

הַבְּנֵת פטריות: חברים ואויבים של צמחי אורז

Lina Bernaola^{1*}, James Stiernberg², Michael J. Stout¹

¹המחלקה לאנטומולוגיה, אוניברסיטה מדינית לואיזיאנה מרכז החקלאות, באטון רוז', לוס אנג'לס, ארצות הברית
²המחלקה להנדסת נפט, אוניברסיטה מדינית לואיזיאנה מרכז החקלאות, באטון רוז', לוס אנג'לס, ארצות הברית

בני אדם גידלו אורז במשך אלפי שנים, אולם לא עשינו זאת לבד כל הזמן הזה. בהיותנו נדרשים להאכיל 7.6 מיליארד אנשים על כדור הארץ, האם לא הייתם רוצים לקבל כמה שיותר עזרה בגידול מזון? אתם יכולים לראות בקלות זחלים כמו למשל ה-fall armyworm, אוכלים עלי אורז מעל לאדמה, אולם ישנם חרקים כמו למשל immature rice water weevils אשר ניזונים מהשורשים שמתחת לאדמה. אם כן, מיהו המסייע המיסתורי במקרים האלה? פטריות! צמחי אורז מסוגלים לספק חומרי מזון לעצמם, אולם כשהם מצטוותים לפטריות (AMF) arbuscular mycorrhizal fungi, הם יכולים לקבל בקלות יותר את אבני הבניין שהם צריכים כדי לגדול. מהתוצאות שלנו אנו חושבים כי ייתכן ש-AMF יכולה לסייע לצמחים לתקן את עצמם אחרי נזק ממזיקים. זה יכול להוביל להפחתת השימוש בחומרי הדברה וגם, חשוב יותר, להגדיל את כמות המזון שתהיה לכולם.

הקדמה

אוכלוסיית כדור הארץ התפוצצה ב-200 השנים האחרונות, והיא מוערכת ביותר מ-7.6 מיליארד בני אדם שחיים כיום על כדור הארץ! עם כמות כזו של פיות להאכיל, כיצד החקלאים

סוקרים צעירים

EXPANDING
YOUR
HORIZONS



גיל: 12-15

עומדים בקצב? ישנם סוגי מזון שכיחים כמו זרעים, שמתורבתים בכמויות גדולות על-ידי אנשים ברחבי העולם. אוז, לדוגמה, גודל על-ידי ציוויליזציות אנושיות במשך יותר מ-4000 שנים, והוא מגודל בכל יבשת פרט לאנטרקטיקה! גידול אוז היה כל כך פופולרי מאחר שהוא יכול לשגשג בהמון תנאים שונים. אולם צמחי אוז מתמודדים עם כמה אתגרים מרכזיים כמו למשל חרקים מזיקים שניזונים מצמחי האוז בזמן שהם גדלים. אחת הדרכים שבהן חקלאי אוז יכולים להפחית את הסיכון של מזיקי אוז היא באמצעות שימוש בקוטלי חרקים. בעוד שקוטלי חרקים היו יעילים בשליטה על חלק מהמזיקים אוכלי הצמחים, הם גם טומנים בחובם סיכון לבריאות האנושית. דרך אחת שבה בני אדם למדו לסייע לאוז ולבוליים אחרים להתמודד עם מזיקים אוכלי צמחים או איומים אחרים היא באמצעות התחברות עם פטריות מסוימות. ישנם סוגי פטריות שחיות באדמה שיכולות להגן על יבולים שונים [1], באופן דומה לאיך שוויטמינים ותרופות מגינים על גוף האדם מפני קור או זיהומים. אורגניזמים מועילים כמו הפטריות האלה יכולים פוטנציאלית להפחית את התלות שלנו בקוטלי חרקים.

הריזוספרה: עולם שלם ממש מתחת לרגליים שלכם

צמחים חשופים להתקפות מעל לאדמה, והם גם מתמודדים עם קשיים מתחת לאדמה. האוז שמקיף את שורשי הצמח מהווה קהילה קטנה בפני עצמו, והוא נקרא **ריזוספרה** ואינו שכונה ריקה! האדמה סביב לשורשים מלאה במיקרואורגניזמים. מבין המיקרואורגניזמים האלה ישנם חלק שמקיימים קשרי קח-תן עם שורשי הצמחים. קבוצה אחת של אורגניזמים שחיים באדמה נקראת **פטריות מיקוריזה ארבוסקולריות AMF**, קיצור של Arbuscular mycorrhizal fungi. כיצד קהילה כזו בריזוספרה יכולה לסייע לצמח המארח שלה?

אתם חופשיים ללכת ולקחת חטיף מזין או ללכת לרופא לקבל תרופות כשאינכם מרגישים טוב. צמחים לא יכולים ללכת, לכן הם תלויים בשורשים שלהם בחיפוש מים וחומרי מזון. שורשים מוגבלים באורכם, כמובן, ולכן צמחים מחפשים מקורות סיוע אחרים כולל AMF. AMF הן פטריות (שקשורות לפטריות מאכל) שדומות בהופעתן לשורשים, והן מאפשרות לשורשי הצמח להגיע ליותר חומרי מזון שנדרשים לגדילתו (איור 1). מבנה ה-AMF הרבה יותר מעודן משורשי הצמחים הגסים, ולכן פטריות מסוגלות לספוג מינרלים באופן יעיל יותר מצמחים [2]. בשל המבנה הזה הן יכולות להעביר מנות גדולות של אבני בניין מינרליות לצמחים, ממש כמו הוויטמינים הלעיסים שיכולים לתת לגוף שלכם את אבני הבניין שהוא צריך מהר יותר מאשר באמצעות מזון רגיל בלבד. בפרט, AMF סופגת את חומרי המזון זרחן וחנקן מהאדמה ומעבירה את החומרים האלה לצמח. בתמורה לסייע הזה, הצמח גם מספק לפטריות חומרי מזון בסיסיים. הקשר הזה נקרא **סימביוזה**, מאחר שזוהי שותפות בין שני צדדים שמשתפים פעולה באופן צמוד אחד עם השני ונתרמים זה מזה.

החלקים העיקריים של הצמח הם העלים, הגזע והשורשים. AMF מתחילה כתאים קטנים ויחידנים שנקראם **נְבָגִים** ויש להם קוורים (hyphae), שהם מבנים דקים מאוד דמויי ענפים שחוברים יחד באזורים שונים של הפטריה. AMF גם מכילה שלפוחיות קטנות שהן מבנים עגולים שמאחסנים את חומרי המזון שהפטריות אוספת מהאדמה, ו-arbuscules שהם מבנים דמויי עץ שמאפשרים החלפה של חומרי מזון עם שורשי הצמח המארח [3]. שלושת המבנים האלה, שמוצגים באיור 1, מסייעים לנו להבין מדוע קוראים לפטריות fungi: השם מגיע מהמילה fungus (פטריות) והקשרים שהיא יוצרת עם הצמח.

ריזוספרה (בית השורשים - Rhizosphere)

אזור האדמה הדק שמקיף את שורשי הצמח.

פטריות מיקוריזה ארבוסקולריות AMF

קיצור של Arbuscular mycorrhizal fungi (נהגה בתור "Arr-bus-cue-ler My-core-rise-uh Fun-guy") הם אורגניזמים שחיים באדמה ומייצרים קשרים ארוכי טווח וחזקים עם שורשי הצמחים המארחים כדי לבצע החלפות הדדיות של משאבים.

סימביוזה (Symbiosis)

שותפות בין שני אורגניזמים. הקשר בדרך כלל מסייע לשני הצדדים לשגשג בסביבתם.

נבג (Spore)

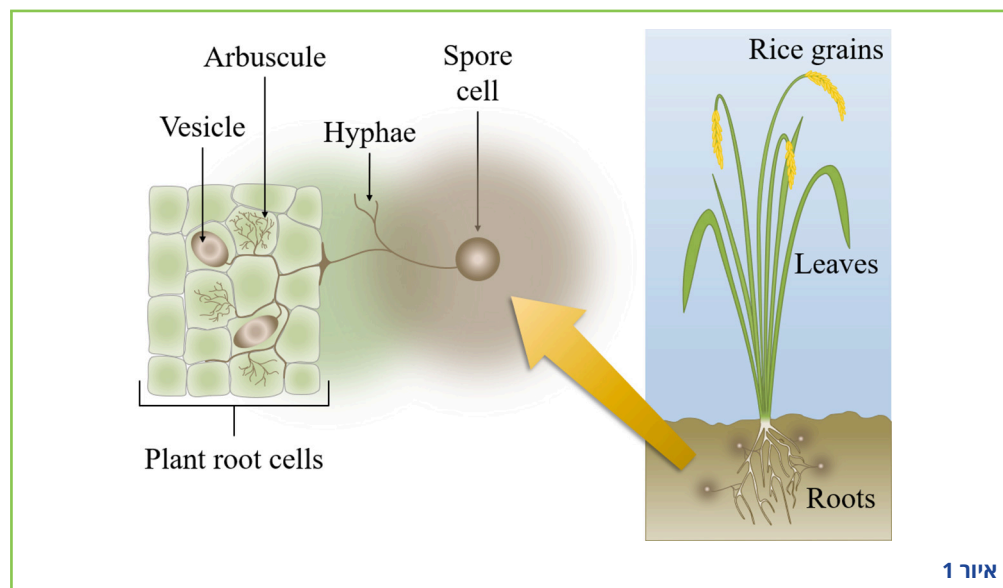
גופיף רבייה חד-תאי בעל יכולת ליצור פטריות יחידניות חדשות בלי להזדקק לפטריה או לנבג נוספים.

פטריה (Fungus)

פטריות יוצרות קבוצה של אורגניזמים, שיכולים להיות מועילים או מזיקים, שניזונים מחומר אורגני אחר. דוגמאות טיפוסיות כוללות עובש או פטריות מאכל.

איור 1

סימביוזה בין AMF וכמה תאים בשכבה החיצונית של רקמת השורשים של הצמח. תא נבג של AMF שמוצג בעיגול החום, מכיל hyphae מוארכת שעוברת דרך הריסוזופרה אל תאי השורש של הצמח. המבנה דמוי העץ של ה-AMF, שנקרא arbuscules, מסייע לה לתקשר עם תאי הצמח, והשלפוחיות (vesicles) העגולות בתאים שונים מאפשרות ל-AMF לצבור חומרי מזון שהתקבלו מהצמח המארח.



איור 1

ביטרופי (Biotrophic)

מתאר את הסדר ההזנה ארוך-הטווח שבין פטריה והתאים של הצמח המארח, שבו התאים של הצמח המארח לא ניזונים.

AMF נקראות **ביטרופיות** מאחר שזוהי סימביוזה עם הצמחים. אורגניזמים ביטרופיים צריכים צמח מארח אחר (כמו למשל תירס, אורז, כותנה, חיטה, עדשים וכולי) כשותף הזנה לטווח ארוך כדי להתקיים! אם כן, כיצד AMF ושורשי הצמח מוצאים זה את זה? תקשורת בין שורשי הצמח ו-AMF מערבת שרשרת של אירועים, אולם בסופו של דבר מסתכמת בכך שהפטריות חוזרות לשורשים ומתחילות ליישב את שורשי התאים.

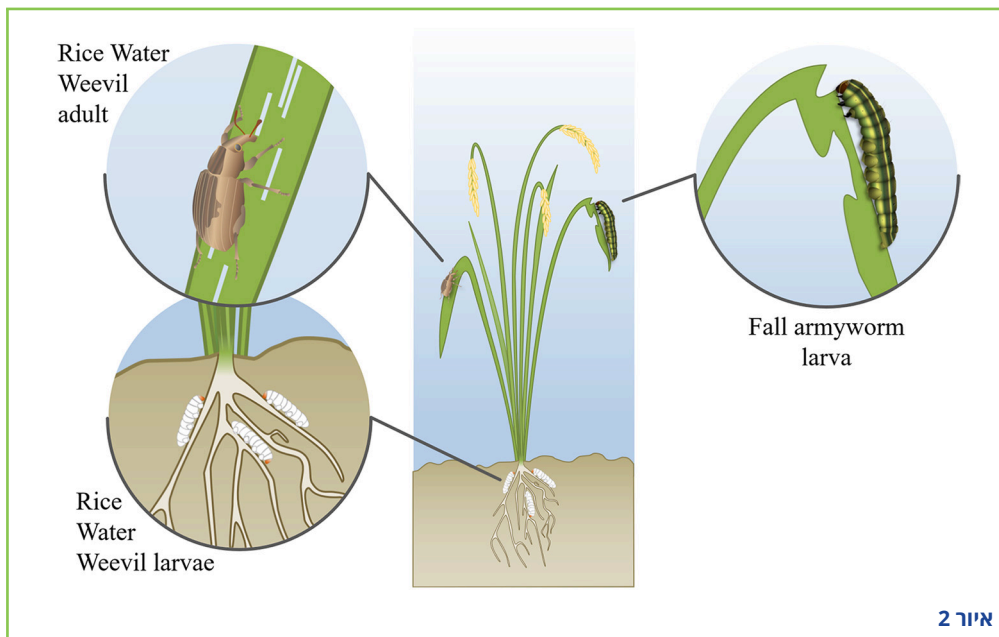
האורז ואיביו

מלבד החלפת חומרי מזון עם צמחים, תפקיד אחד של פטריות הוא לסייע בהגנה על הצמח מפני מפגעים שונים כמו אוכלי צמחים וחרקים. האם ידעתם שבמהלך עונת האורז חרקים שונים תוקפים את צמח האורז בזמנים שונים? צמחי אורז יכולים להיות מותקפים ברגע שהשורשים שלהם נשתלים ועד שהם נקצרים בסוף מחזור חייהם. בארצות הברית מחזור החיים הזה מתחיל בדרך כלל בשתילת זרעים באדמה יבשה. בנקודה מסוימת, בדרך כלל כחודש אחרי הזריעה, השדה מוצף. אלה הם תנאי הגדילה הטובים ביותר עבור מרבית סוגי האורז, וזה מסייע להביס כמה עשבים שאחרת היו תופסים לאורז מקום.

ברגע שהצמח בן חודש וההצפה התרחשה במלואה, צמחי האורז נחשפים לסכנות נוספות. ישנם כמה חרקים אוכלי עשב שניזונים מאורז בארצות הברית, אולם אנו נתמקד רק בשניים מהם. חרק זעיר אחד, שנקרא Rice water weevil, מופיע בשדות האורז בשלב מוקדם בחיי הצמח. אחרי שזכר ונקבת ה-Weevils מזדווגים, הנקבות מטילות ביצים שבוקעות מאוחר יותר לזחלים. זחלי ה-Weevils חופרים מתחת לפני השטח ואוכלים את מערכת השורשים של צמח האורז. הם יישארו שם ויאכלו את שורשי האורז בזמן שה-Weevils מתבגרים (ראו איור 2). אם ישנם Weevils רבים אז הם יכולים להסיר מספיק שורשים כדי שלא יהיו מספיק שורשים לתמוך בגדילת צמח האורז (ראו איור 3). כאשר פשיטות של Rice water weevil נעשות חמורות מספיק, כמות האורז המיוצרת מכל צמח תהיה פחותה בהרבה ממה שיכלה להיות!

איור 2

מזיקים שכיחים כמו ה-Rice water weevil וה-Fall armyworm תוקפים אורז במהלך מחזור החיים של הצמח. זחלי ה-Weevil תוקפים את השורשים שמתחת לאדמה, בעוד ש-Weevils בוגרים ו-Fall armyworms לועסים את עלי הצמח שמעל לאדמה.



איור 2

איור 3

נזק לשורשי צמח האורז שנגרם על-ידי Rice water weevil. לצמחי האורז שמשמאל יש שורשים קצרים כתוצאה מנזק שנגרם על-ידי זחלי Rice water weevil, ולצמחים מימין שאכלו אותם, ולצמחים מימין יש שורשים ארוכים יותר שלא ניזוקו (תמונה: Lina Bernaola).



איור 3

כמו כן במהלך חייו של האורז מגיע חרק אחר ששמו Fall armyworm. הוא לא מבלה מתחת לאדמה אלא מעדיף לנשנש את העלים של צמחים מעל לאדמה. החרקים האלה הם גרסאות צעירות של סוג שכיח של עש. הם יכולים להרוס שדה שלם על-ידי אכילת עליהם של הצמחים.

כיצד צמחים יכולים להשיב מלחמה? AMF מסייעות לצמחים לשרוד תחת מתקפות של אוכלי עשב. לשמחתנו, AMF קיימת באזורים רבים באופן טבעי, אולם חקלאים יכולים גם להוסיף AMF לאדמה במטרה לספק ליבולי האורז שלהם את הסיכויים הטובים ביותר לשרוד. מדענים ראו ש-AMF מעודדות גדילה בחלק מהצמחים [4], אולם זה עשוי שלא תמיד להיות המצב עם אורז. AMF הן ממש כמו תרופות שאנו יכולים לקחת כשאיננו מרגישים טוב. אולם, ממש כמו התרופות שאנו לוקחים, חלק עובדות טוב בעוד שאחרות לא. לעיתים, ילדים מגיבים אחרת לאותו הטיפול, וזה המקרה גם עבור צמחים שנמצאים בכל סוג של קשר סימביוטי.

כיצד כל זה מסייע לגדל יותר מזון?

אם צמחים מוגנים מפני מזיקים אוכלי עשב אז הם מסוגלים לחיות זמן רב מספיק כדי להפיק מזון ליותר אנשים. זה יכול פוטנציאלית להפחית את התלות שלנו בקוטלי חרקים, ולאפשר לנו לקבל יותר גרעיני אורז מאותו השדה. חשוב לזכור שחרקים אינם היחידים שגורמים נזק לצמחים. קיומם של מיקרואורגניזמים אחרים בריזוספרה יכול לסייע לגדילת הצמחים או לפגוע בהם. ההשפעה הזו תלויה ביבול האורז המסוים ובסוגי המיקרואורגניזמים המעורבים.

בנוסף לסייע לצמחי אורז להיות עמידים יותר למתקפות חרקים, AMF יכולות לסייע לצמחים לגדל הרבה יותר נבטים (כל חלק בצמח שנמצא מעל לאדמה כמו למשל גזעים, עלים ופרחים) מאשר אורז ללא AMF. אם חרקים אוכלים חלק מהצמח אז AMF יכולה פוטנציאלית לסייע לצמח לגדל מחדש את החומר שאבד [5]. אם צמחי האורז גדלים מחדש אחרי שהם נאכלו, המזיקים לא יקטינו את גודל הקציר באותה המידה.

יותר מדי ממשו טוב?

כאשר AMF מאכלסות את שורשי הצמח, הן יכולות לפעמים לגרום לצמחים להיות גדולים או גבוהים יותר. נוסף על כך הסימביוזה יכולה לסייע להגן עליהם ממתקפות של אוכלי עשב באמצעות חיזוק ההגנות שהצמח משתמש בהן. זה דומה למצב שבו אתם מרגישים חולים: אתם לוקחים תרופות שיסייעו לכם ללחום כנגד כל דבר, החל מצינון וכלה בחום. הגוף שלכם מבצע את מרבית העבודה ומסיר את כל מה שגורם לכם לחלות, בעוד שהתרופות מספקות חלק מהכלים להקלה על העבודה.

מצד אחר AMF יכולות להזיק לאורז. הן יכולות להחליש את הצמח באמצעות סיפוק כמות חומרי מזון גדולה מדי. כיצד זה יכול להיות שלילי? טוב, אם הוא יקבל יותר מדי חומרי מזון צמח האורז יהפוך גדול יותר ועמיד פחות מפני מזיקים, אשר יכולים לזהות את ההבדל שבין צמח ממוצע לצמח חזק. לדוגמה, האם הייתם מעדיפים לאכול תפוח עץ אדום וגדול, או תפוח עץ קטן ומצומק? חרקים הם בררנים ממש כמונו!

כיצד המחקר הזה יוצר שינוי?

מדענים מנסים להבין את האינטראקציות שבין AMF וצמחי אורז וחרקים שניזונים מאותם הצמחים כדי שנוכל להשתמש טוב יותר ב-AMF כדי להגדיל את כמות האורז ולהאכיל את אוכלוסיית העולם שלנו בקלות יותר. כפי שראיתם, האינטראקציות בין פטריות, צמחים וחרקים הן מורכבות ותלויות בדברים שונים רבים. אולם שימוש בשיטות החקלאות הטבעיות האלה והימנעות מקוטלי חרקים מזיקים היא חלק מהאחריות שלנו לשמור על כדור הארץ בריא.

תרומת המחבר

LB הגתה את הרעיון המקורי. LB ו-JS כתבו את הטייטה הראשונה של כתב היד. LB פיתחה את הקונספט של התמונות ו-JS יצר את התמונות הסופיות. MS ערך את כתב היד וכל המחברים נתנו אישור סופי להגשה.

מאמר המקור

Bernaola, L., Cosme, M., Schneider, R. W., and Stout, M. 2018. Belowground inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases local and systemic susceptibility of rice plants to different pest organisms. *Front. Plant Sci.* 9:747. doi: 10.3389/fpls.2018.00747

מקורות

1. Bennett, A. E., Alers-Garcia, J., and Bever, J. D. 2006. Three-way interactions among mutualistic mycorrhizal fungi, plants, and plant enemies: hypotheses and synthesis. *Am. Nat.* 167:141–52. doi: 10.1086/499379
2. Smith, S. E., and Smith, F. A. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 62:227–50. doi: 10.1146/annurev-arplant-042110-103846
3. Lanfranco, L., Fiorilli, V., and Gutjahr, C. 2018. Partner communication and role of nutrients in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytol.* 220:1031–46. doi: 10.1111/nph.15230
4. Bernaola, L., Cosme, M., Schneider, R. W., and Stout, M. 2018. Belowground inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases local and systemic susceptibility of rice plants to different pest organisms. *Front. Plant Sci.* 9:747. doi: 10.3389/fpls.2018.00747
5. Barber, N. A., Adler, L. S., Theis, N., Hazzard, R. V., and Kiers, E. T. 2012. Herbivory reduces plant interactions with above- and belowground antagonists and mutualists. *Ecology* 93:1560–70. doi: 10.1890/11-1691.1

פורסם אונליין: 22 ביוני 2021

נערך על ידי: Robert T. Knight, University of California, Berkeley, United States

ציטוט: Bernaola L, Stiernberg J and Stout MJ (2021) חברים ואיברים של צמחי אורח. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00050-he

תורגם והותאם:

Bernaola L, Stiernberg J and Stout MJ (2019) Underground Fungi: Friends and Enemies of Rice Plants. *Front. Young Minds* 7:50. doi: 10.3389/frym.2019.00050

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

Bernaola, Stiernberg and Stout 2021 © 2019 © **COPYRIGHT** 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

EXPANDING YOUR HORIZONS, גיל: 11-15

Expanding Your Horizons פעילים בז'נבה מאז 2009 במטרה לעודד ילדות באזור ז'נבה לבדוק קריירות במקצועות מדע, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה (STEM), ולהמשיך עם מתמטיקה ומדע בבית הספר. הארגון ללא מטרת רווח הזה מנהל כנס דו-שנתי שנתמך על-ידי ארגונים מקומיים.

הכותבים

LINA BERNAOLA

לינה היא מועמדת לדוקטורט באוניברסיטה של מדינת לואיזיאנה. המחקר שלה מתמקד באינטראקציות צמח-מיקרוב-חרק והיא עובדת כיום עם אורז. היא הייתה מרותקת ממדע במשך כל חייה, אולם התשוקה שלה לעולם הצמחים החלה כשהיא הצטרפה למרכז הבינלאומי לתפוח אדמה בלימה, פרו. היא הוצה להשתמש במחקר כדי לפתח תוכניות ניהול קוסטאפקטיביות יותר ללחימה כנגד חרקים מזיקים.

*lbernaola@agcenter.lsu.edu

JAMES STIERNBERG

ג'ים הוא מהנדס נפט עם תואר שני מהאוניברסיטה של מדינת לואיזיאנה; אולם הוא מחשיב את עצמו באופן רחב יותר כמדען וכפותר בעיות. כשהיה ילד הוא נהג לפרק את כל הבא ליד (ובדרך כלל שבר דברים בתהליך). לכן הוא בחר במסלול של הנדסה, אולם תמיד נשאר סקרן לגבי הסביבה. הוא נהנה מטיפוס מצוקים ומטיפוס הרים, מה שאפשר להרבה חרקים משונים להיתקל בו בטיוולים בסופי שבוע. הוא אוהב להתנדב ומרגיש שזה מתגמל ללמד ולהראות לאנשים דברים חדשים או צורות חשיבה חדשות.

MICHAEL J. STOUT

מייקל הוא פרופסור וראש מחלקת האנטומולוגיה (חקר החרקים) באוניברסיטה של מדינת לואיזיאנה. המחקר שלו קשור באינטראקציות של אורז עם המזיקים העיקריים של לואיזיאנה. הוא מתמקד במנגנונים של התנגדות ועמידות האורז למזיקים של אורז. מטרת המחקר הגדולה שלו היא לפתח תוכניות ניהול קוסטאפקטיביות למזיקים של אורז.



Hebrew version
provided by

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

