



קרב על היער: ארמונות אשוחית ומתקפות של חיפושית הקליפה

Melissa H. Mageroy*, Paal Krokene

המחלקה לביוטכנולוגיה ולבריאות הצמח, המכון הנורווגי לחקר ביו-כלכלה, אסן, נורווגיה

סוקרים צעירים

GWEN

גיל: 13



JUSTUS

גיל: 14



עצי מחט, כמו אשוחית ואורן, הם העצים השכיחים ביותר שנמצאים ביער צפוני ענקי (boreal) שמשתרע ברחבי החלק הצפוני של העולם. במהלך תוחלת החיים הארוכה שלהם, של 500 שנים ויותר, עצי מחט מתמודדים עם אתגרים רבים. איום קטלני אחד הוא פלישה של חרקים שהורגים עצים, כמו למשל חיפושית קליפה. בדומה לארמונות בימי הביניים, לעצי מחט יש דרכים רבות להגן על עצמם. בכל זאת, לעיתים צבאות גדולים של חיפושיות קליפה ובני זוגם, הפטריות, יכולים להביס את ההגנות האלה ולהרוג מיליוני עצים. מצאנו שריסוס של עצי אשוחית עם כימיקל טבעי, שנקרא מתיל יסמונט, יכול לחזק את ההגנות של העץ ולהגן על עצים כנגד מתקפה של חיפושיות קליפה. כיום, הטמפרטורות העולות ושינויים בדפוסי הגשם מסייעים לחיפושיות קליפה להיות מוצלחות יותר בהריגת עצים. לכן, חשוב שנבין כיצד עצים מגינים על עצמם, וכיצד אנו יכולים לסייע להם להתגונן מפני חרקים פולשים.

יער עצי מחט

האם אי פעם הלכתם ביער בין כל העצים הגבוהים? היער הצפוני (boreal) הוא היער הגדול ביותר בעולם, והוא מהווה כשליש מכל היערות. היער הצפוני משתרע ברחבי החלק הצפוני של

איור 1

יערות צפוניים. עצי מחט שולטים ביערות הצפוניים שמכסים את החלק הצפוני של צפון אמריקה, אירופה ואסיה. (A) אנשים הולכים ביער עצי מחט שתול באסן, נורווגיה. (B) מפל שזורם ביער עצי מחט בקולומביה הבריטית, קנדה.



איור 1

הגלובוס, ואפשר למצוא אותו במקומות כמו קנדה, סקנדינביה ורוסיה (איור 1). היער הזה הוא ביתן של חיות רבות, כמו למשל אייל קורא ודובים, כמו גם של צמחים, למשל טחב ועצים. עצי מחט הם העצים השכיחים ביותר שנמצאים ביערות הצפוניים. עצי מחט הם צמחים עציים, כמו למשל אורן, אשוחית ואשוח, אשר מייצרים אצטרובלים עם זרעים. הם גם משמשים לעיתים קרובות כעצי חג מולד.

עצי מחט הם מדהימים מאחר שהם גדלים גבוהים יותר וגדולים יותר מכל עץ אחר. הם גם חלק מהאורגניזמים הכי עתיקים בכדור הארץ, והם יכולים לחיות במשך מאות ואפילו אלפי שנים. עץ המחט המבוגר ביותר שמוכר לנו הוא האורן Great Basin bristlecone pine שנקרא Methuselah [1]. Methuselah הוא בן 4,850 שנים. במהלך חייהם, עצי מחט מתמודדים עם איומים רבים, כמו למשל מזג אוויר סוער ומתקפות של חיות. שלא כמו בני אדם, עצים לא יכולים להיכנס למחסה כשיש סופה, או לרוץ כשמישהו מנסה לאכול אותם. במקום זאת, הם צריכים לעמוד במקום, בעודם מגינים על עצמם בצורה הטובה ביותר שהם מסוגלים.

התגוננויות מבניות (Constitutive Defenses)

דרכים שבהן עצים מגינים על עצמם, שנוכחות תמיד.

התגוננויות שנוצרו על ידי השראה - אינדוקציה (Inducible Defenses)

דרכים שבהן עצים מגינים על עצמם, שהעץ מפעיל אחרי מתקפה.

ארמונות אשוחית

כמו ארמונות בימי הביניים, לעצי מחט יש כמה שכבות הגנה [2]. לעצי מחט ולצמחים אחרים יש שני סוגי הגנות: אלה שתמיד נמצאות, אשר ידועות כ**התגוננויות מבניות**, ואלה שמופיעות רק כאשר העצים מרגישים מאוימים, שנקראות **התגוננויות שנוצרו על ידי השראה - אינדוקציה**. אחת מההתגוננויות המבניות היא הקליפה. החלק החיצוני של הקליפה הוא מחסום קשיח, ממש כמו הקירות החיצוניים של מבצר (איור 2A). חרקים שתוקפים את העץ צריכים לעבור את הקיר הזה כדי להגיע לחלקים הטעימים והמזינים שבפנים.

איור 2

ארמונות עצי מחט ומתקפות של חיפושיות קליפה.

כמו ארמונות בימי הביניים, לעצי מחט יש הרבה הגנות שמגינות עליהם מפני פולשים. (A) הקליפה החיצונית, כמו קיר חיצוני של מבצר, היא מחסום קשיח מפני פולשים. בתוך הקליפה החיצונית, תאי גלעין קשים וכימיקלים רעילים בצינורות שָׁרָף יוצרים שכבת הגנה שנייה. (B) אם חיפושית קליפה מצליחה להיכנס לתוך העץ, היא חופרת נתיבים ארוכים בקליפה הפנימית ומטילה שם את ביציה. כאשר הביצים בוקעות, התינוקות שלה ניזונים מהקליפה, מה שיוצר תעלות אופקיות חדשות. (C) החיפושיות נושאות פטריות זעירות אל תוך העץ. הפטריות האלה מסייעות להביס את ההגנות של העץ.

טרפנים

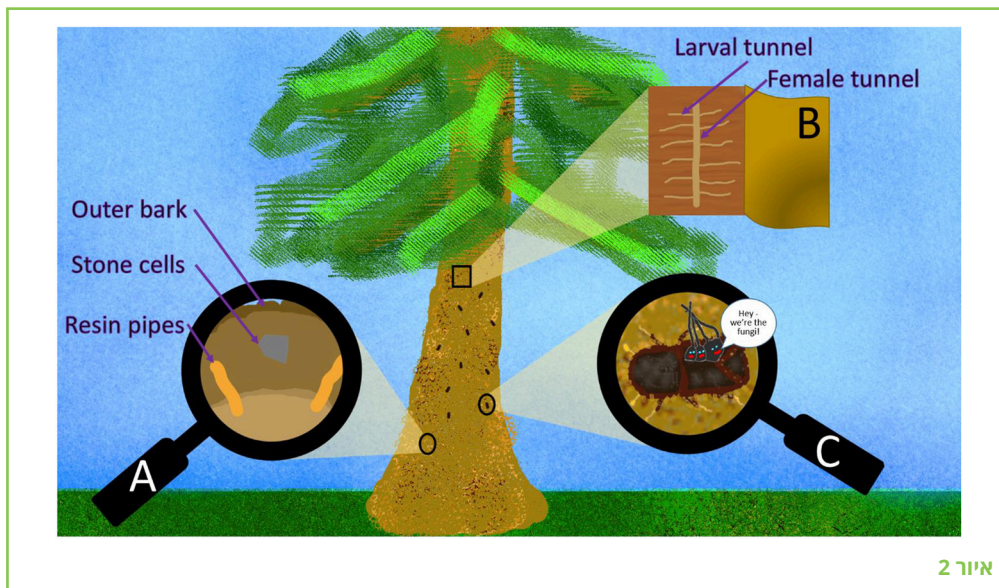
(Terpenes)

כימיקלים רעילים שעצי מחט מייצרים כדי להגן על עצמם.

פטריות

(Fungi)

אורגניזמים שמקבלים את האנרגיה שלהם מפירוק אורגניזמים אחרים, ממש כמו מה שחיות עושות.



איור 2

התגוננות מבנית שנייה שיש לעצי מחט היא תאי גלעין (איור 2A). אלה תאים קשים שפועלים כמו סלעים קטנים, ומקשים על חרקים ללעוס את דרכם דרך הקליפה. הגנה שלישית היא צינורות קטנים בתוך הקליפה שמלאים בכימיקלים אשר נקראים **טרפנים** (איור 2A). טרפנים נותנים לעצים את הריח ה"אורני" שלהם. טרפנים גם יוצרים שָׁרָף, הנוזל הסמיך הדביק שאתם רואים על הידיים שלכם אם אתם חותכים עץ מחט. טרפנים רעילים לחרקים. נוסף על כך שרף הוא דביק ולכן יכול לכלוא חרקים ולמנוע מהם להיכנס לעץ. חלק מצינורות השרף נמצאים תמיד, אולם העץ גם יכול לייצר נוספים כשהוא נחתך או מותקף על ידי חרק.

מתקפה של חיפושית קליפה

האם ידעתם שחיפושיות זעירות, בגודל של גרגיר אורז, יכולות להרוג עץ מחט בריא [3]? חיפושית אחת לא יכולה להרוג עץ לבדה, אולם חיפושיות קליפה פועלות יחד כמו צבא ופולשות לעץ. מאות חיפושיות יכולות לחפור מתחת לקליפה של עץ אחד ולהטיל שם את ביציהן (איור 2B). כאשר הביצים בוקעות, הזחלים (חיפושיות תינוקות) אוכלים את העץ, מה שמסייע להם לגדול לחיפושיות בוגרות.

החיפושיות גם מקבלות סיוע מ**פטריות** במטרה להביס את הגנותיו של העץ. כמו סוס ורוכב, חיפושיות הקליפה נושאות את הפטריות דרך הקליפה החיצונית הקשה של העץ (איור 2C). אחרי שהן בתוך הקליפה, החיפושיות יורדות מה"סוס" וגדלות בתוך העץ. כאן, הפטריות אוכלות חלק מהכימיקלים הרעילים שהעץ ייצר כדי להגן על עצמו. על ידי כך שהן נפטרות מהרעל, הפטריות מקילות על גדילתם של זחלי החיפושית. הפטריות גם מחלישות את העץ על ידי הריגת רקמות ולקחת חומרי מזון מהעץ. אם ההגנות של העץ לא מצליחות לעצור את הגדילה של החיפושיות והפטריות, העץ בסופו של דבר ימות.

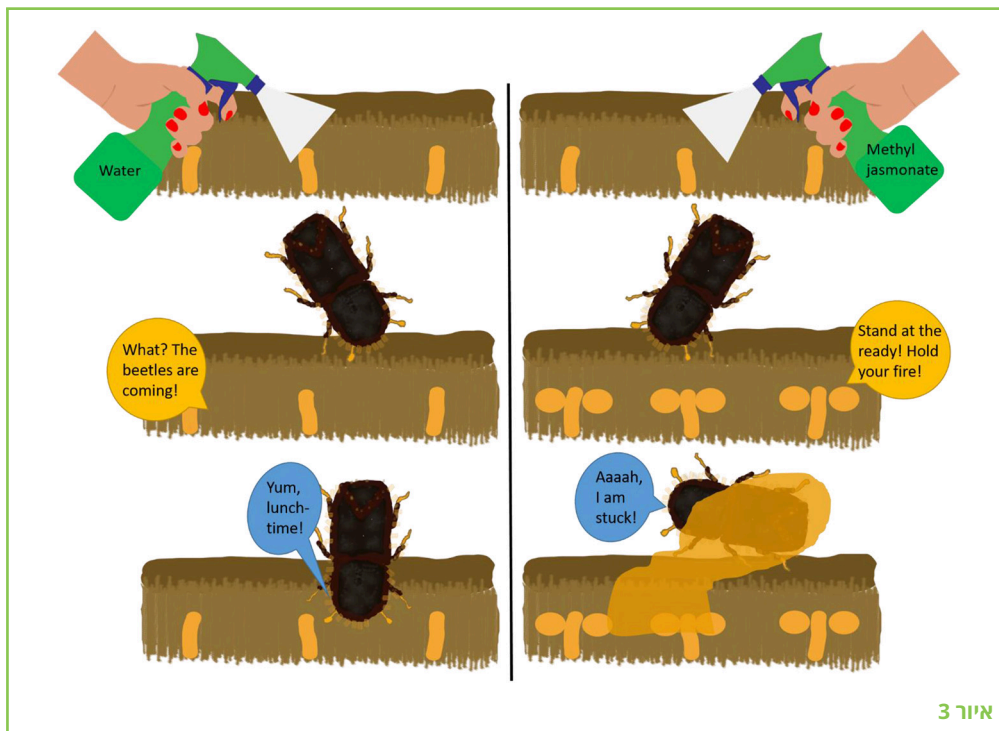
סיוע לעצים בביצור ארמונותיהם

מצאנו דרך לסייע לעצי מחט לחזק את הגנותיהם, ואולי לנצח בקרב כנגד חיפושיות קליפה. אנו עושים זאת על ידי ריסוס העצים עם כימיקל טבעי שמוצא על ידי צמחים. הכימיקל הזה נקרא

איור 3

כיצד מתיל יסמונט יכול למנוע פלישה של חיפושית קליפה.

עצים שמרוססים במים לא מוכנים למתקפה של חיפושיות קליפה. חיפושית הקליפה יכולה להביס את ההתגוננות המבניות של העץ ולהיכנס לקליפה. ריסוס העצים עם מתיל יסמונט גורם לעצים לייצר מאגרים חדשים של שרף רעיל, מה שמכין אותם לקרב. כאשר חיפושית הקליפה מנסה להיכנס, היא נשטפת החוצה או נלכדת על ידי השרף הדביק והרעיל.



איור 3

מתיל יסמונט (Methyl Jasmonate)

אות שנוצר על ידי צמחים כשהם נאכלים או נחתכים.

מתיל יסמונט [4]. מתיל יסמונט הוא אות שצמחים משחררים לאוויר כדי להודיע לצמחים הסובבים אותם "אני תחת מתקפה!". ריסוס הקליפה של עצים עם מתיל יסמונט הוא כמו שליחת הודעה לעצים שאומרת "התכוננו להילחם! חיפושיות הקליפה מגיעות!" (איור 3).

עבדנו על מין של עץ מחט שנקרא אשוחית נורווגית, שהוא שכיח מאוד באירופה. ריססנו 20 עצים ביער עם מתיל יסמונט, ו-20 עצים עם מים, כטיפול בקרה [5]. לאחר מכן, חיכינו 35 יום למתקפה של חיפושית הקליפה. אחרי 30 יום נוספים, השווינו את העצים שרוססו עם מתיל יסמונט לעצים שרוססו עם מים, כדי לראות לאלו עצים חיפושיות הקליפה פלשו בהצלחה (איור 3). על ידי קילוף הקליפה החיצונית, יכולנו לראות שאף חיפושית לא הטילה ביצים בעצים שרוססו עם מתיל יסמונט. זה היה שונה מאוד מהעצים שרוססו עם מים. מרבית העצים שטופלו במים הכילו ביצי חיפושיות בקליפה, ו-11 מתוך 20 עצים נהרגו על ידי החיפושיות.

מדוע עצים שרוססו עם מתיל יסמונט מסוגלים להגן על עצמם טוב יותר?

סיבה אחת לכך שעצים שרוססו עם מתיל יסמונט נלחמו טוב יותר כנגד חיפושיות הקליפה היא שהעצים שרוססו מייצרים יותר מהשרף הרעיל (איור 3) [3]. כאשר חיפושיות הקליפה מנסות לחפור בתוך הקליפה, השרף הדביק זורם החוצה ולוכד את החיפושיות. סיבה נוספת לכך שהעצים המרוססים חזקים יותר היא שהם יכולים להפעיל את ההגנות שלהם מהר יותר. זה כמו שיש חיילים בניבוי. החיילים האלה כבר מאומנים לקרב והם יכולים להתחיל להילחם מיד, מה שטוב יותר ממצב שבו צריך לאמן חיילים חדשים לפני ששולחים אותם להילחם.

הדרך שבה עצי מחט מגיבים למתיל יסמונט דומה למה שקורה בגופכם כשאתם מקבלים חיסון. בעקבות החיסון, מערכת החיסון שלכם מקבלת מידע וזוכרת מאלו וירוסים צריך

להיזהר כך שלא תחלו שוב. מתיל יסמונט הוא אות שמסייע לעצים לזכור להיזהר מחיפושיות קליפה.

מדוע עבודתנו חשובה?

מרבית הזמן, חיפושיות קליפה ועצי מחט חיים בהרמוניה ביער. אולם, טמפרטורות גבוהות יותר ובצורות מתגברות יוצרים לחץ על עצי המחט. זה גורם לעצים להיות פגיעים יותר ביחס למתקפות של חיפושיות קליפה [6]. במקומות כמו קולורדו והרפובליקה הצ'כית, חיפושיות קליפה הורגות מיליוני עצי מחט [7, 8]. מותם של עצים רבים כל כך אינו טוב מסיבות רבות. בעיה אחת היא אובדן של העץ עצמו שנדרש לבניית בתים, בתי ספר ומבנים אחרים. זה גם גורם לאובדן של כסף לחברות שכורתות עצים ומוכרות את חומר העץ. מותם של עצים רבים כל כך יכול להיות רע גם לסביבה שכולנו תלויים בה. עצים חיים מספקים לנו חמצן כדי לנשום, ומהווים בית לסוגי חיות רבים. אם נוכל להבין כיצד עצי מחט מגינים על עצמם ולייע להם להילחם כנגד חיפושיות קליפה, נוכל להגן על היערות ועל הסביבה שלנו.

מסקנות

עצי מחט חשובים מאוד ביער הצפוני. מאחר שעצים לא יכולים לברוח מחרקים שאוכלים אותם, עצים פיתחו דרכים רבות להגן על עצמם. בכל זאת, חיפושיות קליפה זעירות יכולות לחבור יחד ולהביס את הגנות העצים. חיפושיות הקליפה האלה לעיתים הורגות מיליוני עצים. אנו מנסים למצוא דרכים לסייע לעצי המחט ללחום כנגד חיפושיות הקליפה. בעתיד, אנו מקווים למצוא כלים טובים יותר, כמו מתיל יסמונט, שסייעו לעצי מחט ללחום כנגד מתקפות של חיפושיות קליפה, ולא להפסיד את הקרב ביער.

מאמר המקור

Mageroy, M. H., Christiansen, E., Långström, B., Borg-Karlson, A. K., Solheim, H., Björklund, N., et al. 2020. Priming of inducible defenses protects Norway spruce against tree-killing bark beetles. *Plant Cell Environ.* 43:420–30. doi: 10.1111/pce.13661

מקורות

1. Brown, P. M. *Oldlist. Rocky Mountain Tree-Ring Research*. Available online at: <http://www.rmtrr.org> (accessed August 25, 2020).
2. Franceschi, V. R., Krokene, P., Christiansen, E., and Krekling, T. 2005. Anatomical and chemical defenses of conifer bark against bark beetles and other pests. *New Phytol.* 167:353–76. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01436.x
3. Krokene, P. 2015. "Conifer defense and resistance to bark beetles," in *Bark Beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species*, eds F. E. Vega and R. W. Hofstetter (Elsevier). p. 177–207. doi: 10.1016/B978-0-12-417156-5.00005-8

4. Heil, M., and Ton, J. 2008. Long-distance signalling in plant defence. *Trends Plant Sci.* 13:264–72. doi: 10.1016/j.tplants.2008.03.005
5. Mageroy, M. H., Christiansen, E., Långström, B., Borg-Karlson, A. K., Solheim, H., and Björklund, N., et al. 2020. Priming of inducible defenses protects Norway spruce against tree-killing bark beetles. *Plant Cell Environ.* 43:420–30. doi: 10.1111/pce.13661
6. *Bark Beetle Outbreaks*. National Science Foundation & NBC Learn. Available online at: <https://youtu.be/y7jDlInfa5Y0> (accessed August 25, 2020).
7. Negrón, J. F., and Cain, B. 2019. Mountain pine beetle in Colorado: a story of changing forests. *J. Forest.* 117:144–51. doi: 10.1093/jofore/fvy032
8. Hlásny, T., Krokene, P., Liebhold, A., Montagné-huck, C., Müller, J., Qin, H., et al. 2019. *Living With Bark Beetles: Impacts, Outlook and Management Options. From Science to Policy 8*. Joensuu: European Forest Institute.

פורסם אונליין: 23 ביוני 2022

נערך על ידי: Dominik K.Großkinsky

מנחים מדעיים: M. Nils Peterson and Maaria Rosenkranz

ציטוט: Mageroy MH and Krokene P (2022) קרב על היער: ארמונות אשוחית ומתקפות של חיפושית הקליפה. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00121-he

תורגם והותאם: Mageroy MH and Krokene P (2020) A Battle for the Forest: Spruce Castles and Bark Beetle Attacks. *Front. Young Minds* 8:121. doi: 10.3389/frym.2020.00121

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

COPYRIGHT © 2020 © Mageroy and Krokene. 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 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

GWEN, גיל: 13

היי, קוראים לי Gwen, אני גרה בארצות הברית, מנגנת על פסנתר ומשחקת כדורעף. אני בכיתה ז', והמקצועות האהובים עליי הם מדע, מתמטיקה, אומנות וספרדית. אני אוהבת לקרוא, במיוחד נובלות וסדרות של מדע בדיוני (אני גם אוהדת נלהבת של הארי פוטר). ממש עכשיו התחלתי לעבוד עם פרונטיר - מדע לצעירים, ואני נרגשת מאוד מההמשך!





JUSTUS, גיל: 14

קוראים לי Justus, אני בן 14 וגר בגרמניה. אני משחק טניס, ומנגן על פסנתר ועל צ'לו. בזמני הפנוי אני פוגש חברים ורוכב על אופניים. בעיר שבה אני גר, יש מועדון כדורגל מפורסם מאוד שאני אוהד שלו.

הכותבים

MELISSA H. MAGEROY

אני ביולוגית מולקולרית של הצמח במכון הנורווגי לחקר ביו-כלכלה. מגיל צעיר, הייתי סקרנית לגבי האופן והדרך שבה דברים פועלים. אני מוצאת שצמחים מרתקים מאחר שהם תורמים כל כך הרבה לחיינו: מזון, חמצן, מקלט, תרופות וכדומה. בעבודתי הנוכחית, אני חוקרת כיצד עצי מחט מגינים על עצמם כנגד מזיקים על ידי יצירת כימיקלים מגינים וזיכרונות של מתקפות מזיקים קודמות. לא רק שעצי מחט מרתקים לחקירה בעיניי, אלא שאני גם נהנית ללכת ביער האשוחיות ליד ביתי לראות, לשמוע ולהריח את החיים השופעים שמתקיימים בעצים. *melissa.mageroy@nibio.no

PAAL KROKENE

אני אנטומולוג יערות במכון הנורווגי לחקר ביו-כלכלה. אני חוקר עצי מחט וכיצד הם מגינים על עצמם כנגד חיפושיות קליפה ופתוגנים. סיבה אחת לכך שחיפושיות קליפה מרתקות בעיניי היא שהן יכולות להרוג כמות עצים עצומה, כשהעצים גדולים מהן פי 100 מיליון. החיפושיות לא פועלות לבד אלא חוברות לפטריות זעירות שנקראות blue-stain fungi. החיפושית היא כמו אוטובוס שנושא נוסעי פטרייה מעץ אחד לאחר. בתמורה, הפטרייה מסייעת לחיפושית לפרק את ההגנות של העץ. כשאני עובד, אני אוהב לטייל ולרוץ ביערות של אסן, שם אני גר.

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



הוצאת פרונטיר מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK