



חיידק אדמה מסייע לנו לייצר מזון בריא

Lauren S. McKee*

היחידה לגליקו-מדעים, המחלקה לכימיה, מכון הטכנולוגיה המלכותי, שטוקהולם, שוודיה

סוקרים צעירים

KAVIN

גיל: 9



ROHIT

גיל: 9



SWATI

גיל: 13



TANISHKAA

גיל: 8



TARUN

גיל: 13



THUVISHA

גיל: 13



אף על פי שהם קטנים, חיידקים מבצעים תפקידים חשובים מאוד שמסייעים לנו לייצר מזון בריא. ייצור מזון מתחיל בגידול צמחים בשדות. חיידקים שחיים באדמה מסייעים לצמחים לגדול חזקים וגבוהים, ויכולים להגן על צמחים ממחלות מסוימות. באופן זה, החיידקים עוזרים לצמחים להישאר בריאים, ומסייעים לחקלאים לגדל כמויות גדולות של מזון בלי להשתמש במדברים רבים. אחרי הקציר, חיידקים מבצעים עבודה רבה יותר במטרה ליצור מזון טעים וטוב לבריאותנו, על ידי יצירת מזונות-על מותססים כמו קימְצ'י, קומְבוצ'ה ונטו. דוגמה לחיידק שיכול לבצע את שני התפקידים האלה היא *Bacillus subtilis natto*. חקרנו מה הופך אותו למין כל כך שימושי וחשוב. מצאנו שחיידק הנְטו מייצר אנזימים חשובים שיכולים לתקוף פטריות, שאחרת היו גורמות למחלה בצמח.

מהי "הדברה ביולוגית"?

החיידקים הזעירים שחיים באדמה יכולים לבצע כמות גדולה של תפקידים חשובים שמסייעים לנו לייצר מזון מזין ובריא באופן שלא מזיק לסביבה. חלק מהחיידקים באדמה יכולים להגן על יבולים ממחלות, על ידי לחימה בפטריות שעלולות לגרום לזיהום.

הדברה ביולוגית (Biocontrol)

שימוש באורגניזמים חיים כדי לשלוט במחלות של הצמח, במקום להשתמש בחומרי הדברה כימיים. דוגמה לכך היא שימוש בחיידקים במטרה לשלוט בפטריות שיכולות להזיק לצמחים.

כשאנו משתמשים באורגניזמים חיים במטרה להגן על מזוננו, אנו עושים שימוש במונח **הדברה ביולוגית**. דוגמאות להדברה ביולוגית הן שימוש בחתול כדי להרחיק חולדות מהמזון, או שימוש בפרת משה רבנו (מוֹשֵׁית הַשֶּׁבַע) כך שתאכל כנימות שיכולות להזיק ליבולים. הדברה ביולוגית מסייעת לנו להגביל את גדילתם של אורגניזמים מזיקים, ללא שימוש במדברים כימיים אשר עשויים לגרום להשפעות מזיקות על הסביבה כמו הריגת חרקים שמאביקים צמחים, והריגת המיקרובים ששומרים על צמחים בריאים.

בעבודתנו, אנו חוקרים כיצד חיידקים יכולים להשפיע על גדילה של פטריות שהיו גורמות למחלה בצמחי יבול. באופן רגיל, חקלאים משתמשים בחומרי הדברה כימיים כדי לשלוט בפטריות האלה, אך פטריות רבות נעשות עמידות לחומרי הדברה וכבר לא מושפעות על ידם, כך שנהיה קשה יותר לשלוט בהן. משמעות הדבר היא שחקלאים משתמשים ביותר ויותר חומרי הדברה, מה שגורם לנזק אקולוגי, וכן גורם לעמידות להתפשט אפילו יותר! שימוש בחיידקי אדמה עבור הדברה ביולוגית של פטריות משמעותו שחקלאים יכולים להשתמש בפחות חומרי הדברה כימיים בשדות שבהם מגדלים צמחי יבול. שימוש בפחות חומרי הדברה הוא טוב עבור האדמה, האוויר והמים, ועבור חרקים שמאביקים את הצמחים שלנו. כך, החיידקים האלה מגינים על כל הסביבה, ומסייעים לנו לגדל מזון.

חיידק הנְטוּ הוא מתסיס-על!

אחרי שאנו קוצרים מזון מהשדה, לפעמים הוא עובר במפעל תהליכים שהופכים אותו אכיל, ולעיתים קרובות חיידקי אדמה מעורבים בתהליכים אלה. הרבה מהכלים שחיידקים משתמשים בהם בייצור מזון דומים מאוד לכלים שמיני חיידקים אחרים משתמשים בהם באדמה עבור שליטה על פטריות. אחד ממיני החיידקים - *Bacillus subtilis natto* - יכול לבצע את שני הדברים האלה!

חיידק הנְטוּ הוא חלק מקבוצת *Bacillus* של מינים שנמצאים באדמה בכל רחבי העולם. החיידק הזה שימש במשך זמן רב ביפן כדי לייצר מזון שגם נקרא נְטוּ. המזון הזה מיוצר כאשר חיידק נְטוּ הופך פולי סויה לחומרי מזון דביקים – ומסריחים – בתהליך שנקרא **התססה**. נְטוּ פופולרי מאוד ביפן, שם הוא נצרך כחטיף בארוחת בוקר, ונאכל עם חרדל או עם רוטב סויה. נְטוּ מיוצר כמזון ביפן באמצעות התססת *Bacillus subtilis natto* מאז תקופת הקיסר טְאִישוּ, מייד אחרי מלחמת העולם הראשונה. חיידק הנְטוּ הוא גם סמל לתרבות פופולרית ביפן – אחת הדמויות בסדרת ספרי קומיקס הַמְנֶגֶה וְהָאֲנִימֶה שנקראת "מוֹיָאָסִימֶן" – אגדות של חקלאות" היא חיידק חמוד בשם נְטוּ. תפקידו בחווה הוא להתסיס פולי סויה כדי לייצר נְטוּ כמזון של הדמויות האנושיות.

בשאר העולם גם נעשה אופנתי לאכול נְטוּ, מאחר שכיום אנו יודעים שמזונות מותססים טובים מאוד לבריאות האדם [1]. הרבה מזונות ומשקאות מותססים זמינים כיום בחנויות לרבות תה קומבוצ'ה, מלפפוני קימצי', טֶמְפֶּה ויוגורט, שכולם מזונות שיכולים לסייע לעיכול שלנו. נְטוּ מכיל סיבים רבים והרבה ויטמין K, שנדרש עבור עצמות חזקות ובריאות. על ידי התססת פולי סויה לנְטוּ, חיידקי הנְטוּ שלנו מייצרים חטיף טעים שהוא נהדר עבור בטנכם וגופכם!

התססה (Fermentation)

תהליך שבו מיקרובים מפרקים מזונות מסוימים באמצעות אנזימים, כדי להפוך את המזון לסוג אחר של חומר. תוצרי התססה שכיחים כוללים בירה ויוגורט.

כיצד נטו משפיע על פטריות שהיו עשויות לגרום למחלות צמחים?

הודות לפרויקט האחרון שהייתי מעורבת בו, כעת אנו יודעים גם שחיידקי הנטו שלנו ככל הנראה תורמים תרומה גדולה למניעת מחלות פטרייתיות בחלק מהצמחים. חיידק הנטו מפגין הרבה התנהגויות חשובות שאנו רואים בחיידקים אחרים שמגינים על צמחים. בפרט, חיידק הנטו יכול לתקוף ביעילות רבה את דופן התא, שמגינה על תאי פטרייה [2]. לפטריות, כמו אלה שיכולות לגרום למחלות בצמחי פולי סויה, יש תאים ארוכים ודקים שגדלים מהר מאוד באמצעות שליחת קצה אחד של התא קדימה בכיוון אחד, מה שיוצר חוטים דקים שנקראים קורים. לתאים האלה יש שכבה חיצונית חזקה – דופן תא הפטרייה – שמורכבת בין השאר מחומר שנקרא **כִּיטִין** (איור 1). כיטין הוא **רב-סוכר** – מולקולה ארוכה מאוד שמורכבת מהרבה מולקולות סוכר קטנות יותר שמחוברות יחד, והוא קשיח וחזק מאוד. רב-סוכר מתנהג כמו שריון, ומגן על תא הפטרייה מהסביבה וממתקפות של מיקרובים אחרים. הוא גם גורם לתאי הפטרייה להיות חזקים מספיק כדי לחדור אל רקמת הצמח, שזה האופן שבו מתחיל זיהום של הצמח.

כיטין (Chitin)

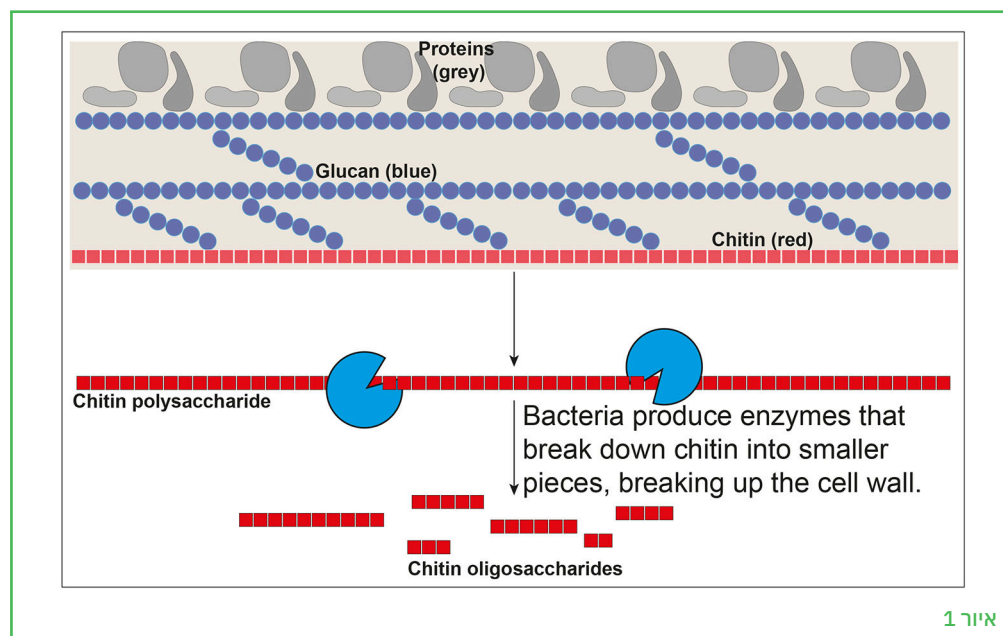
רב-סוכר חזק מאוד שנמצא בדפנות של תאי פטרייה, אשר מגן על התאים מפני הסביבה ומסייע לפטריות לזהם תאי צמחים.

רב-סוכר (Polysaccharide)

שרשרת ארוכה של מולקולות סוכר שמחוברות על ידי קשרים כימיים חזקים. לדוגמה, צלולוז מורכב משרשראות ארוכות של הסוכר גלוקוז. כיטין הוא רב-סוכר שמיוצר על ידי פטריות.

איור 1

דופן תא הפטרייה. דופן תא הפטרייה היא שכבה חזקה מהצד החיצוני של תא הפטרייה, שמגינה על התא מפני מוות. אם דופן התא מתפרקת, הפטרייה תמות, ולא תהיה מסוגלת לזהם צמחים. דופן תא הפטרייה מורכבת מרב-סוכר חזק (שרשרת ארוכה של פחמימות) שנקרא כיטין (באדום), וכן מחלבון ומרב-סוכר אחר שנקרא גֶלֶקָן (בכחול). חיידקים באדמה מייצרים אנזימים שיכולים לתקוף כיטין ולפרקו לחתיכות קטנות יותר שנקראות אוליגוֹסַכָּרִידים (שרשראות סוכר קצרות).



איור 1

אנזים (Enzyme)

סוג של חלבון שיכול לזרז תגובה, כמו למשל ייצור או פירוק של קשרים כימיים בפחמימות. אנזימים שמפרקים פחמימות הם ספציפיים מאוד, ופועלים רק על כיטין, צלולוז, או רב-סוכר אחר.

כיטינאז (Chitinase)

אנזים שמפרק רב-סוכר כיטין לפיסות קטנות יותר, שנקראות כיטין-אוליגוֹסַכָּרִידים.

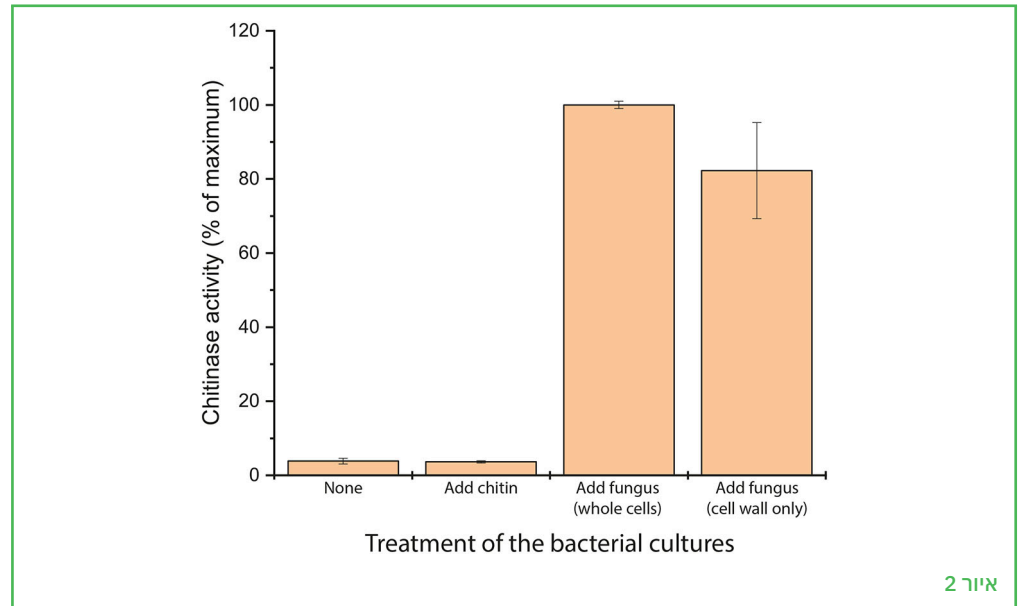
אנזימים שיכולים לפרק כיטין לפיסות קטנות יותר הם, לכן, נשקים חזקים מאוד כנגד פטריות, מאחר שהם מזיקים לשריון, ומאפשרים לתא הפטרייה להיות חשוף ולהיהרג. חיידקים שמגינים על צמחים באדמה מייצרים אנזים שנקראים **כִּיטִינָאז** שיכול להגן על צמחים מפני זיהום על ידי פטריות. הכיטינאז שחיידקי אדמה מייצרים הוא אחד מההיבטים החשובים ביותר של הדברה ביולוגית [3]. אנזימי כיטינאז חיידקיים חשובים מאוד גם לבריאות המערכת האקולוגית של האדמה ולפוריותה, מאחר שהם מפרקים תאי פטריות למולקולות קטנות שחיידקים יכולים לאכול. הדבר חיוני למחזור של פחמן ושל יסודות אחרים [4], שהוא התהליך שמניע את החיים על כדור הארץ!

במחקרנו האחרונים, הראינו שחיידק האדמה *Bacillus subtilis natto* יכול לייצר אנזימים שמפרקים את הכיטין בדפנות של תאי הפטרייה (איור 2). בבדיקות המעבדה שלנו, נצפה שהאנזימים האלה יכולים להמיר רב-סוכרים של כיטין למולקולות קטנות מאוד שנקראות

אוליגוסכרידים, ויכולים גם לשבור צבירים גדולים של דפנות תאי פטרייה כשצבירים אלה גדלים יחד עם האנזימים באותה התרבית.

איור 2

ייצור אנזימים של כיטינאז. גידלנו תרביות של *Bacillus subtilis natto* וטיפלנו בהן על ידי הוספת כיטין, תאי פטרייה שלמים מתים, או דפנות של תאי פטרייה מתים, או פטרייה מתים. לאחר מכן, מדדנו כמה פעילות של כיטינאז יוצרה על ידי החיידק בכל תנאי טיפול. ניתן לראות בבירור שהטיפול באמצעות כיטין לא גרם לייצור פעילות רבה יותר של כיטינאז, אך לטיפול עם תאי פטרייה או עם דופן של תא פטרייה הייתה השפעה גדולה.



איור 2

אוליגוסכריד (Oligosaccharide)

שרשרת קצרה של מולקולות סוכר שמחוברות על ידי קשרים כימיים חזקים. אוליגוסכרידים נוצרים כשאנזים מפרק רב-סוכר לפיסות קטנות יותר.

אולם, הופתענו לראות שחיידק הֶנְטוֹ לא אוהב לאכול כיטין בעצמו, והוא לא ייצר אנזימים של כיטינאז אם כיטין הוא החומר היחיד שהוא יכול למצוא. במקום זאת, חיידק הֶנְטוֹ צריך למצוא דופן תא פטרייה שלם לפני שהוא ייצר אנזימים של כיטינאז.

השלב הבא במחקרנו

תוצאותינו מצביעות על כך שחיידק הֶנְטוֹ יכול לחוש באופן כלשהו מתי יש פטריות בסביבה המקומית, ולהתחיל לייצר אנזימים של כיטינאז במטרה לפרק את החלקים החזקים ביותר של דופן תא הפטרייה. תוצאותינו גם מלמדות שאנו עשויים להיות מסוגלים להגדיל את התנהגות ההדברה הביולוגית ב-*Bacillus subtilis natto* באמצעות ערבוב דפנות תאים מפטריות מתות בתוך האדמה. חוקרים אחרים הראו שעבור חיידקים, הוספת כיטין בלבד לאדמה יכולה לגרום להגדלה בייצור של כיטינאז [5]. אך עבור חיידק הֶנְטוֹ שלנו, הסיפור מורכב יותר.

בבדיקותינו, *Bacillus subtilis natto* ייצר גם אנזימים שמפרקים חלבון, שהוא רכיב חשוב נוסף בדופן תא הפטרייה (איור 1). התרגשתי מכך, מאחר שאלה אותם אנזימים שמשמשים את הֶנְטוֹ לייצור של מזון! האנזימים שמפרקים חלבון היו ידועים במשך זמן רב, אולם כעת ראינו שימוש חדש לגמרי שלהם.

כיום אנו עורכים ניסויים נוספים במטרה לבחון אם השיטות שלנו להגדלת ייצור הכיטינאז יכולות להגדיל את יכולת ההדברה הביולוגית של *Bacillus subtilis natto* ולהפוך אותו יעיל יותר בהריגת הפטריות שעלולות להזיק לצמחים. עד כה זה נראה מבטיח, וניתן לראות שכמה מהפטריות שבחנו מושפעות מאוד על ידי חיידק הֶנְטוֹ שלנו. משמעות הדבר היא

שדמות הנטו מסדרת האנימה מוֹיְאָסִימון מבצעת שני תפקידים נהדרים בחווה, ומסייעת לנו בשתי דרכים שונות לייצר אספקה טובה של מזון בריא!

מאמר המקור

Schönbichler, A., Díaz-Moreno, S. M., Srivastava, V., and McKee, L. S. 2020. Exploring the potential for fungal antagonism and cell wall attack by *Bacillus subtilis natto*. *Front. Microbiol.* 11:521. doi: 10.3389/fmicb.2020.00521

מקורות

1. Dimidi, E., Cox, S. R., Rossi, M., and Whelan, K. 2019. Fermented foods: definitions and characteristics, impact on the gut microbiota and effects on gastrointestinal health and disease. *Nutrients*. 11:1806. doi: 10.3390/nu11081806
2. Schönbichler, A., Díaz-Moreno, S. M., Srivastava, V., and McKee, L. S. 2020. Exploring the potential for fungal antagonism and cell wall attack by *Bacillus subtilis natto*. *Front. Microbiol.* 11:521. doi: 10.3389/fmicb.2020.00521
3. Beier, S. and Bertilsson, S. 2013. Bacterial chitin degradation-mechanisms and ecophysiological strategies. *Front. Microbiol.* 4:149. doi: 10.3389/fmicb.2013.00149
4. McKee, L. S., and Inman, A. R. 2019. "Secreted microbial enzymes for organic compound degradation," in *Microbes and Enzymes in Soil Health and Bioremediation*, eds A. Kumar and S. Sharma (Singapore: Springer Singapore) (2019). p. 225–54.
5. Cretoiu, M. S., Korthals, G. W., Visser, J. H. M., and van Elsas, J. D. 2013. Chitin amendment increases soil suppressiveness toward plant pathogens and modulates the actinobacterial and oxalobacteraceal communities in an experimental agricultural field. *Appl. Environ. Microbiol.* 79:5291. doi: 10.1128/AEM.01361-13

פורסם אונליין: 30 במרץ 2023

עורך: Phillip R. Myer

מנחה מדעית: Vinuselvi Parisutham

ציטוט: McKee LS (2023) חיידק אדמה מסייע לנו לייצר מזון בריא. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.554161-he

תורגם והתאם מ: McKee LS (2020) One Type of Soil Bacteria Performs Two Important Jobs to Help Us Produce Healthy Food. *Front. Young Minds* 8:554161. doi: 10.3389/frym.2020.554161

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

COPYRIGHT © 2020 © 2023 McKee. 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

גיל: 9, KAVIN

ישנם דברים מעניינים וחשובים במדע.



גיל: 9, ROHIT

התחביב שלי הוא ציור וביצוע פרויקטים מדעיים. אני רוצה לצייר קריקטורות עבור אנימציה. הספורט האהוב עליי הוא קריקט. אני מכיר את ערי הבירה והדגלים של כל המדינות. אני גם יודע חלק מההמצאות העיקריות, ואת השמות של ממצאייהן.



גיל: 13, SWATI

המאמר הזה היה אינפורמטיבי מאוד. היה מעניין ללמוד על חיידק הֶנְטוּ. חשתי שזמני הושקע ביעילות במהלך תקופת הסגר בעקבות ירוס הקורונה.



גיל: 8, TANISHKAA

מאז ילדותי התעניינתי מאוד בלימוד מדע, ואני רוצה לחקור בו כל חלק מאחר שהוא מעניין מאוד. החלק האהוב עליי במדע הוא למידה על גוף האדם. אני רוצה שמדע ילווה אותי כחלק מחיי.



גיל: 13, TARUN

אני שחקן בדמינטון, שולט בכל הטכניקות של המשחק. אני גם אוהב לשחק שחמט, ותמיד מנצח כשאני משחק עם חבר שלי.



גיל: 13, THUVISHA

אני אוהבת מדע מאחר שזה משהו חדש שגורם לך לגלות דברים רבים שקשורים לחיי היומיום שלך. מדע תמיד מעניין, ובלעדיו אין שום דבר בעולם.





הכותבת

LAUREN S. MCKEE

לאורך גדלה בצפון-מזרח אנגליה וכיום היא חיה ועובדת בשטוקהולם, שוודיה. היא חוקרת ביוכימיה של חיידקים ואת הדרכים שבהן מיני מיקרובים שונים יכולים לתקשר זה עם זה ועם הסביבה. היא עובדת במעבדה ומלמדת סטודנטים על מיקרואורגניזמים ועל האופן שבו ניתן להשתמש בהם בתעשייה. לאורך הכי מתעניינת באנזימים שחיידקים מייצרים באדמה – אלה חשובים מאוד במערכות אקולוגיות טבעיות, והם גם כלים יקרי ערך לתעשיית הביוטכנולוגיה. [*mckee@kth.se](mailto:mckee@kth.se)

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