



“שפת החיים” של נמו, דורי והחברים הימיים שלהם

Mahasweta Saha^{1,2*}

¹אקולוגיה ימית ומגוון ביולוגי, מעבדה ימית של פלימות', פלימות', בריטניה
²בית הספר למדעי הביולוגיה, אוניברסיטת אסקס, קולצ'סטק, בריטניה

סוקר צעיר

MIMI
גיל: 10



אינפו-כימיקלים (Infochemicals)

כימיקלים שנושאים מידע אשר יכול לסייע למיקרובים, לצמחים ולחיות לדבר זה עם זה.

האוקיינוסים שלנו מארחים יותר מ-230,000 מינים של צורות חיים ימיות. האם אי פעם תהיתם כיצד האורגניזמים האלה מתקשרים? מה שראיתם ב"מוצאים את נמו" הוא ללא ספק לא האופן שבו זה פועל בעולם האמיתי! צמחים ולחיות ימיים, אפילו אלה שיכולים לראות ולשמע כמו נמו ודורי, "מדברים" לרוב באמצעות תרכובות איתות קולקטיביות שנקראות "אינפו-כימיקלים". אינפו-כימיקלים הם ה"שפה" של האוקיינוסים שלנו. אולם, השפה הזו מאוימת בשל שינויי האקלים, אשר משנים את הייצור של אינפו-כימיקלים ואת המאפיינים שלהם. במאמר הזה אסקור את השימושים השונים של אינפו-כימיקלים ימיים, כיצד שינויי האקלים יכולים להפריע לשפה של האוקיינוסים שלנו ומה אתם יכולים לעשות כדי לסייע לשמור על השפה.

אינפו-כימיקלים: שפת האוקיינוסים שלנו

אנו בני האדם משתמשים כיום ב-1,500 שפות שונות כדי לתקשר. אולם האם אתם יודעים שלצמחים ולחיות סביבנו גם יש שפה שמאפשרת להם "לדבר" זה עם זה? גם לצמחים ולחיות יבשתיים וגם לצמחים ולחיות ימיים יש כימיקל "שפה" מיוחד שהם משתמשים בו לתקשר. כימיקלי התקשורת האלה נקראים **אינפו-כימיקלים** (כימיקלים שנושאים מידע). כשדבורה

מבקרת צמח זה לא אקרא! הצמח משחרר אינפּו-כימיקלים שהדבורה יכולה לחוש, אשר מזמנינים את הדבורה לבקר את הפרח ולהאביק אותו. אם כן, בפעם הבאה שאתם רואים דבורה שמבקרת פרח אתם עשויים לחשוב על התפקיד שאינפּו-כימיקלים ממלאים עבור הצמחים היפהיים שסביבנו.

מה לגבי חיות וצמחים ימיים, אלה שחיים באוקיינוסים? אנו יודעים שחלק מהחיות הימיות מתקשרות באמצעות צלילים, כמו דולפינים שמייצרים צלילי תקתוק או כמו שירה של לווייתנים [1], אולם זו לא הדרך היחידה שבה אורגניזמים ימיים מדברים זה עם זה. אורגניזמים ימיים מדברים זה עם זה בעיקר באמצעות שימוש באינפּו-כימיקלים אחרים, שידועים כ"שפת החיים" של הים [2]. אינפּו-כימיקלים נושאים הוראות שאומרות לאורגניזמים הימיים אם עליהם לאכול, להילחם או לברוח, או ליצור תינוקות עם היצור שנמצא לידם! צמחים ימיים משתמשים באינפּו-כימיקלים כדי להגן על עצמם מאויבים או כדי להזמין חיידקים מועילים לחיות עליהם, מה שיכול לתרום לצמח. אינפּו-כימיקלים יכולים להיות מולקולות פשוטות או תרכובות מורכבות שנוכחות כמעט בכל מקום בסביבה הימית. המדע של חקירת אינפּו-כימיקלים וכיצד הם מסייעים לאורגניזמים לתקשר ולנהל את חיי היומיום שלהם נקרא אקולוגיה של כימיה ימית. אנשים שחוקרים אקולוגיה כימית ימית נקראים אקולוגים כימיים ימיים.

אילו יצורים ימיים משתמשים באינפּו-כימיקלים, ומדוע?

אינפּו-כימיקלים נמצאים בשימוש על-ידי אורגניזמים שונים רבים, החל ממיקרובים כמו חיידקים קטנטנים, וכלה בכרישים ענקיים. המשכו לקרוא כדי לראות כיצד אורגניזמים ימיים שונים משתמשים באינפּו-כימיקלים בחיי היומיום שלהם באוקיינוס.

חיידקים

אפילו אורגניזמים פשוטים מאוד כמו חיידקים "מדברים" זה עם זה באמצעות אינפּו-כימיקלים. כשחיידקים מתחילים לגדול על משטחים קשיחים באוקיינוס כמו גופי ספינות ואסדות קידוח, הם מתחילים לייצר קהילה דביקה שנקראת "ביופילם" שבה גרים ומסתתרים חיידקים רבים. הביופילמים הימיים האלה יכולים לפלוט אינפּו-כימיקלים אשר אומרים לחיידקים אחרים להצטרף ולחיות בתוך הביופילם. אינפּו-כימיקלים שמשוחררים על-ידי ביופילמים חיידקיים יכולים גם למשוך סוגים אחרים של אורגניזמים ימיים, כמו **אצות** קטנטנות, זחלים של חיות כמו מולים וזיפרגליים. האורגניזמים האלה מגיבים לאינפּו-כימיקלים באמצעות איתור משטחים קשיחים שם הביופילמים גדלים והשתקעות עליהם.

פיטופלנקטון

פיטופלנקטון הם אצות מיקרוסקופיות חד-תאיות שחיות באוקיינוסים. האם ידעתם ש-50% מהחמצן שאתם נושמים מיוצר על-ידי פיטופלנקטון שמסתובבים באוקיינוסים? אפילו לאצות כאלה כמו פיטופלנקטון יש אויבים כמו חיידקים ולוחכי עשב. באופן דומה לאיך שבני אדם מצחצחים את שיניהם בכל בוקר באמצעות מברשת שיניים, פיטופלנקטון כמו *Nitzschia* יכולים לייצר מטר של כימיקלי הגנה כל בוקר כדי לנקות את הביופילמים שסביבם ולהישאר בריאים. פלנקטון אחרים יכולים ליצור צבירים ברגע שהם חשים בנוכחות של אינפּו-כימיקלים ששוחררו על-ידי טורפים. הם יוצרים צבירים גדולים מספיק כך שלא יוכלו להיצרך על-ידי הטורפים. חבר'ה חכמים!

מיקרובים (Microbes)

אורגניזמים קטנטנים כמו חיידקים, פטריות ווירוסים שאינם נראים לעין בלתי מזוינת, ולכן נדרשים מיקרוסקופים מיוחדים כדי לראות אותם.

אצות (Algae)

הגרסה הימית של צמחים יבשתיים. אצות הן צמחים פשוטים שאין להם פרחים, שורשים, גזע או עלים. הן יכולות להיות מגוונות מאוד, החל מצורות חד-תאיות וכלה בצורות רב-תאיות.

אצות (seaweeds)

אצות, שנקראות גם macroalgae, משתמשות גם הן באינפו-כימיקלים כדי לתקשר. אצות יכולות גם לייצר אינפו-כימיקלים בעצמן וגם להיתרם מאינפו-כימיקלים של חיידקים מועילים שגדלים עליהן. אצות ימיות עשירות מאוד במקורות מזון עבור חיידקים, והן גם מספקות לחיידקים מקום בטוח להסתתר מטורפים. חלק מהאינפו-כימיקלים שמוצרים על-ידי אצות מועילים לחיידקים לסייע לאצות לגדול ולהתפתח כראוי. לא היינו אוכלים סושי ללא החיידקים המועילים האלה. האצה *Pyropia* משמשת לסושי. חיידקים טובים מסייעים ל-*Pyropia* להיות בצורה ובגודל הנכונים לסושי.

אולם לא כל החיידקים טובים לאצות. לאצות יש גם חיידקים אויבים שיכולים לגרום להן לחלות ואפילו להרוג אותן. כדי להילחם בחיידקים האויבים האלה חלק מהאצות מייצרות אינפו-כימיקלים שידועים ככימיקלים של הגנה שיכולים לשמור על החיידקים האויבים הרחק מהחיידקים המועילים. תהליך הברירה הזה נקרא "microbial gardening". חלק מהאצות לא מייצרות כימיקלים של הגנה בעצמן אלא משתמשות בחיידקים מסיימים שיכולים לייצר כימיקלים כאלה כדי להגן על אצות. כימיקלים של הגנה לא משמשים רק כנגד חיידקים אלא גם כנגד אורגניזמים אחרים שמקימים מושבות [3] כמו זחלים של מולים, זיפרגליים וסוגים אחרים של אצות. האורגניזמים האלה יכולים להתחרות עם האצות על מזון או על משאבים אחרים שיכולים להפחית את כמות האור שמגיעה לאצות, מה שמתערב עם תהליך הפוטוסינתזה שלהן. אינפו-כימיקלים יכולים גם לשמור על אצות מפני לוחכי עשב שרוצים לאכול אותן כמו חלזונות ודגים שאוכלים צמחים. האינפו-כימיקלים האלה שולחים הודעות ללוחך העשב: "הי אני רעיל, ואני אתקוף אותך באמצעות נשקי ההגנה שלי אם תנסה לאכול אותי".

ספוגים ואלמוגים

כמו חלק מהצמחים באוקיינוס, ישנן גם חיות לא מובילות שחיות באוקיינוס וחלק מהן, כמו ספוגים ואלמוגים, יכולות גם לייצר אינפו-כימיקלים. אינפו-כימיקלים חשובים מאוד גם עבור צמחים וגם עבור חיות לא מובילות מאחר שאין להם דרכים אחרות לתקשר כמו עיניים, אוזניים, אף או פה. הם גם מבליים את כל חייהם במקום אחד ולא יכולים לברוח כשמגיע אויב לאזור. לכן, הם משתמשים באינפו-כימיקלים כדי להילחם כנגד האויבים שלהם.

דגים וחיות אחרות

דגי שוניות צעירים כמו דג השושבון הכתום נמו, גם יכולים לחוש ולהגיב לאינפו-כימיקלים. הדגים האלה נמשכים לאינפו-כימיקלים שמשתחררים מהאזורים שבהם חיים אלמוגים רבים, והם יכולים להשתמש באינפו-כימיקלים האלה יחד עם צלילים של השונית כדי לאתר שוניות שבהן הם יכולים להיות עד שהם יגדלו. תקשורת באמצעות אינפו-כימיקלים ימיים לא מתרחשת רק במים. אינפו-כימיקלים גזים יכולים גם להיות מועברים אל האוויר, שם חלק מהציפורים הימיות כמו אלבטרוס ויסעור, יכולות לחוש אותם. לדוגמה, כאשר פיטופלנקטון מותקפים על-ידי לוחכי עשב כמו זואופלנקטון (שהן חיות קטנטנות שחלק מהדגים ניזונים מהן), אינפו-כימיקל שנקרא dimethylsulphide (DMS) משוחרר לאוויר. הציפורים חשות את ה-DMS והוא מסייע להן לתקוף אזורים שמלאים בדגים טעימים.

אלה רק כמה דוגמאות לאופן שבו חיות ימיות משתמשות באינפו-כימיקלים כדי לתקשר. תקשורת באמצעות אינפו-כימיקלים נוכחת בכל מקום באוקיינוס, והיא חשובה מאוד לשמירה על המערכת האקולוגית הימית בריאה.

שינויי האקלים מבלבלים את שפת האינפו-כימיקלים!

מרביתכם ודאי שמעתם על שינויי האקלים ועל ההשלכות המזיקות שיש להם על מערכות אקולוגיות שונות. שינויי האקלים משפיעים על האוקיינוסים שלנו בכמה אופנים. הם גורמים לטמפרטורות האוקיינוסים לעלות ולמי הים להיות חומציים יותר (מה שידוע גם כהחמצת אוקיינוסים). כל השינויים האלה יכולים להיות מסוכנים עבור האורגניזמים שחיים באוקיינוס, אולם יש עוד. השינויים האלה באוקיינוס שנגרמים על-ידי שינויי האקלים יכולים גם להתערב עם האינפו-כימיקלים, מה שמקשה מאוד על אורגניזמים ימיים לתקשר באופן תקין. במהלך העשור האחרון מחקרים הראו שהחמצת האוקיינוסים הזו יכולה לעשות כמה דברים לאינפו-כימיקלים: היא יכולה (א) לשנות את המבנה המולקולרי של אינפו-כימיקלים, [4], (ב) לגרום להם להיות מיוצרים בדרכים אחרות, ו-(ג) למנוע מאינפו-כימיקלים להיות מזוהים על-ידי אורגניזמים אחרים [5].

נערך ניסוי במטרה להדגים את השפעת ההחמצה על תקשורת אינפו-כימיקלית. זחלים של שושנונים (אותו סוג הדג כמו נמו) שגודלו במי ים עם כמות חומציות (pH) נורמלית של 8.15 יכלו להשתמש באינפו-כימיקלים כדי להבחין בין מקומות טובים ורעים לגור בהם ובין דגים שקשורים אליהם לדגים שלא קשורים אליהם. אולם כשזחלי השושנונים גודלו במי ים עם pH של 7.8, שהם חומציים יותר, הם כבר לא יכלו לחוש את האינפו-כימיקלים באופן תקין, והזחלים נמשכו לאינפו-כימיקלים שהם באופן רגיל היו נמנעים מהם ב-pH נורמלי. לכן, השפעה שלילית נוספת של שינויי האקלים יכולה להיות שהם מבלבלים את שפת החיים בים.

האם אתם רוצים לסייע להגן על השפה של חברינו הימיים?

ישנם דברים רבים שכל אחד מאיתנו יכול לעשות כדי לסייע לשמור על השפה של חברינו הימיים. דרך אחת היא להפחית את כמות הפלסטיק שאתם משתמשים בו. לרוע המזל, פסולת פלסטיק רבה מגיעה בסופו של דבר לאוקיינוסים. אתם עשויים לתהות כיצד פלסטיק עלול להפריע לשפת האינפו-כימיקלים. מדענים הראו לאחרונה שפלסטיקים שנמצאים באוקיינוס זמן רב יכולים לצבור ביופילמים שמשחררים את האינפו-כימיקל DMS, שהזכרתי קודם לכן. ה-DMS הזה יכול להיכנס לתוך האוויר ועלול לבלבל ציפורים ימיות שמשמשות בריח של DMS כדי למצוא מזון. דרך אחרת לסייע לחברים הימיים שלנו היא להאט את שינויי האקלים. פליטות פחמן דו-חמצני (CO₂) שנובעות מגורמים אנושיים הן הסיבה העיקרית לשינויי האקלים. אתם יכולים לסייע להאט שינויי האקלים באמצעות בחירה בפעילויות שמייצרות פחות פחמן דו-חמצני. לדוגמה, אתם יכולים לרכוב על האופניים שלכם לבית הספר במקום לנסוע ברכב או באוטובוס. אנו צריכים לחנך את אזרחי העולם, באמצעות מדע, ולעודד אותם להגן על הכדור הכחול שלנו ועל שפת האינפו-כימיקלים. אולי אתם וחבריכם תוכלו ליצור קבוצה שתסייע לחנך אנשים על הסכנות ששינויי האקלים מעמידים בפני התקשורת באוקיינוסים שלנו. כולנו צריכים לעשות מאמץ מודע במטרה לסייע לכדור הכחול שלנו ולשפה של חברינו הימיים!

מקורות

1. Saha, M., Berdalet, E., Carotenuto, Y., Fink, P., Harder, T., John, U., et al. 2018. Babylonian towers in a blue world—using chemical language to shape future marine health. *Front. Ecol. Environ.* (in press).
2. Hay, M. E. 2009. Marine chemical ecology: chemical signals and cues structure marine populations, communities, and ecosystems. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 1:193–212. doi: 10.1146/annurev.marine.010908.163708
3. Saha, M., Goecke, F., and Bhadury, P. 2017. Algal natural compounds and extracts as antifoulants. *J. Appl. Phycol.* 30:1859–74. doi: 10.1007/s10811-017-1322-0
4. Roggatz, C. C., Lorch, M., Hardege, J. D., and Benoit, D. M. 2016. Ocean acidification affects marine chemical communication by changing structure and function of peptide signalling molecules. *Glob. Chang. Biol.* 22:3914–26. doi: 10.1111/gcb.13354
5. Munday, P. L., Dixon, D. L., Donelson, J. M., Jones, G. P., Pratchett, M. S., Devitsina, G. V., et al. 2009. Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106:1848–52. doi: 10.1073/pnas.0809996106

פורסם אונליין: 24 באוגוסט 2021

נערך על ידי: Vishal Shah, West Chester University, United States

ציטוט: Saha M (2021) "שפת החיים" של נמו, דורי והחברים הימיים שלהם. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00067-he

תורגם והותאם:

Saha M (2019) "Language of Life" of Nemo, Dory, and Their Marine Friends. *Front. Young Minds* 7:67. doi: 10.3389/frym.2019.00067

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

COPYRIGHT © 2019 © Saha 2021. 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 (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.

סוקר צעיר

MIMI, גיל: 10

הי! קוראים לי מימי. אני מתעניין בגנטיקה, נוירולוגיה וכל דבר שקשור בדנ"א. כשאגדל אני רוצה להיות שוטר ולהשתמש בניתוחי דנ"א לאתר פושעים.



הכותבת

MAHASWETA SAHA

אני חוקרת במעבדה הימית פליימות' (פליימות', בריטניה) ואקולוגית כימית ימית בהכשרתי. התשוקה שלי היא לחקור את 'שפת החיים' של האוקיינוסים שלנו. עבודתי ביומיום כוללת איסוף דגימות של אצות באזורי החוף שבין גבולות הגאות והשפל, והבאתן חזרה למעבדה לעיבוד נוסף של הכימיה והמיקרוביולוגיה שלהן. אני גם עורכת ניסויים של שינויי אקלים כדי לחקור את השפעת גורמי הסטרס שנוצרים על-ידי שינויי האקלים על סוגי אצות שונים והחיידיקים שקשורים אליהן. המקצוע שלי מספק לי הזדמנות לטייל וליהנות ממזונות וממסורות שונים. בזמני הפנוי אני נהנית לגנון, לצפות בציפורים ולצלם. *sahamahasweta@gmail.com



Hebrew version
provided by

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

