

פיתוח מודל אקלימי לחיזוי השלמת תרדמה בתפוח לתנאי האקלים בישראל

עמוס נאור, אמנון ארז, סוּטלנה פישמן, משה פליישמן

רקע

אקלים בארץ נחשב לגבולי לגבי רוב זני התפוח בהקשר של צבירת קור להשלמת תרדמה. ברוב אזורי הארץ משתמשים בחומרים שוברי תרדמה על מנת לאפשר התעוררות באביב גם במצב שלא הושלמה התרדמה באופן טבעי. שוברי התרדמה האפקטיביים הם צורבניים וקיים חשש לנזק ולפיכך יש צורך לבצע אופטימיזציה של מימשק שבירת התרדמה. להערכתנו, תאור מדויק של השפעת טמפרטורות החורף על התקדמות בתהליך השלמת התרדמה יהווה כלי שיאפשר לקבוע את העיתוי האופטימלי לשבירת תרדמה. בארץ פותח מודל להשפעת אקלים על השלמת תרדמה באפרסק ע"י ארז וחובריו. מודל זה הניח שלכל טמפרטורה השפעה שונה לצבירת מנות צינון להשלמת תרדמה. עוד הניח המודל שצבירת הקור יכולה להתבטל עד לגבול מסוים בו ההשפעה מקובעת ובלתי הפיכה. במחקר זה בחננו באיזו מידה ניתן להשתמש במודל שפותח לאפרסק לצורך חיזוי השלמת תרדמה בתפוח. מטרת המחקר היו לפתח פונקציות הקושרות השפעת טמפרטורה על צבירת מנות צינון להשלמת תרדמה בתפוח. המחקר מהווה שלב ראשוני בבניית המודל שכן לצורך פשטות וגמישות הפעלה ויכולת להפעיל מספר חזרות גדול תוכנן המחקר לעבודה על ענפים בני שנה בלבד ולפיכך לא קיבלנו תשובות לגבי חיזוי השלמת תרדמה בדורבנות נושאי פרי. תוצאות המחקר יהוו בסיס לפיתוח מודל לחיזוי השלמת תרדמה בעצים בוגרים.

חמרים ושיטות

בשנתיים הראשונות התעוררו בעיות (יתואר בפרק התוצאות) שהעלו ספק באשר לאמינות התוצאות ועל כן לאחר שנפתרו הבעיות חזרנו על הניסויים גם בשנה השלישית. התוצאות המוצגות בדו"ח מתרכזות באלו שהתקבלו בשנה השלישית.

החומר הצמחי – נרכשו 500 שתילים חשופי שורש מהזן זהוב על כנה חשבי. השתילים הועברו למיכל 7 ליטר המכיל 70 אחוז טוף ו-30% כבול במהלך אפריל. העצים גודלו בשטח פתוח בחוות אבני איתן עד לסוף אוקטובר. מיד לאחר ההתעוררות נקטמו העצים כ-20 ס"מ מעל ההרכבה ומתחת לחתך התפתחו שלושה ענפים. בסוף העונה היה צימוח של כ-80 ס"מ.

טיפול הקרוור – בחוות פיכמן נבנו עשרה מקררים (2X1.5X1.5). בכל תא הותקן מפזר קור. הקרוור נעשה באמצעות שלושה מדחסים (שניים קרוור שלושה תאים ואחד ארבעה תאים). על כל מפזר קור הותקן גוף חימום. בנוסף למאוורר שבמפזר הקור הותקן מאוורר נוסף בדופן התא במחצית הגובה. שני המאווררים שבתא הקרוור פעלו 24 שעות ביממה ליצירת ערבול טוב של האוויר. במרכז התא הותקן מד חום אנלוגי (PT100). בקרת הטמפרטורה נעשתה באמצעות בקר של חברת אלדר שחובר למחשב PC. הטמפרטורה נקראה באופן רציף, אחת לעשר דקות.

העצים בעציצים הועברו לחוות פיכמן והוכנסו למקררים לאחר שהמצע נשטף בתמיסת חיטוי נגד פטריות. בכל תא הוכנסו 36 עצים. בשבעה תאים היתה טמפרטורה אחידה במשך כל היממה (0),

2.5, 5, 7.5, 10.0, 12.5 ו-15.0 מעלות צלסיוס). בנוסף, בשלושה מקררים נבחנה השפעה של טמפרטורה מתחלפת לאורך היממה כאשר בכל התאים היתה טמפרטורה של שש מעלות במשך 16 שעות וטמפרטורות של 14, 17, ו-20 מעלות במשך 8 שעות.

בניסוי נוסף בו נצברו לפחות 2100 שעות צינון ב-5 מעלות נבדקה השפעת תנאי ההמרצה: 1. המרצה בתנאים טבעיים בחוץ כשהעצים עומדים זקופים; 2. עצים עומדים בחדר ההמרצה; 3. עצים שוכבים בחצר ההמרצה.

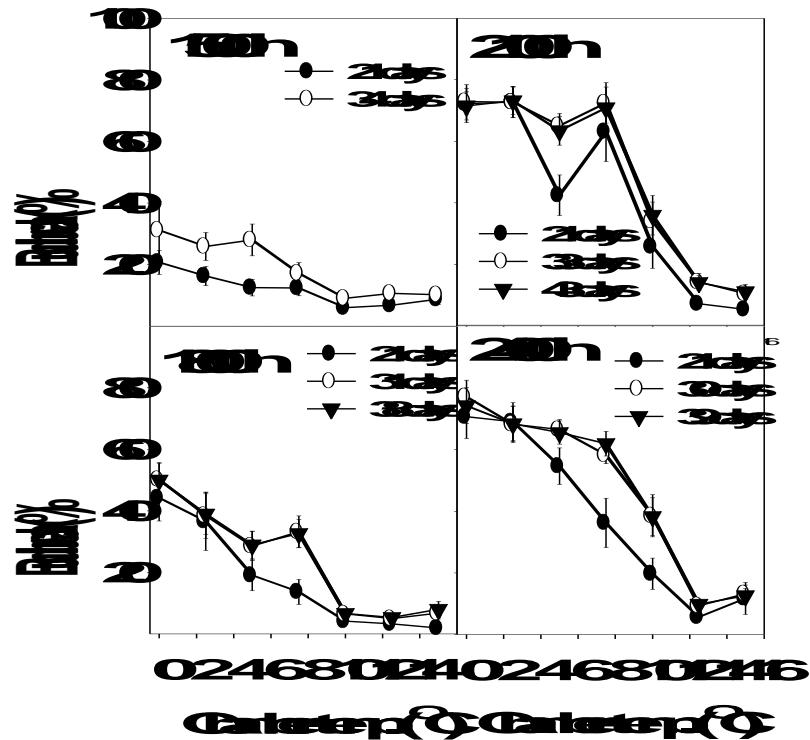
המרצת העצים להתעוררות – העצים מתאי הקרור בהם היתה הטמפרטורה קבועה הוצאו להמרצה לאחר 1500, 1800, 2100 ו-2400 שעות קרור. בכל מחזור הוצאו תשעה עצים מכל מקרר. בתהליך ההוצאה הושרו העלים שעדיין לא נשרו באופן טבעי ובוצע קיטום של החלק העליון של הענפים. העצים הוכנסו לחדר בו היתה טמפרטורה קבועה של 22 מעלות צלסיוס ותאורת פלואורסנט למתן פוטופריודה. התאורה פעלה 16 שעות ביממה. העצים הושקו בטפטוף פעם ביום. העצים הושכבו על צידם בכדי למנוע השפעה הדדית בין הפקעים באמצעות השלטון הקדקדי. במהלך תהליך ההמרצה בוצעה ספירה של הפקעים שהתעוררו לאחר 21 יום כ-32 יום וכ-40 יום מתחילת ההמרצה. נספרו פקעים הנמצאים בחלק העליון של הענף ומשני צידיו. פקעים במצב תחתון לא נספרו על מנת למנוע השפעת שלטון קדקדי. טיפולי הקרור בהם טמפרטורת התא משתנית לאורך היממה יוצאו להמרצה לקראת סוף מרץ.

תוצאות

בשנה הראשונה חלה תמותה של עצים במהלך הניסוי. להערכתנו תמותה זו נגרמה ע"י פתוגן בשל תנאי חוסר איוורור ששררו במצע (פרליט). לקראת השנה השנייה עברנו למצע (70% טוף 30% כבול) ששיפר את תכולת האוויר ותופעה זו לא חזרה על עצמה בשנתיים הבאות. בשנה הראשונה נבדק אחוז ההתעוררות מתוך הפקעים החיים והתקבלה עליה באחוז ההתעוררות עם הירידה בטמפרטורה. עלתה אפשרות שהתמותה התגברה עם עליית הטמפרטורה ועל כן נפסלו התוצאות. עליה באחוז ההתעוררות עם הירידה בטמפרטורה התקבלה גם בשנה השנייה דבר שאישש את מימצאי השנה הראשונה. אחוז ההתעוררות המקסימלי היה נמוך (כ-20%) ועלה חשש שהשלטון הקדקדי מונע מיצוי התעוררות של פקעים לטרלים. בשנה השלישית בוצעה המרצת העצים כשהם שוכבים לצורך ביטול השלטון הקדקדי.

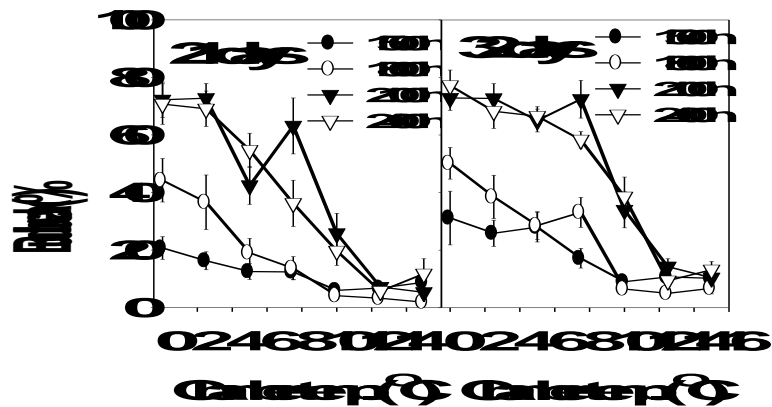
אחוז ההתעוררות של הפקעים הטרלים עלה עם הירידה בטמפרטורת הקרור (ציור 1).

ציור 1: אחוז התעוררות של פקעים לטרלים בהשפעת טמפרטורת הקרור לאחר 1500, 1800, 2100 ו-2400 שעות ולאחר 21, כ-32 וכ-40 ימים בהמרצה בטמפרטורה של 22 מעלות ואורך יום 16 שעות.



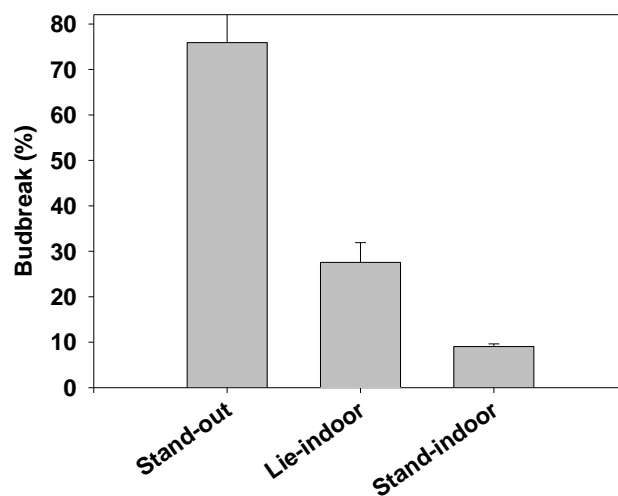
לא נמצאו הבדלים באחוז ההתעוררות בין 32 יום ל-40 יום לאחר ההמרצה (ציור 1) דבר המצביע על כך שההתעוררות הושלמה לאחר 32 ימים בהמרצה. בשתי הטמפרטורות הנמוכות היגיעה ההתעוררות למקסימום כבר לאחר 21 יום בהמרצה למעט בהוצאה מקרור לאחר 1500 שעות. עם עליית טמפרטורת הקרור ירד אחוז ההתעוררות. גם בטמפרטורות גבוהות היתה התעוררות, בין חמישה לעשרה אחוז, בעיקר בחלק העליון של הענף מתחת לקיטום. להערכתנו התעוררות זו קשורה בתגובה לקיטום ועל כן ניתן לאמר שבטמפרטורות קרור של 12.5 ו-15.0 מעלות לא היתה באופן מעשי התעוררות שלאחר השלמת תרדמה. לאחר 2100 שעות קרור התקבל אחוז התעוררות גבוה יותר ב-7.5 מעלות קרור לעומת 5.0 מעלות קרור (ציור 2), דבר הנראה חריג בהשוואה למגמה המתקבלת בכל שאר המקרים.

ציור 2: אחוז התעוררות של פקעים לטרלים לאחר 21 יום וכ-32 יום בהמרצה. בהשפעת טמפרטורת הקרור. העצים הוכנסו להמרצה בטמפ' של 22 מעלות ואורך יום 16 שעות לאחר 1500, 1800, 2100 ו-2400 שעות.



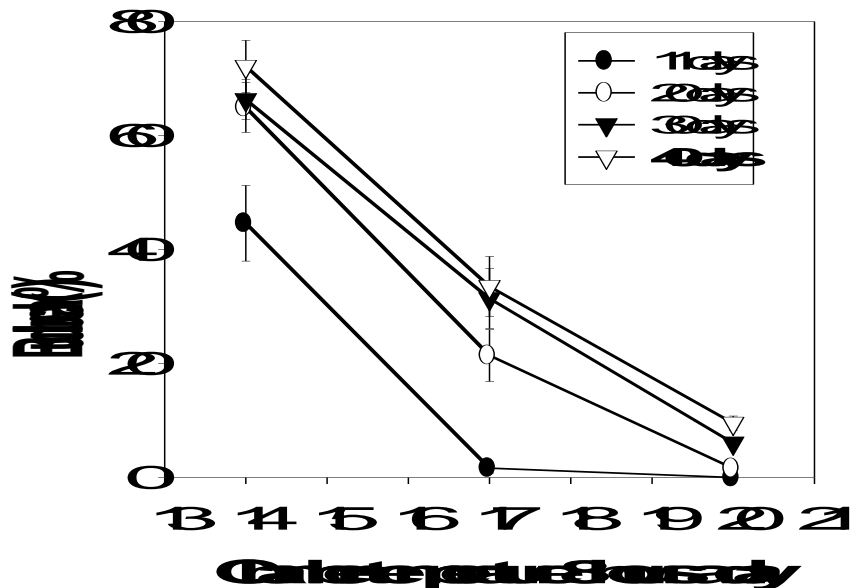
לא נתקבלה עליה באחוז התעוררות בתוספת שעות קרור מעבר ל-2100 (ציור 2) דבר המצביע על כך שצבירת הקור להשלמת תרדמה הושלמה ב-2100 שעות קרור. אחוז ההתעוררות של עצים שהומרצו בחוץ היה 76% בהשוואה לעצים עומדים בחדר ההמרצה 9% ועצים שוכבים בחדר ההמרצה 28% (ציור 3). אחוז ההתעוררות של עצים שוכבים בחדר ההמרצה היה נמוך משמעותית מאחוז ההתעוררות שהתקבל בשאר הניסוי (ציור 1,2). יש מקום לחזור על הניסוי שנית אך נראה שבתנאי המרצה טבעיים השלטון הקדקדי אינו מעכב התעוררות בעוד שבתנאים מלאכותיים השלטון הקדקדי מעכב התעוררות פקעים לטרלים הרחוקים מהפקע האמירי.

ציור 3: אחוז ההתעוררות של הפקעים הלטרלים כפונקציה של תנאי ההמרצה וזווית הענפים. נערכה השוואה בין עצים עומדים בתנאי המרצה בחוץ לעצים עומדים בחדר ההמרצה ועצים שוכבים בחדר ההמרצה.



בניסוי בו שהו העצים בטמפרטורות גבוהות למשך 8 שעות לאורך היממה (14, 17 ו20 מעלות) התקבלה ירידה באחוז ההתעוררות עם עליית הטמפרטורה החמה (ציור 4). ניתן לאמר שלשמונה שעות בטמפרטורות גבוהות יש כושר ביטול של שעות הצינון שנצברו בשארית היממה ועוצמת הביטול עולה עם עליית הטמפרטורה עד לביטול מוחלט ב20- מעלות.

ציור 4: אחוז ההתעוררות של הפקעים הלטרלים כפונקציה של תנאי המרצה וזווית הענפים. נערכה השוואה בין עצים עומדים בתנאי המרצה בחוץ לעצים עומדים בחדר המרצה ועצים שוכבים בחדר המרצה.



דיון

תחום הטמפרטורות בניסוי הקיף את כל טווח ההשפעה מעל ל-0 מעלות שכן היגענו לחוסר התעוררות (שלא בהשפעת הקיטום) בטמפרטורות הגבוהות. ברור שחסרים נתונים מתחת ל-0 מעלות להשלמת תרומת הטמפרטורות השונות לצבירה היחסית של מנות צינון ויש מקום לבחון טמפרטורות נמוכות מ-0- מעלות להשלמת השפעת הטמפרטורה על צבירת מנות הצינון. יחד עם זאת חשיבות הטמפרטורות הנמוכות מאפס לתנאי הארץ הינה שולית. טווח שעות הקרור שנבחן במחקר היה מספיק שכן לא היתה תרומה להמשך קרור מעבר ל2100 שעות. משך מדידת ההתעוררות בתהליך המרצה היה מספיק שכן לא התקבלה עליה באחוז ההתעוררות מעבר ל32 ימים בהמרצה. נראה שיש מקום לבצע את תהליך המרצה על עצים שוכבים לביטול השפעת השילטון הקדקדי.

עקום השפעת הטמפרטורה על צבירת מנות צינון שהתקבל במחקר זה שונה מהמקובל לגבי עצים נשירים. במודלים המקובלים יש ירידה בתרומת טמפרטורה לצבירת מנות צינון מתחת ל-6 מעלות וב-0 מעלות אין תרומה כלל לצבירת מנות צינון. חשוב לציין שתוצאות המחקר חזרו על עצמן במשך שלוש שנים ובמספר עצים גדול. במשכי הזמן השונים בקרור היו עצים שונים כך שאין מדובר במדידות נמשכות על אותו חומר צמחי. אם כן מדובר בארבע חזרות על המימצא של

תרומה גבוהה יותר לצבירת מנות צינון בטמפרטורות נמוכות (ציור 2) דבר המחזק את הממצא מעבר לספק. עקום התרומה היחסית של טמפרטורה לצבירת מנות צינון שבו השתמשו במודלים בתפוח נבנה מנתונים מטאורולוגיים במטעים מסחריים ולא בתנאים מבוקרים כמו בניסוי הנוכחי. יחד עם זאת בניסוי שלנו מדובר בענפים חד שנתיים שדרישות הצינון שלהם גבוהות מפקעי פרי רב שנתיים. בבדיקת תרומת טמפרטורות שונות לצבירת מנות צינון של זרעי תפוח בתנאים מבוקרים נתקבלה ירידה בתרומת הטמפרטורות מתחת ל6 מעלות.

דרישות הצינון של ענפים בני שנה גבוהות מהמקובל. בניסוי שדה בגולן נתקבלה עליה באחוז ההתעוררות בהשפעת שוברי תרדמה בענפים בני שנה זאת למרות שהתקבלו כ90 מנות צינון על פי המודל המקובל. תצפיות בצפון הגולן הראו תופעה של העדר התעוררות שלמה בענפים בני שנה דבר התומך במימצאי המחקר.

מפליא שלא היתה עליה באחוז ההתעוררות מעבר ל2100 שעות בטמפרטורות גבוהות בהן חלק גדול מהפקעים לא השלימו את צבירת מנות הצינון להשלמת התרדמה. במידה והממצא נכון יש בכך להצביע שהשפעת הקרור אינה לינארית, קרי תרומת כל שעת צינון להשלמת התרדמה משתנית לאורך תהליך הקרור. על רקע חשיבות הנושא יש מקום לבצע השוואה של טווח רחב יותר של שעות קרור.

במחקר התגלו מימצאים המצביעים על קצב התעוררות שונה בטמפרטורות השונות. יש לכך משמעות בהקשר להשתלטות השלטון הקדקדי בהתאם לתנאי ההמרצה. במידה ותגובת השתלטות השלטון הקדקדי בהשפעת תנאי ההמרצה שונה מתגובת ההתעוררות יכול להיווצר מצב שבטבע ישתנה אחוז ההתעוררות בתנאי המרצה שונים בשל השפעת השלטון הקדקדי. יש מקום ללמוד נושא זה באופן יסודי לשם השלמת הבנתנו את הגורמים שישפיעו על מידת התעוררות פקעי תפוח באביב.

ניתן על סמך תוצאות המחקר להציע מודל אמפירי של השפעת טמפרטורות על השלמת תרדמה בתפוח, אם כי בחלק מהמודל עדיין יש הנחות שיש לבססן. לצורך זה נשתמש באחוז ההתעוררות כפונקציה של הטמפרטורה לאחר 2400 שעות צינון 321 ימי המרצה (ציור 2). באשר לביטול שעות צינון ניתן להציע ביטול שעות צינון המשתנה באופן לינארי מאפס ביטול ב14 מעלות לביטול מלא ב20 מעלות (ציור 4). יש צורך לחזור על ניסוי זה בצורה מפורטת בשני הבטים. האחד לבחון מספר טמפרטורות בין 14 ל17 ובין 17 ל20. כמו כן יש מקום לבחון את השפעת משך החשיפה לטמפרטורות גבוהות על מידת ביטול שעות הצינון. בשלב זה נניח השפעה לינארית של משך החשיפה לטמפרטורה הגבוהה, קרי, אפס השפעה באפס שעות חשיפה להשפעה מלאה בשמונה שעות חשיפה. להשלמת המודל יש לבחון באילו תנאים לא ניתן לבטל את שעות הצינון המצטברות. באשר למודל הפיזיקלי מתעוררת בעיה שכן עקום התגובה של התעוררות הפקעים לטמפרטורה אינו עקום מקסימום כפי שקורה במודל השלמת התרדמה באפרסק.

סיכום – במהלך המחקר בנינו פרוטוקול עבודה בענפים בני שנה. ייצרנו שתי פונקציות שיהוו את בסיס המודל לחיזוי השלמת תרדמה. האחת קושרת את טמפרטורת השהיה בחורף לבין אחוז ההתעוררות של פקעים. השנייה קושרת השפעת שעות חמות לאורך היממה על ביטול השפעת שעות קרות בשארית היממה. במהלך המחקר התקבלו מימצאים בדבר קצב בניית השלטון הקדקדי העשויים להסביר הבדלים בהתעוררות פקעים שהשלימו תרדמה בהשפעת השתנות תנאי ההמרצה באביב. בנינו מודל ראשוני לחיזוי השלמת תרדמה בתפוח הדורש אימות. חלקים מהמודל מבוססים על שתי הפונקציות שייצרנו. במודל עדיין שתי הנחות, האחת באשר להשפעת

משך השהיה בטמפרטורות גבוהות לאורך היממה והשניה מניחה בשלב זה שאין מצב בו צבירת שעות הצינון אינה ניתנת לביטול.

מחקר המשך נדרש – יש צורך לבסס בניסוי מבוקר את שתי ההנחות הנ"ל ויש צורך לאמת את המודל בעצים השוהים בחורף בתנאים טבעיים. כמו כן יש לפתח לבחון התאמת המודל לתגובת פקעים רב שנתיים כולל דורבנות.