

עוזרים מיקרוביאליים נסתרים שחיים בתוך צמחים: הכרת אנדופיטים וחלק מיישומיהם בחיי היומיום שלנו

Rosario del Carmen Flores-Vallejo^{1*}, Jorge Luis Folch-Mallo², Ashutosh Sharma³, Alexandre Toshirrico Cardoso-Taketa¹, María Luisa Villarreal^{1*}

¹המעבדה לחקר צמחי מרפא, המרכז לחקר ביוטכנולוגיה, האוניברסיטה האוטונומית של מדינת מורלוס, קורנווקה, מקסיקו
²המעבדה לביולוגיה מולקולרית של פטריות, המרכז לחקר ביוטכנולוגיה, האוניברסיטה האוטונומית של מדינת מורלוס, קורנווקה, מקסיקו
³בית הספר להנדסה, מדעים וטכנולוגיה, מונטריי, סנטיאגו דה קוארטרו, מקסיקו

סוקרים צעירים

ALAN
גיל: 13



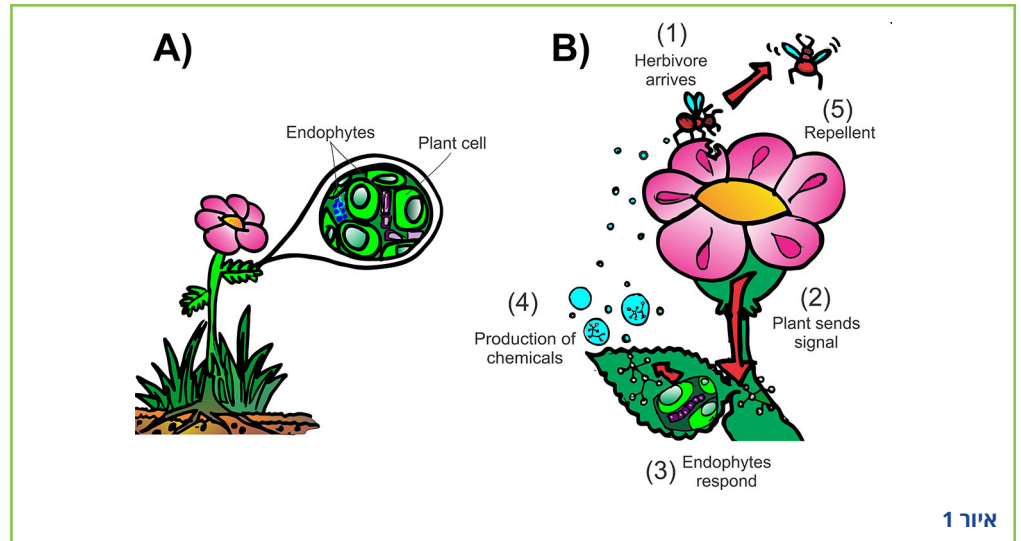
MARIANA
גיל: 14



מיקרואורגניזמים הם צורות חיים קטנטנות שיכולות להימצא בכל מקום. המיקרואורגניזמים שחיים בתוך צמחים בריאים ידועים בדרך כלל בשם אנדופיטים. צמחים חיים בסימביוזה יחד עם האנדופיטים שלהם, מה שאומר שהם עובדים יחד כדי לעזור אחד לשני. צמחים נותנים מחסה ומזון לאורחיהם המיקרואורגניזמים, ובתמורה המיקרואורגניזמים מסייעים להם לייצר כימיקלים שתומכים בגדילה מהירה יותר של הצמחים, בעמידות לתקופות בצורת או בלחימה כנגד אוכלי צמחים. מדענים מעוניינים מאוד בחקר הכימיקלים שמיוצרים על-ידי אנדופיטים מאחר שאפשר לפתח מהם תרופות ומוצרים חקלאיים חדשים. במאמר זה אנו נתאר את יחסי הגומלין שבין צמחים והאנדופיטים שלהם, ונענה על שאלות כמו: כיצד מדענים בוחרים צמח מארח ומוציאים ממנו את האנדופיטים? כיצד חקר האנדופיטים יכול לסייע לנו בחיי היומיום? ואלה סוגי אנדופיטים בודדו מהצמחים שגדלים במקסיקו?

איור 1

צמחים והאנדופיטים שלהם פועלים יחד בסימביוזה. (A) אנדופיטים שחיים בתוך הרמות של צמחי המארח שלהם, היכן שהצמח מספק להם מחסה ומזון (B) דוגמה לאופן שבו אנדופיטים מסייעים להגן על הצמחים שלהם: (1) אוכל עשב תוקף את הצמח; (2) הצמח שולח אותות שמוזהרים את האנדופיטים מפני התקיפה; (3) אנדופיטים מגיבים לאותות של הצמח ומסייעים לייצר כימיקלים; (4) הכימיקלים מופרשים על-ידי הצמח ומגיעים לאוכל העשב; ו-(5) אוכל העשב נדחה על-ידי הכימיקלים שמיוצרים בסיועם של האנדופיטים.



איור 1

צמחים והעוזרים המיקרוביאליים הנסתרים שלהם: אנדופיטים

צמחים הם אורגניזמים חיים אשר, שלא כמו צורות חיים אחרות, אינם יכולים לזוז ולברוח מפני חיות או חרקים שרוצים לאכול אותם (אוכלי עשב). אם כן, כיצד צמחים מפצים על חוסר יכולת התנועה שלהם וממשיכים לשרוד? מאז הזמנים העתיקים צמחים התפתחו יחד עם מיקרואורגניזמים, שהם אורגניזמים קטנטנים שאינם נראים לעין בלתי מזוינת. שיתוף הפעולה הזה עם מיקרואורגניזמים הוא אחת מהאסטרטגיות שסייעו לצמחים להסתגל, לשרוד ולשגשג [1]. מיקרואורגניזמים שחיים בתוך רקמות בריאות של צמחים, בלי לגרום למחלות ידועים בשם אנדופיטים (endophytes, מהשורש הלטיני "endo" = בתוך, ו-"phyton" = צמח).

אנדופיטים כוללים מיקרואורגניזמים כמו פטריות, חיידקים ואפילו וירוסים. אנדופיטים והצמחים המארחים שלהם פועלים יחד בסימביוזה, מה שאומר ששניהם מרוויחים מהקשר שלהם. כשהם פועלים בסימביוזה, צמחים שולחים אותות לאנדופיטים שלהם שיזהירו אותם כשהם מותקפים על-ידי אוכלי עשב. בתגובה, האנדופיטים מסייעים לייצר כימיקלים שהצמח המארח שלהם יכול להשתמש בהם כדי למנוע מאוכלי העשב לאכול את הצמח. אנדופיטים יכולים גם לסייע לייצר סוגים אחרים של כימיקלים מועילים (איור 1). לדוגמה, כימיקלים ש: (1) מושכים חיות מאביקות, כמו דבורים ועטלפים; (2) מסייעים לצמח שלהם לגדול מהר יותר ולספוג חומרי מזון מהאדמה ביתר קלות; (3) גורמים לצמח המארח שלהם להיות עמיד לבצורת ולתנאי מזג אוויר קיצוניים; ו-(4) לוחמים כנגד זיהומים ומחלות של הצמחים. בתמורה לשירותים האלה הצמחים מספקים מחסה ומזון לאנדופיטים שלהם, מה שמסייע לאנדופיטים להתרבות ונותן להם סיכוי להיות מועברים הלאה לצמחים חדשים דרך הזרעים של הצמח המארח שלהם [1].

בנקודה זו אתם עשויים לתהות כיצד אנדופיטים נכנסים לתוך הצמחים. לצמחים יש מערכת חיסון שבאופן רגיל מגינה עליהם מפני מה שמנסה לחדור לתוך התאים, כולל מיקרואורגניזמים שנמצאים לרוב במשטח החיצוני של צמחים, אשר נקראים אפיפיטים. תחת תנאים מסוימים, כשמערכת החיסון של הצמח מוחלשת, אפיפיטים מנצלים זאת ונכנסים אל הצמח דרך פצעים בשורשי העלים. בתוך הצמח חלק מהמיקרואורגניזמים האלה יצליחו לחיות במשותף עם

סימביוזה

(Symbiosis)

קשר ארוך-טווח שבו אורגניזמים מרוויחים אחד מהשני.

אפיפיטים

(Epiphytes)

מיקרואורגניזמים שחיים על פני השטח של צמחים.

מערכת החיסון של הצמח בלי לגרום לתסמינים של מחלה – אלה נהפכים לאנדופיטים בעוד שאחרים יגרמו לצמח לחלות, והם ידועים כפיטופתוגנים [1].

פיטופתוגנים (Phytopathogens)

מיקרואורגניזמים שגורמים למחלות של צמחים.

כיצד אנדופיטים יכולים לסייע לנו בחיי היומיום?

מדענים התחילו לשים לב יותר למחקר של אנדופיטים כשקבוצה אחת הדגימה שאנדופיטים יכולים לייצר כימיקלים שבמקור חשבו כי מיוצרים על-ידי צמחים. הקבוצה הזו גילתה אנדופיט שיכול להפיק כימיקל שנקרא Paclitaxel (Taxol®) שנמצא בשימוש בטיפול סרטן. הכימיקל הזה מופק בעיקר מקליפתו של עץ הטקסוס הפסיפי (*Taxus brevifolia*). כדי להפיק מספיק מהכימיקל הזה ולטפל בחולים עם סרטן השד או השחלה במשך שנה אחת, מעריכים שצריך לחרות בממוצע כ-270,000 עצים בוגרים (בני 100), מה שמסכן את אוכלוסיות העץ הזה שממילא הולכות וקטנות. משמעותה של התגלית שלהם כי אנדופיטים מסוגלים לייצר Paclitaxel, עשויה להיות לנו דרך אפשרית לייצר את הכימיקל באמצעות מיקרואורגניזמים, בלי לסכן את הישרדותו של עץ הטקסוס הפסיפי. הממצא הזה גם עודד מדענים לחקור את המיקרואורגניזמים שחיים בתוך צמחים, "לצוד" את הזנים שעדיין אינם ידועים כמסוגלים להפיק כימיקלים בעלי ערך שעשויים להיות מועילים עבור בני אדם.

חקר אנדופיטים עשוי להביא לנו מגוון של **ביוטכנולוגיות** חדשות שיוכלו לסייע לנו בחיי היומיום. לדוגמה: (1) פיתוח של תרופות חדשות ודרכים לייצר אותן; (2) יצירת מוצרים עמידים לטמפרטורות קיצוניות או תנאי קורוזה; (3) גילוי דרכים חדשות לטפל באזורים מזוהמים; (4) יצירת מוצרים שיאפשרו ליבולים לגדול עם פחות דשנים ומים; ו-(5) גילוי של דרכים ידידותיות לסביבה בלחימה באוכלי עשב או מחלות צמחים באופן בר-קיימא יותר.

על חיפוש האנדופיטים

אנדופיטים חיים בתוך כל זני הצמחים. הם נמצאו בצמחים שחיים בים כמו אצות ירוקות, ובצמחים שחיים ביבשה כמו צמח שן הארי שגדל על המדרכה. אנדופיטים יכולים לחיות בצמחים ממקומות עם טמפרטורות גבוהות ומעט מים, כמו קקטוס, או בתוך דקלים טרופיים ומנגרובים מגדות החופים, או במקלונאים או טחבי עלים שחיים באזור האנטרקטי הקר [3]. אם אנדופיטים חיים בכל צמח, כיצד אנו בוחרים איזה צמח לחקור עבור האנדופיטים שלו?

בעוד שנכון כי כל צמח מכיל לפחות אנדופיט רלוונטי אחד, הרלוונטיות של אנדופיטים תלויה בתפקוד שהם מבצעים בצמח וביתרונות שהאנדופיטים מספקים (למשל, לסייע לצמח המארח להיות עמיד בפני בצורת). חלק מהאנדופיטים מפתחים קשר הדוק מאוד עם הצמח המארח שלהם, ותורמים לתהליכים שונים שהכרחיים להישרדות הצמח. כדי לחקור את הפעילות הביולוגית שאנדופיטים מבצעים בתוך הצמח, ראשית עלינו לבחור את דגימת הצמח.

ישנן דרכים שונות לבחור צמחים במטרה לחקור את האנדופיטים שלהם. בחירת הצמחים מונחית על-ידי קריטריונים שונים מבחירה אקראית של כמה צמחים שונים **במערכת אקולוגית**, בתקווה למצוא משהו מועיל, או שהבחירה יכולה להיות מונחית על-ידי תכונות מסוימות של הצמח כדי למצוא כימיקלים עם פעילות ביולוגית מעניינת (**חיפוש ביולוגי**). ההיגיון של הבחירה מבוסס על: המורפולוגיה (חקר צורה ומבנה) המסוימת של הצמח; **הנישה**

ביוטכנולוגיות (Biotechnologies)

מוצרים ושירותים שפותחו מאורגניזמים חיים או מחלקים שלהם.

מערכת אקולוגית (Ecosystem)

קהילת אורגניזמים והמקום שבו הם מבצעים אינטראקציה.

'חיפוש ביולוגי' (Bioprospecting)

חקר הטבע במטרה למצוא כימיקלים עם ערך ביוטכנולוגי.

נישה אקולוגית (Ecological Niche)

חוסר איזון במספריהן או בסוגיהן של הקהילות המיקרוביות שעל הגוף או בתוכו.

האקולוגית; הגיל; ההקשר הסביבתי, ו/או ההיסטוריה האתנובוטנית (שימושים רפואיים) [3]. באמצעות יישום קריטריונים שונים לבחירת צמח מסוים וחקר האנדופיטים שלו, חוקרים יכולים להציע ניסויים רלוונטיים כדי לבחון את שאלת המחקר שלהם (למשל, לבחון אם אנדופיטים מצמחים מדבריים מייצרים כימיקלים שמסייעים לצמחים להיות עמידים בפני התייבשות). שאלת המחקר הזו היא מה שמדריך את כל תהליך הגילוי המדעי ומסייע למדענים להסביר את התפקודים שהאנדופיטים מבצעים בתוך הצמח המארח שלהם, ולהבין את יכולתם לייצר כימיקלים עם פעילות ביולוגית מסוימת.

ישנם קריטריונים שונים שמנחים את בחירתיהם של המדענים בצמחים מסוימים ובביצוע bioprospecting מאנדופיטים [3]. לדוגמה, המדענים שגילו את האנדופיט שמייצר Paclitaxel עקבו אחרי קריטריון *אתנורפואי*, ובחרו בצמח שידוע בשימושים הרפואיים שלו. במקרה שלהם, הצמח היה ידוע בשימוש עבור טיפולים בתסמינים שדומים לסרטן (הודות לנוכחות של Paclitaxel בקליפתו). מדענים אחרים עשויים להשתמש בקריטריון *אקולוגי* על-ידי בחירת צמחים שנשארים בריאים אפילו כשצמחים בסביבתם חולים או מותקפים על-ידי אוכלי עשב. הצמחים האלה עשויים להכיל אנדופיטים שיכולים לייצר כימיקלים שמסוגלים לדחות חרקים או חיידקים. דרך אחרת לבחור צמחים לחקור היא על-ידי קריטריון *יכולת הסתגלות* - בחירת צמחים שחיים בסביבות קיצוניות או ייחודיות כמו במדבר, בקרבת הרי געש או במזג אוויר קר במיוחד. הצמחים האלה עשויים להכיל אנדופיטים שמסייעים להם להיות עמידים או להסתגל לתנאים הקשים האלה. באמצעות קריטריון *הסביבה האקולוגית* מדענים יכולים לבחור צמחים שחיים במערכות אקולוגיות מגוונות במיוחד. באופן מעניין, נדמה שהצמחים שגדלים באזורים טרופיים או סְמִי-טרופיים בעולם, שֵׁם ישנם סוגי צמחים רבים, הם בעלי מגוון אנדופיטים גדול יותר מאשר צמחים שגדלים במערכות אקולוגיות עם מגוון צמחי קטן יותר [3]. הקריטריון *המורפולוגי* מסייע למדענים לבחור צמח עם מאפיינים פיזיקליים בלתי שגרתיים. לדוגמה, צורת העלים; צורת הגבעול או נוכחותם של מבנים מיוחדים. לבסוף, באמצעות שימוש בקריטריון *האֶנְדֶמִי* (תחום) נבחרים צמחים מקומיים מאזורים מסוימים או צמחים שחיים זמן רב מאוד, לדוגמה העץ המקסיקני "Tule tree" (*Taxodium mucronatum*) מאואחאקה, או עץ ה-"Yax-ché" (*Ceiba petandra*) מיוקטן. צמחים אלה יכולים להכיל אנדופיטים שמסייעים להאט את תהליך ההזדקנות (איור 2).

כיצד אנו יכולים להוציא את האנדופיטים מצמחים?

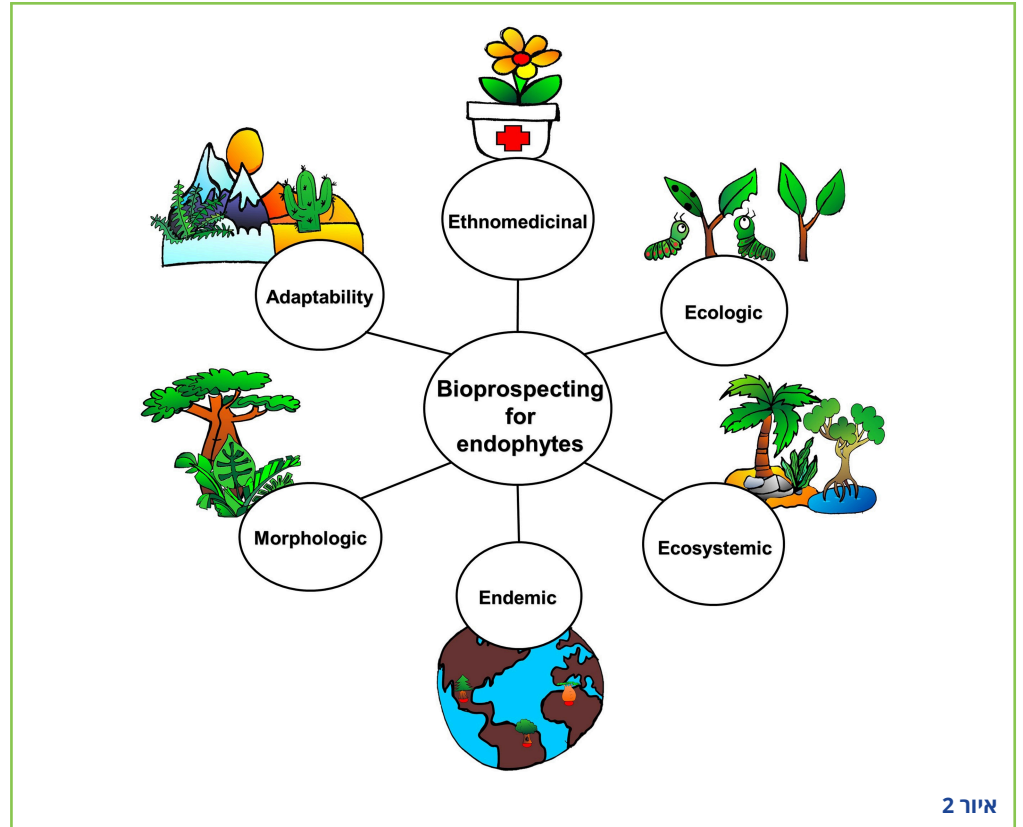
ישנם שלבים שונים שמעורבים בקבלת אנדופיטים מצמחים ונידולם במעבדה. באיור 3 אתם יכולים לראות שבחרנו בצמח היביסקוס (*Tulipán moteado*). אספנו חלק מהצמחים הבריאים ושטפנו את פני השטח של רקמות הצמחים, כמו העלים, עם חומרים שונים שמטפלים בזיהומים. לאחר מכן רקמות הצמח נחתכו, והחתיכות מוקמו בתוך צלחות שמכילות חומר דמוי ג'לי שנקרא "אָגֶר" אשר מכיל חומרי מזון ומים עבור גדילת האנדופיטים ויציאתם מרקמות הצמח. תהליכי טיפול בזיהום אמינים כוללים שלב אחרון שמוודא כי האפיפיטים שחיים על פני השטח הוסרו מרקמות הצמח, כך שאינם מתגנבים לתוך המחקר. לאחר מכן, האנדופיטים מוסרים מצלחות האגר ומגודלים בתוך מכלים גדולים יותר שמלאים בציר חומרי מזון, אשר ידועים גם כ**ביוראקטורים**. בתוך הביוראקטורים האנדופיטים משנים את חומרי המזון לכימיקלים אחרים. לבסוף האנדופיטים מופרדים מהציר והכימיקלים מזוקקים מהציר כך שמדענים יכולים לחקות את זהות הכימיקלים ואת שימושיהם הפוטנציאליים (איור 3).

ביוראקטורים (Bioreactors)

מכלים עם חומרי מזון שבהם אורגניזמים גדלים ומייצרים כימיקלים.

איור 2

Bioprospecting של אנדופיטים. קריטריונים שמשמשים בהם כדי לבחור צמח מסוים למציאת אנדופיטים עם פעילויות ביולוגיות מעניינות: (1) **אתנו-רפואי**: צמחים שמוכרים ביישומים רפואיים; (2) **אקולוגי**: צמחים שעמידים בפני תקיפות של אוכלי עשב; (3) **מערכת אקולוגית**: צמחים שנמצאים בסביבות מחייה עם מגוון ביולוגי גדול; (4) **אנדמי**: צמחים ילידים בעלי אורך חיים ארוך ממקום מסוים; (5) **מורפולוגי**: צמחים עם מאפיינים פיזיקליים בלתי שכיחים; (6) **יכולת הסתגלות**: צמחים שמשגשים בתנאים קיצוניים.



איור 2

חשוב שתדעו כי נכון להיום רק בין 1% ל-10% מהמיקרואורגניזמים שחיים בסביבה אקולוגית יכולים להיות מתורבתים במעבדה, מה שמשאיר בסביבות 0.9 מיליון פטריות וחיידקים שעדיין אינם מזהים [3]. אם כמות גדולה כל כך של מיקרואורגניזמים, כולל אנדופיטים, לא יכולים להיות מתורבתים במעבדה, איך נוכל לחקור אותם? עבור המקרים האלה לעיתים קרובות מדענים מוציאים את הדנ"א שנמצא בתוך צמחים, לאחר מכן מחפשים חתיכות מסוימות בתוך הצמחים, ואז הם מחפשים זנים מיקרוביים מסוימים שאינם משתנים הרבה עם הזמן. חתיכות הדנ"א השמורות האלה משמשות כ"ברקוד" של מיקרוב מסוים. החתיכות האלה מושוות עם ספריות ממוחשבות של ברקודים שמסיעות לחוקרים לזהות את מרבית האנדופיטים שלא תורבתו, וכך יש להם מבט שלם יותר על המגוון הביולוגי של מיקרואורגניזמים שמאכלסים צמחים.

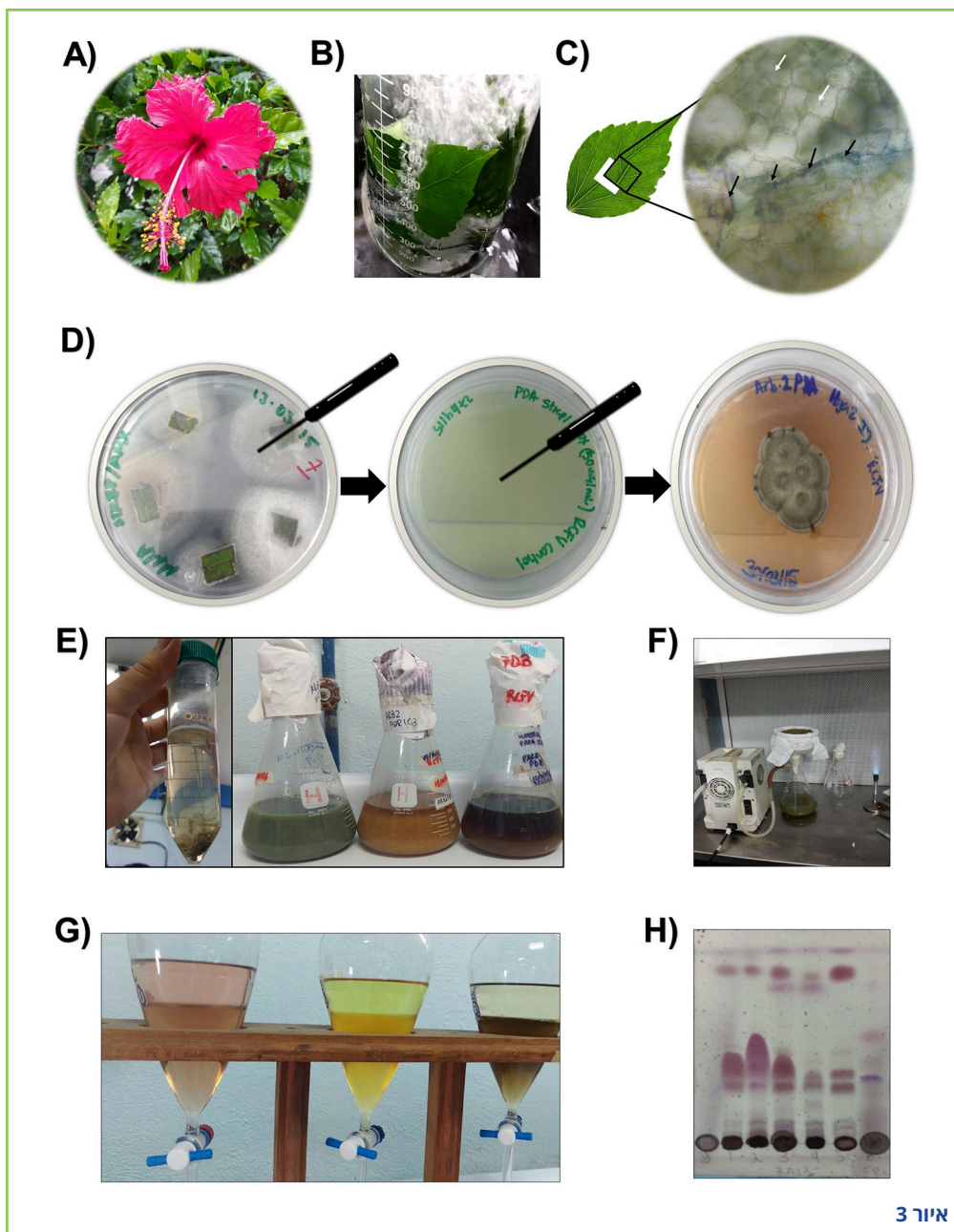
אנדופיטים מצמחים שגדלים במקסיקו

קבוצות שונות של מדענים גילו אנדופיטים בצמחים שגדלים במקסיקו, ומצאו שאפשר להשתמש באנדופיטים כדי ליצור תרופות ולהפיק מזונות ומוצרי טיפוח מסוימים. ישנן כמה דוגמאות מעניינות לתגליות האלה.

הצמח הרפואי שידוע בשם "Copalchi" (*Hintonia latiflora*) מכיל את האנדופיט שמייצר כימיקלים שיכולים לסייע בטיפול בסוכרת [4]. בזני צמחים רפואיים אחרים כמו "Granadilla" (*Callicarpa acuminata*) ועץ ה-"Copal" (*Bursera simaruba*) מדענים מצאו אנדופיטים שמייצרים כימיקלים שיכולים להרוג עשבים וללחום כנגד פטריות שגורמות למחלות צמחיות

איור 3

כיצד אנו מוציאים את האנדופיטים מהצמח? (A) בחרו צמח. (B) טפלו בזיהום פני השטח של רקמת הצמח. (C) חתכו את הרקמות שזיהומן טופל. בפאנל הזה אתם יכולים להעריך את פטריות האנדופיטים שהוכתמו בכחול (חיצים כהים) וחיות על תאי הצמח (חיצים לבנים). (D) שימו את הרקמות על צלחות אגאר כך שהאנדופיטים יצאו החוצה מתוך רקמות הצמח, ואז בודדו את האנדופיטים וגדלו אותם על צלחות אגאר אחרות. (E) האנדופיטים ממוקמים בבירואקטורים, היכן שהם יכולים לגדול בציר נוזלי ולהתמיר את חומרי המזון לכימיקלים אחרים. (F) סגנו את הציר והפרידו את התאים המיקרוביים מהציר. (G) הוציאו את הכימיקלים מהציר. (H) הכימיקלים שיוצרו על-ידי האנדופיטים זוהו באמצעות תהליכים שונים. כאן אתם יכולים לראות את הכימיקלים שיוצעים כטרפינים (פסים סגולים), שהם בעלי תכונות ביולוגיות שונות.



איור 3

[4]. אנדופיטים נמצאו גם בעץ הרפואי "Cuachalalate" (*Amphiterygium adstringens*) ואפשר להשתמש באנדופיטים האלה עבור ייצור כימיקלים שמטפלים בסרטן או בזיהומים חיידקיים בבני אדם [5]. בצמח הרפואי "Mano de oss" (*Dendropanax arboreous*) מדענים גילו אנדופיטים שיכולים להפיק כימיקלים שלוחמים נגד מיקרואורגניזמים רעילים אשר גורמים לאנשים לחלות [6].

אנדופיטים מצמחים שמקסיקנים אוכלים בארוחות היומיות שלהם נחקרו גם הם. לדוגמה, מדענים חקרו אנדופיטים שחיים ב"Tomatillo" (*Physallis ixocarpa*) [7], שמשמשים בו כדי להכין רטבים טעימים. מדענים שחקרו את צמח הקפה (*Coffea Arabica*) שגדל בברזיל התעניינו בחקירת השאלה אם תנאי הסביבה שיחקו תפקיד במספריהם או בסוגיהם של האנדופיטים שחיים בצמח. הם מצאו שמגוון האנדופיטים והתקשורת שלהם בתוך צמח הקפה

קשורים בעיקר לאזור שבו הקפה מגודל [8]. לבסוף קבוצת מדענים זיהתה אנדופיטים מסוימים מצמחי תירס אשר משמשים להכנת "טורטיות" [9]. האנדופיטים האלה יכולים לסייע לצמחים לספוג יותר בקלות חומרי מזון שהם צריכים, מה שמסייע לצמחים לגדול אפילו עם כמויות קטנות של דשנים.

במאמר הזה הכרתם את האנדופיטים, העוזרים המיקרוביאליים הנסתרים שחיים בתוך צמחים. כפי שאתם יכולים לנחש, ישנם עדיין אנדופיטים רבים שמחכים להתגלות. האם אתם מוכנים לקחת את האתגר ולהפוך לצייד אנדופיטים מדהימים?

תודות

המחקר הזה נתמך על-ידי CONACyT באמצעות המענקים למדע בסיסי [386198#] שניתנו ל-MLV, ומענק ללימודים מתקדמים אשר ניתן ל-RCFV[222714#]. התוצר הזה הוא חלק מעבודת המסטר של RCFV.

מקורות

1. Zhang, H. W., Song, Y. C., and Tan, R. X. 2006. Biology and chemistry of endophytes. *Nat. Prod. Rep.* 23:753–71. doi: 10.1039/b609472b
2. Stierle, A., Strobel, G., Stierle, D., Grothaus, P., and Bignami, G. 1995. The search for a taxol-producing microorganism among the endophytic fungi of the Pacific yew, *Taxus brevifolia*. *J. Nat. Prod.* 58:1315–24. doi: 10.1139/w02-023.
3. Strobel, G., and Daisy, B. 2003. Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 67:491–502. doi: 10.1128/MMBR.67.4.491-502.2003
4. Mata, R., Figueroa, M., Rivero, I., and Macías, M. L. 2018. Insights in fungal bioprospecting in Mexico. *Planta Med.* 84:594–605. doi: 10.1055/s-0044-101551
5. Centeno-Leija, S., Vinuesa, P., Rodríguez-Peña, K., Trenado-Urbe, M., Cárdenas-Conejo, Y., Serrano-Posada, H., et al. 2016. Draft genome sequence of an endophytic *Actinoplanes* species, encoding uncommon trans-acyltransferase polyketide synthases. *Genome Announc.* 4:e00164-16. doi: 10.1128/genomeA.00164-16
6. Ramos-Garza, J., Rodríguez-Tovar, A. V., Flores-Cotera, L. B., Rivera-Orduña, F. N., Vásquez-Murrieta, M. S., Ponce-Mendoza, A., et al. 2016. Diversity of fungal endophytes from the medicinal plant *Dendropanax arboreus* in a protected area of Mexico. *Ann. Microbiol.* 66:991–1002. doi: 10.1007/s13213-015-1184-0
7. Marquez-Santacruz, H. A., Hernandez-Leon, R., Orozco-Mosqueda, M. C., Velazquez-Sepulveda, I., and Santoyo, G. 2010. Diversity of bacterial endophytes in roots of Mexican husk tomato plants (*Physalis ixocarpa*) and their detection in the rhizosphere. *Gen. Mol. Res.* 9:2372–80. doi: 10.4238/vol9-4gmr921
8. Saucedo-García, A., Anaya, A. L., Espinosa-García, F. J., and González, M. C. 2014. Diversity and communities of foliar endophytic fungi from different agroecosystems

of *Coffea arabica* L. in two regions of Veracruz, Mexico. *PLoS ONE* 9:e98454. doi: 10.1371/journal.pone.0098454

9. Estrada, P., Mavingui, P., Cournoyer, B., Fontaine, F., Balandreau, J., and Caballero-Mellado, J. 2002. A N₂-fixing endophytic *Burkholderia* sp. associated with maize plants cultivated in Mexico. *Can. J. Microbiol.* 48:285–94. doi: 10.1139/w02-023.

פורסם אונליין: 09 ביולי 2020

נערך על ידי: Francisco Barona-Gomez, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Mexico

ציטוט:

Flores-Vallejo RdC, Folch-Mallol JL, Sharma A, Cardoso-Taketa AT and Villarreal ML (2020) עוזרים מיקרוביאליים נסתרים שחיים בתוך צמחים: הכרת אנדופיטים וחלק מיישומיהם בחיי היומיום שלנו. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00011-he

תורגם והותאם:

Flores-Vallejo RdC, Folch-Mallol JL, Sharma A, Cardoso-Taketa AT and Villarreal ML (2019) Hidden Microbial Helpers Living Inside Plants: Getting to Know Endophytes and Some of Their Applications in Our Daily Lives. *Front. Young Minds* 7:11. doi: 10.3389/frym.2019.00011

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

Flores-Vallejo, Folch-Mallol, Sharma, 2020 © 2019 © **COPYRIGHT** Cardoso-Taketa and Villarreal 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.

סוקרים צעירים

ALAN, גיל: 13

כיום אני בשנה השנייה של התיכון. אני מאוד חד-הבחנה ויש לי זיכרון טוב מאוד, ואני מתעניין בטכנולוגיה ובמשחקי וידאו. אני גם מתעניין בחיות ימיות והעולם החיידקי. אני רוצה ללמוד רפואה מאחר שאני מרתק מהתפקוד של גוף האדם, ואני רוצה לסייע לאחרים.

MARIANA, גיל: 14

אני תלמידה מ-Guanajuato, מקסיקו, ואני שחקנית סקווש. משתתפת בקבוצה הלאומית של סקווש לנוער ומתנדבת במועדון Lions Club ב-Lions Club from Guanajuato. המשפחה שלי כוללת את אימא שלי, אבא שלי ושני האחים שלי. יש לי שתי חיות מחמד מקסימות שלאחת מהן קוראים האן סולו ולשנייה קוראים סקווש.



הכותבים

ROSARIO DEL CARMEN FLORES-VALLEJO

מגיל צעיר מאוד הייתי להוטה לשאול הרבה שאלות, ומצאתי במחקרים בכימיה ובביולוגיה תשובות מעניינות מאוד ומעתיקות נשימה. זה עודד אותי ללמוד מאוחר יותר הנדסת ביוטכנולוגיה. כיום אני עובדת כעוזרת מחקר וממשיכה את מסע חיפוש השאלות במחקר של המיקרוביום של צמחים. אני מתכוונת להשתמש בידע על האינטראקציות המולקוליות של מיקרוב צמחי כדי לייצר מוצרים טבעיים חדשניים שלוחמים במחלות המעודדות דלקות ובחידקים שעמידים לתרופות. כשאני במעבדה הפעילויות האהובות עליי הן ציור, צילום ורכיבה על אופניים. *rosario.floresv@uaem.edu.mx



JORGE LUIS FOLCH-MALLOL

מאז שהייתי ילד, למורת רוחן של הנשים במשפחתי, התחלתי להקים בבית גן חיות קטן של חרקים. היו לי גמלי שלמה; חיפושיות זבל; מקלונאים וחרקים אחרים, כולל נחש מים קטן. כמובן שלמדתי ביולוגיה והפכתי למעריץ של פטריות. האורגניזמים האלה ריתקו אותי במיוחד מאחר שאינם יכולים לזוז, ואם אריה מגיע אליהם הם לא יכולים לברוח כמו זברות או אנטילופות. אם כן, כיצד הם מצליחים להישאר בחיים עם כל כך הרבה טורפים בסביבה? לבסוף, קיבלתי מעבדה משלי ואני מקדיש את עצמי למחקר היבטים שונים של פטריות.



ALEXANDRE CARDOSO-TAKETA

בימים אלה אני חוקר במעבדה לחקר צמחי מרפא באוניברסיטה האוטונומית של מדינת מורלוס. המחקר שלי מתמקד בצמחים רפואיים שמשמשים בהם ברפואה מקסיקנית מסורתית, כולל שרכנים בעלי תכונות ניוורמקולוגיות. אני גם מתעניין בשיטות כמו NMR, UPLC/GC-MS ו-HTPLC עבור ניתוח מטבולומי של צמחים. מרתק עבורי לגלות מולקולות חדשות שיכולות לשפר את חייהם של בני אדם. בזמני הפנוי אני אוהב לבשל ולשלב טעמים מהתרבות היפנית והברזילאית, אותה אני נושא בדמי, עם טעמים חזקים של מקסיקו.



MARIA LUISA VILLARREAL

העניין שלי בביולוגיה התחיל כשהייתי בת 6 ואבא שלי הראה לי במיקרוסקופ את יופיים של אורגניזמים חיים. למדתי ביולוגיה והייתי לביוטכנולוגית המחפשת כלים מעשיים שיכולים לסייע בשיפור איכות החיים. התמקדתי בצמחים וחיפשתי את המטבוליטים השניוניים המדהימים והחשובים שהם מייצרים, לשימוש עבור בריאות אנושית. במשך 25 שנים קיימתי קבוצת מחקר באוניברסיטה האוטונומית של מדינת מורלו, קבוצה שהייתה מסוגלת לגלות מולקולות מעניינות עם ערך פרמקולוגי עבור רפואת צמחים מקסיקנית. אני אוהבת לטייל בזמני החופשי. *luisav@uaem.mx



ASHUTOSH SHARMA

גדלתי ב-Latipur, הודו. זכיתי במלגה וקיבלתי את תואר הדוקטור שלי במקסיקו, היכן שלמדתי רפואה צמחית שנמצאת בשימוש עבור מחלות עצביות. הייתי למדען ולפרופסור שמתמחה בתחומים: ביוטכנולוגיה של צמחים; גנומיקה ומטבולומיקה. כיום אני המוביל האזורי של המחלקה לביו-הנדסה בטכניון של מונטריי שבקוארטרו. אני דובר באופן שוטף שפות רבות, ובזמני הפנוי אני נהנה לדוג ולבלות עם המשפחה שלי.



Hebrew version
provided by

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

