

# האצות החיוניות לקיומנו

כתבו: פרופי תירי גופן (Thierry Chopin) וד"ר אמיר נאורי (Amir Neori)

אצות בכלל ואצות רב-תאיות בפרט מעוררות אצל אנשי המערב בכלל והישראלים בפרט רגשות שליליים, בעיקר מאחר שהמפגשים המוכרים אתן הם מפגשים עם צמיחה ירקרקת ולחלוחית, המלטפת אותנו במגע חלקלק ומעורר גועל וצמרמורת כשאנחנו טובלים במקווי מים. הבוטנאים תורמים לרגשות השליליים האלה בכנותם את האצות "צמחים ירודים" ואף "סמרטולי ירוקת" ובאנגלית seaweed, טפירושו עשב ים. בעברית המונח "עשב ים" קשור בצמחי מים עילאיים דווקא בעוד שהאצות נקראות בשם נחמד – אצות ים.

הן אינן קופצות מהמים, הן אינן מייצרות פרחים ופירות, הן אינן משמיעות קולות מעניינים ולא נעים ללטף אותן. רובן גם קשות לזיהוי בידי מי שאינו מומחה לדבר. אולי זו הסיבה לכך שרק למיני אצות אחדים יש שמות עממיים נפוצים. נקודת האור היחידה בעולם המערבי היא הקישור האסוציאטיבי בין אצות לבין מזון בריאות. מסיבה זו מהוות אצות - ממינים ובכמויות שאינם תמיד ברורים - חלק מהרבה תוספי מזון ותכשירי בריאות וטיפוח העור.

## מהן האצות?

הגדרה קצרה תהיה כוללנית, מפני שהן כה שונות זו מזו. אין בחי ובצומח קבוצה הטרוגנית יותר מאשר אצות. למעשה, אנחנו כוללים במילה "אצות" קבוצות של מינים שהמרחק הגנטי ביניהן גדול מאשר בין האדם לחרקים. מאז הכתבים של היוונים והרומאים הקדמונים גובבו יחדיו במכלול "אצות" (algae)

וכאן עוד לא נגמרת תרומתן; ריפי אלמוגים לא היו נוצרים ללא עזרתן של אצות שחיות בתוך האלמוגים ולידם. חלק ניכר מן הריף עשוי אצות רב-תאיות גירניות. אפילו החול הלבן שעל שפת הים מוצאו במידה רבה מהתפוררותן של האצות האלה.

אצות מופיעות גם בנקודות מפתיעות בחיינו. גלולות יודיד האשלגן, הניתנות לבני אדם לשם הקטנת נזקי זיהום רדיואקטיבי, עשויות מאבקה של אצות חומיות הנקראות kelp; גלולות אלה מרוות את בלוטת המגן ביוד נקי, ובכך מונעות קליטה של יוד רדיואקטיבי הנפוץ בנשורת רדיואקטיבית. גלולות כאלה זכו לשימוש במקרים הידועים (והפחות ידועים) של זיהום גרעיני, החל מהירושימה ונגסקי, המשך בצירנוביל וכלה בפוקושימה. המקרה האחרון הביא בעקבותיו לעלייה ניכרת בדרישה העולמית לגלולות האלה, הנאגרות כיום בכל מדינה מודרנית לקראת מקרים דומים.

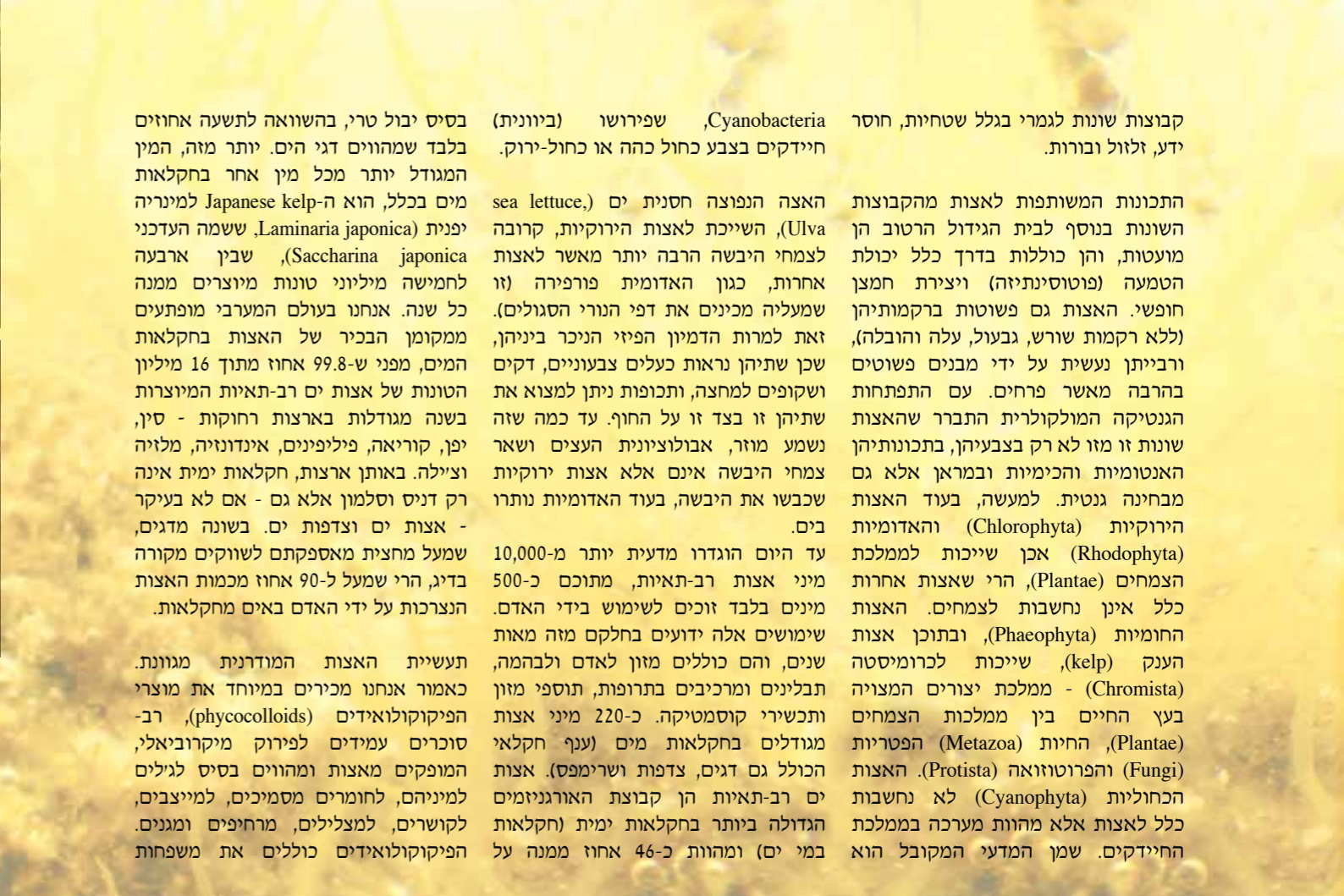
אצות אינן מעוררות ברובנו את הערך הרגשי החיובי שאנחנו מייחסים למינים אחרים, כגון דולפינים, דגים וציפורים.

כמו אצלנו גם אצל הסינים, בעלי המסורת הארוכה של שימוש בהן, קרויות האצות הרב-תאיות בשם נחמד, haizao, שפירושו צמחי ים צבעוניים ויפים. בנוסף ליופיין האצות חיוניות לסביבה ותורמות הרבה לחיינו היומיומיים. רבים מאתנו מתחילים את היום עם אצות (חומר שמוצאו ממיצוי קרגיין - carrageenan - משפחת רב-סוכרים שנוצרים באצות אדומיות - מסמך מיץ, מוצרי חלב ומונע היפרדות המוצקים שבהם מהמים) והולכים לישון עם אצות (תכשירים רבים לטיפול בעור מכילים רב-סוכרים מאצות. משחת השיניים שלכם הייתה נוזלית לולא תוספת של מיצוי קרגיין או אלגינט - alginate - משפחה נוספת של רב-סוכרים שנוצרים באצות חומיות).

רב-סוכרים רב-שימושיים אלה מהווים חלק עכשווי אך קטן מתרומת האצות לעולם ולאנושות. במיליארד השנים הראשונות של קיום כדור הארץ הועשרה האטמוספירה בחמצן על ידי סטרומטוליתים, העשויים מאצות כחוליות. גם כיום תלויה היכולת שלנו לנשום באצות, שכן כל מולקולת חמצן שנייה בעולם נוצרת על ידי אצות; מחצית מולקולות הפחמן הדו-חמצני הנפלטות בנשימתנו נקלטות וממוחזרות על ידי אצות, ומעבר לכול, מאות מיליונים בסין, יפן וקוריאה אוכלים בכל יום אצות ים.

1. גרצילריה, ובעברית אגרית, היא סוג קוסמופוליטי, כלומר סוג שקיים בכל הימים העולם, בעיקר החמים והמוזגים. הגרצילריה גדלה בתחום הכרית (הגאות והשפל), ועל כן לעתים קרובות היא נחשפת לאוויר. הרב-סוכר המצפה אותה - האגר - מאט את קצב התייבשותה ומקל עליה להישאר שלמה וצמודה לסלעים תחת מכות הגלים. פרט פורה עם תאני רבייה. צילמה: רחלי עינב
2. אצות רב-תאיות יכולות לגדול בכל מקום שבו מצויים מים, חומרי מזון (נוטריינטים), מצע ושמש. אנרגיית השמש מאפשרת להן לקלוט מהמים עודפי פחמן דו-חמצני, חנקן וזרחן, תוך העשרת המים בחמצן. בתמונה האצה החומית פוקוס בחוף באלסקה. צילמה: רחלי עינב.





קבוצות שונות לגמרי בגלל שטחיות, חוסר ידע, ולזול ובורות.

חיידקים בצבע כחול כהה או כחול-ירוק. (ביונית) Cyanobacteria, שפירושו

האצה הנפוצה חסנית ים (sea lettuce, Ulva), השייכת לאצות הירוקות, קרובה לצמחי היבשה הרבה יותר מאשר לאצות אחרות, כגון האדומית פורפירה (זו שמעליה מכינים את דפי הנורי הסגולים). זאת למרות הדמיון הפיזי הניכר ביניהן, שכן שתיהן נראות כעלים צבעוניים, דקים ושקופים למחצה, ותכופות ניתן למצוא את שתיהן זו בצד זו על החוף. עד כמה שזה נשמע מוזר, אבולוציונית העצים ושאר צמחי היבשה אינם אלא אצות ירוקות שכבשו את היבשה, בעוד האדומיות נותרו בים.

עד היום הוגדרו מדעית יותר מ-10,000 מיני אצות רב-תאיות, מתוכם כ-500 מינים בלבד זוכים לשימוש בידי האדם. שימושים אלה ידועים בחלקם מזה מאות שנים, והם כוללים מזון לאדם ולבהמה, תבלינים ומרכיבים בתרופות, תוספי מזון ותכשירי קוסמטיקה. כ-220 מיני אצות מגודלים בחקלאות מים (ענף חקלאי הכולל גם דגים, צדפות ושרימפס). אצות ים רב-תאיות הן קבוצת האורגניזמים הגדולה ביותר בחקלאות ימית (חקלאות במי ים) ומהוות כ-46 אחוז ממנה על

התכונות המשותפות לאצות מהקבוצות השונות בנוסף לבית הגידול הרטוב הן מועטות, והן כוללות בדרך כלל יכולת הטמעה (פוטוסינתזה) ויצירת חמצן חופשי. האצות גם פשוטות ברקמותיהן (ללא רקמות שורש, גבעול, עלה והובלה), ורבייתן נעשית על ידי מבנים פשוטים בהרבה מאשר פרחים. עם התפתחות הגנטיקה המולקולרית התברר שהאצות שונות זו מזו לא רק בצבעיהן, בתכונותיהן האנטומיות והכימיות ובמראן אלא גם מבחינה גנטית. למעשה, בעוד האצות הירוקות (Chlorophyta) והאדומיות (Rhodophyta) אכן שייכות לממלכת הצמחים (Plantae), הרי שאצות אחרות כלל אינן נחשבות לצמחים. האצות החומיות (Phaeophyta), ובתוכן אצות הענק (kelp), שייכות לכרומיסטה (Chromista) - ממלכת יצורים המצויה בעץ החיים בין ממלכות הצמחים (Plantae), החיות (Metazoa) הפטריות (Fungi) והפרוטיסטה (Protista). האצות הכחוליות (Cyanophyta) לא נחשבות כלל לאצות אלא מהוות מערכה בממלכת החיידקים. שמן המדעי המקובל הוא

1

1. האצה הירוקית חסנית היא עוד סוג קוסמופוליטי, הגדל בתחום הכרית, ועל כן לעתים קרובות היא נחשפת לאוויר. החשיפה מסכנת אותה, אבל במקביל עוזרת לה לקלוט פחמן דו-חמצני. החסנית נאכלת טרייה, מבושלת ומטוגנת, ומשמשת בחקלאות מים לסינון (ביופילטר) וטיוב של מים מזוהמים, הודות לגדילה המהירה שלה וליכולתה לפלוט חמצן ולקלוט חומרי מזון מהמים. צילמה: רחלי עינב
2. שברירה אשונה, אצה אדומית גירנית שקולטת גיר ממי הים ובעזרתו בונה לעצמה שלד פנימי. מצויה בחופי ישראל. צילמה: רחלי עינב
3. פת דג הוא שמה של האצה "הישראלית" הרכה הזאת. כפי שמעיד שמה, הדגים מאוד אוהבים לאכול אותה. צילמה: רחלי עינב
4. יוכימה וקאפאפיקוס, למרות המופע הירוק שבתמונה, הן שתי אצות אדומיות "אחיות" המגודלות בחופי טנזניה, כמקור לרב-סוכר קרגיני. גידולם המסחרי בהיקף גדול של שני מינים - (Euचेuma denticulatum spinosum) ו- (Kappaphycus alvarezii cottonii), הגידול החל בשנות ה-90 של המאה הקודמת. גידול האצות הללו, שברובו המכריע נעשה על ידי נשים, תורם רבות לכלכלת האי הטנזני זנזיבר, שבו צולמו תמונות אלה. צילם: מקס טרול
5. הפוקוס היא אצה חומית בעלת ערך כלכלי שאינה גדלה בישראל אלא מעדיפה ים קר יותר. שימו לב לבעות ההצפה שמאפשרות לה להתרומם במים. צילמה: רחלי עינב



2

1. מגדלת אצות בזנזיבר מרימה חבל שעליו גדלות האצות. גידול אצות מספק לתושבות החופים תעסוקה קרובה לבית, בת קיימא, פשוטה, עצמאית, שאינה דורשת השקעה כבדה ושתורמת למשק הבית הכנסה שוטפת ובטוחה. צילם: מקס טרול

2. בשפל קל יותר לאסוף את האצות, אך זו עדיין עבודה קשה. למרות הקושי, נשות טנזניה וארצות אחרות בעולם השלישי מגדלות אצות כי ההכנסה מעצימה את השפעתן ואת חלקן בקביעת סדרי עדיפויות בכלכלת המשפחה. צילם: מקס טרול

3. מגדלת אצות בזנזיבר אוספת את יבולי חלקתה. הכנסות הנשים מגידול אצות מופנות לגידול הילדים וחינוכם. התפתחות התעשייה הביאה למהפכה חברתית ולהעצמה נשית בקהילות החוף של טנזניה ודרום אפריקה. צילם: מקס טרול

4. מגדלת אצות זנזיברית מדגימה שזירת נבטים בחבל. גידול אצות מהווה את מקור ההכנסה השני בחשיבותו בזנזיבר (לאחר תיירות). צילם: מקס טרול



1

האלגינט (מאצות חומיות), קרגינן ואגר (שניהם מאצות אדומיות). חומרים אלה משמשים בתעשיות המזון, בישול הבירה, הטיפול בטקסטיל, חומרים לא פעילים בתרופות, מיקרוביולוגיה, ביוטכנולוגיה, ציפוי, קידוח (!) ועוד. הרופא לקח מכס דגימות רוק, ליחה וצואה? הדגימות האלה "נזרעות" על גיל שבקרעית צלוחיות מעבדתיות (פטרי), כדי לגלות אילו תרביות חיידקים ופטריות יתפתחו מהן. הגיל עשוי מאגר, המופק מאצות אדומיות. מפתיע, לא?

קרגינן או אלגינט, שמונעות את התפשטות הצבע ומריחתו על הבד. טבליות ותמיסות אלגינט מטפלות בצרבת. ראיתם בטלוויזיה אנליות דני"א על גלים (למשל בסדרת הטלוויזיה CSI)? הגיל עשוי אגר. מותקנים בביתכם קירות גבס דוחה אש? לוח הגבס מצופה אלגינט, המופק מאצות חומיות. כוסות הנייר אינן נרטבות ואינן נקרעות לנו ביד הודות לכך שהן מצופות בקרגינן. בקידוחי מים ונפט המקדחה מקוררת על ידי בוץ מועשר ומוסמך באלגינט.

לאור רשימת השימושים המכובדת הזאת אולי מפתיע שרק כעשירית מיבול האצות בעולם מופנה לשימושים תעשייתיים. הרוב המכריע של ייצור האצות מיועד לירקות ים (sea-vegetables), הנאכלים על ידי האדם טריים, מבושלים, מיובשים או קפואים. סוגי האצות הנאכלים העיקריים הם: Laminaria/Saccharina הקרויה konbu או kombu ונאכלת במרקים, ביפן Porphyra הקרויה nori ונאכלת בסושי, Undaria הקרויה wakame ונאכלת בעיקר במרק מיסו ו-Alaria הקרויה sarumen ונאכלת בסלט.

כיצד הגלידה חלקה, מוצקה וחסרת גבישי קרח? הודות למעט קרגינן המופק מאצות אדומיות. כיצד אבקת הקקאו מפוררת באופן הומוגני בשוקו ואינה שוקעת לתחתית הכוס? הודות למעט קרגינן. הראיתם זיתים ירוקים ממולאים בפלפל פימנטו אדום? ובכן, לא בדיוק, כי המילוי עשוי משחת קרגינן צבועה ומתובלת בתמצית פלפל פימנטו מלאכותית. מבשלות בירה מצלילות את המשקה באמצעות קרגינן. הדפסה מדויקת על בד ומשי אפשרית הודות להספגת האריג בתמיסת

שמיש להם המגדל, בעיקר דגים וסרטניות (שרימפס) בחוות חד-גידוליות, מנצל רק כרבע עד שליש מהחלבון המסופק במזון. השאר מופרש למים כפסולת עשירת פחמן אורגני, חנקן וזרחן בצורה מוצקה (כצואה), חלקיקית (כחיידקים) ומומסת (דשנים). הפסולת עלולה לזהם את הסביבה, לצרוך את כל החמצן ולהוביל לפגיעה בסביבות (אקוסיסטמות) טבעיות, בתהליך הקרוי

דגים, מזיקות לעור השוחים ומונעות את קיום התחרויות. היכולת של אצות לספק ביעילות שירותי טיהור סביבתיים מנוצלת באופן תעשייתי, כאשר אצות גדלות בחוות חקלאות מים רב-גידוליות בשילוב עם מיני חיות ים שמשלימים זה את זה מבחינת תזונתם. גידול אינטנסיבי של בעלי חיים הניזונים ממזון

אצות ירוקיות, בעיקר חסנית ים. האצות התפתחו במי החופים שזוהמו בחומרי דשן (נוטריינטים) משטחים חקלאיים נרחבים שבסביבה. האצות למעשה ניקו מהמים את חומרי הדשן כשקלטו אותם לביומסה צמחית קלה לאיסוף ושימושיה. אלמלא האצות הללו, היו עלולות להתפתח באותם מים פריחות של אצות מיקרוסקופיות מזיקות קשות לאיסוף, שהיו ממיתות



4



3



5



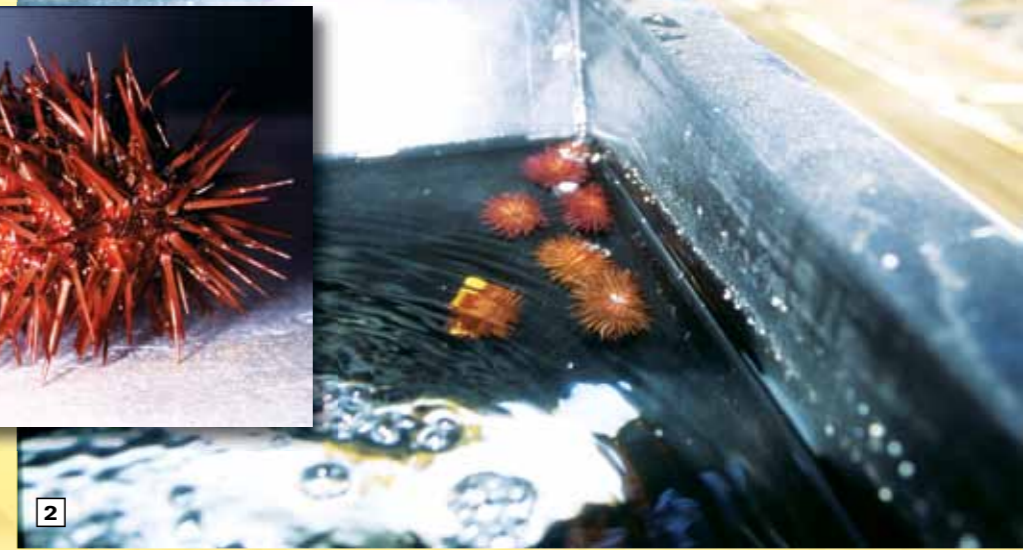
4



6



1



2



3

אאותרופיקציה (eutrophication). הזיהום הזה מביא תכופות להתפתחות מואצת של אצות מזיקות, וכן לקונפליקטים עם בעלי עניין אחרים בחוף או בים (תיירות...). החוות עצמן יכולות להיפגע מתוצאות הזיהום שהן מפרישות, למשל בדמותם של פריחות אצות מזיקות, רמות נמוכות של חמצן במים וריבוי טפילים.

גידול במשולב בחוות רב-גידוליות של מינים שונים, המשלימים זה את זה מבחינה סביבתית, משפר מאוד את ניצולת המזון המוגש לחיות ומקטין בכך את בזבז המשאבים היקרים (חלבון למשל) ואת הזיהום הסביבתי. הקטנת הזבזב והזיהום משפרת את הקיימות של החוות ואת הכלכליות שלהן, הכרוכות אלה באלה. מחיר המזון ועלות ניקוי וטיהור הזיהום מהווים את רוב העלות של גידול דגים בכלובים או דגים/סרטנים בבריכות חד-גידוליות. העיקרון העומד בבסיסן של כל המערכות המשולבות הרב-גידוליות הוא גידול יחד של מיני יצורים ימיים בעלי ערך כלכלי מרמות תזונה שונות, כדי ליצור מאון סביבתי יצרני ורווחי. בצד אחד עומדים יצורים מוזנים - בעיקר דגים וסרטניות (שרימפ) - המקבלים את מזונם מהמגדל, צורכים חמצן ומפרישים עודפים כזיהום חלקיקי ומומס. מנגד מאזנים אותם כביופילטרים יצורים בני ערך כלכלי, שתוך מיצוי תזונתם מהמים מנקים אותם. מכירת יצורים אלה עושה את טיהור המים לפעולה רווחית.

ניתן לחלק את היצורים הממצים לשלוש קבוצות: 1. חיות הניזונות מסינון ומיצוי מהמים של אצות וחלקיקים אורגניים אחרים, ובהן נכללים צדפות (בעיקר

- 2,1. לחוות המגדלות אצות רב-תאיות כביופילטר כדאי לגדל גם בעלי חיים ימיים אוכלי אצות, כגון קווצי העור קיפודי הים. צילם: אודי רן
3. בריכת אצות חד-תאיות ("מים ירוקים"). לאצות חד-תאיות חשיבות כלכלית עצומה, וייצורן במיוחד בדרום-מזרח אסיה מגיע למאות מיליוני טונות בשנה. רובן המכריע מנוצלות בתוך הבריכות שבהן הן גדלות, להזנת כמה מהיצורים הנפוצים ביותר בחקלאות מים. עבור כמה מיני קרפיון (כגון דג הכסיף) וכן צדפות מהוות אצות אלה את המזון העיקרי. בנוסף לכך, ריבויים של רוב יצורי המים בשבי, כולל דגי ים, שרימפס וצדפות, דורש אצות חד-תאיות. צילם: אודי רן
4. גידול גרצילריה - מקור לרב-סוכר אגר - בבריכה במכון לחקר ימים ואגמים בחיפה. הגרצילריה מהווה את אחת מהאצות האדומיות החשובות ביותר בעולם מבחינה כלכלית. מאות אלפי טונות ממנה מייצרים בכל שנה בחקלאות ימית כמקור לייצור אגר, בנוסף להיותה מרכיב בסלטים. מינים אחדים של סוג זה משמשים כביופילטר לסינון מים מחומרי מזון מיותרים בחקלאות ימית. צילמה: רחלי עינב
5. גידול חסנית במי פלט של בריכות דגי ים בבריכה גדולה באילת. במעברם של מי פלט מבריכות דגים דרך בריכת אצות הם מנוקים מעודפי חומרי מזון, מועשרים בחמצן, וגם החומציות שלהם מיוצבת. תהליכים אלה מאפשרים למחזור את המים לעוד סבב של גידול דגים, או להשיבם לים עם זיהום סביבתי מזערי. צילם: אמיר נאורי
6. סדרת מכלים המשמשת לניסויים מדעיים על גידול אצות יחד עם גידול דגי ים באילת. ניסויים במכלים אלה דומיהם מדדו את יכולת החסנית והגרצילריה לגדול בתוכם ולטהר את מי הפלט של בריכות דגים. צילם: אמיר נאורי

עשרות חוות רב-גידוליות, הפועלות בארצות טרופיות, ממוזגות וקרות עם שילובי יצורים שונים במי חופים, אגמים ובריכות. פיתוח הגידול המשולב המודרני בבריכות בעולם כולו קיבל תנופה ניכרת מהמחקר והפיתוח שנערך במרכז הלאומי לחקלאות ימית באילת החל משנות ה-80 של המאה הקודמת בידי כמה חוקרים, כולל א.ג. - ממחברי מאמר זה.

בחווה הרב-גידולית ה"פסולת" מגידול דגים וסרטניות מדשנת את גידול האצות.



4



5



6

אצות רב-תאיות מהסוגים חסנית מצויה, Ulva וגרצילריה (Gracilaria) גדלות מהר במי ים עשירים בחומרי דשן, ומייצרות יבולים הגבוהים פי כמה מצמחי היבשה היצרניים ביותר - התירס וקנה הסוכר. חלק ניכר מהתהליכים הפיזיולוגיים בדגים ובסרטנניות (נשימה ויצירת הפרשות) מאוזנים על ידי תהליכים פיזיולוגיים החלים באצות. בגדילתן משמשות האצות כביו-פילטרים, שכן הן משתמשות בדו-תחמוצת הפחמן ובחומרי דשן מהמים. בו בזמן תהליך הפוטוסינתזה שמתרחש באצות מספק למים חמצן ומאזן את החומציות (pH) שלהם. אצות הגדלות במים עתירי חומרי דשן עשירות בחלבון פי כמה מהמצוי בהן בתנאים טבעיים רגילים ומהמצוי ברוב צמחי היבשה.

אחת החוות הראשונות שהשתמשו בידע שפותח בישראל בנוגע למערכות משולבות בבריכות חוות "שיאור מריץ", שפעלה במכמורת החל מסוף שנות ה-90. בחווה גידלו במשולב דגים (דניס ובורי), אצות רב-תאיות (חסנית מצויה וגרצילריה), חלונות ימיים צמחוניים שנקראים אוזן ים (abalone).

1. חוקר המכון לחקר ימים ואגמים בחיפה ד"ר אלוארו ישראל עוסק במחקר שמטרתו התאמת חסנית הים לגידול בבריכות. צילמה: רחלי עינב
2. המחבר ד"ר אמיר נאורי באילת, ליד בריכה בה גדלה חסנית ים במי פלט של בריכות דגים כחלק ממערכת רב-גידולית של דגים וצדפות.
3. חוות גידול אצות בקיבוץ ראש הנקרה. בחווה גידלו גרצילריה וחסנית. ארנון פלדמן, מנהל החווה, מעניק לחסנית חיבוק של בוקר. צילמה: רחלי עינב
4. חבל שעליו גדלה האצה החומית הענקית (קלפ), *Saccharina latissima* בחוות אצות ניסיוניות במזרח קנדה. האצות מגיעות לגודל זה מנבטים קטנים בתוך חודשים ספורים. כמה מיני קלפ מגודלים בעולם, הנפוץ ביניהם הוא הקלפ היפני (*Saccharina japonica*) שמיליוני טונות ממנו מגודלים מדי שנה בסין ובקוריאה בעיקר למאכל אדם. צילם: תירי שופן
5. חבל שעליו גדלה אצת הקלפ, *Saccharina latissima* בחווה רב-גידולית ניסיונית של סלמון, צדפות ואצות במזרח קנדה. מחקרים הראו שלחוות יתרונות סביבתיים וכלכליים, וכיום פועלות כבר חוות מסחריות כאלה. משמאל המחבר תירי שופן אוזח בחבל. צילם: מאנאב סוהני
6. אצות חומיות (קלפ) באלסקה. גם חוקרת ארצות מנוסה כמו הדס פלדמן מתלהבת מהגודל. צילמה: רחלי עינב



2



1



3



2

1. מבחר של אצות טריות מאוכלוסיית אצות הבר של ישראל מחכות לטעימה. מי יותר מי פחות, אבל רובם המכריע של המינים ראויים למאכל. צילמה: רחלי עינב
2. לאצות תפקיד חשוב בשמירה על האיזון הסביבתי בעולם בין יצרנים לצרכנים. כאן האצות חיות בהרמוניה עם כוכב ים. צילמה: רחלי עינב



1

מחקרים שפורסמו בספרות המדעית בשנים האחרונות ושכחנו חוות מסחריות בדרום אפריקה, קנדה, ציילה וסקוטלנד, כולל במאמרים שנכתבו על ידי שני מחברי מאמר זה, הראו שגידול משולב רב-גידולי מעלה את הרווח הכספי של חוות חקלאות ימית גם ללא מיסוי סביבתי וללא סובסידיות. יותר מכך, מאמר של המחבר א.ג. בחן לאחרונה ייצור אצות חד-תאיות בחוות המגדלות דגי מים מתוקים (בעיקר קרפיונים ואמנונים), במיוחד בדרום-מזרח אסיה, בגישות המים הירוקים - פוליקולטורה. חוות כאלה מייצרות עשרות מיליוני טונות דגים בשנה, דגים שרובם ניזונים ישירות ובעקיפין מאצות חד-תאיות (לכן המים ירוקים...), והן לרוב ידידותיות לסביבה. מסקנתו העיקרית של המאמר היא שהיקף ייצור אצות חד-תאיות בחוות אלה לצורך הזנת הדגים שהם מייצרים הוא לפחות רבע מיליארד (!) טונות לשנה, היקף הגדול מכלל היקף שאר חקלאות המים והדגי העולמיים.

מחקרים אחרים הראו את השימושיות של קמח ופתיתים מאצות רב-תאיות כמרכיבים בכופתיות מזון לדגים ושרימפס. מחקר ופיתוח זה נעשו במסגרת החיפוש לשימושים נוספים לאצות בתוך תעשיית חקלאות המים, במיוחד כתחליף למשאבים המוגבלים של קמח דגים ושמן דגים בכופתיות מזון. תכולת החלבון הגבוהה בתנאים המתאימים, מגדילה את שימושיות אצות אלה כמקור לחלבון לאדם ולחי - מקור המיוחד בכך שאינו מתחרה עם ייצור המזון המסורתי על קרקע חקלאית, מי שתייה שפירים ודשנים. ייצור חלבון אצתי בקנה מידה גדול והחדרתו כחלבון מקובל

ואולם, ניתן לצפות שקבלת העיקרון "המזהם-משלם" והתקדמות היישום של "מסים סביבתיים" או "מסים ירוקים", הממסים הפרשות לסביבה של פחמן ושל חומרי דשן, תעלה ההתעניינות של התעשייה בגידול צמחי מים בכלל ואצות במיוחד, ותהווה תמריץ כלכלי משמעותי להקמת חוות משולבות. באוסטרליה, לדוגמה, נכנס לאחרונה מס סביבתי של כ-25 דולר לטונה של פחמן מופרש. ערכי מס אחרים שנכנסים לתוקף בארצות הברית ובאירופה ונדונים גם בישראל יגבו בין עשרה ל-30 דולר לקילוגרם של חנקן ומעל ל-100 דולר לקילוגרם זרחן. בהתחשב בכך שייצור טונה של דג דניס בכלובים משחרר למים כ-500 ק"ג פחמן, 120 ק"ג חנקן ו-20 ק"ג זרחן, חישוב פשוט מראה שגידול המפריש למים זיהומים ברמות כאלה נעשה יקר. בגידול אינטנסיבי חד-גידולי עלויות המיסוי הללו מתוספות לעלויות התפעוליות הרגילות של מזון, שכר וכדומה, בעוד שבחוות רב-גידוליות יורד מאד הזיהום ואתו יורד המיסוי. כך, מסים סביבתיים נותנים ביטוי כלכלי לאטרקטיביות הסביבתית והחברתית של גידול האצות במערכות רב-גידוליות של חקלאות מים. חישובנו שלו היו מסים סביבתיים וסובסידיות סביבתיות (שהן מס שלילי למוצרים המטרהים את הסביבה) בתוקף בארצות שבהן נעשה רוב גידול האצות הרב-תאיות, היה ערכם של המסים הנחסכים או של הסובסידיות בין חצי מיליארד למיליארד דולרים וחצי בשנה. זהו סכום ניכר, עד 25 אחוז מערכה הכללית השנתי של תעשיית האצות הרב-תאיות.

ואולם, לשילוב אצות בחוות לחקלאות מים ערך כלכלי ניכר גם ללא מיסוי סביבתי.

וכן קיפודי ים צמחוניים ויצורים אחרים. חומרי דשן מגידול הדגים שימשו לגידול האצות, שבגדילתן טיהרו את המים. האצות שימשו מזון לחלזונות ולקיפודים. המים הוחזרו למערכת או הוזרמו דרך נחל אלכסנדר חזרה לים, תוך עמידה בתקני ההזרמה לים של המשרד להגנת הסביבה. ניתן לראות את החווה (הקרויה היום "סאקורה - מוצרים מהטבע") ממזרח לגשר כביש החוף על נחל אלכסנדר. כמה חוות דומות פועלות בהצלחה בדרום אפריקה.

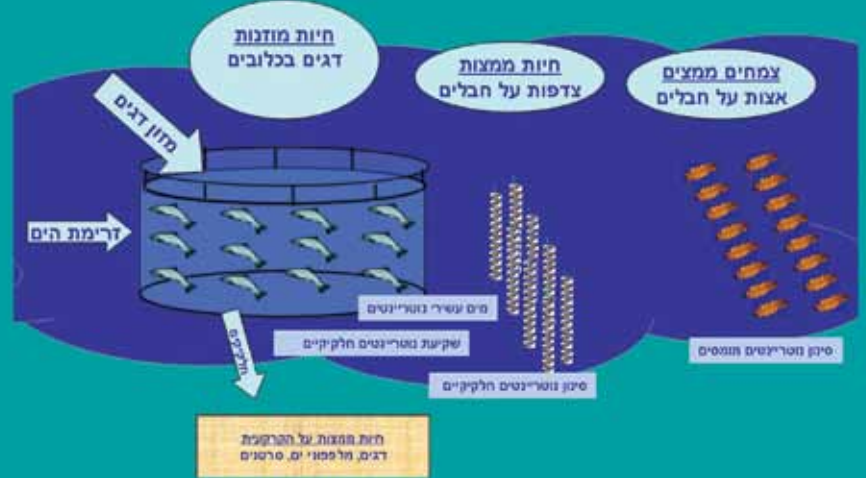
חוות של חקלאות מים משולבת נבנות על פי עקרון ההנדסה הסביבתית, הנדסה המשתמשת בתהליכים השונים המעורבים בחקלאות לשם הקטנת החתימה הסביבתית של התעשייה. חוות כאלה לא רק ידידותיות לסביבה אלא גם משפרות את יציבות איכות המים של המערכת ואת בריאות היצורים הגדלים בה. גיוון המוצרים מייצב את החווה לא רק סביבתית אלא גם כלכלית, ומספק מקומות עבודה במקצועות שונים. המוצרים הם תכופות "אורגניים" או "ירוקים", ולכן הם אטרקטיביים לצרכנים בעלי מודעות סביבתית. מובן מאליו שחוות המחזירות לים מים נקיים חביבות גם על מנגנוני הפיקוח הסביבתי, כגון אלה של המשרד להגנת הסביבה. ואכן, חוות "שיאור מרין" מוקמה בגן הלאומי נחל אלכסנדר, וחווה נוספת מתוכננת להקמה באזור החוף.

במזרח הרחוק ערכה של האצה באיזון הסביבתי והכלכלי של גידול דגים מוכר, ואצות מהוות אבן פינה של התעשייה. לעומת זאת בעולם המערבי, שבו לא מקובל לאכלן, החשיבות הסביבתית-כלכלית של גידול אצות אינה מוערכת תכופות כראוי.

לבני האדם יכולים לכן לתרום בעקיפין לחיסכון בשימוש במים שפירים, ואפילו להקטנת תהליכים מזיקים של יצירת קרקע חקלאית תוך בירוא יערות וחורש טבעי. מאותם שיקולים, והודות לכך שעלות ייצור אצות רב-תאיות יכולה להיות נמוכה מאוד - מתועדות בספרות עלויות ייצור מסחריות של עשרות דולרים לטונה אצות טריות - הגדלה משמעותית בהיקף ייצור אצות רב-תאיות עשויה להפוך ייצור של דלק ביולוגי מאצות למטרה בת השגה בעתיד הלא רחוק.

כך, לאצות הרב-תאיות חלק בחיי היומיום של רבוננו, כולל בייצור של מזון ים. הכרה נרחבת של תכונותיהן המיוחדות של האצות מבחינה כימית, פיזיולוגית, אגרונומית וכלכלית תקרב ללא ספק הגדלה ניכרת של התעשייה. עד כמה קרוב? זה תלוי בהצלחתנו בהעברת המסר המצוי במאמר זה לציבור, לגורמי התעשייה ולגורמים הקובעים מדיניות. ♦

פרופ' תיירי שופן חוקר אספקטים של גידול אצות, הוא ממובילי פיתוח החקלאות הימית המשולבת הרב-גידולית ומשמש כמנהל המדעי של הרשת הקנדית העוסקת בחקלאות מים משולבת. ד"ר אמיר נאורי חוקר את הקשר שבין קיימות סביבתית לבין כלכליות בחקלאות מים. עבודתו הניסויית פיתחה טכנולוגיות וגישות של חקלאות מים בת קיימא, ובכללה גידול אצות, איכות מים וביו-פילטרים בחקלאות ימית בת קיימא. [neori@ocean.org.il](mailto:neori@ocean.org.il) [aneori@gmail.com](mailto:aneori@gmail.com)



1



2

1. סכמה של חקלאות ימית רב-גידולית בת קיימא המשלבת גידול אצות עם דגים וצדפות ליצירת מאזן סביבתי יצרני.
2. חנות אצות בשוק Tsukiji Fish Market, שוק מאכלי הים הגדול בעולם. השוק מצוי במרכז טוקיו, והוא כולל כמה חנויות שמתמחות באצות. היפנים אוכלים אצות טריות בסושי ומבושלות במרק מיסו, ובנוסף גם בסלטים טריים, מייבושות, מבושלות, מטוגנות ומעובדות למוצרי מזון מהיר וחטיפים. אחת התערובות לתיבול סלט המקובלות ביותר ביפן, Shichimi tōgarashi, היא תערובת מבוססת פלפל צ'ילי הכוללת שבעה מרכיבים שונים, כולל אבקת של אצות.
3. סלט העשוי מאצות טריות ביפן. במזרח הרחוק, בעיקר ביפן, סין וקוריאה, אצות הן מזון לגיטימי. במערב פחות, על אף שמיום ליום יותר ויותר אצות עולות גם על שולחנות אירופיים. צילם: אמיר נאורי



3