

סיפור טעים מאוד עשוי שוקולד

Caren Rodriguez-Medina^{1*}, Sebastian Escobar¹, Alejandro Caro-Quintero², Roxana Yockteng^{2,3}

¹המכון הקולומבי לחקירות אגרופקוואריה-אגרוסאווייה, המרכז לחקירות של פלמירה, פלמירה, קולומביה
²המכון הקולומבי לחקירות אגרופקוואריה-אגרוסאווייה, המרכז לחקירות של טיביאיסטה, מוסקרה, קולומביה
³UMR-CNRS 7205, המוזיאון הלאומי להיסטוריית הטבע, פריז, צרפת

סוקרים צעירים

DANIEL

גיל: 12



OLI

גיל: 13



SHEENA

גיל: 12



SHIRIN

גיל: 14



האם ידעתם ששוקולד מופק מפולים שנקצרים מפירותיו של עץ שנקרא קקאו (*Theobroma cacao*)? הפירות האלה הם תרמילים צהובים או אדומים שמכילים פולים המכוסים בציפה מתוקה-מרה. קקאו הגיע מאזור האמזונס, ומסיבה זו בדרום אמריקה מצוי המגוון הגנטי העשיר ביותר של מיני הקקאו. הטעם המיוחד של כל שוקולד תלוי בגנטיקה ובתהליך של הפיכת זרעי הקקאו לקוביות שוקולד. לתרבות של קקאו יש סיפור מרתק שעברו אנו צריכים "לטייל" אחורה בזמן. הסיפור מתחיל בעבר הרחוק עם תרבויות ילידות שצרכו קקאו כמשקה, ושעבורן פולי הקקאו היו סמל לכוח. אחרי ההתיישבות הספרדית באמריקה, תרמילי קקאו נלקחו לאירופה. במאמר הזה נלמד על ההיסטוריה והחשיבות של קקאו עבור חלק מהתרבויות; על המגוון הגנטי של מיני קקאו ועל הפיכתם של פולי קקאו לשוקולד.

מאיפה שוקולד מגיע?

שוקולד מתקבל מתהליך ההתמרה של פולים שנקצרים מפירותיו של עץ שנקרא קקאו (*Theobroma cacao*). פולי קקאו מוסרים מתרמילי הפרי הצהובים או האדומים שנלקחים מעצי קקאו, והם מותמרים לשוקולד דרך כמה צעדים כמו למשל **התססה**, יבוש וקלייה.

טעם השוקולד מושפע מגורמים שונים: ה**גנוטיפ** של הקקאו; תנאי הגידול של עצי הקקאו והאופן שבו מטפלים בפולים אחרי הקצירה. קקאו הגיע במקור מאזור האמזונס בדרום אמריקה, שבו מצוי המגוון הגדול ביותר של מיני קקאו. קקאו מילא תפקיד חשוב בהיסטוריה של חלק מהתרבויות הילידות הקדם-היספניות, והוא נלקח לאירופה על ידי הספרדים שהגיעו ליבשת אמריקה.

האם הקקאו היה חשוב לתרבויות קדומות?

עץ הקקאו מילא תפקיד חשוב בארגון חברתי והפוליטי של כמה תרבויות קדם-ספרדיות ממרכז מקסיקו, דרך בליז, גוואטמלה, אל סלבדור, הונדורס, ניקרגואה וצפון קוסטה ריקה, שנהגו לחיות באזור המזו-אמריקאי לפני הגעת החוקרים הספרדים. במזו-אמריקה הקדם-היספנית, קקאו היה סימן של אושר וכוח. מחקרים ארכיאולוגיים מצאו דברים מעניינים על צריכת שוקולד בחברות קדומות. לדוגמה, עבור הילידים של תקופת המאיה הקלאסית המאוחרת, שתיית שוקולד הייתה מקושרת עם אירועים חשובים כמו למשל בריתות פוליטיות; הכנות לנישואים והסכמים חברתיים בין אנשים [1]. פולי קקאו גם נעשו מטבע יקר-ערך עבור עסקאות מסחריות. הרגאות מציעות שעץ הקקאו שימש גם בטקסי הלוויות, כדי להזין את האנשים שהתחילו את מסעם לעבר העולם הבא. ההשערה הזו נתמכה על ידי זרעי קקאו שנמצאו במערות קבורה. במקרה של האימפריה האצטקית, שתיית שוקולד הייתה סמל לכוח פוליטי ויוקרה חברתית, ותרמה להולדתן של אליטות, קבוצה קטנה של אנשים שהחזיקו בכוח פוליטי וכלכלי [2].

כיצד קקאו הגיע לאירופה?

הספרדים שהגיעו ליבשת אמריקה העבידו אנשים שחיו שם, ודרשו פולי קקאו כתשלום. מאחר שקקאו היה סמל לעושר ולסטטוס חברתי בקרב תרבויות ילידות מזו-אמריקאיות, הספרדים נמשכו למרבית האזורים שבהם יוצר קקאו. אחרי הגעת הספרדים, הייצור של קקאו נמשך זמן רב בידיהם של האנשים המקומיים, שהיו צריכים להגדיל את הייצור כדי לשלם את המס שלהם לספרדים, ושעדיין יישאר להם מספיק קקאו למכירה [3].

עצי הקקאו הראשונים שגודלו מחוץ לאמריקה יוסדו באפריקה בשנת 1590 על ידי הספרדים, במה שידוע כגינאה המשוונית, מושבה ספרדית לשעבר [3]. צריכת שוקולד התרחבה מספרד לאיטליה, ולאחר מכן לצרפת ולאנגליה. בתחילה, קקאו שימש כדי להכין משקה שנצרך על ידי החברות האריסטוקרטיות הגבוהות [3].

קמרון וגאנה היו מגדלות הקקאו הראשונות ביבשת אפריקה הראשית, משנות ה-1870 המאוחרות [3]. כיום, ייצור הקקאו הגדול ביותר מתרחש בחוף השנהב, גאנה ובאינדונזיה.

התססה

(Fermentation)

תהליך שמוביל לשינויים כימיים בפולי הקקאו דרך פעולם של מיקרובים, כולל שמרים וחיידקים.

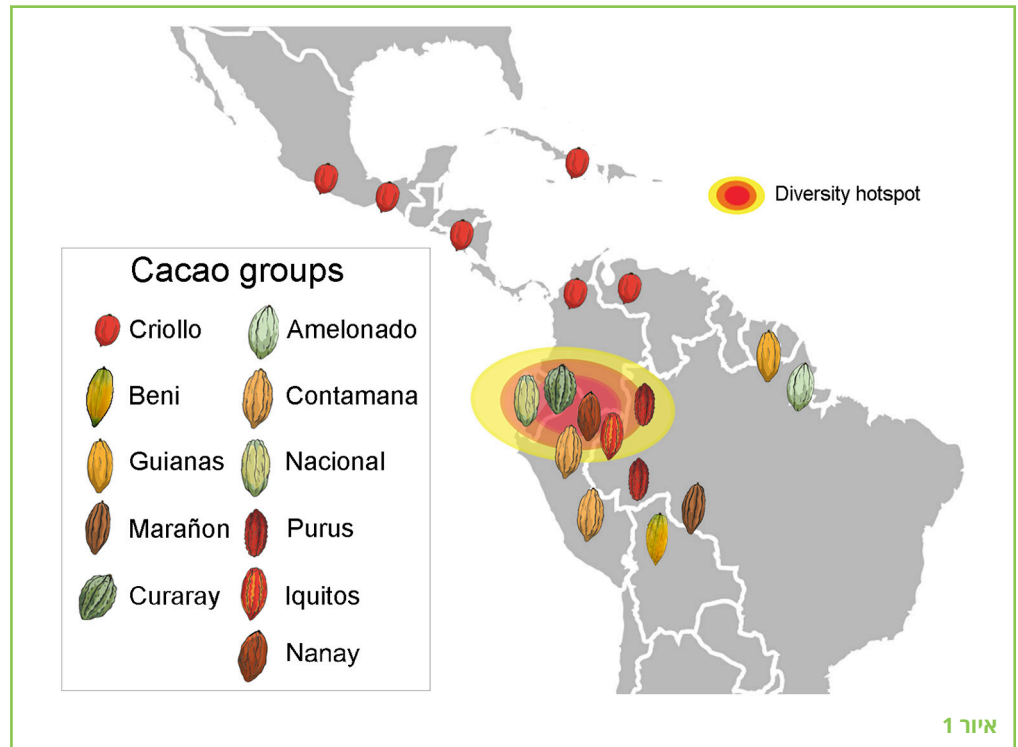
גנוטיפ

(Genotype)

המכלול הגנטי של כל אורגניזם, שמקנה לו את מאפייניו הייחודיים.

איור 1

התפלגות גיאוגרפית של קבוצות קקאו שנבדלות בגנים ובמאפיינים המבניים שלהן. קקאו הגיע מאזור האמזונס של דרום אמריקה, ולכן ישנו מגוון גדול של צמחי קקאו באזור הזה, מה שמכונה "נקודה חמה" של מגוון (diversity hotspot).



מעניין מאוד שלמרות שהקקאו הגיע מהאזור הטרופי של אמריקה, ולמרות המגוון הגדול של עצי קקאו שמצוי שם, היצרנים העיקריים של קקאו כיום הן מדינות אפריקה!

האם כל הקקאו הוא אותו הדבר?

קקאו הגיע מאזור האמזונס בדרום אמריקה. מאז הופעתו, קקאו התפתח לסוגים שונים מאחר שהוא מגודל באוכלוסיות גיאוגרפיות שונות. בהתחלה חשבו שישנן שתי אוכלוסיות של קקאו, עם מקורות שונים: אחת ממרכז אמריקה, והשנייה מדרום אמריקה. שתי הקבוצות האלה זוהו בהתחלה כשני תת-מינים שנקראו קקאו ו- *sphaerocarpum* [4], שגם זהו כשני סוגי הקקאו הידועים בשמותיהם קרילו ופורסטרו, בהתאמה. תת-המינים האלה היו שונים לא רק במקום שבו הם גדלו, אלא גם בחלק מהמאפיינים המבניים שלהם. ההכלאה בין עצי קרילו ופורסטרו הולידה סוג שלישי, שידוע בשם טריניטריו. כיום אנו יודעים שקרילו, כמו גם סוגי קקאו אחרים, הגיעו מאוכלוסיה קדמונית בדרום אמריקה, והתפשטו למרכז אמריקה רק כשבני אדם היגרו לשם. אנו גם יודעים כיום שאפשר לחלק קקאו לא רק לשתיים או שלוש קבוצות, אלא ליותר מ-10 קבוצות גנטיות שונות [4] (איור 1).

האם הטעם תלוי בגנוטיפ של הקקאו?

טעם של שוקולד מושפע מגורמים שונים: מגוון הקקאו (שנקרא גֶנוֹטיפ); תנאי הגידול של עצי הקקאו; כיצד הפולים מטופלים אחרי הקצירה; תהליך ההתססה (שיתואר בהמשך) ותהליך הייבוש, כמו גם עיבוד הפולים לשוקולד, שבו לקלייה יש השפעה מיוחדת על הטעם.

איור 2

מעצים לשוקולד: כיצד פולי קקאו מותמרים. 1. קציר קקאו; 2. פתיחת פירות והסרת הפולים; 3. התססה; 4. ייבוש; 5. קלייה ו-6. טחינה. איור על ידי רפאל יוקטנג.



איור 2

גנוטיפ הקקאו קובע את הסוג והריכוז של תרכובות כימיות שמאוחסנות בתוך הזרע, הידועות בשם **קודמני טעם**, כמו למשל הפחמימות והחלבונים שמיוצרים במהלך ההתססה. קודמני הטעם ממלאים תפקיד חשוב בטעם ובארומה הסופיים של השוקולד. טעם השוקולד הטיפוסי מיוצר ברגע שקודמני הטעם מותמרים, במהלך הקלייה של פולי הקקאו, לתרכובות מפתח, אשר כתלות בגנוטיפ יכולות להיות בעלות נגיעות של טעם פרחים, שוקולד, קרמל, אגוזים, או פירות [5].

קודמני טעם

(Flavor Precursors)

תרכובות כימיות מסימות שמאוחסנות בתוך הזרע, כמו למשל קרבוהידרטים וחלבונים אשר מותמרים במהלך ההתססה, וממלאים תפקיד חשוב בעיצוב הטעם הסופי של השוקולד.

מהחווה לטבלת שוקולד: התמרת פולי קקאו לשוקולד

ההתמרה של פולי קקאו לשוקולד כוללת כמה תהליכים כמו למשל התססה וייבוש, אשר מבוצעים על ידי היצרן בחוות השוקולדים, אחרי שהפירות הבשלים נקצרו. תהליך נוסף הוא קלייה, שמבוצעת במהלך העיבוד כדי להתמיר את פולי הקקאו לשוקולד.

התססה של קקאו

התססה של פולי קקאו היא אחד התהליכים הבסיסיים של ייצור הטעם הנפלא ומאפייני הארומה של השוקולד [6]. התססה של פולי קקאו מבוצעת באמצעות מכשירים שנקראים תַּסְסִים. התססים השכיחים ביותר הם קופסאות עץ שמכילות בין 100 ל-400 קילוגרמים של פולים. התססה אורכת בין 4 ל-7 ימים, והתהליך מבוצע דרך פעילותם של מיקרובים, כולל שמרים וחיידקים.

התהליך מתחיל כאשר פירות הקקאו נקצרים ונפתחים, והזרעים ממוקמים בתַּסְס (איור 2). בדרך כלל, חקלאים נותנים לזרעים "לשבת" בלי להתערבב במשך 24-48 שעות. בנקודה הזו, החיידקים והשמרים (כמו אלה שמשמשים להכנת בצק פיצה ולחם) יתחילו לגדול על הפולים, לאכול את הציפה הלבנה שמכסה אותם, להתמיר אותם לתרכובות כימיות כמו למשל אתנול ולפרק תרכובות אחרות שגורמות לטעמים בלתי רצויים, כמו מרירות.

כ-48 שעות אחרי שההתססה החלה, החקלאי יתחיל לערבב את הזרעים, מה שיכניס חמצן לתוך התסס. ההכנסה של חמצן מתעדפת גדילה של קבוצות חיידקים אחרות שמשמשות באֶתְנֹל ומייצרות חומצה אצטית. החומצה האצטית שמויצרת על ידי החיידקים האלה גורמת לתגובה כימית שמייצרת חום, עד ל-51 מעלות צלזיוס. החום הזה יוביל למותם של הזרעים ולהיווצרות של קודמני טעם שמאוחר יותר ייצרו את מאפייני טעם השוקולד. לכן, מיקרובים הכרחיים לתסיסה של קקאו, ועל ידי שליטה באורגניזמים שמעורבים בהתססה ייתכן שבעתיד אפשר יהיה להפיק טעמי שוקולד מובחנים וטעימים יותר!

ייבוש קקאו

ברגע שתהליך ההתססה הושלם, פולי קקאו מיובשים במטרה להפחית את תכולת הלחות לכ-7.5%. חלק מהחקלאים פורסים פולי קקאו על פני מזרונים, רצפות עץ עם גגות מחליקים, מגשים, או ישירות על פני הרצפה תחת השמש (איור 2).

מפולי קקאו לשוקולד!

ברגע שפולי הקקאו הותססו ויובשו, הם מוכנים להיות מותמרים לשוקולד! התהליך הזה כולל קלייה; קילוף; טחינה; עידון ותהליך שנקרא **conching** (איור 2). מכל הצעדים האלה, קלייה היא הצעד החשוב ביותר מאחר שזהו התהליך שמשפיע הכי הרבה על איכות השוקולד, ויוצר את טעם השוקולד. במהלך הקלייה, פולי קקאו נחשפים לטמפרטורות שבין 110 ל-160 מעלות, לזמנים של 5 עד 120 דקות. כתוצאה מהטמפרטורות הגבוהות, קודמני הטעם שנוצרו במהלך ההתססה מגיבים זה עם זה, מה שגורם לתרכובות חדשות להפוך את טעם השוקולד טעים יותר, ולרכוש את מאפיין הצבע החום שלו [5]!

אחרי קליית פולי הקקאו, הקליפה שמכסה אותם מוסרת, והם נטחנים. על ידי תהליך שנקרא עידון, גודלם של החלקיקים המוצקים בנוזל השוקולד מופחת כדי לשפר את המרקם, כך שכאשר נאכל את השוקולד הוא ירגיש רך יותר. צעד חשוב נוסף בהתמרה נקרא **conching**, תהליך שבו נוזל השוקולד עובר חימום וערבוב אינטנסיביים, מה שמסייע לשפר את הטעם הסופי ולבטל טעמים בלתי רצויים כמו למשל טעמים חמוצים, מרים, או עפיצים [5].

מסקנות

שוקולד מופק מפולים של פרי עץ הקקאו (*Theobroma cacao*), שמקורם באזור האמזונס, מה שמסביר את העובדה שבדרום אמריקה מצוי המגוון הגנטי הגדול ביותר של מיני קקאו. עץ הקקאו מילא תפקיד חשוב במבנים החברתיים והפוליטיים של כמה תרבויות ילידים. מתיישבים ספרדים באמריקה לקחו תרמילי קקאו לאירופה, שם קקאו נעשה מוערך על ידי קבוצות עם כוח פוליטי וכלכלי. התמרתם של פולי קקאו לשוקולד כוללת שלושה צעדים חשובים: התססה, ייבוש וקלייה. טעמי השוקולד מושפעים מכמה גורמים: הגנוטיפ של הקקאו; תנאי הגידול של עצי הקקאו והשלים שלאחר הקציר, כולל התססה; ייבוש ועיבוד הפולים לשוקולד, שבו לקלייה יש השפעה משמעותית מאוד על הטעם. קקאו הוא מקור הכנסה חשוב עבור מספר משפחות בחלק ממדינות אפריקה ודרום אמריקה. כיום, ההתמרה של פולי קקאו לשוקולד מייצגת תעשייה חשובה מאוד ברחבי העולם.

Conching

תהליך שבו נוזל השוקולד עובר חימום וערבוב אינטנסיביים, אשר מסייעים לשפר את הטעם הסופי ולבטל טעמים בלתי רצויים כמו למשל חמיצות, מרירות, או עפיצות.

מקורות

1. LeCount, L. J. 2001. Like water for chocolate: feasting and political ritual among the Late Classic Maya at Xunantunich, Belize. *Am. Anthropol.* 103:935–53. doi: 10.1525/aa.2001.103.4.935
2. Henderson, J. S., Joyce, R. A., Hall, G. R., Hurst, W. J., and McGovern, P. E. 2007. Chemical and archaeological evidence for the earliest cacao beverages. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104:18937–40. doi: 10.1073/pnas.0708815104
3. Nunn, N., and Qian, N. 2010. The Columbian exchange: a history of disease, food, and ideas. *J. Econ. Perspect.* 24:163–88. doi: 10.1257/jep.24.2.163
4. Motamayor, J. C., Lachenaud, P., Wallace, J., Llor, R., Kuhn, D. N., Brown, S., et al. 2008. Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE* 3:e3311. doi: 10.1371/journal.pone.0003311
5. Santander, M., Rodriguez, J., Vaillant, F., and Escobar, S. 2019. An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: flavor formation. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1–21. doi: 10.1080/10408398.2019.1581726
6. Papalexandratou, Z., Lefeber, T., Bahrim, B., Lee, O. S., Daniel, H. M., and De Vuyst, L. 2013. *Hanseniaspora opuntiae*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus fermentum*, and *Acetobacter pasteurianus* predominate during well-performed Malaysian cocoa bean box fermentations, underlining the importance of these microbial species for a successful cocoa. *Food Microbiol.* 35:73–85. doi: 10.1016/j.fm.2013.02.015

פורסם אונליין: 07 במרץ 2022

נערך על ידי: Vincenzo Naddeo

מנחה מדעי: Samantha Hood, Claire Murray

ציטוט: Rodriguez-Medina C, Escobar S, Caro-Quintero A and Yockteng R (2022) סיפור טעים מאוד עשוי שוקולד. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00033-he

תורגם והותאם: Rodriguez-Medina C, Escobar S, Caro-Quintero A and Yockteng R (2020) A Delicious Story Made of Chocolate. *Front. Young Minds* 8:33. doi: 10.3389/frym.2020.00033

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

Rodriguez-Medina, Escobar, Caro-Quintero 2022 © 2020 © COPYRIGHT and Yockteng. 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 (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

DANIEL, גיל: 12

היי, קוראים לי Daniel ואני הולך לבית ספר מיידן ארלך. אני אוהב מדעי המחשב, מדע וגיאוגרפיה, ואני רוצה להיות מעצב מוצר כשאהיה גדול.



OLI, גיל: 13

Oli הוא נגן גיטרה נלהב שנהנה לדבר מנדרינית ולשחק במשחקי וידאו.



SHEENA, גיל: 12

היי, אני Sheena ואני הולכת לבית ספר מיידן ארלך. אני נהנית ממדע ואוהבת לערוך ניסויים מדעיים. אני נהנית מאוד מכימיה, ומערבוב דברים חדשים יחד כדי ליצור תגובות שלא ראיתי קודם לכן. אני אוהבת לנסות דברים חדשים ולגלות דברים שאנשים אחרים מעולם לא עשו לפניי.



SHIRIN, גיל: 14

היי, אני Shirin, בכיתה י, הולכת לבית הספר מיידן ארלך. אני שמחה שעזרתי בתהליך סקירת המאמר הזה. זו הייתה חוויה מהנה ששילבה את כישורי האנגלית והמדעים שלי, נהניתי מאוד מכך ואני ממליצה על כך לכל מי שיש לו תחומי עניין דומים לשלי.



הכותבים

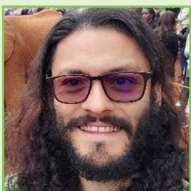
CAREN RODRIGUEZ-MEDINA

Caren Rodriguez-Medina היא דוקטורית חוקרת באגרוסביה, קולומביה, מאז דצמבר 2014. היא קיבלה את הדוקטורט שלה מאוניברסיטת אוסטרליה המערבית בפרת', אוסטרליה. אחרי קבלת הדוקטורט שלה היא עבדה כחוקרת פוסט-דוקטורנטית במכון הלאומי הצרפתי לחקר חקלאות, INRA, בקולמר, צרפת, בפרויקט שחוקר אינטראקציות צמח-פתוגן. המחקר הנוכחי של Caren באגרוסביה מתמקד בגנטיקה ובהכלאה של עץ הקקאו במטרה להגדיל את יעילותו ואת עמידותו בפני מחלות. *cdrodriguez@agrosavia.co



SEBASTIAN ESCOBAR

Sebastian Escobar עובד כדוקטור חוקר במכון מחקר פלמירה אשר שייך לתאגיד החקלאות הקולומבי של אגרוסביה בבוגוטה, קולומביה. הוא קיבל את התואר השני שלו בהנדסת תהליכים תעשייתיים, ואת הדוקטורט שלו בהנדסה כימית. כיום הוא חוקר תהליכים של הפיכת קקאו בשלב שאחרי הקצירה, כדי להפיק פולי קקאו שטעמם עָרֵב, ובסופו של דבר לקבל שוקולד איכותי. כמו כן הוא עבד בטכנולוגיות ייבוש למגזר המזון.



ALEJANDRO CARO-QUINTERO

Alejandro Caro הוא דוקטור חוקר באגרוסביה, קולומביה. יש לו תואר ראשון במיקרוביולוגיה מאוניברסיטת דה לוס אנדס, ותואר שני ודוקטורט ממכון ג'ורג'יה לטכנולוגיה. הדוקטורט שלו התמקד במידע מד"א שמטרתו להבהיר כיצד מיקרובים התפתחו, ואלה יכולות יש להם. אחרי הדוקטורט שלו, הוא עבד כחוקר פוסט-דוקטורנט באוניברסיטת טקסס. המחקר שלו באגרוסביה מתמקד בשימוש בשיטות ריצוף



בתפוקה-גבוה במטרה לשפר את הייצור והאיכות של מערכות חקלאות ומקנה. בשנת 2018 הוא היה מועמד להיות שגריר צעיר מטעם קולומביה של החברה האמריקאית למיקרוביולוגיה.



ROXANA YOCKTENG

Roxana Yockteng קיבלה את הדוקטורט שלה מאוניברסיטת פריס-סוד באורסיי, צרפת. המחקר שלה הוקדש לחקר האבולוציה של צמחים. מאז 2005 היא פרופסורית במוזיאון הלאומי של הסטוריית הטבע בפריז, והמחקר שלה מתמקד באבולוציה של אינטראקציות בין צמחים לבין אורגניזמים. היא גם עובדת כחוקרת באוניברסיטת קליפורניה בברקלי, שם היא חוקרת את האבולוציה של התפתחות צמחים. מאז אוקטובר 2014 היא חוקרת באגרוסביה, קולומביה, את הגנטיקה שמעורבת בעמידות למחלות וספיחה של קדמיום ביבולי קקאוו.

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



הוצאת פרונטייה מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK