

השפעת ההתחממות הגלובלית על תרדמת עצי פרי נשירים ודרכים להתמודד איתה

אמנון ארז¹

עצי פרי נשירים זקוקים לחשיפה לטמפרטורות נמוכות (מכסות צינור) על מנת לצאת מתרדמת החורף ולאפשר התעוררות של פקעי הפרחים שלאחריה יתקיימו האבקה, הפריה וחנטה של פירות. שינוי בטמפרטורות המינימום והמקסימום עקב ההתחממות הגלובלית פוגע ביכולת הפקעים להיחשף למכסות הצינור והתעורר כהלכה. עקב כך צפויה פגיעה ביבולי הפרי. שיטות שונות שפיתחו מדענים, כמו שימוש באמצעים גינוניים (הורטיקולטוריים), פיזיקליים, כימיים או שיטות למניעת תרדמה מאפשרות להתגבר על אתגר זה.

תרדמה היא כלל התהליכים שיוצרים מצב של אי יכולת צמיחה ברקמות עובריות צמחיות בתנאים סביבתיים אשר בדרך כלל מאפשרים צמיחה¹. רק הרקמות העובריות בצמח, כלומר פקעי פרחים ופקעי עלים וקמביום (הרקמה המייצרת גֶצֶה ואת קליפת העץ) נכנסים למצב תרדמה. תרדמת הקמביום נובעת מתרדמת הפקעים, ואין תרדמה לשורשים. האברים הרדומים קולטים גרויים מן הסביבה ומגיבים בהתאם. בתרדמה מתנתק הקשר בין איברי העץ; כל פקע מגיב עצמאית לתנאים שאלהים הוא נחשף. התעוררות פקעי פרחים טובה מצטיינת בשלושה היבטים: (1) התעוררות מלאה (אחוז גבוה של פקעים מתעוררים מכלל הפקעים); (2) התעוררות פקעים אחידה; (3) התעוררות פקעים מוקדמת. לעומת זאת, בהתעוררות פקעים לקויה המצב הפוך: מעט פקעים מתעוררים, וגם לאלה המלבלבים ופורחים נדרשת תקופה ארוכה לשם כך, ונוסף על כך יש דחייה במועד ההתעוררות. (תמונה 1)

תקופת התרדמה המקדימה את ההתעוררות מחולקת לפי לאנג וחוברי¹ לשלוש תקופות: (1) Paradormancy - הפקעים מעוכבים על ידי הפקע הקודקודי. בתקופה זו אפשר לחדש צמיחה לאחר סילוק הקודקוד; (2) Endodormancy - התרדמה העמוקה שאפשר להתגבר עליה בטבע על ידי קור; ו-(3) Ecodormancy - תרדמה מושרית סביבה, שהיא מצב של אי התפתחות בשל תנאי סביבה שאינם מתאימים לצימוח, בדרך

מקור עצי הפרי הנשירים הוא האזורים הממוזגים בעולם המצטיינים בחורף קר. הבעיה הראשונית של הצמח הרב-שנתי באזורים ממוזגים היא התמודדות עם הטמפרטורות הנמוכות בחורף. בניגוד לבעלי חיים, צמחים אינם יכולים לשנות מקום, ועליהם להתמודד עם הקור במקום הימצאם. עצי פרי נשירים מצאו את הדרך: על ידי השרת החלקים הרגישים לקור, העלים, ולאט-לאט התפתחה עם השנים עמידות לקור בחלקים הנותרים.

הבעיות העיקריות שעמדו בפני עצים אלה היו:

- איך "לדעת" שהחורף מתקרב ושיש להיערך לקראתו?
- איך לשרוד לאורך התקופה הקרה?
- איך "לדעת" שהחורף עבר ושאפשר לחדש את הצמיחה וההתפתחות?

הגורמים הסביבתיים הנקלטים על ידי הצמח והמסמנים לו שהעונה הקרה מתקרבת הם היום המתקצר והטמפרטורות היורדות. גורמים אלה מובילים לארבעה תהליכים: (1) עצירת הצמיחה בקצות הענפים; (2) נשירת העלים; (3) שינויים תאיים המובילים להתפתחות עמידות לקור בפקעים ובענפים; (4) השראת מצב של תרדמה בפקעים. עמידות זו לקור מאפשרת לעץ לשרוד גם בטמפרטורות נמוכות מאוד. איך ידעו פקעי העץ מתי ניתן לחדש את הצמיחה ללא פגיעה? לצורך זה התפתחה באבולוציה תופעת התרדמה בצמחים.

¹ פרופ' אמנון ארז נהל את המחלקה לעצי פרי ואת המכון למטעים במכון וולקני למחקר חקלאי והרצה בפקולטה לחקלאות של האוניברסיטה העברית. מקים חברת פריטק לייצור לידרכי התמודדות מפני התחממות יתר והגנה מפני חריקים בצמחים.



תמונה 1: ימין- עצי אפרסק מעוצבים בצורת V בתרדמת חורף, שמאל: עצי אפרסק בפרחה. מקור עיצוב הגביע (V) באוסטרליה בתחנת הנסיונות טטורה. יתרונותיו באחידות טובה יותר של פיזור האור בנופי העצים. בה בעת, הפרי נישא בחלק הפונה לקרקע ומוגן מפני מכות שמש. היבולים גבוהים וכיון שהעץ איננו גבוה ניתן לקטוף את מרבית הפרי מגובה פני הקרקע.

השפעת טמפרטורות שונות על שבירת התרדמה ועל פוטנציאל חידוש הצמיחה

בדיקת התגובה לטמפרטורות השונות נעשתה על ידינו במחקר בעצי אפרסק בתנאים מבוקרים^{4,5,6,7}. על בסיס עבודות אלה אפשר לסכם את השפעות הטמפרטורה כלהלן:

דרישה לקור בעלת מאפיינים מסוימים היא תכונה גנטית של כל מין וזן. רק כאשר מולאה דרישת הקור יוכל הפקע להתעורר, לפרוח או לבלב. קור אפקטיבי לשבירת תרדמה בעצי אפרסק הוא טמפרטורות שבין 2- ל- 13 °C שחשיפה להן מובילה לשבירת תרדמה. היעילות הגבוהה ביותר לשבירת תרדמה בעצי אפרסק היא בטמפרטורות שבין 4 ל- 8 °C, עם ירידת היעילות בטמפרטורות נמוכות או גבוהות יותר. טמפרטורות "ממוצעות", שבין 13 ל- 16 °C אינן מובילות לשבירת תרדמה בפני עצמן, אך כאשר הן באות בצמוד לקור (2- עד 13 °C) ובמחזור יומי, הן מחזקות את השפעת הקור על שבירת התרדמה. זה קורה כשבילילה הטמפרטורות נמוכות וביום הן מגיעות עד 15-16 °C. לעומת זאת, טמפרטורות גבוהות מ- 18 °C יבטלו את השפעת הקור. ההשפעה השלילית על שבירת התרדמה מתחזקת ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר ומשכה ארוך יותר, אך רק במחזור היומי; לעומת זאת במחזורים הארוכים מיממה יש קיבוע של השפעת הקור ואין ביטול שלו על ידי חום. על סמך תוצאות אלה פיתחנו את המודל הדינמי^{8,9}. המודל הדינמי מסביר ומסכם את כלל השפעות הטמפרטורות על שבירת תרדמה (ראו תרשים 1).

כלל קור. יש לציין כי במונח "קור" בהקשר של התעוררות מתרדמה של פקעים הכוונה לטמפרטורות בטווח של 2- עד 13 °C². חוקרים חילקו את ה-Endodormancy לשתי תקופות: האחת, תרדמה עמוקה: D-Endodormancy, שאי אפשר להפסיקה על ידי התערבות אנושית, והשנייה, תרדמה שטחית: S-Endodormancy, שאפשר להפסיקה באמצעים לשבירת תרדמה שיתוארו בהמשך.

פקעים רדומים עשויים לעמוד בתנאי טמפרטורות נמוכות מאוד, אך כשהפקע מתעורר ומתחיל את צמיחתו - העמידות לקרה נעלמת ולכן חשוב שהפקע לא יתעורר בטרם זמן. תהליך חידוש הצמיחה הוא חד-כיווני, כך שחשיפה לקרה לאחר חידוש הצמיחה עשויה להוביל למות כל הפקעים ואיתם העץ כולו, שכן אלה אינם עמידים עוד לטמפרטורות הנמוכות. בטבע, במהלך האבולוציה, התפתח מנגנון של דרישת קור, המאפשר לצמח (למדוד) את כמות הקור המצטבר ואת משכו, ובכך "לחזות" מתי סכנת הקרה חלפה. לכל מין וזן מעצי הפרי הנשירים יש דרישת קור הספציפית לו. רק לאחר שדרישת קור זו מושגת יתחילו הפקעים להגיב לתנאי הסביבה ויחדשו את צמיחתם בתנאי סביבה המתאימים לצמיחה, כמו טמפרטורה, אור ולחות מספקת בקרקע³. במהלך האבולוציה התפתחה התאמה בין דרישת הקור של כל זן ומין ובין תנאי הקור הקיימים באזורי הגידול שלהם. "קור" בהקשר של דרישת קור הוא צירוף ייחודי של רמת טמפרטורה ומשך חשיפה, כפי שיתואר להלן.



הפקעים. בארץ ההערכות הן לשינויי טמפרטורה גדולים מהממוצע העולמי¹² ולכן יש להיערך להתמודד עם מצב זה בעתיד.

לודלינג¹³ הציג תחזית צבירת מכסות צינון שחושבו על פי המודל הדינמי בשישה אתרים בכדור הארץ לאמצע המאה ה-21 ולסופה, כמו גם נתוני מכסות צינון ל-1975 ולשנת 2000. את התחזיות הוא ערך גם בהתייחס למודלים אקלימיים שונים הנבדלים במידת מעורבות האדם לצמצום פליטת גזי חממה. בנתוני 1975 לעומת 2000 וכן בכל התחזיות צפויה ירידה במספר מכסות הצינון הצפויות, ובמיוחד באזורים מסוימים, כמו דרום אפריקה, מרוקו, דרום מערב אוסטרליה וצ'ילה. (תרשים 2)

כדי להתמודד עם האתגר של משטר טמפרטורות שאינו מאפשר צבירת די מכסות צינון להפסקת התרדמה, יכולים החקלאים לפעול בכמה אמצעים לשיפור התעוררות הפקעים.

קיימות ארבע דרכים שבהן אפשר לפעול על מנת למתן את עוצמת השינויים האקלימיים הצפויים¹⁴:

1. אמצעים גינוניים (הורטיקולטוריים).
2. אמצעים פיזיקליים.
3. אמצעים כימיים.
4. מניעת תרדמה.

הוא מתבסס על שתי ריאקציות כימיות שטיבן טרם ידוע בפקעים הרדומים:

הריאקציה הראשונה מייצרת בהשפעת הקור "מוצר ביניים". ריאקציה זו היא הפיכה, וטמפרטורה גבוהה תגרום להורדת רמת "מוצר הביניים".

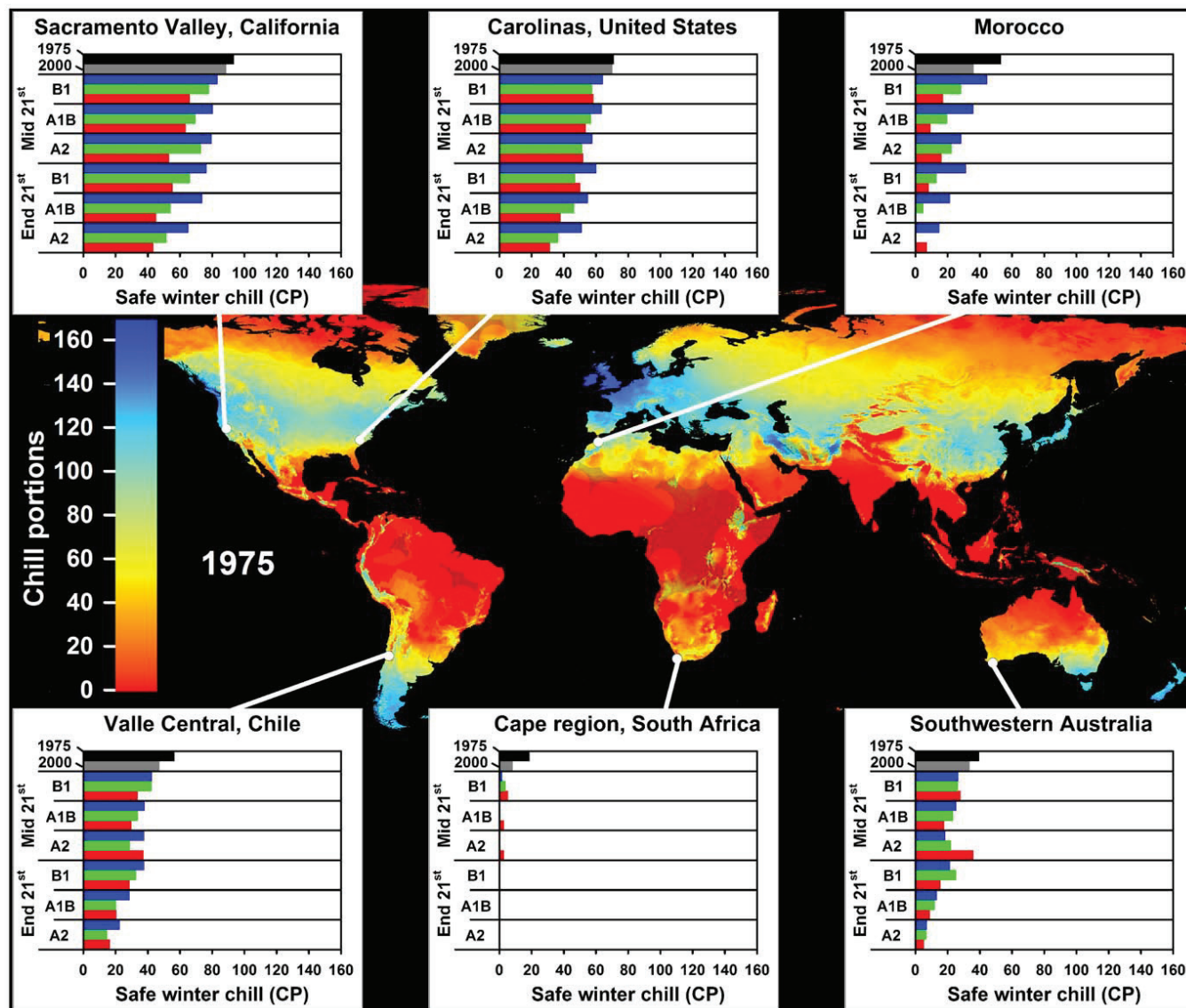
הריאקציה השנייה הופכת את "מוצר הביניים" כאשר זה מגיע לרמה קריטית ל"מוצר סופי קבוע". במצב זה אפשר לומר שהפקע צבר "מכסת צינון" אחת. כאשר "מוצר הביניים" הפך ל"מוצר סופי", רמתו מתאפסת והוא מוכן לצבירת קור נוספת. לדוגמה, חשיפה של פקעי אפרסק לטמפרטורה של 6°C במשך 28 שעות תהפוך את מוצר הביניים למוצר הסופי ותגרום לצבירה של "מכסת צינון" אחת. הפקעים של כל מין או זן של עצי פרי נשירים זקוקים למספר מסוים של מכסות צינון בזיקה לאפיון הגנטי שלהם.

מודל זה התקבל כמודל הטוב ביותר המתאר עד כה את דרישת הקור¹⁰. בדיקת תגובת עצי תפוח לטמפרטורות שונות הראתה פעילות שבירת תרדמה בטמפרטורות נמוכות יותר מאשר באפרסק¹¹.

ההתחממות הגלובלית משפיעה על צבירת מכסות הצינון בשתי דרכים; האחת, בעליית טמפרטורות המינימום בחורף וכתוצאה מכך צבירה פחותה של "קור". והשנייה, בעליית טמפרטורת המקסימום בחורף ועקב כך חשיפה לטמפרטורות גבוהות יותר המבטלות השפעת קור קודם על הפסקת התרדמה ולבלוב



תרשים 1



תרשים 2: תחזית צבירת מכסות צינון (Chill Portions) על פי המודל הדינמי - בשישה אתרים בעולם באמצע המאה ה- 21 (Mid 21st) ובסוף המאה ה- 21 (End 21st).
 התחזית מתוארת לשלושה מצבי פעילות של האדם לצמצום פליטת גזי חממה (A1B, A2, B1).
 לכל מצב מתוארות עמודות בשלושה צבעים: כחול, ירוק ואדום שמציגים תחזית על פי שלושה מודלים אקלימיים שונים.

לקוח מתוך:

Luedeling, E., Girvetz, E.H., Semenov, M.A., Brown, P.H., (2011). Climate change affects winter chill for temperate fruit and nut trees. PLoS ONE 6, 5, e20155.



אמצעים גינוניים (הורטיקולטוריים)

יש בידיו שני אמצעים הורטיקולטוריים לשיפור התעוררות הפקעים בעצי פרי נשירים: הראשון הוא כיפוף ענפים הצומחים זקופים למצב אופקי.



תמונה 2: התעוררות פקעים על ענפים זקופים ומוטים לכיוון האופקי בתפוח

פקעים שונים דורשים מנת קור שונה; הפקעים הקודקודיים דורשים פחות קור מאחרים על מנת להתעורר. פקעים וגטטיביים צדדיים דורשים את הקור הרב ביותר. לכן במצב של חסר חלקי של קור מתקבלת במקרים רבים התעוררות ראשונית של הפקע הקודקודי בעוד שהפקעים הצדדיים מפגרים בהתעוררות מאחר שהם דורשים יותר קור. מצב זה מייצר עיכוב קודקודי של הפקעים הצדדיים והם לא יתעוררו כלל. שינוי תנוחת הענף לאופקי או לזווית קרובה לאופקי תאפשר לפקעים הצדדיים להתעורר גם אחרי התעוררות הפקע הקודקודי (תמונה 2).

האמצעי השני הוא צמצום הצימוח הווגטטיבי. מעבר לדרישה הגנטית לדרישת קור ספציפית לכל מין, עוצמת הצמיחה גורמת לשינוי של דרישת הקור, כך שככל שעוצמת הצמיחה של הענפים והעלים מתחזקת, כך מספר מכסות הצינון הנדרשות עולה. על ידי בקרת השקיה ודישון חנקני, שימוש בִּפְּנוֹת מְנִיָּסוֹת, או באמצעות מעכבי צימוח אפשר לצמצם את עוצמת הצמיחה של הענפים ובכך לשפר את התעוררות הפקעים על אותם ענפים.

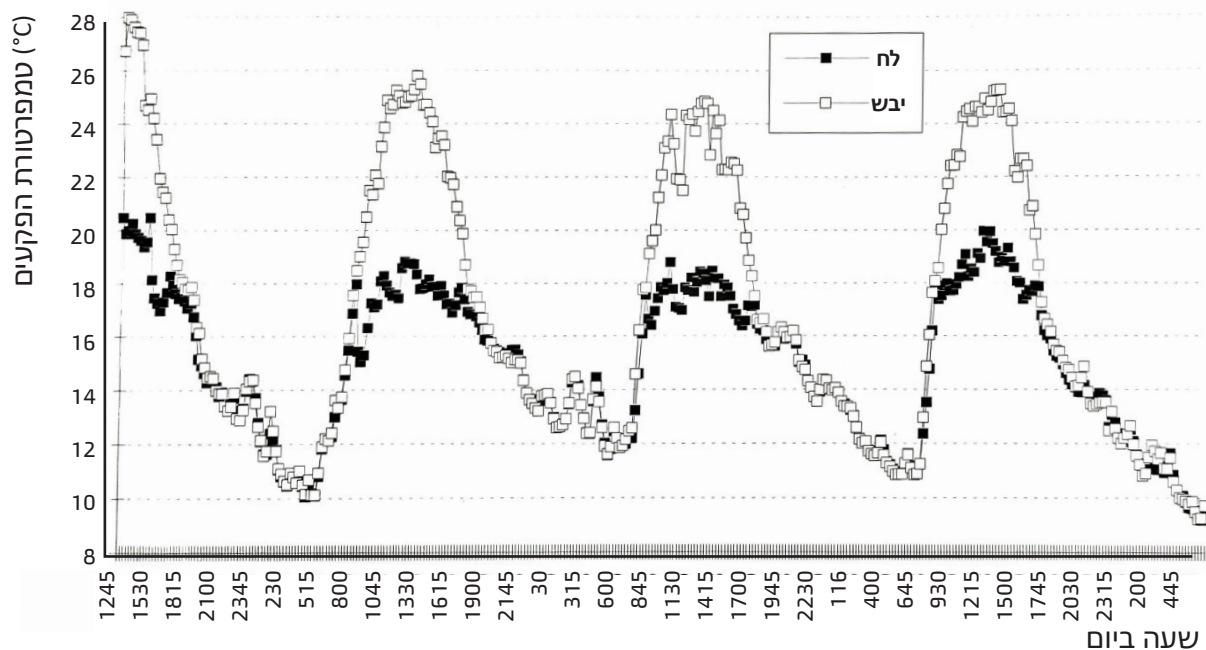
אמצעים פיזיקליים

שני אמצעים נמצא יעילים מאד בהשפעתם על שבירת התרדמה והם הצללה על המטע וקירור התנדפותי בשעות היום החמות. הצללה מקטינה חשיפה לאור שנמצא כגורם נוסף המשפיע על התעוררות מהתרדמה של הפקעים. בבתי הגידול הטבעיים של עצי פרי נשירים, החורף מאופיין בימים קצרים ובזווית שמש נמוכה. שני אלו גורמים למיעוט אור שנמצא תורם להתעוררות הפקעים.^{15,16} נמצא שהצללה עד החשכה מלאה משפרת את תגובת הפקעים לקור בכך שהיא מקטינה את דרישת הקור של הפקעים. בנוסף, ההצללה מונעת קרינה ישירה על העץ ובכך נמנעת עליית טמפרטורת היום מעבר לטמפרטורה בצל. חיפוי המטע ביריעות כהות מעל לעצים אכן ינמיך את עליית טמפרטורת היום של הפקעים בימים בהירים, אך עשוי להפריע להתקררות הלילית של הנוף. לעומת זאת יריעות אנכיות אינן מפריעות להתקררות הלילית, בניגוד ליריעות אופקיות, ולכן הוכנסו לשימוש מסחרי בצ'ילה (תמונה 3).



תמונה 3: יריעות שחורות מוצבות אנכית להצללה על עצי דובדבן בצ'ילה

ההשפעה השלילית של טמפרטורות גבוהות המובילות לביטול השפעת קור קודם עשויה להתגבר בעקבות ההתחממות הגלובלית שמובילה ליותר ימים בהירים ולעלייה בטמפרטורות המקסימום היומיות. בתנאי מזג אוויר חם, במקרים רבים יש די חשיפה לשעות של טמפרטורה נמוכה בלילה, אך השפעתן של שעות אלה מתבטלת על ידי טמפרטורות יום גבוהות (מעל 18 °C).



גרף 1: הנמכת טמפרטורת פקעי העץ בשעות היום בהשפעת קירור התנדפות (מתזים הופעלו ל-2 דקות מדי 15 דקות כשטמפרטורת הענפים עלתה על 18°C)

של ארמוברק שהוא אמין שומני (חומר מחדיר, שעובר קרומי תאים) וחנקות וכן הורמונים כמו ציטוקינים ובמיוחד תידיאזרון הן לבדו והן יחד עם שמנים מינרליים הם בעלי השפעה חזקה מאוד על שבירת תרדמה. עבודה בתחום זה נמשכת גם כיום^{26, 27}. השפעת הכימיקלים הללו היא בקבלת התעוררות פקעים אחידה ולעיתים גם בהקדמת התעוררות הפקעים²⁸ (תמונות 4, 5). עם זאת לא נוכל לפצות על יותר משליש מהקור הדרוש.



תמונה 4: עצי תפוח שרוסו כימיקלים להתעוררות באביב הקודם המראים פרחים ופירות מתפתחים על הצימוח הצידי (משמאל) מול ביקורת (מימין).

הדרך השנייה לשיפור התעוררות הפקעים במצב של חסר קור היא על ידי קירור התנדפות באמצעות התזת מים מעל נוף העצים בשעות היום. המים שמתנדפים יגרמו להנמכת טמפרטורת היום הגבוהה ויאפשרו צבירה של שעות הקור¹⁷ (גרף 1).

אמצעים כימיים

ישראל הייתה מחלוצות השימוש בכימיקלים לפיצוי על קור חסר לשבירת תרדמה. עוד בשנות הארבעים של המאה הקודמת פותחו בארץ כמה כימיקלים שהיו בשימוש מסחרי עשרות שנים ואפשרו התעוררות טובה של פקעי זנים שונים של עצי פרי נשירים שיובאו מארצות שבהן חורפים קרים הרבה יותר. סמיש (1954)³ הוביל כיוון זה ואחריו המשכנו בחיפוש אמצעים נוספים^{18, 19, 20, 21, 22, 23}.²⁴ (תמונה 2), ולאחרונה שוב התעורר עניין בחומרים אלה בשל הוצאתם משימוש של כימיקלים שנמצאו בעלי רעילות לאדם, כמו דורמקס^{23, 25}. מכלל החומרים השונים הנמצאים בשימוש ראויים לציון שמנים מינרליים ותרכובות דיניטר, במיוחד מֶפְטִילִינֶוֹקָאפ ($C_{18}H_{24}N_2O_6$). ריסוס בשמנים המינרליים מעכב פעפוע של חמצן אל הפקעים, ובכך גורם להפקת אנרגיה במצב אנאירובי שתוצריה גורמים לשבירת תרדמה. חומרים נוספים, כמו חנקות, שיכולים לגרום לשבירת תרדמה אינם עוברים את קרומי התאים. השילוב



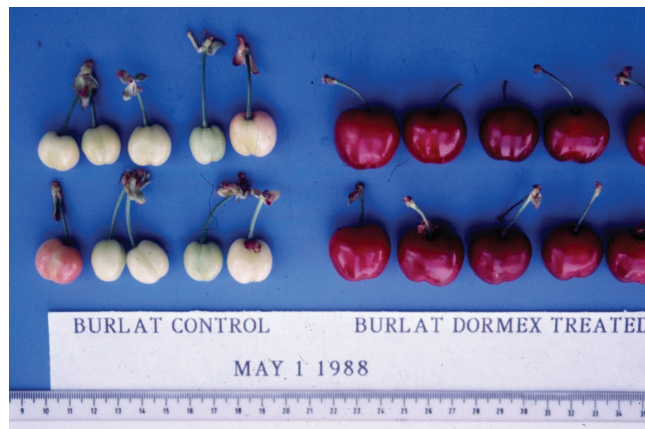
מאחר שכניסה לתרדמה שונה בין פקעי לבלוב, המושפעים בעיקר מחשיפה ליום קצר, ובין פקעי פריחה, המושפעים בעיקר מחשיפה לקור - תתקבל פריחה טובה ועלווה מעטה, וזאת מאחר שהיום הקצר מעודד כניסה לתרדמה של הצימוח הצעיר; ותתקבל **חֲנֻטָּה** טובה אך מיעוט התפתחות של עלווה. מצאנו שאפשר לשפר את הבלבול על ידי ריסוסי ג'יברלין. שיטה זו מתאימה רק לאזורים חופשיים מקרה בחורף ואומצה על ידי כמה מגדלים בגידול מסחרי, בעיקר בדרום.



תמונה 6: אפרסקים מהזן אלמוג. שתי השורות השמאליות רוססו במשיר עלווה ובשורה ימנית נובמבר והשורה הימנית הושארה כביקורת. צולם ב-1 בדצמבר [2022]



תמונה 7: האפרסק "ארלי גרנד" בראשית מארס [2022] בבית דגן



תמונה 5: קידום הבשלת פירות דובדבן על ידי הקדמת פריחה באמצעות כימיקלים לשבירת תרדמה שניתנו לעץ לפני ההתעוררות (טיפול בדורמקס מימין וביקורת משמאל)

מניעת תרדמה

אפשר לתאר מצבי קיצון שבהם רמת הצינון החורפי תיפגע כל כך שלא יהיה אפשר להגיע ליכולת לעורר את הפקעים; זאת מאחר שהאפשרויות העומדות לפנינו שצוינו לעיל אינן יכולות לפצות על יותר משליש מהקור החסר. עדיין יש לפנינו אפשרות נוספת, והיא שימוש בשיטת מניעת התרדמה.

אמצעי זה מבוסס על הנעת העצים לפרוח וללבלב בטרם נכנסו למצב תרדמה עמוקה, כלומר בשלב ה-Paradormancy, על ידי מניעת תרדמה ללא קשר לדרישת הקור של הפקעים. טכניקה זו פותחה בעולם בארצות טרופיות נעדרות קור בכל מיני הנשירים²⁹. היא מאפשרת באזורים אלה גם קבלה של יותר מיבול אחד בשנה. שיטה זו שוכללה על ידינו לגבי עצי פרי גלעיניים בישראל ואומצה בארץ על ידי כמה מגדלים³⁰, התעוררות הפקעים מושגת על ידי שילוב של השרת עלים³¹, הצמקה ולאחריה השקיה, וריסוס בכימיקלים שוברי תרדמה בתקופה שבה טרם הושרתה תרדמה מלאה בפקעים. מתקבלת התעוררות פקעים טובה בראשית החורף, וזאת בתנאי שפעולה זו תתבצע בטרם כניסה לתרדמה עמוקה, בדרך כלל בחודש נובמבר (תמונות 6, 7 ו-8)



החורפי הטבעי איננו מספק - עד לרמה מסוימת - באמצעים הורטיקולטוריים, פיזיקליים וכימיים. הוצגו אמצעים שונים לשיפור התעוררות הפקעים גם בתנאי צמצום בקור חורפי: בקרת צמיחה מופרזת, הטיית ענפים למצב אפקי, הצללה, קירור נוף ביום על ידי התזה, ושימוש בכימיקלים לשבירת תרדמה.

מעקב אחרי צבירת הקור הוא הבסיס לקביעת עיתוי הטיפול בכימיקלים שוברי תרדמה. המודל הדינמי נמצא כעוקב בצורה טובה אחרי צבירת הקור באפרסק. הוא מקובל כמודל הטוב ביותר כיום לקביעת צבירת הקור. אין לנו אפשרות לפצות על יותר משליש הקור החסר, ולכן ההתחממות הגלובלית מציגה אפשרות שגידול עצי פרי נשירים באתרים נמוכים לא יהיה אפשרי בעתיד, אלא אם נצליח לפתח זנים איכותיים דורשי קור מועט מאוד. הוצגה האפשרות של מניעת תרדמה כדרך של עקיפת דרישת הקור וקבלת יכול בכיר ומסחרי בגלעיניים, באזורים חופשיים מקרה בחורף, בלי קשר לדרישת הקור.



תמונה 8: מניעת תרדמה, האפרסק "עודד" בג'וליס, 20.12.22

סיכום

במאמר הוצגה תופעת התרדמה והסיבות לקיומה וכן הוצגו דרישות הקור ודרך חישובן. תוארו האמצעים שישנם ברשותנו להתמודדות עם מחסור בקור חורפי, במיוחד על רקע ההתחממות הגלובלית. אפשר להגיע להקדמת פריחה והבשלה, להגברת אחידות ההתעוררות ולהבטחת יכול גבוה גם כשהקירור

מקורות

- 1 Lang G.A., Early J. D., Martin G. C. and Darnell R. L. (1987). Endo, para and ecodormancy : Physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22: 371-377.
- 2 Faust, M., Erez, A., Rowland, L.J., Wang, S.Y. and Norman H.A. (1997). Bud dormancy in perennial fruit trees; Physiological basis for dormancy induction maintenance and release. *HortScience* 32: 623-629.
- 3 Samish R.M. (1954). Dormancy in woody plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 5: 182-203.
- 4 Erez A., Couvillon G.A., and Hendershott, C.H. (1979a). Quantitative chilling enhancement and negation in peach buds by high temperatures in a daily cycle. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 536-540.
- 5 Erez A., Couvillon G.A., and Hendershott C.H. (1979b). The effect of cycle length on chilling negation by high temperatures in dormant peach leaf buds. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 573-576.
- 6 Erez A., and Couvillon G.A. (1987). Characterization of the influence of moderate temperatures on rest completion in peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112: 677-680.
- 7 Couvillon G.A., and Erez, A. (1985). Effect of level and duration of high temperatures on rest in the peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110: 579-581.
- 8 Fishman, S., Erez, A., and Couvillon G.A. (1987a). The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Mathematical analysis of a two-step model involving a cooperative transition. *Jour. Theor. Biology* 124: 473-483.
- 9 Fishman, S., Erez A., and Couvillon G.A. (1987b). The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Simulation of processes studied under controlled temperatures. *Jour. Theor. Biology* 126: 309-322.
- 10 Luedeling E. (2012). Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae* 144: 218-229.



- 11 Naor, A., Flaishman, M., Stern, R. Moshe, A. and Erez, A. (2003). Temperature effects on dormancy completion of vegetative buds in apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128: 636-641.
- 12 יוסף י., אוזן ל., בהר"ד ע., אוסטינסקי-צידקי א., חלפון נ. ואמיתי א. (2021). השירות המטאורולוגי, פרויקט מאמ"ל דו"ח שלב ה: ממדי טמפרטורה שעתיים, עבר ועתיד. 29 ע.
- 13 Luedeling, E., Girvetz, E.H., Semenov, M.A., Brown, P.H., (2011). Climate change affects winter chill for temperate fruit and nut trees. *PLoS ONE* 6, 5, e20155.
- 14 Erez, A. (2000). Bud dormancy, phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. In A. Erez, Editor, *Temperate fruit crops in warm climates*. Kluwer Academic Publishers, dordrecht, The Netherlands. 17-48 pp.
- 15 Erez A., Samish R.M., and Lavee S. (1966). The role of light in leaf and flower bud break of the peach (*Prunus persica*). *Physiol. Pl.* 19: 650-659.
- 16 Erez A., Lavee S., and Samish R.M. (1968). The effect of limitation in light during the rest period on leaf bud break of the peach (*Prunus Persica*). *Physiol.Pl.* 21: 759-764.
- 17 Erez A., and Couvillon G.A. (1983). Evaporative cooling to improve rest breaking of nectarine buds by counteracting high daytime temperatures. *HortScience* 18: 480-481.
- 18 ארז א., לביא, ש. וסמיש, מ.ר. (1969). אמצעים משופרים לשבירת התרדמה באפרסק ובמיני עצי פרי נשירים אחרים. עלון הנוטע כ"ג 206-211.
- 19 ארז א., צור א. (1978). שבירת תרדמה בניצני תפוח. השפעת שמנים פרפיניים ודיניטראורטו קרזול. עלון הנוטע ל"ב 529-539.
- 20 ארז א., לביא, ש. (1970). יעילות טיפולים לשבירת תרדמה בעצי פרי נשירים. 1 השפעת טיפולים לשבירת תרדמה על רמת היבול מידת ההבכרה וגודל הפרי במישמש קנינו. עלון הנוטע כ"ה 135-142.
- 21 ארז א. ולביא, ש. (1971). יעילות טיפולים לשבירת תרדמה בעצי פרי נשירים. 2. טיפולים משולבים לשבירת התרדמה בגרעיניים. עלון הנוטע כ"ו 99-105.
- 22 ארז א. (1971). יעילות טיפולים לשבירת תרדמה בעצי פרי נשירים. 3. שמנים מטווח זיקוק צר. עלון הנוטע כ"ז 105-113.
- 23 ארז א. (1978). שבירת תרדמה בניצני תפוח. השפעת הטמפרטורה על פעילות ריסוסי שמן ודיניטרו-קרזול. עלון הנוטע ל"ב 607-610.
- 24 Erez, A. (1987). Chemical control of bud break. Invited symposium paper. *HortScience* 22: 1240-1243.
- 25 Erez A., Yablowitz Z. Aronovitz A. and Hadar A. (2008). Dormancy breaking chemicals: efficiency wirth reduced phytotoxicity. *Acta Hort.* 772: 105-112.
- 26 Crane O. Sar Shalom A. and Erez A. (2022) Coping with global warming effects on reduced winter chilling for deciduous fruit trees. *Acta Hort.* 1346: 91-100.
- 27 קראין ע., שטרן ר., עוגני י., שר-שלום א., עגיב מ., דורון י., גרינבלט י., אנטמן ש. וארז א. (2015). שבירת תרדמה בתפוח: פיתוח חלופות לאלזודף. עלון הנוטע ס"ט אוקטובר 34-38.
- 28 שניר י. וארז א. (1988). טיפולי שבירת תרדמה בגודגן. עלון הנוטע מ"ב 535-538.
- 29 Edwards G.R. (1987). Production of temperate-zone fruit at low latitudes, avoiding rest and the chilling requirement. *HortScience* 22: 1236-1240.
- 30 ארז א., יבלוביץ ז. ופרנקל מ. (1990). מניעת תרדמה לקבלת התעוררות מחוץ לעונה באפרסק פלורדהפרינס 88/89. עלון הנוטע מ"ד 989-992.
- 31 לרנר ח. ארז א. (1991). הבכרת אפרסק מהזן טקסס על ידי מניעת תרדמה. השדה ע"א 881-887.



מן המאמר אל שדה ההוראה

מאמרו של פרופ' אמנון ארז מציג ידע המבוסס על מחקרים שנערכו בארץ בהקשר של אי התאמתם של מיני עצים נשירים שהובאו מאזורים ממוזגים לתנאי הטמפרטורה בארץ, אשר הקשתה על השגת "מכסות הצינון" הנדרשות להתעוררות פקעי הפרחים. כיום משרת ידע זה את כלל מדינות העולם הסובלות משינויי אקלים, ובהם קיצור התקופות שהטמפרטורה בהן נמוכה מחד גיסא ועלייה במשך התקופות החמות במהלך החורף מאידך גיסא. שינויים אלו גורמים לבעיה בהתעוררות הפקעים ולצמצום ביבול הפרי. השיטות שפותחו בארץ כדי להתגבר על המחסור במכסות צינון מתאימות ליישום במדינות אלה.

תוכן המאמר יכול לשמש אותנו המורים בהקשר של כמה נושאים:

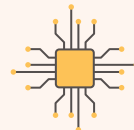
רבייה בצמחים - אף על פי שנושא זה מוגדר בשנה זו כרשות, הרי מבחינה אזרחית יש חשיבות שהלומדים יבינו כיצד הירקות והפירות שהם חלק חשוב מן המזון שהם צורכים מגיעים אל השוק, אל המרכולים ואל המטבח. ההיכרות עם תהליך התעוררות הפקעים המתואר במאמר היא חלק מן המענה לשאלה: "כיצד מגיעים התפוחים, השזיפים, המשמשים, האפרסקים, הדובדבנים ועוד אל שולחנו?". חשוב למקם את התעוררות הפקעים במחזור חיי הצמח, כלומר, בהנצת הפרחים שאחר כך יעברו האבקה (על ידי חרקים בעצים נשירים), הפריה ויצירה (חנטה) של פירות. יש להציג את הדרישה המיוחדת של העצים הנשירים ל"מכסות צינון" כמקרה מיוחד המווסת את תהליך הפריחה.

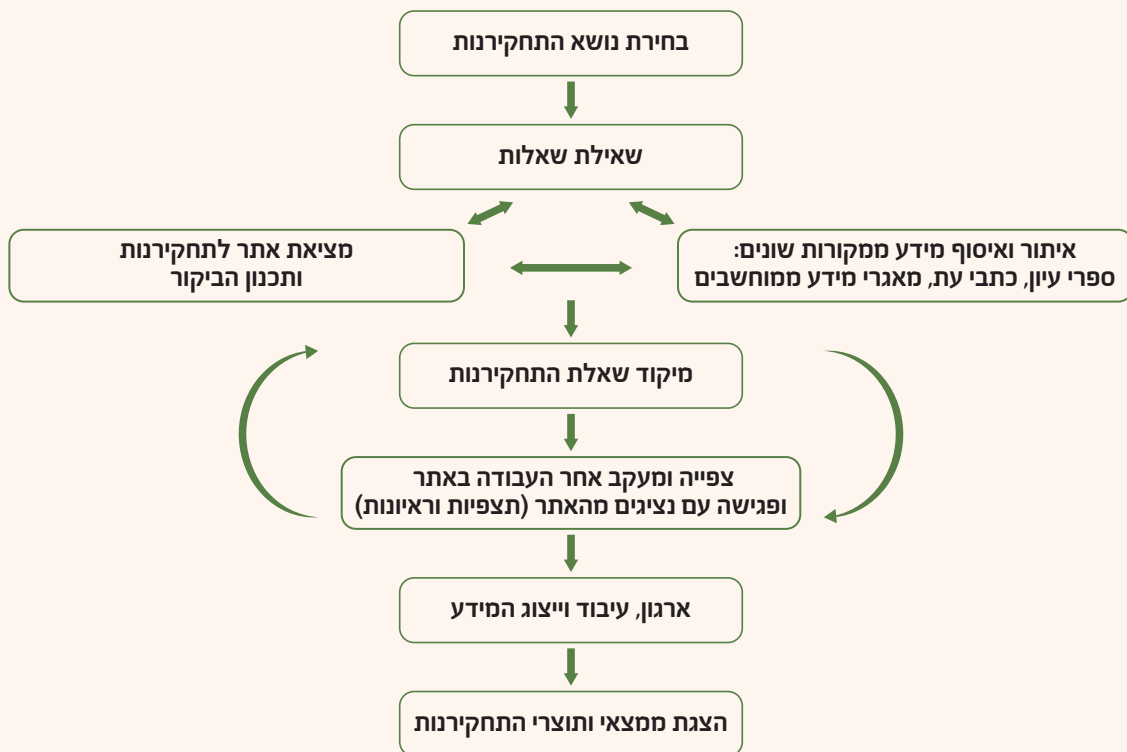
אקולוגיה - התהליך שעליו מבוסס המאמר בנושא תרדמה של עצים נשירים והתעוררות הפקעים הוא דוגמה להשפעתם של גורמים אביוטיים על גורמים ביוטיים. זוהי דוגמה לתגובה של העצים לשינוי בתנאים הסביבתיים של משך היום וטמפרטורת הסביבה.

מדע יישומי - המאמר מכיל מגוון דוגמאות של ידע שנתגלה במחקר המיושם בחקלאות של גידול עצי פרי נשירים, ובהן: אמצעים גינוניים (הורטיקולטוריים), אמצעים פיזיקליים, אמצעים כימיים ואמצעים למניעת תרדמה.

תחקירנות מדעית טכנולוגית

[תחקירנות מדעית טכנולוגית](#) היא תוכנית שפותחה במחלקה להוראת מדעים במכון ויצמן למדע והופעלה על ידי המחלקה שנים מספר. את התוכנית ליווה [ספר לתלמיד ומדריך למורה](#). מטרת התוכנית היא להביא להיכרות אותנטית עם העשייה במדע וטכנולוגיה בסביבת בית הספר ולאפשר להם מגע עם מדע וטכנולוגיה "בפעולה", כמו גם מפגשים עם מדענים, מהנדסים, חקלאים ואנשי טכנולוגיה. התלמידים מגיעים לפגוש ולצפות באנשי המקצוע במקומות עבודתם - במעבדות, במפעלים, בשדות ובמטעים, מראיינים אותם ונוטלים חלק במחקר מדעי או ביישום. בהמשך, המידע שהם אוספים מעובד, מנותח ומוצג לבסוף בפני תלמידים אחרים. התהליך נעשה הן ברמת הכיתה השלמה והן בלמידה שיתופית בקבוצות (Collaboration).





אפשר להקשיב [להרצאה של ד"ר זהבה שרף](#), שעמדה בראש התוכנית, על מהותה ויתרונותיה של התוכנית כיום, [תהליכי למידה מבוססים על תחקירנות במדע וטכנולוגיה](#) מנחים על ידי מכון דוידסון לחינוך מדעי במכון ויצמן. כדי לקיים תחקירנות מדעית טכנולוגית בהקשר של גידול פירות של נשירים התלמידים צריכים:

- ללמוד תחילה את נושא הרבייה ואת הדרישות להתעוררות פקעים בעצים נשירים.
- להשתתף בלמידה חוץ-כיתתית הכוללת סיור/ים במטעי נשירים ובמפגש עם החקלאי המגדל, לרבות תצפית בפעולות שהוא נוקט (אפשר לבקר בתקופת תרדמת העצים ובתקופת התעוררות הפקעים. חשוב להכין שאלות לחקלאי כדי להבין לעומק את התהליך ואת פעולותיו, לכתוב את עיקרי הדברים ולצלם תמונות מתהליכים חשובים.
- לסכם את הנלמד מן הסיור ואף להעלות שאלות נוספות שיופנו אל החקלאי.
- להכין כתבה בנושא ההתאמות הנדרשות בגידול נשירים כדי להתגבר על המחסור ב"מכסות צינור".

באזורים שבהם מטעי נשירים אינם נגישים לאוכלוסייה, אפשר להזמין חקלאי המגדל עצים נשירים להרצות בנושא בפני התלמידים או לקיים תחקירנות במדע וטכנולוגיה בסוגיות חקלאיות אחרות הנוגעות לאספקת מזון.

