

**מחקרים לפיתוח ממשק להדברה משולבת ידידותית במטעי השקד
רגישות זני השקד לצרעת השקד**

חיים ראובני, מופק אבדאח, דורון הולנד
עירית בר יעקב, כאמל חטיב, יחיא מוסעב, לוטס אזולאי, זאב פרקש

תקציר

צרעת השקד היא מזיק מפתח הגורם לנזק ישיר בפרי במטעי השקד. נבדקה רמת הרגישות של זני שקד שונים לצרעת השקד בחלקת אוסף זנים לטיפול בנווה יער. ברוב הזנים שבהם נמצאה נגיעות נמוכה בצרעת השקד בעונת 2013 נמצאה נגיעות גבוהה בעונת 2014. נראה שהסיבה העיקרית להבדלים ברמת הנגיעות בשתי העונות היא ההבדלים ברמת האוכלוסייה של הצרעה. ששה זנים ביטאו נגיעות של פחות מ- 25% בשתי העונות וסומנו כבעלי רגישות נמוכה. החנטה של הזנים השונים נפרשה החל מחמישה ימים לפני מועד גיחת הצרעות ועד ארבעים ימים לאחר גיחת הצרעות ולא נמצאו זנים שהתחמקו מהתקפת הצרעה בשל הבדלים במועד החנטה ביחס לתקופת פעילות הצרעה. בבדיקת פרופיל הנדיפים מחנטים של זנים שבהם נמצאה נגיעות נמוכה נמצאו חומרים המורכבים מטרפנים, ססקוויטרפנים וחומרים ארומטיים שלא נמצאו בזנים עם הנגיעות הגבוהה. חומרים אלו נמצאו גם בזני אפרסק הקרובים פילוגנטית לשקד ואינם נתקפים כלל על ידי הצרעה. חלק מהחומרים ידועים כבעלי יכולת להשפיע על דחייה או משיכה של חרקים ונדרש לחקור אם יש להם השפעה על התנהגות הצרעה והאפשרות לעשות בהם שימוש לשיפור הניטור וההדברה ותהליכי ההשבחה.

מבוא

צרעת השקד *Eurytoma amygdali* Enderlein היא מזיק מפתח במטעי השקדים בארץ. הצרעה מטילה ביצים בתוך השקד בתקופת החנטה והזחל מתפתח בתוך הגלעין במשך כל מחזור החיים עד המעבר לבוגר בעונה העוקבת. שקדים המאוכלסים בצרעה אינם מתנתקים מהעץ (מומיות), היבול באותה העונה פוחת והדור הבא של הצרעות מתחדש באותו המטע משקדים שנשארו כמומיות על העצים. בנוסף, הדורבן הצמוד למומיה נפגע לצמיתות ובכך נגרמת פגיעה גם ביבול העתיד. כיום, מבוסס ממשק ההדברה על שימוש בתכשירים סיסטמיים בריסוס גורף על כל המטע המתוזמן למועד הופעת בוגרי הצרעה במטע (2-3 ריסוסים בעונה). במסגרת המחקר לפיתוח ממשק של הדברה משולבת והפחתת השימוש בתכשירים במטעי השקד נבדקו אפשרויות שונות לשימוש באמצעים טבעיים ואגרו-טכניים לשיפור ממשק ההדברה של צרעת השקד. במחקר הנוכחי נבדקו רמת הרגישות של זני שקד שונים לצרעת השקד והגורמים להבדלים ברגישות הזנים. מתוך מספר גורמים היכולים להשפיע על ההבדלים ברגישות הזנים התמקד המחקר בשניים: (1) אפשרות של התחמקות הזנים השונים כתוצאה מאי-חפיפה בין מועד החנטה לבין תקופת פעילות הצרעה, (2) פרופיל הנדיפים המשוחררים מהחנטים של זנים שבהם נמצאה נגיעות נמוכה בצרעה לעומת זנים עם נגיעות גבוהה.

חומרים ושיטות

א. קביעת רגישות זני השקד לצרעת השקד

המחקר נערך בשתי עונות עוקבות (2013-2014) בחלקת אוסף של זני שקד בנווה יער המכילה מעל 110 זוגות של זנים וטיפוסים שונים של שקד הנטועים בזוגות. בטרם המחקר בחורף 2013, לא נמצאו על העצים מומיות של שקדים נגועים בצרעה והחלקה אוכלסה באופן יזום על ידי פיזור של כ- 2000 מומיות (קבוצות של 50

מומיות ב- 40 מוקדים אקראיים), שנאספו ממטעים מסחריים נגועים באזור. בעונת 2014 היה מקור האכלוס של החלקה מצרעות שהגיוחו ממומיות ששרדו על העצים מהעונה הקודמת. רמת הרגישות של הזנים נקבעה לפי רמת הנגיעות בצרעה המתבטאת בסימנים חיצוניים (המופיעים החל מסוף חודש מאי) של שקדים מצומקים בגוון חום-צהוב שאינם מתנתקים בקלות מהעץ. לצורך זה סומנו בתקופת הפריחה בכל עונה, ששה ענפים בכל זן (שלושה ענפים בכל עץ). ב- 60 זנים שונים. בתוך הזנים שסומנו נכללו זנים הנפוצים במטע המסחרי וכל יתר הזנים נבחרו באקראי. סימון הענפים לפני הפריחה מבטיח את האפשרות לבחירת הפירות במדגם הבדיקה עוד בטרם הותקפו על ידי הצרעה. נערכה ספירה של סך השקדים עם סימני הנגיעות מתוך סך השקדים בענף וחושב אחוז השקדים הנגועים בכל זן. כל השקדים הנגועים הועברו לחשיפת הגלעין במעבדה ונקבע אחוז השקדים שבהם נמצא זחל הצרעה מתוך כלל השקדים עם סימני הנגיעות. לא נעשה בחלקה כלל שימוש בקוטלי חרקים במשך כל תקופת המחקר (2013-2014) וזאת, כדי ללמוד על ההבדלים ברגישות הזנים ללא התערבות חיצונית.

כדי לבדוק אם קיימים זנים המתחמקים מהתקפת הצרעה, בשל הבדלים בין מועד החנטה לבין תקופת פעילות הצרעה, נערך בעונת 2014 מעקב אחר מועד תחילת גיחת הצרעות במטע ונרשם מועד ההתחלה וסוף הפריחה של כל זן. כדי לעקוב אחר מועד תחילת הגיחה נאספו 150 מומיות של שקדים משלושה זנים שונים בחלקה (50 מומיות מכל זן) שהוחזקו בכלובים מאווררים ומנוקזים סמוך לעצים. אחת לשבוע נספרו המומיות שבהם נמצאו חורים אופייניים ליציאת בוגרי הצרעה מהשקד ובהתאם חושב שיעור הגיחה במועד הבדיקה.

ב. אנליזה של נדיפים מזנים שביטאו רגישות שונה לצרעת השקד

באביב 2014 נאספו נדיפים ישירות (headspace) משלושה ענפי שקד (N=3) עם חנטים בשלבי התפתחותם הראשונית, בשלושה זנים שבהם נמצאה בעונת הקודמת נגיעות גבוהה של צרעה (תלמים, גילאטי, Mission St.), שלושה זנים שבהם נמצאה נגיעות נמוכה (155, 12-350, 21-169) וכן, מאפרסק הקרוב פילוגנטית לשקד ואינו רגיש כלל לצרעת השקד. בזני האפרסק נכללו מכלוא של שקד אפרסק (GF-557) וזן האפרסק St. Maria. הדגימה הועברה ישירות בשדה לחנקן נוזלי ולאחר הכנה מתאימה (SPME) הוזרקה לאנליזה במכשיר GC-MS. לצורך זיהוי החומרים הועברו תוצאות ההרצה אנליזה בתוכנת Chemstation ונערכה השוואה עם ספריות חומרים Wiley הקיימות בנווה יער.

תוצאות ודיון

א. רגישות זני השקד לצרעת השקד

בשתי עונות הבדיקה (2013-2014) נמצאו הבדלים ברמת הנגיעות בצרעת השקד, כאשר זנים שביטאו נגיעות נמוכה בעונת 2013 ביטאו נגיעות גבוהה בעונת 2014. (איור 1). כך לדוגמא, בזנים 155 ו- Tov IV-11 שבהם לא נמצאו כלל שקדים נגועים בצרעה בעונת 2013, נמצאה בעונת 2014 נגיעות בשיעור של 86.4% ו- 49.1%, בהתאמה (איור 1). נציין, שבזנים 12-350 ו- 21-169, שביטאו אף הם נגיעות אפסית בצרעת השקד בעונת 2013, לא היו כלל שקדים בענפי המדגם שסומנו מראש בעונת 2014 ולא ניתן היה לקבוע את רמת הנגיעות מצרעה בעונה העוקבת. העובדה שלא היו בענפי הדגימה של זנים אלה שקדים לא השפיעה על תוצאות בדיקת פרופיל הנדיפים (איור 4) שנאספו מחנטים של עצים אלה בענפי מדגם אחרים. הבדלים בולטים ברמת הנגיעות בצרעה בשתי העונות התקבלו גם בזנים המסחריים (איור 1). בולטת במיוחד הנגיעות הגבוהה (100%) שנמצאה בעונת 2014 בזן אום אל פחם הנחשב במטע המסחרי כזן פחות רגיש בהשוואה ליתר הזנים המסחריים ובעיקר בהשוואה לזן 54 (ראובני ופרקש, 2012). בקבוצת הזנים שביטאה רגישות גבוהה יחסית לצרעה בעונת 2013 נכללו אותם זנים

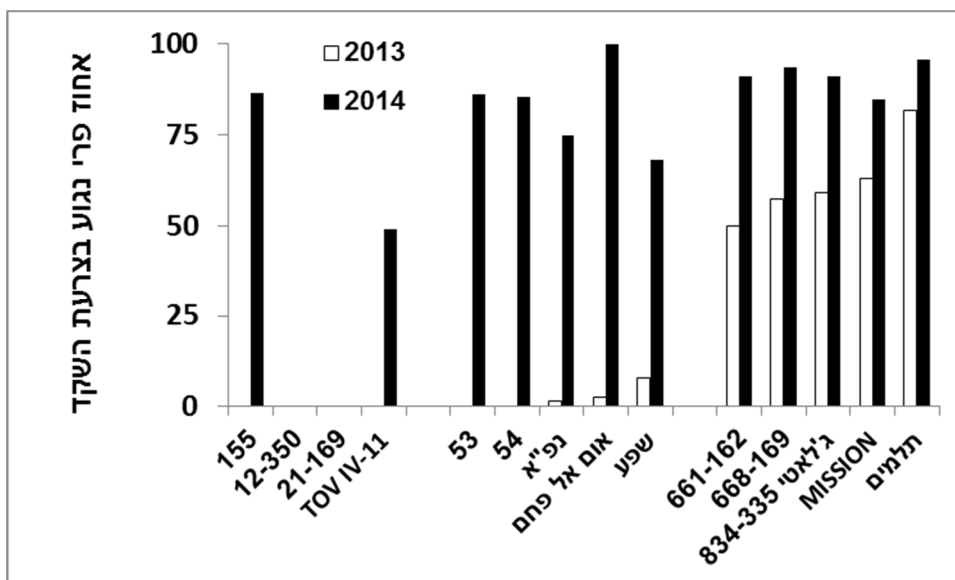
שביטאו רגישות גם בעונת 2014 (איור 1): תלמים (מעל 80% שקדים נגועים), Mission (מעל 63% שקדים נגועים) וגילאטי (מעל 60% שקדים נגועים).

ייתכן שההבדלים ברמת הנגיעות בשתי העונות נובעים מהבדלים ברמת האוכלוסייה של צרעת השקד. באביב 2013, לאחר שלא נמצאו על העצים שקדים נגועים בצרעה, פוזרו בחלקה צרעות באופן יזום (פיזור של כ-2000 מומיות בקבוצות של 50 ב-40 מוקדים אקראיים). בעונת 2014 אוכלסה החלקה מצרעות שהגיוחו ממומיות ששרדו על העצים בשקדים נגועים מהעונה הקודמת. בחלקה זאת לא נעשה כלל שימוש בקוטלי חרקים בשתי העונות וסביר להניח שלחץ האוכלוסייה של הצרעה בעונת 2014 היה גדול יותר מזה שהיה בעונת 2013. אם הנחה זאת נכונה, אז בתכנון ממשק ההדברה העתידי במטע המסחרי צריך להתייחס גם ללחץ האוכלוסייה של צרעת השקד.

בששה זנים נמצאה נגיעות נמוכה (פחות מ-25% שקדים נגועים) בשתי העונות (איור 2). למידע זה יש חשיבות כיוון שאם ההנחה המתייחסת להשפעת לחץ האוכלוסייה על רמת הנגיעות נכונה, צריך למקד את הבדיקה לברור הגורמים לרמת הרגישות הנמוכה לצרעה בזנים שמבטאים בעקביות נגיעות נמוכה על רקע רמות שונות של אוכלוסיית הצרעה בהשוואה לזנים שבהם מתקבלת נגיעות גבוהה.

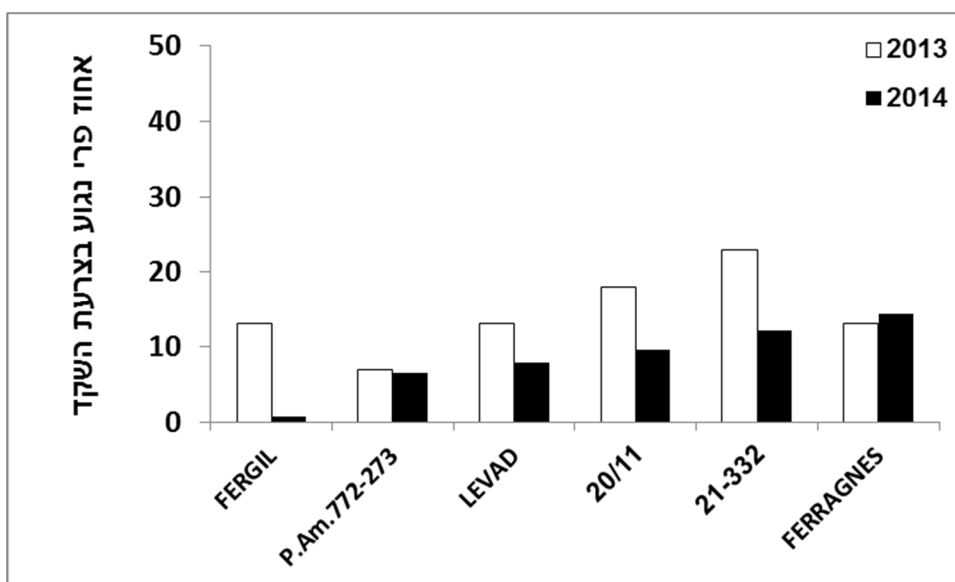
בבדיקת האפשרות להתחמקות החנטים מהתקפת הצרעה נמצא שכל הזנים היו נגועים בין שהקדימו ובין שאיחרו לחנוט. התחלת הגיחה (בשיעור של 10%) נרשמה ב-20/2/14 וחודש לאחר מכן, ב-20/3/14, נרשם שיעור גיחה של 88%. הזנים המקדימים סיימו את פריחתם ב-15/2/14, חמישה ימים לפני מועד גיחת הצרעות והזנים המאחרים ב-28/3/14, שלושים ושמונה ימים לאחר מועד גיחת הצרעות. גם בזנים המקדימים וגם בזנים המאחרים לחנוט, נמצא שיעור נגיעות בטווח של 30-100% של צרעת השקד בפרי (איור 3). בששה זנים נמצא שיעור נמוך מ-15% נגיעות (איור 3, עמודות כהות) ואלה אותם הזנים שביטאו נגיעות נמוכה (פחות מ-25%) גם בעונה הקודמת (איור 2).

נציין, שבכל השקדים עם סימנים חיצוניים אופייניים של נגיעות בצרעת השקד (שקדים מצומקים בגוון חום-צהוב שאינם מתנתקים בקלות מהעץ) נחשף הגלעין וב-93.5% (± 10.0) מהם נמצאו זחלים ומתוכם 87.9% (± 12.6) היו חיים. נתונים אלו מצביעים על העובדה שלא היתה טעות באפיון השקדים הנגועים על העץ לפי סימני הנגיעות החיצוניים.



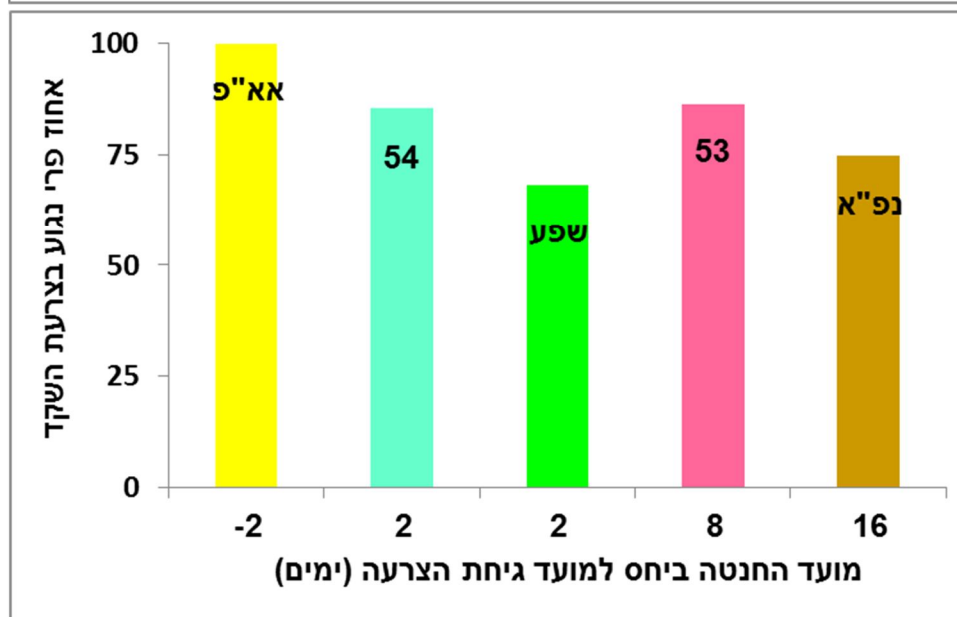
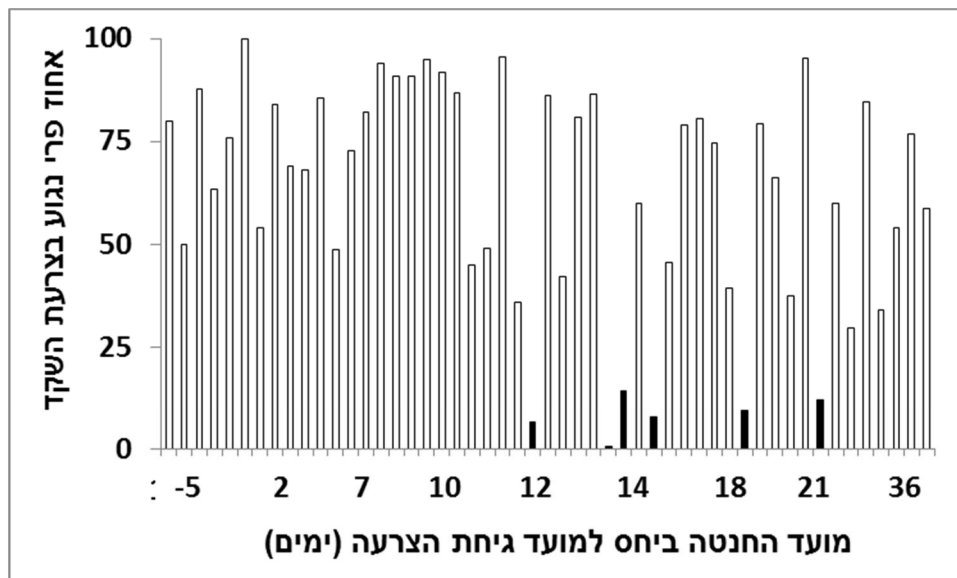
איור 1. אחוז פרי נגוע בצרעה בזנים וטיפוסים שונים של שקד, בחלקת אוסף זני שקד בנווה יער, בעונות 2013 ו-2014.

הנתונים הם ממוצע הנגיעות בצרעת השקד במדגם של מעל 100 פירות לזן שנדגמו בענפים שסומנו מראש בתקופת הפריחה לפני הופעת סימני הנגיעות. החלק השמאלי מתאר את הזנים שביטאו רגישות נמוכה ביותר לצרעת השקד (0% נגיעות) בעונת 2013 ורגישות גבוהה (מעל 50%) בעונת 2014. למעט, בזנים 12-350 ו-21-169 שבהם לא היה כלל פרי בענפי המדגם בעונת 2014. החלק האמצעי מתאר את הנגיעות בזנים הקיימים במטעים מסחריים והחלק הימני מתאר את הזנים הרגישים ביותר בעונות 2013 (מעל 50% נגיעות) ו-2014 (מעל 85% נגיעות). בעונת 2013 אוכלס המטע באופן יזום במומיות של צרעת השקד (כ-2000 מומיות שפוזרו בקבוצות של 50 ב-40 מוקדים שונים בחלקה) ובעונת 2014 היה מקור הנגיעות מצרעות שהגילו ממומיות ששרדו על העצים מהעונה הקודמת.



איור 2. אחוז פרי נגוע בזנים שביטאו רגישות נמוכה לצרעת השקד בשתי עונות עוקבות, בחלקת אוסף זני שקד בנווה יער.

הנתונים הם ממוצע הנגיעות בצרעת השקד במדגם של מעל 100 פירות לזן שנדגמו בענפים שסומנו מראש בתקופת הפריחה, לפני הופעת סימני הנגיעות. מתוארים ששה זנים שביטאו רגישות נמוכה לצרעת השקד (פחות מ-25% נגיעות) בשתי עונות עוקבות (2013, 2014). בעונת 2013 אוכלס המטע באופן יזום במומיות של צרעת השקד (כ-2000 מומיות שפוזרו בקבוצות של 50 ב-40 מוקדים שונים בחלקה) ובעונת 2014 היה מקור הנגיעות מצרעות שהגילו ממומיות ששרדו על העצים מהעונה הקודמת.



איור 3. אחוז בפרי נגוע בצרעת השקד בזנים שחנטו במועדים שונים ביחס למועד תחילת גיחת הצרעה, במדגם של זנים וטיפוסים שונים של שקד (למעלה) ובזנים המסחריים (למטה), הקיימים בחלקת אוסף זני שקד בנווה יער.

הנתונים הם ממוצע הנגיעות בצרעת השקד במדגם של מעל 100 פירות לזן שנדגמו בענפים שסומנו מראש בתקופת הפריחה, לפני הופעת סימני הנגיעות. בתרשים העליון כל עמודה מתייחסת לזן/טיפוס אחר של שקד כאשר הזן המקדים חנט 5 ימים לפני גיחת הצרעה (-5 ימים) והזן המאחר חנט 38 ימים לאחר מועד גיחת הצרעה. העמודות השחורות מבליטות זנים שבהם נמצאה נגיעות נמוכה (פחות מ- 15%) בפירות שחנטו בטווח של 12 עד 21 ימים לאחר גיחת הצרעה. בתרשים התחתון הובלטו הזנים המסחריים הנמצאים בחלקה ובהם הזן המקדים, אום אל פחם (אא''פ) שהחל לחנוט 2 ימים לפני גיחת הצרעה (-2) והזן המאחר, נה פלוס אולטרה (נפ''א), שהחל לחנוט 16 ימים לאחר גיחת הצרעה.

ב. פרופיל הנדיפים המשוחרר מחנטים של זנים שביטאו רגישות שונה לצרעת השקד

באנליזת GC-MS של פרופיל הנדיפים שנערכה באביב 2014 לחנטים, בזני שקד שביטאו הבדלים ברמת הנגיעות לצרעת השקד בעונת הקודמת, נמצאו הבדלים בחומרים נדיפים המורכבים מטרפנים, ססקוויטרפנים וחומרים ארומטיים (aromatic compounds), כגון: benzoic acid ו-benzaldehyde (איור 4). חומרים השייכים ל-aromatic compounds, כגון: benzoic acid ו-isoamyl benzoate, נמצאו ברוב החנטים של הזנים עם נגיעות נמוכה, ולא נמצאו בזנים עם נגיעות גבוהה בצרעה (איור 4, תרשים אמצעי). בנוסף, נמצאו בזנים עם נגיעות נמוכה, שני חומרים השייכים לססקוויטרפנים (E-caryophyllene, alpha-humulene) שלא נמצאו בזנים עם נגיעות גבוהה (איור 4, תרשים תחתון). בשני המקרים חלק מהחומרים שנמצאו בזנים עם נגיעות נמוכה נמצאו גם בזני האפרסק שאינם נתקפים כלל על ידי צרעת השקד. ייתכן שהחומרים הנדיפים שנמצאו בזנים עם שיעור נגיעות נמוך בצרעה ולא נמצאו בזנים עם שיעור נגיעות גבוה, תורמים לדחייה של צרעת השקד מהחנטים. כדי לבסס השערה זאת נדרש לבחון, בין היתר, את תגובת הצרעות לחומרים אלה באולפקטומטר. חומרים השייכים לטרפנים וססקוויטרפנים, וכן, חומרים ארומטיים (פנולרופאנוויידים) ידועים בספרות כחומרים הגורמים לדחייה או משיכה של חרקים (McCormick et al., 2012; War et al., 2011).

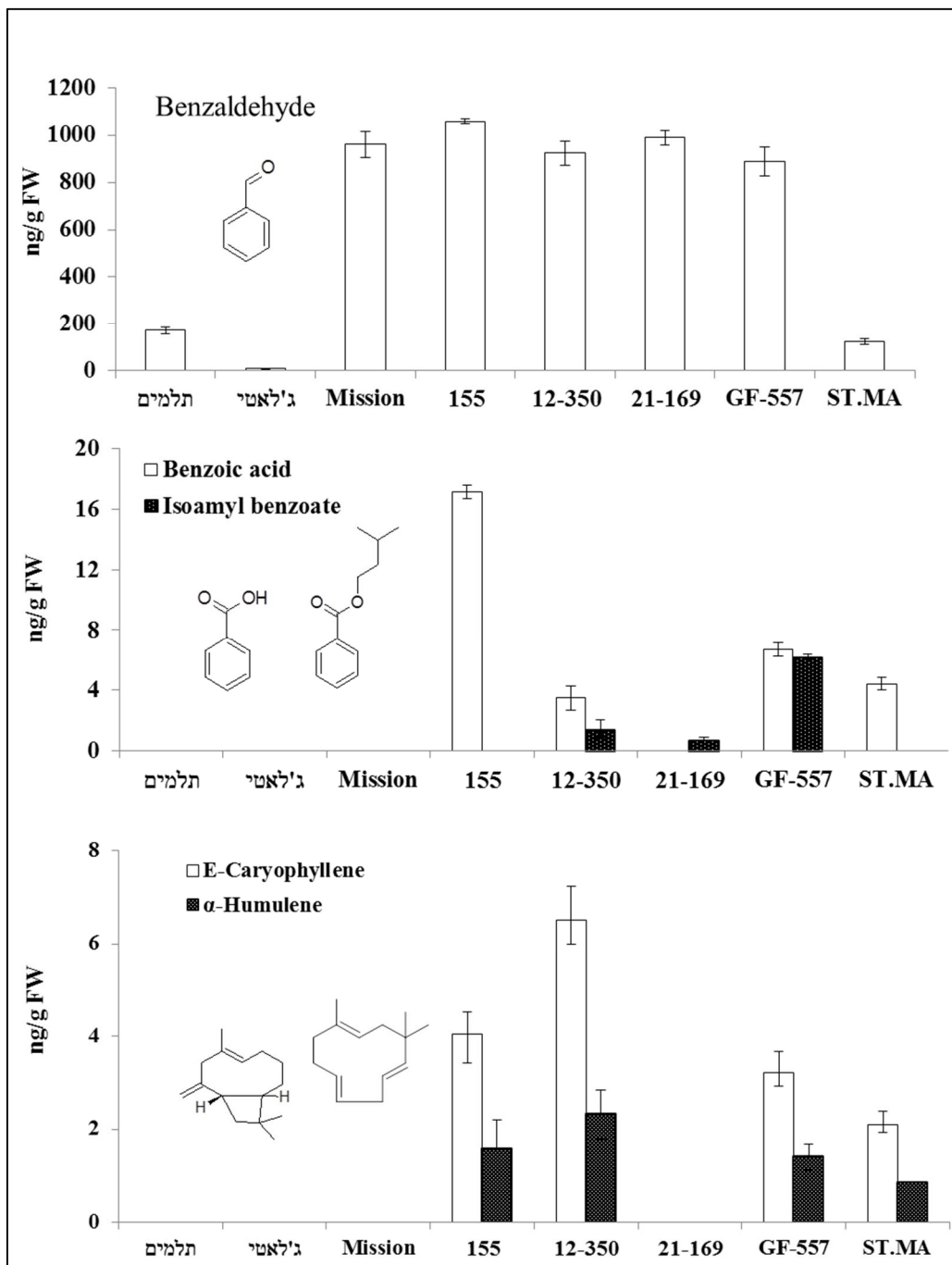
סיכום

צרעת השקד היא מזיק מפתח הגורם לנזק ישיר בפרי ולהפחתת היבול באותה העונה ובעונות הבאות כתוצאה מתמותת הדרבן הצמוד לשקד נגוע (מומיה). כדי לפתח ממשק להדברה משולבת ידידותית במטעי השקד נדרש למצוא, בשלב ראשון, אמצעים חליפיים להפחתת ברמת האוכלוסייה של הצרעה במטע ובשלב שני אמצעים לשמירה על רמה נמוכה של האוכלוסייה במטע המקומי ובמטעים השכנים. במחקר זה נערך מעקב דו-שנתי אחר ההבדלים ברגישות של זני השקד לצרעת השקד במטרה לזהות את הגורמים להבדלים ולפתח בעתיד אמצעים לשיפור ממשק ההדברה ולטפח זנים פחות רגישים לצרעה בתהליך ההשבחה. באופן כללי, לא נמצא דפוס עקבי בשתי עונות הבדיקה המבטא הבדלים ברגישות הזנים לצרעה. זנים שבהם נמצאה נגיעות נמוכה בעונה הקודמת נמצאו בעונה העוקבת עם שיעור נגיעות גבוה. ההסבר העיקרי לכך הוא הבדלים ברמת האוכלוסייה של צרעת השקד בשתי העונות. נציין, שחלק מהעצים היו צעירים עם מספר פירות נמוך וזאת יכולה להיות סיבה נוספת להבדלים ברמת הנגיעות. בשני המקרים נדרש מעקב רב-שנתי כדי לבסס השערות אלה. לא נמצאו זנים שהצליחו להתחמק מהתקפת הצרעה בשל חנטה מאוחרת ביחס לתקופת פעילות הצרעה ולפיכך, נשללת האפשרות שסיבה זאת היא גורם להבדלים ברמת הנגיעות בזנים השונים. ששה זנים ביטאו נגיעות נמוכה בשתי העונות וייתכן שצריך להתמקד בזנים אלו כדי לברר את הגורמים להבדלים ברגישות הזנים לצרעה. כמו כן, רצוי להרחיב את הבדיקה לכלל הזנים בחלקה כדי למפות את רמת הרגישות במגוון זנים גדול יותר. גם אם יימצאו זנים בעלי רגישות נמוכה לצרעה שאינם מתאימים לגידול מסחרי ניתן יהיה לעשות שימוש במידע לצרכי השבחה. בין יתר הגורמים להבדלים ברגישות הזנים יכולים להיות חומרים נדיפים המשוחררים מהצמח. בבדיקה של פרופיל הנדיפים מחנטים של זנים שבהם נמצאה נגיעות גבוהה לעומת זנים שבהם נמצאה נגיעות נמוכה וזני אפרסק שאינם נתקפים כלל על ידי הצרעה נמצאו הבדלים במספר חומרים הידועים כבעלי פוטנציאל למשיכה או דחייה של חרקים. כדי לבסס מידע זה צריך, בין היתר, לבדוק את השפעת החומרים על פרטים של צרעת השקד באולפקטומטר.

במחקר העתידי נדרש לבסס את המידע אודות ההבדלים ברגישות הזנים, על רקע רמות שונות של אוכלוסיית הצרעה ולבדוק גורמים נוספים היכולים להשפיע על ההבדלים ברגישות, כגון: חוזק מכני של החנט והבדלים היסטולוגיים ברקמה היכולים לשמש מחסום פיסי לחדירת צינור ההטלה של הצרעה. בנוסף, נדרש לחקור את הגורמים לתמותת הדרבן הצמוד לשקד נגוע (מומיה) במטרה להציע בעתיד אמצעים לריפוי הדרבן ו/או ניתוק המומיות מהעץ. כמו כן, נדרש לקבוע את התרומה של הסניטציה להפחתה ברמת האוכלוסייה של צרעת השקד וכאמצעי לשמירה על רמה נמוכה של האוכלוסייה במטע. נושא זה ידוע כעתיר עבודה אך, אם יוכח כמוצלח אז צפוי שימי העבודה הנדרשים לביצועו יופחתו אף הם. הסניטציה היא אמצעי חשוב לשמירה על רמה נמוכה של אוכלוסיית הצרעה במטע ויישומה באופן אזורי, במטעי שקד סמוכים, יביא להפחתה משמעותית בנוק ולהפחתת השימוש בתכשירי הדברה. בנוסף, אם ימצאו אמצעים לניתוק המומיה מהעץ יקל הדבר מאוד על ביצוע הסניטציה על ידי סילוק המומיות בתהליך הניעור בקטיף.

רשימת ספרות

- ראובני ח. ופרקש ז. (2012): הדברה משולבת של מזיקי השקד. 'עלון הנוטעי' סו' (8): 30-35.
- Clavijo McCormick, A., Unsicker S.B. and Gershenzon, J.(2014). The specificity of herbivore-induced plant volatiles in attracting herbivore enemies. Trends Plant Sci.17:303-10.
- War, A.R., Sharma, H.C., Paulraj, M.G., War, M.Y. and Ignacimuthu, S. (2011). Herbivore induced plant volatiles: Their role in plant defense for pest management. Plant Signal Behav. 6:1973-8.



איור 4. אנליזת GC-MS של Benzaldehyde (למעלה), Benzoic acid, Isoamylbenoate (באמצע) ו- E-Caryophyllene, alpha-Humulene (למטה), על חנטים בזנים שביטאו הבדלים ברמת הנגיעות של צרעת השקד.

הנדיפים נאספו בעונת 2014, ישירות (headspace) מענפי שקד עם חנטים, מזנים שביטאו רגישות שונה לצרעת השקד בעונה קודמת, להלן: שלושה זנים שבהם נמצאה נגיעות גבוהה בצרעה (תלמים, ג'לאטי, Mission), שלושה זנים שבהם נמצאה נגיעות נמוכה (155, 12-350, 21-169) וכן, זני אפרסק: (1) על מכלוא של שקד אפרסק (GF-557), (2) הזן St. Maria, הקרובים פילוגנטית לשקד אך, אינם רגישים כלל לצרעת שקד.