



התרעת זומבי: כיצד טפיל זעיר הופך סרטנים למתים מהלכים?

Khor Waiho*, Hanafiah Fazhan*

המכון לחקלאות ימית וחווות דיג טרופיות, אוניברסיטת מלזיה טרנגנו, קואלה טרנגנו, מלזיה

זומבים הם אמיתיים ואפשר למצוא אותם סביבנו, אצל סרטנים! אם אתם חושבים שזה נורא להישלט על ידי טפיל כמעט בלתי נראה שמתחבא בתוכם, הביאו בחשבון את הסרטנים שהודבקו. גם זכרים וגם נקבות צריכים לסייע לטפיל הפולש להטיל ביצים ולייצר תינוקות! אנו חקרנו סרטני בוץ אכילים, ומצאנו שחלק מהם הודבקו בטפילים שנקראים ריזוצפלנים (rhizocephalans). הבחנו בכך שהסרטנים המודבקים הכילו איבר משונה, דמוי-ביצה, מתחת לִבְטָנִים שלהם, וגודל הגוף הכולל שלהם היה קטן יותר מאשר סרטנים שלא הודבקו. סרטנים זכרים שהודבקו נהפכו לנקבות והיו להם בטנים רחבות וכהות, דמויות-נקבה. הסרטנים המודבקים מטפלים בביצי הפרזיטים כאילו שהן היו שלהם! תקוותנו היא שיום אחד נהיה מסוגלים לחשוף את הפרטים של האופן שבו ריזוצפלנים הופכים סרטנים לזומבים.

כיצד הכול התחיל

אם אתם חושבים שזומבים נמצאים רק בסרטים ובסיפורים שההורים סיפרו לנו כדי שנישאר בבית בערב, חשבו שוב. אף על פי שאין זומבים אנושיים, סרטנים ושרימפסים זומבים מסתובבים חופשיים בממלכת החיות, והגאון שמאחורי המתקפה הזו הוא טפיל זעיר.

סוקרים צעירים

ANHAD

גיל: 11



ASHIMA

גיל: 12



AVANI

גיל: 8



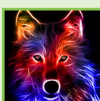
MANAN

גיל: 12



SANSKRITI

גיל: 13



סרטנאים (Crustacea)

קבוצה גדולה שמכילה בעיקר אורגניזמים ימיים עם שלד חיצוני(שריון). הגוף המחולק שלהם מחולק לראש, לגוף ולבטן. הם גדלים בתהליך של השלת השריון שלהם (molting). חלק מהדוגמאות לסרטנאים הם סרטנים, לובסטרים, שרימפסים וסרטני מאכל (prawns).

השלה (Molting)

תהליך של השלת הקליפה החיצונית הישנה והחלפתה עם אחת חדשה, לעיתים קרובות גדולה יותר. התהליך הזה מתרחש אצל כל הסרטנאים.

מארח (Host)

אורגניזם שפליש אליו טפיל.

Externa

איבר הרבייה הנקבי של טפיל הריזוצפלנה. הוא מזדקק מגופו של המארח מתחת לבטן.

קבוצת הטפילים שמסוגלת להתמיר את הסרטנים והשרימפסים למתים המהלכים של הים הם גם קרובים רחוקים של החיות האלה – סרטנים, שרימפסים והטפיל הזומבי כולם **סרטנאים**. לסרטנאים אין מבנה עצם חיצוני, ובמקום זאת יש להם קליפה חיצונית חזקה שמגינה עליהם. הם צריכים ליצור שכבה חיצונית חדשה כשהם גדלים, בתהליך שנקרא **השלה** (molting). אולם שלא כמו סרטנאים אחרים, הגאונים הזומבים האלה הם חלק מקבוצה מיוחדת כתוצאה מהמאפיינים ומאורח החיים המיוחדים שלהם. הקבוצה הזו נקראת ריזוצפלה (Rhizocephala), וחברי הקבוצה נקראים ריזוצפלנים (rhizocephalans) או טפילי ריזוצפלן.

טפילים ריזוצפלנים הם קטנים מאוד בגודל (פחות מ-300 מיקרומטר – מיליונית המטר) – קטנים פי עשרה מגרגיר אורז [1]. נוסף על כך הצורות הבוגרות שלהם פשוטות להפליא. אין להם ידיים או רגליים, ואין להם איברים פנימיים פרט לאיברי רבייה, רקמת שריר מסוימת ומערכת עצבים פשוטה. כיצד היצורים הזעירים והפשוטים האלה יכולים לפלוש ולהשתלט על אורגניזמים גדולים ומורכבים כמו סרטנים ושרימפסים?

ראשית, כדי שהפלישה תהיה מוצלחת, טפיל הנקבה צריך למצוא אורגניזם לחיות בתוכו. החיה הזאת נקראת **מארח**, ובמקרה הזה היא בדרך כלל סרטן. ברגע שנמצא המארח הפוטנציאלי, הטפיל יחבר את עצמו לרקמה הרכה של המארח, בדרך כלל לזימים מאחר שאיברים אחרים בגופו של הסרטן מוגנים על ידי קליפה חיצונית קשה. אחרי שהוא נוחת בבטחה על רקמתו הרכה של המארח, הטפיל מזריק פיסות זעירות מהרקמה של עצמו אל גופו של המארח [2]. הרקמות הטפיליות האלה זורמות בתוך דמו של המארח, עד שהן מאתרות את החלק במערכת העיכול של המארח ומתחברות אליו. משם, הטפיל מגדל שורשים, בדומה לשורשים של עצים, ומשתמש בשורשים כדי לספוג חומרי מזון מהמארח. אחרי שהוא גדל בגופו של המארח במשך זמן מה, טפיל הנקבה הוצה לייצר תינוקות, אולם כיצד הוא יכול לפגוש בבן זוג כשהוא נמצא בתוך גוף המארח? אם כן, כדי להזדווג נקבת הטפיל מגדלת את איבר רבייה משלה, שנקרא "אקסטרנה" (**externa**; איור 1) על החלק החיצוני של גוף המארח. כאשר הטפיל הזכר רואה את האקסטרנה בולטת החוצה מגוף המארח, הוא נכנס לאקסטרנה ומפרה את ביצי הטפיל הנקבה, והנה – אלפי תינוקות טפילים משוחררים לתוך המים הפתוחים, ומחפשים מארחים נוספים להפוך אותם לזומבים [3]!

מה טפיל הריזוצפלן עושה לסרטנים?

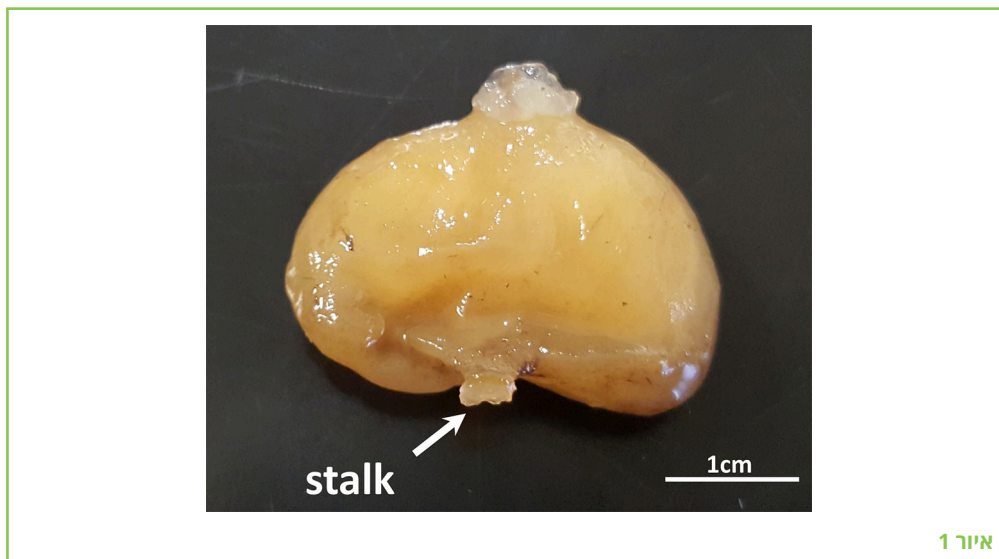
נתקלנו בתגלית המרתקת הזו בזמן שאספנו סרטני בויץ למחקרים אחרים. סרטני הבויץ האלה, שגם ידועים כסרטני מנגרוב, נמצאים ביערות מנגרוב ובפיות הנהר של האזור האינדו-מערבי הפסיפי, שנפרש החל מהודו, סין, יפן ודרום-מזרח אסיה, ועד לאוסטרליה ולפפואה גינאה החדשה [4]. הם לעיתים קרובות נאספים על ידי דייגים ונמכרים לשווקים ולמסעדות, מאחר שהם טעימים מאוד!

הדבר הראשון שתפס את תשומת ליבנו היה הנוכחות של האקסטרנה מתחת לבטן של סרטני הבויץ, במקום שבו בדרך כלל נמצאות ביצי הסרטנים. כדי להבין את ההשפעות של הטפילים האלה על סרטני הבויץ, השווינו כמה מדידות גוף בין סרטנים מודבקים ובריאים. באופן מפתיע, מצאנו שכל הסרטנים הזכרים שהודבקו הותמרו לנקבות והכילו מאפיינים דמויי-נקבה, כמו

איור 1

האקסטרנה של

פרזיט ריזוצפלן. האקסטרנה מתחברת לבטן של הסרטן דרך חלק שנקרא stalk.



איור 1

איור 2

מבט לגופם של סרטני בוך

נורמלים ומודבקים. (A) זכר נורמלי עם בטן משולשת ואיברי רבייה (gonopods) באורך נורמלי; (B) נקבה לא בוגרת נורמלית עם בטן בצורה מעט גלובולרית ואיברי רבייה (pleopods) ארוכים; (C) נקבה בוגרת נורמלית עם בטן כהה בצורה גלובולרית, ופלאופודים ארוכים; (D) זכר מודבק עם בטן כהה בצורה גלובולרית, גונופודים מקוצרים ונוכחות של אקסטרנה; (E) נקבה לא בוגרת מודבקת עם בטן נורמלית לא בוגרת, אולם פלאופודים קצרים; (F) נקבה בוגרת מודבקת עם בטן נורמלית בוגרת, פלאופודים קצרים ונוכחות של אקסטרנה.

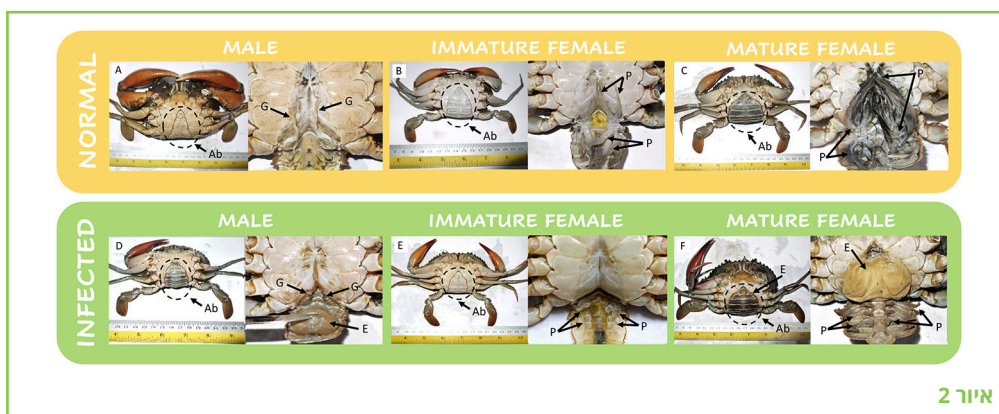
- ;G - gonopod
- ;P - pleopods
- ;AB - abdomen (בטן)
- YS - yellow sack (אקסטרנה).

Gonopod

איבר רבייה זכרי אצל סרטנים שמעביר זרע לתוך הנקבה בעת ההזדווגות.

Pleopod

איבר רבייה נקבי בסרטנים שמאפשר התחברות של הביצים במטרה לוודא התפתחות נורמלית של ביצים אצל סרטנים.



איור 2

למשל בטן רחבה וכהה וגוף קטן יותר (איור 2). התמרת הגוף הזו הייתה הכרחית מאחר שסרטנים זכרים גם מודבקים על ידי הטפיל והוא משפיע עליהם באותו האופן שהוא משפיע על נקבות הסרטן - האקסטרנה של הטפיל מניחות מגופם של מארחים זכרים, וגם הסרם הזכרים וגם הסרטנים הנקבות מטפלים באקסטרנה כאילו שהיו הביצים שלהם!

כמו כן, איברי הנקבה גם של הזכר וגם של הנקבה מקוצרים באופן מהותי בקרב סרטנים מודבקים. איברי הרבייה הזכריים נקראים "גונופודים" (**gonopods**), והם מכילים שני זוגות של מבנים ארוכים שמשמשים להעברת זרע לנקבה בתהליך ההזדווגות. איברי רבייה נקביים נקראים "פלאופודים" (**pleopods**), והם מכילים ארבעה זוגות מבנים שחשובים להתחברות הביצה (איור 2). קיצור איברי הרבייה משמעותו שסרטנים זכרים מודבקים לא מסוגלים להזדווג עם נקבות, וסרטנים נקבות מודבקות לא מסוגלות לחבר ביצים לפלאופודים שלהן עבור התפתחות נורמלית של ביצים, אפילו אם הן יכולות להזדווג באופן נורמלי עם זכרים ולייצר ביצים!

נוסף על שינוי ההופעה החיצונית של המארח, טפילי ריזוצפלן גם שולטים בהתנהגות של המארחים שלהם. סרטנים זכרים מודבקים עם אקסטרנה יפנינו תבניות התנהגות שבדרך כלל מופיעות רק אצל נקבות עם ביצים בבטן, כמו למשל ניקוי מתמיד של האקסטרנה והבטן,

כאילו שהם מטפלים בביצים של עצמם. דמיינו שאחרי שהודבקתם על ידי טפיל, אתם בהיריון עם תינוקות חייזרים, וגרוע מכך, אינכם מודעים לכך ואתם מטפלים בהם כאילו שהם היו שלכם!

בנקודה הזו, עדיין איננו בטוחים אם סרטנים שהודבקו עם טפילי ריזוצפלן מסוכנים לאכילה עבור בני אדם. זו לא צריכה להיות בעיה אם הסרטנים מבושלים כראוי לפני אכילתם. כמו כן, הטפילים האלה ברנניים מאוד כשזה נוגע לבחירת המארחים הפוטנציאליים שלהם. ידוע שהם מדביקים רק סרטנאים אחרים, לא בני אדם.

מה עלינו לעשות הלאה?

מדהים כמה אורגניזם זעיר, כמעט ללא איברים או מבנה קשיח, יכול לשלוט באורגניזם אחר ולגרום להשפעות אדירות. נכון להיום, עדיין אין טיפול לסרטנים שהודבקו עם טפילי ריזוצפלן. נוסף על כך עדיין איננו מבינים כיצד טפילי ריזוצפלן גורמים להשפעות האלה. אנו מקווים שעל ידי סיפור הסיפור הזה, יותר אנשים – ובמיוחד ילדים – ישימו לב לאורגניזמים שסביבם בטבע, כולל סרטנים קטנים. אנו גם רוצים שתהיו מודעים לתופעת הריזוצפלן המשונה הזו, ושתסייעו לנו להסתכל על מקרים אחרים של הופעת הטפיל הזה. אם אתם חיים במקום שבו נמצאים סרטנים אכילים, אתם יכולים לחפש נוכחות של שק צהוב משונה מתחת לבטנם של הסרטנים. אולי יום אחד תוכלו לסייע לנו לפתור את תעלומת ה**טפילות** של ריזוצפלן!

טפילות (Parasitism)

הקשר שבין שני אורגניזמים, שבו אחד מהם (הטפיל) חי על או בתוך האחר (מארח), וגורם לו לנזק.

תרומת המחברים

KF ו-HF כתבו את טיוטת המסגרת למאמר הזה, סיימו את הסקירה, ותרמו למציאה של- וחקר על- הטפיל והסרטנים המזוהמים שתוארו במאמר זה. KW כתב את הטיוטה הראשונה. HF סקר את הטיוטה הראשונה וערך את התמונות. כל המחברים תרמו למאמר ואישרו את הגרסה המוגשת.

מאמר המקור

Waiho, K., Fazhan, H., Glenner, H., and Ikhwanuddin, M. 2017. Infestation of parasitic rhizocephalan barnacles *Sacculina beauforti* (Cirripedia, Rhizocephala) in edible mud crab, *Scylla olivacea*. *PeerJ* 5:e3419. doi: 10.7717/peerj.3419

מקורות

1. Kobayashi, M., Wong, Y. M., Oguro-Okano, M., Dreyers, N., Høeg, J. T., Yoshida, R., et al. 2018. Identification, characterization, and larval biology of a rhizocephalan barnacle, *Sacculina yatsui* Boschma, 1936, from northwestern Japan (Cirripedia: Sacculinidae). *J. Crust. Biol.* 38:329–40. doi: 10.1093/jcabiol/ruy020
2. Glenner, H., Høeg, J. T., O'Brien, J. J., and Sherman, T. D. 2000. Invasive vermigon stage in the parasitic barnacles *Loxothylacus texanus* and *L. panopaei* (Sacculinidae):

closing of the rhizocephalan life-cycle. *Mar. Biol.* 136:249–57. doi: 10.1007/s002270050683

3. Nagler, C., Hörnig, M. K., Haug, J. T., Noever, C., Høeg, J. T., and Glenner, H. 2017. The bigger, the better? Volume measurements of parasites and hosts: parasitic barnacles (Cirripedis, Rhizocephala) and their decapod hosts. *PLoS ONE* 12:e0179958. doi: 10.1371/journal.pone.0179958
4. Fazhan, H., Waiho, K., Darin Azri, M. F., Al-Hafiz, I., Wan Norfaizza, W. I., Megat, F. H., et al. 2017. Sympatric occurrence and population dynamics of *Scylla* spp. in equatorial climate: effects of rainfall, temperature and lunar phase. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 198:299–310. doi: 10.1016/j.ecss.2017.09.022

פורסם אונליין: 10 ביוני 2022

נערך על ידי: Michele A. Johnson

מנחה מדעי: Ruchira Sharma

ציטוט: Waiho K and Fazhan H (2022) התרעת זומבי: כיצד טפיל זעיר הופך סרטנים למתים מהלכים? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00094-he

תורגם והותאם: Waiho K and Fazhan H (2020) Zombie Alert: How Does a Tiny Parasite Turn Crabs Into the Walking Dead? *Front. Young Minds* 8:94. doi: 10.3389/frym.2020.00094

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

COPYRIGHT © 2020 © Waiho and Fazhan 2022. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפרומים 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.

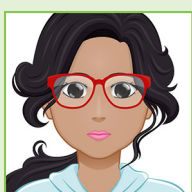
סוקרים צעירים

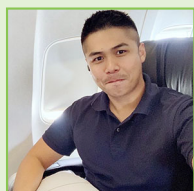
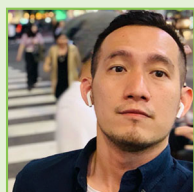
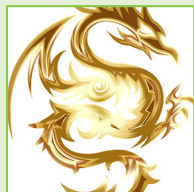
ANHAD, גיל: 11

היי, קוראים לי Anhad ואני אוהב לכתוב על נושאים שונים (לפעמים). אני גם אוהב לצפות בטלוויזיה ולשחק במשחקי וידאו בקונסולה שלי, ולבלות עם חבריי ומשפחתי. אני אוהב לצפות בנטפליקס בזמני הפנוי, ולבשל.

ASHIMA, גיל: 12

היי, אני Ashima. אני אוהבת לקרוא סיפורת ולשחות. אני אוהבת ללמוד. המקצוע האהוב עליי הוא מתמטיקה. פונקציות ריבועיות הן הנושא האהוב עליי במתמטיקה.





AVANI, גיל: 8

היי, אני Avani, אני אוהבת לשחק הרבה משחקים מכל סוג. אני גם אוהבת לשחק עם הגור שלי ובמשחקי מחשב. אני אוהבת מאוד חיות וטבע! לכן, במזג אוויר חם אני יוצאת החוצה ומסתכלת על הסביבה היפהייה שלי, ועל הטבע שסביבי! במזג אוויר קר אני עושה סקי ומשחקת בשלג! אלה חלק מהדברים שכדאי לדעת עליי!

MANAN, גיל: 12

היי, קוראים לי Manan. אני אוהב לשחק כדורסל, לשחות ולשחק במשחקי וידיאו, אני גם אוהב לבלות עם חברים. אני אוהב ללמוד כל דבר שקשור לטכנולוגיה ולמדע, ואני רוצה לדעת עוד על חיות. החיה האהובה עליי היא כלב. אני גם מתעניין בטבע ובפרחים. אני אוהב לטייל.

SANSKRITI, גיל: 13

היי, קוראים לי Sanskriti. אני בת 13 ואני בכיתה ח. התחביבים שלי הם עבודת יד וקריאה. כשאגדל, אני רוצה ללמוד ביולוגיה או תכנות.

הכותבים

KHOR WAIHO

אני חוקר עם תשוקה עמוקה לאוקיינוס ולכל מה שנמצא בו. הייתי רוצה לחשוף את התעלומות של האופן שבו אורגניזמים חיים את חייהם כשהם מוקפים כל הזמן על ידי מים. העניין שלי במדע מבוסס על תשוקתי לחיים. אני חושב שהעולם שאנו חיים בו מלא במספר אדיר של תעלומות ושאלות בלתי פתורות, ושלמצוא ולפתור את החידות האלה, אחת בכל פעם, זה כיף! *waiho@umt.edu.my

HANAFIAH FAZHAN

אני עובד עם סרטנים ממשפחות שונות ומנסה להבין כיצד כל אחד מהם קשור לאחרים באמצעות שימוש בשיטות שונות. אני מקווה שעל ידי הבנת עץ המשפחה שלהם יהיה קל יותר לאחרים להבין סרטנים ולספר עליהם לאנשים אחרים. זה גם יסייע לאנשים להבין את תהליך האבולוציה, וכיצד כל מין סרטן מסתגל לסביבה המסוימת שלו. *fazhanhanafiah@gmail.com

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



הוצאת פרונטייה מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK