



חיידקים באדמה שומרים על ההמבורגר שלנו "בריא"

Stephanie D. Jurburg*

המרכז הגרמני לחקר מגוון ביולוגי אינטגרטיבי (iDiv), לייפציג, גרמניה

סוקרים צעירים

MADDIE

גיל: 15



MATÍAS

גיל: 14



TACY

גיל: 13



בשנת 1993, התפרצות של החיידק אשריכיה קולי גרמה לתחלואה של יותר מ-700 איש ברחבי ארצות הברית. סוג מיוחד של אי קולי, שנקרא זן O157:H7, מאכלס את המעייים של בקר ומתפשט למים ולקומפוסט דרך צואת הפרה. זן זה יכול לשרוד במשך חודשים רבים במים או בקומפוסט, עד שהוא מגיע לבני אדם דרך בשר או ירקות, וגורם למחלות. לעומת זאת, אי קולי שורד זמן קצר בהרבה באדמה, מאחר שהוא צריך להתחרות עם סוגי חיידקים רבים שכבר נמצאים שם. עבור חיידקי אדמה, זן O157:H7 הוא פולש, ופולשים תלויים ב"שאריות" של אורגניזמים מקומיים כדי לשרוד. בחברות מגוונות יותר, נותרים פחות משאבים, וקשה יותר לאורגניזמים לפלוש. זו הסיבה לכך שאי קולי O157:H7 הכי פחות מוצלח באדמה – הסביבה המגוונת ביותר על פני כדור הארץ, וזו אחת מיני סיבות רבות לכך שחיידקי אדמה חשובים לבריאותנו.

מתקפת אי קולי!

בשנת 1993, התפרצות של החיידק אשריכיה קולי גרמה לתחלואה קשה של יותר מ-700 בני אדם ברחבי ארצות הברית. המקור להתפרצות היה קציצות בשר לא מבושלות. 13 שנים

מאוחר יותר, התפרצות אחרת של אי קולי גרמה להחזרות נרחבות (ריקול) של תרד ארוז ברחבי המדינה. הפעם, המקור היה חוות בקר ליד חוות התרד. מאז, נצפו התפרצויות של אי קולי מצריכה של גבינה, בצלים, סויה, ולאחרונה גם חסה רומנית. התפרצויות אלה תמיד נגרמו על ידי אותו החיידק: אי קולי מזן O157:H7. מיהו החיידק, ומדוע הוא עדיין גורם להתפרצויות של מחלה?

ההיסטוריה של אי קולי ותכונות החיידק

מרבית החיידקים שאנו מכירים כיום התגלו בעשור האחרון, אך אי קולי יוצא דופן. חיידק זה התגלה במושבה של בני אדם בריאים בשנת 1885, על ידי רופא הילדים תיאודור אַשְׁרֵי, שעל שמו נקרא החיידק. קולי מתייחס לסביבות המחיה של החיידק – המעי (קולון). מאחר שהחיידק גדל טוב כל כך במעבדה, מיקרוביולוגים המשיכו לחקור אי קולי במטרה להבין כיצד חיידקים גדלים ומגיבים לסביבתם.

מאפיינים רבים שהופכים את אי קולי לאורגניזם כל כך מושך למחקר, גם גורמים לו לבלוט בנוף. ראשית, אי קולי גדל היטב אם הוא מקבל את מקורות המזון הנכונים – וישנם מקורות מזון רבים ש"נכונים" עבור החיידק הזה. עם מספיק מזון, אי קולי יכול לגדול מהר מאוד: מתא בודד למיליון תאים בתוך שבע שעות! שנית, חיידקים יכולים לשנות את הגנים שלהם, ואי קולי טוב בזה במיוחד (איור 1). גנים הם הוראות הפעלה של התא, ושלא כמו אורגניזמים גדולים יותר דוגמת חיות, חיידקים יכולים לסחור בגנים זה עם זה, לקבל גנים מווירוס, או לאסוף גנים מהסביבה. כאשר חיידק משנה את הגנים שלו, התנהגותו ויכולותיו משתנות גם הן, והצאצאים שלו, שיורשים את אותם הגנים החדשים, נעשים חלק מזן מסוים – ממש כפי שאתם חלק ממשפחתכם וחולקים איתה מאפיינים רבים. במקום שמות משפחה, זנים בדרך כלל מזוהים על ידי שם קוד שמורכב מאותיות ומספרים, כמו O157:H7.

זן-העל O157:H7

אלפי תאי אי קולי מזנים שונים חיים במעיים בריאים של בני אדם ומגינים עלינו מפני חיידקים פתוגניים, או גורמי מחלות אחרים כמו סלמונלה. אולם, זה לא מה שהזן O157:H7 עושה. כיום אי קולי מזן O157:H7, שהתגלה לראשונה בשנת 1983, מדביק כ-73,000 אנשים בכל שנה בארצות הברית בלבד [1]. מה שמייחד את הזן הזה הוא סֶט הגנים שרכש: סט גנים אחד מספק ל-O157:H7 יכולת לייצר את הרעלן נְיִגָה, שהוא חומר רעיל שגורם לאנשים שנדבקו לחלות. אך ייצור רעל אינו מספיק כדי לאיים על בריאותנו. זן O157:H7 גם מתנהג באופן שגורם לו להיות פתוגן: הוא מנסה להתפשט באופן פעיל. לא כל זני האי קולי עושים זאת. התנהגות ההפצה הזו היא גם תוצר של גנים שנאספו מהסביבה (איור 1).

מאז 1993, התרחשו התפרצויות של מחלות שנגרמו על ידי O157:H7 כמעט בכל שנה. מדוע זה עדיין קורה? התשובה הפשוטה היא שישנן דרכים רבות מדי שבהן אי קולי יכול להגיע למזונכם. אם הבקר ששימש להכנת ההמבורגר שלכם הגיע מפרה שנדבקה בחיידק, ההמבורגר כנראה יהיה מזוהם בעצמו, אך זו לא בעיה מאחר שהמבורגרים אף פעם לא נאכלים נאים. כשאתם מבשלים את ההמבורגר, האי קולי שבתוכו מומת על ידי החום,

זן (Strain)

תת-סוג של זן חיידקי שמכיל הבדלים קטנים בגנים שלו ביחס לזנים אחרים מאותו המין.

גנים (Gene)

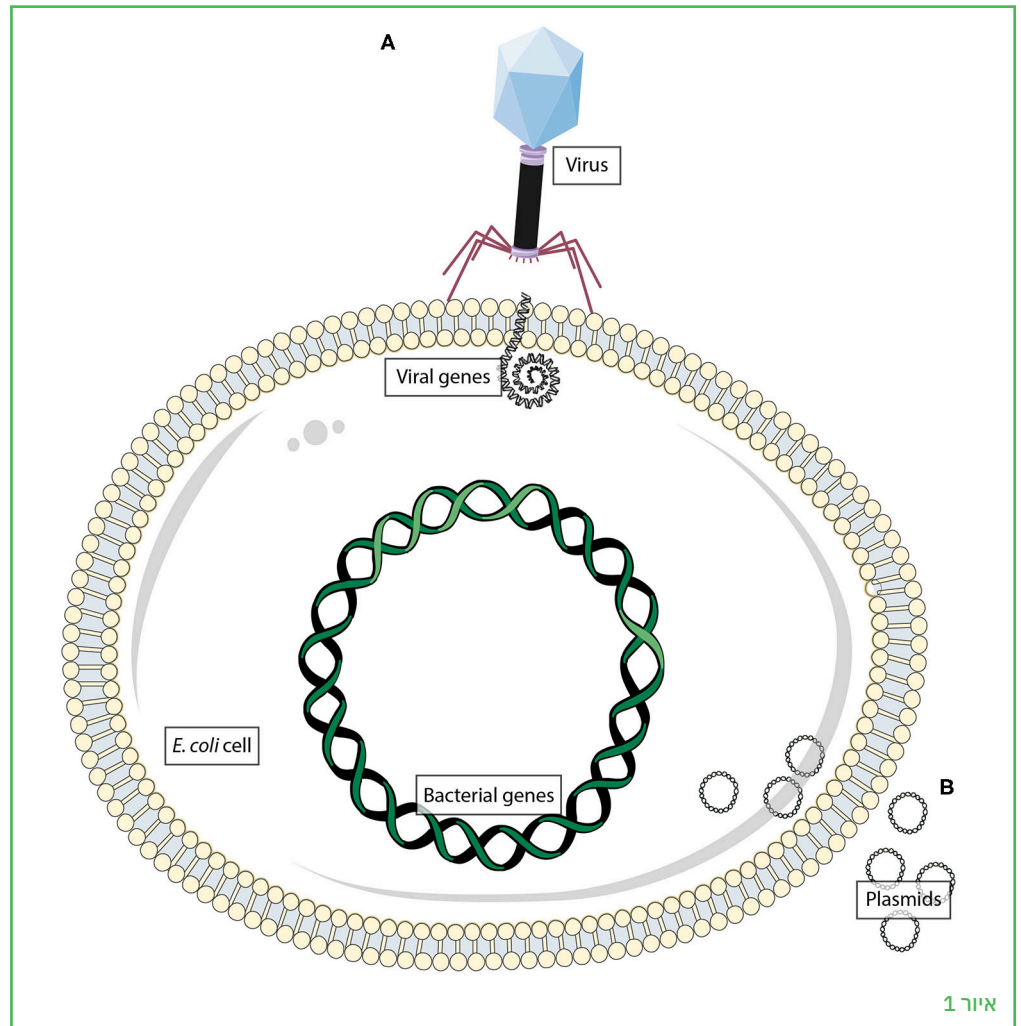
מקטעי דנ"א המכילים הוראות לבניית חלבונים.

פתוגן (Pathogen)

אורגניזם שיכול לגרום למחלה.

איור 1

על חיידקים וגנים. חיידקים, שלא כמו אורגניזמים אחרים, יכולים לשנות את הגנים שלהם. (A) לאשריכיה קולי מזן O157:H7 יש גנים שהשאיר אחריו ווירוס שזיהם אותו. (B) בנוסף, O157:H7 לקח גנים מהסביבה. חיידקים גם יכולים לקבל גנים מחיידקים אחרים.



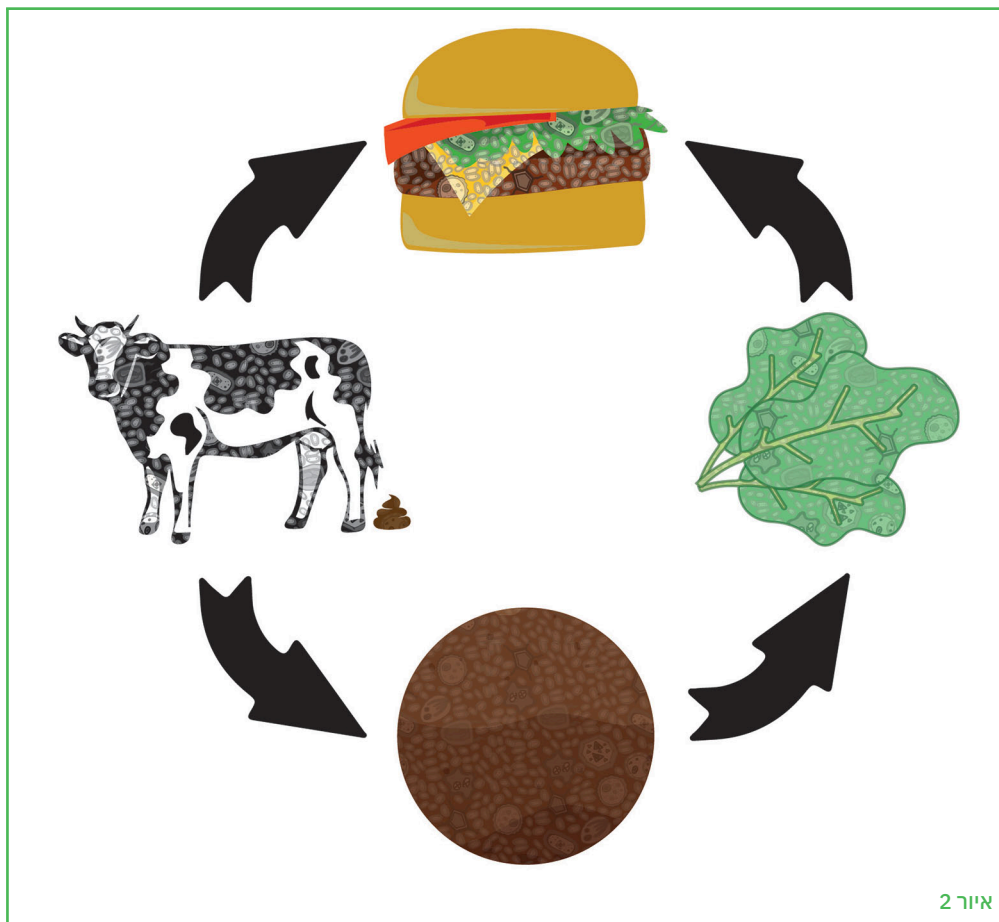
איור 1

והבשר בטוח לאכילה. אולם ירקות כמו חסה לעיתים קרובות נאכלים נאים, ובמקרה הזה החיידקים עלולים להיות חיים כשאנו אוכלים אותם.

אי קולי בדרך כלל חיים במעי של בקר במשך שבועות עד חודשים, שם החיידק לא גורם למחלות (איור 2). הצואה של החיות האלה מכילה תאי אי קולי רבים: גרם בודד של צואה מפרה מזוהמת מכיל יותר מ-50 מיליון תאי אי קולי, וקשה במיוחד להיפטר מהם מרגע שהופרשו החוצה ע"י הפרה. החיידקים האלה מסוגלים להתקיים בצואה במשך יותר מ-21 חודשים, מה שמקנה לחיידקים הזדמנויות רבות להגיע לאדמה. אם הצואה מגיעה למים, החיידקים עשויים לשרוד שם במשך יותר משמונה חודשים, ובמהלך הזמן הזה, הם גם עשויים להגיע לאדמה, במידה והמים משמשים להשקיית יבולים. ברגע שחדרו לאדמה, חיידקי אי קולי עלולים לבוא במגע עם צמחי יבול, וכתוצאה מכך מתקבלים פירות וירקות מזוהמים.

איור 2

נתיבים רבים להמבורגר. בשר מפרות שנדבקו בחיידק מגיע לקציצות המבורגר נאות, ואשריכיה קולי מופרש מהמעיים של הפרה אל האדמה בתור צואה, שם החיידקים המקומיים מתחרים איתו. אם אי קולי ממשיך לגדול באדמה, הוא עלול לזהם יבולים כמו חסה, תרד ובצלים.



איור 2

חיידקי אדמה כפתרון

בהינתן כמות הזמן שהחיידקים האלה יכולים לחיות, והקלות שבה הם מתפשטים, מדוע אי קולי נדיר יחסית? התשובה היא: חיידקי אדמה. כדי לזהם את הירקות שלנו, אי קולי צריך לשרוד באדמה, אך יכולתו לעשות זאת מוגבלת. באדמה, אי קולי יכול לשרוד במשך שלושה חודשים בלבד. מדענים חושבים שהמגוון של חיידקי אדמה, או מספר הסוגים השונים של חיידקים שחיים שם באופן טבעי, הוא שעושה את ההבדל [2]. אין סביבה מגוונת יותר מהאדמה: חופן בודד של אדמה יכול להכיל 10,000 סוגי חיידקים שונים [3], ולעיתים קרובות מאוד רבים מהם הם זנים לא מדבקים של אי קולי. בכמה ניסויים, מדענים הראו שככל שהאדמה מגוונת יותר, כך קשה יותר לחיידקים מסוכנים לפלוש אליה בהצלחה. נראה שהסיבה לכך היא זמינותם של משאבים שהחיידקים הפולשים זקוקים להם כדי לשרוד [4]. צריכת משאבים עבור חיידקים דומה להעדפות מזון בקרב חיות, וזנים שונים של חיידקים צורכים משאבים שונים. כאשר סביבה כמו האדמה מכילה מגוון גדול של חיידקים טבעיים, חברת החיידקים צורכת מגוון גדול של מקורות, ולא משאירה דבר מאחוריה. כשאי קולי מגיע לסביבה הזאת, הוא אינו מסוגל להזין את עצמו או לגדול, ואז הוא מת. קבוצות פחות מגוונות של חיידקים לא יכולות לצרוך את כל המקורות, והן משאירות "שאריית" שבהן אי קולי יכול להשתמש כדי לגדול ולהתפשט.

מגוון (Diversity)

כמות המינים השונים בחברה.

כיצד אנטיביוטיקה מסייעת לאי קולי?

כעת אתם יודעים שמגוון ביולוגי של חיידקים באדמה חשוב מאחר שהוא מבטיח שיהיו פחות משאבי שאריות לשימושם של חיידקים גורמי מחלות. לרוע המזל, חיידקי אדמה מאוימים באופן קבוע על ידי אנטיביוטיקה. בני אדם משתמשים באנטיביוטיקה במטרה ללחום כנגד מחלות שמתפרצות בחיות ובאוקולוסייה האנושית, אך האדמות חשופות לאנטיביוטיקה בדרכים שלא צפינו מראש. חשבו על האופן שבו אדמה יכולה להזדהם בזן אי קולי פתוגני: צואת בקר. במטרה למנוע התפרצות של מחלות, פרות לעיתים קרובות מקבלות כמויות גדולות של אנטיביוטיקה. אלה לא משמשות את גופן במלואן, ויכולות להשתחרר אל הסביבה דרך השתן והצואה שהפרה מפרישה. אולם, זוהי רק ההתחלה: ביוב מכיל כמויות גדולות של אנטיביוטיקה שמשוחררות באותו האופן על ידי בני אדם ועל ידי מים מחוות דגים, שגם מכילים הרבה סוגי אנטיביוטיקה. המים האלה מתערבבים בנהרות, שלעיתים קרובות משמשים להשקיית אדמות חקלאיות. כאשר האנטיביוטיקות מגיעות לאדמה, הן הורגות את מרבית החיידקים הטובים באדמה, ומשאירות מאחור משאבים שחיידקים פתוגניים יכולים להשתמש בהם כדי לגדול ולהתרבות, ובאופן פוטנציאלי גם להפיץ מחלות. קבוצה הולכת וגדלה של מדינות ברחבי העולם חוקקה חוקים שמגבילים את השימוש באנטיביוטיקה בחיות כמו בקר, כדרך להפחית את ההתפשטות של אנטיביוטיקות בסביבה, ולשפר את הבריאות של אזרחי אותן מדינות, ושל חיות הטבע.

החיידקים: הנתבי הזעיר שמנחה אותנו

בני אדם יודעים על קיומם של חיידקים גורמי מחלות כבר שתי מאות, אך אנו עדיין לומדים על הדרכים שבהן חיידקים יכולים למנוע מחלות. למעשה, רק ב-20 השנים האחרונות התחלנו לראות את התמונה השלמה של מגוון חיידקי. נהגנו לחשוב שסביבה נקייה היא סביבה סטרילית, ללא חיידקים. ככל שאנו אוספים עוד ועוד מידע על העולם החיידקי, ההגדרה שלנו לגבי מה "נקי" משתנה, החל משימת לב למחסור בחיידקים ועד לדגש על נוכחותם של חיידקים "נכונים" שיכולים למנוע פלישה של חיידקים פתוגניים. כיום אנו יודעים שחיידקים נמצאים בכל מקום, ושאי אפשר לחיות בלעדיהם. המחקר שלנו נע מניסיון לשמור על עולמנו נקי מחיידקים, ללמידה על איך לבחור את החיידקים הנכונים: אלה שמסייעים לסביבותינו ולגופנו להישאר בריאים. עדיין ישנן הרבה שאלות ללא מענה, לדוגמה, מיהם החיידקים ה"נכונים", ומה הופך אותם לכל כך מיוחדים?

מקורות

1. Lim, J. Y., Yoon, J. W., and Hovde, C. J. 2013. A brief overview of *Escherichia coli* O157:H7 and its plasmid O157. *J. Microbiol. Biotechnol.* 20:5–14. doi: 10.4014/jmb.0908.08007
2. Thakur, M. P., Putten, W. H., Cobben, M. M. P., Kleunen, M., and Geisen, S. 2019. Microbial invasions in terrestrial ecosystems. *Nat. Rev. Microbiol.* 17:621–31. doi: 10.1038/s41579-019-0236-z
3. Le Roux, X., Recous, S., and Attard, E. 2011. "Soil microbial diversity in grasslands," in *Grassland Productivity and Ecosystem Services*, eds G. Lemaire, J. Hodgson, and A. Chabbi (CAB International). p. 158–65.

4. Eisenhauer, N., Schulz, W., Scheu, S., and Jousset, A. 2013. Niche dimensionality links biodiversity and invasibility of microbial communities. *Funct. Ecol.* 27:282–8. doi: 10.1111/j.1365-2435.2012.02060.x

פורסם אונליין: 28 בפברואר 2023

עורך: Malte Jochum

מנחה מדעית: Luisa Falcon

ציטוט: Jurburg SD (2023) חיידקים באדמה שומרים על ההמבורגר שלנו "בריא" Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2020.545905-he

תורגם והתאם מ: Jurburg SD (2020) Bacteria in Soil Keep Your Hamburger "Healthy". Front. Young Minds 8:545905. doi: 10.3389/frym.2020.545905

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

COPYRIGHT © 2020 © Jurburg 2023. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחבר(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

MADDIE, גיל: 15

קוראים לי Maddie. אני בת 15, גרה ליד סן פרנסיסקו.

MATÍAS, גיל: 14

אני בן 14 שאוהב מדע, תכנות, ויקינגים, מיתולוגיה, ג'יו ג'יטסו, רוק אנד רול, שירה ונגינה על תופים.

TACY, גיל: 13

היי, אני Tacy. בת 13, גרה ליד סן פרנסיסקו. אני אוהבת ציור, משחקי וידיאו ונגינה על גיטרה.



הכתבות

STEPHANIE D. JURBURG

Stephanie Jurburg מתלהבת מכל הדברים הזעירים. במשך כמעט עשור, היא חקרה כיצד חיידקים שחיים בתוכנו וסביבתנו מעצבים את עולמנו, גורמים לנו להיות בריאים או חולים יותר, ושומרים על האדמות שלנו פוריות. היא מתעניינת במיוחד באופן שבו חברות חיידקים משתנות עם הזמן, וכיצד הן מתאוששות כשהן מופרעות. כיום, היא חוקרת במרכז הגרמני לחקר מגוון ביולוגי אינטגרטיבי (iDiv), שם היא בוחנת כיצד החברות החיידקיות בסביבות שונות דומות זו לזו. [*s.d.jurburg@gmail.com](mailto:s.d.jurburg@gmail.com)



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



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK