתן לאפיין את הנגיעות בקפנודיס במטע המסחרי, הן על ידי סימנים אופייניים בנוף (הפרשת גומי בבסיס הגזע והתנוונות ענפי שלד) והן לפי סימני נבירה בשורשים. שכן, בחלק מהמקרים שבהם נרשמו סימנים אלו נמצאו גם זחלים בשורשים. ניתן לקבוע שסימני הנגיעות האופייניים בנוף ובשורשים הם תוצאה של פעילות זחלי הקפנודיס. לממצא זה חשיבות רבה בכל הקשור לביצוע בדיקות לקביעת יעילותם של אמצעי הדברה אחרים במטע לפי סימנים אלו.

לסיכום, תוצאות המחקר תומכות בגישה שניתן לשלב בהצלחה נמטודות בממשק ההדברה של הקפנודיס ולבסס ממשק ידידותי. בכדי לשפר את תוצאות ההדברה נדרש, בין היתר, להמשיך וללמוד את הנושאים הבאים: (1) קביעת הגורמים המשפיעים על פעילות הנמטודות בקרקע, (2) פיתוח מערכת דגימה אמינה לקביעת מיני הנמטודות בקרקע ומקורן, (3) פיתוח כלים לקביעת צפיפות הנמטודות בקרקע, (4) לשכלל את שיטות היישום, (5) התרומה של שילוב אמצעי הדברה נוספים, כגון: חיפוי קרקע, כנות עמידות ושיפור חיוניות העצים למניעת נזקי קפנודיס. נציין, שיעילותם של גורמים אלו, מוכרת לנו ממחקרים בארץ בעבר וחלקם הומחשו גם במחקר הנוכחי. השימוש בחיפוי קרקע כמחסום פיסי לחדירה של זחלים לשורשים הוכח, במחקר קודם, כאמצעי יעיל להפחתת הנזק. במטע השזיף שבו נעשה המחקר הנוכחי היו עצים שלא נתקפו כלל על ידי הקפנודיס וכולם היו על כנת 677. כמו כן, במספר ניסויים שבהם ניסינו, במחקר הנוכחי, לאכלס באופן יזום את העצים בקפנודיס, כשלנו. לדעתנו הסיבה העיקרית לכך היתה רטיבות גבוהה בקרקע ושיפור בחיוניות העצים.

אנו גורסים שממשק ההדברה של הקפנודיס צריך להתבצע באופן אזורי בשטחי גידול רציפים ולכלול שילוב אמצעים (כמפורט לעיל) יחד עם נמטודות קוטלות חרקים. הדבר יתרום להפחתה ברמת האוכלוסייה והנזק מקפנודיס ויסלול את הדרך לפיתוח ממשק ידידותי גם ליתר המזיקים במטעי הגלעיניים תוך הפחתה משמעותית בשימוש בתכשירי הדברה.





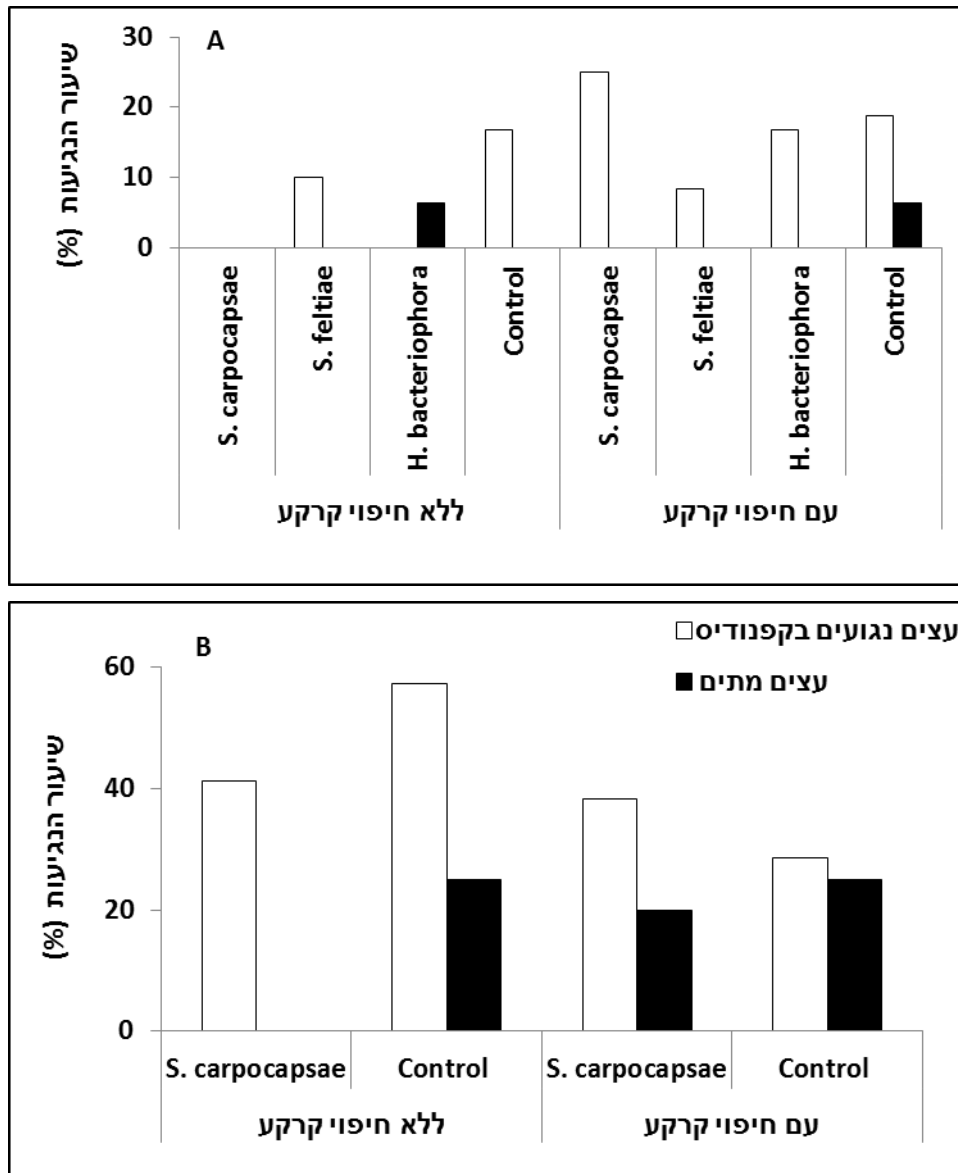
איור 1: שיעור הנגיעות (%) בקפנודיס לאחר טיפול עם נמטודות קוטלות חרקים במינונים שונים בשני ניסויים נפרדים (A, B), בעצי המשמש בבתי רשת שאוכלסו באופן יזום עם נקבות פוריות.

(הנתונים הם אחוז העצים שבהם נמצאו סימני נבירה של זחלי קפנודיס בשורשים. העצים בבתי רשת אוכלסו ביחס של כעשר נקבות לעץ ונעקרו בעונה העוקבת לבדיקת סימני נבירה של זחלי קפנודיס בשורשים. הנמטודות בניסוי הראשון (A) יושמו בחודשים יולי וספטמבר ובניסוי השני (B) בחודשים אוגוסט וספטמבר. בהתאם לזאת, המנה הסופית היתה 2 או 6 מיליון נמטודות לעץ).

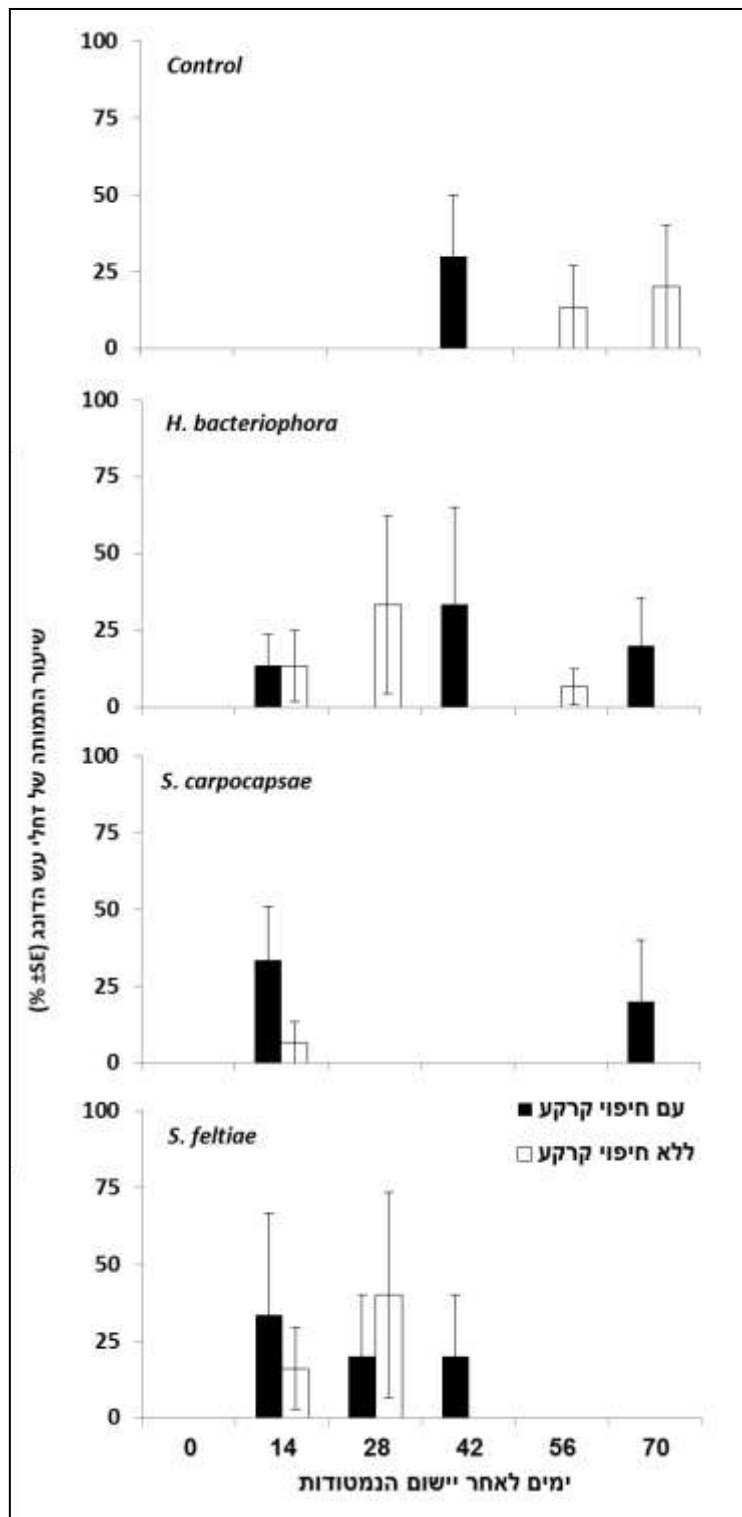
**טבלה 1. שיעור הנגיעות (%) לאחר טיפול עם נמטודות קוטלות חרקים, בעצים במטע מסחרי שביטאו סימני נגיעות אופייניים לפני הטיפול.**

(בעצים שטופלו בשני מועדים היה מינון הנמטודות הסופי 6 מיליון לעץ (3 מיליון בכל מועד יישום) ובעצים שטופלו במועד אחד היה המינון הסופי 3 מיליון נמטודות לעץ. בכל העצים נבדקה הנגיעות בעונה העוקבת לפי סימנים אופייניים בנוף העץ (הפרשת גומי בבסיס הגזע והתנוונות ענפי שלד), המעידים על נוכחות זחלי קפנודיס בשורשים. בנוסף, עצי הנקטרינה הנגועים נעקרו ונבדקו סימני הנבירה של זחלי הקפנודיס בשורשים).

שיעור הנגיעות לאחר הטיפול		מספר עצים בטיפול	מועדי היישום	מין הנמטודה והמינון (מיליון נמ/עץ)	מועדי יישום	הגידול	ניסוי מס'
עצים עם סימני נבירה של זחלים בשורשים (%)	עצים עם סימני נגיעות אופייניים (%)						
	0.0	11	מאי, ספטמבר	<i>S. carpocapsae</i> (3)		שזיף	1
	10.0	10	מאי, ספטמבר	<i>S. feltiae</i> (3)			
	0.0	16	מאי, ספטמבר	<i>H. bacteriophora</i> (3)			
	16.7	12	-	Control			
	10.5	19	יולי, ספטמבר	<i>S. carpocapsae</i> (3)		שזיף	2
	26.3	19	יולי, ספטמבר	<i>S. feltiae</i> (3)			
	10.5	19	יולי, ספטמבר	<i>H. bacteriophora</i> (3)			
	18.8	32	-	Control			
	21.4	14	ספטמבר, נובמבר	<i>S. carpocapsae</i> (3)		שזיף	3
	35.7	14	-	Control			
	58.8	17	יוני	<i>S. carpocapsae</i> (3)		שזיף	4
	78.6	14	-	Control			
48.2	76.9	22	יוני	<i>S. carpocapsae</i> (3)		נקטרינה	5
41.7	91.6	12	יוני	<i>S. feltiae</i> (3)			
9.1	63.6	11	יוני	<i>H. bacteriophora</i> (3)			
6.7	66.7	24	-	Control			



**איור 2:** שיעור העצים הנגועים (%) והעצים המתים (%) לאחר טיפול עם נמטודות קוטלות חרקים עם ובלי חיפוי קרקע, בשני ניסויים נפרדים (A, B), בעצי שזיף במטע מסחרי שהיו נגועים בקפנודיס לפני הטיפול. (הנגיעות של זחלי קפנודיס בשורשים התבטאה לפי סימנים אופייניים בנוף העץ - הפרשת גומי בבסיס הגזע והתנוונות ענפי שלד. עצים מתים נעקרו ונבדקו סימני נבירה וצפיפות זחלי קפנודיס בשורשים. הנמטודות בניסוי הראשון (A) יושמו במינון של 3 מיליון נמי/עץ בחודשים מאי וספטמבר ובניסוי השני (B) בחודש יוני בלבד. המנה הסופית לכל עץ היתה 6 או 3 מיליון נמטודות, בהתאמה).



איור 3. שיעור התמותה ( $\pm$ SE) של זחלי עש הדונג *G. mellonella* (N=5) שנפגעו על ידי נמטודות שהיו בדגימות הקרקע (N=3) שנאספו מהטיפולים השונים עם וללא חיפוי קרקע. (הדגימות הוצאו בניסוי 2A לעיל, מעומק של 20 ס"מ משתי נקודות היישום מתחת לטפטפות הקרובות לגזע העץ).

## סיכום עם שאלות מנחות

נא להתייחס לכל השאלות בקצרה ולעניין, ב-3 עד 4 שורות לכל שאלה (לא תובא בחשבון חריגה מגבולות המסגרת המודפסת).

שיתוף הפעולה שלך יסייע לתהליך ההערכה של תוצאות המחקר.

**הערה:** נא לציין הפנייה לדו"ח אם נכללו בו נקודות נוספות לאלה שבסיכום.

<b>מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.</b>
המטרה העיקרית היתה לבחון את יעילות ההדברה של זחלי הקפנודיס באמצעות נמטודות קוטלות חרקים, על ידי: (1) קביעת מין הנמטודה והמינון היעיל, (2) העיתוי המתאים ליישום ויכולתן לקטול את הקפנודיס לאחר החדירה לשורשים, (3) שיטת היישום והתרומה של חיפוי הקרקע לשיפור ההדברה.
<b>עיקרי התוצאות.</b>
לא נמצאו הבדלים ביעילותם של המינים השונים. מינון של 3 מיליון לעץ בשני מועדים בעונה (אביב וסתיו) היה יעיל יותר. חיפוי קרקע לא שיפר את יעילות ההדברה. בשתי שיטות היישום, בהצפה או מתחת לטפטפת התקבלו תוצאות הדברה דומות. התקבלה שונות גדולה במדגמים לקביעת משך זמן הישרדות הנמטודות בקרקע.
<b>מסקנות מדעיות והשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח?</b>
כל מטרות המחקר הושגו. ניתן לשלב את הנמטודות בממשק ההדברה של חיפושית הקפנודיס. נדרש לגשר על פערי ידע המתייחסים לגורמים המשפיעים על פעילות הנמטודות בקרקע ופיתוח מערכת אמינה לקביעת המין, מקור הנמטודות וצפיפותן בקרקע, כאמצעי לשיפור ותזמון הטיפולים בעונה.
<b>בעיות שנתרו לפתרון /או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך</b>
כדי לשפר את יעילות ההדברה עם נמטודות נדרש: (1) לחקור את הגורמים המשפיעים על פעילותן והישרדותן בקרקע, (2) לפתח שיטה אמינה לדגימת קרקע לקבלת מידע על המין והצפיפות, (3) לקבוע את יעילות השיטה ליישום באמצעות מערכת ההשקיה המסחרית במטע.
<b>הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי;</b>
תוצאות המחקר הוצגו בכנס הוועידה האנטומולוגית ה-32 שהתקיימה באוקטובר 2013 ובשלושה כנסים מרכזיים של מגדלים, בראש פינה ובנווה יער, בשנים 2012, 2013, 2014.
<b>פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)</b>
← ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
←
<b>האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא -</b>

\*יש לענות על שאלה זו רק בדו"ח שנה ראשונה במחקר שאושר לשנתיים, או בדו"ח שנה שניה במחקר שאושר לשלוש שנים