



אפילו גיבורי-על זקוקים לפעמים לעזרה: שלושה סיפורים מדהימים על סימביוזה עם חיידקים

Cassie L. Ettinger^{1*}, Laetitia G. E. Wilkins², Katherine E. Dahlhausen¹, Sonia L. Ghose³, Daniel Oberbauer¹, Jonathan A. Eisen^{1,3,4}, David A. Coil¹

¹מרכז הגנום, אוניברסיטת קליפורניה, דיוויס, קליפורניה, ארצות הברית

²המחלקה למדעי הסביבה, מדיניות וניהול, אוניברסיטת קליפורניה, ברקלי, קליפורניה, ארצות הברית

³המחלקה לאבולוציה ולאקולוגיה, אוניברסיטת קליפורניה, דיוויס, קליפורניה, ארצות הברית

⁴המחלקה למיקרוביולוגיה ואימונולוגיה רפואיות, אוניברסיטת קליפורניה, דיוויס, קליפורניה, ארצות הברית

סוקרת צעירה

SHUBHAANGI

גיל: 10



לא משנה אם אתם מסתכלים על עיר צפופה, על מדבר מרוחק או למטה לעומק קרקעית האוקיאנוס, בכל מקום תמצאו יצורים חיים הנמצאים ביחסי גומלין אלה עם אלה. כאשר יחסי הגומלין נמשכים לפרק זמן ארוך, קוראים לזה סימביוזה. כאן נחקור שלוש דוגמאות שונות לסימביוזה, שעליהן נספר בעזרת שימוש בגיבורי-על! תחילה נצלול אל תוך האוקיאנוס ונספר לכם את סיפור הדיונון בעל כוחות-העל המאפשרים לו להאיר בחושך כמו פנס. אחר כך נטייל למעלה אל העצים של אוסטרליה, שם תפגשו את העוזרים של גיבורי-העל אשר מסייעים לחבריהם, הקואלות הפרוותיות, לעכל רעל. לבסוף, היכנו לפגוש נבל אשר מאיים על צפרדעים ברחבי העולם. מה שמייחד את הדוגמאות האלה הוא שאחד היצורים בכל סימביוזה קטן כל כך שאפילו איננו מסוגלים לראותו ללא עזרת מיקרוסקופ! יצורים חיים אלה, הנקראים מיקרואורגניזמים, חשובים בדיוק כמו בעלי החיים והצמחים שאנו יכולים לראות.

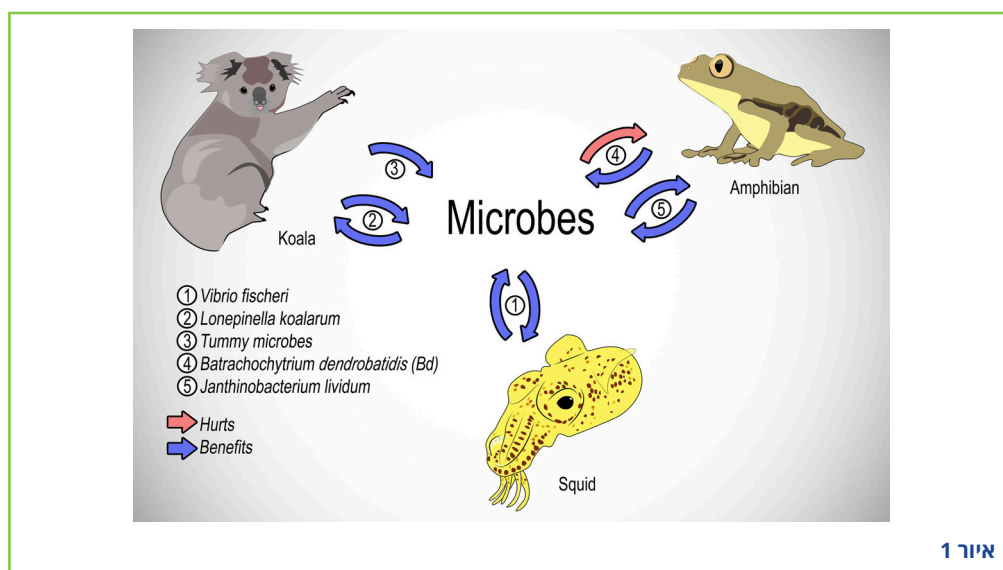
גיבורי-על, חברים ורשעים

תארו לעצמכם שאתם רוצים לכתוב קומיקס על גיבור-על. ברור שתזדקקו לגיבור-העל, כוכב ההצגה. אבל, מה עוד נחוץ לכם? מה לגבי שותף, מישהו שעוזר לגיבור? מה לגבי בני אדם שיש להציל? אולי נָבֵל מרושע שצריך להילחם בו?

בביולוגיה, הֶקְשָׁרִים בין גיבורי-העל ובין כל אחת מהדמויות האלה (עוזר, בני אדם שֵׁיֵשׁ להציל ונבל) נקראים **"סימביוזה"**. החיים על פני כדור הארץ מלאים ביחסי סימביוזה מסוגים שונים, ואנו יכולים לראותם בכל מקום שבו נסתכל. האם אתם יכולים לחשוב עכשיו על דוגמה? לסוג של סימביוזה בין גיבור-העל ובין העוזר, שבה הם תמיד שומרים זה על זה, קוראים **הֶדְדִיּוּת (מוטואליזם)**. זו מילה מהודרת שכונתה: "עוזרים זה לזה". לסוג של סימביוזה שבה גיבור-העל מציל מישהו שנמצא בצָרָה קוראים **קוֹמְנְסָלִיזְם**, ורק אחד מהשניים מרוויח מכך. לסוג של סימביוזה שבה נבלים פוגעים באחרים ובכך עוזרים לעצמם בלבד קוראים **טפילות**.

תמיד יש לנו קשרי גומלין עם יצורים חיים אחרים. קשרי גומלין אלה כוללים את המשפחות שלנו, מורים, חברים וחיות מחמד. הם גם כוללים טריליונים של יצורים חיים בלתי נראים, הנקראים **מיקרואורגניזמים**, שחיים בתוך גופנו ועליו. אף פעם איננו שמים לב לרוב המיקרואורגניזמים האלה, אבל הם חיים בכל מקום סביבנו. חלק מהמיקרואורגניזמים האלה מְקַלְּים על חיינו (עוזרים), בעוד שאחרים עלולים לגרום לנו לחלות (נבלים).

כעת אנו מתכוונים להציג בפניכם שלושה גיבורי-על, ולחקור את יחסי הגומלין שלהם עם החיידקים החיים סביבם (איור 1). הדוגמה הראשונה מתארת הֶדְדִיּוּת מלהיבה, שבה גיבורי-העל ועוזריהם פועלים בעבודת צוות כדי להאיר בחושך. אחר כך נתאר לכם דוגמה שבה חיידקים חיים בתוך בעל חיים אוסטירלי שֶׁנֶבֶה לב – דוב הקואלה. רוב חיידקי המעי פשוט מסתובבים שם בלי ששימו לב אליהם – מקרה טיפוסי של קומנסליזם, אבל אנו גם נציג בפניכם חיידק מעי קטן אחד שיכול לעזור לקואלות לאכול רעל! הדוגמה שלנו לטפילות, אשר כרוכה בחיידק נוראי השוחה במים מתוקים ומנסה להרוג צפרדעים, ודאי תגרום לכם לצמרמורת. אבל, אל דאגה. הגיע לאזור חבר חדש שיכול לעזור לצפרדעים להביס את הנבל המרושע.



סימביוזה

(Symbiosis)

יחסי גומלין צמודים ולטווח ארוך בין שני אורגניזמים (יצורחי, בעל חיים או צמח) או יותר.

הדדיות - מוטואליזם

(Mutualism)

סוג של סימביוזה שבה שני האורגניזמים מפיקים תועלת מיחסי הגומלין ביניהם.

קומנסליזם

(Commensalism)

סוג של סימביוזה שבה אורגניזם אחד מפיק תועלת מיחסי הגומלין, אבל האחר אינו מושפע מהם.

טפילות

(Parasitism)

סוג של סימביוזה שבה אורגניזם אחד מפיק תועלת מיחסי הגומלין, אבל האחר ניזוק מהם.

מיקרואורגניזמים

(Microbes)

יצורים חיים זעירים כמו חיידקים ופטריות, שאינם נראים לעין האנושית.

איור 1

הסימביוזה של שלושה גיבורי-על. כאן אפשר לראות את שלושת גיבורי-העל שלנו (דינוזור, קואלות וצפרדעים) ביחסי גומלין עם חבריהם החיידקיים ועם אויביהם (השמות הלטיניים מופיעים למעלה, ממספרים 1-5). חיצים כחולים מראים על היצור שמפיק תועלת מיחסי הגומלין (הדדיות או קומנסליזם), וחיצים אדומים מראים על היצורים שנפגעים (טפילות).

האם אתם מפחדים מהחושך? כך גם הדיונון!

תארו לעצמכם נְשִׁישׁ בגופכם פנס מְבִנָּה שאותו אתם יכולים להפעיל כאשר אתם מפחדים. כאלה הם החיים של הדיונון עגול הזנב מהוואי, *Euprymna scolopes*. אבל, בְּמִקּוֹם פנס לדיונון יש על בטנו איבר אשר מְשַׁמֵּשׁ בית לחיידקים זוהרים הנקראים ויבריו (*Vibrio fischeri*) [1]. הדיונון יכול להורות לחיידקי הוויבריו שבאיבר להאיר, בדיוק כמו לחיצה על מתג כדי להפעיל פנס. האם אתם יכולים לחשוב על סיבה טובה לכך שהדיונון ירצה לעשות זאת? מדענים גילו שכאשר הדיונון מפעיל את הפנס המובנה שבבטנו יצורי ים גדולים ורעבים המסתכלים כלפי מעלה מהמעמקים יחשבו שהאור מהדיונון הוא אור הירח. יצורים רעבים שיסתכלו מלמעלה כלפי מטה לא יראו דבר כי האור מהוויבריו גורם לכך שלא יהיה לדיונון צל. על-ידי זְהִירָה כמו פנס הוויבריו מעניקים לדיונון ביעילות את הכוח להיות בלתי נראה! המדענים קוראים לסוג זה של יחסי גומלין בין הדיונון ובין הוויבריו הזוהרים הדדיות – דרך אחרת לְתַאֵר גיבורים וחברים בחיים האמיתיים. הדיונון והוויבריו עשו עֶסְקָה טובה! עכשיו יש לדיונון כוח להתחבא מיצורים מפחידים אשר רוצים לאכול אותו, ולוויבריו יש מקום חמים ונעים לְחִיּוֹת בו, ואת כל המזון שהם רוצים, הודות לכך שהם חיים בתוך איבר האור של הדיונון.

ייתכן שעכשיו אתם תוהים: איך הפכו הוויבריו להיות חברים של הדיונון מלכתחילה? הדיונונים אינם נולדים עם חבריהם הזוהרים, ולכן הם צריכים לחפש אותם בין כל המיקרואורגניזמים אשר נמצאים במי הים שסביבם, כדי למצוא אותם. הם תופסים את הוויבריו במְעִין מלכודת מיוחדת דמוית ריר המצויה בצד החיצוני של הבטן שלהם, אשר משמשת גם לסילוק מיקרואורגניזמים אחרים שעלולים להיות רשעים. ברגע שהדיונון מוצא את חבריו, הוויבריו הזוהרים ינועו מהמלכודת דמוית הריר אל תוך איבר האור שבבטן הדיונון, ומְשִׁשׁם הם יעזרו לדיונון להיות בלתי נראה לרשעים שמחכים לו במעמקים.

רעל לארוחת ערב? כן, בבקשה!

האם אתם יכולים לתאר לעצמכם שאתם אוכלים את אותו מזון במשך כל חייכם? איזה שעמום! עכשיו, תארו לעצמכם שאותו מזון יחיד הוא רעל... אֵיכֶס! אבל, זה בדיוק מה שעושות הקואלות – הן ניזונות מעלי עץ אקליפטוס מְדִי יום ביומו. בְּעֵלִים של עצי האקליפטוס יש רעלים המונעים מרוב בעלי החיים לאכול אותם, אבל לא מהקואלות! זו תכונה מגניבה של גיבורי-על! אבל, איך הקואלות יכולות לשרוד אם אינן אוכלות דבר מלבד עלים רעילים? מתברר שבמעיי של הקואלות נמצאים חיידקים מיוחדים שעובדים ממש קשה כדי לִפְרֹק את המרכיבים הרעילים שבעלים לחתיכות קטנות יותר שאינן מזיקות לקואלות. רוב החיידקים במעי של הקואלה סתם מסתובבים שָׁם, וזו דוגמה טובה לקומנסליזם, כלומר חיידקים אלה אינם עוזרים לִפְרֹק את הרעלים, אבל הם גם אינם מזיקים לקואלות. חיידקים מסוג אחד הנקראים *Lonepinella koalarum*, שיכולים לִפְרֹק את העלים, הם לוחמי-רעל חשובים שיש להם יחסי הדדיות עם הקואלות [2]. המדענים עדיין לומדים על חיידקים אלה אשר מְשַׁמְּשִׁים חברים לקואלות, גיבורות-העל שלהם.

חיידק זה וחיידקים אחרים שהם לוחמי-רעל במעי הקואלה חשובים להישרדותה, עד כדי כך שהקואלות נותנות את החיידקים האלה לתינוקות שלהם. איך? ניחשתם נכון! התינוקות

אוכלים צוֹאָה! איכככס, מגעיל! זה קורה כאשר קואלה תינוק, שבאוסטרליה נקרא "ג'ואי", הוא עדיין זעיר מאוד וחי בתוך הכיס של האם. הג'ואי זוחל אל מחוץ לכיס של האם במיוחד כדי לאכול צואה. מדענים מאמינים כי הג'ואים עושים זאת כדי לקבל מהצואה של האם את כל החיידקים לוחמי-הרעל. החיידקים בצואת האם מגיעים למעי של הג'ואים, קובעים בו את ביתם ומתכוננים לעבודה!

האם רשע אורב באגם הסמוך לכם?

האם אי פעם סבלתם מזיהום בחתך בעורכם? זיהומים על העור מתחילים כאשר מיקרואורגניזמים מסוימים מחליטים לגדול עליכם ולא לאפשר לכם להחלים! אף שרוב המיקרואורגניזמים אינם גורמים בעיות לבעלי חיים ולצמחים, יש מיקרואורגניזמים מסוימים שפועלים בטבע בתפקיד הנבלים. דוגמה אחת לכך היא חיידק התוקף את העור של **דו־חיים**, וגורם להם לחלות. הרשע החיידקי ביחסי גומלין אלה, הנקרא *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd בקיצור), שוֹקָה באגמים ובנחלים עד שהוא מוצא צפרדע או סלמנדרה, ונצמד לעור שלה. זו דוגמה לטפילות כי הדו־חיים ניזוקים בעוד שהנבלים זוכים לגדול ולהתרבות. דו־חיים משתמשים בעור שלהם כדי לנשום ולספוג חומרי הזנה חשובים. לכן, כאשר Bd גדל על כל העור שלהם הוא מחליש את בעל החיים, וזה מתחיל להיחנק. בעל החיים ינסה להשיב מלחמה על-ידי הִשְׁלַת עורו והפרשת חומרים לשכבה הרירית של העור שלו, אולם לעיתים קרובות הדבר אינו מספיק כדי להיפטר מהנבל [3].

המחלה שה-Bd מעוררים הרגה המוֹנִי דו־חיים ברחבי העולם, והמוות של הדו־חיים משפיע על כולנו. אם כל הצפרדעים והסלמנדרות ייעלמו, כדור הארץ יהיה בצרות צרורות. למשל, דו־חיים ניזונים מחרקים רבים כגון יתושים טורדניים שעלולים להפוך לבעיה אמיתית אם כמותם תהיה רבה מדי. זו רק סיבה אחת לכך שחשוב למדענים להבין איך לעזור בהצלת הדו־חיים, בטרם יגרום ה-Bd להיעלמות של צפרדעים רבות יותר.

גיוס חברים חדשים לקרבות העתידיים להגיע

מחקר מדעי עזר לנו ללמוד על מיקרואורגניזמים שיכולים לפעול כעוזרים כדי להגן עלינו מפני נבלים. למשל, החיידק *Janthinobacterium lividum* מסייע לִהְגֵן על דו־חיים מפני Bd. דו־חיים משתמשים בחומרים שעל פני העור שלהם כדי להרחיק מיקרואורגניזמים מסוימים וכדי לעודד את הגידול של עוזרים כגון *J. lividum*. הדבר מעניק ל-*J. lividum* מקום נחמד ועשיר בחומרי הזנה לְחִיּוֹת בו. בתמורה, *J. lividum* מספֵק יתרונות לדו־חיים. יתרון אחד של *J. lividum* הוא שכאשר הוא נלחם עם Bd על העור של הדו־חיים הוא הורג את ה-Bd ומציל את בעל החיים מפני המחלה [4]. האם נוכל להציל דו־חיים על-ידי הִתְדַרְת יותר עוזרי גיבורי-על לעור שלהם? אולי! ממש עכשיו, מדענים רבים מנסים להבין זאת על-ידי עריכת מחקרים על הקרב המתנהל בין גיבורים לנבלים, ועל התפקיד החשוב שמשחקים בו העוזרים. מדענים יכולים להשתמש בִּידַע שלהם על סימביוזה כדי לעזור לשמור על בריאותם של צמחים ושל בעלי חיים (כולל אנו, בני האדם!).

דו־חיים (Amphibians)

קבוצת בעלי חיים הכוללת צפרדעים וסלמנדרות. מאפיין את בעלי חיים אלה שהם חיים חלק מחייהם במים וחלק ביבשה.

מקורות

1. McFall-Ngai M., and Ruby E. 1991. Symbiont recognition and subsequent morphogenesis as early events in an animal-bacterial mutualism. *Science* 254:1491–4. doi: 10.1126/science.1962208
2. Goel G., Puniya A. K., and Singh K. 2007. Phenotypic characterization of tannin protein complex degrading bacteria from faeces of goat. *Small Rumin. Res.* 69:217–20. doi: 10.1016/j.smallrumres.2005.12.015
3. Rollins-Smith L. A., Ramsey J. P., Pask J. D., Reinert L. K., and Woodhams D. C. 2011. Amphibian immune defenses against chytridiomycosis: impacts of changing environments. *Integr. Comp. Biol.* 51:552–62. doi: 10.1093/icb/icr095
4. Becker M. H., Brucker R. M., Schwantes C. R., Harris R. N., and Minbiole K. P. C. 2009. The bacterially produced metabolite violacein is associated with survival of amphibians infected with a lethal fungus. *Appl. Environ. Microbiol.* 75:6635–8. doi: 10.1128/AEM.01294-09

פורסם אונליין: 31 במאי 2019

נערך על ידי: Helena Martha Ramirez-Bahena, Consejo Superior de Investigaciones Cientificas (CSIC), Spain

ציטוט:

Ettinger CL, Wilkins LGE, Dahlhausen KE, Ghose SL, Oberbauer D, Eisen JA and Coil DA (2019) אפילו גיבורי-על זקוקים לפעמים לעזרה: שלושה סיפורים מדהימים על סימביוזה עם חיידקים. *Front. Young Minds* doi: 10.3389/frym.2018.00050-he

תורגם והותאם:

Ettinger CL, Wilkins LGE, Dahlhausen KE, Ghose SL, Oberbauer D, Eisen JA and Coil DA (2018) Even Superheroes Need Help Sometimes: Three Incredible Tales of Microbial Symbiosis. *Front. Young Minds* 6:50. doi: 10.3389/frym.2018.00050

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

Ettinger, Wilkins, Dahlhausen, Ghose, Oberbauer, 2019 © 2018 © **COPYRIGHT** Creative Commons Attribution. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון. Eisen and Coil 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.

סוקרת צעירה

SHUBHAANGI, גיל: 10

אני אוהבת לעשות דברים המְעִרְבִים בני משפחה. אני פעילה בספורט ולומדת קְרָטָה מגיל 6. אני אוהבת מדע.



הכותבים

CASSIE L. ETTINGER

סטודנטית לתואר דוקטור במחלקה לגנטיקה ולגנום באוניברסיטת קליפורניה, דיוויס, במעבדה של ד"ר Jonathan Eisen. בשנת 2013 סיימה תואר BA באוניברסיטת קליפורניה, ברקלי, בנושא ביולוגיה מולקולרית ותאית, בדגש על גנטיקה, גנומים והתפתחות, במעבדתו של ד"ר Ellen Simms, על סימביוזה בין צמחים-מיקרואורגניזמים. בעבודת הדוקטורט שלה חקרה את יחסי הגומלין בין מיקרואורגניזמים ובין צמחי ים, המְכָרִים כאצות (<http://seagrassmicrobiome.org/>). *clettinger@ucdavis.edu.



LAETITIA G. E. WILKINS

תלמידת מחקר משווייץ. היא מוקסמת מיחסי גומלין בין בעלי חיים ובין מיקרואורגניזמים שהם עתיקים מאוד, והיא רוצה ללמוד כיצד מיקרואורגניזמים עזרו לבעלי החיים המאכסנים שלהם לשרוד. היא זוכה לבקר באזורי טבע לְשֵׁם דֵיג וצלילה, אבל לפעמים עליה גם לשהות שבועות ארוכים בחדר קירור לצורך ניסוייה. בדרך כלל, בן זוגה ושני ילדיה מלווים אותה בהרפתקאות שלה. חשובה לה חשיבה מגוונת וביקורתית, והיא מסייעת לחוקרים בעלי משפחה להצליח באקדמיה.



KATHERINE E. DAHLHAUSEN

קתרין סיימה את לימודיה בקולג' לואיס וקלרק בפורטלנד, אורגון, בתואר כפול בפיזיקה וביולוגיה. אחר כך היא עברה לקליפורניה כדי להתחיל בעבודת הדוקטורט באוניברסיטת קליפורניה דיוויס, במעבדה של הבוס הסופר-מגניב שלה, ד"ר Jonathan Eisen. יש לה מגוון רחב של תחומי עניין ומחקר, אבל המחקר המרכזי שלה נועד להבנת האופן שבו תרופה יכולה לשנות מושבות של מיקרואורגניזמים בקואלות. היא אפילו זכתה לחיות באוסטרליה למשך חודשים אחדים כדי לאסוף צואת קואלה טרייה עבור אחד המחקרים שלה.



SONIA L. GHOSE

תלמידה לתואר דוקטור באוניברסיטת קליפורניה, דיוויס, במעבדה של ד"ר Jonathan Eisen. בשנת 2010 סיימה סוניה תואר ראשון בקולג' אוקסידנטל. אחר כך במשך שלוש שנים עבדה בפרויקט מחקר הקשור לדורחיים, באקדמיה למדע של קליפורניה בסן פרנסיסקו. כיום סוניה חוקרת את העור של הדורחיים, ואת יחסי הגומלין בין *Batrachochytrium dendrobatidis* ובין מיקרואורגניזמים אחרים הנמצאים על העור. היא להוטה לשימור הדורחיים, וזוכה לבצע מחקר ממש מגניב בסיירה נבדה.



DANIEL OBERBAUER

סטודנט לתואר ראשון הלומד מיקרוביולוגיה באוניברסיטת קליפורניה, דיוויס. דניאל עובד במעבדה של ד"ר Jonathan Eisen באיסוף מיקרואורגניזמים מיונקי דבש. הוא מתעניין במחלות מדְבָקוֹת, ומקווה לעבוד במרכזים למניעת מחלות ולבקרן (CDC) כדי למנוע את ההתפשטות של מחלות מדבקות. דניאל שואף לעבוד יום אחד באו"ם ולעזור לשמור על העולם מפני כלי נשק ביולוגיים, כימיים ונרעיניים.



JONATHAN A. EISEN

פרופסור באוניברסיטת קליפורניה, דיוויס, וקצת משוגע לְדָבָר בכל הקשור למיקרואורגניזמים. הוא חקר מיקרואורגניזמים בתואר הראשון שלו בקולג' של הארוורד (על סימביונטים מועילים של צדפות ושל תולעי האבצ), כסטודנט לתואר דוקטור באוניברסיטת סטנפורד (על האבולוציה של מיקרואורגניזמים, במיוחד אלה החיים בסביבות קיצוניות), ובתפקידו האקדמיים בעבר ובהווה (על מושבות של מיקרואורגניזמים, על יחסי הגומלין ביניהם ובין המאכסנים שלהם ועל שיטות לחקר מושבות אלה). הוא גם בְּלוֹגֵר פעיל אשר מעת לעת זוכה בפרסים, ומְתַקְשֵׁר מדע.



**DAVID A. COIL**

חוקר מיקרואורגניזמים באוניברסיטת קליפורניה, דיוויס, במעבדה של ד"ר Jonathan Eisen. בשנת 2005 סיים תואר דוקטור שבו חקר כיצד נגיפים חוזרים לתאים. מאז הוא עסק ברשעים חיידקיים ובמגוון רחב של מיקרואורגניזמים מעניינים ממקומות מגניבים כולל עכוזי חתול, יונקי דבש, אצות ותחנות חלל. הוא מתעניין במיוחד בחינוך ובתקשור מדע לציבור.

Hebrew version
provided by

[מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים \(ער.\)](#)
[متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس](#)
 Bloomfield Science Museum Jerusalem

