

תוכן העניינים

2.....	דוח מסכם תוכנית מחקר תוכנית מס' 11-1355-131
2.....	תקציר
4.....	1.2 מבוא
5.....	1.2.3 מטרת המחקר
5.....	1.3 שיטות כלליות
5.....	1.3.1 מערכת לאספקת נאונטים
5.....	1.3.2 הצמחים
5.....	1.3.3 הנמטודות
5.....	1.3.4 בחינת מבנה אברי חישה ורישום יכולת החישה
6.....	1.3.5 מבחני התנהגות
6.....	1.4 פירוט עיקרי הניסויים והתוצאות
6.....	1.4.1 דפוס התנהגות בחירה
10.....	1.4.2 תגובה לנדיפי הפונדקאי בודדים ותערובות
15.....	1.4.3 תגובת הנאונטים למכלול האותות סינטטיים קרקע
17.....	1.4.4 השפעת תערובת נדיפי פונדקאי על נמטודות תוקפות חרקים
17.....	1.5 סיכום
19.....	סיכום עם שאלות מנחות
20.....	ביבליוגרפיה

בידוד וזיהוי חומרים המעורבים במשיכה ובחירה של שורש הצמח הפונדקאי ע"י זחלי קפנוודיס האבל וקפנוודיס השקדים

Isolation and identification of root substances involved in the attraction and recognition of the roots by *Capnodis tenebrionis* and *C. carbonaria*

מוגש לקרן מדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

ויקטוריה סרוקר, המחלקה לאנטומולוגיה, המכון להגנת הצומח, מינהל המחקר החקלאי
ענת זאדה, המחלקה לאנטומולוגיה, המכון להגנת הצומח, מינהל המחקר החקלאי
צבי מנדל, המחלקה לאנטומולוגיה, המכון להגנת הצומח, מינהל המחקר החקלאי
דניאלה פפר, המחלקה לאנטומולוגיה, המכון להגנת הצומח, מינהל המחקר החקלאי
שלומית לבסקי, המחלקה לאנטומולוגיה, המכון להגנת הצומח, מינהל המחקר החקלאי
גלינה גינדין, המחלקה לאנטומולוגיה, המכון להגנת הצומח, מינהל המחקר החקלאי
אנה ליטובסקי, המחלקה לאנטומולוגיה, המכון להגנת הצומח, מינהל המחקר החקלאי
לאוניד אנשלביץ, המחלקה לאנטומולוגיה, המכון להגנת הצומח, מינהל המחקר החקלאי
איתמר גלזר, המחלקה לפתולוגיה, המכון להגנת הצומח, מינהל המחקר החקלאי
שאול בן יהודה, הגנת הצומח, שה"מ, מחוז העמקים

Victoria Soroker¹ Email: sorokerv@volcani.agri.gov.il

Anat Zada¹ Email: anatzada@volcani.agri.gov.il

Zvi Mendel¹ Email: zmendel@volcani.agri.gov.il

Daniela Phefer¹ Email: daniela@volcani.agri.gov.il

Shlomit Levski¹ Email: slevski@volcani.agri.gov.il

Galina Gindin¹ Email: gindin@volcani.agri.gov.il

Leonid Anshelevich¹ Email: lanshel@volcani.agri.gov.il

Itamar Glazer¹ Email: glazeri@volcani.agri.gov.il

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

Shaul Ben Yehuda, Plant Protection, Email: shaul_by@kfar-hachosh.org.il, Extension Services. Ministry of Agriculture.

תקציר

הצגת הבעיה שני מיני קפנוודיס הם מזיקי שלד הקשים של ענף הגלעיניים. ממשק ההדברה שלהם מתבסס על שימוש נרחב בתכשירי הדברה חריפים. יש לפיכך חשיבות רבה לפתח כנגדם אמצעי הדברה ידידותיים לסביבה.

מטרות המחקר מטרת העל בתחילת המחקר היתה פיתוח ובחינה של גישה חדשה להגנה על מערכת השורשים מפני חדירה והתבססות של הזחלים לאחר שבקעו (הניאונטים) באמצעות שיבוש המשיכה לשורש. במהלך המחקר התברר שתהליך איתור הפונדקאי על ידי הניאונטים הוא מורכב מכפי שהערכנו בתחילת המחקר. לפיכך נדרשה התמקדות בהבנת התהליך וגורמיו. בהתאם לכך, התאמנו את

מטרות המחקר ואילו כללו: המשך לימוד התנהגות הקפנודיס; זיהוי האותות מהפונדקאי ונוספים המושכים את הניאונים; פיתוח מערכת מודל ללימוד התנהגותם בקרקע; בחינת אפשרות ניצול נדיפים לשיבוש התנהגות בחירת פונדקאי; בחינת השפעת הנדיפים המושכים את הניאונים על התנהגות הנמטודות אנטומופאתוגניות.

שיטות העבודה: ההתנהגות הניאונים נלמדה במעבדה במגוון זירות. עוצמת המשיכה של הניאונים לפיתונות שונים (ענפים/שורשים של גלעיניים שונים ותפוח), מים ו- CO_2 נבדקה תחילה בזירה על חול ובהמשך במערכת מודל בתערובת קרקע. יכולת החישה של הניאונים את נדיפי הפונדקאי נבחנה באמצעות מערכת אלקטרואנטוגרם.

תוצאות עיקריות: הניאונים נמשכים לשורשים וכן לענפים מעוצים, ומבחינים בין מיני פונדקאים. זיהוי מתרחש בטווח של מספר סנטימטרים לפחות אך כנראה גם לאותות מטווח קצר יש חשיבות. מחושי הניאונים מגיבים באופן ספציפי (בעוצמה תלויה ריכוז) לפחות ל-8 נדיפי הפונדקאי. המשיכה לנדיפי הפונדקאי ול- CO_2 היא מובהקת. הוספת לחות מגבירה את טווח זיהוי הפיתון. רוב נדיפי הפונדקאי, אינם מושכים את הניאונים, בעוד תערובות אחדות (מנדיפי שורש ו/או ענף) מושכות. באמצעות תערובת נדיפי הפונדקאי ניתן למשוך את הניאונים למין צמח שאינו הפונדקאי. תערובת נדיפי ענף הנ"ל אינה פוגעות בנמטודות תוקפות חרקים. הנמטודות הם מרכיב באסטרטגיית ההגנה בפני הקפנודיס.

מסקנות והמלצות לגבי המשך: להכוונה ולמשיכה של הניאונים נדרשת תערובת ספציפית של נדיפי הפונדקאי בתוספת CO_2 המספקים כפי הנראה יחד לניאונט מידע אודות הכיוון המצאות הפונדקאי. גם למפל הלחות יש חשיבות. באמצעות האותות הנ"ל ניתן לשבש את התנהגות הניאונים. מערכת המשלבת את הגורמים שהתגלו תוכל לשמש הממשק ההדברה של המזיק. נמטודות כפי הנראה אינן מושפעות מנדיפים המושכים את הקפנודיס ולכן שילובן אפשרי בגישת הדברה זו.

הצהרת החוקר הראשי

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.
הניסויים לא מהווים המלצות לחקלאים.

חתימת החוקר _____ תאריך _____

1.2 מבוא

קפנוודים האבל *Capnodis tenebrionis* וקפנוודים השקדים *C. carbonaria* (חיפושיות ממשפחת הברקניות Buprestidae) גורמים לנזקים קשים למטעי גלעיניים ברחבי הארץ. שני מיני הקפנוודים הם ממזיקי המפתח של ענף הגלעיניים. פגיעתם ההרסנית שתיל בן שנה ייקטל על ידי זחל אחד ומספר זחלים יגרמו למותו של עץ בוגר תוך שנה עד שנתיים. בכל ארצות הים התיכון ממשק ההדברה של הקפנוודים מתבסס בחלקו או במלואו על שימוש נרחב בתכשירי הדברה חריפים. בישראל עלות הדברת הקפנוודים יקרה מזו של מזיקים אחרים הפוגעים בענף הגלעיניים. כיום המגדלים מתמודדים עם אוכלוסיות הקפנוודים באמצעות תכשירים הנחשבים בעיתיים מבחינה אקולוגית. פיתוח ממשק הדברה ידיותי לסביבה במטעים הגלעיניים אינו אפשרי ללא מציאת פתרונות ממשק מתאימים לקפנוודים.

קפנוודים האבל וקפנוודים השקדים מטילים בקרקע יבשה. הביצים מוחזרות בדרך כלל לתוך סדקים או מתחת לאבנים, הזחלים בדרגה ראשונה, הנאונטים, נעים בקרקע לאיתור הפונדקאי, חודרים לתוכו וניזונים על הסות (הקורטקס) (Rivnay 1945). אכלוס השורש נעשה על ידי הזחל כך שקו ההגנה של הצמח בפני המזיק נמצא ברקמות השורש החיצוניות ובמפגש בין הזחל לבין השורש נקבעת הצלחת האכלוס. שיבוש תהליך האכלוס עשוי להוות בסיס מתאים לממשק ההדברה ידיותי לסביבה.

לתגובה לאותות כימיים חשיבות רבה בבחירת פונדקאים על ידי חרקים צמחוניים בכלל וסטאנופאגיים בפרט (Schoonhoven et al., 1998). בתהליך הבחירה מעורבים בדרך כלל, אותות מגוונים שמקורם בפונדקאי. התוצרים הנדיפים יותר (באופן יחסי) משמשים כקירמונים בטווח ארוך, כלומר באיתור מקום הפונדקאי, ואלו באלו הפחות נדיפים, נעזר החרק לזיהוי הפונדקאי. גם אותות לא ספציפיים כגון מים ו-CO₂ יכולים להשפיע על התהליך (Johnson & Gregory, 2006). המחקר בעניין זה עסק בחרקים הניזונים על החלקים העל קרקעיים של צמחים אך מעט ידוע על התנהגותם של אלו המאכלסים את החלקים התת-קרקעיים (Brown and Ganger, 1990; Hunter, 2001). בסדרת ניסויים שביצענו במסגרת תוכנית מדען קודמת (סורוקר וחוב, 2009) שהתבססו על מבחן ביולוגי שפיתחנו, הוכחנו שהנאונטים נמשכים באופן ספציפי לפונדקאי ולאותות כימיים שמקורם בחומרים נדיפים מגזע ושורש הפונדקאי. זחלים בדרגות המתקדמות חסרי יכולת זאת. כמו כן, הראנו שגם מים מושכים את הנאונטים. הפרדת מקטע נדיפים מושכים בגז כרומוטוגרף שמקורו בצמח הפונדקאי הצביעה על תערובת רבת-מרכיבים וסביר להניח שרק חלקם נחוץ לזיהוי ולמשיכה. אך עדיין התנהגות בחירת הפונדקאי על ידי הנאונטים איננה ברורה ונראה שאותות חשובים בתהליך זה טרם זוהו.

היפותזת העבודה שלנו היתה שניתן יהיה ללכוד את הנאונטים במלכודות קרקע ייחודיות. כמו כן, הממצאים ישמשו בסיס לפיתוח מערכת "לכוד וקטול" כאשר הקטילה תתבצע ע"י נמטודות תוקפות חרקים. בעת כתיבת ההצעה נראה היה שהידע שהצטבר עד כה במעבדתנו מאפשר לנו כבר להתחיל בפיתוח וישום של שיטה להגנה על מערכת השורשים בפני זחלים של הקפנוודים באמצעות שיבוש מהלך איכלוס השורשים. לפי כך המטרות שהוגדרו בתוכנית היו: 1. זיהוי מרכיבים ספציפיים נוספים של נדיפי הענף והשורש המושכים את הנאונטים ובהמשך בתנאים המחקים את המצב במטע. 2. בחינת תערובות נדיפים מושכות בתוספת לחות לנאונטים בקרקע ע"י בדיקתם בתנאי מעבדה ובהמשך בתנאים המחקים את המצב במטע. 3. פיתוח נדיפית למשיכת הנאונטים בקרקע. 4. אופטימיזציה של נדיפית לשחרור מבוקר. 5. בחינה האפשרות השימוש בחומרי המשיכה באמצעות השילוב של הנדיפים עם תכשיר הקוטל את הנאונטים, וע"י שהיית החדירה אל שורשי הצמח באמצעות שיבוש הכוונה אל השורש והגדלתו משמעותית של הסיכוי למפגש קטלני בין הנאונט לבין נמטודות קוטלות חרקים שיושמו במערכת הנבדקת. במהלך המחקר התברר שהנושא מורכב מכפי שרמז הידע שהיה בידנו, בהתאם לכך שינינו מעט את מטרות הראשוניות של המחקר.

1.2.3 מטרות המחקר

1. המשך לימוד התנהגות החיפוש של הנאונטים. לימוד יכולת החישה והשוואת משיכה של נאונטים של קפנודיס לנדיפים שמקורם בכנות גלעיניים.
2. זיהוי מבין מרכיבי נדיפי הענף והשורש מרכיבים בעלי השפעה מירבית על הנאונטים, תוך איתור תערובות מושכות.
3. זיהוי מרכיבים נוספים המושכים את הנאונטים.
4. פיתוח מערכת מודל ללימוד התנהגות משיכת הנאונטים בקרקע.
5. בחינת אפשרות ניצול נדיפים לשיבוש התנהגות בחירת פונדקאי.
6. בחינת השפעת הנדיפים המושכים את הנאונטים על התנהגות הנמטודות אנטומופאטוגניות.

1.3 שיטות כלליות

1.3.1 מערכת לאספקת נאונטים

מערכת לאספקת נאונטים של קפנודיס האבל התבססה על בוגרים שנאספו במטעי גלעיניים בעיקר בעמק החולה והוחזקו בבית דגן. בוגרים הוכנסו לכלובי רשת שבתוכם ענפי שזיף או מישימש שנלקחו מעצים שלא טופלו בתכשירי הדברה. הענפים שמשו מזון לחיפושיות הבוגרות. קצות ענפים נטבלו במים. בתוך כל כלוב הוכנסו צלחות פטרי שבתחתיתן נייר, שכוסה בשכבה של ס"מ אחד של חול מסונן. אחת ליומיים הוצאו צלחות הפטרי והוחלפו באחרות, וחודשה אספקת המזון ע"י החלפת הענפים שנאכלו בענפים טריים. מהצלחות שהוצאו מתוך הכלובים החול סונן והביצים שבתוכו וכלל זה הביצים שהודבקו לפיסת נייר חוטאן. הביצים הודגרו בתא גידול בטמפ' של 27°C ולחות יחסית של 40-50% ומחזור אור של L10:D14. נאונטים בני 1-24 שעות לאחר הבקיעה שימשו לניסויים. גידול במעבדה של בוגרי קפנודיס לא אפשר לספק ביצים בכמות מספקת מחוץ לעונה בשל כניסה של האוכלוסיה לתרדמת בוגרים, כך שביצוע ניסויים הוגבל לחודשי הקיץ וגרם להארכת תקופת המחקר. כמו כן, מאחר ובמהלך שנות המחקר לא אותרו מספיק פרטים של קפנודיס השקדים *C. carbonaria* ערכנו ניסויים על *C. tenebrionis* בלבד.

1.3.2 הצמחים

מקור לפתיונות צמחיים היו שתילי כנות של משמש, מריאנה, הנסן, 677 (שקד x אפרסק, יקרא בהמשך שקד) וחשבי בני שנתיים-שלוש שנרכשו במשתלת חנני וגודלו בבית רשת המכון וולקני בבית דגן.

1.3.3 הנמטודות.

הנמטודות האנטומופטוגניות ששימשו לניסויים הם מהמין (*Steinernema feltiae* (SF) שמקורם במטע זיתים ליד כרמיאל. פירוט הפרוטוקול הניסוי (סורוקר וחוב 2009).

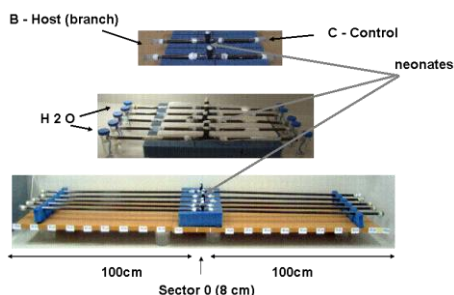
1.3.4 בחינת מבנה אברי חישה ורישום יכולת החישה

מבנה חיצוני של אברי חישה נבדק באמצעות מיקרוקופ סורק ESEM XL-30 from FEI company, ביחידה למיקרוסקופיה במכון ויצמן.

רישום תגובת המחוששים לנדיפים נבדקה באמצעות אלקטרואנטנוגרף (EAG) (1). אלקטרודה הרושמת חוברה לאחד המחוששים בעוד אלקטרודת יחוס חוברה לראש הזחל.

1.3.5 מבחני התנהגות

תנועת הנאונטים אל פונדקאי המתרחשת בטבע בתוך הקרקע. לחיקוי מצב זה בחנו מספר מערכות למבחני התנהגות עם ובלי זרימת אויר, זירות בגדלים וצורות שונים ומצעים שונים (סורוקר וחוב' 2011). המבחנים שנתנו את התוצאות ההדירות וברורות ביותר ושימשו לרוב הניסויים בשנים האחרונות היו: א. מבחן בזירת זכוכית עגולה (צלחת פטרי בקוטר של 14 ס"מ) עם שכבת חול מנוקה ומסונן. בכל זירה הונחו 2 או 4 פיתיונות (באורך של כאחד ס"מ) ובמרכזו שוחררו 1 או 10 נאונטים. הנאונטים המגיעים לכל פיתיון נרשמו בפרקי זמן קבועים (5, 10, 30, 60 ו-120 דקות). מספר הנאונטים ומספר וסוג הפיתיונות השתנו בהתאם למערכת הניסוי כפי שיפורט בהמשך.



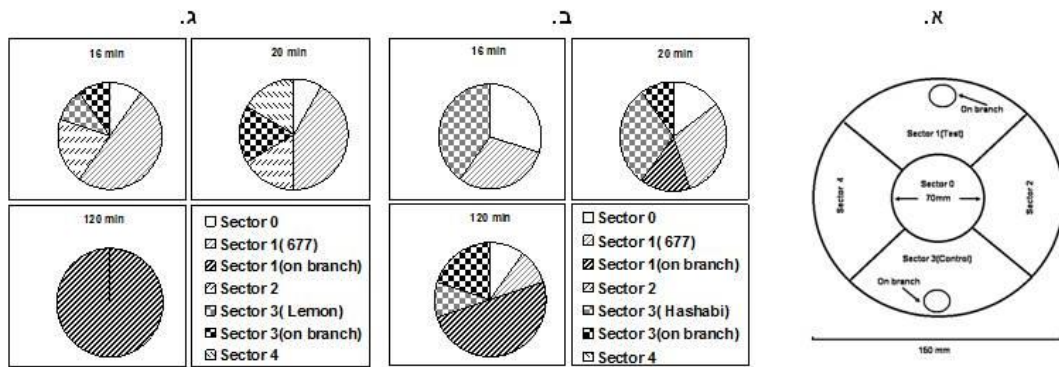
ב. מבחן באולפקטומטר T ללא זרימת אויר. המערכת בנויה מצינורות זכוכית בקוטר פנימי של 16 – 18 מ"מ ובאורך שונה: 10, 30, 40 או 100 ס"מ (איור 1). הצינורות מולאו בתערובת קרקע למצע מנותק (עמיר שיווק והשקאות בחקלאות בע"מ). במרכז המערכת שוחררו 20-50 נאונטים. בהתאם למערכת בקצה הצינור, הוספו פיתיונות שונים בהתאם לניסוי: חתיכות ענף, מים רגילים, מוגזים ו/או תערובת נדיפים. פיזור זחלים נבדק בפרקי זמן שונים בהתאם לניסוי.

איור 1: אולפקטומטר T ללא זרימת אויר

1.4 פירוט עיקרי הניסויים והתוצאות

1.4.1 דפוס התנהגות בחירה

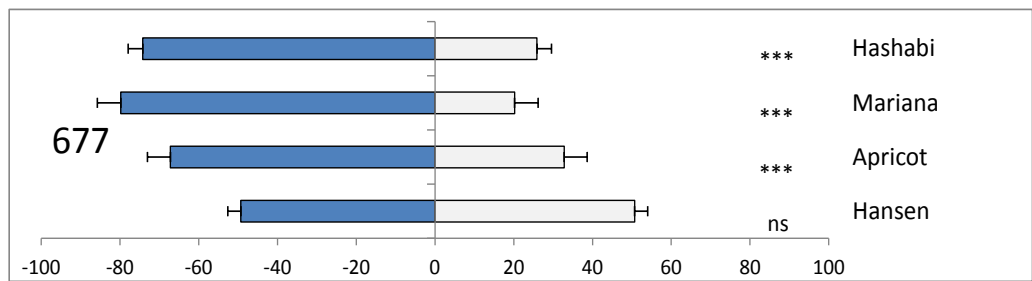
במחקר קודם (סורוקר ושות' 2009) נמצא שהנאונטים בקבוצה מבחינים היטב בין צמח פונדקאי לצמח שאיננו פונדקאי. בכדי לברר האם זיהוי הפונדקאי מתבצע ממרחק ובתנועה מכוונת לעומת חיפוש אקראי תוך שינויי בחירה, עקבנו אחר התנהגותם של הנאונטים הבודדים בצלחת מחולקת לאזורים לפי סכמה המתוארת איור 2. מיקום הנאונט נרשם בפרקי זמן קבועים 2 עד 120 דקות. בניסוי ראשון נבחנו 20 נאונטים בבחירה בין ענף שקד לבין ענף לימון, בעוד בניסוי שני נבחנה בחירתם של נאונטים בין ענף חשבי לבין ענף שקד. באיור 2 ניתן לראות שבמקרה של בחירה בין שקד ללימון, העדפה של שקד היא כמעט מיידית ומכוונת ובין 20 ל-40 דקות מתחילת הניסוי רוב הנאונטים כבר נמצאו על הפונדקאי. בהמשך כולם נמצאו על הפונדקאי. תהליך הבחירה יותר איטי ומורכב והתרחש כאשר הנאונטים נאלצו לבחור בין שקד לתפוח חשבי. במקרה זה מחצית הנאונטים הגיעו תחילה לכנת חשבי אך בהמשך נצפתה העדפה של שקד. ובתום 120 דקות התקבלה בחירה של מקטעי שקד (60%) לעומת מקטעי חשבי (30%) אם כי גבולית מבחינה סטטיסטית (χ^2 , $P=0.1$). השוואה בין התנהגות הנאונטים בשני ניסויים אלו מעלה אפשרות שבבחירת פונדקאי על ידי הנאונטים מעורבים גם אותות הפועלים בטווח הקצר. יתכן ובבחירה מעורבת גם אינטראקציה בין הזחלים, מאחר וכפי שיוצג בהמשך קבוצת זחלים הניצבת מול בחירה בין תפוח לשקד בוחרת באופן מובהק בשקד.



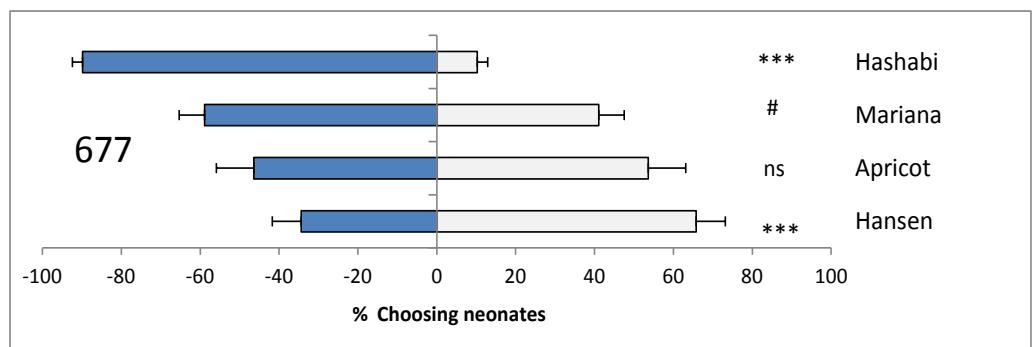
איור 2. התנהגות בחירת הנאונטים בודדים בזירה. שינויים בהתפלגות נאונטים עם זמן בין אזורי הזירה השונים א. סכמת הזירה.. ב. בחירה בין ענף 677 לענף לימון. (סה"כ 10 נאונטים) ג. בחירה בין ענף 677 לענף חשבי. (סה"כ 20 נאונטים). 0- אזור מרכז הזירה.

על מנת לקבל תשובה מהימנה יותר על התנהגות זחלים, כל יתר ניסויי בחירה נערכו בזירה עם 10 זחלים למערכת הניסוי. בחירה בין ענפים ושורשים של כנות שונות נבחנה בזירות 14 ס"מ. בהשוואת 4 כנות גלעיניים: הנסן, מריאנה, משמש, שקד (677) וכנה אחת של גרעיניים תפוח חשבי. ערכנו את כל ההצלבות בין שורשים וענפים של חמשת הזנים. באיור 3 מוצגת תוצאות בחירה בין שקד ליתר הזנים שעתיים מתחילת הניסוי. הנאונטים העדיפו את כל כנות גלעיניים (ענפים ושורש) לעומת אלו של תפוח. בענפים הזנים הכי מועדפים היו הנסן ושקד. העדפת שורשים וענפים לא הייתה זהה. סיבה לכך לא ברורה בשלב זה. חשוב לציין, שכאשר בדקנו בחירה בין ענפים ושורשים של שקד, הנאונטים לא הציגו כל העדפה ובחרו בשניהם באותה המידה (איור 4).

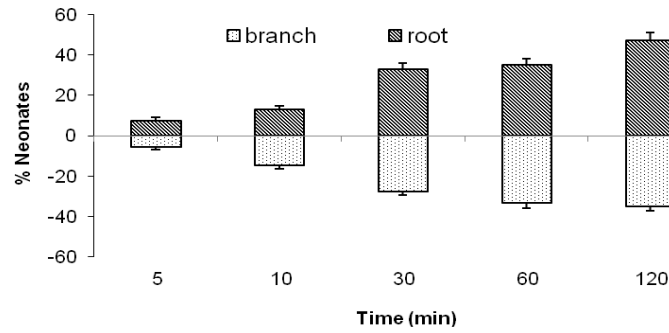
א. בחירת ענפים



ב. בחירת שורשים



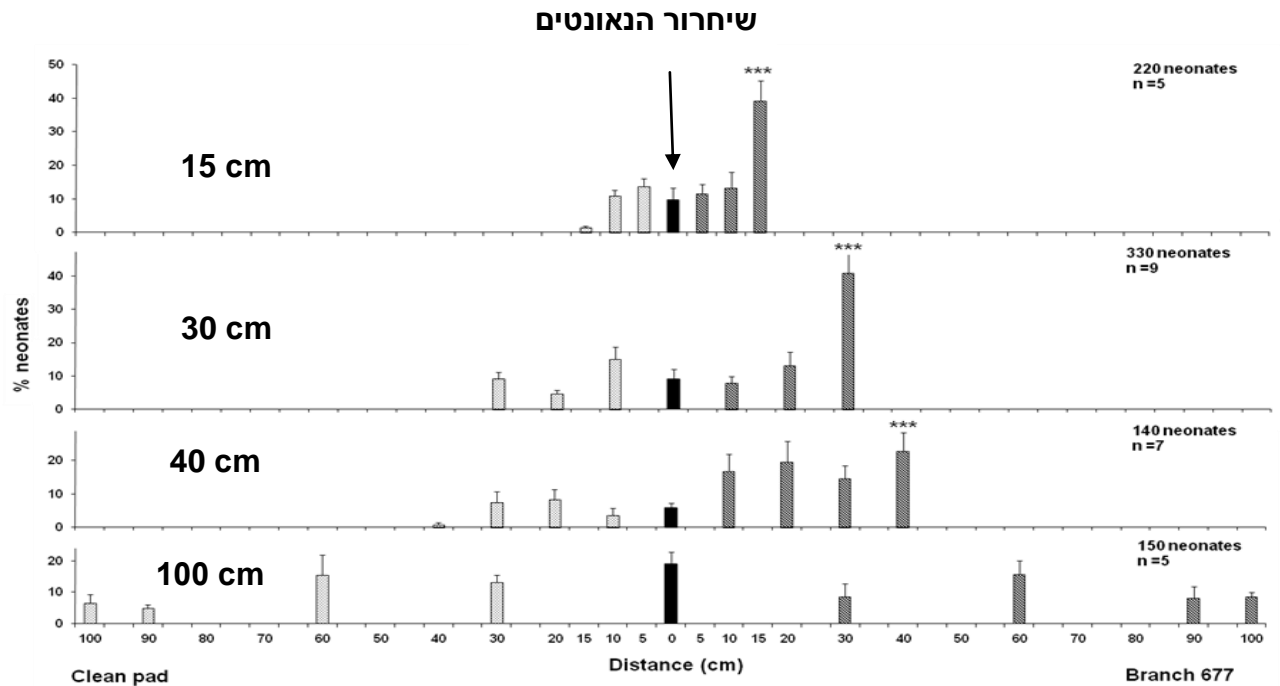
איור 3. שיעורי בחירה של נאונטים בין כנה שקד (677) לבין כל אחת מארבע כנות אחרות אחרי חשיפה משך שעתיים. לקטעי ענף (א) וקטעי שורש (ב). התוצאות הנם ממוצע + שגיאת תקן של 20 חזרות לכל זוג. #, $P < 0.1$, ***, $P < 0.001$.



איור 4: בחירת הנאונטים בין קטעי שורש וענף של כנת שקד. התוצאות הם ממוצע ושגיאת תקן של 10 חזרות של 10 נאונטים כל אחת.

יכולת התנועה של הנאונטים תלויה מאד בסוג המצע. הנאונטים אינם מסוגלים לנוע במצע קרקע של חלקיקים קטנים מ-1 מ"מ כמו החול או חלקיקי טוף. הנאונטים נעים היטב ושורדים כיומיים, בתוך הקרקע (בכ-50% לחות). רוב הנאונטים מסוגלים לאתר את ענף הפונדקאי ממרחק 30 ס"מ אך מספר משמעותי של זחלים הגיע גם למרחק של 40 ס"מ אך לא למרחק של מטר (איור 5). אם במקום ענף מחברים מקור לחות הנאונטים אינם נמשכים עליו ומתפלגים במידה שווה בשתי הזרועות. אך עם מוסיפים מקור לחות לפיתיון הענף ההעדפה גוברת באופן משמעותי (טבלה 1). כ-40% מהנאונטים מגיעים לפיתיון ויש המתקדמים גם למרחקים ארוכים יותר (כ-20% הגיעו ל-60 ס"מ מנקודת השיחרור (סרוקר וחוב, 2011). על מנת לבדוק האם CO₂ מושך את הקפנודיס, בחנו את הבחירה של נאונטים למים רגילים לעומת מים מוגזים מאותו הסוג. לבדיקת השפעת מים מינראליים או CO₂ חוברה לקצה צינור אחד או שניים מבחנה ובה מים רגילים או מוגזים (מתוצרת סופר-סל או סן-בנדטו). בניסויים המשווים שני סוגי המים, כל המים היו מאותו היצרן.

בטבלה 1 ניתן לראות שהנאונטים העדיפו באופן מובהק את הפיתיון של המים המוגזים כאשר 31% הגיע לפיתיון. ממצא זה מצביע באופן ברור על המשיכה אל CO₂ כאות עבור הקפנודיס. חשיבות CO₂ כסימן לא ספציפי לפונדקאי ברורה מאד, בעוד משמעות מפל הלחות ברורה פחות. סביר להניח שגם מפל לחות ורמת הלחות בקרקע משפיעה על אופן התפזרות נדיפי הצמח בתוך מדיום זה וכן על התנהגות הבחירה של הזחלים. יש לציין, שמחקר של Hiltpol and Turlings (8) על פיזור נדיפי שורשי תירס בקרקע הצביע על השפעה משמעותית של לחות הקרקע על הדיפוזיה של נדיפי הצמח (טרפנואידיים) דרכה.



איור 5. מרחק חישת ענף שקד על ידי הנאונטים במערכת צינורות עם תערובת קרקע. ** - התוצאות מבטאות את ההתפלגות הממוצעת עם שגיאת תקן של 5 עד 9 חזרות של 20 עד 50 נאונטים -12 עד 14 שעות לאחר השחרור במרכז מערכת הצינורות (0) במרחקים שונים מהפיתיון. המספרים בצד שמאל מציינים את אורך הזרוע במערכת בחירה T. #, * - הבדלים סטטיסטיים במספר הזחלים שהגיעו לענף לעומת הגעתם לקצה צינור הביקורת או שהגיעו לאותם המרחקים מהמרכז בזרוע עם פיתיון ענף השקד לעומת זרועת הביקורת (פד צמר גפן). #, $P < 0.01$, $P < 0.001$ - ***, χ^2 .

טבלה 1. שיעור הנאונטים המגיעים לפיתיון הנבדק הנמצא במרחק 40 ס"מ מנקודת השיחורר לעומת שיעור הנאונטים המגיעים לביקורת כעבור 12-18 שעות מהשחרור.

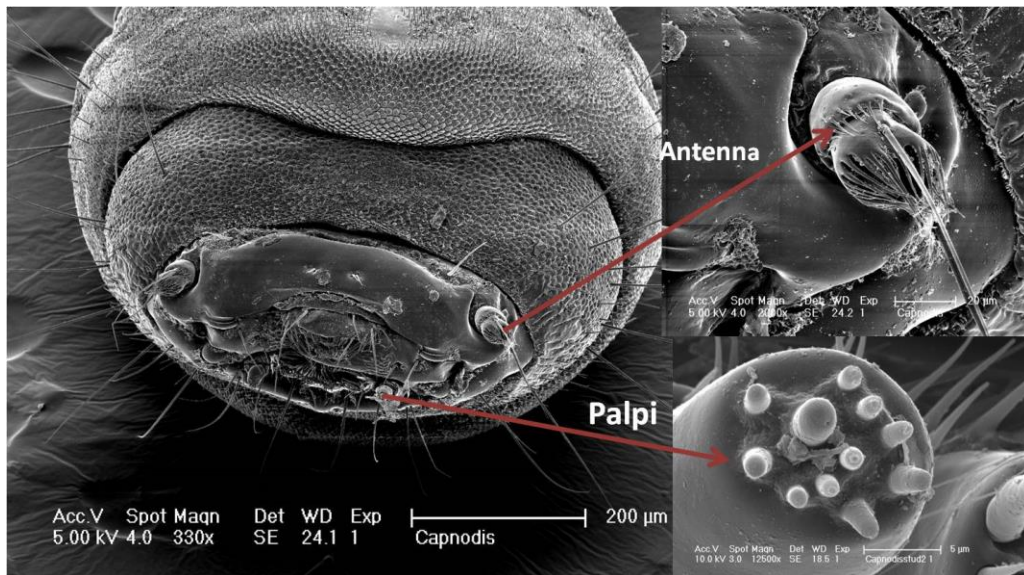
Baits*	% neonates reang the tested bait	P, χ^2	Number of replicates (total neonates tested)
Pad +H ₂ O vs. Dry pad	12% ± 2.7	Ns#	5 (150)
Pad +H ₂ O+ CO ₂ vs. Pad +H ₂ O	31%± 11.9	P<0.001	6 (110)
Almond branch vs. Dry pad	23% ± 5.5	P<0.001	7 (140)
Almond branch vs. Pad +H ₂ O	20% ± 4.4	P<0.001	7 (140)
Almond branch+H ₂ O vs. Pad +H ₂ O	39%± 7.0	P<0.001	6 (170)

*- הפיתיון הנבדק מופיע בכתב מודגש. #-נטיה לדחיה

לבדיקת השפעת מים מינראליים או CO₂ חוברה לקצה אחד או שניים של המערכת מבחנה ובה מים רגילים או מוגזים. מים מינראליים היו מתוצרת סופר סל או סן-בנדטו. בניסויים המשווים שני סוגי המים, כל המים היו מאותו היצרן. לבדיקת השפעת הנדיפים חוברה למערכת בין מבחן המים לבין צינור הזירה נדיפית, המורכת מבקבוקון זכוכית עם 200 µl תערובת נדיפי ענף מספר 8 ביחסים שווים בין המרכיבים.

1.4.2. תגובה לנדיפי הפונדקאי בודדים ותערובות

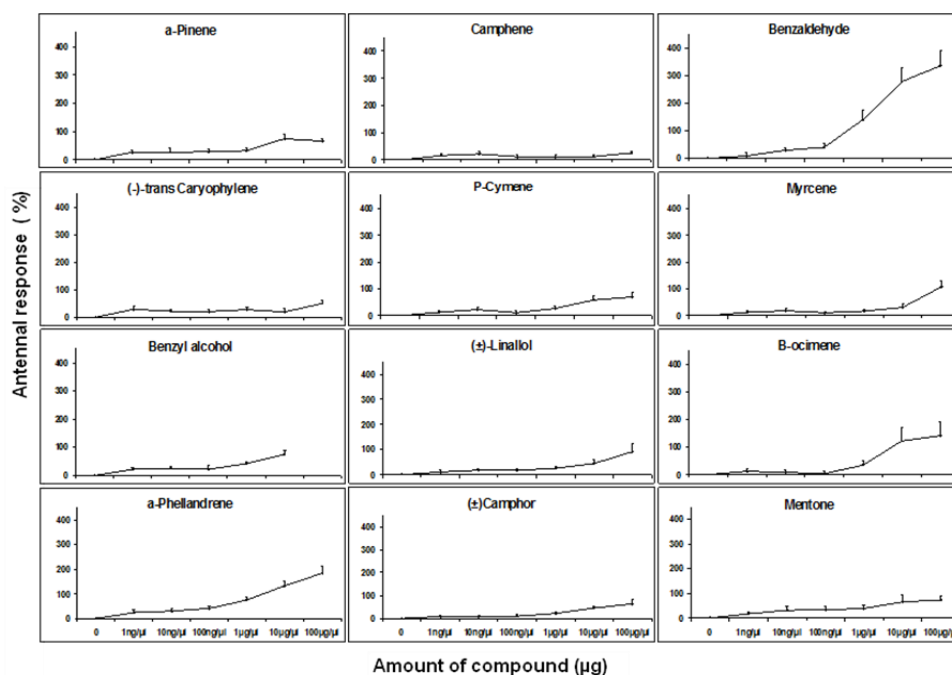
אברי חישה:



איור 6. צילום ראש של הנאוט במיקרוסקופ סורק. (א), מחוש (ב) ובחנין עם סיסיוחות בעלות נקבים לחוש כימי (ג)

הנאוטים מצוידים במחושים בני שני פרקים (10). באיור 6 ניתן להבחין במחושים הנושאים מספר סנסילות, וזיפים ובבחנינים. לא הצלחנו להבחין במחוש בסנסילות עם נקבים גם בהגדלה גבוהה. עם זאת באיור 6 ניתן לראות בחנינים מקסילריים וסנסילות בעלות נקבים. יתכן שאלו הן סנסילות לחישה כימית.

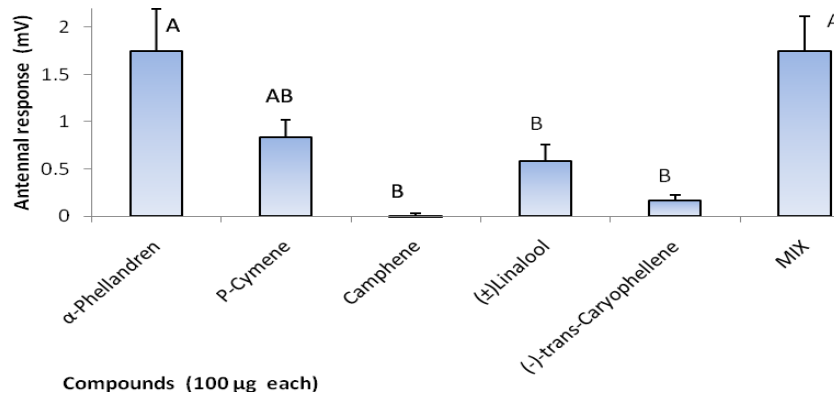
יכולת החישה של נדיפי הפונדקאי על ידי הנאוטים הוכחה בניסויי בדיקת עוצמת תגובת מחוש לריכוזים הולכים ועולים. נבדקו 12 חומרים סינתטיים: 11 מהם, למעט menthone מהווים מרכיב בנדיפי פונדקאי (ענפים ו\או שורשים). המחוש נחשף לריכוזים עולים והולכים של החומר כאשר בין כל בדיקה נחשף המחוש לממס כביקורת. הפרוטוקול הבדיקה היה כפי שמקובל במעבדתנו (4). באיור 7, ניתן לראות כי מחושי הנאוטים מראים תגובה תלוית ריכוז לכל נדיפי פונדקאי למעט camphene. במיוחד בולטת תגובתם של המחושים ל- benzaldehyde אחד המרכיבים העיקריים של נדיפי השורש. מעניין לציין שמחושי הנאוטים הגיבו באופן תלוי ריכוז גם ל- menthone שאיננו מצוי בנדיפי הפונדקאי. סף התגובה במקרה זה הוא 100 ng אך לגבי יתר המרכיבים הוא גבוה יותר (סביב 1 מיקרוגרם). השוואת חומרים סינטיים בודדים במינון הגבוה ביותר שנבדק לעומת תערובת של נדיפי ענף מגלה (איור 8) שאין השפעה אדיטיבית או סינרגיסטית בין המרכיבים והתגובה לתערובת זהה לתגובת המרכיב הכי פעיל בה - α -phelandrene. בעתיד כדאי יהיה לחזור על הניסוי תוך השוואת השפעת המרכיבים הבודדים לעומת ביקורת בריכוזים נמוכים וקרובים לסף התגובה. מעניין לציין ש α -phelandrene איננו ייחודי לגלעיניים כלל בעוד ל benzaldehyde יש ריח שקדים אופייני.



איור 7: תגובת מחושי הנאונטים באלקטרואנטנוגרם לחומרים סינטטיים במינונים שונים (יחסית לביקורת ממס (הקסן)). הערכים הם ממוצע תגובות של לפחות 7 מחושים עם שגיאת תקן.

התנהגות כלפי הנדיפים המבודדים

מרכיבי אווירת עלים, הענפים והשורשים זהו במסגרת התוכנית הקודמת (סורוקר וחוב' 2008). לא כל מרכיבי אווירת הענף והשורש זמינים באופן מסחרי. בדקנו כושר משיכת מרכיבי אווירה משלושת אברי הצמח (סה"כ 17 מרכיבים באמצעות סטנדרטים סינתטיים בשלושה ריכוזים). תמיסות מומסות בהקסן הוספגו בפד דנטלי. כביקורת שימש פד דנטאלי עם הקסן (סורוקר וחוב' 2009), החומרים נבדקו בשלושה מינונים (טבלה 2). בתחום המינונים שנבדקו רוב מרכיבי האווירה לא משכו את הנאונטים באופן מובהק. יוצא דופן, p-Cymene (המצוי באווירת ענפים) המושך בכל המינונים שנבדקו אם כי במינון הגבוה ניכרת ירידה במשיכה, α-Pinene משך באופן מובהק בריכוז הנמוך $2 \mu\text{l}$ בלבד בעוד דחה בריכוזים גבוהים. בין מרכיבי התערובת המושכת נמצאו כאלה בעלי השפעה דוחה. למשל, אחד מהרכיבים העיקריים של אווירת השורש Benzaldehyde לא עוררו תגובה בריכוזים הנמוכים, ודחו בריכוז הגבוה. תופעה של נוכחות חומרי דחייה באווירה מושכת ידועה בספרות, בהקשר לתגובה לפונדקאי בחרקים אחרים (4,6). חשוב לציין שאף אחד מנדיפי עלים לא משך את הנאונטים.



איור 8: השוואת תגובת מחושי הנאונטים באלקטרואנטנוגרם לחומרים סינתטיים במינון של 10 מיקרוגרם כל אחד לחוד ובתערובת (פחות תגובה לביקורת ממס (הקסן)). הערכים הם ממוצע תגובות של לפחות 5 מחושים עם שגיאת תקן. האותיות מסמנות קבוצות השונות באופן סטטיסטי. ($p < 0.05$ Anova repeated measures followed by Tukey HSD).

בניסיון לאתר תערובת נדיפים אופטימלית למשיכת הנאונטים סרקנו, מספר רב של תערובות מנדיפי ענף (טבלה 4) ונדיפי שורש (טבלה 5). הניסויים בוצעו בזירות עגולות בנות 14 ס"מ. לאור השונות הרבה שהייתה בהרכבי נדיפי הענף בין העצים שנדגמו, בחרנו להכין את התערובות ביחס שווה בין המרכיבים. ארבע התערובות שבלטו במשיכתן את הנאונטים: תערובות 1, 8, 11 ו-16, תערובות 6, 10 משכו באופן מובהק אך פחות. המשותף לכולן, נוכחות מרכיב אחד p-Cymene, שאיננו ייחודי לגלעיניים. כמו כן, אל אף שחומר זה מושך כשלעצמו לא כל התערובות שהכילו אותו משכו. כשהשוונו את התערובות 1 ו-8 בניסויי בחירה בריכוזים שונים, מצאנו (איור 9) שתערובת 8 מושכת באופן תלוי ריכוז את הנאונטים וחזק יותר מתערובת 1 המורכבת מ-7 מרכיבים (איור 10). המינון האופטימאלי של תערובת 8 הוא 10 מיקרוגרם. במינון זה המשיכה המובהקת נשמרה גם שעה אחרי היישום. בסה"כ ההשפעה של תערובות אלה הייתה קצרה יחסית והתפוגגה לאחר חצי שעה עד שעה לאחר היישום.

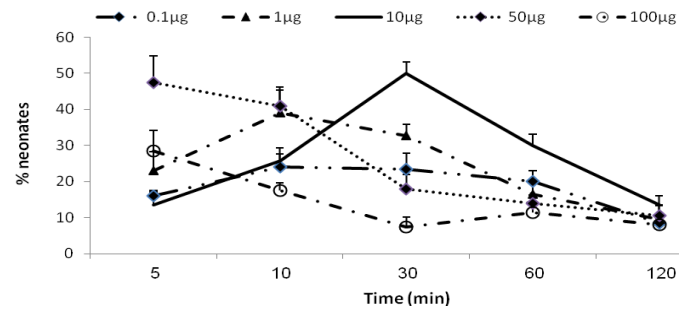
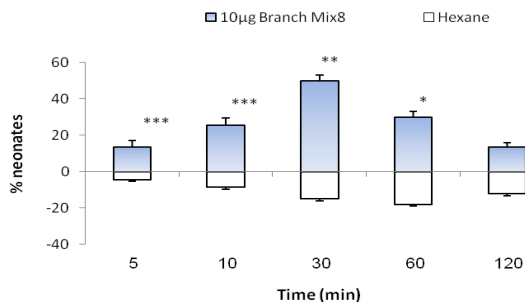
תערובת נדיפי שורש התבססה עקב בעיות השגת שורשים טריים מעצים בוגרים, על הרכב אוירה אחד של שורשים מכנת שקד, והכילה מרכיבים במינון וביחסים התואמים את כימות החומר במנה של נדיפי שורש שנמצאה מושכת במחקר קודם (סורוקר וחוב, 2008), כאשר הרעיון היה להתחיל משלושת המרכיבים העיקריים ולהוסיף להם מרכיבי אוירה נוספים לפי כמותם היחסית בתערובת המקורית. כפי שניתן לראות שתי התערובות הראשונות 1 ו-2 היו הכי מושכות והוספת מרכיבים נוספים לא הועילה. מעניין שבמקרה זה הנאונטים נמשכים לשתי תערובות שונות לגמרי כאשר עדין לא ברור האם הצלחנו להגיע לתערובת ו\או מינון אופטימליים. בגלל העונה הקצרה של הקפנודיס לא הספקנו לבחון תערובות נוספות ו\או מינונים נמוכים יותר ולהשוות משיכה של נדיפי ענף מול נדיפי שורש.

טבלה 2: סיכום תגובת הנאונטים למרכיבי הענף והשורש בריכוזים השונים. תגובה נמדדה 30 דקות מתחילת הטיפול. משיכה, R-דחייה, *NT- לא נבדק

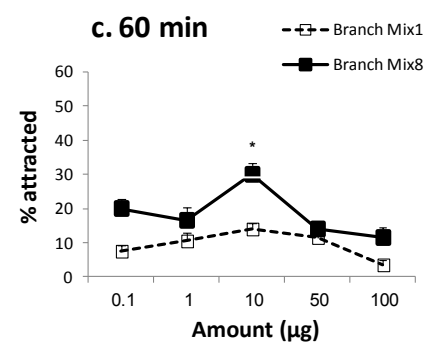
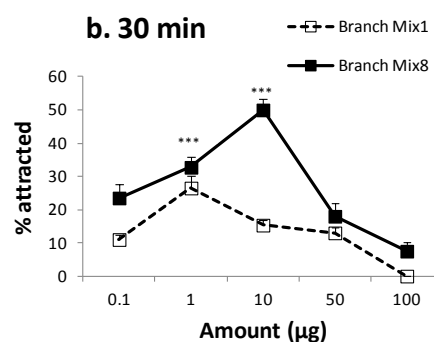
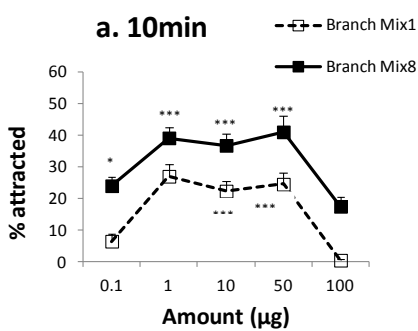
Compound	Source	2 µg	10 µg	100 µg
α-Pinene	Branch & Root	A**	Ns	R**
Camphene	Branch & Root	ns	Ns	ns
Benzaldehyde	Branch & Root	ns	Ns	R**

β -Pinene	Root	ns	A#	R*
β -Myrcene	Root	ns	Ns	ns
α -Phellandrene	Branch	ns	Ns	ns
p-Cymene	Branch	A*	A*	A#
Benzyl alcohol	Branch & Root	ns	Ns	ns
β -Ocimene (cis)	Branch & Root	ns	Ns	ns
(\pm)-Linalool	Branch	ns	Ns	R*
(\pm)-Camphor	Root	ns	Ns	ns
β -Caryophyllene	Branch	ns	Ns	R*
α -farnesene	Leaves	nt	Ns	ns
cis 3 hexenyl benzoate	Leaves	nt	Ns	R*
benzyl benzoate	Leaves	nt	Ns	ns
Z3-hexenyl acetate	Leaves	ns	R*	R*

Wicoxon Singh Rank test - $p < 0.01$ **, $p < 0.05$ -*, $p < 0.10$ - #, לא מובהק, ns



איור 9: תוצאות משיכת הנאונטים לתערובת נדיפי ענף 8. מרכיבים סינתטיים של נדיפי הפונדקאי: Camphene, α -trans-caryophyllene, linalool, p-cymene, phellandrene ביחסים שווים.



איור 10: השוואת שיעור הנאונטים שהגיעה לפיתיונות במינונים שונים של שתי תערובות נדיפי ענף מומסים בהקסן ביחסים שווים (תערובת 1 ו-8) כפי שנמדד בשלושה פרקי זמן מתחילת הניסוי 10, 30 ו-60 דקות (האיורים C-A). הנתונים הם ממוצע ושגיאת תקן של 10-20 חזרות של 10 נאונטים כל אחת. * - מסמנים מובהקת לפיתיון לעומת משיכה לביקורת (הקסן).

טבלה 3. תגובה של נאונטים לתערובות נדיפים המבוססות על נדיפי ענף. החומרים בתערובת ביחס שווה במינון $7\mu\text{g}$ כל אחד.

בחלק התחתון של הטבלה מוצג ה-% הנאונטים שנמשכו לנדיפית בפרקי הזמן שנבדקו.

compounds ($7\mu\text{g}/\text{compound}$)	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4	Mix 5	Mix 6	Mix 7	Mix 8	Mix 9	Mix 10	Mix 11	Mix 12	Mix 13	Mix 14	Mix 15	Mix 16
α -Pinene	+		+	+			+									
Camphene	+	+		+		+										
α -Phellandrene	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					+	+
p-Cymene	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+		+
β -Ocimene	+	+	+		+											
Linalool	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+		
trans Caryophyllene	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	

% attracted to mix at:

10min	47% **	17% -	19% -	18% -	34% *	29% *	25% -	30% **	26% *	23% *	34% **	19% -	17% -	12% -	46% -	25% *
30min	39% *	26% -	33% -	35% -	32% -	31% *	25% -	44% **	28% -	32% *	44% **	28% -	39% -	28% -	44% -	39% **

Wicoxon Singh Rank test - $p < 0.01$ **, $p < 0.05$ -*

טבלה 4. תגובה של נאונטים לתערובות נדיפים המבוססות על נדיפי שורש. ה- % הנאונטים שנמשכו לנדיפית בפרקי הזמן שנבדקו.

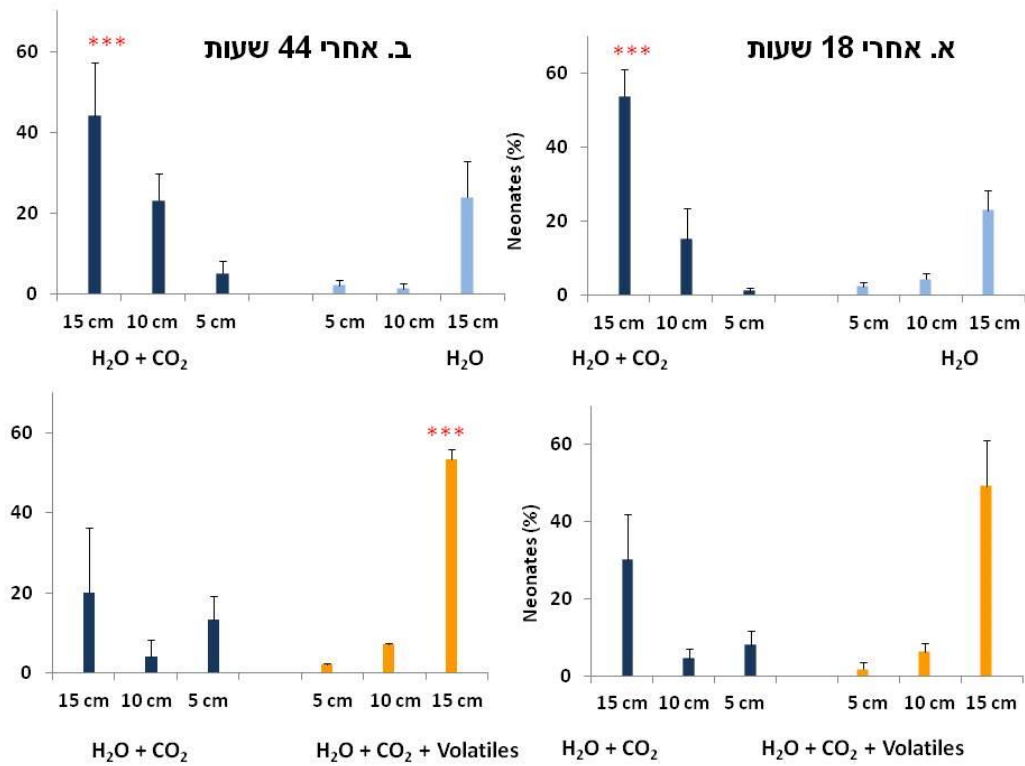
Compound	Quantity (µg)	Root mix 1	Root mix 2	Root mix 3	Root mix 4	Root mix 5	Root mix 6A	Root mix 6B: diluted 10 times
α-pinene	390	+	+	+	+	+	+	+
Camphene	480	+	+	+	+	+	+	+
Benzaldehyde	480	+	+	+	+	+	+	+
Camphor	140	-	+	+	+	+	+	+
β-pinene	110	-	-	+	+	+	+	+
Benzyl alcohol	50	-	-	-	+	+	+	+
β-myrcene	30	-	-	-	-	+	+	+
β-ocymene	20	-	-	-	-	-	+	+
% attracted to mix at								
10min		36%**	24%	26%	41%**	15%	12%!!	21%
30min		43%***	35%***	29%	39%	30%	18%	46%***

!!!- התערובת דחתה את הנאונטים.

χ^2 test - $p < 0.01$ **, $p < 0.001$ ***

1.4.3 תגובת הנאונטים למכלול האותות סינטטיים קרקע.

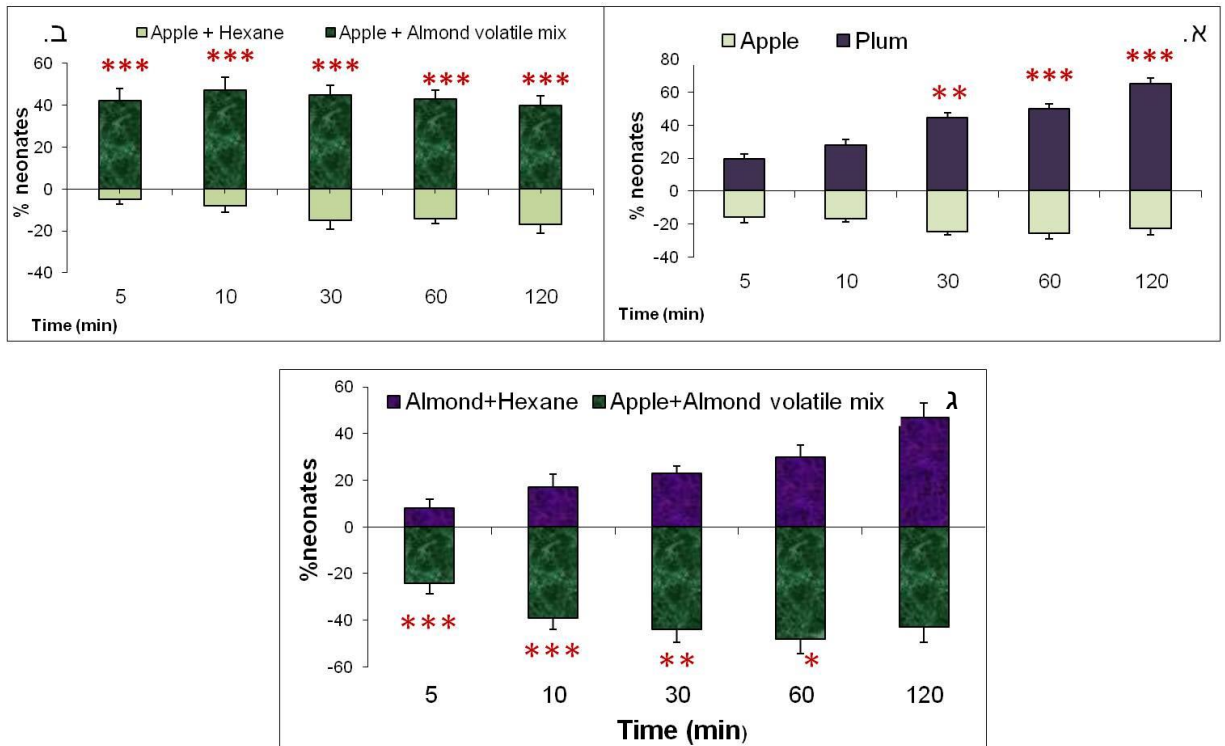
יכולת משיכת נאונטים של נדיפית המשלבת את תערובת נדיפי ענף מס' 8, שנמצאה עד כה כמושכת ביותר, מים ו- CO_2 נבחנה במערכת מודל עם תערובת קרקע באורך 15 ס"מ. הניסוי נעשה בשלוש חזרות של 30 נאונטים פעם למשך כ- 18 שעות ובפעם השנייה למשך כ- 44 שעות. במקרה זה כפיתיון בצד אחד היו: CO_2 , מים ותערובת נדיפי ענף לעומת מים ו- CO_2 ומהצד השני. כמקור לנדיפים שימש בקבוקון זכוכית 1.5 מ"ל עם צמר זכוכית מנוקה ו- 200µl תערובת 8 של נדיפי ענף ביחסים שווים לא מהולים. החומר שוחרר מהבקבוקון באמצעות קפילרה 2 µl כפי שתואר בעבודתם של (Von Meroy, 2011). כביקורת שימשה מערכת ניסוי ובה פיתיון של מים עם CO_2 כאשר מולו מוצג פיתיון של מים בלבד. באיור 11, ניתן לראות שלמרות המשיכה הברורה לכיוון CO_2 , הוספת נדיפי צמח ל- CO_2 ומים מגבירה את המשיכה באופן משמעותי לעומת CO_2 ומים בלבד.



איור 11. השפעת תוספת נדיפי ענף למים, פחמן דו על התנהגות הבחירה של הנאונטים במערכת צינורות זכוכית עם קרקע. א. בחירה אחרי 18 שעות. ב. ניסוי של 44 שעות.

שיבוש התנהגות הנאונטים.

אפשרות לשבש את הנהגות בחירת פונדקאי בחנו על במערכת של בחירה בין ענף תפוח חשבי לבין ענף שקד (677) (תמונה 12). לאחר קביעת העדפה מובהקת של ענף השקד על ידי הנאונטים בחנו את בחירת הנאונטים בין ענף תפוח בתוספת 10 מיקרוגרם נדיפי ענף שקד (תערובת המושכת מס' 8 לעומת ענף שקיבל ממס הקסן). כפי שניתן לראות באיור 12. הנדיפים גרמו להעדפת ענף מצמח שאיננו פונדקאי. כאשר השוונו בחירה של ענף תפוח מטופל בנדיפי ענף שקד, כבניסוי קודם, לעומת ענף שקד מטופל בממס הקסן העדפת הזחלים השתנתה במהלך הניסוי (איור 12ג). בשעה הראשונה התקבלה העדפה של ענף תפוח מטופל בנדיפים על פני הפונדקאי השקד. אך בתום שעה נוספת, הבחירה בשני הענפים הייתה דומה. ממצאי ניסוי זה מדגימים שבאמצעות נדיפי הפונדקאי שניתן לשבש את התנהגות הנאונטים.



איור 12: השפעת תוספת נדיפי ענף כנת שקד (677) על משיכת נאונטים לענף תפוח (חשבי). א. בחירת הנאונטים בין ענף שקד לתפוח. ב. בחירת נאונטים בין ענף תפוח בתוספת תערובת נדיפי ענף שקד לעומת תוספת ממס הקסן (כביקורת); ג. בחירת נאונטים בין ענף שקד לבין ענף תפוח בתוספת תערובת נדיפי שקד. הנתונים הם ממוצע ושגיאת תקן של 10 חזרות. *** מסמנים בחירה מובהקת של הנאונטים.

1.4.4. השפעת תערובת נדיפי פונדקאי על נמטודות תוקפות חרקים.

השפעת התערובת נדיפי ענף (תערובת 8) שהוכיחה את עצמה במשיכה ושיבוש הנאונטים נבדקה במינון של 2 מיקרוגרם על יכולת נמטודות בדרגה II (infected juvenile). להגיע ולקטול פונדקאי. בגלל מחסור בנאונטים של קפנודים השתמשנו בזחלי עש הדונג. הניסוי נערך כמקובל בגליל אנכי באורך 15 ס"מ שהכיל חול גס. הנמטודות הושמו בחלק העליון בעוד החומר הנבדק ספוג בפד דנטלי הוצב לצד הזחלים של עש הדונג. כביקורת שימשו זחלים בנוכחות ממס בלבד (הקסן) או פד לא מטופל. כעבור 24 שעות נבדקה שרידות הנמטודות, בהמשך נבדקה שרידות הזחלים והנוכחות של נמטודות בתוכן. מהמצאים עולה שתערובת הנדיפים (מספר 8) לא מפריעה לנמטודות להגיע אל הפונדקאי. אם משווים את מספר הנמטודות בהן התחלנו את הניסוי לאלה שהגיעו לאיזורים הקרובים לזחלים לא נמצא השפעה שלילית של הנדיפים. ללא טיפול הגיעו 4.8% מהנמטודות בעוד בנוכחות ההקסן הגיעו 9.9% מהנמטודות ובנוכחות תערובת הנדיפים הגיעו 12.5% מהנמטודות. לגבי קטילת הזחלים, ב-48 שעות מתחילת הניסוי, בקבוצה ללא טיפול נקטלו 55 זחלי עש הדונג (90%). בקבוצת עם ממס בלבד נקטלו 52 מהזחלים (95%). בקבוצת טיפול עם תערובת הנדיפים מתו כל זחלי עש הדונג. ממצאים אלו מראים באופן ברור שאין כל השפעה שלילית לנדיפים שנבדקו במינון זה. רצוי יהיה כמובן לבדוק את השפעת הנדיפים במערכת עם קפנודים ובמינונים האופטימאליים למשיכתו.

1.5 סיכום

כלל תוצאות המחקר מצביעות על כך שנאונטים של קפנודים האבל מגלים את הפונדקאי ממרחק ומכוונים את עצמם עליו. תהליך ההכוונה והזיהוי מתבסס על שילוב אותות ספציפיים מהפונדקאי עם אותות לא ספציפיים כגון CO₂ ומים. האות הספציפי מהפונדקאי

הוא ככל הנראה תערובת נדיפים ייחודית. סביר להניח שגם לאותות כימיים ואחרים מהצמח יש השפעה נוספת גם בטווח קצר כגון תכולת מטבוליטים לא נדיפים כגון תרכובות ציאנוגניים המאפיינים את צמחיה (11).

מה שעדיין לא ברור זה כיצד בדיוק מזהה הנאונט את הפונדקאי והאם מצאנו את התערובת האופטימאלית למשיכתו. מעניין מאד שהרכב אווירת השורש וענף (האיברים המושכים את הקפנודיס במידה שווה) שונים מאד בהרכבם וכך גם התערובת המושכות ביותר שהרכבנו מנדיפי הענף ומנדיפי השורש שונות לגמרי בהרכבן. משמעות התופעה לא ברורה עדיין. ממצא זה מלמד אולי על גמישות המערכת החישה של הקפנודיס. נוכחנו לדעת שהקפנודיס מבדיל היטב בין פונדקאים. לכן להבנת המשמעות הביולוגית של גמישות שכזאת חסר המידע לגבי מגוון ושונות האותות הכימיים של הפונדקאים של קפנודיס האבל, עצים בתת-משפחת Prunoideae. חשוב גם לקחת בחשבון שנדיפי הצמחים משתנים עם תנאי גידול, הזמן ומצב הפנולוגי של הצמח.

כך או כך, ניסויים במערכת מודל בקרקע הראו שאפשר למשוך את הנאונטים באמצעות שילוב של תערובת נדיפי פונדקאי, ומים מוגזים. הצלחנו להראות שעל ידי שימוש בנדיפי פונדקאי אפשר לשבש את הבחירה של הנאונטים ולמשוך אותם לעבר צמח שאיננו פונדקאי. לממצא זה חשיבות ברורה לפיתוח ממשק עתידי של הקפנודיס, הוא מצביע על כך שמערכת המשלבת את הגורמים שהתגלו תוכל לשמש את ממשק ההדברה של המזיק. נמטודות כפי הנראה אינן מושפעות מנדיפים המושכים את הקפנודיס ולכן שילובן אפשרי בגישת הדברה זו.

בכוונתנו להמשיך את המחקר ולהשלים את התמונה לגבי הפיתיון המשולב האופטימלי. כל זאת במטרה לבחון נדיפית בעלת הרכב מינימאלי (כלכלי), המושכת נאונטים ממרחק של לפחות כמה עשרות ס"מ.

סיכום עם שאלות מנחות

<p>מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.</p>
<p>1. המשך לימוד התנהגות החיפוש של הנאונטים. לימוד יכולת החישה והשוואת משיכה של נאונטים של קפנודים לנדיפים שמקורם בכנות גלעיניים.</p>
<p>2. זיהוי מבין מרכיבי נדיפי הענף והשורש מרכיבים בעלי השפעה מירבית על הנאונטים, תוך איתור תערובות מושכות.</p>
<p>3. זיהוי מרכיבים נוספים המושכים את הנאונטים.</p>
<p>4. פיתוח מערכת מודל ללימוד התנהגות משיכת הנאונטים בקרקע.</p>
<p>5. בחינת אפשרות ניצול נדיפים לשיבוש התנהגות בחירת פונדקאי.</p>
<p>6. בחינת השפעת הנדיפים המושכים את הנאונטים על התנהגות הנמטודות אנטומופאטוגניות.</p>
<p>עיקרי הניסויים והתוצאות.</p>
<p>1. בסריקת 5 כנות נמצא שהשורש מריאנה הוא מושך ביותר, מבין הענפים, המושכים ביותר הן כנת שקד (677) והנסן.</p>
<p>2. הנאונטים אינם יכולים לנוע בחול, אך שורדים ונעים היטב בתערובת קרקע.</p>
<p>3. בבדיקה באלקטרואנטנוגרם מחושי הנאונטים של קפנודים האבל מראים תגובה תלוית ריכוז למגוון נדיפי הפונדקאי וגם לחומר שאינו מצוי מבין נדיפי הפונדקאי.</p>
<p>4. הנאונטים נמשכים היטב לשילוב של מים ו-CO₂.</p>
<p>5. הנאונטים נמשכים בקרקע לתערובת נדיפי פונדקאי בתוספת לחות ו-CO₂.</p>
<p>6. הוכחנו שניתן לשבש את משיכת הנאונטים, ולמשוך אותו לצמח שאינו פונדקאי על ידי הוספת נדיפי הפונדקאי עליו.</p>
<p>מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?</p>
<p>רוב מטרות הדוח הושגו.</p>
<p>בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן.</p>
<p>מורכבות המערכת מנעה מאיתנו להביא את ממצאינו לשלב המעשי לפיתוח מערכת "משוך וקטול" יהיה צורך להמשיך ולעבוד בכיוון זה בעתיד.</p>
<p>נחוץ להעמיק בכוון בניית ההרכב פוטנטי יותר של נדיפית שיאפשר לבחון את שיחרור האופטימלי של מרכיבי הפיתיון ולבחון את השפעת כלל החומרים על אמצעי הקטילה (הנמטודות)</p>
<p>הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח</p>
<p>תוצאות דוחו:</p>
<p>1. בכנס החברה ישראלית לאקולוגיה ומדעי הסביבה 2011, שנערך במועצה איזורית חבל מגידו. כותרת ההרצאה: "מה מנחה את הנאונטים של קפנודים אל צמח הפונדקאי?"</p>
<p>2. בכנס החברה ישראלית לאנטומוולוגיה 2012 שנערך בפקולטה לחקלאות באוקטובר 2012. כותרת ההרצאה: הפן הכימו-אקולוגי של איתור הפונדקאי ע"י זחלי הקפנודים".</p>
<p>פרסום הדוח: אני ממליצה בשלב זה לא לפרסמו</p>
<p>חסוי – לא לפרסם עד לפרסומם במאמר מדעי. שנמצא בשלבי ההכנה.</p>

1. סורוקר, ו., זדא ע. אנשליביץ ל, מגדל צ, עשאל, פ.ת לבסקי ש., דרגושיץ ד, (2008) בידוד וזיהוי חומרים המעורבים במשיכה ובחירה של שורש הצמח הפונדקאי ע"י זחלי קפנודים האבל וקפנודים השקדים. דוח מסכם תוכנית מדען 131-3355.
2. סורוקר, ו., זדא ע. אנשליביץ ל, מגדל צ, עשאל, פ.ת לבסקי ש., דרגושיץ ד, (2009) בידוד וזיהוי חומרים המעורבים במשיכה ובחירה של שורש הצמח הפונדקאי ע"י זחלי קפנודים האבל וקפנודים השקדים דוח שנה ראשונה
3. בידוד וזיהוי חומרים המעורבים במשיכה ובחירה של שורש הצמח הפונדקאי ע"י זחלי קפנודים האבל וקפנודים השקדים דוח שנה שנייה.
4. Alagarmalai, J., Nestel, D., Dragushich, D., Nemny-Lavy, E., Anshelevich L., Zada, A. and Soroker V. (2009). Identification of host attractants for the Ethiopian fruit fly, *Dacus ciliatus* Loew (Diptera: Tephritidae). J. Chem. Ecol. 35: 542-551.
5. Brown, V.K. and A. C. Ganger (1990). Insect herbivory below ground. Advances in Ecological Reserch.20:1-58.
6. Bruce, T.J.A. and J. A. Pickett (2011). Perception of plant volatile blend by herbivorous insects – Finding the right mix. Phytochemistry. 72: 1605-1611.
7. Johnson S. N. and Gregory P. J. (2006) Chemically-mediated host-plant location and selection by root-feeding insects. Physiological Entomology 31:1-13.
8. Hiltpolt, I. and Turlings C.J. (2008) Belowground chemical signaling in maize: when simplicity rhymes with efficiency. J. Chem. Ecol. 34: 628-635.
9. Hunter, M. D. (2001). Out of sight, out of mind: the impacts of root-feeding insects in natural and managed systems. Agricultural and Forest Entomology. 3: 3-9.
10. Marrannino P. and de Lillo E. (2007) *Capnodis tenebrionis* (L. 1758) (Coleoptera: Buprestidae): Morphology and behaviour of the neonate larvae, and soil humidity effects on the egg eclosion. Ann. Soc. Entomol. Fr. (ns) 43:145-154.
11. Mendel, Z., Assael, F. and Ben-Yehuda, S. (2003). Host selection and root colonization by two stone-fruit tree borers (Coleoptera: Buprestidae) and their relation to level of cyanogenic compounds. Ann. J. Entomol. 96:127-134.
12. Rivnay, E. 1945. Physiological and ecological studies on the species of *Capnodis*, in Palestaine (Col., Buprestidae). Bull. Ent. Res. 36:103-119.
13. Schoonhoven LM, Jermy T, Van loon J.A.A. (1998). Insect-plant biology. From physiology to evolution. Chapman and Hall. London. Pp 383.
14. Von Merey, G., Veyrat N., Mahuku G., Valdez R.L., Turlings, T.C.J., D'Alessandro, M. (2011). Dispensing synthetic green leaf volatiles in maize fields increases the release of sesquiterpenes by the

plants, but has little effect on the attraction of pest and beneficial insects. *Phytochemistry* 72: 1838-1847.