



מהו הנְּמָטוֹדָה למלחמה בתולעים נימיות טורפות-צמחים?

Elisabeth Darling, Marisol Quintanilla-Tornel* | Henry Chung

המחלקה לאנטומולוגיה, האוניברסיטה של מדינת מישיגן, איסט לאנסינג, מישיגן, ארה"ב

סוקרים צעירים

MARIE
גיל: 13



MEHA
גיל: 15



NIVEDITA
גיל: 14



SHREEYA
גיל: 11



SHRIYA
גיל: 13



נְּמָטוֹדָה (Nematode)

קבוצת חיות (מערכה: תולעים נימיות), בעלות צורה דמוית-תולעת, ארוכה וגלילית. ניתן למצוא אותן בכל שבע היבשות (אפילו באנטרקטיקה!), כמו גם באוקיינוסים ובאגמים.

שורשיהם של הצמחים באים במגע עם חיידקים, פטריות ואורגניזמים מיקרוסקופיים רבים בתוך הקרקע. כל אלו עשויים להשפיע על איכות הגדילה של הצמחים. חלק מהאורגניזמים הזעירים הן חיות המכונות 'תולעים נימיות', או 'נְּמָטוֹדָה', המהוות נדבך חשוב במיוחד בחיים בתוך האדמה. תולעים נימיות יכולות להיטיב עם צמחים, להזיק להם או להיות ניטרליות עבורם. מדענים המכונים 'נְּמָטוֹלוגים' חוקרים נמטודות, ומנסים להבין כיצד ניתן למנוע מהנמטודות ה'רעות' להסב נזק ליבולים חשובים, כמו גזרים. נמטולוגים ומדענים אחרים משתפים פעולה עם חקלאים, במטרה לפקח על המזיקים הללו ולגדל יבולים בריאים.

אורגניזמים קטנים עלולים לגרום לבעיות גדולות מאוד

חפץ אדמה מכיל אלפי חיות כה קטנות, שאנו זקוקים למיקרוסקופ כדי לראותן. קטנות ככל שיהיו, לחלק מהחיות הללו השפעה כִּלְל-עולמית על גידול מוצלח של יבולי מזון. נְּמָטוֹדָה (איור 1), הן תולעים נימיות זעירות שחיות באדמת הגינה, בשדות יבול ובטבע הפתוח. לצד מיני נמטודות המועילות לצמחים, אחרות הן אויבות של עולם הצומח. הנמטודות המסוכנות הללו ניזונות משורשי הצמחים, וכך, בסופו של דבר, מזיקות לצמחים ופוגעות

טפילים (Parasites)

אורגניזמים המסתמכים על אורגניזמים מארחים אחרים, כדי לקחת מהם מזון וחומרי הזנה.

איור 1

נמטודה מזן 'פּרַטִילֵנְכּוּס' (*Pratylenchus*) ממין זכר, הניזונה משורשים. נמצאה בשורש של גזר. בהיבט קנה המידה: 100 מיקרומטרים (µm) הם גודל הקטן פי 10 ממילימטר אחד. זה בערך עובי שיערה אנושית אחת!



איור 1

נמטודות אוכלות-צמחים: איים לשורשי הגידולים

אנו אוכלים שורשים של צמחי-גינה מסוימים כמו גזרים, סלקים, גזרים לבנים ותפוחי אדמה. נמטודות עלולות לפגוע ביבולי המזון החשובים הללו, ובסוגים רבים אחרים. לנמטודות יש חלק דמוי-קשית בפה, אשר מזריק תערובת של אֵנְזִימִים אל תוך הצמח. האנזימים הללו מפרקים את תאי הצמח לכדי 'מרק תאי-צמח'. לאחר שהתאים התפרקו, הנמטודות אוכלות את ה'מרק' הזה [2]. כאשר נמטודות ניזונות משורשי גזר במהלך השלבים המוקדמים בחיי הצמח, הן עלולות לגרום לצמח נזק חמור, ואפילו להביא למוותו. כאשר סוגים מסוימים של נמטודות טפילות ניזונות מגזרים ומגזרים לבנים בשלב מוקדם בעונת הגידול, הן כל כך מזיקות לשורשים, שחקלאים אינם יכולים למכור אותם. כשנמטודות מסוימות מזן 'פּרַטִילֵנְכּוּס' (*Pratylenchus*) ניזונות מגזרים צעירים מאוד, הנזק לשורש הגזר גורם לגזרים לפתח שורשים מפוצלים (איור 2). אם יש יותר מדי נמטודות טפילות בקרקע, החקלאי עלול לאבד כמות גדולה של יבולים.

נְמַטוֹלוֹגִים הם מדענים שחוקרים נמטודות. הנמטולוגים החוקרים נמטודות טפילות-צמחים יכולים לשתף פעולה עם חקלאים, כדי לבחון את יעילות המוצרים שמסוגלים להרוג נמטודות מסוכנות. יחד, ביכולתם למצוא את הדרכים המיטביות להיאבק במזיקים אלו. קשה במיוחד להתמודד עם נמטודות שאוכלות ירקות שורש, כיוון שלעיתים אין באפשרות החקלאים לראות את התסמינים של מְרַבֵץ הנמטודות עד לסוף העונה, כאשר מוציאים את השורשים מהאדמה.

נְמַטוֹלוֹגִים (Nematologists)

מדענים החוקרים נמטודות.

אֵנְזִימִים (Enzymes)

מולקולות ביולוגיות המייצרות תגובות כימיות בתוך תאים.

איור 2

גזרים שניזקו מנמטודות
אוכלות-שורשים. התוצאה
היא פיצול של השורש
הראשי.



איור 2

כיצד מאבחנים פשיטה של נמטודות?

בניגוד למזיקים שהם חרקים, לא ניתן לראות נמטודות ללא מיקרוסקופ. מסיבה זו, יש לערוך בדיקות מעבדה כדי לגלות פשיטות של נמטודות. אם חקלאי חושש שהיבול שלו נפגע מנמטודות טפילות-צמחים מזיקות, הוא יכול לשלוח דוגמית אדמה מהשדה שלו למעבדת נמטולוגיה. במעבדה, מערבבים את האדמה עם מים ומעבירים אותה דרך מסננת רֶשֶׁת, בתהליך הדומה לניפוי קמח. המטרה היא להסיר גושים גדולים של חול או של פסולת אחרת מהאדמה, וללכוד רק את הנמטודות. לאחר כן, מעבירים את התערובת למבחנות ומכניסים אותן לצֶנְטְרִיפּוּגָה – מכונה גדולה שמסתובבת מהר מאוד במטרה לאסוף חלקיקים דחוסים יותר בתחתית המבחנות. הנמטודות צפות במים, בעוד שחלקיקי החול והבוץ הכבדים יותר שוקעים ונשארים בתחתית המבחנה. לאחר מכן, מוסיפים למבחנה תמיסת סוכר שגורמת לנמטודות לצוף לחלק העליון של המבחנה. אז, מדענים יכולים לאסוף את החיות הזעירות ולבחון אותן תחת מיקרוסקופ אור, כדי לזהות איזה זן של נמטודות נמצא בשדה של החקלאי. אך חלק מזני הנמטודות דומים מאוד לזנים אחרים, ולכן עולה הצורך לזהותם על ידי ניתוח הדנ"א שלהם.

כיצד חקלאים יכולים להתמודד עם נמטודות?

נמטולוגים ומדענים אחרים משתפים פעולה במטרה להתמודד עם הבעיות העומדות בפני החקלאים בכל הקשור לנמטודות. כיום, משתמשים בכימיקלים המכונים **קוטלי נמטודות** כדי לטפל בפשיטות שלהן. הכימיקלים הללו רעילים לנמטודות, אך עלולים להיות מסוכנים גם עבור האנשים שמפזרים אותם. נוסף על כך, התכשירים האלה יקרים. נמטולוגים חוקרים דרכים אחרות להתמודדות יעילה עם המזיקים הללו. ישנם סוגים של **חיידקים ופטריית** [3] המצויים באדמה, שיש להם תכונות של קוטלי נמטודות, כלומר, הם יכולים להרוג

דנ"א (DNA)

ההוראות הנדרשות להרכבת
תאים, מאוחסנות בכל
אורגניזם.

קוטלי נמטודות (Nematicide)

חומר או אורגניזם שהורג
נמטודות ביעילות.

חיידקים (Bacteria)

קבוצה של אורגניזמים שהם
פְּרוֹקְרִיּוֹטִים, כלומר שאין להם
גרעין, והם בעלי תא אחד
בלבד.

פטריית (Fungi)

קבוצה של אורגניזמים שהם
אֵיקְרִיּוֹטִים, כלומר תאים
שמכילים גרעין, הניזונים
מחומר אורגני. קבוצה זו
כוללת פטריות ושמרים שאנו
אוכלים, כמו גם סוגים שונים
של עובשים.

נמטודות או לְרָסָן. חלקם התמחו בכך כל כך, שהם תוקפים רק את הנמטודות ה'רעות' [4]. במסגרת מחקרים רבים שנערכים כיום, החוקרים מנסים לזהות את הזנים המועילים הללו ולגדלם. זאת במטרה לספקם לשדות החקלאים ולצמצם את אוכלוסיית הנמטודות המזיקות הנמצאות באדמה. קוטלי הנמטודות הנחשקים ביותר יהיו אלו אשר מזיקים רק לנמטודות הטפילות לצמחים. זאת כדי להבטיח כי משאבי הקרקע ואורגניזמים זעירים אחרים המצויים באדמה והם מיטיבים, לא ייפגעו.

פטריות וחיידקים: מְפָתָח אפשרי למאבק בנמטודות טפילות-צמחים

נמטודות טפילות-צמחים החיות באדמה מסוכנות מאחר שהן עלולות להסב נזק לשורשי הצמחים. כמו כן הן עשויות לגרום לחקלאים לאבד כסף רב כיוון שאין ביכולתם למכור את יבוליהם. מסיבות אלה, חשוב למצוא דרכים יעילות לטפל בנמטודות טפילות-הצמחים. באופן אידיאלי, הטיפול הללו צריכים להיות בטוחים לסביבה ולזנים אחרים שחיים באדמה, וכן חשוב שיהיו בהישג ידם של חקלאים, מבחינה כלכלית. זהו אתגר לא מבוטל עבור נמטולוגים, אך העתיד ורוד! המפתח האפשרי לפתרון הבעיה הוא למצוא סוגים של פטריות אדמה או חיידקי-אדמה, שיכולים לְרָסָן את הנמטודות טפילות-הצמחים. ביכולתנו להיעזר בפטריות וחיידקים הללו כדי לפתח מוצרים חדשים שהם יעילים וידידותיים לסביבה, שישמשו את החקלאים. נוסף על כך השימוש בדנ"א של נמטודות לזיהוי הסוגים השונים של נמטודות-אדמה מסייע בקידום תחום הנמטולוגיה. לפעמים, מדע מולקולרי, כמו ניתוח דנ"א, עשוי להיות יקר. אולם, כאשר הם משתפים פעולה, מדענים יכולים לפתח את הטכניקות המולקולריות באופן שיוזיל את התהליך עבור מדענים וחקלאים בעתיד. הטכניקות הללו יסללו את הדרך עבור צוותי נמטולוגים ושותפיהם המדענים, ויסייעו להם למצוא את הדרכים המיטביות לרָסָן את המזיקים הללו, ולהשיג עליהם שליטה.

מקורות

1. Shah, M. M., and Mahmood, M. 2017. *Nematology: Concepts, Diagnosis and Control*. BoD – Books on Demand.
2. Zunke, U. 1990. Observations on the invasion and endoparasitic behavior of the root lesion nematode *Pratylenchus penetrans*. *J. Nematol.* 22:309–20.
3. Poveda, J., Abril-Urias, P., and Escobar, C. 2020. Biological control of plant-parasitic nematodes by filamentous fungi inducers of resistance: Trichoderma, Mycorrhizal and Endophytic Fungi. *Front. Microbiol.* 11:992. doi: 10.3389/fmicb.2020.00992
4. Topalović, O., Elhady, A., Hallmann, J., Richert-Pöggeler, K. R., and Heuer, H. 2019. Bacteria isolated from the cuticle of plant-parasitic nematodes attached to and antagonized the root-knot nematode *Meloidogyne hapla*. *Sci. Rep.* 9:11477. doi: 10.1038/s41598-019-47942-7

פורסם אונליין: 30 בינואר 2025

נערך על ידי: Malte Jochum

מנחים מדעיים : Irina Moshkova | Shruti Parikh

ציטוט: Darling E, Quintanilla-Tornel M | Chung H (2025) מהו המפתח למלחמה בתולעים נימיות טורפות-צמחים? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2021.604175-he

תורגם והותאם מ: Darling E, Quintanilla-Tornel M and Chung H (2021) Plant-Eating Nematodes and the Key to Fighting Them. Front. Young Minds 9:604175. doi: 10.3389/frym.2021.604175

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

זכויות יוצרים © Darling, Quintanilla-Tornel | Chung 2025. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). 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.

סוקרים צעירים

MARIE, גיל: 13

אני תלמידת כיתה ח כיום, אוהבת ביולוגיה וכימיה. הדבר שארצה לעשות בחיי הוא להיות גנטיקאית. אני אוהבת לעסוק בספורט, והענף המועדף עליי הוא אקרובטיקה. נהנית גם מקפיצה בטרמפולינה – זה כיף מאוד!

MEHA, גיל: 15

שלום, אני תלמידת כיתה י בתיכון, השואפת לקריירה ברפואה. התחביבים שלי כוללים אזור, טניס ובילוי עם חברים! אני גם אוהבת להתנדב ולהעניק חזרה לקהילה שלי. נרגשת להיות חלק מפרונטירז – מדע לצעירים, כיוון שאני מעוניינת שלעמיתיי ולתלמידים אחרים תהיה גישה להישגים המדעיים החשובים הללו, המתרחשים יומיום.

NIVEDITA, גיל: 14

היי, אני Nivedita, כינוי הגוף שלי הם 'היא' / 'שלה' / 'שלהן'. נרגשת להתחיל את השנה הזו! אספר לכם קצת על עצמי: בזמני הפנוי אני אוהבת להאזין למוזיקה (במיוחד לפרנק אושן), ונהנית לאייר כשאני יכולה. אוהבת לבלות עם חברים, והמקצוע המועדף עליי הוא כימיה!

SHREEYA, גיל: 11

היי, קוראים לי Shreeya, ואני גרה עם אחותי ועם הוריי. בזמני הפנוי, אוהבת לצאת להליכות עם חברים; לשחק במשחקי-לוח ולהתאמן בקראטה. במהלך מגפת הקורונה, העסקתי את עצמי בשיחות עם חברים, בקריאת ספרי הארי פוטר, ובהרכבת פאזל תלת-ממדי של הוגוורטס (בית הספר לכישוף ולקוסמות בסדרת הארי פוטר).





SHRIYA, גיל: 13

שלום, קוראים לי Shriya, מתגוררת בארה"ב. אני תלמידת כיתה ח, והמקצועות האהובים עליי הם מדעים ומתמטיקה. בזמני הפנוי, אני אוהבת לרקוד ולעסוק באומנות. בדיוק התחלתי לסקור בפרונטירז – מדע לצעירים, ואני נרגשת מאוד להמשיך בכך!

הכותבים

ELISABETH DARLING

אני דוקטורנטית במחלקה לאנטומולוגיה (חקר החרקים) באוניברסיטת מדינת מישיגן. היועצים השותפים שלי הם ד"ר Marisol Quintanilla ו-Henry Chung. פרויקט המחקר שלי מתמקד בדרך שבה זנים שונים של נמטודות הניזונות מצמחים משפיעים על צמח הגזר. הנמטודות הללו נקראות נמטודות פוצעות-שורשים, והן מזיקות מאוד למגוון יבולים! אני גם מתעניינת בהיקף ובצורת ההשפעה של נמטודות הניזונות מצמחים על מערכות יבולים חשובים אחרות, כמו גזר לבן וצמחי קשוחות. אוהבת ללמוד על היבטים שונים של נמטולוגיה.

MARISOL QUINTANILLA-TORNEL

Marisol Quintanilla-Tornel היא נמטולוגית במחלקה לאנטומולוגיה באוניברסיטת מדינת מישיגן. המחקר הנמטולוגי שלה עוזר להעריך שיטות התמודדות עם נמטודות טפילות-צמחים, במטרה לצמצם את נוכחותן ביבולים ב Marisol קיבלה את הדוקטורט שלה מהאוניברסיטה של מדינת מישיגן. [*marisol@msu.edu](mailto:marisol@msu.edu)

HENRY CHUNG

Henry הוא ביולוג שעובד באוניברסיטה של מדינת מישיגן. מעניין אותו מאוד לדעת כיצד החיים פועלים ברמה המולקולרית. הוא חוקר חרקים ונמטודות כדי להבין כיצד האורגניזמים הללו יכולים להסתגל לסביבות שונות, או לאכול צמחים מארחים שונים.

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



קרן משפחת
שעשוע
Shashua Family Foundation