



דגים, אצות וצדפות: הטריו המנצח בחקלאות ימית

Emmanuelle Roque D'Orbcastel^{1*}, Elyse Boudin², Meng Li^{3,4}, Frédérique Carcaillet²,
Eric Fouilland¹

¹MARBEC, אוניברסיטת מונפלייה, IRD, איפרמר, CNRS, סטה, צרפת

²MARBEC, אוניברסיטת מונפלייה, IRD, איפרמר, CNRS, מונפלייה, צרפת

³הקולג' לדיג, אוניברסיטת האוקיינוסים של סין, קינגאדו, סין

⁴MARBEC, אוניברסיטת מונפלייה, IRD, איפרמר, CNRS, פלבס-לס-פלז, צרפת

סוקרות צעירות

ANNA-MARIE

גיל: 15



SAMEEN

גיל: 14



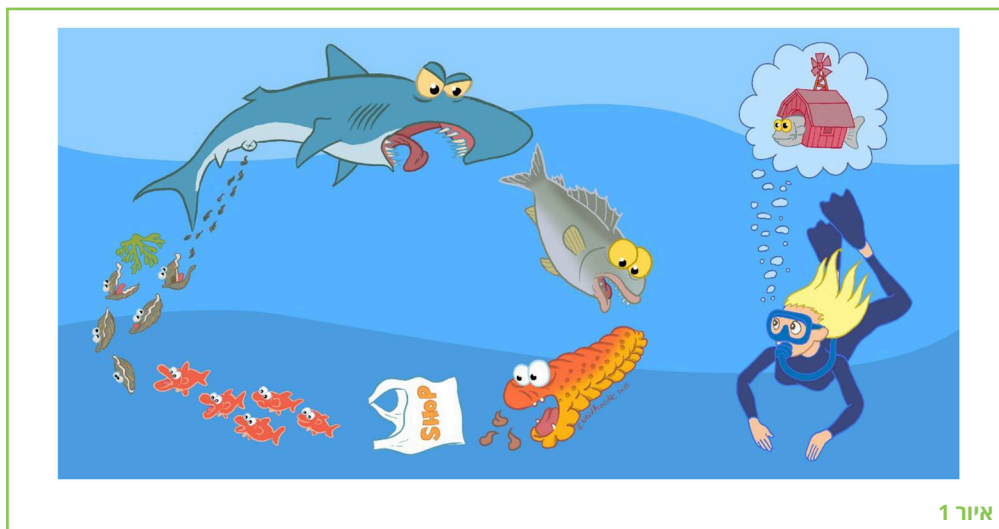
מרבית השיטות הקדומות יותר של ניהול חוות דגים, או חקלאות ימית, התמקדו בגידול מין אחד של חיים ימיים, כמו למשל סלמון. מערכות חקלאות ימית מודרניות מערבות גידול של שני מינים או יותר יחד, בהתאם למה שקורה באופן טבעי בשרשרת המזון, כך שמין אחד יוכל להוות מקור מזון למינים אחרים בחווה. המאמר הזה מתאר תוצאות של ניסוי ששילב קבוצת דגים עם קבוצת אצות וקבוצת צדפות. אנו מראים שהאצות יכולות לגדול באמצעות פסולת דגים, ושהצדפות יכולות לאכול את האצות כדי לייצר מזון בריא ואיכותי, מה שמפחית את הזיהום שיכול להיווצר על ידי חקלאות ימית.

חקלאות ימית

בני אדם אוכלים כמויות אדירות של בעלי חיים וצמחים מהים. ארוחות מהים יכולות לכלול דגים, צדפות ואצות. בדרך כלל המוצרים האלה נקנים טריים או קפואים מהסופרמרקט, והם נלקחו

איור 1

האיור הקומי הזה מראה את שרשרת המזון הטבעית, עם שילוב בין מינים משלימים: דגים אוכלי בשר ואוכלי עשב, מלפפון ימי כמין אוכל רֶקֶב, אצות שצורכות חומרי מזון שנמצאים במים, וחיות שנקראות filter feeders (כמו למשל מולים) שניזונות מחלקיקים אורגניים קטנים. מדענים קיבלו השראה משרשרת המזון ויצרו מערכות חקלאות ימית רב-תזונתיות אינטגרטיביות, שבהן מינים ניזונים זה מזה בהתאם לסוג הפרודריק התזונה שלהם. האיור נלקח מפררדריק (הומוריסט).



איור 1

מהסביבה הטבעית שלהם או גודלו על-ידי בני אדם בחוות שמכילות מְכָלִים שמחברים לים, או בכלובים בים. גידול של חיות ים וצמחים שמבוצע על-ידי בני אדם נקרא **חקלאות ימית**.

חקלאות ימית (Aquaculture)

"אקוואקולטורה", מגיע מלטינית: "אקווא" משמעותה מים, ו"קולטורה" משמעותה לגדל, ולכן "אקוואקולטורה" משמעותה "גידול במים".

המילה חקלאות ימית, או אקוואקולטורה (aquaculture), מגיעה מלטינית כאשר "אקווא" משמעותה מים, ו"קולטורה" משמעותה לגדל, ולכן משמעות המילה הכוללת היא גידול במים. חקלאות ימית מאפשרת לנו להימנע מדלדול המשאבים בים על-ידי דיג יָתֵר, והיא גם מסייעת לנו להפיק מספיק אוכל להזין את מספר בני האדם ההולך וגדל על פני כדור הארץ. מגדלי דגים יודעים בדיוק את איכות המים שהם משתמשים בהם, ואת כמות החיות שהם מגדלים כדי למכור. מגדלי דגים יכולים גם לבחור מין דג כתלות באקלים האזורי ובסוג המזון הימי שנאכל על-ידי האנשים שחיים באותו האזור.

שרשרת המזון (Food Chain)

קשרי הזנה בין אורגניזמים; צמחים נמצאים בתחתית שרשרת המזון, ונקראים יצרנים. אורגניזמים שאוכלים צמחים נקראים צרכנים. שרשרת המזון מראה כיצד כל היצורים החיים משיגים מזון, וכיצד חומרי מזון ואנרגיה מועברים מיצור ליצור.

חקלאות רב-תזונתית אינטגרטיבית (IMTA)

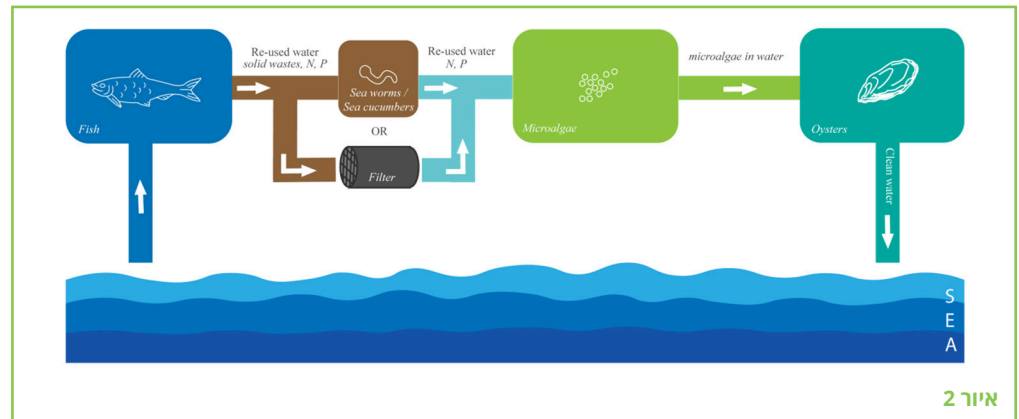
Integrated Multi-Trophic Aquaculture. זוהי צורת חקלאות שמכילה כמה מינים שגדלים יחד.

ישנן כמה שיטות של חקלאות ימית. באופן כללי, חקלאים ימיים מתמחים במה שנקרא גידול מין-בודד, כלומר גידול של דבר אחד כמו דג, אצה, או צדפה (צדפות או מולים). את סוג החקלאות הזה נכנה במאמר הזה חקלאות ימית קונבנציונלית. באופן חלופי, חלק מחקלאי הים מגדלים מינים שונים יחד, באותו הזמן!

ישנן כמה סיבות לכך שחקלאים ימיים לעיתים מגדלים מינים שונים יחד. למינים שונים יש צורות הזנה שונות: חלקם ניזונים מחיות ואצות אחרות (אוכלי בשר), וחלקם ניזונים מאצות (אוכלי עשב). במערכת האקולוגית הטבעית של הים, חיות ניזונות ממולקולות קטנות במים: מינים כמו למשל צדפות, ניזונים מאצות; מינים כמו למשל דגים אוכלי עשב, ניזונים מאצות ומצמחים בים; בעוד שדגים אוכלי בשר ניזונים מחיות קטנות (איור 1); ולבסוף, חלק מכובי הים והתולעים, שנקראים אוכלי רֶקֶב, ניזונים מהצואה של חיות אחרות! צורות ההזנה השונות האלה מייצרות את **שרשרת המזון**, ובני אדם יכולים להשתמש בשרשרת המזון כדי לתכנן חוות ימיות ידידותיות לסביבה. לדוגמה, אצות יכולות לשמש לטיהור המים שבהם דגים מגודלים. זה מאפשר לבצע שימוש חוזר במים, ולשפוך את המים לים בלי לזוהם את הסביבה. אם חקלאים ימיים מגדלים סוגי אצות מסוימים הם יכולים להזין צדפות באמצעותם. באופן הזה, חקלאים ימיים מעתיקים את שרשרת המזון בחוות שלהם. צורת החקלאות הזו, שבה כמה מינים מגודלים יחד, נקראת **חקלאות רב-תזונתית אינטגרטיבית**.

איור 2

דיאגרמה של קשרים בין מכלים במערכת ניסיונית של חקלאות ימית רב-תזונתית אינטגרטיבית. מי ים מגיעים לתוך מכל הדגים. פסולת ממכל הדגים נאכלת על-ידי תולעים/ מלפפוני ים, או מועברת דרך מסננים, ושאריות מי הפסולת מכילים חנקן (N) וזרחן (P) שנצרכים על-ידי מיקרו-אצות. המיקרו-אצות נאכלות על-ידי צדפות, ואז המים הנקיים יכולים להיות מוחזרים בבטחה לים. האילוסטרציה מ-א. בודין.



איור 2

מה כל כך נהדר בחקלאות ימית רב-תזונתית אינטגרטיבית?

חקלאות ימית רב-תזונתית אינטגרטיבית, או IMTA בקיצור, מספקת לחקלאים דרכים חדשות לייצר מזון עבור בני אדם וחיות. נוסף על דגים, חקלאים יכולים לגדל אצות (אצות גדולות שנקראות מיקרו-אצות, או אצות קטנות שנקראות מיקרו-אצות), צדפות או מולים, תולעים, או מלפפוני ים. אצות קטנות יכולות לשמש כרכיב למזון אנושי, להזנת חיות, לקוסמטיקה ואפילו לדלק ביולוגי. ברגע שהאצות ניקו את מי הדגים, חקלאים ימיים כבר לא צריכים להשתמש בטיפול מים יקרים. זה חוסך להם הרבה כסף.

בואו נסתכל על חוות IMTA שנחקרה על-ידי חוקרים צרפתיים (איור 2). כל מין מגודל במקל נפרד שבו הוא גדל באופן זהיר ונשלט. פסולת מוצקה מדגים, כמו למשל צואה, יכולה להיות מוסרת על-ידי העברת המים דרך מסנן, או על-ידי הכוונת המים למכל שבו תולעים ניזונות מחלקיקי הפסולת. המים נטולי החלקיקים נשפכים לאחר מכן למכל מלא במיקרו-אצות. המים עדיין מכילים מולקולות קטנות מאוד שאינן נראות לעין הבלתי מזוינת – ממש כמו כשסוכר מעורבב עם מים – אולם אפשר להשתמש במולקולות האלה כחומרי מזון של מיקרו-אצות. ברגע שהמיקרו-אצות מנקות את המים אפשר להשתמש בהם מחדש במכלי הדגים, או לשפוך אותם לים בלי לגרום לזיהום. המיקרו-אצות משמשות בסופו של דבר כמזון לצדפות.

אולם כדי לקיים חווה ימית שמתפקדת במלואה, צריכות להיות מספיק תולעים ומיקרו-אצות כדי לנקות את המים במכלים, ומספיק מיקרו-אצות כדי להזין את הצדפות. לעיתים קרובות קשה לשמור על איזון מושלם בין המכלים השונים, מאחר שהם מושפעים בקלות על-ידי גורמי אקלים כמו גשם וטמפרטורה, כמו גם על-ידי נוכחות של מינים בלתי רצויים כמו טפילים ואורגניזמים שאוכלים אצות. זו הסיבה לכך שחוקרים עובדים עם מגדלי דגים כדי למצוא את הדרך הטובה ביותר לחבר בין המכלים ולשלוט טוב יותר בגדילה של המינים המגודלים.

שיתוף פעולה: חוקרים ומגדלי דגים

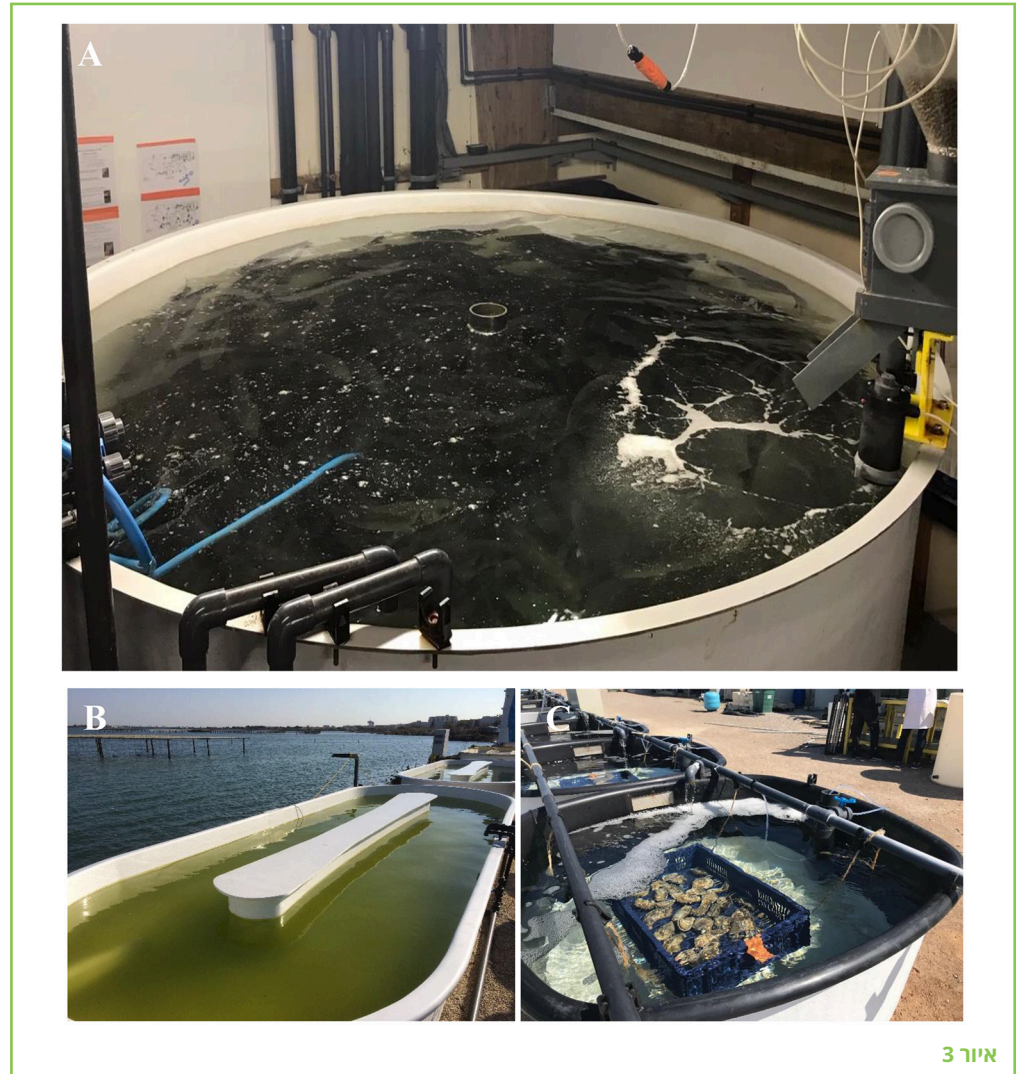
ראשית, החוקרים בחנו את יכולתן של המיקרו-אצות לנקות את המים של מכלי הדגים. שנית, הם בחנו את התאמתן של המיקרו-אצות כמזון לצדפות, ואם צדפות שגדלות באופן הזה היו מספיק טובות לצריכה אנושית.

מיקרו-אצות (Microalgae)

אצות מיקרוסקופיות שמשמשות באור שמש, במים, במינרלים (חנקן וזרחן) ובפחמן דו-חמצני עבור הגדילה שלהן.

איור 3

המערך הניסיוני של IMTA. מכלי הדגים (A) מחוברים למכלי המיקרו-אצות (B) שמזינים את מכלי הצדפות (C) (מקור: E. Roque, D'Orbcastel, UMR MARBEC).



איור 3

החוקרים חיברו בין שלושה מכלים שונים: מכל גידול דגים, מכל גידול מיקרו-אצות ומכל גידול צדפות (איור 3). כדי לוודא את התוצאות שלהם ולאסוף מספיק נתונים, חוקרים תמיד עובדים עם שלושה שחזורים של אותו הניסוי, כך שבסך הכול ישנם שלושה מכלי דגים, שלושה מכלי מיקרו-אצות ושלושה מכלי צדפות. משמעות הדבר היא שאם חיות מתות באחד המכלים חוקרים עדיין יכולים לקבל תוצאות משני המכלים האחרים. חוקרים מיקמו מסננים בין מכלי הדגים ומכלי המיקרו-אצות כדי להסיר פסולת מוצקה שיוצרה על-ידי הדג. הניסוי ארך חודשיים, והתבצעו כמה מדידות.

כדי לצפות ביכולת ניקוי המים של המיקרו-אצות חוקרים מדדו את איכות המים במכלי הדגים ובמכלי המיקרו-אצות. פסולת הדגים הייתה מורכבת בעיקר מחנקן (N) ומזרחן (P). החוקרים מצאו שכמעט ואין פסולת שנותרה במים כשהם יצאו ממכל המיקרו-אצות, מאחר שהמיקרו-אצות צרכו את מרבית הפסולת. החוקרים הסיקו שמיקרו-אצות יעילות מאוד בהסרת פסולת חנקן ומזרחן שמיוצרת על-ידי הדגים.

כדי לבחון אם המיקרו-אצות מתאימות כמזון לצדפות החוקרים מדדו את גודלן של האצות בתחילת הניסוי בן החודשיים ובסופו. באופן נורמלי, ככל שאצות אוכלות יותר, כך הן גדלות

יותר. אולם באופן מפתיע, בניסוי הזה גדילת הצדפות לא הייתה טובה, וחלק מהצדפות לא גדלו כלל. שתי השערות יכולות להסביר את גדילת הצדפות המועטה. ראשית, ייתכן שסוג המיקרו-אצות שבהן השתמשו לא התאים לצורכי התזונה של הצדפות. אפשרות שנייה היא שלא היו מספיק אצות במכלי הצדפות כדי להזין את כל האצות.

כדי לבחון את שתי ההשערות האפשריות נערכו ניסויים נוספים שבחנו אם האצות שיוצרו על-ידי IMTA היו מקור מזון טוב לצדפות. תוצאות הראו שהצדפות יכולות לגדול מאכילת אצות IMTA. משמעות הדבר היא שההשערה השנייה ככל הנראה הייתה הנכונה: לא היו מספיק אצות במים כדי להאכיל את כל הצדפות במשך חודשיים. הסיבה לכך הייתה שהמים במכל הצדפות לא היו מעורבבים מספיק, מה שמנע מהאצות להגיע לצדפות. הצעד הבא יהיה לערוך שוב את הניסוי אחרי שיפור זרימת המים במכלי הצדפות.

לסיכום, חקלאות ימית רב-תזונתית אינטגרטיבית (IMTA) היא תחום מחקר שמצריך מחוקרים וממגדלי דגים לעבוד יחד במטרה לשפר את החקלאות הימית. על-ידי יצירת שרשרת מזון פשוטה, IMTA משתמשת באחד מעקרונות הבסיס של הטבע: כל המינים שימושיים, וקשורים זה לזה ביחסי טורף ונטרף. כשמחקרים את הטבע, בני אדם יכולים לפתח שיטות טובות יותר עבור המינים המגודלים, ועבור הסביבה.

מאמר המקור

Li, M., Callier, M. D., Blancheton, J.-P., Galès, A., Nahon, S., Triplet, S., et al. 2019. Bioremediation of fishpond effluent and production of microalgae for an oyster farm in an innovative recirculating integrated multi-trophic aquaculture system. *Aquaculture* 504:314–25. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.02.013

פורסם אונליין: 30 בדצמבר 2021

נערך על ידי: Didone Frigerio

ציטוט: Roque D'Orbcastel E, Boudin E, Li M, Carcaillet F and Fouilland E (2021) דגים, אצות וצדפות: הטריו המנצח בחקלאות ימית. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2019.00131-he

תורגם והותאם: Roque D'Orbcastel E, Boudin E, Li M, Carcaillet F and Fouilland E (2019) Fish, Algae, and Oysters: The Winning Trio in Aquaculture. *Front. Young Minds* 7:131. doi: 10.3389/frym.2019.00131

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

זהו © 2019 © **COPYRIGHT** Roque D'Orbcastel, Boudin, Li, Carcaillet and Fouilland 2021. מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחבר(ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרות צעירות

ANNA-MARIE, גיל: 15

המקצוע האהוב עליי הוא ביולוגיה, ואני אוהבת ביוניקה. בעתיד אני רוצה לעבוד על חומרים חדשים. אני סקרנית לגבי מסתרי היקום, יש כל כך הרבה מה לגלות.



SAMEEN, גיל: 14

היי, אני Sameen ממאנדי באהאודין. בית הספר שלי תחרותי מאוד, במיוחד במקצועות מדעיים כמו ביולוגיה. אני אוהבת ללמוד על תהליכים טבעיים, במיוחד במינים ימיים. אני אוהבת לקרוא עיתון, ספרי היסטוריה וללמוד שפות חדשות. חוץ מזה, אני מקווה להשתתף במועדונים סביבתיים ובטיולי שטח. כשאגדל, אני רוצה לחקור מערכות אקולוגיות וביולוגיה.



הכותבים

EMMANUELLE ROQUE D'ORBCASTEL

Emmanuelle Roque D'Orbcastel היא חוקרת בביולוגיה ימית במכון איפרמר, שקשור ביחידת MARBEC (מגוון ימי, ניצול ושימור) בדרום צרפת. מטרת היחידה היא לחקור את המגוון הביולוגי, ואת שימוש של המין האנושי במינים אחרים במערכות אקולוגיות שונות. באופן ספציפי יותר, Emmanuelle עובדת על מערכות של חקלאות ימית, חוקרת אינטראקציות בין חיות (דגים), ובין הסביבה שלהן, במיוחד לגבי רוחת החיות. היא גם מתעניינת בעבודה עם חוואי דגים כדי למצוא דרכים להפחית את ההשפעות הסביבתיות באמצעות טיפול בפסולת מחוות דגים או שימוש בה. *emmanuelle.roque@ifremer.fr



ELYSE BOUDIN

Elyse Boudin מסיימת תואר שני בהנדסת אקולוגיה באוניברסיטת מונפלייה. העבודה הזו הייתה חלק מהתמחות המאסטר שלה ב-MARBEC (מגוון ימי, ניצול ושימור). היא רוצה לעבוד בחינוך, בהוראה של רעיונות סביבתיים ופיתוח בר-קיימא, במטרה ליצור גשר בין חוקרים לבין אנשים צעירים.



MENG LI

Meng Li הוא פוסט-דוקטורנט בבית הספר לסביבה באוניברסיטת צינגואה. הוא קיבל דוקטורט בחקלאות מאוניברסיטת האוקיינוסים של סין ביולי 2018. במהלך עבודת הדוקטורט שלו הוא התמחה במשך 12 חודשים באיפרמר בצרפת, והשתתף בפרויקט החקר האירופאי IMTA EFFECT Integrated Multi Trophic Aquaculture for Efficiency and—(COFASP 2016–2019) Environmental Conservation. תחומי העניין העיקריים של Li הם טיפול במי פסולת של חקלאות ימית (לדוגמה באמצעות אזורי קרקע לחה בנויים), ופיתוח של חקלאות אינטגרטיבית רב-תזונתית.





FRÉDÉRIQUE CARCAILLET

דוקטור Frédérique Carcaillet היא מרצה בכירה באקולוגיה ימית באוניברסיטת מונפלייה בצרפת, שם היא בעיקר מלמדת אקולוגיה ותקשורת מדעי הסביבה. המחקר שלה כולל תפקוד של מערכות אקולוגיות, תקשורת המדע וחינוך סביבתי. היא מנהלת סדנאות צילום לאנימציה מדעית, כדי ללמד סטודנטים כיצד לתקשר מדע לקהל הרחב. <https://www.youtube.com/channel/UCdMXlvXqFZxiSFtsnFUQiZg/videos>.



ERIC FOUILLAND

Eric Fouilland הוא חוקר במרכז הלאומי למחקר מדעי בצרפת. המחקר שלו מתמקד באינטראקציות שבין מיקרו-אצות לבין חיידקים בסביבות ימיות שונות (מים ארקטיים, מ'י קוטב, מים טרופיים ומים מתונים). העבודה שלו הראתה שאינטראקציות חזקות בין חיידקים עשויות להתרחש כשמיקרו-אצות גדלות במהרה. לתצפית הזו יש יישומים רבים בתחומים של טיפול במים מזוהמים, דלקים ביולוגיים וחקלאות, באמצעות שימוש במיקרו-אצות עם חיידקים מסוימים שמאיצים את גדילת האצות. חוץ מהמחקר שלו הוא נהנה לבלות זמן עם חמשת ילדיו, ולשתות יין אדום עם חברים טובים מכל רחבי העולם.

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (נ.ר.)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת גרסה עברית
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK