

סוד אלמוגי ממולח: כיצד מליחות גבוהה מסייעת לאלמוגים להיות חזקים יותר

Hagen M. Gegner*, Christian R. Voolstra

המחלקה לביולוגיה, מדעי הסביבה והנדסה, המרכז לחקר הים האדום, אוניברסיטת המלך עבדאללה למדעים ולטכנולוגיה, ט'אל, ערב הסעודית

סוקרים צעירים

SAVANA
גיל: 13



KAREN
גיל: 12



MALSHI
גיל: 12



YOUSSEF
גיל: 12



ZIA
גיל: 12



אלמוגים הם חיות מסתוריות שנמצאות בסביבתנו זמן רב מאוד. הם היוצרים העיקריים של שוניות יפהפיות. לרוע המזל, השוניות שאנו אוהבים להסתכל עליהן נמצאות בסכנה של התחממות יתר, ונעלמות מפני כדור הארץ. בעוד שזה נשמע רע, לא כל האלמוגים מושפעים על-ידי מי ים חמים באותו האופן. נדמה שאלמוגים מהים האדום עמידים יותר לטמפרטורות גבוהות מאלמוגים מאזורים אחרים. שוניות בים האדום משגשגות במי ים שהם חמים יותר ממקומות אחרים. אולם מה הסוד שלהם? מה גורם לאלמוגים בים האדום להיות חזקים יותר ועמידים יותר לחום? אנו יודעים שאלמוגים בים האדום לא רק מתמודדים עם טמפרטורות גבוהות להפליא אלא גם מתמודדים עם מליחות גבוהה. הקשר הזה בין מליחות גבוהה וטמפרטורה גבוהה גרם לנו לתהות: האם אנו יכולים למצוא ראיות לכך שמליחות גבוהה גורמת לאלמוגים להיות חזקים יותר?

יצורים עתידיים בסכנת התחממות יתר

שוניות הן יצורים תת-ימיים צבעוניים באופן מרהיב ומרתקים. הן נוצרות מחלק מהחיות המבוגרות ביותר בעולם: אלמוגים. אלמוגים היו בסביבה מאז תקופת הדינוזאורים, אולם שלא כמו היצורים המפורסמים האלה – אלמוגים לא נכחדו. לפחות נכון להיום.

הישגי העבר המרשימים האלה נמצאים בסכנה כתוצאה מתנאי סביבה מלאי סטרס שמקשים על האלמוגים לשרוד באוקיינוסים של היום. הבעיה הגדולה ביותר שאלמוגים מתמודדים איתה כיום היא העלייה הגדולה בטמפרטורה של מי האוקיינוסים.

התחממות אוקיינוסים גלובלית מובילה להלבנתם של אלמוגים ברחבי העולם, תופעה שידועה בשם הלבנת אלמוגים (Coral bleaching) [1]. אולם מהי הלבנת אלמוגים ומדוע היא לא טובה לאלמוגים?

כשאנו חושבים על חיות אנו בדרך כלל חושבים עליהן כאוסף של פריטים בודדים כמו כלב, אריה או דג. אולם אלמוגים הם שונים. אלמוגים חיים יחד עם צמחים, **אצות** זעירות שמספקות מזון בתמורה לכך שהאלמוגים או **שושנות ים** נותנים להן לחיות בתוך הרקמה שלהם, שנקראת הרקמה התאית הפנימית (איור 1) [2]. הסוג הזה של עבודת צוות וקשר קרוב נקרא **סימביוזה**, והשותפים שמשותפים בה, במקרה זה האלמוגים והאצות, נקראים symbionts. אצות שמשותפות בסימביוזה יכולות לבצע פוטוסינתזה, תהליך שאולי שמעתם עליו שבו צמחים משתמשים באור השמש והופכים אותו לאנרגיה. בסימביוזה האלמוגים שלנו האנרגיה שמגיעה מהאצות הופכת למזון עבור האלמוגים. האצות גם מספקות את הצבעים היפהפיים שאנו יכולים לראות כשאנו מסתכלים על שוניית אלמוגים, מאחר שהאלמוגים עצמם הם צבעוניים.

אלמוגים שמתמודדים עם תנאי סביבה קשים, למשל טמפרטורות מים גבוהות, חווים את השבירה של הסימביוזה הזו. זה גורם לאובדן של האצות הצבעוניות החברות שלהן, מה שמשאיר רק את רקמת האלמוגים על גבי השלד הלבן – אלמוג מולבן. האלמוג המולבן הזה כבר לא ייחנה מהיתרון של מזון נוסף שמסופק על-ידי האצות, מה שגורם לחייו להיות קשים יותר. אולם לא כל האלמוגים הם מולבנים באותה המידה. הם מלבינים בטמפרטורות שונות, כתלות בסוג האלמוגים או האצות ובמיקום שבו הם חיים. כדי להבין כיצד ההלבנה עובדת הסתכלנו על האלמוגים החזקים ביותר שיכולנו למצוא: אלמוגים בים האדום.

הים האדום: מתאים רק לחזקים ביותר

כשאנו מסתכלים על הים האדום אנו יכולים למצוא אלמוגים עמידים יותר להלבנה מאלמוגים אחרים ברחבי העולם. אולם מדוע זה המצב?

אלמוגים בים האדום צריכים להתמודד עם טמפרטורות גבוהות יותר, ועדיין נדמה שהם גדלים ומסתדרים ממש בסדר. הים האדום הוא ים חם מאוד בהשוואה למקומות אחרים. שם, הטמפרטורות בקיץ יכולות להגיע ל-34 מעלות צלזיוס, בעוד שבמי אוקיינוס אחרים הן מגיעות לסביבות 29-32 מעלות צלזיוס. באופן מעניין, אלמוגים בים האדום לא רק חיים בטמפרטורות גבוהות יותר אלא גם **במליחות** גדולה יותר. מליחות היא מדד לכמות המלח במים, ובים האדום

אצות (Algae)

צמחים שחיים במים. הם לא פורחים כמו צמחים יבשתיים, ואין להם שורשים או גע. אתם יכולים למצוא אותם כחד-תאים, לדוגמה בשוניות ובשושנות ים.

שושנות ים (Anemone)

קרובי משפחה של האלמוג. יש להן את אותו המבנה והן חיות באותו אופן כמו אלמוגים, אולם הן רכות יותר מאחר שאין להן שלד.

סימביוזה (Symbiosis)

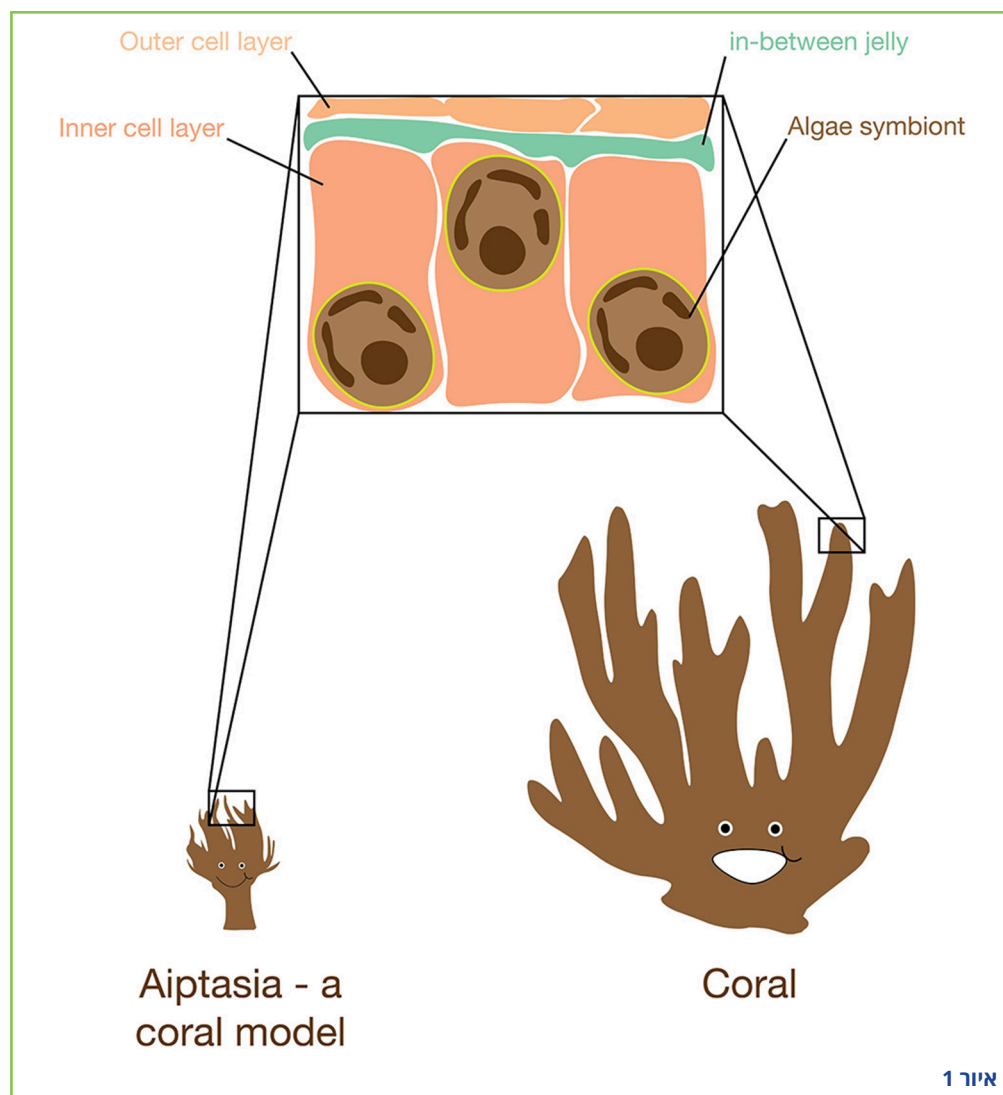
קשר קרוב בין שני יצורים חיים שפועלים יחד כמו למשל אצות ואלמוגים או שושנות ים.

מליחות (Salinity)

כמות המלח במים, לדוגמה במי ים. אתם יכולים למצוא מגוון של מליחות שונות באוקיינוס, כתלות באזור. בים האדום ישנן רמות גבוהות ביותר של מלח.

איור 1

הרקמה הדומה באופן מפתיע של אלמוגים ושושנות ים. אתם יכולים לראות את שכבות התא הפשוטות מאוד של אלמוגים ושל *Aiptasia*, אורגניזם המודל של אלמוגים, בכתום (שכבות התא החיצונית והפנימית) וחומר הג'לי הירוק שבאמצע. האצות שמשותפות בסימביוזה מוצגות בחום וחיות בתוך השכבה הפנימית של התא. אפשר למצוא אותן ב-*Aiptasia* כמו גם באלמוגים.



איור 1

יש רמות מליחות בין הגבוהות בעולם. זו הסיבה לכך שהתחלנו לתהות האם מליחות יכולה להיות חלק מהחידה, והיכולת לחיות במליחות גבוהה יכולה להיות אחד מהסודות של חווקם של אלמוגי הים האדום?

כדי לענות על כך ועל שאלות נוספות שקשורות להלבנת אלמוגים, מדענים לעיתים קרובות משתמשים באורגניזם מודל לאלמוגים, כלומר חיה שֶקֶל יותר לחקור אותה מאשר אלמוגים אולם היא בכל זאת דומה מאוד לאלמוגים. הכירו את *Aiptasia*! (איור 1).

Aiptasia היא שושנת ים זעירה שחולקת מבנה גוף דומה עם אלמוגים, אולם היא חסרת שלד. ל-*Aiptasia* גם יש את אותה הסימביוזה עם אצות כמו שיש לאלמוגים. *Aiptasia* ואלמוגים הם קרובי משפחה והם חיים באופנים דומים. מלבד זאת, ל-*Aiptasia* יש יתרון שאפשר לשמור אותה במעבדה וקל לטפל בה [3]. בניגוד לכך, אלמוגים דורשים טיפול רב. הם צריכים אקווריומים גדולים עם הרבה טכנולוגיה בתוכם כדי לשמור עליהם בחיים, והבאת אלמוגים משוניות למעבדה יכולה להיות מאתגרת מאוד. זה גורם לכך שקשה לחקור אלמוגים.

האם מליחות גבוהה יוצרת הבדל במהלך הלבנה?

כדי למצוא אם מליחות משפיעה על הסימביוזה של *Aiptasia* ועל האצות שחיות איתה בסימביוזה, חשבו על הניסוי הבא. *Aiptasia* נשמרו בשלוש רמות של מליחות: נמוכה, בינונית וגבוהה, בטמפרטורת בקרה של 25 מעלות צלזיוס. הטמפרטורה ידועה כטמפרטורה הטובה ביותר לשושנות ים, שלא גורמת להן סטרס. אחרי שהן התרגלו לרמת המליחות, חצי משושנות הים מכל רמת מליחות הוכנסו לתנאי סטרס של חום, באמצעות הגדלת הטמפרטורה ל-34 מעלות צלזיוס, טמפרטורה שגרמה להלבנה. כדי למדוד עד כמה ה-*Aiptasia* בכל קבוצה הלבנו, ספרנו את האצות שחיות איתן בסימביוזה. מאחר שהלבנה היא תהליך שאפשר לראות (שגורם לשושנות ים להיות שקופות במקום חומות), גם צילמנו אותן כדי להמחיש את התוצאות שלנו.

אחרי 8 ימים בסטרס של חום הסתכלנו על שושנות הים וחקרנו אם המליחות השפיעה על המידה שבה הן הלבנו. כשאתם מסתכלים על איורים 2A,B, האם אתם רואים הבדלים בין שושנות ים עם מליחות נמוכה, בינונית וגבוהה אחרי ששהו בסטרס של חום?

אכן, התמונות חושפות ששושנות הים שחוו סטרס של חום בתנאים של מליחות נמוכה היו לגמרי שקופות. השוו זאת עם שושנת הים החומה ברמת המליחות הגבוהה ביותר. נדמה שיש הבדל בכמות ההלבנה שנראית בין רמות המליחות השונות. אולם חכו, התמונות יכולות להטעות אותנו! כדי למדוד אם הרושם שלנו היה נכון, ספרנו את מספר תאי האצות שהיו בתוך שושנות הים. גרף העמודה באיור 2C מראה את אחוז תאי האצות שעדיין היו נוכחים אחרי סטרס של חום, בהשוואה ל-*Aiptasia* הביקורת שלנו: 100% משמעו ששושנות הים לא הלבנו, 0% משמעו ששושנות הים הלבנו לחלוטין ולא נשארו בהן אצות. האחוזים שחישבנו מספירת האצות אישרו את מה שהעיניים שלנו כבר אמרו לנו. שושנות ים במליחות נמוכה הלבנו יותר (נשארו רק 13.6% מהאצות) מאשר שושנות ים במליחות גבוהות יותר (נשארו 30.5%-37.2% מהאצות).

מה קורה בתוך שושנות הים כשהן נמצאות במליחות גבוהה, אשר יוצר את האפקט הזה?

דובדבנים מתפצחים ואלמונים מלוחים

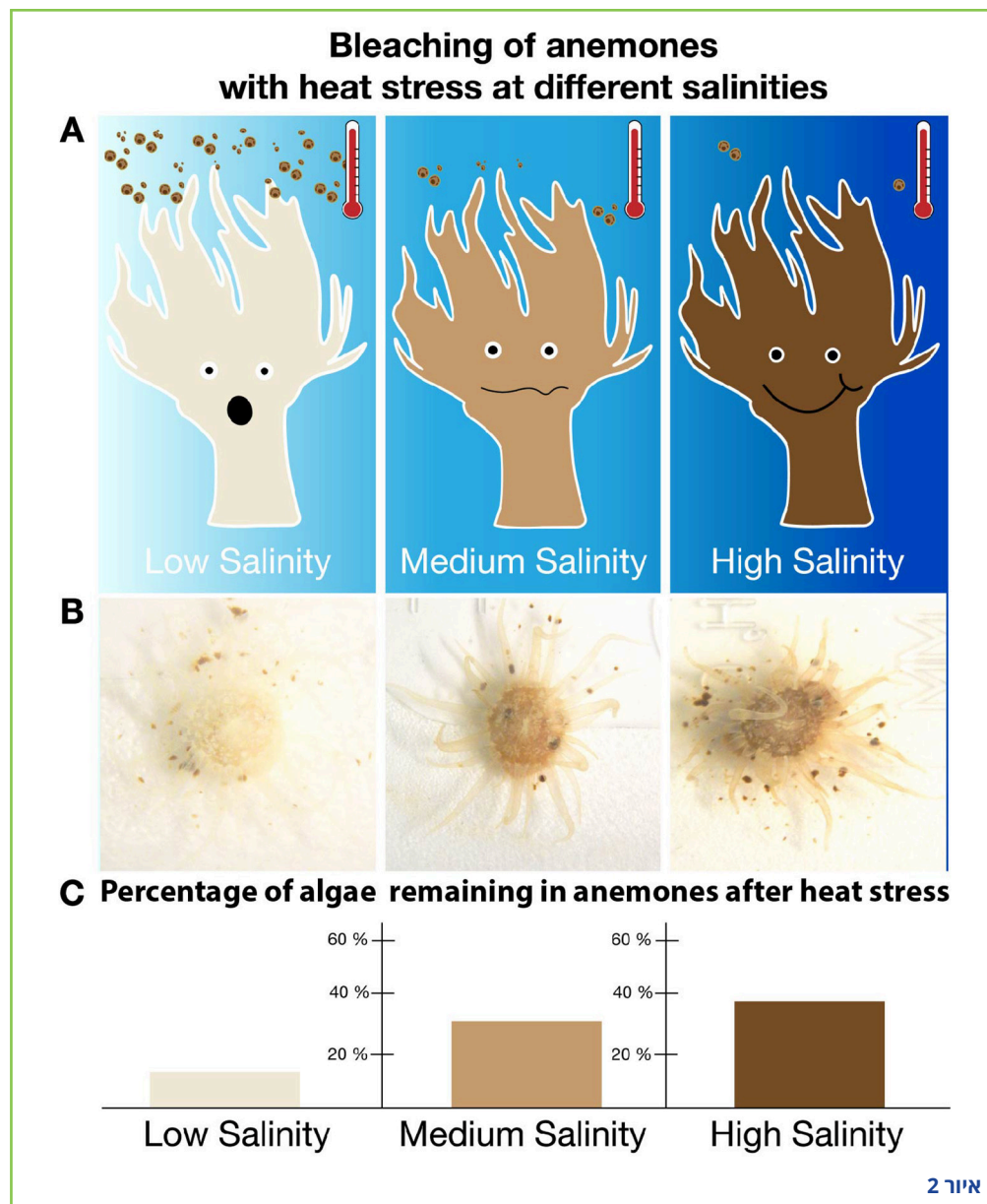
לפני שנדבר על מה שקורה עם שושנות הים הזעירות שלנו במליחות גבוהה, בואו נדבר על דובדבנים. כן, דובדבנים – אדומים, מתוקים וטעימים.

אם אתם ברי מזל ויש לכם עץ דובדבנים בבית עם דובדבנים עליו, אתם עשויים לרצות לבדוק אותם אחרי הגשם הכבד הבא. מדוע? מאחר שאתם תראו שחלק מהדובדבנים יתפצחו (איור 3A), אפילו שלפני הגשם הם היו לגמרי בסדר! אתם עשויים לתהות כיצד הגשם יכול לפצח את הדובדבנים, ואיך זה קשור לשושנות ים. התשובה קשורה לעובדה שדובדבנים הם מתוקים, ולמשהו שנקרא אוסמוזה.

אוסמוזה היא תנועה של מים מאזור שבו יש כמות קטנה של חומר מסוים, כמו למשל סוכר, לאזור שבו יש כמות גדולה יותר (איור 3B). אם אתם חושבים על דובדבן מפוצח, משמעות

איור 2

ההשפעות השונות של מליחות במהלך הלבנה. כאן אתם יכולים לראות את ההבדלים בין מליחות נמוכה, בינונית וגבוהה אצל שושנות הים שלנו אחרי סטרס של חום. (A) קריקטורה של צבעי ה-Aiptasia (B) תמונות של Aiptasia בכל שלב. (C) גרף עמודה שמראה את מספר האצות שנספרו שעדיין נמצאו בשושנת הים אחרי שמונה ימים של סטרס של חום. העובדה שכל העמודות מתחת ל-100% אומרת שכל שושנות הים הלבנו אולם אלה שחיות במים עם מליחות גבוהה הלבנו פחות.



הדבר היא שמִי הגשם עברו מחוץ לדובדבן, היכן שאין סוכר, אל תוך התאים הסוכריים של הדובדבן, ומילאו את התאים עד שהם התפצחו. ההבדל בכמות הסוכר בין תוך הדובדבן לחוץ הדובדבן הוא מה שמניע את המים. אוסמוזה משחקת תפקיד בדברים רבים, לא רק בפיצוח דובדבנים. אוסמוזה גם משחקת תפקיד במה שקורה בשושנות הים שלנו!

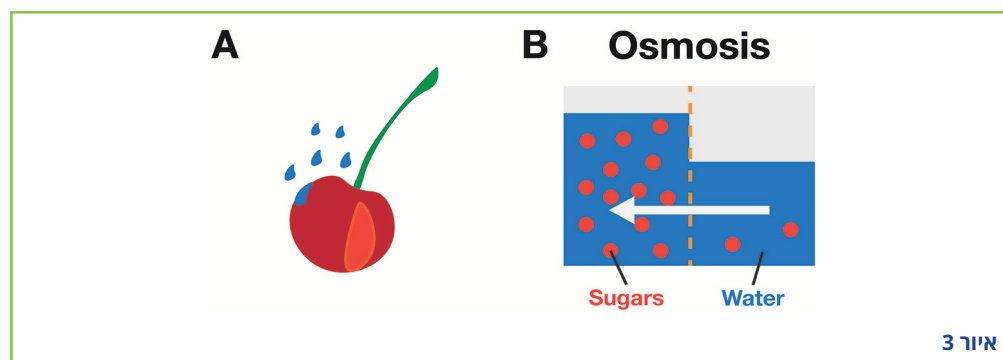
שושנות ים ואלמוגים חיים במליחיות שונות, אולם הם אף פעם לא נשברים כשהמליחות משתנה. אפילו אם תזוזו שושנת ים ממליחות גבוהה למליחות נמוכה כמו בניסוי שלנו, היא לא תתפצח כמו דובדבנים. מדוע זה כך? מאחר שלאמוגים ולשושנות ים אין הבדל במליחיות בין פְּנים התאים שלהם לבין מי הים [4]. אלמוגים ושושנות ים מייצרים מולקולות שנקראות **אוסמוליטים** ומפריקים אותן כדי להתאים את תאיהם לסביבת מי הים. באופן הזה הם יכולים לשמור על המליחות וזה בין פנים לחוץ התאים שלהם. מאחר שאין הבדל במליחיות גם אין תנועה של מים. באופן הזה החיות האלה לא סובלות מאותו הגורל כמו של דובדבנים.

אוסמוליט (Osmolyte)

מולקולות שמעורבות בכונן המליחות. הן מיוצרות או מפורקות כדי לסייע בהפחתת הפרשי המלח בתוך התא ומחוץ לתא.

איור 3

סיפורו של דובדבן מתפצח. (A) דובדבנים מתפצחים אחרי הנשם כתוצאה מהבדל ברמות הסוכר בין החלק הפנימי של התא לבין החוץ. (B) אוסמוזה היא תנועה של מים מאזור עם ריכוז נמוך של מולקולה לאזור עם ריכוז גבוה יותר. במקרה הזה, המים נעים מכמות קטנה של סוכר מחוץ לתא (מימין) לכמות גדולה בתוך התא (משמאל). הסוכר מוצג באדום, המים בכחול והחיצים הלבנים מראים את תנועת המים.



איור 3

אם כן, זה אומר ששונות ים בתנאים של מליחות גבוהה בניסוי שלנו היו צריכות להגדיל את כמות האוסמוליטים בתאים שלהן כדי להתאים את עצמן לכמות המלח שמחוץ לתאים. זה נתן לנו רמז שייצור האוסמוליטים עשוי להיות קשור במידה פחותה להלבנה שאנו רואים באלמוגים מסוימים. מה בדיוק באוסמוליטים מאפשר לאלמוגים לשרוד במים חמים – את זה לא יכולנו לומר מהניסוי שלנו. אולם אנו יודעים מניסויים אחרים שאוסמוליטים לעיתים חיים כפולים בתוך התאים. הם לא רק חשובים להתאמת מליחיות אלא הם גם מסייעים להפחית את כמות המולקולות המסוכנות האחרות שיכולות לפגוע בתאים. המולקולות המסוכנות האלה קשורות גם הן להלבנת אלמוגים [5]. הפחתה של המולקולות המסוכנות האלה כתוצאה מייצור אוסמוליטים יכולה להסביר מדוע שונות ים במליחות גבוהה עמידות יותר להלבנה, בהשוואה לשונות ים אחרות במליחות נמוכה.

לסיכום

באמצעות ניסויים עם שונות הים שלנו היינו מסוגלים לחשוף את העובדה שמליחות המים משפיעה איכשהו על הלבנת שונות ים. הראינו שמליחות גבוהה הפחיתה את ההלבנה במהלך סטרס של חום. המידע הזה גם שימושי עבור אלמוגים, מאחר ש-*Aiptasia* ואלמוגים הם דומים מאוד. התהליך המדויק שעומד מאחורי האפקט הזה עדיין מסתורי, אולם אנו מתקדמים במסלול הנכון לעבר הבנה טובה יותר שלו. הניסויים הבאים שלנו יבחנו את השפעות המליחות הגבוהה האלה באלמוגים מהים האדום. כאן, אלמוגים חיים בתנאים עם מליחות גבוהה טבעית, והם גם ידועים כעמידים בפני הלבנה. מה קורה כשאלמוגים מהים האדום נמצאים בתנאים של מליחות נמוכה? האם יש לכם רעיון? אנו ודאי נגלה זאת – אז עקבו אחר ההתפתחויות!

מאמר המקור

Gegner, H. M., Ziegler, M., Rädicker, N., Buitrago-López, C., Aranda, M., and Woolstra, C. R. 2017. High salinity conveys thermotolerance in the coral model *Aiptasia*. *Biol. Open* 6:1943–8. doi: 10.1242/bio.028878

מקורות

1. Hughes, T. P., Barnes, M. L., Bellwood, D. R., Cinner, J. E., Cumming, G. S., Jackson, J. B. C., et al. 2017. Coral reefs in the Anthropocene. *Nature* 546:82–90. doi: 10.1038/nature22901
2. Rohwer, F., Seguritan, V., Azam, F., and Knowlton, N. 2002. Diversity and distribution of coral-associated bacteria. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 243:1–10. doi: 10.3354/meps243001
3. Baumgarten, S., Simakov, O., Esherick, L. Y., Liew, Y. J., Lehnert, E. M., Michell, C. T., et al. 2015. The genome of *Aiptasia*, a sea anemone model for coral symbiosis. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 112:11893–8. doi: 10.1073/pnas.1513318112
4. Röthig, T., Ochsenkühn, M. A., Roik, A., Van Der Merwe, R., and Voolstra, C. R. 2016. Long-term salinity tolerance is accompanied by major restructuring of the coral bacterial microbiome. *Mol. Ecol.* 25:1308–23. doi: 10.1111/mec.13567
5. Ochsenkühn, M. A., Röthig, T., D'Angelo, C., Wiedenmann, J., and Voolstra, C. R. 2017. The role of floridoside in osmoadaptation of coral-associated algal endosymbionts to high-salinity conditions. *Sci. Adv.* 3:e1602047. doi: 10.1126/sciadv.1602047

פורסם אונליין: 22 באוקטובר 2020

נערך על ידי: Rúben Martins Costa, King Abdullah University of Science and Technology, Saudi Arabia

ציטוט: Gegner HM and Voolstra CR (2020) סוד אלמוגי ממולה: כיצד מליחות גבוהה מסייעת לאלמוגים להיות חזקים יותר. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00038-he

Gegner HM and Voolstra CR (2019) A Salty Coral Secret: How High Salinity Helps Corals to be Stronger. *Front. Young Minds* 7:38. doi: 10.3389/frym.2019.00038

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

COPYRIGHT © 2019 © Gegner and Voolstra. 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 (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

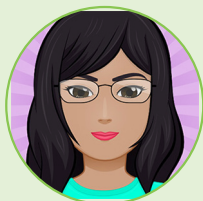
SAVANA, גיל: 13

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



**KAREN, גיל: 12**

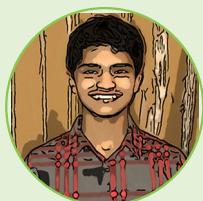
אני ילדה יצירתית מאוד. התחביבים שלי הם ספורט ולמידה, וכל דבר אחר שקשור באומנות. אני אוהבת מאוד לנסות דברים חדשים ולחקור דברים שמעניינים אותי. אני אומרת שאני מיוחדת מאוד, שלא כמו אנשים אחרים. זה פשוט מה שהופך אותי להיות אני!

**MALSHI, גיל: 12**

קוראים לי מלשי ואני בת 12. אני אוהבת מדע ומתמטיקה ואני מתעניינת בכימיה. אני אוהבת לקרוא בזמני הפנוי ואני אוהבת לנגן בפסנתר. הספורט האהוב עליי הוא בדמינסטון, ובעתיד אני רוצה להיות מדענית.

**YOUSSEF, גיל: 12**

אני אצן, שחיין, אני אוהב ללמוד ולקרוא ספרים. במיוחד אני אוהב לקרוא ספרים. בחרתי ב- Frontiers for Young minds מאחר שרציתי שני דברים. את שמי באתר רשמיו ורציתי אתגר. כתלמיד כיתה ז ממוצע, רציתי לדחוף את עצמי לדעת עובדות חדשות שקשורות למדע. וכעת כשזה נגמר, אין לי אותו הידע כפי שהיה כשהתחלתי. תודה ל- Frontiers for Young minds! 😊

**ZIA, גיל: 12**

אחד המקצועות האהובים עליי בבית הספר הוא מדע. אני סקרן מאוד לדעת כיצד מתרחשים הדברים היומיומיים שאנו עושים בחיים שלנו. אני אוהב במיוחד ביולוגיה וקוסמולוגיה. אני צופה בהרבה סדרות דוקומנטריות על החלל, ואני רוצה לחקור את הדברים שמעניינים אותי.

הכותבים**HAGEN M. GEGNER**

תמיד הייתי מרותק מהאוקיינוס ואהבתי לחקור שוניות, אולם אף פעם לא דמיינתי שיום אחד אהיה ביולוג של אלמוגים. התחלתי ללמוד ביולוגיה כללית (תואר ראשון), ואחר כך לאט-לאט התנתבתי לכיוון של מדעי הים. בסוף הייתי די מסוקרן מהשיטות שמשמשות בהן יותר מאשר מחקר על אורגניזמים מסוים. לכן המשכתי לעבוד על דגים בברזיל (תואר שני), ולאחרונה סיימתי את הדוקטורט שלי בערב הסעודית שבו חקרתי מה גורם לאלמוגים להיות חזקים יותר במהלך סטרס. *hagen.gegner@kaust.edu.sa

**CHRISTIAN R. VOOLSTRA**

התחלתי בחקר ההתפתחות של זבובי פירות והאופן שבו עכבר ביתי מסתגל לסביבות שונות, לפני שצללתי לתוך ביולוגיה של אלמוגים. כיום, אני וחוקרים אחרים רבים בנוסף אליי, מתחילים להבין שזל החיות והצמחים מצטוותים עם אורגניזמים חיים קטנטנים שנקראים מיקרובים או חיידקים כדי לעכל מזון, להישאר בריאים ולהילחם בסטרס. במעבדה שלי אנו חוקרים סוגים שונים של חיידקים שחיים עם אלמוגים, ומראים כיצד הם מסייעים לחיות המארחות שלהם לשרוד תחת סטרס.

Hebrew version
provided by

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

