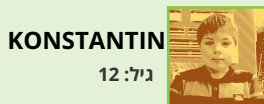
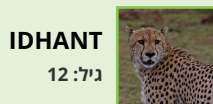
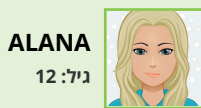


## תכולת בטן ייחודית: מיקרובי מעיים מרהיבים מסייעים לדגים אוכלי עשב לאכול אצות

Matthew D. Tietbohl<sup>1\*</sup>, David Kamanda Ngugi<sup>2</sup>, Michael L. Berumen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המחלקה למדעי ולהנדסת ביולוגיה וסביבה, מרכז מחקר ים סוף, אוניברסיטת קינג עבדאללה למדע ולטכנולוגיה, ת'וואל, ערב הסעודית  
<sup>2</sup>מכון לייבניץ DSMZ - האוסף הגרמני של מיקרואורגניזמים ותרבויות תאים בחברה עם אחריות מוגבלת (GmbH) במחלקה למיקרואורגניזמים, בראונשוויג, גרמניה

### סוקרים צעירים



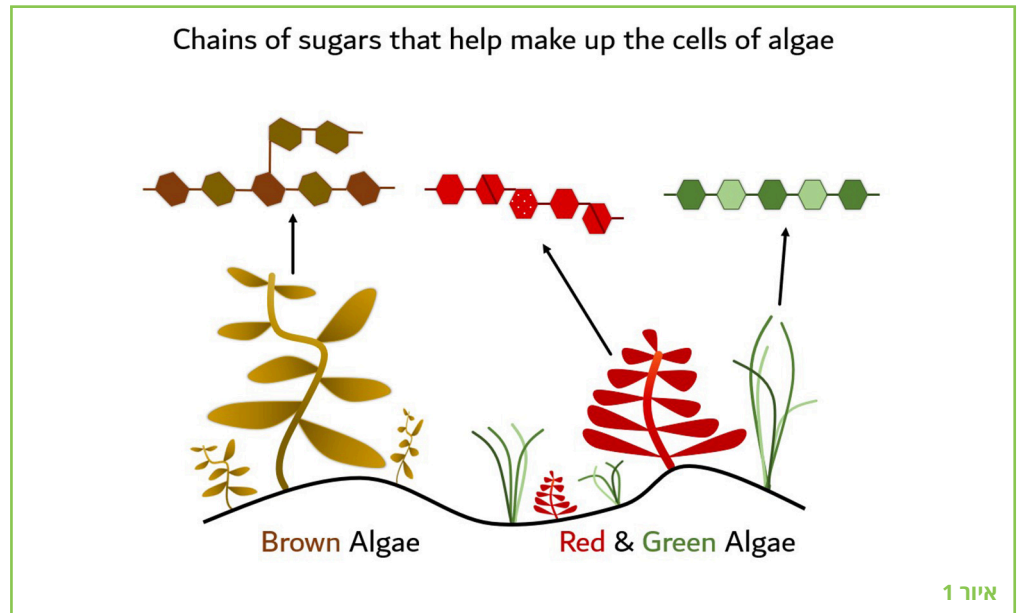
כל החיות מסתמכות על חברה ייחודית של מיקרובים שמסייעת להם לעכל מזון. זה נכון במיוחד בקרב חיות שאוכלות צמחים, אשר זקוקות לשילוב מורכב של חיידקי מעיים, שידועים כמיקרובים, כדי לעכל את החומר הצמחי הקשה שהן אוכלות. אולם כשזה נוגע לחיות אוכלות עשב בים, כמו חלק מהדגים, אנו יודעים הרבה פחות על התפקיד שמיקרובים ממלאים בסיוע בעיכול מזון. אצות ימיות שונות מצמחי יבשה באופנים רבים, כך שלמיני דגים אוכלי עשב יש ככל הנראה דרכים ייחודיות לעכלן. לכן, חקרנו את מיקרובי המעיים של כמה דגים אוכלי עשב בים סוף כדי לראות כיצד הם מסייעים לדגים לעכל את האצות. באופן מפתיע, מצאנו שאף על פי שלדגים האלה היו אוכלוסיות מיקרובי מעיים ייחודיות, כולן היו מורכבות ממגוונים שונים של סוג אחד של חיידק ענקי שנראה שהתפתח כדי לסייע להם לעכל את האצות האהובות עליהם!

### חשיבותן של אצות חלקלקות

מה אתם חושבים כשאתם שומעים את המילה "אצה"? האם זה נשמע לכם טעים? בעוד שהרבה אנשים חושבים על אצות כעל מסות ירוקות, חלקלקות ומסריחות שהם מתלפפים בהן בחוף הים או באגם, הרבה חיות חושבות שאצות הן די טעימות!

## איור 1

**דוגמאות לסוגים שונים של אצות, כולל הסוגים חום, אדום וירוק.** כל סוג אצה מכיל שרשראות סוכרים שונות, שידועות כרב-סוכרים, אשר מסייעות להרכיב את התאים שלהן. משמעות הדבר היא שכל דג זקוק לסוגים מיוחדים של אנזימים, או מספריים מולקולריים, כדי לקבל סיוע בשבירת כל אצה לחומרי מזון קטנים יותר אשר קל יותר לעכל. אם אין להם את האנזימים הנכונים, הם לא יהיו מסוגלים לשבור את מזון האצות שלהם.



זה נכון במיוחד עבור דגים שאוכלים צמחים, שגם נקראים דגים אוכלי עשב, אשר נמצאים בשוניית האלמוגים, ונעשו מומחים בהזנה מסוגים שונים של אצות.

אצות מגיעות בהרבה צורות וגדלים שונים, מאצות שיוצרות מבנים קצרים דמויי דשא וגדלות על סלעים מתחת למים, ועד לאצות שיוצרות מבנים גדולים וקשיחים דמויי-שיחים. אצות יוצרות סביבות מחיה חשובות להרבה חיות, אולם כמות גדולה מדי של אצות יכולה להרוג אלמוגים או להשתלט עליהם. זה יכול להוביל לכך ששוניות אלמוגים יאבדו את המבנה המורכב שמאפשר להן לאכלס אלפי מינים. דגים שאוכלים אצות ממלאים תפקיד חשוב, על ידי שליטה בכמות האצות שגדלות בשוניות האלמוגים. כשהם מסירים את האצות, הם גם יוצרים מרחב חדש שבו אלמוגים או חיות אחרות יכולים להשתקע ולגדול. על ידי אכילת אצות, הם מסייעים לשמור על שוניות האלמוגים בריאות ונקיות ממרבית האצות, מה שמאפשר לאלמוגים לגדול ולשגשג, ויוצר סביבת מחיה גדולה יותר עבור דגים וחיות אחרות לחיות בה!

אולם ישנה בעיה גדולה שהדגים אוכלי העשב האלה ניצבים בפניה כשהם אוכלים אצות. לא קל לעכלן! אצות, כמו כל היצורים החיים, מורכבות מתאים, כאשר כל תא מתמחה בתפקיד מסוים. התאים שמרכיבים אצות הם שרשראות גדולות ומורכבות של סוכרים, הנקראות **רב-סוכרים**. לאצות שונות יש את המבנה הייחודי שלהן של שרשראות הסוכר האלה בתוך התאים שלהן (איור 1). כדי לקבל אנרגיה מאצות, דגים אוכלי עשב צריכים לשבור את השרשראות הגדולות האלה. בתוך המעיים של דגים ישנן מולקולות שנקראות **אנזימים** (חשבו עליהן כמו על מספריים מולקולריים או כימיים) שיכולים לשבור את שרשראות הסוכר האלה לחלקים קטנים יותר שדגים יכולים לספוג בתוך גופם. ישנם הרבה סוגי אנזימים שונים כאלה, שמתפקדים כמו עובדים שונים בחברת בנייה. לכל אנזים יש תפקיד מסוים בשבירת חלקים שונים של האצה. אולם לא לכל הדגים יש את הסוגים הנכונים של אנזימים כדי לפרק אצה. אם כן, כיצד הם מסוגלים לקבל חומרי מזון מאצה שקשה לעכל אותה?

## רב-סוכר

## (Polysaccharide)

מקור אנרגיה שמורכב ממולקולות סוכרים שמחוברות יחד בשרשרת, כמו למשל בסוכר שולחני. סוכר שולחני גם הוא רב-סוכר שמורכב על ידי שתי מולקולות סוכר בודדות – גלוקוז ופרוקטוז – שמחוברות יחד.

## אנזים

## (Enzyme)

מולקולה שמסייעת להאיץ תגובות כימיות. בעיכול, אנזימים משמשים לשבירת קשרים כימיים בין מולקולות כדי לייצר מולקולות קטנות יותר וקלות יותר לעיכול, קצת כמו מספריים.

## מיקרובים מסייעים לעכל מזון

על היבשה, אנו יודעים הרבה על האופן שבו אוכלי עשב מעכלים רבי-סוכרים מורכבים בצמחים, שדומים במבנם לאצות. מרבית אוכלי העשב נסמכים על **מיקרובים** זעירים שחיים בתוך המעינים שלהם כדי לפרק צמחים. מיקרובי המעינים המיוחדים האלה פיתחו את האנזימים שהם זקוקים להם כדי לקבל אנרגיה ממזון, ואוכלי עשב, כמו פרות, נסמכים על מיקרובי המעינים שלהם כדי לפרק את העשב והחציר שהם אוכלים למולקולות שהם יכולים לספוג [1]. מיקרובים ממלאים תפקיד חשוב מאוד בלאפשר לחיות האלה לקבל אנרגיה ממזונות שהם לא יכולים לאכול בעצמם. בעוד שאנו יודעים הרבה על הקשר הזה וכיצד הוא פועל אצל חיות יבשה, עדיין איננו יודעים הרבה על האופן שבו הוא פועל בחיות ימיות. חשוב ללמוד על האופן שבו חיות ימיות, כמו דגים, מעכלות את המזון שלהן מאחר שזה מאפשר לנו להבין טוב יותר מה הן יכולות לאכול וכיצד הן חולקות מיני אצות שונים בינן לבין עצמן [2].

לכן, מטרת המחקר הזה הייתה לספק הצצה ראשונה לתוך חברת מיקרובי המעינים של דגי שוניות אלמוגים אוכלי עשב במטרה להבין עד כמה חשובים מיקרובי המעינים בסיוע לעיכול, ולראות אם דגים שונים מכילים חברות מיקרוביות שונות, או לא.

## מה עשינו

במטרה להבין כיצד דגים אוכלי עשב נסמכים על מיקרובי המעינים שלהם כדי לעכל אצות, אספנו דגימות מהקיבות של דגי נתחנים אוכלי עשב, כמו למשל *Bluespine unicornfish* ו-*Sohal surgeonfish*, בים סוף. אספנו דגים שידענו שאוכלים סוגים שונים של אצות כדי לראות אם ההבדלים בדיאטה יכלו לשנות את מיקרובי המעינים של הדגים. לאחר מכן, היינו צריכים לראות אם למיקרובים היו הכלים, או האנזימים, הנכונים שנדרשו כדי לפרק את האצות שנאכלו. כדי לעשות זאת, הסתכלנו על **תעתיקים**, שהם כמו הוראות בנייה שתאים משתמשים בהם ליצור מולקולות כמו אנזימים, שנוצרות על ידי מיקרובי המעינים של דגים!

## מה מצאנו

ראשית, מצאנו שמכל המיקרובים בבטנות של כל הדגים שדגמנו, היה סוג אחד של מיקרוב שהיה הכי שכיח - **אפולופיסיום**. **אפולופיסיום** (מבוטא "E-pool-oh-piss-ee-um") הוא מיקרוב ענק, גדול יותר מפי 1,000 ממיקרובי מעיים שכיחים אחרים, ורחב כמו רוחבה של שערה אנושית! באופן מעניין, לא רק שהמיקרוב הגדול הזה שולט בחברת מיקרובי המעינים, אולם דגים שונים נמצאו כבעלי סוגים שונים של **אפולופיסיום** שחיים בתוכם (איור 2)! הדגים שאכלו בעיקר אצות חומות הכילו סוגי **אפולופיסיום** שחיים בבטנות שלהם שלא נמצאו בבטנות של דגים אחרים, שאכלו בעיקר אצות ירוקות ואדומות. זה הראה שמאחר שהדגים האלה אכלו אצות שונות, הם היו זקוקים לסוגים שונים של חברות מיקרובי מעיים כדי לעכל את מזונם.

אכן, כאשר הסתכלנו על האנזימים שיוצרו על ידי המיקרובים העצומים האלה, מצאנו שהם ייצרו אנזימים מסוימים שיכלו לפרק רכיבים שונים של אצות שהדגים אכלו. משמעות הדבר היא שלדגים אוכלי עשב שאוכלים אצות חומות יש מיקרובי קיבה עם המכונות האנזימיות שנדרשות

### מיקרוב (Microbe)

יצורים חיים זעירים שנמצאים בסביבתנו ובתוכנו. הם כוללים סוגים של חיידקים, ומיקרואורגניזמים קשורים. הם ממלאים תפקיד חשוב בסיוע לחיות לעכל את מזונן.

### תעתיק (Transcript)

ידוע גם כרנ"א שליח, זהו עותק של פיסת דנ"א של התא. אלה הנחיות שבאמצעותן התא ידע כיצד לבנות סוגים שונים של חלבונים, כמו למשל אנזימים.

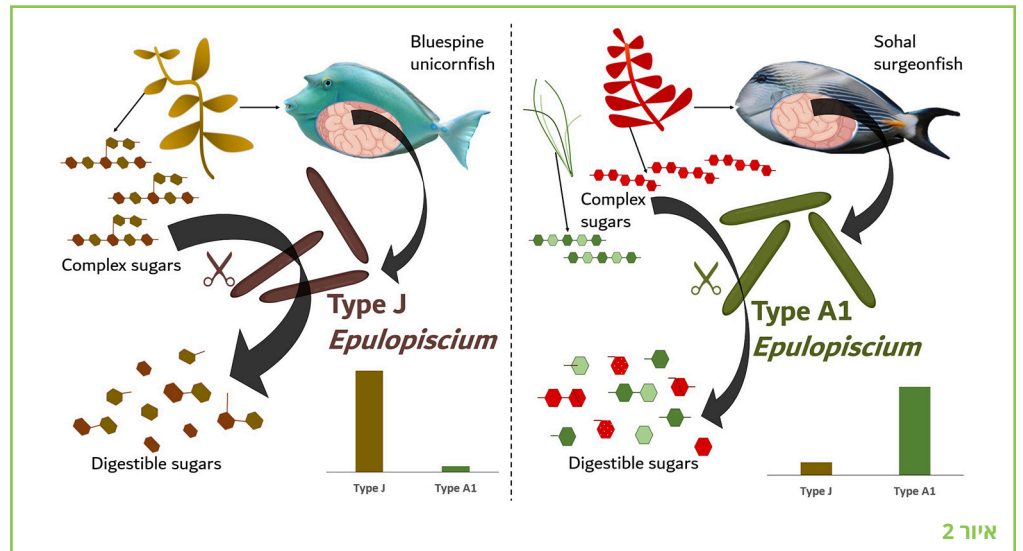
### אפולופיסיום (Eupulopiscium)

מיקרוב גדול (גדול יותר מרוחב של שערה, וקטן יותר מביצת צפרדע) שהתגלה כחי בתוך קיבות של סוגים מסוימים של דגים נתחנים.

**איור 2**

**דיאגרמה שמציגה את ההבדלים במיקרובי המעיים בין שני סוגי דגי נתחנים שאוכלים סוגי אצות שונים. דגי**

Bluespine unicornfish אוכלים בעיקר אצות חומות ומכילים מיקרובים עצומים מסוג *J Epulopiscium* בעוד שדגי Sohal surgeonfish אוכלים בעיקר אצות אדומות וירוקות ויש להם מיקרובים מסוג *A1 Epulopiscium*, שמוצגים בגרפים הקטנים שמראים את הכמות היחסית של כל סוג מיקרוב ענקי, המיקרובים העצומים האלה, שגודלם כגודלה של שגרת אדם, מתמחים בפירוק סוגי האצות המסיימים שהדגים המארחים שלהם אוהבים לאכול. הם עושים זאת על ידי שבירת קומפלקסים של שרשראות סוכרים, שנקראות רבי-סוכרים, לחתיכות קטנות יותר וקלות יותר לעיכול, באמצעות אנזימים שמיוצגים על ידי המספרים הצבעוניים. לקוחות מ-BioRender® ותמונות הדגים מ-FishBase.



**איור 2**

כדי לפרק את האצות החומות. אותם מיקרובי המעיים שאוכלים אצות חומות לא היו מוצלחים כל כך בפירוק אצות ירוקות או אדומות. מה שגילינו בפעם הראשונה הוא שדגים אוכלי עשב מכילים קבוצה מיוחדת של מיקרובי מעיים עם הכלים האנזימיים שנדרשים כדי לפרק את סוגי האצות המסיימים שהם אוכלים! זה היה מדהים ביותר, במיוחד מאחר שנראה שכל העיכול הזה הובל על ידי האפולופיסיים הענקי. בחיות אחרות, במיוחד ביונקי יבשה, ישנה חברת מיקרובי מעיים מגוונת יותר שכולם מסייעים לפרק את החומר הצמחי [3]. מתברר שדגים אוכלי עשב טרופיים שונים פיתחו דרך שונה, אולי ייחודית, של עיכול האצות המורכבות שהם אוכלים!

אפילו מצאנו שכמות המיקרובים העצומים האלה והאנזימים שלהם משתנים בתוך הקיבה של דגים במהלך היום (איור 3). אחרי שדגים אוכלי עשב מתעוררים, הם מתחילים את היום שלהם בחיפוש אצות לאכילה, ומבלים את מרבית יומם בחיפוש אחר מזונות האצה האהובים עליהם. במהלך היום כשהם אוכלים באופן פעיל, מיקרובי האפולופיסיים העצומים הם הפעילים ביותר ומייצרים הרבה אנזימים שמסייעים לפרק את האצות. אולם בלילה כאשר הדגים לא אוכלים ונחים, האפולופיסיים מאטים ומפסיקים לייצר כל כך הרבה אנזימים, מאחר שאין אצות חדשות בקיבה שנדרש לפרק. היות שהפעילות של אפולופיסיים נעה עם כמות האצות שהדגים אוכלים במהלך יום שלם, זה מספק ראיה חזקה לכך שהדגים האלה נסמכים באופן חזק על מיקרובי האפולופיסיים שלהם כדי שייעו להם לפרק את האצות שהם אוכלים!

**מה החשיבות של זה**

עשוי להיראות מובן מאליו שחברות מיקרובי המעיים של דגים הסתגלו לדיאטה של הדגים שהן חיות בתוכם. אולם זה משהו שאף אחד לא תיאר בפירוט קודם לכן. לתגלית הזו של הקשר הקרוב שבין מיקרובי אפולופיסיים לבין דיאטת הדג המארח יש השלכות גדולות על האופן שבו אנו מסתכלים על התנהגות של אכילת צמחים בשוניות אלמוגים. ראשית, ההבדלים הקבועים האלה בין סוגי מיקרובי המעיים מספקים דרך לדגים אוכלי עשב לאכלס את אותה שוניית האלמוגים, ולהיות בתחרות קטנה יותר על מקומות מזון מוגבלים. אם הם יכולים לצרוך רק אצות מסוימות ולעכלן, אז פחות סביר שהם יאכלו אצות שמינים אחרים מתמחים בעיכולן. שנית, זה אומר שהדגים האלה עשויים להיות מוגבלים יותר במה שהם מסוגלים לאכול, ביחס

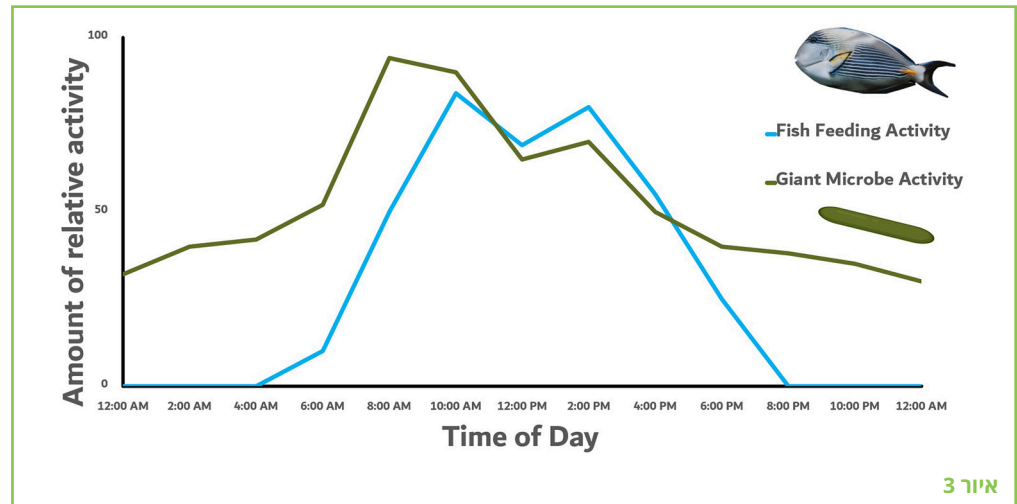
## איור 3

## גרף שמראה את פעילות האכילה של דג

## Sohal surgeonfish

## במהלך יממה. מצאנו

שפעילותם של המיקרובים העצומים אפולופיסיום עוקבת מקרוב אחרי פעילות ההזנה של הדג המארח שלה, ומספקת ראיות לכך שהם ממלאים תפקיד חשוב בסיוע לדגים לעכל את האצות שהם אוכלים במהלך היום. פעילותם של מיקרובים ענקיים גדולה יותר מאשר פעילות ההזנה מאחר שהם צריכים לאכול את האצות בבטן של הדגים אחרי שהם אוכלים את האצות. תמונת המיקרוב לקוחה מ-BioRender<sup>®</sup> ותמונת הדג לקוחה מ-FishBase.



איור 3

למה שחשבנו קודם לכן. דגים אוכלי עשב עשויים שלא להיות מסוגלים לקבל הרבה אנרגיה מסוגים שונים של אצות שהם בדרך כלל לא אוכלים. דברים כמו זיהום אוויר או שינוי אקלים יכולים לשנות את סוגי מיני האצות שנמצאים בשוניות אלמוגים, ועשויים לשנות את חברות הדגים אוכלי העשב כך שהם יורכבו רק מאותם דגים שיכולים לעכל את האצות השכיחות ביותר. אולם אנו גם יודעים שחברות מיקרובי המעיים עשויות שלא להיות תמיד יציבות, ויכולות להשתנות עם הזמן [4]. עם שינוי חברות האצות, דגים אוכלי עשב עשויים להיות מסוגלים לשנות את מיקרובי המעיים שלהם לסוגים אחרים שטובים יותר בעיכול אצות. אולם גמישותן של חברות מיקרובי המעיים היא משהו שאנו עדיין יודעים עליו מעט מאוד אצל דגים ימיים, והיא תחום חשוב למחקר עתידי!

דגי הנתחנים האלה שבים סוף לימדו אותנו הרבה על האופן שבו דגים אוכלי עשב תלויים במיקרובי המעיים העצומים שלהם כדי להיות מסוגלים לאכול אצות. אולם אנו הסתכלנו רק על כמה מינים, וישנם הרבה סוגים שונים של דגים אוכלי עשב בחוף. ככל שנלמד עוד על הקשר הייחודי הזה שבין דגים לבין מיקרובי המעיים שלהם בים סוף, כך נהיה מסוגלים יותר להבין כיצד דגים אוכלי עשב מסוגלים לתפקד פה, ובכל רחבי העולם!

## מאמר המקור

Ngugi, D. K., Miyake, S., Cahill, M., Vinu, M., Hackmann, T. J., Blom, J., et al. 2017. Genomic diversification of giant enteric symbionts reflects host dietary lifestyles. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 114:E7592–601. doi: 10.1073/pnas.1703070114

## מקורות

- White, B. A., Lamed, R., Bayer, E. A., and Flint, H. J. 2014. Biomass utilization by gut microbes. *Ann. Rev. Microbiol.* 68:279–96. doi: 10.1146/annurev-micro-092412-155618
- Miyake, S., Ngugi, D. K., and Stingl, U. 2015. Diet strongly influences the gut microbiota of surgeonfishes. *Mol. Ecol.* 24:656–72. doi: 10.1111/mec.13050

3. Ley, R. E., Hamady, M., Lozupone, C., Turnbaugh, P. J., Ramey, R. R., and Bircher, J. S., et al. 2008. Evolution of mammals and their gut microbes. *Science* 20:1647-51. doi: 10.1126/science.1155725
4. Jones, J., DiBattista, J. D., Stat, M., Bunce, M., Boyce, M. C., Fairlough, D. V., et al. 2018. The microbiome of the gastrointestinal tract of a range-shifting marine herbivorous fish. *Front. Microbiol.* 9:2000. doi: 10.3389/fmicb.2018.02000

פורסם אונליין: 07 בפברואר 2022

נערך על ידי: Rúben Martins Costa

מנחה מדעי: Walter Rich

**ציטוט:** Tietbohl MD, Ngugi DK and Berumen ML (2022) תכולת בטן ייחודית: מיקרובי מעיים מרהיבים מסייעים לדגים אוכלי עשב לאכול אצות. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00058-he

Tietbohl MD, Ngugi DK and Berumen ML (2020) A Unique Bellyful: Extraordinary Gut Microbes Help Herbivorous Fish Eat Seaweeds. *Front. Young Minds* 8:58. doi: 10.3389/frym.2020.00058

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

**COPYRIGHT** © 2020 © Tietbohl, Ngugi and Berumen 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

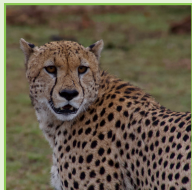
### ALANA, גיל: 12

קוראים לי Alana ואני אוהבת לקרוא את כל סוגי הספרים, ולצייר. הצבע האהוב עליי הוא כחול, והחיה האהובה עליי משתנה לעיתים קרובות מאוד. דמות הספר האהובה עליי היא Percy Jackson.



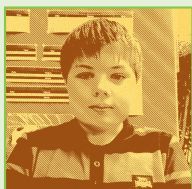
### IDHANT, גיל: 12

היי, אני אוהב לטייל וגם אוהב לגו. גרתי בצרפת במשך שנה. אני אוהב צילום. אני מהודו, אוהב קריאה, מדע, וחיי טבע. אוקיי, ביי.



### KONSTANTIN, גיל: 12

אני מקלינינגרד, רוסיה. יש לי אחות אחת שהיא בת שנה. אני אוהב תכנות ושנורקלינג. האוכל האהוב עליי הוא ניגירי. ביקרתי בחמש מדינות.



**LILIAN, גיל: 11**

היי, קוראים לי Lili! אני בת 11, ואני מדנבר, קולורדו, בארצות הברית. אני אוהבת לקרוא, במיוחד Percy Jackson. אני מקווה שתאהבו את המאמר שלנו.

**SHIRHAN, גיל: 12**

היי, קוראים לי Shirhan וגדלתי בבוסטון. אני אוהבת לקרוא הרבה ספרים, בעיקר Wing of Fire, ואני מקווה שתאהבו את המאמר שלנו!

**הכותבים****MATTHEW D. TIETBOHL**

Matt חווה את אהבתו הראשונה לים כאשר הוא הרים סלעים באזור ה-intertidal zone בג'מייקה, והוא בקושי הביט לאחור מאז. Matt תמיד נדהם מהמגוון של מינים וצורות שנמצאים מתחת לפני הים. בשילוב עם אהבתו לבלות זמן בחוף, וסקרנותו הבלתי נדלית, הוא מצא את עצמו לומד לתואר שני ואז לדוקטורט בערב הסעודית, וחוקר את ים סוף. הוא נרגש מלמידה נוספת על דגי שוניות אלמוגים אוכלי עשב, ועל השיטות המרגשות החדשות להבין טוב יותר כיצד הם משתמשים ומסייעים לשוניות אלמוגים ברחבי העולם.

\*matthew.tietbohl@kaust.edu.sa

**DAVID KAMANDA NGUGI**

דוקטור David Kamanda Ngugi הוא אקולוג של מיקרובים עם מיקוד מיוחד במערכות אקולוגיות ימיות. הוא מתעניין במיוחד בשימוש בשיטות חדשניות כדי להבין את ההסתגלויות האבולוציוניות והתפקידים של מיקרובים "נדירים" באוקיינוס. דוקטור Ngugi חקר מיקרובים בכל רחבי העולם, החל מקניה ועד לערב הסעודית, גרמניה ומקומות רבים נוספים. עבודתו מתמקדת בהוראת מידע מפתח על התפקידים שמיקרובים ממלאים במחזור של חומרי מזון בסביבות קיצוניות, ובמערכות מעיים, כמו אצל דגים אוכלי עשב!

**MICHAEL L. BERUMEN**

דוקטור Michael Berumen פיתח לראשונה אהבה לחיים התת-ימיים בזמן שסייר בנהרות ובאגמים של ארקנסו, ארצות הברית. הוא המשיך לחקור דגי פרפר בשוניות המחסום הגדולה באוסטרליה, ולאחר מכן הוא מיקד את מחקריו בתנועה ובקישוריות של דגי שוניות אלמוגים. כיום הוא עובד בערב הסעודית, היכן שהמעבדה שלו חוקרת לא רק תנועת דגים, אלא גם הרבה היבטים מרגשים אחרים של אקולוגיה ושל מגוון ביולוגי. כפי ש-Mike מספר לכל הסטודנטים שלו, תמיד יש משהו מרגש ללמוד בכל טיול החוצה לים!

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



הוצאת פרונטירה מדע לצעירים ישראל  
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK