

# חיים חיידקיים משגשגים במי תהום קדומים בעומק קרום כדור הארץ

**Lotta Purkamo\***

בית הספר למדעי כדור הארץ והסביבה, אוניברסיטת סנט אנדרוז, סנט אנדרוז, בריטניה

## סוקרים צעירים

**MATÍAS**

גיל: 12



הידעתם שהאדמה שמתחת לרגליכם שוקקת חיים? דמיינו את עצמכם עומדים בחוץ. לוו הייתם מתחילים לחפור הייתם מגיעים לבסוף לסלע קשה מתחת לקרקע - זהו סלע האגם היוצר את קרום כדור הארץ. גם בחומר זה, שנראה מוצק, יש סדקים ונקבוביות המכילים מי תהום (מים שאצורים בקרקע), ובמקום שבו יש מים ייתכן כי יש חיים. יצורים זעירים חד-תאיים הנקראים מיקרואורגניזמים שורדים ומשגשגים בתנאי סביבה רבים על פני כדור הארץ, תנאים שאינם מסבירי פנים לכל שאר צורות החיים. זה גם המקרה של סלע האגם העמוק, שם רק מיקרואורגניזמים יכולים לחיות. היות שאור השמש ותוצרים צמחיים אינם זמינים בסביבה זו, המיקרואורגניזמים צריכים להשתמש בחומרים כימיים כמקורות למזון ולאנרגיה. במחקר זה חקרנו מהו המזון המועדף על מיקרואורגניזמים החיים בסלע האגם. גילינו כי מימן הוא מקור אנרגיה חשוב עבור המיקרואורגניזמים שבעומק, וכי אוכלוסיות המיקרואורגניזמים מסוגלות להשתנות כדי לשרוד בתנאי סביבה משתנים.

## הקדמה

החיים על פני כדור הארץ תלויים באנרגיית השמש, המאפשרת לצמחים ירוקים לייצר סוכרים וחמצן. אולם, כמות רבה מסך כל הביומסה (החומר החי) של כדור הארץ ממוקמת ב**סביבות**

**סביבה תת-קרקעית****עמוקה****(Deep subsurface)**

חלק מכדור הארץ שמשתרע מכמה עשרות מטרים ועד לקילומטרים אחדים בעומק קרום כדור הארץ.

**תת-קרקעיות עמוקות**, כלומר בתוך קרום כדור הארץ הסלעית. סלע האם אינו גוש גדול של סלע מוצק; הוא מכיל סדקים, שברים ופתחים שיכולים להתמלא במים. ממחקרים עדכניים עולה כי כמה מהשברים האלה יכולים להכיל נוזלים שהם בני יותר ממיליארד שנים [1]. עובדה זו מעלה מחשבה מעניינת מאוד: אולי המיקרואורגניזמים החיים בסביבות אלה חיים למשך אותה תקופת זמן כמו המים! אם כך הדבר, אפשר לשאול כיצד אוכלוסיות מיקרואורגניזמים אלה שורדות בבתי הגידול הנ"ל.

## מקורות מזון – אנרגיה למיקרואורגניזמים החיים בסביבה העמוקה והחשוכה של סלע האם

סביבות תת-קרקעיות רבות מנותקות לחלוטין מהעולם שעל פני השטח, כלומר אנרגיה ומזון עבור מיקרואורגניזמים החיים במעמקים חייבים להגיע מהסביבה הסלעית המקיפה אותם. לכן, סביבות תת-קרקעיות עמוקות הן בדרך כלל אוליגוטרופיות, כלומר חסרים בהן חומרי הזנה, ואם יש בהן חומרי הזנה כמותם נמוכה מעטה שאיננו יכולים אפילו לגלותם. אולם, המיקרואורגניזמים כה זעירים שהם זקוקים רק לכמות מעטה של חומרי הזנה, כך שהם מצוידים ביכולת לשרוד בסביבות אלה.

פחמן הוא אבן הבניין של תאים, ומיקרואורגניזמים יכולים להשתמש בסוגים שונים של חומרים פחמניים כמקורות למזון ולאנרגיה. יש מיקרואורגניזמים המשתמשים בגז פחמן דו-חמצני ( $CO_2$ ), כמו שעושים הצמחים, אבל מיקרואורגניזמים אחרים מעדיפים מקורות פחמן אורגניים כגון סוכרים, חומצות שומן או חומצות אמינו, שמקורם בחומר חי. נשימה היא תהליך שבו אנרגיה כימית משתחררת לשימוש של היצור החי. למשל, בני אדם שואפים חמצן, ומשתמשים בו לשבירת הסוכר (אנרגיה כימית), דבר המאפשר לשרירים שלנו לנוע (אנרגיה ביולוגית). אולם, בסביבה התת-קרקעית העמוקה המיקרואורגניזמים צריכים להשתמש במנגנון נשימה אחר, שכן אין שם חמצן. נשימה המתרחשת ללא נוכחות חמצן נקראת נשימה אֶנְאֵירוֹבִּית. מנגנון נשימה אנאירובית נפוץ נקרא חזור גופרתי (סולְפָט).

### אוטוטרופיים (Autotrophic)

מיקרואורגניזמים המשתמשים ב- $CO_2$  כמקור לפחמן.

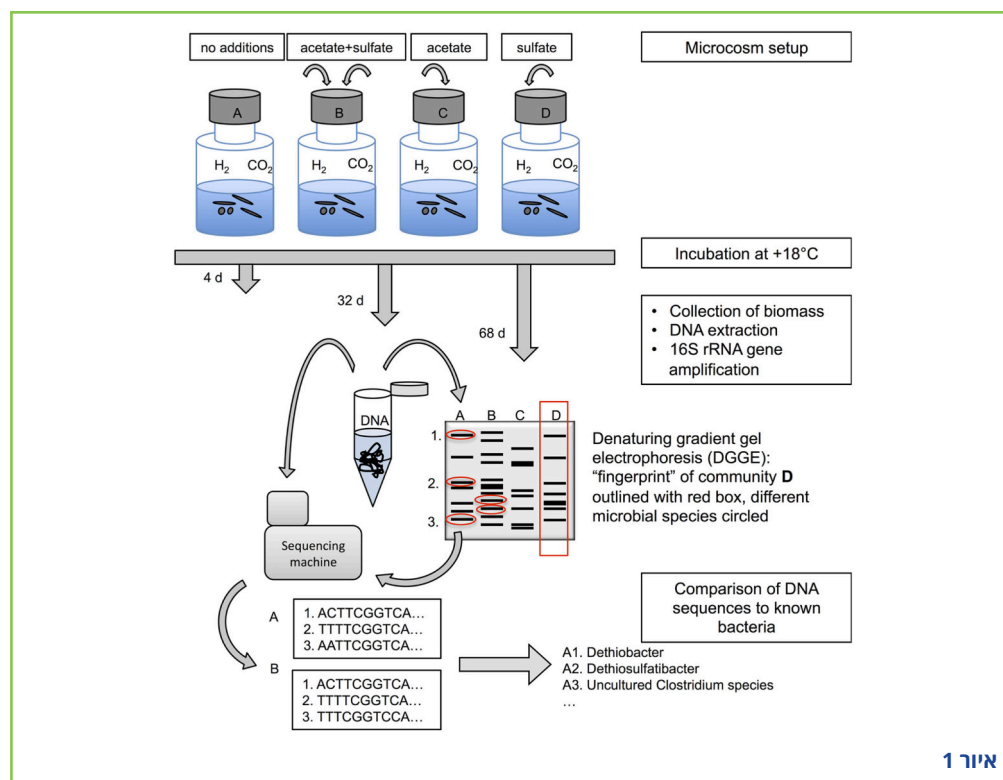
### כימוליטואוטוטרופיים (Chemolitho autotrophic)

ייצורים שהאנרגיה המטבולית שלהם מתקבלת מחמצון של חומרים אנאורגניים מחוזרים, ומקור הפחמן שלהם לַשֵּׁם ביסוינתזה הוא  $CO_2$

לעיתים קרובות אפשר למצוא מימן ו- $CO_2$  בסביבות תת-קרקעיות עמוקות, כי הם נוצרים בקרום (או במעטפת) כדור הארץ. ידוע כי מיקרואורגניזמים היכולים להשתמש במימן וב- $CO_2$  כמקור אנרגיה חיים בסביבה תת-קרקעית עמוקה. מיקרואורגניזמים אלה נקראים **אוטוטרופיים כימוליטואוטוטרופיים** (או **כימוליטואוטוטרופיים**). כלומר הם משתמשים רק ב- $CO_2$  כמקור פחמן (אוטוטרופי) ובמולקולות אחרות שאינן מכילות פחמן לקבלת אנרגיה (כימוליטוטרופי, המילה ליטוטרופי נגזרת ממילים יווניות שפירושן "אֹכֵל סלע"). חקרנו מהו מקור הפחמן המועדף על המיקרואורגניזמים החיים במי תהום שאצורים בסלע האם – פחמן מיצורים חיים אחרים, כגון צמחים או בעלי חיים (הנקרא פחמן אורגני), או פחמן ממקורות שאינם חיים, כגון מינרלים (הנקרא פחמן אֶנְאֵורגני). מיקרואורגניזמים ממי תהום העמוקים האלה הואכלו הן על-ידי פחמן אנאורגני בלבד (בצורת  $CO_2$ ) הן על-ידי פחמן אנאורגני ואורגני גם יחד (בצורת מולקולה הנקראת אצטט – מלח חומצת החומץ, איור 1). גם בדקנו את היכולת של אוכלוסיות המיקרואורגניזמים לייצר אנרגיה באמצעות חזור גופרתי.

## איור 1

ייצוג סכמתי של תכנון המחקר ושל השיטות השונות שבהן נעשה שימוש החלק העליון של האיור מציג את העמדת סוגי המיקרוקוסמוס השונים בבקבוקי זכוכית שאליהם הכנסנו את מי התהום ונתנו למיקרואורגניזמים ארוחות שונות: (A) רק מקור פחמן אנאורגני (CO<sub>2</sub>) ומקור אנרגיה (H<sub>2</sub>) בפאזה הגזית, שניהם נמצאים באופן טבעי בגזים שבסביבה התת-קרקעית העמוקה; (B) אצטט כמקור פחמן אורגני וגפרה כמקור אנרגיה; (C) אצטט כמקור פחמן אורגני ו־D גפרה כמקור אנרגיה. האזורים האמצעי והתחתון של האיור מתארים כיצד הדנ"א שמצא מהמיקרואורגניזמים שנמצאו בסוגי המיקרוקוסמוס השונים, נותח לאחר מכן בעזרת טכניקה של "טביעות אצבעות" ובשיטות של השוואת רצפים.



איור 1

## לקיחת דגימות מסלע האם העמוק והעמדת הניסוי

למחקר זה לקחנו דגימות מי תהום מסביבת סלע האם העמוק (בעומק של 967 מטרים), על-ידי שאיבת נוזלים מנקודת הקידוח המדעי העמוקה ב-Outokumpu, הנמצאת במזרח פינלנד. לקיחת הדגימה נעשתה על-ידי שאיבת הנוזל בצינור פלסטיק, מהסביבה התת-קרקעית למעבדת השדה, שם היה לנו תא אנאירובי (ללא חמצן) נייד, כך שיכולנו לעבוד עם הדגימות בסביבה ללא חמצן. הדבר חשוב כי חמצן רעיל עבור חלק מהמיקרואורגניזמים החיים במי התהום העמוקים. חילקנו את מי התהום לבקבוקים נפרדים, כפי שמוצג באיור 1. בכל בקבוק היה טיפול מעט שונה – הוכנסו אליהם מקורות פחמן ואנרגיה שונים. בסוג זה ניסוי כל תוכן של בקבוק נקרא **מיקרוקוסמוס**, והשתמשנו בסוגי מיקרוקוסמוס אלה כאמצעי ללמוד על מיקרואורגניזמים שזקוקים למקורות פחמן ואנרגיה שונים. הגו שמעל לנוזל בכל מיקרוקוסמוס הכיל תערובת של מימן ושל CO<sub>2</sub>. מקור פחמן אורגני הנקרא אצטט הוסף לחלק מסוגי המיקרוקוסמוס, בתוספת גפרה (מלח של החומצה הגופרתית, ידוע גם כסולפט) או בלעדיה. הוכנו גם סוגי מיקרוקוסמוס שהכילו מקור פחמן אנאורגני (CO<sub>2</sub>) וגפרה. כל סוגי המיקרוקוסמוס הודגרו בטמפרטורה ששקרה בנקודת הקידוח (+18°C), למשך 4, 32 ו-68 ימים. דגימות נאספו בכל אחת מנקודת הזמן האלה, ודנ"א מצא כדי לבדוק את סוג המיקרואורגניזמים שגדלו.

## מיקרואורגניזמים נחקרו על-ידי התבוננות בדנ"א שלהם

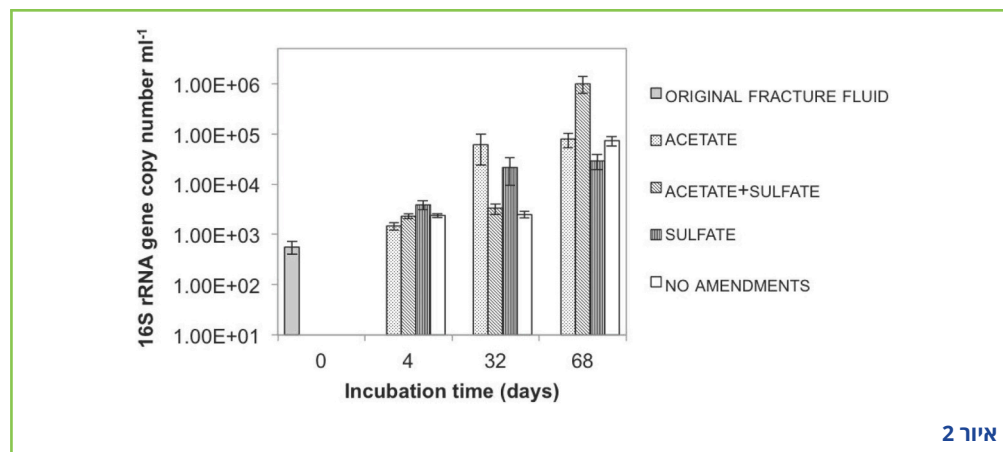
אפשר לאפיין אוכלוסיות של מיקרואורגניזמים בעזרת בדיקות מסוימות הבוחנות את מולקולות הדנ"א של המיקרואורגניזמים. כפי שאתם כבר יודעים, דנ"א הוא החומר הגנטי של התא.

### מיקרוקוסמוס (Microcosm)

מערכת אקולוגית מלאכותית המשמשת לחקר ולסימולציה של בתי גידול טבעיים בתנאי סביבה מעבדתיים מבוקרים.

**איור 2**

כמות המיקרואורגניזמים במהלך ההדגרה, בסוגי המיקרוקוסמוס השונים כל עמדה מייצגת את כמות החיידקים (ציר Y) בניסוי מיקרוקוסמוס מסוים בנקודת זמן מסוימת (ציר X). האיור הותאם ממקור [2].  
 16S rRNA gene copy number = number ml<sup>-1</sup>  
 העתקי הגן 16S rRNA למ"ל  
 Incubation time (days) = זמן ההדגרה (ימים)  
 Original fracture fluid = מיקטע הנוזל המקורי  
 Acetate = אצטט  
 Acetate + Sulfate = אצטט + גפרה  
 Sulfate = גפרה  
 No amendments = ללא שינויים.



**איור 2**

הוא מכיל הוראות בצורת גנים המספקות תוכנית ליצירת היצור החי. בעזרת חקירה של גנים מסוימים מדענים יכולים ללמוד על אוכלוסיות של מיקרואורגניזמים. למשל, אנו יכולים לבחון גן הנקרא 16S rRNA. גן זה מלמד אותנו על מידת הקרבה בין המיקרואורגניזמים, ולכן הוא נקרא סמן "פילוגנטי". המילה "פילוגנטי" נגזרת מהמילים היווניות שמשמעותן: מקור השבט או המשפחה. במחקר זה השתמשו גם בסמנים גנטיים אחרים, כולל גנים המקודדים לחלבונים ייחודיים הנקראים אנזימים - במיוחד אנזימים שחשובים לניצול גופרית לצורך אנרגיה.

על-ידי חקר הדנ"א של מיקרואורגניזמים אלה תוך שימוש בכמה שיטות שונות, שמתוארות בהמשך, הצלחנו ללמוד שלושה דברים: כמה מיקרואורגניזמים היו בדגימות שנלקחו ממי התהום, איך גדלו מיקרואורגניזמים אלה במהלך הזמן בכל מיקרוקוסמוס ומהי מידת הקרבה של מיקרואורגניזמים אלה זה לזה ולמיקרואורגניזמים אחרים המוכרים לנו.

**כמה חיידקים נמצאו בדגימות מי התהום העמוקים?**

בשיטה מעבדתית שנקראת "תגובת שרשרת של פולימראז" (PCR), חישבנו כמה עותקים של הגנים החיידקיים היו בכל מיקרוקוסמוס, על-ידי השוואת התוצאות לדגימות המכילות כמות גנים ידועה. מניסוי זה קיבלנו נתונים על מספרי החיידקים הקיימים בדגימות מי התהום וראינו כיצד המיקרואורגניזמים הסתדרו בתנאי הניסוי השונים שנבחנו בכל מיקרוקוסמוס.

גילינו עלייה במספר ההעתקים של הסמן הפילוגנטי (הגן 16S rRNA) במהלך הניסוי (איור 2). מספרי ההעתקים היו בערך 500 למ"ל בתחילת הניסוי, והמספר עלה לכמה עשרות אלפים ואפילו עד למיליון למ"ל במהלך הניסוי. פירושו של דבר שתאי מיקרואורגניזמים בסוגי המיקרוקוסמוס השונים התרבו בתקופת ההדגרה. מספר ההעתקים של גן נוסף שבדקנו - הסמן לחיזור הגופרתי - גם עלה, בסוגי המיקרוקוסמוס שהכילו גפרה ואצטט. ראינו גם עלייה במספרי החיידקים בסוגי המיקרוקוסמוס שלא הוספנו להם דבר. במקרה זה, אנו סבורים שחלק מהחיידקים המקוריים מתו במהלך הניסוי, ואחרים השתמשו בחומר של התאים המתים כמזון וכאבני בניין לתאים חדשים.

## בדיקת "טביעות אצבעות" של הדנ"א של המיקרואורגניזמים בסוגי המיקרוקוסמוס השונים יכולה ללמד אותנו על מידת הקרבה ביניהם

קוד הדנ"א של הגן 16S rRNA משתנה מעט ממין מיקרואורגניזמים אחד לאחר, ולכן, אפשר להפריד זה מזה מְקֻטְעֵי דנ"א ממיקרואורגניזמים שונים, בשיטה הנקראת ג'ל אלקטרופורזה (איור 1). גְדִילֵי דנ"א, שִׁמְטָעֵם תמיד שלילי, נעים בג'ל לכיוון הקוטב החיובי שבתחתית הג'ל. ההבדלים הקטנים ברצפי הדנ"א בין המיקרואורגניזמים השונים יגרמו לגדילים לנוע בג'ל במהירויות מעט שונות כך שהם יופרדו זה מזה, ליצירת פסים שונים על הג'ל. כל פס מייצג מין מסוים של חיידק שקיים במיקרוקוסמוס. אפשר לראות את "טביעת האצבעות" הזו באור אולטרה סגול.

### אוכלוסיות של מיקרואורגניזמים משתנות ללא הרף

השתמשנו בשיטת "טביעת אצבע של הדנ"א" כדי ללמוד איך אוכלוסיות המיקרואורגניזמים שגדלו בסוגי המיקרוקוסמוס השונים השתנו עם הזמן. שמנו לב שמספר הפסים בטביעת האצבעות של כל מיקרוקוסמוס ירד במשך תקופת ההדגרה. פירושו של דבר, שמספר הסוגים השונים של חיידקים ירד במהלך הניסוי. לפי דגם הדנ"א של אוכלוסיות המיקרואורגניזמים, חילקנו את דגימות המיקרוקוסמוס לשתי קבוצות: קבוצה אחת כללה את דגימת מְקֻטְעֵ הנוזל הפנימי ואת המיקרוקוסמוסים שהודגרו ל-4 ימים ול-32 ימים, והשנייה כללה את המיקרוקוסמוסים אחרי 68 ימי הדגרה. פירושו של דבר, שלזמן ההדגרה הייתה השפעה משמעותית יותר על אוכלוסיית החיידקים מאשר לתנאים השונים שהיו בכל אחד מסוגי המיקרוקוסמוס.

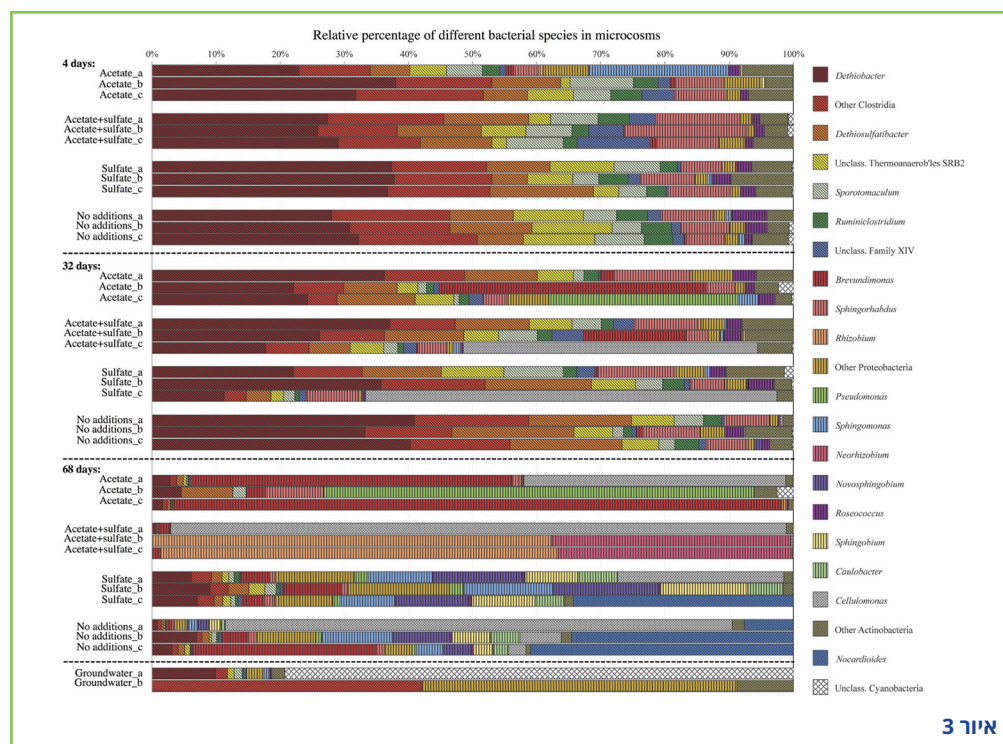
### יש הרבה מיקרואורגניזמים שונים בסלע האם!

אנו יכולים "לקרוא" את הקוד של הדנ"א של חיידק בשיטה הנקראת ריצוף. בהשוואת הקודים של הדנ"א, אנו יכולים לראות עד כמה החיידקים מְדִגְיִמוֹת מי התהום העמוקים קרובים זה לזה, ולמיקרואורגניזמים אחרים שהמדענים כבר מכירים. השתמשנו בשיטה זו כדי להבין אלה סוגי מיקרואורגניזמים גדלו בסוגי המיקרוקוסמוס השונים, ועד כמה אוכלוסיות המיקרואורגניזמים האלה היו שונות.

אוכלוסיות החיידקים במיקרוקוסמוסים שאליהם הוספו מקורות פחמן ואנרגיה היו מגוונות בשתי נקודות הזמן הראשונות, בהשוואה לאוכלוסיית המיקרואורגניזמים במי התהום הטבעיים ולמיקרוקוסמוס בניסוי שלא קיבל תוספות כלל (איור 3). אולם, בנקודת הזמן האחרונה, אוכלוסיית החיידקים המגוונת ביותר נמצאה במיקרוקוסמוס שלא קיבל כלל חומרי הזנה. מיני המיקרואורגניזמים הנפוצים ביותר שזוהו בסוגי המיקרוקוסמוס השונים במהלך 4 השבועות הראשונים היו מינים מסוימים של מיקרואורגניזמים המשתמשים במימן לקבלת אנרגיה. השינוי המשמעותי ביותר באוכלוסיות החיידקים במחקר זה נצפה אחרי 68 ימים. לאחר 68 ימי הדגרה המיקרואורגניזמים אשר משתמשים במימן נעלמו, והמין הנפוץ ביותר שנצפה היה מיקרואורגניזם אחר שאינו משתמש במימן. ייתכן שהדבר קרה היות שהמיקרואורגניזמים המשתמשים במימן התחילו למות, ומיקרואורגניזמים מתים אלה שימשו מזון למיקרואורגניזמים

### איור 3

מבנה אוכלוסיית המיקרואורגניזמים בארבעה טיפולים שונים ובשלוש נקודות זמן, שזוהו בשלוש חזרות (a-c). כל פס מייצג את אוכלוסיית החיידקים במיקרוקוסמוס, ובכל פס סוגי חיידקים שונים מסומנים בצבעים שונים. לשם השוואה, אוכלוסיית המיקרואורגניזמים במי התהום ללא תוספות או הדגרה מתוארת בתחתית (שתי חזרות a ו-b). האיור הותאם ממקור [2]. הטיפולים הם: אצטט, אצטט + גפרה, גפרה וללא תוספות. נקודות הזמן הן: 4 ימים, 32 ימים ו-68 ימים.



איור 3

שניזונים בדרך כלל מחומר אורגני נרקב, כגון החומר התאי של מיקרואורגניזמים מתים. הרבה מהחיידקים שזיהינו היו קרובים מאוד למיקרואורגניזמים שנמצאו בסביבות תת-קרקעיות אחרות ובמי תהום אחרים.

### מימן שמקורו בסלע - "חטיף" עבור המיקרואורגניזמים שחיים בעומק

בניסויים שלנו ראינו שהוספת מימן הייתה הגורם החשוב ביותר בעיצוב אוכלוסיות המיקרואורגניזמים. חיידקים המשתמשים במימן (נקראים Dethiobacter) היו העיקריים בסוגי המיקרוקוסמוס השונים. ממחקר קודם שביצענו עולה כי למיקרואורגניזמים אלה תפקיד חשוב ביצירת אוכלוסיית המיקרואורגניזמים בסלע האם העמוק [3]. יצורים אלה נמצאו גם במחקר אחר המתאר אוכלוסיות מיקרואורגניזמים שהועשרו במי תהום אשר עברו סרפנטניניזציה [4]. סרפנטניניזציה היא תגובה בין הסלע למים, שבעקבותיה המינרלים שבסלע מייצרים כמות משמעותית של מימן. אם כך, תגובות אלה יכולות לספק מקור אנרגיה, וחומרים גולמיים התומכים באוכלוסיות מיקרואורגניזמים כימוליטורפיות. למעשה, לא ראינו שתגובת סרפנטניניזציה התרחשה בסלע האם ב-Outokumpu, אבל קיימים סלעים בסלע האם המעידים על כך שסרפנטניניזציה התרחשה בעבר, כלומר ייתכן שבעקבותיה נותרו תנאי סביבה המתאימים למיקרואורגניזמים אלה המשתמשים במימן.

### מה למדנו על מיקרואורגניזמים שחיים במי תהום עמוקים?

הסקנו כי פחמן אורגני ומימן מועילים למיקרואורגניזמים שחיים בסביבות תת-קרקעיות עמוקות. אבל, אף שנהוג לחשוב שסביבות אלה יציבות מאוד, כנראה חלים בהן שינויים

מעגליים, כלומר קבוצות שונות של מיקרואורגניזמים הן העיקריות שם בזמנים שונים, וכך הן מספקות חומרים זו לזו. כאשר יש התקפת נגיפים או כשנגמר המזון, סוג אחד של מיקרואורגניזם מתחיל למות, וקבוצות אחרות של מיקרואורגניזמים שורדות ומשגשגות.

## מאמר המקור

Purkamo, L., Bomberg, M., Nyysönen, M., Ahonen, L., Kukkonen, I., and Itävaara, M. (2017). Response of deep subsurface microbial community to different carbon sources and electron acceptors during 2 months incubation in microcosms. *Front. Microbiol.* 8:232. doi: 10.3389/fmicb.2017.00232

## מקורות

1. Holland, G., Sherwood Lollar, B., Li, L., Lacrampe-Couloume, G., Slater, G. F., and Ballentine, C. J. 2013. Deep fracture fluids isolated in the crust since the Precambrian era. *Nature* 497:357–60. doi: 10.1038/nature12127
2. Purkamo, L., Bomberg, M., Nyysönen, M., Ahonen, L., Kukkonen, I., and Itävaara, M. 2017. Response of deep subsurface microbial community to different carbon sources and electron acceptors during ~2 months incubation in microcosms. *Front. Microbiol.* 8:232. doi: 10.3389/fmicb.2017.00232
3. Purkamo, L., Bomberg, M., Kietavainen, R., Salavirta, H., Nyysönen, M., Nuppunen-Puputti, M., et al. 2016. Microbial co-occurrence patterns in deep Precambrian bedrock fracture fluids. *Biogeosciences* 13:3091–108. doi: 10.5194/bg-13-3091-2016
4. Crespo-Medina, M., Twing, K. I., Kubo, M. D. Y., Hoehler, T. M., Cardace, D., McCollom, T., et al. 2014. Insights into environmental controls on microbial communities in a continental serpentinite aquifer using a microcosm-based approach. *Front. Microbiol.* 5:604. doi: 10.3389/fmicb.2014.00604

פורסם אונליין: 25 בינואר 2019

נערך על ידי: Chelsea D. Specht, Cornell University, United States

**ציטוט:** Purkamo L (2019) חיים חיידקיים משגשגים במי תהום קדומים בעומק קרום כדור הארץ. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2017.00065-he

### תורגם והותאם:

Purkamo L (2017) Thriving Microbial Life in Ancient Groundwater Deep Inside Earth's Crust. *Front. Young Minds* 5:65. doi: 10.3389/frym.2017.00065

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

Purkamo 2017 © **COPYRIGHT**. זהו מאמר בנישה 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.

## סוקרים צעירים

**MATÍAS, גיל: 12**

אני בן 12, ואוהב מדע, הכותב, ויקינגים, מיתולוגיה, ג'וי ג'טסו, רוקנרול ונגינה בתופים.



## הכותבת

**LOTTA PURKAMO**

אני גיא-ביולוגית המתעניינת במיקרואורגניזמים וביכולתם הנפלאה לְחַיֹּת בכל מיני סביבות מוזרות. סיימתי דוקטורט בשנת 2016 באוניברסיטת הלסינקי, פינלנד. בדוקטורט שלי חקרתי אלה סוגי מיקרואורגניזמים חיים בסלע הָאָם העמוק, מהם מקורות האנרגיה והפחמן שלהם ואיך הם אולי פועלים יחד לקיום חיים בסביבה כה עוינת. כיום אני עמיתת מחקר באוניברסיטת סנט אדרוז, בריטניה, ומובילה פרויקט שמטרתו לקבוע את גבולות החיים, כלומר כמה עמוק אנו יכולים להגיע ועדיין למצוא חיים של מיקרואורגניזמים בסלע האם העמוק. הדבר חשוב כאשר אנו חושבים על אפשרות למצוא חיים בסביבות דומות במערכת השמש שלנו, ולצורך הבנת אסטרטגיות ההשרדות של החיים על פני כדור הארץ וּמַעֲבָר לו. \*lkp5@st-andrews.ac.uk

Hebrew version  
provided by

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

