

עיבוד פסולת צמחית חקלאית בעזרת זבוב החייל השחור
לקבלת קומפוסט בשל ומזון עתיר חלבונים להאכלת בע"ח

**Processing of agricultural plant waste, using the black soldier fly, for receiving compost
and protein-rich animal feed**

קוד זיהוי: 47-30-0001

שנת המחקר: 2016, שניה מתוך ארבע שנים

מוגש לקרן המדען הראשי משרד החקלאות, ועדת שיפוט מצוינות

מוגש על-ידי: **עדי יונס-לוי**, מדעי המזון, מכללה אקדמית תל-חי, adijon@gmail.com;

ליאורה שאלתיאל-הרפז, מו"פ צפון; **יצחק מרטינז**, מיגל; **עופר דנאי**, מו"פ צפון.

תקציר- הבעיה: בישראל רוב הפסולת החקלאית-צמחית אינה מתועלות כמשאב כלכלי, אלא גורמת לבעיות סביבתיות-כלכליות-חברתיות. **מטרות שנה ב':** (1) התמודדות זבוב החייל השחור עם: אילוח חוזר במחלות צמחים, מזיקים וזרעים "רעים", מליחות, חומציות ונוכחות שיירים אנאורגניים. (2) פיתוח נוסחאות לשימוש בזבוב. (3) לימוד על אויבים לזבוב. **שיטות:** ניסוי מעבדה מבוקרים (מכללת תל-חי, מיגל, מו"פ צפון) וניסויי שדה (גליל עליון) נערכו בקנה מידה בינוני וקטן (0.5-50 ק"ג) בשיטות המקובלות. **תוצאות:** הזבוב עיכב ב-99.8% גידול הפיטופתוגן *Pectobacterium carotovorum*, וב-100% גידול ונביטת עבשי בר ו-*Penicillium digitatum*, גרם להפחתה במספר המזיקים טוטה אבסולוטה, זפי"ת, Phorid, דרוזופילה ושחרורית הקמח ב-54%, 85%, 27%, 76% ו-100%, בהתאמה, ע"י טריפת ביצים ורימות המזיקים. עיכב נביטת זרעי זייפן מצוי, כף האווז הלבנה וחיטת רותה ב-99%, 100% ו-47%, בהתאמה. בעל סבלות גבוהה למליחות וחומציות ואינו מושפע משיירים אנאורגניים. לזבוב מגוון אויבים טבעיים. **מסקנות והמלצות:** לביצוע מיטבי: חלבון $\leq 10\%$, הזנה מנתית, טמפ' $\leq 20^{\circ}\text{C}$ והגנה מטורפים.

תוכן עניינים

<u>עמוד</u>	<u>נושא</u>	<u>סעיף</u>
5	..... מבוא	1.2
5	..... מטרות המחקר	1.3
5	..... פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר	1.4
5	..... שיטות וחומרים	1.4.1
5	..... מיקום	
5	..... התמודדות עם אילוח חוזר	
5	..... מחלות צמחים	
6	..... מזיקים	
8	..... זרעים "רעים"	
8	..... התמודדות עם מליחות וחומציות הפסולת	
8	..... התמודדות עם שיירים לא אורגניים בפסולת	
9	..... נוסחאות לבניית מצעי גידול	
10	..... מתחרים ואויבים	
10	..... ניתוח תוצאות	
10	..... תוצאות	1.4.2
10	..... התמודדות עם אילוח חוזר	
10	..... מחלות צמחים	
11	..... מזיקים	
12	..... זרעים "רעים"	
12	..... התמודדות עם מליחות וחומציות הפסולת	
12	..... התמודדות עם שיירים לא אורגניים בפסולת	
12	..... נוסחאות לבניית מצעי גידול	
14	..... מתחרים ואויבים	
14	..... דיון ומסקנות	1.5
16	..... תודות	1.6
16	..... ביבליוגרפיה	1.7
17	..... סיכום עם שאלות מנחות	1.8
18	..... חשיבות שילוב קבוצות המחקר	1.9
18	..... פירוט מטרות תוצאות ומסקנות מרוכזות	1.10
19	..... מטרות המחקר המיועדות להתבצע בשנה הבאה	1.11
20	..... נספחים	1.12

1.2. מבוא

בישראל מיוצרים מידי שנה יותר משני מיליון טונות פסולת אורגנית, ומתוכם מאות אלפי טונות פסולת צמחית חקלאית. כמעט ולא קיימים כיום פתרונות יעילים ברי קיימא לטיפול בפסולת צמחית חקלאית. הטמנת הפסולת, שריפתה, הצנעתה בשטחי הגידול או פיזור מחוץ לשטחי הגידול הינם הטיפוליים העיקריים כיום, אך הם גורמים למפגעים סביבתיים רבים. טיפול בפסולת חקלאית צמחית דורש התייחסות לבעיות ייחודיות, לדוגמא, אילוח חוזר בזבוב הפירות הים תיכוני (*Ceratitis capitata*) הנובע מפירות נגועים הזרוקים במטע מהווה בעיה במרבית הנשירים בארץ. טיפול שאינו מתאים בפסולת זו מהווה מקור לאילוח הסביבה כולה במזיק. בעיה אופיינית נוספת היא הכמויות הגדולות, של עשרות עד מאות אלפי טון בשנה, של פסולת חדגונית בעלות ריכוז גבוה של מרכיב צמחי או כימי שנחשבים לעיתים כטוקסיים, כמו סולנין בפסולת גידול עגבניות וסולניים אחרים או סודיום-היפוכלוריד בפסולת גידול פטריות. גם השילוב של חומר אנאורגני כמו חתיכות ניילון חממות ובעיקר חוטי הדליה השזורים בתוך החומר האורגני מהווים בעיה לטפל בפסולת זו בשיטות הקומפוסטציה המקובלות. לזבוב החייל השחור (זח"ש), (*Hermetia illucens*) Black soldier fly (BSF) תפוצה כלל עולמית בין 45°N ל-40°S, אינו מזיק לאדם, לחי ולצומח ולא מטריד. רימות זח"ש משגשגות על חומר אורגני מגוון. **מטרת המחקר בשנה ב'** הייתה לאפיין את התמודדות זבוב החייל השחור עם בעיות עיקריות בצריכת פסולת חקלאית צמחיות.

1.3. מטרת המחקר

מטרת על – פיתוח אמצעי טבעי, יעיל וזול לפירוק פסולת אורגנית מקומית לקבלת קומפוסט בשל ומזון עתיר חלבונים להאכלת בע"ח. **מטרות שנה ב':** (1) התמודדות עם שלוש בעיות עיקריות בעיבוד פסולת צמחית חקלאית: א) אילוח חוזר במחלות צמחים. ב) מליחות וחומציות הפסולת. ג) בעיית ההפרדה בין שירים לא אורגניים (חוטי הדליה) לפסולת הצמחית. (2) פיתוח נוסחאות לבניית מצעי גידול ל-BSF תוך התמקדות בארבע הבעיות המצוינות לעיל. (3) מניעת התפתחות של מתחרים ל-BSF וכניסת טורפים.

1.4. פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר

1.4.1. שיטות וחומרים

מיקום: (1) חדר גידול ומעבדת מחקר של עדי יונס-לוי, המכללה האקדמית תל-חי. (2) חדרי גידול ומעבדת מחקר של ליאורה שאלתיאל, חוות המטעים- מו"פ צפון, שימש את עבודת ליאורה שאלתיאל ויצחק מרטינז (3) חדר גידול ומעבדת מחקר של עופר דנאי, חוות מתתיהו- מו"פ צפון. (4) ניסויי שדה- במטע תפוחי עץ של קיבוץ ברעם, יצחק מרטינז. (5) ניסויי שדה בכל רחבי הגליל (נספח 1) לאיתור פרזיטואידים, יצחק מרטינז. (6) ניסויי שדה בשלושה אתרים בעמק החולה (חצר של גן התעשייה תל חי, חצר קמפוס מערבי המכללה האקדמית תל חי ומדגה קיבוץ ברעם) לאיתור אויבים טבעיים, יצחק מרטינז. רוב רימות הזח"ש התקבלו ממפעלי ביובי מהגידול המסחרי והשתמשו בהן לניסויים בדרגות 2-3, וחלקן נאספו בגליל ובכרמל.

התמודדות עם אילוח חוזר:

מחלות צמחים: לחקר ההשפעה של זח"ש על מחלות צמחים ועל אילוח חוזר בפיטופתוגנים נבחרו *Penicillium digitatum* (PD) ועבשי בר כמודל לעובשים העשויים להימצא בפסולת חקלאית מגזם או פרי. *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Brasiliense* (Pcb) כמודל לחיידקים ו- *Penicillium Pcb* במודל

נבדקו שרידות וקצב גידול הרמות על תפוחי אדמה רגילים בהשוואה לנגועים ורקובים, השפעת נוכחות הרימות על ריכוז חיידקי המבחן לאחר החדרת הפלסמיד PQE-GFP לתוכם ב- qRT-PCR והשפעת מיצוי הידרופילי (בופר ציטרט) והידרופובי (מתנול 60%) של קומפוסט הרימות על גדול Pcb. **במודל PD ובעבשי הבר** נבדקו שרידות וקצב גידול הרימות בדרגות התפתחות שונות בנוכחות העובש ובלעדיו, והשפעת נוכחות הרימות על התפתחות העבש והתפתחות נבגים הנמצאים במגע ישיר עם הרימות וללא מגע ישיר. הכימות נעשה בהמוציטומטר ובספירה חייה של מושבות העובש.

מזיקים: לבדיקת השפעת זח"ש על מזיקים ועל אילוח חוזר שלהם בחנו את המזיקים האופייניים לפסולות הנבחרות וכן חרקים ששימשו כמודל למשפחות מזיקים.

טוטה אבסולוטה (*Tuta absoluta*) בעגבניה: עלי עגבנית חממה (זן איקרים) נגועים ב- *T. absoluta* נאספו מחממה מסחרית במושב ירדנה. בניסוי מעבדה הוצבו בכלי פלסטיק מלבניים בני 5 ליטר עם תחתית ומכסה רשת 50 מאש בשני טיפולים: 50 גר' עלים נגועים שלמים (עלה נגוע הוגדר כמכיל לפחות מנהרה פעילה אחת של זחל המזיק) בתוספת 1 גרם רימות זח"ש בדרגה 2 (משקל רימה ממוצע בעת ההצבה 0.0034 ± 0.0003 [ממוצע ושגיאת תקן] גרם, סה"כ 294 רימות לחזרה) וביקורת כנ"ל ללא תוספת רימות זבוב. סה"כ 5 חזרות לכל טיפול. הכלים הוצבו בחדר הגידול המבוקר. אחת ליומיים במשך שלושה שבועות נבדקה גיחת בוגרי העש. הניסוי הסתיים כאשר במהלך שבוע לא נצפו גלמי העש ולא הגחות חדשות.

אקרית הקורים (*Tetranychus urticae*) בעגבניה: 700 גר' עלי עגבנית חממה (מהזן 1402 של חישתיל) עליהם מגודלת אקרית הקורים *T. urticae* בגידול מסחרי התקבלו מחברת ביובי. העלים נבדקו לנוכחות האקריות, נשקלו ולאחר מכן הוצבו בכלי פלסטיק בני חצי ליטר על מכסה רשת 50 מש בשני טיפולים: 50 גר' עלים שלמים עם אקריות בתוספת 50 רימות זח"ש בדרגה 2 וביקורת כנ"ל ללא רימות. הכלים הוצבו בחדר גידול מבוקר טמ"פ (23 ± 2 מ"צ) ותאורה (D:L 8:16) וכעבור 4 ימים לכל כלי הוכנס שתילון של עגבנייה מאותו זן. כעבור 48 שעות השתילונים נאספו ובעזרת בינקולר נספרו כל האקריות שנמצאו עליהם. לאחר הספירה הוכנס לכל כלי שתילון נוסף ושוב המתנו 48 לעליה של אקרית לשתילונים ולספירתם. 6-7 חזרות לטיפול.

זבוב הפירות הים תכוני (*Ceratitits capitata*) בפסולת תפוחים: לבדיקת השפעת אכילת התפוחים על-ידי רימות זח"ש על הגחה של בוגרי זבוב הפירות הים תכוני (להלן זיפ"ת) נערכו שני ניסויים בהם נקטפו במטעים ברמת הגולן אחרי סיום הקטיף המסחרי, תפוחים מהזן זהוב עקוצים ע"י זיפ"ת. לפני ההצבה נספרו העקיצות בכל פרי וחולקו כך שבכל אחת מחזרות הניסוי מספר העקיצות של הזיפ"ת יהיה זהה. בניסוי הראשון שהוצב הועמדו שלושה טיפולים: תפוחים חצויים בתוספת רימות זח"ש, תפוחים שלמים בתוספת רימות זח"ש וכביקורת, תפוחים שלמים ללא תוספת זח"ש. סה"כ 5 חזרות לטיפולים. הניסוי הוצב בכלים ובתנאים כמתואר בניסויים במזיקי העגבניות. בכל כלי היו 3 תפוחים עם 3 עקיצות זיפ"ת בממוצע לפרי, סה"כ 9 עקיצות לחזרה. לפני ההצבה נרשם משקל התפוחים בכל כלי ובטיפולים בהן הוספו רימות הזח"ש מספרן חושב כך שלכל גרם פרי תוסף רימה אחת. אחת לשלושה ימים במשך חודשים נבדקו מספר הרימות, מספר הגלמים ומספר הבוגרים של הזיפ"ת. הניסוי הסתיים כאשר במהלך שבועיים לא נצפו יותר גלמים של הזיפ"ת ולא הגיחו יותר זבובים בוגרים.

בעקבות תוצאות הניסוי הראשון הצבנו ניסוי נוסף באותה מתכונת ובו בחנו את שיעור גיחת הזיפ"ת מתפוחים חתוכים בלבד בנוכחות ובהעדר רימות זח"ש. ניסוי זה הוצב כ- 3 חודשים לאחר סיום הקטיף (12.12.16)

בתפוחים מאותו זן, אך מאחר ומשקלם הממוצע היה נמוך יותר מאשר ניסוי הראשון (140 ± 10 גרם לתפוח) מספר רימות הזח"ש שהוצבו בכל כלי היה בהתאם ונמוך יותר מאשר בניסוי הראשון.

זבוב התסיסה (דרוזופילה) בפסולת תפוחים: בניסוי המתואר לעיל "זבוב הפירות הים תכוני בפסולת תפוחים", התפוחים היו נגועים גם בזבובי תסיסה. זבובי דרוזופילה בוגרים נספרו מידי שלושה ימים כמתואר לעיל.

Phorid בפסולת גידול פטריות: התקבל מצע מגידול מסחרי של פטריות שמפניון (*Agaricus bisporus*), מאולח ברימות וגלמים של זבובי פטריות (*Megaselia halterata*). המצע הוכנס לכלי גידול בנפח 2 ליטר, 130 גר' מצע + 130 גר' רגלי פטריות לכלי. בטיפול 1 הוכנסו 2550 רימות זח"ש לכלי וטיפול 2 היה ביקורת ללא זח"ש. הניסוי נערך ב- 3 חזרות. כל כלי הוכנס לתא גידול סגור מפרספקס, עם פתחי אוורור מכוסים ברשת חרקים. תאי הגידול הוכנסו לחדר גידול מבוקר בחוות מתתיהו בטמפרטורה של 30°C . בכל תא נתלו שתי מלכודות דבק צהובות ונערך מעקב אחר מספר זבובי הפטריות שהגיחו מהמצע ונדבקו למלכודות, כל 3-5 ימים.

בחינת אופן הפחתת מזיק ע"י הזח"ש- דרוזופילה כמודל לזבובאים: דרוזופילות התקבלו מתפוחים נגועים בזבובי תסיסה מקיבוץ ברעם. 25 רמות דרוזופילה צעירות (כ- 3.5 מ"מ) הוכנסו לחורים בתוך חצאי תפוחי עץ. חצאי התפוחים הנגועים הוכנסו לכלים בגודל 0.5 ליטר. לבדיקת השפעת זח"ש על רימות דרוזופילה הוכנסו 300 רמות זח"ש לכלי המכיל רימות אלו. לבדיקת השפעת זח"ש על גלמי דרוזופילה המתנו עד לקבלת גלמים, ורק לאחר מכן הוכנסו 300 רימות זח"ש למערכת. רימות זח"ש בכל המקרים היו בדרגות 3-4, האינקובציה ב- 26 מ"צ. כביקורת הוצבו כלים עם תפוחים ודרוזופילות ללא זח"ש ובכלים אחרים, תפוחים ללא דרוזופילות בנוכחות זח"ש. לכל טיפול 6 חזרות. מעקב אחר התפתחות גלמים ובוגרים של דרוזופילה נעשה שלוש פעמים בשבוע.

שחרורית הקמח כמודל לחיפושיות: לבדיקת השפעת זח"ש על שרידות ביצים ופגיות השחרורית הופרדו בוגרים של שחרורית הקמח ממזון פטם נגוע בחרק. המזון עורבב בעדינות ו- 200 גרם מזון פטם חולק לכלים בגודל 0.5 ליטר. 500 רימות זח"ש דרגות 3-4 הוכנסו לכלי הניסוי אך לא לכלי הביקורת. הכלים עברו אינקובציה למשך שבוע ב- 26 מ"צ. בתום השבוע הוצאו הזח"ש מכלי הניסוי, והוכנס לכלים אלו 100 גרם מזון פטם סטרילי, לאחר מכן הכלים הוחזרו לאינקובציה למשך 10 שבועות נוספים, בסופם נספרו מספר השחרוריות בכלים השונים. לבדיקת השפעת זח"ש על בוגרי השחרורית הוכנסו 10 פרטים בוגרים של שחרורית ל- 200 גרם מזון פטם סטרילי בנוכחות 300 רימות זח"ש. השחרוריות הבוגרות נספרו בתום גידול למשך שבוע ב- 26 מ"צ.

זרעים של עשבים "רעים": נבחרו עלקת (*Orobancha*) מזיק עיקרי בעגבניות וכמודל לטיפול מוחלט, כף אווז לבנה (*Chenopodium album*) כמודל לרחב עלים חד שנתי, זיפן מצוי (*Setaria verticillata*) כמודל לדגן חד שנתי, וחיטה זן רותה (זרעי הנגב) נבחר בזכות גודל הזרע הגדול.

עלקת (Orobancha): בניסוי מעבדה הוצבו בכלי פלסטיק בני 5 ליטר עם תחתית ומכסה רשת 50 מאש שני טיפולים: 500 גרם עלוות עגבניות (מהזן טורי ברק של חישתיל שגודלו בבית רשת בחוות המטעים בגידול ייעודי ללא חומרי הדברה לצורך הניסויים) בתוספת תפוחית של עלקת עם 10 הלקטים בשלים (מגידול מעבדתי של עלקת על עגבנייה), בתוספת 1000 רימות זח"ש בדרגה 2-3 וביקורת כנ"ל ללא תוספת רימות זבוב. סה"כ

5 חזרות לכל טיפול. הכלים הוצבו בחדר הגידול המבוקר עד לאכילה מלאה של כל עלוות העגבניות ע"י הרימה. שארית העלווה מכל כלי נאספה ועורבבה עם 500 מ"ל תערובת מסחרית של אדמה לעציצים. בכל עציץ נשתל שתיל עגבנייה ובמהלך החודשיים הקרובים יספרו מספר צמחי העלקת שיגדלו בכל עציץ.

כף האווז הלבנה, זיפן מצוי: 25 זרעים מכל צמח פוזרו במצע המזון (שיבולת שועל) של זח"ש, 25 זרעים נוספים הוכנסו לשקית רשת והוכנסו למצע המזון. בתום 5 ימי הדגרה הופרדו הרימות ממצע המזון, הזרעים בשקית הוצאו מהמצע, נבדקו תחת בינקולר לאחוז נביטה והונחו באדמת שתילה להנבטה. שארית קומפוסט-הרימות שהכילה זרעים עורבבה (1:10) עם אדמת שתילה ופוזרה במגש הנבטה בגובה של 2 ס"מ. 100 זרעים מכל צמח פוזרו במגש הנבטה ללא חשיפתם לזח"ש כביקורת נביטה. לאחר נביטת זרעי הביקורת המתנו 4 שבועות נוספים בתנאים מתאימים לנביטה, ומספר הנבטים מכל טפול נספר. כל הבדיקות נערכו ב- 6 חזרות.

חיטה מזן רותה: 100 זרעי חיטה הוכנסו לשקית (מרשת זבובים) והוכנסו למצע המזון של הזח"ש, 100 זרעים נוספים הונחו מעל לרימות, ללא מגע ישיר. בתום 5 ימי הדגרה הופרדו הזרעים, נבדקה נביטת הזרעים, והם הושרו במים למשך לילה והונבטו במקום חשוך ולח. הניסוי נערך ב- 6 חזרות. 100 זרעי ביקורת ללא חשיפה לזח"ש הודגרו אף הם (ביקורת נביטה). בתום 5 ימי הדגרה נספרו הנבטים והזרעים שלא נבטו.

התמודדות עם מליחות וחומציות הפסולת: ניסוי מעבדה מבוקר: 300 רימות בדרגות 3-4 גודלו בכלים בנפח 0.5 ליטר תוך חשיפתם למגוון ריכוזים של המלחים NaCl, NaClO, ותנאי pH, שהתקבלו מטיטור מצע הגידול בעזרת HCl או NaOH. 8 חזרות לטיפול. פעמיים- שלוש בשבוע נבדקה שרידותם של הרימות, ומשקלם ע"י שקילת 4 קבוצות של 10 פרטים מכל חזרה. **ניסוי בתנאי שדה:** בחודשי האביב והקיץ (מאי-אוגוסט) רימות גודלו על מספר סוגי פסולות בתנאים לא מבוקרים: פסולת גידול פטריות (29mS/cm) בוצה- מאגר עונתי סכנין, 46% אפר, ופסולת פרי עגבניות (pH-3.7). נבדקו שרידות הרימות, משקלם בסוף הגידול, ואחוז הפסולת שפרקו.

התמודדות עם שיירים לא אורגניים בפסולת: צמחי עגבניות חממה שזורות בחוטי הדליה לאחר עקירת הצמחים ופרי עגבניות עם חתיכות ניילון חממות (20סמ"ר) וחוטי הדלייה. הצמחים התקבלו מפסולת גידול חממה מסחרית של Noga-Agro, כמהין. השתילים יובשו בשמש, עברו שבירה ומעיקה ידנית גסה והוכנסו לכלים בנפח 20 ליטר בנוכחות רימות ביחס 2:1 גרם צמח עגבניה יבש למספר רימות, הצמחים הורטבו עד לרוויה והודגרו ב- 26 מ"צ. כביקורת נלקחו צמחי עגבניות יבשים ופרי עגבניות ללא רימות זח"ש וללא הרטבה. הניסוי נערך בחמש חזרות. בתום הניסוי, אשר נקבע ע"פ מעבר הרימות לשלב טרום גולם, יובשו צמחי העגבנייה וחושב שיעור הפחתת הפסולת, שיעור ההישרדות הרימות ושיעור העלייה במשקל של רימה בודדת ושל כלל הרימות בכל ניסוי.

נוסחאות לבניית מצעי גידול:

גידול זח"ש על רכיבים שונים של פסולת עגבניות: עגבניות (הזן טורי ברק של חישתיל) גודלו בבית רשת בחוות המטעים בגידול ייעודי ללא חומרי הדברה עד הבשלת הפירות. כדי לדמות את התנאים בחממה מסחרית, במועד ההבשלה הפירות נקטפו, הצמחים נעקרו והוצבו ניסויים בכלים בני 5 ליטר עם 700 רימות זח"ש בדרגה 2-3 בכל כלי, בהזנה על 700 גרם רכיבים שונים של שאריות הגידול: עלווה ירוקה, ועלווה יבשה (אחרי חישוב משקל יבש לקבלת ביומסה זהה בתוספת מים להשלמת משקל) פירות אדומים, ופירות ירוקים (7 חזרות מכל רכיב). הכלים עם הרימות הוחזקו בתנאים מבוקרים (2±32 מ"צ) עד ש- 50% מהאוכלוסייה הגיעה

לשלב הטרום גולם. בשלב זה נאספו כל הרימות, נספרו ונשקלו וכן נאספה ונשקלו שאריות הפסולת הצמחית והפרשות הרימות. חושב שיעור הפחתת רכיבי הפסולת השונים, שיעור ההישרדות של הרימות ושיעור העלייה במשקל של רימה בודדת ושל כלל הרימות בכל ניסוי. לאחר מכן יובשו הרימות והפסולת ונבחנו ערכי החנקן, הפחמן והאפר שלהם.

גידול על פסולת גידול פטריות: בניסוי בחדר גידול מבוקר בחוות מתתיהו נבדק גידול רימות הזבוב על מצע פטריות שמפיניון משומש לבד ובתערובות של מצע פטריות משומש עם פסולת רגלי פטריות בשלושה ריכוזים: טיפול 1. 75% רגלי פטריות 25% מצע פטריות משומש, טיפול 2. 50% רגלי פטריות 50% מצע פטריות משומש וטיפול 3. 25% רגלי פטריות 75% מצע פטריות משומש. מעקב אחר גידול הרימות נעשה אחת ל 3-5 ימים על-ידי הוצאה, שטיפה, ייבוש ושקילת מדגם של 50 רימות מכל חזרה, ריכוז חלבון לפי כמות חנקן בקלדל, ואחוז אפר של הרימות נבדקו בתום הניסוי. מוליכות, חומציות, כלל חנקן, חנקן אמוניקלי, רדוקס ואפר של מצעי הגידול נבדקו בהצבת הניסוי, אחת לשבועיים במהלכו ובסיום הניסוי.

גידול זח"ש על פסולת תפוחי עץ- בתנאים מבוקרים: תפוחים מהזן זהוב נקטפו במטעים ברמת הגולן והוצבו ביחד עם רימות זח"ש מדרגה 2-3 בתנאים מבוקרים (2 ± 32 מ"צ) בניסוי עם שני טיפולים: 3 תפוחים חצויים בתוספת רימות זח"ש, ו- 3 תפוחים שלמים בתוספת רימות זח"ש, סה"כ 5 חזרות לכל טיפול. לפני ההצבה נרשם משקל התפוחים בכל כלי והוספו רימות הזח"ש כך שלכל גרם פרי הוספה רימה אחת. כאשר 50% מהרימות עברו לשלב טרום גולם הסתיים הניסוי, הרימות נאספו, נספרו ונשקלו וכן נאספו שאריות הפסולת הצמחית והפרשות הרימות ונשקלו. חושב שיעור הפחתת רכיבי הפסולת השונים, שיעור ההישרדות של הרימות ושיעור העלייה במשקל של רימה בודדת ושל כלל הרימות.

גידול חצי תעשייתי של זח"ש על פסולת תפוחי עץ- ניסוי שדה בתנאים לא מבוקרים: בשתי חלקות במטע של קיבוץ ברעם ($33^{\circ}03' N., 35^{\circ}26' E., 650 m$ elevation above sea), אחת בממשק חקלאי רגיל, שניה בממשק אורגני, לאחר סיום הקטיף (20.10.2016), הועמדו כלים בנפח 100 ליטר עם נקבי ניקוז. לכל כלי הוכנסו 50 ק"ג תפוחים מהזן גרני סמית שנאספו על רצפת החלקות. פירות לא פצועים וללא סימני ריקבון נפצעו באופן אקטיבי. הכלים עם התפוחים הושארו למשך שבועיים לשם הגברת ריקבון הפירות והתבססות זבובי תסיסה. בתאריך 3.11.2016 הוכנסו 25,000 רימות באורך של 5 מ"מ לחמישה כלים (ניסוי), וחמישה כלים אחרים שימשו כביקורת. פעמים בשבוע הכלים נבדקו: נרשמו נוכחות רימות וגדילתן, סימנים של אכילת התפוחים על ידי הרימות, נוכחות של זבובי תסיסה, מתחרים אחרים ואויבים. כעשרה ימים לאחר תחילת הניסוי (14.11.2016) נמצא כי הרימות הצעירות לא התפתחו ומתו, ובעקבות זאת (16.11.2016) הוכנסו 25,000 רימות גדולות (10 מ"מ) לאותם הכלים והתצפיות המשיכו פעמים בשבוע.

מתחרים ואויבים:

כדי ללכוד ולזהות מתחרים ואויבים טבעיים של זבוב החייל השחור הועמדו שני מערכים של מלכודות/פיתיונות: **פריזטואידים וטורפים:** בכל אחד מ- 25 אתרים בגליל העליון, 13 בעמק החולה ו- 12 בהרי הגליל המזרחי נתלתה מלכודת בגובה של חזה אדם (מפה- נספח 1). תליית המלכודות נעשתה בסתיו (16.10.2016) בהתאם למחזוריות של מודל טורף-נטרף על-פיו אם התפתחות הזח"ש היא בעיקר בקיץ, סביר להניח שבסתיו האוכלוסיות האויבים הטבעיים שלו יהיו יותר מפותחות. לכל מלכודת הוכנסו 500 ג' מצע (280 מ"ל תערובת אפרוחים ו- 140 מ"ל מים) ו- 500 רימות זח"ש צעירות (0.05 גרם לרימה). פקקי המלכודות נסגרו ונקבים של

2 * 5 מ"מ חוררו בדופן העליון כדי לאפשר כניסת פרזיטואידים וטפילים. לאחר 4 ימים, ולאחר מכן כל שבוע נעשתה ביקורת לכל מלכודת ונרשמו: גודל הרימות (על פי מפתוח בין 1 [קטנה] ל- 4 [גדול לקראת טרום גולם]), נוכחות זבובים אחרים וצרעות במלכודות. עם יציאת טרום גלמים ממצע הגידול, המלכודות נלקחו למעבדה (09.11.2016). במהלך הימים הראשונים נתנו לבוגרים להתעופף (בהנחה שאלא לא היו נגועים על ידי פרזיטואידים). יתר הגלמים והרימות שלא התפתחו מוינו והוכנסו לכלים מאווררים במחסן חשוך בטמפרטורה ממוצעת של כ- 24 מעלות. פעם בשבועיים הכלים נבדקו לנוכחות חקרים קטנים בכלים, והגלמים והטרום גלמים נבחנו תחת זכוכית מגדלת לסימנים של הגחת פרזיטים פנימיים.

אויבים ומתחרים: 6 כלים מפלסטיק בנפח של 10 ליטר עם כ- 2.7 ק"ג תפוחים חתוכים גס (זנים: גרני סמית, זהוב ופינק לדי מעורבבים) הוצבו לקראת סוף עונת התפוחים בגליל (14.10.2016) בכל אחד משלושה אתרים (גן התעשייה תל-חי, קמפוס מערבי של המכללה האקדמית תל חי ומדגה ברעם בצומת הגומא). לפירוט הטיפולים ראה נספח 111. בתאריך 14.11.2016 הוספו 1.5 ק"ג תפוחים חתוכים לטיפולים 5 ו-6. תצפיות אחר אויבים ומתחרים וכן בדיקת שרידות וגודל זח"ש נערכו פעמיים בשבוע.

ניתוח תוצאות: תוצאות הניסויים הושוּוּ ב- t-test או במבחני ANOVA, לאחר טרנספורמציות מתאימות למבחנים במידת הצורך (Zar, 2009). במקרים בהם הנתונים לא אלמו את התנאים בהם ניתן לבצע אותם המבחנים, בוצעו מבחני Kruskal-Wallis. בוצעו גם מבחנים לאי- תלות כי' בריבוע. הניתוחים הסטטיסטיים נערכו בתכנות JMP 8 וב- SPSS.

1.4.2. תוצאות

התמודדות עם אילוח חוזר:

מחלות צמחים: Pcb: נוכחות רימות זח"ש גרמה לירידה משמעותית של 99.8% בריכוז חיידקי Pcb בארבעה ימים, בהשוואה לירידה לא משמעותית של החיידקים בביקורת (נספח 2A). כמות החיידקים נשארה אפסית בנוכחות זח"ש גם לאחר שבוע. לעומת זאת מספר חיידקי Pcb וקצב גידולם לא הושפעו ממיצוי הידרופילי או הידרופובי של קומפוסט הרימות. שרידות הרימות (100%) וקצב גידולם (נספח 2B) לא הושפעו מנוכחות Pcb או ממצב הריקבון של תפוחי האדמה. **PD:** נמצא כי רימות זח"ש מעכבות גידול עובש במצע הגידול שלהן ואף מעלימות עובש קיים ($\chi^2=40, P<0.001$) (נספח 3A,B). מעבר לכך, נמצא כי הרימות מעכבות התפתחות נבגים גם ללא מגע ישיר לאחר אילוח ב- PD ($t_{(4)}=4.55, p=0.01$) (נספח 3C,D) ובאילוח "בר" ($t_{(4)}=4.67, p=0.009$). בנוסף נמצא כי קומפוסט רימות ללא טיפול וקומפוסט רימות לאחר עיקור גורמים לעיכוב בהתפתחות העובש, וכי עובש אינו מתפתח על גופן של רימות מתות אבל כן מתפתח על גופן של רימות מתות אחרי עיקור ($\chi^2=45, P<0.001$).

מזיקים:

טוטה אבסולוטה (Tuta absoluta) בעגבניה: בניסוי בו נבחנה השפעת הזנת רימות זח"ש על עלוות עגבניות נגועה בזחלי *T. absoluta*, נוכחות זח"ש גרמה להפחתה מובהקת ב- 50% של הגחות בוגרים בהשוואה לביקורת ללא זח"ש, בממוצע ל- 50 גרם עלווה (7.40 ± 1.57) לעומת 13.60 ± 1.43 , בהתאמה ממוצע \pm שגיאת תקן ($t=-2.91, p=0.0019$).

אקרית הקורים *Tetranychus urticae* בעגבנייה: במועד הדיגום הראשון נמצאו יותר (לא מובהק) אקריות לשתילון עגבנייה שהוצב בטיפול הזח"ש (4.57 ± 2.04) לעומת הביקורת (2.85 ± 1.16) ($t_{(12)} = -0.57, p = 0.576$). כשבחנו את ההפרש במספר האקריות לשתילון עגבניות בין הדיגום הראשון לבין הדיגום השני, נימצא שבטיפול הזח"ש חלה ירידה של 3.8 ± 2.2 במספר האקריות הממוצע לשתיל בעוד שבביקורת נמצאה עליה של 0.14 ± 2.56 פרטים בממוצע לשתיל. במבחן מדגמים מזווגים הבדל זה לא מובהק ($t_{(13)} = -1.07, p = 0.30$).

זבוב הפירות הים תכוני בתפוח: בניסוי הראשון בו בדקנו השפעת רימות זח"ש על הגחה של זפי"ת מתפוחים עקוצים בתום הקטיף, מצאנו שכאשר הפירות היו חצויים הייתה הפחתה מובהקת של פי 11 במספר הזבובים הבוגרים שהגיוו מכל תפוח לעומת ביקורת התפוחים השלמים ללא זח"ש ($F_{(2,12)} = 16.7, p = 0.0003$). כאשר הפירות היו שלמים רימות הזח"ש לא הצליחו לחדור אליהם ומספר בוגרי הזפי"ת שהגיוו לא היה שונה מהביקורת (נספח 4A). בניסוי השני בו השווינו את מספר בוגרי הזפי"ת שהגיוו מתפוחים חצויים שלושה חודשים אחרי הקטיף, התקבל שנוכחות זח"ש גרמה להפחתה משמעותית ורק 15% בוגרי זפי"ת הגיוו מהפירות העקוצים בהשוואה לפירות ללא זח"ש (נספח 4B) (1.2 ± 0.3) לעומת 7.8 ± 0.88 , בהתאמה, ממוצע ושגיאת תקן לפרוי) ($t_{(8)} = -6.95, p = 0.0001$).

Phorid בפסולת גידול פטריות: נמצא כי רימות זח"ש הפחיתו ב- 27% את מספר הבוגרים של זבוב הפטריות שהגיוו ממצע גידול פטריות מאולח: 19 ± 7.8 זבובים במצע עם זח"ש לעומת 26 ± 5.8 זבובים במצע בלעדיהם. הפחתה זו לא נמצאה מובהקת במבחן Tukey ברמת שגיאה 0.05.

דרוזופילה בתפוחים נגועים: בניסוי הראשון נמצא כי בתפוחים חתוכים בנוכחות הזח"ש הגיוו רק 6.8 ± 4.4 (ממוצע ושגיאת תקן) דרוזופילות בוגרים מכל כלי, פי 4 פחות, מאשר בביקורת של פירות שלמים ללא זח"ש (28.75 ± 22.7) ושלמים בנוכחות זח"ש (20.66 ± 6.56) התוצאה לא מובהקת ($F_{(2,12)} = 0.86, p = 0.447$). בניסוי המשך על תפוחים ששהו שלושה חודשים במטע אחרי הקטיף והיו מאוד נגועים בדרוזופילות, נמצאה הפחתה מובהקת של פי 4.5 פחות דרוזופילות בנוכחות הזח"ש (156.4 ± 3.7) לעומת בהעדרו (695 ± 28.8) ($t_{(8)} = -$) ($18.53, p < 0.0001$) (נספח 5).

בחינת אופן הפחתת מזיק ע"י זח"ש- דרוזופילה כמודל לזבובאים: שרידות רימות דרוזופילה הייתה משמעותית קטנה בנוכחות זח"ש בהשוואה לביקורת ללא זח"ש 0.33 ± 0.52 , 19.33 ± 2.25 , ($t_{(10)} = 20.15$) ($p < 0.001$) בוגרים, בהתאמה. משמע זח"ש הקטין את אוכלוסיית רימות הדרוזופילה פי 66%. לעומת זאת, לא נמצא הבדל בין כמות הדרוזופילות שהגיוו בנוכחות זח"ש בהשוואה ללא זח"ש ($t_{(10)} = -0.561, p = 0.56$) (נספח 6) כמו-כן לא נמצא הבדל מובהק בין גודל רימות הזח"ש בכלים ללא נוכחות דרוזופילה בהשוואה לנוכחות רימות או גלמים של דרוזופילה (0.194 ± 0.003 גרם) ($f_{(2,15)} = 0.318, p = 0.733$), או בשרידות הזח"ש ($> 99\%$ בכל המקרים) ($f_{(2,15)} = 0.136, p = 0.874$).

שחרורית הקמח כמודל לחיפושיות: נמצא הבדל מובהק בשרידות ביצים ופגיות השחרוריות בין הניסוי לביקורת. בכלי הניסוי שהכיל זח"ש כלל לא נמצאו שחרוריות (0), ואילו בביקורת נמצאו 62.3 ± 23.2 ($t_{(10)} =$) ($6.58, p < 0.001$). לעומת זאת, לא נמצא הבדל במספר החיפושיות הבוגרות בהשפעת הזח"ש ($t_{(10)} = 4.15$) ($p = 0.69$) בהשוואה לביקורת (נספח 7).

זרעים של צמחים "רעים":

עלקת (*Orobanche*): התוצאות תתקבלנה במהלך החודש הבא.

נביטת זרעים רעים- זיפן מצוי, כף האווז הלבנה: נמצא אפס אחוזי נביטה בזרעים שהיו במצע גידול הזח"ש, זרע אחד (0.7% נביטה) מזרעי הזיפן שהיו בשקית נבט ואפס אחוז מזרעי כף האווז הלבנה. נביטת זרעי הביקורת נמצאה גבוה משמעותית (78.7 ± 2.8 ו- 74.7 ± 4.9) בהשוואה לזרעי הניסוי ($f_{(2,15)} = 543.9$, $p < 0.001$), ($f_{(2,15)} = 152.6$, $p < 0.001$) (בהתאמה).

חיטה מזן רותה: 43% ו- 60% נביטה נמצאו בזרעי חיתת רותה לאחר חשיפה למצע הגידול בנוכחות הרימות ולאווירה בתנאים אלו, בהתאמה. נביטת הביקורת נמצאה כגבוהה משמעותית במבחן לאי- תלות כי בריבוע (81%).

התמודדות עם מליחות וחומציות הפסולת:

ניסוי מעבדה מבוקר: נמצא כי NaCl ו- NaOCl גרמו לעיכוב גידול הרימות עם עליית הריכוז. שרידות הרימות נשארה 100%, עד לריכוזים NaOCl 1.5% ו- NaCl 6.5%. בריכוזים אלה הרימות ניסו לברוח מהמצע. ב- NaCl 10% שרדו 5% מהרימות וב- NaCl 15% כולן מתו. בנוסף נמצא כי הרימות סבילות לטווח גדול של חומציות מצע הגידול, בין 2.3–12 pH ללא השפעה על גידולן ושרידותן (100%). **ניסוי לא מבוקר בתנאי שדה:** נמצא כי 99% מהרימות שרדו בגידול על פסולת מגידול פטריות שמפניון וכן בבוצה, אך קצב הגידול היה איטי (5 שבועות ו- 3 שבועות, בהתאמה) ומשקלן הסופי נמוך (0.01 ו- 0.08 גרם לרימה, בהתאמה). בנוסף נמצא כי הרימות שורדות ב- pH החומצי של נוזלי עגבניות (99%), אך קצב התפתחותם בנוזל איטי (4 שבועות) ומשקלם הסופי נמוך (0.13 ± 0.01 גרם) בהשוואה למשקל המקסימאלי האפשרי בתנאים מיטביים (14 יום, 0.24 גרם). ממצאי מחקר אחרים מלמדים כי הבדלים בקצב ההתפתחות ובמשקל הסופי אינם נגרמים מריכוז המלחים הגבוה או מה- pH הנמוך אלא בגלל ריכוז חלבונים נמוך בפסולת לגידול פטריות, הרטיבות הגבוהה והמחסור בחלבון בבוצה ממאגר עונתי סכנין, ובמיץ העגבניות.

התמודדות עם שיירים לא אורגניים בפסולת: נוכחות חומרים אנאורגניים בפסולת לא השפיעו על אחוז הפחתת הפסולת ועל משקלן הסופי של הרימות. שרידות הרימות בנוכחות חתיכות ניילות גדולות ירדה (לא משמעותית) בהשוואה לשרידותן ללא חומרים אנאורגניים, והייתה ללא שנוי בנוכחות חוטי ההדליה. בנוסף נמצא שהפרדת שיירי ניילון וחוטי הדליה מפסולת פרי עגבניות לאחר טיפול הרימות היה פשוט מאוד בהשוואה להפרדה ללא טיפול זח"ש. לעומת זאת, לא נמצא יתרון בהפרדת חוטי ההדליה מקש עגבניות לאחר טיפול הרימות בהשוואה לקש ללא זח"ש. כך שיש יתרון בשימוש בזח"ש לשם הפרדת פסולת אנאורגנית מפסולת אורגנית רק במקרים בהם הפסולת האורגנית ניתנת לפירוק ע"י הזח"ש.

נוסחאות לבניית מצעי גידול:

גידול זח"ש על רכיבים שונים של פסולת עגבניות: שיעור ההפחתה בביומסה הצמחית של רכיבי פסולת העגבניות ע"י הזח"ש נע בין 76% בעלוה ירוקה עד 92% בפירות ירוקים (נספח 8A). יעילות פירוק העלוה הירוקה ע"י רימות הזבוב הייתה נמוכה באופן מובהק מפירוק הפירות אך לא נימצא הבדל מובהק בין יעילות פירוק הפירות האדומים והירוקים. שיעור התמותה של הרימות בהזנה על רכיבי הפסולת השונים נע בין 54±10% (ממוצע ושגיאת תקן) בעלוה ירוקה, 38±10% בעלוה יבשה, 48±11% בעגבניות אדומות לבין 28±7% בעגבניות ירוקות, אך הבדלים אלו לא היו מובהקים ($F_{2,12} = 0.86$ $p = 0.447$). ברימות ששרדו, שיעור העלייה במשקל של רימה בודדת היה הגבוה ביותר כאשר ניזונו על עגבניות אדומות והנמוך ביותר כאשר ניזונו על עלוה יבשה (נספח 8B). בהתאם, שיעור הגידול בביומסת הרימות הכללית היה גבוה פי 2 כאשר הן ניזונו

על עגבניות ירוקות (1449%±234) ואדומות (1341%±246) לעומת הזנה על עלווה ירוקה (746%±145) או על עלווה יבשה (1075%+211%), אך הבדלים אלו לא היו מובהקים.

בדיקת איכות ה"קומפוסט" שנתר מרכיבי פסולת העגבניות השונים, אחרי סיום הזנת הרימות, נמצאו הבדלים מובהקים בתכולת הפחמן ($F_{3,34}=3.62$ $p=0.023$) כאשר בפסולת העגבניות האדומות תכולת פחמן הייתה הגבוהה ביותר (477±41 gr/kg) בעוד שבועולה היבשה הנמוכה ביותר (374±13 gr/kg) ובעלווה הירוקה (464±47 gr/kg) ובעגבניות הירוקות (423±11 gr/kg) לא היו שונים במובהק מהעגבניות האדומות (Student t) אך לא נמצאו הבדלים בתכולת האפר או בתכולת החנקן.

כאשר השווינו את **הערך התזונתי של הרימות** שניזונו על רכיבי הפסולת השונים לא נמצאו הבדלים מובהקים בתכולת הפחמן (378-496 גרם לק"ג דוגמא יבשה), הפחמימות (5-8%) והחלבונים (29-32%) בין הטיפולים (נספח 9). לעומת זאת אחוז הליפידים שהתקבלו בזח"ש שניזונו על עגבניות אדומות (31.5±4.4%) נמצאה כגבוהה משמעותית מאחוז הליפידים ברימות שניזונו על מרכיבי עגבנייה אחרים (בין 7% ל-16%) (נספח 10). **גידול על פסולת תפוחי עץ בבית גידול** - כאשר רימות הזח"ש ניזונו מפירות חצויים יעילות פירוקם הייתה גבוהה מאוד והם הפחיתו 96±0.5% מביומסת התפוחים. לעומת זאת הם התקשו להיזון מפירות שלמים ויעילות פירוקם הייתה נמוכה באופן מובהק והגיעה רק ל-67±4.2% ($t_{(7)}=-9.6$, $p<0.0001$).

שיעור התמותה של הרימות בשני הטיפולים היה מאוד גבוה ולא היה הבדל ביניהם (בתפוחים חתוכים 3.2% ±90 מהרימות מתו ובתפוחים השלמים 91±3.4%) אך באופן מפתיע שיעור העלייה במשקל של הרימות ששרדו היה משמעותית גבוה יותר בטיפול הפירות השלמים (2329±227%) מאשר בפירות החצויים (330±158%) ($t_{(6)}=-5.01$, $p=0.0024$). ברימות בתפוחים השלמים צפינו בתופעת הקניבליזם, אשר הייתה כנראה הגורם למשקל הסופי הגבוהה בהשוואה לרימות בתפוחים החצויים.

גידול על פסולת גידול פטריות: גידול רימות - בניסוי הקדמי לגידול זח"ש על מצע שמפיניון משומש נמצאה עליה מעטה בלבד במשקל הרימות (0.0045 גר/רימה בהצבת הניסוי, 0.011 גר/רימה לאחר 9 יום אחריו לא הייתה עליה במשקל = שלב הישורת). לאחר הוספת 75%, 50% ו-25% רגלי פטריות למצע קצב גידול הרימות היה איטי (5 שבועות) אך משקלן הסופי של הרימות עלה עם העלייה בכמות רגלי הפטריות והגיע ל-0.21, 0.12 ו-0.08 גר/רימה בהתאמה (נספח 11). בסוף הניסוי, אחוז החלבון ברימות היה 37.9%, 37.4% ו-34.4% ואחוז האפר היה 18.05%, 24.87% ו-29.79%, בהתאמה (נספח 12). **פירוק פסולת** - בסוף הניסוי (לאחר 34 יום) כלל פסולת גידול פטריות הצטמצמה ב-44.1%, 33.3% ו-30.4% בהוספת 75%, 50% ו-25% רגלי פטריות, בהתאמה. שארית החומר האורגני בפסולת זו ירדה ל-29.1%, 31.2% ו-32.5% בהתאמה (נספח 13). מוליכות, חומציות, כלל חנקן, חנקן אמוניקאלי ומצב רדוקס נבדקו בסוף הניסוי ומוצגים בנספח 14

מתחרים ואיבים:

ניסוי שדה לעיבוד פסולת תפוחי עץ: לאחר שבועיים של עמידת הניסוי ללא רימות זח"ש, כמצופה התבססו בכל הכלים אוכלוסיות גדולות של זבוב התסיסה, והתפוחים החלו להירקב. עם הכנסת הרימות הצעירות (25000 לכלי) הן חדרו לתוך התפוחים תוך פחות משעה. טמפרטורת הסביבה בשבוע לאחר הכנסת הרימות הייתה 8.5-17.6 מ"צ (מינימום-מקסימום). במהלך השבועיים הראשונים לאחר הכנסת הרימות הצעירות לא נראתה פעילות של אכילה, ומספר הרימות ירד (על בסיס בדיקת מדגם של תפוחים עם חתכים בהם הרימות

יכלו להסתתר), ואוכלוסיית זבובי התסיסה לא נעלמה. ב- 15 לנובמבר, לא נמצאו יותר זח"ש בכלי הטיפולים. למחרת הוכנסו 25000 רימות גדולות (10 מ"מ אורך) לאותם הכלים. לאחר שבוע גובה מילוי התפוחים ירד ב- 60% ואוכלוסיית זבובי התסיסה נעלמה בניסוי בנוכחות זח"ש בהשוואה לביקורת, (ללא זח"ש) בהם גובה ערמת התפוחים לא השתנתה וזבובי התסיסה היו ללא שינוי. כמו כן נמצאו נמלים (מהסוגים בנאית – *Tapinoma* ומורית - *Monomorium*) בכלי הניסוי, אך לא בבקרה. אחרי שבוע נעלמו רימות הזח"ש לגמרי. בתקופה ה"שנייה" טמפרטורת הסביבה נעה בין 13.7- 20.1 מ"צ.

ניסוי פיתיונות לפרזיטואידים וטורפים: לאחר 4 ימים (20 לאוקטובר), שני פיתיונות נעלמו (באתרים שער ישוב וחניון האלה). ב- 16 מבין 23 הפיתיונות נמצאו זבובי תסיסה, ללא הבדל בין העמק להר ($G = 0.6, df = 1, P > 0.25$). לעומת זאת, התפתחות הרימות במלכודות שנתלו בעמק הייתה מהירה יותר מזו של הרימות במלכודות שנתלו בהר (מבחן Kruskal-Wallis - $H = 11.84, df = 1, P = 0.0006$) (נספח 15). במהלך הבדיקות בשטח לא נראו צרעות טפיליות בתוך הפיתיונות. לעומת זאת נראו זבובים ממינים אחרים (לא זח"ש), בעיקר זבובי תסיסה, ללא הבדל בין העמק לבין ההר ($G = 1.3, df = 1, P = 0.25$). עד לכתיבת דוח זה (ינואר 2017) נאספו רק 6 זבובים שנראו כטפילים על הגלמים מכלי אחד ונשלחו לזיהוי (טרם התקבלה תשובה). מיתר הכלים בהם אוכסנו גלמים וטרם גלמים שמקורם בפיתיונות עד כה לא נמצאו טפילים. נמתין עד לפסח 2017 להגחת טפילים/פרזיטואידים לפני חיסול הכלים.

ניסוי כלי התפוחים שהיו בשלושה אתרים (גן התעשייה תל חי, קמפוס מערבי של המכללה האקדמית תל חי וצומת הגומא) אפשר לנו לאסוף מידע איכותני על אויבים טבעיים ומתחרים: 1. מתחרים: העיקרי- זבובי תסיסה- נמצאו רק בכלים של הבקרה (מס' 3) ורימות צעירות (מס' 1 ו- 2). לא היו זבובי תסיסה בכלים בהם הוכנסו רימות בוגרות (מס' 5) או כלים עם כיסוי רשת (מס' 4 ו- 6). 2. אויבים טבעיים: נרשמו פעילות והרס של חלק מהכלים על ידי חולייתנים: חזירי בר, דורבנים ונמיות (זיהוי על פי הגללים בקרבת הכלים), עופות: נראו ניזונים מהרימות שחרורים וסיבכי שחור ראש. זוחלים: חרדונים נראו אוכלים רימות. פרוקי רגלים: בעיקר נמלים מהסוג בנאית ומהסוג מורית נראו אוכלים או אוספים את הרימות הצעירות, אך לא הגדולות, וכן אקרית יחידה.

1.5 דיון ומסקנות

תוצאות השנה השנייה מצביעות בבירור על יכולת הזח"ש לגרום להפחתה משמעותית של הגחת מזיקים מתוך פסולת צמחית. ההפחתה נמצאה כנובעת משרידות נמוכה של רימות זבובאים (זפ"ת ודרוזופילה), זחלי פרפראים (טוטה אבסולוטה) וביצי חיפושיות (שחרורית הקמח) בנוכחות זח"ש, וזאת לעומת חוסר השפעת הזח"ש על גלמים ובוגרים של המזיקים שנבדקו. פסולת חקלאית צמחית עשירה במזיקים ומהווה מקור לאילוח חוזר באזור כולו. טיפול על ידי הזח"ש מקטין סכנה זו באופן משמעותי. מצאנו כי הטיפול במזיקים יעיל ביותר במקרים בהם הזח"ש מפרק את המזון תוך ימים ספורים (≥ 4 ימים). לשם-כך דרוש טיפול ראשוני של פציעת קליפת הפרי שמקלה על חדירת הזח"ש לתוכו. נמצאה הפחתה בשרידות זבובי *Phorid* בפסולת פטריות אך שיעור ההפחתה היה נמוך בהשוואה למזיקים האחרים שבדקנו, כנראה כי המזיק נמצא על מזון עשיר בסיבים שאינו מתעכל ע"י הזח"ש. לא נמצאה הפחתה מובהקת בשרידות אקרית אדומה מצויה בפסולת עגבניות בהשוואה לביקורת כנראה מאחר ומזיק זה לא שורד עם התייבשות הצמחים גם בביקורת. בנוסף, מצאנו הפחתה מובהקת בגידול חיידקים (Pcb) במצע מאולח, וכן בגידול ונביטת עבשים (PD) ונביטת עשבים "רעים" שהיו חשופים למצע הגידול או לאווירת הגידול של הזח"ש, כנראה בעקבות הפרשות חומרים מעכבים.

רימות הזח"ש מסוגלות בהזנתן לגרום להפחתה של כ- 90% מביומסת פסולת גידול עגבניות, כאשר הפירוק היעיל ביותר היה של פירות אדומים וירוקים וכן להפחתה של עד 95% מביומסת תפוחי-עץ. פסולת סיבית כמו קש עגבניות ופסולת לגידול פטריות אינה מספיקה כמקור מזון לזח"ש, אך תוספת שלה לפסולת רקבובית מהווה יתרון כ- bulking agent כמספקת אוורור וחומר סופח לחות ונוטריאנטים מומסים. לשם הפרדה קלה בין הרימות לשאריות המצע בתום הטיפול מומלץ לקצץ המרכיב הסיבי ל- 3-5 מ"מ. פסולת הקש לגידול פטריות בנוכחות ריכוזים עולים של רגלי פטריות נמצאה כסובסטרט מעולה לזח"ש. ממצאים אלה הובילו כבר בשלב זה של המחקר להתעניינותה של חברה מסחרית בתחום, ולבחינת הקמת פיילוט לטיפול בפסולת פטריות בחווה מסחרית בזרעית לשם קבלת רימות לצרכי הזנת בע"ח.

ביומסת הרימות עולה בהתאם לחומר אותן הן יכולות לפרק ולעכל, אך הרכבן התזונתי נשאר כמעט קבוע. ממצאי שנה ב' בתחום זה תואמים את ממצאינו הקודמים, ומציגים כי גם בקנה מידה בינוני (50 ק"ג) ובתנאי שדה ריכוז החלבון של הרימות נשאר קבוע ($35\pm 3\%$) אך ריכוז הליפידים והאפר תלויים בריכוזם בפסולת. ביומסת הרימות עלתה כשגדלו על פסולת פרי עגבניות ופסולת פטריות בעלת 50% ו- 75% רגלי פטריות המכילות 14%, 25% ו- 16% חלבון בהתאמה, אך לא עלתה כשגדלו על פסולת תפוחים או פסולת פטריות בעלת 25% רגלי פטריות, המכילות 2% ו- 8% חלבון בהתאמה. מצאים אלה מחזקים את ממצאינו הקודמים, כי כדי לקבל עלייה בביומסת הרימות נדרש לפחות 10% חלבון במצע הגידול (DW). שרידות הרימות ברוב המקרים גבוהה גם כשהן לא מתפתחות, אך לא כך היה בגידול הזח"ש על פסולת התפוחים שהינה עשירה בסוכרים אך לא מספקת מבחינת חלבונים. במקרה זה אחוזי השרידות היו נמוכים ונבעו מקניבליזם, כפי שראינו מספר פעמים במהלך הניסוי. ממצאינו מלמדים כי הזח"ש עמידים ושרודים תנאי סביבה קיצוניים של מליחות וחומציות גבוהים, וכי שיירים לא אורגניים בפסולת אינם מפריעים לגידולם ושגשגם. אם זאת, בהתאם לממצאנו בשנה א', הטמפרטורות בימים הקרים של החורף (8.5- 17.6 מ"צ) אינן מאפשרות את פעילות הזח"ש, אך כן בימים החמים יותר של החורף (13.7- 20.1 מ"צ).

בסוף שנתיים של מחקר אנו מסיקים כי בהינתן התנאים המתאימים, רימות הזח"ש מאוד יעילות בפירוק פסולת צמחית, והשימוש בהן הינו בעל ערך מוסף של הפחתת מזיקים וקבלת חומר הזנה עתיר חלבון לבעלי חיים. אך כדי לאפשר זאת יש להשתמש בפסולת שמכילה לפחות 60% חומרים שהינם פריקים ע"י הרימות, לפחות 10% חלבון, יש לאפשר לרימות גישה נוחה לחומרי המזון (חיתוך תפ"ע), יש לספק את המזון בצורה מנתית/מדורגת, במשקל של פי חמש עד 10 פעמים משקל הרימות כל יומיים-שלושה, וכי הטמפרטורה בסביבת הרימות תהיה גבוהה מ- 20 מ"צ לפחות בחלק מהיממה. בנוסף, היות ובניסויי השדה ראינו כי הזח"ש מהווה אטרקציה למגוון רחב של חיות בר שטורפות אותו ומעלימות אותו, טיפול בפסולת בעזרת זח"ש דורש מקום מוגן מחיות אלו (כלוב או כלי מכוסה).

1.6. תודות

תודה למדען הראשי משרד החקלאות ופיתוח הכפר על התמיכה במחקר זה. תודה למפעלי ביו-בי על תרומת כל רימות הזח"ש למחקר, לפרופ' מיכה רביב על ליווי הניסויים עם הקומפוסט, לד"ר חנן איזנברג על ליווי הניסויים עם העלאת, לד"ר איריס ידידה על תרומתה בחיידקים ובליוי הניסוי עם *Pectobacterium carotovorum*, לשושי פלס, נירית אזוב, סיוון מרגלית, נדן טריף, לילך מאיר ורון סמית על הביצוע המסור של המחקר.

1.7 ביבליוגרפיה

- FAO (2003). Food energy - methods of analysis and conversion factors. FAO Food and Nutrition Paper 77. Rome, Italy.
- Bruun Jensen, A., Evans, J., Jonas-Levi, A., Benjamin, O., Martinez, J.-J.I., Dahle, B., Roos, N., Foley, K. (2016). Standard methods for Apis mellifera brood as human food. Journal of Apicultural Research. ISSN: 2078-6913 online. DOI: 10.1080/00218839.2016.1226606
- Zar JH (2009) Biostatistical Analysis, 5th edition. Prentice-Hall International (UK) Limited, London.

1.8 סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה:

בשנה השנייה בוצעו ניסויים מעבדתיים מבוקרים וכן ניסויים ותצפיות בתנאי שדה, במטרה לענות על 3 מטרות: 1. התמודדות עם בעיות עיקריות בעיבוד פסולת צמחית חקלאית: (א) אילוח חוזר במחלות צמחים. (ב) מליחות וחומציות הפסולת. (ג) בעיית הפרדה בין שיירים לא אורגניים לפסולת הצמחית. 2. פיתוח נוסחאות לבניית מצעי גידול לזח"ש תוך התמקדות בארבע הבעיות המצוינות לעיל. 3. מניעת התפתחות של מתחרים ל-BSF וכניסת טורפים.

מטרות המחקר אשר הושגו בעבודת המחקר הנוכחית:

1. אופיינה השפעת זח"ש על אילוח חוזר בפיטופתוגנים מחיידקים ועבשים ובמזיקי צמחים מהסדרות פשפשאים, פרפראים, זבובאים וחיפושיות. 2. אופיין השפעת מליחות וחומציות מצע המזון על שרידות וגידול זח"ש בניסויים מבוקרים ובניסויי שדה. 3. אופיינה השפעת חומרים לא אורגניים בפסולת. 4. הוגדר טווח הריכוזים של מרכיבי המזון וגודל החלקיקים לבניית מצע גידול, ופותרו נוסחאות לכמות התוצרים-קומפוסט רימות, חלבון ושומן, ותוצרי הלוואי- שארית פסולת, בתום תהליך העיכול. 5. אופיינו מתחרים וטורפים עיקריים לזח"ש בניסויי שדה.

עיקרי התוצאות:

1. נוכחות זח"ש מקטינה משמעותית אוכלוסיות הפיטופתוגנים *Pectobacterium carotovorum* ו- *Penicillium digitatum* שנבדקו כמודל לחיידקים ולעבשים. 2. זח"ש מפחית כמות בוגרים של מזיקי צמחים שנבדקו דרך פגיעה בשלב החרוואלי של המזיק, אך לא משפיע על הגלמים ובוגרים שלהם. 3. זח"ש בעל סבילות גבוהה לריכוזי מלח גבוה ולמגוון תנאי חומציות. 4. חומרים לא אורגניים לא משפיעים על גידול זח"ש. בפסולת פריקה יש יתרון בהפרדת החומר האנאורגני לאחר טיפול בזבוב. 5. נוסחה לבניית מצע גידול לזח"ש: $\geq 40\%$ חומר רקבובי, $\geq 10\%$ חלבון, גודל חלקיקים סיביים 2-5 מ"מ, לחות גבוהה אך לא מים חופשיים, הזנה מנתית של פי 5-10 ממשקל הרימות כל 2-3 ימים. 6. ערך תזונתי של בשר הרימות קבוע מבחינת חלבונים אך משתנה מבחינת ליפידים ומינרלים בהשפעת מצע המזון. 7. זבובי תסיסה ודורבנים נמצאו כמתחרים למזון, נמלים, חרדונים, עופות וחזירי בר נמצאו כטורפים לזח"ש.

מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?

המטרות לתקופת הדוח הושגו. מסקנות: 1. זח"ש בעל יכולת להקטין אילוח חוזר במחלות צמחים ומזיקים. לקבלת תוצאות מיטיבות יש לספק מזון מתאים בצורה מנתית של פי 5-10 ממשקל הרימות כל 2-3 ימים. 2. פירוק פסולת יעיל והפרדה נוחה בין הרימות לשאריות הפסולת יתקיימו במצעי מזון מתאימים מבחינת הרכב, גודל חלקיק ולחות. 3. טיפול בזח"ש מקל על הפרדת חומרים אנאורגניים מפסולת כאשר המצע מתאים לעיכול ע"י הרימות. 4. טיפול בפסולת בשדה בעזרת זח"ש מצריך מתקן המונע את טריפתם.

בעיות שנותרו לפתרון ו/או שינויים שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך

1. פירוק פסולת צמחית סיבית (ליגנין, המיצלולוז) מצריך טיפול נוסף מעבר לזח"ש. התחלנו בחינת עיכול פסולות אלו בשילוב זח"ש ותולעים אדומות. יש להמשיך המחקר בתחום. 2. בדיקות השפעת הזח"ש על נביטת זרעי עלקת ואפיון פרזיטואידים לזח"ש נערכו, התוצאות יתקבלו בחודשים מרץ ואפריל 2017.

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח:

- פרסומים:** 1. יונס-לוי, ע., פיאלקו, מ., שלתיאל, ל., דנאי, ע., מרטינז, י. (2017). "זבוב החייל השחור- השפעות סביבתיות על פירוק פסולת ולקבלת חומרי הזנה". ספר "מחקרי גליל 2016", מכללה אקדמית תל-חי (מאמר בעברית, תקציר באנגלית) (הוגש).
2. המחקר הוצג בשבוע המדע באנגליה, מטעם ה-ZF, אנגליה, פברואר 2016. (הרצאות)
3. יונס-לוי, ע., דנאי, ע., שלתיאל, ל., מרטינז, י. (2016). הכנס ה-18, מחקרים חדשים של הגליל וסביבותיו. "זבוב החייל השחור- כלי ביוטכנולוגי לפירוק פסולת ולקבלת חומרי הזנה". המכללה האקדמית תל-חי. עמ' 45. (הרצאה).
4. מרטינז, י., בכר, ע., בנימין, א., דנאי, ע., יונס לוי, ע., לביא, ד., שלתיאל, ל. (2016). כנס החברה האנטומולוגית, הועידה ה-35. "חיות קטנות תכניות גדולות". האוניברסיטה העברית ירושלים. עמ' 42. (הרצאה).
5. Jonas-Levi, A, Shaltiel, L, Danay, O, Martinez, J-JI. (2016) 1st International Conference on Bioresource Technology for Bioenergy, Bioproducts & Environmental Sustainability. "Decomposition of waste by black soldier fly larvae can be controlled". Sitges, Spain. #316. (Poster).

1.9. חשיבות שילוב קבוצות המחקר:

המחקר "עיבוד פסולת צמחית חקלאית בעזרת זבוב החייל השחור לקבלת קומפוסט בשל ומזון עתיר חלבונים להאכלת בעלי-חיים" הינו מחקר רב תחומי הדורש שילוב של מומחים מתחומים רבים: מזון, תזונה, סביבה, אנטומולוגיה, עיבוד פסולת אורגנית וקומפוסט, חקלאות ומיקרוביולוגיה. האינטראקציה בין קבוצות המחקר השונות קרובה מאוד היות וכל הגורמים המצוינים לעיל משפיעים ומושפעים זה מזה. לכן, הניסויים השונים נעשו בשיתוף כל קבוצות המחקר. שילוב כל הקבוצות חיוני לשם הבנת מערכת מחקר המורכבת זו.

1.10. פירוט מטרות תוצאות ומסקנות מרוכזות, כל קבוצות המחקר השתתפו בחלקים השונים של כל

הבדיקות.

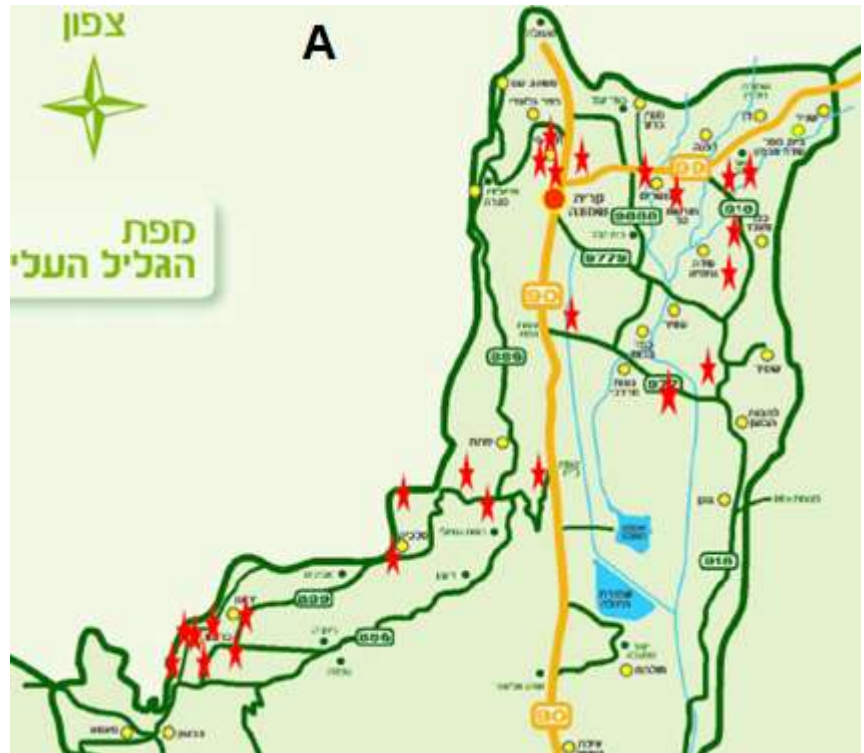
מטרות המחקר הספציפיות	תוצאות וממצאים	מסקנות ולקחים	סטיות ושינויים מתכנית העבודה המקורית
אפיון התמודדות זח"ש עם אילוח חוזר בחיידקים	נוכחות רימות זח"ש גרמה לירידה משמעותית של 99.8% בריכוז אוכלוסיות הפיטופתוגן <i>Pectobacterium carotovorum</i> בתפוח-אדמה לאחר 4 ימים.	שימוש בזח"ש מפחית ואף מעלים חיידקים פיטופתוגנים.	אין
אפיון התמודדות זח"ש עם אילוח חוזר בעבשים	זח"ש מעכב גידול עבש בר ו- <i>Penicillium digitatum</i> , ואף מעלים עבש קיים במצע הגידול, וכן מעכב נביטת נבגים באווירה ללא מגע ישיר.	זח"ש מעכב גידול ונביטת עבשים דרך חומרים המופרשים, כאשר חלקם נדיפים.	אין
אפיון התמודדות	◆ נוכחות זח"ש גרם להפחתה בהגחת בוגרי המזיקים טוטה אבסולוטה, זפי"ת, Phorid, דרוזופילה ושחרורית	◆ זח"ש מפחית מזקי צמחים דרך פגיעה	◆ הוספנו ניסוי על שחרורית

הקמח כמודל לחיפושיות. הוספנו ♦ ניסויים שבוחנים את מנגנון פעילות הזח"ש.	בשלב הירוואלי של המזיק. ♦ לטיפול מיטבי יש לספק את המזון הנגוע כך שיאכל כולו במהלך 3 ימים.	הקמח ב- 54%, 85%, 27%, 76% ו- 100%, בהתאמה. ♦ נוכחות זח"ש גרמה להפחתה ב- 99% רימות דרוזופילה ו- 100% ביצי שחרורית הקמח, אך לא הפחיתה גלמים ובוגרי דרוזופילה ובוגרי שחרורית הקמח.	זח"ש עם אילוח חוזר במזיקים
♦ הוספנו ניסוי להבנת מנגנון עיכוב הנביטה. ♦ תוצאות נביטת עלקת יתקבלו במרץ.	♦ זח"ש מעכב נביטת זרעים דרך חומרים המופרשים ע"י הזבוב, כאשר חלקם חומרים נדיפים.	♦ לאחר חשיפת זרעי זייפן מצוי, כף האווז הלבנה וחיתת רותה לזח"ש בשקית בתוך מצע גידול הזבוב, הייתה הפחתה בנביטת הזרעים ב- 99%, 100% ו- 47%. ♦ לאחר חשיפת זרעי חיתת רותה לאווירת הזח"ש היתה הפחתה של 40% בנביטת הזרעים.	אפיון השפעת זח"ש על נביטת זרעים "רעים"
אין	♦ הרימות סבילות לטווח גדול של מליחות וחומציות מצע הגידול.	♦ בתנאי מעבדה- 100% שרידות זח"ש עד לריכוזים 1.5% NaOCl ו- 6.5% NaCl וכן ב- pH בין 2.3-12. ♦ בניסוי שדה- 99% שרידות זח"ש נמצא לאחר גידול על פסולת גידול פטריות ופסולת בוצה המליחות, וכן על פסולת מיץ עגבניות החומצי.	אפיון התמודדות זח"ש עם מליחות וחומציות.
אין	ניתן להשתמש בזח"ש כטיפול להפרדת פסולת אנאורגני בתנאי שהחלק האורגני מתאים לזח"ש.	♦ חוטי הדלייה וחתיכות נילון חממות לא השפיעו על פירוק הפסולת ע"י זח"ש ועל גידול הרימות. ♦ הפרדת חומר אנאורגני מפסולת רקבובית הייתה פשוטה מאוד לאחר טיפול זח"ש ונעשתה ע"י סינון גס. ♦ הפרדת חוטי הדליה מקש עגבניות לא השתפרה בעקבות טיפול בזח"ש.	אפיון התמודדות זח"ש עם שיירים לא אורגניים בפסולת
אין	♦ זח"ש יכול להתאים למספר פונקציות. לכל פונקציה יש להתאים מצע גידול ותנאים. ♦ יש להימנע מירידה בהרכב התזונתי של מצע הגדול היות ומעודדת קניבליזם, שנמצא כגורם משמעותי לירידה בשרידות רימות.	<u>מצע מתאים לפירוק ע"י זח"ש-</u> ♦ עני בחומרים סיביים (ליגנין, המיצולוז). ♦ גודל חלקיקים 3-5 מ"מ להפרדה בין רימות לשארית המצע. <u>מצע מתאים לגידול זח"ש -</u> ♦ כמו סעיף 1 וגם ♦ תכולת חלבון ≤ 10%. ♦ ללא מים חופשיים. <u>מצע מתאים להפחתת מזיקים-</u> ♦ כמו סעיף 2 וגם ♦ הזנה מנתית כך שהמזון יאכל תוך 3 ימים. <u>תנאים הכרחיים בכל המקרים-</u> ♦ טמפ' ≤ 20 מ"צ לפחות בחלק מהיממה. ♦ הגנה מטורפים.	הגדרת נוסחאות לבניית מצעי גידול
תוצאות פרזיטואידים יתקבלו באפריל.	עבוד פסולת באמצעות זח"ש דורשת מתקן ייעודי המונע כניסת אויבים.	♦ המתחרים שנצפו: זבובי תסיסה, ♦ אויבים שנצפו: פרוקי רגליים- נמלה בנאית, נמלה מורית; חולייתנים- חזירי בר, דרבנים ונמיות; עופות- שחרורים, סיבכי שחור ראש; זוחלים- חרדונים. ♦ טפילים שנצפו: זבובים, אקרית.	אפיון מתחרים ואיבים

1.11. מטרת המחקר המיועדות להתבצע בשנה הבאה:

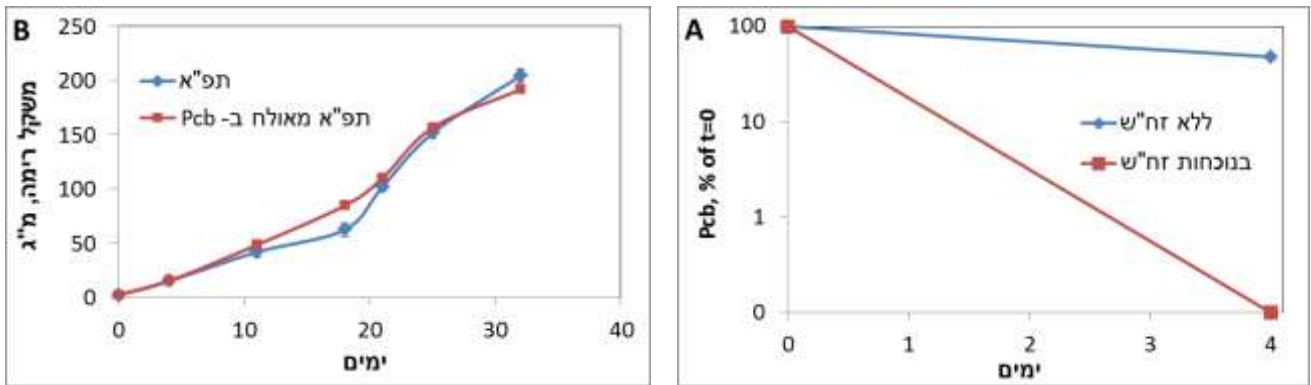
מטרות ע"פ הצעת המחקר: א. פתוח פרוטוקול לשימוש בזח"ש תוך התמודדות עם: (1) עלייה בקנה מידה, (2) תנודות מזג האוויר ו- (3) מתחרים וטורפים. ב. בחינת היתכנות כלכלית לאלטרנטיבות לחימום המתקן בחורף. מטרה נוספת בעקבות תוצאות המחקר: בחינת השילוב בין זח"ש והתולעת האדומה לשם עיבוד פסולת עתירות סיבים.

נספח 1. A. מפה: 25 אתרים ללכידת פרזיטואידים וטפילים. B. טבלה לפירוט ניסוי אויבים ומתחרים.

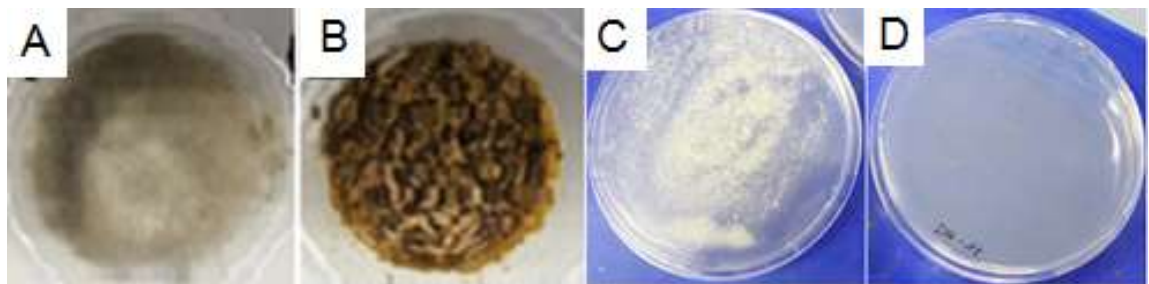


B

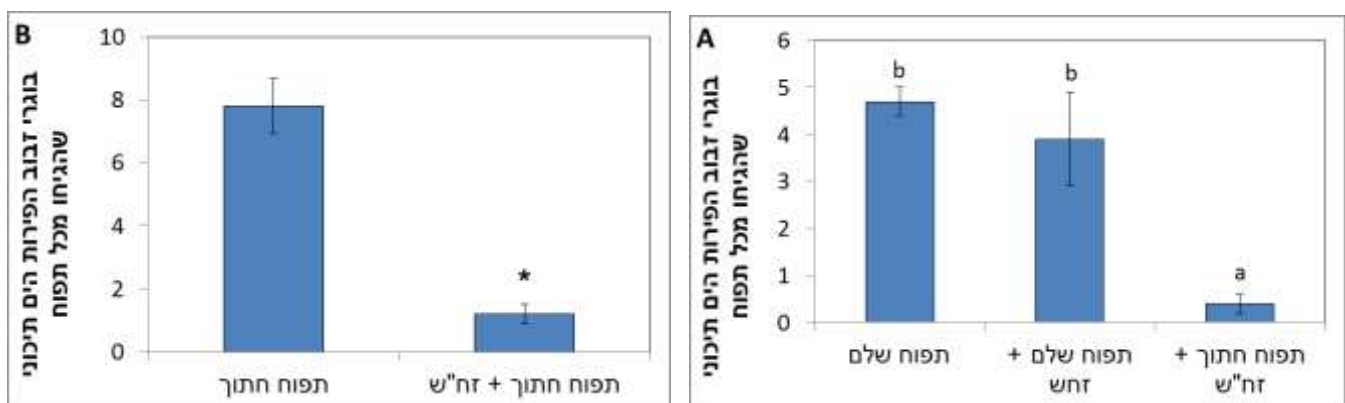
Site	Container	Treatment	Apple weight Kg	BSF weight g	BSF NB
קמפוס מערב מכללה אקדמית תל-חי	1	apples + BSF young +Lag time	2.681	8.2	2500
	2	apples + BSF young	2.736	8.2	2500
	3	apples	2.713		0
	4	apples + BSF young + net	2.733	8.2	2500
	5	apples + BSF old	2.7	20	2500
	6	apples + BSF old+ net	2.7	20	2500
גן התעשייה קריית שמונה	1	apples + BSF young +Lag time	2.631	8.2	2500
	2	apples + BSF young	2.723	8.2	2500
	3	apples	2.73		0
	4	apples + BSF young + net	2.734	8.2	2500
	5	apples + BSF old	2.7	20	2500
	6	apples + BSF old+ net	2.7	20	2500
בריכות ברעם	1	apples + BSF young +Lag time	2.627	8.2	2500
	2	apples + BSF young	2.735	8.2	2500
	3	apples	2.731		0
	4	apples + BSF young + net	2.733	8.2	2500
	5	apples + BSF old	2.7	20	2500
	6	apples + BSF old+ net	2.7	20	2500



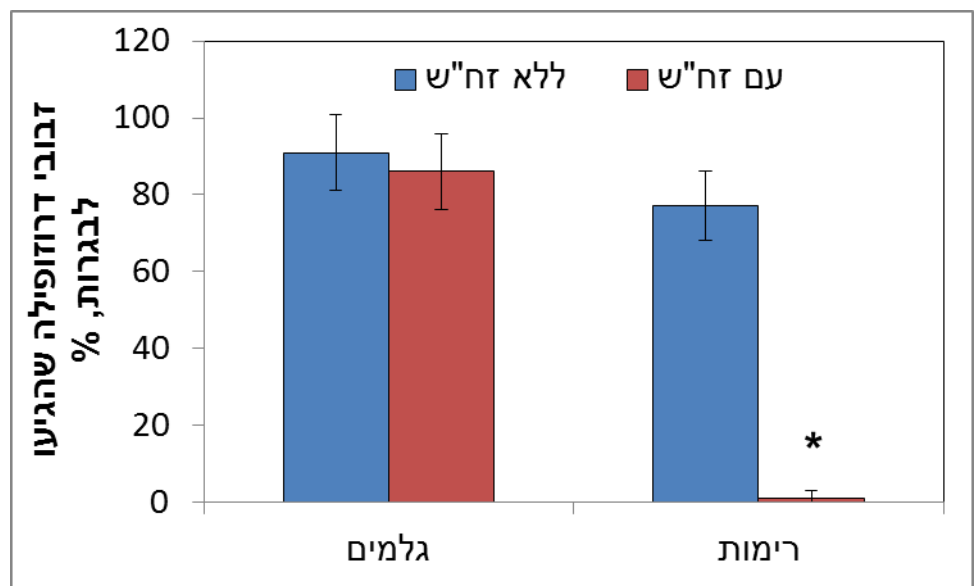
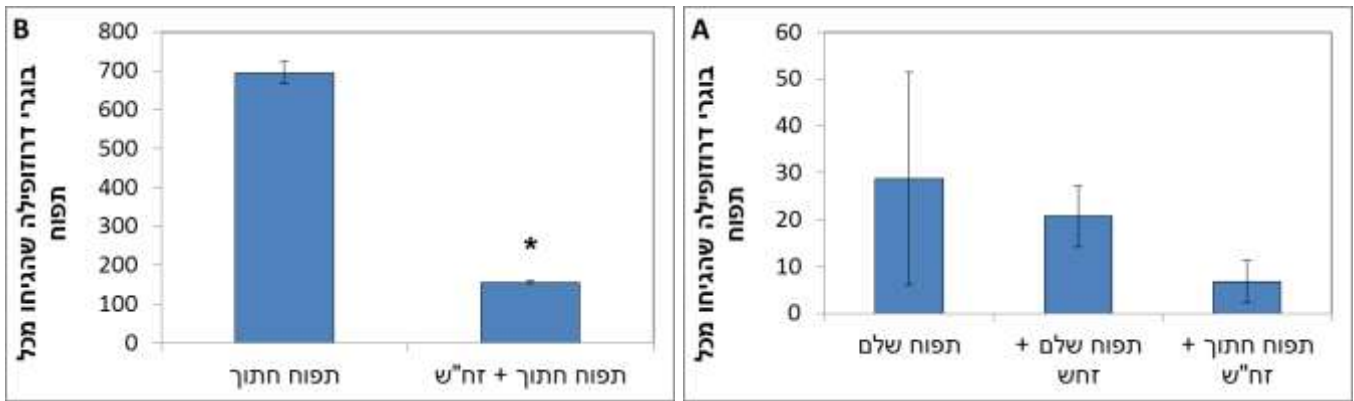
נספח 2. (A) השפעת נוכחות זח"ש על כמות *Pectobacterium carotovorum* spp. *Brasiliense* (Pcb). תפ"א אולחו ב- 8×10^6 Pcb המכילים פלסמיד PQE, כמות החיידק נמדדה ב- qRT-PCR ע"פ כמות ה-DNA הפלסמידי. בנוכחות רימות $n=12$, ללא רימות $n=6$. (B) משקל ממוצע של רימה שניזונה מתפ"א "נקי" בהשוואה לתפ"א מאולח בחיידק *Pectobacterium carotovorum* spp. (n=300) לא נמצא הבדל בין משקל הרימות בשתי הקבוצות.

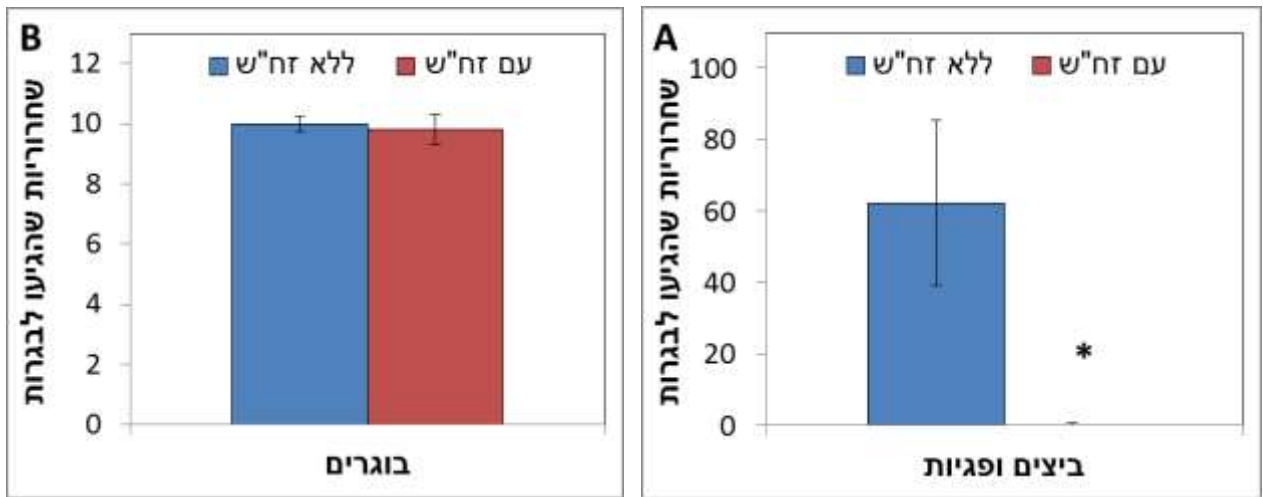


נספח 3. השפעת נוכחות זח"ש על התפתחות *Penicillium digitatum* במצעים מאולחים ב- 5×10^5 נבגים. (A, B) שבוע לאחר אילוח של מצע פטם, ואינקובציה ב- 25 מ"צ) ללא זח"ש ובנוכחות זח"ש, בהתאמה. (C, D) שבוע לאחר אילוח מצע YPD שהיה באווירה (ללא מגע) ללא זח"ש ובנוכחות זח"ש.

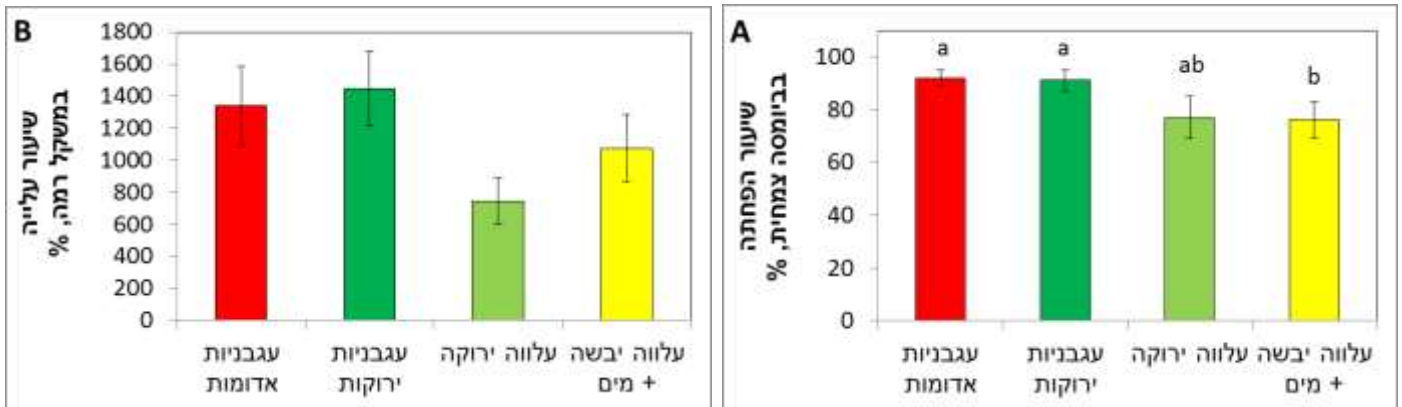


נספח 4. השפעת נוכחות זח"ש על הגחת בוגרי זבוב הפירות הים תיכוני מתפוחי עץ נגועים במזיק. (A) בתום הקטיף, אותיות שונות נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $p < 0.05$ ע"פ מבחן Tukey HSD, $n=5$. (B) 3 חודשים אחרי הקטיף, * - $p < 0.001$ ב- t-test, $n=5$.





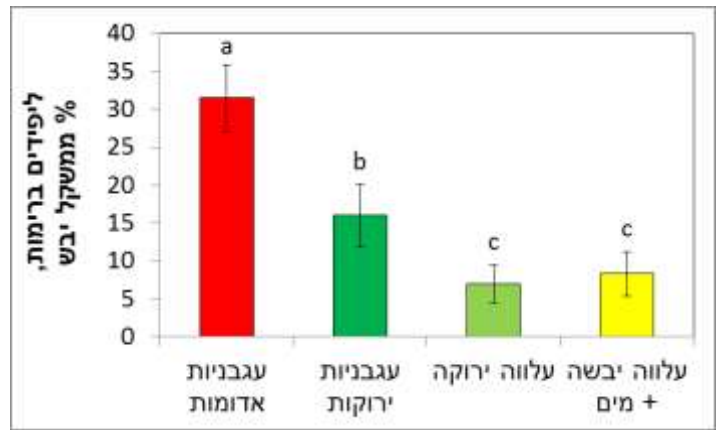
נספח 7. השפעת נוכחות זח"ש על שרידות ביצים, פגיות ובוגרים של שחרוריות הקמח. * - $p < 0.001$ ב-t-test, n=5.



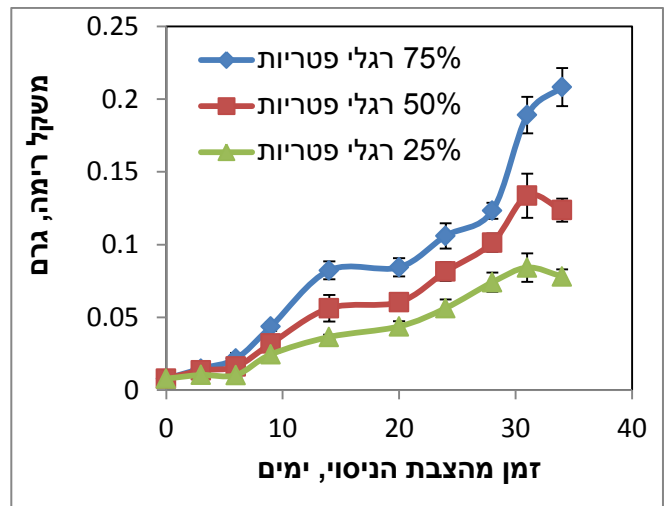
נספח 8. (A) שיעור הפחתה במשקל רכיבי פסולת גידול העגבניות שטופלו ע"י זח"ש, ו- (B) שיעור העלייה במשקל של רימת זח"ש בודדת ממוצעת הניזונה על רכיבי פסולת גידול עגבניות. עמודות עם אותיות שונות נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $p < 0.05$ ע"פ מבחן Tukey HSD.

נספח 9. נתונים של רימות לאחר גידול על מרכיבי פסולת עגבניות.

הנתון הנבדק	עגבניות אדומות	עגבניות ירוקות	עלווה ירוקה	עלווה + יבשה מים
משקל רימות מקסימלי, גרם (FW)	0.134	0.145	0.075	0.108
חלבון ברימות, % (DW)	37.0	38.2	34.2	35.8
פחמן מרימות, גרם לק"ג (DW)	378	412	496	478
אפר מרימות, %	14.37	15.98	19.05	18.38



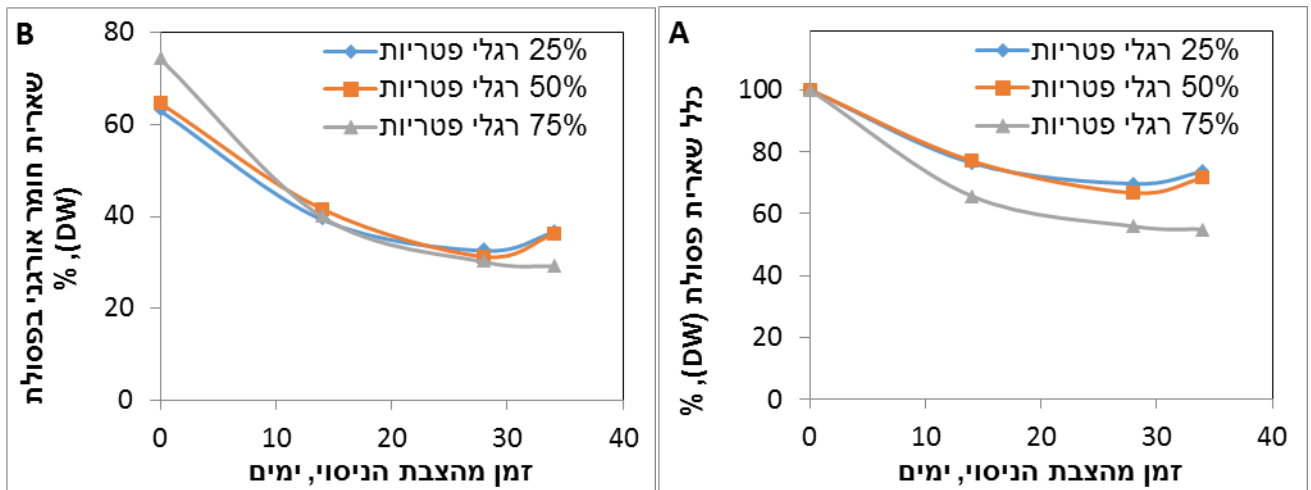
נספח 10. אחוז הליפידים ממשקל יבש של רימות שניזונו מרכיבי פסולת גידול עגבניות. עמודות עם אותיות שונות נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $p < 0.05$ ע"פ מבחן Tukey HSD.



נספח 11. גידול רימות זח"ש על פסולת מגידול פטריות כתלות בזמן ובהשפעת אחוז רגלי פטריות במצע.

נספח 12. נתונים של רימות לאחר גידולן על פסולת גידול פטריות בתוספת רגלי פטריות

75%	50%	25%	תוספת רגלי פטריות, %
0.21	0.12	0.08	משקל רימות מקסימלי, גרם (FW)
37.9	37.4	34.4	חלבון ברימות, % (DW)
18.05	24.87	29.79	אפר מרימות, %



נספח 13. כלל שארית (A) ושארית חומר אורגני (B) של פסולת גידול פטריות המפורק על-ידי זבוב החייל השחור. הניסוי נערך בטמפרטורה 30 מ"צ, 5 חזרות.

נספח 14. נתונים כימיים של פסולת גידול פטריות לפני ואחרי טיפול בעזרת זח"ש.

אחרי טיפול זח"ש			לפני טיפול זח"ש			תוספת רגלי פטריות, %
75%	50%	25%	75%	50%	25%	
7.54	7.67	7.68	6.28	6.26	6.13	pH
-207	31	125	137	410	484	רדוקס, mV
14.9	19.3	26.85	5.77	11.75	20.3	מוליכות, mS/cm
2.15	2.13	2.02	2.68	2.24	2.21	חנקן כללי, %
96.95	53.8	36.43	40.35	44.27	70.61	NH ₄ ⁺ , ppm
46.97	53.13	53.27	25.79	35.42	37.09	אפר, %

נספח 15. התפלגות גודל הרימות במלכודות לאחר 4 ימים. 1- רימה ללא שינוי גודל או קטנו (≤ 0.05 גרם), 2- רימות שגדלו עד הכפלת גודל (0.05-0.1 גרם), 3- רימות שגודל פי 3 (0.1-0.15 גרם), 4- רימות שגדלו יותר מפי 3 (≥ 0.15).

גודל הרימה	4	3	2	1
עמק	30%	62%	8%	0%
הר	0%	20%	80%	0%

פרסומים שנבעו מהמחקר:

1. Jonas Levi, A., Danai, O., Shaltiel, L. & Martinez, J.-J.I. 2016. The 18th Congress of Galilee Research. "*The Black Soldier Fly – a biotechnological tool to manage agricultural wastes and produce feed mater*". Tel Hai College. P. 45. (Lecture).
2. Jonas-Levi, A, Shaltiel, L, Danay, O, Martinez, J-JI. (2016) 1st International Conference on Bioresource Technology for Bioenergy, Bioproducts & Environmental Sustainability. "*Decomposition of waste by black soldier fly larvae can be controlled*". Sitges, Spain. #316. (Poster).
3. Martinez, J.-J.I., Behar, A., Benjamin, O., Danai, O., Jonas Levi, A., Lavi, D., Shaltiel, L. 2016. The Entomological Society of Israel. The 35th Meeting. "*Small animals – great programs: inter-disciplinary research on edible insects in Tel Hai College and Migal*". The Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem. P. 42. (Lecture).
4. Jonas-Levi A., Fialko M., Shaltiel L., Danay O. & Martinez J.-J.I. 2017. "*Black soldier fly - environmental effects on waste decomposition and nutritional values*". Submitted for review as a chapter to the Editorial Committee for the book "Mehkarei Galil 2016" (Galilee Researches 2016), Tel Hai College (Article In Hebrew with an Abstract in English).