

דו"ח סופי לתכנית המחקר מספר 20-04-0056

התאמות לשיפור דיאטות המזון של דגי ברמונדי *Lates calcarifer*

(דגים ממוצא ימי) במדגה מים מתוקים על מנת לשפר ביצועי גדילה

Improving diets for the Asian sea bass (*Lates calcarifer*) reared in freshwater by the addition of minerals.

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

על ידי

פרופ' שגיא הרפז	המחלקה לעופות ומדגה מינהל המחקר החקלאי
ד"ר יעקב בירן	המחלקה לעופות ומדגה מינהל המחקר החקלאי
גברת זיגי וינטרס	מו"פ ערבה תיכונה וצפונית

Sheenan Harpaz Department of poultry and aquaculture ARO

Jakob Biran Department of poultry and aquaculture ARO

Siggi Winters Aquaculture unit Arava R&D

תקציר

המזון מהווה את המרכיב העיקרי בהוצאות השוטפות של גידול דגים. ההוצאה על מזון יכולה להגיע עד כדי 60% מכלל עלות הגידול. לפיכך כל חיסכון בעלויות המזון שיבוא מהגדלת יעילות ההזנה יתבטא בחיסכון משמעותי בעלויות הגידול ובמקביל הקטנת הזיהום לסביבה הנגרם מהפרשת חנקות בתהליך פירוק חלבונים על ידי הדגים. בתנאי המדגה בארץ מגודלים במים מתוקים מיני דגים שהינם במקור ממוצא ימי (כלומר מוטלים בים) כגון דג הברמונדי (*Lates calcarifer*) שהינו דג מבוקש ובעל קצב גדילה מרשים. המעבר ממי ים למים מתוקים כרוך במחסור במינרלים חיוניים כגון אשלגן וגופרית שרמתם במים המתוקים נמוכה ביותר ומחסור בהם עלול לגרום לפגיעה בגדילה ובעיקר קטבוליזם של חומצות אמינו חיוניות המכילות קצה גופרתי על מנת לספק את המחסור בגופרית, דוגמא לכך הינה מתיונין שהינה חומצת אמינו חיונית ומכילה קצה גופריתי. נמצא כי מי הערבה מכילים רמה גבוהה ביותר של גופרית - 580 מ"ג/ליטר של גופרית לעומת 22 מ"ג/ליטר במי המחלקה למדגה במינהל המחקר החקלאי. במהלך שנת המחקר הראשונה גודלו במקביל דגי ברמונדי במקביל בערבה ובמינהל המחקר החקלאי. נבדקו קצב הגדילה בעת הזנת הדגים במזון ביקורת ללא מינרלים מוספים לעומת אותו המזון שהכיל מינרלים מוספים (בעיקר גופרית). נמצא כי בערבה לא היה הבדל בגדילה של הדגים שהוזנו במזון שהכיל מינרלים מוספים ברמה של 1 ו 2.5% וככל הנראה המחסור בגופרית נמנע עקב קליטת הגופרית ישירות מן המים. לעומת זאת הדגים שגודלו במחלקה למדגה במים עניים בגופרית הראו קצב גדילה גבוה יותר ויחס היפוך מזון (FCR) משופר יותר בעת הזנתם במזון שהכיל מינרלים מוספים. תוצאות אלה תואמות את הנחות היסוד שהובילו למחקר זה ומבססות את ההשערה שבמים מתוקים עם רמת גופרית נמוכה (כמו רוב מי המדגה בארץ) יש צורך להוסיף גופרית לדיאטת הדגים או להגדיל את כמות החומצה האמינית החיונית מתיונין בדיאטה. במהלך המחקר בוצעו ניסויים עם דגים בגדלים שונים, בהם הוספו רמות שונות של מתיונין לדיאטות שונות של הדגים וכן רמות שונות של תוספת מינרל שהכיל גופרית ברמה גבוהה. התוצאות הראו חד משמעית שניתן לשפר את גדילת הדגים, במים מתוקים, ע"י תוספת מתיונין או גופרית ברמה של 2%. מאחר והמינרל העשיר בגופרית זול באופן משמעותי יותר לעומת מחיר החומצה האמינית מתיונין הרי שפתרון זה מוזיל את עלות המזון עבור הדגים.

תוכן עניינים

1	.....	כותרת ותקציר
3	.....	מבוא
5	.....	מטרות המחקר
5	.....	תיאור מקיף של העבודה הניסויית שבוצעה
11	.....	סיכום טבלאות תוצאות הניסויים שבוצעו במהלך המחקר
16	.....	דיון
18	.....	ספרות
20	.....	נספח

מבוא

דיאטות המזון שפותחו עבור דגי ים אשר בארץ מגודלים במים מתוקים פותחו בהנחה שהדגים גדלים במי ים ויכולים לקלוט מינרלים חיוניים ישירות מן המים ועל כן חלק מהמינרלים להם הדגים זקוקים לגדילה והתפתחות נאותים יבואו ממי הים בהם הדגים יגודלו. נוסחאות המזון המשמשות להזנת דגים אלה במשקי המדגה בארץ מבוססות על נוסחאות שפותחו בארצות בהם הדגים מגודלים במי ים (Coloso et al., 1999; Williams et al., 2002) ועל כן לא היה צורך להוסיף מינרלים אלה. בתנאי מדגה מים מתוקים (או מליחים) הנהוגים בארץ יש מחסור בשני מינרלים חשובים: אשלגן וגופרית שריכוזם במי ים גבוה ביותר ושאותם חשוב להוסיף למזון הדגים הגדלים במים מתוקים על מנת למנוע נזקים הנובעים ממחסור בהם.

אשלגן (K = potassium) הוא האלקטרוליט החשוב ביותר בדגים כמו גם בבעלי חיים אחרים (כולל בני אדם). האשלגן הוא מינרל חשוב וחיוני להשרדותו ולתפקודו של כל תא חי. חשיבותו נובעת מתפקודו בהפעלת משאבת היונים Na^+/K^+ ATPase ותעלות אשלגן האחראיות למעבר חומרים בתאים.

גופרית (Sulfur או Sulphur): מבחינת כמות, גופרית הוא המינרל השלישי בשכיחותו בגוף הדגים, אחרי סידן וזרחן. כמות מכובדת של גופרית בדגים מקורה בחלבונים ומחומצות האמינו בעלות קצה גופריתי. ישנן שתי חומצות אמיניות המכילות גופרית – מתיונין וציסטאין. מתיונין הינה חומצה אמינית הכרחית. ח. האמינו ציסטאין יכולה להיווצר בגוף בעזרת חיידקי המיקרוביום, אם יש די גופרית במזון. כמחצית מכמות הגופרית שבגוף מצויה בשרירים, בעור ובעצמות. גם במיתרים וברצועות בגוף יש חלבון המכיל גופרית, המעניק להם גמישות. בנוסף לחלבונים, גופרית דרושה גם למבנה ולפעילות של אנזימים. מחסור בגופרית יגרום לפגיעה בתפקוד אנזימים ולשורת בעיות מטבוליות.

שני גורמים עיקריים קובעים את כמות המינרלים בגוף הדגים: כמות המינרלים במזון/מים ורמת הספיגה שלהם במעי.

מיני דגים שונים מגודלים במליחיות מים והרכב מינרלים השונים מאשר בסביבתם הטבעית. העברת הדגים ממי ים למים מתוקים מהווה עקה אקוטית בעלת השפעה שיכולה להיות גם מידית על בריאות הדג וגם ארוכת טווח כתוצאה מפגיעה באברים ורקמות, וכתוצאה מכך גם בתפקודים פיזיולוגיים. במהלך גדילתם במים מתוקים הדגים נמצאים תחת עקה אוסמוטית כרונית, ומשלמים מחיר אנרגטי בגין דרישות אוסמורגולטוריות דבר זה בא לידי ביטוי בין היתר ברמת צריכת המזון, כמו גם ביעילות יחס היפוך המזון לרקמות המוכר כ- $\text{FCR}=\text{Feed}$

(Conversion Ratio) ובקצב הגדילה של הדגים. על כן יש צורך בפיתוח פתרונות שיאפשרו גדילה מיטבית למרות תנאי הסביבה. אחת הדרכים להקטנת העקה ובהתגברות על חסרים הינה באמצעות תוספת מינרלים למזון. דג הברמונדי מתרבה במי ים ולכן ציינו שמוצאו ימי. נכון הוא שדג זה הינו קטדרומי כלומר מתרבה בים ומסוגל לחדור באופן טבעי למים מתוקים בעיקר בשפכי הנהרות. רמת הגופרית במי הים או במפגש הנחלים עם מי הים (מים מליחים) הינה גבוהה ובהם אין בעיה של מחסור בגופרית. המעבר לגידול הדג במים מתוקים בהם יש מחסור בגופרית הוא הבעייתי.

מחקרים שונים הראו שקיימת השפעה ניכרת לכמות המלח במזון על גדילת הדגים ועל ניצולת המזון, בדגים ממוצא ימי המגודלים במים שבהם מליחות נמוכה כמו בעת גידול דג הברמונדי בתנאי המדגה בארץ (Cnaani et al., 2012; Hallali et al., 2018). רמת המלח משפיעה הן על הפעילות האנזימטית בסיסי המעי והן על אוכלוסיית חיידקי המיקרוביום הנמצאת במעי (Koku et al., 2019; Sun et al., 2013). חולייתנים ובהם הדגים אינם מסוגלים ל"יצר" ח. אמינו חיוניות. יחד עם זאת חיידקים החיים במערכות העיכול של הדגים (במסגרת המיקרוביום של הדגים) מסוגלים לבצע זאת. הדגים יכולים אם כן ל"הנות" מפעילות החיידקים החיים במערכות העיכול שלהם. רבים מהנשאים במעי המעורבים בספיגת נוטריינטים כגון חומצות אמיניות ופפטידים תלויים בפעילותם בריכוזי מלחים או מינרלים שונים, רמת החומציות, נוכחות וכמות המזון, ריכוזי מטבוליטים ופוטנציאל חשמלי. כאשר אלה מושפעים כמובן מהסביבה המימית בה חי הדג וכמובן הרכב המזון.

מבין חומצות האמינו הדרושות לדגים יש שתי חומצות המכילות קצה גופריתי ואלה הינן חומצות האמינו מתיונין וצסטאין. מחקר שנערך עם דגיגי ברמונדי, בחן רמות שונות של הוספת מתיונין למזון הדגים והגיע למסקנה שהרמה האופטימלית של חומצות אמינו בעלות קצה גופריתי הדרושה לדגים אלה הייתה 13.4 גרם לק"ג מזון או 2.9% מסך החלבון שניתן לדגים (Coloso et al., 1999). מחקר שנערך לאחרונה (Poppi et al., 2017) בדק מחדש קביעה זו והגיע למסקנה שהערכים הדרושים לדגיגי ברמונדי גבוהים בחמישים אחוז וקרובים יותר ל- 20 גרם לק"ג מזון. ככל הנראה במים מתוקים בהם ריכוז הגופרית נמוך בהרבה ואין לדגים אפשרות לקלוט גופרית מהמים, יש צורך בהגדלת כמויות הגופרית במזון או להגדיל את רמת ח. האמינו מתיונין. מחסור בח. אמינו זו יכול להיות חריף יותר בעת מצב של מחסור בגופרית במזון ובמים מתוקים שהינם בד"כ נטולי רמות גבוהות של גופרית. במצב כזה עלולים הדגים לבצע קטבוליזם של חומצות אמינו בעלות קצה גופריתי ובכך לפגוע בגדילה.

מטרות המחקר היו בחינת רמות המתיונין הדרושות לדגים הגדלים במים מתוקים תוך התחשבות ביכולת הקליטה של גופרית מן המים על ידי הדגים.

מטרות המחקר כפי שהוצגו בתכנית המחקר

- ❖ שיפור ההזנה והגדילה של דגים ממוצא ימי באמצעות שימוש מושכל בתוסף מינרלי המכיל אשלגן וגופרית במינון שווה ערך לריכוזם במי ים.
- ❖ התאמת דיאטת המזון של ברמונדי - דג איכות ממוצא ימי לתנאי הגידול במים מתוקים/מליחים באמצעות בחינת הוספת מינרלים למזונם או קליטתם ממי הגידול.
- ❖ בחינת השפעת העשרת המזון במינון גבוה של מתיונין ו/או תוספי מינרלים ברמות שונות לדיאטת המזון על ספיגת מזון וביצועי גדילה בדגי ברמונדי.

תוצאות הניסויים בשנה הראשונה הראו שאכן גדילת הדגים במים עשירים בגופרית אינה משתפרת על ידי תוספת גופרית במזון. זאת לעומת מצב הפוך בעת גידול הדגים במים עניים בגופרית בהם תוספת מינרלים וגופרית הובילה לגדילה משופרת.

בהמשך המחקר בוצעו ניסויים בהם שונתה כמות החומצה האמינית מתיונין בדיאטת המזון במגמה לבחון עד כמה ניתן להפחית את כמות המתיונין במזון באמצעות הוספת גופרית שכן, מזון המכיל כמות גבוהה של מתיונין מוסף יהיה יקר בהרבה ממזון המכיל כמות גבוהה של גופרית על חשבון כמות המתיונין בדיאטה. במקביל ניתן יהיה לראות עד כמה ניתן בהיבט זה להסתמך על קליטת גופרית ישירות מהמים כדי לחסוך בכמות המתיונין בדיאטה.

תיאור מקיף של העבודה הניסויית שבוצעה

דגי הניסוי

במהלך העבודה הניסויית ולאורך השנים נרכשו כמה אלפי דגי ברמונדי ממדגרת קיבוץ מעגן מיכאל ועברו אקלום למים מתוקים בתנאי המעבדה לאורך שבועיים. לאחר שאוקלמו הדגים הם פוזרו באופן אקראי במיכלי הניסוי בערבה ובמחלקה למדגה.

מערכות הניסוי בערבה

ניסויי הגדילה בוצעו במתקן חקלאות המים במו"פ ערבה תיכונה וצפונית המצויד היטב לביצוע עבודה זו.

הדגים גודלו למשך 6 שבועות בצפיפות של דג לכל 10 ליטרים במערכות גידול סגורות ומסוחררות דרך פילטרים ביולוגיים. מבחני ההזנה בוצעו ב- 3 מערכות גידול שבכל אחת מהן 6 מכלים וביופילטר (סה"כ 18 מיכלי ניסוי). התקיימה בחינה בזמנית של 3 טיפולי הזנה ב 6 חזרות לכל טיפול. נפח כל מיכל גידול 400 ליטרים כל ששה מכלים מחוברים לביופילטר מרכזי בנפח 500 ליטרים. הדגים קיבלו מזון 3 פעמים ביום (בוקר צהרים ואחה"צ). בתחילת כל יום נשקלה כמות קבועה של מזון, בכל האכלה הדגים קיבלו מזון כל עוד עלו לאכול ובתום ההאכלה האחרונה נשקלה כמות המזון שנאכלה בפועל מידי יום.

שקילות וספירת כלל הדגים בכל מכלי המערכת נערכו אחת לשבועיים. נערך מעקב אחר ביצועי הגדילה של הדגים כולל צריכת מזון (FCR), קצבי גדילה ושרידה. במהלך כל ניסוי נבדקו באופן שוטף הפרמטרים הבאים: טמפרטורה, חמצן מומס, pH וכן רמת חנקות במים ונמצאו תואמים לערכים המיטביים עבור גדילה.

מערכות הניסוי במכון וולקני

הניסויים נערכו במערכות גידול סגורות ומסוחררות דרך פילטרים ביולוגיים – 6 מערכות גידול שבכל אחת מהן 6 מיכלים בנפח 200 ליטר המחוברים לביופילטר מרכזי בנפח 350 ליטרים. מערכת זו אפשרה בדיקה בזמנית של 6 טיפולים בשש חזרות כאשר בכל סט של ששה מיכלים קיימת חזרה אחת של כל אחד מהטיפולים. כל מיכל אוכלס ב-20 דגים (כלומר צפיפות גידול של דג ל 10 ליטרים).

הוכנו מזונות ע"י כפתות חומרי הגלם של מזון הביקורת בתוספת של 1%, 2%, 2.5%, 3% ו-3.5% תערובת מינרלים (פוליסולפאט) מתוצרת כימיקלים לישראל המכילה רמות אשלגן וגופרית ביחסים הדומים לריכוזם במי ים.

הדגיגים ששמשו בניסויי ההזנה הראשון היו דגיגים של דג הברמונדי (*Lates calcarifer*) במשקל תחילי ממוצע של כ-8 גרם. הדגיגים עברו אקלום למים מתוקים ולתנאי הגידול במערכות במשך כשבועיים טרם תחילת הניסוי. הדגיגים קיבלו מזון 3 פעמים ביום (בוקר צהרים ואחה"צ). בתחילת כל יום נשקלה כמות קבועה של מזון, בכל האכלה הדגים קיבלו מזון כל עוד עלו לאכול ובתום ההאכלה האחרונה נשקלה כמות המזון שנאכלה בפועל מידי יום. בדרך זו נמנע בזבז מזון אשר לא נאכל על ידי הדגים והיה יכול לעוות את ערכי יחס היפוך המזון.

שקילות וספירת כלל הדגים בכל מכלי המערכת נערכו אחת לשבועיים. נערך מעקב אחר ביצועי הגדילה של הדגים כולל צריכת מזון (FCR), קצבי גדילה ושרידה. במהלך כל ניסוי נבדקו באופן שוטף הפרמטרים הבאים: טמפרטורה, חמצן מומס, pH וכן רמת חנקות במים ונמצאו תואמים לערכים המיטביים עבור גדילה.

ניסוי גידול דגיגי ברמונדי לבחינת מינוני תוסף מינרלי למזון (לעומת ביקורת ללא התוספים) נערך במקביל למשך 6 שבועות בערבה ובמחלקה למדגה במכון וולקני

מזונות הניסוי

המזון אשר שימש בניסויי ההזנה עם דגיגי ברמונדי היה מזון מסחרי של חברת ביומר הנחשב למזון הטוב ביותר לדגים אלה (ראה פירוט מרכיבי המזון בהמשך) הוכנו מזונות הניסוי בתוספת המינרלים במינונים שונים המינונים שהוספו למזון היו: במזון שניתן בערבה - 0, 1, 2.5 אחוזים. במזון שניתן במחלקה בוולקני – 0, 1, 2, 2.5, 3, 3.5 אחוזים.

מרכיבי מזון ביומר (BioMar) גודל כופתית 1.9 מ"מ בתכולה:

חלבון 50.7%; שומן 15.0%; אפר 9.7%; תאית 1.5%; סידן 1.61%; זרחן 1.22%; נתרן 0.49%. מנגן אבץ וברזל הוספו כתוספת מזערית

בהמשך הניסויים ולשלבי גידול דגים גדולים יותר (שלב פיטום) נעשה שימוש במזון מתוצרת צמח תערובות המכיל 45% חלבון ו 12% שומן , 2% תאית, 9% אפר, 2.3% סידן ו- 1.3% זרחן.

למזונות הוסף המינרל פוליהליט המכיל בעיקר סולפאט $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2(H_2O)$ על פי היחסים הבאים:

48% SO_3 as sulphate; 14% K_2O as from sulphate of potassium; 6% MgO as from magnesium sulphate; 17% CaO as from calcium sulphate

תוצאות מבחני הגדילה בשנה הראשונה שהוכיחו את הנחת הבסיס למחקר

טבלה מספר 1 - תוצאות גדילת הדגים בערבה

משקל ממוצע בתום תקופת הגידול במקטעי הגידול השונים

	תוספת 2.5% מינרל	תוספת 1% מינרל	בקורת ללא תוספת
איכלוס			
ממוצע	9.50	9.73	9.47
SE	0.32	0.22	0.32
ימי גדילה 15			
ממוצע	19.15	19.15	17.97
SE	0.26	0.43	0.23
ימי גדילה 29			
ממוצע	34.73	34.55	33.10
SE	0.60	0.89	0.65
ימי גדילה 40			
ממוצע	49.21	48.90	49.21
SE	1.41	1.39	1.51

לא נמצאו הבדלים בגדילת הדגים בין הטיפולים השונים

טבלה מספר 2 – תוצאות גדילת הדגים במחלקה למדגה וולקני

משקל ממוצע בתום תקופת הגידול (משקל ממוצע התחלתי 8.45 ± 0.17 גרם)

Significance (p<0.05)	משקל ממוצע בתום הניסוי	טיפול
b	36.2 ± 0.59	ביקורת ללא תוסף
b	36.7 ± 0.87	1% PolySulphate + ביקורת
b	35.7 ± 1.17	2% PolySulphate + ביקורת
a	39.3 ± 0.68	2.5% PolySulphate + ביקורת
a	39.0 ± 0.69	3% PolySulphate + ביקורת
ab	38.1 ± 0.93	3.5% PolySulphate + ביקורת

הערכים המסומנים באות שונה שונים באופן מובהק $P<0.05$

נערכו מבחני מובהקות לאורך נקודות שקילת הביניים ובסוף הניסוי. המגמה הייתה דומה ועל כן התוצאות המוצגות הן בתום תקופת הגידול.

טבלה מספר 3 – תוצאות גדילת הדגים במחלקה למדגה וולקני: יחס היפוך מזון = FCR

	FCR					
	3.50% +	3% +	2.50% +	2% +	1% +	ביקורת
ממוצע	0.712	0.666	0.627*	0.631*	0.669	0.693
SD	0.046	0.033	0.043	0.060	0.047	0.035

הערכים המסומנים בכוכבית שונים באופן מובהק $P<0.05$

טבלה מספר 4 - תוצאות גדילת הדגים במחלקה למדגה וולקני: קצב גדילה מחושב כאחוז ליום

	SGR					
	3.50% +	3% +	2.50% +	2% +	1% +	ביקורת
ממוצע	5.27	5.46*	5.55*	5.2	5.28	5.19
SD	0.022	0.016	0.018	0.016	0.014	0.017

הערכים המסומנים בכוכבית שונים באופן מובהק $P<0.05$

התוצאות מראות שיש שוני מובהק בין תוצאות הגדילה במי הערבה (העשירים בגופרית) לעומת מי הגידול במחלקה למדגה שבהם הוספת המינרל בכמות של בין 2-3 אחוז הביאה לשיפור בגדילה – הן בגדילה עצמה והן ביחס היפוך המזון (2 ו 2.5 אחוז).

התוצאות מראות שיש שוני מובהק בין תוצאות הגדילה במי הערבה (העשירים בגופרית) לעומת מי הגידול במחלקה למדגה שבהם הוספת המינרל בכמות של בין 2-3 אחוז הביאה לשיפור בגדילה – הן בגדילה עצמה והן ביחס היפוך המזון (2 ו 2.5 אחוז).

ניסוי גידול דגיגי ברמונדי לבחינת מינוני מתיונין שונים במזון נערך בערבה ובמנהל המחקר החקלאי.

ניסוי השוואה בין 3 מינוני תוספת מתיונין במזון לעומת 3 מינוני תוספת מינרל (פוליסולפאט) במזון נערך במינהל המחקר החקלאי בבית דגן.

ניסוי עם דגי ברמונדי במשקל ממוצע של כ- 100 גרם בו נבדקו מזונות אשר הכילו מינוני תוספת מינרל על מנת לבחון את ההשפעה על גדילת דגים בשלב הפיטום נערך במינהל המחקר החקלאי בבית דגן ובערבה. התוצאות חזרו על עצמן גם בדגים בשלב הפיטום והראו שתוספת מינרל המכיל גופרית משפרת את הגדילה במים מתוקים בהם רמת הגופרית נמוכה.

בדגי ברמונדי בגדלים שונים - תוצאות כלל הניסויים הראו שעל ידי תוספת גופרית במזון ניתן לקבל גדילה טובה יותר של דגי ברמונדי במים מתוקים בהם קיים מחסור בגופרית. מקור הגופרית יכול להיות מתוספת מתיונין למזון הדגים, ממינרל מוסף למזון או לחילופין העשרת מי הגידול בגופרית. מבין פתרונות אלה הפתרון הכלכלי הוא הוספת גופרית כמינרל מוסף לדיאטת המזון שכן מחירו נמוך משמעותית ממחיר מתיונין.

לאחר הוכחת ההיתכנות של שימוש במינרל עשיר בגופרית בוצעו הניסויים הבאים:

ניסוי גידול דגי ברמונדי במי הערבה בצפיפות גבוהה לעומת צפיפות מקובלת במערכות גידול לדגים אלה. מטרת ניסוי זה הייתה לבחון האם גם בצפיפות גידול גבוהה כמות הגופרית במי הערבה מספיקה על מנת לכסות את צרכי הדגים ואין צורך להוסיף גופרית במזון הדגים.

תוצאות ניסוי זה מראות שאין כל ירידה בקצב הגדילה ובמשקל הדגים אשר גודלו בצפיפות גבוהה (טבלה 5). על אף הצפיפות הגבוהה נראה שכמות הגופרית הגבוהה במים מספיקה לגדילה נאותה גם בצפיפות הגבוהה ואין צורך להוסיף גופרית מינרלית או מתיונין במינון גבוה יותר מהמקובל במזון לדגים אלה. יתרה מזאת התוצאות מראות שבצפיפות הגידול הגבוהה יותר לא נצפתה פגיעה בגדילת הדגים והתפוקה (למטר מעוקב) הייתה כמובן גבוהה יותר. הניסוי נמשך למשך תקופת זמן ארוכה יותר על מנת לבחון האם אכן לא נוצר מחסור בכמות הגופרית גם לאחר תקופת זמן ארוכה.

* ניסוי גידול דגיגי ברמונדי לבחינת מינוני מתיונין שונים במזון נערך במנהל המחקר החקלאי ובערבה

טרם תחילת הניסויים נבדקה כמות המתיונין הקיימת במזון שניתן לדגים וכמויות המתיונין המוסף נקבעה כאחוזי תוספת מעבר לכמות שהייתה במזון הביקורת. מיד עם סיום הניסוי במנהל המחקר החקלאי וקבלת תוצאות הגדילה בוצע ניסוי דומה בערבה בו נבחנו 2 רמות של תוספת מתיונין (40%-ו-60%) שהראו את התוצאות הטובות ביותר בהשוואה למזון הביקורת ללא תוספת מתיונין (כפי שנמצא בניסוי בבית דגן).

תוצאות ניסוי זה הראו שמבין הרמות השונות של תוספת מתיונין למזון הדגים שגדלו במים עניים בגופרית, ברמות מוספות של 40%-ו-60% הגדילה הייתה טובה יותר באופן מובהק (טבלה מספר 6). לעומת זאת תוספת החומצה האמינית מתיונין למזון במינונים זהים שניתנו לדגים שגדלו בערבה במים עשירים בגופרית לא הביאו לשיפור הגדילה של הדגים לעומת אותו המזון ללא תוספת המתיונין. תוצאות הניסוי בערבה מופיעות בטבלה מספר 7 ואיור מספר 1.

* ניסוי השוואה בין 3 מינוני תוספת מתיונין במזון לעומת 3 מינוני תוספת מינרל (פוליסולפאט) במזון.

בניסוי זה שבו נעשתה השוואה בין תוספת מינרל המכיל גופרית לעומת תוספת מתיונין למזון הסתמכנו על תוצאות הניסוי בו הוספו מינונים שונים של מתיונין ונבחרו הריכוזים שהראו את התוצאות הטובות ביותר ואלה השוו לתוצאות הטובות ביותר של הטיפולים בהם הוסף מינרל המכיל גופרית למזון. תוצאות ניסוי זה המובאות בטבלה מספר 8. ניתן לראות שאין הבדל בגדילת הדגים בין אם קיבלו תוספת מתיונין או תוספת מינרל במזון.

* ניסוי עם דגי ברמונדי במשקל ממוצע של כ-100 גרם בו נבדקו מזונות אשר הכילו מינוני תוספת מינרל על מנת לבחון את ההשפעה על גדילת דגים בשלב הפיטום.

בניסוי זה בוצעה חזרה על ניסוי שנערך בשנה הראשונה עם דגים במשקל התחלתי קטן יחסית ובו נבדקו רמות שונות של תוספת מינרל שהכיל גופרית. מטרת הניסוי הייתה לבחון האם התוצאות שהתקבלו עם דגים קטנים תקפות גם לגבי דגים בשלב הפיטום. תוצאות הניסוי מראות שגם בדגים במשקל גבוה יותר בשלב הפיטום תוספת המינרל ברמות של 2.5% ו 3% משפרת באופן מובהק את הגדילה. תוצאה זו חופפת את התוצאה שהתקבלה בעת גידול הדגים הקטנים (במשקל התחלתי של 8 גרם). מאחר ותוצאות ההשוואה בין תוספת מתיונין למזון לעומת תוספת של מינרל המכיל גופרית הראו שאין הבדל בתוצאות הגדילה או במקדם היפוך המזון אזי יש כדאיות כלכלית דווקא לשימוש בתוספת המינרל שכן מחירו זול משמעותית ממחיר תוספת חומצת האמינו מתיונין. המינרל שבו נעשה שימוש לאספקת גופרית במזון הדגים (פוליסולפאט) נמכר במחיר של 0.15 דולר לק"ג לעומת מחיר חומצת האמינו שהינו כמה דולרים לק"ג. תוצאות הניסוי מובאות בטבלה 9.

אחד המרכיבים החשובים במזונות לדגים טורפים הינו קמח דגים. מאחר ומשאב זה אינו בר קיימא יש מאמצים מחקרניים נרחבים למצוא תחליפים לקמח דגים בהזנת דגים טורפים (Ma et al., 2018). אחד התחליפים הנבחרים הינו רימות של זבוב החייל השחור (black soldier fly (*Hermetia illucens*)). הרימות נאכלות על ידי הדגים אך הינן עניות בחומצה האמינית מתיונין אשר בדרך כלל מוספת למזון המכיל רימות. בניסוי שנערך על ידו ובו הוזנו דגי ברמונדי בשלב הפיטום ברימות זבובים ונבחנה תוספת מינרל העשיר בגופרית במקום הוספת מתיונין על מנת להתגבר על המחסור במתיונין. הדגים ששמשו בניסויי הזנה זה היו דגי ברמונדי בשלב הפיטום במשקל תחילי של כ-100 גרם. הדגים אוכלסו בצפיפות של 10 דגים למיכל. צפיפות זו מייצגת 50 דגים למטר מעוקב ואיננה חריגה במערכות סגורות לגידול דגים. טרם תחילת ניסוי ההזנה נערך ניסוי פרלימינרי שמטרתו לבחון האם רימות מיובשות נאכלות על ידי הדגים. במסגרת הניסוי הפרלימינרי נמצא כי לוקח לדגים זמן רב להתרגל לשינוי בהרכב המזון. בדרך כלל לוקח לדגים מספר ימים להתרגל למזון חדש אבל במקרה זה, זמן ההתאקלמות להזנה במזון המכיל רימות יבשות ערך כשבועיים.

המזון שניתן לדגי הניסוי היה מזון צף לדגים טורפים מתוצרת צמח תערובות המכיל 45% חלבון ו 12% שומן, 2% תאית, 9% אפר, 2.3% סידן ו- 1.3% זרחן גודל כופתית 4 מ"מ. מזון זה שימש כמזון הביקורת. מול ביקורת זו נבחנה החלפה (על בסיס משקל יבש) של 20% ו 30% מן המזון ברימות מיובשות של זבוב black soldier fly כאשר לקבוצות הניסוי שבדקו החלפה בתוספת גופרית הוסף המינרל לרימות המיובשות באמצעות ערבובו בכמות קטנה של שעווה והדבקתו לרימות היבשות (לקבוצות שלא קיבלו העשרה בגופרית הוספה אותה כמות של שעווה אך ללא גופרית). הרימות המיובשות עורבבו עם מזון הביקורת ביחסים שנקבעו. חשוב לציין שדגי ברמונדי אוכלים מגוף המים (שכבת המים העליונה) וכמעט שאינם נוגעים במזון השוקע לקרקעית. לפיכך המזון המותאם להם הוא מזון מלאכותי צף. גם רימות הזבובים היבשות צפות על פני המים ועל כן מותאמות להתנהגות התזונתית של דגי ברמונדי. במהלך הניסוי הדגים הוזנו פעמיים ביום (בוקר ואחה"צ) משקל כלל המזון היומי שניתן חושב על פי ערך של 2% ממשקל הדגים בכל מיכל. מחצית המזון ניתנה בכל ארוחה. מנת המזון עודכנה אחת לשבועיים לאחר שקילת כלל הדגים בכל אחד ממיכלי הגידול.

לאורך ששת שבועות הניסוי נערך מעקב אחר ביצועי הגדילה של הדגים כולל צריכת מזון (FCR), קצבי גדילה, ומעקב אחר תמותה.

שרידת הדגים הייתה מצוינת למעשה לא מתו דגים למעט מקרה אחד של דג ש"התאבד" בקפיצה אל מחוץ למיכל לאחר 4 שבועות של גדילה.

תוצאות הגדילה מוצגות על פי אחוז תוספת המשקל של כל מיכל כפי שמופיע בטבלה 11. עיון בטבלה זו מראה שהחלפת חלק מהמזון ברימות פוגע בגדילה אם לא מוסף מינרל המכיל גופרית. הגדילה בטיפולים שקיבל 20% ו 30% רימות ללא תוספת גופרית הייתה נמוכה באופן

מובהק לעומת יתר הטיפולים ומגמה זו נראתה כבר בתקופה שבין 2 שבועות גידול ל-4 שבועות ניסוי ראשוני נוסף שנערך עם דגיגי לברק (שהינם דגים ימיים המסוגלים לגדול במים מתוקים) במשקל התחלתי של 8 גרם הראה שגם בדגים אלה תוספת מינרל גופרית ברמת של 2% למזון משפרת את הגדילה כאשר יש מחסור גופרית במי הגידול.

סיכום טבלאות תוצאות הניסויים שבוצעו במהלך המחקר

טבלה מספר 5

השפעת הגדלת צפיפות הדגים על גדילתם במי הערבה העשירים בגופרית

76	56	42	28	14	ימי גידול	
56.29±3.01	45.38 ± 1.79	41.71 ±1.63	29.29 ± 0.87	14.91± 0.27	עליה ממוצעת לדג בגרמים	צפיפות 50 דגים ל- מ ³
61.02 ±3.15	47.81± 1.54	42.11± 1.04	31.86 ± 1.19	11.78 ± 0.36	עליה ממוצעת לדג בגרמים	צפיפות 100 דגים ל- מ ³
59.67± 4.41	47.73± 2.95	40.72 ±1.69	31.28 ± 1.29	9.64 ± 0.30	עליה ממוצעת לדג בגרמים	צפיפות 150 דגים ל- מ ³

למעט השקילה שבוצעה אחרי השבועיים הראשונים של הגידול (ואשר כפי הנראה היוותה תקופת הסתגלות לצפיפות) אין הבדל מובהק בין הטיפולים השונים.

טבלה מספר 6

גדילת דגי ברמונדי שהוזנו במזונות להם הוסף מתיונין ברמות שונות מעל לכמות שהייתה במזון זה (11.25 גרם). לדוגמא: במזון ביקורת +20% כמות המתיונין הכוללת הייתה 13.5 גרם.

משקל התחלתי של הדגים 15.2±0.98 גרם. המזון בו נעשה שימוש היה מזון צף 45% חלבון, 12% שומן מתוצרת צמח תערובות. הניסוי נערך במים מתוקים ונמשך 44 ימים

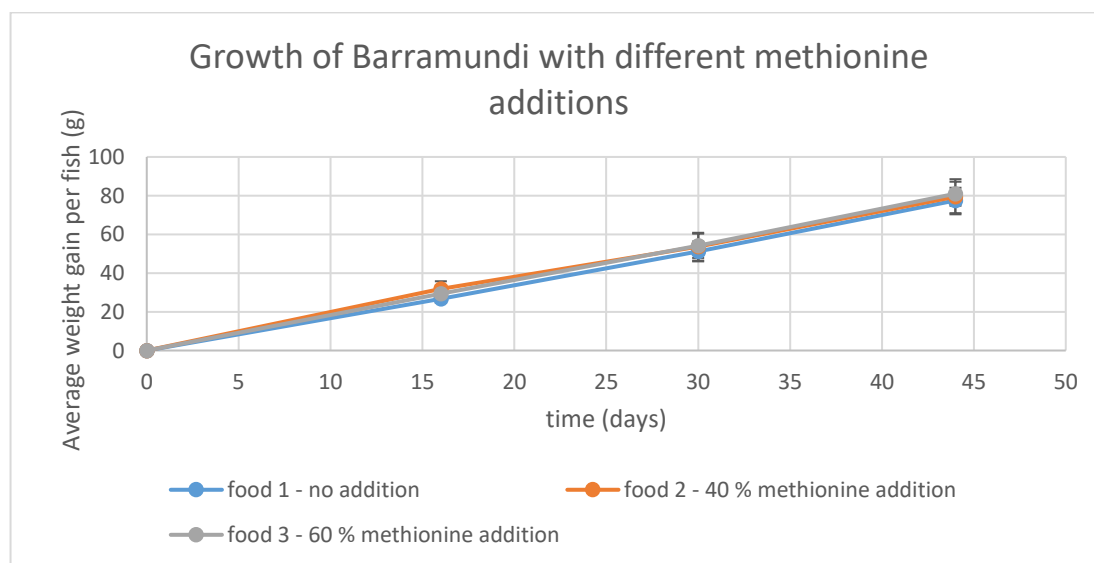
ביקורת + 100% מתיונין	ביקורת + 80% מתיונין	ביקורת + 60% מתיונין	ביקורת + 40% מתיונין	ביקורת + 20% מתיונין	מזון ביקורת	
^b 42.80 ± 1.33	^{ab} 43.12 ± 1.85	^a 46.54 ± 1.23	^a 44.36 ± 1.03	^c 41.43 ± 1.43	^c 40.78 ± 1.63	גדילה ממוצעת בגרמים/דג
1:1.39	1:1.42	1:1.22	1:1.24	1:1.33	1:1.38	ממוצע יחס היפוך מזון
99.16%	100%	100%	100%	98.33%	97.5%	ממוצע שרידה

טבלה מספר 7

גדילת דגי ברמונדי שהוזנו במזונות להם הוסף מתיונין בשתי רמות מעל לכמות שהייתה במזון הביקורת (11.25 גרם). המזון בו נעשה שימוש היה מזון צף 45% חלבון, 12% שומן מתוצרת צמח תערובות. רמות ההוספה שנבחרו היו על סמך התוצאות שהתקבלו בניסוי במים מתוקים שנערך במינהל המחקר החקלאי. הניסוי נערך בערבה במים עשירים בגופרית ונמשך 44 יום

ביקורת + 60% מתיונין	ביקורת + 40% מתיונין	מזון ביקורת סה"כ 11.25 גרם מתיונין	
סה"כ 18.0 גרם מתיונין	סה"כ 15.75 גרם מתיונין		
81.00 ± 6.21	79.44 ± 9.08	77.53 ± 6.55	גדילה משקל ממוצע לדג בגרמים
1:1.6	1:1.6	1:1.7	יחס היפוך מזון
100%	100%	100%	שרידה

עקב הצורך להמתין עד לקבלת תוצאות הניסוי במינהל המחקר הוחל בניסוי בערבה עם דגים במשקל התחלתי גבוה יותר.



איור מספר 1

מהלך גדילת דגי ברמונדי במי הערבה (תוצאה סופית מוצגת בטבלה מספר 7)
לא נצפה הבדל מובהק בין כל קבוצות הניסוי

טבלה מספר 8

השוואה בין תוספת מתיונין למזון לעומת תוספת מינרל גופרית למזון משקל התחלתי של הדגים 18.3 גרם. הניסוי נערך במים מתוקים למשך 44 ימים

מזון + 3.5% מינרל גופריתי	מזון + 3% מינרל גופריתי	מזון + 2.5% מינרל גופריתי	מזון + 60% תוספת מתיונין	מזון + 40% תוספת מתיונין	מזון + 20% תוספת מתיונין	
^b 54.82 ± 2.13	^{ab} 61.21 ± 1.95	^a 64.54 ± 1.83	^a 64.53 ± 2.03	^a 62.34 ± 1.93	^b 56.18 ± 2.33	משקל ממוצע סופי
1.39	1.36	1.34	1.31	1.29	1.35	ממוצע יחס היפוך מזון

טבלה מספר 9

תוצאות גדילת דגי ברמונדי בשלבי פיטום (משקל 100 גרם ומעלה) במים מתוקים במחלקה למדגה וולקני על מזון מועשר במינרל גופרית ברמות שונות. משקל התחלתי ממוצע היה 108.3 ± 7.87 גרם. משך הניסוי 44 ימים.

שרידה	משקל ממוצע בתום הניסוי	טיפול
100%	165.4 ± 11.13 b	ביקורת ללא תוסף
100%	167.9 ± 12.98 b	מזון ביקורת + 1% מינרל גופרית
100%	169.0 ± 7.61 b	מזון ביקורת + 2% מינרל גופרית
100%	181.2 ± 7.97 a	מזון ביקורת + 2.5% מינרל גופרית
100%	187.5 ± 8.78 a	מזון ביקורת + 3% מינרל גופרית
100%	178.6 ± 6.34 ab	מזון ביקורת + 3.5% מינרל גופרית

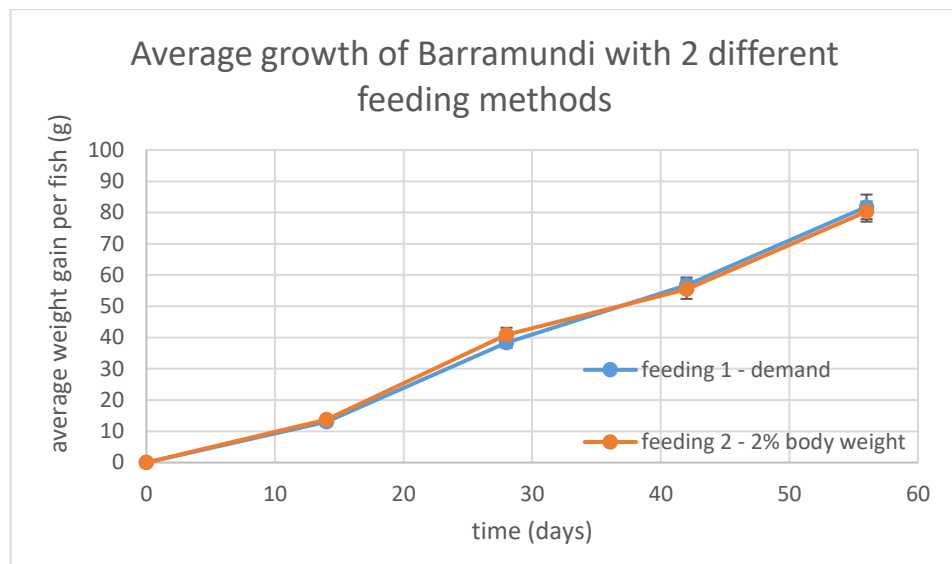
התוצאות דומות מאוד לאלה שהתקבלו בשנה המחקר הראשונה עם דגים במשקל התחלתי של 8 גרם למעט תוספת 2% שבדגים הקטנים הגדילה הייתה טובה יותר יחסית למזון הביקורת.

טבלה מספר 10

השוואה בין האכלה על פי צריכה להאכלה לפי % קבוע ליום. הניסוי נערך עם דגי ברמונדי במשקל ממוצע של 100 גרם ונמשך 56 ימים

האכלה לפי % קבוע ליום	האכלה על פי צריכה	גדילה = תוספת משקל ממוצעת לדג בגרמים
$^{a}80.3 \pm 3.20$	$^{a} 81.8 \pm 3.93$	כמות מזון שנאכלה (ממוצע לדג בגרמים)
$^{b} 153.89 \pm 4.7$	$^{a} 135.14 \pm 5.4$	שרידה
100%	100%	

אין הבדל בין גדילת הדגים אך יש הבדל מובהק בכמות המזון שנאכלה – בעת האכלה על פי % קבוע ליום כמות המזון שנאכלה הייתה 13.87% יותר גבוהה מכמות המזון שנאכלה כשהדגים הזזו על פי צריכה.



איור מספר 2

מעקב אחר גדילת דגי ברמונדי שהוזנו בשתי שיטות האכלה (סיכום התוצאות מופיע בטבלה מספר 10).

טבלה מספר 11

אחוז תוספת משקל במיכלים השונים בהם גודלו דגי ברמונדי בשלב הפיטום והממוצע הכולל לכל טיפול בתום תקופת גידול של ששה שבועות. ערכים המסומנים בכוכבית * שונים באופן מובהק $P>0.05$

טיפול	מערכת 1	מערכת 2	מערכת 3	מערכת 4	מערכת 5	מערכת 6	ממוצע כולל
מזון ביקורת מתוצרת צמח	49.7	51.93	53.58	48.55	49.65	52.93	51.06
החלפה ברימות + 20% גופרית	54.87	48.38	50.62	49.37	53.57	50.48	51.23
החלפה ברימות 20%	51.24	43	45.94	44.26	51.53	46.03	*47.00
החלפה ברימות + 30% גופרית	54.19	47.62	52.63	53.62	54.46	55.81	53.05
החלפה ברימות 30%	46.4	41.67	47.88	43.15	48.33	47.9	*45.89

דין

מחקרים שבוצעו בעבר ובהם נבדקה הרמה הדרושה של החומצה האמינית החיונית מתינון במזון עבור דגי ברמונדי בגדלים שונים הראתה שהרמה נעה בין 10.5 ל-13.6 גרם לקילוגרם מזון בהתאם לגודל הדגים (Poppi et al., 2017). לפיכך, במזון המכיל 45% חלבון (כפי שנבחן בניסויים השונים שבוצעו על ידנו) היוותה חומצת האמינו מתינון, בעלת הקצה הגופריתי, 2.3% עד 3% מהחלבון. יחד עם זאת חשוב לזכור שהניסוי שבו נקבעה הכמות האופטימלית לגדילה נאותה בוצע במי ים העשירים בגופרית (כ-700 מ"ג לליטר). כיוון שהדגים בניסויים שבוצעו על ידינו גודלו במים מתוקים ככל הנראה חלק מהמתינון לא שימש לבניית חלבון ברקמות הדגים אלא לאספקת גופרית הדרושה לדגים. תוצאות הניסויים שפורטו לעיל מראים שניתן לשפר את גדילת דגי ברמונדי באמצעות תוספת גופרית (ממקורות שונים) כאשר מגדלים את הדגים במים מתוקים העניים בגופרית. מעניין לציין שלמרות עבודות מחקר רבות שנעשו עם דגי ברמונדי באוסטרליה (ממנה מגיעים הדגים) לא נבחנה האפשרות של תוסף מינרלי עשיר גופרית למזון הדגים (Glencross, 2006; Ma et al., 2018). תוצאות העבודה הניסויית שלנו מצביעות על כך שניתן ל"חסוך" במתינון על ידי אספקת גופרית מינרלית במזון או באמצעות הכנסת הדגים למים עשירים בגופרית. כמובן שניתן גם להגדיל את כמות המתינון

במזון אם על ידי תוספת חומצת האמינו מתיונין או מרכיבי מזון עשירים במתיונין. מבחינה כלכלית, הדרך הזולה ביותר להוספת הגופרית הינה כתוסף מינרלי למזון. מאחר והמזון מהווה את ההוצאה העיקרית בגידול דגים, חיסכון במזון (הנובע מיחס היפוך מזון נמוך יותר) או מחיר זול יותר יהיה משמעותי בחסכון כולל של עלויות הגידול. מחירו של התוסף המינרלי הוא כ-0.45 ₪ לק"ג בעוד שמחיר המתיונין הוא פי 20 גבוה יותר ומחיר המזון לדגי הברמונדי (שהינם דגים טורפים) הוא פי 10 גבוה יותר. מכאן ששימוש בתוסף הינו בעל משמעות כספית להוזלת עלויות הגידול. חשוב להדגיש שהוספת המינרל באה על חשבון מרכיבי המזון האחרים כגון חלבון. על כן, כפי שניתן לראות, בעת הוספת רמות גבוהות של המינרל הגופריתי (מעבר לכמות הדרושה כדי למנוע קטבוליזם של מתיונין) יש פגיעה בגדילת הדגים.

יש הבדלים ברמת המינרלים במקורות המים השונים בארץ ויש צורך להתחשב בכך. מי עמק בית שאן (אסם הדגים של ישראל) עשירים במינרלים אבל בעיקר בנתרן כלורי. אנו מתייחסים לרמת הגופרית במים וזו נמוכה יחסית (בהשוואה למי ים). בדיקת מי הגידול נעשית בארץ על ידי גופים שונים כגון ארגון עובדי המים ואיננה חלק מעבודת המחקר שלנו. העבודה והדו"ח מתייחסים למים בהם רמת הגופרית נמוכה והדרכים להתגבר על מחסור זה. ברור שכל מגדל צריך לבדוק את רמת הגופרית במי הגידול שלו ועל פי רמה זו להחליט אם נדרשים צעדים לשיפור – תוצאות העבודה נותנות בידי החקלאי **כלים** המאפשרים לנקוט בטיפול יחסית זול לשיפור והשלמת רמת הגופרית על מנת למנוע מצב של קטבוליזם של חומצת האמינו החיונית מתיונין דבר שיגרום לפגיעה בקצב גדילת הדגים.

תוצאות הניסויים מאפשרות התאמה טובה יותר של המזון לדגי ברמונדי בעת שמגדלים אותם במים מתוקים העניים בגופרית. לחילופין ניתן להכווין את הגידול לאזורים בהם המים עשירים בגופרית כמו בערבה.

לאורך הניסויים השונים נמצא כי אחוז השרידה של הדגים משתפר ככל שהמשקל ההתחלתי של הדגים גבוה יותר. מאידך יחס היפוך המזון עולה ככל שהדגים גדולים יותר. ניתן לשפר את יחס היפוך המזון על ידי הזנה על פי צריכה וחיסכון במזון ישפר באופן משמעותי את עלויות הגידול.

ניסויי גדילה המבוססים על תוצאות הניסויים שהתקבלו בשנתיים הראשונות בוצעו עם דגים בשלב הפיטום במשקל 100 גרם ומעלה. בנוסף, בתום הניסויים נלקחו דוגמאות מן הדגים בטיפולים השונים ונמצא כי כמות המתיונין שנאצרה בגוף הדגים מושפעת מתוספת המינרל למזון כך שהכמות נשאר כמעט זהה ברקמות הדגים כאשר נעשה שימוש בתוספת מינרל על מנת למנוע קטבוליזם לצרכים אנרגטיים או אספקת גופרית חסרה. כן נמצא שניתן להחליף קמח דגים ברימות זבובים בדיאטת המזון של הדגים אך יש להעשיר במינרל המכיל גופרית על מנת לקבל גדילה נאותה.

בעקבות התוצאות שהתקבלו בכוונתנו ליישם את תוצאות המחקר במשקים במקומות שונים בארץ בהם מגדלים דגי ברמונדי במים מתוקים בהם רמת הגופרית נמוכה משמעותית ממי ים. ראוי לציין שבעקבות תוצאות הגדילה הטובות שהתקבלו בניסויים בערבה יש כוונה של יזמים בערבה להקים מתקן מסחרי אינטנסיבי לגידול דגי ברמונדי בערבה. למותר לציין שכל תוצאות המחקר יועמדו לרשות היזמים בערבה כמו גם לכל משק מדגה בארץ ואנו כמובן נעזור כמיטב יכולתנו.

בנוסף, בחנו האם התוצאות תקפות גם בעת גידול דגי לברק במים מתוקים. דג הלברק מסוגל לגדול בטווח מליחות נרחב ועל כן אך סביר שגם בדג זה יש מחסור בגופרית בעת גידולו במים מתוקים אשר עלול להתבטא בקטבוליזם של חומצת האמינו החיונית מתיונין לאספקת הגופרית החסרה. התוצאות הראשוניות הראו שדג הלברק כמו דג הברמונדי מגיב היטב לתוספת מינרל המכיל גופרית במזון וגדל טוב יותר. ניסויים נוספים נדרשים על מנת לאושש תוצאה זו באופן שיאפשר המלצה לשימוש במינרל זה למגדלים.

במספר משקי מדגה של מים מתוקים בארץ מגדלים דגים שמקורם ימי במים מתוקים ובכוונתנו ליישם את התוצאות שהתקבלו במהלך המחקר במשקים מסחריים בהנחה שיתרמו לגדילה טובה יותר של דגים אלה.

ספרות

Cnaani A, Stavi A, Smirnov R, Harpaz, S, 2012. Rearing white grouper (*Epinephelus aeneus*) in low salinity water: effects of dietary salt supplementation. *Isr. J. Aquaculture Bamidgeh* 64: 760-768.

Coloso, R.M, Murillo-Gurrea, D.P, Borlongan, I.G and Catacutan, M.R, 1999. Sulphur amino acid requirement of juvenile Asian sea bass *Lates calcarifer* *J. of Applied Ichthyology* 15: 54-58.

Glencross, B. 2006. The nutritional management of barramundi, *Lates calcarifer* – a review. *Aquaculture Nutrition* 12: 291-309.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2006.00410.x>

Hallali E., Kokou F., Chourasia T. K., Nitzan T., Con P., Harpaz S., Mizrahi I. Cnaani, A. 2018. Dietary salt levels affect digestibility, intestinal gene expression, and the microbiome, in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *PlosOne* 13(8): e0202351
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202351>

Harpaz, S., Hakim, Y., Slosman, T., and Eroldogan, O.T., 2005. Effect of adding salt to the diet of Asian sea bass *Lates calcarifer* reared in fresh or salt water re-circulating tanks, on growth and brush-border enzyme activity. *Aquaculture* 248:315-324.

Kokou F, Sasson G, Friedman J, Eyal S, Ovadia, Harpaz S, Cnaani A and Mizrahi I. 2019. Core gut microbial communities are maintained by beneficial interactions and strain variability in fish. *Nature Microbiol.* 4: 2456–2465.

<https://doi.org/10.1038/s41564-019-0560-0>

Ma. Z., M. M. Hassan, L. Allais, T. He, S. Leterme, A. V. Ellis, B. McGraw, and J.G. Qin. 2018. Replacement of fishmeal with commercial soybean meal and EnzoMeal in juvenile barramundi *Lates calcarifer*. *Aquaculture Research* 49: 3258-3269.

<https://doi.org/10.1111/are.13790>

Poppi, D. A. Moore S. S., Glencross B. D, 2017. Redefining the requirement for total sulfur amino acids in the diet of barramundi (*Lates calcarifer*) including assessment of the cysteine replacement value. *Aquaculture* 471: 213–222.

Sun, H., E. Jami, S. Harpaz and Mizrahi, I. 2013. Involvement of dietary salt in shaping bacterial communities in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Scientific Reports Nature publications.* 3: 1558-1603.

Williams, K., Barlow C. and L Rodgers. 2002. Efficacy of crystalline and protein-bound amino acids for amino acid enrichment of diets for barramundi/Asian seabass (*Lates calcarifer* Bloch) *Aquaculture Research* 32: 415-429.

<https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00032.x>

בנוסף לניסויים עליהם התחייבנו בתכנית המחקר בוצע ניסוי שלא היה כלול בתכנית המחקר המקורית. הניסוי בחן האכלת הדגים באופן ידני עד שובע לעומת האכלת הדגים בכמות שקולה קבועה שנקבעת מראש על פי % קבוע ממשקל הדגים. מטרת הניסוי הזה הייתה לבחון האם האכלת הדגים בשיטה זו או זו משפיעה על תוצאות הגדילה. הניסוי נערך עם דגים בגודל פיטום במשקל ממוצע של כ-150 גרם כאשר כל קבוצת טיפול נבדקה ב-9 חזרות ובכל חזרה 15 דגים. מאחר והמזון שניתן היה מזון צף בקבוצה שקיבלה מזון עד שובע ניתן היה לראות בקלות מתי הדגים מפסיקים לאכול ואז הופסקה ההאכלה. לעומת קבוצה זו הקבוצה שקיבלה מזון שקול מראש הוזנה במנת מזון יומית שהיוותה 2% ממשקל ביומסת הדגים במיכל. אחוז הזנה זה נקבע על פי טבלאות הזנה מקובלות לדגים אלה בטמפרטורה בה נבדקו הדגים. בשתי קבוצות ההזנה ההאכלה בוצעה פעמיים ביום בבוקר ואחה"צ. בקבוצה שקיבלה מנת מזון קבועה (2% ממשקל הדגים) ניתנה כמות של 1% מהביומסה בבוקר ו-1% מהביומסה אחה"צ. כל הדגים נשקלו אחת לשבועיים על מנת לעדכן את כמות המזון על פי הגדילה (בטיפול שקיבל מנת מזון קבועה) ועל מנת לעקוב אחר הגדילה של הדגים שהוזנו עד שובע. כמויות המזון שניתנו נרשמו ונערך חישוב של יחס היפוך המזון (FCR) בשני הטיפולים. תוצאות ניסוי זה מובאות בטבלה מספר 10 ובאיור מספר 2.

תוצאות הניסוי מראות שגדילת הדגים הייתה כמעט זהה בשני הטיפולים (עם יתרון קל ביותר ולא מובהק לקבוצה שקיבלה מזון עד שובע). לעומת זאת יחס היפוך המזון הראה יתרון מובהק של 13.87% לטובת הקבוצה שקיבלה טיפול של הזנה עד שובע. תוצאה זו הינה בעלת משמעות רבה שכן מחיר המזון מהווה את ההוצאה העיקרית בגידול דגים ועל כן חיסכון של כמעט 14% בהוצאה זו הינו משמעותי ביותר. בנוסף נמצא שהדגים מווסתים את צריכת המזון ואם אכלו כמות רבה ביום אחד הרי שלמחרת יואכלו פחות ולהיפך. תוצאות אלה מצביעות על כך שפוטנציאל הגדילה של דגי ברמונדי בעת הזנתם במזון הניסוי מוצה אך ניתן לחסוך באופן משמעותי בכמות המזון הניתנת כאשר מקפידים על הזנה על פי צריכה.