

מדוע שוניות אלמוגים הן נקודות חמות עבור חיים באוקיינוס?

Nils Rådecker*, Claudia Pogoreutz

המחלקה לביולוגיה ולמדעי הסביבה והנדסה, מרכז מחקר הים האדום, אוניברסיטת המלך עבדאללה למדע וטכנולוגיה, ת'זואל, ערב הסעודית

סוקרים צעירים

ABRAHIM



JIHAD



JOD



SAMAR



SULTAN



האוקיינוס הטרופי מכיל מעט מאוד מזון וחומרי מזון. כמו חיים במדבר, חיים באוקיינוס הטרופי קשים לכל האורגניזמים. בכל זאת, שוניות אלמוגים מהוות נווה מדבר מלא-חיים במרכז המדבר הימי הזה. כיצד מיליוני מינים קוראים לשוניות אלמוגים הבית שלהם? כל האורגניזמים שחיים שם ממלאים את התפקיד שלהם במחזור כמויות מזון קטנות וחומרי מזון זמינים. מאחר ששום דבר אף פעם לא באמת מבוזבז, שוניות אלמוגים יכולות לשגשג במדבר ימי שכמעט ואין בו מזון. אף על פי ששוניות אלמוגים התקיימו בכדור הארץ הרבה לפני הדינוזאורים, כיום הן ניצבות בפני בעיות רציניות. התחממות האוקיינוסים יכולה לחמם אלמוגים, מה שמוביל לאובדן של שוניות אלמוגים. אולם אלמוגים בצפון ים סוף עמידים מאוד לטמפרטורות חמות. חלק מהמדענים מאמינים ששוניות ים סוף אלה עשויות להיות מסוגלות לשרוד אפילו כשוניות נעלמות ממקומות אחרים בעולם.

נווה מדבר במדבר ימי

כל היצורים החיים זקוקים לאנרגיה ולחומרי מזון כדי לחיות ולגדול. לכן, אורגניזמים שחיים במקומות שבהם המזון וחומרי המזון דלילים צריכים להיות יצירתיים כדי לשרוד. בדומה למדברים על האדמה, האוקיינוס הטרופי מכיל מעט מאוד מזון וחומרי מזון. זו גם הסיבה לכך

איור 1

שוניות האלמוגים בים סוף צבעוניות ומלאות חיים. השוניות האלה הן ביתם של מיליוני מינים, מחיידקים זעירים ועד לכרישים. שוניות אלמוגים בנויות משלדי אבן סיד של אלמוגים. כל אלמוג מכיל מאות עד אלפי חיות. החיות האלה נקראות פוליפים. הפוליפים חיים יחד במושבה אחת. לכל פוליפ יש פה ומשושים כדי לתפוס מזון מהאוקיינוס. נוסף על כך אצות קטנות שחיות בתוך האלמוגים מייצרות סוכרים כמזון לעצמן ולשונית. קרדיט לתמונה: טיין סינקלייר-טיילור.

חומר מזון (Nutrient)

חומר שדרוש להישרדות של אורגניזם ולגדילתו.



איור 1

שאוקיינוס טרופי נראה כל כך בהיר וכחול: מעט מאוד יצורים גדלים שם. בכל זאת, שוניות אלמוגים יוצרות נווי מדבר מלאי חיים וצבעוניים – ממש באמצע האוקיינוסים המדבריים האלה. אף על פי ששוניות אלמוגים מכסות רק חלק קטן מקרקעית האוקיינוס הטרופי, הן מהוות בית לרבע מכל המינים הימיים הידועים. שוניות אלמוגים גם חשובות מאוד למיליוני בני אדם מאחר שדגים וחיות שוניות אחרות הן מקור מזון חשוב, והשוניות עצמן מסייעות לשמור על חופים מסערות ומגלים.

המדען והחוקר המפורסם צ'ארלס דרווין היה הראשון שתהה מדוע כל כך הרבה חיות וצמחים שונים יכולים לחיות בשוניות אלמוגים, אף על פי שהמים הסובבים מכילים כל כך מעט מזון וחומרי מזון [1]. כעת, אחרי יותר ממאה שנים, מדענים סוף סוף מתחילים להבין את "פרדוקס דרווין" הזה. במאמר זה אנו מסתכלים על האופן שבו מיליוני מיני אלמוגים, דגים, חסרי חוליות, אצות ומיקרואורגניזמים, ממלאים כל אחד תפקיד אחר ביצירתן של שוניות אלמוגים שמהוות נווה מדבר אמיתי במדבר הימי.

אלמוגים: מהנדסי השונית

לא היו שוניות אלמוגים ללא אלמוגים סלעיים. אלמוגים שונים מאוד ממרבית החיות מאחר שהם גדלים מחוברים לקרקעית הים וחיים במושבות. כל מושבה מורכבת מאלפי חיות קטנות, שנקראות פוליפים. לכל פוליפ יש את הפה ואת המשושים שלו לתפיסת מזון, כמו שרימפסים (חסילונים) ותולעים קטנות ששוחות בים. יחד, הפוליפים האלה בונים שלד שמורכב מאבן סיד, כך שהם יכולים לגדול ולהיות מוגנים מפני טורפים. במהלך מאות אלפי שנים השלדים האלה גדלו למבנים תת-ימיים מאסיביים, שיוצרים את שוניות האלמוגים שאנו רואים היום (איור 1).

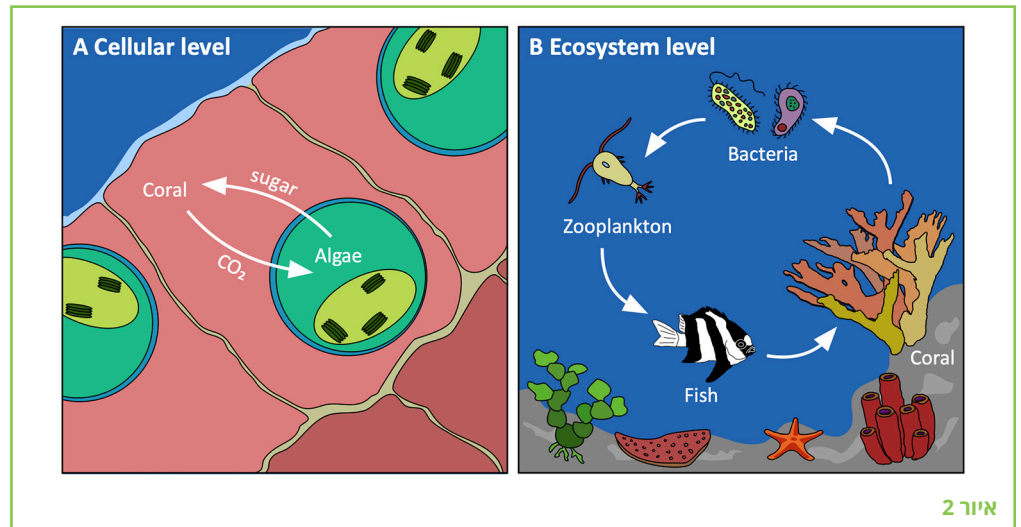
כמו כל החיות האחרות, אלמוגים זקוקים למזון ולחומרי מזון כדי לגדול, וגם כדי לבנות שוניות. אם כן, כיצד אלמוגים שורדים וגדלים באוקיינוס שבו קשה מאוד למצוא מזון? התשובה היא מרתקת באותה מידה שהיא פשוטה: הם יכולים לגדל את המזון של עצמם! הסיבה לכך היא שאלמוגים חיים בסימביוזה עם אורגניזמים אחרים בתוך גוף האלמוג ועליו, כמו חיידקים, אצות ופטרויות. הקשרים הסימביוטיים האלה חשובים מאוד לשמירה על האלמוגים בריאים ובכושר. לדוגמה, אלמוגים יוצרים שותפות מיוחדת מאוד עם אצות זעירות שחיות בתוך התאים של

סימביוזה (Symbiosis)

שני אורגניזמים שונים שחיים בקשר קרוב. במקרה של אלמוגים, גם האלמוגים וגם האצות שלהם מרוויחים מהסימביוזה הזו. אולם לא כל קשרי הסימביוזה טובים לכל האורגניזמים. תולעי סרט פחזיות (שרשרים), לדוגמה, חיות במעי של אורגניזמים אחרים וגונבות מהם חומרי מזון.

איור 2

שוניות אלמוגים מלאות בחיים מאחר שהן יעילות מאוד במחזור מזון וחומרי מזון שזמינים באוקיינוס הטרופי. (A) אלמוגים ואצות שחיות בתוך האלמוגים מסייעים אלה לאלה. האצות מייצרות סוכר, שהאלמוגים אוכלים. בעת עיכול הסוכרים האלמוגים מייצרים CO₂, שיכול לשמש את האצות לייצור סוכר נוסף. (B) אלמוגים גם תומכים באורגניזמים אחרים בשונית. חומרי המזון שאלמוגים משחררים נאכלים על-ידי חיידקים ואורגניזמים קטנים אחרים, ואז האורגניזמים האלה נאכלים על ידי אורגניזמים גדולים יותר. צאצאם של אורגניזמים גדולים יותר מחזירה חומרי מזון לסביבה. באופן זה, מזון וחומרי מזון ממוחזרים על השונית דרך שרשרת מזון מורכבת.



איור 2

פוטוסינתזה

(Photosynthesis)

תהליך שבאמצעותו צמחים ירוקים ואצות מייצרים את המזון שלהם. בתהליך הזה, האנרגיה מאור השמש משמשת ליצירת סוכרים מפחמן דו-חמצני (CO₂) ומים (H₂O).

שרשרת המזון

(Food Web)

הקשרים בין אורגניזמים, במובנים של האופן שבו הם משיגים את המזון ואת חומרי המזון שלהם, וכיצד הם מעבירים מזון וחומרי מזון לאורגניזמים אחרים.

האלמוג. האצות האלה יכולות לבצע **פוטוסינתזה**, תהליך שבו האצות תופסות אנרגיית אור מהשמש ומשתמשות באנרגיה כדי להפוך פחמן דו-חמצני (CO₂) לסוכרים. הסוכרים האלה הם מקור האנרגיה שלהן. האצות מייצרות כל כך הרבה מזון סוכרי שהן יכולות אפילו לחלוק כמות גדולה ממנו עם האלמוג. בזמן שהאלמוגים צורכים את הסוכרים, הם מייצרים עוד פחמן דו-חמצני עבור האצות. התחלופה הזו של סוכרים ופחמן דו-חמצני בין האלמוגים והאצות שלהם, מאפשרת לשותפים הסימביוטים האלה למחזר אנרגיה וחומרי מזון ביעילות (איור 2A). לכן, אלמוגים לא צריכים לתפוס טרף רב ממי הים [2]. השותפות החזקה הזו בין אלמוגים לבין אצות זעירות היא הסיבה לכך ששוניות אלמוגים שרדו על כדור הארץ במשך מאות מיליוני שנים. במשך הזמן, שוניות האלמוגים המשיכו לגדול. כיום, חלק משוניות האלמוגים גדולות כל כך שאפילו ניתן לראות אותן מהחלל, כמו למשל את שונית האלמוגים הארוכה Great Barrier Reef באוסטרליה שאורכה 2,300 קילומטרים.

מי אוכל את מי בשונית האלמוגים?

אלמוגים ואצות הם לא האורגניזמים היחידים שחיים בשוניות אלמוגים. מיליוני מינים אחרים של חיות, צמחים ומיקרובים גם מחשיבים את השוניות כבית שלהם. שלא כמו אלמוגים, מרבית היצורים בשונית האלמוגים לא חיים בסימביוזה עם אצות קטנות שמייצרות עבורם סוכרים. הם צריכים למצוא את המזון שלהם בעצמם. אז כיצד כל המינים האלה שורדים, אם ישנם מעט חומרי מזון במים בסביבה? באופן דומה לשותפות בין אלמוגים לבין האצות שלהם, מזון וחומרי מזון ממוחזרים באופן יעיל שוב ושוב על פני כל שונית האלמוגים. **שרשרת המזון** של שונית אלמוגים מורכבת כל כך ששום דבר לא מבוזבז: שאריות של יצור אחד מהוות ארוחה של יצור אחר (איור 2B). אלמוגים והאצות שלהם הם חלק מהדלק שמניע את שרשרת המזון של שונית האלמוגים. האצות מייצרות כל כך הרבה סוכר, שאפילו האלמוגים לא יכולים לאכול את כולו. שאריות הסוכר שהאלמוגים לא אוכלים משמשות ליצירת ריר חלקלק. חלק מהריר מכסה את האלמוגים ומסייע להגן עליהם ממחלות או מהתייבשות במהלך השפל. אולם הרבה מהריר בסופו של דבר מגיע למי הים. מאחר שהריר מכיל הרבה סוכר, חיידקים ומיקרובים אחרים אוכלים אותו. החיידקים בתורם נאכלים על-ידי יצורים קטנים כמו סרטנים, שרימפסים, חלזונות ותולעים, שחיים במים או על קרקעית הים. לאחר מכן, דגי שונית ניזונים מהאורגניזמים

הקטנים האלה. בלילה, הדגים נחים וישנים, כשהם חבויים טוב בענפים של האלמוג. אחרי שהדגים מעכלים את המזון שהם אכלו, הם בסופו של דבר משחררים צואה. הצואה מחזירה חומרי מזון למי הים שסביב לשונית. חומרי המזון האלה נלקחים במהרה על-ידי אצות השוניות, מה שמסייע להן לגדול ולבצע פוטוסינתזה. באופן הזה, התזונה והצואה של מיני חיות רבים בשונית יוצרות מעגל אינסופי, שבו מתקיים שימוש חוזר בחומרי מזון [3]. עם כל כך הרבה מינים שונים שניזונים ומשחררים צואה על שונית האלמוגים, ישנן הרבה לולאות אינסופיות של חומרי גלם, שמחזרות מזון באופן יעיל כל כך שכמעט ואין חומרי מזון שנאבדים בתהליך. זו הסיבה לכך שמיליוני מינים על שוניות אלמוגים יכולים לשרוד, אפילו שמי הים סביבם מכילים מעט מזון.

שוניות אלמוגים בסכנה

שוניות אלמוגים חיו באוקיינוסים טרופיים במשך מאות מיליוני שנים. אולם לאחרונה כמות הולכת וגדלה של שוניות אלמוגים ברחבי העולם התחילו למות ולהיעלם. הסיבה לכך מתכנסת בסופו של דבר לגדילת אוכלוסיות אנושיות [4]. אנשים משתמשים בשוניות אלמוגים כמקורות מזון. עם יותר ויותר אנשים שחיים ליד שוניות אלמוגים, הרבה דגים נלקחים מהשוניות. כתוצאה מכך, בהרבה שוניות אלמוגים מתרחש דיג רב מדי. עם מעט מדי דגים בשוניות האלמוגים, לולאות התזונה והצואה מופרעות, מה שמשנה את השימוש החוזר במזון ובחומרי מזון. כמו כן, מאחר שישנם פחות דגים שאוכלים אצות, הדגים האלה לא יכולים לשמור על האצות באיזון נכון. חלק מהאצות האלה יכולות לגדול בעודף ולפגוע באלמוגים.

אולם הבעיה הגדולה ביותר עבור שוניות האלמוגים היא שינויי האקלים [4]. שינויי אקלים גורמים לאוקיינוסים להתחמם. בעוד שאלמוגים אוהבים מים טרופיים חמים, הם לא אוהבים שהם חמים מדי. כשהים סביב לאלמוגים מתחמם יתר על המידה, האצות הסימביוטיות הזעירות בתוך האלמוגים מספקות פחות, או לא מספקות בכלל, סוכרים לאלמוגים. נוסף על כך האצות גם ייצרו חומרים שעשויים להזיק לרקמות האלמוגים. לכן, האצות כבר לא מועילות לאלמוגים כשהמים מתחממים, ואז לאלמוגים אין ברירה אלא להיפטר מהאצות האלה באמצעות שחרורן לים. ללא האצות הקטנות האלה בתוכם, האלמוגים מאבדים את הופעתם הצבעונית, והשלד הלבן בתוך האלמוגים נעשה חשוף. זה נקרא הלבנת אלמוגים. בלי האצות, האלמוגים המולבנים גם מנותקים מאספקת המזון העיקרית שלהם: הסוכרים שמיוצרים על-ידי האצות הזעירות. לכן אלמוגים מולבנים נעשים חלשים מהר מאוד, ובסופו של דבר הם ירעבו וימותו אם המים יישארו חמים מדי במשך זמן רב מדי [4].

אולם לא רק אלמוגים חווים בעיה כשהאוקיינוס נעשה חם מדי. ללא אלמוגים, כל שאר המינים שחיים על שוניות אלמוגים מאבדים את הבתים שלהם גם כן. כתוצאה מכך, **מערכות אקולוגיות** שלמות של שוניות אלמוגים נעלמות בהדרגה ברחבי העולם. זה משפיע באופן ישיר על חייהם של אנשים רבים שתלויים בבריאותן של שוניות האלמוגים: לדייגים יש פחות דגים לתפוס, ופחות תיירים מגיעים לראות שוניות. ללא שוניות אלמוגים בריאות דייגים, מנהלי מלונות, מדריכי צלילה והרבה אנשים אחרים עלולים לאבד את עבודתם ופרנסתם. למזלנו, ישנן דרכים רבות להגן על שוניות אלמוגים. לדוגמה, הגבלות על דיג יכולות לסייע ביצירת אזורים בטוחים לגדילה של דגים. באופן הזה, הדורות הבאים גם יוכלו לדוג דגים על שוניות אלמוגים.

מערכת אקולוגית (Ecosystem)

חברה של אורגניזמים
והסביבה שבה הם חיים.

האם שוניות אלמוגים בים סוף קשוחות יותר משוניות אחרות?

ים סוף הוא אחד הימים החמים ביותר על כדור הארץ, ובעל מעט מאוד חומרי מזון. אפילו תחת התנאים הקיצוניים האלה, שוניות אלמוגים חיוניות יכולות להימצא כמעט לכל אורכו של חוף ים סוף. שוניות אלמוגים בים סוף שונות מאוד ממרבית השוניות ברחבי העולם. הרבה מינים בשוניות ים סוף יכולים להימצא רק שם, ולא בשום מקום אחר בכדור הארץ. יתרה מזו בעוד שמרבית האלמוגים האחרים מלבינים כשטמפרטורות המים עולות מעל ל-30 מעלות צלזיוס, אלמוגים בצפון ים סוף שורדים בטמפרטורות חמות יותר ללא הלבנה. מדענים מכל רחבי העולם מנסים להבין מדוע אלמוגי ים סוף כל כך עמידים בפני חום. אולי תנאי הסביבה בים סוף גורמים לאלמוגים להיות קשוחים יותר? אולי אלמוגי ים סוף יכולים להיות מועברים לאזורים אחרים כדי להחליף שוניות שמתו מהתחממות האוקיינוס? בעוד שאנו רק מתחילים לענות על השאלות האלה, שוניות אלמוגי ים סוף מבטיחות את מקומן כמפלט להרבה מינים ימיים שחיים במקומות אחרים על שוניות שנמצאות בסכנה [5].

עתיד שוניות האלמוגים

שוניות אלמוגים הן נקודות חמות מרתקות של חיים באוקיינוס. אפילו אחרי מאות שנים של מחקר, עדיין יש הרבה מה ללמוד על השוניות האלה. מדענים ממשיכים למצוא מינים חדשים, ואפילו לגלות שוניות אלמוגים במקומות שמעולם לא ציפו למצוא אותן. אולם שינויי אקלים ודיג רב מדי מהווים אימים חמורים למערכות האקולוגיות האלה. לכן, עתידן של שוניות האלמוגים תלוי בפעולות שנבצע כדי להציל אותן. כולנו יכולים לסייע בהגנה על שוניות אלמוגים: לדוגמה, אכילת כמות קטנה יותר של דגי שוניות; מחזור פסולת פלסטיק כדי שהיא לא תגיע לאוקיינוס, או הפחתת צריכת האנרגיה שלנו במטרה להאט את שינויי האקלים. באופן הזה, שוניות אלמוגים עשויות להישאר בעתיד נווי מדבר צבעוניים ומלאי חיים במדבר הימי.

תודות

ראשית כל, אנו רוצים להודות לצוות הסוקרים הצעירים עבור המשוב התומך והמועיל שלהם. אנו גם רוצים להודות לראובן מ. קוסטה ולכריסטיאן ר. וולסטר על ייזום ותיאום אוסף ים סוף של פרונטיר - מדע לצעירים. יתרה מזו אנו רוצים להודות לטיין סינקלייר-טיילור על סיפוק התמונות המרהיבות עבור כתב היד הזה.

מקורות

1. Darwin, C. 1842. *The Structure and Distribution of Coral Reefs*. London: Smith, Elder and Co.
2. Muscatine, L., and Porter, J. W. 1977. Reef corals: mutualistic symbioses adapted to nutrient-poor environments. *Source Biosci.* 27:454–60. doi: 10.2307/1297526
3. Wild, C., Huettel, M., Klueter, A., Kremb, S. G., Rasheed, M. Y. M., and Jørgensen, B. B. 2004. Coral mucus functions as an energy carrier and particle trap in the reef ecosystem. *Nature.* 428:66–70. doi: 10.1038/nature02344

4. Hughes, T. P., Barnes, M. L., Bellwood, D. R., Cinner, J. E., Cumming, G. S., Jackson, J. B. C., et al. Coral reefs in the anthropocene. *Nature*. 546:82–90. doi: 10.1038/nature22901
5. Osman, E. O., Smith, D. J., Ziegler, M., Kürten, B., Conrad, C., El-Haddad, K. M., et al. 2018. Thermal refugia against coral bleaching throughout the northern Red Sea. *Glob. Chang. Biol.* 24:e474–848. doi: 10.1111/gcb.13895

פורסם אונליין: 28 בינואר 2022

נערך על ידי: Christian Robert Voolstra

מנחה מדעי: Royale Hardenstine

ציטוט: Rädecker N and Pogoreutz C (2022) מדוע שוניות אלמוגים הן נקודות חמות עבור חיים באוקיינוס? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2019.00143-he

תורגם והותאם: Rädecker N and Pogoreutz C (2019) Why Are Coral Reefs Hotspots of Life in the Ocean? *Front. Young Minds* 7:143. doi: 10.3389/frym.2019.00143

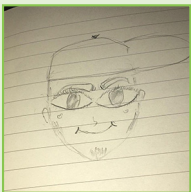
הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2019 © 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

ABRAHIM

אני המתבגר הממוצע שלכם. אני אוהב ספורט, מוזיקה, אולם מדע הוא תשוקה שלי מאז שאני ילד.



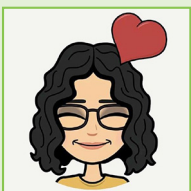
JIHAD

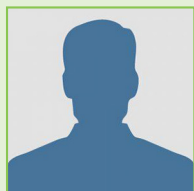
קוראים לי Jihad. אני אוהב מוזיקה, ואני בקשר עם אוניברסיטת המלך עבדאללה למדע וטכנולוגיה (KAUST) מאז 2015.



JUD

אומנות היא החיים שלי. אני מתעניינת בציור ובמלאכת יד. אני אוהבת לסדר פרחים. עיצוב פנים הוא התשוקה שלי. אני אוהבת את הנוף של הזריחה, וללכת לים. אני אוהבת רכיבה על סוסים.





SAMAR

מישהו קורא ומנסה #לקרוא.

SULTAN

אני אוהב מוזיקה #אוהב ציור.

הכותבים

NILS RÄDECKER

בכל פעם שאתם חושבים שאתם מבינים משהו על האופן שבו הטבע פועל, לטבע יש דרך משלו לצחוק עליכם, ולעשות ההיפך ממה שאתם מצפים. המורכבות הזו מרתקת אותי לגמרי, וזה מה שגרם לי ללמוד ביולוגיה מלכתחילה. במחקר שלי, אני עובד עם אלמוגים, אחת החיות הפשוטות ביותר על פני כדור הארץ, כדי להבין תהליכים בסיסיים שמסייעים לאורגניזמים לשרוד בסביבה שלהם. *nils.radecker@kaust.edu.sa

CLAUDIA POGOREUTZ

לכל ילד יש את החבר המוזר הזה שמתכופף ומרים תולעים מהכביש אחרי מְטָר גשם "בשביל להציל אותן", או חבר שמסוקרן על-ידי ההתנהגות המשונה של יצורים משונים. אני הייתי, ועדיין, החבר המוזר הזה. כיום אני גם חוקרת בפוסט-דוקטורט שעובדת על המגוון הביולוגי והתפקוד של מיקרובים בתוך חיות ימיות ועליהן. בפרט, אני מנסה להבין כיצד חיידקים מסייעים לאלמוגים בחיי היומיום שלהם.

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