

אפיון רגישות זני גזר שונים לפסילת הגזר ולמחלת הצהבון לשיפור התמודדות עם מחלת הצהבון בגזר

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

ד"ר מוופק אבדאח: המחלקה למדעי הצמח. mwafaq@volcani.agri.gov.il

ד"ר ליאורה שאלתיאל-הרפז: מו"פ צפון/מיגל. liora@migal.org.il

ד"ר אופיר בהר: המחלקה למחלות צמחים וחקר עשבים. ofirb@volcani.agri.gov.il

שאול גרף: מו"פ צפון. shaoulgraph@gmail.com

אפריל 2022

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: כן

חתימת החוקר



תוכן עניינים

מס' עמוד	כותרת
1	פרטי המחקר
2	תקציר
4	מבוא
5	תוצאות עיקריות
9	דיון
11	רשימת ספרות מצוטטת

תקציר

הצגת הבעיה - פסילת הגזר היא מזיק ספציפי הגורם לנזק בגזר. הפסילה מקיימת בשדה הגזר כמה דורות בשנה במהלך הגידול. עיקר נזקיה נובע מהיותה הווקטור של גורם מחלת הצהבון בגזר. כתוצאה מכך, נפגעת רמת היבול המשווק ואיכותו באותה עונה, ואם אין טיפול מתאים - נפגעות חלקות נוספות באזור בעונות העוקבות. בשנים האחרונות מתרבות התפרצויות פסילת הגזר בישראל. בשל היותה וקטור של צהבון הגזר, החקלאים מרבים לרסס כנגדה, ומתגלים קשיים רבים בהדברתה. זאת מכיוון שהיא מפתחת עמידות לקבוצות שונות של תכשירי הדברה. בנוסף, בגלל תכשירי ההדברה נגרמים נזקים לסביבה כמו פגיעה בדבורים. כיוון שכך יש צורך לבדוק שיטות נוספות לבקרת אוכלוסיית הפסילה, כמקובל במסגרת הגישה המשולבת לבקרת מזיקים (IPM), כגון זנים עמידים לפסילה או למחלה ו/או מציאת חומרים שיגרמו לדחיתה מהצמחים או חומרים מושכים שיאפשרו את השימוש במלכודות ללכידת יתר או פיתוח זנים עמידים. **לפיכך יעד המחקר** - לזהות זני גזר העמידים לפסילה ולגורם מחלת הצהבון, כמקור עתידי לזנים חלופיים לזנים הרגישים וכמקור גנים לעמידות למחלה וגם כמקור לחומרי דחיה או קטילה טבעיים של פסילת הגזר. **ומטרות המחקר הן** : א.איפיון רגישות זני גזר שונים לפסילת הגזר. ב. איפיון רגישות זני גזר שונים למחלת הצהבון. ג. זיהוי חומרים טבעיים הגורמים לדחיה או קטילה של פסילת הגזר שמקורם, בזני גזר שונים.

שיטות עבודה

בשנת המחקר הראשונה :

1. גידול במעבדה של צמחי גזר מהזנים השונים : 9 זני גזר צבעוניים ו- 5 מינים גזר בר : גזר מצוי (*Daucus bortei* Ten), גזר קיפח (*Daucus carota* L.), גזר החוף, (*Daucus glaber* (Forssk.) Thell) וגזר זהוב (*Daucus aureus* Desf).
2. גדול מעבדתי של פסילות הגזר הנושאות את מחלת הצהבון.
3. קביעת רמת ההעדפה של פסילת הגזר לזני הגזר השונים בניסויי בחירה וללא בחירה.
4. קביעת רמת ההתפתחות של הפסילה על הזנים השונים.
5. בדיקת את פרופיל הנדיפים המשוחרר מהעלים של כל הזנים בעזרת GC-MS.
6. בחינת מידת רגישות זני הגזר השונים למחלת הצהבון.

בשנת המחקר השניה :

1. גידול בבת רשת צמחי גזר Nairobi ושלושה זני גזר בר 21793, 20497, ו- 20465 (זנים אילו התגלו **כבעלי ערכים קיצוניים בניסוי הראשון, כלומר שני הזנים שהייתה עליהם הכי פחות הזנה ו/או הטלה בהשוואה לזן המסחרי Nairobi**).
2. גדול מעבדתי של פסילות הגזר הנושאות את מחלת הצהבון.
3. זיהוי החומרים המעורבים בעמידות בזנים העמידים.
4. בדיקת השפעת החומרים המעורבים בעמידות לפסילת הגזר בניסוי מעבדה.

בשנת המחקר השלישית :

לצורך בדיקת הדברה של הפסילה בתנאי שדה באמצעות ריסוס החומר הטבעי המיטבי שמצאנו בגזר מזן הבר העמיד ביצענו ניסוי בחלקת גזר מסחרית מהזן ניירובי ובדקנו 4 טיפולים :

א. ריסוס החומר הטבעי Sabinene בריכוז שזיהינו בצמח ביחד עם הממס (Gum Arabica) + הליוגופרית כנגד הקימחון, ב. ביקורת של הממס בלבד (Gum Arabica) + הליוגופרית כנגד הקימחון, ג. הטיפול המסחרי שכלל טלסטאר (Bifenthrin) כנגד הפסילות והליוגופרית כנגד הקימחון וד. הליוגופרית בלבד.

במשך כל תקופת המחקר, אחת לשבועיים דגמנו את אוכלוסיית הפסילות הבוגרות בכל חלקה בעזרת רשת הנפה ובנוסף דגמנו 5 צמחים מכל חלקת טיפול לנוכחות ביצי פסילות ונימפות. בסוף הגידול אספנו 2 מטר ערוגה מכל חזרה, שקלנו את היבול וביצענו הערכת נגיעות (אחוז וחומרה) בצהבון הגזר על ידי הערכת סימפטומים באופן ויזואלי.

תוצאות עיקריות:

בשנת המחקר הראשונה

1. נמצאו הבדלים ברורים ברמת ההעדפה של פסילת הגזר לזני הגזר השונים.
2. נמצאו הבדלים מובהקים ברמת ההתפתחות של הפסילות על זני הגזר השונים.
3. לא נמצאו הבדלים ברמת רגישות זני הגזר למחלת הצהבון.
4. ייצרנו פרופילים מטבולומיים מפורטים לחומרים נדיפים מהעלים של זנים שונים של גזר תוך שימוש בשיטת ה-SPME-GC-MS.

בשנת המחקר השנייה

1. לא נמצאו הבדלים ברמת רגישות זני הגזר למחלת הצהבון.
2. ייצרנו פרופילים מטבולומיים מפורטים לחומרים נדיפים מהעלים של זנים שונים של גזר Nairobi ושלושה זני גזר בר 21793, 20497 ו-20465 תוך שימוש בשיטת ה-SPME-GC-MS וזיהינו שמספר חומרים נדיפים מופרשים ביתר לאחר אילוח בפסילות (infested with psylla).
3. בתנאי מעבדה, בבדיקת השפעת החומרים apinol, myristicin, sabinene ו- α -asarone בריכוז שנמצא בצמח, מצאנו שהם פגעו בהשרדותן של הנימפות וכן בהטלת הביצים.

בשנת המחקר השלישית

כאשר בדקנו בשדה מסחרי של גזר בעמק החולה, את השפעת ריסוס החומר sabinene במינון השווה למינון שנמצא בצמח, בהשוואה לטיפול המסחרי כנגד פסילה (טלסטאר) נמצא ש-sabinene פגע בהשרדותן של הבוגרים בדומה לתכשיר המסחרי או אף באופן עדיף עליו. לא נמצאה פגיעה בביצי הפסילה אך ניכרה מגמת פגיעה בנימפות שלא היתה שונה במובהק מהתכשיר המסחרי.

מסקנות ודיון:

פסילת הגזר הראתה העדפה לזן הבר 21793 בניסויי בחירה. בניסויים ללא בחירה לא נמצאו הבדלים מובהקים ברמת העדפה ולא נמצאו הבדלים בבחינת מידת ההתפתחות של הפסילות על הזנים השונים. מתוצאות של אנליזה לחומרים שהופקו מהעלים נמצאו מספר חומרים החשודים כמעורבים במשיכה של פסלת הגזר, להלן: המונוטרפן sabinene והפנול פרופאנויד elemicin. בנוסף נמצא שחומרים אלו עולים בצמחי גזר שאולחו בפסילות- כנראה כתגובה של הגזר וכנראה גם הם מעורבים במשיכת פסילת הגזר.

פסילת הגזר הראתה העדפה לזני הבר 21793 ו-20497 בניסויי בחירה. בניסויים ללא בחירה לא נמצאו הבדלים מובהקים ברמת העדפה אך נמצאו הבדלים מובהקים במידת ההתפתחות של הפסילות על הזנים השונים, כאשר שיעור ההשרדות הגבוה ביותר נמצא בזן המסחרי הכתום ושיעור ההשרדות הנמוך ביותר בזן 21793. תוצאות אלו מפתיעות בהשוואה לניסויי הבחירה מכיוון שבהם עולה שדווקא שני הזנים המועדפים ע"י הפסילות 21793 ו-20497 והם אלו שההשרדות הפסילות עליהם היא הנמוכה ביותר. יתכן שתוצאות אלו שמצביעות על אפשרות להשתמש בצמחים אלו כצמחי מלכודת שהפסילות תעדפנה אותם ע"פ הזן המסחרי אך ההשרדות שלהם עליהן תהיה הנמוכה ביותר כאשר אולי עלינו על צמחים שהם מהסוג של dead end trap. מתוצאות בדיקת השפעת החומרים apinol, myristicin, sabinene ו- α -asarone בתנאי מעבדה בריכוז שנמצא בצמח, מצאנו שהם פגעו בהשרדותן של נימפות וכן על הטלת הביצים. מתוצאות בדיקת השפעת החומר sabinene בתנאי שדה בריכוז שנמצא בצמח, מצאנו שהוא פוגע בהשרדות הבוגרים בדומה לחומר המסחרי המקובל טלסטאר ויכול אולי, להוות בסיס לפיתוח תכשיר הדברה ממקור טבעי להדברת בוגרים של פסילת הגזר.

מבוא

ענף הגזר הוא אחד הענפים הרווחיים והחשובים בישראל ובעולם. היקף הייצור העולמי של גזר היה יותר מ 38 מיליון טון בשנת 2014 (<http://faostat.fao.org>). בישראל גידול הגזר הגיע ל כ-40000 דונם עם יבול של

יותר מ 300 אלף טון לשנת (נתוני FAOSTAT 2014). בשנים האחרונות עולה הביקוש בישראל וכן הביקוש המקומי והעולמי לגזר לרמה גבוהה, שבה הייצור העולמי אינו מדביק את הביקוש. כתוצאה מכך מחיר הגזר בארץ ובעולם עולה בהתמדה ואינו צפוי לרדת בעשור הקרוב. הביקוש הרב אינו רק לצריכת השורש למאכל אלא גם למוצרים השונים שמפיקים ממנו, למשל חומרים בריאותיים כדוגמת קרטנואידים ומעכבי חימצון כגון אנטוציאנינים הנוצרים בגזרים צבעוניים שונים ומהווים בנוסף מקור לאשלגן ולויטמינים שונים. כתוצאה מכך סביב גידול הגזר מתפתחת תעשייה נרחבת של הגזר ומוצריו. לפיכך, צפוי שענף הגזר בעולם ילך ויתרחב תוך שימת דגש על מוצר בעל ערך בריאותי גבוה ונטול רעלים. אחד החסמים בגידול הגזר ובעיקר בניסיון להגיע לגידול מופחת רעלים היא פסילת הגזר המהווה מזיק מפתח בגידול.

פסילת הגזר - ישנם מספר מינים של פסילות (Hemiptera: Psyllidae) הניזונות מגזר בעולם *Trioza apicalis* Foerster בצפון אירופה והמינים *Bactericera trigonica* (Hodkinson) ו- *Bactericera nigricornis* (Foerster). באיזור הים התיכון. (Nehlin et al., 1996; Nissinen et al., 2005; Seljåsen et al., 2013; Nissinen et al., 2012). הינה המין הנפוץ בארץ והיא ניזונה באופן בלעדי ממינים של סוככים. עיקר נזקה לגזר נובע מהיותה הוקטור של גורם מחלת הצהבון בגזר, העלולה לגרום נזקים קשים ליבול ולפסילתו. (Seljåsen et al., 2013) הפסילה מקיימת בשדה הגזר כמה דורות בשנה במהלך הגידול. כך, נפגעת רמת היבול המשוק באותה עונה ואם אין טיפול מתאים נפגעות חלקות נוספות באיזור בעונות העוקבות. הביולוגיה של מזיק זה נלמדה בארץ ובעולם ביסודיות (Nehlin et al., 1996; Seljåsen et al., 2013; Gera et al., 2011; Nissinen et al., 2012). והיא מוכרת כמזיק ספציפי לגזר, גם במדינות נוספות באגן הים התיכון ואירופה. (Seljåsen et al., 2013) בשנים האחרונות מתרבות התפרצויות פסילת הגזר בישראל בפרט ובמזרח התיכון בכלל. בשל היותה וקטור של צהבון הגזר **החקלאים מרביתם לרסס כנגדה וברחבי הארץ יש המרססים גם 20 פעמים בעונה (500/ריסוס/דונם)**, ועם זאת מתגלים קשיים רבים בהדברתה כיוון, שהיא מפתחת עמידות לקבוצות שונות של תכשירי הדברה. (Pree et al., 1990) במקביל הולכת וגוברת המודעות למחירם האקולוגי והכלכלי הכבד של השימוש בתכשירים אלו. כיוון שכך יש צורך לבדוק שיטות נוספות לבקרת אוכלוסיית הפסילה, כמקובל במסגרת הגישה המשולבת לבקרת מזיקים (IPM), כגון זנים עמידים לפסילה או למחלה ו/או מציאת חומרים שיגרמו לדחיתה מהצמחים או חומרים מושכים שיאפשרו את השימוש במלכודות ללכידת יתר או פיתוח זנים עמידים. למרות חשיבותה הרבה של פסילה זו כמזיק לגזר בארץ ובארצות נוספות, נכון להיום הידע על גורמי המשיכה או הדחייה שלה לגזר מועט מאוד ולא ידוע האם קיימים הבדלים במידת המשיכה והרגישות של זני גזר שונים לפסילה.

ידוע לנו שיכולות להיות אפשרויות שונות להבדלים במידת המשיכה והרגישות של זני גזר שונים לפסילות הנובעים מיצירת מגוון רחב של חומרים נדיפים ולא נדיפים. (Nehlin et al., 1996; Nissinen et al., 2005) למשל Seljåsen וחבריו (Seljåsen et al., 2013) מצאו עליה ביצירת חומרים בגזר אחרי תקיפת פסילת הגזר ששייכים לטרפנים כולל מרכבים נדיפים ארומטים.

ישנם חומרים ארומטים רבים הידועים בספרות כחומרים הגורמים לדחייה או משיכה של חרקים. (De Moraes et al., 2001; Dudareva et al., 2004; War et al., 2011; McCormick et al., 2012; Seljåsen et al., 2013) נדיפים שונים (מונוטרפנים וססקוויטרפנים) הראו פעילות הגנה של צמחים כנגד חרקים צמחוניים. בטבק למשל מצאו כי חומרים השייכים לססקוויטרפנים α -humulene ו- E - β -caryophyllene, דחו את העש המזיק *Heliothis virescens*. (De Moraes et al., 2001) (E,E) - α -Farnesin הגן על צמחי מלפפון *Cucumis sativus* מפני אקרית הקורים *Tetranychus urticae*. (Mercke et al., 2004) (E) - β -Ocimene מ-*Lotus japonicas* שהגן על קיטנית מפני אקרית הקורים, (Arimura et al., 2004) ו- (E) - β -caryophyllene שהגן על התירס (*Zea mays*) מפני עש הליפגמה *Spodoptera exigua* Hübner. (Degen et al., 2004) ישנם גם חומרים ארומטים נדיפים הגורמים לדחיה של חרקים מהצמחים כגון methylsalicylic acid שגרם לדחיית העש, *Mamestra brassicae* הגורם לנזק בכרוב, (De Boer et al., 2004) אבל גם למשיכת אויביו הטבעיים כגון הארי נמל *Chrysopa nigricornis*. (James, 2003) הנדיפים הללו יכולים להגן על הצמח כהגנה ישירה המופנית כנגד תוקפי הצמח, (Dicke et al., 2000) או בהגנה עקיפה בה הצמח מעודד אויבים טבעיים כנגד ההריבוורים הניזונים ממנו. (De Moraes et al., 2001; Vancanneyt et al., 2001)

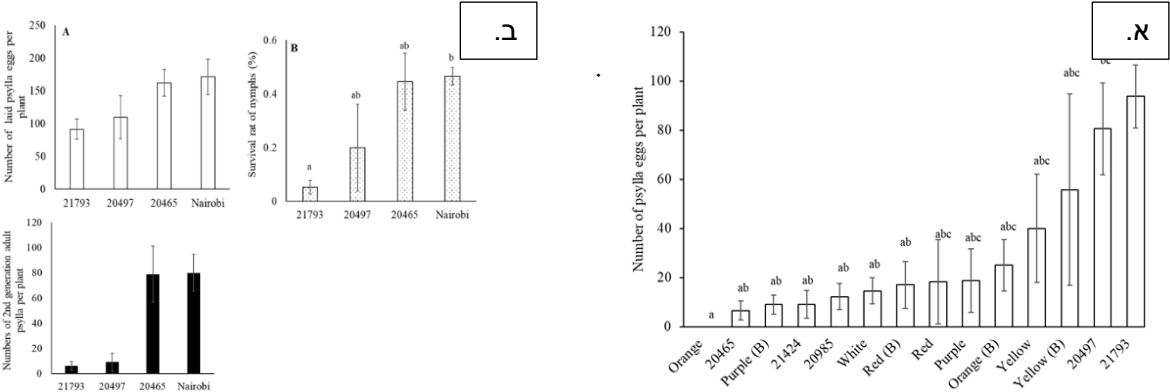
לפיכך יעד המחקר- לזהות זני גזר העמידים לפסילה ולגורם מחלת הצהבון, כמקור עתידי לזנים חלופיים לזנים הרגישים וכמקור גנים לעמידות למחלה וגם כמקור לחומרי דחיה או קטילה טבעיים של פסילת הגזר. **מטרות המחקר להשגת יעד זה הן :**

- א. איפיון רגישות זני גזר שונים לפסילת הגזר.
- ב. איפיון רגישות זני גזר שונים למחלת הצהבון.
- ג. זיהוי חומרים טבעיים הגורמים לדחיה או קטילה של פסילת הגזר שמקורם, בזני גזר שונים.

עיקרי הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו לתקופת כל המחקר
בשנת המחקר הראשונה

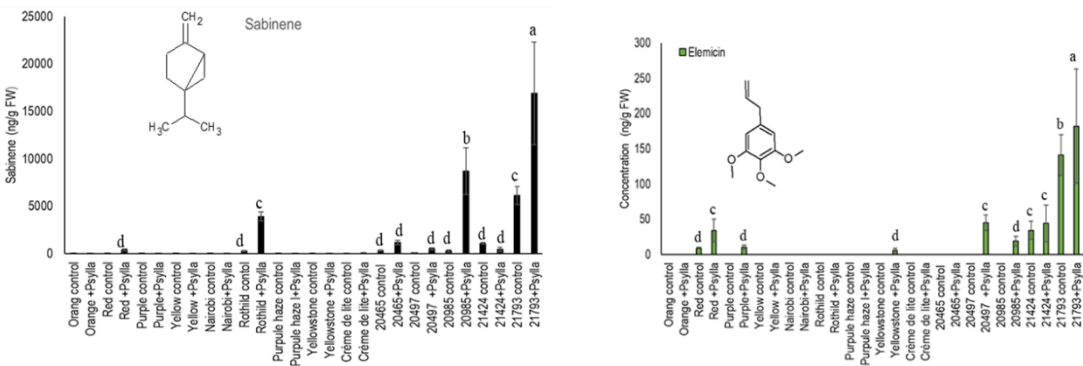
בניסוי בחירה בבית הרשת בנווה יער נמצאו הבדלים ברורים ברמת ההעדפה של פסילת הגזר לזני הגזר השונים כאשר הזן המסחרי הכתום הנפוץ ביותר- נירובי (orange) נמצא כזן הכי פחות מועדף על הפסילה- לא היתה עליו כלל הטלה בעוד שזן הבר 21793 היה המועדף ביותר. בניסויי הטלה ללא בחירה לא נמצאו הבדלים בין הזנים (איור 1 א. 1).

בניסוי ללא בחירה נמצאו הבדלים מובהקים בשיעור ההישרדות של הפסילות על זני הגזר השונים. כאשר שיעור ההישרדות הגבוה ביותר נמצא בזן המסחרי הכתום בו כ-50% מהביצים בקעו והתפתחו והגיעו לדרגת בוגר ושיעור ההישרדות הנמוך ביותר בזן 21793 בו שיעור ההישרדות עמד על פחות מ 1% ולא נמצאו הבדלים ברמת רגישות זני הגזר למחלת הצהבון (איור 1 ב. 1).



איור 1 - מספר ביצי הפסילה הממוצע שהוטלו בכל זן בניסוי בחירה (א); הטלה הישרדות והתפתחות הפסילות על 4 זני גזר בניסוי ללא בחירה (ב).

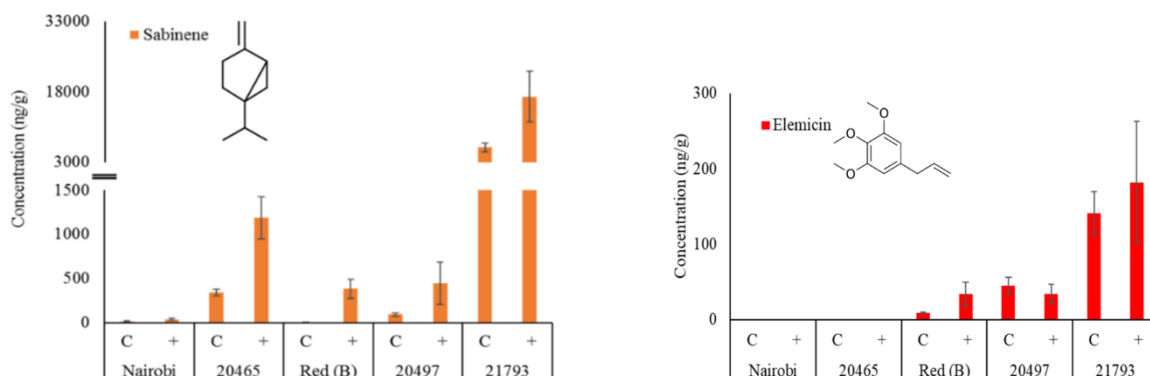
ביצרת פרופילים מטבולומיים מפורטים לחומרים נדיפים מהעלים של זנים שונים של גזר תוך שימוש בשיטת ה SPME-GC-MS זיהו שמספר חומרים נדיפים מופרשים ביותר לאחר הם מאולחים בפסילות (איור 2).



איור 2: ריכוז sabinene ו-elemicin בעלים של זני גזר צבעונים שונים וגזר בר לפני ואחרי האילוח עם פסילת הגזר

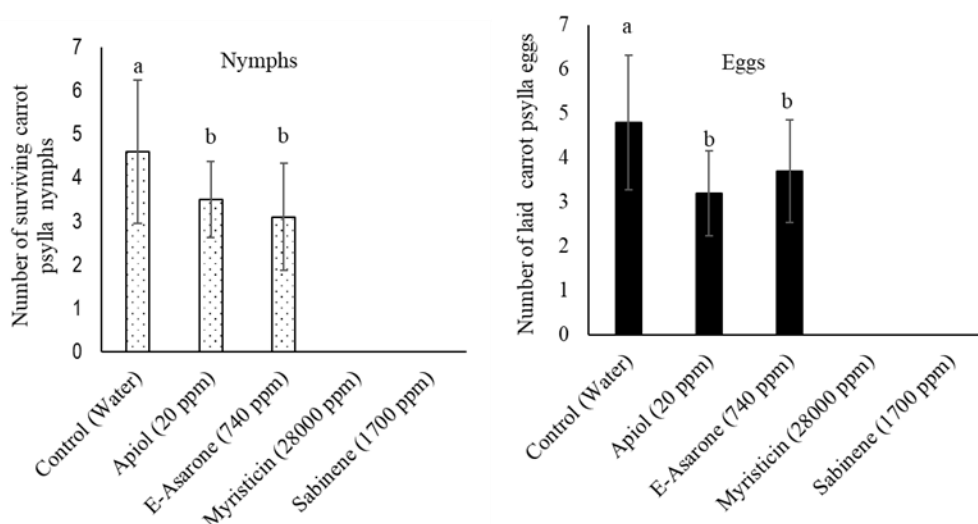
בשנת המחקר השנייה

עסקנו ביצרת פרופילים מטבולומיים מפורטים לחומרים נדיפים מהעלים של זנים שונים של גזר Nairobi ושלושה זני גזר בר 20497, 21793 ו- 20465 תוך שימוש בשיטת ה SPME-GC-MS וזיהינו שמספר חומרים נדיפים מופרשים ביתר לאחר האילוח בפסילות (איור 3).



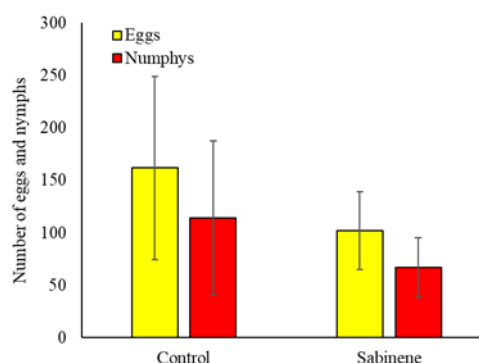
איור 3 : עליה בריכוז החומרים הנדיפים sabinene ו- elemicin לאחר האילוח עם הפסילה

כאשר בדקנו בתנאי מעבדה את השפעת החומרים apiol, E-asarone, myristicin, sabinene במינון השווה למינון שנמצא בצמח, על פסילת הגזר נימצא ש- myristicin ו sabinene פגעו באופן משמעותי בהטלת הביצים ובהשרדותן של נימפות ובוגרות (איור 4).



איור 4. ממוצע סה"כ ביצים, ונימפות לפסילת הגזר לאחר שבועיים בטיפול החומרים, apiol, E-asarone, myristicin, sabinene במערכת סגורה לבחינת נדיפים.

כאשר בדקנו את השפעת ריכוז החומר sabinene , (במינון ששווה למינון שנמצא בצמח) בניסוי עציצים שנערך בבית רשת על פסילת הגזר נימצא ש- sabinene פגע בהטלת ביצים ובהשרדותן של הנימפות (איור 5).



איור 5. ממוצע סה"כ ביצים, ונימפות לפסילת הגזר לאחר שבועיים בריכוז ב sabinene בבית רשת.

בשנת המחקר השלישית

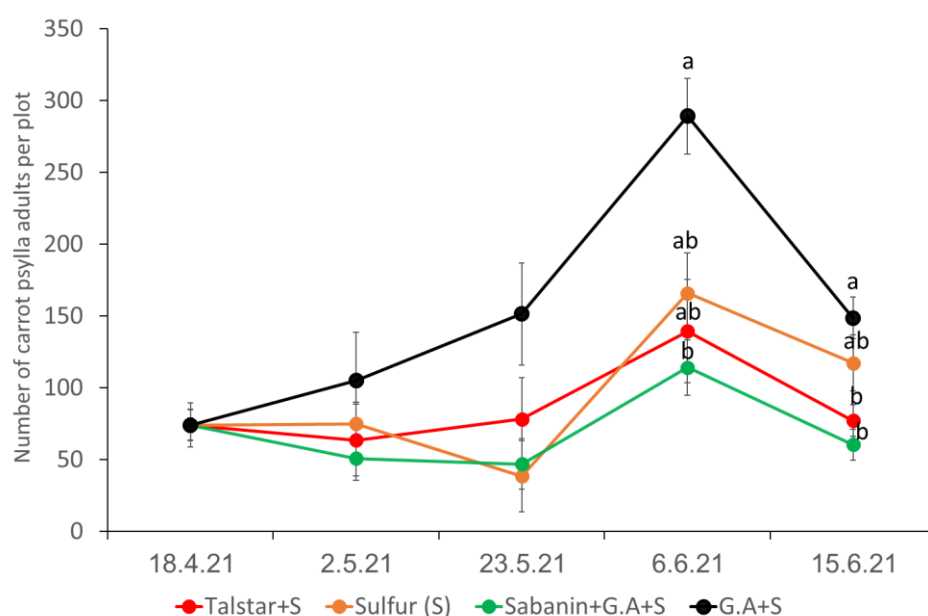
ביצענו ניסוי בחלקת גזר מסחרית מהזן ניירובי, בסמוך לתחנת המחקר בחוות המטעים בעמק החולה, לצורך בדיקת הדברה של הפסילה בתנאי שדה באמצעות ריסוס החומר הטבעי המיטבי sabinene שמצאנו בגזר מזן הבר העמיד בסיכום עם המגדל, שטח של כ-5 דונם מהחלקה המסחרית הוקצה למחקר ולא רוסס בטיפולים המסחריים. רצועת חייץ של כ-100 מ' הושארה בין החלק המסחרי לחלקת הניסוי, שפוצלה לחלקות טיפול בגודל של 20 מ"ר כל חלקת טיפול ובהן בדקנו 4 טיפולים: ריסוס החומר הטבעי Sabinene בריכוז שזיהינו בצמח ביחד עם הממס (Gum Arabica) + הליוגופרית כנגד הקימחון, **ב**. ביקורת של הממס בלבד (Gum Arabica) + הליוגופרית כנגד הקימחון, **ג**. הטיפול המסחרי שכלל טלסטאר (Bifenthrin) כנגד הפסילות והליוגופרית כנגד הקימחון **ד**. וביקורת של הליוגופרית בלבד. בין חלקות הטיפול היה מרחק של 5 מ' (מרווח של 10 מ"ר). הניסוי הוצב במערך של בלוקים באקראי עם 4 חזרות לכל טיפול. החומרים רוססו בהתאם להנחיית המדריך המלווה בתדירות המתאימה לתכשיר המסחרי (אחת ל-10 ימים). טיפול בהליוגופרית (200 סמ"ק לדונם נגד מחלות ניתן על השטח של כל חלקות הניסוי בהתאם להנחיות המדריך. בדיקת הבוגרים נערכה בעזרת רשת חרקים שהונפה בהליכה איטית לאורך כל חלקת ניסוי. תכולת הרשת נאספה לשקית ונלקחה למעבדה שם נספרו מספר הבוגרים בכל חלקת ניסוי. בנוסף דגמנו 5 צמחים מכל חלקת ניסוי ובמעבדה עליהם נבחנו לנוכחות ביצי פסילות ונימפות. בסוף הגידול אספנו 2 מטר ערוגה מכל חזרה, שקלנו את היבול וביצענו הערכת נגיעות (אחוז וחומרה) בצהבון הגזר על ידי הערכת סימפטומים באופן ויזואלי.

ניתוח הנתונים:

התוצאות נותחו בעזרת מבחני ANOVA להשוואת רמת הנגיעות של המזיק בין הטיפולים במועדי הדיגום השונים. מאחר והסתבר שרמת הבוגרים בספירת ה-0 היתה במיקרה שונה באופן מובהק בין הטיפולים ערכנו תיקנון לנתונים בו כפלנו את נתוני ספירות הבוגרים במקדם, שחושב כיחס בין נתוני הדגימה הגבוהה ביותר בספירת ה-0 באותו בלוק לדגימה בחלקת הדגימה. הנתונים עברו טרנספורמציה שורש ריבועי לפני הניתוח הסטטיסטי ונתוני הנגיעות בקטף עברו טרנספורמצית arcsin. המבחנים נערכו בעזרת תוכנת SAS inst. JMP® 13.0.0 2016.

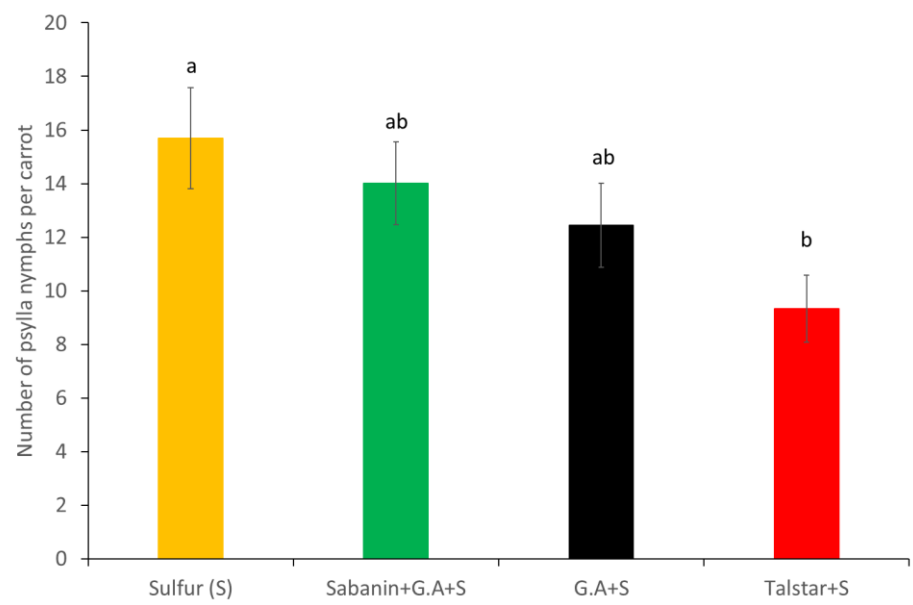
תוצאות

כאשר בדקנו בשדה מסחרי של גזר בעמק החולה, את השפעת ריסוס החומר Sabinene במינון השווה למינון שנמצא בצמח בהשוואה לטיפול המסחרי כנגד פסילה (טלסטאר) וטיפול מסחרי כנגד קימחון (הליוגופרית) על פסילת הגזר נמצא ש-Sabinene פגע בהישרדותם של הבוגרים כמו תכשיר ההדברה המסחרי ופחות באופן מובהק מהביקורת (**איור 6**).



איור 6- סה"כ בוגרי פסילת הגזר (ממוצע $\pm$ שגיאת תקן) כל שבועיים מתחילת הניסוי בטיפולים השונים: ריסוס ב Sabinene שהומס בממס Gum Arabica (G.A) בהשוואה לביקורת של הממס בלבד ולטיפול המסחרי Talstar וגופרית (S) בשדה מסחרי של גזר. נקודות באותו מועד עם אותיות שונות מעליהן נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $p < 0.05$ ע"פ מבחן Tukey HSD.

גם בנוכחות הנימפות על עלי הגזר שדגמנו מצאנו הבדלים מובהקים בין הטיפולים ($F_{3,57}=2.76, p=0.049$) כאשר הטיפול המסחרי הוביל לאוכלוסיית הנימפות הנמוכה ביותר אך הטיפול ב Sabanin לא ניבדל ממנו באופן מובהק (איור 7). לעומת זאת לא נמצאו הבדלים מובהקים במספר ביצי הפסילות בין הטיפולים השונים ($F_{3,57}=0.63, p=0.59$).



איור 7- סה"כ נימפות פסילת הגזר (ממוצע± שגיאת תקן) שנמצאו בטיפולים השונים: ריסוס ב Sabinene שהומס בממס Gum Arabica (G.A) בהשוואה לביקורת של הממס בלבד ולטיפול המסחרי Talstar וגופרית (S) בשדה מסחרי של גזר. עמודות עם אותיות שונות מעליהן נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $p<0.05$ ע"פ מבחן Tukey HSD.

כאשר בדקנו את יכולת הגזר בטיפולים השונים לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים בין מספר ומשקל הגורים הבריאים ואלו עם תסמיני מחלה (טבלה 1).

טבלה 1: התפלגות יכולת הגזר הבריא וזה עם תסמיני הצהבון בטיפולים השונים

טיפול	משקל גזר בריא (ק"ג)	מספר גורים בריאים	מספר גורים עם תסמינים	משקל גורים עם תסמינים (ק"ג)
ביקורת משקית (גופרית+ טלסטאר)	5.025 ± 0.6	67.25 ±15	45.75 ±6.7	3.92 ±0.7
ביקורת גופרית (ללא קוטל מזיקים)	5.085 ±1.4	65.75 ±24	40.25 ±7.5	3.81 ±1.1
סבנין (עם ממס)+גופרית	5.56 ±0.7	73 ±9	47.25 ±15	4.35 ±1.1
ביקורת ממס+גופרית	5.465 ±2.3	72.75 ±25	48.5 ±20	3.94 ±1.2

דיון

מטרת עבודה זו היתה לזהות זני גזר העמידים לפסילה ולגורם מחלת הצהבון, כמקור עתידי לזנים חלופיים לזנים הרגישים וכמקור גנים לעמידות למחלה וגם כמקור לחומרי דחיה או קטילה טבעיים של פסילת הגזר. בשנה הראשונה מצאנו כי יש הבדל מובהק בהעדפת ההטלה של פסילת הגזר בין הזנים כאשר הזן המסחרי הכתום הנפוץ ביותר- נירובי Nairobi נימצא כזן הכי פחות מועדף על הפסילה. בניסויי בחירה לא היתה עליו כלל הטלה, בעוד שזן הבר 21793 היה המועדף ביותר ומאידך הישרדות הפסילה היתה הגבוהה ביותר בזן נירובי ונמוכה ביותר בזן הבר המועדף. לעומת זאת לא מצאנו הבדלים ברגישות הזנים השונים למחלת הצהבון. בנוסף במסגרת עבודה זו עסקנו בזיהוי הגורמים הכימיים להבדלים ברמת ההעדפה וההישרדות של פסילת הגזר בזני הגזר **נירובי ובשלושה זני גזר בר 21793 20497 המועדפים, ו- 20465 הביילתי מועדף (זנים אילו התגלו כבעלי ערכים קיצוניים בניסוי הראשון, כלומר שני הזנים שהייתה עליהם הכי פחות הזנה ו/או הטלה והשניים עם הכי הרבה)**. לשם כך, בדקנו בעזרת מכשיר ה- GC-MS את מהות המרכיבים

הנדיפים בעלים כאשר אלו נתונים להתקפת פסילות לעומת מצבם ללא נוכחות פסילות. נמצאו שינויים בריכוזי החומרים הנדיפים שכוללים מונוטרפנים, ססקוטרפנים ו-phenypepanoid ועוד תרכובות אחרות בעלי הגזר לאחר הדגרה עם וללא פסילת הגזר. כך שהתקבלו חומרים שריכוזם עלה בנוכחות הפסילות וחומרים שריכוזם ירד, בנוסף לחומרים שהתבטאו בדוגמה המטופלת (בנוכחות הפסילות) ולא התבטאו בביקורת (בהעדר הפסילות). החומרים הנדיפים בצמחים נחשבים למטאבוליטים שניוניים במנגנון ההגנה הישירה אשר מאפשרת לצמח להתמודד עם התוקף ע"י דחייתו ו/או פגיעה בתפקודו או ע"י משיכת אויב טבעי למזיק.

נדיפים שונים רבים הידועים בספרות כחומרים הגורמים לדחייה או משיכה של חרקים (De Moraes et al., 2013; Seljåsen et al., 2011; War et al., 2011; Dudareva et al., 2004; al., 2001). לאחר שזיהינו את החומרים הנדיפים הללו בדקנו את השפעת החומרים apiol, myristicin, sabinene ו- α -asarone בריכוז שנמצא בצמח בתנאי מעבדה מבוקרים על הישרדות הפסילות. חשוב לציין שהחומרים myristicin ו-sabinene בריכוז שנמצא בצמח, פגעו באופן משמעותי בהישרדותן של נימפות וכן על בהטלת הביצים. Nissine וחבוריו (Nissinen et al., 2005) מצאו גם הם עליה ביצירת החומר sabinene בגזר אחרי תקיפת פסילת הגזר מהמין המצוי באירופה *Trioza apicalis* Foerster מכאן הסקנו שחומרים אלו מקנים עמידות לגזר ולכן יצאנו עם sabinene לניסוי בשדה.

Anderbrant וחבוריו (Anderbrant et al., 2020) הראו תגובות אלקטרופיזיולוגיות של פסילת גזר לחומרים נדיפים מגזר כגון terpinene-4-ol, terpinolene ו-(Z)-3-hexenal. באנליזת שאנו ערכנו של חומרים נדיפים בעלי הגזר זיהינו רק terpinolene ולא מצאנו שינויים בריכוז שלו כתגובה להזנה ע"י פסילות לעומת מצבים ללא נוכחות פסילות.

במחקר שאנו ערכנו בו חיפשנו זני גזר עמידים לפסילת הגזר מצאנו כי ישנם הבדלים בהעדפה והישרדות של פסילת הגזר על זני גזר שונים. המימצא המעניין ביותר היה שזן הבר 21793 היה המועדף ביותר על הפסילה להטלה, אך בו גם נימצא שיעור ההישרדות הנמוך ביותר ועמד על פחות מ-1% - דבר המרמז על כך שיתכן ומצאנו זן שיכול אולי לשמש כ"צמח מלכודת חסר מוצא" (Shelton et al., 1991; Hokkanen, 2006; Khan et al., 2004).

. חרקים (כמו בע"ח אחרים) נמשכים אל צמחים ממינים שונים או משפחות שונות בעוצמה שונה. זוהי העדפה הנובעת, בסופו של דבר, מהתפוקה השונה שמפיק החרק מצמחים אלו. ניתן לעשות שימוש בהעדפה זו ע"י שימוש בצמחים המועדפים כדי למשוך את המזיקים מגידול המטרה. תחום זה, של שימוש בצמח ממין אחד כדי להגן על גידול מסוים ממין שני מוכר כ"צמחי מלכודת" -Trap plant- (Shelton et al., 2006) ההגנה על גידול המטרה מושגת ע"י מניעת המזיקים מהגעה אליו באמצעות "צמחי היקף" או ע"י ריכוז המזיק בחלק מסוים של השדה והדברתו רק שם. צמחי המלכודת ניתנים למניפולציה בזמן ובמרחב למשיכת המזיקים במועד קריטי לגידול או לפנולוגיה של המזיק. עד היום גידולי מלכודת שימשו ומשמשים בתפקיד מכריע כנגד מספר רב של מזיקים במגוון גידולים בעולם בארצות כהרה"ב (לדוגמה נגד חיפושית *Acalymma vittatum* (F.) בגידולי דלועים (Hoffmann et al., 1996), קנדה (לדוגמה כנגד העש *Agriotes obscurus* בגידול תות (Vernon, 2005), באוסטרליה (לדוגמה כנגד הפשפש בכותנה *Creontiades dilutus* בגידול כותנה (Mensah et al., 1997), בניזילאנד (כנגד מגוון פשפשים בתירס (Rea et al., 2002) פינלנד (לדוגמה כנגד החיפושית *Meligethes aeneus* F. בכרובית (Hokkanen, 1991), באפריקה (לדוגמה כנגד נזרים בתירס (Kebede et al., 2018) או באיטליה (לדוגמה לאחרונה כנגד נמטודות באורז (Sacchi et al., 2021) הזנים שמצאנו יוכלו לשמש כצמח מלכודת חסר מוצא (dead end plant) שמושכים את המזיק אליהם אך גם קוטלים אותו (Shelton et al., 2004) תופעה קיימת אך נדירה ולמיטב ידיעתנו מעולם לא דווחה לגבי גזר.

על פי התוצאות הקודמות שהראו שזן הבר 21793 היה המועדף ביותר על הפסילה אך הישרדותה עליו הנמוכה ביותר, מכאן עולה כי זן זה מפריש חומרים המושכים את פסילת הגזר וחומרים שהם פוגעים בהישרדות הפסילה. בבדיקת הפרופיל המטבולי של הזן 21793 נמצא שהחומרים העיקריים המופרשים מהזן 21793 הם myristicin ו-sabinene. החומר myristicin לא נבדק במחקר זה עקב העלויות הגבוהות של החומר (שלא ניתן היה לכסותה בתקציב המחקר) והכמות שהיתה בידינו לניסויי מעבדה לא היתה גדולה דיה לבדיקה בניסוי ריסוס בשדה, לכן הוחלט להסתפק בבדיקת השפעת החומר sabinene על פסילת הגזר בניסוי ריסוס בשדה מסחרי של גזר בעמק החולה. תוצאות ניסוי השדה הצביעו על כך שמידת הפגיעה של ה-sabinene במינון השווה למינונו בצמח לריסוס.

בריסוס כנגד פסילת הגזר, ובהשוואתו לטיפולים ביקורת משקית (טלסטאר וגופרית), ביקורת גופרית וביקורת ממס, התקבל מספר הפסילות הבוגרות הנמוך ביותר לאורך כל תקופת הניסוי ובעיקר בסופה אם כי מספרים אלו לא היו שונים מובהקים מהטיפול המשקי. בבחינת השפעת הטיפולים על דרגת הנימפות של הפסילה המספר הנמוך ביותר נימצא דוקא בטיפול המשקי אך גם כאן לא נימצא הבדל מובהק בין החומר הטבעי sabinene למשקי המקובל. בהשוואת מספר גזרים הבריאים ומשקלם בין הטיפולים השונים לא היה הבדל וגם במספר ומשקל הגזרים עם תסמיני מחלה בטיפולים השונים לא היה הבדל. דבר המעיד גם הוא על כך שהחומר sabinene במינון הנבדק היתה השפעה דומה כמו לקוטל החרקים הסינטטי (טלסטאר) שנמצא בשימוש כנגד פסילת הגזר.

בהמשך מומלץ לחזור על עוד ניסויי שדה ולהמשיך ולבדוק השפעת החומר sabinene במינונים יותר גבוהים ועם קומבינציות שונות עם חומרים אחרים החשודים ביכולת קטילת הפסילה הפסילה כמו elemici

רשימת ספרות מצוטטת

- Anderbrant O, Yuvaraj JK, Høgetveit LA, Nissinen AI, Andersson MN** (2020) Electrophysiological responses of carrot psyllids (*Trioza apicalis*), in different phases of their life cycle, to volatile carrot and conifer compounds. *Journal of Applied Entomology* **144**: 236-240
- Arimura G-i, Ozawa R, Kugimiya S, Takabayashi J, Bohlmann J** (2004) Herbivore-induced defense response in a model legume. Two-spotted spider mites induce emission of (*E*)- β -ocimene and transcript accumulation of (*E*)- β -ocimene synthase in *Lotus japonicus*. *Plant Physiology* **135**: 1976-1983
- De Boer JG, Dicke M** (2004) Experience with methyl salicylate affects behavioural responses of a predatory mite to blends of herbivore-induced plant volatiles. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **110**: 181-189
- De Moraes CM, Mescher MC, Tumlinson JH** (2001) Caterpillar-induced nocturnal plant volatiles repel conspecific females. *Nature* **410**: 577-580
- Degen T, Dillmann C, Marion-Poll F, Turlings TC** (2004) High genetic variability of herbivore-induced volatile emission within a broad range of maize inbred lines. *Plant physiology* **135**: 1928-1938
- Dicke M, Loon JJ** (2000) Multitrophic effects of herbivore-induced plant volatiles in an evolutionary context. *Entomologia experimentalis et applicata* **97**: 237-249
- Dudareva N, Pichersky E, Gershenzon J** (2004) Biochemistry of plant volatiles. *Plant physiology* **135**: 1893-1902
- Gera A, Maslennin L, Weintraub PG, Mawassi M** (2011) Phytoplasma and spiroplasma diseases in open-field crops in Israel. *Bulletin of Insectology* **64**
- Hoffmann MP, Kirkwylund JJ, Smith RF, Long RF** (1996) Field Tests with Kairomone-Baited Traps for Cucumber Beetles and Corn Rootworms in Cucurbits. *Environmental Entomology* **25**: 1173-1181
- Hokkanen HM** (1991) Trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology* **36**: 119-138
- James DG** (2003) Field evaluation of herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects: methyl salicylate and the green lacewing, *Chrysopa nigricornis*. *Journal of chemical ecology* **29**: 1601-1609
- Kebede AZ, Johnston A, Schneiderman D, Bosnich W, Harris LJ** (2018) Transcriptome profiling of two maize inbreds with distinct responses to *Gibberella* ear rot disease to identify candidate resistance genes. *BMC genomics* **19**: 1-12
- Khan ZR, Pickett JA** (2004) The 'push-pull' strategy for stemborer management: a case study in exploiting biodiversity and chemical ecology. *Ecological engineering for pest management: Advances in habitat manipulation for arthropods*: 155-164

- McCormick AC, Unsicker SB, Gershenzon J** (2012) The specificity of herbivore-induced plant volatiles in attracting herbivore enemies. *Trends in plant science* **17**: 303-310
- Mensah R, Khan M** (1997) Use of *Medicago sativa* (L.) interplantings/trap crops in the management of the green mirid, *Creontiades dilutus* (Stal) in commercial cotton in Australia. *International Journal of Pest Management* **43**: 197-202
- Mercke P, Kappers IF, Verstappen FW, Vorst O, Dicke M, Bouwmeester HJ** (2004) Combined transcript and metabolite analysis reveals genes involved in spider mite induced volatile formation in cucumber plants. *Plant Physiology* **135**: 2012-2024
- Nehlin G, Valterová I, Borg-Karlson AK** (1996) Monoterpenes released from Apiaceae and the egg-laying preferences of the carrot psyllid, *Trioza apicalis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **80**: 83-86
- Nissinen A, Ibrahim M, Kainulainen P, Tiilikkala K, Holopainen JK** (2005) Influence of carrot psyllid (*Trioza apicalis*) feeding or exogenous limonene or methyl jasmonate treatment on composition of carrot (*Daucus carota*) leaf essential oil and headspace volatiles. *Journal of agricultural and food chemistry* **53**: 8631-8638
- Nissinen A, Lemmetty A, Pihlava JM, Jauhiainen L, Munyaneza J, Vanhala P** (2012) Effects of carrot psyllid (*Trioza apicalis*) feeding on carrot yield and content of sugars and phenolic compounds. *Annals of Applied Biology* **161**: 68-80
- Pree D, Archibald D, Ker K, Cole K** (1990) Occurrence of pyrethroid resistance in pear psylla (Homoptera: Psyllidae) populations from southern Ontario. *Journal of economic entomology* **83**: 2159-2163
- Rea JH, Wratten SD, Sedcole R, Cameron PJ, Davis SI, Chapman RB** (2002) Trap cropping to manage green vegetable bug *Nezara viridula* (L.) (Heteroptera: Pentatomidae) in sweet corn in New Zealand. *Agricultural and Forest Entomology* **4**: 101-107
- Sacchi S, Torrini G, Marianelli L, Mazza G, Fumagalli A, Cavagna B, Ciampitti M, Roversi PF** (2021) Control of *Meloidogyne graminicola* a Root-Knot Nematode Using Rice Plants as Trap Crops: Preliminary Results. *Agriculture* **11**: 37
- Seljåsen R, Vogt G, Olsen E, Lea P, Høgetveit LA, Tajet T, Meadow R, Bengtsson GB** (2013) Influence of field attack by carrot psyllid (*Trioza apicalis* Forster) on sensory quality, antioxidant capacity and content of terpenes, falcarindiol and 6-methoxymellein of carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of agricultural and food chemistry* **61**: 2831-2838
- Shelton A, Badenes-Perez F** (2006) Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annu. Rev. Entomol.* **51**: 285-308
- Shelton A, Nault B** (2004) Dead-end trap cropping: a technique to improve management of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection* **23**: 497-503
- Vancanneyt G, Sanz C, Farmaki T, Paneque M, Ortego F, Castañera P, Sánchez-Serrano JJ** (2001) Hydroperoxide lyase depletion in transgenic potato plants leads to an increase in aphid performance. *Proceedings of the national academy of sciences* **98**: 8139-8144
- Vernon RS** (2005) Aggregation and mortality of *Agriotes obscurus* (Coleoptera: Elateridae) at insecticide-treated trap crops of wheat. *Journal of economic entomology* **98**: 1999-2005
- War AR, Sharma HC, Paulraj MG, War MY, Ignacimuthu S** (2011) Herbivore induced plant volatiles: their role in plant defense for pest management. *Plant signaling & behavior* **6**: 1973-1978