



צמחים קמים לתחייה

Maria-Cecília Costa*

המחלקה לביולוגיה מולקולרית ולביולוגיה של התא, אוניברסיטת קייפ טאון, קייפ טאון, דרום אפריקה

סוקרת צעירה

GABRIELA
JAZMÍN

גיל: 12



צמחי תחייה (Resurrection plants)

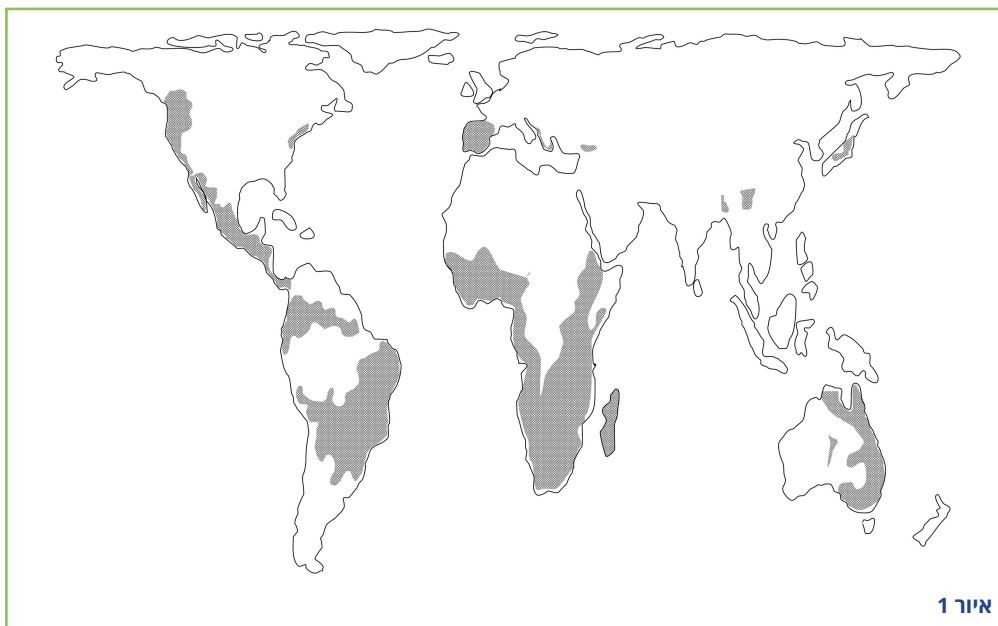
צמחים שנשארים בחיים אחרי שהם התייבשו באופן חמור.

דמיינו שיש לכם צמח קטן באגרסל בביתכם. אולם שכחתם להשקות אותו במשך כמה שבועות והוא נראה יבש וחום. כעת דמיינו כמה נפלא היה אם הצמח יכול היה להפוך שוב לירוק אם הייתם נותנים לו קצת מים. זה לא רק משחק דמיוני. זה קורה במציאות בטבע. הצמחים האלה נקראים "צמחי תחייה". חלק מצמחי התחייה יכולים להישאר יבשים במשך כמה חודשים, ואחרים אפילו לתקופות זמן ארוכות יותר. צמחי תחייה מגינים על עצמם מפני נזקים שנגרמים על-ידי איבוד כמות גדולה מדי של מים, והם שבים לחיים כאשר מים חוזרים להיות זמינים עבורם. אנו לומדים את המנגנונים שצמחי תחייה משתמשים בהם כדי להישאר בחיים בזמן שהם יבשים, ומיישמים את מה שאנו לומדים בתחומי מחקר אחרים.

מה קורה אם הצמחים שיש לכם בבית לא מקבלים מים במשך 3 חודשים? האם הם נעשים יבשים וחומים, מאבדים את העלים שלהם ומתים? אם אמרתם כן אתם יודעים שהתייבשות ומוות מתרחשים אצל מרבית הצמחים שלא מושקים. אולם כמה צמחים לא מתנהגים באופן הזה. אם הצמחים המיוחדים האלה לא מקבלים מים במשך 3 חודשים הם יתייבשו, ייעשו חומים וייראו מתים. אולם אם הם יקבלו שוב מים הם יתאוששו ויחזירו את צבעם הירוק ואת פרחיהם. אנו קוראים לצמחים האלה **צמחי תחייה**. אנו מכירים 135 מינים של צמחים פורחים שהם צמחי תחייה (מתוך קרוב ל-295,400 מינים ידועים של צמחים פורחים!) [1].

איור 1

מפת העולם שמציגה אזורים עיקריים (באפור) שבהם גדלים צמחי תחייה. האיור אומץ מ-Farrant ואחרים [2].



איור 1

איור 2

צמחי תחייה באזורי המחיה הטבעיים שלהם. הצמחים בתמונה ידועים כ-Vellozia והם יכולים להימצא באדמות סלעיות בברזיל (במדינת Minas Gerais). בפורטוגל הם נקראים canela-de-ema.



איור 2

מרבית צמחי התחייה גדלים באזורים טרופיים על גבי אבנים, באדמה רדודה (1, 2 איורים) [2]. באזורים אלה יורד גשם רק כמה חודשים בכל שנה, ומים מתנדפים במהירות רבה.

לעמוד בפני התייבשות או להתנגד לה?

צמחי תחייה נשארים בחיים מאחר שהם מצליחים לעמוד בפני התייבשות חמורה שנגרמת על-ידי **בצורת**. הצמחים האלה שונים מקקטוסים. קקטוסים לא עומדים בפני התייבשות חמורה, במקום זאת הם מתנגדים להתייבשות. זהו הבדל חשוב שכדאי לזכור.

באופן כללי, צמחים שורדים בצורת בשלוש דרכים: הימנעות, התנגדות או עמידה בפני בצורת. לצמחים שנמנעים מבצורת יש תוחלת חיים קצרה (כמה חודשים). בעונת הגשמים, אחרי **נביטת הזרעים**, גדלים צמחים חדשים. במשך תקופה קצרה הצמחים החדשים האלה פורחים ומייצרים זרעים. לאחר מכן, צמחים מתים לפני שמתחילה עונת היובש. הזרעים שלהם יישארו

בצורת (Draught)

מחסור במשקעים במשך תקופת זמן ארוכה, אשר גורם למחסור במים. במהלך בצורת אין מספיק מים זמינים באדמה כדי שהם ייספגו על-ידי צמחים.

נביטת זרעים (Seed germination)

תהליך שבו צמחים צעירים נובטים וגדלים בתוך הזרע.

חיים באדמה ויחכו לעונת הגשמים הבאה שבה הם יוכלו לנבוט ולהמשיך את המעגל. יבולים רבים מהווים דוגמאות לצמחים שנמנעים מבצורת כמו למשל תירס, חיטה ואורז.

לצמחים שמתנגדים לבצורת כמו למשל קקטוס וסוקולנטיים אחרים, יש כמה מנגנונים שמונעים מהם להתייבש. לדוגמה, יש להם מבנה בתוך הגזע שמתמחה באחסון מים. נוסף על כך העלים שלהם נראים כמו קוצים ויכולים לספוג מים מערפל ומטל. באופן הזה, צמחים שמתנגדים לבצורת ממזערים את אובדני המים ונשארים רטובים גם בעונת היובש. אולם כאשר עונת היובש ארוכה בצורה יוצאת דופן הם עשויים שלא להצליח להתנגד לה, ועלולים למות.

צמחי תחייה עומדים בפני התייבשות. הם לא מנסים להימנע ממנה או להתנגד לה. בעונת היובש הם מאבדים מים במהרה ושמים את החיים ב"מצב המתנה" עד שעונת הגשמים מתחילה שוב. משמעות הדבר היא שהם יכולים להישאר בחיים אפילו בזמן שהם יבשים!

איבוד מים הוא חלק מהחיים של כל האורגניזמים. בני אדם לדוגמה מאבדים מים כל הזמן דרך העור (בצורת זיעה) וגם דרך שתן ודמעות. אולם אם אנו מאבדים יותר מדי מים נתחיל לחוות בעיות רציניות. אם אדם ששוקל 30 קילוגרמים מאבדים 4.5 קילוגרמים בגלל התייבשות, אותו האדם יהיה בסכנה. מרבית הצמחים עמידים יותר בפני איבוד מים מאשר בני אדם. לדוגמה, צמח ששוקל 30 קילוגרמים יכול לאבד 12 קילוגרמים כתוצאה מהתייבשות. צמחי תחייה אפילו קיצוניים יותר. אם צמח תחייה יכול להגיע למשקל של 30 קילוגרמים (מרביתם קטנים מאוד), איבוד של 22.5 קילוגרמים של מים כתוצאה מהתייבשות לא יהיה מסוכן עבורו כלל. רמת ההתייבשות הקיצונית הזו נקראת **דְסִיקְצִיָה**.

דְסִיקְצִיָה (Desiccation)

רמות קיצוניות של איבוד מים.

מעט היסטוריה

עמידה בפני דסיקציה הייתה חשובה בשנים הראשונות של אורגניזמים שעזבו את המים כדי לחיות על אדמה יבשה. האורגניזמים האלה חיו על חופים של אגמים בוציים, עם מעט מים זמינים והרבה אור שמש. מאוחר יותר בהיסטוריה של חיים על פני כדור הארץ צמחים פיתחו מנגנוני התנגדות לבצורת, והיו לרגישים יותר לדסיקציה. זה היה צעד חשוב באבולוציה של צמחים מאחר שאורגניזמים שעמידים בפני דסיקציה גדלים לאט. צמחים שמתנגדים לבצורת ואינם עמידים לדסיקציה גדלים הרבה יותר מהר.

אולם, צמחים לא איבדו לחלוטין את העמידות בפני דסיקציה. צמחים רבים עדיין מייצרים זרעים עמידים בפני דסיקציה. מרבית הזרעים מפתחים עמידות בפני דסיקציה בזמן שהם נוצרים בתוך הפרי, כשהם עדיין מחוברים לצמח האם. כאשר פירות מבשילים הזרעים שלהם יבשים וחיים.

צמחי תחייה יכולים לייצר זרעים ועלים עמידים בפני דסיקציה. העלים שלהם עמידים הודות למנגנונים כמו אלה שהזרעים משתמשים בהם. נדמה שצמחי תחייה שאלו את המנגנונים לעמידות בפני דסיקציה של הזרעים, ואימצו אותם כדי שיעבדו גם בעלים [3, 4].

כיצד צמחי תחייה מתמודדים עם דסיקציה?

שורשי הצמחים שולחים הודעות לעלים כשהשורשים חשים שהאדמה נעשית יבשה יותר ויותר. ההודעות האלה אומרות לעלים להפחית את איבוד המים באמצעות סגירת נקבוביות זעירות שמשמשות להחלפת גזים. אוויר נכנס לצמח דרך הנקבוביות האלה, ומים יוצאים מהעלים דרך הנקבוביות. שמירה על הנקבוביות האלה סגורות יכולה לחסוך הרבה מים. אולם הצמחים לא יכולים לשמור על הנקבוביות סגורות לאורך זמן רב מדי. הם צריכים להחליף גזים עם האוויר מאחר שזו הדרך שבה צמחים מקבלים פחמן דו-חמצני. צמחים ממירים פחמן דו-חמצני מהאוויר ומים מהאדמה למזון, דרך תהליך שנקרא **פוטוסינתזה**. לאחר כמה ימים עם נקבוביות סגורות, צמחים ירעבו מאחר שהם לא יכולים לייצר מזון. לאחר מכן עליהם ייעשו צהובים ונבולים. אם הבצורת תמשיך עליהם ייעשו חומים וינשרו.

פוטוסינתזה (Photosynthesis)

תהליך שבו צמחים ירוקים הופכים פחמן דו-חמצני (שהם קיבלו מהאוויר) ומים (שהם קיבלו מהאדמה) למזון (סוכרים) וחמצן (שמוחזר לאוויר).

צמחי תחייה טובים יותר בתגובה לבצורת. בתחילת הבצורת הם יגיבו באותו האופן כמו צמחים שאינם צמחי תחייה. השורשים שלהם ישלחו הודעות לעלים לסגור את הנקבוביות. אם הבצורת תמשיך, הם יתנו לעלים שלהם להתייבש בזמן שהם יקפלו או יסלסלו אותם בזירות. חלק מהעלים יאבדו את צבעם הירוק ויעשו חומים. אחרים יצברו פיגמנט סגול שנקרא אנתוציאנין, שפועל כמו קרם הגנה מהשמש. הצעדים האלה חשובים להפחתת השפעותיו המזיקות של אור השמש.

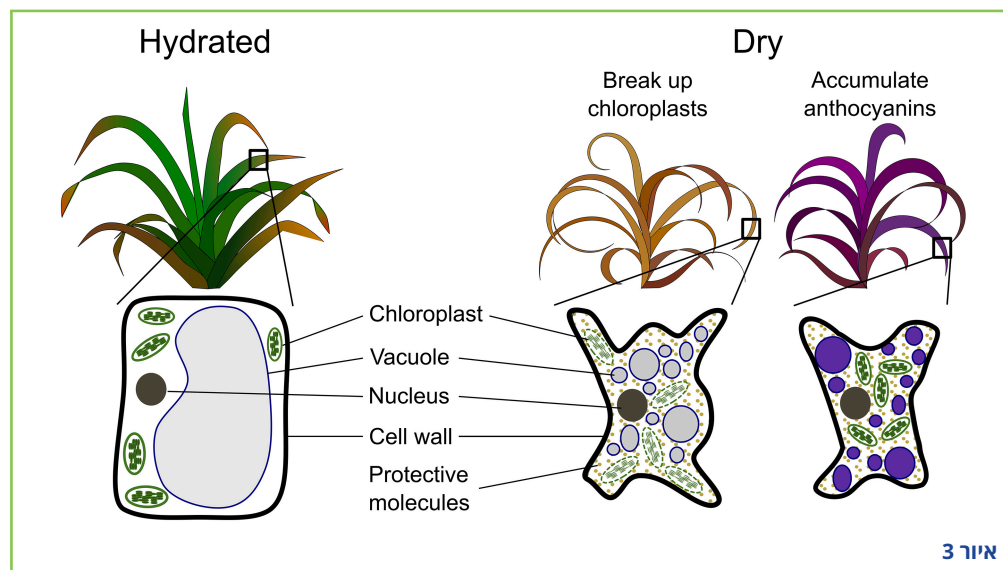
אור השמש הכרחי לחיים של צמחים מאחר שצמחים זקוקים לו לשם ביצוע פוטוסינתזה. פוטוסינתזה גם מייצרת הרבה מולקולות קטנות שנקראות רדיקלים חופשיים. רדיקלים חופשיים הכרחיים לחיים, אולם כאשר ישנם יותר מדי מהם הם יכולים להזיק לתאים. כאשר לצמחים יש מספיק מים הם יכולים לשמור על כמותם של הרדיקלים החופשיים תחת שליטה. אולם, כאשר הם מיובשים דברים יכולים לצאת משליטה. כדי להימנע מהבעיה הזו, צמחי תחייה אוגרים מולקולות שנלחמות כנגד הצטברות של רדיקלים חופשיים. נוסף על כך צמחי תחייה מפסיקים לבצע פוטוסינתזה. חלק מצחי התחייה עושים זאת על-ידי שבירת הכלורופלסטים שלהם (במקום שבו מתרחשת פוטוסינתזה). אלה הם צמחי תחייה שנעשים חומים כשהם מתייבשים. כשהם מקבלים שוב מים הם מרכיבים מחדש במהרה את הכלורופלסטים שלהם ומתחילים לבצע שוב פוטוסינתזה. צמחי תחייה אחרים מפסיקים לבצע פוטוסינתזה באמצעות אגירת אנתוציאנינים (איור 3). אנתוציאנינים מתפקדים כמגינים מהשמש אשר מצלילים את הכלורופלסטים, מה שעוצר את הפוטוסינתזה. כאשר הצמחים האלה מקבלים שוב מים, עליהם מתיישרים מחדש ונעשים שוב ירוקים (לצפייה בצמח תחייה שחוזר לחיים ראו <https://www.youtube.com/watch?v=IMsyFBcfo6g>).

ייבוש מזיק לתאים. נוסף על הנזק שנגרם על-ידי עודף רדיקלים חופשיים, חלק ממרכיבי התא עשויים לאבד את צורתם התקינה ולהתקבץ יחד. ברגע שהצבירים האלה נוצרים הם לא מתפצלים ואינם חוזרים לצורה הנכונה. כדי למנוע היווצרות של הצבירים האלה, צמחי תחייה צוברים מולקולות הגנה כמו למשל סוכרים וחלבונים, שמונעות היווצרות של צבירים. מולקולות ההגנה האלה מפחיתות את הנזק שנגרם על-ידי התייבשות, ותורמות להתאוששות כשהמים נעשים זמינים שוב.

תאים מורכבים בעיקר על-ידי מים. כשהמים מוסרים התאים מתכווצים. דופן התא היא שכבה דקה שמקיפה כל תא ומפרידה את פנים התא מהחוץ. דופן התא גמישה אולם היא יכולה

איור 3

מנגנונים שמשמשים תאים של צמחי תחייה לעמידות בפני התייבשות. לצמחי תחייה יש דופן תא שהיא גמישה ומתקפלת בלי להישבר. הם צוברים מולקולות הגנה. התאים האלה מפרקים את הכלורופלסטים שלהם או צוברים אנתוציאנינים במטרה להציל את הכלורופלסטים שלהם כדי שלא תתרחש פוטוסינתזה. הם מחלקים את החלולית שלהם לחלוליות קטנות יותר כדי לטייע לתאים לשמר את צורתם.



להיסדק אם התא מתכווץ יותר מדי. לצמחי תחייה יש דופן תא גמישה יותר מדופן התא של צמחים אחרים (איור 3). באופן הזה, דופן התא יכולה להתקפל במהלך ההתייבשות בלי להיסדק. דרך אחרת שבה תאיהם של צמחי תחייה יכולים להימנע מהתכווצות יתר היא על-ידי חלוקת מרכיבי התא שנקרא חלולית לחלוליות קטנות יותר. חלוליות הן בועיות אחסון שנמצאות בתאים, והן מכילות כמויות גדולות של מים או מזון. בדרך כלל, לתאי צמחים יש חלולית אחת גדולה שיכולה לתפוס יותר ממחצית החלל שבתוך התא. החלולית מרוויה או מפסידה מים, כתלות במידת הזמינות של מים לצמח. חלוקת החלולית מסייעת לשמור על מבנה התא ולהפחית את ההתכווצות שנגרמת על-ידי איבוד מים.

מדוע אנו חוקרים צמחי תחייה?

צמחי תחייה הם צמחים מעניינים. הם עומדים בפני התייבשות ברמות שהן קטלניות עבור צמחים אחרים, והם יכולים להישאר יבשים לתקופות זמן ארוכות. אנו חוקרים צמחי תחייה כדי להבין כיצד החיים יכולים להימשך תחת תנאים קיצוניים, כולל מחסור במים. המנגנונים שבהם הצמחים האלה משתמשים כדי לעמוד בפני דסיקציה שימושיים באופנים רבים. לדוגמה, המנגנונים האלה היו בשימוש בפיתוח חיסונים שיכולים להיות מאוחסנים לתקופות זמן ארוכות יותר ולהיות משונעים רחוק ללא קירור. הם עוררו השראה לדרכים להארכת הזמן שתאי דם ואיברים יכולים לשמש לעירוי דם ולהשתלה. המנגנונים שמשמשים צמחי תחייה גם שימשו לשפר עמידות לבצורת ביבולים במטרה למזער את אובדני היבולים שחקלאים חווים במהלך עונות יבשות.

עמידות בפני דסיקציה בצמחים היא מורכבת מאוד. בשנים האחרונות מדענים ביצעו התקדמות משמעותית בהבנתה. אולם הבנתנו עדיין אינה שלמה. יש לנו דרך ארוכה לעבור כדי להשלים את פערי הידע שלנו, לחבר בין התגליות המרכזיות ולהשתמש בהן במטרה לשפר את איכות החיים של מיליוני בני אדם.

מקורות

1. Gaff, D. F., and Oliver, M. 2013. The evolution of desiccation tolerance in angiosperm plants: a rare yet common phenomenon. *Funct. Plant Biol.* 40:315–28. doi: 10.1071/FP12321
2. Farrant, J. M., Cooper, K., Dace, H. J. W., Bentley, J., and Hilgart, A. 2017. "Desiccation tolerance," in *Plant Stress Physiol*, ed S. Shabala (Wallingford; Boston, MA: CAB International), p. 217–52.
3. Costa, M.-C. D., Cooper, K., Hilhorst, H. W. M., and Farrant, J. M. 2017. Orthodox seeds and resurrection plants: two of a kind? *Plant Physiol.* 175:589–99. doi: 10.1104/pp.17.00760
4. VanBuren, R., Wai, C. M., Zhang, Q., Song, X., Edger, P. P., Bryant, D., et al. 2017. Seed desiccation mechanisms co-opted for vegetative desiccation in the resurrection grass *Oropetium thomaeum*. *Plant Cell. Environ.* 40:2292–306. doi: 10.1111/pce.13027

פורסם אונליין: 24 באוגוסט 2021

נערך על ידי: Frederique Carcaillet, Université de Montpellier, France

ציטוט: Costa M (2021) צמחים קמים לתחייה. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00073-he

תורגם והותאם:

Costa M (2019) Resurrection Plants. *Front. Young Minds* 7:73. doi: 10.3389/frym.2019.00073

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

COPYRIGHT © 2019 © 2021 Costa. זהו מאמר בנישה 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.

סוקרת צעירה

GABRIELA JAZMÍN, גיל: 12

היי, קוראים לי Gabriela Jazmín ואני בת 12. אני גרה במקסיקו סיטי ואני אוהבת לקרוא ולשחק בייסבול עם חברים. כשאנדל אני רוצה להיות ביולוגית מאחר שאני רוצה לעזור לאנשים ללמוד על זנים מקומיים שגדלים במדינה שלי.



הכותבת

MARIA-CECÍLIA COSTA

Maria-Cecília Costa אוהבת צמחים. במהלך לימודי הביולוגיה שלה היא נתקלה בזרעים שלא יכולים להיות מאוחסנים (שלא כמו מרבית הזרעים שאנו מכירים). הזרעים האלה הובילו אותה לעולם המרתק של צמחים ששורדים ומשגשגים בסביבות קשות. עבודתה מתמקדת בהבנת האופן שבו צמחים מסוימים שורדים אובדני מים קיצוניים. מטרתה לתרום להתפתחות של צמחי יבול שהם עמידים יותר בפני בצורת. היבולים האלה הכרחיים לשיפור חייהם של חקלאים קטנים שחיים באזורים שמועדים לבצורות.

*maceciliadc@gmail.com



Hebrew version
provided by

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

