



מהו גומי טבעי ומדוע אנו מחפשים מקורות חדשים?

Marina Arias*, Peter J. van Dijk

היחידה לחקר יבולי ירקות, KeyGene, ווגנינגן, הולנד

מהו גומי ומהיכן הוא מגיע? גומי הוא משאב טבעי שמיוצר על-ידי צמחים ונוכח בהרבה טובין שמשמשים אותנו בחיי היומיום. לגומי יש תפקיד חשוב בהיסטוריה האנושית, לכל אורך ההתפתחות של ציוויליזציה אנושית. הוא עדיין משחק תפקיד חשוב, וזו הסיבה לכך שאנו צריכים לחפש מקורות גומי חדשים. כיום, 99% מהגומי הטבעי שאנו משתמשים בו מיוצר מעץ שנקרא הוואה ברזילאית. במאמר זה אנו נספק פרטים על החלופות הטובות ביותר שזמינות היום למקורות גומי.

מהו גומי טבעי?

גומי טבעי מיוצר מצמחים ומסווג כפולימר. פולימר הוא תרכובת כימית עם מולקולות גדולות שמורכבות מהרבה מולקולות קטנות מאותו הסוג. חלק מהפולימרים קיימים באופן טבעי ואחרים מיוצרים במעבדות ובמפעלים.

גומי טבעי הוא אחד הפולימרים החשובים ביותר לחברה האנושית. גומי טבעי הוא חומר גלם הכרחי שמשמש ליצירה של יותר מ-40,000 מוצרים. הוא משמש במכשור רפואי, כפפות ניתוח, כלי טיס וצמיגי מכוניות, מוצצים, בגדים, צעצועים וכדומה. גומי טבעי מיוצר מלְטָקס, נוזל חלבי שנמצא בצינורות לטקס או בתאים של צמחים שמייצרים גומי. בסביבות 20,000 מינים של

סוקרים צעירים

SIYAN

גיל: 14



YUSONG

גיל: 13



ZHUOCAN

גיל: 13



פולימר (Polymer)

תרכובת כימית עם מולקולות גדולות שמורכבות ממולקולות קטנות יותר מאותו הסוג. חלק מהפולימרים קיימים באופן טבעי, ואחרים מיוצרים במעבדות ובמפעלים.

לטקס (Latex)

נוזל לבן חלבי שמכיל חלבונים, עמילן, אלקלואידים וכדומה, שמוצא על-ידי צמחים רבים. בחלק מהצמחים הוא גם מכיל גומי.

צמחים מייצרים לטקס, אולם נמצאו רק 2,500 מינים שמכילים גומי בלטקס שלהם. הפונקציה הביולוגית של גומי בצמחים אינה ידועה לגמרי. אולם נמצא שגומי יכול לסייע לצמחים להתרפא אחרי שהם ניזוקים, על-ידי כיסוי הפצעים שלהם ועצירת הזימום. זה עוצר את כניסתם של חיידקים ווירוסים מזיקים לצמחים.

תכונותיו של גומי כוללות חוזק רב ויכולת להימתח פעמים רבות בלי להישבר. תרכובת של גומי טבעי גמישות באופן יוצא דופן, הן מבודדות חשמלית ועמידות בפני הרבה חומרים מאכלים (קורוזיביים) [1].

גומי סינתטי (שמוצא על-ידי בני אדם) יכול להיות מיוצר באמצעות תהליכים כימיים, אולם אנשים לא היו מסוגלים להפיק גומי סינתטי שיש לו את כל התכונות של גומי טבעי. לכן, גומי טבעי לא יכול להיות מוחלף על-ידי גומי סינתטי במרבית היישומים שלו. זו הסיבה לכך שגומי טבעי עדיין חשוב מאוד בחברה האנושית [2].

ההיסטוריה של גומי טבעי

לפני הרבה מאוד שנים, בשנת 1600 לפני הספירה, אנשים מזו-אמריקאים ממקסיקו וממרכז אמריקה השתמשו בגומי נוזלי עבור תרופות בטקסים ועבור ציורים. רק אחרי כיבוש אמריקה השימוש בגומי הגיע גם לעולם המערבי. כריסטופר קולומבוס היה אחראי למציאת גומי בשנת 1490 המוקדמות. מקומיים מהאיטי שיחקו פוטבול עם כדור שמוצא מגומי, ומאוחר יותר, בשנת 1615, פריי דה טורקוומטדה כתב על ילידים ועל מתיישבים ספרדיים בדרום אמריקה שנעלו נעליים ולבשו בגדים וכובעים שיוצרו על-ידי טבילת בדים בלטקס, מה שהפך את הפריטים האלה לחזקים יותר ועמידים למים. אולם לגומי היו כמה בעיות: הוא הפך דביק בתגובה למזג אוויר חם, והוא התקשה ונסדק במזג אוויר קר.

מאה אחת מאוחר יותר, ב-1734, צ'רלס מארי דה לה קונדאמין יצא לטיול בדרום אמריקה. שם הוא מצא שני עצים שונים שמכילים לטקס: **הוואה ברזילאית** (איור 1B) וקסטילואה אלסטיקה [3], אולם רק הראשון נהיה חשוב כמקור לגומי. הסיבה לכך שעץ ההוואה נבחר על הקסטילה הייתה האופן שבו הלטקס שלו מועבר דרך הגזע. לעץ ההוואה מחוברות צינוריות לטקס (איור 1A) שיוצרות רשת, בעוד שעץ הקסטילה לא יוצר מערכת מחוברת. הודות למערכת המחוברת שלו, עץ ההוואה מוציא לטקס כשמוכנס לתוכו עירוי מיוחד (איור 2). ללא חיבורי צינוריות הלטקס, עץ הקסטילה לא מוציא לטקס, מה שמקשה על מיצוי הגומי.

בשנת 1839, צ'ארלס גודיר המציא את תהליך ה**גיפור**, שפתר בעיות רבות הקשורות בגומי. תהליך הגיפור הוא תהליך של טיפול בגומי עם גופרית וחום, כדי להקשות אותו בעוד שהאלסטיות שלו נשמרת. הוא מונע את ההימסות של הגומי בקיץ ואת ההיסדקות שלו בחורף. כמה שנים אחרי התגלית החשובה הזו, בשנת 1888, דאנלופ המציא את גלגל הגומי המלא באוויר, מה שהפך את הגומי להיות חומר גלם חשוב ביותר ברחבי העולם. גומי היה לחומר הכרחי עבור המהפכה התעשייתית.

בין השנים 1850 ל-1920, אנשי עסקים דחפו יזמים וסוחרים להגדיל את כמות הגומי שממוצה מעצים באמזונס. במהלך התקופה הזו, האמזון הברזילאי היה המקור היחיד לגומי והוא שלט

הוואה ברזילאית (*Hevea Brasiliensis*)

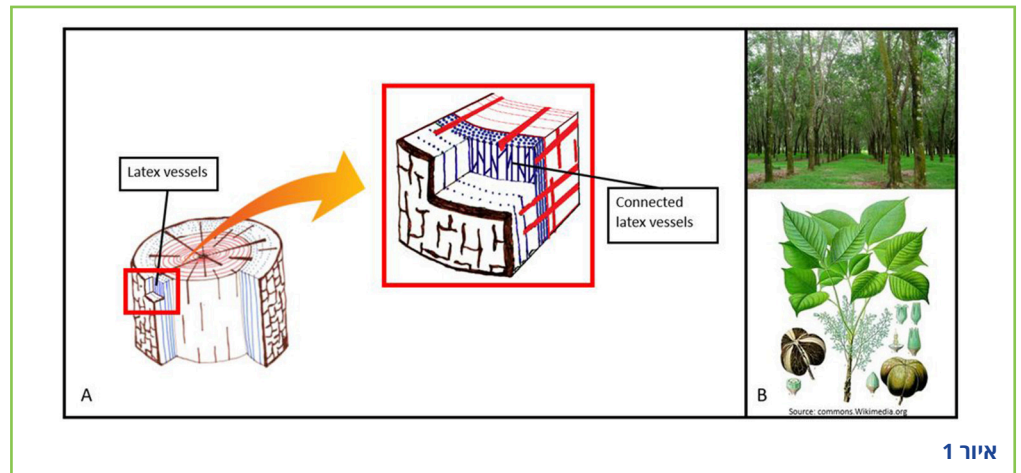
זהו עץ מקומי באמזונס. הוא חשוב מאוד כלכלית מאחר שלטקס שנאסף מהעץ הזה הוא המקור הראשי לגומי טבעי.

גיפור (*Vulcanization*)

תהליך של טיפול בגומי באמצעות גופרית וחום, כדי להקשות אותו תוך שמירה על האלסטיות שלו.

איור 1

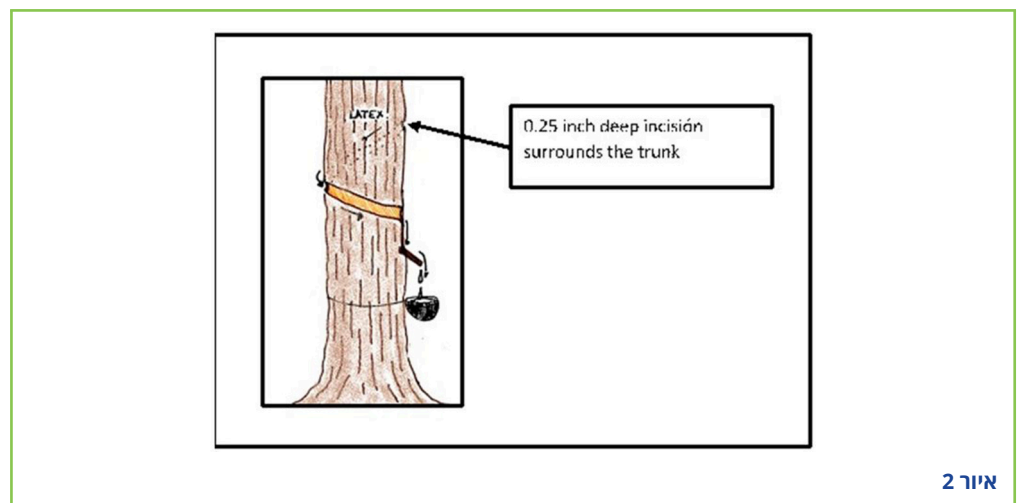
(A) הגזע של ההוואה הברזילאית והגדלתו של החלק האורכי של הצינוריות המחוברות. (B) מטע ההוואה הברזילאית וציוור של העלים, הפרחים והפירות של הצמח הזה.



איור 1

איור 2

הוואה ברזילאית, עם עירוני מיוחד שנוצר למיצוי לטקס.



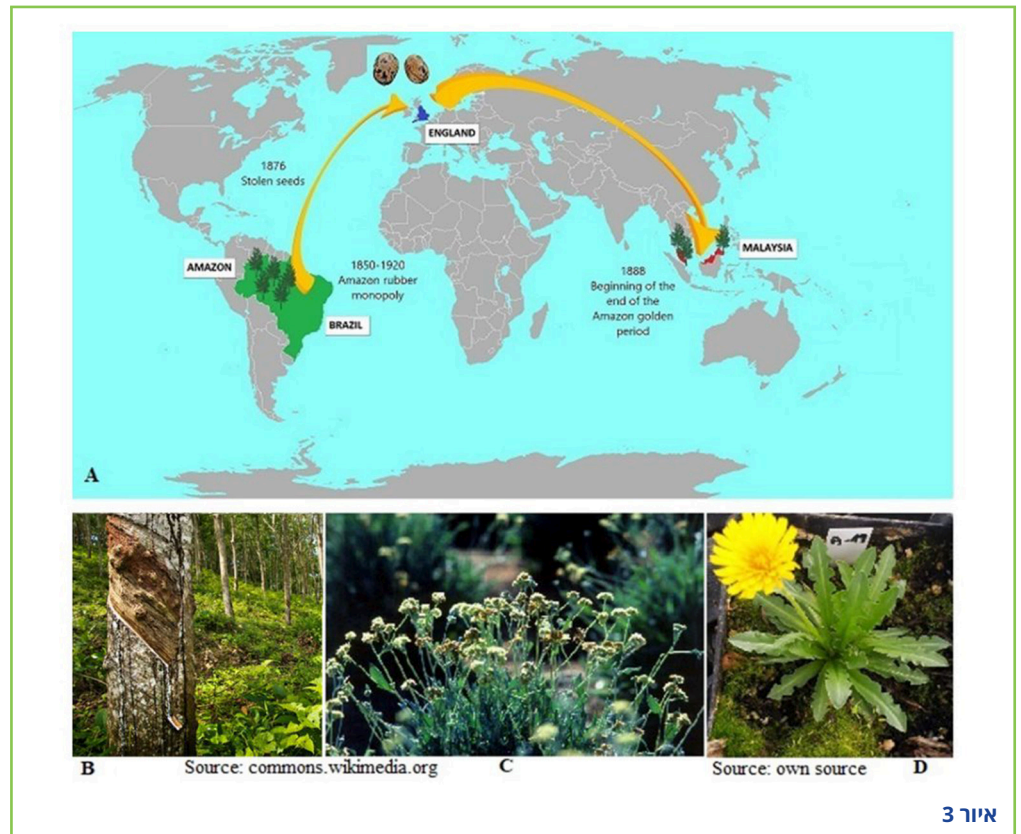
איור 2

במחיר, מה שגרם לגומי להיות יקר. באתו הזמן, ככל שיותר ויותר תעשיות התפתחו באירופה ובארצות הברית, נמצאו לגומי שימושים נוספים [4]. גומי היה חומר חשוב כל כך לברזילאים שהם אסרו על יצוא של הזרעים והשתילים שלו. אולם בשנת 1876 ה. א. וויקהאם הצליח להבריח 70,000 זרעי גומי שהוחבאו בתוך עלי בננה ולהביא אותם לאנגליה. מבין הזרעים האלה שרדו רק 1,900 נבטים ונשלחו למלזיה להתחלת מטע הגומי הראשון באסיה. זה סמן את תחילת הסוף של ברזיל כיצרנית הגומי העיקרית. לאחר 12 שנים, ייצור הגומי מהמטעים החדשים במלזיה היה תחרותי כמו זה שבאמזון, והמטעים הללו נהיו במהרה לספקי הגומי הטבעי העיקריים בעולם (איור 3).

הנרי ניקולס רידלי היה מדען שנהיה למנהל הגנים הבוטניים של סינגפור בשנת 1888. בעודו עובד שם הוא מצא את 11 עצי הגומי הראשונים שניטעו במלזיה, והתחיל לקדם את יסודם של מטעי עץ הגומי. זמן מה מאוחר יותר הוא פיתח שיטה מהפכנית להפקת לטקס מעץ ההוואה בשיטה שנקראת איסוף מתמשך (continuous tapping). איסוף הוא התהליך של הסרת הלטקס מהעץ. הגילוי הזה אִפְּשֵׁר הגדלת תפוקת הלטקס מכל עץ, וגומי היה לחומר הכרחי להתפתחות של סינגפור. המטעים החדשים היו תחרותיים יותר במחיר, ולכן מסוף המאה התשע עשרה ועד למלחמת העולם הראשונה איסוף גומי ממקורות באמריקה הטרופית ירד באופן משמעותי. במהלך המלחמה, אספקת הגומי ירדה משמעותית. ארצות הברית, גרמניה

איור 3

(A) כותרת *Hevea brasiliensis* הגיע מהמאמזון ועשה את דרכו למלזיה, יצרנית הגומי הטבעי העיקרית בעולם. (B) *Hevea brasiliensis* מקור חלופי לגומי, שנקרא ויאילי (*Parthenium argentatum*). (C) מקור חלופי לגומי, זן של צמח שן הארי (*Taraxacum koksaghyz*).



ורוסיה התחילו לחפש מקורות גומי חלופיים, טבעיים או סינתטיים, מאחר שהעצים באמזון לא סיפקו מספיק גומי עבור הצרכים שלהן [3]. כמה תוכניות מחקר החלו במדינות האלה, אולם אחרי המלחמה אספקת הגומי ממטעים במלזיה התחדשה, והמאמץ למצוא מקורות גומי חדשים נעלם כמעט לגמרי.

כיום, בסביבות 90% מהגומי הטבעי מיוצר באסיה, כאשר תאילנד ואינדונזיה הן ספקיות הגומי החשובות ביותר (מספקות יותר מ-60% מהגומי הטבעי בעולם).

מדוע אנו מחפשים מקורות גומי חדשים?

בשנים האחרונות, החיפוש אחר מקורות חלופיים לגומי החל שוב. ישנן 3 סיבות עיקריות לכך:

1. אימים על עץ ההוואה הברזילאית וייצור הגומי שלו

ראשית, עצי הגומי חשופים לכמה מחלות ומאחר שמטעי גומי באסיה התחילו מכמות קטנה של זרעים, כל העצים דומים מאוד מבחינה גנטית. מגוון גנטי קטן יותר משמעותו יכולת קטנה יותר להילחם כנגד מחלות הצמח. אם עץ אחד נעשה חולה, המחלה יכולה להתפשט במהרה לכל המטע. כיום, המחלה החשובה והמסוכנת ביותר שההוואה הברזילאית סובל ממנה נקראת מחלת שידפון העלה הדרום אמריקאית (South American leaf blight disease).

המחלה הזו יכולה לגרום להֶרָס של מטע שלם. היא עדיין מוגבלת לאמריקה הטרופית, אולם אם היא תגיע לאסיה היא יכולה לשים קץ למטעי הגומי. בתנאים טבעיים, עצי גומי גדלים בדרך כלל עם הרבה מרחב ביניהם. בטבע, נזק רציני להוואה ממחלת שידפון העלה הדרום אמריקאית אינו שכיח מאחר שסוגי העצים האחרים שגדלים בין עצי הגומי לא רגישים למחלה, ופועלים כחוצצים. אולם במטעים שבהם עצי גומי גדלים קרוב מאוד זה לזה, המחלה יכולה להפוך לקטלנית.

שנית, איום חשוב לשוק הגומי הטבעי הוא השוק התחרותי מאוד והגדל במהרה של שמן דקלים ומוצרי המשנה שלו. ישנה דרישה גדלה גם לגומי וגם לשמן דקלים, אולם במלזיה האזור שבו ההוואה הברזילאית מגודל אינו קטן, אך האזור המוקדש לגידול שמן דקלים גדל. אם הגדילה הרציפה של מטעי שמן הדקל לא תיפסק, או שהיער הטבעי או שמטעי ההוואה יצטרכו לקטון כדי לפנות מקום ליבולים חדשים של שמן דקלים.

ולבסוף, **איסוף גומי** (rubber tapping) הוא עבודה קשה שאינה משתלמת כלכלית. אנשים צעירים נוטים לבחור עבודות מושכות יותר, מה שיכול להוביל למחסור באוספי גומי מוכשרים.

2. גומי מהוואה ברזילאית יכול לגרום לאלרגיה רצינית

חלבוני הלטקס בגומי שמוצר מהוואה ברזילאית יכולים לייצר מספר אלרגיות שונות באנשים מסוימים, אפילו כשהם חשופים לכמויות קטנות מאוד. קשה מאוד להפריד את חלבוני הלטקס מהגומי בתהליך הטיהור. מאחר שהאלרגיות האלה יכולות להיות כל כך מסוכנות, חלופה לגומי שלא מכילה את חלבוני הלטקס האלה תהווה יתרון.

3. הוואה ברזילאית מיוצר רק באזורים מסוימים

התנאים הנדרשים לגידול עצי הגומי האלה הם ספציפיים מאוד ומתרחשים רק באזורים מסוימים בעולם. מרבית הגומי הטבעי שלנו מיוצר באזור קטן מאוד באסיה, מה שגורם לאספקה להיות פגיעה לנזק. אם המטעים באסיה לא יכולים לייצר מספיק גומי, מלאי גומי יכולים לא להיות מספיקים לצורכי העולם. יהיה מועיל למצוא צמחים אחרים שמייצרים גומי אשר אפשר לגדלם במקומות אחרים בעולם.

האם ישנם מקורות גומי חלופיים?

לא כל הצמחים מכילי הגומי מייצרים גומי טבעי איכותי. חלק מהצמחים שנחשבים למקורות גומי חלופיים הם הוואיולי, צמח שן הארי הרוסי, צמח ה-rubber rabbit brush, סולידגו (goldenrod), חמניה, עץ התאנה וחסה. שניים מהצמחים האלה מסתמנים כחלופות הטובות ביותר להוואה הברזילאית: הוואיולי ושן הארי הרוסי.

וואיולי (*Parthenium argentatum*) הוא שיח מקומי במישור הצפוני של אזור מקסיקו, שבדרך כלל גדל באדמות של אבן סיד באזורים עם מעט משקעים (איור 3C). וואיולי גדל הכי טוב בטמפרטורות שבין 18 לבין 49.5 מעלות צלזיוס. בתנאים האלה הוא יכול לחיות בין 30 ל-40

איסוף גומי

(Rubber Tapping)

תהליך של איסוף לטקס מעץ גומי. יוצרים חריץ איסוף בגזע העץ לפני הזריחה, והלטקס נאסף אחר הצהריים המאוחרים.

שנים. גומי נמצא בגזעים ובשורשים של הוואיולי, והוא נמצא בתאים אינדיבידואלים של הצמח, במקום בצינוריות לטקס. תכולת הגומי של הוואיולי גדלה במשך תקופה של כמה שנים. פחות מ-1% מהגומי בעולם מגיע מהוואיולי. גומי מהצמח הזה נחקר עבור יישומים בביו-רפואה, מאחר שהוא לא גורם לאלרגיות. כדי להפיק את הגומי מהצמח, רקמת הוואיולי צריכה להיות מרוככת באופן יסודי ולהימעך כדי לפנות את חלקיקי הגומי שנמצאים בתאים האינדיבידואלים. איכות הגומי מהוואיולי לא טובה מספיק לכל השימושים, מאחר שיש לה זיהומים רבים יותר מאשר הגומי מהוואה הברזילאית.

האפשרות הטובה האחרת עבור גומי, צמח שן הארי הרוסי (*Taraxacum koksaghyz*), הוא צמח שגדל מהר עם גומי איכותי, שהתגלה בשנת 1931 בקזחסטן (איור 3D). צמח שן הארי הרוסי גדל קרוב מאד לאדמה, ניתן לגידול באזורים עם טמפרטורות מתונות ומייצר ראשי פרחים צהובים (הם נראים כמו פרחים אולם הם קבוצה דחוסה של פרחים קטנים ללא גבעול). צמח שן הארי הרוסי מכיל גומי בעלים, בפרחים ובשורשים, אולם רק הגומי בשורשים טוב להפקה בשל הכמות והאיכות הגבוהה שלו. עבור **מיצוי גומי**, צמח שן הארי הרוסי צריך להימחץ או להתערבב [5]. לצמחי שן הארי הרוסי יש יתרון נוסף – הם מייצרים פחמימה שנקראת אינולין, שהיא חומר שיכול לשמש כמזון כמו גם לייצור תרופות כנגד סרטן, דלקים ביולוגיים ואפילו פלסטיקים ביולוגיים (פלסטיקים שמוצרים ממוצרים טבעיים). בשלב הזה, עדיין יקר מדי למצות גומי משן הארי הרוסי. דרך מחקר, צמח עם שורשים גדולים יותר ותכולת גומי גבוהה יותר יכול להיות מפותח בסופו של דבר.

סיכום

אף על פי שעץ הגומי הוא המקור הטוב ביותר לגומי שזמין כיום, הוא עדיין עומד בפני איומים חשובים. גומי מיוצר רק מצמחים שמגודלים באזורים ייחודיים מסוימים. במטרה להרחיב את מקורות הגומי הטבעי ולהימנע מהסכנות של ייצור מוגבל, אנו צריכים לחפש צמחים מכילי-גומי חדשים ולשפר את אלה שאנו מכירים, כדי לנסות לגרום להם להיות תחרותיים כלכלית.

תודות

אנו רוצים להודות ל-Marcel Prins ו-Laura Barker, Natalia Carrero, AIR קיבל מימון מתוכנית המחקר והחדשנות Horizon 2020 של בסקירת הטקסט. פרויקט AIR קיבל מימון מתוכנית המחקר והחדשנות Horizon 2020 של האיחוד האירופי תחת הסכם מענק Marie Skłodowska-Curie מספר 752921.



מקורות

1. Vijayaram, T. R. 2009. A technical review on rubber. *Int. J. Des. Manuf. Tech.* 3:25–36.

מיצוי גומי

(Rubber Extraction)

הפעולה של קבלה או הפרדה של גומי מרקמת השורש.

2. van Beilen, J., and Poirier, Y. 2007. Guayule and Russian dandelion as alternative sources of natural rubber. *Crit. Rev. Biotech.* 27:217–31. doi: 10.1080/07388550701775927
3. Whaley, W. G. 1948. Rubber—the primary source for American production. *Econ. Bot.* 2:198–216. doi: 10.1007/BF02859004
4. Ullán de la Rosa, F. J. 2004. La era del caucho en el Amazonas (1870–1920): modelos de explotación y relaciones sociales de producción. *Anal. Mus. Am.* 12:183–204.
5. van Beilen, J., and Poirier, Y. 2007. Establishment of new crops for the production of natural rubber. *Trends Biotechnol.* 25:522–9. doi: 10.1016/j.tibtech.2007.08.009

פורסם אונליין: 09 בנובמבר 2021

נערך על ידי: Anna Regoutz, University College London, United Kingdom

ציטוט: Arias M and van Dijk PJ (2021) מהו גומי טבעי ומדוע אנו מחפשים מקורות חדשים? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00100-he

Arias M and van Dijk PJ (2019) What Is Natural Rubber and Why Are We Searching for New Sources? *Front. Young Minds* 7:100. doi: 10.3389/frym.2019.00100

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

COPYRIGHT © 2019 © Arias and van Dijk 2021. 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

SIYAN, גיל: 14

אני ילדה שאוהבת לדבר ולצחוק. אני טובה במקצוע האנגלית. יש לי הרבה תחביבים, כמו למשל נגינה על תופים. אני רוצה להיות במאית כשאגדל, כך שאוכל להרוויח הרבה כסף. אם יהיה לי כסף אוכל לעשות הרבה דברים מעניינים ומשמעותיים.

YUSONG, גיל: 13

אני ילד מצחיק. אני אוהב לשחק כדורסל ולשחות. אני אובססיבי לגבי אוכל טעים כך שאני קצת בעודף משקל. מתמטיקה וסינית הם המקצועות האהובים עליי. בזמני הפנוי אני אוהב לשחק משחקי וידאו.





ZHUOCAN, גיל: 13

אני ילד חכם מסין. המקצועות האהובים עליי הם גיאוגרפיה ומתמטיקה. אני אוהב לשחק פוטבול וכדורסל.

הכותבים

MARINA ARIAS

קוראים לי Marina Arias Royo ואני מספרד, אולם טיילתי וגרתי בהרבה ארצות שונות ועבדתי עם קבוצות מחקר שונות. יש לי דוקטורט בביולוגיה וערכתי כמה מחקרים בביולוגיה ימית, אולם בעיקר עבדתי עם צמחים. כיום אני עובדת כפוסט דוקטורנטית בחברה שנקראת KeyGene, בהולנד. אני לומדת כיצד לקבל כמה שיותר גומי מהשרשים של צמחי שן הארי, ואני מגדלת אותם בלי אדמה, באופן הידרופוני! *marina_arias@hotmail.com.

PETER J. VAN DIJK

אני Peter van Dijk ואני ביולוג ב-KeyGene, חברה בהולנד שמשפרת צמחים באמצעות גנטיקה. אני חוקר את צמחי שן הארי כמעט 25 שנים. מלבד גומי אני מתעניין מאוד באופן שבו צמחים אלה מייצרים זרעים. צמחי שן הארי הם אחד ממיני הצמחים היחידים שיכולים לייצר זרעים חסרי מגדר, בתהליך שנקרא רבייה אל-מינית. זרעים שמקיימים רבייה אל-מינית הם העתקים גנטיים זהים של צמח האם. אני מנסה להבין כיצד צמחי שן הארי עושים זאת, מאחר שהכנסה של רבייה אל-מינית ליבולים עשויה להיות מועילה מאוד.

Hebrew version
provided by

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

