



“איפה החברים שלי?” איך השתנו המיקרובים של התירס עם הזמן

Jennifer E. Schmidt*, Amélie C. M. Gaudin

המחלקה למדעי הצמח, אוניברסיטת קליפורניה, דייזיס, קליפורניה, ארה"ב

רבים מצמחי המאכל של היום נראים שונים מאוד משנראו פעם. תירס לא היה קיים לפני עשרת אלפים שנה: הוא התפתח מעשב בר עם זרעים קטנטנים בקליפה קשה, שלא היו דומים כלל לגרגרי תירס. האב הקדמון הזה, שנקרא טאוסינט (Teosinte), גדל בסביבה שהיו בה צמחי בר רבים אחרים, בניגוד לתירס של ימינו, שאנחנו מגדלים אותו בשורות בשדה. בגלל השינויים הגדולים בצמח מעל פני האדמה, אפשר לשער שהיו גם שינויים תחת פני האדמה. צמחים מפתחים שותפויות עם מיקרובים, כמו חיידקים ופטיות, כדי לקבל את חומרי המזון שהם צריכים על מנת לגדול. במחקרים מדעיים מתברר שהמיקרובים החיים ליד שורשי הטאוסינט שונים מאלה החיים ליד שורשי התירס. אם נבין איך השתנו במשך הזמן המיקרובים-השותפים של התירס, נוכל אולי לפתח זני תירס ידידותיים יותר לסביבה.

הצמחים ושותפיהם המיקרובים

מה המשותף לשורשי תירס ולפרופיל הפייסבוק שלכם? לא, זאת לא התחלה של בדיחה. יש להם יותר במשותף משנדמה לכם. אנחנו נוטים לחשוב על צמח תירס כעל אורגניזם בודד,

סוקרים צעירים

WISH
BILINGUAL
SCHOOL
גיל: 11-10



אבל לצמחים יש רשת של קשרים, קצת כמו פייסבוק. לא קל להבחין בקשרים האלה, ולא קל לחקור אותם. אבל הם חשובים מאוד, כי הם משפיעים על בריאות הצמחים.

בעפר יש מיליוני חיידקים ופטריית מיקרוסקופיות. כל האורגניזמים הזעירים האלה יחד נקראים מיקרובים. חלק מהם יוצרים שותפויות הדוקות עם צמחים. הצמחים נעזרים לפעמים במיקרובים כדי לספוג חומרי מזון שלא נמצאים באדמה בשפע. המיקרובים מפרקים חיות וצמחים מתים, ובמשך התהליך הזה משתחררים בהדרגה חנקן, זרחן, וחומרים אחרים שצמחים זקוקים להם כדי לגדול. כאשר צמחים לא מצליחים להשיג מספיק חומרי מזון כאלה בעצמם, הם פולטים לפעמים סוכרים מהשורשים. הסוכרים משמשים מיקרובים להפקת אנרגיה, והם מגבירים את תהליך הפירוק של החיות והצמחים המתים. אבל אם יש באדמה מספיק חומרי מזון, הצמחים מעדיפים לשמור את הסוכרים שלהם לעצמם. הם מבקשים עזרה משותפיהם המיקרובים רק כשהם זקוקים לה.

הנה הדמיון בין פייסבוק לבין הקשר של התירס עם המיקרובים שלו: אתם מכירים הרבה אנשים, מבית הספר ומפעילויות אחרות, אבל רק חלקם הם חברי פייסבוק שלכם. בדומה לזה, יש באדמה מיליוני מיקרובים, אבל רק לחלק מהם יש קשרים עם התירס. באזור שליד השורשים, שנקרא **ריזוספֶּרָה**, יש פחות סוגים של מיקרובים מאשר במקומות אחרים באדמה. צמחים מושכים אל הריזוספֶּרָה שלהם סוגים מסוימים של מיקרובים. כדי לעשות זאת, השורשים שלהם פולטים סוכרים ושולחים איתותים מיוחדים.

לפעמים קורה שקבוצת חברי הפייסבוק שלכם משתנה, כי אתם משתנים. אולי התבגרתם או עברתם לעיר אחרת או פגשתם חברים חדשים. בריזוספֶּרָה של תירס יש מיקרובים שונים מאשר בזאת של צמח תירס בוגר. בריזוספֶּרָה של תירס במקסיקו יש מיקרובים שונים מאשר בזאת של תירס בקליפורניה.

אנחנו כבר יודעים שהמיקרובים של צמח יחיד מתחלפים במשך מחזור החיים שלו. אבל מה לגבי תקופות הרבה יותר ארוכות? איך השתנתה הרשת החברתית של התירס במהלך עשרת אלפי השנים האחרונות?

טאוסִינֵט, האב הקדמון הפראי של התירס

האדם התפתח מן הקוף. הציפורים התפתחו מהדינוזאורים. התירס התפתח מה... **טאוסִינֵט**?

התירס שאנחנו מכירים לא היה קיים לפני 10,000 שנה. הוא התפתח מעשב בר בשם טאוסִינֵט, שגדל במקסיקו. הזרעים הקטנטנים של הטאוסִינֵט אינם דומים כלל לגרגרי תירס. הייתה להם קליפה קשה שהגנה עליהם כדי שחיות לא יאכלו אותם. למעשה, לפי המראה לא היינו מזהים אותו כלל כקרוב משפחה של תירס! רק כשהמדענים חקרו את הדנ"א של טאוסִינֵט ושל תירס, הם גילו את קרבת המשפחה ביניהם. הם השוו את הדנ"א של התירס לזה של קרובי משפחה שונים שלו, שגדלים בר באזורים שונים של מקסיקו. התברר שהדנ"א של צמח הטאוסִינֵט מעמק בלסאס הוא הדומה לו ביותר, מה שהוביל למסקנה שהתירס התפתח ממנו [1].

ריזוספֶּרָה (Rhizosphere)

האזור שסביב שורשי הצמח.

טאוסִינֵט

עשב בר מקסיקני שממנו התפתח התירס של ימינו.

איור 1

טאופינט והתיירס של ימינו טאופינט (משמאל) הוא הרבה יותר נמוך מהתיירס המודרני, יש לו הרבה יותר גבעולים, ובמקום קלחי תירס עם גרגרים רכים יש לו רק זרעים זעירים בקליפה קשה. לטאופינט יש שורשים רבים, צרים, קצרים ומסועפים. שורשי התיירס ארוכים ועבים יותר, כך שהוא יכול לקלוט חומרי מזון הנמצאים עמוק באדמה, וגבעולי התיירס הרבה יותר גבוהים מגבעולי הטאופינט.



איור 1

טאופינט גדל בסביבה מאתגרת. באדמה לא היה הרבה מזון. צמחים אחרים התחרו אתו על אור שמש ומים. טאופינט נראה שונה מאוד מתיירס, בגלל הצורך לשרוד בסביבה הזאת. (איור 1). לטאופינט היו שורשים גדולים שעזרו לו לקלוט חומרי מזון ומים, וגבעולים רבים שעזרו לו להתחרות עם צמחים אחרים על אור השמש.

זן (Variety)

סוג של תירס (או צמח אחר) עם מאפיינים ייחודיים שמבדילים אותו מסוגים אחרים של אותו צמח. ייתכן, למשל, שזן מסוים יבשיל מוקדם יותר מאחרים, וזן אחר יהיה עמיד יותר במחלות.

זן מורשת (Landrace)

זן מבייט (כלומר, שפיתח האדם) קדום, שמתאים במיוחד לגידול במקום מסוים.

בני האדם פיתחו בהדרגה תירס מטאופינט. לפני אלפי שנים הם החלו לגדל מזון במקום לצוד חיות וללקט צמחים וגרגרים. אחרי הקציר, הם בחרו זרעים מהצמחים המוצלחים ביותר וזרעו אותם בשנה שאחר כך. מכיוון שגרגרים גדולים בלי קליפה קשה קלים יותר לאכילה, שמרו החקלאים כל שנה את הגרגרים הגדולים והרכים ביותר. התהליך הזה נמשך אלפי שנים, ובסופו של דבר התפתח תירס מצמח הטאופינט. התיירס החל להתפשט בכל מקסיקו ומשם לשאר העולם. **הזנים** הראשונים – זנים עתיקים כאלה נקראים **זני מורשת** – היו שונים זה מזה, כפי שהיו שונים מטאופינט. לכל זן של תירס היו תכונות שהתאימו למקום שבו גדל.

בשמונים השנים האחרונות, התיירס השתנה עוד יותר. חקלאות מודרנית שונה מאוד מחקלאות קדומה. כיום נוטעים את התיירס בשורות צפופות, ומדשנים את האדמה בדשן המכיל חנקן וזרחן. זנים מודרניים של תירס צריכים להיות מותאמים לתנאים כאלה.

אופס, התכווצו לנו השורשים: סלקציה עקיפה של שורשי צמחים

אנחנו נוטים לפעמים להתמקד ב**תכונות** של צמחים שמופיעות מעל פני הקרקע, כמו גובה הצמח או צורת העלים, פשוט כי קל יותר לראות אותן. אבל גם המאפיינים שנמצאים מתחת לפני השטח חשובים. צמחים מסתמכים על השורשים שלהם שימצאו באדמה מים וחומרי מזון ויקלטו אותם. השורשים גם מובילים את המשאבים האלה אל הגבעול, כדי שיוכלו להגיע אל

תכונה (Trait)

משהו שמאפיין את הצמח, כמו צורת עלה או צבע זרע מסוים.

העלים. ובנוסף, הם שולחים איתותים כדי שהצמחים יוכלו לנהל את הרשת החברתית שלהם עם המיקרובים.

בימי קדם, כשהחקלאים בחרו אילו זרעים לשמור ולזרוע בעונה הבאה, הם לא הקדישו תשומת לב לשורשים. הם פשוט רצו צמחים שיפיקו הרבה גרגרים גדולים, רכים וטעימים. לצמחים עם גרגרים כאלה לא תמיד היו שורשים גדולים וחזקים במיוחד. אולי אפילו להיפך: ייתכן שהיו להם שורשים קטנטנים, כי הם השקיעו אנרגיה בגרגרים במקום בשורשים. אבל הגרגרים והשורשים הם חלק מאותו צמח. כשבני האדם בחרו זרעים מצמחים כאלה, ייתכן שהם גם בחרו במקרה שורשים עם תכונות מסוימות. תהליך כזה נקרא **סלקציה עקיפה**.

שורשי התירס של ימינו נראים שונים מאוד משורשי הטאוסונט, בגלל סלקציה עקיפה כזאת [2] (איור 1). לטאוסונט היו דרושים שורשים מותאמים לספיגה של חומרי מזון ומים. היו לו הרבה יותר שורשים מאשר לתירס של ימינו. מהגבעול הראשי של צמח הטאוסונט צמחו שורשים צרים, קצרים ומסועפים. הם צמחו על פני שטח גדול, ונשארו קרוב לפני הקרקע. כל התכונות האלה עזרו לטאוסונט למצוא ולקלוט חומרי מזון, שהיו נדירים בסביבה שלו. אבל שדה תירס הוא שונה מאוד מאדמת הבר שבה גדל הטאוסונט. במשק חקלאי, בני האדם נותנים לגידולים דשן ומים (אם הגשם לא מספיק), ומסלקים עשבים שוטים. התירס של ימינו לא צריך לעבוד קשה כדי למצוא חומרי מזון. הוא מצמיח פחות שורשים, והם פחות מסועפים, עבים יותר ומסוגלים להוביל במהירות כמות גדולה של מזון. שורשי התירס המודרני חוזרים עמוק יותר לקרקע במקום להתפשט לרוחב ולהישאר קרוב לפני הקרקע. מכיוון שהתירס שתול בשורות צפופות מאוד, השורשים העמוקים מאפשרים לכל צמח למצוא מזון בלי להתחרות עם השכנים [3].

ראינו שצמח התירס השתנה עם הזמן גם מעל פני הקרקע וגם מתחת להם. אבל מה בנוגע לחלק שלא נראה לעין – המיקרובים באדמה שסביבו?

האם התירס עצלן?

ברור שהתירס שונה מאוד מהטאוסונט, וששדה תירס שונה מאוד מעמק נהר מלא צמחי בר שונים. תירס וטאוסונט הם אמנם קרובי משפחה, אבל בגלל השינוי בסביבה, אפשר לשער שכשהתירס עבר שינויים הוא גם זכה במיקרובים חדשים ואיבד אחרים.

אנחנו יודעים שאצל זני התירס השונים, קירבת משפחה פירושה גם מיקרובים דומים. צמח תירס יחיד יכול להעביר חלק מהמיקרובים שלו לדור הבא באמצעות זרעים [4]. הדור הבא גם יכול למשוך מיקרובים דומים, כי הצמחים שולחים לאדמה את אותם האיתותים ששלחו הוריהם. לכן אנחנו משערים שחלק מהמיקרובים של התירס ושל הטאוסונט הם זהים – אף על פי שטאוסונט הוא לא ממש ההורה של התירס אלא יותר כמו הסבא-רבא-רבא-רבה שלו.

מצד שני, אנחנו יודעים גם שזני תירס שונים מושכים לפעמים מיקרובים שונים. עדיין לא ברור לגמרי למה, אבל כנראה שזה קשור לשורשים ולאיתותים שהם שולחים. צמחי תירס, כמו ילדים, הם לא עותקים מדויקים של ההורים שלהם. לפעמים יש להם שורשים שונים או

סלקציה עקיפה (Indirect selection)

בחירה מקרית של מאפיינים מסוימים כתוצאה מבחירה מכוונת של מאפיינים אחרים.

איתותים שונים. לכן, גם המיקרובים של צמח תירס מסוים יכולים להיות שונים מהמיקרובים של הוריו, בייחוד אם השורשים שלו שונים גם במובנים אחרים. יש זנים של תירס שמושכים יותר מיקרובים מזנים אחרים, אפילו אם הם גדלים באותה אדמה. יש זנים שהמיקרובים שלהם פעילים יותר, ולכן מספקים לצמח יותר חומרי מזון.

בגלל ההבדלים בין שורשי התירס לשורשי הטאוסנט, אפשר לשער שלתירס יש פחות מיקרובים ושהם פחות פעילים. מיקרובים מעדיפים לחיות ליד שורשים מאשר במקומות אחרים באדמה. שורשים, חיים או מתים, מספקים להם מזון וגם מגנים עליהם מהתנאים הקשים של החיים באדמה. מכיוון שלתירס של ימינו יש פחות שורשים מאשר לטאוסנט, ייתכן שיש בסביבה שלו פחות מיקרובים. ייתכן גם שהמיקרובים שלו פחות פעילים מאלו החיים בריזוספרה של הטאוסנט. תירס מודרני גם מקבל דשן שמספק לו את כל חומרי המזון שהוא צריך, ולכן ייתכן שהוא פולט פחות סוכרים בשביל המיקרובים בסביבתו, והם פחות פעילים. כדי לברר אם ההשערה נכונה, המדענים מתחילים לאחורנה לערוך השוואות בין המיקרובים בריזוספרות של התירס ושל הטאוסנט.

המיקרובים-השותפים המתחלפים של התירס

האם לתירס של ימינו יש מיקרובים שונים מאשר לטאוסנט? ואפילו אם המיקרובים זהים, האם הם עושים דברים שונים?

לאחרונה גילו המדענים הבדלים בין המיקרובים החיים סביב שורשי התירס לבין אלה שסביב שורשי הטאוסנט. לתירס המודרני יש פחות מיקרובים מאשר לטאוסנט, וסוגים פחות מגוונים של בקטריות ופטיות [5]. הממצא הזה תומך בהשערה שבמהלך ההתפתחות שלו, התירס איבד מיקרובים מסוימים וקיבל אחרים. מצד שני, נמצאו גם מיקרובים המשותפים לשני הצמחים – כלומר, יש קבוצת לבה של מיקרובים שלא השתנתה עם הזמן.

אבל נותרו לנו עדיין הרבה שאלות. באיזה שלב, במשך אלפי השנים של התפתחות תירס מטאוסנט, קרו השינויים האלה? האם התירס של ימינו שולח איתותים שונים מששולח הטאוסנט? האם בגלל השוני במיקרובים התירס המודרני יכול להפיק יותר חומרי תזונה מהאדמה, או פחות?

מיקרובים ותירס-העל של העתיד

אם נדע יותר על השורשים והמיקרובים של התירס נוכל לגדל אותו בצורה טובה ויעילה יותר. השלב הראשון הוא לזהות מה התכונות הרצויות של השורשים ושל המיקרובים. אולי נגלה ששורשי הטאוסנט מצליחים להשיג יותר חומרי מזון. או שלתירס המודרני יש מיקרובים שמספקים יותר חנקן. אחרי שנמצא את התכונות שיכולות להועיל לנו, נוכל לברר אילו גנים אחראיים להם. מגדלי צמחים יוכלו ליצור צירופים של הגנים האלה כדי לפתח צמחי תירס עם יכולת משופרת להפיק חומרי מזון מהאדמה וממיקרובים. צמחים כאלה יוכלו להסתפק בפחות דשן כימי. כדי לייצר דשן דרושה הרבה מאוד אנרגיה, ולפעמים הוא גורם לזיהום הפוגע באיכות המים, ביצורים שחיים במים, ובבני האדם ששותים אותם. נותרו עדיין הרבה שאלות, אבל

בעזרת מחקר על השינויים בשורשים ובמיקרובים של התירס נוכל לפתח זני תירס שצורכים פחות דשן, וזה יהיה טוב יותר לסביבה.

מאמר המקור

Schmidt, J. E., Bowles, T. M., and Gaudin, A. C. M. 2016. Using ancient traits to convert soil health into crop yield: impact of selection on maize root and rhizosphere function. *Front. Plant Sci.* 7:373. doi: 10.3389/fpls.2016.00373

מקורות

1. Doebley, J. 1990. Molecular evidence and the evolution of maize. *Econ. Bot.* 44:6–27. doi: 10.1007/BF02860472D
2. Gaudin, A. C., McClymont, S. A., Soliman, S. S., and Raizada, M. N. 2014. The effect of altered dosage of a mutant allele of Teosinte branched 1 (tb1-ref) on the root system of modern maize. *BMC Genet.* 15:23. doi: 10.1186/1471-2156-15-23
3. York, L. M., Galindo-Castañeda, T., Schussler, J. R., and Lynch, J. P. 2015. Evolution of US maize (*Zea mays* L.) root architectural and anatomical phenes over the past 100 years corresponds to increased tolerance of nitrogen stress. *J. Exp. Bot.* 66:2347–58. doi: 10.1093/jxb/erv074
4. Johnston-Monje, D., and Raizada, M. N. 2011. Conservation and diversity of seed associated endophytes in *Zea* across boundaries of evolution, ethnography and ecology. *PLoS ONE* 6:e20396. doi: 10.1371/journal.pone.0020396
5. Szoboszlay, M., Lambers, J., Chappell, J., Kupper, J. V., Moe, L. A., and McNear, D. H. 2015. Comparison of root system architecture and rhizosphere microbial communities of Balsas teosinte and domesticated corn cultivars. *Soil Biol. Biochem.* 80:34–44. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.09.001

פורסם אונליין: 18 בינואר 2019

נערך על ידי: Ana Maria Rocha De Almeida, University of California, Berkeley, United States

ציטוט: Schmidt JE and Gaudin ACM (2019) "איפה החברים שלי?" איך השתנו המיקרובים של התירס עם הזמן Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2017.00037-he

תורגם והותאם:

Schmidt JE and Gaudin ACM (2017) "Where Did My Friends Go?": How Corn's Microbe Partners Have Changed Over Time. *Front. Young Minds* 5:37. doi: 10.3389/frym.2017.00037

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

Schmidt and Gaudin 2017 © **COPYRIGHT** 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

11-10 גיל: WISH BILINGUAL SCHOOL

אנחנו כיתת “ראיוס” (שפירושו “ברק”). בכיתה שלנו יש 12 תלמידים – שמונה מהם בני 11 וארבעה בני 10. אנחנו אוהבים מאוד לשחק כדורגל ולעשות פעילויות יחד. אנחנו שמחים, יפים, מצחיקים, עצלנים, יצירתיים, וליצניים. אבל אנחנו מרגישים לפעמים רדומים בבית הספר. השמות שלנו הם: איזבל, לואנה, איזבלה, גבריאל, תומס, פדרו, אנריקו, הייטור, רודריגו, גוסטבו, רפאל, לאיון.

הכותבים

JENNIFER E. SCHMIDT

ג'ניפר א. שמידט היא דוקטורנטית באוניברסיטת קליפורניה בדיוויס. היא מתמקדת בקשרים בין צמחים לבין המיקרובים בריזוספירה, וכרגע היא חוקרת תירס. היא מתכננת להשתמש במחקר על הקשרים האלה כדי לתרום לפיתוח של מערכות חקלאות בנות-קיימא ידידותיות לסביבה. *jenschmidt@ucdavis.edu

AMÉLIE C. M. GAUDIN

אמלי גודין היא מרצה בכירה לאגרו-אקולוגיה באוניברסיטת קליפורניה בדיוויס. המחקר שלה עוסק בתפקיד החשוב של שורשים במערכות חקלאיות, ובשיטות לשיפור העמידות של משקים חקלאיים לשינויי אקלים. היא חקרה שיטות גידול, שורשים, ואקולוגיה של הריזוספירה בצרפת, בפרו, בפיליפינים, בקנדה ובארה"ב.



Hebrew version
provided by

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

