

דו"ח לתכנית מחקר מספר 21-02-0031- שנת המחקר 2 מתוך 3 שנים

פיתוח פרוטוקול ליצור חלבון אלטרנטיבי לאדם ולהזנת דגים מגידול זבוב החייל השחור *Hermita illusence* על פסולת חקלאית באזור הגליל

Development of protocols for alternative protein production, to feed men and fish, based on *Hermita illusence* the Black Soldier Fly larvae, fed on agricultural wastes of the upper galilee

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד ע"י:

ליאורה שאלתיאל הרפז^{1,2}, liora@migal.org.il, ד"ר עדי יונס-לוי², adijon@gmail.com,
ד"ר רואי גוטמן^{2,3}, roeeg@migal.org.il, ד"ר איתי אופטובסקי^{2,3}, itaio@migal.org.il,
ד"ר אבשלום הורביץ^{2,3}, hurvitz.avshalom@gmail.com, מר אבי סלומון⁴, avisal001@gmail.com, ד"ר רון סיון², ronny.sivan@gmail.com,
¹מו"פ צפון, מיגל, מכון למחקר מדעי בגליל; ²מכללה אקדמית תל-חי, ³מיגל, מכון למחקר מדעי בגליל. ⁴שה"מ משרד החקלאות מחוז גליל גולן.

תקציר

הצגת הבעיה- הצעת מחקר זו באה להתמודד בו זמנית עם שלוש בעיות: א. הדרישה העולמית הגדלה למקור אלטרנטיבי לחלבון שעלות גידולו הסביבתית והכלכלית נמוכה יותר מהקיים, ב. טיפול בפסולת חקלאיות בגליל העליון המהוות מפגע סביבתי וכלכלי ו-ג. מציאת מקור חלבון חלופי להזנת פורלים בגליל.

שיטות העבודה - בשנת המחקר השנייה בוצעו המשימות הבאות:

1. גידול רימות בקנה מידה הנדרש לצורך הפקת חלבון לניסויי ובניית פרוטוקול.
 2. אופטימיזציה של תהליכי הפקת חלבון מהזח"ש בשלבי התפתחות השונים.
 3. הכנת כופתיות מזון המתאימות להזנת עכברים.
 4. ניסויים לבחינת יעילות השימוש בקמח זח"ש כמקור חלבון יחיד להזנת מכרסמים.
- תוצאות עיקריות לתקופת הדו"ח - יוצרו כמויות הקמח הנחוצות להמשך המחקר והוכן פרוטוקול לגידול הרימות. ניצולת הכנת קמח דל קוטיקולה היה נמוך פי 3 מקמח רימות ללא הפרדה זו, אך איכותו גבוהה משל שאר הקמחים: צבע קמח הרימות אחרי הפרדת הקוטיקולה היה הבהיר ואחוז החלבון בו גבוה מבין הקמחים. CFU היה נמוך ומתאים לחומרים בעלי פעילות מים נמוכה. הזנת עכברים בדיאטה על בסיס קמח BSF כמקור חלבון יחיד הביאה לעקומת גדילה שתואמת את זו של עכברים שניזונו עם דיאטת CHOW (דיאטה מסחרית רגילה). עכברים שניזונו מדיאטה על בסיס קמח BSF עם רמת קוטיקולה נמוכה יותר, הראו עלייה מהירה יותר במשקל הגוף ומסת חלבון גבוהה יותר בהשוואה לקמח ללא הפחתת קוטיקולה, כאשר העלייה הזו במשקל הגוף תאמה את זו של עכברים שניזונו בתזונה מבוססת קזאין (שנחשב כמקור חלבון אידאלי).
- מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות - ביצענו את כל משימות המחקר לשנה זו ונמשיך ע"פ המתוכנן.

תוכן עניינים

פרק	עמוד
תקציר מדעי	0
מבוא	1-2
מטרות המחקר לתקופת הדו"ח	2
פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר בתקופת הדו"ח	2-12
דיון ומסקנות	13-14

פרסומים ותודות	14
רשימת ספרות	15

מבוא:

הדרישה העולמית לחלבון מן החי עולה בעשור האחרון ואף צפויה לעלות בכ- 76% עד שנת 2050, בהשוואה לצריכה לפני כעשור. זאת בעוד שטחי החקלאות המשמשים לגידול חיות משק, או גידול המזון המשמש להזנתם, עומדים כבר היום על כשני שלישי משטחים החקלאיים. במקביל, לאור סוגיות סביבתיות, בריאותיות וסוגיות הקשורות לרווחת בע"ח, נשקלים מקורות אלטרנטיביים לחלבון מין החי. בהקשר זה, חרקים מייצגים אלטרנטיבה ישנה- חדשה להספקת חלבון מן החי, הן כמקור חלבון להזנת בע"ח והן כמקור חלבון לצריכה ישירה ע"י האדם. חרקים רחוקים אבולוציונית מהאדם ולכן קטנה הסכנה להדבקה במחלות זאנוטיות. בנוסף, גידול חרקים לבשר בהשוואה לגידול חיות משק לבשר ידידותי יותר לסביבה היות וחרקים גדלים במהירות ובצפיפות, צורכים מעט מים, ממירים ביעילות מסת מזון למשקל גוף ופולטים פחות גזי חממה. יתרון זה, של הקטנת טביעת הרגל האקולוגית מתגבר בשימוש בזבוב החייל השחור *Hermetia illucens* (זח"ש), הניזון על מזון רקבובי כמו תוצרי הלואי של תעשיית המזון והחקלאות. בגליל בהיותו אזור חקלאי, מיוצרות כמויות גדולות של פסולת חקלאית צמחית, במקרים שפסולות אילו אינן מטופלות, הן מהוות בעיה חקלאית וסביבתית הנובעת מהפצת מזיקים. בנוסף יש בגליל כ- 10 בתי אריזה של פירות וירקות וכן מפעל לעיבוד התוצרת החקלאית וכל אלו מייצרים פסולת צמחית בהיקף שאינו ידוע – פסולות שכרגע מהוות עול כלכלי בשל עלויות השינוע להטמנה, אך יכולות להוות מקור להזנת זח"ש ובכך ליצר ערך כלכלי נוסף.

אחד היתרונות בישום חרקים כמקור חלבון למזון והזנה הוא היותו חלבון מהחי, אשר ידוע הן כבעל הרכב חומצות אמינו הכרחיות גבוהה והן בעל נעילות גבוהה יחסית לחלבון מהצומח, אם זאת, חסר בספרות מידע אודות נעילות חלבון ממקור חרקים בכלל ומזבוב החייל השחור בפרט, אצל האדם או בחיית מודל מתאימה. לפיכך, אחת ממטרות פרויקט זה היא לבחון את הרכב חומצות האמינו בזחלים של זבוב החייל השחור מדרגות 5 ו- 6 כאשר יוזן על סוגים שונים של פסולת חקלאית האופיינית לגליל. כמו כן, תיבחן יעילותו של חלבון המופק מהזח"ש לתמוך בתהליכי גדילה והתפתחות מסת שריר בחיית מודל המתאימה. אחת הבעיות של תעשיית הפורלים בגליל היא העלות הגדולה של המזון המסחרי שמקור החלבון בו מבוסס על קמח דגים שעלותו מעל 2 דולר לק"ג. במחקר הקדמי נבחנה התפתחות דגי פורל המגודלים בגליל העליון על כופתיות מזון המכילות חלבון שהופק מרימות זח"ש בהשוואה לחלבון מקמח דגים. רימות אלו גדלו במפעלי ביו-בי על פסולת מתעשיית המזון והתוצאות הצביעו על כך שלא נמצאו הבדלים בהתפתחות הדגים בשלב הגידול שנבחן כאשר ניזונו על כופתיות המכילות קמח זח"ש לעומת קמח הדגים המקובל. במחקר הנוכחי אנו בוחנים את יכולת השימוש בקמח זח"ש שיוזן על פסולת חקלאית מהגליל על

שלבי גידול הפורל. על כל הבעיות והאתגרים שציינו ננסה לענות במחקר הנוכחי. **לפיכך יעד** המחקר הוא ליצור את התשתית המדעית לפיתוח ענף חדש בגליל של ייצור חלבון אלטרנטיבי לאדם ולהזנת דגים מגידול זבוב החייל השחור *Hermita illusence* על פסולת חקלאית באזור הגליל.

מטרות המחקר לתקופת הדו"ח (המטרות ומיספורן ע"פ המופיע בהצעת המחקר):

1. אופטימיזציה של פרוטוקולים קיימים לגידול זח"ש ע"ג פסולות והתאמתם לסוגי הפסולות השכיחות בגליל.
2. אופטימיזציה של תהליכי הפקת חלבון מהזח"ש (קריא-קמח רימות) בשלבי התפתחות שונים ובדיקת תכולת חלבון בשלבי התפתחות והפקה שונים
4. בחינת יעילות השימוש בקמח זח"ש כמקור חלבון יחידי להזנת מכרסמים (עכברים או חולדות) המשמשים כחיית המודל מקובלת לבחינת מקורות חלבון אלטרנטיביים להזנת בני אדם.

פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר בתקופת הדו"ח.

בשנת המחקר השנייה ביצענו את המשימות הבאות:

1. גידול רימות בקנה מידה הנדרש לצורך הפקת חלבון לניסויי ובניית פרוטוקול הפיטום.
 2. אופטימיזציה של תהליכי הפקת חלבון מהזח"ש (קריא קמח רימות) בשלבי התפתחות השונים.
 3. הכנת כופתיות מזון המתאימות להזנת ועכברים ואנו בעיצומו של השלמת תהליך הכנת הכופתיות לדגים.
 4. בחינת יעילות השימוש בקמח זח"ש כמקור חלבון יחידי להזנת מכרסמים.
- מאחר ומשימות המחקר בוצעו ע"י החוקרות והחוקרים במעבדות שונות ע"פ תחום התמחותם/ן וכדי להקל על מעקב הקוראים אחר התוצאות, השיטות והתוצאות לכל משימה מובאות בזו אחר זו.

משימה 1-גידול רימות בקנה מידה הנדרש לצורך הפקת חלבון לניסויי ההזנה

הרימות גודלו ע"פ תנאי הגידול המיטיבים שנמצאו בשנת המחקר הראשונה במספר יחידות מודולריות במקביל. מהלך הגידול סוכם בפרוטוקול המצורף. קציר הרימות נעשה הן בשלב 5 והן בשלב 6 על מנת לבחון הבדלים בין שלבים אלה בהמשך.

תוצאות: א. במשך כחצי שנה גידלנו 6 מחזורי הזנה של הזח"ש על מנת ליצר קמח רימות בכמות מספקת לביצוע ניסויי הפקת חלבון וניסויי ההזנה בשנה השניה והשלישית של המחקר. תוך כדי הגידול שיכללנו את פרוטוקול הגידול עד לזה המצורף להלן:

ב. פרוטוקול גידול זבוב החייל השחור - על סמך נתוני שנת המחקר הראשונה, התפריט האופטימאלי מבחינת השפעתו על קצב גידול הזח"ש ואיכותו והזמינות לאורך כל השנה (ראו דו"ח שנה 1) הרכבנו תפריט פיתום מתפוחים שהתקבלו מבית אריזה בראשית ומפסולת מתעשיית הבירה שהתקבלה הן ממבשלת בזלת שבקצרין והן ממבשלת מלכה באיזור תעשייה תפן. הפיתום התבצע בחדר מבוקר טמפרטורות (28 ± 2 מ"צ) מאורר בעזרת ונטה (Venta) שעבדה באופן רצוף כל תקופת הפיתום. גידול הרימות בוצע במגשי נירוסטה (גסטרונומים) בגודל של 11X30X51 כאשר כל מגש מהווה יחידת גידול מודולרית אשר יחס רכיבי המזון בתערובת כמופיע בטבלה 1.

טבלה 1. הרכב הדיאטה ששימשה לפיתום הרימות לניסויים

לקג' מצע גר'	מים, גר	חלבון, גר	משקל, גר'	
150	3.5	3.4	15	לתת בירה מיובשת
300	25.2	2.5	30	נוזל שמרים
550	46.2	0.2	55	תפוחים
1000	74.9	6.1	100	סה"כ

הכנת חומרי הגלם

יבוש הלתת – ליבוש כמויות הלתת הגדולות שנדרשו לתהליך, פרסנו את הלתת בחוות מתתיהו על רשת למספר ימים עד להתייבבות משקלית (איור 1א). טחינת הלתת – לאחר הייבוש טחנו את הלתת במטחנה תעשייתית (Retsch Sm-100) ברשת של 4 מ"מ.

איסוף התפוחים והכנתם – מבית אריזה בראשית ביפתח כאשר קיבלנו תפוחים מזנים שונים (זהוב, גראני סמיט ודליש אדום) שנפסלו ממערך המיון ולקראת ההזנה הם נחתכו לרצועות דקות בעזרת חותך ירקות תעשייתי (Vegetable cutter machine VC65MC). את נוזל שמרי הבירה שאספנו מהמבשלות שמרנו בקירור עד תחילת התהליך. לפני כל מחזור פיתום ערבבנו את שלושת רכיבי הדיאטה ביחסים המתוארים למעלה (טבלה 1).

הפיתום של הרימות נערך במספר שלבים: בשלב הראשון הרימות התקבלו מחברת פריזם בדרגה 1 (נאונאטים) בבקבוקים שהכילו 25,000 רימות בכל בקבוק. על מנת להרגיל את הרימות לתערובת הפיתום הוספנו ממנה כפית לתוך כל בקבוק כשעה לפני השלב הבא. בשלב השני לקחנו מבקבוק הניאונאטים 5 גר' רימות (~5000 רימות) והעברנו אותן למיכלי נספק בנפח של 2 ליטר עם 1 ק"ג מצע פיתום והן הושארו שם לשבוע. בשלב השלישי, כאשר הרימות גדלו והגיעו לשלב 3, העברנו אותן למגשי הגידול מנירוסטה (גסטרונומים) כאשר לכל גסטרונום הוכנסו מראש 4 קילו מצע פיתום כך שיחס ההזנה בתהליך כולו היה רימה אחת לכל גרם תערובת פיתום. הגסטרונומים הוצבו זה מעל זה במתקן ייעודי כאשר המרחק ביניהם היה 13 ס"מ כדי לאפשר זרימת אוויר (איור 1 ב). אחת ליומיים ערבבנו את המצעים בעדינות כדי לאורר את המצע ולמנוע התעפשות. הגידול נמשך עד הגעת הרימות לשלב המיועד לקציר (דרגה 5 או דרגה 6 – איור 1 ג ו-ד בהתאמה).

איור 1- שלבי פיטום הרימות לצורך הניסויים:
(א) תהליך יבוש הלתת שכלל פריסה ועירבוב, (ב) מתקן הפיטום- גסטרונומים של 8 ליטר והמרווחים ביניהם. (ג) רימות דרגה 5 (ד). רימות דרגה 6



קציר דרגה 5 התבצע כ-7-11 יום מתחילת הפיטום (שלב 2) כאשר האינדיקציה לקציר היתה התנשלות הרימות הראשונות לדרגה כהה יותר. כ-3 ימים לפני הקציר דאגנו להפעיל את המזגנים על מצב יבוש על מנת להקל על הפרדת הרימות מהמצע. סינון הרימות התבצע בנפה תוצרת "קורלק אלמוג מכונות ניפוי ומערכות יצור בע"מ" עם 2 רשתות זו מעל זו כאשר הרשת המרווחת יותר עם חורים של 1 סמ"ר היתה מעל ומתחתיה הרשת עם חורים של 0.4 סמ"ר. לפני תחילת הסינון הסרנו בעדינות את השכבה העליונה עם התפוחים היבשים והלתת. תהליך הסינון התבצע בשני סבבים כאשר בסוף תהליך הסינון התקבלו 3 פרקציות נפרדות: הרימות, הלתת+ הפרשות הרימות ושרידי התפוחים שלא נאכלו (הקליפות והליבות). קציר דרגה 6 התבצע באותו אופן כ-14 יום מתחילת הגידול כל הזחלים בצבע שחור דרגת הטרם גולם.

משימה 2- אופטימיזציה של תהליכי הפקת חלבון מהזח"ש (קריא קמח רימות)

במחקר הקדמי הראינו כי קמח עני בכיטין בעל יתרון תזונתי על-פני קמח עשיר בכיטין וכי קמח דל שומן הינו בעל יתרון טכנולוגי ותזונתי בהכנת דיאטות לבעלי חיים. לפיכך בשלב זה ביצענו שני תהליכי אופטימיזציה שונים. האחד להפקת קמח רימות **דל בכיטין** מרימות בשלבים שונים (דרגה 5 עניה בכיטין בצורה טבעית ודרגה 6 עשירה בכיטין ולכן יש להפריד את הכיטין מהקמח) והשני אופטימיזציה של תהליכי הוצאת השומן מהקמחים- **מיצוי הליפידים**. קמחים אלו שימשו (וישמשו) בהמשך לניסויי הזנת בע"ח. תהליכי העבודה כללו: I. הפקת קמח מרימות דרגה 5 ודרגה 6 ללא הפחתת קוטיקולה: קציר, ניקוי, טיפול תרמי, יבוש, טחינה, ומיצוי ליפידים. II. הפקת קמח מרימות דרגה 6 מופחת קוטיקולה: קציר, ניקוי, טיפול תרמי, טחינה, סינון, יבוש, סינון נוסף ומיצוי ליפידים. הגורמים שנבדקו בקמחים הם: כמות מיקרואורגניזמים חיים (CFU) בצלחות LB, בחינת איכות התוצר: צבע לפי מודל של מרחב הצבע RGB ולפי מודל של גוון, רוויה ובהירות HSV, חמצון ליפידים לפי כמות מלון די-אלדהיד בשיטת Thiobarbituric acid reactive substances בהשפעת שתי טכנולוגיות לייבוש שונות: יבוש בהתזה וייבוש בתנור רגיל. ולבסוף בחנו שיטות למיצוי ליפידים: מיצוי בעזרת ממס אורגני ומיצוי בלחץ גבוה.

פרוטוקול הכנת קמח זח"ש דרגה 5 ו- 6 ללא צמצום כמות קוטיקולה- רימות דרגה 5 ו- 6 נוקו במים קרים משאריות מצע והוקפאו (20- מ"צ) לשם המתה ואחסון עד להמשך העבודה. לאחר הפשרה מהירה הרימות עברו התשה אינזימתית (1 דקה 95 מ"צ) ויובשו בתנור (60 מ"צ עד למשקל קבוע) ונטחנו במטחנה ייעודית שנבנתה במיוחד למחקר זה.

פרוטוקול הפקת קמח זח"ש דרגה 6 מופחת קוטיקולה- רימות דרגה 6 נוקו במים קרים משאריות מצע והוקפאו (20- מ"צ) לשם המתה ואחסון עד להמשך העבודה. לאחר הפשרה מהירה הרימות עברו התשה אינזימתית (1 דקה בקיטור) ונטחנו במטחנה ייעודית שנבנתה במיוחד למחקר זה, הקוטיקולה הופרדה בעזרת נפה 4 מ"מ לאחר מכן הקמח יובש (60 מ"צ עד למשקל יציב) ושוב נופה (נפה 2 מ"מ).

אופטימיזציה של הפרדת השמן- אופטימיזציה של הפרדת השמן נעשתה בשתי שיטות: כבישה חמה בעזרת מכשור בורג ידני לשמן זית (MAHLAPRESS V25 INOX) ושלושה מיצויים חוזרים של השמן בעזרת הקסן (יחס 5:1 משקל לנפח, בטמפ' החדר). בתום המיצויים יובשו ונודפו הן הקמח והן השמן עד למשקל קבוע ואוחסנו בכלים אטומים למים עד להמשך שימוש. טבלה 2 מסכמת את תוצאות פרק זה.

תוצאות- בתום ההפקות חישבנו את ניצולת ההפקה וערכים כימיים-תזונתיים של התוצר מתהליך ההפקה המיטבי שביצענו. בהשוואה בין שיטות מיצוי ליפידים ושיטות ייבוש מצאנו כי המיצוי בהקסן יותר יעיל מהוצאת השמן בכבישה (טבלה 2 א) ובהשוואת שיטות היבוש משך זמן יבוש בתנור דומה ליבוש בהתזה אך קצר משמעותית מיבוש בוואקום, אחוז המים בסוף התהליך דומה ביבוש בתנור ויבוש בהתזה ונמוך בחצי מזה המתקבל בהתזה (טבלה 2 ב). בנוסף יש לציין כי יבוש בהתזה גרם להשחמה של הקמח.

טבלה 2- השוואה בין שיטות מיצוי ליפידים (א) ושיטות ייבוש (ב), נערך על חלבון דרגה 5, מחושב ל- 10 ק"ג קמח, MDA- חמצון שמן ע"פ כמות מלון די-אלדהיד, ND- נמוך מסף רגישות השיטה.

2 א	כבישה	מיצוי בהקסן
אחוז שומן בתום התהליך	18%	3%
ניצולת חלבון	54%	98%
חומרים מתכלים	אין	הקסאן
MDA	ND	

2 ב	ייבוש בתנור	ייבוש בהתזה	ייבוש בואקום
אחוז מים בתום התהליך	3.5%	3%	6%
זמן	24 שעות	20 שעות	72 שעות
הערות	זמני העבודה נכונים למכשור מעבדתי. לפני הייבוש בהתזה הוספו מים לתערובת לשם הפיכתה לזורמת.		
MDA	ND		

בהשוואת התכונות של הקמחים השונים מצאנו כי קמח שהופק מרימות בדרגה 6 הוא הכי בהיר (איור 2). שלושת הקמחים התקבלו עם כמות חידקים נמוכה ביותר. רמת החימצון של השמנים אפסית (מתחת לסף רגישות השיטה) ריכוז החלבון בקמח דרגה 6 דל קוטיקולה גבוה ב-10% משני סוגי הקמחים האחרים וריכוז השמן בקמח דרגה 6 דל שומן הוא הנמוך ביותר (טבלה 3).

איור 2- שלושת הקמחים שהתקבלו מגידול הרימות בדרגות התפתחות 5-6 וצבעיהם ע"פ סקלת צבעים סטנדרטית



טבלה 3- פרמטרים שנבדקו בקמחים השונים

סוג הקמח	דרגה 5 דל שומן	דרגה 6 דל שומן	דרגה 6 דל קוטיקולה ודל שומן
צבע RGB	156,118,93	187,162,140	216,189,165
צבע HSV	24°,40%,61%	28°,25%,73%	28°,24%,85%
CFU	8E3	9E3	4E3
MDA	ND	ND	ND
ריכוז חלבון בקלדל, % (פקטור הכפלה 6.25)	53.1±4	55.4±4	65.1±4
ריכוז שמן, %	4.1±0.2	3.2±0.3	4.1±0.3

הערכה כלכלית של הייצור בשיטות שביצענו בקנה מידה מעבדתי כולל השוואה לתהליכים דומים המקובלים בתעשייה מפורטות ב**טבלה 4** ומצביעות על כך שבקנה המידה הקטן בו עבדנו התהליך הכנת קמח מ-100 ק"ג רימות נע בין 6300 ₪ לקמח דרגה 5 או דל שומן ועולה ל-7300 ₪ לקמח דרגה 6 של קוטיקולה ודל שומן שהוא איכותי יותר. לצורך השוואה לתעשייה הכנת קמח עוף עולה כ-100 ₪ בלבד לטון כלומר פער של כ-3 סידרי גודל.

טבלה 4- הערכה כלכלית לייצור במעבדה בהשוואה לתהליכי ייצור דומים בתעשייה (₪)

שלב	סעיף	דרגה 5 דל שומן	דרגה 6 דל שומן	דרגה 6 דל שומן וקוטיקולה	אנלוג בתעשייה
הכנות לקראת גידול 100 ק"ג רימות	משך התהליך, ימים	3	3	3	3-6 אלף ₪ לטון
	*עלות חומרי גלם, מכשור ומתכלים, ₪	0	0	0	
	**שעות עבודה	24	24	24	
	משך התהליך, ימים	10	14	14	
	עלות נאונטים ₪	100	100	100	
	שעות עבודה	16	16	16	
הכנת קמח	משך התהליך, ימים	3	3	5	**הכנת 20 טון קמח עוף אורך כ-6 שעות בעלות של 600, (₪100 לטון)
	עלות חומרי גלם, מכשור ומתכלים, ₪	0	0	0	
	שעות עבודה	10	10	16	
	קמות המתקבלת, % מרימות טריות	31	32	12	
	משך התהליך, ימים	4	4	4	
	*עלות חומרי גלם, מכשור ומתכלים, ₪	מחיר הקסן	16	16	
מיצוי שמן	שעות עבודה	16	16	16	
	קמות שמן שמתקבל, % מקמח יבש	61.7	67.4	55.6	

	6.5	21	19	כמות קמח דל שומן מתקבל, % מרימות טריות
משך כל התהליך	26	24	20	
סך שעות עבודה	72	66	66	
עלות עבודה	7200	6600	6600	
עלות חומרים (נאונאטים)	100	100	100	
סה"כ עלות	7300	6700	6700	

* בשלב זה הפסולות התעשייתיות ניתנו לנו בחינם ולא חישבנו את עלות הציוד מאחר והוא כבר קיים ולא ניקנה במיוחד למחקר.

* עלות שעת עבודה חושבה לפי 100 ₪ (עלות מעביד טכנאי במו"פ/מיגל).

משימה 3- הכנת כופתיות מזון המתאימות להזנת דגים ועכברים

א. **הכנת כופתיות להזנת דגי פורל לשנת המחקר השלישית:** כופתיות להזנת דגים צריכות להישאר יציבות לאורך זמן גם כאשר הן נזרקות למים, ולכן תהליך ההכנה שלהן ייחודי וכולל כוחות דחיסה חזקים במכשיר אקסטרודר מתאים שאינו קיים במעבדות המחקר במיגל או בתל חי. מכשיר האקסטרודר המעבדתי איתו תכננו ליצר את הכופתיות במכון התערובת צמח (כפי שציינו בהצעת המחקר) בסופו של ענין לא זמין לנו, ולפיכך קיבלנו אישור להשתמש באקסטרודר של המרכז הלאומי לחקלאות ימית באילת (מלח"י), שהינו המכשיר היחיד בארץ שעובד בקנה מידה קטן (ייצור כופתיות מינימאלי > 2 טון). אך למכשיר זה נדרשת כמות מינימאלית גדולה מהמכשיר בו תכננו לעבוד ולכן נצטרך לחזור ולייצר קמח רימות בכמות גדולה יותר ממה שכבר הכנו. את תהליך גידול הרימות הנוספות החלנו לבצע בימים אלו. הרכב הדיאטה להכנת הכופתיות הוא בהתאם למתכון להזנת הפורלים של דגי הדן, כאשר קמח הרימות יחליף את קמח הדגים במינונים שונים בניסויים של שנה שלישית.

ב. **הכופתיות להזנת העכברים** הוכנו ע"י דחיסה במכשיר ייעודי ע"פ פרוטוקולים מקובלים במעבדתו של ד"ר גוטמן ושימשו למשימה 4 וישמשו בשנת המחקר השלישית.

תוצאות לצורך ניסוי המכרסמים הוכנו שלושה סוגי קמחי רימות הזח"ש דלי השומן: קמח שהוכן מזחלים דרגה 6 ללא טיפול מקדים (להלן קמח BSF), קמח שהוכן מזחלים דרגה 5 (BSF-1) וקמח שהוכן מזחלים דרגה 6 דל קוטיקולה (BSF-2). טבלה מספר 5 מציגה את הרכב אבות המזון בכל אחד מהקמחים, כולל באבקת חלבון קזאין ששימש להכנת דיאטת הביקורת.

טבלה 5- הערכים התזונתיים של קמחי הזח"ש השונים בהשוואה לקזאין (מהן הוכנו הדיאטות למכרסמים)

	Casein	BSF	BSF 1	BSF 2
Humidity (%) ¹	9.1 ± 0.1	4.2 ± 0.1	5 ± 0.1	4 ± 0.1
Protein (% TKN*cf) ^{2,3}	83 ± 0.5	42.9 ± 0.7	32.6 ± 0.6	70.7 ± 0.5
Fat (%) ^{2,4}	1.5 ± 1.1	36.5 ± 0.5	30.4 ± 3.5	7.4 ± 0.8
Ash (%) ^{2,5}	4.1 ± 0.1	5.7 ± 0.3	10.3 ± 0	5.2 ± 0
Combustible energy (Kcal/g) ^{2,6}	3.1 ± 0	4 ± 0.1	4.2 ± 0.1	3.5 ± 0

קמחים אלו שימשו להכנת הדיאטות למכרסמים (ראה טבלה 6). כל הדיאטות בניסויי ההזנה הוכנו על בסיס הרכב הדיאטה המומלצת לעכברים- (AIN-93-G) Reeves., 1997) כאשר כל הדיאטות היו איזו-חלבוניות ואיזו-קלוריות, ומקור החלבון היחידי היה מקור חרקים. תוספים אחרים הוספו ממקורות מסחריים לאיזון הדיאטה בהתאם לנדרש. כמו כן, הכנו שתי דיאטות ביקורת: דיאטה על בסיס חלבון קזאין (Casein) ודיאטה שכלל לא הכילה חלבון (, non-protein diet (NPD) ששימשה לצורך חישוב נעכלות חלבון נטו. מאבקות הדיאטה הוכנו לעכברים כופתיות ע"י דחיסה במכשיר ייעודי.

טבלה 6- הערכים התזונתיים והרכיבים של כופתיות הזנת המכרסמים שנבחנו בניסויים

Formulation of custom-made diets		Diet (g/Kg of ingredients)					
Ingredient	Manufacturer, catalog no.	Humidity (%)	Casein	NPD	BSF	BSF 1	BSF 2
Casein	MEGGLE, 9500682599	9.1 ± 0.1 ¹	189.5	-	-	-	-
BSF	In house	4.2 ± 0.1 ¹	-	-	370.5	-	-
BSF I	In house	5 ± 0.1 ¹	-	-	-	488.4	-
BSF II	In house	4 ± 0.1 ¹	-	-	-	-	225.6
L-cysteine	Sigma, C7352	<0.1	2.8	0.0	2.8	2.8	2.8
Soy oil	Milomor, 7290002374114	<0.1	106	106	14	39	117
Corn starch	Poliva, 7290108530629	11.8 ± 0.1 ²	397	586	338	277	365
Maltodextrin	Zhucheng Dongxiao Biotec.	6.1 ± 0.1 ²	124	126	106	86	114
Sucrose	Sugat, 7290003643387	<0.1 ²	88	90	75	61	81
Fiber (Cellulose)	MP Biomedicals, 0219149991	5.0 ± 0.1 ²	48.7	48.4	49.2	0.0	49.4
Minerals	MP Biomedicals, AIN-93G-MX	<0.1	32.4	32.2	32.7	32.8	32.8
Vitamins	MP Biomedicals, AIN-93-VX	<0.1	9.3	9.2	9.4	9.4	9.4
Choline bitartrate	MP Biomedicals, 0210138483	<0.1	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Total			808	1000	1000	1000	1000
Distilled Water			550	200	269	280	270
Total weight (g)			1357	1200	1269	1280	1270
Selected nutritional values			Casein	NPD	BSF	BSF 1	BSF 2
Humidity (%) ¹			24.1 ± 0.2	7.2 ± 0	20.4 ± 0.2	24.8 ± 0.3	23.1 ± 0.1
Protein (% , TKN*cf) ^{3,4}			16.4 ± 0.1	0.6 ± 0	15.4 ± 0.2	15.2 ± 0.1	16.3 ± 0.6
Fat (%) ^{4,5}			11.8	11.5	18.9	20.9	14.3
Combustible Energy (Kcal/g) ^{4, 6}			4.5 ± 0	4.3 ± 0	4.6 ± 0	5.2 ± 0.1	4.7 ± 0

קיצורים: BSF- קמח שהוכן מזחלים דרגה 6 ללא טיפול מקדים, BSF-1- קמח שהוכן מזחלים דרגה 5, BSF-2- קמח שהוכן מזחלים דרגה 6 דל קוטיקולה, ¹ יובש על פי פרוטוקול NFTA בתנור ואקום במשך 3 שעות בטמ' 105 מ"צ, אחוז מקמח לפני היבוש, ³ TKN - תכולת חנקן כוללת ע"פ קלדה מופקלת בפקטור המרה החלבון 6.38 לקזאין ו 6.25 לקמח חרקים, ⁴ ע"פ soxleht, ⁵ ע"פ שרפה ב 550 מ"צ, ⁶ ע"פ בומב קלורימטר הנתונים הם ממוצעים ±SD.

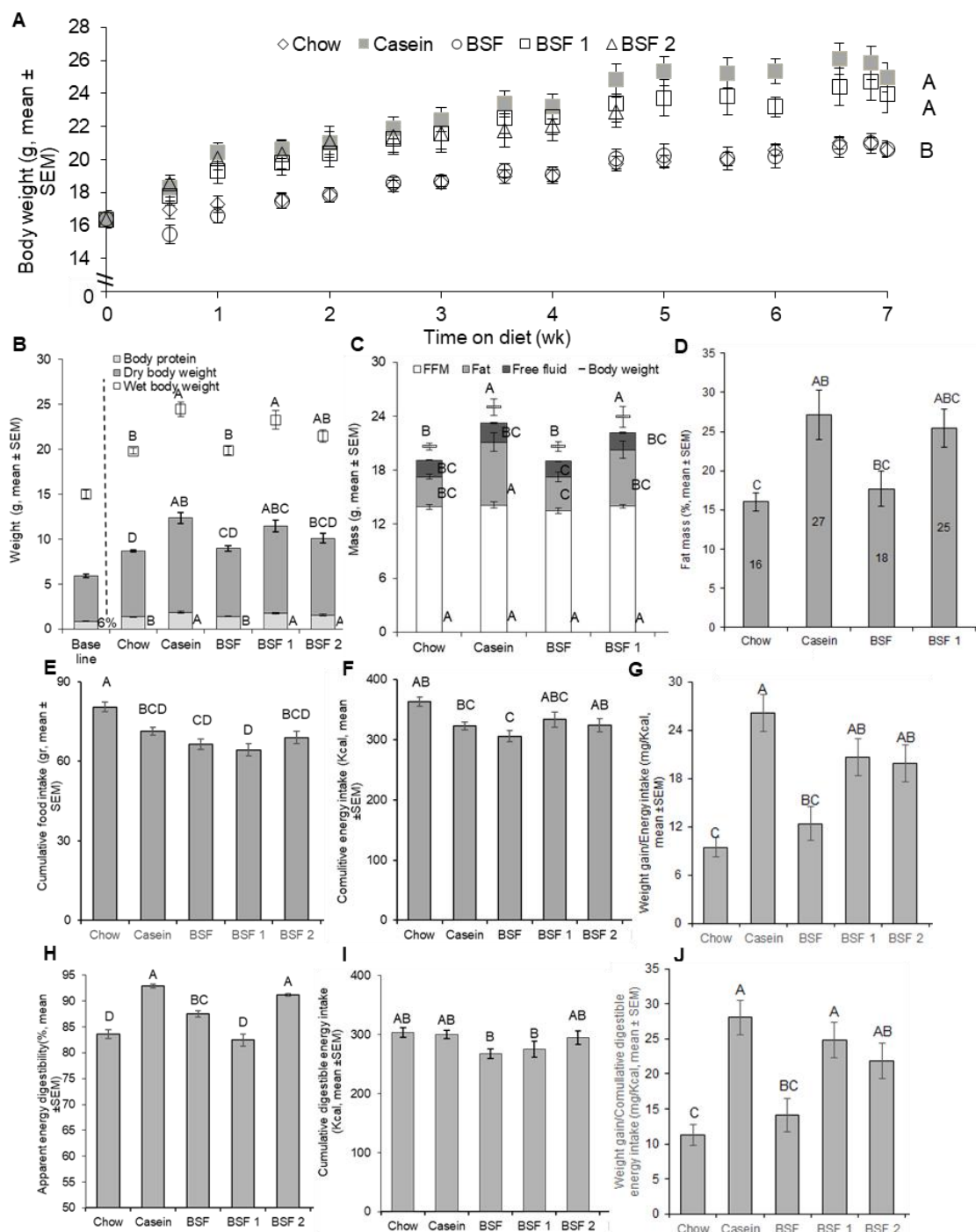
משימה 4- בחינת יעילות השימוש בקמח זח"ש כמקור חלבון יחידי להזנת מכרסמים, המשמשים כחיית מודל לבני אדם, והשפעת נוכחות קוטיקולה על יעילות זו.

מטרת שלב זה הייתה לבחון את היעילות התזונתית, היעילות האנרגטית, נעכלות חלבון (חנקן) ונעכלות חומצות אמינו של קמח זח"ש מסוגים שונים: קמח שהוכן מזחלים דרגה 6 ללא טיפול מקדים (להלן קמח BSF), קמח שהוכן מזחלים דרגה 5 (BSF-1) וקמח שהוכן מזחלים דרגה 6 דל קוטיקולה (BSF-2), זאת בהשוואה לדיאטת מכרסמים מסחרית (CHOW) ודיאטה על בסיס חלבון הקזאין (Casein). במהלך הניסוי נבחנו הפרמטרים הבאים: מסת הגוף והרכבו, צריכת מזון ואנרגיה במזון, פליטת גללים ואנרגיה בגללים, וכמות חלבון (כמות חנקן) בגללים. פרמטרים אלו אפשרו לחשב את השפעת הדיאטה על יעילות גדילה ויעילות המרת אנרגיה במזון למסת גוף ומסת חלבון, נעכלות אנרגטית ונעכלות חלבון כללית (נעכלות חנקן).

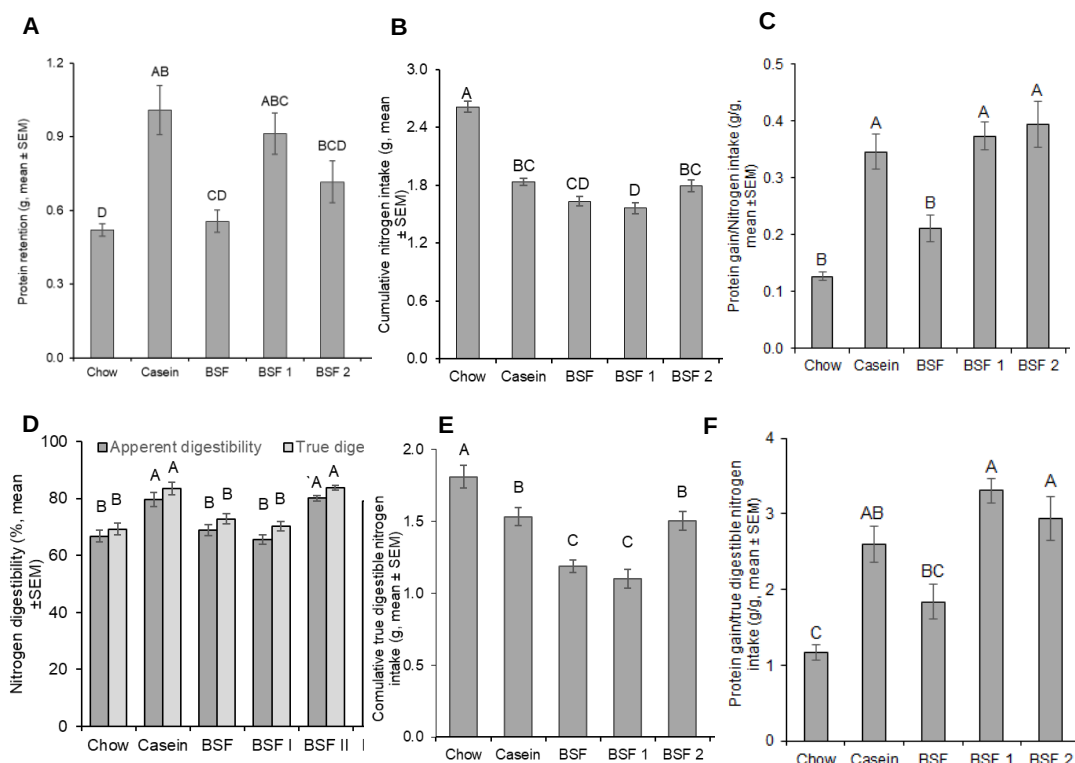
תוצאות מפאת חוסר מקום, להלן תמצית התוצאות. הזנת עכברים בדיאטה על בסיס קמח BSF כמקור חלבון יחיד הביאה לעקומת גדילה שתואמת את זו של עכברים שניזונו עם דיאטת CHOW (דיאטה מסחרית רגילה) (איור 3 A). כצפוי, עכברים שניזונו מקזאין כמקור החלבון היחיד הראו עלייה מהירה יותר במשקל הגוף בהשוואה לעכברים שניזונו בדיאטה הרגילה. מעניין שעכברים שניזונו מדיאטה על בסיס BSF עם רמת קוטיקולה נמוכה יותר, כלומר BSF-1 ו-BSF-2, הראו עלייה מהירה יותר במשקל הגוף בהשוואה ל-BSF, וחשוב מכך העלייה הזו במשקל הגוף תאמה את זו של עכברים שניזונו בתזונה מבוססת קזאין (איור 3 A). השלב הבא היה לנתח את הרכב הגוף של כל קבוצות העכברים על מנת לגלות את הרכב מסת הגוף הנוספת שנרכשה. מסת החלבון (איור 3 B), שנאמדה לפי סך החנקן Kjeldahl בפגר, כפול 6.25; ומסת השומן (איור 3 C) נמדדה ב-NMR ההבדל בחלבון הגוף בפגר עקב אחר ההבדלים במשקל הגוף, כאשר עכברים שניזונו מדיאטה על בסיס ה-BSF הלא מטופל הראו מסת חלבון שתואמת את זאת שבדיאטת ה-CHOW, בעוד שצמצום רמת הקוטיקולה ב-BSF הביאה למסת חלבון הדומה לזאת שבהינתן חלבון קזאין. באשר למסת השומן, כפי שניתן לראות, ההבדל במסת השומן עקב גם אחר ההבדלים במשקל הגוף ובמסת החלבון, כאשר עכברים שניזונו מ-BSF לא מטופל הראו מסת שומן תואמת ל-CHOW, בעוד שצמצום רמת הקוטיקולה ב-BSF הביא לשומן גוף התואם לזה שבהינתן קזאין. למעשה ההבדלים התזונתיים בעלייה במסת הגוף באו לידי ביטוי בהבדלים התזונתיים באחוזי השומן (איור 3 D), ולכן מצביעים על הבדלים במאזן האנרגיה. לפיכך, השלב הבא היה לגלות מהו מנגנון ההדגשה של ההבדל הזה בהיקף של מאזן האנרגיה החיובי - האם זו צריכת אנרגיה, עיכול או הוצאת אנרגיה? בדיקת צריכת המזון (איור 3 E) והאנרגיה (איור 3 F) ויעילות העלייה במשקל לצריכת אנרגיה לימדו שצמצום כמות הקוטיקולה לא משפיעה באופן מובהק על צריכת המזון והאנרגיה (מלבד בין BSF2 ל-BSF) אלא מגביר את היעילות של צבירת

משקל ליחידת אנרגיה שנצרכה (איור 3 G). ולכן, השלב הבא היה לבחון האם ההבדל התזונתי בעיכול האנרגיה יתכן ומסביר את ההבדל התזונתי ביעילות העלייה במשקל לאנרגיה שנצרכה. חישובנו תחילה את העיכול האנרגטי וגילינו שכפוי, דיאטה מבוססת קזאין הראתה עיכול גבוה יותר של 93% בהשוואה לדיאטת ה-CHOW שהראתה 84% עיכול (איור 3 H). דיאטת ה-BSF לא מטופל הראו יעילות עיכול אנרגטית נמוך משל הדיאטה על בסיס קזאין, אך יעילות גבוהה יותר בהשוואה ל-CHOW (איור 3 H). צמצום כמות הקוטיקולה הגביר את העיכול לרמה דומה של קזאין. השתמשנו בנתונים אלה כדי לחשב את האנרגיה הנספגת וגילינו שעכברים מווסתים את צריכתם, תוך התחשבות בהבדלים ביעילות העיכול, כך שכל הדיאטות הניבו כמות דומה של אנרגיה נעכלת (איור 3 I). עם זאת, העכברים שניזונו מ-BSF הראו עלייה נמוכה יותר במשקל לכל אנרגיה שנספגה (איור 3 J) ולכן לא ניתן להסביר את ההבדל התזונתי בתוספת המשקל בין הדיאטות רק על ידי השילוב של הבדלים בצריכת אנרגיה ועיכולה, ולכן הם צריכים להיות תולדה של הבדלים בהוצאת אנרגיה.

מכיוון שעכברים תחת הדיאטות השונות נבדלו גם בעליה במסת החלבון (איור 4 A), בחנו גם הבדלים בפרמטרים הקשורים בפנוטיפ הנ"ל: האם קיים הבדל בצריכת החלבון (על בסיס הבדלים בצריכת חנקן (איור 4 B) וביעילות העלייה במסת חלבון לחלבון נעכל (איור 4 C), בנעכלות חלבון (איור 4 D) ובספיגתו (איור 4 E), או ביעילות הניצול של החלבון שנספג נטו (איור 4 F). התוצאות שלנו מראות שדיאטת ה-CHOW, בה כמות החלבון הנמוכה ביותר, הייתה בעלת צריכת החנקן הגבוהה ביותר, שדיאטות מבוססות BSF שונות במידה מסוימת מדיאטת קזאין, כאשר BSF-1 הייתה הדיאטה בעלת צריכת החנקן הנמוכה ביותר (איור 4 B), השוואת יעילות עלייה בחלבון, כלומר, כמות העלייה בחלבון לכל צריכת חנקן, גילתה כי העכברים שניזונו מדיאטה על בסיס BSF לא מטופל מציגים יעילות נמוכה יותר של תוספת מסה חלבונית, בדומה למצב בדיאטת ה-CHOW. פנוטיפ זה, של עלייה נמוכה יותר במסת החלבון ביחס לצריכת חלבון (צריכת חנקן) חייבת להיות מושגת על ידי יעילות עיכול חלבון נמוכה יותר, על ידי צריכת הרכב חומצות אמינו לא תואם, או על ידי ניצול גבוה יותר של חלבון לטובת אנרגיה. על מנת לבחון סוגיה זו, חישובנו תחילה את יעילות העיכול לכאורה (apparent digestibility) ויעילות העיכול האמיתית (true digestibility) של חנקן (איור 4 D). לצורך אנליזה ראשונית, יעילות העיכול האמיתית שימשה לחישוב סה"כ ספיגת חנקן נטו (איור 4 E) ששימשה לחישוב יעילות צבירת מסת חלבון (איור 4 F). כפוי, דיאטה המבוססת על קזאין הראתה את יעילות עיכול החנקן הגבוהה ביותר. יעילות העיכול של דיאטת BSF-2 דמתה לזאת של דיאטת הקזאין וכל יתר הדיאטות הראו יעילות עיכול נמוכה ודומה (איור 4 D).



איור 3. ההשפעה של דיאטות שונות המכילות קמחי זח"ש שונים כמקור חלבון יחיד על: עקומת משקל הגוף (A) הרכב משקל הגוף הסופי על ידי ניתוח כימי (B) ו- NMR (C ו D), צריכת מזון מצטברת (E) וצריכת אנרגיה (F), יעילות עלייה במשקל (G), נעילות וצריכה מצטברת של אנרגיה מעיכול (H ו I) ויעילות עלייה במשקל לכל צריכת אנרגיה נעכלת (J) אותיות שונות מצביעות על הבדל משמעותי על ידי ניתוח אד הוק בעקבות ANOVA חד כיוונית. קיצורים: BSF-1 קמח שהוכן מזחלים דרגה 6 ללא טיפול מקדים, BSF-2 קמח שהוכן מזחלים דרגה 5 ללא טיפול מקדים, BSF-2 קמח שהוכן מזחלים דרגה 6 ללא טיפול מקדים, BSF-2 קמח שהוכן מזחלים דרגה 5 ללא טיפול מקדים, BSF-2 קמח שהוכן מזחלים דרגה 6 ללא טיפול מקדים, BSF-2 קמח שהוכן מזחלים דרגה 5 ללא טיפול מקדים. Chow- דיאטת מכרסמים סטנדרטית, דיאטת Casein המבוססת על קאזין כמקור החלבון היחיד.



איור 4. ההשפעה של דיאטות שונות על שימור חלבון (A), צריכת חנקן מצטברת (B), עליה בכמות החלבון חלבון לכל צריכת חנקן (C), יעילות העיכול לכאורה ואמיתית (D), הצטברות נטו של חנקן נספג (E), ותוספת חלבון נטו לכל חנקן נספג (F) אותיות שונות מצביעות על הבדל משמעותי על ידי ניתוח אד הוק בעקבות ANOVA חד כיוונית.

קיצורים: BSF- קמח שהוכן מזחלים דרגה 6 ללא טיפול מקדים, BSF-1- קמח שהוכן מזחלים דרגה 5, BSF-2- קמח שהוכן מזחלים דרגה 6 דל קוטיקולה. Chow- דיאטת מכרסמים סטנדרטית, דיאטת Casein המבוססת על קזאין כמקור החלבון היחיד.

עם זאת, בשל צריכת החנקן הנמוכה של עכברים שניזונו בקזאין, הם הראו ספיגת חנקן נטו נמוכה יותר בהשוואה לדיאטת ה-CHOW. לעומת זאת, העלייה במסת החלבון לכל חנקן נספג הייתה גבוהה יותר בדיאטת הקזאין, מה שמעיד על כך שחנקן מקזאין מומר בצורה טובה יותר למסת חלבון, כנראה בגלל הרכב חומצות האמינו של קזאין או הזמינות של קלוריות נוספות שאינן מבוססות חלבון לשמש לשימור חלבון מתוך חומצות האמינו הנספגות. דיאטה על בסיס קמח BSF לא מטופל הראתה יעילות עיכול חנקן נמוכה משל קזאין, בדומה ל-CHOW, וספיגת החנקן נטו הייתה אף נמוכה משל שתי דיאטות הביקורת. קמחי ה-BSF שטופלו לצמצום כמות הקוטיקולה נבדלו במידת יעילות העיכול, כאשר BSF-2 הראה יעילות עיכול גבוהה יותר ודומה לזאת קזאין. עם זאת, BSF-1 הראה יעילות גבוהה של המרת חנקן שנספג לחלבון (כמו קזאין); מה שמצביע אולי על איכות גבוהה של החלבון הבלתי מסיס (יתכן בשל הרכב חומצות אמינו שונה), או בשל כך שצריכת BSF-1 עשויה לגרום לזמינות גבוהה יותר של קלוריות נוספות שישמשו לשמירה על החנקן הנספג כחלבון.

דיון

בשנת המחקר השניה התרכזנו בפיטום רימות זח"ש בדיאטה שהורכבה מפסולת תפוחים ומבשלות בירה- סוגי פסולת זמינים בגליל העליון שבמחקר בשנה הראשונה הראו את התוצאות המיטביות. שיכללנו את יכולת פיטם הרימות וכתבנו פרוטוקול היכול לשמש מגדלים עתידיים. את הרימות קצרנו בשני שלבי גידול- רימות בדרגה 5 ורימות בדרגה 6. מרימות אלו הכנו 3 סוגי קמחים- קמח מרימות מדרגה 5, קמח מרימות מדרגה 6 ללא הסרת הקוטיקולה וקמח מרימות מדרגה 6 לאחר הפחתת הקוטיקולה. מתוצאות המחקר בשלב גידול הרימות והכנת הקמחים נראה שמבחינה כלכלית, גידול רימות זח"ש והכנה של קמח זח"ש בקנה מידה בינוני כפי שעשינו היה לא יעיל ודרש שעות עבודה רבות. יש לציין שעיקר שעות העבודה "התבזבזו" בגלל מחסור בצידוד יעודי מתאים למשימות בקנה המידה של הפיילוט. בהינתן צידוד מתאים ניתן להניח שמשך התהליך היה מתקצר ל 12 ו- 16 ימים לקמח רימות דרגה 5 ו- 6, בהתאמה, והיו נדרשות כ- 10 שעות עבודת טכנאי. אנו מניחים כי גידול בקנה מידה כפי שאנחנו עשינו יהיה מתאים לייצור רימות שלמות להזנת זוחלים, דגים או תרנגולות חופש, ויהיה מבוסס על פסולת קבועות מקומיות, במקרה זה משך התהליך יהיה 10 ימים וידרוש כ- 5 שעות עבודה. לעומת זאת, קמח רימות שיעשה עם מיכון תעשייתי בכמות מינימאלית של 20 טון רימות טריות, כאשר כמויות כאלה סביר להניח יעשו במפעל בעל אוטומאציה גבוהה ישתלם כלכלית ויכול להתחרות בקמחים אתירי חלבון אחרים מהתעשייה כגון קמח דגים (Fisher et al., 2020) קמח עופות Funaba et al., 2005).

ניצולת הכנת קמח דל קוטיקולה היה נמוכה פי 3 מקמח רימות ללא הפרדה זו. בהמשך המחקר נגלה אם לניקוי זה יתרונות תזונתיים. כמצופה, צבע קמח הרימות אחרי הפרדת הקוטיקולה היה הבהיר מבין הקמחים. בתעשיית ההזנה יש יתרון לקמחים בהירים שניתן בהמשך לייצר מהם כופתיות בצבעים המועדפים ע"י האורגניזם הצורך (Passos et al., 2014). מעניין שקמח דרגה 6 שלא נופתה ממנו הקוטיקולה היה בהיר מקמח רימות דרגה 5. יתכן וההבדל נובע מאופן ביצוע ההתשה האינזימתית. בקמח דרגה 6 ההתשה נעשתה בקיטור, חימום מהיר לטמפ' גבוהה, ואילו בקמח דרגה 5 בתנור, בו קצב עליית הטמפרטורה איטי יותר. מידת חמצון השמן הייתה אפס, תוצאה זו הגיונית היות ורוב חומצות השומן של הזבוב הן רוויות ויציבות כנגד חמצון ולכן אינן יוצרות פראוקסידים ותוצרי חמצון מאוחרים כמו מלון די-אלדהיד. CFU היה נמוך ומתאים לחומרים בעלי פעילות מים נמוכה. בשיקלול של נוחות ועלויות התהליך, נראה שיבוש בתנור לנפחים אלו עדיף על שימוש במייבש בהתזה או בוואקום, אנו מניחים שבקנה מידה תעשייתי התוצאה תשתנה ויש לבחון זאת בתנאי אמת.

הקמחים השונים אחר יצורם ואיפיונם, שימשו לניסויים בהם בחנו את יעילות השימוש בהם כמקור חלבון יחידי להזנת מכרסמים (כחיית מודל לבני אדם), והשפעת נוכחות קוטיקולה על יעילות זו. בניסויים אלו מצאנו שהזנת עכברים בדיאטה על בסיס קמח BSF כמקור חלבון יחיד הביאה לעקומת גדילה שתואמת את זו של עכברים שניזונו עם דיאטת CHOW (דיאטה מסחרית רגילה). עכברים שניזונו מדיאטה על בסיס קמח BSF עם רמת קוטיקולה נמוכה יותר, הראו עלייה מהירה יותר במשקל הגוף בהשוואה לקמח עתיר קוטיקולה, וחשוב מכך העלייה הזו במשקל הגוף תאמה את זו של עכברים שניזונו בתזונה מבוססת קזאין.

עכברים שניזונו מדיאטה על בסיס קמח עתיר קוטיקולה הראו מסת חלבון שתואמת את זאת שבדיאטת ה-CHOW, בעוד שצמצום רמת הקוטיקולה בקמח BSF הביאה למסת חלבון בעכברים הדומה לזאת שבהינתן חלבון קזאין.

לסיכום בשנת המחקר השניה עמדנו בכל המשימות (פרט לייצור כופתיות מזון להזנת הדגים המבוצע בימים אלו) ונמשיך במחקר כמתוכנן בשנת המחקר השלישית.

רשימה מלאה של הפרסומים המדעיים שנבעו מהמחקר עצמו -עדיין לא נבעו פירסומים ממחקר זה, אך בימים אלו אנו בשלבים מתקדמים של פירסום מאמר ראשון הנובע מהמחקר: Reducing waste and producing high quality product using BSF. Tovi Ben-Mordechai, Roe Gutman, Liora Shaltie and Itai Opatovsky. In preparation

הבעת תודה לגופים שמימנו את המחקר-המחקר ממומן ע"י קרן המדען הראשי של משרד החקלאות ופיתוח הכפר. תודות לקרן יק"א לבניית המעבדה והציוד לעיבוד חרקים.

רשימת ספרות מצוטטת

Fisher, H. J., Collins, S. A., Hanson, C., Mason, B., Colombo, S. M., & Anderson, D. M. (2020). Black soldier fly larvae meal as a protein source in low fish meal diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 521, 734978.

Funaba, et al. "Evaluation of meat meal, chicken meal, and corn gluten meal as dietary sources of protein in dry cat food." *Canadian journal of veterinary research* 69.4 (2005): 299.

Passos, L. F., Mello, H. E. S., & Young, R. J. (2014). Enriching tortoises: assessing color preference. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 17(3), 274-281.

Reeves, P.G. (1997). Components of the AIN-93 diets as improvements in the AIN-76A diet. *J. Nutr.* 127, 838S-841S.