

העולם שבפנים: החיים בתוך המעי

David W. Waite^{1*}, Siân I. Morgan-Waite², Michael W. Taylor³

¹המרכז האוסטרלי לאקו-גנומיקה, הפקולטה לכימיה ולביולוגיה מולקולרית, אוניברסיטת קווינסלנד, סנט לושיה, קווינסלנד, אוסטרליה
²תיכון בנות ווסטלייק, אוקלנד, ניו זילנד
³הפקולטה למדעי הביולוגיה ומרכז מוריס ווילקינס לתגליות ביולוגיות מולקולריות, אוניברסיטת אוקלנד, ניו זילנד

סוקרים צעירים

BRIAN
גיל: 10



ELSA
גיל: 10



YOONSA
גיל: 9



לכולנו יש חיידקים במעי - כמו לכל החיות, כולל עופות. החיידקים האלה מועילים לנו בצורות רבות, ועוזרים לנו לעכל את המזון שאנחנו אוכלים. בדרך כלל, אצל חיות מאותה משפחה (כמו כלבים ותנים) נמצאות קבוצות דומות של חיידקי מעיים. לא ברור בדיוק למה. אולי זה מפני שחיות דומות אוכלות מזון דומה, או בגלל נקודות דמיון אחרות בין אותם מינים של בעלי חיים - אולי אפילו פשוט מפני שהם חיים קרוב זה לזה. עשינו ניסוי מדעי כדי להבין מדוע לחיות שיש ביניהן קרבה גנטית יש חיידקי מעיים דומים, אבל התוצאות לא היו פשוטות כפי שקיוונו. כאן אנחנו מסבירים את הצעדים שעשינו בניסיון לענות על השאלה.

חיות, חיידקים ו"מיקרוביום"

נוצות צבעוניות, שירה נעימה, מעוף, דאייה, ניתור. כל אלו הם רעיונות שעולים במוחנו כשאנחנו חושבים על ציפורים. רובנו יודעים את שמות הציפורים בסביבה, ומבחינתנו ציפור היא בעל חיים קטן ומעופף שאוכל גרעינים, פירות או חרקים. אבל מה בנוגע לציפורים שאינן מתאימות לתיאור הזה? הפינגווין אינו מעופף, ושוחה באוקיאנוס לצוד דגים. גם היען לא יכול לעוף, והוא גבוה וכבד יותר מגבר בוגר. הנשר אוכל מזון רקוב. מיני הציפורים שונים ומגוונים ממש כמו מיני היונקים. יש יונקים מכל הצורות והגדלים, מעטלפים ועד דולפינים, בני אדם, וצבועים. למרות ההבדלים הרבים בין בעלי החיים האלה, יש לכולם דבר אחד במשותף. כל אחד

מהם הוא הבית של מיליארדי פטריות וחיידקים מיקרוסקופיים הנקראים **מיקרובים**. מיקרובים אלה חיים על פני העור, בפֶּה, ובעיקר במעי.

אנשים רבים חושבים שכל המיקרובים גורמים למחלות, אבל למעשה רובם דווקא מועילים – ורבים מהם אפילו חיוניים – לבריאות של החיה שבתוכה הם גרים. המיקרובים במעי של האדם עוזרים לנו לעכל מזון, ומייצרים בתוך המעי חומרי מזון שהגוף שלנו זקוק להם. הם גם עוזרים לנו לשמור על גוף בריא, ורבים מהם נלחמים בהרעלות מזון ובמחלות. במעי של חיה ממוצעת נמצאים יותר מטריליון (כלומר 1,000,000,000,000!) חיידקים. לכל אוסף החיידקים הזה קוראים **מיקרוביום**. מדענים גילו שאצל מינים שונים של יונקים שחיים בצורה דומה ואוכלים מזון דומה, גם מיקרוביום המעי דומה. המיקרוביום של פרות וכבשים הוא דומה, למשל, אבל לא המיקרוביום של פרות ואריות. מזה אפשר להבין כי אף על פי שלכל **מין** של חיה יש מיקרוביום טיפוסי משלה, המיקרוביום של כל חיה תלוי גם במזון ובאורח החיים שלה. רק לאחרונה התחלנו לגלות עד כמה כל מיקרוביום הוא מיוחד ושונה, ולהבין מדוע עדיין לא גילינו את רוב ה"כללים" הקובעים מה יהיה בו.

מה קובע את הרכב המיקרוביום?

הדמיון וההבדלים בין המיקרוביום של חיות שונות מעלים שאלה: האם למינים האוכלים מזון דומה יש מיקרוביום דומה, או שהמיקרוביום דומה רק כי המינים האלה הם קרובים גנטית? למשל: האם נמצא אצל דולפין ופינגווין מיקרוביום דומה כי שניהם אוכלים דגים – או שלמרות המזון הדומה, המיקרוביום שלהם שונה כי הם שייכים למינים שונים מאוד? (איור 1). במחקר מדעי מתחילים בדרך כלל בהשערת מחקר, ואז מתכננים ניסוי או שורת ניסויים כדי לבדוק אם היא נכונה. את התוצאות מפרסמים בכתב-עת מדעי מהימן. מדענים אחרים קוראים אותו ומקבלים רעיונות חדשים. השערת המחקר שלנו הייתה שנמצא חיידקים דומים אצל ציפורים ויונקים שהמזון שלהם דומה. כדי לבדוק את ההשערה הזאת נדרשים ניסויים רבים, כי צריך להשוות בין המיקרוביום של ציפורים שונות. ניסוי אחד לא מספיק לכך. לכן השתמשנו בשיטה הנקראת **מטא-אנליזה** [1] - השווינו בין תוצאות של מחקרים רבים על אותו נושא. כך יכולנו לבדוק נתונים שגילו חוקרים רבים אחרים, להשוות אותם זה לזה, ולזהות דפוסים שאולי לא הבחינו בהם בעבר.

כמו שאמרנו, סוגי החיידקים במעי של כל חיה תלויים במזון שהיא אוכלת. לחיידקים, כמו לנו, יש סוגי אוכל שהם אוהבים במיוחד. למשל, במעי של חיות אוכלות-צמחים נמצאים חיידקים אוכלי-צמחים, ובמעי של אוכלי-בשר יש חיידקים אחרים. אפשר בקלות לחשוב שאצל בעלי חיים שאוכלים מזון דומה, גם המיקרוביום יהיה דומה, אבל יש דברים נוספים שצריך לקחת בחשבון. למשל, אצל בני אדם ויונקים אחרים, הקיבה היא סביבה חומצית, אבל אצל חרקים לא, וההבדל הזה משפיע על המיקרוביום. כשהתחלנו במחקר, ידענו כבר על שני מחקרים שבדקו את ההבדלים במיקרוביום, בדרכים שונות. באחד מהם נבדקו חיות בגן חיות, והתברר שהמיקרוביום שלהם מושפע מהמזון שהן אוכלות [2]; במחקר השני נבדקו חיות בר, ובו התברר שהמיקרוביום דווקא מושפע יותר מסוג החיה (עוף, יונק, חרק) שבתוכה הוא נמצא [3].

מיקרוב

(Microbe, נקרא

גם מיקרואורגניזם)

מונח כללי לאורגניזם מיקרוסקופי חד-תאי. מתייחס בדרך כלל לחיידקים, אבל יכול לתאר גם ארכאונים, פטריות ווירוסים.

מיקרוביום

(Microbiome)

אוסף החיידקים החיים יחד ומקיימים קשרים ביניהם.

מין

(Species)

(בטקסונומיה)

קבוצת אורגניזמים הנחשבים דומים. עבור בעלי חיים או צמחים, הם נחשבים לבני אותו מין אם הם יכולים להתרבות ולהוליד צאצאים.

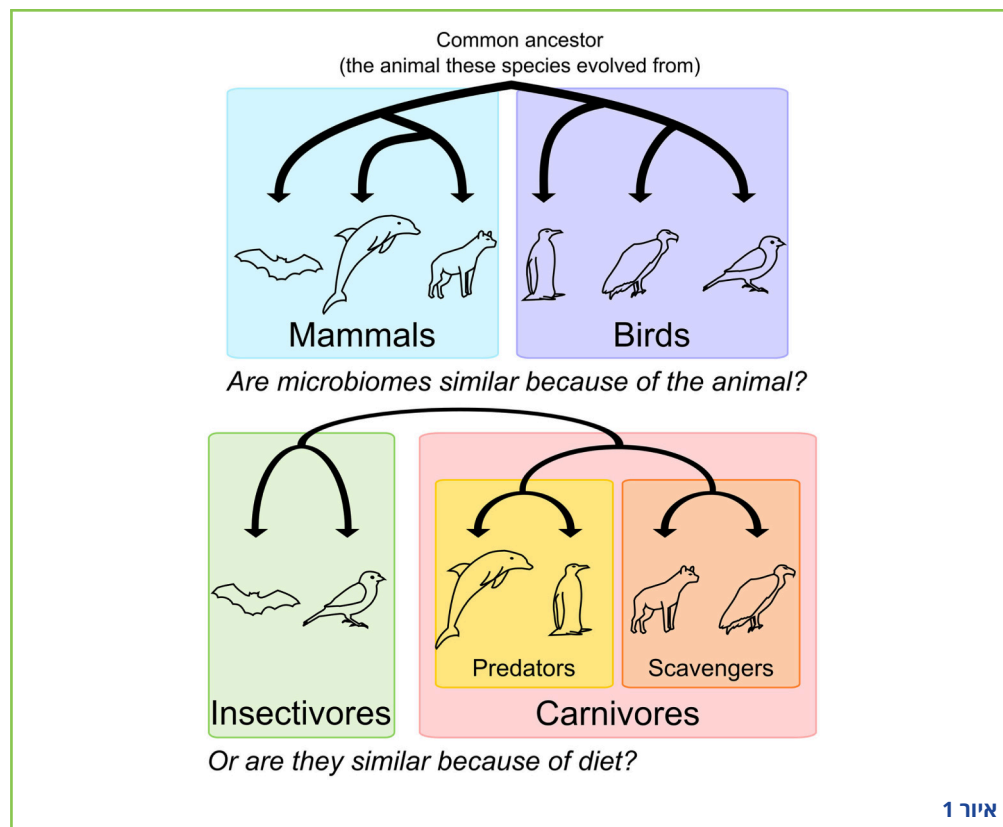
מטא-אנליזה

(Meta-Study)

שיטה מחקרית שבה משווים בין תוצאות מחקרים קודמים רבים.

איור 1

במסגרת הסגולה מופיעים כמה מינים של ציפורים (פינגווין, נשר ודרור) ובמסגרת התכולה - כמה מיני יונקים (עטלף, דולפין וצבוע). הם מופיעים במסגרות שונות כי הם שונים זה מזה, אף על פי שהתפתחו מאב קדמון משותף. יש שתי השערות כלליות בנוגע למיקרוביום: 1. המיקרוביום דומה כשהחיות דומות (כל היונקים, כל הציפורים וכו'), או 2. המיקרוביום דומה כשהתזונה דומה (אוכלי בשר, אוכלי חרקים וכו'). במסגרת הוורודה מופיעים כמה סוגים של אוכלי בשר, אבל היא מחולקת לשתי מסגרות קטנות כדי להראות את שני הסוגים של אוכלי בשר. השערת המחקר שלנו היא שהמיקרוביום דומה בגלל תזונה דומה.



לחיות שיש ביניהן קרבה גנטית יש מיקרוביום דומה

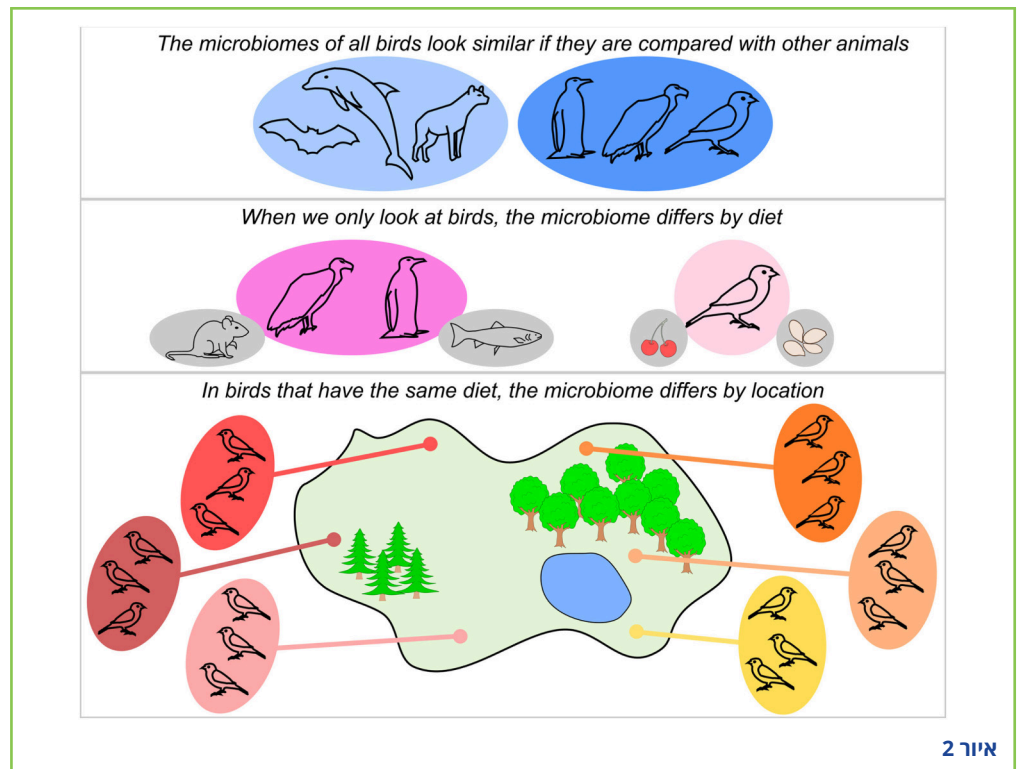
לקחנו דגימות מהמיקרוביום של חיות רבות ומגוונות, והדבר עזר לנו להבין מדוע התוצאות של שני המחקרים שונות כל כך. כשבדקנו את התוצאות שלנו, גילינו בין השאר שיש הבדלים קטנים בלבד בין המיקרוביום של זוחלים לבין אלה של ציפורים. הופתענו, כי ציפנו לכך שהמיקרוביום של ציפורים יהיה דומה יותר לזה של יונקים, מאשר לזה של זוחלים, מפני שלשניהם יש דם חם. עדיין לא ברור לנו לגמרי למה לציפורים ולזוחלים יש מיקרוביום דומה, אבל אם ראינו את הסרט "פארק היורה", אולי תצליחו לנחש. היות שציפורים וזוחלים קרובים גנטית, גם הרכב המעי שלהם די דומה. אפשר לקשר בין שתי העובדות האלה ולהגיע למסקנה שאם המעי דומים, גם המיקרוביום יהיה דומה. לא מספיק רק למיין בעלי חיים לקבוצות של חרקים, יונקים, זוחלים, עופות וכו': זאת שיטה פשוטה מדי. ככל שהחיות קרובות יותר גנטית, ההבדלים בין המיקרוביום שלהן קטנים יותר.

מה הכי חשוב - סביבת מחיה, מזון, או סוג החיה?

המחקר שנערך בגן חיות כלל רק יונקים, וזאת הסיבה שלפי התוצאות שלו, הגורם המשפיע ביותר על המיקרוביום היה המזון. המחקר השני כלל סוגים שונים של בעלי חיים, לא רק יונקים, כך שהתזונה מילאה תפקיד פחות חשוב. כשבדקנו רק ציפורים, גילינו שמזון אמנם משפיע מאוד על המיקרוביום, אבל הוא לא הגורם החשוב ביותר. המחקר שלנו הראה דווקא הבדלים הרבה יותר משמעותיים בין המיקרוביום של מיני ציפורים שונים. היה ברור שחסרה כאן חתיכה בפאזל. מה המשותף לאריה, עטלף, קיפוד, פנדה וכבשה שחיים בגן חיות? ובכן... העובדה שהם חיים בגן חיות! בעלי החיים שם אמנם שונים, אבל מכיוון שכולם גרים באותו איזור, כולם

איור 2

בתחילה חשבנו שהמיקרוביום של חיה מסוימת מושפע מסוג החיה, מהמזון שלה או מסביבת המחיה שלה. צפינו לגלות שתזונה היא הגורם המשפיע ביותר על המיקרוביום. אבל גילינו שהדברים הרבה יותר מורכבים. כשמשוויים בין סוגים שונים של חיות, נראה כאילו לכל החיות מאותו סוג יש מיקרוביום זהה – המיקרוביום של כל הציפורים היה דומה. אבל כשהשווינו ביניהם, גילינו בכל זאת הבדלים קטנים. במקרים אלה, התזונה הייתה גורם חשוב יותר. כשחוקרים חיות מסוגים דומים עם תזונה דומה, סביבת המחיה משחקת תפקיד יותר בולט. באיור מופיעות ציפורים, אבל הדבר נכון גם לגבי יונקים.



איור 2

גם חיים עם אותם סוגי לכולך, אבק ומחלות. הם חשופים לאותם מיקרובים, גם אם התזונה שלהם גורמת לחיידקים שונים במעייהם שלהם. כשהתחלנו את מחקר המטא-אנליזה שלנו, לא צפינו שפיסת הפאזל שנמצא תהיה כל כך גדולה! כשבעלי חיים מאותו מין חיים יחד, המיקרוביום שלהם דומה יותר מאשר כשהם חיים במקומות שונים [4, 5].

האם התוצאות האלה סותרות זו את זו?

האמת שלא. כל הגורמים חשובים: הקירבה הגנטית בין שתי החיות, הדמיון בתזונה שלהן, ועד כמה סביבת המחיה שלהן משותפת. אבל החשיבות של כל אחד משלושת הגורמים האלה תלויה גם בשני הגורמים האחרים (איור 2). תוצאות המחקר שלנו מראות שמדע הוא לא רק עניין של "נכון" ו"לא נכון". יש הרבה דברים שצריך לקחת בחשבון כשמחליטים על השערת מחקר. וכשמחליטים עליה, האם היא תמיד נכונה? ברור שלא – הרי המחקר שלנו הוכיח זאת. השערות מחקר משתנות לפעמים לפי נתונים שמתגלים במהלך המחקר. אבל אנחנו לומדים מהטעויות שלנו. וגם כשאנחנו מגלים סיבה לתופעה כלשהי, בדרך כלל התגלית הזאת נכונה רק בנסיבות מאוד מסוימות. ייתכן שמישהו אחר יגיע לתוצאה הפוכה אם המחקר שלו נערך בתנאים שונים. בשבילנו, זה הכיף שבמדע. בעבודה הזאת יש אמנם תסכולים לפעמים, אבל בסופו של דבר היא רק עושה לנו חשק להמשיך ולחקור את העולם שאנחנו חיים בו.

מאמר המקור

Waite, D. W., and Taylor, M. W. 2015. Exploring the avian gut microbiota: current trends and future directions. *Front. Microbiol.* 6:673. doi: 10.3389/fmicb.2015.00673

מקורות

1. Waite, D. W., and Taylor, M. W. 2015. Exploring the avian gut microbiota: current trends and future directions. *Front. Microbiol.* 6:673. doi: 10.3389/fmicb.2015.00673
2. 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
3. Hird, S. M., Carsten, B. C., Cardiff, S. W., Dittmann, D. L., and Brumfield, R. T. 2014. Sampling locality is more detectable than taxonomy or ecology in the gut microbiota of the brood-parasitic brown-headed cowbird (*Molothrus ater*). *PeerJ* 2:e321. doi: 10.7717/peerj.321
4. Yatsunencko, T., Rey, F. E., Manary, M. J., Trehan, I., Dominguez-Bello, M. G., and Contreras, M., et al. 2012. Human gut microbiome viewed across age and geography. *Nature* 486:222-7. doi: 10.1038/nature11053
5. Stanley, D., Geier, M. S., Hughes, R. J., Denman, S. E., Moore, R. J. 2013. Highly variable microbiota development in the chicken gastrointestinal tract. *PLoS ONE* 8:e84290. doi: 10.1371/journal.pone.0084290

פורסם אונליין: 21 בדצמבר 2018

נערך על ידי: Ana Maria Rocha De Almeida, University of California, Berkeley, United States

ציטוט: Waite DW, Morgan-Waite SI and Taylor MW (2018) העולם שבפנים: החיים בתוך המעי. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2017.00050-he

תורגם והותאם:

Waite DW, Morgan-Waite SI and Taylor MW (2017) What Thrives Inside; The World Within the Gut. *Front. Young Minds* 5:50. doi: 10.3389/frym.2017.00050

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

COPYRIGHT © Waite, Morgan-Waite and Taylor 2017. 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

BRIAN, גיל: 10

שמי בריאן ואני בכיתה ד'. אני בן 10. אני אוהב כלבים, לשחק K172, פיפא 17, NHL16, Battlefront, ובייסבול RBI 17 באקס-בוקס שלי. אני אוהב ספורט ומתמטיקה. אני גם אוהב נעלי כדורסל של נייק ושל ג'ורדן. אני משחק כדורגל, כדורסל ובייסבול, ומנגן בצ'לו, בתופים ובפסנתר. אני אוהב ספרים על ספורט, וקומיקס.

ELSA, גיל: 10

שמי אלוה, אני בת 10, ואני מתעניינת בשפות, היסטוריה טודורית וימי-ביניימית, דת, גנטיקה, איי סבאלבארד, גרינלנד, וכתביה. בין הספרים האהובים עליי: "כל האור שאיננו רואים" מאת אנתוני דואר, "החיים חלקי 7" מאת הולי גולדברג סלואן, The Girl Who Drank The Moon מאת Kelly Barnhill, ו"איפה את, ברנדט" מאת מריה סמפל. החלטתי להתחיל לסקור מאמרים כשהחברים שלי יונסה ובריאן הציעו לי לקחת חלק בתהליך ביקורת העמיתים. הסכמתי מפני שלדעתי מדע יכול להיות מרתק, ונשמע לי מעניין להיות חלק מתהליך ההכנה לפרסום של מאמר מדעי.

YOONSA, גיל: 9

שמי יונסה. אני בכיתה ד' ואני בת תשע. אני גרה עם ההורים שלי ועם אחי הקטן. שני ההורים שלי הם ביולוגים. בבית שלנו יש הרבה דגים. אנחנו מגדלים דגיני נקאי (פלקוסטומוס) שבקעו מביצים שגיליתי. רציתי לקרוא עוד על מדע, ולכן רציתי להצטרף לכתב העת Frontiers for Young Minds. בשעות הפנאי אני אוהבת לקרוא ולנגן בכינור.

הכותבים

DAVID W. WAITE

דייוויד הוא עמית מחקר בתר-דוקטורט באוניברסיטת QLD באוסטרליה. את הדוקטורט עשה במעבדה של מייקל טיילור בה חקר איך נוצר המיקרוביום של עופות, ואיך הוא מושפעים מלחצים סביבתיים כמו טיפול באנטיביוטיקה ותזונה של החיה המארחת. כיום דייוויד חוקר את האבולוציה של חיידקים, ומתעניין בגורמים השולטים בחילוף החומרים שלהם ומאפשרים להם להתאים את עצמם לסביבה משתנה.
*d.waite1986@gmail.com

SIÂN I. MORGAN-WAITE

סיאן היא מורה לאנגלית כשפה זרה בתיכון בנות Westlake באוקלנד, ניו זילנד. סיאן מתעניינת בניסויים מדעיים ביתיים ובתקשורת מדעית. אף שאין לה הכשרה מדעית, סיאן מעודדת סקרנות ותגליות מדעיות. אצל אחרים, כולל תלמידותיה.

MICHAEL W. TAYLOR

מייקל הוא פרופסור חבר באוניברסיטת אוקלנד בניו זילנד. הוא עומד בראש צוות מחקר העוסק באקולוגיה של מיקרו-אורגניזמים הקשורים למארחים מעולם החי (כולל בני אדם). המחקר נעשה במגוון גישות מולקולריות ומבוססות גידול בתרבית.



Hebrew version
provided by

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

