

מאמר זה התפרסם בכתב עת "על אתר - ביטאון לענייני ארץ ישראל במקורות", גיליון ו', שבט תש"ס, בהוצאת תבונות, מכללת הרצוג להכשרת מורים ליד ישיבת הר עציון, אלון שבות.

משה רענן

היבטים מדעיים וכלכליים בגידול חלזונות לצביעת פתיל תכלת*

מבוא

לאחר שסוד התכלת נעלם במשך מאות שנים, חידש בשנת תרמ"ח הרב גרשון חנוך ליינר, האדמו"ר מרדז'ין, את קיום מצוות הטלת פתיל התכלת בציצית.¹ לפי שיטתו, הופק הצבע מרכיכה ימית בשם דיוגון הרוקחים (*Sepia officinalis*). עד שואת יהודי אירופה נהגו אלפי חסידיו וחסידיו ברסלב על פי תגליתו, אך סוד התכלת נסתר שוב בשנות הפורענות. בשנותיה הראשונות של המדינה שחזרו חסידיו את תהליך הצביעה, ברם, מספר המשתמשים בתכלת על פי שיטה זו מבין חסידיו רדז'ין וברסלב אינו עולה על כמה מאות.² בשנים האחרונות הולכת וכובשת לה שיטה אחרת להפקת צבע התכלת מקום חשוב, וכבר אלפי יהודים (מעל 10000 איש) מתהדרים בפתיל תכלת על פיה. חומר הגלם לצביעה מופק מהחילזון 'ארגמון קהה הקוצים' (*Hexaplex trunculus*; ראה איור מספר 1),³ ורוב רובם של הפתילים מסופקים על

* ברצוני להודות לפרופ' עוזי ריטה מהמכון למדעי החיים באוניברסיטה העברית, לפרופ' מרדכי כסלו מאוניברסיטת בר אילן ולאביחי בנימיני על קריאה ביקורתית והערות מועילות. תודתי שמורה גם להנכ מיניס, אוצר האוסף המלקולוגי של האוניברסיטה העברית, שסייע רבות בקריאה ביקורתית, בהגדרת המינים ובהפניה לחומר רלוונטי רב ערך, ליואל גוברמן מ'האגודה לקידום והפצת התכלת', שסיפק את הנתונים על ההיבטים הכלכליים של השימוש בארגמון בהווה ולקולין פורטר מהמכון לחקר הימים והאגמים באילת שהציג לפני את הנתונים על חקלאות ימית בכלל ובאילת בפרט. הצילומים המצורפים למאמר צולמו על ידי המחבר.

1. לסקירה מקיפה של השיטות השונות לזיהוי הדרכים הקדומות להפקת התכלת, הכוללת ביבליוגרפיה נבחרת, ראה: מ' בורשטיין, התכלת, ירושלים תשמ"ח.
2. נתון זה נמסר לי על ידי הרב יהושע פרידמן.
3. 'זיידרמן', 'לחידוש מצוות התכלת בישראל', תחומין ט, אלון שבות תשמ"ח, עמ' 423-446; א' טבגר, 'בחינות חדשות בעניין התכלת', מוריה יח (ג-ד), תשנ"ב, עמ' עב-פז; צפיה ה, תכלת. ארגמן. תולעת שני, ירושלים תשנ"ו.

ידי 'האגודה לקידום והפצת התכלת'⁴. מגבלות של שמירת טבע אינן מאפשרות לאסוף את החלזונות בישראל והאגודה מייבאת את החומר הנדרש להפקת הצבע מארצות שונות ובעיקר מספרד ומיוון.⁵ איסוף הארגמון בארצות אלו אינו מכוון בדווקא והחלזונות נתפסים אגב גריפת רשתות על גבי קרקעית הים. הדייגים אוספים יצורי ים שונים, בעיקר דיונונים הנמכרים במחירים גבוהים במזרח אסיה, והארגמון נתפס באקראי ברשתות ונמכר לאכילה במחירים נמוכים בשווקים המקומיים. בהשגחת 'האגודה לקידום והפצת התכלת' מוציאים מהארגמון, קודם שנמכר, את הבלוטה התת-זימית, וחומר הגלם שמופק ממנה מיובא ארצה בצורת אבקה יבשה. כדי להפיק כמות מספיקה של צבע לצביעת ארבעה פתילים (הדרושים לארבע כנפות) יש להמית 30-40 פרטים. עובדה זו מסבירה את המחיר היקר של הפתילים היום ותואמת את דברי הגמרא במנחות (מד ע"א) באשר ליוקר התכלת בעבר. ראוי להזכיר שיטה נוספת שמזהה את התכלת עם מיני חלזונות אחרים,



איור מספר 1: ארגמון קהה הקוצים.

4. באגודה ניתן לקבל מידע רב ערך בנושא הפקת התכלת (ת"ד 50234, ירושלים 91502, אתר אינטרנט - www.tekhelet.co.il).
5. כיום מוגנת כל מערכת הרכיכות על פי חוק, וחל איסור על איסוף קונכיות ועל בעלות על אוסף קונכיות בלא היתר מיוחד מרשות שמורות הטבע. יש להדגיש שהאיסור חל על כל אזורי הארץ ולא רק בשמורות טבע.

הסגוליות (Janthina; ראה איור מספר 2),⁶ אך הם אינם משמשים להפקת תכלת, הואיל וטרם התברר תהליך הצביעה במין הזה.⁷ נוסף לכך הסגוליות נדירות מאוד.

במשך עשר השנים האחרונות נתבקשתי, כחוקר שהתנסה בריבוי חלזונות ממינים אחרים,⁸ לסייע בפתיחת צוואר הבקבוק הנוכחי בתעשיית התכלת על פי שיטת הארגמון, באמצעות איתור הדרך לאספקת חלזונות במחיר זול יותר ובכמות גדולה. מאמר זה נועד לסקור את הבעיות העומדות בפני המחקר ולהציג את כיווני המחקר הרצויים ואת הסיכויים למצוא פתרונות נאותים למצב הנוכחי. כיוון הפתרונות הנדרשים הוא פיתוח תחליפים לייבוא היקר, שהמשכו מוטל בספק כבר בעתיד הקרוב בשל תקנות שמירת הטבע והידלדלות כמות החלזונות.⁹ בדברינו נתרכז בארגמון, לאור העובדה שהוא המקור המקובל לתעשיית התכלת יותר מאשר



איור מספר 2: סגולית דו-גונית - בצמוד לפתח הקונכייה ניתן לראות רפסודת קצף המופרשת על ידי החילזון ומציפה אותו במי הים.

6. זו שיטת הרב הרצוג שהוצגה בעבודת הדוקטורט שלו, שכותרתה *Hebrew Porphyrology*, משנת תרע"ד (יחד לה פרק בספרו של מ' בורשטיין [לעיל, הערה 1], עמ' 215-241, ובאנגלית בספר - E. Spanier, *The Royal Purple and The Biblical Blue*, Jerusalem 1987, pp. 17-146).

7. ניסיונות לבסס שמועות על הישגים לכאורה של מספר חוקרים בגידול סגוליות ובצביעת פתילי ציציות בהן טרם הניבו פרי.

8. מ' רענן, סיסטמטיקה ואקולוגיה אבולוציונית של הסוג **Melanopsis** בכנרת, חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים 1986.

9. ראה להלן בפרק על המחסור בארגמון בחוף הישראלי.

האלטרנטיבות האחרות. אין בכוונתי לחוות דעה בנושא זיהוי התכלת,¹⁰ והקורא המתעניין בסוגיה זו מופנה לספרות הענפה שדנה בה.¹¹ נציין שרוב הבעיות וההצעות שנביא בהמשך הדברים מתייחסות במידה רבה גם למינים האחרים המוצעים כמקור לתכלת. נייחד את הדיבור על כמה מושגי יסוד באקולוגיה, אף שהקורא האמון על הביולוגיה יכול לוותר עליהם. ההיבטים הביולוגיים המפורטים והמקצועיים שבמאמר זה נועדו לסקור את הקשיים האובייקטיביים העומדים לפני המגדל, ומטרתנו היא להציג התמודדות עם כל הבעיות שעתידות לעמוד בפני כל מי שיעסוק בגידול המוני של חלזונות. אין כוונתנו לרפות את ידי ה'נחשונים' וה'פרטיזנים' שהחלו לעשות במלאכה בחדרי חדרים ובסודי סודות. מטרתנו להבהיר שבלא שיתוף פעולה נרחב ומתמיד בין מדענים מתחומים שונים קטן הסיכוי לפריצת דרך בתחום הפקת התכלת.¹² מאמר זה מהווה אפוא תכנית אב ראשונה מסוגה, המיועדת למתעניינים בכלל ובפרט לבעלי החזון והיזמה הרוקמים תכניות מעשיות ברמות שונות, ממניעים שונים, לגידול חלזונות ולהפקת צבע התכלת.¹³ אכן, לאחרונה, התחיל מחקר ראשוני שנועד לחקור תחומים בסיסיים החיוניים לגידול ארגמון קהה הקוצים בתנאי מעבדה.¹⁴

השימוש בארגמונים בהיסטוריה¹⁵

מבין כעשרים המינים של משפחת הארגמונים הנמצאים במימי דרום-מזרח הים התיכון, נמצאו רק שלושה בכמויות משמעותיות בחפירות ארכאולוגיות לאורך

10. בפרק על המחסור בארגמון בחוף הישראלי בהווה, אתייחס לפשר הביטוי "עולה אחת לשבעים שנה".

11. ביבליוגרפיה עשירה וזמינה (בעזרת 'מנוע' חיפוש ידידותי) נמצאת באתר האינטרנט של 'האגודה לקידום והפצת התכלת'.

12. טבעו של מחקר מדעי הוא שהתקדמותו מתבצעת צעד אחר צעד על ידי חוקרים רבים המוסיפים כל אחד נדבך משלו לתחום המחקר. העובדה שבנושא מאמרנו לא החל עד עתה שיתוף פעולה בין החוקרים השונים גורמת לכך שכל חוקר מתחיל את מחקרו בתחום מנקודת ההתחלה.

13. לאחרונה נכתב מחקר שעסק בהיבטים הכלכליים של גידול התכלת. ראה: ט' גליקשטיין ול' חבר, סמינריון בייזום עסקים בית הספר למנהל עסקים, האוניברסיטה העברית, ירושלים 1998.

14. כותב המאמר ישמח לקבל תגובות והצעות הן בתחום המחקרי והן בתחום הכלכלי כדי לקדם את נושא גידול הארגמון למטרת הפקת צבע התכלת, בדואר אלקטרוני raanan@mofet.macam98.ac.il

15. פרק זה נערך בעיקר על פי: J.T. Baker, 'Tyrian purple: an ancient dye, a modern problem', *Endeavour* 33 (118), 1974, pp. 11-17; E. Spanier and N. Karmon, 'Muricid Snails and the Ancient Dye Industries', in: E. Spanier (ed.), *The Royal Purple and The Biblical Blue*, Jerusalem 1987, pp. 179-192

החופים. החוקרים משערים אפוא, שלשלושת מינים אלו היה תפקיד חשוב בתעשיית הצבע בעבר. שלושת המינים הם: ארגמון קהה הקוצים (Hexaplex trunculus), ארגמון חד הקוצים (Hexaplex brandaris; ראה איור מספר 3) וארגמנית אדומת הפה (Stramonita haemastoma; ראה איור מספר 4). המינים הדרום-מזרחיים תיכוניים האחרים לא היו ככל הנראה בני שימוש, משום שהם



איור מספר 3: ארגמון חד הקוצים.



איור מספר 4: ארגמנית אדומת הפה.

נדירים באופן יחסי באזור זה או משום שהם קטנים מכדי להשתמש בהם. מתוך הממצאים הארכאולוגיים ניתן לשער שהשימוש בארגמון קהה הקוצים היה רב מהשימוש בשני המינים האחרים יחד. ייתכן גם ששיטת האיסוף של ארגמון קהה הקוצים הייתה נוחה מזו של שאר המינים. ארגמון קהה הקוצים נאסף בעזרת סלי נצרים שהכילו פיתיונות בשר, ופרטים רבים נהרו אליהם ללא השקעת מאמץ על ידי האוספים.¹⁶ לעומת זאת, ארגמון חד הקוצים חי במים עמוקים, ואת ארגמנית אדומת הפה - שאמנם נפוצה מאוד בין סלעי החוף, היה צורך ללקט אחת אחת באופן ידני.

שכיחותם של שרידי הקונכיות (שלמות או מרוסקות) בחפירות הארכאולוגיות איננה מהווה עדיין הוכחה מספקת לקיום של תעשיית צבע בעבר. ניתן להעלות על הדעת שהממצאים מעידים דווקא על מפעלי מזון, הואיל וחלזונות אלו משמשים עד היום למאכל בארצות שונות סביב הים התיכון.¹⁷ הקונכיות היו עשויות לשמש גם לקישוט, למטרות פולחניות ואפילו כחומר לבניין.

לאור ממצאים ארכאולוגיים נוספים, ובמיוחד על פי הזיהוי של מיקום השבר ברוב הקונכיות שהתגלו (מעל הבלוטה התת-זימית, ראה איור מספר 5), ההנחה



איור מספר 5: ארגמון קהה הקוצים עם שבר בקונכייה מעל הבלוטה התת-זימית.

16. ראה להלן בפרק על שיטת איסוף הארגמון לאור הביולוגיה שלו.
17. למרות שכמה מקורות מצביעים על אפשרות לאפקט רעיל של חלזונות אלו בגלל חומרים הנמצאים בבלוטה התת-זימית ובמיוחד המורקסין - ראה בפנים להלן.

הרווחת היא שהשימוש בקונכיות היה רב תכליתי. משהוסרה הבלוטה התת-זימית - חומר הגלם לייצור הצבע, ניתן היה להשתמש לאכילה ביתרת החומר החלבוני שנוקה ממרכיביו הרעילים. קונכיות שלמות שימשו לקישוט ולפולחן, ואילו קונכיות שבורות שימשו כחומר מילוי וריצוף בתעשיית הבנייה ולסלילת הכבישים בעולם העתיק.¹⁸

הקונכיות התגלו בערמות נפרדות: ערמות של ארגמון קהה הקוצים נמצאו בנפרד מערמות מעורבות של ארגמון חד הקוצים וארגמנית אדומת הפה. מתוך ממצאים אלו ניתן להסיק שהתקיימו שני מסלולי צביעה. אחד של צביעת תכלת באמצעות ארגמון קהה הקוצים והשני של צביעת ארגמן על ידי שני המינים האחרים. הרכב החומרים בבלוטה התת-זימית של המינים שונה ואכן ארגמון חד הקוצים וארגמנית אדומת הפה מכילים רק את הכרומוגן (חומר המוצא לצבע) די-ברומו-אינדיגוטין (אדום) ואילו בארגמון קהה הקוצים נמצא בנוסף לדי-ברומו-אינדיגוטין גם אינדיגוטין שהוא כחול. יש להעיר שהצבע נקבע לא רק על ידי הכרומוגן אלא גם על ידי תהליך הצביעה.¹⁹

רקע ביולוגי

ארגמון קהה הקוצים (*Hexaplex trunculus*) שייך למשפחת הארגמוניים (*Muricidae*) הכוללת יותר מארבע מאות מינים. למשפחה יש חשיבות כלכלית, הן כמקור למזון והן (בחלק מהמינים) כמקור לצבע. הטקסונומיה המודרנית מכלילה את ארגמון קהה הקוצים בתת-המשפחה *Muricinae*. יש כמה שמות נרדפים לשם המדעי של ארגמון קהה הקוצים: *Murex trunculus*, *M. turbinata*, *M. goldi*, *Trunculariopsis trunculus*, *Phyllonotus trunculus* ועד לאחרונה *Muricanthus trunculus*. באנגלית הוא נקרא *Rock murex*. גודל הקונכיה מגיע ל-80 מ"מ והיא בצורת פלך רחב. דפנות הקונכיה עבים והיא מכוסה בבליטות קהות.

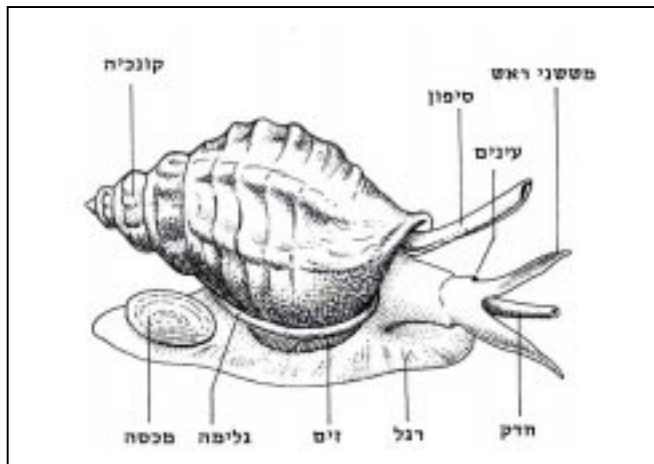
א. בית הגידול - החילזון נמצא על סלעים, ובמידה רבה יותר על אבנים המפוזרות על חול גס וביניהן או אף על חול רך בקרבת תשתית קשה. ייתכן שמיקום זה מעיד על העובדה שהחילזון מתקשה בזחילה על פני חול רך ואולי כלל אינו מסוגל לכך. כמו כן מעיד המיקום על חוסר יכולתו של החילזון למצוא טרף

18. ראה: א' שפנייר ונ' קרמון (לעיל, הערה 15), עמ' 179-180.

19. נ' קרמון, 'תעשיית הצבע בעת העתיקה', בתוך: ח' שורק וא' איילון (עורכים), צבע מהטבע, תל אביב תשנ"ג, עמ' 87-90. אינדיגואידיים הם תרכובות המוצא לתעשיית הצבע מהחלזונות. נכללים בהם האינדיגוטין היוצר צבע כחול ותרכובות המכילות בנוסף לאינדיגוטין גם את היסוד ברום (מונו-ברומו-אינדיגוטין ודי-ברומו-אינדיגוטין בצבע ארגמן).

מתאים בבית גידול רך.²⁰ הארגמון נפוץ באזור הכרית ותת-הכרית, כאשר רוב האוכלוסייה מרוכזת במים רדודים יחסית (עד 15 מ').²¹ הארגמון נפוץ בחופים מוגנים כמו מפרצים או נמלים.

ב. מבנה החילזון - גוף החילזון (כמו שאר המינים בסדרת הקדם-זימאים [Prosobranchia]) מורכב מארבעה חלקים.²² ראש, רגל שרירית, גלימה (רקמת עור חיצוני העוטפת את חלקי הגוף המרכזיים) ושק הקרביים הנמצא בתוך פיתולי הקונכייה בצד הפונה לקדקודה (ראה איור מספר 6). הראש והרגל של החילזון מבצבים דרך פתח הקונכייה, ואילו שאר החלקים שוכנים באופן קבוע בתוך פיתולי הקונכייה. לחלזונות יש ראש הנושא זוג משושים ועיניים, ובקצהו נישא הפה. בגחון יש רגל שרירית עם סוליה שטוחה, המאפשרת את זחילת החילזון בעזרת רצף של התכווצויות שריריות גליות, החולפות לאורך הרגל מאחור לפניו. הרגל נאחזת בקרקעית בעזרת ריר צמיג. הסוליה נושאת בקצה האחורי שלה בצד הגבי מבנה עגול קשיח - מכסה הקונכייה (operculum), המשמש לסגירת הקונכייה כאשר החילזון נסוג לתוכה (ראה איור מספר 7).²³ נסיגה זו נובעת הן כתוצאה ממגע בחילזון (כך נמנע החילזון מטריפה) והן כתוצאה מחשיפה ליובש. קיר הגוף יוצר קיפול דמוי צווארון המכסה את



איור מספר 6: סרטוט מבנה של חילזון טיפוסי מהקדם-זימאים.

20. מינים החיים על פני החול הם כמעט תמיד מינים מתחפרים, ולפיכך הארגמון אינו מסוגל לאתר אותם או להגיע אליהם.
21. ראה: א' שפנייר ונ' קרמון (לעיל, הערה 15), עמ' 180-181.
22. מבנה זה אופייני גם לרוב בני מחלקת החלזונות (Gastropoda), אלא שבמחלקה זו ישנן סדרות בעלות מבנה שונה במעט.
23. האופרקולום של קבוצות חלזונות מסוימים שימש להפקת בושם וייתכן שהוא השחלת המקראית (ראה: ז' עמר, 'שחלת - צפורן', על אתר ג, תשנ"ח, עמ' 31-37).

הפיתול האחרון של החילזון, ויוצר חלל בינו ובין הגוף. רקמה זו נקראת גלימה, והחלל נקרא חלל הגלימה (ראה באיור מספר 8 גלימה של שחריר הנחלים [Melanopsis praemorsa] השייך גם הוא לקדם-זימאים). השוליים הקדמיים של הגלימה מפרישים את החומרים השונים הבונים את הקונכייה. הגלימה



איור מספר 7: ארגמון קהה הקוצים - מכסה הקונכייה.



איור מספר 8: שחריר הנחלים (Melanopsis praemorsa) - הגלימה ושאר החלקים הרכים הנחשפים לאחר שבירת הקונכייה.

מתמשכת למרזב (הסיפון) היוצא אל תוך המים דרך התעלה הסיפונלית של הקונכייה ומשמש לנשימה (ראה איור מספר 7).

בחלל הגלימה שוכנים מספר מבנים:

א. הזימים. ב. האוזפרידיום, הנחשב כאיבר חוש כימי. איבר זה מפותח יותר בחלזונות טורפים, כהתאמה לצורך למצוא את טרפם באופן אקטיבי. איבר זה עשוי להיות האמצעי שבעזרתו הארגמונים (וחלזונות טורפים אחרים) מתקבצים סביב גוויות בעלי חיים. ג. הבלוטה התת-זימית. לבלוטה מורכבת זו, הממוקמת מתחת לזימים, יש מספר תפקידים ברורים: 1. הפרשת חומר רירי המדביק חלקיקים זרים שונים החודרים לחלל הגלימה. הדבקה זו מגדילה את יעילות הרחקת החלקיקים הזרים והפרשות החילזון על ידי תנועה של ריסים הממוקמים על פני שטח חלל הגלימה. 2. הפרשת חומר נאורו-טוקסיני - מורקסין (Urocanylechoilin). חומר זה מופרש על ידי חלקה האמצעי של הבלוטה התת-זימית ויש לו תכונות הדומות לרעל הקוררה.²⁴ החומר משתק בעלי חיים בעלי דם קר,²⁵ המהווים את טרפו של הארגמון (סרטנים, דגים, רכיכות וכו'). 3. הבלוטה מפרישה נוזל צלול המכיל את חומרי המוצא של תעשיית הצבע העתיקה - תכלת וארגמן.

אל תוך חלל הגלימה נפתחים גם פי הטבעת, פתח המין ופתח מערכת ההפרשה. שק הקרביים (Visceral Mass) מכיל את רוב מערכת העיכול וכולל את ה'כבד' (בלוטה גדולה הממוקמת באמצע המעינים), את הלב ואת רוב מערכות ההפרשה והרבייה. מערכת העיכול כוללת לוע שרירי, ושט ארוכה, קיבה, מעיים ופי טבעת. החרטום, בדומה לחלזונות ימיים טורפים רבים אחרים, מוארך ויוצר חדק באורך בינוני. מקרקעית הפה בולט מכשיר 'שיוף' - מגרדת (Radula), שבעזרתו מפרק החילזון את המזון וגוררו אל תוך הפה. המגרדת בנויה מקרום בסיסי המורכב מכיטין והנושא שיניים כיטיניות. סידור השיניים מהווה סימן סיסטמטי חשוב בחלזונות. בארגמוניים ממוקמת בקרבת המגרדת בלוטת עזר המסייעת למגרדת בעת קידוח קונכיית הטרף. בלוטות נוספות בארגמונים הן בלוטות הרוק, המייצרות חומר סיכה למזון הנבלע. בלוטות אלו מייצרות בכמה ממני הארגמונים אנזימים פרוטאוליטיים (מפרקי חלבונים). בלוטה נוספת ממוקמת בצד הגחוני של הרגל ותפקידה לקלוט את הביצים העטופות עדיין

24. רעל הקוררה הוא הרעל שבו מושחים האינדיאנים את ראשי חצייהם. רעל זה מונע את פעילות האנזים (אצטיל כולין אסטרזאז) המפרק את החומר האחראי להובלת הדחפים העצביים בין קצוות תאי העצב (אצטיל כולין) וגורם להצטברותו בסינאפסה (הרווח בין קצוות העצבים). בכך נחסם הערוץ להובלת האותות העצביים אל השרירים. התוצאה הנראית לעין היא שיתוק.

25. בעלי חיים פויקילותרמיים.

בנרתיק דק, להקשות את הנרתיק, לעצב אותו ולפלוט את נרתיקי הביצים.

ג. התנהגות התזונה - למרות שלחלזונות יש זוג עיניים בראש, נראה שהערוץ החשוב ביותר לקליטת רמזים ממקורות מזון פוטנציאליים הוא החוש הכימי (ריח, טעם). בתצפיות שערכו שפנייר וקרמון, נמצא שארגמון קהה הקוצים איתר טרף חי (חלזונות) כאשר היה במגע עם מים שזרמו בסביבת הטרף גם כאשר הוא הופרד ממנו על ידי מחיצה אטומה (לאור).²⁶ בניגוד למיני ארגמון אחרים, ארגמון קהה הקוצים אינו טורף סלקטיבי. בתנאי מעבדה הוא ניזון ממגוון של מיני רכיכות חיים.²⁷ בטבע הארגמון טורף סרטני נזיר וניזון מדגי גרם, מדגי סחוס מתים וממגוון של בשר ממקורות ימיים ויבשתיים.²⁸ סוג תזונה זה מסביר את צפיפותו הגבוהה של הארגמון בקרבת נמלי דיג ומעגנים, שבהם נזרקות למים שאריות של שלל הדיג.

הארגמונים מטפלים בטרף המוסתר על ידי קונכייה קשה בשתי שיטות עיקריות: 1. השיטה הנפוצה יותר היא בעזרת קידוח של נקב עגול דרך הקונכייה (ראה איור מספר 9). הקידוח מתבצע על ידי פעולת שחיקה מכנית שמבצעת



איור מספר 9: נקבי קידוח על ידי חילזון טורף.

26. ראה: א' שפנייר ונ' קרמון (לעיל, הערה 15), עמ' 183-185.
27. כמו: צלחית מכחילה (*Patella caerulea*), חד שן משובץ (*Osilinus turbinatus*), יסדוק יוני (*Diodora graeca*), כיטון זיתני (*Chiton olivaceus*), בוצית קטנה (*Mytilaster minimus*) ועוד.
28. ראה: א' שפנייר ונ' קרמון (לעיל, הערה 15), עמ' 183.

המגרדת²⁹ ועל ידי בלוטת עזר המפרישה חומרים המרכיבים את גבישי הגיר הבונים את הקונכייה. לאחר השלמת הקידוח יכול החילזון להחדיר את החדק ולהגיע אל החלק החי של הרכיכה. 2. פתיחת המרווח שבין הקשוות של הצדפות בעזרת שרירים חזקים והחדרה של החדק על מנת להגיע לחלק החי של הצדפה. החדק המוארך של ארגמון קהה הקוצים יכול לחדור דרך חור קטן, עד קוטר של 0.5 מ"מ. בתצפיות מעבדה התברר שלאחר המגע הראשוני של הארגמון עם החלק החי של הצדפה חלה הרפיה מוחלטת של השרירים הסוגרים את קשוות הצדפה. גם החילזון צלחית מכחילה, הצמוד בחזקה למצע, ניתק ממנו מיד לאחר מגע עם חדק הארגמון. התופעה מאפשרת לארגמון להחדיר את החדק עמוק יותר אל גוף הטרף ולהשלים את טריפתו תוך מספר שעות. שיתוק הטרף נגרם ככל הנראה מהזרקת המורקסין המופרש מהבלוטה התת-זימית. המורקסין, שנמצא כבעל פעילות טוקסית, בודד מהבלוטה התת-זימית של ארגמון קהה הקוצים וארגמון חד הקוצים ומאפיין כנראה מינים המייצרים אינדיגואידים.³⁰ שיטת תזונה זו יעילה יותר מאשר טכניקת הקידוח הממושכת ובזבזנית האנרגיה, ברם שיטת הקידוח נחוצה במספר מקרים: 1. בעת טריפה של צדפות הסגורות בחזקה, באופן המונע אפילו את הזרקת המורקסין. 2. בעת טריפה של מינים ארסיים כמו חרוט ים תיכוני (*Conus mediterraneus*). במקרה זה החילזון חייב לנקב את הקונכייה ולהגיע לחילזון באופן שלא יסכן אותו. 3. טריפה של בני המשפחה או של בני הסוג עצמו. ייתכן שהשימוש בקידוח במקרה של קניבליזם נובע מכך שמיני הארגמונים עמידים להשפעה המשתקת של המורקסין. קניבליזם הוא תופעה שנצפתה בעיקר כאשר ארגמונים מוחזקים יחד ללא מזון חלופי, בעוד שבטבע תופעה זו כמעט שאיננה קיימת. בסקר של 1200 ארגמונים חיים ו-300 קונכיות ריקות לא נמצאו נקבי טריפה,³¹ ככל הנראה, בשל חלופות התזונה הרבות הקיימות לטורף לא סלקטיבי זה.

ד. רבייה והתפתחות - הזוויגים נפרדים. עונת הרבייה מתחילה כאשר הטמפרטורה עולה, מתחילת האביב עד תחילת הקיץ (מאמצע מרס עד יוני). נראה שהגורם המעורר הוא העלייה בטמפרטורה ולא התארכות שעות האור, משום שהתופעה נצפתה גם בתנאי מעבדה בהם אורך היום היה קבוע. במעבדה, כמו בטבע, הרבייה התחילה כאשר הטמפרטורה הגיעה ל-19 מעלות צלזיוס.³² הזוויגים

29. כאמור, לוח שרירי הנושא שיניים כיטיניות קשות הנמצא בתוך פה החילזון ומשמש לקרצוף ולאיסוף המזון.

30. V. Erspamer and F. Dordoni, *Arch. Intern. Pharmacodynamie* 74, 1974, pp. 265-285.

31. ראה: א' שפנייר ונ' קרמון (לעיל, הערה 15), עמ' 183-186.

32. שם, עמ' 186-188.

יוצרים צברים גדולים של מאות פרטים, וההזדווגות וההטלה מתבצעות בערבוביה, כנראה בעקבות הפרשה של פרומון כלשהו אל המים. ייתכן שפרומון זה הוא חומר המוצא של צבעי התכלת והארגמן, משום שתצפיות הראו שקיימים הבדלים בין הפרשות הבלוטה התת-זימית של זכרים ושל נקבות ושתכולת הבלוטה יורדת לאחר התחלת עונת הרבייה.

הביצים ארוזות בנרתיק (Capsule) דמוי קלף. המראה הכללי של גוש הביצים של הארגמן הוא דמוי ספוג, צבעו בדרך כלל צהבהב ולעתים קרובות בעל גוון ארגמני, כנראה בגלל ספיגה של די-ברומו-אינדיגוטין המופרש מהבלוטה התת-זימית. גוש הביצים נוצר באתר ההטלה המשותף, מחובר למצע, אך לעתים הוא ניתק וצף באופן חופשי במים. הובלה על ידי זרמי הים עשויה לפצות את הארגמן על העדר שלב 'זחל שחיין' (Veliger) ולשמש כאמצעי הפצה יעיל. רוב הארגמוניים, ובכללם ארגמן קהה הקוצים, עוברים את כל שלבי ההתפתחות הלוויליים (שלבי הזחל) בתוך נרתיק הביצים, והצעיר בוקע כחילזון קטן. ההתפתחות בתוך נרתיק משותף מהווה חלופה יעילה למחזור חיים הכולל שלב 'זחל שחיין', החשוף מאוד לסכנת טריפה. במקום 'עובר שחיין' הניזון בגוף המים, התפתח אצל הארגמוניים 'קניבליזם עוברי', כלומר - חלק מהביצים אינו מתפתח לעובר תקין והן משמשות כביצי הזנה לעוברים התקינים.

שיטת איסוף החלזונות לתעשיית הצבע העתיקה

הבנת הביולוגיה של הארגמונים מאפשרת הבנה טובה יותר של תעשיית הצבע בעת העתיקה. התנהגות הטריפה של הארגמונים נוצלה על ידי הקדמונים כדי לאסוף חלזונות ממינים אלו. במקורות היסטוריים, כמו פליניוס³³, מתוארת שיטת האיסוף בעזרת סלי נצרים שבהם הונחו נתחי בשר טרי כפיתיון. העובדה שהארגמן אינו טורף סלקטיבי גורמת לכך שהוא נמשך למקור ריח בשר מכל סוג, ואינו מתמקד דווקא בבשר של יצורים ימיים. החלזונות מגיעים לסלי הפיתיון, נצמדים לדופנותיהם בחזקה, בניסיון להגיע לבשר על ידי החדרת החדק הארוך שלהם דרך הסדקים שבין הנצרים, וכך ניתן להעלותם מעל פני המים.

כיום ברור שחומרי המוצא של החילזון ההופכים לצבע, משתנים במהירות בנוכחות חמצן ואור ולכן היה הכרחי, כפי שמזכיר פליניוס, להשתמש לצורך הצביעה בחומר טרי. בנוסף לכך, חומרים אלו נמצאים בבלוטה התת-זימית בכמויות זעירות, לכן היה צורך להשתמש במספר עתק של פרטים ולהשאירם בחיים עד

³³ Pliny the Elder, *Natural History* IX, 63 (Trans. H. Rackham), Cambridge- London 1956, pp. 136-139. תרגום חופשי מובא אצל מ' בורשטיין (לעיל, הערה 1), עמ' 249-247.

הצביעה עצמה. איסוף מספר כה גדול של חלזונות דרש זמן רב, ונשאלת השאלה כיצד נשמרו החלזונות בחיים עד הצביעה? מתוך קונכיות שנמצאו בחפירות ארכאולוגיות לאורך חופי ישראל ולבנון עולה תשובה אפשרית. בחלק מהקונכיות נמצאו נקבים קטנים, הדומים בצורתם ובגודלם לנקבים שנקדחו על ידי ארגמונים במהלך הטריפה של בני מינם (קניבליות). קניבליות מתרחשת בתנאי ניסוי כאשר מגדלים ארגמונים במעבדה ללא תוספת מזון. כבר לאחר כשלושה שבועות נמצאות קונכיות מנוקבות וריקות של פרטים שנטרפו. כאשר מוסיפים לאקווריון סוגי בשר אחרים נפסקת הקניבליות. ההשערה היא שהפרטים המנוקבים שנמצאו באתרים הארכאולוגיים, הם עדות מוכחת שהקדמונים החזיקו את הארגמונים חיים במשך כמה שבועות במתקנים מלאים במי ים, לפחות עד השלמת האיסוף של מספר החלזונות שנדרש לצביעה. ייתכן מאוד שכמה מברכות הסלע הנמצאות היום לחופי הים התיכון שימשו למטרה זו. ייתכן גם שהשינויים במפלס מי הים בעת הגאות והשפל אפשרו את החלפת המים בין המתקנים והים הפתוח וסיפקו מים טריים לברכות הסלע. נדגיש שקידוח הקונכיות יכול היה להתבצע גם באופן מלאכותי לפחות לשתי מטרות אחרות: 1. חריזה של קונכיות למטרות קישוט. 2. שבירת הקונכיה באזור הבלוטה התת-זימית לצורך הפקת הצבע. עם זאת, צורת הנקב בשני מקרים אלו שונה לגמרי מצורת הנקב הנקדח על ידי ארגמונים למטרת טריפה (ראה איורים מספר 5 ו-9).³⁴

ממקורות היסטוריים ניתן ללמוד שהארגמוניים בכלל, וארגמון קהה הקוצים בפרט, לא נאספו לתעשיית הצבע במהלך כל השנה. פליניוס מזכיר ב'היסטורית הטבע' שיש ללכוד את החלזונות בסוף הקיץ ובתחילת האביב.³⁵ בתצפיות שדה ובמעבדה מצאו שפנייר וקרמון שהחלזונות נפוצים יותר בעונות אלו, הקרות יותר, ואילו בקיץ רוב החלזונות מתחפרים בתוך החול. עונת הצייד של הארגמון מוכתבת גם על ידי מצב הים. גלים גבוהים השכיחים בים התיכון בעונות האחרות מונעים איסוף, בעיקר בשיטת הפיתיונות. שפנייר וקרמון משערים שההתחפרות בקיץ קשורה לחוסר יכולתם של הארגמונים, בעלי התפוצה הים תיכונית, להתמודד עם טמפרטורת מים גבוהה יחסית, האופיינית לשכבת המים הרדודה שבה הם חיים. חוקרים אלו נעזרים בתופעה ביולוגית זו של העלמות הארגמון בעונת הקיץ, כדי לפרש את מאמר חז"ל "עולה אחד לשבעים שנה".³⁶ רש"י בסוגיה (שם, ד"ה ועולה) מפרש: "מן הארץ", וייתכן שהעלייה מן הארץ מכוונת לעלייה מתוך הסדימנט (החול)

34. ראה: א' שפנייר ונ' קרמון (לעיל, הערה 15), עמ' 188-191.

35. ראה לעיל, הערה 33.

36. מנחות מד ע"א.

לאחר 'שנת הקיץ'. ציון הזמן "אחד לשבעים שנה" מתבאר על ידי החוקרים הללו כסמל לשבע יחידות זמן או כרמז לשבעת החודשים החולפים בין עונות האיסוף.

להערכת התופעות הביולוגיות המתוארות עשויות לסייע לא רק להבנת עונת האיסוף, אלא גם להבנת תופעת העונתיות שבאיסוף חלזונות התכלת במהלך השנים. ממצאי מחקר ראשוני שערכתי מעלים ספקות ביחס להתחפרות הקיצית המתוארת על ידי שפנייר וקדמון ורק מחקר מפורט נוסף יוכל להביא למסקנות סופיות בנושא. הספקות נבעו משני סוגי תצפיות: 1. בתצפיות שנערכו בעזרת צלילת מכשירים (Scuba) נמצאו פרטים רבים המשוטטים על סלעים בעומקים רדודים גם בחודש יולי.³⁷ 2. פרטים רבים נשאו על קונכייתם, כחלק מצמדת ים (Fouling),³⁸ גם בלוטי ים בוגרים חיים בגודל 3-4 מ"מ (ראה איור מספר 10).³⁹ קשה



איור מספר 10: בלוטי ים על קונכיית ארגמון קהה הקוצים.

37. התצפיות בוצעו על ידי נחמיה, עזרא, חגי ויהודה רענן.
38. צמדת ים היא אוסף אורגניזמים ימיים המתפתחים על גבי כל תשתית קשה השווה בתוך מי הים, על גבי אוניות למשל ואפילו על בקבוקים צפים. בדרך כלל, האורגניזמים הבונים את הצמדה מתחילים את חייהם כשחיינים ומתיישבים על גבי עצמים לקראת ההתבגרות.
39. בלוטי ים הם סרטנים מקבוצת הזיפרגליים. הם עוברים שלב זחל שחיין ולאחר מכן מתיישבים על מצע מוצק, מפרישים סביבם לוחיות גירניות ומאבדים את יכולת התנועה. הבלוטים הנזכרים הוגדרו על ידי פרופ' יאיר אחיטוב מאוניברסיטת בר אילן (בשיחה בעל פה) כמין *Balanus perforatus*. אגב, 'זיידרמן מציין במאמרו (לעיל, הערה 3), צמדת הים

להניח שהתפתחות הבלוטים אפשרית כאשר בחודשי הקיץ החלזונות מתחפרים בחול.

מבוא אקולוגי

כל מערכת אקולוגית בשיווי משקל מתנהלת על פי כמה כללים קבועים ומובנים שאינם ניתנים לבחירה או לשינוי. כלל בסיסי ראשון הוא חוק שימור האנרגיה (הכלל הראשון של התרמודינמיקה) והחומר. כלומר: בתוך מערכת אקולוגית נשמרים החומרים והאנרגיה כל עוד הם אינם דולפים לסביבה. משמעות החוק היא, שבמעבר החומרים והאנרגיה בין מרכיבי המערכת לא ייתכן מצב של תוספת חומרים ואנרגיה מעבר לכמות ההתחלתית. בניסוח פופולרי ניתן לומר: 'אין ארוחות חינם'; מי שרוצה לנצל משאבים מתוך המערכת האקולוגית חייב למצוא דרכים כיצד 'לשלם' עבורם.

כלל נוסף הוא, שכל מערכת אקולוגית כוללת 'שרשרות מזון' (Food Chains) הנכללות במערך מורכב יותר הנקרא 'מארג מזון' (Food Web). שרשרת מזון היא תיאור של יחסי הגומלין של טורף-נטרף (אוכל ונאכל) בין האורגניזמים המרכיבים את החברה החיה בבית הגידול הנבדק. כל שרשרת מזון חייבת לכלול בראש

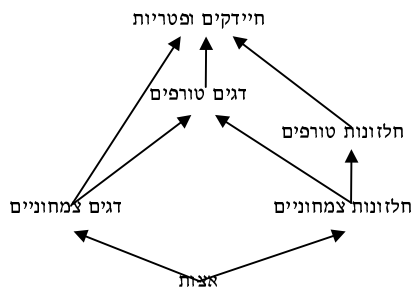


איור מספר 11: ארגמון קהה הקוצים מכוסה בצמדת ים.

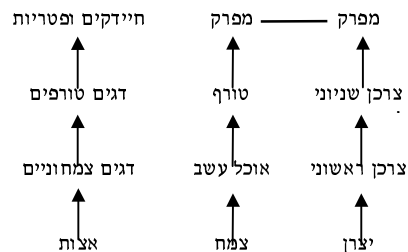
עשויה להיות הסבר טוב למאמר חז"ל "גופו דומה לים" (מנחות מד ע"א). הצמדה מסווה את הארגמון על פני הרקע עליו הוא חי, ולעתים גונה דומה לגוון מי ים (ראה איור מספר 11).

ובראשונה יצרן כלשהו. יצרן הוא אורגניזם ההופך חומר אי-אורגני דל אנרגיה לחומרים אורגניים עתירי אנרגיה - 'יצור ראשוני'. היצרנים הבולטים ביותר הם כמובן הצמחים המנצלים את אנרגיית אור השמש, כדי להפוך פחמן דו-חמצני (CO₂) ומים למולקולות סוכר (גלוקוז) עתירות אנרגיה. מרכיב חיוני נוסף בכל שרשרת מזון הוא הצרכן הראשוני, כלומר - אוכל עשב. אוכלי עשב עשויים להיות יונקים שונים, כמו מכרסמים ופרסתנים, או חרקים. במקום השלישי בשרשרת המזון נמצאים הצרכנים השניוניים שהם הטורפים. בכל שרשרת מזון נמצאים גם מפרקים (חיידקים ופטריות) המחזירים את החומר האורגני המת למצבו ההתחלתי, וכך מחזור החומרים יכול להתחיל מחדש. בלי קיומם של מפרקים בבתי הגידול השונים היה מצטבר החומר האורגני המת על פני כדור הארץ ומלאי חומרי הגלם לקיום החיים היה אוזל. בים עשויה שרשרת מזון לכלול אצות חד תאיות - סרטנים ירודים אוכלי אצות - דגים - כרישים. חשוב לזכור, שיחסי הגומלין בין היצרנים והצרכנים לסוגיהם השונים כוללים, בנוסף למעבר האנרגיה והחומרים הדרושים לבניית הגוף, גם חילופי גזים הדרושים לקיום החיים, דהיינו, חמצן ופחמן דו-חמצני. הצמחים משחררים בתהליך ההטמעה חמצן וקולטים מהאוויר פחמן דו-חמצני. בכל חברה חייב להתקיים איזון בין תהליכי הנשימה וההטמעה.

קיימות חוליות נוספות בשרשרת המזון, כמו טורפי-על (טורפי טורפים), אך הן אינן חיוניות לקיום שרשרת המזון. כאשר שרשרת מזון משולבת זו בזו על ידי אורגניזמים השייכים ליותר משרשרת מזון אחת, מתקבל מערך הנקרא 'מארג מזון'.



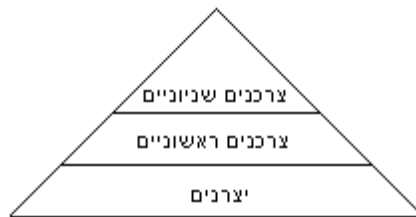
איור מספר 13: מארג מזון.



איור מספר 12: שרשרת מזון.

המושג האחרון החיוני להבנת הטיעונים שלהלן הוא 'פירמידת מזון' או 'פירמידת הביומסה' (Food Pyramid). כאשר שוקלים את סך כל האורגניזמים החיים בחברה הנמצאת בשיווי משקל, מתברר שיחסי הביומסה (משקל המסה החיה) הם כדלקמן: היצרנים (צמחים) תופסים את המקום הראשון בביומסה, וככל שאנו מתקדמים

בשרשרת המזון הביומסה יורדת (ראה איור מספר 14). תופעה זו נובעת מכך שבמעבר מרמת תזונה אחת לשנייה אובדים אל הסביבה חומרים ואנרגיה. בעלי החיים הצמחוניים אינם שוקלים כמשקל החומר החי שממנו ניזונו במהלך חייהם, משום שרוב החומר והאנרגיה לא הוטמעו בגופם אלא 'בוזבוז' בתהליכי החיים השונים. בנקודה זו יש הבדלים גדולים בין קבוצות בעלי חיים שונות. הזוחלים, למשל, מנצלים טוב יותר את המזון, כיוון שהם אינם מחממים את גופם בעזרת 'שרפת' מזון ולכן ניצולת המזון שלהם טובה יותר. ניתן לחשב בעזרת מקדמים פשוטים יחסית (שפותחו במהלך חישובים בבתי גידול שונים), מהי כמות הביומסה הצמחית הדרושה לייצור קילוגרם בשר של אוכל עשב או של טורף. מחקרו של אודם גילה שבטורפים ברמתו התזונתית של הארגמון יעילות הניצול היא כ-10% בלבד.⁴⁰ המסקנה הנובעת מכל האמור בפסקה זו היא שגידול בעל חיים טורף יקר בהרבה, מבחינה אנרגטית, מגידול צמחים ואפילו מגידול של בעלי חיים צמחוניים.



איור מספר 14: פירמידת המזון.

חקלאות ימית (Aquaculture)⁴¹

המונח 'חקלאות' מוגדר כתהליך שבו מושקעים עבודה ותשומת לב במטרה לעודד או לשפר את הגידול של מאגר אורגניזמים מסוים, כאשר אדם או קבוצת אנשים הם הבעלים (במובן הכלכלי) של מאגר זה. חקלאות ימית מוגדרת על ידי הגופים העוסקים בה כ'חקלאות' של מינים אקוויים (מינים החיים במים), הכוללים דגים, רכיכות, סרטנים ואצות. החקלאות הימית עוסקת בריבוי (breeding), בהגחה או בבקיעה (hatching), בגידול (rearing) ובטיפוח (cultivation) של אורגניזמים אקוויים. בניגוד להגדרה הפורמלית של המונח חקלאות מקובל לכלול היום בחקלאות הימית גם פרויקטים שבהם גופים ציבוריים משפרים את פוטנציאל הציד או האיסוף של אורגניזמים מהטבע. באזורים שונים בעולם מרבים החקלאים

40. H.T. Odum, *Ecol. Monogr.* 27, 1957, pp. 55-112.

41. המידע שבפרק זה נלקח מאנציקלופדיה בריטניקה המקוונת (www.eb.com). ניתן לחפש מידע נוסף באתרי אינטרנט שונים תחת מילת המפתח Aquaculture.

הימיים באופן מלאכותי מינים ימיים, המשמשים יעד לאיסוף על ידי תושבים ותיירים, ומפזרים אותם בטבע.

היסודות לחקלאות הימית הונחו כבר לפני כ-2000 שנה בסין, ברומא ובמצרים. כבר בתקופה זו גידלו בגופי מים בעלי חיים שנתפסו בצעירותם בטבע. במאה השתים עשרה פיתחו בצרפת את ענף הצדפות באזורי גאות ושפל על ידי נעיצת עמודים שעליהם התיישבו הצדפות, וביפן במאה השש עשרה גידלו על ידי נעיצת מוטות במבוק בקרקעית הים. באירופה העשירו ברכות בזבל במטרה לעודד התפתחות של חסרי חוליות ופלנקטון,⁴² כדי שישמשו מזון לדגים שגודלו בברכות. הצורך לספק מזון למספר ההולך וגדל של בני האדם הוביל למחשבה שהים עשוי לספק פתרונות הולמים למצוקה, אך היבול העולמי מהים, על סוגיו השונים, נשאר זה שנים בגודל קבוע פחות או יותר (90-100 מיליון טון). מכאן הסיקו החוקרים שייתכן מאוד שניצול הים הגיע לשיאו.⁴³ החלופה שעלתה לצייד ולאיסוף הייתה החקלאות הימית, ובעשור האחרון אכן הולכות ומתפתחות בקצב מהיר טכנולוגיות מתקדמות המגדילות את היבול באופן דרמטי (בשנים 1984-1996 התנובה העולמית שולשה) והמעשירות את מגוון המינים המנוצלים. באמצע שנות ה-90 הגיע יבול החקלאות הימית ל-18.5 מיליון טון (כ-20% משלל הדיג והאיסוף בטבע) ולערך של 33.5 מיליארד דולר. חקלאות של מים מלוחים תופסת כשליש מכלל הייצור. המובילה בתחום החקלאות הימית היא יבשת אסיה המייצרת כ-86% מהיבול.

פיתוח של טכנולוגיות חדשניות של חקלאות ימית עשוי לתרום, לפחות לכאורה, תרומה משמעותית למגדלי חלזונות התכלת העתידיים, משום שגידול חלזונות וצדפות למטרות מאכל תופס מקום נכבד בין שאר הגידולים שבהם מתמחה החקלאות הימית. במבט שטחי נראה שדי באימוץ אחת הטכנולוגיות ובהסתתה לגידול הארגמון בכדי לפתח את תעשיית התכלת. אתאר באופן כללי את הטכנולוגיות הנהוגות בחקלאות הימית, ובדרך זו אוכל לדון באפשרות ליישמן בגידול חילזון התכלת.

מקובל לחלק את החקלאות הימית לשני סוגים עיקריים: חקלאות בגופי מים מלוחים - Mariculture (ים או אוקיינוס), וחקלאות של מים מתוקים. הגידול מתבצע בברכות או בכלובים המוצבים בים. היתרון בהצבת כלובים הוא בכך שאין צורך באספקת מים טריים, משום שזרמי הים מחדשים באופן טבעי את מלאי המים בסביבת בעלי החיים, וכך מסולקים תוצרי הפסולת ומתחדש מלאי החמצן. בישראל

42. פלנקטון הוא אוסף האורגניזמים (בגודל קטן) המרחפים במים. הפלנקטון מתחלק לפיטופלנקטון - אצות פלנקטוניות, ולזואופלנקטון - בעלי חיים פלנקטוניים.

43. ראה את ההסבר בפרק האקולוגי.

קיים גידול מצומצם של דגי דניס (*Sparus aurata*) בכלובים בקרבת החוף הצפוני של אילת. גידול בכלובים מהווה בעיה קשה מאוד בגופי מים סוערים, משום שקשה לעגן את הכלובים והם נפגעים על ידי מפץ הגלים. הטיפול כולל האבסה, תיקון רשתות והשגחה מפני מחלות, פעולות שעלולות להיות בלתי אפשריות בים סוער. לפיכך נראה שאופציית גידול הארגמון בכלובים בים התיכון הסוער איננה מעשית.

הן בברכות הן בגידול בים הפתוח מבחינים בין גידולים החיים על הקרקעית או כשהם מחוברים לעצמים כלשהם (צדפות מגדלים על ידי חריזה על חוטים) לבין גידולים צפים או שוחים. לאבחנה משמעות לכללית רבה, משום שכושר הנשיאה של שטח נתון בעת גידול אורגניזמים צפים או שוחים עשוי להיות גדול בהרבה משל השטח המשמש לגידול אורגניזמים הזקוקים למצע מוצק.

ניתן לחלק את החקלאות הימית באופן נוסף - לחקלאות אקסטנסיבית ואינטנסיבית. בחקלאות אקסטנסיבית בונים מערכת אקולוגית בשיווי משקל (לפחות בחלק ממרכיבי המערכת) בתוך ברכה או בתוך כלוב בים והחקלאי כמעט שאינו מתערב בפעילות המערכת האקולוגית ומותיר את ה'עבודה' לטבע. באופן תאורטי ניתן לבנות ברכת דגים שבה תתפתחנה אצות שתאכלנה על ידי זואופלנקטון העשוי לשמש מזון לדגים. אין צורך לספק חמצן או לטהר את המים, משום שהתהליכים הללו מתבצעים על ידי המערכת האקולוגית באופן טבעי. מובן שכושר הנשיאה של הברכה, המבטא את פירמידת המזון שבה, קטן יחסית בתנאים אלו. בחקלאות אינטנסיבית החקלאי מתערב במערכת באופן משמעותי ביותר. בברכת דגים למשל ניתן לדחוס דגים בכל נפח המים, להוסיף מזון ככל הדרוש, להבטיח אספקת חמצן באופן מתמיד ולסלק את חומרי ההפרשה. אם בגידול אקסטנסיבי בעלי החיים יכולים להסתפק בחמצן המופרש על ידי הצמחים (אצות), הרי שבגידול אינטנסיבי אין יחס מתאים בין יצרני החמצן וצרכניו ויש צורך באספקת חמצן מלאכותית. החקלאות הימית האינטנסיבית מפיקה תוצרת רבה לאין ערוך מזו של החקלאות האקסטנסיבית, אך היא דורשת השקעה רבה בתשתיות (פילטרים לסילוק הפרשות ומערכות חמצון) ובטיפול. לדוגמה, בגידול דגי אמנון בקיבוץ שדה אליהו התנובה בברכות אקסטנסיביות היא כ-0.6 טון (כ-2 דגים למ"ק) לדונם בשנה, ואילו בברכות אינטנסיביות הגיעו המגדלים ליבול של 60-70 טון לדונם בשנה(!) והיבול התאורטי הוא כ-100 טון.⁴⁴ יש עוד לציין שבגידול אורגניזמים החיים בגוף המים ניתן להגיע בחקלאות אינטנסיבית ליבולים גדולים בהרבה מיבול האורגניזמים החיים על קרקעית המים.

44. מידע זה נמסר לי על ידי חנוך פלסר, שכיהן עד לאחרונה כמרכז משק בקיבוץ שדה אליהו.

החקלאות הימית מציבה אתגרים רבים שעל החקלאי להתמודד עמם עד לפיתוח גידול כדאי מבחינה כלכלית. בשלב הראשון על החוקרים ל'סגור מעגל חיים' (Life Cycle), דהיינו, על מפתחי הגידול להיות מסוגלים לגדל את האורגניזם בשבי משך כל שלבי חייו. עליהם להכיר את דרך הרבייה שלו, את אופן גידול צאצאיו עד בגרות וחוזר חלילה. קיימים מספר גידולים שבהם נאלץ המגדל לאסוף מחדש לפני כל עונת גידול פרטים צעירים, מצב ההופך את הגידול למוגבל בהיקפו, למסובך וליקר. החקלאות הימית מורכבת במיוחד משום שרבים מן המינים הימיים עוברים במהלך חייהם גלגול (Metamorphosis) אחד או יותר, עובדה המחייבת פיתוח סוגי מזון שונים המותאמים לכל שלב בחייהם. מינים רבים עוברים שלב של זחל פלנקטוני (הצף במי הים הפתוח) הניזון על ידי סינון מי הים, בניגוד לבוגר הניזון על ידי קרצוף או נגיסה במזון הנמצא על קרקעית הים. כדי להבין את מורכבות הפיתוח בחקלאות הימית, די להזכיר את תולדות גידול דג הדניס, שהפך להיות כלכלי רק לאחר שנמצאה הדרך, לאחר כ-15 שנות מחקר מאומץ, להביא אותו להטלה מאולצת. דג הדקר (לוקוס), לעומת זאת, עדיין לא הפך לענף בחקלאות הימית, על אף שדרכי גידולו נחקרות באינטנסיביות משך כ-15 שנים.

החקלאות הימית אינה חורגת מהכלל של 'חוק שימור החומר והאנרגיה' (ראה לעיל). המחשבה שכול שנותר לאחר 'סגירת מעגל החיים' של האורגניזם הוא להניחו בכלובים בים ולהמתין ל'קציר' אינה נכונה. בתי הגידול הימי והיבשתי דומים זה לזה בכך שכמות החומרים המצויה בהם היא סופית ומוגבלת. כל גידול זקוק להזנה ואת המזון הזה יש לייצר. בבית הגידול הימי, כמו בכל בתי הגידול בביוספירה, השלב הראשון בשרשרת המזון הוא שלב הייצור הראשוני. בשלב זה מתפתחות במים אצות פלנקטוניות או ישיבות (ססיליות) בעזרת אנרגיית האור וחומרי המוצא המומסים במים - פחמן דו-חמצני, מינרלים שונים ויסודות קורט. הן עצמת האור הן כמות המינרלים מוגבלת. חדירת האור למים מוגבלת מסיבות פיסיקליות, אך גם מסיבות ביולוגיות. ככל שכמות הייצור הראשוני עולה גדלה עכירות המים, וכמות האור החודרת קטנה. התוצאה היא שלא ניתן להפיק באופן יעיל ייצור ראשוני מנפח מים נתון גם אם המים מועשרים במינרלים (פעולה המקבילה לזיבול בשדות). המשמעות המעשית של התופעה המתוארת היא שבחקלאות ימית, כמו ברפת או בלול, יש צורך בתוספת מזון, בדרך כלל בתוספת המגיעה ל-100% מהייצור הראשוני הנדרש.

בעיה קשה נוספת הקיימת בחקלאות הימית היא בעיית תוצרי הפסולת המופרשים על ידי האורגניזמים. הבעיה קיימת כאשר מדובר בגידול בברכות, אך במפתיע גם בגידול במכלאות בים. רשויות שונות מגבילות את הגידול הימי במי החופים, משום שהתרכובות החנקניות המופרשות על ידי בעלי חיים פוגעות באיזון

האקולוגי העדין בסביבתם. למשל, הרשויות המוסמכות באילת אינן מאשרות את הגדלת שטחי הכלובים של דגי הדניס, ואכן בסדרת צלילות שערכתי במשך כמה שנים עמדתי על חומרת הנזק שנגרם לסביבת הגידול של דגים אלו. קרקעית הים מתחת לכלובי הדגים שחורה לחלוטין כתוצאה מפעילות בקטריאלית של פירוק שאריות המזון ומהפרשות הדגים. ככל שמתרחקים מהכלובים מצטמצמת התופעה, אך היא קיימת גם במרחק של כמה מאות מטרים מהם. גם כאן מתקיים חוק שימור החומר והאנרגיה, אך בכיוון ההפוך. תוצרי ההפרשה אינם נעלמים, אלא הופכים לחומרים אחרים בתהליכי החיים של אורגניזמים אחרים.

הסיבות למחסור בארגמון קהה הקוצים בחוף הישראלי של הים התיכון בהווה

שאלה מקדימה לכל דיון באופן שבו ניתן לגדל ארגמון קהה הקוצים למטרת הפקת התכלת היא, מדוע אין אנו יכולים לנהוג כפי שנהגו הקדמונים, כלומר - לאסוף את החלזונות בים? אם אכן זיהוי ארגמון קהה הקוצים כחילזון התכלת נכון, מדוע לא ניתן בדרך זו לספק את התצרוכת הנוכחית של משתמשי התכלת? חוסר האפשרות לאסוף כמות מספיקה של ארגמונים בחוף הישראלי של הים התיכון איננו רק תוצאה של תקנות שרירותיות של הגופים המפקדים על שמירת הטבע, אלא גם ביטוי לכך שהחילזון אינו נפוץ בחופי הארץ בכמות שמתאימה לצריכה. עובדה זו מטילה, לכאורה, ספק לגבי זיהוי ארגמון קהה הקוצים כמקור לתכלת בעת העתיקה.

מתוך השוואה עם בעלי חיים אחרים שניצודים, ניתן לשער שבעבר היו תנודות חריפות בשכיחות הארגמון במי החופים של ארץ ישראל, וייתכן שזה ההסבר לדברי הגמרא שהחילזון 'עולה אחד לשבעים (או שבע) שנים'. לאחר תקופה של איסוף נמרץ נעשה החילזון נדיר, ולכן נאלצו לאספו בחופי ארצות אחרות עד להשתקמות האוכלוסייה המקומית. תופעה זו ייחודית לארגמון קהה הקוצים. לאור היכרות עם הביולוגיה של החילזון ברור שהתגובה לאיסוף מופרז היא דרסטית ומקומית. במינים שבהם השלבים הירווליים הם פלנקטוניים (Veliger), אין השפעה רבה לאיסוף מקומי, וגם חיסול מוחלט של האוכלוסייה המקומית אינו פוגע בשכיחות לאורך זמן, משום שמיד לאחר עונת הרבייה חלה התיישבות מחודשת של זחלים המגיעים עם זרמי הים מחופים אחרים, קרובים ואף רחוקים. אולם בניגוד למינים בעלי שלב שחין, בארגמון קהה הקוצים בוקעים מנרתיקי הביצים חלזונות זוחלים זעירים שאינם שוחים, אלא משלימים את מחזור חייהם בקרבת מקום בקיעתם. איסוף מופרז מחסל את האוכלוסייה המקומית, משום שפרטים חדשים אינם מופיעים במהירות במקום אלה שנאספו והשתקמות האוכלוסייה עלולה להימשך שנים רבות.

עדויות ארכאולוגיות מתארות את תפוצת מפעלי הצביעה של התכלת והארגמון סביב הים התיכון, וככל הנראה הפיניקים נדדו למקומות שונים כדי לעסוק בצביעה.

הדעה הרווחת היא שהיה צורך להעתיק את המפעלים בגלל הריחות המטרידים שנפלטו בעת הפקת הצבע. לדעתי ייתכן שהנדידה נבעה מגורם נוסף, אולי חשוב יותר, והוא הידלדלות אוכלוסיית החלזונות בסביבה הקרובה למפעלים. ייתכן שעקב כך סופקה צריכת הצבע לא רק על ידי אוכלוסיית החלזונות שבחופי הארץ, אלא גם על ידי ייבוא מכל אגן הים התיכון. החילזון 'עולה אחת לשבעים שנה' וביתר הזמן היה צורך לייבאו "ולפיכך דמיו יקרים" (מנחות מד ע"א).

עם זאת העובדה שארגמון קהה הקוצים אינו יוצר במשך תקופה ארוכה אוכלוסיות צפופות בחופי ישראל, אינה נובעת מהתנודות התקופתיות שתוארו בפסקה הקודמת, אלא קשורה לדעתי לתהליכים בקנה מידה גאולוגי. עד לבניית סכר אסואן חלה בקצב מהיר, בעיקר בדרום הארץ, השקעה של חול שהובל על ידי הנילוס מרמות אתיופיה. חול זה העניק למישור החוף את צורתו האופיינית, כלומר - חופים חוליים רחבים בדרום ההולכים וצרים ככל שמצפינים. העובדה שהחול נסחף מכיוון דרום השפיעה לא רק על כמות החול השוקע, אלא גם על גודל הגרגירים. בדרום הארץ, קרוב למקורות החול, גרגירי החול גדולים, וככל שמצפינים גודל הגרגיר הולך וקטן. כתוצאה מתהליכים אלו התפתחו בדרום ארץ ישראל חופי צבירה (חופים שבהם מצטבר חול והים נסוג מערבה) ואילו בצפונה התפתחו חופי גידוד (חופים סלעיים ומפורצים שבהם מתרחשת בליה של סלע). בכל אזור תפוצתו מפגין ארגמון קהה הקוצים העדפה לתשתית קשה (סלעים או חצץ).⁴⁵ לפיכך, עיקר הצייד של חלזונות התכלת היה בחופים הסלעיים בצפון הארץ. ביטוי להעדפה של החלזונות את החופים הצפוניים נמצא כבר במקורות: "יוגבים - אלו צייד חלזון מסולמות של צור ועד חיפה" (שבת כו ע"א). "אמר לו [הקב"ה לזבולון] כולן צריכין לך על ידי חלזון...". (מגילה ו ע"א).

הארגמונים והארגמניות עדיין שוכנים כיום לחוף שבט זבולון (בין צור לבין חיפה), לכן נמצאו באזור זה מצבורי ענק של קונכיות ששימשו להפקת התכלת והארגמן בימי קדם. ייתכן אם כן, שהתשובה לשאלת מחסור הארגמון כרוכה בעובדה שרוב צפון ארץ ישראל אינו בשליטת מדינת ישראל ושרוב אזורי ציד החילזון בעבר נמצאים מעבר לגבול הצפוני.⁴⁶ ייתכן שגם להתחזקות האופי החולי של חופי הארץ מאז השימוש בחילזון היה נפוץ קשר לשכיחותו הפחותה בהווה.

העושר היחסי של ספרד בכמות החלזונות יחסית לישראל, המתבטא בייבוא הנכחי של חומר הגלם לצבע התכלת, ממחיש את דלות האגן המזרחי של הים

45. ראה: א' שפניר ונ' קרמון (לעיל, הערה 15). כך גם מלמדות תצפיות אישיות.

46. רעיון זה העלה בפניי הרב דוד אביחיל. בתופעה זו יש משום תמיכה בדעה שארגמון קהה הקוצים הוא מקור התכלת, משום שזיקתו לחופים סלעיים (לנחלת זבולון) מודגשת יותר מאשר מינים אחרים ממשפחת הארגמונים.

התיכון במינרלים ביחס לאגן המערבי. באגן המזרחי אין העשרה במינרלים בגלל מיעוט הנהרות הנשפכים לתוכו (תופעה שהוחרפה מאז סכירת הנילוס). כמות המינרלים באגן המזרחי מגיעה לפחות מעשירית מאשר באגן המערבי, וכתוצאה מכך נפגע מארג המזון. לא מפתיע אם כן שיבול הארגמונים בחופי ספרד גבוה בהרבה מאשר בחופי ישראל. עם זאת, חשוב לזכור שגם המאגר בספרד הוא סופי ולא רחוק היום שגם אופציה זו עלולה להיסגר.

תופעה מעניינת שהיקפה ושהשלכותיה המלאות על תפוצת הארגמון לא ברורים עדיין, היא התופעה הנקראת בספרות המדעית Imposex (התופעה לא זכתה עדיין לשם עברי). Imposex הוא התפתחות של אברי רבייה זכריים בנקבות. החל משנות ה-80 החלו להתפרסם ברחבי העולם דיווחים על אוכלוסיות של מיני חלזונות שונים הסובלות מעקרות בגלל תסמונת זו. בהמשך התברר שזו תוצאה של זיהום מי הים מאבץ שהשתחרר מתרכובת (Tributyltin - TBT), שנכללה בצבעים שהשתמשו בהם כדי למנוע התיישבות צמדת-ים על אניות.⁴⁷ לאחרונה נחקקו חוקים המגבילים את השימוש בצבעים אלו, וכבר מגיעים דיווחים על ירידה בשכיחות התופעה.⁴⁸ התופעה התגלתה גם בארגמון קהה הקוצים,⁴⁹ וייתכן שלדבר יש השפעה על תפוצתו הנוכחית בחופי ישראל. חוקר ישראלי שבדק את התופעה לאורך חופי ישראל גילה, שבקרבת נמלים ומרינות שכיחות הפרטים העקרים גבוהה ביותר.⁵⁰ התופעה עלולה לגרום להקטנת האוכלוסיות עד כדי הכחדה מוחלטת. ראוי לציין שי' זיידרמן הציע לגדל ארגמון קהה הקוצים ב'בנק חלזונות', כדי למנוע את הכחדתו אם תתרחשנה בעתיד קטסטרופות סביבתיות כמו זיהום מי חופים.⁵¹ עתה נראה שהכחדת המין אינה רק סכנה תאורטית כדברי הרב אריאל אלא מציאות קונקרטיית.

47. E. Stroben et al, 'Hinia reticulata and Nucella lapillus. Comparison of two gastropod tributyltin bioindicators', *Mar. Biol.* 114(2), 1992, pp. 289-296; G.W. Bryan et al, 'Nassarius reticulatus (Nassariidae: Gastropoda) as an indicator of tributyltin pollution before and after TBT restrictions', *Mar. Biol. Assoc. U.K.* 73(4), 1993, pp. 913-929.

48. S.M. Evans et al, 'Recovery of dogwhelk populations on the Isle of Cumbrae, Scotland following legislation limiting the use of TBT as an antifoulant', *Mar. Pollut. Bull.* 28(1), 1994, pp. 15-17.

49. A. Terlizzi et al, 'Tributyltin (TBT) pollution in the coastal waters of Italy as indicated by imposex in *Hexaplex trunculus* (Gastropoda, Muricidae)', *Mar. Pollut. Bull.* 36 (9), 1998, pp. 749-752.

50. ג' רילוף, אוניברסיטת תל אביב, בשיחה בעל פה.

51. י' זיידרמן, 'צביעת התכלת העתיקה', צפיה ה (לעיל, הערה 3), עמ' 168.

הבעיות בגידול ארגמון קהה הקוצים בשיטות קונבנציונליות

בשנים האחרונות נעשו מספר ניסיונות לחקור את דרך רביית ארגמון קהה הקוצים, כחלק מהמאמץ לפיתוח מסלול גידול מסחרי בברכות. זיידרמן סרטט מסלול מחקר לגידול חילזון התכלת, ואף הציע את חלוקת התקציב למטרה זו.⁵² ברור לי שסכום הכסף המוערך וכיוון המחקר אינם הולמים את מורכבות המשימה.

נראה לי שעד עתה לא ניתנה תשומת לב מספקת להגדרת הבעיות המרכזיות בגידול הארגמון, ובעיקר לבעיה המרכזית שהיא העלות. גם במצב האופטימלי שבו מחקרים קונבנציונליים יביאו ל'סגירת מחזור החיים של החילזון', ללא גישה מהפכנית לא ניתן יהיה לגדל את החילזון באופן מסחרי, בגלל עלות הגידול הגבוהה יחסית.

א. עלות המזון - ארגמון קהה הקוצים הוא מין טורף, ומיקומו בשרשרת המזון גורם לכך שהעלות האנרגטית לגידולו גבוהה. כפי שראינו לעיל (פירמידת המזון) כמות הביומסה יורדת ככל שהמיקום בשרשרת המזון גבוה יותר. גידול ארגמונים מחייב גידול בשר, אך עלות הגידול של בשר גבוהה. כדי לסבר את האוזן אנקוב במחירים ראלים. 'האגודה לקידום והפצת התכלת' רוכשת את הארגמונים בספרד במחיר של כ-10 דולר לקילוגרם, אך מאידך מחירו של קילוגרם חלזונות למאכל (Abalone - 'אוזן הים' - Haliotis, חלזונות צמחוניים הניזונים על אצות המיוצרים בכל העולם וגם בחיפה ובאילת) גבוה בהרבה.⁵³ אם נחשב את העלויות באופן שיתאים לתזונת הארגמונים בטבע, הרי שכדי לגדל קילוגרם ארגמונים עלינו לספק לפחות 10 קילוגרם של בשר רכיכות. בניסוח אחר: אם יהיו ברשותנו ברכות לגידול ארגמונים, כפי שמציע זיידרמן, אזי היחס בין העלות של גידול חלזונות למאכל לבין החלזונות שמפיקים מהם צבע הוא יחס של 40 ל-1. כאן המקום להעיר, שאחת הדרכים לפתרון בעיית עלויות המזון עשויה להיות שימוש בבשר זול כמו פסולת בתי מטבחים וכד'.

ב. מורכבות מערכת הגידול - החוקרים העוסקים בגידול מינים צמחוניים נתקלים במקרים רבים בקושי לספק מזון לכל שלב של מחזור החיים של בעל החיים. בדגים יש צורך לפתח מספר סוגי מזון שיתאימו לכל שלב החל מבקיעת הדגיגים מהביצה. הצורך במזון שונה אינו רק פונקציה של שינוי גודל מפתח הפה של הדגיג, אלא נובע גם מצורך בכמויות משתנות של אבות המזון החיוניים לכל שלב ושלב. גם החילזון Queen Conch (Strombus gigas), שהפך לגידול מקובל בארצות הברית, ניזון בכל שלב מחייו מאצות בגודל שונה.

52. 'זיידרמן (לעיל, הערה 3), עמ' 439-440.

53. 'אוזן ים' עולה בממוצע כ-40 דולר לקילוגרם.

בארגמון המצב מורכב בהרבה. בשל היותו טורף, יש לספק לו בכל שלב בחייו בעלי חיים בגודל שונה, שכל אחד מהם ניזון ממזון שונה. כלומר, כאן המחקר צריך לכלול לא רק פיתוח מזון לארגמון עצמו, אלא גם מזון לבעלי החיים שמהם הוא ניזון.

ג. קניבליזם - ההצעה לגדל את הארגמון בברכות מניחה שהדבר ניתן לביצוע כפי שמגדלים דגים, צדפות או 'אוזני ים'. למעשה התמונה שונה לחלוטין. הארגמון הוא קניבלי (טורף את בני מינו), והחזקת פרטים חיים יחד בברכה אחת תהיה כרוכה בטריפה הדדית. לאור משך הזמן הארוך של הגידול עד לבגרות (4-5 שנים), יש להביא בחשבון פחת גדול עד מציאת פתרון לבעיה.

ד. שטח הברכה - בניגוד לדגים החיים בגוף המים ולכן תופסים את כל נפח גוף המים, הארגמונים הם שוכני קרקעית ולכן לא ניתן לדחוס בברכה מספר ארגמונים העולה על כמות החלזונות ששוכנים בקרקעיתה. בעיה זו חריפה במיוחד לאור העובדה שהארגמון הוא קניבלי. אם נקציב לכל חילזון שטח של 100 סמ"ר (גודל פרט בוגר הוא כ-8 ס"מ), וזהו השטח המינימלי המאפשר לחילזון לנוע), הרי שבברכה בשטח דונם אחד ניתן לגדל לא יותר מ-3 טון חלזונות במשך 4-5 שנים (פרק זמן ההתבגרות של הארגמון). לשם השוואה: כפי שהוזכר לעיל ניתן להפיק בברכת דגים בגידול אינטנסיבי יבול העשוי להגיע עד 100 טון לדונם.

ה. האכלה - דגים ניתנים להאבסה באופן אוטומטי, על ידי פיזור כופתיות מזון בברכה בעזרת צנרת העוברת מעליה. כופתיות המזון היבשות מוזרמות ממכל גדול הנמצא בשולי הברכה. קצב הפיזור נקבע על ידי 'בקשת המזון' של הדגים עצמם. הזרמה של נתחי בשר עבור הארגמון עלולה להיות בעייתית, משום שבניגוד לדגים הלוכדים את המזון בגוף המים עצמו, קרוב לפתחי המוצא של הצינורות או על פני הקרקעית (מזון שלא נאכל שוקע), הארגמון שוכן הקרקעית יכול לקבל את המזון רק על פניה. הדבר יצור צפיפות של ארגמונים סביב נתחי הבשר, בעוד שפיזור נתחים קטנים במספרים גדולים עלול לגרום לזיהום המים, בגלל ריקבון הבשר, וליעילות נמוכה בניצולו. בנוסף לכך, לא מובטחת הגעת החלזונות למזון, משום שבדרך כלל נתחי הבשר צפים על פני המים. קיים גם קושי בהזרמת נתחי בשר לחים באופן אוטומטי לברכה ובוויסות קצב השלכתם למים.

ו. זיכוי הגידול על ידי חומרים המופרשים למים - בעלי חיים רבים החיים בצפיפות גדלים בקצב אטי בגלל מחסור במשאבים. בעיה זו ניתנת לפתרון על ידי אספקת משאבים ברמה מתאימה, אך לעתים אפקט הזיכוי נובע מחומרים

המופרשים על ידי בעלי חיים ולא כתוצאה ממחסור. דיכוי גידול עשוי לנבוע מהפרשות בני המין עצמם,⁵⁴ או כתוצאה מנוכחות חומרים המופרשים על ידי מינים אחרים. ייתכן שגם הארגמון מפריש למים חומרים מסוימים, האופייניים למינים טורפים, הגורמים לירידת המשקל של הפרטים בסביבה. במין Nucella emarginata הקרוב לארגמון נמצא שנוכחות טורפים בסביבה גרמה לירידה דרסטית במשקלו תוך 3 חודשים.⁵⁵ גם המחשבה שייתכן שניתן להשיג את הקטנת עלות המזון על ידי האכלת הארגמונים בבשר בני מינם, עלולה להתברר כבלתי אפשרית מאותה סיבה.

ז. קצב גידול אטי - מתוך מחקרו של שפנייר עולה שניתן להשתמש בארגמון להפקת תכלת החל מהשנה ה-4 או ה-5 לחייו. גם ניסויים ראשוניים שבוצעו על ידי המחבר מצביעים על כך שקצב הגידול של הארגמון אטי מאוד.

כיווני מחקר עתידיים

בפרק זה אתאר כיוונים שונים של מחקר ראשוני, העשויים לתרום באופן ישיר או עקיף לקידום היכולת לגדל את הארגמון באופן מסחרי. אני מניח שאף לא אחד מבין הכיוונים שאתאר, או מכיוונים אחרים שהשמטתי, הוא בעל פוטנציאל מכריע בפיתוח הטכנולוגיות לגידול מסחרי של הארגמונים. ברם, ייתכן שההצטברות של צעדים קטנים בתחומים השונים תטה בסופו של דבר את הכף לטובת הכדאיות הכלכלית של הגידול. עליי להדגיש, שרוב המאמרים המצוטטים בפרק זה אינם עוסקים בארגמון קהה הקוצים, שכמעט שלא נחקר בתחומים אלו, אלא במינים קרובים לו. אני מציע לנצל את השיטות המתוארות במאמרים אלה לצורך מחקר של הארגמון ולהכרת השאלות השונות שמחקר הארגמונים חייב להתמודד עמן. השתדלתי להביא דוגמות ממינים קרובים, אך למרות זאת יש לזכור שאין ודאות שתוצאות המחקר תהיינה דומות גם בארגמון. ההצעות המתוארות להלן הן בסיסיות, והן מאפשרות לפתח מערכת קבועה של גידול חלזונות בתנאים מבוקרים ושל אספקה לא מוגבלת של חלזונות. רק לאחר השלמת שלב זה ניתן יהיה להתחיל

54. S. Jess and R.J. Marks, 'Population density effects on growth in culture of the edible snail *Helix aspersa* var. *maxima*', *J. Moll. Stud.* 61(3), 1995, pp. 313-324.

55. T.A. Rawlings, 'Effect of elevated predation risk on the metabolic rate and spawning intensity of a rocky shore marine gastropod', *J. Ecol. Mar. Biol. Ecol.* 181(1), 1994, pp. 67-79.

במחקרים בתחומים נוספים, כמו טיפוח זנים בעלי פוטנציאל גבוה ברמת הייצור של הצבע וקצב גידול מהיר.⁵⁶

א. רבייה

כל תכנית עתידית לריבוי הארגמון חייבת לכלול שליטה על התנהגות הרבייה שלו. בהנחה שתנאי הגידול של הארגמון ייחקרו ושתימצא הדרך לגידול אופטימלי, הרי שקרוב לוודאי שבלוטות המין של החלזונות (זכרים ונקבות) יתפתחו גם הן באופן תקין. אך גם במצב אופטימלי זה עדיין לא מובטחת הרבייה, הואיל ואין ביטחון שאכן יתקיימו חיזור, הזדווגות, הפריה והטלה. התנהגויות אלו כוללות תקשורת בין הפרטים, וזו עלולה להיפגע כתוצאה מן הגידול בשבי. בנוסף, אין די בכך שתהליכי הרבייה מתנהלים באופן תקין, משום שבחקלאות יש צורך בקצב רבייה מהיר ובאספקת פרטים צעירים במהלך כל השנה ולא רק בעונת הרבייה הטבעית, המוגבלת בדרך כלל לתקופה קצרה. מינים רבים המתאימים לחקלאות ימית עדיין לא מצאו מקום כענף מסחרי נרחב, בגלל חוסר היכולת לשלוט על תהליך הרבייה.

אלו כמה מההיבטים שמחקר רביית הארגמונים עתיד לעסוק בהם:

1. בחירת מצע מתאים להטלה - במין *Nassarius reticulatus* נמצאה העדפה להטלה על מין אצה אחת על פני אחרת.⁵⁷ ניתן לשער שגם למרקם המצע יש חשיבות. לפיכך ראוי לבדוק את סוג המצע המועדף על ידי הארגמון: סלע לעומת חול ועוד.

2. השפעת כמות המזון ואיכותו על מספר הביצים ועל מספר הקפסולות.⁵⁸

3. השפעת הטמפרטורה על מספר הקפסולות ועל מספר הביצים - ב-*Nassarius trivittatus* נמצא שניתן להאריך את עונת הרבייה בהשפעת טמפרטורה גבוהה יותר.⁵⁹

56. בע"ה בעתיד הקרוב אפרסם סקירה רחבה על כיווני המחקר המומלצים.

57. P.R.O. Barnett and B.L.S. Hardy, 'Substratum selection and egg-capsule deposition in *Nassarius reticulatus* (L.)', *J. Exp. Mar. Biol. Ecol* 45(1), 1980, pp. 95-103.

58. S.C. McKillup, 'Modification of egg production and packaging in response to food availability by *Nassarius pauperatus*', *Oecologia* 43(2), 1979, pp. 222-231.

59. J.A. Pechenik, 'Winter reproduction in the gastropod *Nassarius trivittatus*', *Veliger* 21(2), 1978, pp. 297-298.

4. ויסות התנהגות הרבייה: הפריה והטלת ביצים - התנהגות הרבייה של בעלי חיים מווסתת על ידי שתי מערכות תיאום: המערכת העצבית והמערכת ההורמונלית. שתי המערכות משולבות זו בזו על ידי תאים בעלי מאפיינים של שתי המערכות, כלומר - תאי עצב המפרישים הורמונים. ככלל, המערכת ההורמונלית דומיננטית יותר בוויסות הרבייה, וההתערבות המלאכותית בתפקודה פשוטה יותר. לשם המחשה, רוב רובם של הטיפולים הרפואיים במערכת הרבייה האנושית מתבצעים בעזרת שימוש בהורמונים או בחומרים אחרים. מערכת הרבייה בבעלי חיים כוללת תיאום בין מערכות האורגניזם עצמו, אך גם תיאום בין הפרטים באוכלוסייה ובדרך כלל תיאום בין זכרים ונקבות. גם התיאום שבין הפרטים באוכלוסייה עשוי להתבצע בעזרת הורמונים או בשמם המדויק יותר - פרומונים. בניגוד להורמונים המופרשים בתוך בעל החיים עצמו, הפרומונים מופרשים אל הסביבה ומשפיעים על פרטים בני אותו המין (Species). בדרך כלל, ההשפעה היא על הזוויג השני, בכיוון של משיכה ועירור מערכת הרבייה.

התפתחות החקלאות בכלל, והחקלאות הימית בפרט, גררה מחקר אינטנסיבי של מערכת הרבייה במינים רבים בעלי פוטנציאל חקלאי. למעשה ניתן לראות בהכרת מערכת הרבייה תנאי הכרחי להכללת מין מסוים במשק החקלאי. בנושא זה הצטבר חומר רב גם על רכיכות ובעיקר על צדפות.⁶⁰ רוב המחקרים עוסקים בהורמונים מסוגים שונים, ואכן קיימות היום שיטות רבות לעירור הטלה ברכיכות על ידי הוספת הורמונים או חומרים בעלי פעילות דומה.⁶¹ מוכרים אפילו רצפים של פפטידים שונים בעלי תפקיד במערכת הרבייה.⁶²

העובדה שההזדווגות של הארגמון ושל מינים קרובים מתרחשת תוך התגודדות של קבוצות גדולות, מלמדת שהתנהגות זו קשורה קרוב לוודאי לתקשורת כימית בין פרטים בעזרת חומר/ים המופרש/ים למים - פרומונים.⁶³ ב-Aplysia, למשל, מוכרים פרומונים המעוררים הן את ההפריה הן את הטלה.⁶⁴ בקרת קצב הרבייה ועיתויה

60. J.L. Ram et al, 'Peptidergic and serotonergic mechanisms regulating reproduction in gastropods and bivalves', *Malacological Review* 30(1), 1997, pp. 1-24

61. R.V. Citter, 'Serotonin induces spawning in many West Coast bivalve species', *J. Shellfish Res.* 5(1), 1985, p. 55

62. ג'ל רם ואחרים (לעיל, הערה 60), שם.

63. W.J. Hargis and C.L. MacKenzie, 'Sexual behavior of the oyster drills: Eupleura caudata and Urosalpinx cinerea', *Nautilus* 75(1), 1961 pp. 7-16

64. S.D. Painter et al, 'Relative contributions of the egg layer and egg cordon to pheromonal attraction and the induction of mating and egg-laying behavior in Aplysia', *Biol. Bull.* 181, 1991, pp. 81-94; Ibid, 'Coordination of reproductive

חייבת לכלול סינתזה של הפרומון/ים או הפקתם באופן מסחרי. מטרה זו עשויה להיות מושגת לאחר מחקר שיכלול את השלבים הבאים: א. בידוד חומרים פעילים מתוך מים בהם מתבצעת פעילות רבייתית. ב. איתור הבלוטות המפרישות את הפרמונים בשיטות אימונולוגיות,⁶⁵ למשל על ידי שימוש בנוגדנים מסומנים (באופן רדיואקטיבי או פלורסצנטי). ג. שיבוט הגנים הרלוונטיים. ד. פיתוח מערכת ייצור של החומרים האקטיביים בשיטות ביוטכנולוגיות.

מחקר רבייתם של הארגמונים יהיה חייב להתייחס גם לבעיות ולהיבטים הנמנים להלן:

1. דיכוי הטלה בגלל נוכחות ארגמונים - כאמור, מחקרים שונים מצביעים על כך שלחומרים כימיים המופרשים על ידי טורף והנישאים על ידי המים, יש השפעה רבה על ההתנהגות ועל המורפולוגיה של טרפם. במין *Nucella emarginata* (מין ממשפחת הארגמוניים) נמצא שפרטים שהוחזקו בסביבה שבה זרמו מים שהגיעו מאזור שבו סרטנים טרפו את בני מינם, הפסיקו להטיל ביצים.⁶⁶ לא מן הנמנע שעצם הגידול של פרטים רבים של ארגמונים בצפיפות יגרום להפסקת ההטלה, משום שהארגמון עצמו טורף. יש לחקור את הקשר שבין העלייה בצפיפות לבין קצב ההטלה. אם ימצא שהצפיפות מדכאת את ההטלה, יהיה צורך למצוא דרך לנטרל את הפרשת החומרים המדכאים.⁶⁷

2. התפתחות הביצים ובקיעה - ביצי הארגמון מוטלות בתוך קפסולות קרניות המכילות לא רק ביצים המתפתחות בסופו של דבר לעוברים, אלא גם ביצי הזנה המשמשות את העוברים המתפתחים. במבט שטחי נראה שאין הבדל בין הביצים המשלימות את ההתפתחות לבין ביצי התזונה, ולכן מעניין לחקור את

activity in *Aplysia*: Peptide neurohormones, neurotransmitters and pheromones encoded by the egg-laying hormone family of genes', *Biol. Bull.* 183, 1992, pp. 165-172.

S.D. Painter et al, 'Localization of immunoreactive bag-cell peptide in the central nervous system of *Aplysia*', *J. Comp. Neurol.* 287, 1989, pp. 515-530.

⁶⁶ ט"א גאולינגס (לעיל, הערה 55), שם.

R.S. Appeldoorn and I.M. Sanders, 'Quantification of the Density-Growth Relationship in Hatchery-Reared Juvenile Conch (*Strombus gigas* Linne and *S. costatus* Gmelin)', *J. Shellfish Res.* 4(1), 1984, pp. 63-66; S.E. Siddall, 'Density-Dependent Levels of Activity of Juveniles of the Queen Conch *Strombus gigas* Linne', *J. Shellfish Res.* 4(1), 1984, pp. 67-74.

שלבי ההתפתחות של הביצים,⁶⁸ וכמו כן את המנגנונים הגורמים לעצירת ההתפתחות בביצי ההזנה.⁶⁹ הכרת הגורמים המשפיעים על אחוז הביצים המשלימות את ההתפתחות ועל אחוז הבקיעה, תאפשר את העלאת קצב הרבייה. מתצפיות ראשוניות עולה, שקיימת קניבליות בשלבי ההתפתחות בתוך הקפסולה ויש לבדוק מה היקפה. אם הקניבליות בתוך הקפסולה היא בהיקף משמעותי, כדאי לבדוק אפשרות לפתח ביצים ללא קפסולה, כאשר הביצים מפוזרות במדיום הגידול באופן שימנע את הטריפה תוך מתן תחליף כמו אלבומן.⁷⁰ לאור התצפיות המלמדות שתפקיד הקפסולה הוא בעיקר להגן על הביצים ועל העוברים המתפתחים מזיהום בקטריאלי, ייתכן שניתן לוותר על הקפסולה בעזרת שימוש בחומרים אנטיביוטיים.⁷¹

3. גידול השלבים הצעירים - הבעיות המרכזיות בגידול הצעירים הן: הגנה מפני מזיקים ומפני מחלות והזנה. הצעירים ניזונים במקרים רבים מפריטי מזון שונים מהבוגרים, ולעיתים ממזון קשה לייצור כמו זואופלנקטון. לאור העובדה שארגמון קהה הקוצים הוא כנראה בעל התפתחות ישרה ואינו עובר גלגול המצריך שינוי בסוג המזון, קיימים סיכויים טובים למצוא דרך לגדלו. יש דוגמות למחקרים על הזנת צעירים הן במינים צמחוניים⁷² הן במינים טורפים כמו *Nucella emarginata*.⁷³ ראוי להדגיש, שאפשרות היישום של מחקרים העוסקים

68. R. Stoeckmann-Bosbach, 'Early stages of the encapsulated development of *Nucella lapillus* (Linnaeus) (Gastropoda, Muricidae)', *J. Molluscan. Stud.* 54(2), 1988, pp. 181-196.
69. C.S. Gallardo and O.A. Garrido, 'Nutritive egg formation in the marine snails *Crepidula dilatata* and *Nucella crassilabrum*', *Int. J. Invertebr. Reprod. Dev.* 11(3), 1987, pp. 239-254.
70. A.L. Moran, 'Intracapsular feeding on albumen by nonplanktotrophic embryos of *Littorina* (Gastropoda)', *American Zoologist* 36(5), 1996, p. 12A.
71. A. Lord, 'Are the contents of egg capsules of the marine gastropod *Nucella lapillus* (L.) axenic?', *Am Malacol. Bull.* 4(2), 1986, pp. 201-203.
72. J.A. Pechenik and N.S. Fisher, 'Feeding, assimilation, and growth of mud snail larvae, *Nassarius obsoletus* (Say), on three different algal diets', *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 38(1), 1979, pp. 57-80; T.K. Rodney, D.R. and H. Takami, 'A review of the feeding and growth of postlarval abalone', *J. Shellfish. Res.* 17(3), 1998, pp. 615-625.
73. L.A. Gosselin and F.S. Chia, 'Feeding habits of newly hatched juveniles of an intertidal predatory gastropod, *Nucella emarginata* (Deshayes)', *Jour. Exp. Mar. Biol. Eco.* 176(1), 1994, pp. 1-14.

בחלזונות הניזונים מאצות קטנה יותר לגבי הארגמון, אך ניתן לשאוב מהם רעיונות לגבי שיטות ההזנה.

ב. גידול

1. תזונה - כדי לענות על השאלות הקשורות לאופן ניצול המזון של הארגמון, חייבים להיערך מחקרי שדה ובדיקות מעבדה מקיפים שיחשפו היבטים שונים הקשורים להתנהגות התזונה של החילזון. ניתן לברר בעזרת חלזונות מסומנים את טווחי הזחילה של הארגמון, את משך הזמן שהוא מקדיש לכל פריט מזון, את שעות התזונה המועדפות ביממה וגורמים נוספים. יש לבדוק גם מגוון של גורמים פנימיים וחיצוניים המשפיעים על קצב התזונה. צריך לבחון העדפות מזון של הארגמונים, הן במעבדה בעזרת ניסויי העדפה בין אלטרנטיבות הן בשדה על ידי בדיקת תוכני קיבה ותצפיות ישירות.⁷⁴ הכרות טובה של ביולוגיית התזונה של הארגמון תאפשר ניהול משטר הזנה חסכני ויעיל. מחקר עשוי לתת פתרונות בכיוון של שימוש במזון זמין וזול ממקורות שטרם עלו על הדעת.
2. תנאים אקלימיים - יש לברר מהם הטמפרטורה ומשטר התאורה האופטימליים להשגת נצולת מזון טובה, כתוצאה מהתפתחות מהירה של החילזון. יחד עם זה יש להקדיש תשומת לב לגידול הבלוטה התת-זימית שממנה מופקת התכלת.

הצעת מחקר ראשוני

גידול במערכות מלאכותיות

בשלב הראשון יש לבנות את מערכת הגידול הבסיסית של הארגמון, כלומר - לבדוק את דרך הרבייה ואת שיטת הגידול האופטימלית של החילזון. משימה זו תושלם על פי ההצעות שבפרק הקודם. רק לאחר מכן ניתן יהיה לפנות לסדרת מחקרים ספציפיים. לצורך ביצוע השלב הזה יש לבנות מערכת אקווריונים שיוזנו על ידי מי ים שאובים. האקווריונים יוצבו בתוך מבנה סגור וממוזג שבו מערכת בקרה של טמפרטורה ותאורה.

במקביל לניסויים הנ"ל רצוי לנהל מחקר שטח שבו תיבדקנה שאלות בסיסיות הקשורות לתפוצה ולאורח החיים של הארגמון. יש לבחון שאלות כמו צפיפות האוכלוסיות בחופים סלעיים לעומת חופים חוליים, תפוצה במהלך השנה והיחס

74. R.N. Hughes and M.T. Burrows, 'An interdisciplinary approach to the study of foraging behaviour in the predatory gastropod, *Nucella lapillus* (L)', *Ethol. Ecol. Evol.* 6(1), 1994, pp. 75-85

המספרי של קבוצות הגיל השונות באוכלוסייה. בעזרת סימון חלזונות ניתן לחקור את קצב הגידול שלהם בטבע, את התנהגות התזונה שלהם ועוד.⁷⁵

העשרת האוכלוסיות בטבע

רצוי לבדוק, במקביל לגידול באקווריונים, גם את אפשרות גידול הארגמונים בים הפתוח. ייתכן שצוואר הבקבוק בגודל האוכלוסיות בחופי הארץ הוא בשלב הרבייה, ועל ידי העשרת החוף בפרטים צעירים ניתן יהיה להביא להגדלה משמעותית של היבול בטבע ללא העמדת המין בסכנת הכחדה. פרויקט דומה התבצע בהצלחה בארצות הברית ביחס לחלזונות 'קונכיית הנסיכה' (*Strombus gigas*⁷⁶) ו'אוזני ים' (*Haliotis*).⁷⁷ לאור ממצאים ראשוניים המעידים, לכאורה, על כך שמחסור בתשתית קשה מהווה גורם מגביל בתפוצת הארגמון בחופי הארץ, ייתכן שכדאי לבדוק את הצלחת ההתבססות של אוכלוסיות של פרטים צעירים, ילידי מעבדה, על גבי גופים קשים מלאכותיים בחוף כמו שוברי גלים או עצמים טבועים.

סיכום

העניין ההולך ומתגבר בחידוש מצוות פתיל התכלת בציצית, וכתוצאה מכך התלות הגוברת בייבוא של חומר הצבע המופק מהבלוטה התת-זימית של ארגמון קהה הקוצים, מגבירים את הצורך למצוא דרך לגידול החילזון במסגרת של חקלאות ימית. אין ביטחון שבעתיד ניתן יהיה לייבא את מלוא הצריכה, הן בגלל התחזיות לעלייה דרסטית בצריכה הן משום הסכנה להידלדלות אוכלוסיות החילזון בארצות האיסוף. לאחרונה נשמעים קולות של ארגונים 'רוקים' שונים הקוראים לשים קץ לאיסוף זה. עד היום לא התבצע ניסיון מקצועי לפילוס דרך לפתרון הבעיה.

ההצעות הקיימות לגידול ארגמונים התעלמו עד היום מהקשיים האובייקטיביים הכרוכים בגידול, ובעיקר מבעיות של כדאיות כלכלית בתהליך הגידול עצמו. הארגמון הוא חילזון טורף הזקוק למזון יקר באופן יחסי, דבר ההופך את גידולו ללא

75. E.M. Weil and R.G. Laughlin, 'Biology, Population Dynamics, and Reproduction of the Queen Conch *Strombus gigas* Linne in the Archipelago de los Roques National Park', *J. Shellfish. Res* 4(1), 1984, pp. 45-62

76. S.E. Siddall, 'Synopsis of Recent Research on the Queen Conch *Strombus gigas* Linne', *J. Shellfish. Res* 4(1), 1984, pp. 1-3

77. L. Rogers-Bennett and J.S. Pearse, 'Experimental seeding of hatchery-reared juvenile red abalone in northern California', *Jour. Shellfish Res.* 17(3), 1998, pp. 877-880

כדאי כאשר משווים את עלות הגידול לעלות הייבוא. אם לא ימצא פתרון בטווח הקרוב, עלולה עלות הרכישה של פתיל תכלת להגיע לסכומים בלתי סבירים.

במאמר זה סורטטו הקשיים הניצבים בפני גידול האורגמון ודרכי הפתרון האפשריות בתחום הרבייה ובתחום הגידול עצמו. המטרה העיקרית בתיאור הקשיים איננה לרפות ידיים - אלא להפך, היא נועדה לעודד את המתעניינים לפנות לכיוונים מעשיים, תוך שיתוף פעולה החיוני להצלחת המחקר בין כל העוסקים במלאכה - הן מהכיוון המדעי הן מהכיוון הכלכלי.