

## כיצד פירות מבשילים?

Kamaljit Moirangthem\*, Gregory Tucker

בית הספר לביו-מדעים, אוניברסיטת נוטינגהאם, Loughborough, בריטניה

### סוקר צעיר

RICCARDO  
גיל: 15



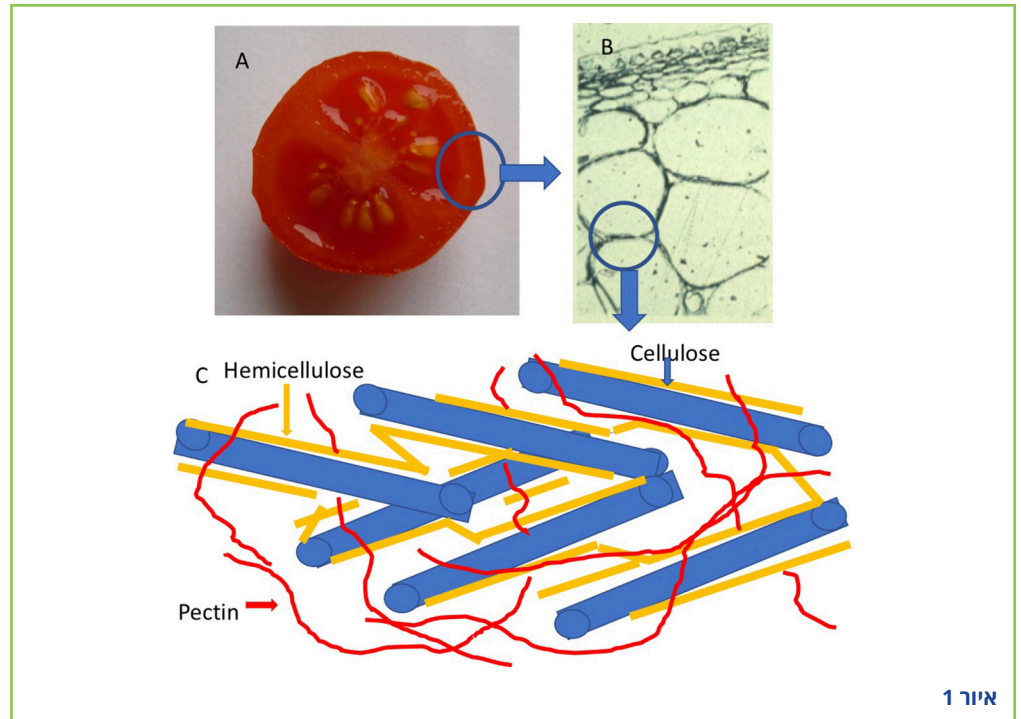
אין כמו לאכול פרי כשהוא בָּשָׁל בדיוק במידה הנכונה. בְּשָׁלוֹת מוציאה מהפרי את הטעמים והמרקמים הטובים ביותר, ואפילו ריח מעורר תיאבון. אם תאכלו את אותו הפרי שבוע לפני שהוא בשל, תחוו חוויה שונה בתכלית. מידת הבשלות של פרי משפיעה על אלה פירות אנו בוחרים בסופרמרקט. אולם ברגע שהפירות בשלים הם נוטים להתקלקל מהר, כפי שאולי שמתם לב בעצמכם. מאמר זה מְסַפֵּק תּוֹבְנוֹת לשני השינויים שמקושרים להבשלה של פירות: (1) הִתְרַכְכוּת, ו-(2) טעם, בפרט מְתִיקוֹת, כמו גם לתפקידו של גז הָאֵתִילֵן ששולט על הבשלתם של הפירות.

### לפני שאנו מסתכלים על איך שולטים בהבשלה של פירות, בואו נראה כיצד פירות מבשילים

כאשר עצים נושאי פרי גדלים הפירות צוברים מים וחומרי מזון מהצמח, ומשתמשים בחומרים אלה כדי ליצור את הבשר והזרעים שלהם. מרבית הפירות שגדלים מְסַפֵּקים תחילה הגנה לזרעים המתפתחים. בשלב זה, פירות הם בדרך כלל קשים ואינם מושכים עבור טורפים – כולל אותנו! לאחר התפתחות הזרע וגדילת הפרי מאפייני הפרי משתנים וגורמים לפרי להיות מושך יותר עבור צרכנים פוטנציאליים כמו חיות, ציפורים ובני אדם [1]. השינויים האלה כוללים את הדרכים הנפוצות ביותר שבאמצעותן אנו בוחרים אם פרי בשל או לא, כולל סממנים חיצוניים כמו רְפוּת למגע, וסממנים פנימיים כמו מתקיות. פירות מְשֻׁנֵּים גם את צבעם בעת ההבשלה. זה קורה בעקבות התפרקות של פיגמנט (צֶבֶעַן) ירוק שנקרא כלורופיל, כמו גם היווצרות

**איור 1**

מבנה דופן התא של צמחים  
**A.** מבנה דופן התא של  
 עגבניה, שאפשר לצפות בו  
 בהגדלה במיקרוסקופ. **B.**  
 אפשר לראות שהתאים  
 מוקפים בדפנות תאים  
 שמורכבות מרבי-סוכרים, אשר  
 מסומנים בעיגול כחול. **C.** דופן  
 התא מורכבת משלושה  
 מרכיבים עיקריים שנקראים  
 צלולוז, המיצלולוז ופקטין.  
 צלולוז = Cellulose  
 המיצלולוז = Hemicellulose  
 פקטין = Pectin



איור 1

**דופן התא  
 (Cell wall)**

מבנה מורכב שבנוי בעיקר  
 מרבי-סוכרים אשר מקיפים את  
 תאי הצמח, ומספקים את  
 המבנה והקשיחות של התאים.

**רב-סוכר  
 (Poly saccharide)**

מולקולה שמורכבת  
 משרשראות ארוכות של  
 סוכרים, כמו למשל גלוקוז,  
 אשר מחוברים יחד ויוצרים  
 שרשראות ישרות או  
 מסתעפות.

**צלולוז  
 (Cellulose)**

רב-סוכר שמצוי בדופן התא  
 ומורכב משרשראות ארוכות  
 של גלוקוז.

**המיצלולוז  
 (Hemicelluloses)**

קבוצה של רב-סוכרים שמצויה  
 בדופן התא. ההמיצלולוז  
 מורכב משרשראות ארוכות של  
 סוכרים אשר כוללות בדרך כלל  
 גלוקוז, קסילוז, אראבינוז,  
 גלקטוז ומנוז.

**פקטין  
 (Pectin)**

קבוצה של רב-סוכרים שמצויה  
 בדופן התא. הפקטין מורכב  
 משרשראות ארוכות  
 ומסתעפות של סוכרים,  
 שכוללים בדרך כלל חומצה  
 גלקטורוניט, רמנוז, גלקטוז  
 ואראבינוז.

והצטברות של פיגמנטים אשר אחראיים על גוונים שונים, למשל גוונים אדומים, סגולים או כחולים (פיגמנט אנתוציאנין), או גוונים אדומים בוהקים, צהובים וכתומים (פיגמנט קרוטנואיד).

ראשית, כיצד מוֹסֶתֶת מידת הרכות של הפרי? הרכות או הקשיחות של הפרי נקבעת על-ידי מצבן של **דפנות התא** שלו. דפנות התא מקיפות כל תא של הצמח ומכילות שכבה קשיחה של סוכרים, שנקראים **רב-סוכרים**, אשר סוגרים את קרום הפלזמה של כל תא (איור 1). שלושת רבי-הסוכרים העיקריים שבדופן התא הם **צלולוז, המיצלולוז ופקטין**. צלולוז מורכב ממאות יחידות של גלוקוז אשר מחוברות יחד ויוצרות שרשרת ארוכה; המיצלולוז גם הוא שרשרת ארוכה של סוכרים, אולם שלא כמו צלולוז הסוכרים האלה יכולים לכלול הרבה סוגים שונים של חד-סוכרים כמו גלוקוז, קסילוז, גלקטוז ומנוז. במקום להיות שרשראות ישרות של סוכרים, המבנה של המיצלולוז הוא מסועף; גם פקטינים הם שרשראות ארוכות ומסתעפות של סוכרים, אולם במקרה הזה הסוכרים הם חומצה גלקטורוניט, רהמנוז, גלקטוז ואראבינוז. כאשר דופן התא מתחילה להתפרק, הפרי מתחיל להתרכך [2]. התפרקות דופן התא מתרחשת כאשר חלבונים שנקראים אנזימים ממיסים את רבי-הסוכרים החשובים שבדופן התא. הפעילות של האנזימים האלה מקושרת ישירות לחיי המדף של הפרי ולמרקמו [2]. רכות של פירות מושפעת גם מלחץ הנוזלים בתוך קרום הפלזמה של התא, שנקרא לחץ טורגור (Turgor pressure). לחץ טורגור משאיר את הפרי קשיח, בדיוק כמו שלחץ אוויר בתוך בלון משאיר את הבלון קשיח. אחרי התבגרות או קציר פירות מאבדים נוזלים (מים), מה שגורם לירידה בלחץ טורגור ולהצטמקות של הפרי. בפירות כמו תותים, כאשר הפרי מאבד 6%-10% מהנוזלים שלו הוא כבר לא נראה טוב, ועשוי שלא להיבחר על-ידי צרכנים.

בואו נדון כעת באופן שבו הבשלה של פירות מוציאה לאור את הטעם של הפרי, ובפרט את המתקויות של הפרי. במהלך ההבשלה מתרחשת עלייה בקצב הפירוק של עמילן בתוך

הפרי, ובהתאם עלייה בכמות הסוכרים הפשוטים שטעמם מתוק כמו סוכרוז, גלוקוז ופרוקטוז. התהליך מובהק במיוחד בהבשלה של בננות. טעמן של בננות ירוקות אינו מתוק כלל, וככל שהן מבשילות טעמן הולך וממתיק. ישנה גם ירידה בחומציות ככל שהפרי מבשיל, וירידה בכמותם של חומרי הפרי המרירים, כמו למשל אלקלואידים. לבסוף, כאשר הפירות מבשילים הם מייצרים תרכובות מורכבות שמשוחררות אל האוויר, אשר מספקות לפרי הבשל את הארומה הנעימה שלו.

באמצעות השינויים האלה פירות מבשילים ונעשים מתוקים, צבעוניים, רכים ובעלי טעם טוב. עבור הצמח, משתלם להשקיע משאבים בפרי ובהבשלתו מאחר שפרי בשל מושך את הצרכנים שמסייעים להפרות את הפרי (כלומר לפזר את הזרעים שלו למרחק), מה שחשוב עבור הישרדות הצמח וגדילתו מחדש.

## כיצד אנו יכולים לעצור את הבשלתם של פירות במהלך האחסון והשינוע?

דאגה עיקרית שנוגעת להבשלה של פירות היא שההבשלה אינה נמשכת זמן רב טרם שהפרי מתחיל להרקב. אובדן הקשיחות וייצור הסוכרים, שמקושר עם הבשלה, יכול גם לגרום לפרי להיות פגיע על-ידי פתוגנים כמו בקטריה, וכן להירקב. התרככות יתר של פרי היא גורם עיקרי להירקבות במהלך השינוע, בפרט עבור פירות טרופיים כמו מנגו ובננה. הירקבות יכולה להיות מופחתת באמצעות שינוע מהיר של פירות טרופיים, או על-ידי האטה של הבשלת הפרי. ישנן כמה דרכים להאט הבשלה של פירות. דרך אחת להאט את ההבשלה היא באמצעות הורדת הטמפרטורה (קירור). בדרך כלל משתמשים בטמפרטורות קרות, מעל לטמפרטורת הקפיאה. אף על פי שאפשר להקפיא את כל הפירות, לאחר ההפשרה פירות רבים מאבדים מטעמם, והמרקם שלהם נעשה רך מאוד. פטל הוא יוצא דופן – לעיתים קרובות אפשר למצוא במכולת פטל קפוא. בדרך כלל, כדי להקפיא פרי מסוים חותכים אותו לחתיכות קטנות, ואז כשהוא מפשיר אפשר להשתמש בחתיכות האלה כדי להכין מִחִית או שייק פירות. החדשות הטובות הן שהקפאה נוטה לשמר את הערך התזונתי של הפרי. פירות מסוימים, כמו בננה, יכולים להינזק על-ידי קירור, ועובדה זו מגבילה את הגישה שתוארה לעיל [2]. זו הסיבה לכך שאיננו מאחסנים בננות במקרר! דרך נוספת להאט את ההבשלה היא באמצעות שליטה באטמוספירה שסביב לפרי, בעיקר על-ידי הגדלת ריכוזי הפחמן הדו-חמצני והפחתת ריכוזי החמצן. פרי זקוק לחמצן כדי להבשיל, כך שאם יש פחות חמצן באטמוספירה הפרי יבשיל לאט יותר. דרך נוספת להאט הבשלה היא חסימת פעולתו של האַתִּילֵן. אתילן הוא הורמון שדרוש כדי לעורר את הבשלת הפרי, והוא יכול להיחסם על-ידי שימוש בתרכובות מלאכותיות כמו למשל 1-מתיל-ציקלו-פרופן (1-MCP: 1-methyl-cyclo-propene). אפשר להשתמש ב-1-MCP גם כדי לשמור על רעננותם של פרחים שנקטפו.

## אפשר להשתמש בגז אתילן כדי לְוֹסֵת את הבשלת הפרי

אתילן הוא גז שִׁמְכָר בתור "הורמון הבשלת הפרי". כל פרי מייצר כמות כלשהי של אתילן במהלך מחזור חייו. אולם בחלק מהפירות, רמות האתילן עולות בחדות כאשר הפרי מתחיל להבשיל. אפשר לסווג פירות לשתי קבוצות עיקריות, בהתבסס על תגובתם לאתילן במהלך

### אתילן (Ethylene)

גז (נוסחה כימית  $C_2H_4$ ) שמוצר על-ידי צמחים ומְכָר בתור "הורמון ההבשלה", אשר מעורר את הבשלתם של פירות.

ההתבגרות. הקבוצה הראשונה נקראת פירות קְלִימְקָטְרִים, שבהם ההבשלה מְלֵאָה בעלייה חדה ברמות האתילן. הפירות האלה יכולים להגיב בהבשלה מואצת גם לאתילן שמגיע אליהם ממקור חיצוני. פירות אלה כולל פירות בשרניים כמו עגבניה, אבוקדו, תפוח, מְלֹן, אפרסק, קיווי ובננה. הקבוצה השנייה נקראת פירות לא קְלִימְקָטְרִים, ובה ייצור האתילן אינו מתגבר במהלך ההבשלה. אולם, הפירות האלה עדיין יכולים להבשיל אם הם נחשפים למקור אתילן חיצוני, בדומה לפירות קְלִימְקָטְרִים. פירות אלה כוללים תותים, ענבים ופירות הדר [3]. אנו נתמקד בהבשלה של פירות קְלִימְקָטְרִים שמושפעים מאתילן.

עבור פירות קְלִימְקָטְרִים, חשיפה לריכוז ראשוני נמוך של אתילן גורמת לפרי לייצר בעצמו כמויות גדולות יותר של אתילן, עד להגעה לריכוז שיא [4]. העלייה הזו בריכוז האתילן מעוררת עלייה בקצב חילוף החומרים של הפרי, וגורמת לשינויים שהפרי עובר במהלך ההבשלה. הבשלה של פירות קְלִימְקָטְרִים יכולה, לכן, להיות מואצת באמצעות הפחתת כמויות האתילן שהפירות מייצרים, או חסימת פעולתו של האתילן [5]. השיטות שתיארנו לעיל להאטת הבשלת הפרי פועלות בדרך זו, מאחר שבאופן כללי טמפרטורות נמוכות מפחיתות את חילוף החומרים של הפרי. אטמוספירה מבוקרת מגבילה את כמות החמצן סביב לפירות, וחמצן דרוש לייצור של אתילן. פעולת האתילן מדוכאת על-ידי פחמן דו-חמצני ועל-ידי 1-MCP. שיטה אחרת להאטת ההבשלה היא הסרה של אתילן מסביבת אחסון הפרי על-ידי חומרים שסופחים אתילן, כמו למשל אשלגן פרמנגנט. ברגע שהפרי מגיע לנקודת היעד שלו, אפשר להבשיל אותו באמצעות חשיפה לגז אתילן.

השפעתו של אתילן על הבשלת הפרי תלויה בגורמים רבים. הפירות צריכים להיות בוגרים מספיק כדי להיות מסוגלים להגיב לאתילן בצורה יעילה. אצל זְנֵי פירות רגישים במיוחד, כמו מלונים ובננות, אתילן מעורר באופן מיידי את ההבשלה, אולם ככל שהפרי צעיר יותר נדרשת כמות אתילן גדולה יותר כדי לגרום להבשלה. אצל זְנֵי פירות רגישים פחות, כמו עגבניות ותפוחים, טיפול באתילן מפחית את פרק הזמן לפני שההבשלה מתרחשת. חלק מהפירות, כמו אבוקדו, אינם מבשילים בעודם מחוברים לעצים, ומגבירים באופן הדרגתי את רגישותם לאתילן לאחר קצירתם [6].

## מדוע פרי רקוב מרקִיב את כל הסל? כיצד הַיָּדֵע הזו יכול לסייע לנו?

כל הצמחים מייצרים אתילן במהלך מחזור חייהם. ייצור אתילן יכול להתגבר עד פי 100 ויותר במהלך שלבים מסוימים בחיי הפרי – למשל, בתגובה לפצע [1]. מצרים קדמונים נהגו לחתוך תאנים כדי להאיץ את הבשלתן, מאחר שהאתילן שמיוצר על-ידי רקמת הפרי הפצוע מעורר את תגובת ההבשלה. באופן דומה, הסינים הקדמונים נהגו להבעיר קטורת בחדרים סגורים שבהם אוחסנו אגסים, מאחר שבעירת הקטורת שֶׁחֶרְרָה אתילן בתור תוצר לוואי. הָאִמְרָה "תפוח מקולקל אחד יכול להרקִיב את כל הסל", מבוססת על שחרור של אתילן מתפוחים נרקבים, מה שמאיץ את הבשלתם של תפוחים אחרים בסביבת התפוח הנרקב [5].

בגז אתילן נעשה שימוש מסחרי עבור הבשלת פירות אחרי שהם נקטפו. פירות כמו עגבניות, בננות ואגסים נקצרים ממש לפני שהבשלתם מתחילה (בדרך כלל בשלב שבו הפרי קשיח וירוק, אולם בוגר). כך נותר זמן לאחסן את הפרי ולשנע אותו למקומות מרוחקים. ברגע שהפרי

מגיע ליעדו ההבשלה מבוצעת בתנאים מבוקרים. בדרך כלל היא מבוצעת בחדרי הבשלה מיועדים, בעלי תנאים אופטימליים של טמפרטורה, לחות וריכוז אתילן. התנאים המיוחדים האלה גורמים לפרי להבשיל בקצב עקבי. במרכולים אתם עשויים להיתקל בפירות כאלה, אשר מכונים "Ripe 'n' Ready" [5]. בדרך כלל, משתמשים בריכוזים נמוכים של אתילן עבור הבשלה מסחרית של פירות, מאחר שזה כל מה שנדרש כדי לעורר את תגובת ההבשלה הטבעית של הפרי. עד שהפרי אשר טופל באתילן מגיע לצרכן, האתילן שסופק מבחוץ כבר איננו בנמצא, והפרי מייצר את האתילן בעצמו. הן אתילן והן סוכן הבשלה נפוץ נוסף, מתיל יסמונט, ידועים כבלתי רעילים עבור בני אדם; אולם הם יחסית יקרים.

## נסו זאת בבית!

הבנת השפעתו של אתילן על תוצרת טרייה יכולה להיות מועילה עבור הבשלת פירות במטבח שלנו.

- אם יש בידיכם אבוקדו לא בשל, או פירות לא בשלים אחרים, נסו לשים אותם בתוך שקית נייר עם בננה בשלה. זה יאיץ את הבשלת האבוקדו (או הפירות האחרים) מאחר שהבננה הבשלה משחררת אתילן, והאתילן הזה יעורר את התגובה הקלימקטרית של האבוקדו. אסטרטגיה זו פועלת כאשר הפרי הבשל הוא כזה שמשחרר ריכוזים גבוהים מספיק של אתילן, כמו למשל תפוח, אגס, בננה או פסיפלורה [5].
- נסו לשים בשקית נייר לימון ירוק יחד עם בננה מבשילה, וראו מה קורה לצבע של הלימון. משתמשים באתילן גם כדי "להסיר" את הצבע הירוק של פירות הדר, באמצעות המרצת פירוקו של הפיגמנט הירוק (כלורופיל), מה שגורם להיצבעות הקליפה בצהוב או בכתום. במקרה כזה הטעם אינו נפגם מאחר שזהו המשך של תהליך טבעי במחזור חייו של הצמח.

אם תנסו את הדברים האלה בבית, זכרו שהבשלה מתבצעת הכי טוב בטמפרטורת החדר, בסביבות 20 מעלות צלזיוס, מאחר שטמפרטורות נמוכות יכולות להשבית את פעולתם של אנזימים חשובים בהבשלת פירות. לכן, כדאי לערוך את הניסוי הזה מחוץ למקרר.

## מקורות

1. Grierson, D. 2013. "Ethylene and the control of fruit ripening," in *The Molecular Biology and Biochemistry of Fruit Ripening*, eds Grahman, S., Mervin, P., James, G., and Gregory, T. (Boston: Blackwell Publishing Ltd), 43–73.
2. Osorio, S., Fernie, A. R. 2013. "Biochemistry of fruit ripening," in *The Molecular Biology and Biochemistry of Fruit Ripening*, eds Grahman, S., Mervin, P., James, G., and Gregory, T. (Boston: Blackwell Publishing Ltd), 1–19.
3. Alexander, L. 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *J. Exp. Bot.* 53, 2039–2055. doi: 10.1093/jxb/erf072

4. Mazonde, B., Mujuru, F., and Muredzi, P. 2017. Design of a controlled atmospheric storage facility for climacteric fruits. *Int. J. Rural Dev. Environ. Health Res.* 1, 47-59.
5. Frontline Services. 2015. *Fruit Ripening Gas – Ethylene*. Available at: [http://www.frontlineservices.com.au/Frontline\\_Services/Fruit\\_ripening\\_gas\\_-\\_ethylene.html](http://www.frontlineservices.com.au/Frontline_Services/Fruit_ripening_gas_-_ethylene.html) (Accessed: November 2, 2017).
6. Brady, C. J. 1987. Fruit ripening. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 38, 155-178. doi: 10.1146/annurev.pp.38.060187.001103

**פורסם אונליין:** 31 בינואר 2019

**נערך על ידי:** Gianpiero Vigani, Università degli Studi di Torino, Italy

**ציטוט:** Moirangthem K and Tucker G (2019) כיצד פירות מבשילים? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2018.00016-he

#### **תורגם והותאם:**

Moirangthem K and Tucker G (2018) How Do Fruits Ripen? *Front. Young Minds* 6:16. doi: 10.3389/frym.2018.00016

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

**COPYRIGHT** © Moirangthem and Tucker 2018. 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.

## **סוקר צעיר**

### **RICCARDO, גיל: 15**

הי, קוראים לי Riccardo ואני בן 15. אני מתעניין במדע, ובפרט בביוטכנולוגיה ובפיזיקה. אני מתאמן בחתירה בקאנו מאז שנת 2014 מאחר שאני אוהב סוגי ספורט שמבוצעים בחוף. אני אוהב לקרוא מאמרים מדעיים וללמוד על מדע; לכן אני שמח מאוד להיות חלק מקהילת Frontiers for Young Minds.

## **הכותבים**

### **KAMALJIT MOIRANGTHEM**

Kamaljit הוא מהנדס ביוטכנולוגיה בעל עניין מחקרי בשימוש בצמחים עבור ייצור מוצרים בעלי ערך כמו ביו-דלקים, שהם דלקים אשר מופקים מחומרים ביולוגיים, כמו למשל קש חיטה, או תוספי תזונה המופקים ממזון אולם מוסיפים לו תועלת בריאותית. מחוץ למחקר שלו הוא נהנה לקחת חלק בתקשורת המדע, במעורבות ציבורית, במדיניות של מדע ובצד הפרסומי של מדע. [\\*kamaljit.moirangthem@hotmail.com](mailto:kamaljit.moirangthem@hotmail.com)





### GREGORY TUCKER

Gregory Tucker הוא פרופסור לביוכימיה של הצמח באוניברסיטת נוטינגהאם. העניין המחקרי העיקרי שלו הוא בביוכימיה ובביולוגיה מולקולרית של דופן התא של צמחים. המחקר שלו מתמקד במנגנונים של התפרקות דופן התא במהלך ההבשלה, והזדקנות של פירות וירקות. התפרקות דופן התא גורמת להתרככות הפרי, ולכן תמרון של התהליך הזה, למשל באמצעות התערבות גנטית או באמצעים פיזיו-כימיים, מאפשרת להאריך את חיי המדף של המוצרים האלה ולהפחית את כמות הפסולת שנוצרת.

Hebrew version  
provided by

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

