

השפעת איכות התאורה והתבדרות אורכי גל שונים על גדילה ומופע צבע

בדגי נוי במערכות גידול סגורות

ניצן רייס חבלין, טל גור, דני פופר, יאיר כהן - מו"פ ערבה תיכונה וצפונית תמר
שנאן הרפז, יוספה שחק - מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי

כתובת המחבר: yairk@arava.co.il

תקציר

במסגרת פעילות מו"פ ערבה להרחבת את סל המוצרים של חקלאות המים, להזיל עלויות גידול ולהעמיק את המחקר אחר הגורמים המשפיעים על קצב הגדילה, איכות ובריאת הדגים נבדקה השפעת התאורה על הדגים בשלב הפיטום במערכות סגורות. לעוצמת האור, ספקטרום ההארה ושעות ההארה אליהם נחשפים הדגים יכולה להיות השפעה בהיבטים שונים: השפעה ישירה על הדגים והשפעה עקיפה על סביבת המחיה, למשל על אוכלוסיות האצות במים. המידע המועט על חשיבות האור ואיכותו בשלבי הגידול הסומאטי הביאו לכך, שחקלאים רבים ברחבי העולם כולל חקלאי הערבה בוחרים לגדל את הדגים בתנאים של אור שמש מלא.

מטרות המחקר: א. לימוד השפעת הרכב ועוצמת האור על כושר הייצור של דגי נוי במערכות גידול סגורות ואינטנסיביות, תוך דגש על צבע הדגים, איכותם, בריאותם וכושר הרבייה והשרידות שלהם. כל אלה עשויים להשתנות עם שינוי הרכב האור באופן ישיר, וגם בעקיפין עקב השפעה על האצות שבמכל. ב. פיתוח פרוטוקול תאורה וסינון האור לשם שיפור כושר הייצור ואיכות המוצר באמצעים ידידותיים למגדלים, תוך שילוב בטכנולוגיות הגידול המתקדמות אשר מקובלות כיום.

שיטות: השפעת ספקטרום האור נבחנה בשלושה מינים פופולריים של דגי נוי הכוללים שני מינים משריצים: גופי (*Poecilia reticulata*), ומולי (*Poecilia sphenops*) ומין המטיל ביצים, קרדינל טטרה (*Paracheirodon axelrodi*). מינים אלו נבחנו במהלך 3 שנים (2014-2017) בשני מערכי ניסוי שהועמדו בתחנת יאיר: רשתות הצללה פוטוסלקטיביות בשישה צבעים שונים (בתוספת ביקורת ללא רשת) ובמערכת תאורת לד בחמישה צבעים (במערכת זו לא בחנו את הקרדינל טטרה). הפרמטרים שנמדדו בדגי הניסוי היו: שרידה, גדילה (המבוטאת במשקל הדג) ופיגמנטציה שנבדקה ע"י בחינה וויזואלית, HPLC ובדיקת הרפלקציה מעורר הדג באמצעות ספקטרומטר. כמו כן נבדקה השפעת הרשתות על התפתחות אצות במערכת.

תוצאות עיקריות ומסקנות: התוצאות העיקריות מצביעות על השפעה של ספקטרום האור, בעיקר על עוצמת הצבע בדגים. ההשפעה הייתה פחותה על שרידה הדגים וגדילתם. התוצאה המשמעותית ביותר הראתה כי בדגים שגודלו בהשפעת צבע צהוב עוצמת הצבע הייתה החלשה ביותר. כמו-כן נראה שהשפעת ספקטרום האור על הפיגמנטציה היא ספציפית למין הדג, זאת בשל חוסר אחידות בתוצאות שהתקבלו בדגיי גופי ומולי וחוסר ההשפעה על דגי הטטרה.

מבוא

גורמים סביבתיים רבים המשפיעים על גדילה, רבייה ובריאות הדגים. הרכב המים, רמת החמצן המומס, המוליכות, החומציות ונוכחות חומרים מטבוליים רעילים קובעים את איכות החיים של הדג ומשפיעים על אורך חייו (9). גורם חשוב נוסף הוא האור, בטבע אור השמש הוא מקור האור העיקרי, אך קיימים מקורות אור נוספים כגון אור הירח ואור הכוכבים. כמו כן, בתנאי גידול מבוקרים קיימים מקורות תאורה מלאכותית שונים. איברי קליטת האור העיקרי בדגים הן העיניים, אך כמו בחולייתנים אחרים גם בלוטת האצטרובל משתתפת בתהליך (9). התפתחות העין ויכולת קליטת האור (עוצמה ואיכות) שונה בין שלבי הגדילה ומיני הדגים. נראה שבשלבי הגדילה המוקדמים של מרבית הדגים עוצמת האור וכיוונו מהווים גורם חשוב בשרידה. הדבר תלוי במידת התפתחות קולטני האור ובפיגמנטציה של העין. המגוון הביולוגי במשפחות הדגים הוא עצום ולכן סביר שהתגובה לאור תהיה שונה, אך מרבית הדגים זקוקים לכמות אור מסוימת בכדי לשרוד (9). כמו כן קיים שוני בין מיני הדגים והתגובה לתאורה בספקטרומים שונים (13).

לעוצמת האור, לספקטרום ההארה ולשעות ההארה אליהם נחשפים הדגים יכולה להיות השפעה בהיבטים שונים: השפעה ישירה בדגים על יכולת זיהוי המזון וניצולת המזון, בריחה מטורפים ועל מחזורי רבייה, איכות הרבייה ועל שרידת החרווח והדגים (6; 12; 17). השפעה עקיפה תיתכן על סביבת המחיה, למשל על אוכלוסיות האצות והפריפוטון (אורגניזמים שונים כגון אצות, ציאנובקטריה וחיידקים היושבים על משטחים בסביבה מימית) במים, הרכבם הביוכימי וקצבי הגדילה שלהם (7). חוקרים הראו שעוצמת התאורה ואיכותה משפיעות באופן מובהק על גדילת השלבים החרווחיים והשפעה זו מקרינה כמובן על השלבים הבאים בגדילה. מרבית החרווח יזדקקו לאור, גם אם בעוצמה נמוכה מאוד, בכדי לשרוד. בשלבים אלו משפיע האור על היכולת של החרווח להשיג מזון ולברוח מטורפים (11; 14; 15). מחקרים אחרים הקשורים באור בחנו את השפעת הפוטופריודה על קצב הגדילה של דגים שונים. גם כאן השונות בין הדגים היא גדולה. ישנם דגים בהם משטרי הארה לא השפיעו כלל על קצב הגדילה, בעוד שבדגים אחרים הייתה השפעה משמעותית למשטר ההארה. (9). לא קיים מידע רב על השפעת עוצמת האור והרכבו על קצב הגדילה של דגים בשלב הגידול הסומטי ומרבית המחקר התמקד בדגי מאכל. במספר ניסויים על דגי מאכל ממינים שונים נמצא קשר בין קצב הגדילה לתאורה ו/או לאורכי הגל בהם השתמשו בניסוי כמו כן נמצא קשר בין התאורה לצבע הדגים (10; 17). בדגי אמנון (Nile tilapia) נמצא קשר בין גידולם באור כחול להפחתת הרגישות למצבי עקה (16). דבר זה בעל חשיבות בגידול מסחרי בו נוצרים לעיתים מצבי עקה, הנגרמים מהצורך לאסוף את הדגים, למיין ולבצע טיפולים שונים וכן מתנאי הגידול האינטנסיביים ועקה בזמן משלוח.

המידע המועט על חשיבות האור ואיכותו בשלבי הגידול הסומאטי בדגי נוי הביא לכך שחקלאים רבים בישראל וברחבי העולם בוחרים לגדל את הדגים בתנאים של אור שמש מלא (מלאכותי או טבעי) מבלי שנלמדה סוגיית איכות האור, כמות האור ומספר שעות ההארה המתאימים לגידול ופיטום דגים ולעמידותם בתנאי עקה. השימוש ברשתות הצלה צבעוניות ליצירת ספקטרום ייחודי מגיע מגידולי החממות והמטעים, במהלך 15 השנים האחרונות פותחה בארץ טכנולוגיה של סינון פוטוסלקטיבי של קרינת השמש בעזרת רשתות צבעוניות במגמה לשפר את הביצועים של גידולים חקלאיים. מגוון רשתות צבעוניות פותחו והותאמו למטרות שונות ולתכונות הגידולים השונים (4; 5; 18). המידע המועט על

חשיבות האור ואיכותו בשלבי הגידול הסומאטי בדגי נוי הביא לכך שחקלאים רבים בישראל וברחבי העולם בוחרים לגדל את הדגים בתנאים של אור שמש מלא (מלאכותי או טבעי) מבלי שנלמדה סוגיית איכות האור, כמות האור ומספר שעות ההארה המתאימים לגידול ופיטום דגים ולעמידותם בתנאי עקה.

מטרות המחקר

א. לימוד השפעת הרכב ועוצמת האור על כושר הייצור של דגי נוי במערכות גידול סגורות ואינטנסיביות, תוך דגש על צבע הדגים, איכותם, בריאותם וכושר הרבייה והשרידות שלהם. כל אלה עשויים להשתנות עם שינוי הרכב האור באופן ישיר, וגם בעקיפין עקב השפעה על האצות שבמכל. נתמקד בשלב זה בשני המינים המרכזיים של דגי הנוי הטרופיים כדגי מודל: גופי (*Poecilia reticulata*), וסקלר (*Pterophyllum scalare*).

ב. פיתוח פרוטוקול תאורה וסינון האור לשם שיפור כושר הייצור ואיכות המוצר באמצעים ידידותיים למגדלים, תוך שילוב בטכנולוגיות הגידול המתקדמות אשר מקובלות כיום.

עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר

הניסויים בוצעו בתחנת יאיר בשנים 2015-2017

שנה ראשונה

1. **בניית מערכת הניסוי:** במתקן המו"פ בוצעו שינויים בכדי ליצור תנאים מתאימים לניסוי. שינויים אלו כללו החלפת הכיסוי הירוק שעל גג המתקן ותוספת ציילר לקירור המים בקיץ. תכנון המערכת הביא בחשבון את הצורך בהפרדה מלאה שתאפשר חשיפה שווה ככל האפשר לאור במתקן ותנאי מים אחידים לכל האקווריומים. המערכת הורכבה משישה מעמדים חד קומתיים שעל כל אחד מהם שבעה אקווריומים בנפח 50 ליטר. כל אקווריום כוסה ברשת 50% בצבע אחר ואקווריום אחד היה ללא רשת (פיזור אקראי על כל מעמד). צבעי הרשתות היו: אדום, ירוק, כחול, שחור, לבן, צהוב וללא רשת, בשש חזרות כ"א (42 אקווריומים סה"כ). המערכת חוברת למערכת של קירור/חימום, פילטרים ביולוגים ולבקרי טמפרטורה (תמונה 1). ספקטרום האור נמדד בתנאי סימולציה שמדמים את מה שהדגים רואים בטיפולי הרשת השונים.

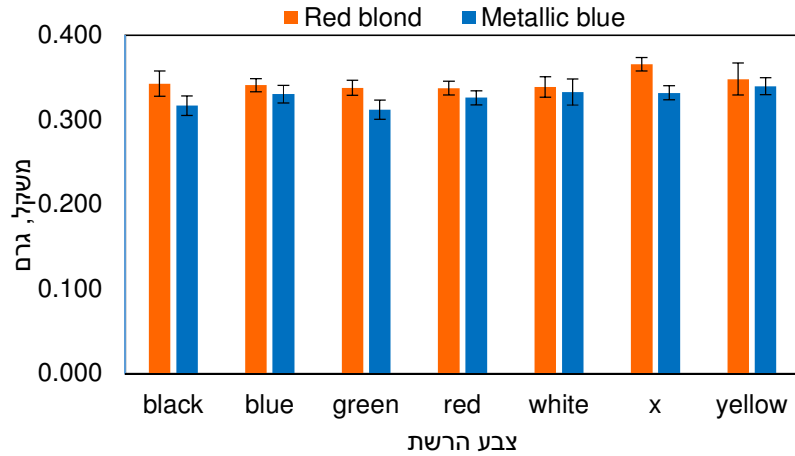
2. ניסויים:

ניסוי 1: השפעת רשתות הצללה צבעוניות על קצב הגידול, בריאות ואיכות (צבע ומבנה הדג) דגי גופי

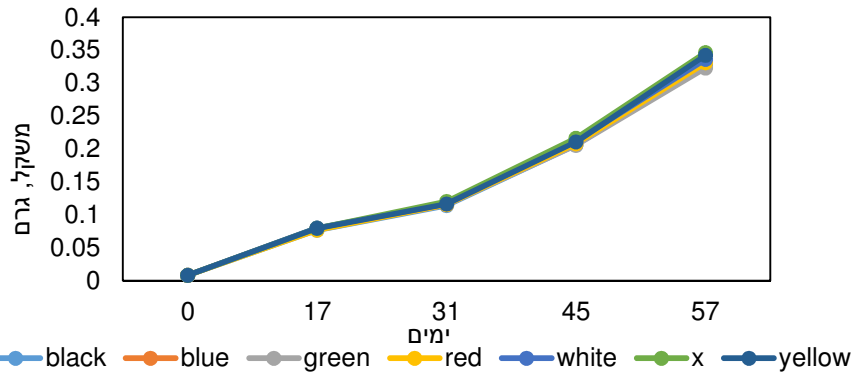
משני קוים: כחול מטאלי (*Metallic blue*) וצהוב אדום (*Red blond*).

דגיגים בני 1-3 ימים אוכלסו בחלוקה אקראית, סה"כ 25 דגיגים מכל קו בכל אקווריום. בשבועיים הראשונים קיבלו הדגים הזנה משולבת של ארטמיה ומזון יבש של חברת Ocean nutrition מסוג OF 13% שומן ו-59% חלבון. לאחר שבועיים עברו להזנה במזון יבש בלבד על פי אחוז מהביומסה בבריכה וגיל הדגים. כמות המזון עודכנה כל שבועיים על פי השקילה. בניסוי זה נבחנו הפרמטרים הבאים: שרידת הדגים, קצב הגדילה, עיוותים, חלוקה לזכרים ונקבות וצבע הדגים.

שרידה: לא נמצא הבדל סטטיסטי בשרידה בין הטיפולים השונים בשני הקווים אך השרידה בקו הצהוב אדום הייתה נמוכה יחסית 70%-80% ובקו הכחול מטאלי שרידה טובה 88%-96% (איור 1).
קצב גדילה: מעקב אחרי קצב הגדילה נערך על ידי שקילה של כל הדגים באקווריום כל שבועיים מתחילת הניסוי. בשקילה האחרונה הופרדו הדגים לשני הקווים וכל קו נשקל בנפרד. לא נמצא הבדל משמעותי בקצב הגדילה בין הטיפולים השונים בשני הקווים (איורים 1,2)



איור 1: השפעת הספקטרום על משקל ממוצע לדג בסוף הניסוי על פי חלוקה לקווים (כתום = קו צהוב אדום וכחול = קו כחול).

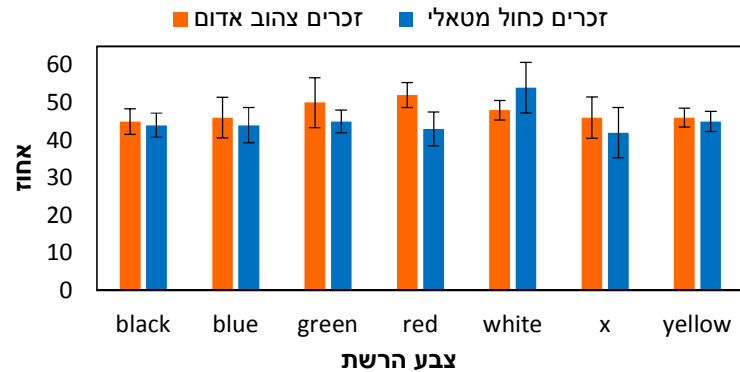


איור 2: השפעת הספקטרום על משקל ממוצע לדג בטיפולים השונים לאורך הניסוי של שני הקווים יחד. **עיוותים:** בקו הצהוב אדום הייתה תופעה של דגים מעוותים אשר נמצאה גם בניסויים נוספים שנערכו במו"פ עם קו זה (3). בתום הניסוי נספרו כמות הדגים המעוותים בכל טיפול. למרות השינוי הגדול במספר הדגים המעוותים בכל טיפול התוצאה אינה מובהקת סטטיסטית בגלל השונות הרבה בין החזרות (טבלה 1).

טבלה 1: אחוז הדגים המעוותים בקו הצהוב אדום בתום הניסוי תחת רשתות ההצללה הצבעוניות.

yellow	x	white	red	green	blue	black
12.3	15.1	8.3	6.2	15.5	9.3	15.1

חלוקה לזכרים ונקבות: חלוקה לזכרים ונקבות בדגי גופי חשובה ביותר למגדל מפני שהזכרים יפים יותר ולכן מבוקשים ע"י הסוחרים. בדרך כלל במרבית החוות יש אחוז גבוה יותר של נקבות (רייס חבלין ידע אישי). בניסוי לא נמצא הבדל משמעותי באחוז הזכרים והנקבות בין הטיפולים השונים (איור 3).



איור 3: השפעת הספקטרום על אחוז הזכרים בכל טיפול בסוף הניסוי על פי חלוקה לקווים (כתום = קו צהוב אדום וכחול = קו כחול).

צבע הדגים: הניסוי נערך על שני קווי דגים בעלי צבע שונה בכדי לבחון את השפעת הרשתות על מגוון רחב של צבעים (צהוב, אדום, כחול ושחור). הקו הצהוב אדום הינו קו נקי ומראה הדגים היה אחיד יחסית בעוד הקו הכחול מטאלי אינו קו אחיד ונוצרו 2 טיפוסים דגים: כחול וכחול אדום. מסיבה זו כאשר נבחנו הדגים התבצעה חלוקה לשלושה קווים: צהוב אדום, כחול וכחול אדום (נספח תמונות 2-4). בדגי גופי הזכרים צבעוניים יותר מהנקבות ולכן מבחני הצבע נערכו על הזכרים בלבד. בבחינת הצבע במבחנים (1, 2 ו-3) התחשבו בשני קריטריונים: צבע הזנב וצבע גוף הדג. לבחינת צבע הדגים נערכו 3 מבחני צבע שונים:

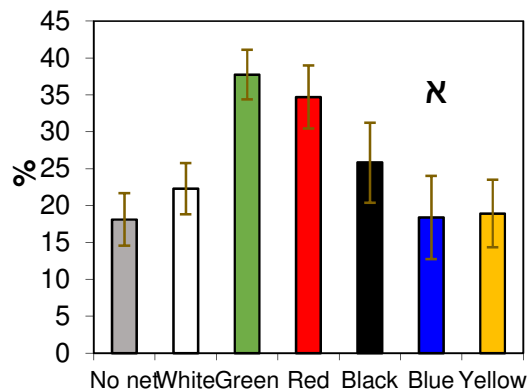
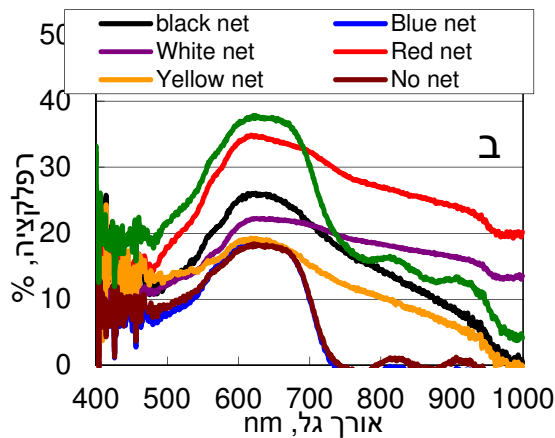
1. מבחן ויזואלי 1 עם 6 בוחנים בו נבחנו הזכרים יחד באקווריום על פי חזרה מכל טיפול. סה"כ נבחנו 3 חזרות מכל טיפול. הציון ניתן מ 1- צבע חלש ביותר עד 5 צבע עז.
2. מבחן ויזואלי 2 עם 3 בוחנים בו נבחנו אותם הזכרים ממבחן 1 כל אחד בנפרד בהשוואה לשלושה דגים בעלי דרגות צבע שונות: 1- חלש, 2- בינוני ו-3 חזק (נספח תמונות 2-4).
3. ספקטרום החזר האור מעור הדג. מבחן המבוסס על קיבוע זמני של הדג בתוך מיכל צר ומדידת ספקטרום הרפלקציה בעזרת ספקטרומטר נייד מהיר מסוג Apogee UV-Vis-NIR בעל תוספת למדידת רפלקציה. המבחן נערך במכון וולקני ובו נבדקו 10 דגים מכל טיפול מהקו הזהוב אדום בלבד (בגלל השונות הרבה בין הדגים מהקו הכחול מטאלי). (נספח תמונה 2-4). דגים אלו נלקחו מהאקווריומים אשר נבחנו גם במבחן הוויזואלי.

בקו הצהוב אדום בו הייתה אחידות גבוהה בדוגמת הצבע על הדגים ובמגוון הצבעים, נמצא כי במבחנים הוויזואליים ובמבחן החזר האור שברשתות האדומה והירוקה צבע הדגים היה חזק יותר (טבלה 2, ואיור 4א'). בדגים מהקו הכחול היה מאוד קשה להתייחס לאיכות הצבע בגלל השונות הגבוהה בין הגוף והזנב ובין הדגים עצמם. מסיבה זו אין אחידות בתוצאות של שני המבחנים הוויזואליים לקביעת הרשת בה צבע הדגים חזק יותר אך בכל המבחנים הוויזואליים תחת הרשת הצהובה היו הדגים הבהירים

ביותר (טבלה 2). בהתאמה עם המבחנים הוויזואליים, גם במבחן הרפלקציה תחת הרשת הצהובה נמצאה עוצמת צבע נמוכה יחסית (איור 4א). בנוסף על כך, הבחנו בשני דגמי ספקטרה שונים שמייצגים כנראה הרכבי פיגמנט שונים (איור 4ב). דגם אחד נמצא בטיפולי הרשת האדומה, צהובה לבנה ושחורה. הדגם השני נמצא בדגים מהרשת הירוקה והכחולה וללא רשת. בהמשך המחקר נאשש ונסה להבין את משמעות ההבדלים הללו.

טבלה 2: דרוג עוצמת הצבע בשני המבחנים הוויזואליים (רקע תכלת = הערכים הגבוהים ביותר. רקע כתום = הערכים הנמוכים ביותר. במבחן הוויזואלי 1 באקווריומים ציון ממוצע של 6 בוחנים כאשר 1- צבע חלש ביותר עד 5 צבע עז. במבחן הוויזואלי 2 בו נבחן כל דג בנפרד ציון ממוצע של 3 בוחנים כאשר 1- צבע חלש, 2- בינוני ו-3 חזק.

	yellow	x	white	red	green	blue	black	
צהוב אדום	3.3	4.1	3.4	4.3	4.8	3.9	3.6	מבחן וויזואלי 1
	1.8	2.2	1.8	2.3	2.3	2.2	2.1	מבחן וויזואלי 2
כחול מטאלי	2.2	2.9	3.4	3.0	4.3	4.1	3.6	מבחן וויזואלי 1
כחול	1.5	1.5	1.5	1.7	1.9	2.0	2.7	מבחן וויזואלי 2
כחול מטאלי	2.9	4.1	4.0	3.8	3.8	4.0	4.1	מבחן וויזואלי 1
כחול-אדום	1.7	1.9	1.9	1.9	2.1	2.4	2.3	מבחן וויזואלי 2



איור 4: עוצמת הרפלקציה המחושבת לתחום האדום של הספקטרום (א'; 600-670 nm) והספקטרה המלאים של החזר האור מדגים שגדלו תחת הרשתות השונות (ב; ממוצעי 10 מדידות לטיפול). הברים (א) מציינים שגיאת תקן. $N=10$ דגים לכל טיפול.

ניסוי 2: מעקב אחרי רביית הורים על פי הרשתות השונות.

קבוצות הורים מכל טיפול הורכבו מ-5 נקבות צהוב אדום, 5 נקבות כחול מטאלי ושני זכרים אחד צהוב אדום ואחד כחול. כל קבוצה מוקמה בתוך סל באקווריום של 200 ליטר. לכל טיפול בוצעו 3 חזרות. מערכת האקווריומים מוקמה בחדר ובו תאורת פלורסנט אחידה לכל האקווריומים וטמפרטורה של 25-26 מעלות צלזיוס. כל האקווריומים חוברו יחד לפילטר מרכזי ולמנורת UV. הדגיגים נאספו ונספרו

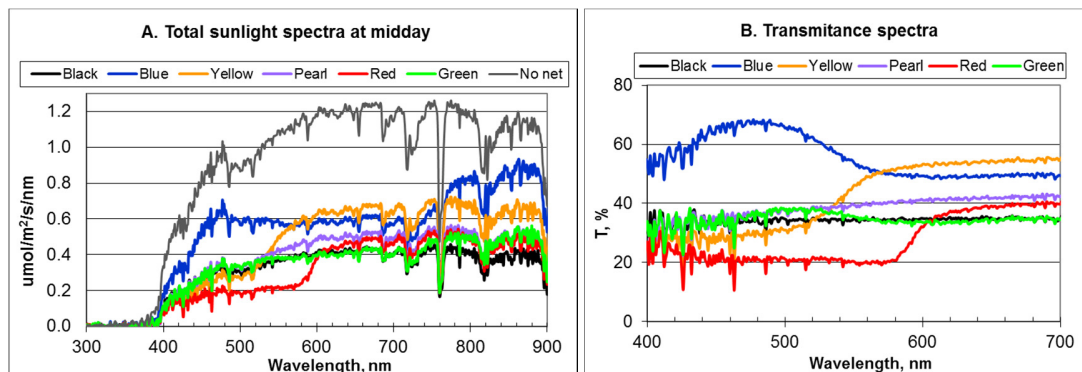
פעמיים בשבוע וביתר הימים קיבלו מנה של ארטמיה ביום. הניסוי נערך חודש ימים ודגים שמתו במהלכו הוחלפו בדגים מאותו טיפול שנשמרו וטופלו בחדר ההורים בתנאים זהים. לא נמצא הבדל מובהק בכמות הצאצאים בטיפולים השונים (טבלה 3).

טבלה 3: מספר צאצאים ממוצע לחודש של 30 נקבות ו-61 זכרים (3 קבוצות של 10 נקבות ושני זכרים) לאחר ששהו במשך חודשיים תחת רשתות הצללה צבעוניות.

yellow	x	white	red	green	blue	black
756	861	727	752	764	605	731

שנה שנייה

בוצעו מדידות ספקטרה תחת הרשתות (איור 5): ספקטרום האור באקווריום שמכוסה ברשת כחולה מועשר בתחום הכחול+ירוק (430-530 ננומטר), תחת הצהובה יש העשרה בירוק+צהוב+כתום+אדום (מ-530 ומעלה), ותחת האדומה העשרה בכתום+אדום (מ-590 ננומטר ומעלה). הרשת השחורה, כצפוי, לא שינתה כלל את הרכב הספקטרום. השפעת הרשת הירוקה הייתה מועטה בלבד. נראית העשרה של אחוזים בודדים בלבד בתחום הירוק. יצוין כי רשת זאת נראית ירוקה-כהה לעין. רשת הפנינה איננה בולעת בתחום הנראה (אלא ב-UV) והיא מפזרת מאוד את האור העובר דרכה בכל התחום הנראה.



איור 5: ספקטרה של האור באקווריום תחת כל אח מהרשתות הניסוי (A) וספקטרה של % מעבירות האור בתחום הנראה יחסית לאקווריום ללא כיסוי ברשת (B). נמדד ב-20.4.15 בצהרי היום בעזרת ספקטרודיומטר Apogee.

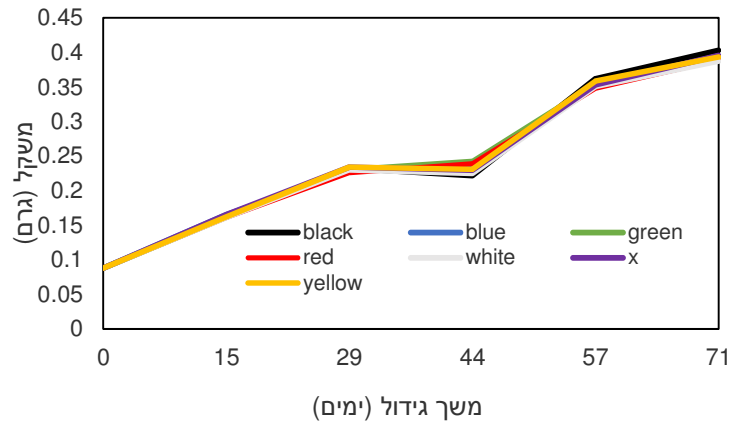
ניסוי 3: השפעת רשתות הצללה צבעוניות על קצב הגדילה, בריאות ואיכות דגי קרדינל טטרה (*Paracheirodon axelrodi*)

דגיגים בני חודשיים וחצי אוכלסו בחלוקה אקראית, סה"כ 43 דגיגים בכל אקווריום. בשבועיים הראשונים קיבלו הדגים הזנה משולבת של ארטמיה ומזון יבש של חברת Invivo מסוג 15% Mem שומן ו-60% חלבון ללא פיגמנטים (האכלה אחת ארטמיה ושתי האכלות מזון יבש). לאחר שבועיים עברו להזנה במזון יבש בלבד על פי אחוז מהביזמסה בבדיקה וגיל הדגים (טבלה 4). כמות המזון עודכנה כל שבועיים על פי השקילה. בניסוי זה נבחנו הפרמטרים הבאים: שרידת הדגים, קצב הגדילה, עיוותים וצבע הדגים.

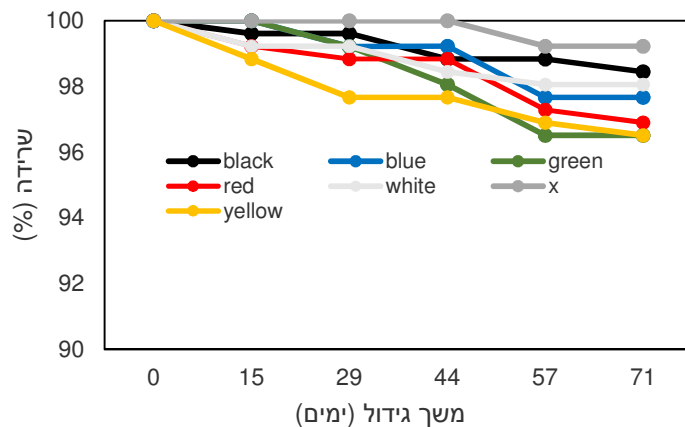
קצב גדילה: מעקב אחרי קצב הגדילה נערך על ידי שקילה של כל הדגים באקווריום כל שבועיים מתחילת הניסוי. לא נמצא הבדל סטטיסטי בקצב הגדילה בין הטיפולים השונים (איור 6).
שרידה: לא נמצא הבדל משמעותי בשרידת הדגים בין הטיפולים השונים והשרידה בכל הטיפולים הייתה גבוהה (מעל 95%) (איור 7).

טבלה 4: שיעורי הזנה לפי גיל הדגים

גיל הדגים (שבועות)	שיעור הזנה (% מביומסה)
12-14	7
15-17	6
18 והלאה	5



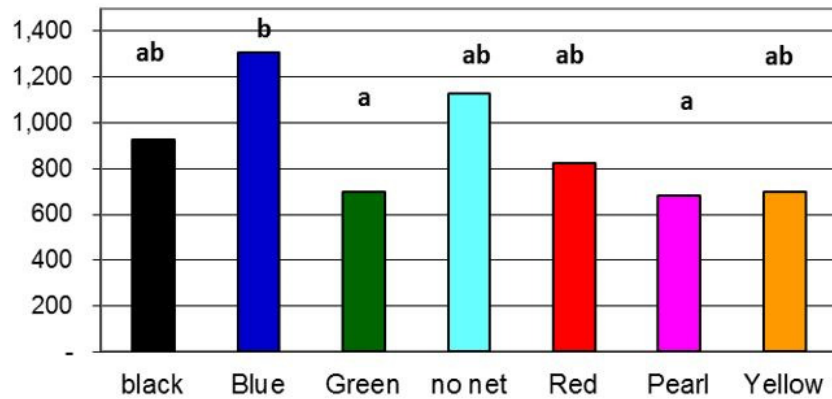
איור 6: השפעת הספקטרום על משקל ממוצע לדג בטיפולים השונים לאורך הניסוי.



איור 7: השפעת הספקטרום על אחוזי שרידה בדגי טטרה בטיפולים השונים לאורך הניסוי.

צבע הדגים: במהלך הניסוי נערכה בדיקת צבע ויזואלית על ידי קבוצת מעריכים ולא נמצאו הבדלים. הוחלט לעבור למזון עם פיגמנט למשך שבועיים – מזון OF 13% שומן ו- 59% חלבון. בסיומם נערך אומדן נוסף ושוב לא נמצאו הבדלים מובהקים.

בדיקת צבע נוספת בוצעה על בסיס ספקטרום החזר האור מעור הדג. תיאור שיטת המדידה הובא בפירוט בדוח הקודם. ההבדלים שנמצאו במדגמים של 10 דגים לטיפול לא היו מובהקים סטטיסטית. כאשר ביטלנו את שתי התוצאות הקיצוניות מכול מדגם לטיפול התקבל הבדל מובהק רק בין טיפול הרשת הכחולה לבין הירוקה והאדומה (איור 8). אבל עדיין לא ניתן היה להסיק מסקנה חד משמעית.

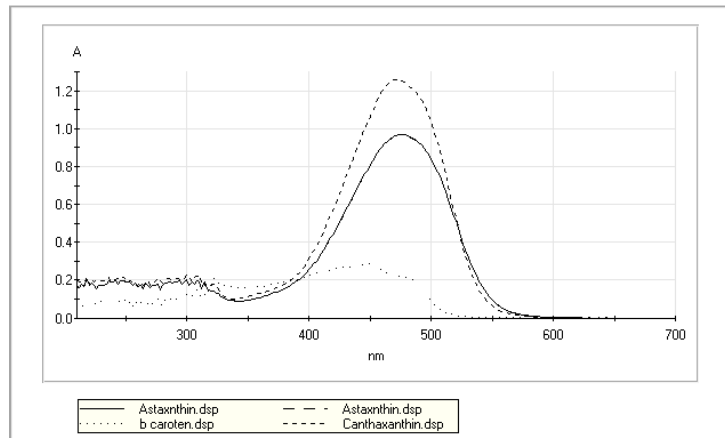


איור 8: החזר אור (בתחום הכתום-אדום, 595-625 ננומטר) מעור הדגים מטיפולי הרשתות הפרוטוסלקטיביות השונות. נמדדו בדגים מורדמים חלקית בעזרת ספקטרוידיומטר Apogee. הערכים חושבו ע"י אינטגרציה בין 595-625 ננומטר. נמדדו 10 דגים לטיפול. אותיות שונות מעידות על מובהקות ברמה של 5%, לאחר הוצאת שני הספקטרה הקיצוניים מכול עשירייה.

ניסוי 2: השפעת רשתות הצללה צבעוניות על ריכוז קרוטנואידים בדגי גופי

בוצעה בדיקת ספקטרום בליעה של כל אחד משלושת החומרים (איור 9)

1. Canthaxanthin
2. β -Carotene
3. Astaxanthin



איור 9: ספקטרום הבליעה של קרוטנואידים שנבדקו ב HPLC

- Astaxanthin ו Canthaxanthin בולעים באותו אזור כאשר הבליעה המקסימלית של שניהם היא ב 480 ננומטר.
- β -Carotene עם בליעה מקסימלית באורך גל ב 450 ננומטר כאשר גם הוא בולע באזור 480 ננומטר.

HPLC

לאחר מיצוי באצטון וכוהל שנעשה לדגים מהטיפולים השונים נבנתה שיטה להפרדת מיקס של שלושת החומרים וקביעת זמני יציאה במכשיר HPLC.

- בחינת כל הדוגמאות בשיטה המתוארת לא הראתה הבדל מובהק בין הטיפולים השונים של הדגים

ניסוי 4: השפעת רשתות הצללה צבעוניות על התפתחות מיני אצות

לזיהוי אצות שגדלו תחת רשתות הצללה במשך שלושה שבועות לאחר הוצאת הדגם ולבדיקת ריכוזי הכלורופיל והקרונואידים באותן אצות. לשם ביצוע בדיקת האצות נשלחו 21 דגימות המייצגות שלוש חזרות בכל טיפול לד"ר תמר זהרי, המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים. מתוך 21 הדגימות נבדקו ריכוזי הכלורופיל והקרונואידים בכל הדגימות. דגימות לזיהוי מיני האצות, נעשו בחזרה אחת מתוך 7 הטיפולים. להלן תקציר תוצאות הבדיקה:

ריכוזי כלורופיל a וקרונואידים

על כל דוגמא בוצעו שתי חזרות, למעט דוגמא אחת (טיפול 6) שיש עבורה רק חזרה אחת. בדוגמא 13 לא התקבלו חזרות טובות. ריכוזי הכלורופיל בדוגמאות היו גבוהים ונעו בין 80 ל-400 מיקרוגרם לליטר. ריכוזי הקרונואידים היו נמוכים, בתחום 2-8 מיקרוגרם לליטר.

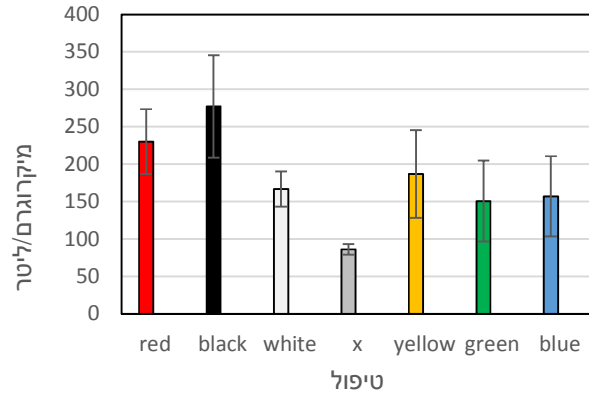
זיהוי מיני האצות

בכל 7 הדוגמאות שבהן נעשה זיהוי מינים של האצות המיקרוסקופיות (דוגמאות 15-21) מין אחד (אותו מין בכל הדוגמאות) היה שליט באופן מובהק. ב-5 מהדוגמאות (15, 17, 18, 19, 20) זה היה המין היחיד שנראה תחת המיקרוסקופ.

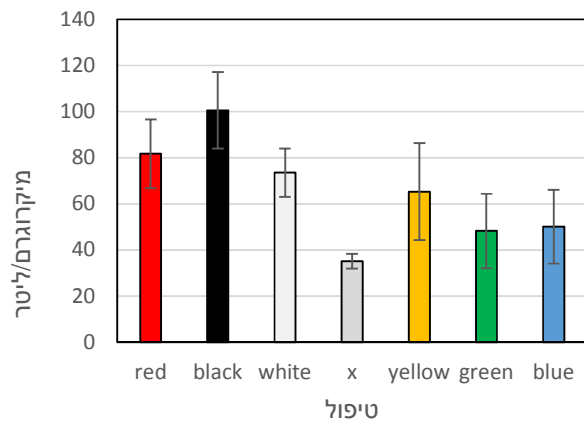
בשיטה המיקרוסקופית ניתן היה להגדיר מין זה הגדרה טנטטיבית בלבד, של תאים דמויי-כלורלה (Chlorella-like). להשלמת ההגדרה בודד דנ"א ונשלח לריצוף. לאור התוצאות ניתן לקבוע בוודאות שהמין שייך לקבוצת הירוקיות. הרכב הפיגמנטים שכולל כלורופיל a ו b אבל לא כלורופיל c תומך בזיהוי זה. התאים הם כדוריים, בקוטר של 1.5-2.1 מיקרון, קטנים מידי לזיהוי במיקרוסקופ אור. בדוגמא אחת בלבד, דוגמא 16 נראו בנוסף לתאים דמויי הכלורלה גם תאים של מין נוסף – *Scenedesmus* sp. אלו תאים קטנים מאורכים שמופיעים לרוב בצברים של 2 או 4 תאים. בדוגמא 21 נמצאו בנוסף לתאים דמויי הכלורלה גם תאים מעטים מאד של צורנית מקבוצת ה-pennate תאים אלו היו נדירים. בנוסף לאצות ניתן לראות בחלק מהדגימות גם תאים של פלגלטים הטרוטרופיים חסרי צבע (שאינם אצות).

בבדיקה סטטיסטית לא נמצאו הבדלים מובהקים בריכוזי הכלורופיל והקרונואידים בכל האצות שהתפתחו בטיפולים השונים (איורים 10,11,12). למרות זאת היה הבדל קונסיסטנטי וברור לעין

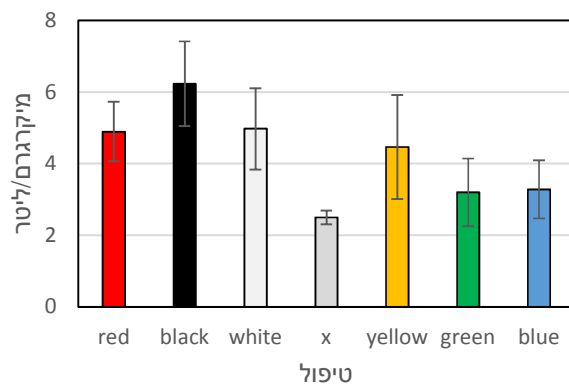
בצפיפות האצות בין אקווריומים שכוסו ברשת לבין אלא שלא כוסו ברשת (ראה איורים 10,11,12 ונספח ב').



איור 10 : ריכוז כלורופיל A בדגימות לפי צבע רשתות ההצללה



איור 11 : ריכוז כלורופיל B בדגימות לפי צבע רשתות ההצללה



איור 12 : ריכוז קרוטנואידים בדגימות לפי צבע רשתות ההצללה

שנה שלישית

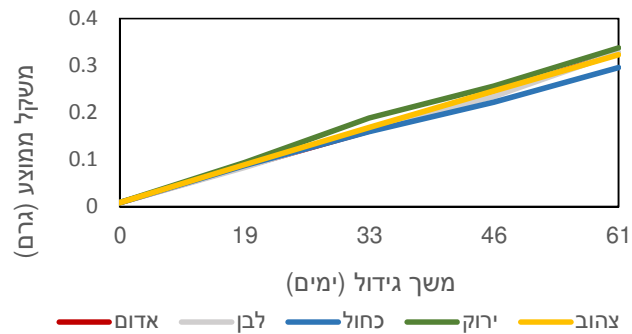
בשנה זו הוקם חדר מבודד עם תאורות לד בצבעים שונים – לבן (טבעי), ירוק, כחול, צהוב ואדום. מכל טיפול – 6 חזרות. דגיגים בני יום - יומיים אוכלסו בחלוקה אקראית, סה"כ 40 דגיגים בכל אקווריום. בשבוע הראשון הוזנו הדגיגים בארטמיה. בשלושת השבועות הבאים קיבלו הזנה משולבת של ארטמיה ומזון יבש של חברת Ocean nutrition 13% שומן ו- 59% חלבון על פי אחוז מהביומסה באקווריום. כמות המזון עודכנה כל שבועיים על פי השקילה וטבלת הזנה. בניסוי זה נבחנו הפרמטרים הבאים: שרידות הדגים, קצב הגדילה, וצבע הדגים.

1. מחקר השפעת ספקטרום תאורה על גדילה, שרידה וצבע של דגי גופי

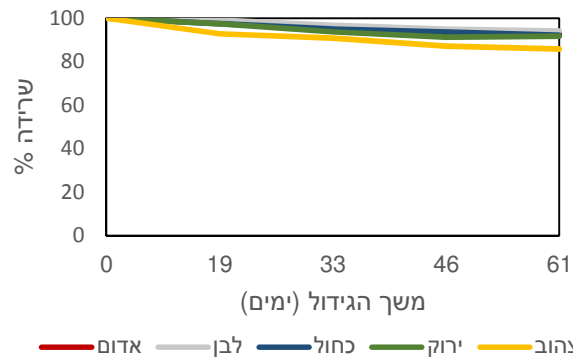
קצב גדילה: הדגים באקווריום נשקלו כל שבועיים מתחילת הניסוי. בתום הניסוי, לאחר כחודשיים (61 יום), חושב קצב הגדילה ונמצא הבדל משמעותי בין הטיפולים כאשר הדגים שגדלו בתאורה בצבע כחול גדלו פחות טוב בצורה מובהקת משאר ארבעת הטיפולים (איור 13).

שרידה: לא נמצא הבדל משמעותי בשרידות הדגים בין הטיפולים השונים והשרידה בכל הטיפולים הייתה גבוהה (מעל 86%, איור 14).

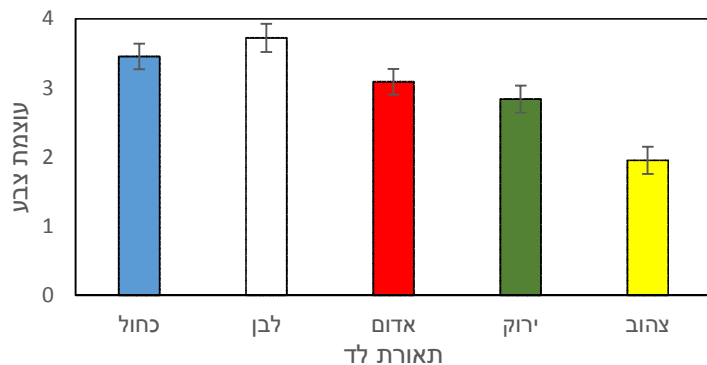
צבע הדגים: בבדיקת צבע ויזואלית, שנערכה ע"י מדגם של 8 אנשים, נמצא כי צבע הדגים היה חלש ביותר בצורה מובהקת בדגים שגדלו תחת נורות לד בצבע צהוב, דבר המאשש את התוצאות שנמצאו בניסויים הקודמים (איור 15).



איור 13: גדילת דגי גופי (משקל ממוצע) בהשפעת תאורות לד שונות.



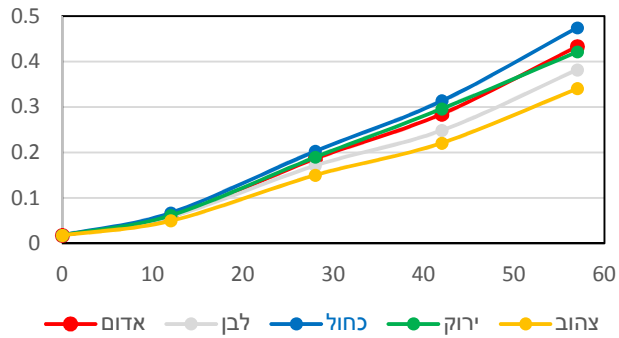
איור 14: השפעת הספקטרום על אחוזי שרידה בדגי גופי בהשפעת תאורות לד שונות.



איור 15 : עוצמת צבע בדגי גופי שגודלו בתאורות לד שונות, כפי שנקבעה ע"י מבחן ויזואלי

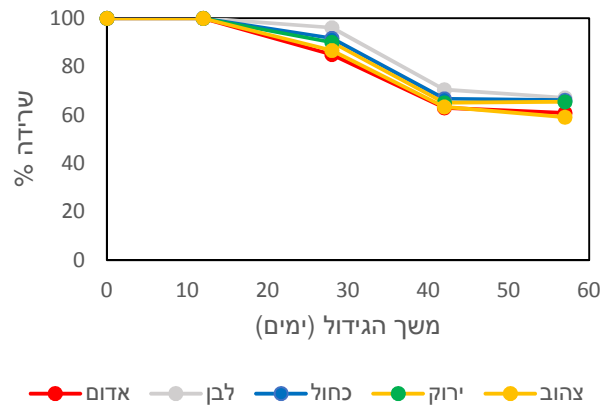
בחודשים האחרונים ביצענו את החלק השני של הניסוי בו נבדקו דגי מולי באותו אופן שבו בדקנו את דגי הגופי במערכת החד שהוקמה בתחילת השנה. חדר הניסויים מבודד עם תאורות לד בצבעים שונים (לבן (טבעי), ירוק, כחול, צהוב ואדום). הניסוי נערך ב 6 חזרות. דגיגים בני יום - יומיים אוכלסו בחלוקה אקראית, סה"כ 40 דגיגים בכל אקווריום. בשבוע הראשון הוזנו הדגיגים בארטמיה. בשלושת השבועות הבאים קיבלו הזנה משולבת של ארטמיה ומזון יבש של חברת Ocean nutrition 13% שומן ו- 59% חלבון על פי אחוז מהביומסה באקווריום. כמות המזון עודכנה כל שבועיים על פי השקילה וטבלת הזנה. בניסוי זה נבחנו הפרמטרים הבאים: שרידות הדגים, קצב הגדילה, וצבע הדגים. צבע הדגים נבדק בבדיקה ויזואלית ע"י דירוג עוצמת הצבע (1-4 כאשר 1 הוא הצבע הנראה כחלש ביותר) ע"י שמונה אנשים ללא מידע על מקור הדגים. בנוסף, 6 דגים מכל טיפול (סה"כ 24) נשלחו לבדיקת צבע במכון וולקני ע"פ ספקטרום החזר האור מעור הדג. מבחן המבוסס על קיבוע זמני של הדג בתוך מיכל צר ומדידת ספקטרום הרפלקציה בעזרת ספקטרומטר נייד מהיר מסוג Apogee UV-Vis-NIR בעל תוספת למדידת רפלקציה.

קצב גדילה: מעקב אחרי קצב הגדילה נערך על ידי שקילה של כל הדגים באקווריום כל שבועיים מתחילת הניסוי. בתום הניסוי, לאחר כחודשיים, נמצאו הבדלים משמעותיים בגדילת הדגים (איור 16) הדגים שגודלו בתאורה בצבע כחול גדלו יותר משאר ארבעת הטיפולים (מובהקות סטטיסטית) בנוסף, הדגים שגודלו תחת תאורה צהובה הראו את קצב הגידול הנמוך ביותר. בניסויים קודמים שנעשו ברשתות הצללה בדגי גופי, קרדינל טטרה ומולי, ובדגי גופי בתאורת לד לא נמצאו הבדלים משמעותיים בקצבי הגדילה.



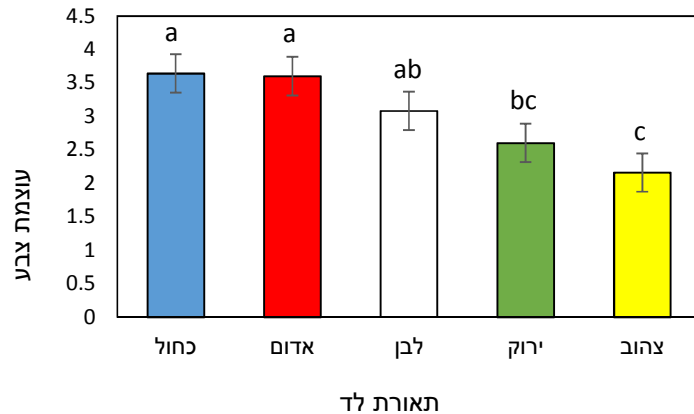
איור 16: גדילת דגי מולי (משקל ממוצע) בהשפעת תאורות לד שונות.

שרידה: לא נמצא הבדל משמעותי בשרידות הדגים בין הטיפולים השונים (איור 17).

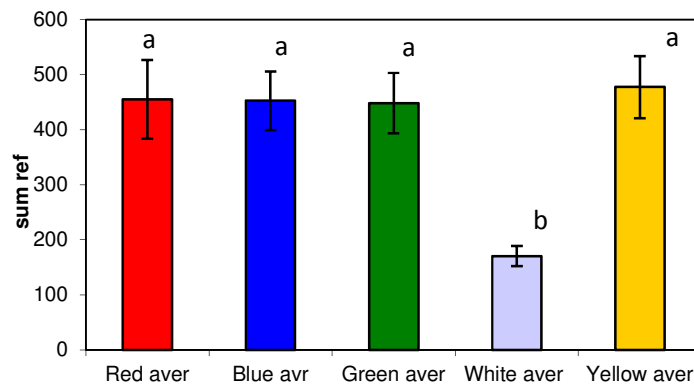


איור 17: השפעת הספקטרום על אחוזי שרידה בדגי מולי בהשפעת תאורות לד שונות.

צבע הדגים: בבדיקת צבע ויזואלית, נמצא כי בדומה לבחינה שנעשתה בדגי הגופי, צבע הדגים היה חלש ביותר בצורה מובהקת בדגים שגדלו תחת נורות לד בצבע צהוב בהשוואה לשאר הטיפולים (איור 18). הגדילה הטובה ביותר התקבלה תחת תאורה כחולה ואדומה (איור 18). תוצאות בדיקת הרפלקציה מראות הבדל משמעותי ומובהק בעוצמת הרפלקציה מהדגים שגודלו בתאורה לבנה (איור 19).



איור 18 : עוצמת צבע בדגי מולי שגודלו בתאורות לד שונות, כפי שנקבעה ע"י מבחן ויזואלי



איור 19 : עוצמת הרפלקציה מדגי גופי שגודלו בתאורות לד שונות. מדידה בתחום 595-625 ננומטר.

דיון ומסקנות

תוצאות המחקר מראות כי ישנה השפעה של ספקטרום התאורה אליו נחשפים הדגים על צבע הדגים כפי שנבדק בשתי שיטות שונות (בדיקה ויזואלית ורפלקציה) ובלתי תלויות ובשני מערכי ניסוי (רשתות הצללה ותאורת לד). עם זאת, למרות המובהקות הסטטיסטית, לא ניתן להסיק לגבי תאורה אופטימלית בצורה חד-משמעית בכלל שהתוצאות לא היו אחידות או גורפות, יתכן וצבע הדגים מושפע באופן שונה במינים שונים ואף בקווי צבע שונים. התוצאה העקבית ביותר מצביעה על השפעה שלילית על עוצמת הצבע בדגים שגודלו תחת רשת הצללה צהובה ובתאורת לד צהובה. השפעה של תאורת לד על צבע דגי זהב נמצאה במחקר אחר שנעשה לאחרונה (19), במחקר זה תאורת לד סגולה וירוקה גרמו להגברה של ייצור רני"א של ההורמון MCH האחראי על פיגמנטציה בדגים. ממצא זה מחזק את ההשערה כי ישנה השפעה ישירה של אורך הגל אליו נחשפים דגים על הפיגמנטציה הנראית לעין בעור הדג. במחקר הנוכחי נמצאה גם השפעה על גדילת הדגים בשניים מהניסויים שנערכו ונראה כי ישנו קשר בין גדילה ובין היחשפות לאורכי גל שונים. מסקנה דומה התקבלה במחקר אחר (20) בו בדקו את

השפעת הספקטרום על גדילה של שלושה מיני דגים (כולל גופי) ונמצא כי הגדילה המיטבית של דגי גופי נרשמה באורך גל כחול. תוצאות המחקר הנוכחי אינם תומכות בממצא זה באופן גורף. לסיכום, תוצאות המחקר הנוכחי מצביעות על חשיבות החשיפה לאורכי גל שונים בפיגמנטציה וגדילה של דגי נוי. חוסר העקביות בתוצאות מראה כי עדיין רב הנסתר על הגלוי ויתכן כי מינים שונים מושפעים בצורה שונה בחשיפה לאותו אורך גל. בנוסף, ישנה חשיבות לשיטת החשיפה (רשתות הצללה או תאורת לד). מחקר זה הוא ייחודי בהיקפו ובנושא הנחקר ומהווה צעד ראשון וחשוב בתחום.

תודות

תודתנו נתונה למדען הראשי, משרד החקלאות ופיתוח הכפר ולקרן קיימת לישראל על מימון תוכנית מחקר מספר 603-0312-13. אנו מודים לקירה רטנר ונפתלי צור מהמכון למדעי הצמח במרכז וולקני על מעורבותם הפעילה במחקר ועל ביצוע מדידות הספקטרה. תודה מקרב הלב לחקלאים אביתר גינת ממושב עין יהב ורן שגב ממושב עידן על תרומת הדגים לניסוי.

ביבליוגרפיה

1. גור ט, רייס חבלין נ, אושרוביץ א, פופר ד, אנצמן א וכהן י 2014. בחינת מזונות בדגי גופי (*Poecilia reticulata*) ומולי (*Poecilia velifera*). סיכום עונת מחקרים 2013/14, מו"פ ערבה תיכונה וצפונית-תמר.
2. רייס חבלין נ, גור ט, אושרוביץ מ, פופר ד ואנצמן א 2011. ניסויים להוספת פיגמנטים למזון בדגי מולי (*Poecilia velifera*). סיכום עונת מחקרים 2010/11, מו"פ ערבה תיכונה וצפונית-תמר.
3. רייס חבלין נ, גור ט, אושרוביץ מ, פופר ד ואנצמן א 2012. בחינת מזונות שונים של חברת INVIVO בהזנת דגי גופי (*Poecilia reticulata*), סיכום עונת מחקרים 2011/12, מו"פ ערבה תיכונה וצפונית-תמר.
4. שחק י 2003. רשתות צבעוניות: גישה טכנולוגית חדשה בחקלאות. עלון הנוטע, כרך 57 חוברת פברואר: 81-84.
5. שחק י 2005. גישות חדשות בכסוי מטעים ברשת: רשתות צבעוניות. חקלאי ישראל 20 אפריל: 50-56.
6. Abu Jafor Bapary M, Amin Md N, Takeuchi Y, Takemura A 2011. The stimulatory effects of long wavelengths of light on the ovarian development in the tropical damselfish, *Chrysiptera cyanea*. Aquaculture 314: 188-192.
7. Aidar E, SMF, Ganesella-Galvão TCS, Sigaud CS Asano TH, Liang KRV, Rezende MK, Oishi FJ, Aranha GM, Milani MAL, Sandes 1994. Effects of light quality on growth, biochemical composition and photo synthetic production in

- Cyclotella caspia* Grunow and *Tetraselmis gracilis* (Kylin) Butcher. J. Exp. Marine Biol. Ecol. 180: 175-187.
8. Baldwin L 2010. The effect of stocking on fish welfare. The Plymouth Student Scientist 4: 372-383.
 9. Boeuf G, Le Bail PY 1999 . Does light have an influence on fish growth ? Aquaculture 177: 129-152.
 10. Han D, Xie S, Lei W, Zhu X, Yang Y 2005. Effect of light intensity on growth, survival and skin color of juvenile Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther). Aquaculture 248: 299-306.
 11. Olivotto I, Cardinali M, Barbaresi L, Maradonna F, Carnevali O 2003. Coral reef fish breeding: the secrets of each species. Aquaculture 224: 69-78.
 12. Sánchez-Vázquez FJ 2011. Effects of light during early larval development of some aquacultured teleosts: A review. Aquaculture 315: 86-94.
 13. Vera LM, Davie A, Taylor JF, Migaud H 2010. Differential light intensity and spectral sensitivities of Atlantic salmon, European sea bass and Atlantic cod pineal glands *ex vivo*. General Comp. Endocrinology 165: 25-33.
 14. Villamizar N, Blanco-Vives B, Migaud H, Davie A, Carboni S, Sánchez-Vázquez FJ 2011a. Effects of light during early larval development of some aquacultured teleosts: A review. Aquaculture 315: 86-94.
 15. Villamizar N, García-Mateos G, Sánchez-Vázquez FJ 2011b. Behavioral responses of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae and *Artemia* sp. exposed to constant light or darkness vs. light/dark cycles of white, red or blue wavelengths. Aquaculture 317: 197-202.
 16. Volpato GL, Barreto RF 2001. Environmental blue light prevents stress in the fish Nile tilapia. Brazilian J. Med. Biol. Res. 34: 1041-1045.
 17. Yamanome T, Mizusawa K., Hasegawa E-I and Takahashi A. 2009. Green light stimulates somatic growth in the Barfin Flounder *Verasper moseri*. J. Exp. Zool. 311A: 73-79.
 18. Shahak, Y. 2014. Photosensitive netting: an overview of the concept, R&D and practical implementation in agriculture. In: Proc. International CIPA Conference

- 2012 on Plasticulture for a Green Planet (A. Sadka, ed.). Acta Hort. (ISHS) 1015: 155-162.
19. Shin, HS, Choi, CY 2014. The stimulatory effect of LED light spectra on genes related to photoreceptors and skin pigmentation in goldfish (*Carassius auratus*). Fish Physiol. Biochem. 40: 1229-1238.
 20. Ruchin, AB (2004) Influence of colored light on growth rate of juveniles of fish. Fish Physiol Biochem 30:175-178.

Effect of light quality and spectral regime on growth and color appearance of ornamental fish reared in intensive re-circulating systems

Danny Popper, Nitzan Reiss Hevlin Tal Gur Yair Kohn - Central and Northern Arava Research and Development.

E-mail: yairkohn@arava.co.il

Yosepha Shahak, Sheenan Harpaz ARO The Volcani Center