



עולם בלתי נראה מדהים: כיצד מיקרואורגניזמים מטפלים באלמוגים בזמנים קשים

Phillipe Rosado¹, Natascha Varona², Jonathan A. Eisen², Raquel S. Peixoto^{1,2,3*}

¹המעבדה לאקולוגיה מיקרובית מולקולרית, מכון פאולו דה גוס למיקרוביולוגיה, האוניברסיטה הפדרלית של ריו דה ז'ניירו, ריו דה ז'ניירו, ברזיל
²מרכז הגנום, אוניברסיטת קליפורניה, דיוויס, דיוויס, קליפורניה, ארצות הברית
³IMAM-AquaRio – מרכז המחקר של אקווריום ריו דה ז'ניירו, ריו דה ז'ניירו, ברזיל

סוקרים צעירים

BRAYDEN

גיל: 11



CECILIA

גיל: 11



NAGA

גיל: 15



SAGE

גיל: 10



האם אי פעם צללתם לתוך אוקיינוס וראיתם כמה "אבנים" צבועות במים? ה"אבנים" האלה עשויות להיות חיות שנקראות אלמוגים! אלמוגים יוצרים שוניות אלמוגים והם חשובים מאוד, מאחר שאלפי חיות ימיות תלויות בהם כדי לשרוד. האם ידעתם שלאלמוגים ולבני אדם יש משהו במשותף? לשניהם יש מי שנקראים "אורגניזמים הדדיים" (או כמו שאנו אוהבים לכנותם M&M – קיצור של mutualistic microorganisms) שחיים בתוכם! אורגניזמים הדדיים הם אורגניזמים זעירים שמחזקים גם בני אדם וגם אלמוגים כשהם מתחילים לחלות, ומסייעים להם. אחד הגורמים המרכזיים למחלות ולמוות אלמוגים הוא עלייה בטמפרטורת מי הים. הדבר המסקרן הוא שבחלק מהמקומות, כמו למשל בים סוף, טמפרטורת האוקיינוסים גדולה יותר מבמקומות אחרים, ועדיין ישנם כמה אלמוגים שחיים שם בשמחה. כיצד זה ייתכן? האם M&Ms הם אחד הגורמים שמסייעים לאלמוגים לשרוד בסביבות עם הטמפרטורה הגבוהה הזו?

SAVANA

גיל: 13



UMAIRAH

גיל: 15



פוטוסינתזה

(Photosynthesis)

תהליך כימי שמשמש אורגניזמים רבים (כמו למשל צמחים והרבה מיקרובים) כדי להשתמש באנרגיית אור לייצר סוכרים מפחמן דו-חמצני.

הדדיות

(Mutualism)

האינטראקציה בין שני מינים או יותר, שבה כל אורגניזם מרוויח מהאינטראקציה בדרך כלשהי.

איור 1

(A) שונית אלמוגים בריאה, עם יצורים ימיים חיים אחרים שחיים בהרמוניה. (B) שונית אלמוגים מולבנת ולא בריאה, ללא אורגניזמים ימיים.

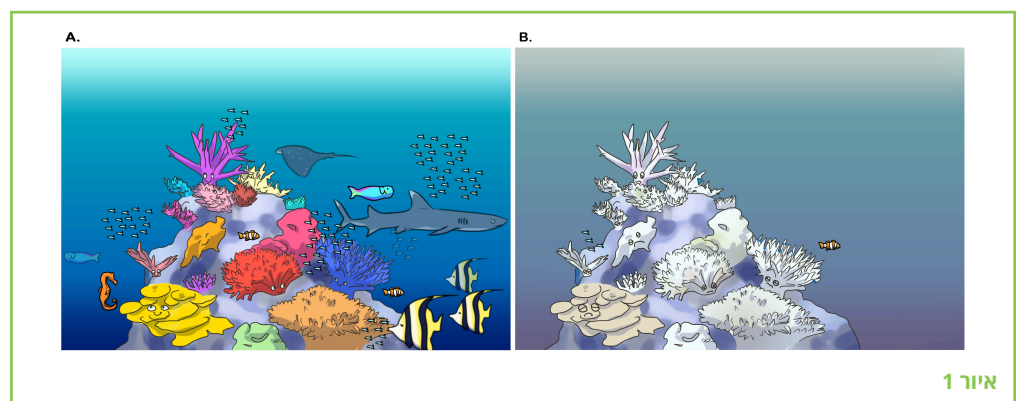
חיה עתיקה זקוקה לעזרה

אלמוגים היו בסביבה במשך זמן רב, וחיו באוקיינוסים במשך מיליוני שנים, ככל הנראה אפילו לפני שהדינוזאורים היו קיימים. כיום, שוניות אלמוגים מכסות רק 1% משטח האוקיינוס, אולם אחת מכל ארבע חיות ימיות תלויה בשוניות אלמוגים כדי לשרוד. בתוך שוניות האלמוגים חיות הים האלה מוצאות מזון, גרות, מגינות על עצמן מפני טורפים ומולידות צאצאים [1]. מה אם אלמוגים יעלמו לעד? איפה יחיו כל החיות שתלויות בהם? זה ודאי יהיה אסון גדול (איור 1).

אחד האימונים הגדולים על אלמוגים הוא עליית הטמפרטורות של האוקיינוסים. אף על פי שאלמוגים היו בסביבה במשך מיליוני שנים, הם חיות שברירות במובנים מסוימים, בפרט כשזה נוגע לשינוי בטמפרטורה. זה מה שקורה: ישנם אורגניזמים שנקראים זואֶנְתֵלִי (zooxanthellae), שהם קטנים מאוד וחיים בתוך מרבית האלמוגים במים רדודים. הזואנְתֵלִי האלה יכולים לבצע פוטוסינתזה; במילים אחרות, הם יכולים להפוך אור שמש למזון. הם גם כל כך יעילים בייצור מזון מאור השמש שהם יכולים להזין את עצמם וגם את האלמוגים. לכן, מקור המזון והאנרגיה העיקרי עבור גדילת האלמוגים האלה מגיע מזואנְתֵלִי שחיים בתוכם. בתמורה, אלמוגים מגינים על זואנְתֵלִי ומספקים חלק מחומרי המזון כדי לסייע להם לגדול. הקשר הידידותי מאוד הזה בין האלמוגים והזואנְתֵלִי ידוע כהדדיות.

כאשר טמפרטורות האוקיינוס עולות, בעיקר כתוצאה מהתחממות גלובלית ומאפקט החממה, הקשר הידידותי שבין אלמוגים וזואנְתֵלִי נעשה פחות ידידותי. זואנְתֵלִי מתחילים לייצר פחות מזון, כמו גם תרכובות רעילות מסוימות, ואלמוגים מתחילים לבעוט אותם מחוץ לבתים שלהם. באופן הזה, אלמוגים מאבדים את מקור האנרגיה העיקרי שלהם, וגם מאבדים את הצבעים החומים/ירוקים שפעם היו להם, והופכים ללבנים. תופעה זו נקראת "הלבנת אלמוגים" [2]. מאחר שזואנְתֵלִי מסייעים להגן על אלמוגים מפני השמש, כאשר האלמוגים מולבנים הם לא מוגנים מהשפעות מזיקות של אור שמש ישיר. במקרים קיצוניים, חלק מהאלמוגים ינסו להגן על עצמם על ידי הגברת הצבעים הכחלחלים, הצהבהבים או הסגולים שלהם [3]. הצבעים הבהירים האלה פועלים כמו קרם הגנה, והם המוצא האחרון שיש לחלק מהאלמוגים כדי להגן על עצמם מהשמש.

אם אלמוגים מאבדים את הזואנְתֵלִי לתקופת זמן ארוכה, לא תהיה להם האנרגיה הדרושה לשרוד, ובסופו של דבר הם ימותו. זו ההשפעה השלילית העיקרית של עליית



איור 1

פרוביוטיקות (Probiotics)

אורגניזמים חיים שמשפקים תועלות בריאותיות כאשר הם באים במגע עם המארח.

מארח (Host)

אורגניזם שמאכלס אורגניזם אחר כאורח, כאשר האורח באופן טיפוסי מקבל הזנה ומחסה מהמארח.

טמפרטורות האוקיינוס, ובנקודה הזו ה-M&Ms עשויים להיות מסוגלים לסייע לאלמוגים, דרך תפקידם כפרוביוטיקות.

המצילים הגדולים: פרוביוטיקות

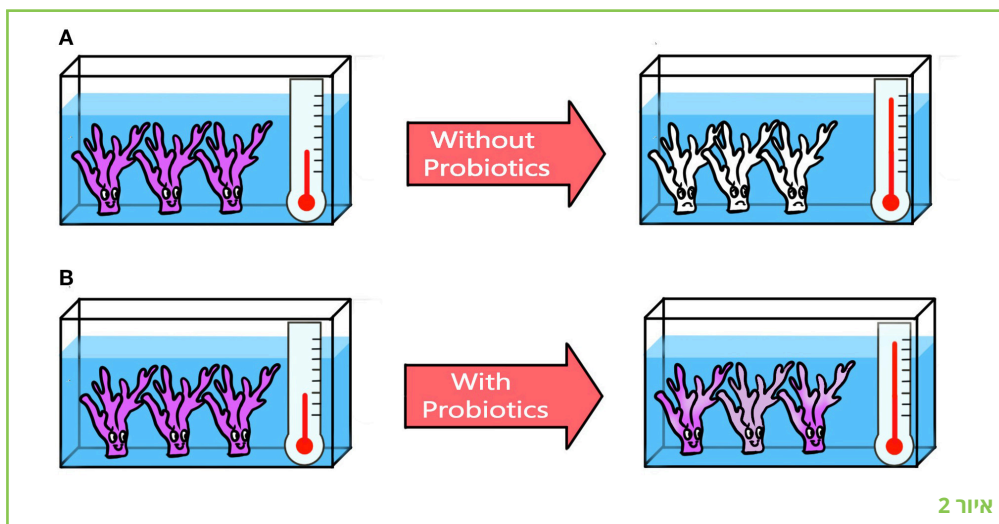
פרוביוטיקות הם מיקרואורגניזמים שיכולים לשמש כדי לסיפק תועלות בריאותיות לאורגניזם שהם חיים בתוכו או עליו, שנקרא **מארח**. אצל בני אדם, לדוגמה, פרוביוטיקות שימשו לסייע עם עיכול של מזון ולהגן על אנשים מפני פלישות של מיקרואורגניזמים גורמי מחלות שנקראים פתוגנים. M&Ms הם מועמדים טובים לשימוש כפרוביוטיקות, מאחר שהאורגניזמים האלה כבר ידועים כמספקים תועלות למארחים שלהם. אינטראקציות חיוביות בין M&Ms לבין המארחים שלהם לא מתרחשות רק בבני אדם ובאלמוגים. הרבה צמחים גם משתמשים בקשרים הדדיים עם מיקרואורגניזמים כדי לגדול. קטניות, שכוללות צמחים מייצרי גרעינים חשובים כמו שעועית, אפונה ובוטנים, הן דוגמאות טובות. לקטניות יש מיקרואורגניזמים שחיים בתוך שורשיהן, וחלק מהם נקראים ריזובקטריות מעודדות גדילה. המיקרואורגניזמים המועילים האלה מספקים לקטניות חנקן, שהוא אלמנט הכרחי עבור גדילה של צמחים חזקים.

האם יכול להיות שסיפוק יותר מיקרואורגניזמים הדדיים לאלמוגים מתקשים עשוי לסייע להם לשרוד בטמפרטורות מים גבוהות יותר? אף על פי שלאמוגים אין מערכת עיכול כמו לבני אדם, או שורשים כמו לצמחים, עדיין יש להם מיקרואורגניזמים שמקושרים אליהם אשר יכולים להיות מועילים. המיקרואורגניזמים האלה מגינים על אלמוגים מפני פתוגנים, פועלים כמזון לאלמוגים, או מספקים חלק מחומרי המזון שאלמוגים זקוקים להם כדי לגדול [4]. אז אולי אנו גם יכולים להשתמש במיקרואורגניזמים טובים שחיים עם אלמוגים כפרוביוטיקות. חוקרים ברחבי העולם חקרו אם פרוביוטיקות יכולות לסייע לאלמוגים כאשר אלמוגים נמצאים בסכנה בשל טמפרטורות האוקיינוס העולות.

מחקר עכשווי הראה שכן, פרוביוטיקות עשויות לסייע לאלמוגים לשרוד במהלך סטרס של חום. במחקר הזה, החוקרים בודדו כמה מיקרואורגניזמים שחיים על אלמוגים וגידלו אותם במעבדה. כל המיקרואורגניזמים האלה נבחנו, באמצעות שיטות מעבדה שונות, כדי לברר אלה מיקרואורגניזמים יכולים באופן פוטנציאלי לסייע לאלמוגים מוחלשים לשרוד. החוקרים מצאו שבעה "סופר-מיקרואורגניזמים פוטנציאליים" כאלה, וערכו ניסוי במטרה לראות אם המיקרואורגניזמים האלה יכלו לפעול כפרוביוטיקות ולהגן על אלמוגים בטמפרטורות מים עולות (איורים 2A,B). כדי לחשוב על הניסוי הזה באופן ויזואלי, דמיינו שני אקווריומים בגודל של קופסאות נעליים, שכל אחד מהם מכיל בתוכו מים ושלושה אלמוגים קטנים (בגודל של כדורי פינג פונג). החוקרים העלו את טמפרטורת המים בשני האקווריומים לטמפרטורה שבה האלמוגים התחילו להיחלש. באקווריום אחד, הם הוסיפו מיקרואורגניזמים עם פוטנציאל פרוביוטי לאלמוגים, ובאקווריום אחר הם פשוט השאירו את האלמוגים לבד, בלי להוסיף פרוביוטיקות. בסיום הניסויים האלה, החוקרים הראו כי האלמוגים שקיבלו את הפרוביוטיקות האלה היו הרבה יותר חזקים, שמחים וצבעוניים מאשר אלמוגים שלא קיבלו את הפרוביוטיקות. זו הייתה הראיה הראשונה לכך שפרוביוטיקות עשויות לסייע לאלמוגים לשרוד כשהם חולים או בסטרס מעלייה בטמפרטורה. "הסופר-אורגניזמים הפוטנציאליים" שנבחנו יכלו לכן להיקרא "סופר-אורגניזמים בפועל". אנימציה שמראה את פעולתן של פרוביוטיקות של אלמוגים זמינה בקישור הזה (<https://youtu.be/toYkTciZyuQ>). זיכרו שעד כה הפרוביוטיקות האלה

איור 2

פרוביוטיקות של אלמוגים מסייעות לאלמוגים לשרוד בטמפרטורות מים גבוהות. (A) אלמוגים שלא מוגנים על ידי פרוביוטיקות מאבדים את הזואנטלי שלהם ונעשים מולבנים כאשר טמפרטורת המים עולה ב-4 מעלות צלזיוס מעל לטמפרטורה האידיאלית. (B) אלמוגים שמוגנים על ידי פרוביוטיקות לא מאבדים את הזואנטלי שלהם ושומרים על צבעם, אפילו כאשר הטמפרטורה עולה ב-4 מעלות מעל לטמפרטורה האידיאלית. זה אומר לנו שמיקרואורגניזמים פרוביוטיים מסוימים יכולים לסייע להגן על אלמוגים כנגד עליית טמפרטורת המים.



נבחנו רק במעבדה עם מספר מיני אלמוגים, ולכן עדיין איננו יודעים בוודאות אם הן פועלות על כל האלמוגים בסביבה האמיתית של האוקיינוס.

כיצד פרוביוטיקות מסייעות לאלמוגים בפועל?

חוקרים עדיין אינם מבינים בדיוק כיצד פרוביוטיקות מסייעות לאלמוגים. ייתכן שהמיקרואורגניזמים הפרוביוטיים האלה מסייעים לשמור על הקשר ההדדי בין זואנטלי לבין אלמוגים יציב, מה שמפחית הלבנה. אולי מיקרואורגניזמים מצליחים איכשהו לרכך את הקשר המורכב הזה בטמפרטורות גבוהות יותר, מה שמונע מאלמוגים לסלק את הזואנטלי, כך שאלמוגים לא מאבדים את מקור האנרגיה עבור גדילתם.

אפשרות שנייה היא שמיקרואורגניזמים פרוביוטיים בעצמם יכולים לספק אנרגיה לאלמוגים, על ידי שחרור כמויות גדולות של חומרי מזון או אפילו על ידי היאכלות ישירה על ידי אלמוגים. אם המיקרואורגניזמים הפרוביוטיים איכשהו מזינים אלמוגים, האלמוגים עשויים להרגיש פחות בסטרס מאיבוד חלק מהמזון שמגיע מהזואנטלי. ישנן אפשרויות רבות לגבי האופן שבו אורגניזמים פרוביוטיים מסייעים לאלמוגים, ונדרשים מחקרים נוספים כדי לגלות ולהבין מה בדיוק מתרחש באינטראקציה הזו בקרב מיקרואורגניזמים, זואנטלי ואלמוגים.

ים סוף: מקור אפשרי לפרוביוטיקות

נסו לדמיין מקום שבו טמפרטורת האוקיינוס הממוצעת גבוהה באופן טבעי. מקום שבו טמפרטורת המים גבוהה מספיק כך שאלמוגים מכל מקום אחר בעולם לא יכלו לשרוד בהם. המקום הזה הוא ים סוף, אזור שממוקם בין אפריקה לאסיה. שם, טמפרטורת המים יכולה להגיע ל-33 מעלות צלזיוס [5], בעוד שטמפרטורת האוקיינוס בכל מקום אחר בעולם שבו אלמוגים חיים היא בסביבות 25 מעלות צלזיוס.

הבדל הטמפרטורה הזה בין ים סוף לבין אזורים אחרים בעולם עשוי להיראות קטן, אולם עבור אלמוגים, שרגישים מאוד לשינויים בטמפרטורה, ההבדל הזה גדול מאוד ומסוכן. אם כן, כיצד

אלמוגים חיים בשמחה במשך אלפי שנים בים סוף? מדענים חושבים שזה יכול להיות בגלל סיוע של מיקרואורגניזמים שיש לאלמוגים האלה.

ייתכן שהמיקרואורגניזמים האלה התפתחו עם אלמוגים והסתגלו לטמפרטורות הגבוהות של ים סוף, כך שהם יכולים לתת לאלמוגים שלהם מספיק כוח להתמודד עם הטמפרטורות הגבוהות האלה. זה הופך את ים סוף למקור אפשרי למחקר חדש על פרוביוטיקות.

חלק מהמחקרים נערכים בים סוף במטרה למצוא מיקרואורגניזמים מועילים חדשים שיוכלו להפוך אלמוגים לסופר-אלמוגים שמסוגלים לשרוד בטמפרטורות גבוהות. אם נמצא מיקרואורגניזמים כאלה, נוכל להשתמש בהם כדי להגן על אלמוגים שחיים באזורים אחרים בעולם שסובלים מטמפרטורות אוקיינוס גבוהות. זה עשוי לספק לאלמוגים האלה שחיים בסטרס סיכויים טובים יותר להישאר בחיים, וגם עשוי להגן על חייהם של כל היצורים הימיים האחרים ששוניות אלמוגים מהוות בית עבורם.

מאמר המקור

Rosado, P. M., Leite, D. C. A., Duarte, G. A. S., Chaloub, R. M., Jospin, G., Nunes da Rocha, U., et al. 2018. Marine probiotics: increasing coral resistance to bleaching through microbiome manipulation. *ISME J.* 13:921–36. doi: 10.1038/s41396-018-0323-6

מקורות

1. Sheppard, C., Davy, S., Pilling, G., and Graham, N. 2018. *The Biology of Coral Reefs. 2nd Edn.* Oxford: Oxford University Press. doi: 10.1093/oso/9780198787341.001.0001
2. Hughes, T. P., Kerry, J. T., Alvarez-Noriega, M., Alvarez-Romero, J. G., Anderson, K. D., Baird, A. H., et al. 2017. Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature* 543:373–7. doi: 10.1038/nature21707
3. Gittins, J. R., D'Angelo, C., Oswald, F., Edwards, R. J., and Wiedenmann, J. 2015. Fluorescent protein-mediated colour polymorphism in reef corals: multicopy genes extend the adaptation/acclimatization potential to variable light environments. *Mol. Ecol.* 24:453–65. doi: 10.1111/mec.13041
4. Peixoto, R. S., Rosado, P. M., Leite, D. C. A., Rosado, A. S., and Bourne, D. G. 2017. Beneficial microorganisms for corals (BMC): proposed mechanisms for coral health and resilience. *Front. Microbiol.* 8:341. doi: 10.3389/fmicb.2017.00341
5. Sawall, Y., Al-Sofyani, A., Banguera-Hinestroza, E., and Voolstra, C. R. 2014. Spatio-temporal analyses of *Symbiodinium* physiology of the coral *Pocillopora verrucosa* along large-scale nutrient and temperature gradients in the Red Sea. *PLoS ONE* 9:e103179. doi: 10.1371/journal.pone.0103179

פורסם אונליין: 07 בפברואר 2022

נערך על ידי: Rúben Martins Costa

מנחה מדעי: Inês Raimundo

ציטוט: Rosado P, Varona N, Eisen JA and Peixoto RS (2022) עולם בלתי נראה מדהים: כיצד מיקרואורגניזמים מטפלים באלמונים בזמנים קשים. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00065-he

Rosado P, Varona N, Eisen JA and Peixoto RS (2020) An Incredible **תורגם והותאם:** Invisible World: How Microorganisms Could Take Care of Corals in Difficult Times. *Front. Young Minds* 8:65. doi: 10.3389/frym.2020.00065

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

COPYRIGHT © 2020 © Rosado, Varona, Eisen and Peixoto 2022. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (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.

סוקרים צעירים**BRAYDEN, גיל: 11**

אני ממונטנה בארצות הברית ואני אוהב טיילנות, שנוקלינג, הוקי רצפה, מדע, למידה על משימות במאדים ומוזיקה. יש לי כלב בשם ג'בה ואני אוהב לצפות במנדולוריאן.

**CECILIA, גיל: 11**

היי, קוראים לי Cecilia ואני בת 11. אני אוהבת לקרוא ולטפס. אני גם מנגנת בפסנתר.

**NAGA, גיל: 15**

אני ילדה בת 15, בת יחידה, נולדתי וגדלתי בהודו. חייתי בקאוסט בשבע השנים האחרונות. אני אוהבת לשיר ולרקוד, ולעשות כל סוג של ספורט. אני אוהבת תיאטרון, אולם לא מספיק כדי להופיע על במה מאחר שאני שוכחת את השורות שלי.

**SAGE, גיל: 10**

אני Sage, אוהבת ציור, אומנות ולנגן בכינור. אני כותבת סיפורים וקוראת את הספרים האהובים שלי כמו ספטימוס היפ והארי פוטר. אני יצירתית ואוהבת הרפתקאות, אוהבת להתאים בגדים ולהכין צמידים, ואני זמרת טובה.

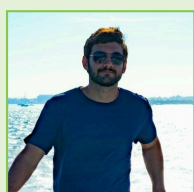


**SAVANA, Gil: 13**

אני אוהבת כלבים, הצבע האהוב עליי הוא אדום, ואני אוהבת לבלות עם חברים.

**UM AIRAH, Gil: 15**

קוראים לי Umairah ואני בת 15. אני ממלזיה, אולם חיה בערב הסעודית בשבע השנים האחרונות. אני משחקת כדורעף ונהנית מביולוגיה בבית הספר.

הכותבים**PHILLIPE ROSADO**

עשיתי תואר ראשון בביולוגיה באוניברסיטת ריו דה ז'ניירו (UERJ) (2015), השלמתי תואר שני באוניברסיטה הפדרלית של ריו דה ז'ניירו (UFRJ) (2017) על אקולוגיה מיקרובית של סביבות ימיות ועל מניפולציה מיקרובית של אלמונים. כיום אני מבצע את עבודת הדוקטורט ב-UFRJ, על מניפולציה של כימיקלים שמזוקקים ממיקרוביוטה של אלמונים כדי להגביר את עמידות האלמונים ללחצים תרמיים וחמצניים. תמיד התעניינתי באקווריום ובאלמונים, ובאופן שבו העולם הבלתי נראה של מיקרוביוטה פועל על הסביבות האלה. זו הסיבה לכך שאני חוקר אלמונים, ומנסה להגן על המערכת האקולוגית הנהדרת הזו מפני התחממות גלובלית.

**NATASCHA VARONA**

נחשפתי בפעם הראשונה למחקר אלמונים דרך התמחות באוניברסיטת קליפורניה סנטה קרוז (UCSC), ומייד התחברתי לחיות המרתקות האלה. אחרי שעברתי מהקולג' הקהילתי שלי לאוניברסיטת קליפורניה דיוויס (UCD), רציתי לעשות יותר כדי להגן עליהם, לכן הצטרפתי למעבדה ב-UCD שערכה מחקר על פרוביוטיקות של אלמונים. לאחרונה השלמתי תואר בביוכימיה וביולוגיה מולקולרית, ואני מקווה לקבל בעתיד את הדוקטורט שלי, שיהיה קשור לחקר אלמונים. אני גם אוהבת אומנות, כמו ציור ורישום, והחלטתי להשתמש במיומנות הזו כדי לתקשר את החשיבות של שוניות אלמונים ואת האיום שהן חוות.

**JONATHAN A. EISEN**

אני פרופסור באוניברסיטת קליפורניה, דיוויס, שקצת אובססיבי לגבי דברים מיקרובים (וגם לגבי ציפורים, אבל זה לזמן אחר). עבדתי על מיקרואורגניזמים כסטודנט לתואר ראשון בקולג' הרווארד (על סימביוטים מועילים של צדפות), וכדוקטורנט באוניברסיטת סטנפורד (על אבולוציה והדדיות במיקרובים מגוונים), ובמינוי הסגל הנוכחי והקודם שלי (על חברות של מיקרואורגניזמים, כיצד הם מתקשרים זה עם זה ועם המארחים, ושיטות לחקר חברות כאלה). אני גם בלוגר ומתקשר מדע פעיל, שלעיתים זוכה בפרסים.

**RAQUEL S. PEIXOTO**

אני פרופסורית באוניברסיטה הפדרלית של ריו דה ז'ניירו (UFRJ), ובימים אלה פרופסורית אורח באוניברסיטת קליפורניה, דיוויס. עבדתי עם מיקרואורגניזמים מועילים מאז לימודי התואר השני שלי (אז עקבתי אחרי סמנים ביולוגיים של זיהום), והדוקטורט שלי (ב-UFRJ), אז חקרתי חיידקים מועילים שמשוגלים להגן על צמחים מפני מחלות). מיזגתי בין שתי התשוקות שלי (מיקרואורגניזמים מועילים והאוקיינוס) על ידי שימוש בחוויה ובהשראה שקיבלתי במהלך לימודי הדוקטורט שלי על ההתפתחות

והיישום של תפיסות ורעיונות עבור אורגניזמים ימיים. אני מודאגת מאוד מהאופן שבו השינוי הגלובלי והזיהום משפיעים על מערכות אקולוגיות ימיות, וכך גם פליפה, בני בן השבע. הוא אומר שהוא רוצה להיות ביולוג ולסייע להצלת אלמונים, אף על פי שהוא אוהב חרקים ואומר שהוא רוצה להציל גם דבורים.
*raquelpeixoto@micro.ufrj.br

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK