

עד כמה נדירים יסודות נדירים בקרב יצורים חיים?

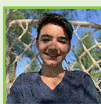
Rocío Bustillos-Cristales¹, Yagul Pedraza-Pérez², Luis Ernesto Fuentes-Ramírez^{1*}

¹המכון למדעים, האוניברסיטה האוטונומית בנמריטה של פואבלה, פואבלה, מקסיקו
²המחלקה לביולוגיה, האוניברסיטה הפופולרית האוטונומית של אסטדו דה פואבלה, פואבלה, מקסיקו

סוקר צעיר

KONSTANTIN

גיל: 14



יסודות כימיים (Chemical Elements)

חומרים טהורים שמורכבים מאטומים עם אותו מספר פרוטונים.

יסודות נדירים הם קבוצה של יסודות כימיים מתכתיים שחולקים תכונות מסוימות, ושחרף שמם אינם נדירים כל כך בקרום כדור הארץ. עד לאחרונה, לא ידענו על אף יסוד נדיר שהיה הכרחי לאורגניזם חי. כעת, אנו יודעים שישנם חיידקים מסוימים שמשתמשים ביסודות נדירים לביצוע פעולות שמאפשרות להם לצרוך אלכוהול. בני אדם מתעניינים ביסודות נדירים גם הם מאחר שיסודות אלה הם בעלי ערך ליישומים טכנולוגיים רבים. במאמר זה נסביר על ההשתתפות הידועה היחידה של יסודות נדירים באורגניזמים חיים, ומדוע מחקר עתידי על יסודות נדירים הוא חשוב.

כמה נדירים הם היסודות הנדירים?

כל החומרים לרבות חומרים שמרכיבים את האורגניזמים החיים, מורכבים מאטומים. אטומים הם חלקיקים זעירים, כל כך קטנים שאי אפשר לראותם אפילו עם המיקרוסקופים החזקים ביותר. אטומים מורכבים מחלקיקים אחרים, זעירים עוד יותר, שנקראים ניטרונים, פרוטונים ואלקטרונים. כאשר לאטומים יש את אותה כמות הפרוטונים, הם נחשבים חלק מאותה מחלקה של חומרים, ונקראים **יסודות כימיים**. חלק מהיסודות הכימיים שאולי שמעתם עליהם כוללים

חמצן, פחמן וברזל. כימאים ארגנו את כל היסודות בהתאם למאפייניהם בטבלה המחזורית של היסודות (<https://www.rsc.org/periodic-table>).

יסודות נדירים (Rare-Earth Elements)

יסודות מתכתיים שכוללים את הלנתנידים ואת היסודות סקנדיום ואיטריום.

לנתנידים (Lanthanides)

יסודות מתכתיים רכים שמקובצים בטבלה המחזורית בין המספרים האטומיים 57 (לנתנום) ו-71 (לוטציום).

יסודות נדירים כוללים קבוצה שנקראת **לנתנידים**, וכן את היסודות סקנדיום ואיטריום. אלו הן מתכות רכות שכולן דומות בצבען, ומחלידות כשהן נחשפות לאוויר. יסודות נדירים נוצרים תחת לחצים וטמפרטורות עצומים בתוך סופרנובה, ומשם הם נזרקים החוצה אל שאר היקום לרבות אל כדור הארץ. היסוד הנדיר פרומתיום מיוצר בכדור הארץ שלנו, בכורים גרעיניים שבני אדם בנו. חלק מ-17 היסודות הנדירים הם נדירים מאוד על פני כדור הארץ, אולם מרביתם שכיחים יחסית (איור 1). יסודות נדירים נמצאים בקליפת כדור הארץ, אך גם בשכבות העמוקות יותר של כדור הארץ ובנהרות, אגמים וימים. יסודות נדירים הם בעלי ערך רב לבני האדם, מאחר שיש להם שימושים חשובים רבים: הם משמשים בעיקר במכשור רפואי ובטכנולוגיה, וכן ליצירת חלק מסוגי המנורות, הסוללות, הצבעים, המגנטים החזקים, הלייזרים וכן הלאה (איור 1).

יסודות נדירים מתקבלים לרוב דרך חציבת מחצבי מינרלים. כשאנו ממשיכים להשתמש ביסודות נדירים, אנו מפחיתים את אספקתם בכדור הארץ. האסטרטגיה הטובה ביותר שלנו לעתיד עשויה להיות מחזור של יסודות נדירים כך שנוכל להשתמש בהם שוב. נוסף על כך מחזור מועיל מאחר שיסודות נדירים עלולים להיעשות מזהמים מסוכנים של הסביבה.

יסודות נדירים באורגניזמים חיים

יסודות כימיים רבים הכרחיים לחיים בריאים של כל האורגניזמים החיים. היסודות שנמצאים בכמויות הגדולות ביותר באורגניזמים חיים, ומרכיבים כ-99% מהמסה החיה שלהם, הם חמצן, פחמן, מימן, חנקן, גופרית וזרחן. עד לאחרונה, לא אותרו יסודות נדירים באף אורגניזם חי, אולם כעת אנו יודעים שיסודות נדירים חשובים לחיידקים מסוימים שצורכים אלכוהול שנקרא **מתנול** (איור 2) [1, 2]. זו הייתה תגלית נפלאה מאחר שקודם לכן מדענים רבים חשבו שאף אחד מהאורגניזמים החיים לא היה זקוק ליסודות נדירים.

התברר שסוגים רבים של חיידקים שצורכים מתנול זקוקים ליסודות נדירים, אך בכמויות קטנות מאוד. לדוגמה, מרבית החיידקים צורכי המתנול יכולים להשתמש במתנול כדי לשרוד ולהתרבות בנוכחות של כ-0.004 גרם לליטר של היסוד הנדיר צריום – כמות זעירה ביותר. עד כה, אין ראיות ניסיוניות לכך שיסודות נדירים חשובים לאורגניזמים כמו צמחים וחיות. אולם קבוצת מחקר אחת מצאה דבר מעניין – גֵּנִים עבור חלבונים שכל הנראה קשורים ליסודות נדירים בכמה אורגניזמים שונים לרבות בני אדם [3]. מחקר עתידי עשוי לסייע לקבוע אם יסודות נדירים משמשים גם אורגניזמים שאינם חיידקים.

כיצד יסודות נדירים מסייעים לחיידקים "לאכול" אלכוהול?

במשך זמן ארוך היה ידוע שכמה סוגי חיידקים, שנקראים **חיידקים מטילוטרופיים**, יכולים להשתמש באלכוהולים אתנול או מתנול בתור מזון. זה יוצא דופן, מאחר שסוגי האלכוהול האלה רעילים מאוד לאורגניזמים אחרים לרבות בני אדם! מחקר רב-שנים על חיידקים מטילוטרופים הראה שחלקם זקוקים ליסוד סידן כדי לצרוך מתנול. תגליות נוספות הצביעו על כך שלפחות חלק מהחיידקים יכולים לצרוך מתנול ואתנול באמצעות יסודות נדירים במקום סידן [4, 5].

חיידקים מטילוטרופים (Methylophilic Bacteria)

מיקרואורגניזמים חיידקיים שצורכים חומרים אורגניים עם אטום אחד של פחמן, לדוגמה מתנול או מתאן.

איור 1

היסודות הנדירים השכיחים ביותר הם לנתנום, צריום, פרסאודימיום ונאודימיום. ליסודות נדירים יש שימושים חשובים רבים בתעשייה, שחלקם מוצגים כאן: מגנטים חזקים, רכיבי מטוסים, מכשירי X-RAY לייזר, מכשירי טלסקופים ועדשות לטלסקופים.

Lanthanides

Abundance and some uses

57
La
Lanthanum

58
Ce
Cerium


59
Pr
Praseodymium


60
Nd
Neodymium

MOST ABUNDANT LANTHANIDES

from 31 to 66 Kg/ton of Earth crust


HIGH POWER MAGNETS






AIRPLANE COMPONENTS

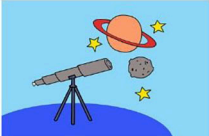
LASER DEVICES





X-RAY DEVICES

TELESCOPE LENSES



איור 1

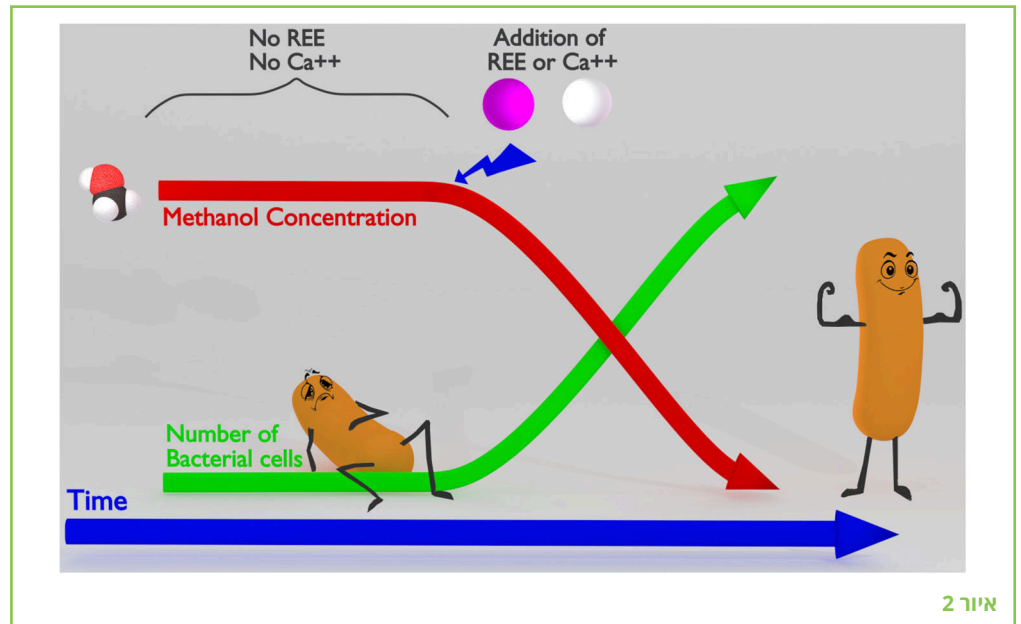
נוסף על כך חלק מהחיידקים המתילוטרופים נמצאו כאוכלים חומר אחר, שנקרא **מתאן** - בתחילה חיידקים אלו ממירים מתאן למתנול, ואז צורכים אותו. מתאן הוא אחד הגזים שתורמים לאפקט החממה, לכן חיידקים שצורכים אותו חיוניים לשמירה על תנאי טמפרטורה תקינים בכדור הארץ, כלומר הם קריטיים לחיים בכוכבנו.

מתאן (Methane)

היסוד העיקרי בגז טבעי, ואחד הגזים שתורמים לאפקט החממה.

איור 2

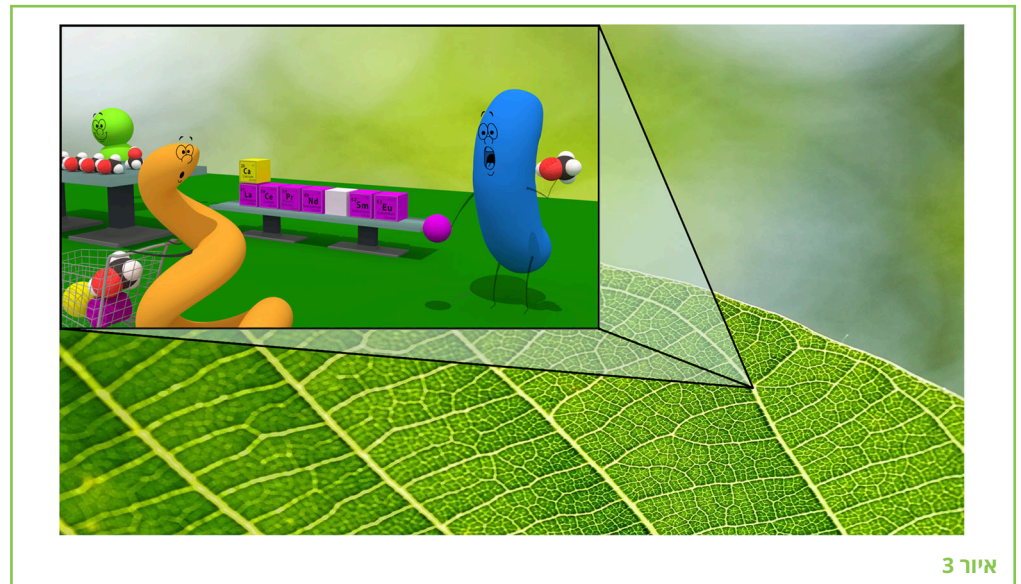
חיידקים מתילוטרופים זקוקים ליסודות נדירים או לסיידן (Ca^{++}) כדי להשתמש במתנול בתור מזון. משמאל, ניתן לראות שחיידקים לא יכולים להשתמש במתנול כמזון עד שיסודות נדירים או סיידן (Ca^{++}) נמצאים. בנוכחות של יסודות נדירים או של סיידן, ריכוז המתנול יורד במהלך הזמן כשהחיידקים משתמשים בו, בעוד שמספר תאי החיידקים גדל מאחר שמתנול מספק להם אנרגיה להתחלקות.



איור 2

איור 3

חיידקים חיים על צמחים כך שיוכלו להשתמש בחומרים שנמצאים על פני השטח של העלים. חלק מהצמחים מייצרים מתנול, שחיידקים עליהם יכולים לאכול בנוכחות יסודות נדירים או סיידן. עלי צמחים יכולים גם לייצר חומרים אחרים שימושיים לגדילת חיידקים, כמו למשל סוכרים וחומצות אמינו.



איור 3

החיידקים אוכלי המתנול חיים בהרבה מקומות שונים לרבות בשורשים של סוגי צמחים שונים ובעלים שלהם [6, 7], ככל הנראה מאחר שצמחים אלה מייצרים מתנול ומשחררים אותו לסביבה. באופן מעניין, חלק מהצמחים משחררים לא רק מתנול, אלא גם הרבה מולקולות אחרות שהן בעלות ערך לחיידקים. אם כן, צמחים הם כמו סופרמרקט עבור מיקרואורגניזמים. (איור 3).

אילו תגליות צופן העתיד?

יסודות נדירים הם יסודות מתכתיים שניתן למצוא בסביבות מגוונות. הם שימושיים בתעשיות שונות ובחיי היומיום. חשיבותם באורגניזמים חיים לא הייתה ידועה עד לאחרונה, כשהבינו

שחיידיקים רבים זקוקים ליסודות נדירים עבור צריכת אלכוהול, מתנול ומתאן. כיום, כמה קבוצות מחקר ברחבי העולם חוקרות נושאים מגוונים שקשורים ביסודות נדירים, כך שצפויות תגליות חדשות רבות. בחלוף הזמן, אנו צוברים ידע נוסף על האופן שבו חיידקים משתמשים ביסודות נדירים, ועשויים אפילו למצוא אורגניזמים אחרים שמתמשים ביסודות אלה. הידע הזה יכול לסייע לנו בחציבת יסודות נדירים באופן ידידותי לסביבה, או בניקוי מקומות שהזדהמו על ידי יסודות נדירים.

תודות

אנו מודים לצי'ארה פואנטס על הסיוע בהכנת איור 1.

מקורות

1. Fitriyanto, N. A., Fushimi, M., Matsunaga, M., Pertiwiningrum, A., Iwama, T., and Kawai, K. 2011. Molecular structure and gene analysis of Ce^{3+} -induced methanol dehydrogenase of *Bradyrhizobium* sp. MAFF211645. *J. Biosci. Bioeng.* 111:613–7. doi: 10.1016/j.jbiosc.2011.01.015
2. Hibi, Y., Asai, K., Arafuka, H., Hamajima, M., Iwama, T., and Kawai, K. 2011. Molecular structure of La^{3+} -induced methanol dehydrogenase-like protein in *Methylobacterium radiotolerans*. *J. Biosci. Bioeng.* 111:547–9. doi: 10.1016/j.jbiosc.2010.12.017
3. De Simone, G., Polticelli, F., Aime, S., and Ascenzi, P. 2018. Lanthanides-based catalysis in eukaryotes. *IUBMB Life* 70:1067–75. doi: 10.1002/iub.1933
4. Huang, J., Yu, Z., Groom, J., Cheng, J. F., Tarver, A., Yoshikuni, Y., et al. 2019. Rare earth element alcohol dehydrogenases widely occur among globally distributed, numerically abundant and environmentally important microbes. *ISMEJ.* 13:2005–17. doi: 10.1038/s41396-019-0414-z
5. Good, N. M., Vu, H. N., Suriano, C. J., Subuyuj, G. A., Skovran, E., and Martinez-Gomez, N. C. 2016. Pyrroloquinoline quinone ethanol dehydrogenase in *Methylobacterium extorquens* AM1 extends lanthanide-dependent metabolism to multicarbon substrates. *J. Bacteriol.* 198:3109–18. doi: 10.1128/JB.00478-16
6. Bustillos-Cristales, M. R., Corona-Gutierrez, I., Castañeda-Lucio, M., Águila-Zempoaltécatl, C., Seynos-García, E., Hernández-Lucas, I., et al. 2017. Culturable facultative methylotrophic bacteria from the cactus *Neobuxbaumia macrocephala* possess the locus *soxF* and consume methanol in the presence of Ce^{3+} and Ca^{2+} . *Microbes Environ.* 32:244–51. doi: 10.1264/jisme2.ME17070
7. Fedorov, D. N., Doronina, N. V., and Trotsenko, Y. A. 2011. Phytosymbiosis of aerobic methylobacteria: new facts and views. *Microbiology* 80:443–54. doi: 10.1134/S0026261711040047

פורסם אונליין: 29 בספטמבר 2022

נערך על ידי: Martha Helena Ramírez-Bahena

מנחה מדעי: Salza Palpurina

ציטוט: Bustillos-Cristales R, Pedraza-Pérez Y and Fuentes-Ramírez LE (2022) עד כמה נדירים יסודות נדירים בקרב יצורים חיים? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2020.526870-he

תורגם והותאם: Bustillos-Cristales R, Pedraza-Pérez Y and Fuentes-Ramírez LE (2021) How Rare Are Rare-Earth Elements in Living Things? Front. Young Minds 8:526870. doi: 10.3389/frym.2020.526870

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

COPYRIGHT © 2021 © Bustillos-Cristales, Pedraza-Pérez and Fuentes-Ramírez 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 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.

סוקר צעיר**KONSTANTIN, גיל: 14**

היי, אני קונסטנטין, המוח הצעיר הקרוב אליכם! אני מרוסיה, בולגריה, ומאז שהייתי קטן היו לי שאלות כמו מה הטעם במחזור. כעת, כמתבגר, נכנסתי לתחום האקולוגיה והחלטתי לסייע להעלות מודעות לחלק מהבעיות בעולמנו כמו זיהום אוויר, היכחדות מינים ובירוא. אם אני, תלמיד רגיל, יכול ליצור שינוי, גם אתם יכולים – אז למה אתם מחכים, קוראים צעירים?

**הכותבים****ROCÍO BUSTILLOS-CRISTALES**

אני פרופסורית בתחום אקולוגיה מיקרוביית במרכז למחקר מיקרוביולוגי. תחומי העניין של קבוצתנו הם מטילוטרופיה בתור יכולת מטבולית בחיידקי צמחים בסביבות מדבריות, ופונקציונליות של גנים שמקושרים עם יסודות נדירים.

**YAGUL PEDRAZA-PÉREZ**

אני חוקר ביולוגיה מאחר שאני חושב שכל היצורים החיים הם אדירים. תחום העניין העיקרי שלי הוא חיידקים היות שהם מדהימים! הם כל כך קטנים, אך יכולים לעשות דברים משוגעים. עשיתי את התואר השני שלי בביוכימיה במטרה ללמוד כיצד חלבונים פועלים, ואז עשיתי דוקטורט במיקרוביולוגיה. פיתחתי פיסת תוכנה בביואינפורמטיקה, שמאפשרת לחקור אלפי גנים בגנומים של חיידקים באותו הזמן.





LUIS ERNESTO FUENTES-RAMÍREZ

העניין שלי הוא באקולוגיה של חיידקים שמקושרים לצמחים. חקרנו את החיידקים שחיים בסוגי צמחים שונים לרבות קנה סוכר, אננס וקקטוס. אני נהנה מעבודתי, וגם מהליכה בחוץ, בילוי עם חברים, קריאת נובלות, ריצה, טיולים, צפייה בספורט ובישול. *luis.fuentes@correo.buap.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