הזנת דגים בזחלי זבוב החייל השחור הניזונות מפסולת חקלאית מקומית 2024

<u>חוקרים שותפים:</u>

1. ד"ר ליאורה שאלתיאל הרפז- אקו אנטמולוגית, מו"פ צפון, שותפה לתכנון וביצוע המחקר על פיטום זחלי הזח"ש בפסולת חקלאית צמחית מקומית בצפון הארץ וכתיבת הדו"ח והפרסומים
2. ד"ר טל אוגד- תחום ירקות, מו"פ דרום, שותף לתכנון ניהול וביצוע המחקר על פיטום זחלי הזח"ש בפסולת חקלאית צמחית מקומית בדרום הארץ וכתיבת הדו"ח והפרסומים. התוכנית מוגשת מטעם מו"פ דרום בתחום התמחות: "שיפור רווחיות בגידולי הגד"ש"
3. ד"ר איתי אופטובסקי, מומחה לפיזולוגיה ומטבוליזם של חרקים, מיגל, אחראי על ביצוע ניסויים בתוספת שמרים לשלב פיטום זחלי הזח"ש, שותף לכתיבה ופרסום
4. פרופ" שנאן הרפז, ייעוץ בתחום הזנת דגים, שותף לתכנון ניסויי ההזנה בדגים לכתיבה ולפרסומים
5. ד"ר חנוך גלסנר, מו"פ עמק המעיינות, מדגה וחקלאות מים

תקציר:

עבודת מחקר זאת עוסקת בניצול פסולת חקלאית אורגנית מקומית להאכלה וגידול של זחלי זבוב חייל שחור (זח"ש) ושימוש בזחלים אלה להזנה וגידול של דגי בריכה טריים לשוק הישראלי. בעבודה זו של שנה ב של המחקר נמצא שפסולת מקומית יכולה לשמש כמקור יעיל לגידול זחלים ביחס לתערובת מזון של פטם תרנגולות. הזחלים שנתקבלו עברו ציפוי בתערובת של מינרלים ותוספות מזון ונבדקו ביכולתם לשמש כתחליף לכופתיות מזון מסחריות המבוססות על קמח דגים להזנת דגי ברמונדי. נמצאו מספר תערובות מזון שהראו קצב ואיכות גידול מייטבים של הזחלים. קצב גדילה ואיכות דגי הברמונדי שניזונו על מזון שמשלב זחלים נמצא פחות טוב ביחס להזנה במזון מסחרי מקובל. בהמשך המחקר של שנים ב ו ג ייבחן השימוש בסוגי פסולות חקלאיות נוספות להזנת הזחלים ושימוש בזחלים כמרכיב מזון בסוגי דגים נוספים.

רקע קצר ותיאור הבעיה

במדינת ישראל מיוצרת מידי שנה מיוצרת כמות גדולה מאוד של פסולת חקלאית אורגנית שאין לה שימוש ושגורמת להעמסה על עלויות הגידול החקלאי כתוצאה מעלויות שינוע וטיפל בפסולת החקלאית ולבעיות סביבתיות כגון הפצת מזיקים ומחלות, בזבוז משאבי אנרגיה, קרקע וכוח אדם. עמק המעיינות מהווה כיום את אזור הגידול המשמעותי ביותר של דגי בריכה טריים לשוק הישראלי (75-80% מהשוק). ענף זה סובל בשנים האחרונות משחיקה ברווחיות, שנובעת בחלקה מעליה חדה בתשומות ובעלות המזון להאכלת הדגים. עבודות שנעשו בשנים האחרונות על ידי מו"פ צפון מצאו תנאי גידול אופטימליים והיתכנות כלכלית של גידול זחלי הזח"ש על תערובות פסולת מקומית באזור הצפון (1). קצב גדילת הזחלים נמצא כמהיר מאוד והראה כ-13 ק"ג משקל רטוב של זחלי זח"ש למטר מרובע למחזור גידול של כ-10 ימים. נמצא שניתן להזין את זחלי הזח"ש במגוון פסולות אורגניות מקומיות שעלותן נמוכה מאוד עד שלילית. תחשיב כלכלי מצא היתכנות טובה לגידול (1). כמו כן מקור נוסף לרווחיות התהליך יכול לנבוע משימוש בתוצרי הלוואי של תהליך ההזנה (פראס-Frass) לדישון של גידולים חקלאיים (2). שימוש בזחלי הזח"ש כמקור מזון להאכלת דגי מאכל בגידול מסחרי דורש הדירות ורגולציה שכוללות בדיקה מקיפה של תכולת ההרכב התזונתי, תכולה מיקרוביאלית ויעילות ההזנה של סוגי דגים שונים. שימוש בזחלי זח"ש שגודלו על פסולת חקלאית אורגנית וציפויי בתערובות חומרי הזנה להשלמת הרכבם התזונתי יכול לשמש כתחליף מזון להזנת דגים ובכך לפתור בעיות של עלויות גידול חקלאי ובעיות סביבתיות (3-9).

מטרות המחקר

יעד המחקר הוא לתת מענה, בו זמנית, לשתי בעיות מרכזיות המעסיקות את החקלאים באזורים של המו"פים האזוריים השותפים למחקר : מתן מענה סביבתי וכלכלי לפסולות אורגניות חקלאיות שמצטברות באזורים החקלאים ומציאת מקור מזון בר קיימא להזנת דגים טורפים של מים חמים הגדלים בעמק המעיינות. לפיכך מטרות המחקר הן:

1. בחינת שימוש בפסולת חקלאית מקומית שנמצאת בקרבתם של מו"פ דרום, צפון ועמק המעיינות לגידול זחלי זח"ש.
2. פיתוח תערובות הזנה של פסולת מקומית לגידול יעיל של זחלי זח"ש עם הרכב תזונתי טוב בהזנת דגים.
3. פיתוח פרוטוקול הזנה יעיל תוך שימוש בזחלי זח"ש שלמים מועשרים להאכלת דגי ברמונדי ולברק.

מהלך המחקר ושיטות העבודה

<u>הכנת תערובות גידול מפסולת חקלאית אורגנית מקומית לגידול זחלים בחבל הבשור</u>: תערובות הגידול שנבדקו בחבל הבשור התבססו על שלושה מקורות עיקריים של פסולות אורגניות חקלאיות: תפו"א, בטטה וגזם עגבניות. תערובות הגידול הוכנו על ידי קיצוץ במעבד מזון וערבוב של אחוזים שונים של שלושת מקורות הפסולת. טבלה 1 מציגה את החלק היחסי (אחוזים ממשקל רטוב) של הפסולת המקומית שעורבבו ליצירת התערובות. מרכיבי הערכים התזונתיים של התערובת כוללים אחוז מים ואחוז ממשקל יבש של חלבון, פחמימות (לא כולל סיבים) , שומן, סיבים (NDF, neutral detergent fiber) ואפר. סוגי פסולת מקומית נשלחו לבדיקת תכולה במעבדת "מילודע". הרכב הערכים התזונתיים של תערובות המזון חושב על פי חלקם היחסי של הפסולות שערבבו כדי ליצור את תערובת המזון. תערובות המזון הוכנה כך שטווח התכולה התזונתית שלהם יהיה 60-80% מים: 6-15% חלבון, 5-40% סיבים, 0-80% פחמימות, 0-10% שומן ו 5-40% אפר. דיאטת מזון פטם נבחרה כביקורת סטנדרטית כמקובל במחקר הזח"ש בעולם (הדיאטה הורכבה ממזון פטם של מטילות של חברת תדמיר ביחס של 40% מים ו 60% תערובת).

טבלה 1, הרכב תזונתי של תערובות מזון שהשתתפו בניסוי: **A** מקורות פסולת חקלאית שממנה הורכבו תערובות מזון. **B** תערובות מזון שהורכבו מאחוזים שונים של פסולת חקלאית ותערובת המזון ששמשה כביקורת (ביקורת פטם). הערכים התזונתים שנבדקו כללו אחוז מים, אחוז ממשקל יבש של חלבון, פחמימות (לא כולל סיבים), שומן, סיבים (**NDF, neutral detergent fiber**) ואפר. סוגי פסולת מקומית נשלחו לבדיקת תכולה של ערכים תזונתיים במעבדת "מילודע". מרכיב הערכים התזונתיים של תערובות המזון חושב על פי אחוזי הפסולות השונות שערבבו כדי ליצור את תערובת המזון. תערובות המזון תוכננו כך שטווח הערכים התזונתיים שלהם יהיה 60-80% מים,: 6-15% חלבון, 5-40% סיבים, 0-80% פחמימות, 0-10% שומן ו 5-40% אפר.

A

שם מקור פסולת חקלאית	אחוז מרכיב בטטה	אחוז מרכיב תפו"א	אחוז מרכיב גזם עגבנייה	אחוז מים	אחוז חלבון מחומר יבש	אחוז פחממות מחומר יבש	אחוז שומן מחומר יבש	אחוז סיבים (NDF) מחומר יבש	אחוז אפר מחומר יבש
בטטה	100%			79.1%	7.5%	77.7%	1.4%	12.2%	1.3%
תפו"א		100%		83.3%	2.6%	79.4%	2.7%	14.2%	1.2%
גזם עגבניה			100%	11.2%	16.6%	0.0%	2.0%	38.0%	43.4%

B

שם תערובת המזון	אחוז מרכיב בטטה	אחוז מרכיב תפו"א	אחוז מרכיב גזם עגבנייה	אחוז מים	אחוז חלבון מחומר יבש	אחוז פחממות מחומר יבש	אחוז שומן מחומר יבש	אחוז סיבים (NDF) מחומר יבש	אחוז אפר מחומר יבש
BH,PL,TL	83%	12%	5%	76.1%	7.3%	73.9%	1.6%	13.7%	3.4%
BL,PH,TL	12%	83%	5%	79.2%	3.9%	75.2%	2.5%	15.2%	3.3%
BM,PM,TL	48%	48%	5%	77.7%	5.6%	74.6%	2.0%	14.4%	3.4%
BL,PH,TM	11%	79%	10%	75.6%	4.5%	71.2%	2.5%	16.4%	5.4%
BL,PH,TH	10%	70%	20%	68.5%	5.9%	63.3%	2.4%	18.8%	9.7%
ביקורת פטם				62.0%	21.4%	51.2%	10.6%	11.7%	5.1%

<u>גידול הזחלים</u>: הגידול נעשה בחדר גידול עם בקרה של טמפרטורה, לחות ואוורור כמתוכנן. זחלי תחל (נאוניטים) נרכשו מחברת פריזם (נחשונים, ישראל), הזחלים עברו שלבי התאקלמות בהתאם לתכנון שבסופו הוספו 6500 נאוניטים למגש גידול עם 4 ק"ג תערובת גידול (יחס של 1.6 זחלים לגרם מזון). סיום הגידול נעשה כאשר הזחלים הגיעו לשלב טרום התגלמות (ניתן לזהות אותו על ידי שינוי צבע הזחל). בסוף הגידול הזחלים הופרדו מתערובת הגידול על ידי סינון הזחלים בעזרת נפה מתוצרת "קורלק אלמוג" עם 2 רשתות, תערובת השאריות שנותרה לאחר סינון נקראת פראס (FRASS) והיא מכילה הפרשות ונשלים של הזחלים ושארית תערובת המזון שלא נצרכה או שלא עוכלה במהלך הגידול. בסוף גידול דוגמאות פראס נשלחו לבדיקת ערכים כימים במעבדת שירות "צמח". בסוף כל מחזור גידול התבצעה מדידה של משקל הזחלים ומספרם ששימשו לחישוב שלושה מדדי גידול: 1) יחס המרה: הוא יחס בין משקל תערובת הגידול בתחילת הגידול למשקל הזחלים שהתקבל בסוף הגידול. ככל שערך ההמרה נמוך כך יעילות הגידול גבוהה יותר. 2) אחוז הישרדות: אחוז הזחלים ששרדו בסוף הגידול מכמות זחלי התחל בתחילת הגידול. 3) משקל זחל ממוצע שנמדד בסוף הגידול. בסוף הגידול הזחלים הוקפאו והעוברו להמשך בדיקה של תכולה במעבדת מילודע. דגימות של תערובת הגידול בתחילת הגידול ופראס שנשמר במשך חודש לאחר הגידול נשמרו בהקפאה ובטמפרטורת חדר בהתאמה לבדיקות מיקרוביאליות. ניתוח הנתונים בוצע כמתוכנן על 4 חזרות שונות של כל תערובת מזון. ניתוח סטטיסטי של התוצאות נעשה על ידי מבחני ANOVA בעזרת תוכנת JMP pro 16 SAS inst. נתוני שיעור ההישרדות שחושבו באחוזים עברו טרנספורמצית Arcsin לנירמול לפני ניתוח סטטיסטי.

<u>ספירה מיקרוביאלית של מרכיבי גידול</u>: ספירה מיקרוביאלית נעשתה על שני מרכיבי גידול: 1. תערובת הגידול שנדגמה בתחילת הגידול 2. הפראס שנדגם כחודש לאחר סיום הגידול. ספירה כללית של חיידקים נעשתה על צלחות מצע גידול שכלל מצע NA עם 100 ח"מ אנטיביוטיקה מסוג Cystatin, ספירה כללית של פטריות נעשתה על צלחות עם מצע גידול שכלל מצע PDA עם 100 ח"מ אנטיביוטיקה מסוג Chloramphenicol. פרוטוקול הספירה כלל השהייה של החומר הנבדק למשך 5 דקות עם תמיסה סטרילית של saline, ביצוע של סידרת דילול וזריעה על הצלחות. כמות המושבות חושבה לסמ"ק דגימה. מושבות של חיידקים או פטריות הופיעו על פני הצלחות המצע לאחר יומיים בטמפרטורת חדר. את סוג הפטרייה ניתן היה לזהות לאחר השהייה של צלחת המצע ליומיים נוספים בטמפרטורת חדר. מושבות שיצרו תפטיר נספרו תחת ההגדרה של פטריות דמויות ריזופוס ומושבות שלא יצרו תפטיר נספרו תחת ההגדרה של פטריות שמר. תוצאות הספירה מיקרוביאלית התקבלו מארבע החזרות של כל טיפול. ניתוח סטטיסטי של התוצאות נעשה על ידי מבחני ANOVA בעזרת תוכנת JMP pro 16.

<u>בדיקה של ההשפעה של תוספות מיקרוביאלית לתערובת הגידול על קצב ואיכות גידול הזחלים</u>:

השפעה של תוספת מיקרוביאלית נעשתה על ידי הוספה של תכשיר חברת EM למצע הגידול שעה לפני הוספת זחלי התחל (תחילת הגידול). תכשיר חברת EM מכיל תערובת הדירה של אוכלוסייה מיקרוביאלית שמיועדת לתוספת קרקע חיובית בגידולי חקלאות שונים (ירקות, מטעים, גד"ש ועוד).הטיפולים השונים כללו הוספה של, 0, 4, 8 ו 16 סמ"ק של תכשיר חברת EM ל 4 ק"ג תערובת מזון לפני הגידול. היישום נעשה על ידי ערבוב עם 100 מ"ל מים וריסוס מצע הגידול תוך כדי ערבובו.

<u>בדיקת תכולה תזונתית של זחלים, פסולת חקלאית ופראס</u>:

זחלים שגודלו על תערובות מזון שונות ופסולת חקלאית הכוללת פקעות בטטה, פקעות תפו"א וגזם עגבניות נשלחו לבדיקת תכולה תזונתית במעבדת מילודע. הם כללו אחוז מים, אחוז מחומר יבש של חלבון, פחממות, שומן סיבים (NDF) ואפר. תכולה תזונתית של פראסס נבדקה במעבדות צמח וכללה אחוז רטיבות, אחוז ממשקל יבש של חנקן, אשלגן וזרחן, ריכוז במיצוי של חנקן אמוני, חנקן ניטרטי וזרחן, חומציות (pH) ומוליכות חשמלית (EC).

תוצאות

<u>גידול זחלי זח"ש על פסולת אורגנית חקלאית מחבל הבשור</u>: מטרת הניסוי לבדוק את השפעת סוגי תערובות מזון מסוגי פסולת שונה על יעילות הגידול ואיכות הזחלים (משתני המטרה). יעילות גידול נמדדה כמפורט בפרק מהלך המחקר ושיטות. כפי שניתן לראות בטבלה 2, התבצעו שני ניסויים: ניסוי ראשון (טבלה 2 A) בחן את יעילות הגידול כתלות באחוזים שונים של בטטה ותפו"א בתערובת המזון עם תכולה נמוכה של גזם עגבניות. וניסוי שני (טבלה 2 B) בחן את יעילות הגידול כתלות באחוזים שונים של גזם עגבניות. כפי שניתן לראות לא נמצאו הבדלים מובהקים בין אחוזים שונים של בטטה ותפו"א אך ישנה מגמה לפיה תפו"א יעיל יותר לגידול הזחלים. בבדיקת ההשפעה של גזם עגבנייה נמצאו הבדלים מובהקים ביעילות הגידול ונמצא שאחוז גבוהה יותר של גזם עגבנייה גרם לירידה ביעילות הגידול. בשני הניסויים תוצאות יעילות הגידול הושוו לתוצאות שהתקבלו מגידול על תערובת מזון ששמשה כביקורת (ביקורת פטם) שמקורה בתערובת מזון לגידול פטם תרנגולות.

טבלה 2: מדדי גידול זחלים כתלות במרכיבי פסולת מקומית בחבל הבשור: נבחנו תערובות מזון עם אחוזים שונים של בטטה, תפו"א וגזם עגבניות. A: ניסוי שבחן את ההשפעה של אחוזים שונים של פקעות בטטה ותפו"א עם כמות קבועה של גזם עגבנייה. B: ניסוי שבחן את ההשפעה של אחוזים שונים של גזם עגבנייה עם כמות דומה של פקעות תפו"א ובטטה. כל טיפול נבחן בארבעה חזרות, התוצאות מציגות את הממוצע יחד עם שגיאת התקן ואותיות שונות מצביעות על מובהקות. ניתוח סטטיסטי נעשה על ידי מבחני ANOVA של תוכנת JMP pro 16. אותיות שונות מצביעות על מובהקות שונה ברמה של $P<0.05$.

A

תערובת מזון	אחוז בטטה	אחוז תפו"א	אחוז גזם עגבניה	יחס המרה	משקל זחל	שעור השרדות
BL,PH,TL	12%	83%	5%	1.58±0.16 A	160.6±3.1 A	0.849±0.082 A
BM,PM,TL	48%	48%	5%	1.65±0.08 A	150.6±0.9 AB	0.852±0.036 A
BH,PL,TL	83%	12%	5%	1.78±0.09 A	136.2±1.3 ABC	0.872±0.045 A
ביקורת פטם				1.50±0.10 A	156.9±7.1 AB	0.921±0.069 A

B

תערובת מזון	אחוז בטטה	אחוז תפו"א	אחוז גזם עגבניה	יחס המרה	משקל זחל	שעור השרדות
BL,PH,TL	12%	83%	5%	1.51±0.03 A	163±4.4 A	0.868±0.031 A
BL,PH,TM	11%	79%	10%	3.03±0.15 B	114.2±3.9 BC	0.627±0.016 B
BL,PH,TH	10%	70%	20%	5.43±0.55 C	84.5±4.4 C	0.477±0.024 C
ביקורת פטם				1.46±0.12 A	164.2±9.5 A	0.918±0.03 A

<u>תכולה של פראס שהתקבלה מתערובת מזון נבחרת:</u> טבלה 3 מציגה תוצאות תכולה תזונתית של פראס שהתקבל מתערובת גידול שהראתה את התוצאות הטובות ביותר במדדי גידול הזחלים. התערובת שנבחרה הייתה "BL,PH,TL", והיא כוללת אחוז גבוהה של תפו"א ואחוזים נמוכים של בטטה וגזם עגבניות. כהשוואה נבדקה תכולת פראס שמקורו בתערובת מזון שמשמשת כביקורת ומקורה במזון לפטם תרנגולות (ביקורת פטם). ניתן לראות שתכולת הפראס שונה ונבדלת בצורה משמעותית במוליכות החשמלית (EC), חומציות (pH) ואחוז רטיבות. הפראס ממקור פסולת מקומית הראה רמת מולכות וחומציות גבוהים. התוצאות שהתקבלו ממיצגים ערכים מקובלים בטווחים של אחוזים מחומר יבש של חנקן 0.7-4.3, אשלגן 0.5-5.6, זרחן 0.4-1.6, רמת חומציות (pH) 4.4-10, ומוליכות חשמלית (EC) של 2.6-14.2.

טבלה 3 תכולה של פראס: מרכיב הפראס מהווה את תערובת המזון בסוף הגידול לאחר הוצאת הזחלים על ידי סינון. הטבלה מציגה את הערכים הכימיים של פראס שהתקבל בסוף גידול על תערובות מזון מפסולת מקומית BL,PH,TL) ומתערובת מזון ששמשה כביקורת (ביקורת פטם). הערכים הכימיים כוללים אחוז רטיבות, ריכוז כללי של חנקן אשלג וזרחן ממשקל יבש, ריכוז של חנקן אמוני, חנקן ניטראטי וזרחן במיצויי, חומציות (PH) ומוליכות חשמלית .(EC).

שם תערובת המזון	אחוז רטיבות	אחוז חנקן ממשקל יבש	אחוז אשלגן ממשקל יבש	אחוז זרחן ממשקל יבש	חנקן אמוני במיצוי (מ"ג/ליטר)	חנקן ניטרטי במיצוי (מ"ג/ליטר)	זרחן במיצוי (מ"ג/ליטר)	חומציות pH	מוליכות חשמלית (EC)
BL,PH,TL	53.4%	2.7%	3.6%	0.62%	8.4	0.60	76.7	9.6	10.2
ביקורת פטם	22.7%	3.0%	1.3%	0.90%	10	0.50	361.6	6.5	5.1

ספירה מיקרוביאלית של מרכיבי גידול:

טבלה 4 מציגה את תוצאות הספירה המיקרוביאלית של מרכיבי הגידול על תערובות מזון שונות. מרכיבי הגידול כללו את תערובת הגידול בתחילת הגידול ואת הפראס שנדגם כחודש לאחר הגידול. תערובות המזון שנבדקו כללו את תערובת מזון "BL,PH,TL", שנבחרה לייצג את תערובות המזון מפסולת מקומית. התערובת הזאת מכילה אחוז גבוהה של תפו"א ואחוזים נמוכים של בטטה וגזם עגבניות. תערובת המזון השנייה שנבדקה היא תערובת הביקורת שמקורה במזון פטם תרנגולות. ניתן לראות שיש הבדלים מובהקים בהרכב מיקרוביאלי במהלך הגידול על ידי השוואה של ההרכב של תערובת המזון (תחילת גידול) ושל הפראסס (סוף גידול). הבדלים מובהקים נמצאו גם בין תערובות המזון השונות.

טבלה 4 ספירה מיקרוביאלית של מרכיבי גידול: ספירה כללית של חיידקים ופטריות נעשתה על שני מרכיבי גידול: תערובת המזון שנדגמה בתחילת הגידול והפראס שנדגם כחודש לאחר סיום הגידול. מספר כללי של חיידקים ופטריות התקבל בערכים של מושבות לסמ"ק חומר נבדק. ספירת המושבות נעשתה על ידי זריעה על מצעים סלקטיבים לפטריות וחיידקים והשהייה לשני ימים בטמפרטורת חדר. ספירה וחישוב של שעור פטריות דמויות שמר או ריזופוס נעשתה לאחר כארבעה ימים מזריעה בשלב בו הפטריות יוצרות תפטיר. בניסוי היו שני טיפולים שנבדלו בסוג תערובת המזון שעליה גודלו הזחלים, כל טיפול נבחן בארבעה חזרות, התוצאות מציגות את הממוצע יחד עם שגיאת התקן ואותיות שונות מצביעות על מובהקות. ניתוח סטטיסטי נעשה על ידי מבחני ANOVA של תוכנת JMP pro 16. אותיות שונות מצביעות על מובהקות שונה ברמה של $P<0.05$.

שם תערובת המזון	מרכיב הגידול שנבדק	כמות חיידקים (מושבות לסמ"ק)	כמות פטריות (מושבות לסמ"ק)	שעור פטריות דמויות שמר	שעור פטריות דמויות ריזופוס
BL,PH,TL	תערובת גידול	10,000±2,401 C	1,500±432 B	0.1±0.01 D	0.9±0.05 A
BL,PH,TL	פראס	20,000±4,791 C	3,225±930 A	0.4±0.03 B	0.6±0.04 BC
ביקורת פטם	תערובת גידול	40,000±9,987 B	148±42 C	0.3±0.02 C	0.7±0.04 B
ביקורת פטם	פראס	65,000±16,206 A	525±151 C	0.5±0.03 A	0.5±0.03 C

ניתוח תכולה תזונתית של זחלים מתערובות גידול:

טבלה 5 מציגה את התכולה התזונתית של זחלים שהתקבלו מגידול על שלוש תערובות מזון שונות. תערובות המזון שנבחרו היו תערובות מפסולת חקלאית מקומית BL,PH,TL (שהכילה כמות גבוהה של תפו"א וכמות קטנה של בטטה וגזם עגבניות), תערובת שנייה מפסולת מקומית BH,PL,TL (שהכילה כמות גבוהה של בטטה וכמות נמוכה של גזם עגבניות) ותערובת ביקורת פטם שמקורה במזון תרנגולות לפטם. ניתן לראות שהתכולה התזונתית של הזחלים שגדלו על שתי התערובות המקומיות היו בעלי הרכב תזונתי דומה שנבדל מהרכב התזונתי של זחלים שגדלו על תערובת הביקורת. הזחלים מפסולת מקומית הכילו יותר חלבון ופחות שומן ביחס לזחלים מהביקורת.

טבלה 5, תכולה תזונתית של זחלים שגודלו על תערובות מזון שונות: נבדקו זחלים שגודלו על שלוש תערובות מזון שונות. תערובת מזון BH,PL,TL שהכילה כמות גבוהה של בטטה וכמויות נמוכות של תפו"א, תערובת מזון BL,PH,TL שהכילה כמות גבוהה של תפו"א וכמויות נמוכות של בטטה וגזם עגבנייה, ותערובת מזום ששמשה כביקורת שמקורה ממזון תרנגולות לפטם (ביקורת פטם). הזחלים שנתקבלו בסוף הגידול מכל אחת מתערובות המזון נשלחו לבדיקת תכולה תזונתית במעבדת מילודע.

שם תערובת המזון	חומר יבש (אחוז)	חלבון (אחוז ממשקל יבש)	שומן (אחוז ממשקל יבש)	אפר (אחוז ממשקל יבש)
BH,PL,TL	29.5%	53.2%	19.9%	6.3%
BL,PH,TL	29.3%	53.5%	20.1%	6.8%
ביקורת פטם	34.0%	33.6%	28.5%	6.8%

השפעה של תוספת מיקרוביאלית לתערובת מזון מפסולת מקומית על מדדי גידול של הזחלים:

טבלה 6 מציגה את תוצאות מדדי הגידול שנתקבלו מגידול זחלים על תערובת מזון מפסולת חקלאית מקומית בתוספת כמויות שונות של תכשיר מיקרוביאלי של חברת EM. מדדי הגידול שנבחנו כללו יחס המרה שמחושב על בסיס כמות מזון בתחילת הגידול חלקי משקל זחלים בסוף הגידול ולכן ערך נמוך של יחס המרה מצביע על יעילות גידול טובה. מדדי גידול נוספים כללו משקל זחלים ממוצע ושעור הישרדות של הזחלים. ניתן לראות שתוספת מיקרוביאלית משנה בצורה מובהקת את מדדי הגידול. תוספת של 4 ו 8 סמ"ק לא שינתה באופן מובהק את מדדי הגידול אך ניתן לראות מגמה של שיפור כתוצאה מהתוספת המיקרוביאלית. תוספת של 16 סמ"ק גרמה לירידה מובהקת בכל מדדי הגידול.

טבלה 6 השפעה על מדדי גידול של תוספת מיקרוביאלית תערובת המזון: הטבלה מציגה טיפולים שונים של תוספת מיקרוביאלית לתערובת המזון. תוספת מיקרוביאלית נעשתה על ידי תכשיר EM המשמש כתוסף קרקע לשיפור גידולים חקלאים. תערובת המזון שנבחרה (BL,PH,TL) הורכבה מפסולת חקלאית מקומית וכללה פקעות תפו"א, בטטה וגזם עגבניות. מדדי הגידול שנבחנו כללו יחס המרה, משקל זחל ואחוז הישרדות. כל טיפול כלל ארבע חזרות, התוצאות מציגות את הממוצע יחד עם שגיאת התקן ואותיות שונות מצביעות על מובהקות. ניתוח סטטיסטי נעשה על ידי מבחני ANOVA של תוכנת JMP pro 16. אותיות שונות מצביעות על מובהקות שונה ברמה של $P<0.05$.

תערובת מזון	תוספת תכשיר EM (סמ"ק ל 4 ק"ג תערובת מזון)	יחס המרה	משקל זחל	שעור השרדות
BL,PH,TL	0	1.73 ± 0.19 AB	153.2 ± 15.9 AB	0.84 ± 0.01 A
BL,PH,TL	4	1.57 ± 0.26 A	176.4 ± 12.6 A	0.85 ± 0.14 A
BL,PH,TL	8	1.47 ± 0.17 A	178.0 ± 14.2 A	0.86 ± 0.02 A
BL,PH,TL	16	2.59 ± 0.18 B	129.3 ± 19.3 B	0.69 ± 0.09 B

דיון

<u>גידול זחלים על פסולת מקומית מחבל הבשור</u>: מטרת הניסוי היא למצוא תערובות מזון שהורכבו מפסולת מקומית שיכולות לשמש לייצור מסחרי בעתיד של זחלים להזנת דגי מאכל. בחבחל הבשור נבחנו שלוש מקורות פסולת עיקריות: פקעות תפו"א, פקעות בטטה וגזם עגבניות. נבדקו שילובים שונים של שלושת הפסולות כדי למצוא את התערובת היעילה ביותר. תכולת תערובות המזון מפורטת בטבלה 1 ותוצאות מדדי הגידול שהתקבלו מוצגים בטבלה 2. תכולה תזונתית של תערובות המזון מפסולת מקומית בחבל הבשור התאפיינה בתכולה גבוהה של פחמימות ותכולה נמוכה של חלבון בגלל האופי של תכולת פקעות תפו"א ובטטה. מדדי הגידול כללו אחוז הישרדות, משקל זחל ממוצע ויחס המרה. יחס המרה כאמור מחושב על ידי משקל תערובת גידול בתחילת הגידול חלקי משקל הזחלים בסוף הגידול. יחס המרה עם ערך נמוך יותר מצביע על יעילות גידול טובה יותר. תערובת מזון BL,PH,TL נבחרה כתערובת גידול הטובה ביותר והיא מכילה תכולה גבוהה של תפו"א וכמויות נמוכות של בטטה וגזם עגבניות. ניסוי שבחן תכולה שונה של פקעות בטטה לעומת פקעות תפו"א מצא שלתפו"א יש יעילות טובה יותר מזו של בטטה (טבלה 2) אם כי לא בצורה מובהקת. ניסוי שבדק תכולה שונה של גזם עגבניות מצא שגזם עגבניות מהווה גורם מעקב לגידול הזחלים שגרם לירידה מובהקת בכל שלושת מדדי הגידול בדומה למאמרים שפורסמו בעבר (14). בשני הניסויים התבצעה השוואה של מדדי הגידול של זחלים על תערובות מפסולת מקומית לעומת תערובת מזון ששמשה כביקורת (ביקרות פטם) שמקורה במזון לפטם תרנגולות. בטבלה 2 ניתן לראות שאין הבדל מובהק במדדי הגידול ולכן ניתן להסיק שאפשר להשתמש בפסולת חקלאית מקומית מחבל הבשור כמקור טוב לגידול זחלים של זבוב חייל שחור. כיוון שגזם עגבנייה נמצא כגורם מעקב יהיה חשוב בעתיד לבחון הרכבי תערובות גידול נוספות כדי למצוא תערובות מזון שאפשר לשלב בהן גזם. בעתיד נרצה לבחון שילוב של גזר ועלי צבר בתערובות המזון ובנוסף לבחון תוספת מיקרוביאלית שיכולה לשפר את הגידול על הפסולות המקומיות בחבל הבשור.

<u>ניתוח תכולה תזונתית של זחלים מתערובות גידול של פסולת מקומית מחבל הבשור</u>: תכולה תזונתית של הזחלים נבדקה על רקע התאמתם להזנת דגי מאכל. ההנחה היא שתכולת חלבון גבוהה ביחס לשומן מהווה יתרון בהזנת דגים (5). כפי שניתן לראות בטבלה 5 תכולת זחלים משתי תערובות מזון של פסולת מקומית היו בעלי תוצאות דומות ונבדלו מתכולת זחל שגדל על תערובת הביקורת. זחלים שגדלו על תערובת מפסולת מקומית הראו יחס חלבון לשומן גבוהה (תכולת חלבון גבוהה) מזחלים של הביקורת ולכן נראה שיש להם פוטנציאל טוב לשמש כמזון איכותי להזנת דגים.

.

<u>תכולה של פראס שמקורו מגידול זחלים על פסולת מקומית מחבל הבשור</u>: טבלה 3 מציגה את תכולת הפראס שנתקבלה מגידול על פסולת מקומית ביחס לזו שהתקבלה מתערובת מזון ששמשה כביקורת. סה"כ הערכים שהתקבלו היו במסגרת טווח הערכים המקובל לקומפוסט (10) וניתן להסיק שהן יכולות לשמש בהזנת צמחים כתוספת קרקע. תכולת הפראס מפסולת מקומית מראה ערכים גבוהים של מוליכות חשמלית

(EC), חומציות (pH) , אשלגן ורטיבות. לעומת זאת ערכי חנקן דומים וערך זרחן נמוך ביחס לביקורת. בעתיד יהיה חשוב לבדוק סוגי פראס מתערובות מזון שונות ביכולת ההזנה שלהם לגידולים חקלאים ובנוסף יכולת שלהם לעקב מחלות קרקע, כיוון שיש לכך ראיות בספרות (2). היכולת של הפקת פראס בעל ערך כלכלי גבוהה מהווה גורם חשוב ביכולת של גידול זבוב חייל שחור על פסולת מקומית להיות גידול כלכלי.

ספירה מיקרוביאלית של מרכיבי גידול: הספירה המיקרוביאלית מראה שיש שינוי בהרכב המיקרוביאלי במהלך הגידול כפי שנמצא בספרות (רפרנס 12) . טבלה 4 מראה שבהשוואה בין תערובת הגידול בתחילת הגידול לפראס בסוף הגידול ולאחר השרייה של חודש נמצאה עליה כללית במספר החיידקים והפטריות, עליה בפטריות דמויות שמר וירידה באחוז פטריות עם תפטיר דמוי ריזופוס. שינוי הרכב המיקרוביאלי יש תפקיד ביכולת של הפראס לשמש כגורם מעקב מחלות קרקע (2) ולכן יהיה חשוב לאפיין ולחקור אותו בעתיד.

השפעה של תוספת מיקרוביאלית לתערובת המזון על מדדי גידול של הזחלים: תוספות מיקרוביאליות לגידול זחלים של זבוב חייל הראו בספרות יכולת לשיפור גידול הזחלים ושיפור ביכולת של הפראס לשמש כמונע מחלות קרקע בגידול צמחים (רפרנס 13). בחרנו להשתמש בתכשיר של חברת EM כתוספת מיקרוביאלית כיוון שהוא משמש כתוספת קרקע שמשפרת גידולים חקלאים. טבלה 6 מראה שלתוספת כמות מתונה של תכשיר EM לתערובת הגידול בתחילת הגידול יש השפעה לא מובהקת אך עם מגמה חיובית למדדי הגידול. תוספת כמות גדולה של תכשיר EM הראתה ירידה מובהקת במדדי הגידול. בעתיד יהיה מעניין לאפיין את ההשפעה של תוספת מיקרוביאלית על מדדי גידול זחלים ובנוסף גם על יכולת הפראס שמתקבל מהם לשמש בהזנת גידולים חקלאים והגנה מפני מחלות קרקע.

סיכום: מטרות המחקר נובעות מהצורך בפיתוח פרוטוקול שיאפשר שימוש בפסולת חקלאית אורגנית מקומית לגידול מסחרי של זחלי זבוב חייל שחור להזנת דגי מאכל. על סמך תוצאות שנתקבלו בעבודה זו של המהווה שנה שנייה במחקר מתוך סה"כ שלוש שנים, מצאונו שילובים מיטביים של פסולת מקומית להכנת תערובת מזון שמאפשרת גידול יעיל וקבלת זחלים איכותיים להזנת דגי מאכל. נבחנו גם ההשפעה של תוספת מיקרוביאלית על גידול הזחלים ונמצא שיש פוטניצאל מסחרי לגידול זחלים איכותיים ביחס לגידול על תערובת הביקורת (מזון לפטם תרנגולות). בשנה השלישית של המחקר נרצה להמשיך ולהרחיב את סוגי הפסולות ותערובות המזון שייבדקו ואת ההשפעה של תוספות מיקרוביאליות נוספות. בנוסף העבודה פותחת אפשרות לבדיקת תכונות הפראס להזנה ומניעת מחלות קרקע בגידולים חקלאים. אנחנו מצפים לפתח פרוטוקול שלפיו יהיה אפשר להזין בצורה יעילה זחלים של זח"ש על ידי תערובות מזון נבחרות שהורכבו מפסולת מקומית.

תוצאות הזנה של דגי ברמונדי ....

8. ביבליוגרפיה

1) יונס-לוי ע., שאלתיאל-הרפז ל., מרטינז י. ג'. ג'., דנאי ע. 2019. עיבוד פסולת צמחית חקלאית בעזרת זבוב החייל השחור לקבלת קומפוסט בשל ומזון עתיר חלבונים להאכלת בע"ח. דו"ח סופי לתכנית מחקר מספר 47-30-0001 שהוגשה למדען הראשי של משרד החקלאות.

2) Barragán-Fonseca K.Y, Nurfikari A, van de Zande EM, Wantulla M, van Loon J.J, de Boer W, Dicke M, 2022. Insect frass and exuviae to promote plant growth and health. Trends in Plant Science, Vol 27, pages 646-654**.**

3) Merino, G., Barange, M., Mullon, C., Rodwell, L. (2010). Impacts of global environmental change and aquaculture expansion on marine ecosystems. Global Environmental Change, 20(4), 586-596.

4) Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M., Clay, J., Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. Nature, 405(6790), 1017-1024.

(5 Belghit, I., Liland, N. S., Gjesdal, P., Biancarosa, I., Menchetti, E., Li, Y., Lock, E. J. (2019). Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture, 503, 609-619.

6) El-Hack, A., Mohamed, E., Shafi, M. E., Alghamdi, W. Y., Abdelnour, S. A., Shehata, A. M., Ragni, M. (2020). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) meal as a promising feed ingredient for poultry: A comprehensive review. Agriculture, 10(8), 339**.**

7) St-Hilaire, S., C. Sheppard, J. K. Tomberlin, S. Irving,L. Newton,M.M. McGuire, E. E. Mosley, R.W.,Hardy, and W. M. Sealey. 2007a. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout Oncorhynchus mykiss. Journal of the World Aquaculture Society 38:309–313.

8) Hender, A., Siddik, M. A., Howieson, J., Fotedar, R. (2021). Black soldier fly, *Hermetia illucens* as an alternative to fishmeal protein and fish oil: impact on growth, immune response, mucosal barrier status, and flesh quality of juvenile barramundi, lates calcarifer (Bloch, 1790). Biology, 10(6), 505 **.**

9) גור נ, סימון י, הורוביץ א, סולווי ל, כץ ת, ברון י, ביתן א. (2016) קמח זחלי BSF כתחליף לקמח דגים במזון דגי פורל. סיכום מחקרי הנהלת ענף מגדלי הדגים לשנת 2016.

10) מדדי איכות וערכי יסודות רצויים בקומפוסט
http://agri.arava.co.il/wp-content/uploads/%D7%A2%D7%A8%D7%9B%D7%99%D7%9D-%D7%A8%D7%A6%D7%95%D7%99%D7%99%D7%9D-

%D7%91%D7%91%D7%93%D7%99%D7%A7%D7%95%D7%AA-
%D7%A7%D7%95%D7%9E%D7%A4%D7%95%D7%A1%D7%98-2022.pdf

11) Vogel, M., Shah, P.N., Voulgari-Kokota, A., Maistrou, S., Aartsma, Y., Beukeboom, Falcao Salles, L.W., Van Loon, J.J.A., Dicke, M., Wertheim, B. (2022). Health of the black soldier fly and house fly under mass-rearing conditions: innate immunity and the role of the microbiome. Journal of Insects as Food and Feed: 8 (8), 857.

12) Michishita R, et al. (2023). Inoculation with black soldier fly larvae alters the microbiome and volatile organic compound profile of decomposing food waste. Scientific Reports volume 13, article number: 4297.

13) Kooienga E M, et al. (2020). Effects of Bacterial Supplementation on Black Soldier Fly Growth and Development at Benchtop and Industrial Scale. Front Microbiol. 2020 Nov 24;11:587979.

14) Broeckx L, et al. (2021). Growth of Black Soldier Fly Larvae Reared on Organic Side-Streams. Sustainability 2021, 13, 12953. https://doi.org/10.3390/su132312953.