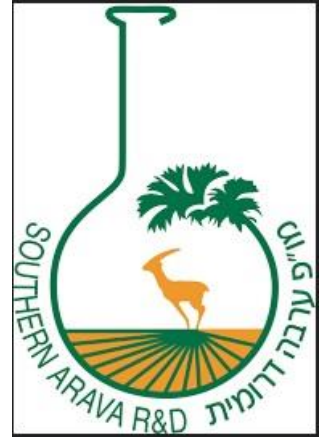




מו"פ ערבה דרומית – דו"ח שנתי 2024 – תוכנית נמשכת

מוקד המחקר: 81136

שנת המחקר: 2 מתוך 3 שנים

השפעת מיקרו-אצות כתוסף מזון על גדילה ויעילות העיכול בדגי בורי

Effect of microalgae as feed supplement on growth and feed digestibility in grey mullet

מוגש לקרן קיימת לישראל

ע"י

ד"ר יאיר כהן – חקלאות מים, מו"פ ערבה דרומית

ד"ר ליאור גוטמן – המרכז הלאומי לחקלאות ימית

ד"ר נעמה סגל – המרכז הלאומי לחקלאות ימית

1. מו"פ ערבה דרומית - דוח שנתי

מוקד המחקר 81136

שם התוכנית – השפעת מיקרו-אצות כתוסף מזון על גדילה ויעילות העיכול בדגי בורי

חוקר ראשי ושותפים:

ד"ר יאיר כהן – חקלאות מים, מו"פ ערבה דרומית

ד"ר ליאור גוטמן – המרכז הלאומי לחקלאות ימית

ד"ר נעמה סגל – המרכז הלאומי לחקלאות ימית

סטטוס התוכנית - נמשכת

מועד התחלה וסיום התוכנית – 1.1.23 – 1.1.26

2. תקציר: דג הבורי הוא אחד משלושת מיני הדגים העיקריים הגדלים בארץ בבריכות הדגים ובעל הערך המסחרי הגדול מבין שלושתם. למרות זאת, שיטות הגידול וההזנה של דג זה לוקות בחסר ולכן פוטנציאל השיפור באספקטים שונים של הגידול גדול. מחקר זה מתמקד בשיפור ההזנה של דגי בורי ע"י הוספה של מיקרו אצות למזון המסחרי. בשנה הראשונה הקמנו במו"פ מערכת ניסוי ייעודית לביצוע המחקר. הניסויים המתוכננים יחלו ב-2024. נבחן תוספת של 3 מיני מיקרו אצות *Isochrysis*, *Pheodactylum tricornutum galbana*, *Tetraselmis sp.* (כל אצה בנפרד) באחוזים שונים (5%, 10%, 15%). בשנה השנייה ביצענו 2 ניסויים כאשר תוצאות הניסוי הראשון מצביעות על השפעה חיובית של מתן האצה בריכוזים הגבוהים יותר על קצב גדילת הדגים ועל תכולת החלבון בבשר.

3. רקע קצר ותיאור הבעיה

דג הבורי הוא אחד משלושת המינים העיקריים מדגי המאכל גדלים בישראל ונחשב לדג איכותי יחסית. כמו-כן שוק דגי הבורי בארצות שכנות (בעיקר במצרים) גדול בהרבה מזה שבישראל ופיתוחים עתידיים בדג זה עשויים לתרום לכלכלת הענף. דגים אלה גדלים כיום בבריכות מעורבות וללא דיאטה ספציפית – עובדה שמעידה על פוטנציאל לשיפור יעילות ואיכות הייצור שלהם. ברוב המקרים, דגי מאכל המשמשים כגידול בחקלאות מים מקבלים תזונה המתאימה להם אבל בגלל שיטות הגידול בארץ (וגם מחוצה לה) דגי הבורי ניזונים משריי המזון הניתנים לדגים שחולקים איתם את בריכת הגידול (אמנונים או קרפיונים).

המחקר הנוכחי מציע מערך ניסויים אשר יבחנו את השפעת מיקרו אצות כתוסף מזון לשיפור הגדילה בדגי בורי וכצעד ראשון בפיתוח תזונה המתאימה ספציפית לדגים אלה.

4. מטרות המחקר כפי שהופיעו בתוכנית המקורית

מטרת המחקר הכללית היא שיפור מדדי הגדילה בדגי בורי ע"י שימוש במיקרו אצות כחלופה חלקית לקמח דגים וכתוסף מזון. דגי בורי הם מועמד מעניין במיוחד למחקר זה משלוש סיבות עיקריות: 1. דג הבורי הוא דג חשוב בשוק בישראלי ודג מרכזי בשוק המצרי ולכן הוא מייצג פוטנציאל כלכלי גדול. 2. לדג הבורי אין נכון להיום פורמולציה ייעודית למזון. 3. דגי בורי ניזונים בטבע בעיקר מחומר צמחי הכולל אצות ולכן שימוש באצות רלוונטי הרבה יותר לדגים אלה מדגי מאכל אחרים.

מטרות ספציפיות:

1. השפעת שילוב שלוש מיני של אצות *Isochrysis galbana*, *Tetraselmis sp.* ו-*Pheodactylum tricornutum* (כל אצה בנפרד) באחוזים שונים (5%, 10%, 15%) בהרכב התזונה של דגי בורי (לאחר גמילה ממזון חי) על מדדי גדילה, קרי: קצב גדילה, משקל, ויחסי התמרת המזון (FCR).
2. השפעת שילוב האצות הנ"ל בהרכב התזונתי של דגי בורי על נעילות המזון
3. השפעת שילוב האצות הנ"ל בהרכב התזונתי של דגי בורי על תכולה ביוכימית ופרופיל חומצות שומן בדג.

5. מהלך המחקר ושיטות העבודה תכנון לעומת ביצוע לפי פירוט המשימות

א. ניסוי הזנה באצה *Isochrysis galbana*: האצה יוצרה ע"י ד"ר נעמה סגל וצוותה במלח"י כמתוכנן ועברה למו"פ (האצה היבשה מאוחסנת בהקפאה). ב 31.12.23 אוכלסה המערכת ב כ 800 דגי בורי ממכון הרבייה שבקיבוץ מעגן מיכאל, במשקל ממוצע של 2.8 גרם. הדגים עברו אקלימציה למליחות נמוכה מ 28 PPT ל 4 PPT במשך מספר שעות ואז הועברו למערכת. הדגים חולקו בין 12 מערכות הגידול לפי משקל במספר ממוצע כולל של 183 גרם (ממוצע של 67 דגים). הדגים הוזנו במזון סטרטר בכמות עודפת (10 גרם מזון למערכת). אחוזי התמותה של הדגים היו נמוכים ועמדו על 6% לאורך כל תקופת הניסוי. ניסוי ההזנה החל ב 28.1.24 לאחר התאקלמות הדגים ועצירת התמותה. מספר דגים הועברו למערכות אחרות כדי להשוות ככל שניתן את המסה הכוללת של דגים במערכות הגידול. הדגים הוזנו ב 4 טיפולים שונים וב 3

חזרות: מזון סטרטר בלבד, מזון סטרטר בתוספת 5%, 10% ו-15%. האצה המיובשת עורבבה עם המזון. הדגים הוזנו במנות קטנות כ 3 פעמים ביום במשקל כולל של 10 גרם למערכת. כמות המזון שנותרה בסוף כל יום נשקלה ובמידה ולא נותר מזון עודף במשך 3 ימים ברציפות, העלינו את כמות המזון לכל המערכות. בסופו של הניסוי ב 28.4.23 כמות המזון הגיעה ל 25 גרם למערכת גידול. אחת ל 10-7 ימים בוצעה שקילה מדגמית של 10 דגים מכל מערכת (120 דגים סה"כ). הדגים נשקלו 11 פעמים לאורך כל תקופת הניסוי. תוצאות השקילות נבחנו סטטיסטית ע"י מבחן repeated measures ANOVA כדי לקבוע מובהקות סטטיסטית בין הטיפולים השונים לאורך כל הניסוי ($\alpha=0.05$).

ב. אנליזות: בתום הניסוי הוקרבו 4 דגים מכל טיפול לביצוע אנליזות של תכולת חלבון, ליפידים ואפר (ash). האנליזות בוצעו ע"י ד"ר ליאור גוטמן במעבדות מלח"י לפי השיטות הבאות: ייבוש הדוגמאות ב 105°C ל 12 שעות ושקילה של כמות החומר היבש שהתקבל. תכולת חלבון נבדקה על ידי מדידה של כמות חנקן קלדהל בדוגמא היבשה על פי פרוטוקול מוצע של AOAC (1980) וחישוב כמות חלבון תוך התחשבות בפקטור המרה מוצע של 5.45 (Shuuluka et al., 2013). תכולת ליפידים בדגימה נמדדה לפי Folch et al. (1957) לאחר מיצוי בכלרופורם-מתנול. הדגימות עברו הומוגניזציה למשך 5 דקות ויובשו בוואקום. אפר נמדד לאחר שריפה של החומר היבש ב 550°C למשך 6 שעות ושקילה של האפר (APHA, 2000). כמות הפחמימות חושבה לאחר הפחתה של כל יתר המרכיבים שלעיל ממשקל החומר היבש.

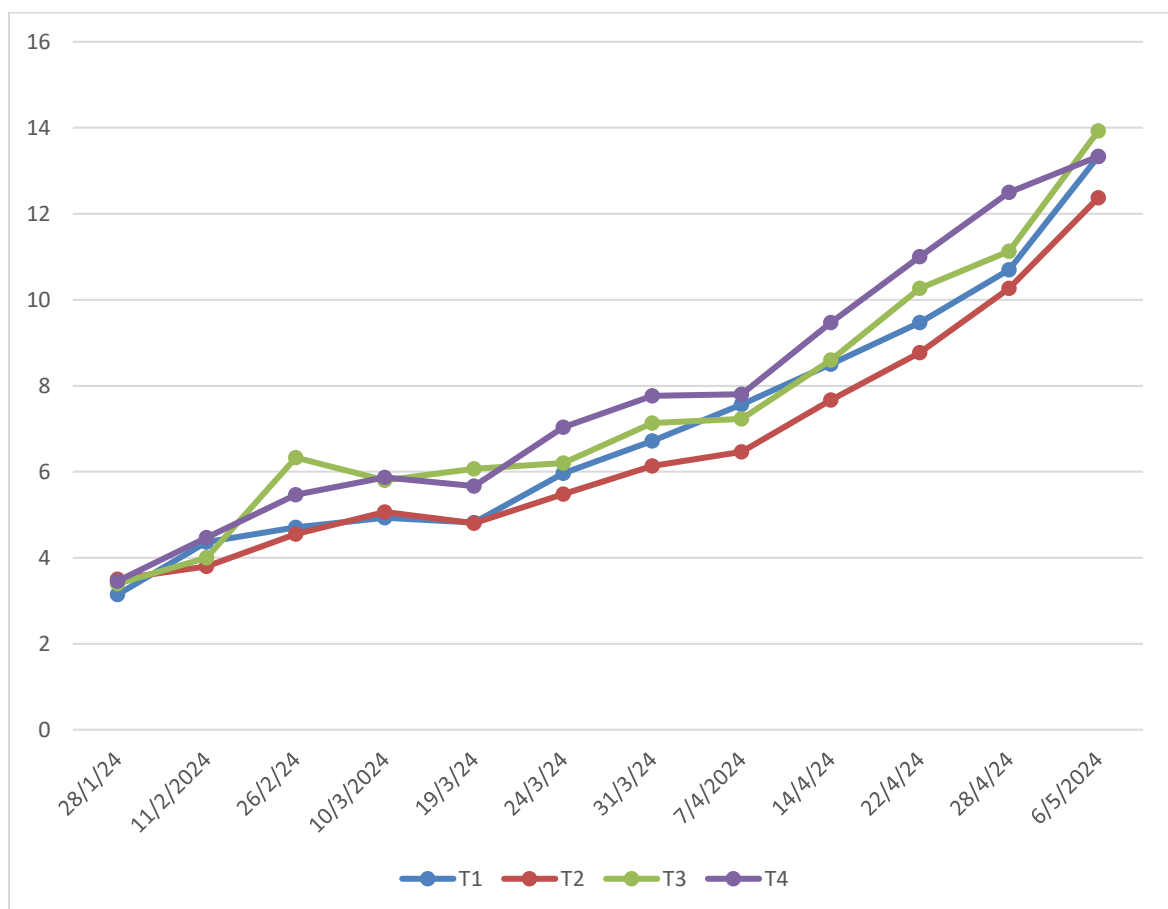
ג. ניסוי הזנה באצה *Tetraselmis sp*, כ 50 דגיגים (ערדג) במשקל ממוצע של 1.12 גרם אוכלסו בכל 12 מערכות הגידול. הניסוי החל ב 14.10.24 לאחר אקלימיציה של שבועיים ומתוכנן להימשך עד הגעת הדגיגים לפחות למשקל ממוצע של 4 גרם (קצב הגדילה של דגים בחורף איטי בהרבה ולכן משך הניסוי ארוך יותר). לאורך כל הניסוי נמדדו ריכוזים של אמוניה ניטריט וניטרט כדי לוודא פעילות תקינה של הפילטר הביולוגי (אחת לשבוע). בנוסף נמדדה טמפרטורת המים לפחות אחת ליום. בשונה מהניסוי הקודם, מזון הדגים הוכן ע"י תערובת של האצה היבשה באחוזים הנ"ל (למעט הביקורת), מזון הבסיס היבש ומים (ביחס של יחידת מים לשתי יחידות מזון) עד לקבלת עיסה צמיגית. עיסה זו נטחנה ע"י מטחנת בשר חשמלית והמזון המעורבב יובש בשמש או באינקובטור בטמפרטורה של 35 מע"צ. זאת כדי לאפשר הנגשה יעילה יותר של המזון לדגיגים. המזון עבר פירור לכופתיות וניתן לדגיגים. בשאר הפרמטרים הניסויי זהה לזה שנעשה באצה *Isochrysis galbana*.

6. תוצאות ביניים לפי המשימות שהוגדרו בתוכנית המקורית לאותה שנת דיווח או לכל השנים בדוח

המסכם, כולל איורים ותיאורים גרפיים במידת הצורך.

א. ניסוי הזנה באצה *Isochrysis galbana*:

קצב גדילה: משקל הדגים הממוצע הסופי של כל הטיפולים עמד על 13.24 גרם כאשר המשקל הסופי המקסימלי היה בטיפול 3 (10% תוספת של אצה) והגיע ל 13.9 גרם, המשקל הנמוך ביותר אליו הגיעו הדגים בסוף הניסוי היה בטיפול 2 והיה 12.37 גרם (איור 1). למרות דמיון המשקלים בסופו של הניסוי, המבחן הסטטיסטי הראה הבדלים מובהקים ($p < 0.05$) בין הטיפולים בהתחשב בכל המדידות שבוצעו לאורך הניסוי, לדוגמה: משקל הדגים בטיפול 2 (5% תוספת אצה) היה הנמוך מכול הטיפולים באופן מובהק ומשקל הדגים בטיפול 4 (15% תוספת אצה) היה גבוה באופן מובהק מטיפולים 1 ו 2 (ללא אצה) לאורך הניסוי אך לא שונה מטיפול 3 (טבלה 1).



איור 1: משקלי הדגים הממוצעים (מכל החזרות) מ 4 טיפולים לאורך כל תקופת הניסוי.

טבלה 1: תוצאות מבחן פוסט-הוק המראה את מובהקות ההבדלים בין הטיפולים השונים, צבע אדום = הבדל סטטיסטי מובהק, צבע ירוק = אין הבדל מובהק.

P<<0.05		Results of post-hoc repeated measures ANOVA			
T1	T2	T3	Group		
0.82	1.25	0.33	T4		
0.48	0.92	0	T3		
0.43	0	0.92	T2		
Green = no difference					

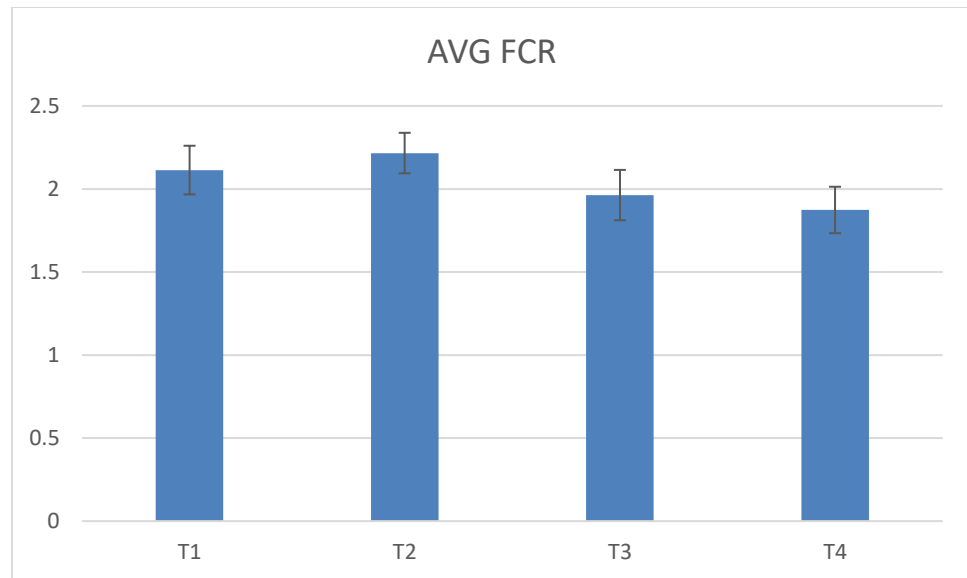
ב. אנליזות:

טבלה 2: אנליזה של תכולה ביוכימית של הדגים לאחר הזנה הראתה השפעה מסוימת של רמת האצות במזון. רמת חלבון ברקמת הדג עלתה עם העלייה בתכולת האצות במזון תוך ירידה קורלטיבית ברמת הפחמימות (ככל שתכולת האצה גבוהה יותר). עם זאת, למרות שהמדובר במיקרואצות בעלות תכולת ליפידים גבוהה, העלייה בתכולת האצה במזון לא השפיעה על תכולת השומן בדג ואף הייתה נמוכה ביותר בדיאטה עתירת האצות (15% טיפול 4).

Algae content in the feed (in %)	0	5	10	15
Protein	51.78±1.54	55.55±0.46	55.22±1.11	58.4±0.02
Lipids	30.5±0.49	29.56±0.26	30.04±1.36	27.08±1.24
Carbohydrates	3.83±1.82	1.12±0.57	0.89±0.39	0.41±0.1
Ash	13.9±0.21	13.78±0.77	13.86±0.54	14.96±0.21
Moisture	29.19±1.54	29.13±0.93	28.4±0.1	27.88±0.59

ג. שיעור התמרת המזון – FCR

שיעור התמרת המזון בדגי הניסוי היה בטווחים ממוצעים (לפי כל המדידות שנעשו) של 1.87 – 2.1. כאשר שיעור התמרת המזון הנמוך ביותר ולכן גם היעיל ביותר היה בדגים שקיבלו את תוספת האצות הגדולה ביותר (15%) (איור 2). עם זאת, המבחן הסטטיסטי (one way ANOVA) הראה כי אין מובהקות סטטיסטית בהבדלים בין הטיפולים ($p=0.29$).



איור 2: שיעור התמרת המזון הממוצע של הדגים בארבעת הטיפולים השונים.

7. דיון: הכולל מסקנות והשלכותיהן על המשך ביצוע המחקר או סיומו, תוך השוואה לסקר ספרות

שקיימת.

תוצאות הניסוי הראשון מהוות אינדיקציה ראשונית חיובית על השפעת דיאטת האצות על גדילת דגי בורי ועל תכולת החלבונים והליפידים. תוצאות אלה מוגבלות בוודאותן משתי סיבות: תוצאות קצב הגדילה עשויות להיות מושפעות משינוי קל בטמפרטורת המים שנובע מגרדיאנט של הטמפרטורה העולה ככל שמיכלים קרובים יותר לקצה הדרומי של החממה בגלל חשיפה מוגברת לשמש. בניסוי השני שעדיין מתקיים מדדנו את טמפרטורת המים באופן רציף ונציג את התוצאות בדוח הבא. עובדה מוכחת היא שלטמפרטורה יש השפעה משמעותית על קצב הגידול ולכן הגידול החיובי שנראה בדגים שקיבלו את תוספי האצה הרבים ביותר (10% ו 15%) יכול להיות משוייך לפחות בחלקו לטמפרטורה גבוהה יותר במיכלים אלה (הקרובים לצד החם יותר של המבנה). בניסוי השלישי המתוכנן נבצע פיזור שונה של הדגים כדי לבטל את ההשפעה האפשרית של טמפרטורת המים על גדילת הדגים. בנוסף, אופן מתן המזון היה יעיל בחלקו כיוון שחלק מהאצות לא נאכלו ע"י הדגים בגלל שאבקת האצות היבשה עורבבה עם המזון היבש. בניסוי 2 ייצור הכופתיות (ראה שיטות) שיפר את יעילות ההזנה.

שיעור התמרת המזון היה הנמוך ביותר בטיפול 4 בו קיבלו הדגים את תוספת האצה הגבוהה ביותר, אך לתוצאה זו לא הייתה מובהקות סטטיסטית. למרות זאת, יש משמעות לתוצאה זו בהתחשב בתוצאות האחרות שהתקבלו (קרי, קצב הגדילה ותכולת החלבון). השפעת תוספי האצות השונות בניסויים הבאים תוסיף לוודאות תוצאה זו. בניסוי 2, אנו מודדים את הכמות המדויקת של המזון הניתן לדגים ע"י

שקילת שארית המזון בסופו של כל יום ולכן אנו מצפים לתוצאות ברורות יותר בנוגע ליעילות התמרת המזון. לפרמטר זה יש משמעות כלכלית מכרעת כיוון ששיעור התמרת מזון נמוך משמעו חסכון בהוצאות המגדלים בגלל צורך מופחת בכמות המזון הניתנת לדגים.

האנליזות שבוצעו מראות על הבדלים ניכרים בעיקר בין הטיפול עם תכולת האצה הגבוהה ביותר (15%) לשאר הטיפולים בתכולת החלבון (הגבוהה) ותכולת הליפידים (הנמוכה) אך בגלל מגבלות מעבדה לא ניתן היה לבצע חזרות בבדיקה ולכן אין אפשרות לבצע מבחן סטטיסטי. בניסוי 2 נבצע בדיקות מקיפות יותר, נשווה את התוצאות כנגד אלה שהתקבלו בניסוי 1 ונדון בתוצאות אלה בהרחבה.

רשימת ספרות

- AOAC (1980). Method 16193, Semimicro-Kjeldahl. Official Methods of Analysis of AOAC.
- APHA (2000) Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater. 15th Edition, American Public Health Association and Water Pollution Control Federation, Washington DC, 12-56.

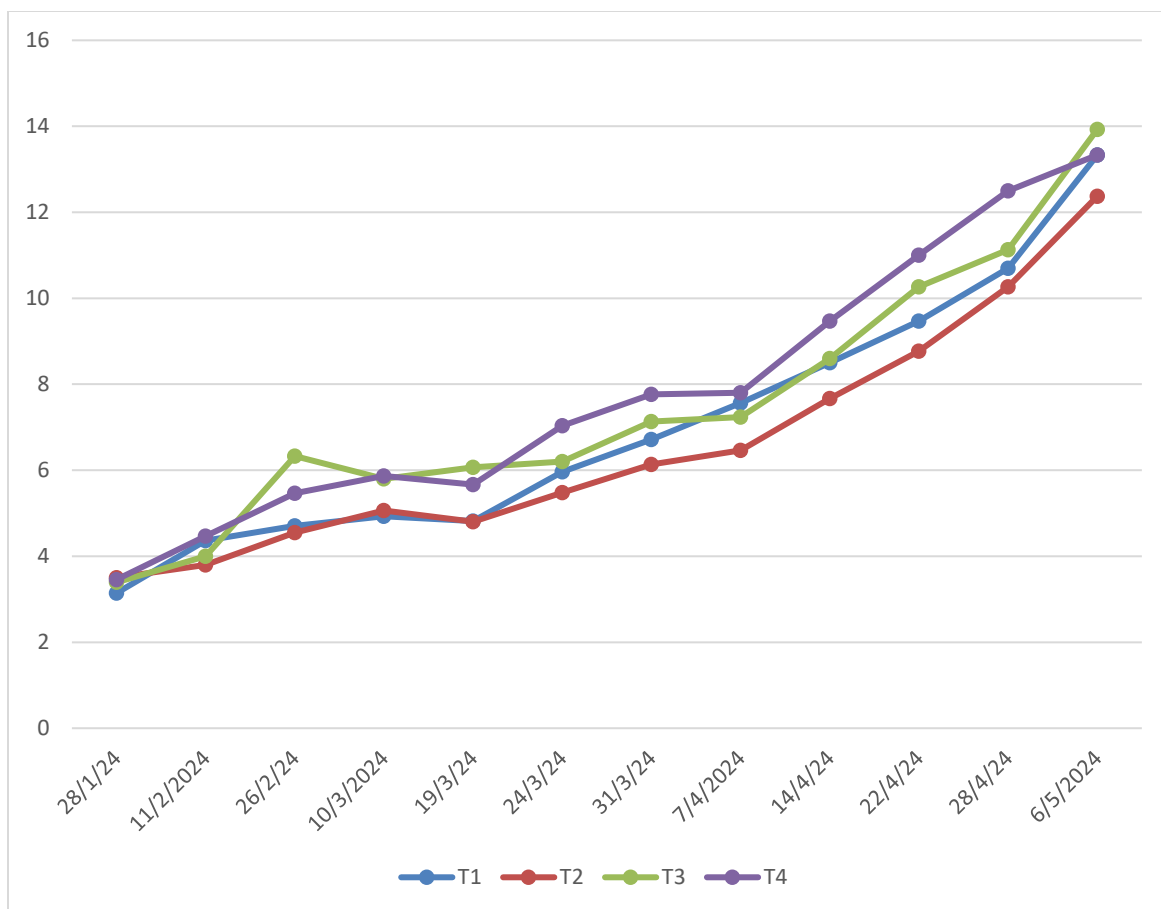
8. סיכום עם שאלות מנחות

פירוט עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדוח

ניסוי 1 בוצע, ניסוי 2 מבוצע כעת עם צפי לסיום במרץ 25

א. ניסוי הזנה באצה *Isochrysis galbana*:

קצב גדילה: משקל הדגים הממוצע הסופי של כל הטיפולים עמד על 13.24 גרם כאשר המשקל הסופי המקסימלי היה בטיפול 3 (10% תוספת של אצה) והגיע ל 13.9 גרם, המשקל הנמוך ביותר אליו הגיעו הדגים בסוף הניסוי היה בטיפול 2 והיה 12.37 גרם (איור 1). למרות דמיון המשקלים בסופו של הניסוי, המבחן הסטטיסטי הראה הבדלים מובהקים ($p < 0.05$) בין הטיפולים בהתחשב בכל המדידות שבוצעו לאורך הניסוי, לדוגמה: משקל הדגים בטיפול 2 (5% תוספת אצה) היה הנמוך מכול הטיפולים באופן מובהק ומשקל הדגים בטיפול 4 (15% תוספת אצה) היה גבוה באופן מובהק מטיפולים 1 ו 2 (ללא אצה) לאורך הניסוי אך לא שונה מטיפול 3 (טבלה 1).



איור 1: משקלי הדגים הממוצעים (מכל החזרות) מ 4 טיפולים לאורך כל תקופת הניסוי.

טבלה 1: תוצאות מבחן פוסט-הוק המראה את מובהקות ההבדלים בין הטיפולים השונים, צבע אדום = הבדל סטטיסטי מובהק, צבע ירוק = אין הבדל מובהק.

P<<0.05		Results of post-hoc repeated measures ANOVA				
T1	T2	T3	Group			
0.82	1.25	0.33	T4			
0.48	0.92	0	T3			
0.43	0	0.92	T2			
Green = no difference						

ב. אנליזות:

טבלה 2: אנליזה של תכולה ביוכימית של הדגים לאחר הזנה הראתה השפעה מסוימת של רמת האצות במזון. רמת חלבון ברקמת הדג עלתה עם העלייה בתכולת האצות במזון תוך ירידה קורלטיבית ברמת הפחמימות (ככל שתכולת האצה גבוהה יותר). עם זאת, למרות שהמדובר במיקרואצות בעלות תכולת ליפידים גבוהה, העלייה

בתכולת האצה במזון לא השפיעה על תכולת השומן בדג ואף הייתה נמוכה ביותר בדיאטה עתירת האצות (15% טיפול 4).

Algae content in the feed (in %)	0	5	10	15
Protein	51.78±1.54	55.55±0.46	55.22±1.11	58.4±0.02
Lipids	30.5±0.49	29.56±0.26	30.04±1.36	27.08±1.24
Carbohydrates	3.83±1.82	1.12±0.57	0.89±0.39	0.41±0.1
Ash	13.9±0.21	13.78±0.77	13.86±0.54	14.96±0.21
Moisture	29.19±1.54	29.13±0.93	28.4±0.1	27.88±0.59

בהתאם להצעה המקיפה, ציין מה התבצע מתוך טבלת המשימות ואבני הדרך

סיום ניסוי 1 – בוצע

אנליזות ניסוי 1 – בוצע

ניתוח תוצאות ניסוי 1 - בוצע

ייצור 4.5 ק"ג יבש של מיקרו-אצה - בוצע

סיום ניסוי 2 – הניסוי בשלבי סיום, מתוכנן להסתיים במרץ 25

אנליזות ניסוי 2 – יבוצעו לאחר סיום ניסוי 2

ניתוח תוצאות 2- יבוצע לאחר סיום ניסוי

פירוט כיצד הושגו מטרות המחקר בתקופת הדוח או חלק מהן

בשנה זו התבצעו שני ניסויים מתוך שלושה מתוכננים. כמו-כן, בוצע ניתוח תוצאות וחישוב שיעור התמרת המזון ובוצעו אנליזות לבחינת הרכב החלבון, ליפידים, קרבוהידרטים ואפר בדגים לפי ארבעת הטיפולים השונים. לא בוצע מבחן יעילות עיכול חלבון בגלל הקושי הטכני באיסוף פסולת הדגים.

הגדרת היעדים הכמותיים למחקר והיעדים היישומיים למחקר אשר הושגו לתקופת המחקר

ראה אבני דרך

מהן המסקנות המדעיות ומהן ההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו

תוצאות הניסוי הראשון מצביעות על השפעה חיובית של הזנת הדגיגים בתוספת אצה במיוחד בקצב הגדילה ותכולת החלבון בדגים. דרושים ניסויים נוספים כדי לקבל וודאות גדולה יותר במסקנות המחקר. בנוסף, יש חשיבות לסוגי האצה השונים ואנו צופים הבדלים בתוצאות לגבי כל אחד מ 3 מיני האצה שייבחנו.

מהן הבעיות שנותרו לפתרון ואו שינויים טכנולוגיים שיווקיים ואחרים שחלו במהלך העבודה ומה

אמורה להיות התייחסותך להמשך

הניסוי הראשון חשף מספר אתגרים הכוללים: שיטת ההזנה ששונתה לכופתיות במקום אבקה, השפעה אפשרית של משרע טמפרטורות שונה בין המיכלים שיביא אותנו לשינוי במערך פיזור הדגיגים בניסוי השלישי והקושי הטכני באיסוף הפרשות הדגיגים שמנע מאיתנו לבצע את בדיקת יעילות נעילות המזון בדגים (לאתגר זה לא נוכל לספק פתרון בזמן שנותר למחקר).

פעילויות שנעשו במו"פ במהלך תקופה (סיורים, ביקורים, הרצאות, כינוסים, פיתוחים חדשים וכו')

בוצעו מספר סיורים והסברים על המערכת לאנשי משרד החקלאות כולל לשר החקלאות שביקר במתקן הגידול, קק"ל, חברי הנהלת המו"פ, חוקרים סטודנטים ומבקרים.

פרסומים בעיתונות מבוקרת או בעיתונות בעברית שנבעו מהמחקר

פורסמה כתבה על מחקר זה ואחרים באתר המועצה האזורית.

ציון השפעת המחקר על כלכלת החקלאות באזור, או תרומה מעשית למארג האגרו-אקולוגי באזור

יישום של שיטות הגידול הנבחרות בחלקן במחקר זה עשויות לשפר את הרווחיות בגידול דג חשוב זה ע"י שיפור תזונת הדג שכרגע אין לו דיאטה מסחרית ספציפית ועידוד גידול הדגים במונוקולטורה בניגוד לשיטה שמיושמת כיום.

עם אילו מו"פים נוספים מתוכנן שת"פ במחקר הנוכחי או בעתיד כהמשך למחקר הנידון

שיתוף הפעולה נעשה עם שני חוקרי מלח"י, ד"ר נעמה סגל שאחראית על ייצור האצות וד"ר ליאור גוטמן שיבצע את האנליזות המתוכננות בתום כל ניסוי.

המלצות להמשך המחקר או שינוי במחקר

השינוי העקרי הוא ביצוע שני ניסויים ב 2024 במקום ניסוי אחד.

פטנטים שנבעו מהמחקר

אין פטנטים