

דוח לתכנית מחקר מספר 47-30-0001

שנת המחקר 3 מתוך 4

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

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

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 ג':** (1) עלייה בקנה מידה בגידול ה-BSF. (2) יציאה מתנאי מעבדה מבוקרים למתקן גידול חיצוני החשוף לתנודות מזג האוויר. **שיטות:** ניסויי מעבדה מבוקרים (מכללת תל-חי, מיגל, מו"פ צפון), ניסויי חצי שדה (חוות המטעים) וניסויי שדה (גליל) נערכו בקנה מידה בינוני וגדול בשיטות המקובלות. **תוצאות:** פיילוט לעיבוד פסולת גידול פטריות ותפוחים מגיע בשיאו לצריכת 25 ק"ג פסולת ליום למ"ר, מתקנים נוספים לעיבוד פסולת עגבניות בתל-חי יכולים לפרק באופן קבוע 100 ק"ג פסולת יומית בשטח הקטן מ-10 מ"ר. בטמפ' של 2 מ"צ ומעלה למשך פחות מ-6 שעות רצופות (לילה חורפי) או בטמפ' קבוע מעל 6 מ"צ מצע הגידול שומר על טמפ' קבוע של 43 מ"צ, בתנאי שאין מחסור במזון לרימות. איכות שיירי הפסולת, ההומס, תלויה בפסולת, הומוס ממקור תפוחים בלבד הינו פיטוטוקסי, ואילו הומוס מ-50% תפוחים ו-50% פסולת פטריות שווה באיכותה לדשן כימי מסחרי בהשפעתה על עליית משקל חסה. נוכחות זח"ש מקטינה משמעותית כמות זרעי עלקת פוטנטיים בפסולת עגבניות נגועה, לא נמצאו פרזיטואידים במחקר, ונגד אויבים ומתחרים ניתן להשתמש בכלי גידול מכוסים רשת. **מסקנות והמלצות:** פירוק פסולת חקלאית צמחית בכמות של 100 ק"ג ליום נמצאה אפשרית וכלכלית. בכדי לשפר את ההיתכנות הכלכלית יש לבחון אלטרנטיבות להפרדת הרימות בשלב הטרומ-טרומ גולם, המועדף ע"י הצרכן ולמצוא טכנולוגיות לשיפור נוסף של הגידול, אם ע"י אוורור המצע או ע"י שיפור המיקרו-סביבה.

פרסומים שנבעו מהמחקר

1. Jonas-Levi A, Fialko M, Shaltiel L, Danay O, Martinez JJI. (2017). *Black soldier fly-environmental effects on waste decomposition and nutritional values*. Galilee Researches 2016, Tel Hai College (Article In Hebrew, Abstract in English).
2. Shaltiel-Harpaz L, Jonas-Levi A, Danay O, Martinez JJI, Fichtman B, Harel A. (2017). Insect Symbionts: Plasticity in Confronting Environmental Challenges. The microbial gut community of BSF (*Hermetia illucens*) is affected by the consumption of different agricultural wastes. Ben-Gurion University, Sede-Boqer Campus (Invited Lecture).
3. Shaltiel-Harpaz L, Martinez JJI, Danay O, Jonas-Levi A. (2017). The 5th International Entomophagous Insects Conference. Post-harvest utilization of the Black soldier fly BSF to reduce pest populations from agricultural wastes. Kyoto, Japan (Lecture).
4. Levy D, Jonas-Levi A, Katz C. (2017). 19th Congress of Galilee Research. Black soldier fly larvae overcome mould contamination in their environment. Tel-Hai College (Lecture).

מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי

1. שמעון שטיינברג, מנהל מחקר ופיתוח ביו-בי, שדה אליהו.
2. בעז יובל, הפקולטה לחקלאות.
3. ליאת קידרון, מנהל המחקר החקלאי.

תוכן עניינים

4	מבוא
4	מטרות המחקר
4	פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר לשנה ג'
4	גידול רימות בקנה מידה חצי תעשייתי
6	התמודדות עם בעיות אקלים
8	אפיון שיירי מצע אחרי הזנת הזח"ש (הומוס)
9	התמודדות עם מתחרים ואויבים
11	הבדלים בין רימות דור 1 לדור 2 שגדלות על פסולת פטריות
11	השפעת נוכחות זח"ש על זרעי עלקת
12	דיון ומסקנות
13	היתכנות כלכלית
14	תודות
14	חשיבות שילוב קבוצות המחקר
14	תחומי האחריות של החוקרים בתכנית
14	מקורות ספרות

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 הטיפול העיקריים כיום, אך הם גורמים למפגעים סביבתיים רבים (המשרד להגנת הסביבה, 2014). 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 פסולות חדגוניות בעלות ריכוז גבוה של מרכיב צמחי או כימי שנחשבים לעיתים כטוקסיים, כמו סולנין בפסולת גידול עגבניות וסולניים אחרים או סודיום-היפוכלוריד בפסולת גידול פטריות. זבוב החייל השחור (זח"ש), Black soldier fly (BSF) (*Hermetia illucens*) בעל תפוצה כלל עולמית בין 45°N ל-40°S, אינו מזיק לאדם, לחי ולצומח ולא מטריד. רימות זח"ש משגשגות על חומר אורגני מגוון ובעל פוטנציאל להפחתת גורמי מחלה ומזיקים (Bradley, 1984, Erickson., 2004).

מטרות המחקר

מטרת על – שימוש בזח"ש לפיתוח אמצעי טבעי, יעיל וזול לפירוק פסולת אורגנית מקומית לקבלת קומפוסט בשל ומזון עתיר חלבונים להאכלת בע"ח. **מטרות שנה ג':** (1) עלייה בקנה מידה בגידול ה-BSF. (2) יציאה מתנאי מעבדה מבוקרים למתקן גידול חיצוני החשוף לתנודות מזג האוויר. (בנוסף, שיפור ניסוי עלקת משנה ב')

פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר לשנה ג'

גידול רימות בקנה מידה חצי תעשייתי: לשם פיתוח פרוטוקול עבודה בקנה מידה חצי תעשייתי (100 ק"ג פסולת ליום) נערכו שני ניסויי הזנת רמות בפסולות המודל- פסולת תפוחים ממטעי חוות מתתיהו, פסולת פטריות מחוות השמפיניון בזרעית- מצע גידול (SMS) ורגלי פטריות (איור B,A1), פסולת עגבניות- פירות נרכשו בחנות מקומית, גבעולים התקבלו ממשק לגידול עגבניות חממה בכמהין. **מטרות ספציפיות: (א)** בחירת טכנולוגיה להכנת מצעי גידול מבוססי פסולת: נבחנו שיטות ערבוב וטחינה מגוונות, **(ב)** השוואת שיטות לניקוז מצעי הגידול (ניקוז מברז, גידול בכלים מחוררים, גידול על-גבי רשת 55 מש) לשימוש בסופחי לחות (קש עגבניות, SMS ופרלייט) ולגידול במצע רטוב ללא ניקוז **(ג)** השוואת גידול רמות בגיל אחיד (מתקן מנתי) לגידול בתערובת גילאים (מתקן רציף) **(ד)** בדיקת תדירות וכמות האכלה: נבחנו הזנה יומית אחת ליומיים, לשלושה ולארבעה ימים. כמות ההאכלה הושוותה בין $[F=2 \times D \times Lw]$ לבין $[F=(D+1) \times Lw]$ ולבין $[F=D^2 \times Lw]$ $(-F)$ משקל חומר הזנה (70% רטיבות), $-D$ ימים עד להאכלה הבאה, $-Lw$ משקל סה"כ רימות. **(ה)** מציאת תערובת אופטימאלית מפסולת פטריות ותפוחים. **(ו)** פיילוט לעיבוד פסולת באמצעות זח"ש.

משקל ממוצע של הרימות נקבע לפי 20 דגימות ואורך ממוצע לפי 5 דגימות. שיעור הפחתת הפסולת היומית חושבה כהפרש בין משקל יבש שהוכנס למשקל יבש שאריתי, ליממה. שיעור המרת פסולת לרמות חושב כמשקל יבש של הפסולת שפורקה חלקי משקל יבש של הרמות בתום הגידול, מוליכות חשמלית ורדוקס נבדקו באלקטרודה מתאימה אחרי ערבוב המצע ב מים מזוקקים (1:4). **ניסוי 1:** הניסוי נערך בחוות

השמפיניון במושב זרעית בשני שלבים, (1) 100,000 רימות צעירות גודלו בארגזים (530*330*295mm) עד לעלייה בנפח והגעת תערובת מצע + רימות לגובה 15 ס"מ. (2) המשך גידול בדולב (1000*1000*750mm)(איור C1). הוששו שני טיפולים- טיפול 1: 75% פסולת רגלי פטריות +25% SMS מבושל, טיפול 2: 37.5% פסולת רגלי פטריות+50% תפוחים+12.5% SMS מבושל. **ניסוי 2:** הניסוי נערך במכללה האקדמית תל-חי. ניסוי מנתי: 50,000 רמות גודלו בארגזי פלסטיק (750*555*180mm) מכוסים ברשת. ניסוי רציף: הוספה קבועה (3 פעמים בשבוע) של מזון ו- 7,500 רימות לארגזי פלסטיק (750*555*180mm). הניסוי נערך בארבע חזרות. **תוצאות: (א)** נמצא כי הטכנולוגיה הטובה ביותר להכנת מצע הגידול היה ערבוב וגריסה גסה באמצעות מסוע חלזוני (איור C1). היתרונות שנמצאו על-פני שיטות אחרות: חיסכון בכוח אדם על פני חיתוך ידני, שיפור נגישות המזון לרמות בהשוואה לתפוחים ועגבניות לא גרוסים, הקטנת איבוד נוזלים מהתפוחים והעגבניות בהשוואה לטחינת סכינים ומעוך. חסרון השיטה הוא שיירים בלתי פריקים גדולים שאינם ניתנים להפרדה מהרמות בסינון. **(ב)** שיטות הניקוז השונות נמצאו כלא יעילות לאורך זמן וגרמו לבעיות טכניות, שלושת סופחי הלחות שנבדקו נתנו תוצאות דומות של גידול טוב יותר בהשוואה לגידול במצע נוזלי (21 יום ויותר מ- 30 יום בהתאמה). שילוב של ניקוז (ברז או רשת) מכוסה בסופח לחות נתן את התוצאות הטובות ביותר- SMS שולב בתערובת בפסולת פטריות, וקש עגבניות בגובה 5 ס"מ בתחתית מיכל הגידול נמצא אופטימאלי לגידול על פסולת עגבניות. נמצא כי רמות שורדות וגדלות גם במצע נוזלי, אך בקצב איטי יותר מאשר במצע יבש (21 יום ויותר מ- 30 יום בהתאמה). שלב יצירת הקוטיקולה הקשיחה בתרום גולם התעכב במצע עגבניות נוזלי מעבר ל- 40 יום למרות שגודל הרימות היה כ- 226 מ"ג. **(ג)** שני מתקני גידול הרימות (איור 2), המנתי והרציף, הניבו תוצאות גידול טובות על מצע עגבניות. רמות במתקן המנתי נקצרו לאחר קבלת כ- 15% רימות כהות, לאחר 21 יום במשקל ממוצע 203 מ"ג. טרום גלמים במצע רציף היו במשקל ממוצע 218 מ"ג אחרי 28 יום מיום העמדת המתקן, והמשיכו לצאת במהלך 6 שבועות נוספים בהם נערך הניסוי. **(ד)** נמצא כי הזנה יומית הניבה קצב גידול גבוהה בהשוואה להזנה אחת ליומיים, לשלושה או לארבעה ימים. בניסוי בחורף ההבדלים בקצב גידול הרימות (22 ו- >40 ימים בהזנה יומית ואחת לארבעה ימים) היה גדול בהשוואה לניסוי בקיץ, (21 ו- 25 ימים בהזנה יומית ואחת לארבעה ימים, בהתאמה). אף אחת מנוסחאות ההאכלה שנבחנו לא נמצאה מתאימה. בחלק מהמקרים היה עודף מזון שהחמיץ, תסס או התעפש ובחלק נראה היה מחסור במזון. **(ה)** טיפול 2 נמצא כתערובת האופטימאלית מפסולת פטריות הן בשל ניצולת המזון היומית הגבוהה (עליה מ- 3.48% ל- 6.19% בהשוואה לירידה מ- 2.78% ל- 2.22% בטיפול 1 ו- 2, בהתאמה) והן בשל יעילות גידול הרימות. בהשוואת מצעי הגידול של שני הטיפולים לא נמצאו הבדלים במוליכות החשמלית או ברמת הרדוקס. בשני הטיפולים נוצרו תנאים אנאירוביים עם הזמן (איור 3). **(ו)** פיילוט לעיבוד פסולת פטריות ותפוחים הגיע בשיא פעילותו, למשך 3-4 ימים לצריכה יומית של 25 ק"ג למ"ר ליום (איור A2). המתקן המנתי לעיבוד פסולת עגבניות הגיע בשיאו למשך 3-4 ימים לצריכה יומית של 20 ק"ג ל- 0.83 מ"ר ליום, ואילו המתקן הרציף הגיע לצריכה קבועה של 9 ק"ג ל- 0.83 מ"ר ליום. טבלה 1 מסכמת את יעילותם של שלושת המתקנים. טבלה 2 מתארת את אופן הגידול הדיפרנציאלי של מתקן הפיילוט.

טבלה 1. סיכום תפוקת שלושת מתקני הגידול שפותחו לעיבוד 100Kg פסולת טרייה יומית באמצעות זח"ש

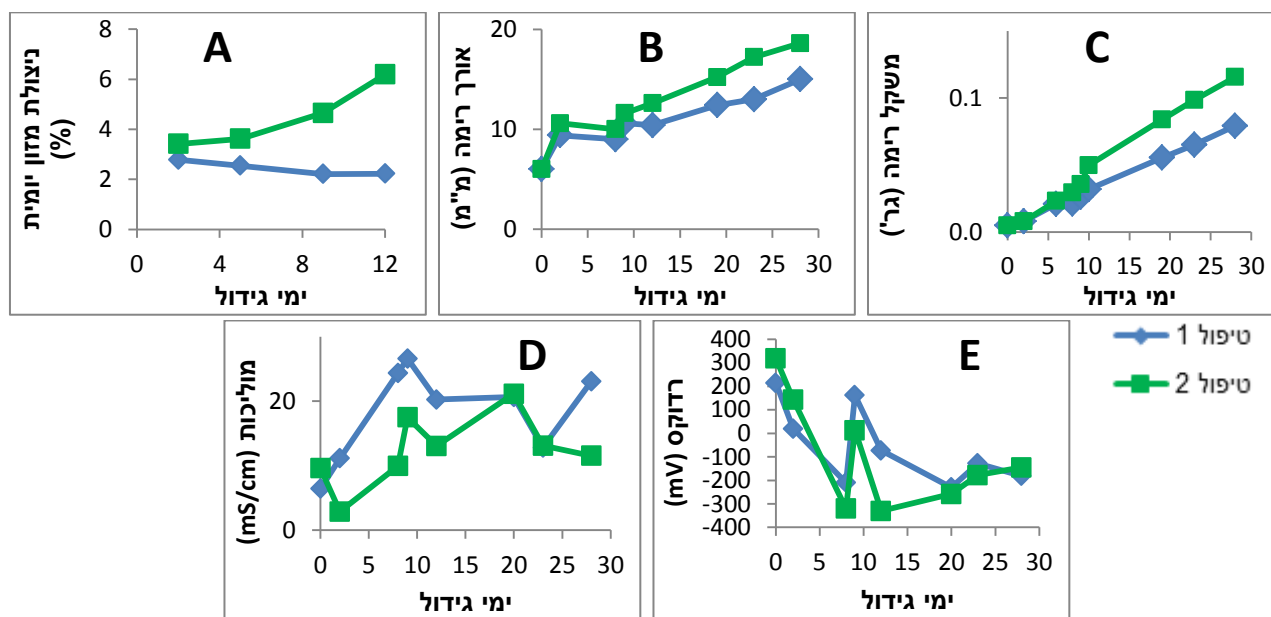
המתקן	שטח, מ"ר	רימות (FW), Kg	רימות (DW), Kg	שלב התפתחות הרימות	רימות למחזור	זמן מחזור
פיילוט זרעית	8.1	46.3	12	טרומ	0.81M	28
מנתי עגבניות	8.7	24.2	5.6	טרומ-טרומ	1.04M	21
רציף עגבניות	9.2	36.2	9.8	טרומ	1.3M	תערובת



איור 1. חוות שמפיניון בזרעית (A) פסולת מצע SMS, (B) פסולת רגלי פטריות, (C) מסוע חלזוני להכנת תערובת הזנה לרמות.



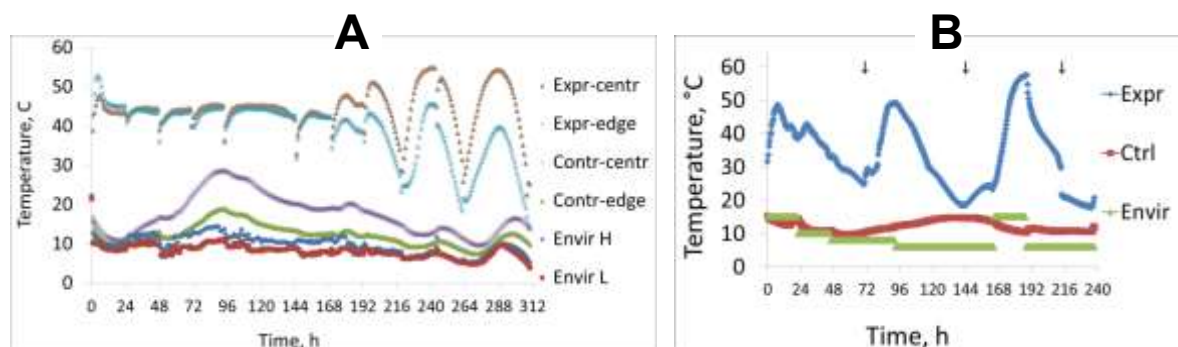
איור 2. גידול רימות במתקני פיילוט (A) על פסולת פטריות בחוות השמפיניון בזרעית, (B,C) על פסולת עגבניות במתקן רציף ומנתי. (D) לאחר יום חם בשמש.



איור 3. השפעת הרכב מצע המורכב מפסולת גידול פטריות ותפוחים על (A) ניצולת מזון יומית, (B) אורך רימה, (C) משקל רימה. (D) מוליכות חשמלית של המצע, (E) מצב רדוקס. הניסוי נערך בפיילוט 1000 ליטר בחוות השמפיניון בזרעית בנוכחות 100,000 רימות.

התמודדות עם בעיות אקלים: נערכו ניסויים לבחינת השפעת תנודות מזג האוויר על גידול הרימות, תוך התמקדות במטרות הספציפיות: (א) בבדיקת השפעת טמפרטורה וקרינה על גידול הרמות. (ב) מציאת הטמפרטורה המינימאלית המתאימה לגידול רמות בקנה מידה גדול. **ניסוי 1** נערך במכללת תל חי בחודשים יוני-אוגוסט ללא טמפרטורה מבוקרת. רימות גודלו על פסולת עגבניות כפי שמתואר בקנה מידה

חצי תעשייתי, כאשר 4 חזרות בשמש ישירה למשך 5 שעות בצהריים ו- 4 חזרות בצל. הניסוי נערך 3 פעמים כל פעם ב- 4 חזרות. קצב גידול הרימות נמדד על-פי משקלן הרטוב. **ניסוי 2** נערך בחודשים אפריל עד נובמבר במתקני גידול חצי תעשייתיים כפי שמתואר. קצב גידול הרימות נבדק ביחס לטמפרטורת הסביבה המינימאלית הלילית והיומית הממוצעת, אשר נוטרו באזור. הניסוי נערך 4 פעמים ב- 4 חזרות כל פעם. **ניסוי 3** נערך בתנאי טמפרטורה מבוקרים באינקובטור מקורר. רימות גודלו בארגז קלקר פתוח בפאה העליונה (300×200×155 מ"מ). גובה תערובת הרימות והמצע נשמר על 10 ס"מ. אחת לשלושה ימים ואחת ליום הרימות הוזנו במזון פטם 60% לחות ומצע הגידול עורבב. הטמפרטורה נוטרה כל 10 דקות במספר מקומות: בעומק 5 ס"מ במרכז הכלי (Expr-centr), בפינת הכלי (Expr-edge). בביקורת בתנאים זהים לתנאי הניסוי, אך ללא רימות (Contr-centr, Contr-edge) ובאינקובטור למעלה ולמטה (Envir H, L), ביקורת נוספת הייתה תנאי גידול זהים מבחינת מזון ומספר רמות, אך בטמפרטורה לא מבוקרת. הניסוי נערך 4 פעמים. **ניסוי 4** תנאי הגידול היו זהים לניסוי 3 חוץ מהטמפרטורות. בניסוי בדקנו חשיפה של הגידול למשך 6 שעות לטמפ' 2-6 מ"צ. ואח"כ הוצאה לטמפ' החדר (נובמבר 2017). טמפ' מרכז מצע הגידול נבדקה במד טמפ' מינימום ומקסימום. **תוצאות: (א)** בחודשים אפריל עד נובמבר 2017 הטמפרטורה המינימאלית הייתה 10.5 מ"צ והמקסימאלית 41 מ"צ. לא נראה הבדל בגידול הרימות בהשפעת טמפרטורת הסביבה. לעומת זאת טמפרטורה גבוהה עם חשיפה לשמש גרמה למות של כל הרימות (איור D2). **(ב)** ללא מחסור במזון ובטווח טמפרטורות ≥ 6 מ"צ טמפרטורת מצע גידול הרימות נשארה קבועה (45 מ"צ במרכז הארגז ועל 43 מ"צ בקצה הארגז). הירידה בטמפרטורה כל 24 שעות הייתה בזמן הוצאת הגששים מתערובת הגידול, הוספת מצע מזון הקר חדש וערבובו. עלייה ההדרגתית לאחר הוספת המזון ערכה כ- 5 שעות. בטמפרטורת סביבה נמוכה מ- 6 מ"צ קצב עליית הטמפרטורה לאחר ערבוב עם המזון החדש הייתה איטית יותר, הטמפרטורה המקסימאלית עלתה ל- 54 מ"צ ולאחר מכן הטמפרטורה צנחה, בהמשך המצע הזדהם בעבשים וחלק גדול מהרמות מתו. כאשר היה מחסור במזון, בניסוי האכלה פעם בשלושה ימים, טמפרטורת המצע ירדה, ולאחר הוספת מזון (קר) הטמפרטורה עלתה חזרה והתייצבה על כ- 43 מ"צ (איור B4). טמפרטורת הביקורת ללא רמות הייתה בכל המקרים נמוכה מטמפרטורת הניסוי (ב- 19-32 מ"צ) וגבוהה מטמפרטורת הסביבה (ב- 3-10 מ"צ). בכל המקרים, יומיים לאחר תחילת הניסוי מצע הביקורת הזדהם והטמפרטורה בו עלתה ל- 22-28 מ"צ למשך מספר שעות ואח"כ ירדה. בחשיפת גידול הזח"ש ל- 6 שעות קירור טמפ' המצע המינימאלית הגיע ל- 32 מ"צ, ובהוצאה לטמפ' החדר חזרה לטמפ' מקסימאלית של 43 מ"צ.



איור 4. טמפרטורת מצע גידול הרימות בהשפעת טמפרטורת הסביבה וזמן האכלה. (A) האכלה כל 24 שעות, (B) האכלה כל 72 שעות.

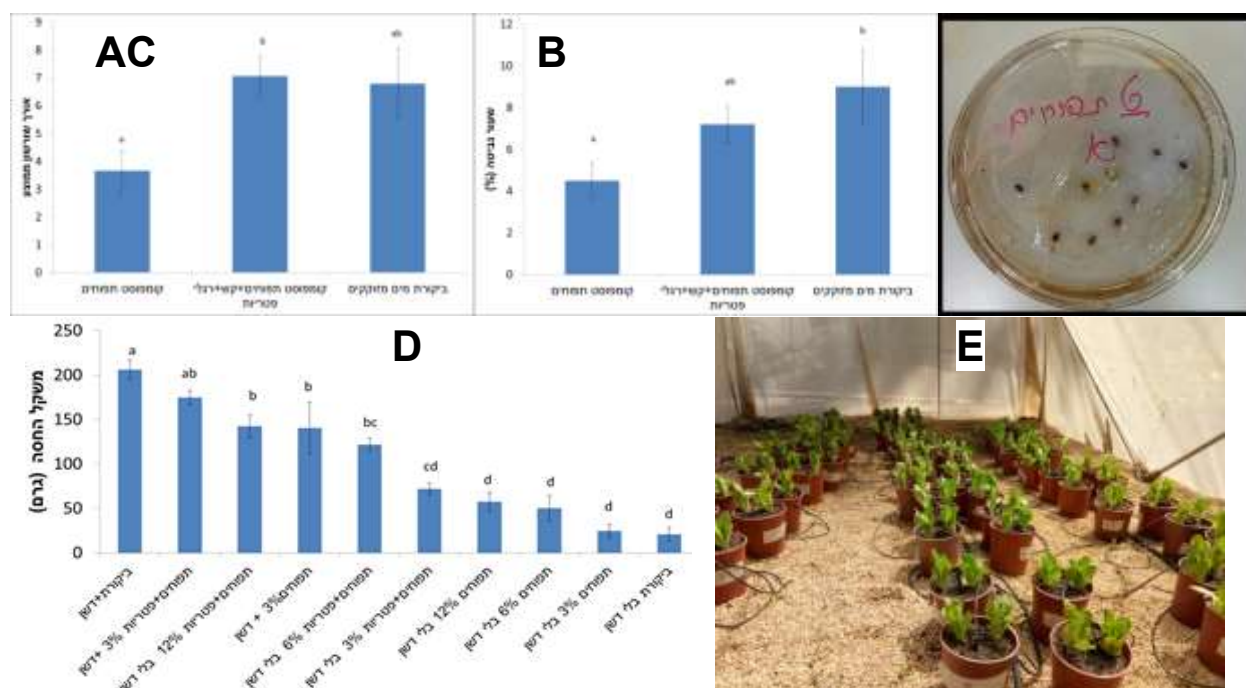
אפיון שיירי מצע אחרי הזנת הזח"ש (הומוס): הומוס משני סוגי פסולת צמחית שעובדה באמצעות זח"ש נבחן בשלוש מערכות ניסוי. הפסולות: א. תפוחים בלבד, ב. 50% תפוחים + 50% פסולת פטריות (75% רגלי פטריות + 25% קומפוסט פטריות משומש SMS). **ניסוי 1: בחינת התכונות הכימיות והפיזיקליות של הומוס:** נבחנו המדדים הבאים: pH (במד pH מתוצרת Thermo orion, דגם 420A), מוליכות (mS/cm במד מוליכות EI Hamma TH-2400), רטיבות (אחרי יבוש ב-60 מ"צ עד התייבבות), חנקן כללי (%) מחומר יבש בשיטת קלדהל) ואפר (%) מחומר יבש אחר שרפה בכבשן ב-600 °C למשך 5 שעות). כל הבדיקות נערכו בשלוש חזרות. **ניסוי 2: ניסוי מעבדה לבחינת פיטוטוקסיות על שחליים תרבותיים כצמח מודל:** נאסף ההומוס מגידול זח"ש בקנה מידה חצי תעשייתי על שני מצעים (ב-5 חזרות לכל מצע): ההומוס נטחן והוכן ממנו מיצוי של 10% משקל יבש במים מזוקקים (טילטול ב-25 מ"צ במשך 24 שעות). המיצוי סונן ובצלחות פטרי על ניר סינון הונחו 10 זרעים של שחליים תרבותיים *Lepidium sativum* והושקו ב-4 סמ"ק מהתמיסה. הוצבו 3 טיפולים: מיצוי מל סוג הומוס וביקורת של מים מזוקקים. הזרעים הוחזקו באינקובטור ב-24 מ"צ במשך 5 ימים ובסופם נבחן שיעור הנביטה בכל צלחת ואורך השורשן. הניסוי הוצב עם 4 חזרות מכל תמיסה (20 צלחות לכל טיפול סה"כ 60 צלחות). **ניסוי 3: ניסוי חצי שדה לבחינת פיטוטוקסיות וערך דישוני של "ההומוס" על חסה כצמח מודל:** נאסף ההומוס מגידול זח"ש בקנה מידה חצי תעשייתי על שני מצעים (ב-5 חזרות לכל מצע): ההומוס מכל מקור פסולת בריכוז של 3%, 6% ו-12% עורבב בתערובת קרקע שהכילה פרלית וכבול עם וללא דשן כימי (מולטיקוט חיפה כימיקלים) במינון 3 ג"ר לליטר מצע. כביקורת שימשו עציצים ללא תוספת "הומוס" עם וללא דשן כימי. בכל עציץ של 5 ליטר נשתלו שני שתילי חסה ערבית (תוצרת חישתיל) והושקו בטפטוף. הטיפולים (5 עציצים לכל טיפול) הוצבו באקראיות מלאה בבית צמיחה המחופה ברשת מש 50. כעבור 43 ימי גידול נבחנו איכות החסה ומשקלה. **ניתוח הנתונים** נעשה בעזרת מבחני T או מבחני ניתוח שונות ולאחריהם מבחני Tukey HSD בתוכנת JMP 13. **תוצאות: (1)** בהומוס מפסולת של פטריות ותפוחים נמצאה מוליכות גבוהה יותר, % חנקן גבוה יותר ושיעור אפר גבוה יותר מאשר בהשוואה להומוס שמקורו מפסולת תפוחים בלבד. לעומת זאת לא נמצאו הבדלים מובהקים בחומציות או ברטיבות של שני סוגי ההומוס (טבלה 3).

טבלה 3. תכונות הומוס הנוצר אחרי הזנת הזח"ש על תפוחים בלבד ותפוחים בשילוב פסולת פטריות.

התכונה הנמדדת	הומוס תפוחים	הומוס תפוחים+פסולת פטריות	P value
PH	5.30±0.89	6.83±0.05	0.1193
מוליכות mS/cm	28.73±20.75	56.58±48.60	0.0003
רטיבות (%)	23.19±2.26	26.30±5.36	0.8197
חנקן כללי (DW %)	1.61±0.26	2.28±0.04	0.0308
אפר (DW %)	20.37±3.73	50.74±0.68	<.0001

(2) בניסוי פיטוטוקסיות על זרעי בחן נימצא שמיצוי הומוס בריכוז 10% של הומוס תפוחים הינו פיטוטוקסי ופגע באופן מובהק גם בשיעור הנביטה של הזרעים וגם באורך השורשן שנבט לעומת הביקורת, בעוד שמיצוי מתוצר הפירוק של 50% תפוחים + 50% פסולת פטריות איננו פיטוטוקסי ולא נימצא הבדל מובהק בשיעור הנביטה או באורך השורשן בינו לבין טיפול הביקורת (איור C-A5). **(3)** הומוס של תפוחים +

פטירות איננו פיטוטוקסי גם בריכוזים גבוהים ובריכוז של 12% הוא בעל ערך הזנתי הדומה לדשן מסחרי 20:20:20. לעומת זאת הומוס תפוחים בלבד בריכוז של 6% פוגע בגידול (איור E-D5).



איור 5. השפעת מיצוי הומוס פסולת תפוחים ופסולת תפוחים ופטירות בריכוז 10%, על שיעור נביטת זרעי בחן של שחליים תרבותיים (A) ועל אורך השורש של הזרעים שנבטו (B), מול ביקורת של מים מזוקקים, והשפעת ההומוס על משקל הצמח. (ממוצעים ושגיאות תקן). עמודות עם אותיות שונות נבדלות, $p < 0.05$, ע"פ מבחן Tukey HSD.

התמודדות עם מתחרים ואויבים: במחקר בדקנו מתחרים ואויבים בקבוצות החרקים והחוליתנים בניסויי שדה בשיטות אקולוגיות וגנטיות. **ניסוי 1:** ניטור התייחסות של מיני נמלים לרימות של זח"ש: אותרו קני נמלים ב-8 אתרים בקרית שמונה והסביבה. צלחות פטרי גדולות עם 20 רימות זח"ש בתערובת עופות לחה הונחו כ-30 ס"מ מפתח כל קן. נרשמו זמני הגעת הנמלה הראשונה, החמישית והעשירית, הבאת הרימות לקן, והתנהגויות אחרות. **ניסוי 2:** ניטור חולייתנים – טורפי הזח"ש: על מגשים עגולים (45 ס"מ קוטר) הונחה שכבת חול יבש בעובי של 2 ס"מ לגילוי עקבות. במרכז המגש הונח כלי קיבול של 500 מ"ל (איור 6) שבתחתיתו יוצקה מראש שכבת בטון עד 1/3 הגובה, כדי להקטין את הסכנה שיתהפך בעקבות נגיעה של בעל-חיים (ב"ח) גדול. הכלי מולא במזון פטם לח (ביקורת) או במזון פטם לח בתוספת של 50 רמות זח"ש (טיפול). נבחרו באקראי 9 תחנות בסביבות תל חי, בהן הונחו 2 מגשים בצל של עצים או שיחים (טיפול ובקרה) במרחק של 2 מ' זה מזה, באוגוסט 2017, משעה 16 ועד לשעה 9 בבוקר. לפני איסוף המגשים, נרשמו סימנים של התעסקות על ידי ב"ח (הפיכת כלי הקיבול, פיזור התוכן כו') ועקבות. הממצאים צולמו מיד לאחר הנחתם במקום ולפני האיסוף, לזיהוי וכימות עקבות ב"ח. לאחר האיסוף נרשם מספר הרימות שנשארו. נערכו 2 ניסויים לגילוי פרזיטואידים בזח"ש- **ניסוי 3:** ביוני 2017 פיזרנו 30 מלכודות (בניה: פירוט בדו"ח שנה ב' של המחקר- 400 רימות למלכודת) ברחבי הגליל המזרחי – חלקם באותם אתרים כמו בשנת 2016, להשוואת התוצאות בין אוקטובר ליוני) ובאתרים חדשים (איור 6, מפות). המלכודות נאספו למעבדה בתום שבועיים. כל אחת מתחתיות המלכודות עם הזח"ש והמזון, הועברה לכלוב הגחה (איור 6) ממסופר.

כל יומיים נספרו בוגרי הזח"ש שהגידו וחרקים אחרים. לאחר חודשיים כל הכלובים נפתחו. כל הגלמים נספרו ונאספו להסתכלות תחת בינוקולר כדי לבדוק אם ישנו חור הגחה קטן של פרזיטואיד בצד הגולם (הבוגר מגיח מהקצה הרחב). הגלמים ללא נקב הוכנסו למבחנות שהמכסה שלהם נוקב עם מחט דק לאוורור. בינואר 2018 כל המבחנות והגלמים נבדקו תחת בינוקולר לגילוי פרזיטואידים. **ניסוי 4:** בקיץ 2017 נלקחו 6 דוגמאות של זח"ש אשר נלכדו באזורים שונים בארץ ובשני מקומות מחו"ל (ירושלים, עין איילה, תימורים, הוד השרון, בוסתן הגליל, תל-חי, טנזיניה, סין) ונשמרו באתנול 70% עד להמשך טיפול. ה-DNA של הדוגמאות מוצה מאזור פנימי של הרימות לאחר הפרדת הקוטיקולה ומערכת העיכול, בעזרת קיט מסחרי (TI DP214-02, לומיטרון), ונעשה בו PCR עם פריימרים ל-5S, 12S, 16S, 28S, 58S, COI. תוצאות מוצלחות של PCR נוקו בעזרת קיט מסחרי (TI DP304-03, לומיטרון) ונשלחו לריצוף (מעבדות חי, רחובות). התוצאות נותחו בתוכנות Chromas ו-Mega והשוו ל-NCBI. **ניסוי 5:** מעכב אחר אויבים במתקני הגידול החיצוניים בחוות זרעית ובתל-חי. **ניסוי 6:** התבוננות באוכלוסיות חרקים וחיפוש חורים בנשלים של גלמים בערמות זבל לא מטופלות, עשירות בזח"ש בחמישה אזורים בארץ (ירושלים, עין איילה, תימורים, הוד השרון, בוסתן הגליל) **תוצאות: (1)** התגלתה פעילות של 8 מיני נמלים באינטראקציה עם רימות הז"ש: לראשונה שני מינים של נמלת הקציר *Messor semirufus* & *M. orientalis* תוצפתה כטורפת חרקים, שני מיני בנאיות *Tapinoma simrothi* & *T. israele*, מורית *Monomorium venustum*, נבטת *Cataglyphis israelensis* ו-*Lepisiota bipartita* & *Pheidole koshewikovi*. גילוי הרימות ע"י הנמלים היה מהיר ביותר אצל רוב מיני הנמלים (בין 5 ל-30 שניות להגעת הנמלה הראשונה מרגע הנחת הרימות בקרבת הקן), פרט לשני מיני נמלת הקציר (1-2 ד'). זמן הגעה של נמלים נוספות מהקן נע בין 30 שניות (בנאית) לבין 5 ד' (נבטת) להופעת הנמלה החמישית ועד ל-8 ד' לנמלה העשירית אצל מיני נמלת הקציר. נמלי הנבטת שהגיעו ראשונות לרימות הביאו אותן לקן, אך אחר כך לקחו רק ממזון הפטם. שני מיני הנמלה הבנאית לא לקחו רימות או מזון פטם לקן. **(2) חולייתנים – אויבי הזח"ש:** עיקר העקבות שצולמו ונרשמו היו לפי סדר: 1- חתולים. 2- ציפורים. 3- לטאות. לא נמצאו הבדלים (G test – $G=2.04$; $df=1$; $P=0.55$) בין מספר נוכחות של עקבות בין הבקרה לבין "הטיפול". **(3) פרזיטואידים** בזח"ש: הייתה שונות מאוד גבוה במספר בוגרי הזח"ש שהגידו בכל כלוב: בין 1 לבין 257 (98 ± 10.4 ממוצע $\pm$ שגיעת תקן), ללא הבדל בין העמק לבין ההר. לאחר חודשיים בכלובים, נמצאו צרעות טפיליות ב-3 מהם (אתרים: חוות המטעים-עמק, חניון תל קדש ונתניה צפון) שנשלחו לזיהוי טקסונומי. נמצאו גם זבובים (זבוב הבית, זבוב התסיסה ופוריד) וחיפושית שחרורית הקמח - כולם חרקים שחיים על התערובת או על גופות בע"ח. בנוסף- היו מספר מלכודות בהם התגלו פרטים של האקרית ממשפחת הגדלסתיים Macrochelidae. לאחר 5 חודשים, כל הגלמים שהיו במבחנות מאווררות נבדקו תחת בינוקולר: לא נמצאו נקבי הגחה ולא היו צרעות טפיליות במבחנות (סה"כ נבדקו כ-300 גלמים). **(4)** מתוך 5 הגנים שנבחרו, הריצוף הצליח רק ב-16S ו-28S. בשלוש מהאוכלוסיות הנבדקות נמצאה נוכחות של אורגניזם נוסף בעל זהות של 77% ל-*Pseudoterranova decipiens* או *Anisakis simplex* או *Anisakis pyseteris*. **(5)** גידול הזבוב בתל-חי בקנה מידה גדול היה מלווה במספר התפרצויות של אויבים ומתחרים אשר חדרו למתקן דרך חורים ברשת המכסה בדומה לדיווח בשנה 2. בנוסף, בשתי הזדמנויות ביולי 2017, הייתה התקפת צרעות גרמניות שאספו רמות ובוגרים וחסלו את הגידול. בחוות זרעית לא נמצאו טורפים ומזיקים לזבוב. **(6)** בערמות

פסולת עשירות בזח"ש נמצא מגוון רחב של חרקים שאינם אויבים של הזבוב. בהסתכלות על נשלם ריקים של הזבוב אשר נמצאו בצידי הערמה נמצאו חורים קטנים (קוטר 1 מ"מ) בצד הנשל ב- 3% מהמקרים. לא ניתן לקבוע את הגורם לחורים אלה.



איור 6: מימין לשמאל: כלובים להגחת זח"ש ממלכודות הפרזיטואידים ובוגרי זח"ש שהגיתו. מגש חול וכלי קיבול עם מזון פטם (בקרה למטה) ומזון פטם + רימות זח"ש (למעלה). עקבות חתול בתוך החול. צרעה גרמנית זח"ש, 2 מפות פיזור המלכודות (נקודות כחולות) ברחבי הגליל המזרחי לגילוי נוכחות פרזיטואידים של זח"ש.

הבדלים בין רימות דור 1 לדור 2 שגדלות על פסולת פטריות: רמות דור 1 נרכשו מביובי, גודלו על פסולת פטריות (820 רמות בכלי 2 ליטר), הן השלימו גלגול לקבלת רמות דור 2. רמות דור 2 גודלו על פסולת פטריות בתנאים דומים לגידול של דור 1. **תוצאות:** רמות דור 2 הגיעו למשקל סופי גדול בכ- 20% בהשוואה לרמות דור 1.

השפעת נוכחות זח"ש על זרעי עלקת (השלמת ניסוי משנה 2) נערכו שני ניסויים בשיתוף עם פרופ' חנן איזנברג (מכון וולקני) **ניסוי 1:** הוצב ניסוי מעבדה בו בכלי פלסטיק בני 5 ליטר עם תחתית ומכסה רשת 50 הוכנסו 500 גרם עלוות עגבניות טרייה (מהזן טורי ברק של חישתיל שגודלו בבית רשת בחוות המטעים בגידול ייעודי ללא חומרי הדברה לצורך הניסויים) בתוספת 20 מ"ג של זרעי עלקת מצרית *aegyptiaca* O Pers. שעורבבו ב- 200 מ"ג Stonefly Heliothis diet כמדיום להגדלת נפח הזרעים לאפשר פיזור אחיד בעלווה בכל כלי. הטיפול כלל תוספת 1000 רימות זח"ש בדרגה 2-3 וביקורת כנ"ל ללא תוספת רימות זבוב. 6 חזרות לכל טיפול (סה"כ 12 כלים). הכלים הוצבו בחדר גידול מבוקר עד לאכילה מלאה של כל עלוות העגבניות ע"י הרימה. שארית העלווה מכל כלי נאספה ולהפרדת זרעי העלקת משאר הפסולת סוננה סינון גס ברשת 50 מש ובעיקבותיו סינון אינטנסיבי תוך כדי שפשוף בבד משי להוריד את השאריות ולאחר מכן סינון נוסף ברשת 60 מש (250 מיקרון) לסילוק חלקיקים גדולים וסינון עוקב ב- 100 מש (150 מיקרון) לאיסוף העלקת, שטיפה במים ב-28 מ"צ, יבוש באויר במנדף והסתכלות ויזואלית בביניקולאר (הגדלה 120X) לספירת מספר זרעי העלקת ומספר קליפות הזרעים בכל דגימה. **ניסוי 2:** הדגרת 200 זרעי עלקת בשקיות תה למשך שלושה ימים בחודש יוני 2017, תנאים הבאים: (1) ביקורת- שמירת הזרעים בשקית בצל בטמפ' חדר. (2) בתוך הזבל בקומפוסטר עשיר בזח"ש. (3) תלוי מעל ערמת הזבל בתוך הקומפוסטר העשיר בזח"ש. שלוש חזרות של 200 זרעים לכל טיפול. בתום ההדגרה עברו זרעי העלקת סטריליזציה (70% אתנול 3 ד', 1% NaOCl 10 ד'), שטיפה במים וייבוש. הזרעים הוצאו משקית התה וחולקו בין שתי דסקיות ווטמן לחות ב- 2 צלחות פטרי סטריליות, והודגרו (20 מ"צ, 7 ימים), סה"כ 6 דסקיות מכל טיפול, 100 זרעים לדסקית. לאחר מכן הדגרה 2 ע"ג אותן הדסקיות הלחות, (20 מ"צ, 7 ימים) עם או ללא נוכחות סטימולנט GR-24. בתום 7 ימים נספרו הזרעים שנבטו. **תוצאות: (1)** בניסוי הזנת זח"ש

על זרעי עלקת נמצאו בטיפול הזח"ש פחות מזרע עלקת לחזרה לעומת הביקורת בה נמצאו באופן מובהק יותר זרעים (0.33 ± 0.21 ; 7.83 ± 0.65 ממוצע ושגיאת תקן $p < 0.0001$ $t = -10.914$ $df = 10$). (2) ביקורת- 88% נביטת זרעים עם סטימולנט ו- 2% נביטה ללא סטימולנט. זרעי עלקת שטופלו בתוך הפסולת בנוכחות רימות הייתה משמעותית קטנה (1%, 0% עם וללא סטימולנט) בהשוואה לביקורת. לעומת זאת זרעים ששהו באווירה ללא מגע בפסולת נבטו ספונטנית גם ללא סטימולנט בכמות גדולה משמעותית מהביקורת (79%), ועם סטימולנט 82%.

דיון ומסקנות

בשנת המחקר השלישית בנינו שלושה סוגי מתקנים לעיבוד פסולת חקלאית צמחית מבוססת על פסולות המודל של המחקר. שלושת המתקנים הראו יכולת לעבד 100 ק"ג פסולת חקלאית צמחית יומית בשטח קטן מ- 10 מ"ר. מתוך הממצאים בנינו **פרוטוקול עבודה לגידול BSF בקנה מידה 100 ק"ג ליום**: מצע המזון חייב להיות מעורבב וגרוס, בעל נגישות גבוהה לרימות, ובעל כמות מספקת של חלבון ($\geq 8\%$ למשקל יבש) יש יתרון לשימוש במצע מאוורר על-פני מצע נוזלי או דחוס. שילוב של ניקוז עם חומרים סופחי לחות מהווה יתרון. במצע שאינו מאוורר היטב יש לשמור על גובה תערובת עד 10 ס"מ. לגידול מיטבי יש להזין יום-יומית במשקל מזון כפול ממשקל הרימות. הזנה אחת ל 2-4 ימים אפשרית, כמות ההזנה במקרה זה תהייה בקירוב - מספר הימים עד להזנה הבאה $\times$ משקל רימות $\times 2$. המתקן לא יעמוד בשמש ישירה. קצב גידול הרימות אינו מושפע מטמפרטורות הסביבה בין 6-38 מ"צ, אך מואט במחסור במזון, במיוחד בטמפרטורה נמוכה. יש להימנע מחימום המצע מעל 48 מ"צ. במקרה שהטמפרטורה עולה יש לאוורר המצע. בכדי להגיע לעיבוד קבוע של 100 ק"ג פסולת יומית יש לעבוד בגידול דיפרנציאלי בדומה לטבלה 2. שני מתקנים של 1 מ"ר כ"א לשבוע, סה"כ 8 מ"ר. רימות בשלב הטרומ גולם מפרידות עצמן לבד. לשם הפרדת הרימות בשלב הטרום-טרומ גולם יש להשתמש במצע המורכב מחלקיקים קטנים שניתנים לסינון.

טבלה 2. (A) היתכנות כלכלית לאיסוף פסולת תפוחים ממטעים. (B) תיאור מתקן בגידול דיפרנציאלי של זח"ש לעיבוד פסולת גידול פטריות + תפוחים. (+) יום 0 זריעת 100,000 רמות בארגז $295 \times 330 \times 530$ mm, (‡) העברת רמות לדולב, (ק) קציר.

A		B				מתקנים 1 ו-2	
		מצע		ימים		מצע	ימים
3 ק"ג פסולת ת"ע (+3 ק"ג פסולת פטריות) $\leftarrow 0.639$ ק"ג זח"ש טרי (תוצאות המחקר) 1 הקטר $\leftarrow 5$ טון פסולת ת"ע $\leftarrow 1.066$ טון זח"ש טריות $\leftarrow 298$ ק"ג זח"ש יבש (DW 28%) 1 ק"ג זח"ש יבש $\leftarrow 22.1$ \$ (מחיר קמעונאי באינטרנט) מחיר קמעונאי הכנסה מהקטר מטע $\leftarrow 298$ ק"ג זח"ש יבש $\leftarrow 6577.5$ \$ עלויות היצור התהליך עלות להקטר \$ הערות 711 סניטציה תפוחים 262 קירור והובלה 120 ערבוב וריסוק 160 הזנת הזח"ש 80 איסוף הטרומ גולם 1065 יבוש הרימות 530 אריזה 50 החזר הון על ההשקעות 2500 מחיר לק"ג פסולת, \$21 ל-120,000 רמות. 2187.5 סטטר 5165.5 סה"כ 5940.325 כולל שיווק, 15%		מתקנים 3 ו-4		מתקנים 5 ו-6		מתקנים 7 ו-8	
		מצע		ימים		מצע	
		1.2		4		7	
		0-2 (+)		3-6		7-9 (‡)	
		10		10-13		14-16	
		16		17-20		21-23	
		20		24-27		28 (ק)	
		25		28 (ק)			
		28 (ק)					

היתכנות כלכלית: היתכנות לחימום בחורף - ע"פ ממצאי המחקר, ברוב האזורים בישראל לא יהיה צורך לחמם את גידול הזח"ש אפילו בחורף. יוצאים מהכלל יהיו אזורים בהם הטמפרטורה יורדת מתחת ל- 2 מ"צ למשך יותר מ- 6 שעות ביממה. בטמפרטורה של 6 מ"צ ומעלה הרימות שומרות על טמפרטורה קבועה של 43-45 מ"צ, כל עוד אין מחסור בחומרי הזנה. **היתכנות לאיסוף פסולת פירות ממטעים** - חישוב שביצענו ע"פ נתונים ממטעי תפוחי-עץ בחוות מתתיהו ומחירי שוק המפורסמים באינטרנט הראה רווח כלכלי ישיר לאיסוף פסולת תפוחי עץ. יש לציין כי הרווח האמתי צפוי להיות גבוהה מהרווח המחושב, כי איסוף הפירות יפחית מחיר כלכלי וסביבתי של ריסוסים והדברות. רווח נוסף שלא חושב יכול להגיע משיירי הפסולת, **ההומוס**, אשר נמצא כי תכונותיו תלויות בפסולת המקורית. הומוס שמקורו מ- 50% פסולת תפוחים ו- 50% פסולת פטריות נמצא כבעל ערך הזנתי שווה לדשן כימי מסחרי בהשפעתם על איכות הצמח והתרומה המשמעותית למשקלו. לעומת זאת, תוצר הפירוק שנותר אחרי הזנת רמות הזח"ש על תפוחי עץ בלבד היה פיטוטוקסי. יתכן כי ניתן להשתמש בחומר טבעי זה כמעכב גידול ונביטה של זרעים ועשבים שוטים. מעניין כי גם **זרעי העלקת** שנביטתם נבדקה לאחר חשיפה של שלושה ימים לזח"ש ולמצע הגידול שלו הראו איבוד כמעט מוחלט של יכולת הנביטה שלהם. ממצא זה הינו בעל חשיבות גבוהה אם רוצים ליישם שימוש חוזר של הומוס מפסולת עגבניות שהייתה נגועה בעלקת. ממצאי הניסויים הראו כי הזנת הזח"ש בפסולת עגבניות נגועה בעלקת מקטינה מאוד את נוכחות הזרעים ואת יכולת טפילותם בתוצרי הפירוק. במחקר נמצאו שלושה מנגנונים מקבילים לתופעה, ראשית הזח"ש ניזון מזרעי העלקת ומפרק אותם, מעבר לכך המצע וההומוס מהווים חומר פיטוטוקסי לעלקת, ובנוסף, אווירת הרימות, ללא מגע מזרזת נביטה ספונטנית של העלקת, ללא הימצאות פונדקאי, שהינה אחת הדרכים המקובלות להרס של טפילים מוחלטים.

זמן גדול הזח"ש על פסולת חקלאית צמחית ארוך בהשוואה לספרות, ומשקלו נמוך. ממצאים ראשוניים במחקר מראים על כך שדור שני אשר גדל על פסולת גידול פטריות נתן ביצועים טובים בהשוואה לדור ראשון. ידוע כי המיקרוביום של הזבוב מושפע ממצע המזון שלו, יתכן ונוכל ע"י שיפור המיקרו-סביבה לשפר את ביצועי הזח"ש ולהגיע למשקלי גוף ופירוק פסולת טובים יותר.

גידול הזח"ש מושך **אויבים טבעיים**, זמני ההגעה הקצרים של הנמלה הראשונה אצל רוב המינים מרמזים על הפצת ריח על ידי הרימות. להפתעתנו, למדו שפרטים של מין נמלת הקציר *Messor semirufus* - הידועה כאוכלת צמחים בלבד – לקחו את כל הרימות לקנים. לעומת זאת מיני הבנאיות הידועות כטורפות, כגון מיני נמלה בנאית, מורית ו- *Pheidole koshewikov* התענינו יותר בתערובת הפטם בהן היו הרימות. גם מין הנבטת התעניינה יותר ממזון הפטם – אך הדבר לא מפתיע היות שהנבטות אוכלות רק פגרים. ניסוי לגילוי חולייתנים – אויבי הזח"ש. בשנה שעברה חזירי בר ודורבנים אכלו את הרימות עם הפירות. השנה לא היו עקבות של אלה. ציפינו לביקורים רבים יותר של ציפורי שיר וחרדונים (שנראו בחלק מהאתרים). לא נמצאו ראיות וודאיות לנוכחות של **פרזיטואידים** שתוקפים את זבוב החייל השחור, בניגוד למדווח ממלי (Devic & Maquart, 2015). סביר להניח שהצרעות הטפיליות שנמצאו במחקר תקפו חרקים אחרים שהיו בתוך המלכודות והגיעו לשם באופנים שונים: חלקם כנראה זיהמו את תערובת הלול ששימשה כמצע לרמות- כגון שחרורית הקמח. חלקם יתכן שהגיעו לאחר פתיחת המלכודות, ונמשכו למצע הרטוב ו/או לרמות המתות, כגון זבוב הבית, זבובי התסיסה וזבובי הפוריד אוכלי הנבלות. בבדיקה הגנטית נמצאה נוכחות של אורגניזם בעל זהות גבוהה לטפיל ימי, יתכן כי האורגניזם המדובר הינו טפיל של זבוב החייל

השחור, אך סביר יותר להניח כי מקורו ממצע הפטם שמכיל קמח דגים ואת הטפילים שלהם. לסיכום: יתכן שאין אויבים טבעיים לזח"ש בארץ שיכולים להפריע לגידול בצורה תעשייתית.

השנה השלישית של המחקר הוכיחה כי היפותזת המחקר שלנו נכונה, יש אפשרות פשוטה לעבד פסולת חקלאית צמחית באמצעות זבוב החייל השחור בכמות של 100 ק"ג פסולת ליום על שטח הקטן מ- 10 מ"ר. ע"פ חישובינו מתקן זה יהיה רווחי, ויכול להוות מוטיבציה לחקלאים לבצע סניטציה לתוצרת החקלאית הפגומה שלהם. המשך המחקר יעסוק בניסיון להפוך את המתקן ליותר נגיש למשקים הפרטיים ויותר רווחי על-ידי מציאת טכנולוגיות עדיפות להפרדת הרימות בשלב הטרום-טרום גולם וכן ניסיון לשיפור ביצועי הרימות על-ידי שילוב פסולות מקומיות נוספות מעבר לפסולות המודל, והעמקת ההבנה של דרישות המיקרו-סביבה של הרימות. בנוסף, נעקוב אחר מתקן לעיבוד פסולת המבוסס על זח"ש וננטר מפגעים פוטנציאליים.

תודות למדען הראשי משרד החקלאות ופיתוח הכפר על התמיכה במחקר זה, למפעלי ביו-בי ולשמעון שטיינברג על עזרתם ואספקת רימות הזח"ש למחקר, לפרופ' מיכה רביב על ליווי הניסויים עם הקומפוסט, לד"ר חנן איזנברג וד"ר דינה פלקחין על ליווי ניסויי העלאת, לאורן פרלסון על הליווי בניסויים הגנטיים, לנרית אזוב, נחום שמי, סיוון מרגלית, נדן טריף, לילך מאיר ורון סמית על הביצוע המסור של המחקר.

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, מיקרוביולוגיה, ביוטכנולוגיה ואנליטיקה. האינטראקציה בין ארבע קבוצות המחקר קרובה מאוד, הן ברמת התכנון, הן ברמת הביצוע והן ברמת האנליזות הכימיות והביולוגיות. במקרים רבים אנו מתייעצים ופונים למומחים מחוץ לקבוצת המחקר שלנו, כפי שנעשה השנה עם קבוצת המחקר של חנן איזנברג, המומחים לעלאת, ועם אורן פרלסון במחקר הגנטי.

תחומי האחריות של החוקרים בתכנית: (1) פיילוט זרעית: עופר - טכנולוגית העמדת המתקן, עיבוד מצע המזון, מדדי גידול ועיבוד הפסולת, איציק - ניטור ובקרה על אויבים, מזיקים ומתחרים, ליאורה - בדיקת תוצרי עיבוד הפסולת. **(2) פיילוט תל-חי:** עדי ואיציק - תכנון, עדי - טכנולוגית העמדת המתקן ועיבוד המצע, מדדי גידול ועיבוד הפסולת, איציק - ניטור ובקרה אויבים, מזיקים ומתחרים, **(3) ניסויי עלאת:** ליאורה - תכנון, וביצוע הניסויים, עדי - נביטה בהשפעת מצע ואווירה **(4) אפיון הומוס:** עופר - מקור ההומוס, בדיקות כימיות ליאורה - ניסוי פיטוטוקסיות וניסוי עציצים, **(5) עמידות לטמפרטורות:** איציק ועדי - תכנון הניסוי וביצוע, **(6) התכנות כלכלית:** ליאורה ועופר **(7) אויבים, פרזיטים ומתחרים:** איציק - תכנון וביצוע כל הניסויים, עדי - בדיקה גנטית.

מקורות ספרות

- Devic E, Maquart P-O. 2015. *Dirhinus giffardii* (Hymenoptera: Chalcididae), parasitoid affecting Black Soldier Fly production systems in West Africa. Entomologia, 3, 284:25-27.
- Erickson MC. et al. 2004. Reduction of *Escherichia coli* o157:H7 and *Salmonella enterica* Seovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *J. Food Production*, 67:685-690.
- המשרד להגנת הסביבה, סקר הרכב הפסולת הארצי, דו"ח מסכם 2014. מתוך: <http://www.sviva.gov.il/>