

חיזוק ביולוגי: לחימה ברעב נסתר

Christopher T. DaVeiga, Elizabeth M. Parsons, Jeeyon Jeong*

המחלקה לביולוגיה, קולג' אמהרסט, אמהרסט, מסצ'וסטס, ארצות הברית

סוקרים צעירים

JADA

גיל: 14



JOSHUA

גיל: 14



ברחבי העולם, אנשים רבים סובלים מתת-תזונה. תת-תזונה היא מצב שבו הגוף לא מקבל מספיק חומרי מזון חשובים כדי לגדול ולשרוד, ומקרים חמורים יכולים להוביל למוות. מדענים פיתחו תהליך שנקרא חיזוק ביולוגי במטרה לשפר את תכולת חומרי המזון של יבולים ולמנוע תת-תזונה. כיום, חיזוק ביולוגי יכול להיעשות דרך שינוי גנטי, שכולל שינוי בדנ"א של היבול. אחת הדוגמאות המוצלחות ביותר של יבול שחוזק ביולוגית היא אורז מוזהב, יבול שמועשר בחומר שנקרא בטא-קרטונין, אשר מוזר לוויטמין A בגופנו. חשוב שכולם ילמדו על חיזוק ביולוגי ועל שינוי גנטי, במיוחד כשהתהליך הזה יכול לשמש כדי לסייע לאנשים רבים שאחרת היו סובלים מתת-תזונה.

מהי תת-תזונה?

דמיינו בעיה שמשפיעה על שני מיליארד בני אדם ברחבי העולם. זה כמעט אחד לכל שלושה אנשים! לצערנו, הבעיה הזו יכולה לגרום לבעיות נפשיות ופיזיות, כמו למשל אובדן משקל, תפקוד לב ירוד ודיכאון (לפי ארגון הבריאות העולמי). אולם מה גורם לבעיה שמשפיעה על כל כך הרבה אנשים? הבעיה הזו נקראת תת-תזונה, והיא קשורה למזון שאנו אוכלים! חלק מהאנשים סובלים מתת-תזונה מאחר שהם לא מקבלים מספיק מזון. אולם אנשים אחרים שמקבלים מספיק קלוריות עדיין יכולים לסבול מתת-תזונה, מסוג אחר. כשאנו אוכלים מזון,

הוא מפורק בתוך גופנו, ומרכיבי המזון השונים (נוטריינטים) מוסרים מהמזון ומופרדים זה מזה. מיקרונוטריאנטים הם אחד הרכיבים של המזון שאנו אוכלים. מיקרונוטריאנטים הם חומרים שהגוף האנושי צריך בכמויות זעירות, וזו הסיבה לקידומת "מיקרו" (קטן). המיקרונוטריאנטים האלה חשובים לגדילה, להתפתחות ולהישרדות. דוגמאות למיקרונוטריאנטים כוללות סידן, אשלגן וברזל.

כאשר אנשים לא מקבלים מספיק מיקרונוטריאנטים, סוג תת-התזונה הזה נקרא מחסור במיקרונוטריאנטים. חלק מהאנשים קוראים למחסור במיקרונוטריאנטים גם "**רעב נסתר**", מאחר שאדם עשוי להרגיש מלא, ועדיין לא לקבל מספיק מיקרונוטריאנטים. הרעב הנסתר השכיח ביותר הוא אנמיה של מחסור בברזל (IDA - iron deficiency anemia). IDA מתרחשת כאשר אדם לא מקבל מספיק ברזל. לרוע המזל, IDA קיימת גם במדינות מתועשות וגם במדינות מתפתחות. IDA שכיחה מאחר שבדרך כלל קשה לאנשים לצרוך מספיק ברזל בצורה שהגוף יכול להשתמש בו. IDA שכיחה במדינות עם הרבה מזונות עמילניים, כמו אורז וחיטה. היבולים האלה מספקים קלוריות, אולם מעט מיקרונוטריאנטים. סוגים אחרים של מחסור במיקרונוטריאנטים כוללים מחסור ביוז ובויטמין B12.

מה אפשר לעשות כדי למנוע תת-תזונה?

בשנים האחרונות, מדענים חיפשו פתרונות במטרה לעצור את המחסורים במיקרונוטריאנטים. בעבר, מדענים הפכו מזונות לבריאים יותר על ידי הוספת ויטמינים, מה שנקרא **חיזוק מסורתי**. לדוגמה, אפשר להוסיף ברזל לדגני בוקר אחרי שהדגן מעובד. המינרלים המוספים האלה מסייעים להרבה אנשים, מאחר שדגני בוקר הם זולים ופופולריים. דוגמה אחרת לחיזוק מסורתי היא הוספה של ויטמין D לחלב. אנשים גם יכולים לקחת תוספי מזון, כמו גלולות ויטמין, כדי לסייע לעצמם לקבל את כל המיקרונוטריאנטים שהם צריכים. אולם חלק מהאנשים לא יכולים להרשות לעצמם או שאין להם גישה לתוספי מזון או למזונות מחוזקים. לכן, מדענים עבדו על פתרון חלופי שיסייע לעוד יותר אנשים ללחום בתת-התזונה שנגרמת על ידי מחסורים במיקרונוטריאנטים. אחד הפתרונות שמדענים מצאו נקרא **חיזוק ביולוגי**. חיזוק ביולוגי הוא תהליך שמשנה יבולים במטרה לשפר את ערכם התזונתי. חיזוק ביולוגי שונה מחיזוק מסורתי, מאחר שהתהליך הזה משנה את הצמח עצמו.

כיצד חיזוק ביולוגי מבוצע?

ישנן שתי צורות עיקריות של חיזוק ביולוגי (איור 1). הראשונה נקראת **הכלאה סלקטיבית**. הכלאה סלקטיבית היא מצב שבו מאפשרים רק לצמחים מסוימים עם תכונות רצויות לגדול. לדוגמה, דמיינו פיסת אדמה עם עשרה צמחי אורז. דמיינו שלשניים מתוך עשרת הצמחים יש רמות גבוהות יותר של ברזל באופן טבעי. חקלאים יכולים להסיר את שמונת הצמחים עם הברזל הנמוך, ולשתול זרעים רק מהיבולים בעלי תכולת הברזל הגבוהה לעונה הבאה. הזרעים האלה יצמיחו צמחים נוספים עם הרבה ברזל. כאשר התהליך הזה חוזר על עצמו, בסופו של דבר לכל צמחי האורז יהיו רמות ברזל גבוהות יותר מלעשרת הצמחים המקוריים. הכלאה סלקטיבית משתמשת בתכונות טבעיות כדי להפיק מזונות בריאים יותר.

רעב נסתר

(Hidden Hunger)

מונח אחר עבור מחסור במיקרונוטריאנטים, כלומר מחסור בוויטמינים ומינרלים שנדרשים לגדילה ולהתפתחות תקינה של הגוף.

חיזוק מסורתי

(Traditional Fortification)

ההגדלה המכוונת של תכולת מיקרונוטריאנט במזון מסוים.

חיזוק ביולוגי

(Biofortification)

תהליך שבו הערך התזונתי של מזון גדל דרך הכלאה סלקטיבית או שינוי גנטי.

הכלאה סלקטיבית

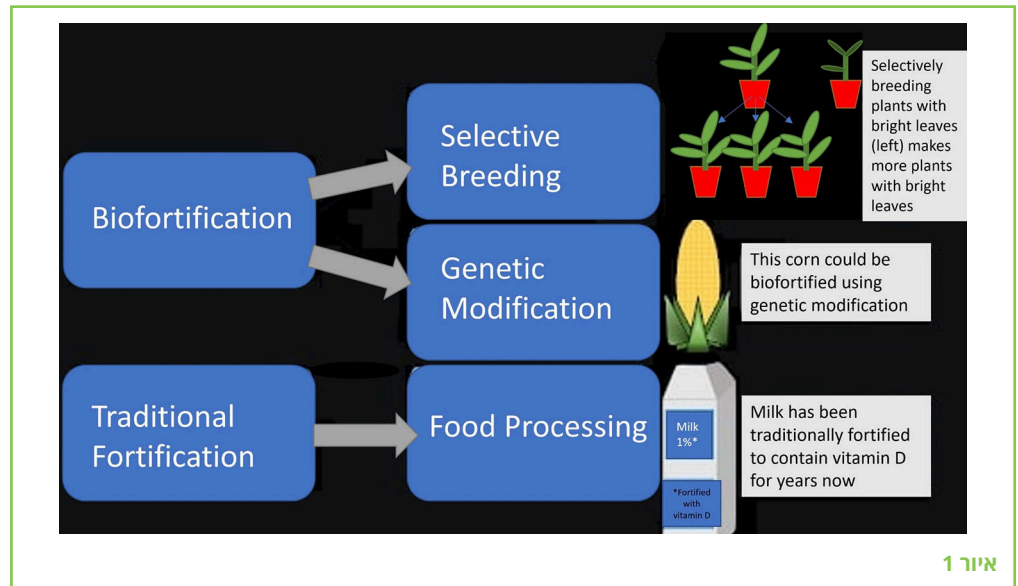
(Selective Breeding)

תהליך שבו רק צמחים מסוימים עם תכונות רצויות מתרבים ומייצרים צאצאים במטרה לחזק את התכונה הרצויה.

איור 1

המחשה של סוגי

חיזוק שונים. חיזוק ביולוגי (biofortification) מתמקד בשינוי הצמחים לפני העיבוד, דרך הכלאה סלקטיבית (selective) breeding; אשר מערבת מציאת צמחים עם התכונות הטובות ביותר והכלאתם עם צמחים אחרים שיש להם תכונות רצויות, או שינוי גנטי (genetic modification); מתואר ביתר פירוט באיור 3. חיזוק מסורתי (traditional fortification) מתערב רק בעיבוד המזון, כמו למשל הוספת ויטמין D לחלב.



איור 1

יתרון של הכלאה סלקטיבית הוא בכך שהיא זולה. היא לא דורשת ציוד מיוחד, ולכן העלות של גידול יבול בריא נמוכה יותר. אולם להכלאה סלקטיבית יש גם חסרונות. ראשית, הכלאה סלקטיבית עשויה להוביל לתכונה הרצויה, אולם אין הבטחה לכך מאחר שבתהליך של בחירת התכונה הרצויה, **גֵנִים** אחרים גם יושפעו. משמעות הדבר היא שהצמח עלול לפתח תכונות אחרות שאינן רצויות. חסרון נוסף הוא שלוקח זמן רב לגדל צמחים, ולכן הכלאת היבולים הטובים ביותר יכולה לארוך שנים רבות!

גן

(Gene)

יחידת תורשה שמכילה הוראות להפקת חלבונים.

שינוי גנטי

(Genetic Modification)

שינוי של חומר גנטי כדי לשנות את האורגניזם במטרה לקבל את המאפיין הרצוי.

נוקלאוטיד

(Nucleotide)

יחידת המבנה הבסיסית של חומצות גרעין, כמו למשל דנ"א. ארבעת סוגי הנוקלאוטידים הם אדנין (A), תימין (T), גואנין (G) וציטוסין (C).

חלבונים

(Proteins)

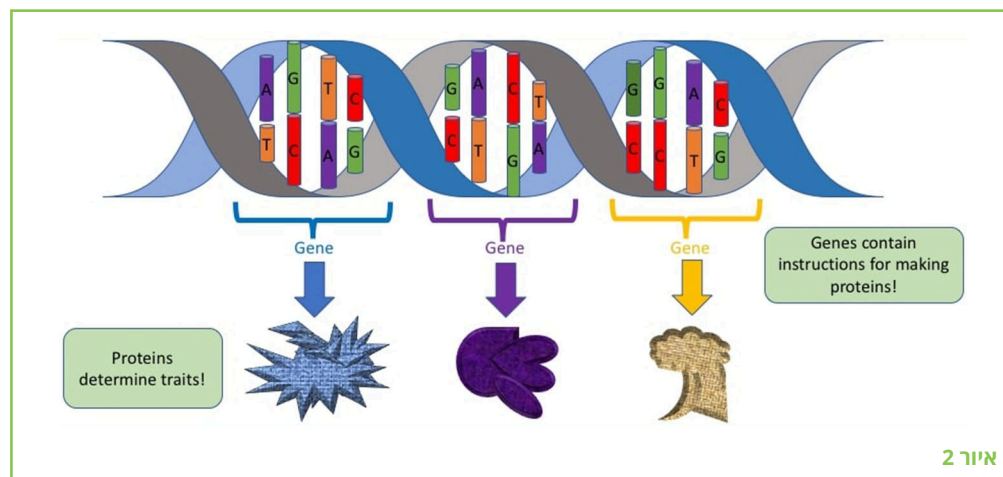
חלבונים מקודדים על ידי גנים ומבצעים מגוון תפקידים. חלבונים פועלים כדי לבצע תפקוד מסוים שגורם לביטוי של תכונות מסוימות באורגניזמים.

סוג שני של חיזוק ביולוגי נקרא **שינוי גנטי**. לכל יצור חי יש חומר גנטי, אשר מאחסן הוראות לגבי האופן שבו אותו האורגניזם גדל ומתפקד. החומר הגנטי העיקרי הוא חומצה דאוקסיריבונוקלאית (דנ"א). דנ"א מורכב מאבני בניין זעירות שנקראות **נוקלאוטידים** (איור 2). רצפים ארוכים של נוקלאוטידים נקראים גנים, וגנים מקודדים **חלבונים**, אשר קובעים את התכונות. במילים אחרות, חשבו על דנ"א כעל ספר מתכונים. כל גן הוא מתכון מסוים בתוך הספר. אם אתם מסתכלים על גן אחד, יהיה לו סדר מסוים של זוגות נוקלאוטידים. סדר הנוקלאוטידים הוא כמו השלבים שאתם מוצאים בכל מתכון. אם אתם קוראים כל שלב בהקפדה, אתם תיצרו את התוצר הסופי – החלבון! חלבונים עובדים בתאים ועושים הרבה פעולות שחשובות לשימור החיים. חלבונים מספקים לאורגניזמים חיים את התכונות שלהם, שהן מאפיינים כמו צבע העיניים שלכם, גובה הצמחים, או צבע תרמיל האפונה. כל התכונות קיימות מאחר שגנים מסוימים נמצאים, חסרים, או מבוטאים (מופעלים) ברמות שונות.

יתרון של שינוי גנטי הוא שהתכונה הרצויה מושגת בתוך כמה דורות ממחזור החיים של הצמח, לאחר שינוי הצמח. זה הרבה יותר מהר מאשר הכלאה סלקטיבית. מדענים יכולים לבחור באופן ישיר את התכונה שהם רוצים לשנות באמצעות שינוי גנטי. אולם לשינוי גנטי יש גם חסרונות. הוא דורש מחקר רב וכלים ביו-טכניים כדי לבצעו, כך ששינוי גנטי חייב להיעשות במעבדה. נוסף על כך הרבה אנשים מסתכלים בצורה שלילית על יבולים שעברו שינוי גנטי, ולכן קבלה חברתית היא עניין חשוב.

איור 2

הקשר שבין דנ"א, גנים וחלבונים. דנ"א מיוצג בחלק העליון של הדיאגרמה. הקווים הכחול והאפור מראים את הסליל הכפול המפותל, והגלילים מייצגים בסיסי נוקלאוטידים. גנים הם סיבים ארוכים של נוקלאוטידים. חשבו על גנים כעל הוראות לבניית חלבונים. החלבונים הם אלה שקובעים תכונות, כמו למשל את כמות הברזל שמאוחסן בצמח.



איור 2

אם כן, איך כל זה קשור לחיזוק ביולוגי? שינוי גנטי משנה את הקוד הגנטי. משמעות הדבר היא שינוי של סדר הנוקלאוטידים, הגנים והחלבונים. חשבו שוב על ספר המתכונים, מה היה קורה אם היינו מוסיפים רכיב חדש למתכון? הצבע, המרקם והטעם עשויים להשתנות! זה האופן שבו מדענים יכולים להכניס תכונות חדשות לצמח. שינוי גנטי מבוצע בשתי דרכים. הראשונה היא על ידי שינוי גנים שכבר נמצאים בצמח. השנייה היא על ידי הכנסת גנים חדשים לצמח. השיטה הזו, שנקראת העברת גנים, מורכבת מאוד. קשה להזיז בקלות גנים בין אורגניזמים, ולכן נדרשות שיטות מיוחדות להעביר אותם. לדוגמה, שיטה אחת משתמשת בפיסות מיוחדות של חומר גנטי שנקראות פלזמידים שאפשר להשתמש בהן כדי "לשאת" גנים ולהכניס אותם לצמח. המטרה היא לשנות את הקוד הגנטי כדי לאפשר לצמח לאחסן יותר חומרי מזון. המזונות האלה שעברו שינוי נקראים אורגניזמים שעברו שינוי גנטי (genetically modified organisms), או GMOs.

כדי להבין כיצד שינוי גנטי פועל, בואו נדמיין שוב את חוות האורז. מתוך עשרת צמחי האורז המקוריים, לשניים מהם יש רמות גבוהות יותר של ברזל. כפי שאמרנו, תכונה היא פשוט חלבונים בפעולה! הצמחים עם רמות ברזל גבוהות יותר עשויים להכיל גנים שאין לצמחים עם מעט ברזל. או שאולי כל עשרת הצמחים מכילים את אותו הגן עבור רמות ברזל, אולם הגן הזה מבוטא (מופעל) רק בשני צמחים עם ברזל גבוה. בכל מקרה, הצאצאים של צמחי האורז עם הברזל הגבוה ככל הנראה גם יכילו ברזל גבוה. אם מדענים רוצים להגדיל את רמות הברזל בצמחים עם מעט ברזל, הם יכולים להשתמש בשינוי גנטי כדי לשנות את הגנים בצמחים האלה, כך שהגנים עבור ברזל גבוה יהיו נוכחים או יופעלו, מה שיאפשר לצמחים לצבור יותר ברזל.

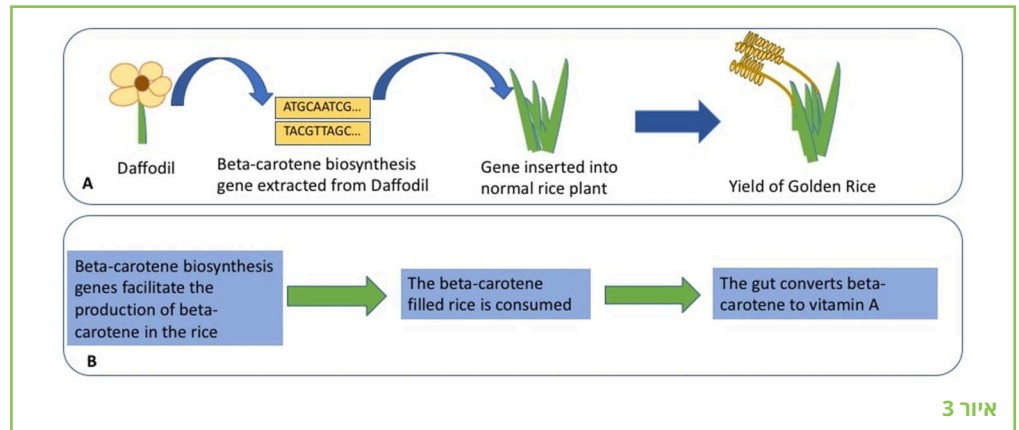
אורז מוזהב

אורז מוזהב הוא דוגמה מהחיים האמיתיים לחיזוק ביולוגי. אורז מוזהב הוא ייחודי מאחר שהוא מכיל חלבון שנקרא בטא-קרזוטנין. אורז לבן וחום רגילים לא מכילים בטא-קרזוטנין. בטא קרזוטנין מותמר לוויטמין A בגוף, וויטמין A הוא מיקרונוטריאנט חשוב. מחסור בוויטמין A יכול לגרום לעיוורון ולהגדיל את הסבירות לחצבת [1]. אורז מוזהב נוצר על ידי שינוי גנטי. מדענים הכניסו שני גנים מצמחי נרקיס אל תוך הדנ"א של האורז. גני הנרקיס האלה מספקים לאורז את

איור 3

יצירה של אורז מזהב. (A)

המחשה של שינוי שמבוצע על אורז מזהב. הביויסינתזה של גן הבטא-קרזוטנין נלקחת מצמח נרקיס ומוכנסת אל צמח האורז: נרקיס – ביויסינתזה של גן בטא-קרזוטנין שנלקח מהנרקיס – הגן מוכנס לצמח אורז רגיל – יכול של אורז מזהב. (B) דיאגרמה שמסבירה את החשיבות של הכנסת הגן. הביויסינתזה של גן הבטא-קרזוטנין גורמת לצמח האורז להפיק בטא-קרזוטנין. הבטא-קרזוטנין מותמר לוויטמין A בתהליך שמתרחש בתוך הגוף: ביויסינתזה של גנים של בטא-קרזוטנין מעודדת את הייצור של בטא-קרזוטנין באורז – האורז שמלא בבטא-קרזוטנין נצרך – המעיים מתמירים את הבטא-קרזוטנין לוויטמין A.



איור 3

היכולת לייצר בטא-קרזוטנין (איור 3), מה שגורם לאורז להיות בריא יותר מאחר שכפי שאמרנו, בטא-קרזוטנין נהפך לוויטמין A בגופו של האדם שאוכל את האורז.

מדוע אנו צריכים חיזוק ביולוגי?

חיזוק ביולוגי משנה גנטית יכולים כך שהם מכילים יותר נוטריינטים, והתועלות האלה נותרות ביבולים לנצח. הרבה אנשים תוהים מדוע חיזוק ביולוגי נדרש אם ישנן חלופות אחרות, כמו למשל חיזוק מסורתי ותוספי מזון. ישנם יתרונות רבים לחיזוק ביולוגי. מחירו נמוך, מאחר שהוא לא דורש יצירה של תשתית חדשה. כמו כן, חיזוק ביולוגי הוא יותר בר-קיימא מאשר שיטות מסורתיות של חיזוק, מאחר שיבולים מחוזקים ביולוגית דורשים מאט משאבים טבעיים אחרי שהם מיוצרים, ויכולים עקרונית להגיע ליותר אנשים מאשר חיזוק מסורתי או תוספי מזון. קושי אחד עם חיזוק מסורתי הוא שכל מוצר, כמו למשל כל מצבור של דגני בוקר או כל ליטר של חלב, צריכים להיות משונים פרטנית במטרה להוסיף את המיקרונטריאנטים. מצד אחר ברגע שנוצר יכול שחיזוק ביולוגי, התוצאות נשארות זמן רב וניתן להרבות את היבול (מה שאפשר לעשות לעד).

אף על פי שישנן תועלות רבות לחיזוק ביולוגי, זהו נושא מעורר מחלוקת. הרבה אנשים דואגים שמסוכן לאכול יבולים מחוזקים ביולוגית. אולם הרבה דיווחים של ארגונים מכובדים, כמו למשל האקדמיה האמריקאית הלאומית למדעים, הראו שמזונות שעברו שינוי גנטי בטוחים לאכילה. בסך הכול, הכי טוב גם לתומכים וגם למבקרים של מזונות GMO להישאר מידעים ועם ראש פתוח.

חיזוק ביולוגי הוא אפשרות חשובה להפחתת תת-תזונה. אולם סיוע לאנשים לאכול דיאטות מאוזנות, סיפוק תוספי מזון לאנשים ועריכת מחקרים נוספים גם יסייעו להלחם במחסור במיקרונטריאנטים. באופן אידיאלי, שילוב של שיטות אלו שמונעות תת-תזונה יהיה הכי טוב. הכרחי שמדענים ימשיכו לייזע את הציבור הרחב לגבי חיזוק ביולוגי ושינוי גנטי. מידע מדויק הוא הדרך היחידה שבה צרכנים יכולים לקבל החלטות מושכלות לגבי GMOs. בתקווה, עם הזמן ועם השיפורים הטכנולוגיים, חיזוק ביולוגי יהפוך לדרך אפקטיבית בטיפול בתת-תזונה.

מקורות

1. Enserink M. 2008. Tough lessons from golden rice. *Science*. 320:468–71. doi: 10.1126/science.320.5875.468

פורסם אונליין: 23 ביוני 2022

נערך על ידי: Jorge Galindo-Villegas

מנחה מדעי: Unini Odama

ציטוט: DaVeiga CT, Parsons EM and Jeong J (2022) חיזוק ביולוגי: לחימה ברעב נסתר. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00114-he

תורגם והותאם: DaVeiga CT, Parsons EM and Jeong J (2020) Biofortification: Battling Hidden Hunger. *Front. Young Minds* 8:114. doi: 10.3389/frym.2020.00114

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

COPYRIGHT © 2020 © DaVeiga, Parsons and Jeong. זהו מאמר בניה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (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

JADA, גיל: 14

היי! קוראים לי Jada ואני מאטלנטה, ג'ורג'יה. בזמני הפנוי, אני אוהבת לצייר/ לרשום, להקשיב למוזיקה, לכתוב סיפורים קצרים ולצפות במגוון סרטים. אני משחקת לקרוס, ואני שוחה במשך כחמש שנים. כשאגדל, אני רוצה להיות מנתחת פלסטית קוסמטית מאחר שאני רוצה להפוך את כל המטופלים שלי לגאים בגופם, במקום להיות חסרי ביטחון ביחס לעצמם. סיוע לאחרים הוא אחת המוטיבציות שלי בחיים!!!

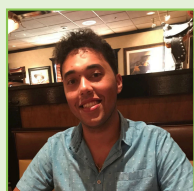
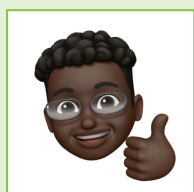
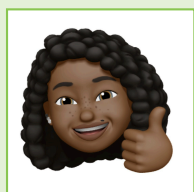
JOSHUA, גיל: 14

אני עולה לכיתה ט וגר באטלנטה, ג'ורג'יה. במהלך שנת הלימודים, אני משתתף בהרבה תוכניות כולל בנבחרת האקדמית ובנבחרת הלקרוס. כשאני לומד או בבית הספר, אני אוהב לקרוא ספרים ולשחק לקרוס. אני שמח להיות חלק מהתוכנית הזו מאחר שאני נהנה ממדע, ואני שמח שהמשוב שלי חשוב כל כך בכך שהוא מסייע לאנשים לפרסם את המאמרים שלהם.

הכותבים

CHRISTOPHER T. DAVEIGA

היי! קוראים לי Christopher DaVeiga ואני סטודנט שנה שנייה לביוכימיה בקולג' אמהרסט. דרך המחקר שלי במעבדת Jeong, למדתי הרבה על צמחים ועל האופן שבו הם מטמיעים בחל. מטרת הקריירה שלי



כוללות הליכה לבית ספר לרפואה והפיכה לרופא. במקור אני מבוסטון, מסצ'וסטס, ואני מבלה את זמני הפנוי בננינה על גיטרה ובעידוד קבוצת הבייסבול "רד סוקס".



ELIZABETH M. PARSONS

היי! קוראים לי Liz Parsons ואני סטודנטית לביולוגיה בקולג' אמהרסט. המחקר שלי מתמקד באופן שבו צמחים שולטים בכמות הברזל בתאים שלהם. אני אוהבת מדע מאז שהייתי קטנה, ומקווה ללמד ביולוגיה בעתיד. המטרה המהותית שלי היא ללכת לבית ספר לרפואה ולהפוך לרופאה. בזמני הפנוי, אני נהנית ממשחק פריזבי, מכתבה יצירתית ומהיסטוריה של האומנות.



JEEYON JEONG

אני פרופסורית לביולוגיה בקולג' אמהרסט. אני מלמדת גנטיקה מולקולרית וביוכימיה, ואני חוקרת גנים וחלבונים שמסייעים לצמחים להשיג ברזל ולהשתמש בו. חוץ ממחקר ומהוראה, אני אוהבת לבלות עם ילדיי ונהנית ללכת לקונצרטים – מוזיקה קאמרית ומחזות זמר הם האהובים עליי. *jjeong@amherst.edu

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