

מהם מיקרואורגניזמים מודלים?

Edder D. Bustos-Diaz*

המעבדה לאבולוציה של מגוון מטבולי, היחידה לגנומיקה מתקדמת בלנג'בי, אירפואטו, מקסיקו

כשאתם הולכים לקנות דג, אתם ככל הנראה תקבלו הוראות מפורטות מאוד על איך לטפל בו. אפילו לפני שאתם הולכים הביתה עם החבר החדש שלכם, אתם תדעו הרבה דברים מועילים כמו למשל מה הוא אוכל ובאיזו תדירות צריך לנקות את המכל שלו. כעת, אם תנסו לאמץ תמנון, דברים לא יהיו פשוטים כל כך. זאת אומרת, האם בכלל יש לו פה? למדענים יש בעיה דומה. כשאנו מתכננים ניסויים באמצעות חיות, אנו צריכים לדעת עליהן הרבה כך שנוכל להגיד אם הניסויים שלנו משפיעים עליהן או לא. מאחר שמדענים לא יכולים לקוות ללמוד הכול על כל החיות, הם החליטו לחקור רק חלק קטן מהן, ולהשתמש בדוגמאות הנחקרות האלה למחקר שלהם. היצורים האלה שנחקרו לעומק נקראים אורגניזמים מודלים, ובמאמר הזה אתם תלמדו על היצורים הקטנים ביותר מביניהם.

הקדמה

ישנו מגוון כל כך מדהים של יצורים חיים, שנסיון ללמוד על כולם היה לוקח לנו מאות ואלפי שנים. מדענים רוצים להשתמש ביצורים חיים לצורכי מחקר, ולא רוצים לחכות זמן רב כל כך – כלומר, מי הולך לזכות בכל פרסי הנובל בינתיים? אז, במקום לחקור את כל סוגי הדגים ביים, אנו חוקרים רק חלק מהם. זהו עיקרון חשוב במיוחד במקרה של **חיידקים**, מאחר שיש יותר מיני

סוקרות צעירות

MARIA

גיל: 15



MARIANA

גיל: 14



חיידקים (Bacteria)

אורגניזמים שיש להם רק תא אחד. ביחיד הם נקראים חיידק.

חיידקים מאשר דגים בים. למעשה, ישנם מיני חיידקים רבים כל כך, שאנו יכולים רק לנחש כמה מהם יש. ואז, כדי להקשות אפילו יותר, מיני חיידקים גם שונים זה מזה, כך שלפעמים השוואה בין שני מינים מרגישה כמו השוואה בין מדוזה ובין סוס. מאחר שאנו יודעים כל כך מעט על הסוגים השונים של חיידקים שקיימים, מרבית המחקר שבוצע על חיידקים התבצע באמצעות מספר קטן של מיקרואורגניזמים שנקראים מיקרו-אורגניזמים מודלים (model microorganisms) [1]. מדענים משתמשים בהם כשהם רוצים לערוך מחקרים מורכבים, מאחר שאנו יודעים עליהם הרבה וזה מפחית את חוסר הוודאות שאנו יכולים לראות בניסויים שלנו. למדנו כל כך הרבה על חלק מאורגניזמים מודלים שֶקָל להשתמש בהם כדי לערוך את סוג הניסויים שאנו מעוניינים בו [2].

חיידקים כאורגניזמים מודלים

חיידקים, ממש כמו כל שאר היצורים החיים, מורכבים מאוסף של כימיקלים. בעוד שישנם הרבה סוגי כימיקלים בתוכם, השניים הכי חשובים הם **דנ"א וחלבונים**. מולקולות דנ"א מחזיקות במידע הגנטי של אורגניזם. המידע הגנטי הזה הוא מה שנותן לאורגניזמים חיים את הזהות שלהם – דברים כמו צבע של פרחים, או צורת עיניים של בן אדם. אזורי הדנ"א שאחראיים על התפקודים האלה, ורבים אחרים, נקראים גֶנִים.

חלבונים הם גם כימיקלים, אולם התפקודים שלהם מגוונים יותר. בעוד שדנ"א הוא כמו רשימה של מתכונים, החלבונים הם העוגות עצמן. חלבונים מגיעים בהרבה צורות וגדלים, ויכולים לבצע תפקידים שונים רבים, אולם הדבר החשוב לדעת הוא שהם מקודדים בדנ"א, באותם הגנים שהזכרנו קודם, ואם אורגניזם סובל משינויים ברצף הדנ"א שלו, החלבונים יכולים להשתנות במידה משמעותית, לעיתים לטובה ולעיתים לרעה.

לכל אורגניזם יש דנ"א וחלבונים, אולם מה שמייחד חיידקים זה שאין להם הרבה מהמולקולות האלה. טוב, יש להם אלפי גנים וחלבונים, אבל זו כמות קטנה יחסית למאות אלפי הגנים והחלבונים שיש לחיות ולצמחים אחרים. בשל הפשטות היחסית שלהם, קצת יותר קל להבין את התפקידים והאינטראקציות של גנים וחלבונים של חיידקים. הכמות הקטנה של חלבונים וגנים גם אומרת שחיידקים הם אורגניזמים פשוטים יותר באופן כללי. בעוד שלאורגניזמים אחרים יכולים להיות איברים שמוקדשים לנשימה או לעיכול מזון, חיידקים עושים הכל בבת אחת באיבר היחיד שלהם: **התא**. תא חיידקי הוא אורגניזם שלם בפני עצמו.

יתרון אחר של עבודה עם חיידקים הוא שהם לא דורשים הרבה מזון או מקום. כתוצאה מהגודל הקטן שלהם, קל להאכיל אותם כך שאנו יכולים לתחזק אוכלוסייה שלמה של חיידקים במשך ימים על בסיס כמות קטנה של מזון שהוא למעשה ציר עוף. לבסוף, חיידקים גדלים מהר על-ידי חלוקה של עצמם לשני תאים חדשים, כך שהם גדלים בקצב אקספוננציאלי, מה שנותן למדענים הרבה תאים לעבוד איתם.

הנה כמה חיידקים שמהווים אורגניזמים מודלים, שמשמשים בניסויים מדעיים ברחבי העולם:

אשריכיה קולי (Escherichia Coli)

אשריכיה קולי, או בקיצור, אי קולי, הוא ללא ספק הסופרסטאר של אורגניזמים מודלים. אי קולי משמש כמעט לכל דבר, ממחקרים על מחזור החיים של חיידקים עד לניסויים על האופן שבו

דנ"א

(DNA)

שרשרת של ארבעה כימיקלים שמסודרים ברצפים שונים. הדנ"א משמש לאחסון וקידוד המידע הנדרש ליצירת חלבונים.

חלבונים

(Proteins)

הכימיקלים הכי שכיחים בתאים. יש להם תפקידים שונים, והם מורכבים מהרבה כימיקלים שונים. ההוראות לבנייתם מקודדות בדנ"א.

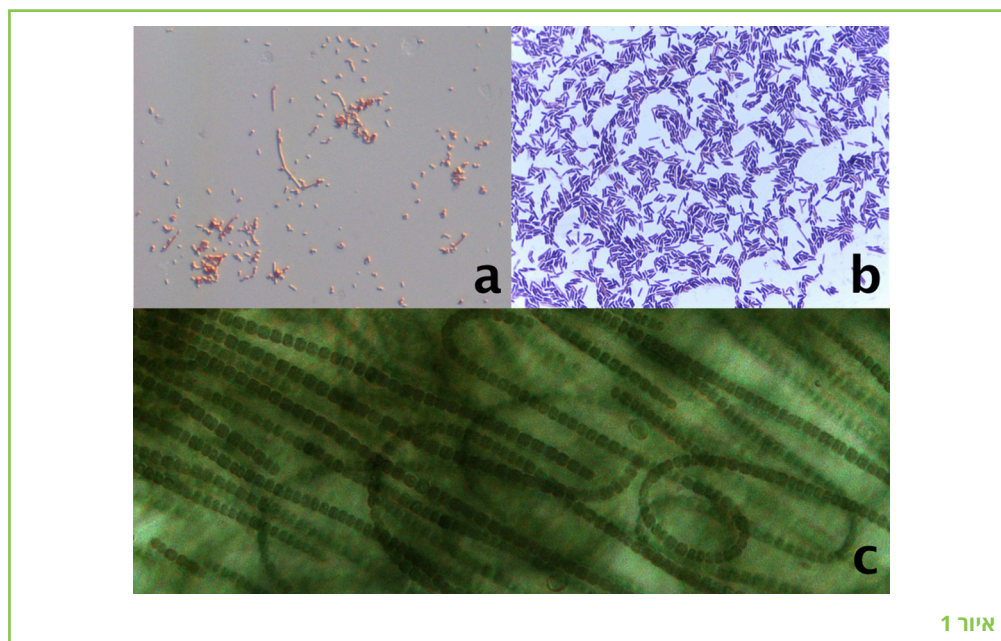
תא

(Cell)

היחידה הביולוגית הקטנה ביותר. היא מכילה דנ"א, חלבונים והרבה כימיקלים אחרים.

איור 1

מבנים של חלק מהחיידקים שמשמשים כאורגניזמים מודלים. התמונות צולמו באמצעות מיקרוסקופ, מאחר שחיידקים הם קטנים מאוד. (a) תאים צבועים ועגולים של אשריכיה קולי. (b) תאים צבועים של *Bacillus subtilis*. (c) זן הציאנובקטריה הירוק באופן טבעי, *Nostoc sp.*, חיידק שיוצר חוטים של הרבה תאים מחוברים.



איור 1

חיידקים מתנהגים בטמפרטורות קרות ביותר. החיידק הקטן והעגול הזה (איור 1a) התגלה על-ידי תאודור אשריך בשנת 1885, והיה בשימוש בניסויים רבים שסייעו לנו להבין כיצד חיידקים פועלים: כיצד הם אוכלים, כיצד הם מתרבים, שאלות על הגנים והחלבונים שלהם – כמעט על כל דבר, למעשה. לכן, באופן מסוים, אפשר לומר שהמיקרוביולוגיה המודרנית נבנתה על גבי ה"כתפיים" של אי קולי. אי קולי בדרך כלל נמצאים במעיין שלנו, שם הם חיים בלי להזיק לנו, אף על פי שחלק מהזנים של אי קולי יכולים לגרום לשלשול ולמחלות מעיים אחרות. אולם אל דאגה, הזנים שמשמשים במעבדות אינם מזיקים [1].

Bacillus Subtilis

Bacillus ידוע בקלות שבה מדענים יכולים לשנות את הגנים שלו, מה שמאפשר לנו לחקור את התפקודים של הרבה מהגנים האלה [3]. מאפיין מעניין אחר של החיידק הזה הוא שהוא מייצר מבנים שנקראים נבגים תוך-תאיים (endospores), שהם צורה תאית מיוחדת שמאפשרת לו לשרוד אפילו כשהתנאים לא כל כך מתאימים לגדילה שלו. בעוד ש-*Bacillus* אינו האורגניזם היחיד שיכול ליצור נבגים תוך-תאיים, מרבית המחקרים המעניינים על האופן שבו הנבגים התוך-תאיים נוצרים נערכו על *Bacillus* [4]. החיידקים האלה נמצאים באדמה, ויש להם צורה שדומה למוט (איור 1b), לעיתים קרובות עם נבגים תוך-תאיים שנמצאים באחד הקצוות.

Mycobacterium Tuberculosis

החיידקים האלה גורמים לשחפת, מחלה שהייתה קטלנית מאוד בעבר. הרבה מהמחקר שמבוצע באמצעות *Mycobacterium* לימד אותנו כיצד להשתמש בכימיקלים שיכולים להרוג חיידקים מסוכנים. אף על פי ששחפת כבר אינה מחלה קטלנית כמו פעם, ישנם כיום זנים של *Mycobacterium* שהם עמידים לתרופות. הזנים האלה מסוכנים מאחר שהם יכולים לשרוד בנוכחות של הרבה מסוגי האנטיביוטיקה. כיום, הרבה מהמחקר שמבוצע באמצעות *Mycobacterium* מתמקד בלמידת האופן שבו הם מזהמים בני אדם, כיצד החיידקים מתקשרים עם אנטיביוטיקה, וכיצד אנו יכולים להגן על עצמנו מפניהם [5]. תחום מחקר אחר שמשמש ב-*Mycobacterium* הוא המחקר של חברות חיידקים. חברות חיידקים הן קבוצות

איור 2

תרבית של
Streptomyces coelicolor
צבועים בכחול, עם
נבגים לבנים. יש להם ריח
מוזר, קצת כמו שדה חיטה
אחרי הגשם.



איור 2

של תאי *Mycobacterium* בודדים שמחוברים באופן הדוק זה לזה על-ידי תרכובת כימית מיוחדת שמוצרת על-ידי החיידקים, שנקראת חומצה מיקולית (mycolic acid). הצבירים האלה של תאי *Mycobacterium* נראים כמו מיתרים, כאשר תאים יחידנים מתלפפים אחד סביב לשני באופן מבולגן [6].

Streptomyces

אתם בטח מכירים אנטיביוטיקה כחומר שהורג חיידקים... אולם האם ידעתם שחלק מהחיידקים למעשה מייצרים אנטיביוטיקה? *Streptomyces* הם יצרני אנטיביוטיקה מצוינים. במשך כ-20 שנים, החיידקים האלה נחקרו באופן אינטנסיבי, ושימשו ליצירת אנטיביוטיקות חדשות רבות. הודות לעבודה הזו, אנו יודעים הרבה יותר על האופן שבו אנטיביוטיקה מיוצרת, ועל הגנים והחלבונים שמעורבים בתהליך [7]. *Streptomyces* גם שימשו לחקור כיצד תאי חיידקים מתפתחים. החיידקים האלה יכולים לייצר תאים מיוחדים שנקראים נְבָגִים, יחד עם חוטים ארוכים ומסועפים שיוצאים מתוך התאים, שנקראים קוורים [8]. המבנים האלה מספקים ל-*Streptomyces* מראה ייחודי – התאים מאורכים, עם קורים שמסתעפים ולעיתים יש להם נבגים עגולים סביבם, מה שגורם לתאים להיראות כמו כתמים צבעוניים (איור 2), כתוצאה מאוסף הכימיקלים שהם מייצרים. אפשר למצוא *Streptomyces* שחיים בהרבה סביבות מחיה יבשתיות.

ציאנובקטריה (Cyanobacteria)

ציאנובקטריה מורכבים מקבוצה שלמה של חיידקים קשורים, שנקראת מערכה (phylum). בתוך מערכה, כל האורגניזמים חולקים מאפיינים מסוימים, ובמקרה של ציאנובקטריה המאפיינים המשותפים האלה הם הצבע הירוק העז שלהם. המראה הירוק הנפלא שלהם נגרם על-ידי חלבון שנקרא כלורופיל, אשר מאפשר לציאנובקטריה לבצע פוטוסינתזה. פוטוסינתזה היא תהליך שחוקר בעיקר בצמחים. כמו צמחים, ציאנובקטריה יכולים להשתמש בפוטוסינתזה כדי לשנות אנרגיית שמש לאנרגיה כימית, שבה הם משתמשים כדי לתדלק את עצמם [9]. מדענים חקרו את החלבונים והגנים בציאנובקטריה שמאפשרים להם לבצע פוטוסינתזה, ובשנים האחרונות העניין בציאנובקטריה אפילו נָבַר בהקשר לתחום של אנרגיה

מתחדשת. כיום ישנם מחקרים רבים שמנסים להבין כיצד להשתמש בפוטנציאל הפוטוסינתטי של ציאנובקטריה ליישומים תעשייתיים [10]. אפשר למצוא ציאנובקטריה פחות או יותר בכל מקום, ולהרבה זני ציאנובקטריה יש מבנים מיוחדים (איור 1c), אולם כולם ירוקים, הודות לכלורופיל שלהם.

מסקנות

ישנם הרבה מיקרואורגניזמים מודלים בעולם, ולכל אחד יש מאפיינים ביולוגיים ייחודיים שאפשר להשתמש בהם לסוגי מחקר שונים. אנחנו הראינו לכם את קצה הקרחון – ישנם הרבה סוגי חיידקים נוספים שמשמשים כאורגניזמים מודלים, ואי אפשר לכסות את כולם כאן. לכן, אל תכעסו אם במקרה השמטנו את החיידק האהוב עליכם!

תודות

תודה לפרנסיסקו בארונה-גומז, הילדה רמוז-ארבויטס, אלאן ינייז-אולברה וכל האנשים שסייעו בכל התהליך של פרסום המאמר.

מקורות

1. Blount, Z. D. 2015. The natural history of model organisms: the unexhausted potential of *E. coli*. *Elife*. 4:e05826. doi: 10.7554/eLife.05826
2. Fields, S., and Johnston, M. 2005. Whither model organism research? *Science*. 307:1885–86. doi: 10.1126/science.1108872
3. Borriss, R., Danchin, A., Harwood, C. R., Medigue, C., Rocha, E. P., Sekowska, A., et al. 2018. *Bacillus subtilis*, the model Gram-positive bacterium: 20 years of annotation refinement. *Microb. Biotechnol.* 11:3–17. doi: 10.1111/1751-7915.13043
4. Errington, J. 2003. Regulation of endospore formation in *Bacillus subtilis*. *Nat. Rev. Microbiol.* 1:117. doi: 10.1038/nrmicro750
5. Georghiou, S. B., Magana, M., Garfein, R. S., Catanzaro, D. G., Catanzaro, A., and Rodwell, T. C. 2012. Evaluation of genetic mutations associated with *Mycobacterium tuberculosis* resistance to amikacin, kanamycin and capreomycin: a systematic review. *PLoS ONE*. 7:e33275. doi: 10.1371/journal.pone.0033275
6. Zambrano, M. M., and Kolter, R. 2005. Mycobacterial biofilms: a greasy way to hold it together. *Cell*. 123:762–4. doi: 10.1016/j.cell.2005.11.011
7. de Lima Procópio, R. E., da Silva, I. R., Martins, M. K., de Azevedo, J. L., and de Araújo, J. M. 2012. Antibiotics produced by streptomyces. *Braz. J. Infect. Dis.* 16:466–71. doi: 10.1016/j.cell.2005.11.011
8. Chater, K. F. 2006. Streptomyces inside-out: a new perspective on the bacteria that provide us with antibiotics. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 361:761–8. doi: 10.1098/rstb.2005.1758
9. Peschek, G. A. 1999. "Photosynthesis and respiration of cyanobacteria," in *The Phototrophic Prokaryotes, 1st Edn.*, eds G. A. Peschek, W. Löffelhardt, and G. Schmetterer (Boston, MA: Springer). 201–9. doi: 10.1007/978-1-4615-4827-0_24

10. Lindberg, P., Park, S., and Melis, A. 2010. Engineering a platform for photosynthetic isoprene production in cyanobacteria, using synechocystis as the model organism. *Metab. Eng.* 12:70–9. doi: 10.1016/j.ymben.2009.10.001

פורסם אונליין: 28 בינואר 2022

נערך על ידי: Angelica Cibrian-Jaramillo

מנחה מדעי: J Abraham Avelar-Rivas

ציטוט: Bustos-Diaz ED (2022) מהם מיקרואורגניזמים מודלים? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2019.00145-he

תורגם והותאם: Bustos-Diaz ED (2020) What Are Model Microorganisms? Front. Young Minds 7:145. doi: 10.3389/frym.2019.00145

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

COPYRIGHT © 2020 © Bustos-Diaz 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 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.

סוקרות צעירות

MARIA, גיל: 15

אני תלמידה בחטיבת ביניים. אני משחקת הוקי באירפואטו, ואני אוהבת לקרוא תכתובות מדעיות על כדור הארץ שאנו חיים בו. אני אוהבת ללמוד על יצורים חיים, ואני אוהבת את המשפחה שלי, את החתול שלי, ואת הכלב של אחותי. אני אוהבת אוכל והמבורגרים, ואני אוהבת לבקר את בני הדודים שלי. אני אוהבת לטייל וללמוד על תרבויות שונות. אני גם אוהבת לראות סרטים וסדרות טלוויזיה.

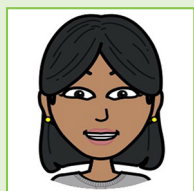
MARIANA, גיל: 14

אני אוהבת כדורגל, הוקי, קריאה ונגינה על פסנתר. אני גם אוהבת לצפות בסרטים עם חברים ועם המשפחה שלי, ולשחק עם אחי.

הכותב

EDDER D. BUSTOS-DIAZ

קוראים לִי Edder Daniel Bustos-Diaz, אף על פי שאני מציג את עצמי כ-Daniel Diaz, מאחר שזה קצר יותר וקל יותר לזכירה. אני סטודנט לדוקטורט במעבדה הלאומית לגנומיקה למגוון ביולוגי במקסיקו (שבדרך כלל נקראת בקיצור LANGEBIO). אני אוהב לקרוא נובלות וסיפורים קצרים. אני גם אוהב לתופף על שולחנות



ולשחק במשחקי וידיאו. אני עובד עם מיקרואורגניזמים שנקראים ציאנובקטריה. הם ירוקים, משונים ועושים הרבה דברים מעניינים. יש להם צורות מגניבות. אני אוהב אותם מאוד. *edder.bustos@cinvestav.mx

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