



האם לחץ עלול לשנות אותנו?

Katherine McKissick¹, Ann E. Stapleton^{2*}

¹ביאטריס הביולוגית בע"מ, לוס אנג'לס, קליפורניה ארצות הברית
²המחלקה לביולוגיה ולביולוגיה ימית, אוניברסיטת צפון קרוליינה, Wilmington, Wilmington, צפון קרוליינה, ארצות הברית

סוקרים צעירים

SLAUSON
MIDDLE
SCHOOL
גיל: 12-11



אורגניזם (Organism)

יצור חי.

דנ"א (DNA)

המולקולה דמוית הסולם
הלולייני שנמצאת בכל
היצורים החיים, ומשמשת
כספר ההוראות לבניית
אורגניזם ולקיומו.

ביטוי (Express)

הפעולה של שימוש בדנ"א
ליצירת תוצר של גן – חלבון.
הדנ"א באורגניזמים מכיל
הרבה גנים שנעשה בהם
שימוש בזמנים שונים או
במקומות שונים באורגניזם.

כל **האורגניזמים** החיים מתמודדים עם תנאי לחץ או **עקה**. עבורכם אולי מדובר בהצטננות בשילוב עם מחסור בשינה. עבור צמח, העקה מתבטאת בהישרדות בתנאי יובש. מתברר שתנאי עקה אינם רק טרדה חולפת. הם ממש יכולים לשנות אותנו. לפעמים, תנאי עקה יכולים לשנות את הדנ"א, ספר ההוראות לבניית אורגניזמים. תנאי העקה אינם מכתיבים מחדש את אותיות הדנ"א שבספר ההוראות, אבל הם יכולים לקבוע באלה פרקים נעשה שימוש ועל אלה פרקים מדלגים. חוקרים משתמשים בצמחי תירס כדי להבין טוב יותר איך תנאי עקה שונים יכולים לשנות את הגובה שאליו מגיעים הצמחים. ההבנה כיצד דנ"א וסביבה פועלים יחד יכולה לא רק לעזור לנו לגדל תירס גבוה יותר ומשופר, אלא גם לעזור לנו להבין אורגניזמים אחרים, כולל את עצמנו.

מה עושה אתכם... אתם?

האם חשבתם אי פעם אם הייתם שונים לו הייתם גדלים במקום אחר או בזמן אחר? האם הייתם אותו אדם שאתם כרגע? לחוויות שלנו תפקיד משמעותי בקביעת הזהות שלנו. המשפחה שלכם, הבית שלכם, בית הספר שלכם וכל הדברים שעשיתם עיצבו את האדם שאתם היום. אבל עד כמה? לו נולדתם במצרים העתיקה, בימי הביניים בצרפת או במונגוליה של היום, ייתכן שהייתם אותו אדם שאתם עכשיו, או אולי הייתם שונים לחלוטין. הדבר היחיד שאינכם יכולים לשנות בכם הוא ה**דנ"א** שלכם. אתם קיבלתם חצי מהדנ"א שלכם מאימכם, ואת החצי האחר מאביכם. אינכם יכולים לשנות את הדנ"א שקיבלתם מהם, אבל הדברים שאתם עושים

– החוויות שאתם עוברים – יכולים לשנות את האופן שבו הדנ"א שלכם **מתבטא**. מה משמעות הדבר?

מגנוטיפ לפנוטיפ

הדנ"א שלכם מפרט את ה**גנוטיפ** – סדרת ההוראות אשר עושות אתכם למי שהנכם. חשבו על כך כעל ספר הוראות לבנייה של האורגניזם שהוא... אתם. כל פרק הוא סדרה של גנים, קבוצת דפים מקושרים הפועלים יחד. **גן** הוא חלק מסדרת הוראות זו לייצור תוצר מסוים אחד, חלבון כלשהו. ישנם אלפים רבים של גנים ליצירת תוצרים מסוגים שונים, שגופכם זקוק להם כדי לתפקד.

תוצרי גן אלה בונים את מה שנקרא ה**פנוטיפ** שלכם, שהוא מה שבאמת עושה אתכם מי שאתם. פעולתם יחד של חלבוני הפנוטיפ קובעת את המאפיינים שלכם כגון צבע עיניים, גובה וצבע שיער. תוצרי הגן פועלים יחד ליצירת מאפיינים מורכבים כמו האם אתם אוהבים ברוקולי או לא? האם אתם אלרגיים לחתולים או נהנים ממוזיקה קלאסית?

החלק הבעייתי בספר ההוראות של הדנ"א הזה הוא שלא נעשה שימוש בכל הפרקים כל הזמן. ייתכן שקיים אצלכם פרק לקבוצת גנים מסוימת, אבל התאים שלכם אף פעם לא קוראים בו, כך שתוצרי הגנים האלה אינם נוצרים. משמעות הדבר היא שהגן אינו **מתבטא**.

כיצד החוויות שאנו עוברים מעצבות אותנו?

די קשה לנחש אם הייתם שונים לו נולדתם בפרו לפני 100 שנים. קשה לבחון זאת. אבל, דרך אחת שבעזרתה אנו כן יכולים לחקור גנוטיפים ופנוטיפים היא באמצעות תאומים זהים, במיוחד אם הם הופרדו מיד לאחר הלידה. לתאומים זהים יש בדיוק את אותו גנוטיפ – הדנ"א שלהם זהה. אחרי שהם גדלים בנפרד וחווים חוויות שונות, ייתכן כי לתאומים זהים יהיו פנוטיפים שונים. למשל, ייתכן שאחד יסבול מדלקת מפרקים והאחר לא¹. אם כך, הודות לתאומים אלה יש לחוקרים הזדמנות לבדוק עד כמה הפנוטיפים של התאומים נקבעו על-ידי הגנוטיפ שלהם, ועד כמה הם נובעים מהחוויות שעברו.

אבל, יש דרך נוספת לחקור גנוטיפים ופנוטיפים – לא על בני אדם אלא על צמחים! זיכרו, גם לצמחים יש דנ"א!

התירס לעזרת המדע

מתברר שתירס אינו רק טעים; הוא גם נהדר לצורכי המדע. תירס הוא **אורגניזם מודל** טוב, כלומר אפשר להשתמש בו כדי ללמוד על דברים כגון דנ"א, ומה שאנו לומדים מאורגניזם המודל יכול להיות מיושם גם על אורגניזמים אחרים. **משתנה** הוא משהו שהחוקר משנה מניסוי אחד למשנהו כדי לבדוק כיצד הוא משפיע על מושא המחקר. כדי לחקור גנוטיפים ופנוטיפים חוקרים בוחנים איך המשתנים של חוויות חיים אחדות יכולים לשנות את האורגניזם. נהדר לעבוד עם צמחים, כי... הם לא זזים. חוקרים יכולים לעקוב אחר ה"חוויות" שעוברות על הצמחים בקלות רבה יותר, ויש בצמחים דברים

גנוטיפ

(Genotype)

כלל הדנ"א שבספר ההוראות של האורגניזם, שהוא זהה בתאומים זהים, אבל שונה בפרטים שאינם זהים.

גן

(Gene)

חלק מסוים בדנ"א – פרק בספר ההוראות של הדנ"א – המכיל הוראות ליצירת תוצר של גן.

תוצר של גן

(Gene product)

מולקולה שנוצרת לפי ההוראות של הגן. תוצרי גנים יכולים לייצר מיד חלבונים, או שהם יכולים להיות מווסתים על-ידי מולקולות רנ"א המווסתות את האופן שבו חלבונים אחרים פועלים.

פנוטיפ

(Phenotype)

התוצאה של גנוטיפ האורגניזם שהתבטא, כלומר כל המאפיינים של האורגניזם שאפשר לבחון (תכונות).

<http://learn.genetics.utah.edu/content/epigenetics/twins>

אורגניזם מודל

(Model organism)

אורגניזם שבו משתמשים מדענים בניסויים שלהם כדי ללמד בעזרתו גם על אורגניזמים אחרים. אורגניזמים מודל נפוצים הם החיידק א. קולי, זבוב הפירות, דגי זברה, צמחי תירס ועכברים.

משתנה (Variable)

חלק בניסוי שנבחן על-ידי שינוי מניסוי לניסוי. למשל, אם אתם רוצים לדעת כיצד מים משפיעים על גידולו של צמח תוכלו לתכנן ניסוי שבו המשתנה הוא כמות המים הניתנים לצמחים שונים מדי יום ביומו.

עקה (Stress)

היבטים של הסביבה שעלולה להיות להם השפעה שלילית על האורגניזם.

שֶׁקֶל למדוד. המשתנים שהחוקרים יכולים לבדוק בצמחים כוללים את סוג הקרקע, כמות המים, רמת קרינת השמש ומידת החשיפה למזיקים כגון חרקים, שלועסים את העלים שלהם.

חוקרים עקבו אחר צמחי תירס שגדלו בתנאי עקה שונים. בדיוק כמונו, צמחים נתונים לעקוֹת אם הם נמצאים בתנאים קשים. עבורנו, ייתכן שאנו חשים עקה אם אנו חולים או אם חסרה לנו שינה. עבור צמח, הצורך לשרוד בתנאי יובש שבהם אין מספיק מים מעיק לא פחות.

חוקרים גם בחנו אם צמחים שחווים תנאי עקה שונים הושפעו באופן שונה לעומת צמחים שחוו רק סוג אחד של תנאי עקה. אם צמח גדל בתנאי יובש וגם תוקף אותו וירוס – ייתכן שתהיה לכך השפעה שונה על חייו לעומת התמודדות עם כל אחד מתנאי העקה האלה בנפרד [1].

כאשר לתירס לא אכפת מתנאי העקה

כאשר צמחים גדלים בסביבה שאין בה הרבה תנאי עקה, הם נוטים להיראות די דומה. קל לראות זאת במאפיינים אשר קל למדוד כגון גובה. כל הצמחים הם כמעט באותו גובה.

אבל, כאשר מוסיפים לסביבה גורם עקה, משהו משתנה. הצמחים מגיבים באופן שונה זה מזה. חלק מהצמחים מסתדרים היטב, בעוד שאחרים אינם מסתדרים כלל. השונות היא הדבר החשוב. ייתכן כי תצפו שבמקרה של תנאי יובש כל הצמחים יהיו נמוכים או שכל הצמחים לא ייצרו הרבה קלחי תירס. אך לא כך הדבר – חלק מהצמחים ממשיכים לשגשג למרות תנאי העקה. המפתח להצלחה זו הוא בגנוטיפ שלהם.

במידה מסוימת, גם בני האדם הם כך. בתנאים אידיאליים, אנשים רבים גדלים מאושרים ובריאים. אבל כשהמצב קשה, יש אנשים שממשיכים בחייהם למרות זאת, בעוד שאחרים סובלים מאוד.

בתרשים זה² (וידאו 1) יש שני גושי נקודות המייצגים את הגובה שאליו צמח התירס יכול להגיע. משמאל, הנקודות מייצגות את הגובה שאליו עשויים צמחי התירס להגיע בתנאים רגילים – קבוצת צמחים שלא נחשפה לתנאי עקה. כל הצמחים די גבוהים, וכמעט אין שונות בין הנקודות.

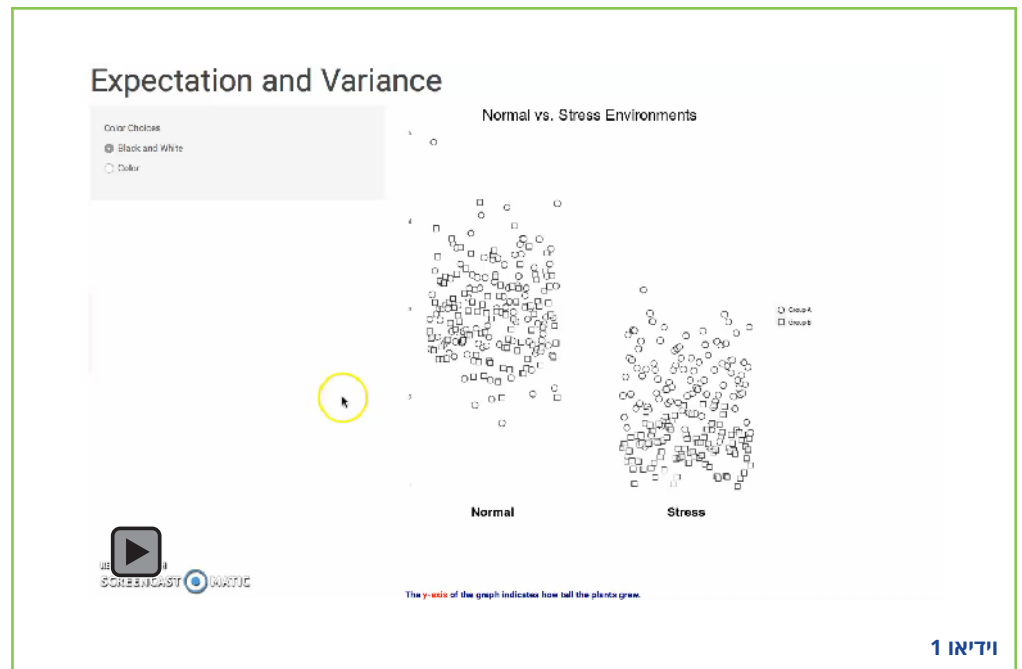
מימין, תראו נקודות שמייצגות את הגובה שאליו הגיעו צמחי התירס שנחשפו לתנאי עקה. כמה מהן נמצאות כמעט בתחתית התרשים; הצמחים לא הגיעו לגובה כלל. אבל, ראו עד כמה רבה השונות. חלק מהצמחים – הנקודות בחלק העליון ביותר בתרשים – אפילו הגיעו לגובה של רבים מצמחי התירס שלא נחשפו לתנאי עקה.

עכשיו, בואו נסתכל על ההבדלים בגנוטיפ של הצמחים האלה, ונבדוק איך הבדלים אלה תורמים לפנוטיפ הגובה. בדוגמה שלנו, יהיו לנו גנוטיפים עגולים כחולים וריבועיים אדומים. לחצו על לחצן התרשים שמשמאל (ראו הערת שוליים 2) או המשיכו להביט בסרטון (קובץ נוסף של וידאו 1) כדי לראות את הצבעים. העיגול הכחול והריבוע האדום מייצגים את סוגי ההבדלים בפנוטיפים של הגובה שאנו מצפים למצוא, כאשר נעשה שימוש בפרקים נוספים של

https://dhbrand.2shinyapps.io/young_minds

וידאו 1

Expectation and
variance = ציפייה ושונות
Normal vs. stress
environments = סביבה
רגילה לעומת תנאי עקה
The Y axis of the graph
indicates how tall the
plants grew = ציר Y של
הגרף מציין את הגובה שאלי
הגיעו הצמחים.



הדני"א. תוכלו לראות שבקבוצה שגדלה בתנאים רגילים אין הבדל גדול בשימוש בפרק הכחול או בפרק האדום, שכן לא משנה איזה מהם מתבטא, כך או כך הצמחים די גבוהים. בתנאי עקה הצמחים עם התבטאות של פרק ה"אדום" הם די נמוכים ("רחפו" מעל לתרשים האינטראקטיבי כדי לראות את ההסברים עבור כל חלק). בדרך זו, על-ידי השוואת צמחים שגדלים בתנאי עקה לצמחים שגדלים בתנאים רגילים (במילים אחרות: סיווג לפי משתנה רמות העקה), אנו יכולים למצוא פרקים שונים שלא היינו יכולים לדעת על קיומם לו היינו מסתכלים רק על הצמחים שגדלו בתנאים רגילים. בצמחים נמצא הדני"א של כל הפרקים (גם פרקי ה"כחולים" וגם פרקי ה"אדומים" בתרשים לדוגמה שלנו), אבל הם שונים ביניהם בשימוש בפרקים אלה; הצמחים שמשתמשים ב"אדום" המסומנים באדום אינם יכולים לגדול לגובה רב, כאשר הם נחשפים לתנאי עקה. אנו יודעים זאת כי חקרנו את סידור הנקודות שבתרשים. הטווח (או הפיזור) של הנקודות מלמעלה למטה בתרשים מנקודת המבט השחורה או הלבנה מרמז לנו שעלינו לחפש שימוש ב"אדום" שונים. אנו משווים את הנקודות המסומנות באדום לנקודות המסומנות בכחול כדי לראות איזה פרק של התבטאות גנים משמעותי יותר.

לו לא היו לנו שני הדברים – גם את ההבדלים הגנוטיפיים היסודיים שמאופיינים בנקודות הכחולות והאדומות, וגם את משתנה העקה בתרשים מבחן התיס – לעולם לא היינו יודעים שה"אדום" המסומנים באדום גורמים לתיס להיות רגיש לתנאי עקה. השונות (הפיזור הנרחב של הנקודות מגובה לנמוך והגנוטיפים השונים – המוצגים בתרשים כצבעי הנקודות) מספקת לנו מידע שימושי!

רעיון זה והשיטות ששימשו כדי לחקור זאת מוסברים ביתר פירוט במאמר הסקירה המדעית [2], ובאופן כללי יותר במאמר הסקירה [3]. דוגמה עדכנית לסוג זה של ניתוח במחלות של בני אדם אפשר למצוא במקור [4].

מה עוד יש לדעת?

כמו הרבה דברים במדע, מחקר זה מספק רעיונות להמשך המחקר. אפשר לבדוק יותר סוגים של צמחים, לעקוב אחר כמות גדולה יותר של הדנ"א שלהם ולגלות עוד על אופן ביטוי. הבנת הדברים האלה עשויה להוביל לכל מיני סוגים של ידע ושל טכנולוגיה נהדרים.

במקרה של התירס, ההבנה כיצד הסביבה משפיעה על צמחים שונים יכולה להוביל לשיטות חקלאיות טובות יותר. אולי נצליח לקבל יותר קלחי תירס תוך שימוש בפחות שטחי אדמה. זה יכול להיות נהדר לכולם, החל מהחקלאי שקוטף את התירס וכלה באדם שאוכל קלח של תירס שהוכן "על האש".

אבל זיכרו, לא מדובר רק באורגניזם המסוים הזה. ההבנה כיצד לעזור לצמחי התירס לשגשג תעזור לנו להבין איך אפשר לגרום לאורגניזמים אחרים, כולל בני אדם, להיות במיטבם בסביבה כלשהי. כל זה חלק מהתמונה הגדולה המתארת איך אפשר ללמוד מדנ"א על עצמנו, וכמה מהזהות שלנו אינה טמונה בדנ"א, אלא בחוויות שלנו ובמה שאנו עושים אתן. במילים אחרות – איך ביטוי גנים משפיע על החיים שלנו.

תודות

המחברים מודים לסטודנטים Thomas Billman ו-Dave Hiltbrand מאוניברסיטת צפון קרוליינה ווילמינגטון (UNCW) – על כך שהכינו עבורם את התרשים האינטראקטיבי המבריק. קוד ה-R וההסבר לבניית הסימולציה הזו, וגם הדמיית התרשים זמינים בכתובת: <https://github.com/tbillman/R-Shiny>.

מאמר המקור

Makumburage, G. B., and Stapleton, A. E. 2011. Phenotype uniformity in combined stress environments has a different genetic architecture than in single-stress treatments. *Front. Plant Sci.* 2:12. doi: 10.3389/fpls.2011.00012

מקורות

1. Makumburage, G. B., and Stapleton, A. E. 2011. Phenotype uniformity in combined-stress environments has a different genetic architecture than in single-stress treatments. *Front. Plant Sci.* 2:12. doi: 10.3389/fpls.2011.00012
2. Landers, D. A., and Stapleton, A. E. 2014. Genetic interactions matter more in less-optimal environments: a focused review of "phenotype uniformity in combined-stress environments has a different genetic architecture than in single-stress treatments" (Makumburage and Stapleton, 2011). *Front. Plant Sci.* 5:384. doi: 10.3389/fpls.2014.00384

3. Geiler-Samerotte, K., Bauer, C., Li, S., Ziv, N., Gresham, D., and Siegal, M. 2013. The details in the distributions: why and how to study phenotypic variability. *Curr. Opin. Biotechnol.* 24:752–9. doi: 10.1016/j.copbio.2013.03.010
4. Soave, D., Corvol, H., Panjwani, N., Gong, J., Li, W., Boille, P. Y., et al. 2015. A joint location-scale test improves power to detect associated SNPs, gene sets, and pathways. *Am. J. Hum. Genet.* 97:125–38. doi: 10.1016/j.ajhg.2015.05.015

פורסם אונליין: 25 בינואר 2019

נערך על ידי: Fulvio D'Acquisto, Queen Mary University of London, United Kingdom

ציטוט: McKissick K and Stapleton AE (2019) האם לחץ עלול לשנות אותנו? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2017.00048-he

תורגם והותאם:

McKissick K and Stapleton AE (2017) Does Stress Change Who We Are? *Front. Young Minds* 5:48. doi: 10.3389/frym.2017.00048

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

McKissick and Stapleton 2017 © **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 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

SLAUSON MIDDLE SCHOOL, גיל: 11-12

אנו כיתה ו' מבריקה שאוהבת כיף, בכיתת המדע של גברת Cowhy, בחטיבת הביניים של בית הספר Slauson. חטיבת הביניים של בית הספר Slauson מחויבת להצלחה חינוכית של ילדים בכיתות ו' עד ח', ב-Ann Arbor, מישוין, ארצות הברית. סיימנו את הסקירה הזו בעזרת המנחה המדעית שלנו, ד"ר Pamela Wong.

הכותבים

KATHERINE MCKISSICK

המְחַבֶּרֶת והמאירת של "ביאטריס הביולוגית" (*Beatrice the Biologist*). בעבר, הייתה מורה לביולוגיה בבית ספר, שפשוט אוהבת לדַבֵּר, לכתוב ולקרוא מדע. מבסיסה שבלוס אנג'לס, McKissick תורמת לבלוג המדע והאומנות "סימביאטיק" (*Symbiartic*), ומנחה שותפה בפודקאסט המדעי החצוף "בראנץ' מדעי" (*Science Brunch*). הספר הראשון שלה, "מה יש בגנים שלכם?" (*What's in Your Genes?*), הוא סקירה כללית, הכתובה כשיחה, בנושא גנטיקה. תוכלו למצוא את עבודותיה בכתובת: <http://www.beatricebiologist.com>.



**ANN E. STAPLETON**

המחקר של Stapleton מתמקד בבחינה ניסויית של הקשר גנוטיפ-סביבה-פנוטיפ, במודלים ובמערכות מודל. יש לה יותר מ-10 שנות ניסיון בפיתוח תשתיות סייבר לביוולוגיה. היא פרסמה בכתבי עת מאמרים בנושאי גנטיקה, ביולוגיה של הצמח, מדעי המחשב וסטטיסטיקה. בשנת 2017 הייתה יושבת ראש ועדת גרדון למחקר בגנטיקה כמותית וּגְנוֹמִית, והייתה מובילת הפקולטה לתיאום ולעיצוב המקצוע הרב-תחומי החדש - מדע הנתונים - בתוכנית המדעים לתואר שני של אוניברסיטת צפון קרוליינה Wilmington. *stapletona@uncw.edu

Hebrew version
provided by

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

