

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, אקו-אנטמולוגית. 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

דצמבר 2020

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים : כן

חתימת החוקר



## תקציר

**הצגת הבעיה** - פסילת הגזר היא מזיק ספציפי הגורם לנזק בגזר. הפסילה מקיימת בשדה הגזר כמה דורות בשנה במהלך הגידול. עיקר נזקה 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. ידוע לנו שיכולות להיות אפשרויות שונות להבדלים במידת הדחיה או הקטילה וגם הרגישות של זני גזר שונים לפסילות הנובעים מיצירת מגוון רחב של חומרים נדיפים ולא נדיפים.

**לפיכך יעז 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 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:

1. גידול בבת רשת צמחי גזר Nairobi ושלושה זני גזר בר 20497, 21793 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.

### תוצאות עיקריות:

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 20497, 21793 ו- 20465 תוך שימוש בשיטת ה-SPME-GC-MS וזיהינו שמספר חומרים נדיפים מופרשים ביותר לאחר הם מאולחים בפסילות (infested with psylla).
3. בתנאי מעבדה, בבדיקת השפעת החומרים  $\alpha$ -asarone ו- apiol, myristicin, sabinene ובדיקת הריכוז שנמצא בצמח, מצאנו שהם פגעו בהישרדותן של נימפות וכן על הטלת הביצים.

### מסקנות והמלצות:

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 ההישרדות הגבוה ביותר נימצא בזן המסחרי הכתום ושיעור ההישרדות הנמוך ביותר בזן 21793. תוצאות אלו מפתיעות בהשוואה לניסוי הבחירה מכיוון שעולה שדווקא שני הזנים המועדפים ע"י הפסילות 21793 ו-20497 הם אלו שההישרדות הפסילות עליהם היא הנמוכה ביותר. יתכן שתוצאות אלו שמצביעות על אפשרות להשתמש בצמחים אלו כצמחי מלכודת שהפסילות תעדפנה אותם ע"פ הזן המסחרי אך ההישרדות שלהם עליהן תהיה הנמוכה ביותר כאשר אולי עלינו על צמחים שהם מהסוג של dead end trap. מתוצאות בדיקת השפעת החומרים  $\alpha$ -asarone ו- apiol, myristicin, sabinene בתנאי מעבדה בריכוז שנמצא בצמח, מצאנו שהם פגעו בהישרדותן של נימפות וכן על הטלת הביצים.

**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 איננו 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](#)). *B. trigonica* הינה המין הנפוץ בארץ והיא ניזונה באופן בלעדי ממינים של סוככים. עיקר נזקיה 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](#); [Gera et al., 2011](#); [Nissinen et al., 2012](#); [Seljåsen et al., 2013](#)). 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 (ש 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 לטרפנינים כולל מרכיבים 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 צמחונים. בטבק למשל מצאו כי חומרים השייכים לססקוויטרפנים  $\alpha$ -humulene ו-  $E$ - $\beta$ -caryophyllene, דחו את העש המזיק *Heliothis virescens*. ([De Moraes et al., 2001](#))  $(E,E)$ - $\alpha$ -Farnesin הגן על צמחי מלפפון *Cucumis sativus* מפני אקרית הקורים *Tetranychus urticae*. ([Mercke et al., 2004](#))  $(E)$ - $\beta$ -Ocimene מ-*Lotus japonicas* שהגן על קיטנית מפני אקרית הקורים, ([Arimura et al., 2004](#)) ו-  $(E)$ - $\beta$ -caryophyllene שהגן על התירס (*Zea mays*) מפני עש הלפיגמה *Spodoptera exigua*. ([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 and Dicke, 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 and Loon, 2000](#)) או בהגנה עקיפה בה

הצמח מעודד אויבים טבעיים כנגד ההריביוורים 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 הן:**

**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 הדו"ח**

**הניסויים למימוש מטרה א- בוצעו בשנת המחקר הראשונה ודווח עליהם בדו"ח הראשון**

#### **למימוש מטרה ב- זיהוי זני גזר עמידים למחלת הצהבון**

בשני ניסוי בחירה שנערכו בשנה א' של הפרוייקט לא נמצא זן בולט אשר הראה עמידות גבוהה יותר למחלה לעומת הזן המסחרי, ניירובי.

בשנה ב', העמדנו ניסוי ללא בחירה, בו נבחנו זנים שנבחרו על סמך תוצאות הניסויים בשנה א'. בניסוי זה, אולחו צמחים משלושה זנים נבחרים על ידי הצמדה של שקית רשת ובתוכה 10 פסילות (*Bactericera trigonica*) נגועות ב- *Candidatus Liberibacter solanacearum* (ליבריבקטר), לעלה אחד בכל צמח כאשר לכל זן 21-24 צמחים (חזרות). לאחר 5 ימים, הפסילות רוססו למניעת המשך התרבותן על הצמחים ולבחינת האינטראקציה של החיידק עם הזן הנבדק. הצמחים גודלו בחממה ללא בקרת טמפרטורה ותאורה בחודשים יוני-אוגוסט 2020.

מספר הצמחים הסימפטומטיים נבדק החל משלושה שבועות לאחר האילוח ואחת ל 7-9 ימים עד לתום הניסוי (45 יום מאילוח). בתום הניסוי, הוצאו כל הצמחים מן העציצים חומרת המחלה הוערכה על פי סקלה כמתואר באיור מס. 1.

תסמינים החלו להופיע כשלושה שבועות ממועד האילוח ונראו בקו 21793 לפני הקווים האחרים. בקווים הנוספים שנבדקו (ניירובי ו Red (B) תסמיני מחלה נראו בנקודת הבדיקה הבאה, כחודש לאחר האילוח (טבלה 1). בעוד שבשתי נקודות הבדיקה הראשונות היו הבדלים מובהקים בין הקו 21793 לבין הזן ניירובי (מבחן Chi-square,  $p < 0.05$ ) בשתי נקודות הדגימה הבאות, אחוז הצמחים הסימפטומטיים בכל הצמחים היה קרוב ל 70% או גבוה מכך, ולא היו הבדלים מובהקים בין הקווים הנבדקים (טבלה 1). בהערכת חומרת המחלה שנעשתה בנקודת הדגימה האחרונה, הקו 21793 הראה את חומרת המחלה הנמוכה מבין שלושת הקווים, ונבדל מזן הביקורת באופן מובהק (Dunnet's test,  $P < 0.05$ ) compared with control (איור 2). יחד עם זאת, יש לקחת בחשבון כי בנקודת זמן זו, 8 צמחים של הקו 21793, שהראו תסמינים בנקודות בדיקה קודמות, מתו שלא כתוצאה מהמחלה, ולכן לא נכללו באנליזה זאת.

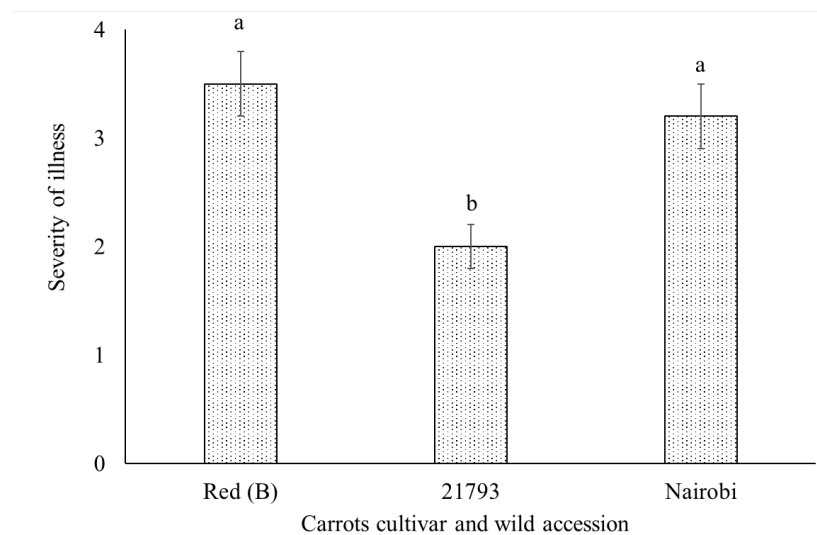
לסיכום, בניסוי זה, בו לווקטור החרקי לא ניתנה אפשרות הברירה, שני הקווים הנבדקים לא הראו עמידות ברורה לעומת הזן המסחרי בפרמטר של הופעת תסמיני מחלה לאורך זמן. על אף שבתום הניסוי, חומרת המחלה בקו 21793 הייתה לכאורה נמוכה יותר מהזנים האחרים, תוצאה זו הושפעה מתמותה של צמחים רבים בקו זה שהטתה את התוצאה כלפי מטה. תמותת הצמחים נבעה ככל הנראה מאון נמוך של הזרעים מהקו 21793, או חוסר התאמתו לתנאי הגידול בחממה. בהמשך התכנית, בכוונתנו לחזור על ניסוי זה פעם אחת נוספת בחודשי החורף.



**איור 1** סקלה המתארת את חומרת המחלה. סקלת חומרת המחלה נעה בין דירוג של 0, ללא תסמינים כלל, ועד לדירוג 5 בו נראים תסמינים מרובים כפי שמופיע בתמונה.

**טבלה 1:** מספר הצמחים הסימפטומטיים בקווים הנבדקים בכל נקודת הזמן הנבדקות ממועד האילוח \*בכל זן אולחו 21-24 צמחים, אחוז הצמחים הסימפטומטיים חושב ממספר הצמחים ששרדו ביום הערכת הנגיעות.

ימים מאילוח	% צמחים סימפטומטיים*		
	Nairobi	21793	Red (B)
22	0	38	0
29	8	58	24
36	78	79	68
45	96	88	100



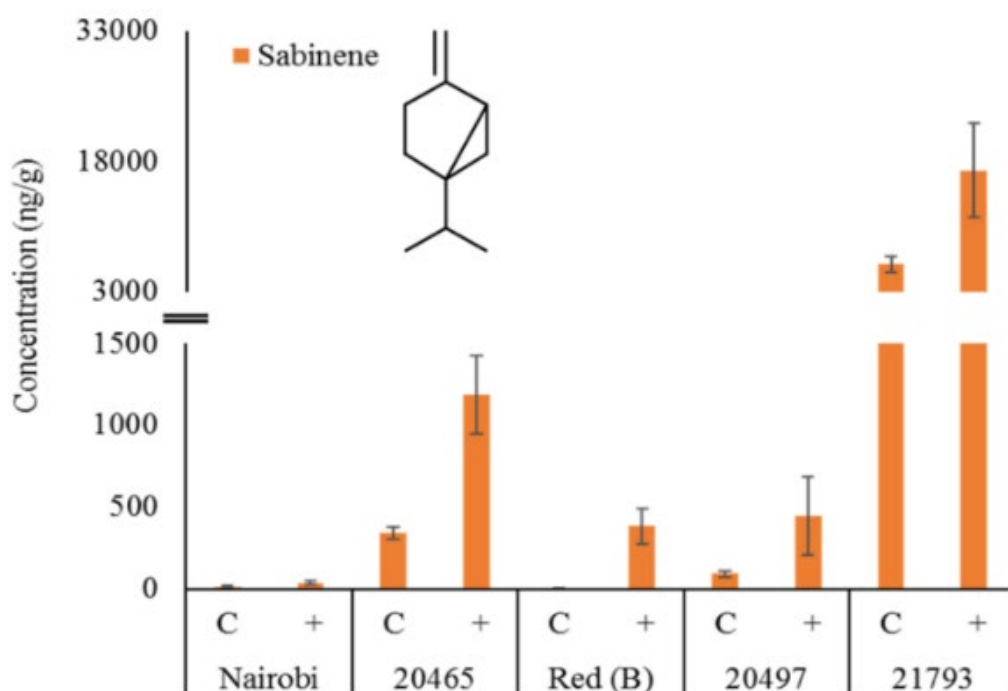
**איור 2:** חומרת המחלה בקווים הנבדקים לאחר אילוח בחיידק ליבריבקטר. צמחי גזר מהקווים הנבדקים אולחו על ידי הצמדה של שקית רשת ובתוכה 10 פסילות (*Bactericera trigonica*) נגועות ב-*Candidatus Liberibacter solanacearum* (ליבריבקטר), לעלה אחד בכל צמח. לאחר 5 ימים, הפסילות רוססו וחומרת המחלה הוערכה 45 יום לאחר האילוח על פי הסקלה המתוארת באיור מס. 1. העמודות מייצגות את ממוצע חומרת המחלה בקווים השונים וקווי הסטיה מתארים את שגיאת התקן, כאשר בכל זן אולחו 21-24 צמחים. בקו 21793 נותרו 13 צמחים ביום הערכת חומרת התסמינים. הקו 21793 נבדל באופן מובהק מזן הביקורת ניירובי (Nairobi) על פי Dunnett's test ( $p < 0.05$ ).

למימוש מטרה ג- יצירת ידע שיהווה בסיס לפיתוח של חומרי דחיה או קטילה טבעיים של פסילת הגזר שמקורם בצמחי גזר עמידים לפסילה וגם כמקור עתידי לזנים עמידים ביצענו את הניסויים הבאים.

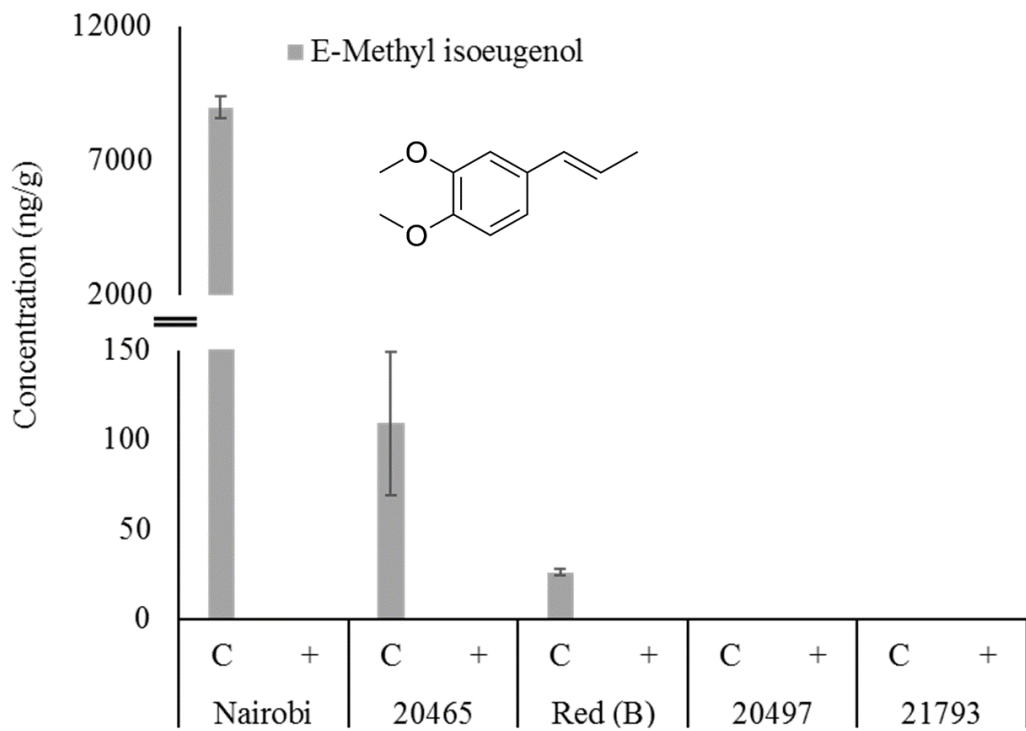
### 1-זיהוי החומרים המעורבים בעמידות בזנים העמידים

כדי לזהות את מגוון הנדיפים בזני הגזר השונים ולבחון את תגובת הצמחים לפסילות 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) ויצרנו פרופילים מטבולומיים מפורטים לחומרים נדיפים מהעלים של כל הזנים כאשר הם היו נקיים מפסילות וגם כאשר הם מאולחים בפסילות (infested and non-infested with psylla) תוך שימוש בשיטת ה-SPME-GC-MS. האילוח בפסילות התבצע ע"י איסוף פסילות בגיל ידוע מגידול המעבדה של אופיר בה. גרעין הרבייה של הגידול נאסף בשדות גזר והבוגרות המשמשות לניסויי האילוח נאסף מהביצים שכבר הוטלו במעבדה. הצמחים הוצבו בכלובי רשת בתנאי חצי שדה (בנווה יער) ובכל כלוב פוזרו כ-400 פסילות והושארו שם למשך שבועיים שלאחרים העלים הוכנסו לחנקן נולי ובהמשך שימשו לניסויי הנדיפים.

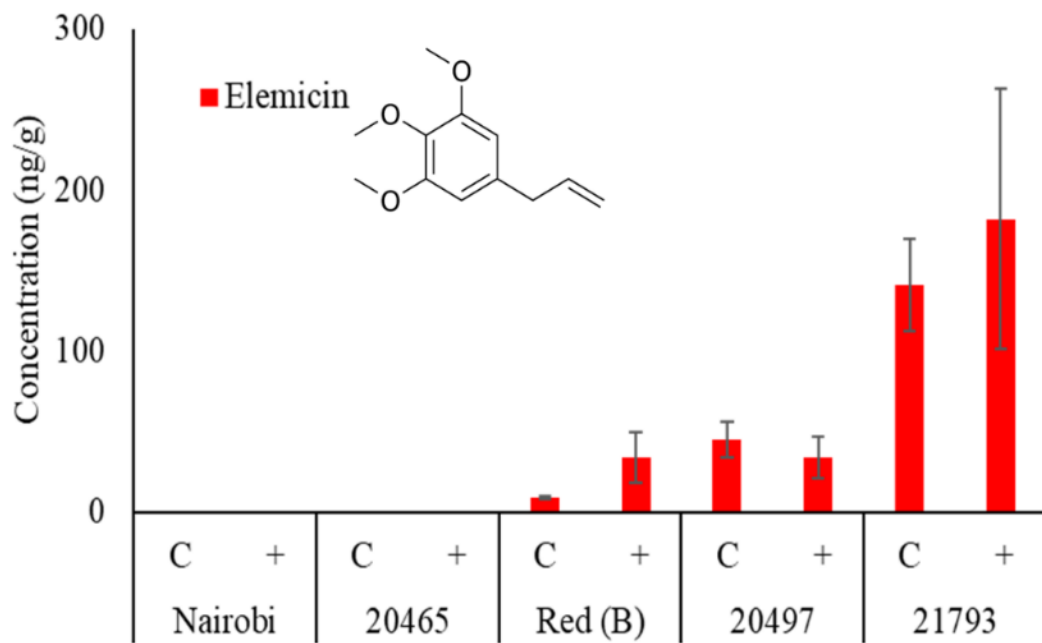
בניסוי זה נלקחו 5 עציצים, ומכל עציץ נבדק עלה אחד (כלומר 5 חזרות לכל טיפול). העלים נטחנו והוכנסו לתוך מיכל אטום עם פקק שכולל אטם סיליקון הכולל 1g NaCl ו-7ml 20% NaCl, עם תוסף כמות ידועה של 2-hepatone 1mg/kg כסטנדרט. מחט ה-SPME נחדרה דרך האטם. המיכל הוחזק ב-50°C לעידוד הנידוף, למשך 30 דקות. מחט ה-SPME נשלפה ותכולת הנדיפים נבדקה על מכשיר ה-GC-MS (Agilent Technologies, CA, USA). מכשיר ה-GC-MS מצויד בקולונה קפילרית מסוג Rtx-5SIL 30m x 0.25 mm x 0.25µm. זיהוי הנדיפים העיקריים נעשה ע"י השוואת ספקטרום מסות וזמן יציאה מהקולונה (Retention Index) לאלו של דוגמאות ידועות ודוגמאות מספריית wiley10 Nest14 של מכשיר ה-GC-MS. הניתוח נערך בתוכנת Chemstation ולאחר מכן בוצע וידוא של כל חומר וכימותו בצמח. מניתוח תוצאות הנדיפים, נמצאו מעל 150 חומרים נדיפים השייכים ל מונו-טרפנים וססקווי-טרפנים, ולמרכיבים נדיפים ארומטיים ולחומצות שומן ונגזרותיהם. מתוך כל החומרים שהתקבלו נבחרו הנדיפים בעלי אחוז השכיחות הגדול ביותר יחסית איור 3-6.



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



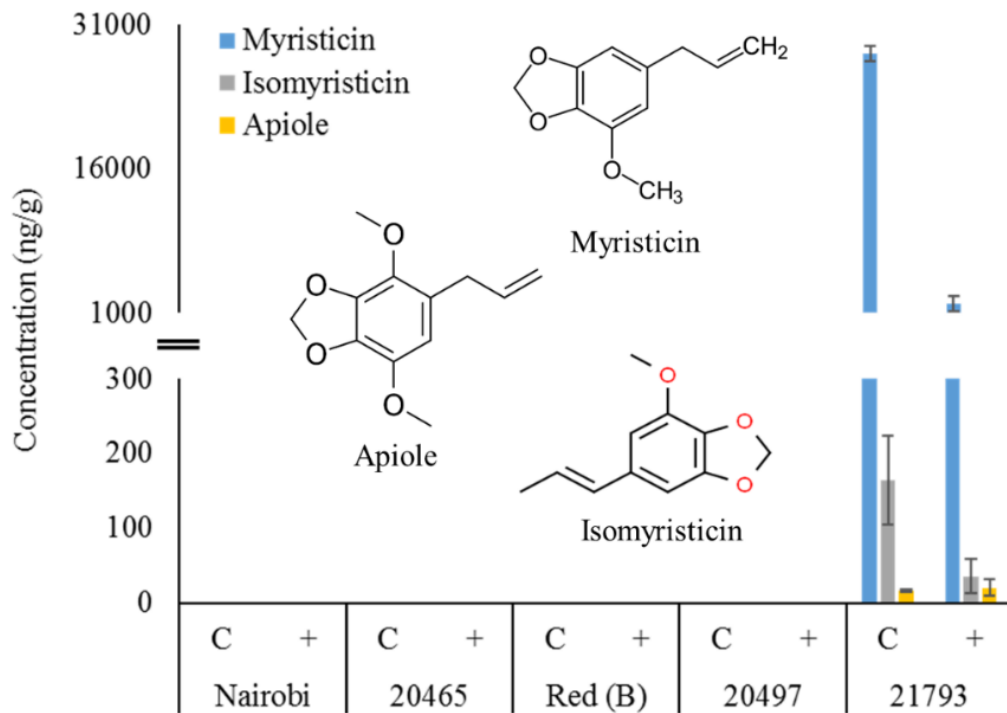
**איור 4 :** הפניל-פרופן E-methyl isoeugenol התבטא בביקורת ולא התבטא בדוגמה המטופלת לפיכך יתכן ש ה-E-methyl isoeugenol חשוד כחומר דוחה פסילות.



**איור 5 :** ריכוז הפניל-פרופן elemicin בזני הגזר הנבחרים.

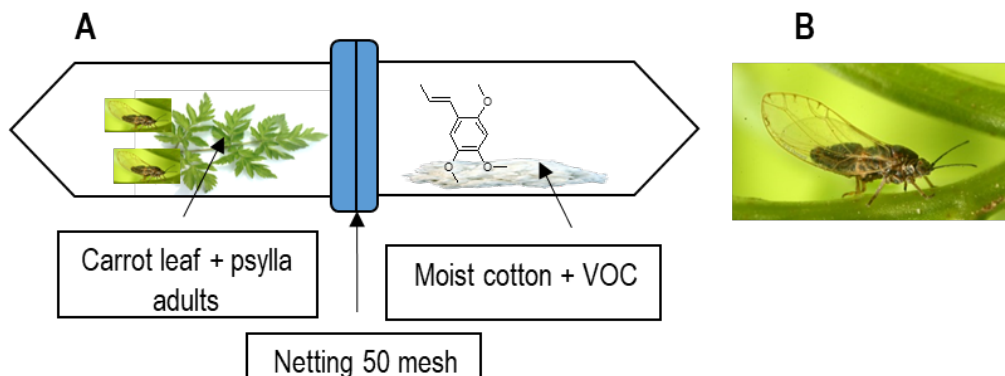
החומר elemicin מופיע רק בזנים הכי מועדפים ע"י הפסילות, לכן יתכן שהוא מושך את פסילת הגזר.





**איור 6:** הפניל-פרופנים החשודים לפגיעה בהישרדות הפסילה לזן 21793.

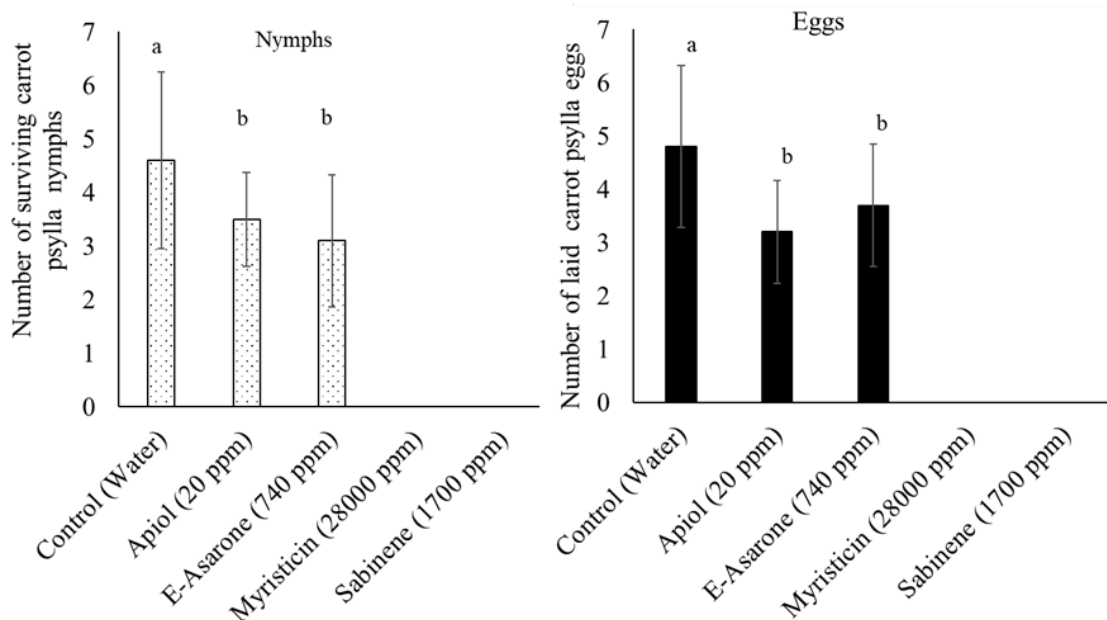
**3- בדיקת השפעת החומרים המעורבים בעמידות על פסילת הגזר בניסוי מעבדה.** החומרים הנדיפים שזיהינו מזן הגזר העמיד ביותר נרכשו ונבחנו בתנאי מעבדה על פסילת הגזר. הנדיפים הללו נבדקו להשפעתם על הישרדות נימפות ופסילות בוגרות ועל הטלת ביצים, במערכת שאיפשרה מעבר נדיפים בלבד. עלי גזר הונחו עם שני זוגות פסילות בוגרות במבחנת פלסטיק 50 מ"ל שכוסתה ברשת 50 מאש, ואליה הוברגה מבחנה שנייה שהכילה את הנדיפים שהוספו בצמר גפן במינון שנמצא בגזר (**איור 7**). המערכת הינה אטומה והוחזקה בחדר מבוקר טמפרטורה  $23 \pm 2^\circ \text{C}$  עם משטר תאורה של 8:16 למשך שבועיים, ונבדקה הישרדות הפסילות והטלת הביצים.



**איור 7:** (A) מערכת לבחינת נדיפים מבודדים בוגרי פסילה בתנאי טמפרטורה  $23 \pm 2^\circ \text{C}$  עם משטר תאורה של 8:16 למשך שבועיים. (B) בוגר של פסילת הגזר *Bactericera trigonica*.

כאשר בדקנו את השפעת החומרים  $\alpha$ -asarone ו- apiol, myristicin, sabinene בריכוז שנמצא בצמח בתנאי מעבדה מבוקרים על הישרדות הפסילות, נמצא שהם פגעו בהישרדותן של נימפות וכן השפיעו לרעה על הטלת הביצים (**איור 8**).





איור 8 סה"כ ביצים, ונימפות (ממוצע  $\pm$  שגיאת תקן) לפסילת הגזר לאחר שבועיים בטיפול החומרים השונים במערכת סגורה (N=5).

## דיון

מטרת עבודה זו היא 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 ובמהלך העבודה השנה 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- 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. בנוסף במסגרת עבודה זו עסקנו בזיהוי הגורמים הכימיים להבדלים ברמת ההעדפה והישרדות 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- phenytypeopanoide 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., 2001; Dudareva et al., 2004; War et al., 2011; McCormick et al., 2012; Seljåsen et al., 2013). לאחר שזיהינו החומרים הנדיפים הללו בדקנו את השפעת החומרים apiol, myristicin, sabinene ו-  $\alpha$ -asarone בריכוז שנמצא בצמח בתנאי מעבדה מבוקרים על הישרדות הפסילות. מצאנו שהם פגעו בהישרדותן של נימפות וכן על הטלת הביצים (איור 8). חשוב לציין שהחומרים myristicin ו- sabinene פגעו באופן משמעותי בהישרדותן של נימפות וכן על הטלת הביצים הייתה בריכוז שנמצא בצמח. Nissine וחובריו (Nissinen et al., 2005) מצאו עליה ביצירת החומר sabinene בגזר אחרי תקיפת פסילת הגזר. מכאן אנו מסיקים שייתכן וה- myristicin ו- sabinene אינן מקנים עמידות לזני גזר אלא יש להן אפקט הפוך והן גורמים לרגישות הזן על ידי כך שהם מושכים את פסילת הגזר ויכולים אולי להוות מושך במלכודות לכידה.

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 היכול לשמש כ"צמח מלכודת חסר מוצא" ואנו מעוניינים לבחון זאת במחקר המוצע.

בעבודה ארוכת שנים נבחנו רמת ההשפעה של יישום חומרי הדברה כנגד פסילת הגזר, ונראה כי יישום חומרי הדברה מביא להפחתה באחוז הנגיעות בשטח. לכן, ובשל היותה וקטור של צהבון הגזר החקלאים מרבים לרסס כנגדה באינטנסיביות. יחד עם זאת מתגלים קשיים רבים בהדברתה - כיוון שסל החומרים המותרים לשימוש הינו מצומצם (בעיקר פירתואידים וניאוניקוטינואידים) ואינו יעיל דיו, נאלצים החקלאים להשתמש שימוש תדיר בקבוצת חומרים דומה, מה שעלול להביא במהירות לפיתוח עמידויות. כמו כן, מדיווחים שנאספים בשנתיים האחרונות – נראה כי פעמים רבות היתרון היחסי של חלקות מרוססות הינו נמוך עד כדי אפסי אל מול חלקות סמוכות לא מטופלות (מבחינת נזקי המחלה), מה ששם סימן שאלה על יעילות הטיפול הנהוג היום. במקביל הולכת וגוברת המודעות למחרם האקולוגי והכלכלי הכבד של השימוש בתכשירים אלו ועל פגיעתם באויבים טבעיים פוטנציאליים לריסון האוכלוסייה. כיוון שכך יש צורך לבדוק שיטות נוספות לבקרת אוכלוסיית הפסילה, כמקובל במסגרת הגישה המשולבת לבקרת מזיקים (IPM), כגון שימוש בצמחי מלכודת בטכניקת דחייה משיכה Khan and Pickett 2004 push-pull, מלכודות לכידה ועידוד באויבים טבעיים.

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 מסויים ממין שני מוכר כ"צמחי מלכודת" - Trap plant (Shelton and Badenes-Perez 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 כאה"ב (לדוגמא נגד חיפושית בד *Acalymma vittatum* (F.) בגידולי דלועים Hoffmann et al 1996), קנדה (לדוגמא כנגד העש *Agriotes obscurus* בגידול תות Vernon et al 2002), באוסטרליה (לדוגמא כנגד הפשפש בכותנה *Creontiades dilutus* בגידול כותנה Mensah and Khan 1997), בניוזילנד (כנגד מגוון פשפשים בתירס Rea et al, 2002) פינלנד (לדוגמא כנגד החיפושית *Melighetes aeneus* F. בכרובית Hokanen 1991), באפריקה (לדוגמא כנגד נוברים בתירס Kebede et al 2018) או באיטליה (לדוגמא 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 and Nault 2004) תופעה קיימת אך נדירה ושלמיטב ידיעתנו מעולם לא דווחה לגבי גזר.

בשלב זה עמדנו בכל משימות המחקר לשנה זו ואנו נמשיך בשנה הבאה עם התוכנית כמתוכנן.

## רשימת ספרות מצוטטת

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*)- $\beta$ -ocimene and transcript accumulation of (*E*)- $\beta$ -ocimene synthase in *Lotus japonicus*. *Plant Physiology* 135, 1976-1983.

De Boer, J. G., 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, C. M., Mescher, M. C., Tumlinson, J. H., 2001. Caterpillar-induced nocturnal plant volatiles repel conspecific females. *Nature* 410, 577-580.

- Degen, T., Dillmann, C., Marion-Poll, F., Turlings, T. C., 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, J. J., 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, P. G., Mawassi, M., 2011. Phytoplasma and spiroplasma diseases in open-field crops in Israel. *Bulletin of Insectology* 64.
- Gripenberg, S., Mayhew, P. J., Parnell, M., Roslin, T., 2010. A meta-analysis of preference-performance relationships in phytophagous insects. *Ecology letters* 13, 383-393.
- Hoffmann, M.P., Robinson, R.W., Kyle, M.M., Kirkwyland, J.J. 1996. Defoliation and infestation of Cucurbita pepo genotypes by diabroticite beetles. *HortScience* 31: 439-42.
- Hokkanen HMT 1991. Trap cropping in pest management. *Annu. Rev. Entomol.* 36: 119-38.
- James, D. G., 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, Y., Baudron, F., Bianchi, F., & Tittone, P. (2018). Unpacking the push-pull system: Assessing the contribution of companion crops along a gradient of landscape complexity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 268, 115-123.
- Khan, Z. R., and Pickett, J. A. 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, A. C., Unsicker, S. B., Gershenzon, J., 2012. The specificity of herbivore-induced plant volatiles in attracting herbivore enemies. *Trends in plant science* 17, 303-310.
- Mensah, R.K., Khan, M. 1997. Use of *Medicago sativa* (L.) interplantings/trap crops in the management of the green mirid, *Creontiades dilutus* (Stål) in commercial cotton in Australia. *Int. J. Pest Manag.* 43: 197-202.
- Mercke, P., Kappers, I. F., Verstappen, F. W., Vorst, O., Dicke, M., Bouwmeester, H. J., 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, A. K., 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, J. K., 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, J. M., 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, J.H., Wratten, S.D., Sedcole, R., Cameron, P.J., Davis, S.I. 2002. Trap cropping to manage green vegetable bug *Nezara viridula* (L.) (Heteroptera: Pentatomidae) in sweet corn in New Zealand. *Agric. For. Entomol.* 4: 101-7.
- Sacchi, S.; Torrini, G.; Marianelli, L.; Mazza, G.; Fumagalli, A.; Cavagna, B.; Ciampitti, M.; Roversi, P.F. 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, L. A., Tajet, T., Meadow, R., Bengtsson, G. B., 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., 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.

Shelton, A. M., and Badenes-Perez, F. R. 2006. Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annu. Rev. Entomol.*, **51**, 285-308.

Vancanneyt, G., Sanz, C., Farmaki, T., Paneque, M., Ortego, F., Castañera, P., Sánchez-Serrano, J. J., 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, R.S., Kabaluk J.T., Behringer, A.M. 2002. Aggregation of *Agriotes obscurus* (Coleoptera: Elateridae) at cereal bait stations in the field. *Can. Entomol.* **135**: 379–89

War, A. R., Sharma, H. C., Paulraj, M. G., War, M. Y., Ignacimuthu, S., 2011. Herbivore induced plant volatiles: their role in plant defense for pest management. *Plant signaling & behavior* **6**, 1973-1978.

Yahyaa, M., Rachmany, D., Shaltiel-Harpaz, L., Nawade B., Sadeh, A., Ibdah, M., Gerchman, Y., Holland, D., and Ibdah, M. (2019). A *Pyrus communis* gene for p-hydroxystyrene biosynthesis: has a role in defense against the pear psylla *Cacopsylla biden*. *Phytochemistry* **161**: 107-116.