<u>תוכן עניינים</u>

תקציר מדעי 2
מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי 3
מבוא 4
מטרות המחקר 4
פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר לשנה הרביעית 4
1. אופטימיזציה של גידול רימות על פסולת ת"ע בצרוף פסולות צמחיות מקומיות 4
2. עיבוד מקומי של פסולת צמחית חקלאית 6
2.1 מתקן לעיבוד פסולת ת"ע מבית אריזה בראשית ומבשלת בירה בזלת 6
2.2 מתקן שלזינגר לעיבוד פסולת נשירים 7
2.3 מתקן זרעית לעיבוד פסולת פטריות ות"ע 8
2.4 מתקנים בכפר נוער מוסינזון וכפר נוער ימין אורט 8
2.5. מתקן חוות יאיר בערבה לעיבוד פסולת ירקות חממה ומפעל ירקות קפואים 9
3. בחינת שיטות לשיפור שלבים "בעייתיים" בתהליך עיבוד פסולות באמצעות זח"ש 9
3.1. מודל מתמטי המתאר השפעת תנאי הגידול על התנהגות המערכת וכלי לאופטימיזציה 9
3.2. שיפור תהליך הפרדת רימות לבנות מהמצע 10
3.3. שיפור ביצועי הרימות 10
3.4. הזנה חד-פעמית לעומת הזנה דו-שלבית 11
4. אפיון קומפוסט-זח"ש ותוצרי לוואי גידול הזח"ש 11
4.1. אפיון כימי-פיזיקלי 11
4.2. אפיון הפאונה בקומפוסט-זח"ש 11
5. יישום תוצרי הלוואי של גידול הזח"ש בחקלאות 12
6. אפיון הרכב תזונתי של הרימות 13
7. יישום הרימות כחומר הזנה בחקלאות 14
8. אפיון פרמטרים סביבתיים בתהליך גידול הזח"ש 15
9. נוכחות מזיקים, טורפים ומתחרים 16
10. תחשיב כדאיות השקעה במתקן יצור זח"ש על בסיס פסולת ת"ע ומבשלת בירה 17
דיון 18
הזנת רימות בפסולות חקלאיות צמחיות 18
האכלה חד פעמית לעומת דו-שלבית 19
הפרדת רימות דרגה 5 ממצע הגידול 19
אפיון הדרישות למניעת טורפים, מזיקים ומתחרים לזבוב 20
אפיון הרכב תזונתי של הרימות ויישומן בחקלאות 20
אפיון קומפוסט-זח"ש ותוצרי לוואי גידול הזח"ש ויישומן בחקלאות 20
אפיון פרמטרים סביבתיים בתהליך גידול הזח"ש 21
הערכה כלכלית 21
כמות תוצרי עיבוד מקומי של פסולת בשנה בעזרת זח"ש 22
פרוטוקול גידול לרימות זח"ש 22
חשיבות שילוב קבוצות המחקר 23
תחומי האחריות של החוקרים בתכנית 23
תודות 23
פרסומים שנבעו מהמחקר 24
מקורות ספרות 25

דוח לתכנית מחקר מספר **47-30-0001**

יוני 2019 - שנת המחקר 4 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 (PI), מדעי המזון, מכללה אקדמית תל-חי, adijon@gmail.com

ליאורה שאלתיאל-הרפז, מו"פ צפון

יצחק גאן-גאק מרטינז, מיגל

עופר דנאי, מו"פ צפון

תקציר מדעי

הבעיה: בישראל חלק ניכר מהפסולת החקלאית-צמחית אינה מתועלות כמשאב כלכלי, אלא גורמת לבעיות סביבתיות-כלכליות-חברתיות. **מטרות שנה ד'** 1) עיבוד פסולת צמחית חקלאית בצורה מקומית. 2) אפיון הקומפוסט והרימות. 3) הפיכת הקומפוסט ליישומי ומיטיבי בחקלאות. **שיטות:** ניסויי הזנה מבוקרים של רימות את הפסולות בקנה מידה בינוני ושל עכברים את קמח המבוסס רימות נערכו במכללת תל-חי, בחוות מתתיהו ובמיגל. מתקן בראשית הוקם במכללת תל-חי, המתקנים המשקיים הוקמו במשק שלזינגר בכרם מהר"ל, בכפרי הנוער מוסינזון וימין אורד, בחוות זרעית ובחוות יאיר בערבה. אנליזות למרכיבי הדיאטות, להרכב זח"ש, לקמח מבוסס זח"ש ולקומפוסט-זח"ש נערכו בשיטות המקובלות בתל-חי ובחוות מתתיהו. פליטת גזי חממה וריחות נוטרו במסגרת סדנה בינלאומית בנווה יער, מרכז מחקר צפון, מכון וולקני. **תוצאות:** גידול הרימות תלוי בסביבתם, לשם כך פיתחנו נוסחה המאפשרת חישוב של משקל הרימות וזמן התהליך כתלות בגורמים המשפיעים העיקריים שהם ריכוז חלבון, לחות, ריכוז סיבים וטמפ'. המרכיב המגביל העיקרי בשימוש בפסולות צמחיות חקלאיות כמקור דיאטה לזח"ש הוא החלבון, אותו השלמנו ע"י ערבוב עם פסולת גידול פטריות או פסולת מבשלת בירה. לתהליך שני תוצרים עיקריים שהם הקטנת מסת הפסולת והגדלת מסת זח"ש, תוצרים אלה תלויים ביחס הפוך וביחס ישר, בהתאמה, לריכוז החלבון בפסולת, ולכן לפני הרכבת תערובת הדיאטה יש להחליט מה המטרה העיקרית של התהליך. גם למבנה הפיסיקלי של הדיאטה חשיבות גדולה על התהליך היות ומשפיע על כמות הנגר, איבוד הנוטריינטים, מידת אוורור המצע וקלות הפרדת הרימות בתום התהליך. הרימות שהתקבלו הכילו 43% - 49% כלל חלבון, 9%-15% מחלבון ז לא עבר עיכול במערכת המדמה יונקים חד קיבתיים. הרכב הרימות נמצא מתאים ליישום כחומר הזנה בתעשייה. תכונות קומפוסט-זח"ש ותוצרי גידול הזבוב היו תלויות במצע הגידול והיו פיטוטוקסיים במצע תפוחים בלבד, ובעלי ערך דישוני במצעים האחרים. במחקר מצאנו הרכב ומבנה דיאטה

אופטימאלית לגידול הרמות (6-10% חלבון, 5-40% סיבים, 70% לחות, מצע מאוורר, עובי חומר צמחי טרי > 4 מ"מ) ותנאים הכרחיים נוספים (טמפ' 30 מ"צ, עומק מצע ≥ 10 ס"מ, הזנה דו שלבית, מיקום בצל ומוגן מטורפים ומתחרים), אך לא הצלחנו למצוא שיטה לקציר יעיל של הרימות הלבנות בתנאי גידול אופטימאליים אלה. פרוטוקולי העבודה נבחנו על שבעה מתקני פיילוט שונים שהוכיחו היתכנות התהליך. ניטור פליטות ב- FTRI ובעזרת פאנל מריחים מקצועיים ממתקן מבוסס פסולת תפוחי עץ ופטריות הראה כי גז החממה היחיד הנפלט הוא פחמן-דו חמצני ממקור אורגני, ו- 500±5000 יחידות ריח במקור. ריחות ממתקנים מבוססים פסולות אחרות נבחנו בעזרת מריחים חובבנים והראו כי טווח המרחק של סף הריח המקסימאלי היה נמוך משני מטר. התהליך נמצא בעל היתכנות כלכלית. **דיון:** עיבוד פסולת צמחית באמצעות זח"ש הינו תהליך בעל פוטנציאל סביבתי-כלכלי וחברתי. את רוב שלבי התהליך פתרנו, אך יש לשפר את אופן הפרדת הרימות מהמצע לפני שניתן להפוך התהליך ליישומי אצל החקלאי.

<u>מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי</u>

1. איתי אופטובסקי, אנטומולוגיה, מו"פ דרום.
2. חסן עזיזה, מדעי הסביבה וטיפול בפסולות, המכללה אקדמית תל-חי.
3. יורם גרשמן, ביוכימיה סביבתית, מכללת אורנים, אוניברסיטת חיפה.

מבוא

בישראל מיוצרים מידי שנה יותר משני מיליון טונות פסולת אורגנית, ומתוכם מאות אלפי טונות פסולת צמחית חקלאית. מועטים הפתרונות היעילים וברי קיימא לטיפול בפסולת צמחית חקלאית. הטמנת הפסולת, שריפתה, הצנעתה בשטחי הגידול או פיזורה מחוץ לשטחי הגידול הינם הטיפולים העיקריים, והם גורמים למפגעים סביבתיים רבים, לדוגמא, אילוח חוזר במטעים ובסביבתם הנובע מפירות נגועים במגוון מזיקים הזרוקים במטע ומאפשרים השלמת מחזור הגידול של המזיקים, שגשוגם והפצתם. 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 (*Hermetia illucens*) הינו בעל תפוצה עולמית בין 45°N ל- 40°S, אינו מזיק לאדם, לחי ולצומח ולא מטריד. רימות זח"ש משגשגות על חומר אורגני מגוון ובעלות פוטנציאל להפחתת גורמי מחלה ומזיקים[1,2]. רימות הזבוב עשירות בחלבון בעל הרכב חומצות אמינו המתאים למספר סוגי דגים, למגוון עופות ולמספר לחיות מחמד ויכול להוות תחליף חלבון בהזנת חיות אלה[3–5]. יישום השימוש בזח"ש לעיבוד פסולת וכמקור חלבון להזנה הינו בעל יתרון סביבתי, תזונתי וחברתי-כלכלי[6–8], ומתאים לתכנית האסטרטגית הלאומית לטיפול בפסולת[9].

מטרות המחקר

<u>מטרת על</u>: פיתוח אמצעי טבעי, יעיל וזול לפירוק פסולת אורגנית מקומית לקבלת קומפוסט בשל ומזון עתיר חלבונים להאכלת בע"ח.

<u>מטרות משנה</u>: (1) אפיון הדרישות התזונתיות והשפעת תנאי הסביבה על גידול BSF, ומניעת התפתחות מזיקים ומתחרים לזבוב. (2) פיתוח פרוטוקולים לגידול מסיבי של BSF על מצעי מזון המבוססים על פסולת צמחית חקלאית. (3) פיתוח פרוטוקולים לקבלת קומפוסט בשל יעיל ליישום בחקלאות מתוצרי הלוואי של התהליך. (4) פיתוח פרוטוקול לקבלת פרה-גלמים וגלמים של BSF מתוצרי הלוואי של התהליך שיהיו בעלי ערך ביוכימי גבוה ליישומם כמזון עתיר חלבון להזנת בע"ח.

<u>מטרות שנה רביעית</u> (1) עיבוד פסולת צמחית חקלאית בצורה מקומית. 2) אפיון הקומפוסט, הפרה-גלמים והגלמים. 3) הפיכת הקומפוסט ליישומי ומיטיבי בחקלאות.

<u>פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר לשנה הרביעית</u>

1. אופטימיזציה של גידול רימות על פסולת תפוחי-עץ בצרוף פסולות צמחיות מקומיות: כשלב מקדים לבניית מתקנים לעיבוד פסולת חקלאית בצורה מקומית התמודדנו עם שלוש שאלות מפתח: א. מהם צירופי הפסולת המיטביים לגידול הזבוב מהמצויים באזור. ב. מהו יחס ההזנה המיטבי (כמה רימות לכל גרם מזון) מבחינת התפתחות הרימות ויעילות התהליך. ג. כיצד להפריד את הרימות מהפסולת בהגיען לשלב המיועד לקציר (מפורט בסעיף 3.2). הניסויים התבצעו במעבדות בחוות מתתיהו, המעבדה לגידול פטריות והמעבדה האנטמולוגית. ניסויי הגידול התבססו על הדרישות התזונתיות והסביבתיות שנמצאו בשנות המחקר הקודמות: מצע בעל 6%-10% חלבון (מחומר יבש), לחות כ- 70% וטמפ' 30 מ"צ ונערכו בתנאים מבוקרים של טמפרטורה ותאורה (30±2 מ"צ; 8:16 L:D). **<u>מהלך הניסויים</u>**: **א.** <u>בחינת סוגי פסולות מקומיות, צמחיות ועתירות חלבון שיהוו תוספת חלבונית לפסולת התפוחים הענייה בחלבון</u>. נבחנו סוגי הפסולת הבאים: רגלי פטריות טריות ומיובשות וקומפוסט פטריות משומש (חוות פטריות, זרעית), פסולת

שמרי יין ממשקעי התסיסות (Lees)(יקב ניסויי, מכללה אקדמית תל-חי), פסולת שמרי בירה ופסולת לתת בירה (מבשלת בזלת). מכל מקור נלקחו שתי דגימות לאפיון כימי-פיזיקלי (כמפורט בסעיף 4). **ב.** <u>בניית צירופים המתאימים לדרישות הזח"ש</u>: מרכיבי הדיאטה הרצויים נבחרו בהתאם לתוצאות סעיף א', לריכוז המים והחלבון ולשיקולים של זמינות חומר הגלם ומיקומו. בעזרת מערכת משוואות פשוטה נמצאו הצירופים המתאימים. **ג.** <u>ניסויי הזנה לבחינת התפתחות הזח"ש על הצירופים הנבחרים</u>. **ג.1.** מטרת הניסוי הייתה לבחון <u>השפעת הרכב תערובות המזון</u> של הזח"ש ושתי צורות עיבוד התפוחים על קצב התפתחות הרימות, משקלן הסופי, אחוז החלבון בהן ומידת יעילות הפחתת הפסולת. במהלך הניסוי נבחנו חמש דיאטות (המפורטות בטבלה 1) שכללו תפוחים בשתי צורות עיבוד (דק $\geq$ 3 מ"מ וגס 4-10 מ"מ) וצירופים שונים של לתת ונוזל שמרי בירה במצבו הנוזלי או המיובש. כל דיאטה נבחנה בחמש חזרות. הטיפולים הוצבו בכלי פלסטיק מלבניים בנפח 4 ליטר (14.5×11×25 ס"מ) שתחתיתם הוחלפה ברשת פלסטיק 50 מש, לניקוז עודפי נוזלים והגברת אוורור, וכוסו בבד רשת דק. משקל הדיאטה בכל כלי היה 500 גר' ולכל כלי הוספו 2000 רימות דרגה 2 (סטארטר ביו-בי) בצפיפות של ארבע רימות לגרם מזון. משקל הרימות נבדק ביום השלישי מההצבה, ובסיום הניסוי, היום בו הרימות סיימו את כל המזון בכלי והפרטים הראשונים החלו להחליף צבע. בכל הטיפולים הניסוי הסתיים כעבור 10 ימים. בטיפול הביקורת שהכיל תפוחים בלבד השלב בו הרימות סיימו את המזון התרחש רק כעבור 20 יום מההצבה. בכל מועד בדיקה נלקחו 10 רימות מכל חזרה, נשקלו והוחזרו לכלי. בסיום הניסוי בכל כלי כל הרימות נשקלו, נספרו וחושב המשקל הממוצע לרימה. בנוסף נשקל הקומפוסט שנותר בסוף התהליך וחושבה יעילות פירוק הפסולת ויעילות המרת הפסולת לרימות. **ג.2.** לשם <u>אפיון יחס ההזנה המיטבי</u> בדקנו שלוש צפיפויות של רימות ביחס לכמות המזון: 4, 3 או 2 רימות לכל גרם מזון בשלוש חזרות לטיפול. תערובת המזון כללה 55% תפוחים 15% לתת ו 30% נוזל שמרים. כל חזרה כללה שבעה קילו מצע מזון שהוכנס לכלי בנפח 10 ליטר, 50×557×337 ס"מ. הניסוי נערך בחדר גידול בטמפ' של 30 מ"צ במשטר אור 16:8. הכלים כוסו ברשת 50 מש למניעת כניסת זבובים ולאפשר אוורור של המצע. **<u>תוצאות</u>**: **א-ב** קומפוסט הפטריות המשומש נמצא מאוד מלוח, mS/cm 25.95 (גורם המגביל את התפתחות הזח"ש) בעוד תכולת החלבון בו נמוכה (2.22% חנקן כללי) (טבלה 2).מאחר ופסולת שמרי היין הינה עונתית ותכולת החלבון בה הייתה נמוכה מזו שבמשקעי השמרים שבפסולת הבירה, הזמינה כל השנה, החלטנו להמשיך ולבדוק את ביצועי הזח"ש על צירופי מקורות החנקן הבאים: רגלי פטריות, נוזל שמרי בירה ולתת בירה. **ג.1.** משקל הרימות הממוצע בטיפול ת"ע בלבד היה במובהק נמוך בהשוואה לשאר הטיפולים ($F_{4,14}$=17.09, p<0.0001) (תרשים 1). גם משקל סך כל הרימות בטיפול שכלל תפוחים בלבד היה נמוך באופן מובהק מכל הטיפולים פרט לטיפול בו התפוחים נטחנו דק (תרשים 1). שיעור הישרדות הרימות בטיפול שכלל תפוחים בלבד ובזה שכלל חלבון בריכוז 6.1% אך התפוחים היו קצוצים דק עמד על 69% ו- 54%, בהתאמה, לעומת שיעור של 88% בביקורת עתירת החלבון ללא תפוחים. הבדלים אלו היו על גבול המובהקות ($F_{4,14}$=3.014, p=0.054). שיעור הפחתת הפסולת בדיאטה המכילה תפוחים בלבד הייתה 96%. שיעור זה גבוה במובהק מכל שאר התערובות ($F_{4,5}$=558, p<0.0001) וכצפוי כשבחנו את יעילות פירוק הפסולת והמרתה למסת רימות (משקל רטוב) נמצא שבטיפול זה היעילות הייתה נמוכה משאר הטיפולים ($F_{4,14}$=12.14, p=0.0002) וגם שיעור החלבון בגוף הרימות שהיה נמוך במובהק ($F_{4,14}$=36.198 p<0.0001) באלו שניזונו בדיאטה דלת

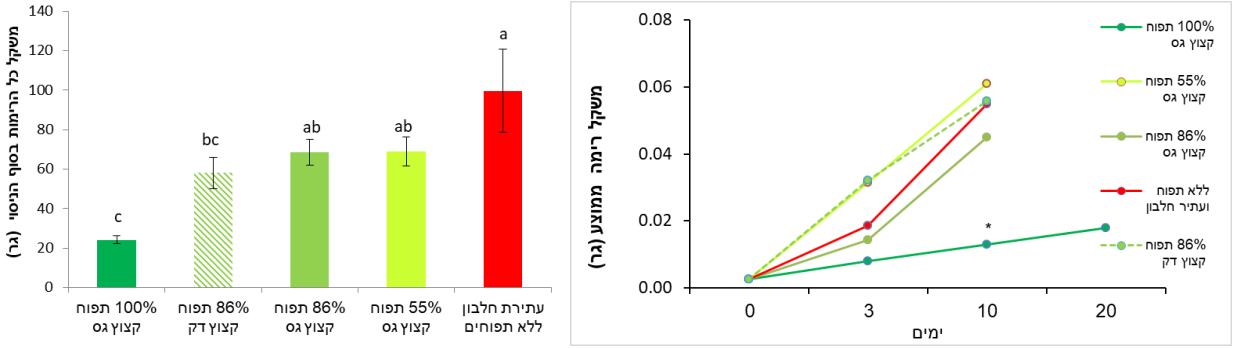
החלבון שכללה תפוחים בלבד לעומת שאר הדיאטות בהן שיעור החלבון היה 6% או 14% (טבלה 1). **ג.2.** בצפיפות הנמוכה, של שתי רימות לגרם מזון, משקל רימה ממוצע בשלב הקציר היה גבוה במובהק משתי הצפיפויות האחרות שנבדקו ($F_{2,6}$=11.42, p=0.009). לעומת זאת, לא היה הבדל בשיעור הפחתת הפסולת ($F_{2,6}$=0.51, p=0.623)(טבלה 3), לכן שיעור יעילות המרת מסת פסולת למסת רימות היה נמוך במובהק בטיפול הפחות צפוף ($F_{2,6}$=9.63, p=0.013).

טבלה 1. פירוט הטיפולים בניסוי ההזנה, הרכב הפסולות בתערובת (אחוז משקלי), צורת עיבוד התפוחים, כמות החלבון (% ממשקל יבש) ואחוז הרטיבות והשפעתן על שיעור הפחתת הפסולת, יעילות המרת הפסולת לרימות ותכולת החלבון ברימות (ממוצע ושגיאת תקן). שורות עם אותיות שונות באותה עמודה נבדלות זו מזו ברמת מובהקות p<0.05 Tukey-Kramer HSD.

שם הטיפול	ת"ע , %	צורת עיבוד ת"ע	נוזל השמרים, %	אבקת השמרים, %	לתת, %	חלבון, DW %	לחות, %	שיעור הפחתת הפסולת (%)	המרת מסת פסולת לרימות (%)	שעור החלבון ברימות(%)
ת"ע לבד	100	גס	0	0	0	0.4	84	95.72±0.73 a	4.80±0.40 b	34.50±0.12 d
דל ת"ע	55	גס	30	0	15	6.1	72	91.90±0.46 b	11.63±1.58 a	45.63±0.62 c
ת"ע גס	86	גס	0	9	5	6.1	72	91.83±0.07 b	13.71±1.33 a	50.56±0.06 b
ת"ע דק	86	דק	0	9	5	6.1	72	89.62±0.42 b	13.78±1.47 a	50.37±0.00 b
ללא ת"ע	0		70	5	25	14	72	80.69±1.91 c	19.92±4.21 a	48.93±0.06 b

טבלה 2. הפרמטרים הכימיים של סוגי הפסולת הפוטנציאליות שנבחנו

סוג הפסולת	חלבון מחושב (% מחומר יבש)	חנקן כללי (%)	רטיבות (%)	מוליכות (mS/cm)	pH
רגלי פטריות שמפניון	26.0	4.16	91.92	4.15	5.87
דגני בירה מבשלת בזלת	22.81	3.65	70.13	0.602	6.26
תפוחים	2.5	0.40	83.98	2.04	3.65
קומפוסט פטריות משומש	13.3	2.22	64.33	25.95	6.43
נוזל שמרים מבשלת בזלת	51.44	8.23	84	9.16	4.21
משקעי יין אדום	15.38	2.46	83.63	NT	3.30



תרשים 1. השפעת צירופי הפסולת על התפתחות הרימות- משקל רימה ממוצע ביום שלוש ובסוף תהליך הגידול (ימין) ומשקל סך כל הרימות בכל טיפול (שמאל)(ממוצע ± שגיאת תקן). * או עמודות עם אותיות שונות נבדלות זו מזו ברמת מובהקות p<0.05 Tukey-Kramer HSD.

טבלה 3. השפעת צפיפות זח"ש על משקל רימות בקציר, שיעור הפחתת הפסולת ויחס המרת מסת פסולת למסת רימות (ממוצע ושגיאת תקן). שורות עם אותיות שונות באותה עמודה נבדלות זו מזו ברמת מובהקות p<0.05 במבחן Tukey-Kramer HSD.

צפיפות ההזנה (רימות לגרם מזון)	משקל רימה בקציר	שיעור הפחתת הפסולת (%)	יחס המרת מסת פסולת לרימות (%)
2/1	0.11±0.005 a	85.26±0.57	19.84±0.24 b
3/1	0.09±0.005 b	82.47±2.40	23.82±0.57 a
4/1	0.08±0.001 b	83.18±2.35	23.48±1.08 a

2. <u>עיבוד מקומי של פסולת צמחית חקלאית:</u> נבחנו חמישה מתקנים לעיבוד פסולת חקלאית מקומית: ***2.1 מתקן לעיבוד פסולת ת"ע מבית אריזה בראשית ומבשלת בירה בזלת***. פיילוט למתקן נעשה בשיתוף עם מנהל בית אריזה בראשית, מר יונאי אייל והאחראי על ייצור הבירה במבשלת בזלת מר ינון תמיר. מטעמים לוגיסטיים (לא התקבל אישור בניה מהמועצה האזורית להצבת המכולה למתקן) הועמד הפיילוט במכללה

האקדמית תל-חי בפברואר-אפריל 2019 עם כוונה להעבירו בהמשך לבית האריזה. שלבי העבודה כללו: הכנת תערובת פסולות שישמשו מצע גידול לזבוב: תפוחי עץ ברמות קלקול שונות (התקבלו מפסולת בית האריזה בראשית)(איור 1א). תפוחי העץ הקשיחים נפרסו (4 מ"מ עובי) בעזרת מעבד מזון תעשייתי והתפוחים הרקובים והרכים הוספו לתערובת ללא טיפול מקדים. התפוחים ופסולת נוזל-שמרים ולתת בירה (מבשלת בזלת) עורבבו במערבל בטון עם ביחס משקלי של 1.5:3:5.5 בהתאמה, (להלן 'התערובת'). חמישה ק"ג תערובת הוכנסה ליחידת טיפול (46.5×26.5 ס"מ) ומעל הוספו 10,000 רימות צעירות (סטרטר ביובי). הפיילוט נעשה בשני מחזורים, מחזור ראשון כלל 38 יחידות טיפול לעיבוד התערובת ומחזור שני 16 יחידות טיפול לעיבוד התערובת וכן ארבע יחידות טיפול לעיבוד ת"ע בלבד (2.75 ק"ג משקל טרי ליחידה) ע"י רימות (5,500), וכן ארבע יחידות טיפול ביקורת, שהכילו את כל מרכיבי התערובת אך ללא רימות. המתקן היה בחדר סגור עם חימום ל- 30 מ"צ למשך שמונה ימים (איור 1ב). ביום התשיעי הועברה תכולת יחידות הגידול מעל רשת להפרדה עצמית (רשת הצללה סרוגה 50%) למשך 24 שעות (איור 1ג), ולאחר מכן הופרדו הרימות מהפסולת בעזרת נפה ידנית (3 מ"מ). **<u>תוצאות</u>:** <u>בסבב הראשון</u> בשלושת ימי הגידול הראשונים, טמפרטורת מתקן הגידול נעה בין 18 מ"צ ל- 30 מ"צ (למרות חימום מתמיד), כאשר יחידות טיפול נמוכות נחשפו לטמפרטורה נמוכה בשעות הלילה והבוקר. ביחידות אלה נראו זבובי תסיסה ועבשים, ונראה עיכוב בגידול זח"ש. ביום הרביעי לניסוי שופרה מערכת החימום והניסוי המשיך כמתוכנן. בסבב זה היה שימוש ב- 170 ק"ג פסולת מעורבת רטובה לקבלת תפוקה של 13.3% רימות לפסולת (DW/DW) שהניבו 6.4% חלבון, 2.9% ליפידים ו- 43.8% קומפוסט-זח"ש. ניצולת הפקת הרימות הייתה 52% (מספר רימות בסוף ביחס למספר רימות בתחילת התהליך). יחס המרת מסת מזון למסת רימות היה 7.56 (טבלה 4). <u>בסבב השני</u> מתוך 80 ק"ג פסולת מעורבת רטובה התקבלה תפוקה של 18.3% רימות לפסולת שהניבו 8.9% חלבון, 4.0% ליפידים וכן 50.9% קומפוסט-זח"ש. ניצולת הפקת הרימות הייתה 72%. יחס המרת מסת מזון למסת רימות היה 5.47 (טבלה 4). טיפול הביקורת ת"ע בלבד נמשך 12 יום, בהם מתוך 11 ק"ג פסולת רטובה של ת"ע התקבלו 6.4% רימות ו- 10.3% קומפוסט-זח"ש. הביקורות ללא הרימות הפכו נוזליות, תססו, העלו עבש, התמלאו בזבובי תסיסה, הדיפו ריחות רעים ונזרקו לאחר 5 ימים. לא נלקחו מדידות מטיפול הביקורת ללא זח"ש.

2.2 מתקן לעיבוד פסולת נשירים (אפרסקים ונקטרינות) משק שלזינגר נבחן בחודשים יוני-אוגוסט 2018 במשק שלזינגר בכרם מהר"ל, חוף הכרמל. דולב מלא בפסולת מיון הנשירים, שמורכבת בעיקר מאפרסקים ונקטרינות פגועים ורקובים ומעט עלים וענפים (איור 1ד), נשקל, הועבר לצל והועמד מעל רשת זבובים צפופה מאחורי גדר בגובה 120 ס"מ. מעל פסולת הנשירים הוספו הרימות. בסבב 1 פוזרו 200,000 רימות, ובסבבים 2-3 הרימות הושארו בקופסאות פתוחות שהכילו כל אחת סטרטר של 100,000 או 200,000 רימות, אל הקופסאות הוספו חמישה פירות רקובים וחתוכים (איור 1ה). המתקן כוסה ביריעת ניילון שחור. מידי יום נבחנה המערכת. יממה לאחר שחוסל החומר הרקבובי בדולב ונשארו בעיקר הגרעינים (איור 1ו) הוזז הדולב, והרימות שהסתתרו מתחתיו נאספו, נשטפו במים, יובשו קלות, נשקל משקלם הטרי הכולל, משקל ממוצע של רימה, ומשקלם היבש, בנוסף נבדקו הערכים התזונתיים של הרימות. פיילוט שלזינגר בוצע שלוש פעמים, בזה אחר זה. **<u>תוצאות</u>**: רימות ניזונו והתפתחו היטב על תערובת פסולת נשירים. מתוך

1.15 טון פסולת שטופלה בשלושה סבבים התקבלה תפוקה של כ- 103 ק"ג רימות טריות שמתוכן ניתן היה להפיק 4.55 ק"ג חלבון ו- 3.47 ק"ג ליפידים (טבלה 4). מהמתקן התנקז הנגר עם חלקיקים מומסים ומרחפים, ולכן כמות קומפוסט-הרימות לא ניתנת היתה למדידה.

2.3 מתקן זרעית לעיבוד פסולת פטריות ות"ע. בחוות השמפיניון בזרעית הוקם פיילוט שבמסגרתו נעשו שני ניסויים: **1. נבחנו שתי שיטות יצור** שבהם נבחן הטיפול בתערובת הזנה שכללה פסולת תפוחים ורגלי פטריות. **1.1** שיטה סטטית במכלי דולב בגובה הזנה של כ- 30 ס"מ. המתקן הוזן במסוע חלזוני ששימש לריסוק התפוחים, ומתקן ערבוב מקדים של רגלי הפטריות עם רסק התפוחים. **1.2** שיטה דינאמית: גידול בראקטור בוחש מבוקר מחשב, בנפח 700 ליטר שלתוכו הוכנסו 100 ק"ג תפוחים ורגלי פטריות, הראקטור ריסק את התפוחים וערבב אותם עם רגלי הפטריות לקבלת תערובת הזנה אחידה (איור 1ז). בעזרת מעטפת שדרכה הוזרמו מים וקיטור ניתן היה לשלוט על טמפרטורת הראקטור. **2. נבחנו שתי שיטות לייבוש חומר הגלם** למטרות הבאות: הקטנת נפח ומשקל הטיפול, לאפשר תנאי גידול אירוביים, לאפשר הפרדת הרימות מהמצע בניפוי, לאפשר קבלת קומפוסט-רימות ולמנוע צורך לטפל בשפכים נוזליים. שיטה 1. פיזור חומר הגלם להעלאת שטח פנים בחממה וייבוש סולרי באוויר החופשי, שיטה 2 סחיטה בלחיצה במערכת הידראולית בלחץ נמוך (איור 1ח). בתום תהליכי הייבוש נבדקו אחוז המים בחומר הגלם ונבדק השימוש בחומר הגלם להזנת הרימות. **<u>תוצאות</u>**: **1.** לאחר 24 שעות התקבלו בשני המתקנים כמויות גדולות של נוזלים וריחות רעים (איור 1ט-י), גידול הרימות התעכב והניסוי הופסק אחרי כשבועיים. לא ניתן היה להפריד הרימות משאר הפסולת ולכן לא נלקחו מדדים מהניסוי. **2.** יבוש סולרי במשך 24 שעות באוויר הפתוח הביא לירידה מ- 90% ל- 76% רטיבות, עליה של פי 2.4 בחומר היבש וירידה של כ- 50% בנפח. יבוש בסחיטה של רסק תפוחים הביא לירידה מ- 85% ל- 79% לחות וירידה מ- 90% ל- 87% לחות בלבד ברסק פטריות.

טבלה 4. תוצאות מתקן בראשית ומתקן שלזינגר לטיפול בפסולות צמחיות חקלאיות בעזרת רימות זח"ש. NT- לא נבדק

	שם המתקן	בראשית			שלזינגר		
	סוג הפסולת	ת"ע ומבשלת בירה		ת"ע	נשירים		
	טיפול	סבב 1	סבב 2	ביקורת	סבב 1	סבב 2	סבב 3
	מספר יחידות טיפול	34	16	50	1	1	1
	יחידת טיפול (h*w*l) ס"מ	46.5 × 26.5 × 7			115 × 100 × 60		
input	פסולת, ק"ג DW (FW)	30.76 (170)	14.47 (80)	1.76 (11)	44.4 (400)	44.4 (400)	38.9 (350)
	מספר רימות, באלפים	340	160	22	200	200	400
	זמן, ימים	9	9	12	13	11	12
output	משקל רימות ק"ג DW (FW)	4.07 (17.7)	2.65 (11.5)	0.112 (0.49)	3.4 (28.2)	3.5 (36.0)	4.9 (39)
	משקל רימה, גרם DW (FW)	0.021 (0.1)	0.023 (0.1)	0.021 (0.12)	0.023 (0.19)	0.021 (0.21)	0.024 (0.19)
	מספר רימות, באלפים	193	115	5.3	149	168	203
ניצולת	ניצולת מספר הרימות, %	52	72	24	74.6	84.1	50.8
	יחס המרת מסה DW/DW	7.56	5.47	15.7	7.05	9	11.14
תוצרים	חלבון, ק"ג DW	1.97	1.28	NT	1.29	1.40	1.86
	חלבון בר עיכול, ק"ג	1.70	1.11	NT	NT	NT	NT
	ליפידים, ק"ג DW	0.89	0.58	NT	1.05	0.96	1.46
	קומפוסט-רימות, ק"ג DW	13.50	7.37	0.181	NT	NT	NT

2.4 מתקנים בכפר נוער מוסינזון וכפר נוער ימין אורט. בכפרי הנוער מוסינזון וימין אורד הוקמו מתקני טיפול בפסולת מקומית באמצעות זח"ש מאוכלוסיית בר של זבוב מקומי. במוסינזון המתקן הורכב מ- 8 ארגזי קומפוסט (120×120×65 - אורך, רוחב וגובה) שהוקמו בצל, ובימין אורד שתי ערמות גדולות של פסולת בצל. בימי העבודה של הכפר נזרקו לקומפוסטרים כל הפסולת החקלאית צמחית של הכפר. בניסוי

בחנו את היכולת של מערכת הקומפוסטרים לפרק בחודשי הקיץ (יוני-יולי) בנוסף לחומר הצמחי גם פסולת אורגנית מעורבת מהמטבח. במוסינזון הוספו 40 ליטר פסולת מטבח 3 ימים בשבוע במשך 4 שבועות, בימין אורד הוספו 20 ליטר פסולת מטבח פעמיים בשבוע למשך 3 שבועות. במהלך הניסוי נערך מעקב אחר שינוי בגובה הפסולת במתקן, נוכחות של זבובי תסיסה וזבובי בית וריחות רעים. **<u>תוצאות</u>**: התוספת של פסולת המטבח לא גרמה לעלייה בנפח הפסולת בתקופה הנבדקת ולא גרמה לעליה בכמות הזבובים או למטרד ריחות (פירוט בסעיף 8.3).

2.5. מתקן חוות יאיר בערבה לעיבוד פסולת ירקות חממה ומפעל ירקות קפואים: חוות יאיר ביקשו את עזרתנו להשתמש בזח"ש לעיבוד פסולות חקלאיות צמחיות מקומיות. כשלב ראשון הועמדו ניסויים בקנה מידה בינוני (10 ק"ג) לבחינת יכולת הזבוב להתמודד עם הפסולות המקומיות הזמינות: מלון, חציל ופלפל. בכל טיפול נבדקה העלייה במשקל הזח"ש ושרידותו. בשלב השני נבחנו הפסולות המקומיות שיכולות לשמש כמרכיבים משלימים לדיאטה האופטימאלית של הזח"ש ונבנתה דיאטה מתאימה לפי ממצאי השנים הקודמות. **<u>תוצאות</u>**: שלושת סוגי הפסולות שנבחנו נוצלו ע"י הזח"ש ולא פגעו ביכולתו לשרוד. הגידול היה איטי ונדרשו 26 יום להגעת הרימות לסוף גידולן, כאשר משקלן הסופי במצע מלון, חציל ופלפל היה 0.12±0.01, 0.10±0.02 ו- 0.08±0.01 גרם בהתאמה. מתוך סקר הפסולות שבוצע באזור נמצא מפעל פרסקו, מפעל חקלאי לייצור ושיווק מוצרי עלים, בעל כמויות גדולות של פסולת עלים (איור 1יא). במטרה לבנות דיאטה בעלת הרכב מתאים (8-20% חלבון, 5-20% < סיבים, 70-80% מים, ~5% גורם מאוורר) התקבלו תוצאות חישוב של מרכיבי הפסולת הקיימים בטבלה 5. תוצאות גידול ע"ב הדיאטה המוצעת טרם התקבלו.

טבלה 5. תערובת פסולות מאזור חוות יאיר להרכבת דיאטה מתאימה לגידול זח"ש

אחוז משקלי של פסולות						אחוז מחושב בתערובת		
גזר	ברוקולי	תרד	חציל	מלון	פלפל	מים	סיבים	חלבון
	5	25			70	71.3	7.0	8.3
5		25			70	71.3	7.0	8.2
	5	25		70		70.1	7.0	8.2
5		25		70		70.0	7.0	8.1
	5	25	70			71.7	8.7	8.3
5		25	70			71.6	8.7	8.3

3. <u>בחינת שיטות לשיפור שלבים "בעייתיים" בתהליך עיבוד פסולות באמצעות זח"ש</u>: תהליך עיבוד פסולות באמצעות זח"ש מורכב ממספר רב של שלבים, שכולם ביחד משפיעים על יעילות התהלך. עם חלק מהשלבים התמודדנו בהצלחה רבה במחקר, ואילו חלק מהשלבים דורשים שיפור. מטרת חלק זה לתאר את שיטות העבודה אותן בחנו בשלבי התהליך הבעייתיים במטרה לשפרם. ***3.1. מודל מתמטי המאפשר לחזות השפעת תנאי הגידול על התנהגות המערכת וכלי לאופטימיזציה.*** לשם מציאת המסה המקסימאלית של זח"ש וזמן הגידול עד למסה זו השתמשנו בתוצאות מבחני ההזנה (דו"ח שנה 1) כתלות בריכוז חלבון, סיבים, סוכרים, ליפידים ומים במצע ובטמפרטורת הסביבה. ריכוז וסוג סוכרים ושומנים נמצאו בשנה 1 כחסרי השפעה על קצב גידול הרימות ומשקלן הסופי ולא הוכנסו לנוסחה. מתוך נתונים אלה בנתה ד"ר תמר צמח (החוג למדעי המחשב, מכללה אקדמית תל-חי) מודל מתמטי רב ממדי אליו מזינים את תנאי הגידול לקבלת צפי למסה המקסימאלית ולזמן הגידול של הרימות [10,11]. גזירה של הנוסחאות מניבה נקודות קיצון למציאת תנאים אופטימאליים של המערכת. **<u>תוצאות</u>**: ***3.1*** התקבלו שתי נוסחאות המתארות את

המסה המקסימאלית של רימת זח"ש (m-max) וזמן הגידול עד למסה זו (t-stop) כתלות בריכוז החלבון (P_1), טמפ' הסביבה (P_2), לחות המצע (P_3) וריכוז הסיבים (P_4) במערכת.

m-max= $-0.0003P_1^2-0.0006P_2^2-0.0000P_3^2-0.0001P_4^2-0.0004P_1P_2+0.0007P_1P_3- 0.0002P_1P_4+0.0001P_2P_3 + 0.0001P_2P_4 - 0.0000P_3P_4 -0.0095P_1 + 0.0389P_2 - 0.0102P_3 + 0.0064P_4 - 0.1172$

t-stop= $0.0541P_1^2+0.0582P_2^2+0.0202P_3^2+0.0109P_4^2+0.4576P_1P_2- 0.2262P_1P_3 + 0.1313P_1P_4-0.0247P_2P_3 - 0.0927P_2P_4 - 0.0034P_3P_4 -2.3247P_1 - 10.4216P_2 + 1.8366P_3 - 0.0790P_4 + 162.2195$

3.2. שיפור תהליך הפרדת רימות לבנות מהמצע: נבחנו מספר גישות, **(א)** <u>הפרדה עצמית מאולצת של זח"ש (למעלה) בעקבות השרייה מכוונת של תנאי עקה</u>, נבחנו הטיפולים הבאים: הרטבה באור, הרטבה בחושך, הוספת עשן, הוספת טבלית כלור, הוספת שמן אתרי לוונדר, הוספת שמן אתרי אקליפטוס, גרימה לעקת חמצן ע"י יצירת וואקום וסגירת המערכת, הורדת ריכוז החמצן ע"י הזרמת חנקן למערכת, נתינת שוק חשמלי קצר או ממושך, מלמטה, מלמעלה או מהצד ובעוצמות שונות, שימוש באור ובחושך. מהלך הניסוי- 5000 רימות לבנות ושאריות מצע הועברו לכלי פלסטיק (17×30 ס"מ) שהונח בתוך כלי פלסטיק גדול (29×35 ס"מ) בעל מכסה אטום. הכלים היו אטומים לאור ולגזים. 10, 30 ו- 60 דקות לאחר ההתערבות נספרו הרימות שיצאו מהכלי הפנימי לכלי החיצוני. כל טיפול נבחן בשלוש חזרות. **(ב)** <u>הפרדה עצמית של זח"ש (למטה) בעקבות הגבלת מזון, הגבלת לחות וקרינה</u>, בתום 8 ימי הזנה הועברו הרימות ושאריות המצע מעל רשת בכלי אחסון. הטיפולים שנבדקו- רשת צל סרוגה 50% יחידה, רשת צל עם קרינת אור מלמעלה, 2 רשתות צל בכיוונים מנוגדים, רשת פלסטיק 4 מ"מ, רשת פלסטיק ומעליה רשת צל. כל קומבינציה נבחנה פעם כרשתות תלויות ופעם כרשתות המונחות על רצפת הכלי. כל טיפול נבחן בשלוש חזרות. לאחר שעה ולאחר 24 שעות נשקלו הרימות המופרדות מתחתית הכלי, וכן נופו ונשקלו שארית הרימות שהיו מעל הרשת וחושב יחס ההפרדה. **(ג)** <u>ניפוי אקטיבי</u>: תערובת רימות ומצע הועברו לנפה רוטטת מכאנית (איור1 יא-יב) או לנפה ידנית, בתום הניפוי נשקלו הרימות המופרדות וכן הופרדו ונשקלו הרימות שלא הופרדו וחושב היחס בינהן. **(ד)** שילוב בטור של שיטות ההפרדה העצמית (למטה): בתום 8 ימי הזנה הועברו הרימות ושאריות המצע מעל רשת צל סרוגה 50%. הפרדה 1 נעשתה לאחר 24 שעות. הפרדה 2 לאחר 24 שעות נוספות באותם התנאים, הפרדה 3 נעשתה לאחר 24 שעות נוספות בהן נחשפו יחידות הגידול לשמש ישירה. **<u>תוצאות</u>: (א-ג)** בבחינת תוצאות ההפרדה במשך שעה לטיפול, אחוז הרימות בהפרדה הטובה ביותר (40.0%) היה בניפוי ברטט מכאני. שאר שיטות ההפרדה נתנו הפרדה הנמוכה מ- 25% לאחר שעת עבודה (טבלה 3). **(ד)** הפרדה עצמית כלפי מטה הפרידה 33-71% מהרימות לאחר 24 שעות, 74-91% מהרימות לאחר 48 שעות ו- 76-94% מהרימות לאחר 72 שעות (טבלה 4).

טבלה 3 אחוז הרימות המופרדות לאחר שעה בשיטות הפרדה מגוונות. הנתונים ממוצע ± שגיאת תקן של 3 חזרות

רטט מכאני	רטט ידני	רשת וקרינה	הרטבה בחושך	עשן	רשת בד	כלור	שמן לוונדר	שמן אקליפטוס	שיטות אחרות
40.0±3.8	23.4±2.1	12.6±1.2	8.2±0.4	4.7±0.6	4.1±0.8	2.3±0.3	1.2±0.1	1.3±0.1	0

טבלה 4 אחוז רימות בהפרדה משולבת בטור למשך 24, 48 ו- 72 שעות. הנתונים ממוצע ± שגיאת תקן של 3 חזרות

טיפול	הפרדה 1 (24h)	הפרדה 2 (48h)	הפרדה 3 (72h)	סה"כ
1/2	71.2±3.4	20.4±2.7	2.4±0.9	94.0
1/3	65.6±3.9	20.9±1.6	4.0±3.0	90.6
1/4	33.0±9.9	41.5±7.9	1.4±0.8	75.9

3.3. שיפור ביצועי הרימות: מתוצאות ניסויים הקדמיים נראה היה כי רימות שחשופות לסוג מזון מסוים במשך הזמן משפרת את ביצועי פירוק המזון ואת יחס המרת מסת מזון למסת רימות, ואילו העברת הרימות

לסוג מזון חדש מעכבת זמנית את יעילותן. בכדי לאשש את ההשערה שחשיפה מוקדמת של הרימות למזון הנבחר משפרת את ביצועיהן, נבחנה יעילות <u>דור ראשון לעומת דור שני שגדלים על אותו מצע מזון</u>: הרימות גודלו בכלים במידות 17*12.5 ס"מ וגובה 10 ס"מ עם רשת 55 מש בתחתית, לניקוז עודפי המים ורשת 55 מש במכסה לאוורור. בכל טיפול 5 חזרות. לכל כלי הוכנסו 437 רימות, הכלים הוצבו בחדר גידול מבוקר בטמפרטורה 30°c. צפיפות הרימות בניסוי הייתה 2.06 רימות/סמ"ר. כמות מזון 0.622 גר' חומר יבש לרימה. תערובת ההזנה הכילה 50% רגלי פטריות טריות, 25% רגלי פטריות מיובשות (60°C לילה) טחונות (Retsch Sm-100) ומנופות (0.4 מ"מ) ו- 25% ת"ע פרוסים (2 מ"מ). הטיפולים: **1.** רימות דור 1 (גודלו בדור קודם על מצע סטנדרטי, נרכשו מחברת ביו-בי) **2.** רימות דור 2 (גודלו בדור קודם בחוות מתיתיהו על מצע תערובת רגלי פטריות ות"ע ושימשו ליצור ביצים ורימות לקבלת דור שני). **<u>תוצאות</u>**: לא נמצא הבדל משמעותי בין שני הטיפולים (טבלאות 5, 6 לניצולת רמות ולתוצרי קומפוסט-זח"ש, בהתאמה).

טבלה 5. כמות המזון וניצולת הרימות בדור 1 בהשוואה לדור 2 על מצע פטריות ות"ע. הנתונים ממוצע±SE, n=3. משקל מזון יבש- dmF, משקל מזון רטוב- wF, משקל רימה- Lw.

דור	מזון רטוב לרימה (גר')	מזון יבש לרימה (גר')	משקל רימה בסוף גידול (גר')	ימי גידול	ניצולת מזון לרימה (wF/Lw)	ניצולת מזון לרימה (dmF/Lw)
1	1.88	0.622	0.182	14	10.34±0.28	3.42±0.09
2	1.88	0.622	0.185	14	10.19±0.53	3.36±0.17

3.4. הזנה חד-פעמית לעומת הזנה דו-שלבית: בניסוי נבדקו שני טיפולים: **1)** הזנה חד פעמית בה הרימות מהשלב הראשון קיבלו את כל כמות המזון בצפיפות של רימה לגרם מזון (1000 רימות ל 1000 ג' מצע מזון שכלל תפוחים (55%), לתת (15%) ונוזל שמרים (30%), **2)** הזנה דו שלבית בה בשלב הראשון הרימות קיבלו רק רבע מכמות המזון (1000 רימות ל 250 ג' מזון) כך שהצפיפות ההתחלתית הייתה 4 רימות לגרם וכעבור 3 ימים הוספו עוד 750 גר' מזון כך שהצפיפות בהמשך היתה 1 רימה לגרם. הניסוי נערך בארבע חזרות לכל טיפול. בכלי בנפח 4 ליטר, 25X11X14.5 ס"מ. תחתית הכלי הוחלפה ברשת פלסטיק 50 מש, לניקוז עודפי נוזלים והגברת אוורור. הניסוי נערך בחדר גידול בטמפ' של 30 מ"צ במשטר אור 16:8. **תוצאות:** משקל הרימות בקציר היה גבוה יותר בטיפול בו ההזנה הייתה דו שלבית לעומת הזנה בשלב אחד 0.16±0.01 ו- 0.12± 0.01 גרם לרימה בהתאמה ($F_{1,6}$=8.989, p=0.024).

4. <u>אפיון קומפוסט-זח"ש ותוצרי לוואי גידול הזח"ש</u>

4.1. אפיון כימי-פיזיקלי של מצע הגידול לפני הצבת הניסוי ושל קומפוסט-זח"ש (ק"ז) בתום הניסוי נעשה ע"י בדיקת חומציות, מוליכות חשמלית ורדוקס בעזרת אלקטרודות מתאימות לאחר מיהול פי 5 של החומר הנבדק במים. רטיבות חושבה כיחס בין הדוגמה הטרייה למיובשת באחוזים (60 מ"צ עד למשקל קבוע), חנקן כללי נבדק בשיטת קלדל, אפר נקבע לאחר שריפת החומר (600 מ"צ, 5 שעות), איבוד חומר אורגני חושב לפי היחס בין האפר בתחילת הניסוי לסופו. **<u>תוצאות</u>**: חומציות ק"ז נעה בין 9-5, ללא תלות בריכוז המצע המקורי; מוליכות חשמלית, חנקן ואפר עלו ויחס C/N ירד והצביעו על פירוק חומר אורגני (טבלה 6).

4.2. אפיון הפאונה בקומפוסט-זח"ש פרק זה מתייחס למיקרופאונה שנמצאה בק"ז, אפיון מאקרו ומגא-פאונה נעשה בפרק 'טורפים, מתחרים ומזיקים' בשנים הקודמות. אפיון מורפולוגי של אוכלוסיית המיקרואורגניזמים נעשה לכל סוגי ק"ז שהתקבלו, ואפיון מולקולרי נערך לק"ז שגדלו על מצע פטם. **א.** <u>אפיון מורפולוגי</u> של הפאונה המצויה בק"ז נבחנה ע"י הרחפת 10 גרם קומפוסט ב- 250 מ"ל תמיסת 0.05%

NaCl למשך 20 דקות בערבול עדין, שיקוע המוצקים, ביצוע ארבעה מיהולים עשרוניים לדוגמת התרחיף וזריעת 100 מק"ל על מצעי הגידול הסלקטיבים למחצה הבאים: Dichloran Glycerol Chloramphenicol (DG-18), Dichloran Rose-Bengal Chloramphenicol (DRBC), Czapek Dox (CDA), Luria-Bertani (LB). לאחר קבלת מושבות הועברו דוגמאות ממושבות מייצגות לצלחות חדשות בזריעת בידוד, ובהמשך המושבות אופיינו מורפולוגית וחולקו לשלוש קטגוריות: שמרים, חיידקים ופטריות חוטיות. **ב.** <u>זיהוי מולקולרי</u> של המושבות נעשה כנגד 18S לפטריות בעזרת הפריימרים nu-SSU-1536, nu-SSU-0817 ו- EF3, EF4, וכנגד 16S לחיידקים בעזרת הפריימרים S-D-Bact-0341-b-S-17, S-D-Bact-0785-a-A-21. <u>**תוצאות**</u>: **א.** מזריעות הבידוד של ק"ז ממצע פטם אופיינו ארבעה מיני פטריות (Y1-Y4) וארבעה מיני חיידקים (B1-B4) כאשר מיון המושבות נעשה מורפולוגית ע"פ צורה וצבע המושבה ונוכחות תפטיר. מזריעת בידוד של מצעי ת"ע ות"ע עם פטריות בודדו שישה וחמישה מיני פטריות, בהתאמה, ושלושה מיני חיידקים בהתאמה. מורפולוגיית המושבות שבודדו ממצעים אלה לא הייתה זהה למושבות ממצע פטם. **ב.** בעזרת אנליזה מולקולרית של המושבות זוהו האורגניזמים הבאים: Y1- *Galactomyces candidum spp.,* Y2- *Candida tropicalis spp,* Y3,Y4- *Candida catenulate spp.,* B1- *Proteus mirabilis spp.,* B2,B3- *Klebsiella pneumonia spp.,* B4- *Enterobacter cancerogenus spp.*

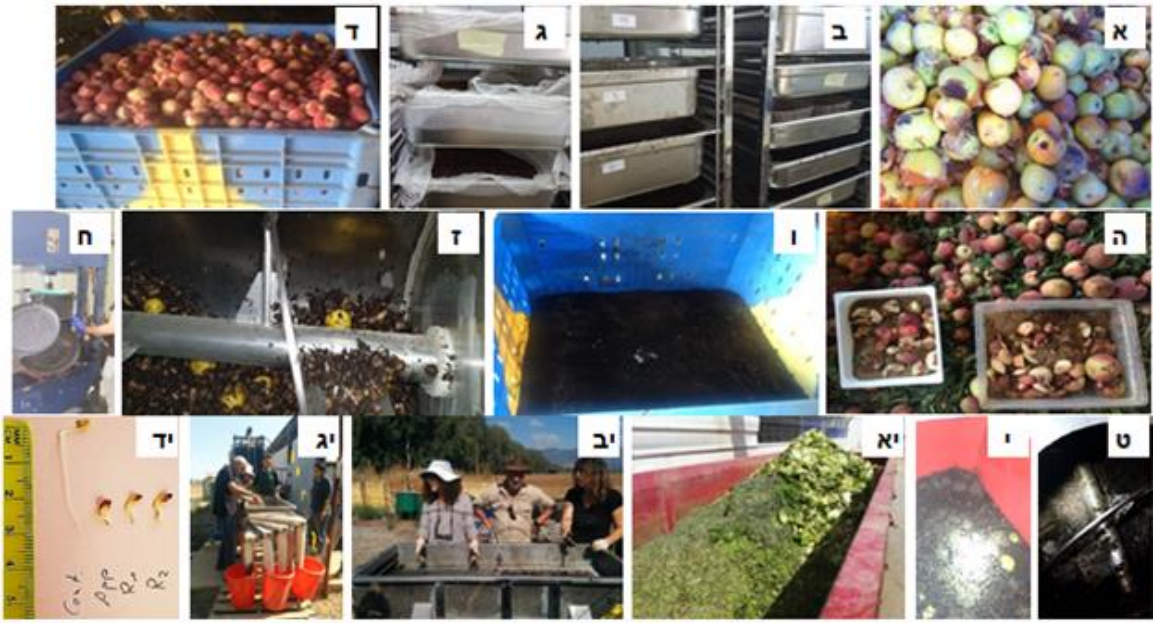
טבלה 6. אפיון כימי של קומפוסט-זחש (ק"ז) ממגוון מצעי גידול

	pH	מוליכות mS/cm	רדוקס mV	רטיבות %	חנקן כללי %	אפר %	איבוד ח"א %	יחס C/N
מצע פטריות ות"ע	6.32	21.4	190	68.3	2.70	25.33		16.04
ק"ז מצע פטריות ות"ע דור 1	8.68	30.5	37.0	62.3	3.93	40.15	50.56	8.83
ק"ז מצע פטריות ות"ע דור 2	8.72	33.8	56.7	59.9	3.82	39.83	51.24	9.14
מצע ת"ע	3.65	2.04	72.3	85.6	0.42	2.27		57.84
ק"ז ת"ע	5.42	28.0	105	19.8	1.55	18.27	87.58	30.58
מצע ת"ע ומבשלת בירה	4.62	5.42	26.1	80.2	0.98	13.02		51.48
ק"ז ת"ע ומבשלת בירה	5.83	19.8	35.2	35.4	2.47	34.28	62.02	15.43

5. <u>יישום תוצרי הלוואי של גידול הזח"ש בחקלאות</u> נעשה בשלושה ניסויים: ***5.1. בדיקת פיטוטוקסיות קומפוסט-זח"ש לנביטת זרעים***- קומפוסט-זח"ש מפיילוט בראשית מגידול על שני מצעים (פסולת ת"ע ותערובת פסולות ת"ע ותעשיית הבירה) נבחנו בחמש חזרות לכל מצע. הקומפוסט 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 עדינים *Lepidium ruderale* אשר הושקו בארבע מ"ל מהתמיסה. הוצבו ארבעה טיפולים: מיצוי קומפוסט-זח"ש ממצע תערובת ת"ע ובירה מפיילוט בראשית סבב 1, מיצוי קומפוסט-זח"ש מתערובת ת"ע ובירה פיילוט בראשית סבב 2, מיצוי קומפוסט-זח"ש ת"ע מפיילוט בראשית סבב 2 וביקורת מים. הזרעים הוחזקו באינקובטור ב- 24 מ"צ במשך 3 ימים ובסופם נבחן שיעור הנביטה בכל צלחת ואורך השורשון. ***5.2. בחינת נביטת זרעי עגבנייה בנוכחות מיצוי תוצרי לוואי מגידול זח"ש***: תוצרי הלוואי נטחנו והוכן מהם מיצוי 10% ו- 3% משקל יבש במים מזוקקים (טלטול ב- 25°C, 24 שעות, סרכוז וסינון 0.45 מק"מ). ארבעה מ"ל מיצוי הרטיבו נייר סינון בצלחות פטרי, ועל הנייר הונחו 10 זרעי עגבנייה. הוצבו ארבעה טיפולים: שלושה סוגי תוצרי לוואי (נשלים, קופסאות גלמים ריקות ופגרי בוגרים, שהתקבלו מחברת ביובי) וביקורת של מים מזוקקים. הזרעים הוחזקו בחושך באינקובטור ב- 24 מ"צ במשך 21 ימים. לאחר חמישה ימים, ולאחר מכן פעמיים בשבוע נבחן שיעור הנביטה ואורך השורשון. במקרה

הצורך הוספו מים לצלחות. הניסוי הוצב עם ארבע חזרות לטיפול. זרעים אשר לא נבטו לאחר 21 ימי הדגרה נשטפו במים (24 שעות, 24 מ"צ) ונביטתם נבחנה שוב בתנאים כנ"ל, אך בנוכחות מים בלבד. ***5.3 ניסוי עציצים לבחינת ערך דישוני*** של תוצרי לוואי גידול זח"ש בצמח עגבנייה: תוצרי הלוואי נטחנו והוספו בריכוזים של 0.5% ו- 3% (w/v) לקרקע ענייה בנוטריינטים. בנוסף הוכנו טיפולי ביקורת ללא דשן ודשן NPK בשחרור מבוקר (אוסמוקוט). בכל כוס שתילה בנפח 145 מ"ל נשתל נבט עגבנייה שהונבט מראש, שש חזרות לטיפול. העציצים הוצבו בבית רשת במכללת תל-חי והושקו בטפטוף מידי בוקר (2.5 דקות, L/hr 2). פעמיים בשבוע נערך מעקב אחר גידול הצמחים. כעבור 42 ימי גידול נמדדו אורך הצמחים ומשקלם הטרי ולאחר ייבוש (60 מ"צ עד למשקל קבוע). **<u>תוצאות</u>: *5.1*** מיצוי קומפוסט-זח"ש ממצע פסולת תפ"ע גרם לעיכוב נביטת זרעי שחליים עדינים (54% נביטה)($F_{3,16}$=57.46, p<0.01). שאר המיצויים לא נבדלו מהביקורת. אורך השורשונים בכל המיצויים היו כשליש באורכם וקצרים משמעותית מאורך השורושונים בביקורת ($F_{3,16}$=21.78, p<0.01)(איור 1יג). ***5.2*** זרעי עגבנייה אשר היו חשופים ל- 10% מיצוי מכל אחד מחומרי הלוואי שנבדקו לא נבטו במהלך 21 ימי הדגרה (אפס % נביטה), לעומתם אחוזי הנביטה של זרעים שהיו חשופים ל- 3% מיצוי נשלים, בוגרם וקופסאות גלמים היו 88%, 90% ו- 36% בהתאמה. אחוז הנביטה בנוכחות קופסאות הגלמים הייתה משמעותית נמוך משאר הטיפולים ($F_{3,16}$=30.8; p<0.01). אורך ממוצע של הנבטים בהשפעת מיצוי נשלים היה הארוך ביותר (13.6 cm), ואילו בהשפעת קופסאות הגלמים היה הקצר ביותר (3.9 cm). לא נראה הבדל בין מיצוי בוגרים לביקורת ($F_{3,16}$=39.4; p<0.01). מתוך הזרעים שלא נבטו ב- 10% מיצוי חומרי לוואי, 80%, 65% ו- 25% ממיצוי נשלים, קופסאות גלמים ובוגרים כן נבטו לאחר שטיפה במים למשך 24 שעות, כאשר בטיפול בקופסאות הנביטה הייתה משמעותית נמוכה בהשוואה לשאר הטיפולים ($F_{2,12}$=97.0; p<0.01). אורך הנבטים (שנבטו) בטיפול בקופסאות גלמים היה קצר משמעותית משאר הטיפולים ($F_{2,12}$=6.5; p<0.01). ***5.3*** בתום שישה שבועות גידול נראה כי צמחי עגבנייה בטיפול הביקורת ללא חומרי דשן היו קצרים מכל שאר הצמחים בטיפולים האחרים, וכי לא נראה הבדל באורך הצמחים בין טיפול דשן כימי לבין טיפולים בתוצרי לוואי גידול הזבוב ($F_{7,34}$=2.65; p<0.05). בהשוואת משקל הצמחים נמצא כי הטיפולים בנשלים 3%, בוגרים 3% וקופסאות גלמים 3% היו כבדים משמעותית משאר הטיפולים ($F_{7,34}$=54.4; p<0.01).

6. <u>אפיון הרכב תזונתי של הרימות וקמח הרימות</u> הרימות נאספו מהניסויים השונים, משקלם הטרי נשקל, עם או ללא שטיפה במים ויובש, לפי ניקיונם. משקל רימות יבשות נשקל אחרי הריגתן בהקפאה וייבושן בתנור 105 מ"צ עד למשקל קבוע. קמח רימות נעשה ע"י הקפאתן, **בחינת השפעת התשה אנזימתית** במים רותחים ל- 20 שניות, ו**בחינת אופן ייבושן** באוויר, בתנור 60, 80 או 105 מ"צ. האליזות הבאות נערכו בתום הייבוש ו**בהשפעת שלושה חודשי אחסון** בטמפ' חדר. כלל חלבון נבדק בשיטת קלדל כפול פקטור המרה 6.25. חלבון בר עיכול הוגדר כהפרש בין כמות כלל החנקן לכמות החנקן בפרקציית כלל הסיבים, כפול פקטור המרה 6.25. אפר נמדד לאחר שריפה (600 מ"צ, 5 שעות) וכלל ליפידים נמדד בשיטת סוקסלט אחרי הידרוליזה חומצית ומיצוי בפטרוליום אתר. **<u>תוצאות</u>**: מהתוצאות נראה כי הצטברות ליפידים גרמה לרימות בעלות משקל הגבוה, ללא הבדלים סטטיסטיים בין הטיפולים (טבלאות 8-7). ייבוש ב- 105 מ"צ נמצא כמתאים, שמש, 60 ו- 80 מ"צ גרמו לריחות רעים. התשה אנזימתית מנעה השחמת קמח-זח"ש בחיי מנדף. לא נמצאו הבדלים בהרכב התזונתי בעקבות חיי המדף בתנאי חדר.



איור 1. עיבוד פסולת חקלאית צמחית במתקן בראשית (א-ג), מתקן שלזינגר (ד-ו) ומתקן זרעית (ז-י); פסולת צמחית לאיזון דיאטה בחוות יאיר (יא); הפרדת זח"ש בנפה רוטטת (יב-יג); נביטת זרעי שחליים עדינים בניסוי פיטוטוקסיות קומפוסט זח"ש (יד).

טבלה 7, הרכב חומצות שומן ברימות על מצע פסולת ת"ע ובירה ביחס 1:2 ו- 1:4 רימות לגרם פסולת

ח' שומן	C4:0	C6:0	C8:0	C10:0	C12:0	C14:0	C14:1 n7	C15:0	C16:0	C16:1 n7	C17:0	C17:1 n7	C18:0	C18:1	C18:2 n6	C18:3 n6	C18:3 n3	C20:0	C20:1n9	C20:2n6	C20:3n6	C20:4n6	C20:5n3	C21:0	C22:0	C22:1n9	C22:2n6	C22:6n3	C23:0	C24:0	C24:1n9
1:2	ND	0.055	0.081	0.882	39.47	9.154	0.141	0.236	18.23	3.136	0.262	ND	3.863	11.56	11.23	ND	0.769	0.198	0.121	0.045	ND	ND	ND	0.133	0.121	0.177	0.045	ND	ND	0.039	0.029
1:4	ND	0.03	0.035	0.712	36.67	8.926	0.159	0.214	17.31	4.422	0.271	ND	4.225	12.15	12.75	ND	1.011	0.251	0.139	0.021	0.023	ND	ND	0.219	0.146	0.231	ND	ND	ND	0.042	0.033

טבלה 8. אפיון רימות יבשות דרגה 5 בהשפעת מצעי מזון מבוססי פסולת וביחס בין מספר רימות לגרם מצע. אותיות שונות באותה שורה נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $p<0.01$ במבחן Tukey HSD

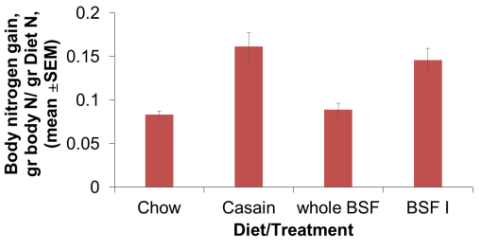
	יחס 1:2 ת"ע ובירה	יחס 1:4 ת"ע ובירה	יחס 1:2 נשירים	יחס 1:1 פירות עגבנייה
משקל, מ"ג ליחידה FW	110 b	80 c	198 a	132 b
משקל, מ"ג ליחידה DW	21.41	20.06	22.67	20.51
כלל חלבון, %	48.33	49.05	44.76	42.51
חלבון בר עיכול, %	41.83	41.53	38.63	38.20
אפר, %	6.01	6.58	7.14	8.53
כלל ליפידים, %	21.85 b	25.74 b	33.67 a	31.06 a

7. <u>יישום הרימות כחומר הזנה בחקלאות</u> בכדי לבחון התאמת הרימות שגודלו על פסולת חקלאית כחומר הזנה בחקלאות נעשו הדברים הבאים: **א.** הצגנו ההרכב הביוכימי תזונתי של הרימות לשלושה צרכנים פוטנציאליים (חברת ביו-בי שמייצרים קמח מזח"ש, חברת אנזוטיק- מזון לשרימפים וחקלאות ים, וחוות דגי הדן) ושאלנו האם הרכב הרימות מתאים לצרכיהם. **ב.** הכנו קמח ע"י ייבוש וטחינה של רימות דרגות 5 ו 6 וכן קמח ע"י הפרדת הקוטיקולה מדרגה 6 לקבלת קמח דל קוטקולה. כמות החלבון נבחנה בכל הקמחים בשיטת קלדל. וכן נבדקה נעכלות החלבון במבחנה ע"פ אחוז החומר שלא עבר עיכול ע"י אנזימי עיכול[12]. **ג.** ניסוי פרה לימינארי להזנת עכברים מודל בחלבון מזח"ש- הכנו כופתאות בהרכב תזונתי מתאים להזנת עכברים[13] לשלושה טיפולים, בכל טיפול מקור החלבון היה הגורם הנבדל היחיד: קזאין, קמח זח"ש דרגה 6 וקמח זח"ש דרגה 6 דל קוטיקולה. טיפול מזון מסחרי שימש כביקורת. כל טיפול נעשה בשש חזרות. בעזרת ד"ר רואי גוטמן (מיגל) נבדקה נכונות העכברים לאכול מזון מבוסס זח"ש, שרידות העכברים והערכת קצב גידולם בהשוואה לביקורת. **<u>תוצאות</u>**: **א.** תשובתם העקרונית של חברת ביובי הייתה שמבחינת ערכים

תזונתיים, גודל וצבע, הרימות עומדות בסטנדרטים של החברה. תשובתם העקרונית של חברות אנזוטיק וחוות דגי הדן הייתה שמבחינת הערכים התזונתיים הרימות מתאימות כתחליף לחלבון הבסיסי של המזונות שלהם. עם זאת, שלוש החברות ציינו כי קיימים פרמטרים נוספים מעבר להרכב התזונתי שיש לבחון כמו מבחני הזנה, כמות החומר וזמינותו. **ב.** קמח דל קוטיקולה נמצא עשיר בחלבון ובעל נעכלות גבוהה בהשוואה לקמחים אחרים שנבדקו (טבלה 9). **ג.** עכברים ניזונו מקמח מבוסס רימות בדומה לקמח סטנדרט. נמצאה שרידות של 100% בכל הטיפולים. משקל העכברים בסוף הגידול היה גדול (לא סטטיסטי) בטיפול קזאין ובטיפול קמח זח"ש דרגה 6 עני קוטיקולה בהשוואה לטיפולים במזון מסחרי ולקמח זח"ש דרגה 6 (תרשים 2).

טבלה 9. מאפיינים תזונתיים של קמחים מבוססי זח"ש

	קמח דרגה 5	קמח דרגה 6	קמח דרגה 6 דל קוטיקולה
חלבון ע"פ חנקן, %	36.2±2.1	34.4±2.2	70.7±0.6
נעכלות in vitro, %	79.2±2.0*	76.7±1.8*	82.2±2.2



תרשים 2. גודל עכברים בתום ניסוי הזנה במזון מסחרי (Chow), ומזונות הנבדלים בסוג החלבון: קזאין, קמח זח"ש דרגה 6 מלא וקמח זחש דרגה 6 דל בקוטיקולה.

8. <u>אפיון פרמטרים סביבתיים בתהליך גידול הזח"ש</u> הפרמטרים שבחנו הם פליטת גזי חממה (ניסוי 8.1), אפיון המתקן כמטרד ריח (ניסויים 8.2-8.3) והשפעת השימוש בזח"ש על הפחתה באילוח חוזר במזיקים ומחלות (דו"ח שנה ג): ***8.1. כימות גזי חממה הנפלטים ממתקן זח"ש***: 80,000 רימות גודלו בארגז פלסטיק (750×550×180 מ"מ אורך × רוחב × גובה) מכוסה ברשת, בצל, והוזנו בעודף מידי 2-3 ימים. בניסוי שני טיפולים עם שתי חזרות לטיפול: **(1)** הזנה בפסולת תפוחי-עץ בלבד, תפוחים קשיחים נחתכו מראש לקוביות באורך 2 ס"מ ותפוחים רקובים ניתנו ללא טיפול מקדים. **(2)** הזנה ב- 50% תפוחי-עץ (כמתואר בטיפול 1), 37.5% רגלי פטריות ו- 12.5% קש פטריות. בתום שבוע גידול (רימות בדרגה 4) הועברו מתקני הגידול למרכז מחקר חקלאי נווה יער ושולבו במסגרת סדנה בינלאומית שאורגנה ע"י ד"ר יעל לאור מנווה יער ופרופ' David Parker (מדען אורח מטקסס). שם הסדנה: International Workshop on Emission of GHGs, VOCs and Odors in the Agricultural Environment. גזי החממה נוטרו ברציפות (מדידה כל 10 שניות) בעזרת FTRI נייד למשך עשר דקות. ניטור זה בוצע אחרי שטיפת פעמון הדיגום (שטח דיגום 0.179 מ"ר) בחנקן (10L/min, 12 דקות) ואחרי הגעת ריכוז הגזים לשיווי משקל. הניטור בוצע בהנחיית ד"ר שחר ברעם (מדעי הקרקע, המים והסביבה, מכון וולקני)(איור 2 א) בשתי צורות: **א.** <u>ניטור דינאמי</u> מתוך פעמון הדיגום תוך כדי הזרמת חנקן (10 L/min). ו- **ב.** <u>דיגום סטטי</u> מתוך פעמון דיגום בדומה לדיגום הדינאמי, אך ללא הזרמת חנקן אלא בדיפוזיה ספונטאנית של גזים כנגד שקית איסוף אטומה, שתי חזרות לטיפול. התוצאות הושוו לבדיקת רפרנס אשר נערכה על-ידי הנחת פעמון הדיגום על משטח נקי וקשיח שנמצא בקרבת מקום. ***8.2. מדידת יחידות ריח במקור***: מהלך הניסוי נעשה בדומה למתואר בניסוי 8.1.א. (ניטור דינאמי) בהנחיית ד"ר יעל לאור (היחידה לפסולות, נווה יער) ופרופ' דוד פרקר (USDA-ARS, Bushland, Texas, USA), בהבדלים קלים, במקום ניטור רציף של גזי החממה נאסף הגז במשך 10 דקות בשקית איסוף אטומה (איור 2 ג)(אחרי שטיפת השקית ע"י איסוף גז למשך 2 דקות וריקון), הגז נמהל בסדרת מיהולים עם אוויר חסר ריח, ונחשף לבדיקת סף רגישות ריח ע"י פאנל מריחים מקצועיים.

הדגימות נבדקו בשתי חזרות, וכן נלקחה דוגמת גז רפרנס כמתואר לעיל. ***8.3. מבחן שטח חובבני לבחינת המרחק לסף ריח***: במתקני עיבוד פסולת שלזינגר (400 ק"ג אפרסקים ונקטרינות לשבוע), ימין אורד (פסולת צמחית חקלאית) ומוסינזון (תערובת פסולת חקלאית ומטבח) נבחרו 6, 5 ו- 8 מתנדבים לא מוסמכים לבחינה חובבנית של סף הריח בשטח. המתנדבים לא ידעו על קיומו של המתקן ועל מיקומו, הם נעו בהליכה איטית לכיוון המתקן, והתבקשו לציין מתי הם חשים בריח כלשהו ולתאר את הריח באחת משלוש הקטגוריות: ריח טוב (+1), אדיש לריח (0) וריח רע (-1). כל המתקנים נבדקו בחודשי הקיץ בשעות 10:00-11:30. **<u>תוצאות</u>**: ***8.1.*** בזמן המדידות טמפרטורת המתקן והגשש היו 37 מ"צ. משני הטיפולים נמצאה פליטה של 330 גרם פד"ח למ"ר מתקן לשעה שהם 204 גרם פד"ח לק"ג פסולת. ריכוז N_2O ,CO, NH_3 ,CH_4 היו מתחת לסף רגישות המכשיר וללא הבדל מריכוזם בביקורת. ***8.2.*** יחידות הריח במקור במתקני טיפול בפסולת ת"ע ופסולת ת"ע ופטריות היו 500±5500 ו- 500±4500 (mean±SD) יחידות ריח, בהתאמה, ללא הבדל מובהק בין התוצאות. ***8.3.*** במתקן שלזינגר סף הריח היה 2.5 מטר מהמתקן, הציון בנקודה זו היה 1 (טוב) והוגדר כפירותי ופרחוני, במרחק 1 מטר מהמתקן ציון הריח הפך לשלילי (רע). מתקן ימין אורד היה חסר ריח ע"פ הנבדקים עד למקור ובמתקן מוסינזון סף הריח היה 1.5 מ' מהמתקן וציונו ירד ככל שהתקרבו למתקן (טבלה 10).

איור 2. מדידת פליטת גזי חממה (א) בארבעה מתקני זחש (ב) ואיסוף כלל נדיפים לבחינת ריח.

טבלה 10. ציון ריח במבחן שטח חובבני לבחינת המרחק לסף ריח ממתקני עיבוד פסולת בעזרת זח"ש. במתקן שלזינגר טופלו 450 ק"ג פסולת נשירים לשבוע, מתקן ימין אורד טיפל בפסולת צמחית מהמשק (עשרות ליטרים לשבוע) ומתקן מוסינזון טיפל בתערובת פסולות מהמשק (עשרות ליטרים לשבוע) ופסולת מהמטבח (200 ק"ג לשבוע). מקרא ציוני ריחות: רע (-1), אדיש 0, טוב 1, לא מריח (-)

מתקן	מרחק מהמתקן	מספר נבחן								ציון ממוצע	נבדקים שהריחו, %
		1	2	3	4	5	6	7	8		
שלזינגר	2.5	1		1			1			1	50
שלזינגר	2	1	1	1	1	0	1			0.83	100
שלזינגר	1.5	-1	1	1	1	-1	1			0.33	100
שלזינגר	1	-1	1	-1	-1	-1	-1			-0.67	100
שלזינגר	0.5	-1	-1	-1	-1	-1	-1			-1	100
שלזינגר	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1			-1	100
ימין אורד	0	1	0	0	-1	1				0.2	100
מוסינזון	1.5	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	-0.75	100
מוסינזון	1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-0.88	100
מוסינזון	0.5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	100
מוסינזון	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	100

9. <u>נוכחות מזיקים, טורפים ומתחרים</u> נבחנה בכל מתקני הגידול בעזרת תצפיות. **<u>תוצאות</u>**: **מתקן בראשית** לעיבוד פסולת תפ"ע (המתואר למעלה) נעשה בחודשים מרץ-אפריל 2019 בחדר סגור, אשר מנעו את הגעת הטורפים למתקן הגידול. בימים הראשונים בסבב הראשון של הפיילוט היו בעיות בחימום המתקן. בימים אלה התמלאו חלק מיחידות הגידול בזבובי תסיסה מתחרים ובעובשים. הן זבובי התסיסה והן העובשים נעלמו שלושה ימים אחרי שיפור החימום במתקן. **מתקן שלזינגר** לעיבוד פסולת נשירים נעשה ביוני-אוגוסט תחת סככת הצלה מוקף בגדר בגובה 120 ס"מ. המתקן כוסה ביריעת ניילון שחורה. סביב המתקן התאספו ציפורים ממנים שונים, ובמקרים בהם יריעת הניילון המכסה זזה נראו הציפורים בתוך המתקן. בנוסף נראו מדי פעם לטאות במתקן וכן עכבר אחד. זבובים וחרקים אחרים נראו בסביבת המתקן בכמות דומה לכמותם בסביבה המרוחקת מהמתקן.

10. <u>תחשיב כדאיות השקעה במתקן יצור זח"ש על בסיס פסולת ת"ע ומבשלת בירה</u>

התחשיב נעשה בעזרתו של מר אבי סולומון- כלכלן ראשי משרד החקלאות מחוז צפון

נתונים:

רימה לבנה דרגה 5	רימה 5
ימי גידול	10
מחזורים בשנה	24
כמות (רימות צעירות=סטרטרים) למחזור אחד סטרטר אחד= מאה אלף רימות	4
משקל גולמי שיווק דרגה 5, מ"ג לרימה אחת	100
אחוז תוצרת לשיווק שלב 1 פחת תמותה וכו' (בפועל בפיילוט יצא 72% בגלל בעיות בהפרדה)	80%
אחוז חומר יבש	25%
שיטה: הפרדה מאולצת	
מאפיין	פחות שלד
כושר טיפול תפוחים, ק"ג למחזור של 10 ימים	110

חישובים:

יצור רימות שלב 5, ק"ג חומר רטוב למחזור אחד	32.00
יצור רימות שלב 5, ק"ג חומר יבש למחזור אחד	8.00

הוצאות ישירות לגידול למחזור ולשנה בש"ח

סעיף	יחידות	מחיר	כמות למחזור	סכום למחזור	סכום שנתי	הערות
קניה חומר ריבוי רימות		180	4	720	17,280	
קניה חומר גלם מבית אריזה	טון	-50	0.1	-6	-132	חינם
הובלה חומר גלם מבית אריזה	טון	0	0.1	0	0	חינם
קניה חומר גלם מהחקלאים בשדה	טון	0		0	0	חינם
הובלה חומר גלם מהחקלאים בשדה	טון	50		0	0	מרחק קצר. בגולן
קניה פסולת בירה (לתת)	טון	0	0.03	0	0	מבשלת בזלת בגולן
קניה פסולת בירה (נוזלי שמרים)	טון	0	0.06	0	0	
הובלה פסולת בירה	טון	150		0	0	
טיפול (ייבוש ואיחסון) בפסולת בירה	טון			0	0	
חומרים שונים בגידול, חומרי ניקוי, ביגוד, רשת לזבובים		50	1	50	1,200	
ציוד בגידול		0		0	0	
חשמל (איוורור מבנה ושונות)	kWh	0.5	250	125	3,000	
מים (שטיפה)	מ"ק	2	5	10	240	
שונות ובלתי צפוי 10%				90	2,159	
סך עלות גידול רימות שלמות טריות מצוננות (שלב 5)				**989**	**23,747**	

הכנסות מסלול 2 - רימות שלב 5 - קמח גולמי

סעיף	יחידות	מחיר	כמות למחזור	סכום למחזור	סכום שנתי	הערות
כמות חומר יבש (מתהליך היצור)			8.00			
אחוז חלבון			48.30%			
אחוז ליפידים (שומן לתעשיה)			21.85%			
הכנסות רימות שלמות (5 ליטר=יחידה, 5ליטר=2קג רימות שלב 5)	**ליטר**	**20**	**80.0**	**1600**		**מקור המחירים ביובי**
הכנסות קמח גולמי (לא מופרד)	ק"ג	6.00	8.00			מחיר שוק עולמי
קומפוסט רימות לדישון משאריות של תוצרים קודמים (לפי פי 2.5 מהחומר היבש)	ק"ג	0.10	20			
עלות הובלות לתעשייה (הובלה ללקוח)						
עלות ייבוש						
עלות טחינה						
סה"כ הכנסות				1,600	38,400	
יתרה שנתית				**611**	**14,653**	

הוצאות עקיפות (תקורה) לגידול לשנה בש"ח

סעיף	יחידות	מחיר	כמות לשנה	סכום שנתי	הערות
ארנונה				0	
רישוי עסקים				0	
משרדיות				0	
ביטוחים				0	
שכ"ד מבנים				0	
שימוש ברכב ענף				0	
החזר הון השקעות				0	ראה טבלת השקעות
עובד תפעול	שנה	120,000	0.50	60,000	חצי משרה
ניהול	שנה	200,000	0.10	20,000	
שונות ובלתי צפוי 10%				8,000	
סה"כ תקורה שנתית				**88,000**	

דיון

הזנת רימות בפסולות חקלאיות צמחיות: הניסיון לפתח פרוטוקולים של גידול זח"ש אך ורק על בסיס פסולות צמחיות מאתגר מאוד מאחר ויש למצוא פסולות בעלות ריכוז חלבון גבוה, ולייצר תערובות שיתאימו לדרישות התזונתיות והסביבתיות של הזח"ש כפי שמצאנו בשנות המחקר הקודמות. בבחינת יעילות השימוש בפסולות שנבחנו נמצא כי תוצאות שנה ד' חוזרות על ממצאינו משנים קודמות, ומצביעות על כך שככל שהדיאטה עניה בחלבון, הרימות מפרקות יותר ממנה, אך אין להם די חלבון לבניית גופן ולכן יחס המרת מסת פסולת למסת גוף היא נמוכה (טבלה 1). Gligorescu וחובריו (2018) מראים כי לגידול זח"ש בדיאטה שאינה מאוזנת יש מחיר מטבולי ובעקבות זאת זמן הגידול ארוך יותר והגודל הסופי של הרימות קטן יותר[14]. לכן, כאשר יש רצון לטפל בפסולת באמצעות זח"ש יש להתייחס למידת החשיבות של פירוק מקסימאלי של הפסולת, שמתרחש דווקא בדיאטות שאינן מאוזנות ומהווה בד"כ יתרון סביבתי בהשוואה לתפוקה המקסימאלית של רימות אשר דורשת תנאי גידול אופטימליים, ויכולה להניב יתרון כלכלי. במיוחד למקרים אלה, אשר לא מניבים רימות בגודל מקסימאלי וזמן גידול מינימאלי פיתחנו נוסחאות מתמטיות אשר חוזות מראש את גודל הרימה הסופי ואת זמן גידולה. מעניין היה לראות (טבלה 1) שהדיאטה השפיעה על ריכוז החלבון ברימות, יש לשער כי כמות החלבון לרימה לא השתנתה, כפי שנשארה קבועה בשנים הקודמות, אלא כמות הליפידים והקוטיקולה השתנו ומכך נגרם שינוי בריכוז החלבון. מתוצאותינו בשנה א' ומהספרות ניתן לראות כי ריכוז הליפידים בזח"ש והרכבם משתנה בהשפעת דיאטה[15]. גם כמות הקוטיקולה משתנה, הן בהשפעת הדרגה אך גם בהשפעת שינויים בלחות. מתוצאותינו ניראה שדיאטה בעלת שיעור תפוחים גבוה עדיפה על דיאטה שבו שיעור התפוחים נמוך ורכיב הלתת גבוה, למרות תכולת החלבון ההתחלתית הזהה בשתי הדיאטות. תוצאה זו תואמת את ממצאי השנים הקודמות בהן נראה שריכוז סיבים גבוה מעכב את גידול הזח"ש. אמנם בדיאטה בזמן אפס כמות הסיבים התאימה לדרישת הרימות, אך עם הזמן, ככל שכמות החומר הפריק התפרק כך ריכוז הסיבים מהלתת עלתה ולהשערתנו היא הגורם לעיכוב. בעיה נוספת בשימוש בלתת היא העובדה שהוא מזדהם מהר במיקרואורגניזמים ובמקרה זה מהווה כבר בזמן האחסון מטרד ריח. ניתן לפתור את הבעיה ע"י שימוש מיידי בלתת ללא אחסונו, או ע"י קירור או יבוש, כאשר שתי השיטות האחרונות מצריכות שימוש באנרגיה והשקעת משאבים כלכליים. הבעיה בדיאטה עתירת התפוחים הינה שמקור החלבון העיקרי היה נוזל שמרי בירה מיובשים- מקור הדורש השקעה אנרגטית גדולה ועיבוד מקדים המעורר שאלה לגבי כדאיותו הכלכלית. מצב דומה היה עם השימוש בפסולת רגלי פטריות, העשירה בחלבון ומיוצרת בהיקפים קבועים (כ- 3,600 טון בשנה) במהלך השנה, אך בעלת תכולת רטיבות גבוהה שמחייבת פיתוח תהליכי יבוש חלקי על מנת להכשיר אותה לשמש להזנה. גם פסולת תעשיית הבירה, העשירה בחלבון, בעלת תחולת רטיבות גבוהה מיוצרת ברציפות לאורך השנה אך מחייבת טיפול שימור מידי מאחר והיא מזדהמת במהירות בדומה ללתת. ע"פ איל יונאי, מנהל בית אריזה בראשית, פסולת ת"ע קיימת בשתי קטגוריות, כשני טון ביום ניתן להעביר להאבסת בע"ח (בערך במחיר ההובלה) וכ- 200 ק"ג ביום הם בררה שלא ניתן להעביר להאבסה אלא רק להטמנה (בעלות של כחמש אגורות לק"ג). בבית האריזה מחפשים פתרון לת"ע אלה, והם שמשו אותנו בניסוים.

כחלק מהניסיון לייעול תהליך פירוק הפסולת באמצעות זח"ש ומתוך הבנה שבמתקן גדול רציף תהליכי יבוש הפסולת כנראה יהיו נחוצים, בחנו שתי שיטות ייבוש. הייבוש הסולארי נמצא כמתאים וטוב יותר היות

ובשיטה זו אין איבוד של נוטריינטים מומסים אשר קיימת בייבוש ע"י דחיסה. עם זאת, לשיטה הסולרית מספר חסרונות, היא דורשת שטח גדול וכן סביבה יבשה וחמה. לכן ניתן להניח שהשיטה תתאים יותר לאזורים כמו הנגב והערבה ופחות לגליל, הגולן ומישור החוף. בפיילוט חוות יאיר בערבה מתוכנן שימוש בפסולת עלים ממפעל פרסקו השכן להעלאת אחוז החלבון. כנראה בגלל תנאי מזג האוויר באזור העלים בפח המפעל יבשים. טרם נעשה ניסוי בקנה מידה גדול המשתמש בעלים אלו, עם זאת, בהסתמך על תוצאות משנים עברו, בהן ראינו כי הרימות משגשגות על עלוות צמחי עגבנייה, ניתן להניח כי התוצאות יהיו משביעות רצון.

האכלה חד פעמית לעומת דו-שלבית: ממצאינו מהשנה תואמים ממצאינו מהשנים הקודמות אשר מראים כי בשלושת הימים הראשונים צפיפות גבוהה יותר של רימות מאפשרת להם להתמודד טוב יותר עם עובשים ואורגניזמים מתחרים אחרים ומקצרת את תקופת ה- LEG בהתפתחותם. פער זה נשמר עד לקציר. אך מאחר והאכלה בשני שלבים מגדילה את כמות העבודה הנדרשת יש לשקול האם היא כלכלית. פתרון ביניים שמצאנו הינו האכלה יחידה, אך במקום לפזר את הרימות יש לשים אותן בצפיפות במקום מרוכז. פתרון זה מאפשר לרימות להישאר בצפיפות למשך הזמן הדרוש להן ולהרוויח את יתרונות הקבוצה הגדולה, ומאפשר לנו האכלה יחידה וחיסכון בכוח אדם.

הפרדת רימות דרגה 5 ממצע הגידול: במחקר עדיין לא הצלחנו להתמודד בהצלחה עם תהליך הפרדת הרימות הלבנות, בדרגה 5, מהמצע. שילוב השיטות השונות, אשר ארך 72 שעות נתן לנו הפרדה של כ-90%. כמובן שמשך זמן ארוך זה אינו ראלי למתקן תעשייתי, הן בגלל בזבוז הזמן והן בגלל שינוי הרימות בזמן זה, כמו המעבר מרימה לבנה דרגה 5 לרימה נודדת שלב 6. בתעשייה יש שימוש נרחב ברימות דרגה 5 אשר מופרדות מהמצע. קיימות שתי שיטות עיקריות להפרדה של הרימות בשלב זה, (1) הפרדה בעזרת כמויות גדולות של מים בהן נשטפות הרימות המורחפות ובעזרת כוח אדם מופרדות מהמצע, שיטה שלא מתאימה לישראל בה הן מחיר המים והן מחיר כוח האדם גבוהים. (2) ניפוי מכאני של הרימות מהמצע, בשיטה זו המצע צריך להיות כמעט יבש, לא דביק ובנוי מחלקיקים קטנים. בשימוש בחומר חקלאי צמחי טרי יש בעיה לגרוס את המצע לחלקיקים קטנים היות ובמצב זה מופרשים המים כולל המומסים שמהווים מרכיבי מזון ויוצרים מים חופשיים אשר גורמים לתנאים אנאירוביים ולעיכוב בגידול הרימות. מתוצאות המחקר (טבלה 1, תרשים 1) נראה כי אפילו הבדל קטן בחיתוך ת"ע (חיתוך דק ≥3 מ"מ לעומת גס 4-10 מ"מ) גרם לירידה ביחס המרת מסת הפסולת למסת רימות. גם ניקוז נוזלים אלה אינו פתרון טוב היות ומלווה הן באיבוד נוטריינטים מהמצע והן בצורך לטפל בתשטיפים נוזליים. בשימוש רק בנפה הרוטטת קיבלנו הפרדה של 40%, כאשר חלק גדול מהרימות שהופרדו היו פצועות. ניסיון הפרדה בעזרת פולס חשמל כשל, שרירי הרימות התכווצו, הרימות התעגלו והתגלגלו סביב עצמן במקום ולא יצאו מהמצע. בהצעת המחקר ובשנתיים הראשונות למחקר ראינו כמטרה הן קבלה של רימות בדרגה 5 והן בדרגה 6, אך בשנים האחרונות חל שינוי, ובשוק ההזנה יש התייחסות לרימות דרגה 5 בלבד, כנראה בעקבות היעילות הגבוהה יותר של יצורן בעקבות זמן גידולן הקצר יותר, ריכוז החלבון המעט גבוה יותר וריכוז הכיטין הנמוך יותר[16], המוגדר כאנטי-נוטריינט. בנוסף, מסקר חלקי של השוק שביצענו בארץ לא מצאנו לקוח פוטנציאלי לקמח רימות דרגה 6, ובעקבות זאת החלטנו כי במתקן אותו אנו מצעים יש צורך לקצור את הרימות בדרגה 5. היתרון בקבלת רימות דרגה 6 הוא הקציר העצמי שלהן והיכולת לגדל אותן בתערובת גילאים ובאופן

רציף, כפי שהראינו בתוצאות שנה ג', ולא בגיל אחיד ובגידול מנתי. ממצאי המחקר (תרשים 2 וטבלה 9) מלמדים כי ניתן לייצר מרימות דרגה 6 קמח עתיר חלבון ודל קוטיקולה, זהו מוצר פוטנציאלי חדש בעל ערך תזונתי ופוטנציאל כלכלי גבוהה בהשוואה לקמח רימות דרגה 5, אך כיום ללא רגולציה. יש להמשיך ולחקור תחום זה ולפתח את הידע הן ביכולת ההפרדה של רימות דרגה 5 והן בשיפור האלטרנטיבות של השימוש ברימות דרגה 6.

אפיון הדרישות למניעת טורפים, מזיקים ומתחרים לזבוב: תוצאות המחקר בשנים הקודמות הראו כי גידול הזח"ש משך אויבים טבעיים, ביניהם יונקים, ציפורים, זוחלים וחרקים, לכן המתקן חייב להיות מוגן פיזית באמצעות רשתות וגדר. פרזיטואידים לא נמצאו כבעיה במתקני הגידול, מעבר לזה, לא מצאנו ראיות לנוכחות של פרזיטואידים שתוקפים את זח"ש באזורים שונים בגליל. סטרטר בכמות של לפחות רימה לשני גרם מזון ותנאי גידול טובים לזח"ש מבחינת טמפרטורה והרכב מצע גידול מנעו כניסת מתחרים למצע. מתחרים אשר אילחו את המצע ניתן לחלק לשתי קטגוריות- ביצים וזחלים שתנועתם איטית נטרפו על-ידי הרימות ואילו זחלים מהירים, גלמים ובוגרים לא הושפעו מנוכחות הרימות (תוצאות שנה ב'). יחס מתאים של רימות למצע ותנאי גידול מתאימים לזבוב גם מפחיתים ריכוז חיידקים ופטריות קיימים ומעכבים התפתחות של עבשים (תוצאו שנה ג').

אפיון הרכב תזונתי של הרימות ויישומן בחקלאות אחוז כלל החלבון ברימות במחקר נע בין 43% ל 49% והושפע מסוג מצע המזון בדומה למתואר בספרות[17,18], ומהיחס בין כמות הרימות למסת המזון. כמצופה, הרכב המצע היה בעל השפעה גדולה על כמות והרכב הליפידים ברימות (תוצאות שנים א', ד')[19]. כמות החלבון בר העיכול היה נמוך ב 9-15% מכמות כלל החלבון ונובע משיטת הבדיקה ומפפטידים מבניים בקוטיקולה[20]. הערכים התזונתיים של הרימות כפי שהתקבלו ממתקן בראשית נמצאו מתאימים לערכים הנדרשים ע"י חברת ביובי, חברת אנזוטיק וחוות דגי הדן. עם זאת, בכדי להפוך את קמח הרימות ליישומי יש לבחון תנאים נוספים מעבר להרכב התזונתי כמו טעם, מחיר, כמות והדירות אספקה. מבחני הזנת עכברים בקמחים מבוססי זח"ש הוכיחו את בטיחות המוצר מבחינת טוקסיות והראו יתרון תזונתי של קמח עתיר חלבון על-פני קמח דרגה 6 שמכיל קוטיקולה (תרשים 2), כנראה בעקבות עלייה בנעכלות החלבון כפי שנמצאה בניסוי ***in vitro*** (טבלה 9). מוצר כזה טרם נחקר בספרות ומהווה אלטרנטיבה נוספת ליישום קמח חרקים, אך כיום באירופה חסרה רגולציה לגבי מוצרים מעובדים מחרקים ואין אפשרות לשווק מוצר זה.

אפיון קומפוסט-זח"ש ותוצרי לוואי גידול הזח"ש ויישומן בחקלאות: בתהליך גידול הזח"ש יש מספר תוצרי לוואי, קומפוסט-הזח"ש (ק"ז), פגרי בוגרים, קופסאות גולם ריקות ונשלים. את ק"ז הגדרנו כתוצר פירוק החומר האורגני הכולל בתוכו את הפרשות הזח"ש, את הנשלים של הדרגות הלרוואליות הראשונות ואת חומרי המצע הראשוניים שלא פורקו. בבחינת תכונות ק"ז ראינו הן מתוצאות שנה ד' והן מתוצאות השנים הקודמות כי הרכב מצע המזון משפיע על התכונות הפיטוטוקסיות והדישוניות של ק"ז. ממצאינו הראו שמיצוי ק"ז 10% המבוסס על ת"ע בלבד היווה חומר פיטוטוקסי לנביטת זרעים, בדומה למיצוי 10% של תוצרי הלוואי האחרים של גידול הזח"ש (פגרי בוגרים, קופסאות גולם ריקות ונשלים), לעומת זאת, ק"ז ממצע ת"ע ופטריות וכן ק"ז ממצע ת"ע ופסולת מבשלת בירה לא היו פיטוטוקסיים לנביטת זרעים. למציאת מנגנון הפעילות בחנו ראשית את הגורמים הטריוויאליים שעשויים לגרום לעיכוב נבטת הזרעים, ה- pH, המליחות וריכוז האמוניום בחומרים הנבדקים. לא מצאנו הבדלים בחומרים אלה בין הטיפולים

הפיטוטוקסיים לאילו שאינם פיטוטוקסיים (תוצאות בדוח זה ובשנים הקודמים). כך שחומר אחר אחראי לפעילות העיכוב. פעילות עיכוב נביטת הזרעים בהשפעת מיצוי בוגרים ונשלים היה הפיך, והתבטל לאחר שטיפת הזרעים במים למשך 24 שעות, בעוד השפעת קופסאות הגלמים הייתה פיטוטוקסית והתבטאה הן באחוזי נביטה נמוכים והן בצימוח ירוד של הנבטים (סעיף 5.2). אנו מניחים שהגורמים המשפיעים על תכונות המצע ותוצרי הלוואי האחרים שנבדקו מקורם מהפרשות מיקרואורגניזמים שגדלו ושגשגו בנוכחות זח"ש. יש להמשיך ולהעמיק במחקר בתחום זה ולשקול אפשרות של שימוש בחומרים אלה כמעכבי נביטת זרעים בחקלאות. בנוסף נמצא כי ק"ז ת"ע ופטריות וכן חומרי לוואי של גידול הזח"ש הם בעלי ערך דישוני (בניסוי עציצים בחסה, שנה ג' ועגבניות בשנה ד'). לתוצרים אלה ערך כלכלי וסביבתי והם ניתנים ליישום בחקלאות הן כמעכבי נביטה והן כמדשנים. עם זאת, איננו יכולים לחזות מראש את תכונות ק"ז, ובכל מקור פסולת חדשה שתנוצל ע"י הזח"ש יהיה צורך לבחון פרמטרים אלה מחדש.

אפיון פרמטרים סביבתיים בתהליך גידול הזח"ש: בניסוי נבדקה פליטה במקור (לא מוקדית) של חומרים נדיפים ממתקן עיבוד פסולת על-ידי זח"ש בשלב הפעיל ביותר מבחינת פירוק הפסולת. תוצאות הבדיקה הראו כי גז החממה היחיד שנפלט היה פד"ח בכמויות נמוכות, כחמישית בהשוואה לכמות הפד"ח המופרש בהטמנה. בתהליכי קומפוסטציה לא מתייחסים לפליטת הפד"ח שמקורו מפירוק ביולוגי של חומר אורגני כאל גז חממה התורם לחימום הגלובלי[21,22]. הפד"ח היחיד שנחשב כגז חממה מקורו מפעולות התומכות במערכת ודורשות אנרגיה כמו חימום המתקן, שינוע מרכיבי הפסולת ופעולות מכאניות של חיתוך, ניפוי וכדומה. במחקר זה לא בחנו את טביעת הרגל הפחמנית הכוללת של הפעלת המתקן ולא את טביעת הרגל האקולוגית לעיבוד פסולות באמצעות זח"ש, כמו שטרם נבחנה ההשפעה הסביבתית-חברתית של מיקום מתקן המניב מקורות תעסוקה והכנסה הן לאוכלוסייה מומחית והן לבלתי מקצועית בפריפריה.

חומרי ריח עלולים להוות מטרד. החומרים הנדיפים מתפשטים ממקור הריח לסביבה כתלות ברוח ובלחות האוויר. לשם מציאת המרחק שבו מהווה מתקן הזח"ש מטרד ריח, בחנו את יחידות הריח במקור במתקן במצבו "הריחני ביותר". ניתן להכניס את התוצאות שהתקבלו למודל מתמטי קיים, אותו ניתן להתאים לאזורים שונים בארץ. בנוסף מכיוון שהמדידה מספקת נתונים למ"ר מתקן, ניתן להכפיל את התוצאות בגודל המתקן הרצוי ולהעריך את המרחק לסף הריח מכל מתקן רצוי. בניסוי חובבני התקבלו תוצאות שתאמו במידה רבה את ניסוי לכידת הנדיפים ובחינת סף הריח בעזרת פנליסטים מקצועיים. בכל מקרה סף הריח הרע של המתקנים בהם אנו עבדנו (עשרות עד מאות ק"ג פסולת למתקן) היה פחות משני מטר.

הערכה כלכלית תוצאות המחקר מראות היתכנות כלכלית לטיפול בפסולת חקלאית צמחית על-ידי זח"ש ממכירת רימות שלמות מצוננות הן כטיפול בפסולת שמקורה מבתי אריזה ותעשיית המזון (יש לציין כי את הגידול והחישוב ביצענו לחורף, בתקופה בה ההשקעה הכלכלית בחימום היא הגבוהה ביותר) והן כטיפול לסניטציה במטע תפוחי עץ (שנה ג'). לא בכדי קמות בשנים האחרונות חברות רבות ברחבי העולם לגידול זח"ש במטרה ליצר קמח. החברות אשר עוסקות כיום בגידול הזח"ש משקיעות במחקר ופיתוח ויוצרות לעצמן את הידע ואת השיטות לגידול הזח"ש. ייחוד מחקר זה הוא יצירת פרוטוקולי עבודה פשוטים אשר יאפשרו הקמת ענף חקלאי חדש בעל מחזורים קצרים של גידול רימות הזח"ש על-ידי חקלאים שאינם יכולים לעסוק במחקר ופיתוח.

התוצרים בעלי הערך הכלכלי של גידול הרימות הם החלבון, השומן והקומפוסט. החלבון יכול לשמש להאבסת בע"ח, מעבר למחיר הכלכלי של החלבון יש להתייחס לערך הסביבתי והחברתי של ייצור מקומי של חלבון מפסולת. אבקת החלבון ליחידת משקל נמוך ממחיר הרימות השלמות, אך שוק אבקות החלבון הוא אינסופי לעומת שוק מוגבל וייחודי לרימות שלמות. שומן הרימות שהוא ברובו רווי ובאורך בינוני של שרשרת פחמנים יכול לשמש כביודיזל בעל המחיר נמוך, כפי שהצענו בהצעת המחקר, או כחומר סיכה טבעי לתעשיית המזון[23,24], שערכו הכלכלי גבוה יותר.

כמות תוצרי עיבוד מקומי של פסולת בשנה בעזרת זח"ש: הבעיות בהפרדת הרימות משאריות הפסולת עיכבו את תחילת יישום תהליך עיבוד פסולת אורגנית מקומית באמצעות זח"ש. בהתבסס על שיתופי הפעולה שהיו לנו במהלך המחקר ומתוצאות המתקנים החצי תעשייתיים שהעמדנו בשנים ג-ד של המחקר ניתן לסכם: **1.** תעשיית הפטריות בישראל יצרה בשנת 2018 כ- 22,000 טון פטריות שמפניון ופורטבלה. כתוצאה מכך נוצרו כ- 3,600 טון פסולת של חלקי גופי הפרי שאינם ניתנים לשיווק וכוללים בעיקר רגלי פטריות. חלקי פרי אלה מזדהמים במהירות ומהווים מתרד ריח במפעל. מתוצאות מחקרנו נראה שמ-3600 טון פסולת רגלי פטריות + 1200 טון פסולת לתת בירה ניתן יהיה לגדל כ- 640 טון זח"ש טרי שנותנים כ- 147 טון קמח זח"ש ולקבל כ 1920 טון קומפוסט-זח"ש תוך הפחתת מסת הפסולת ב- 75%. **2.** בית אריזה בראשית ברמת הגולן מפיק כ- 72 טון פסולת בררה של תפוחי עץ בשנה שמהווה נטל לוגיסטי וכלכלי על המפעל. מ- 72 טון פסולת תפוחי עץ יתקבלו 3.2 טון רימות שהם 7.4 טון קמח זח"ש וכן 1.2 טון קומפוסט-זח"ש תוך הפחתת מסת הפסולת היבשה ב- 90%. ואילו מ- 72 טון פסולת תפוחי עץ + 39 טון נוזל שמרים + 19.6 טון לתת יתקבלו 18.7 טון רימות שהם 4.3 טון קמח זח"ש וכן 12 טון קומפוסט-זח"ש תוך הפחתת מסת הפסולת היבשה ב- 56%.

פרוטוקול גידול לרימות זח"ש מחקר זה מוכיח כי היפותזת המחקר שלנו הייתה נכונה, ושיש אפשרות לעבד פסולת חקלאית צמחית באמצעות זבוב החייל השחור על-ידי מתקנים מודולאריים בכמויות של כ-100-200 ק"ג ביום. אנחנו הצלחנו לפתח פרוטוקול לעיבוד פסולת מקומית בקנה מידה גדול בעזרת זח"ש. אנו יודעים להרכיב דיאטה מתאימה ע"י ערבוב מרכיבי פסולת, ובעזרת נוסחאות המודל המתמטי שפיתחנו עם ד"ר תמר צמח יש לנו את היכולת לחזות מראש מה תהייה מסה ממוצעת של רימה ומה יהיה הזמן עד לקציר. עם זאת, טרם הצלחנו לפתח תהליך הפרדה טובה של רימות בדרגה 5. על-פי חישובינו, מתקן מקומי בו מפרידים את הרימות בדרגה 5 עתיד להיות רווחי, ויכול לשרת מגוון משקים ועסקים, וכן להוות מוטיבציה לחקלאים לבצע סניטציה לתוצרת החקלאית הפגומה שלהם. קיימת אפשרות נוספת של גידול הרימות עד דרגה 6, לגידול זה יתרון בהפרדה העצמית של הרימות אך כיום, בארץ, אין שוק לתוצר הסופי הגולמי וחסרה רגולציה לשימוש בתוצר עתיר החלבון המעובד.

פרוטוקול הגידול אותו אנו ממליצים הינו תערובת מרכיבי פסולת שיתנו 6-10% חלבון, 5-40% סיבים, 70% לחות, מצע מאוורר וקליל, טמפ' 30 מ"צ וגידול בגובה שאינו עולה על 10 ס"מ. בנוסף, יחס של 1-2 רימות לגרם מזון (בהתאם לריכוז החלבון במצע). אנו ממליצים על הזנה יחידה בתחילת התהליך והוספת הרימות כערמה מרוכזת וצפופה ע"ג המצע (לא פיזור אחיד במצע) (איור 1ה). על המתקן לעמוד בצל ולהיות מוגן פיזית כנגד כניסת טורפים ומתחרים.

על מנת להקים מתקן ייעודי לפסולות בהיקפים גדולים יותר ובטכנולוגיה מתקדמת שיאפשר יצור זח"ש איכותי בסטנדרט אחיד שמבוסס על פסולת מקומית יש להמשיך ולבחון את השיטות היעילות והזולות ביותר להקטנת תחולת הרטיבות של הפסולת עתירות החלבון כמו רגלי פטריות ונוזל שמרים. כמו כן יש לבחון פיתוח שיטות למניעת הזדהמותן של הפסולות המאוחסנות, לפני שניתנות לרימות. בנוסף יהיה צורך לפתח טכנולוגיות יצור שיאפשרו הן גידול ממוכן שיאפשר הקטנת היקף כוח האדם והן גידול מודולארי בנפח ומשקל גדולים יותר מהמקובל כיום, וזאת על מנת להקטין את שטחי היצור הנדרשים, במתקן זרעית ניסינו לפתח טכנולוגית ייצור שכזו אך נתקלנו בבעיות שטרם פתרנו. בעולם כיום מוקמים מתקנים לפיטום הזח"ש בצמידות למפעלים מייצרי הפסולת כך שהצורך בשימור או שינוע הפסולת קטן- אך זה כמובן מגביל את סוגי הפסולת שניתן לנצל לאלו שהרכבן הראשוני מספק את צרכי ההזנה של רימות הזח"ש.

במהלך השנתיים האחרונות קיבלנו מספר לא מבוטל של פניות לעזרה ויעוץ בפירוק פסולות אורגניות באמצעות זח"ש (חוות יאיר בערבה, כפרי נוער, יזמים פרטיים, חקלאים ממשקים אורגניים, דייגים חובבים, חברה לטיפול בפסולות, חברה לגידול הידרופוני וחברות לגידול דגי נוי). אך לפני שנוכל לפרסם פרוטוקול ישים, חובה עלינו לפתור את בעיות הפרדת הרימות בדרגה 5 מהמצע.

<u>חשיבות שילוב קבוצות המחקר</u>: 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. במהלך ארבע שנות המחקר האינטראקציה בין ארבעת קבוצות המחקר הייתה קרובה מאוד, הן ברמת התכנון, הן ברמת הביצוע והן ברמת האנליזות הכימיות והביולוגיות והן ברמת עיבוד התוצאות והדיון בהן. ניתן לאומר שכולם היו מעורבים ועשו הכל, כאשר תחומי האחריות נשארו לפי ההתמחויות של כל קבוצה. מעבר לכך, בחלק גדול מהתחומים אותם חקרנו, שאינם תחומי הידע העיקריים שלנו, התייעצנו עם מומחים מקומיים ובין-לאומיים לנושאים השונים.

<u>תחומי האחריות של החוקרים בתכנית</u>: <u>עדי</u> מובילת המיזם, אחראית על ניסויי המעבדה הן בתחום הזנת הרימות והן במודלים של טריפת מתחרים. אחראית על התחום האנליטי של קמח הרימות, ניסויי הזנת עכברים בקמח רימות, פיילוט עגבניות, פיילות אפרסקים ופיילוט בראשית (עם ליאורה) וריכוז הממצאים לכתיבת הדוחות המדעיים. <u>ליאורה</u> אחראית על התחום האנטומולוגי-סביבתי של גידול הרימות, על הניסויים לשיפור וייעול הגידול, על מתקן בראשית (עם עדי), על שיטות ההפרדה (עם עדי) ועל הקשר עם ביובי, עם יעל לאור, עם מנהל בראשית ועם מבשלת בזלת. <u>עופר</u> אחראי על בחינת השימוש בפסולות פטריות, הקמה והפעלה של פילוט לגידול הזח"ש בשתי טכנולוגיות בחוות השמפיניון בזרעית, גידול ויצור ביציים ורימות לקבל דור שני של רימות על אותה דיאטה ובחינת הביצועים שלהם בהשוואה לדור ראשון, ביצוע בדיקות כימיות מקיפות לחומרי הגלם, מצעיי הגידול ולפסולת שהתקבלה. <u>איציק</u> אחראי על ניטור ובקרה של אויבים, מזיקים ומתחרים לזח"ש בכל הניסויים והמתקנים שנערכו במהלך מחקר.

<u>תודות</u> למדען הראשי משרד החקלאות ופיתוח הכפר על התמיכה במחקר זה, ליק"א ישראל ולמנכ"ל זאב מילר על הקמת המעבדה לעיבוד חרקים והציוד לעיבוד חרקים איתם עבדנו במחקר, למכללה האקדמית תל-חי על התמיכה במחקר, לחוות מתתיהו, חוות המטעים וחוות זרעית על חדרי הגידול, הציוד, חומרי הגלם והתמיכה; לחברי הוועדה המלווה של המחקר- פרופ' מיכה רביב, ד"ר שמעון שטיינברג וד"ר איתי

אופטובסקי על הליווי והתמיכה; למנהלי ועובדי חברת ביו-בי שדה אליהו- שמעון שטינברג, יובל בראון, ענבר דגן-שוסטר, שחר כרמי על עזרתם ועל אספקת רימות הזח"ש למחקר; לד"ר חן כץ על הליווי בבחינת המיקרואורגניזמים בקומפוסט, לד"ר רואי גוטמן על ניסויי הזנת העכברים בקמח זח"ש, לד"ר תמר צמח על המודל המתמטי, לד"ר יעל לאור ופרופ' דיוד פרקר על ההנחיה בניטור הריחות, לד"ר שחר ברעם על ניטור גזי החממה, לד"ר מרים זילברשטיין, מר אבי סלומון, יובל עוגני ויוסי הלפרין על העזרה בבחינת ההתכנות הכלכלית, לד"ר גדעון ווינטרס על שיתוף הפעולה עם חוות יאיר, לאייל יונאי מנהל בית אריזה בראשית על שיתוף הפעולה ופסולת תפוחי העץ, לינון תמיר ממבשלת בזלת על פסולת תעשיית הבירה, למנשה לוי שעזר עם המתקנים והבעיות הטכניות, לטכנאים ולסטודנטים נירית אזוב, סיוון אינטייב, שוש פלס, נחום שמי, סיוון מרגלית, רונה ביבר, דורון לוי, מתן פיאלקו, אחמד מוסה, נביה עומרי, לוטם אזולאי ויגל כוכבי על הביצוע המסור של המחקר.

<u>פרסומים שנבעו מהמחקר</u>

1. Noked, O., Martinez, J.-J.I., Jonas-Levi, A. (2015). New Research in the Galilee and its Surrounds. 17th Meeting. "Nutritional quality of honeybee (*Apis mellifera)* pupae compared to black soldier fly larvae (*Hermetia illucens)*". Tel-Hai College (Poster).
2. Jonas Levi, A., Danay, O., Shaltiel-Harpaz, 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 matter". Tel-Hai College. P. 45 (Lecture).
3. Jonas-Levi, A, Shaltiel-Harpaz, L, Danay, O, Martinez, J.-J.I. (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).
4. 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).
5. 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).
6. Levy, D., Katz, C., Shaltiel-Harpaz, L, Jonas-Levi, A. (2017). 19th Congress of Galilee Research. "The effect of the *Hermeticia illucens* on the concentrations of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Brasilinese* as a phytophogen model". Tel-Hai College (Poster).
7. 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).
8. Shaltiel-Harpaz, L., Jonas-Levi, A., Danay, O., Martinez, J.-J.I., Fichtman, B., Harel, A. (2017) Insect Symbionts: Plasticity in Confronting Environmental Challenges. "The microbial gut community of BSF (*Hermatia illucens*) is affected by the consumption of different agricultural wastes". Ben-Gurion University of the Negev Sede-Boqer Campus (Invited Lecture).
9. Shaltiel-Harpaz, L., Martinez, J.-J.I., Danay, O., Jonas-Levi, A. (2018) Afula Convention on Beneficial Expressions of Insects. The black soldier fly's contribution to the environment: sustainable reduction of organic wastes. Afula (Invited Lecture).
10. Jonas-Levi, A., Martinez, J.-J.I., Danay, O., Shaltiel-Harpaz, L. (2018). The fourth International INSECTA Conference. Processing of agricultural plant waste using the Black Soldier Fly larvae causes germination reduction in various weed types. Giessen, Germany (Lecture).
11. Jonas-Levi, A., Tzemach Tamar (2018). The fourth International INSECTA Conference. A mathematical model describing the larvae growth rate depending on environmental conditions is a convenient tool for optimizing the growth process. Giessen, Germany (Lecture).
12. Fialko, M., Martinez, J.-J.I., Jonas-Levi, A., Gutman, R. (2018). The fourth International INSECTA Conference. Bees meal and cuticle-poor Black Soldier Fly meal used as a sole source of protein, show

casein-matching body weight and body protein gain as well as casein-matching body protein retention efficiency in C57BL/6 mice. Giessen, Germany (Lecture).

13. Levy, D., Katz, C., Jonas-Levi, A. (2018). The fourth International INSECTA Conference. Volatile Compounds Emitted During Black Soldier Fly Larvae Rearing, Show Antagonistic Effect toward Molds. Giessen, Germany (Poster).
14. Gutman, R., Fialko, M., Martinez, J.-J.I., Jonas-Levi, A. (2019). 20th Congress of Galilee Research. The use of cuticle-poor insect meal as a single protein source was compatible to casein by body weight gain, protein formation, and protein conversion efficiencies in C57BL/6 mice. Tel-Hai College (Lecture).
15. Biber, R., Jonas-Levi, A. (2018). 20th Congress of Galilee Research. *Hermetia illucens* larvae inhibit weed germination. Tel-Hai College (Lecture).
16. Tzemach, T., Jonas-Levi, A. (2018). 20th Congress of Galilee Research. A new mathematical approach to predict optimal environmental conditions in the larval growth process. Tel-Hai College (Lecture).

מקורות ספרות

1. Erickson, M. C., Islam, M., Sheppard, C., Liao, J. & Doyle, M. P. Reduction of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella enterica serovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *J. Food Prot.* **67**, 685–90 (2004).
2. Bradley, S. W. & Sheppard, D. C. House fly oviposition inhibition by larvae of Hermetia illucens, the black soldier fly. *J. Chem. Ecol.* (1984). doi:10.1007/BF00987968
3. Spranghers, T. *et al.* Nutritional composition of black soldier fly (Hermetia illucens) prepupae reared on different organic waste substrates. *J. Sci. Food Agric.* **97**, 2594–2600 (2017).
4. Wang, Y.-S., Shelomi, M., Wang, Y.-S. & Shelomi, M. Review of Black Soldier Fly (Hermetia illucens) as Animal Feed and Human Food. *Foods* **6**, 91 (2017).
5. Cummins, V. C. *et al.* Evaluation of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei). *Aquaculture* **473**, 337–344 (2017).
6. Salomone, R. *et al.* Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using Hermetia illucens. *J. Clean. Prod.* **140**, 890–905 (2017).
7. Anton, A. & McLaren, S. J. In quest of reducing the environmental impacts of food production and consumption. *J. Clean. Prod.* **140**, 387–398 (2017).
8. van Huis, A. & Oonincx, D. G. A. B. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **37**, 43 (2017).
9. המשרד להגנת הסביבה. המשרד להגנת הסביבה | התוכנית האסטרטגית לטיפול בפסולת עד שנת 2030). *אתר השירותים והמידע הממשלתי* (2018. Available at: https://www.gov.il/he/departments/policies/strategic_plan_for_waste_treatment_by_2030.
10. Eriksson, L., Byrne, T., Johansson, E., Trygg, J. & Vikström, C. *Multi-and megavariate data analysis*. (2006).
11. Jonas-Levi, A. & Zemach, T. a new mathematical approach to predict optimal environmental conditions in larvae growth process. in 30 (2018).
12. Jensen, A. B. *et al.* Standard methods for Apis mellifera brood as human food. *J. Apic. Res.* **8839**, 1–28 (2016).
13. Rutherfurd, S. M., Fanning, A. C., Miller, B. J. & Moughan, P. J. Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Scores and Digestible Indispensable Amino Acid Scores Differentially Describe Protein Quality in Growing Male Rats. *J. Nutr.* **145**, 372–379 (2015).
14. Gligorescu, A., Toft, S., Hauggaard-Nielsen, H., Axelsen, J. A. & Nielsen, S. A. Development, metabolism and nutrient composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* ; Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature and diet. *J. Insects as Food Feed* **4**, 123–133 (2018).
15. Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M. & van Loon, J. J. A. Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomol. Exp. Appl.* **166**, 761–770 (2018).

16. Wong, C.-Y. *et al.* Potential Protein and Biodiesel Sources from Black Soldier Fly Larvae: Insights of Larval Harvesting Instar and Fermented Feeding Medium. *Energies* **12**, 1570 (2019).

17. Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M. & van Loon, J. J. A. Nutritional value of the black soldier fly (Hermetia illucens L.) and its suitability as animal feed – a review. *J. Insects as Food Feed* **3**, 105–120 (2017).

18. Tschirner, M. & Simon, A. Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *J. Insects as Food Feed* **1**, 249–259 (2015).

19. Liland, N. S. *et al.* Modulation of nutrient composition of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae by feeding seaweed-enriched media. *PLoS One* **12**, 1–23 (2017).

20. Jonas-Levi, A. & Martinez, J. J. I. The high level of proteins evaluated in insects for food and feed is overestimated. *Submitt. to J. Food Compos. Anal.* (2017).

21. Sánchez, A. *et al. CO2 Sequestration, Biofuels and Depollution*. *Springer International Publishing Switzerland* (Springer International Publishing Switzerland, 2015). doi:10.1007/978-3-319-11906-9

22. Sánchez, A. *et al.* Greenhouse gas emissions from organic waste composting. *Environ. Chem. Lett.* **13**, 223–238 (2015).

23. Raab, M. J. Assuring food safety in food processing: The future regulatory environment for food-grade lubricants. *Tribol. Lubr. Technol.* **58**, 16 (2002).

24. *Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants*. (CRC Press, 2005). doi:10.1201/9781420027181