

עם קצת עזרה מחברים – כיצד אצות מסייעות לאלמוגים לשרוד בטמפרטורות לוחצות

Maha Joana Cziesielski*, Manuel Aranda

המרכז לחקר הים האדום, אוניברסיטת המלך עבדאללה למדע ולטכנולוגיה, ט'ואל, ערב הסעודית

האם אי פעם הייתם באוקיינוס והתפעלתם ממגוון הדגים שחיים בשונית? האם שמתם לב למבנים דמויי האבן שלידם? האבנים הצבעוניות האלה הן חיות שנקראות אלמוגים. אלמוגים הם אבני הבניין של שוניות, והם משמשים כבית עבור זנים ימיים רבים. אולם אלמוגים רגישים מאוד לשינויים בסביבה. השפעות של בני אדם גרמו לאוקיינוסים שלנו להתחמם. אך ישנה תקווה: חלק מהאלמוגים למדו לחיות במים חמים כמו למשל בים האדום, ובמקומות עם קיצים חמים. זה מראה לנו שלאמוגים יש סיכוי לשרוד. אנו חקרנו אלמוגים בים האדום ומצאנו שהם הסתגלו למים החמים יותר באמצעות מנגנונים מסוימים, וגם באמצעות עזרה מחברותיהם האצות. באמצעות חקירת הסיבות לכך שאלמוגים מסוימים חזקים יותר מאחרים, אנו מקווים שנוכל להבין כיצד לסייע לאלמוגים החלשים יותר.

חיים הרגישים של אלמוגים

אלמוגים הם **חסרי חוליות** ששייכים לאותה הקבוצה כמו מדוזות ושושנות ים. לאלמוגים יש שלד דמוי עצם שמבדיל אותם מחברי משפחה אחרים שלהם. אלמוגים חיים יחד עם אצות

סוקרים צעירים

ARNAB
גיל: 14



EVAN
גיל: 12



SUBHAAN
גיל: 13



VARSHINI
גיל: 14



חסרי חוליות (Invertebrate)

חיות שאין להן עמוד שדרה, כמו חלזונות ומדוזות.

שושנות ים (Anemones)

קרובות משפחה של אלמוגים. לשושנות ים יש מבנה ואורח חיים דומה לאלמוגים, אולם הן יותר מעיכות. *Aiptasia* היא סוג של שושנת ים.

אצות (Algae)

צמח פשוט מאוד שחי במים.

Symbiodiniaceae

סוג של אצה.

סימביוזה (Symbiosis)

התקשורת או הקשר בין שני אורגניזמים שחיים בקרבה רבה זה לזה, ובאופן טיפוסי מספק יתרון לשניהם.

הסתגלות (Adaptation)

הפיכת עצמך למסוגל יותר לשרוד.

קטנות שנקראות **זואוקסנטלות (Symbiodiniaceae)**. האלמוגים והאצות מסייעים זה לזה לשרוד. הדבר מוכר כחיים של **סימביוזה**. האלמוגים מספקים לאצות הגנה, והאצות מספקות לאלמוגים אנרגיה לבנות שלד גדול [1].

כאשר מתרחשים שינויים רבים מדי בסביבה, האלמוגים והאצות נכנסים למצב של סטרס ולא מסוגלים לתקשר טוב. במקרה כזה הם מפסיקים לסייע זה לזה, והאצות עוזבות את האלמוג. מאחר שהצבעים היפים של אלמוגים מגיעים מאצות, כאשר האצות עוזבות האלמוג נעשה לבן. זה מה שמוכר כהלבנת אלמוגים. אחת הסיבות העיקריות להיפרדות של אלמוגים ואצות היא טמפרטורות גבוהות יותר. טמפרטורות מים גבוהות יותר יוצרות סטרס לאלמוגים ולאצות, ומובילות להלבנה. שינויי אקלים והשפעות אנושיות אחרות העלו את טמפרטורות האוקיינוסים ברחבי העולם. בכל שנה שוניות אלמוגים חוות קיצים חמים יותר. כמה חום שוניות אלמוגים יכולות לשרוד?

הסתגלות אל תוך תאים למציאת סודות האלמוגים

לפני שאלמוגים מלבינים הם מראים סימנים אחרים רבים של סטרס. לכן, אם אנו רוצים להבין את בריאותם של אלמוגים עלינו לחקור את התאים שלהם. בתוך התאים יש לנו מידע רב כולל דנ"א, רנ"א וחלבונים. המולקולות האלה יכולות לסייע לנו למצוא רמזים על התקשורת שמתרחשת בין אלמוגים ואצות. אולם בנוסף המולקולות האלה יכולות ללמד אותנו כיצד לדעת אם אלמוגים נמצאים בסטרס.

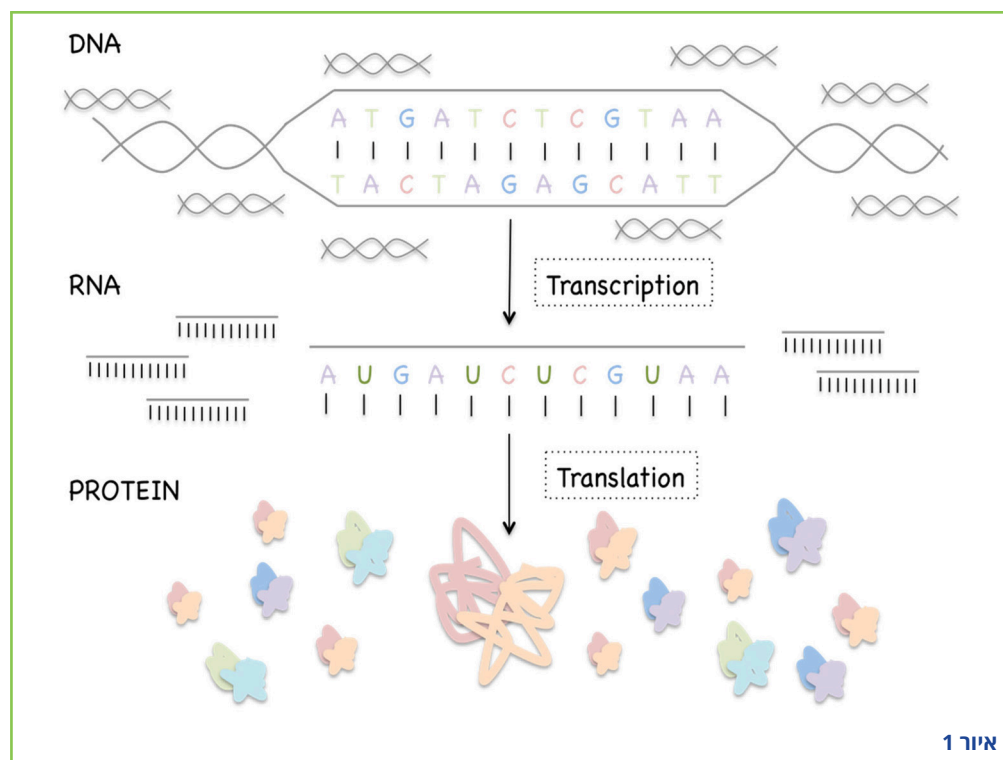
כאשר אורגניזם נמצא בסטרס כל תא בגופו מגיב לסטרס. כל התאים יעשו את המירב כדי לשרוד! בתגובה לסטרס, התא ישתמש בדנ"א לייצור רנ"א כך שהוא יוכל לייצר חלבונים שילחמו בסטרס (איור 1). אם אורגניזם היה בסטרס קודם לכן, הוא יכול להגיב לסטרס מהר וטוב יותר. חשבו על זה כמו ביקור בעיר: בפעם הראשונה שאתם מבקרים בעיר תזדקקו למפה כדי למצוא את המלון שלכם. ככל שתבקרו בעיר לעיתים תכופות יותר, כך תזדקקו למפה פחות מאחר שתזכרו את הדרך ותלכו למלון שלכם מהר יותר. אלמוגים שהיו במים חמים קודם לכן זוכרים כיצד לשרוד בצורה הטובה ביותר. אנו יכולים לראות את הזיכרון הזה בתוך התאים. התאים שהיו בסטרס בעבר יתחילו לייצר חלבונים שונים וייצרו את החלבונים הנכונים מהר יותר. אם כן, הם מגיבים בצורה שונה מאלמוגים שמעולם לא היו במים חמים קודם לכן. חקירת ההבדלים האלה מאפשרת לנו לראות מה גורם לאלמוגים מסיימים להיות מסוגלים לשרוד בחום בעוד שאחרים לא מסוגלים.

חקירת אלמוגים שהם טובים בהתמודדות עם טמפרטורות גבוהות יותר

לאלמוגים יש עמידות שונה לטמפרטורות גבוהות. הסביבה שבה האלמוגים גדלו יכולה להשפיע על ההתנהגות שלהם. זנים רבים של אלמוגים למדו לחיות במים החמים ביותר בעולם, כמו בים האדום או במפרץ הפרסי. זה מראה שאלמוגים מסוגלים **להסתגל** לסביבות עם יותר סטרס. כדי ללמוד מה גורם לחלק מהאלמוגים להיות קשוחים יותר מאחרים, השתמשנו באורגניזם שישמש כמודל: שושנת הים הקטנה *Aiptasia*. שושנות ים קשורות לאלמוגים, אולם *Aiptasia* קלה יותר לחקירה מאשר אלמוגים מאחר שהיא גדלה מהר ואין לה שלד. רצינו להבין מה מאפשר לחלק מהחיות להתמודד טוב יותר מאחרות עם טמפרטורות

איור 1

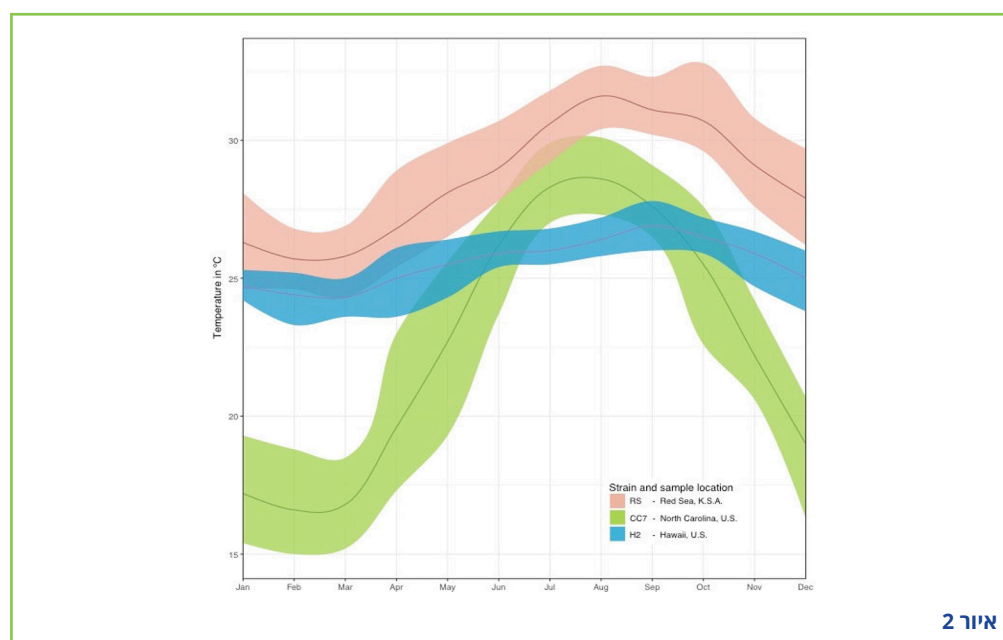
הקשר שבין דנ"א, רנ"א וחלבון. דנ"א מכיל את כל המידע הנדרש לייצור של חלבונים, אשר מבצעים תפקודים חשובים רבים בכל תא. כדי לייצר חלבון התא יכול לגשת למידע שהוא צריך באמצעות הפיכת דנ"א לרנ"א, בתהליך שנקרא תעתוק. לאחר מכן, הרנ"א יהפוך לחלבון המתאים בתהליך שנקרא תרגום.



איור 1

איור 2

טמפרטורות שנתיות ממוצעות בשלושת המיקומים שמהם נחקרה ה-*Aiptasia*. שושנות הים האלה נלקחו מצפון קרוליינה (יורוק), הוואי (כחול) והים האדום (אדום). הטמפרטורה החודשית הממוצעת מוצגת בקו המלא. ההצללות שסביב לקווים מציגות את הטמפרטורות המינימליות והמקסימליות. הנתונים האלה מראים שבים האדום המים הם החמים ביותר [2] (נתוני הטמפרטורות נלקחו מ: www.seatemperature.org)



איור 2

חמות. מה החיות האלה עושות בצורה כל כך שונה כדי לשרוד את החום? למען מטרה זו חקרנו *Aiptasia* ממקומות שונים סביב לעולם: צפון קרוליינה, הוואי והים האדום (איור 2).

לקחנו שושנות ים מכל אחד מהמקומות ושמרנו עליהן באותה הטמפרטורה של 25 מעלות צלזיוס במשך יותר משנה. לאחר מכן, עבור חלק משושנות הים חיממנו את המים באיטיות עד ל-32 מעלות צלזיוס. שושנות הים נמצאו בתנאי סטרס של חום במשך 24 שעות. לאחר מכן לקחנו תאים משושנות הים והשווינו את רמות הסטרס שלהם ואת תגובותיהם. חקירת הרנ"א

והחלבונים בתאי שושנות הים אפשרה לנו להשוות כיצד שושנות ים שונות מתמודדות עם שינויים בטמפרטורה.

הסרת כימיקלים רעילים לשרידה בתנאי סטרס של חום

כאשר אורגניזמים נכנסים לסטרס הם מייצרים כמה כימיקלים רעילים. במרבית הזמן, כל אחד מהתאים בגוף יכול להסיר את הכימיקלים לפני שהם נעשים מסוכנים. לפעמים, במיוחד כשישנו סטרס רב מדי, תאים ייכשלו בהסרת כימיקלי הסטרס האלה. אז, הכימיקלים האלה יצטברו עד שהם יהפכו לרעילים ויגרמו נזק רציני לתאים. כימיקל שכיח אחד שעולה בתגובה לסטרס נקרא **Reactive Oxygen Species (ROS)**. ROS הוא תוצר לוואי רגיל של תהליך הנשימה התאית, שזהו המונח המדעי לאופן שבו תאים מפיקים את האנרגיה להם זקוקים כדי לחיות. סטרס מגביר את כמות האנרגיה שמויצרת על-ידי התאים, מה שמגביר גם את רמות ה-ROS. אחר שכמות גדולה מדי של ROS היא רעילה, ROS קושר להלבנה של שושנות ים, ממש כמו שמתרחש באלמוגים. בעיה גדולה אפילו יותר היא ששושנות ים צריכות להתמודד לא רק עם ה-ROS של עצמן אלא גם עם ROS מאצות שהן חיות איתן. האצות יכולות להעביר את ה-ROS שלהן לשושנות הים [3]. זה מעלה את הכמות הכוללת של ROS רעיל אצל שושנות הים. שושנת ים שיכולה להסיר באופן מספק את ה-ROS אפילו כשהיא נמצאת בסטרס, יכולה להתמודד בצורה טובה יותר עם טמפרטורות מאשר שושנות ים שמתקשות בהסרת ROS. השווינו את רמות ה-ROS בין שלוש שושנות הים שלנו לפני סטרס הטמפרטורה, ואחריו. שושנת הים של הים האדום הייתה עם רמת ה-ROS הנמוכה ביותר. התוצאה הזו אמרה לנו ששושנות ים מהים האדום יכולות לשרוד במים חמים מאחר שהן יכולות להסיר כימיקלים רעילים כמו ROS, מהר יותר משושנות ים אחרות. מאחר ששושנות ים קשורות לאלמוגים, סביר מאוד להניח שהתהליך של הסרת כימיקלים רעילים יכול לשמור גם על בריאותם של האלמוגים במים חמים.

אצות מסייעות לשושנות ים להסתגל לטמפרטורה

אנחנו יודעים שאצות יכולות להעביר ROS לשושנות ים. לכן, ככל שהאצות נמצאות יותר בסטרס, כך שושנות הים יהיו יותר בסטרס. במערכות מורכבות כמו שוניות אלמוגים, אנחנו לא יכולים לחקור אחד מבני הזוג ללא השני. ראינו ששושנות בים סוף שרדו במים חמים יותר מאחר שהן היו מסוגלים להסיר כימיקלים רעילים מהר יותר. לאחר מכן, היינו צריכים להבין האם האצות סייעו לשושנות הים או הזיקו להן. מדדנו את ריכוזי ה-ROS שיוצרו על-ידי האצה כשהיא חיה בתוך שושנת הים, בהשוואה למצב שבו היא חיה מחוץ לשושנת הים (איור 3).

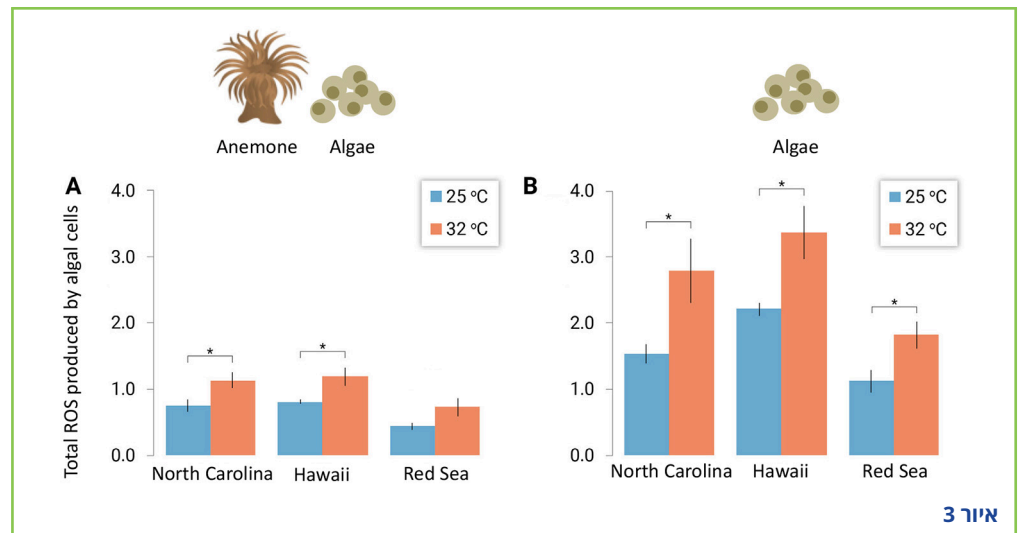
בשושנות הים של ים סוף, ראינו פחות ROS מאשר באצות שחיות בתוך ומחוץ לשושנות ים. זה אומר שאצות מים סוף היו פחות בסטרס מהטמפרטורות החמות מאשר אצות שחיו עם שושנות ים בצפון קרולינה או בהוואי. באמצעות התמודדות טובה יותר עם סטרס, האצות ייצרו פחות ROS. משמעות הדבר היא שפחות ROS נשלחו לשושנות הים, ואז שני האורגניזמים היו צריכים להתמודד עם פחות כימיקלים רעילים מאשר ששנות ים מאזורים אחרים. רמות ה-ROS מהאצות בשושנות ים אחרות הראו לנו שאצות אחרות רגישות יותר לחום (איור 3). אנחנו יכולים לראות שאצות יכולות לסייע לשושנות ים, ולכן גם לאלמוגים, להתמודד טוב יותר עם טמפרטורות גבוהות.

Reactive oxygen species (ROS)

תרכובת כימית שמשוחררת במהלך נשימה תאית, אשר יכולה להיות רעילה אם אינה מסולקת על-ידי התא.

איור 3

ROS שמיוצר על-ידי אצה שחיה ביחד עם אלמוגים ושושנות ים. (A) אצה שחיה בתוך שושנות ים נבדקה ביחס לרמת ROS גם בטמפרטורה של 25 מעלות צלזיוס וגם בסטרס של חום בטמפרטורה של 32 מעלות צלזיוס. (B) אצה שחיה מחוץ לשושנות ים נבדקה באותו האופן. הכוכבים שבין הטמפרטורות של שושנת הים מראים היכן היה שינוי חזק ברמות ה-ROS. הנתונים מראים שלאצות שחיות בשושנות הים של ים סוף היו כמויות ROS הכי קטנות בכל התנאים. [2] משמעות הדבר היא ששושנות ים ואצות בים סוף היו הכי פחות בסטרס כשהטמפרטורה עלתה.



איור 3

שושנות ים ואצות נמצאות יחד בסיפור הזה

חקירת התגובה של שתי בנות זוג שנמצאות בסטרס, גם שושנת ים וגם אצה, הראתה לנו כמה כל אחת מהן חשובה עבור השנייה. אם האצות לא מתמודדות טוב עם סטרס החום, שושנות הים יסבלו גם הן. תוצאותינו מראות ששושנות הים מהים האדום אינן שונות מאוד משושנות ים אחרות שמגיעות ממזרחים קרים. במקום זאת, הן פשוט מקבלות מעט יותר עזרה מהאצות החברות שלהן. מאחר ששושנות ים ואלמוגים קשורים זה לזה אנו מאמינים שהתוצאה הזו תהיה נכונה גם עבור אלמוגים. זה מראה כיצד שותפויות מסוימות של אלמוגים ואצות יכולות להוביל לתהליך הישרדות מוצלח יותר בסביבות של מים חמים. באמצעות הבנה טובה יותר של קשר האלמוג-אצה אנו מקווים שנוכל למצוא דרכים לסייע לשושנות אלמוגים לשרוד בעתיד.

מאמר המקור

Cziesielski, M. J., Liew, Y. J., Cui, G., Schmidt-Roach, S., Campana, S., Maronedze, C., et al. 2018. Multi-omics analysis of thermal stress response in a zooxanthellate cnidarian reveals the importance of associating with thermotolerant symbionts. *Proc. Biol. Sci.* 285:20172654. doi: 10.1098/rspb.2017.2654

מקורות

1. Matthews, J. L., Crowder, C. M., Oakley, C. A., Lutz, A., Roessner, U., Meyer, E., et al. 2017. Optimal nutrient exchange and immune responses operate in partner specificity in the cnidarian-dinoflagellate symbiosis. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 114:13194–9. doi: 10.1073/pnas.1710733114
2. Cziesielski, M. J., Liew, Y. J., Cui, G., Schmidt-Roach, S., Campana, S., Maronedze, C., et al. 2018. Multi-omics analysis of thermal stress response in a

zooxanthellate cnidarian reveals the importance of associating with thermotolerant symbionts. *Proc. Biol. Sci.* 285:20172654. doi: 10.1098/rspb.2017.2654

3. Downs, C. A., Fauth, J. E., Halas, J. C., Dustan, P., Bemiss, J., and Woodley, C. M. 2002. Oxidative stress and seasonal coral bleaching. *Free Radic. Biol. Med.* 33:533–43. doi: 10.1016/S0891-5849(02)00907-3

פורסם אונליין: 22 באוקטובר 2020

נערך על ידי: Christian Robert Woolstra, King Abdullah University of Science and Technology, Saudi Arabia

ציטוט: Cziesielski MJ and Aranda M (2020) עם קצת עזרה מחברים – כיצד אצות מסייעות לאלמוגים לשרוד בטמפרטורות לוחצות. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00028-he

תורגם והותאם: Cziesielski MJ and Aranda M (2019) With a Little Help From Friends—How Algae Help Corals Survive Temperature Stress. *Front. Young Minds* 7:28. doi: 10.3389/frym.2019.00028

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

COPYRIGHT © 2019 © Cziesielski and Aranda 2020. זהו מאמר בנישה 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

ARNAB, גיל: 14

אני תלמיד בן 14 שאוהב מחשבים ופריטים אחרים שקשורים לטכנולוגיה. אני אוהב לבנות דברים בלגו ולעסוק במדע. אני גם אוהב משחקי וידאו כמו Mario ו-Cities Skylines.

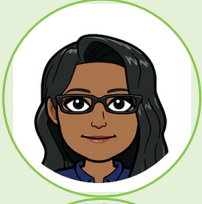
EVAN, גיל: 12

נולדתי ביוון. השיער שלי תמיד נראה לא טוב.

SUBHAAN, גיל: 13

אני מקנדה ואני אוהב ממים (memes, יחידת מידע תרבותית העוברת מדור לדור). אני אוהב את Marvel – הגיבור האהוב עליי הוא ספיידרמן, והרשע האהוב עליי הוא ונום.



**VARSHINI, גיל: 14**

אני נהנית ממדע מאחר שאני רוצה ללמוד על העולם, על קריאה ועל אומנות.

הכותבים**MAHA JOANA CZIESIELSKI**

אני דוקטורנטית בשנה אחרונה לדוקטורט באוניברסיטת המלך עבדאללה למדע ולטכנולוגיה. חקרתי את ההשפעות של שינויי האקלים על אלמוגים, ואת אוכלוסיית האצות הקטנה שחיה בתוך התאים שלהם. כשאיני עוסקת במדע, אני נהנית להיות פעילה פיזית במכון הכושר, בריקוד או בפעילויות שונות בחוץ.

*maha.olschowsky@kaust.edu.sa

MANUEL ARANDA

אני פרופסור לביולוגיה באוניברסיטת המלך עבדאללה למדע ולטכנולוגיה בערב הסעודית. אני חוקר מדוע אלמוגים רגישים כל כך לאקלים, וכיצד אנו יכולים לסייע להם. בזמני הפנוי אני אוהב לבשל ולשחק פלייסטיישן עם הבן שלי.

Hebrew version
provided by

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

