

שמירה על טריות פירות וירקות באמצעות הגבלת נשימה ודיות

Graziele G. Bovi^{*†}, Werner B. Herppich

המחלקה להנדסת גינון (הורטיקולטורה), מכון לייבניץ להנדסה חקלאית וביו-כלכלה (ATB), פוטסדאם, גרמניה

סוקרת צעירה

MARTA

גיל: 14



דיות

(Transpiration)

התהליך שבו אדי מים משוחררים מפני השטח של צמחים, פרחים, פירות, או ירקות.

נשימה

(Respiration)

התהליך שמשמש צמחים ליצירת אנרגיה. במסגרת התהליך זה נעשה שימוש בחמצן ובסוכרים מאוחסנים, ומיוצרים פחמן דו-חמצני ומים.

במאמר זה נתאר את תהליכי הנשימה והדיות בצמחים. כמו כן, נסביר כיצד לשמור על טריות פירות וירקות למשך זמן ארוך יותר על ידי הגבלת הנשימה והדיות. נלמד אתכם כיצד למדוד את התהליכים האלה ולדמות את תהליך הדיות בדרך צבעונית מאוד בבית, באמצעות ניסוי פשוט ביותר. לבסוף, נסייע לכם לענות על שאלות "מדוע" רבות שקשורות לתהליכי נשימה ודיות בצמחים, במיוחד בפירות ובירקות.

האם אי פעם תהיתם

- מדוע בנות מתכווצות כשהן נשארות גליוות במטבח במשך זמן מה, כפי שקורה גם לפירות ולירקות אחרים בתנאים דומים?
- מדוע אנו שומרים את מרבית הפירות והירקות שלנו במקרר? האם אתם או הוריהם מקפידים לעשות זאת במיוחד עם ירקות עליים?
- מדוע לעיתים ניתן למצוא מים בתוך אריזות של פירות וירקות אף על פי שקודם לכן הן היו יבשות? האם זה קסם, או שהמים מגיעים מהפירות ומהירקות?

על שאלות אלה ניתן לענות בקלות אם נבין את תהליכי הדייט והנשימה בצמחים.

מהו דיות?

דיות הוא תהליך שבו מים יוצאים מצמחים (איור 1A). מים נוזליים בתוך עלים ובחלקי צמח אחרים מתאדים, ואדי המים שנוצרים נעים החוצה לאוויר הסובב. באופן רגיל, צמחים יכולים להחליף בקלות את המים ה"אבודים" האלה באמצעות לקיחת מים מהאדמה, בסיוע שורשיהם. מים אלה משונעים במעלה הגבעולים לעלים, דרך רקמה מתמחה דמוית-צינור שנקראת עצה. צמחים גם צורכים חומרי מזון יקרי ערך ממני האדמה, ומעבירים את חומרי המזון הללו לעלים ולחלקים אחרים בצמח. צריכת חומרי מזון היא מטרה עיקרית אחת של דיות בצמחים. המטרה האחרת היא לקרר את העלים כשחם בחוץ. ככל הנראה חוויתם את אפקט הקירור הזה בעצמכם, כאשר מים מתאדים מעורכם אחרי שאתם יוצאים מבריכת שחייה. התהליך של דיות מסייע לנו, בני האדם, לקחת ולצמחים להתקרר. מגניב, נכון?

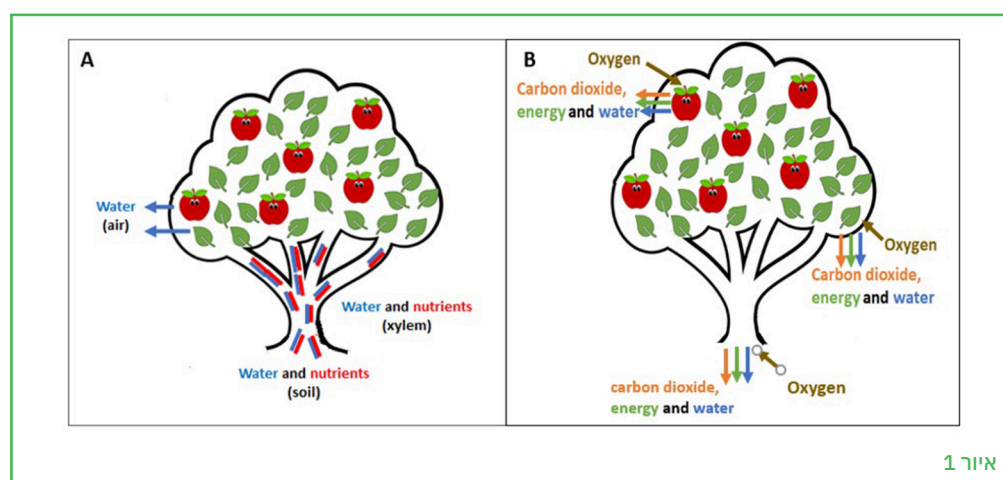
עצה (Xylem)

הרקמה שבאמצעותה צמחים מעבירים מים וחומרי מזון מהשורשים לשאר חלקי הצמח.

איור 1

תהליכי דיות ונשימה

בצמחים (A) בתהליך של דיות, מים מתאדים אל תוך האוויר מפני השטח של צמח, ומוחלפים במים שגלקחים על ידי השורשים. רקמת צמח דמוית צינור שנקראת עצה משנעת מים, ואת חומרי המזון שהם מכילים, מהשורשים לחלקים אחרים של הצמח. **(B)** בתהליך הנשימה, צמחים משתמשים בחמצן ובסוכרים מאוחסנים כדי לייצר אנרגיה, מים ופחמן דו-חמצני.



איור 1

דיות מתרחש בכל סוגי הצמחים, לרבות תבלינים, שיחים ועצים; ובחלקים שונים של הצמח שנקצרו, כמו: שורשים, גבעולים, פרחים, או פירות. אפילו אם הפירות והירקות מופרדים מהצמח, הם ממשיכים לבצע דיות, ולכן לאבד מים. ההבדל הוא שהפירות והירקות המופרדים אינם יכולים להחליף את המים שהם מאבדים. בפירות וירקות, תהליך הדיות גורם להתכווצות, להצטמקות, להפחתת הברק ולקמילה. כאשר פירות וירקות ממשיכים לאבד מים, המראה שלהם, איכותם, **חיי המדף** שלהם ומידת האטרקטיביות שלהם בעיני הצרכנים, פוחתים [1]. ככל הנראה הבחנתם בכך בפירות וירקות במטבח שלכם. בסופו של דבר הם נעשים קטנים יותר ופחות מושכים לאכילה – זאת כתוצאה מתהליך הדיות.

חיי מדף (Shelf life)

אורך הזמן שמוצר מזון ראוי לאכילה, ולכן מאושר למכירה.

כמות המים שאובדים בדיות קשורה לפני השטח של הצמח ולמאפיינים של העור, או הקליפה, של פירות וירקות. מים יוצאים מצמחים דרך העור המכסה אותם. מסיבה זו, ירקות ירוקים עליים וירקות כמו כרובית, שפני השטח שלהם גדולים, מבצעים יותר דיות מתפוזים או מעגבניות, אשר להם מבנה כדורי, שהוא בעל שטח פנים קטן יותר. כעת, נשווה בין תפוח לפטרייה. לתפוחים יש עור עבה יותר, לכן, למים קשה הרבה יותר לצאת דרך קליפת התפוח העבה, דמוית השעווה, מאשר דרך פני השטח של הפטרייה, שאין לה עור. אם כן, צורת הצמח, גודלו ומבנהו משפיעים כולם על דיות.

לחות (Humidity)

מדד לכמות אדי המים באוויר.

גורמים אחרים, כמו למשל שלב הבגרות; פגיעות עור; טמפרטורה; זרימת אוויר ו**לחות**, יכולים אף הם להשפיע על דיות. לדוגמה, ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר והלחות נמוכה יותר, כך דיות הפירות והירקות רב יותר. כדי להדגים זאת, מדדנו את הדיות של תותים שנקטפו בטמפרטורות ובלחות שונות [2]. כאשר העלינו את הטמפרטורה מ-4 ל-20 מעלות צלזיוס, מה שגם הפחית את הלחות, הדיות גדל ביותר מפי חמישה!

מדידת דיות והדמייתו

תוכלו למדוד דיות בקלות בבית. כל שאתם צריכים הם פרי או ירק שאתם אוהבים; משקל מטבח; נייר ועט. במשך כמה ימים, עקבו אחרי הִמְסָה (המשקל) של הפרי או הירק שבחרתם (המוצר). ככל שהזמן עובר, תבחינו כי המוצר שלכם ייעשה קל יותר ויותר. מרבית אובדן המסה הזה קשור באובדן המים דרך דיות. תוכלו אפילו לחשב את אחוז מסת התוצר שלכם שנאבדה לאורך הזמן דרך דיות, על ידי פתרון המשוואה הזו:

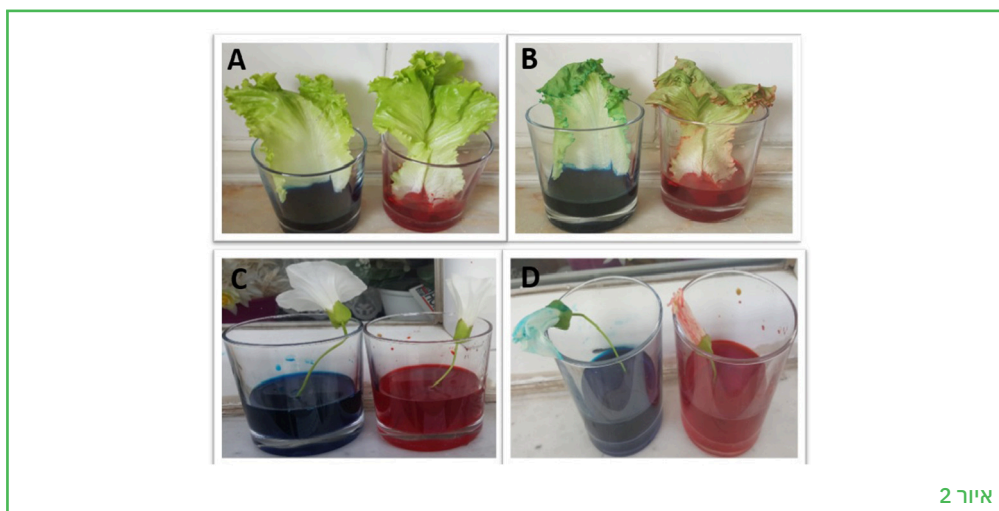
$$(1) \quad \text{Mass loss (\%)} = \frac{M_i - M_t}{M_i} \times 100$$

כאשר M_i היא המסה ההתחלתית של המוצר, M_t היא המסה הסופית שלו, ומצד שמאל של המשוואה מופיע אובדן המסה באחוזים.

תוכלו גם לדמות את תהליך הדיות באמצעות ניסוי פשוט אך מעניין. כל שתצטרכו עבורו הוא כמה עלי חסה; מים; צבע מאכל למזון וכוס שתייה שקופה או קנקן שקוף. מלאו כ-1/3 מנפח הכוס במים. ערבבו צבע מאכל עם המים, עד שהמים יתכהו. אם תרצו, תוכלו להשתמש בכמה כוסות עם מים בצבעים שונים! שימו את עלי החסה במים (איור 2A). אחרי כמה שעות, תתחילו לראות שהעלים נעשים צבעוניים יותר כשהם מבצעים דיות. העלים שואבים את המים הצבועים מהכוס, ומשנעים אותם לפני השטח של העלה, שם הם מתאדים (איור 2B). ניסוי זה עובד גם עם סלרי, לפת, כרוב, או עם פרחים בעלי עלי כותרת לבנים (איורים 2C, D).

איור 2

הדמיית דיות. (A) עלי חסה מייד אחרי שהם ממוקמים במים צבועים. **(B)** עלי חסה אחרי כמה שעות במים צבועים. **(C)** פרחים לבנים מייד אחרי שמוקמו במים צבועים. **(D)** הפרחים אחרי כמה שעות במים צבועים. ב-**(B, D)** תוכלו לראות בבירור חלק מההשפעות של דיות על החסה ועל הפרחים, כמו למשל התכווצות, ירידה בברק וקמילה.



איור 2

מהי נשימה?

במונחים פשוטים ביותר, בנשימה צמחים "שואפים" חמצן (O_2) מהאוויר, בלילה, ו"נושפים" פחמן דו-חמצני (CO_2), ממש כפי שאתם מבצעים בנשימה. אולם, עבור בני אדם, חיות וצמחים, **חילוף הגזים** הזה הוא רק חלק מכל הסיפור. בתהליך הנשימה השלם, צמחים צורכים סוכרים, או במקרה של אבוקדו למשל, שומנים וחמצן, ומייצרים פחמן דו-חמצני, מים וחום בתאים (איור 1B) [3]. במילים אחרות, ניתן לומר כי נשימה היא תהליך שבו "מזון" מפורק בסיועו של חמצן כדי לייצר אנרגיה.

אולם, צמחים אינם אוכלים (פרט לצמחים טורפים) – אם כן, כיצד הם מקבלים את מזונם? אתם ודאי יודעים מהי פוטוסינתזה. במהלך היום, צמחים יכולים "להפוך" את הנשימה, לקחת פחמן דו-חמצני מהאוויר ומים מהאדמה, ובסיועה של אנרגיה הנספגת מאור השמש, לייצר סוכרים וחמצן.

כפי שראינו עבור דיות, גורמים רבים יכולים להשפיע על נשימה של פירות וירקות. לעיתים קרובות, גורמים אלה מתחלקים לשתי קבוצות: גורמים שמשפיעים על גדילת פירות וירקות לפני הקציר, וגורמים שהם רלוונטיים אחרי הקציר. לפני הקציר, העונה והאקלים משפיעים על כמות הנשימה של פירות וירקות. עבור נשימה, הטמפרטורה היא גורם חשוב ביותר. ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר, כך הפירות והירקות ינשמו יותר. אם כן, ביום חם פירות וירקות ינשמו יותר ממה שהם ינשמו ביום קר. לאחר הקציר, הטמפרטורה וריכוזי הפחמן הדו-חמצני והחמצן סביב לפירות ולירקות ישפיעו שניהם על הנשימה. כדי להדגים זאת, מדדנו את שיעורי הנשימה בטמפרטורות שונות של תותים קטופים [2]. כשהטמפרטורה עלתה מ-4 ל-20 מעלות צלזיוס, הנשימה של הפירות גדלה ביותר מפי חמישה!

נשימה גם יכולה להשפיע על חיי המדף של פירות וירקות. לדוגמה, אם לפירות ולירקות אין חמצן לשאוף פנימה, הם יעברו תהליך אחר שנקרא **תסיסה**, אשר ייצר טעם וריח חזקים. אולם אל תחשבו שתסיסה היא תמיד דבר רע. עבור מוצרים מסוימים, כמו למשל יוגורט, זהו תהליך רצוי, אולם עבור מוצרים אחרים כמו למשל פירות וירקות טריים, היא אינה דבר טוב.

מדידת נשימה

מדידת נשימה של צמחים בבית היא מעט יותר מורכבת, לכן ייתכן שתמצאו להשאיר זאת למדענים. לתהליך המדידה נדרשים קופסה אטומה או מִקְל אחר שמונעים מאוויר להיכנס פנימה או לצאת החוצה, וכן חיישנים של חמצן ופחמן דו-חמצני. כלים אלה מודדים את כמויות החמצן והפחמן הדו-חמצני באוויר, ורושמים אותן. פרי או ירק נאטמים בתוך הקופסה האטומה, ובמהלך הזמן הם ישתמשו בחלק מהחמצן וייצרו פחמן דו-חמצני על ידי נשימה. תהליך זה יפחית את ריכוז החמצן ויגדיל את ריכוז הפחמן הדו-חמצני בקופסה האטומה. החיישנים רושמים את השינויים האלה [4].

כיצד ניתן לשמור על טריות פירות וירקות לאורך זמן ממושך יותר?

אנו משוכנעים שאתם כבר נוקטים בכמה צעדים בבית לשמירה על טריות הפירות והירקות שלכם! ראשית, אתם ככל הנראה שומרים אותם במקרר. קירור מסייע לפירות ולירקות

חילופי גזים (Gas exchange)

תנועה של גז מאזור של ריכוז גבוה, כלומר אזור שבו יש הרבה ממנו, לאזור של ריכוז נמוך.

תסיסה (Fermentation)

תהליכים כימיים שקשורים לנשימה ומתרחשים בצמחים ובחיות במקרים שבהם זמין חמצן בריכוז נמוך בלבד.

להחזיק מעמד זמן רב יותר, מאחר שהטמפרטורה היא גורם מפתח שמשפיע הן על דיות הן על נשימה. אם כן, על ידי שמירת הפירות והירקות שלכם בקירור, אתם מאיטים את הדיות ואת הנשימה, מה שמסייע למוצרים אלה להחזיק מעמד זמן רב יותר.

חשוב לדעת כי לכל פרי וירק תנאי אחסון ייחודיים. שני הגורמים החשובים ביותר הם טמפרטורה ולחות (טבלה 1). מרבית הפירות והירקות מעדיפים לחות גבוהה של 85-90%. אולם, חלק מהמוצרים מחזיקים מעמד זמן רב יותר בלחות נמוכה יותר, כמו למשל שום ובצל, אשר מעדיפים לחות של 70-75%. לחות נמוכה יותר מסייעת למוצרים האלה להימנע מספיגת מים, כיוון שמים עשויים לגרום להם להפוך עבשים ומקולקלים.

טבלה 1

תנאי אחסון מיטביים עבור חלק מהפירות והירקות [5].

צמח	מוצר	טמפרטורה (°C)	לחות (%)	חיי מדף
פירות	מנגו	12-10	90-85	4 שבועות
	תפוז	9-0	95-90	8-3 שבועות
	לימון	13-10	90-85	6-1 חודשים
	עגבנייה ירוקה	20-18	95-90	שבועיים
ירקות	עגבנייה בשלה	15-13	95-90	4 ימים-שבוע
	חציל	12-7	90-85	שבוע-10 ימים
	גזר	0	98-95	9-6 חודשים
	ברוקולי	0	98-95	שבוע-שבועיים
	כרובית	0	98-95	4-3 שבועות
	מלפפון	12-10	95	שבועיים

טבלה 1

אריזה היא שיטה פשוטה נוספת לשמירה על טריותם של פירות וירקות. כמעט כל אריזה היא מועילה, אפילו שקית נייר. אריזה מגדילה את הלחות סביב לפירות ולירקות, ולכן מאיטה את הדיות. תְּבָרוֹת רבות משתמשות בסוג אריזה מסוים שנקרא *modified atmosphere packaging*, אשר ניתן לראות במרכזים לעיתים קרובות. סוג האריזה הזה מעוצב במיוחד להפחתת הנשימה של פירות וירקות, באמצעות שינוי ריכוז החמצן שזמין לשימושם [6]. בדרך כלל, באריזות האלה יש פחות חמצן ויותר פחמן דו-חמצני בהשוואה לאוויר שמחוץ לאריזה.

Modified atmosphere packaging

סוג מיוחד של אריזת מזון שמסייע לשנות את הרכב הגז בתוכה, ובכך מפחית את הנשימה אך מאריך את חיי המדף של המוצר.

הגיע הזמן לענות על השאלות שהוצגו בתחילת המאמר:

- מדוע בננות מתכווצות כשהן נשארות גלויות במטבח במשך זמן מה, כפי שקורה גם לפירות וירקות אחרים בתנאים דומים?

עד כה כבר למדתם כי פירות וירקות נושמים ומבצעים דיות. בתהליך הדיות, הצמחים מאבדים מים, וכתוצאה מכך הם מאבדים חלק מהמָסָה שלהם. בתהליך הנשימה – פירוק סוכרים לפחמן דו-חמצני, מים וחום מוביל אף הוא לאובדן מסה.

- מדוע אנו שומרים את מרבית הפירות והירקות שלנו במקרר? האם אתם או הוריהם מקפידים לעשות זאת במיוחד עם ירקות עליים?

כפי שהסברנו קודם, הן דיות הן נשימה תלויים בטמפרטורה. טמפרטורות נמוכות יותר מגבילות את שני התהליכים, ולכן הם מואטים, מה שמאריך את חיי המדף של פירות וירקות.

במקרה של ירקות עליים, כמו חסה לדוגמה, הם יקמלו מהר מאוד אם יישארו בחוץ, במיוחד ביום חם ויבש.

• מדוע לעיתים ניתן למצוא מים בתוך אריזות של פירות וירקות אף על פי שקודם לכן הן היו יבשות? האם זה קסם, או שהמים מגיעים מהפירות ומהירקות?

אין כאן קסם! המים מגיעים מהפירות ומהירקות; אלו פשוט המים המשוחררים על ידי דיות. אדי המים מתעבים בתוך האריזה, והופכים לנוזל.

לסיכום, אנו מקווים שנהניתם ללמוד על אודות נשימה ודיות. אנו מאחלים לכם הנאה גם מהדמיית דיות בבית, ומדידתו. שתפו בתוצאות את הורכים וחבריכם!

מקורות

1. Bovi, G. G., Caleb, O. J., Linke, M., Rauh, C., and Mahajan, P. V. 2016. Transpiration and moisture evolution in packaged fresh horticultural produce and the role of integrated mathematical models: a review. *Biosyst. Eng.* 150:24–39. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.07.013
2. Bovi, G. G., Rux, G., Caleb, O. J., Herppich, W. B., Linke, M., Rauh, C., et al. 2018. Measurement and modelling of transpiration losses in packaged and unpackaged strawberries. *Biosyst. Eng.* 174:1–9. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2018.06.012
3. Caleb, O. J., Herppich, W. B., and Mahajan, P. V. 2016. "The basics of respiration for horticultural products," in *Reference Module in Food Science* (Elsevier). p. 1–7. doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.21003-2
4. Bovi, G. G., Caleb, O. J., Herppich, W. B., and Mahajan, P. V. 2018. "Mechanisms and modeling of water loss in horticultural products," in *Reference Module in Food Science* (Elsevier). p. 1–5. doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.21897-0
5. Paltrinieri, G. 2014. *Handling of Fresh Fruits, Vegetables and Root Crops: A Training Manual for Grenada*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
6. Bovi, G. G., Caleb, O. J., Ilte, K., Rauh, C., and Mahajan, P. V. 2018. Impact of modified atmosphere and humidity packaging on the quality, off-odour development and volatiles of "Elsanta" strawberries. *Food Packag. Shelf Life* 16:204–10. doi: 10.1016/j.fpsl.2018.04.002

פורסם אונליין: 28 באפריל 2023

נערך על ידי: Melissa Hamner Mageroy

מנחה מדעית: Cristiana Ariotti

ציטוט: Bovi GG and Herppich WB (2023) שמירה על טריית פירות וירקות באמצעות הגבלת נשימה ודיות. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2021.576906-he

Bovi GG and Herppich WB (2021) Keeping Fruits and Vegetables Fresh By: **תורגם והותאם מ:** Limiting Respiration and Transpiration. Front. Young Minds 9:576906. doi: 10.3389/frym.2021.576906

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

COPYRIGHT © 2021 © Bovi and Herppich 2023. 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 למחבר(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.

סוקרת צעירה

MARTA, גיל: 14

קוראים לי מַרְטָה, בת 14, גרה באיטליה. אני משחקת כדורעף. בזמני הפנוי, אוהבת לפגוש חברים ולקרוא. הספר האהוב עליי הוא הארי פוטר. אני גם אוהבת להאזין למוזיקה.

הכותבים

GRAZIELE G. BOVI

גרייזל ג. בובי למדה הנדסת מזון באוניברסיטת סאו פאולו בברזיל. לאחר סיום התואר, המשיכה באקדמיה וערכה מחקר דוקטורט באוניברסיטה הטכנית של ברלין בגרמניה. גרייזל עבדה בתחום של נְוֹאֵנְקֵפֶסְאֻלְצִיָה (עטיפת החומר המבוקש בסוג של "ציפוי" ננומטרי), ומאוחר יותר עסקה באריזת פירות וירקות ובאחסונם. פרט למחקר שלה, היא נהנית לרוץ, לטייל, לבשל, לקרוא ולצפות בסדרות טלוויזיה. *graziele.bovi@gmail.com

† כתובת נוכחית: המחלקה להנדסת מזון, בית הספר להנדסת מזון, אוניברסיטת קֶמְפִינְס, קמפינס, ברזיל.

WERNER B. HERPPICH

וורנר ב. הרפיץ' למד ביולוגיה וכימיה באוניברסיטת בייירית' בגרמניה, אך מאוחר יותר התמקד בפיזיולוגיה אקולוגית של צמחים. במסגרת הדוקטורט שלו ואחריו חקר את המנגנונים של הישרדות צמחים בסביבות קשות, כמו למשל מדבריות חמים או סביבות מחיה מלוחות. במשך זמן מה וורנר עבד כמורה, אך במהלך יותר מ-20 השנים האחרונות הוא מעורב במיטוב חיי המדף של פירות, ירקות וצמחי נוי. פרט לכך, הוא אוהב רכיבה על אופניים, טיול בהרים, מדע בדיוני, תעופה ואיסוף בולים.



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