

פיתוח מודל לחיזוי השפעת אקלים על השלמת תרדמה בתפוח

עמוס נאור – המכון לחקר הגולן
אמנון ארז – מנהל המחקר החקלאי
משה פליישמן – מנהל המחקר החקלאי
רפי שטרן – מו"פ צפון

מאי 2006

אייר תשנ"ו

תקציר

בעית המחקר – המחקר מטפל באופטימיזציה של התאמת תפוחים (דורשי קור) לאזורי גידול. במחקר נבדקה באופן כמותי השפעת טמפרטורה על השלמת תרדמה בפקעי צימוח ודורבנות עם פקעים מעורבים בתפוח מתוך כוונה לפתח מודל החוזה השפעת טמפי על השלמת תרדמה.

חומרים ושיטות – בוצעו מספר ניסויים בעציצים על עצים משני סוגים: ענפים חד שנתיים עם פקעי צימוח; עצים רב שנתיים עם דורבנות (פקעים מעורבים). נעשה אימות של מודל חיזוי השלמת תרדמה בפקעי צימוח על עצים עם ענפים חד שנתיים ששהו משכי זמן משתנים בחוות פיכמן לפני שהוכנסו להמרצה. נבחנה ההנחה שתגובת פקעי צימוח לטמפרטורה מבחינת צבירת מנות צינון משתנה לאורך התרדמה. כמו כן נבחנת השפעת טמפי בתנאים מבוקרים וצבירת קור בתנאים טבעיים על אחוז התעוררות של דורבנות. בנוסף נבדקה השפעת חשיפת עצים ל-0 ו-6 מ"צ למשכי זמן שונים בתחילת החורף על כניסה לתרדמה.

תוצאות – המודל שפותח חוזה טוב התעוררות פקעי צימוח עד 1500 שעות צינון ומעבר לכך המודל חוזה בחסר את אחוז ההתעוררות. התגובה של פקעי צימוח לטמפרטורה משתנה לאורך התרדמה דבר המסביר חלק מהסטיה של המודל. נתקבל עקום תגובת דורבנות לטמפי בו התעוררות מקסימלית ב-0 מ"צ, ירידה קלה עד 6 מ"צ, ירידה חזקה עד 12 מ"צ ועליה לאחר מכן. העליה מעל 12 מ"צ הוסברה ע"י כניסה מופחתת לתרדמה בטמפרטורות גבוהות. ניסוי שבחן חשיפת עצים ל-0 ו-6 מ"צ למשכי זמן שונים בתחילת החורף על כניסה לתרדמה הראה: 1. משך החשיפה הדרוש לכניסה לתרדמה ב-0 מ"צ קצר מזה שב-6 מ"צ; 2. ב-6 מ"צ נדרש כחודש לכניסה לתרדמה. סביר על כן שבטמפרטורות גבוהות מ-12 מ"צ תהיה דחיה משמעותית בכניסה לתרדמה. כך העליה באחוז ההתעוררות מעל 12 מ"צ נובעת מעליה באחוז הפקעים שלא נכנסו לתרדמה.

מסקנות – עקומי התגובה שבנינו להשפעת טמפרטורה על יציאת פקעי צימוח מתרדמה מאפשרים לבנות מודל חיזוי סביר. לגבי חיזוי השלמת תרדמה של דורבנות עם פקעים מעורבים המצב מורכב ויחייב המשך המחקר. הסיבוך שאיתרנו בנושא השפעת הטמפרטורה על כניסה לתרדמה יוצר בעייה בביצוע הניסויים. לא ברור שניתן לבנות מערך ניסוי טוב לבניית מודל חיזוי השלמת תרדמה בדורבנות עם פקעים מעורבים.

מבוא – מדינת ישראל נמצאת בקצה הדרומי של תפוצת התפוח בחצי הכדור הצפוני ותנאי

האקלים ככלל אינם אופטימלים לגידול מין זה. אחת הבעיות היא שהחורף בארץ אינו מספק די שעות צינון להשלמת תרדמה ואין מנוס משימוש בשוברי תרדמה להבטחת אחוז התעוררות תקין. מנגנון פעולתם (הכללי) של שוברי התרדמה על סוגיהם השונים הוא יצירת עקה השוברת את התרדמה. העקה הנוצרת ע"י שוברי התרדמה יכולה לגרום לנזק ויש צורך להגדיר את התנאים בהם יש צורך בהפעלת שוברי התרדמה. מקובל מניסיון רב שנתי שניתן לשבור תרדמה כאשר נצברו כשני שלישים ממנות הצינון הדרושות להשלמת התרדמה. מידע זה לא מתבסס על מידע מחקרי. יש מקום להגדיר איזה חלק ממנות הצינון צריך להיצבר בכדי ששבירת התרדמה תביא להתעוררות תקינה בהיקף מסחרי. בהקשר זה יש להתחשב בדרישות הצינון השונות שיש לפקעים

וגטטיבים ולפקעי פרי שכן התעוררות מספקת של פקעי פריחה ויצירת כמות עלווה שאינה מספקת יאפשרו אמנם קבלת יבול אך יפגעו ביכולת העץ להניב פרי איכותי ובתהליך ארוך קימת סכנה של התנוונות העץ. בנוסף, יש להתחשב בעיתוי ריסוס שובר התרדמה מפני שהעקה שיוצרים שוברי התרדמה המביאה לשבירתה, עשויה לגרום להשפעות פיטוטוקסיות ולפגוע בפקעים המתעוררים. במחקר שערכנו בתרדמה והתעוררות של פקעי צימוח ופקעים מעורבים על דורבנות מצאנו שמשך הזמן הדרוש להתעוררות מתקצר ככל שנצברו יותר מנות צינון. מכאן שהרגישות לכימיקלים שוברי תרדמה מותנית בהתקדמות מצב התרדמה. חשוב לציין שעוצמת הנזק משוברי תרדמה תלויה בין השאר באקלים שלאחר הריסוס, קרי, קצב צבירת ימי המעלה. אם כן יש כאן מרכיב בלתי ניתן לחיזוי הקובע בדיעבד, האם שבירת התרדמה תגרום נזק. ככל שידרש זמן רב יותר לתחילת ההתעוררות בעקבות ישום שוברי תרדמה כך תקטן ההסתברות לקבלת נזק לפקעים המתעוררים. מודל חיזוי השלמת התרדמה יהווה כלי שבאמצעותו ניתן יהיה להשיג מטרה זו. בעבר נעשה ניסיון לחזות השלמת תרדמה בתפוח תוך שימוש במודל הדינמי שפותח לחיזוי השלמת תרדמה באפרסק. נמצא שמודל זה אינו חוזה במדויק את השלמת התרדמה בתפוח שכן הפונקציה הבסיסית המתארת השפעת טמפ' על השלמת תרדמה בתפוח שונה מזו של אפרסק (מצאנו במחקר קודם).

חומרים ושיטות

2003 - בוצעו שלושה ניסויים: בדיקת השפעת טמפ' (בתנאים מבוקרים) על התעוררות דורבנות בעצים רב שנתיים; בדיקת השפעת משך שהיית עצים בשלושה אזורי אקלים על אחוז התעוררות דורבנות. אימות מודל לחיזוי השלמת תרדמה בפקעי צימוח.

בדיקת השפעת טמפ' (בתנאים מבוקרים) על התעוררות דורבנות בעצים רב שנתיים – הניסוי בוצע על עצי זהוב על כנת חשבי הגדלים שלוש עונות במיכלים. העצים גדלים במהלך עונת הגידול באבני איתן והם פתחו מספר רב של דורבנות. העצים הוכנסו במחצית נובמבר לתאי קרוור בטמפ' שונות, מ-5- מ"צ ועד 18 מ"צ למשך 1200 ו-1700 שעות. לאחר מכן העצים הוכנסו לחדר המרצה בטמפ' 23 מ"צ ואורך יום 16 שעות למשך 48 ימים. אחוז ההתעוררות של הדורבנות נמדד לאורך תקופת השהיה בהמרצה.

בדיקת השפעת משך שהיית עצים בשלושה אזורי אקלים על אחוז התעוררות דורבנות – עצים רב שנתיים עם דורבנות הועברו לשלוש חוות בגבהים שונים במחצית נובמבר, חוות גד"ש, חוות אבני איתן, חוות פיכמן. מספר פעמים לאורך החורף הועברו עצים להמרצה ונמדד אחוז התעוררות לאחר 42 ימים.

אימות מודל לחיזוי השלמת תרדמה בפקעי צימוח – עצים עם ענפים חד שנתיים הועברו לחוות פיכמן במחצית נובמבר. עצים הועברו להמרצה מספר פעמים לאורך החורף, לאחר צבירת מנות צינון ברמות שונות על פי המודל שפותח.

2004 - בוצעו שני ניסויים האחד על פקעי צימוח על ענפים חד שנתיים והשני על דורבנות בעצים בני שנתיים.

השפעת טמפרטורה לקראת סוף תהליך התרדמה על התעוררות פקעי צימוח – הניסוי בא לבחון את השפעת הטמפרטורה לאחר 1300 שעות צינון ב-3 מ"צ על התעוררות פקעי צימוח כאשר המטרה הייתה לבחון האם התגובה לטמפרטורה משתנה לאורך התרדמה. השאלה התעוררה מאחר והמודל שפיתחנו חוזה בחסר את ההתעוררות לאחר 1300 שעות. הניסוי בוצע בעצי תפוח

מהזן זהוב שגדלו במיכלים בנפח 10 ליטר. שתילים חד שנתיים ניטעו באביב במיכלים בחוות אבני איתן ונקטמו כ-40 ס"מ מעל ההרכבה. בכל עץ התפתחו עד שלושה ענפים חד שנתיים באורך של מטר ויותר. העצים הוכנסו לתא קרוור בטמפ' של 3 מ"צ במהלך חודש נובמבר. לאחר 1300 שעות חולקו העצים ל-5 קבוצות שגדלו בטמפרטורות שונות (3, 7, 11, 15 ו-19 מ"צ). בנוסף, קבוצת עצים אחת הועברה להמרצה במועד פיצול הטמפרטורות כאשר ההמרצה נעשתה בטמפ' של 22 מ"צ בתאורת פלורסנט ואורך יום של 10 שעות. במהלך השהיה בטמפרטורות השונות הועברו קבוצות עצים להמרצה לאחר 1500, 1700 ו-1900 שעות מתחילת הניסוי (נובמבר). במהלך ההמרצה נספרו הפקעים המתעוררים מספר פעמים. העצים בהמרצה היו במצב אופקי למנוע השפעת שלטון קדקדי.

לצורך אימות המודל שהו עצים בחוות פיכמן (גובה 1000 מ מעל פני הים) וקבוצות עצים שונות הוכנסו להמרצה מספר פעמים לאורך החורף.

השפעת משך השהיה בטמפרטורות נמוכות בתחילת התרדמה על עוצמת התרדמה של דורבנות – הניסוי בא לבחון את השפעת משך השהיה בטמפרטורות של 0 או 3 מ"צ בתחילת החורף על כניסה לתרדמה. שאלת המחקר התעוררה בעונה החולפת בה התקבלה עליה באחוז ההתעוררות מעל טמפ' של 12 מ"צ בחורף. הניסוי בוצע בעצי תפוח מהזן זהוב שגדלו במיכלים בנפח 10 ליטר. שתילים חד שנתיים ניטעו באביב במיכלים בחוות אבני איתן ונקטמו כ-40 ס"מ מעל ההרכבה. בכל עץ התפתחו עד שלושה ענפים חד שנתיים באורך של מטר ויותר. באביב השני הושכבו העצים על מנת לעודד התעוררות פקעים צדדיים ולאחר ההתעוררות סובבו העצים ב-180 מעלות על מנת לעודד התעוררות בהיקף הגזע כולו. לאחר שהתעוררות הפקעים הצדדיים התקבלה (צימוח של מספר ס"מ) הועמדו העצים במצב זקוף עד החורף. במהלך נובמבר נערך ניסוי בו שהו העצים בשתי טמפרטורות נמוכות (0, ו-6 מ"צ) לשלושה משכים בתחילת התרדמה (160, 320 ו-500 שעות). בהמשך שהו העצים בטמפ' של 18 מ"צ עד להשלמת 1700 שעות מתחילת הניסוי. בטיפול הביקורת שהו העצים 1700 שעות בטמפ' של 18 מ"צ. לאחר 1700 שעות הועברו העצים להמרצה בטמפ' של 22 מ"צ בתאורת פלורסנט ואורך יום של 10 שעות.

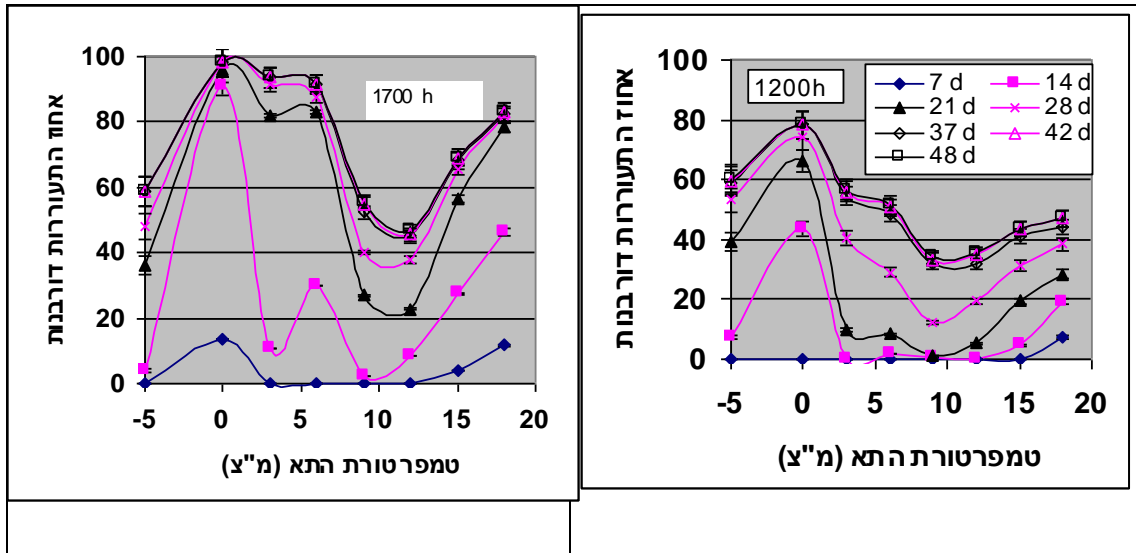
2005 – בוצע ניסוי אחד בחורף 2005

השפעת משך השהיה בטמפרטורות נמוכות בתחילת התרדמה על עוצמת התרדמה של דורבנות – הניסוי בא לבחון את השפעת משך השהיה בטמפרטורות של 0 או 3 מ"צ בתחילת החורף על כניסה לתרדמה. הניסוי נעשה במתכונת דומה לזו של העונה הקודמת כאשר משך השהיה ב-0 מ"צ בתחילת התרדמה היה 3, 7, 14 ו-21 ימים וב-6 מ"צ 7, 14, 21 ו-31 ימים. לאחר מכן העצים שהו בטמפ'טורה של 18 מ"צ עד להשלמה של 1700 שעות מתחילת הניסוי. בנוסף היה טיפול ביקורת ששה ב-18 מ"צ 1700 שעות. לאחר 1700 שעות הוכנסו העצים להמרצה ונבדק אחוז ההתעוררות במשך 49 ימים.

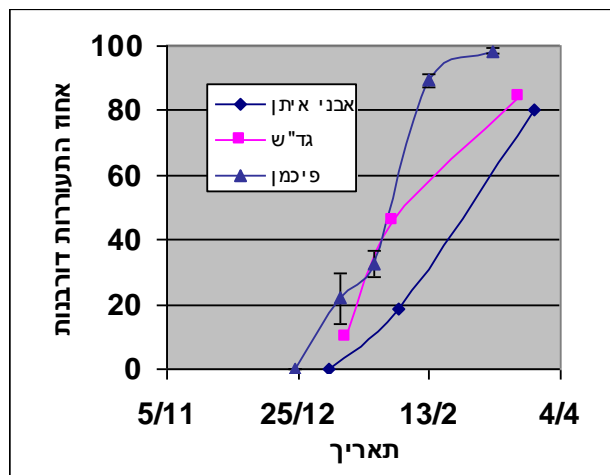
תוצאות

2003 - אחוז ההתעוררות המקסימלי של דורבנות התקבל ב-0 מ"צ (איור 1) והיתה ירידה קלה עד 6 מ"צ. מעל 6 מ"צ ירד אחוז ההתעוררות בצורה משמעותית עד 12 מ"צ ומעבר ל-12 מ"צ היתה עליה באחוז ההתעוררות.

איור 1: אחוז ההתעוררות של דורבנות כפונקציה של הטמפרטורה בתא לאחר 1200 ו-1700 שעות ולאורך תהליך ההמרצה.

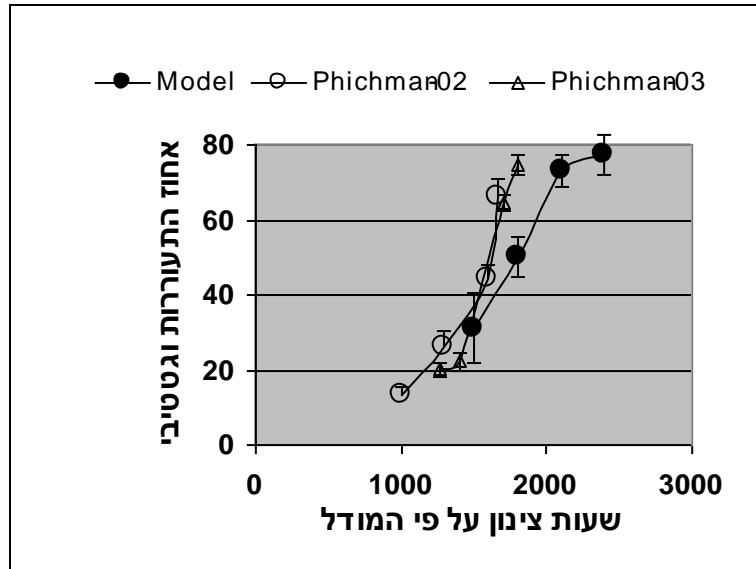


אחוז ההתערורות של דורבנות עלה לאורך החורף בשלושת החוות (איור 2). ההתערורות בכל מועד הייתה גבוהה יותר בחוות פיכמן וכן גם אחוז ההתערורות המקסימלי.
איור 2: אחוז ההתערורות של דורבנות לאורך החורף בחוות גד"ש, אבני איתן ופיכמן.



אחוז התערורות של פקעי הצימוח עלה עם עליית מנות הצינון (איור 3). בשתי השנים התקבלה תגובה דומה של אחוז ההתערורות של פקעי הצימוח לצבירת שעות צינון בחוות פיכמן. המודל חזה את אחוז ההתערורות טוב עד 1500 שעות צינון ומעבר ל-1500 הערכת אחוז ההתערורות הייתה נמוכה.

איור 3: אחוז ההתערורות של פקעי צימוח כפונקציה של צבירת מנות הצינון על פי המודל ועל פי הנמדד בפועל בחוות פיכמן בשנים 2002 ו-2003.

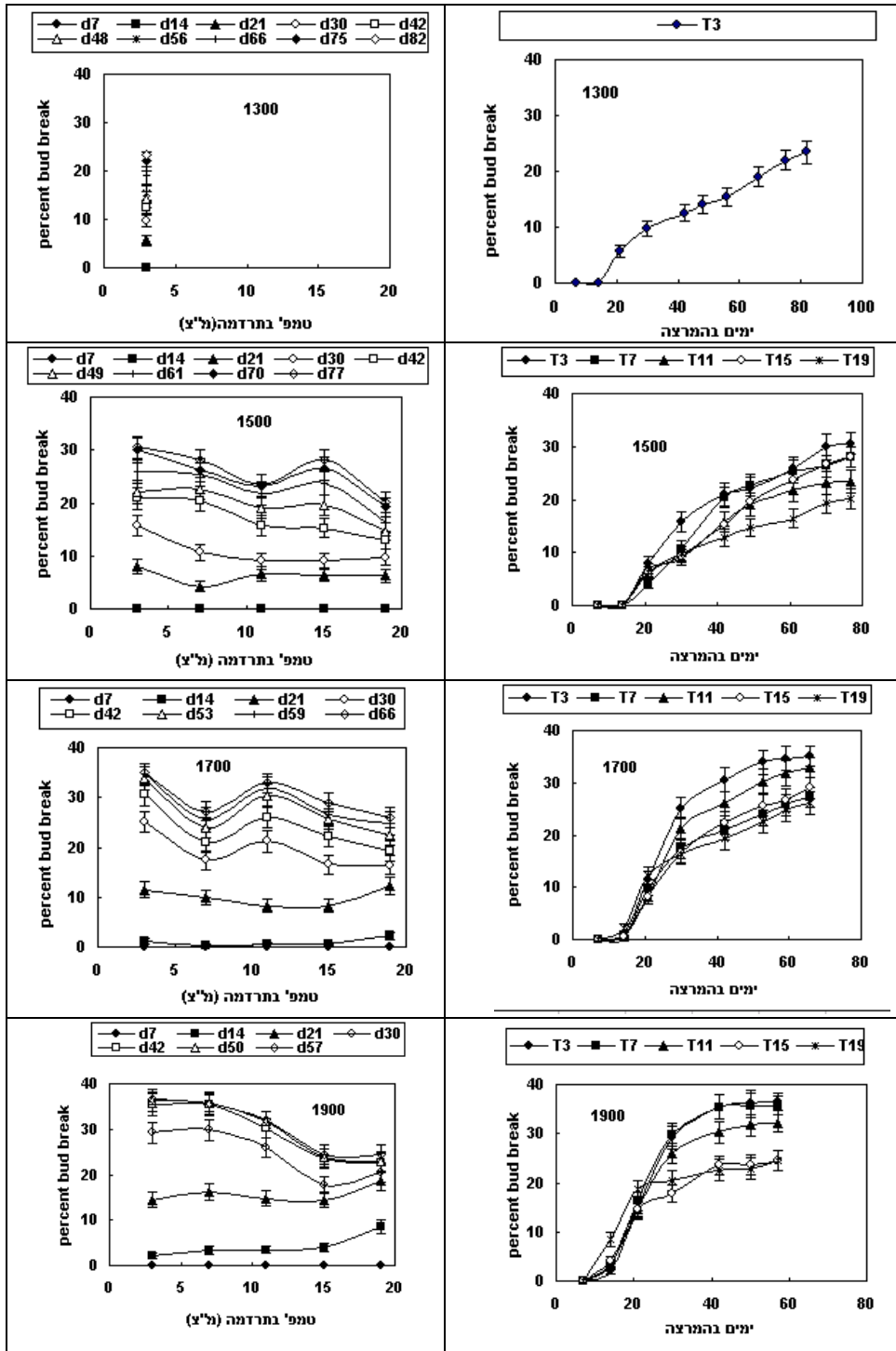


2004

השפעת טמפרטורה לקראת סוף תהליך התרדמה על התעוררות פקעי צימוח – בעונה הנוכחית המשכנו את תהליך ההמרצה מעבר למשך המקובל (42 יום). לאחר 1300 שעות התקבלו 14% התעוררות בתום 42 ימים בהמרצה ובתום 80 ימים מעל 20% התעוררות (איור 4) דגם התפתחות ההתעוררות דומה לסיגמואיד כפול המצביע על שני תהליכים שלראשון מתיחסים בדרך כלל כאל זה המבטא השפעת טמפרטורה על צבירת קור. התהליך השני הוא תהליך שבדרך כלל מתעלמים ממנו והוא מבטא התעוררות עולה לאחר משכי המרצה ארוכים. בחלק מהמקרים קשה להפריד בין שני תהליכי ההתעוררות (בולט ב-1700 שעות; איור 4) כך שקשה להגדיר את תרומת הטמפי השונות להתעוררות. לאחר 1900 שעות התקבלה התעוררות ראשונית מוקדמת בטמפי של 19 מ"צ כצפוי מתקופת המרצה ממושכת בטמפרטורה זו, ולאחר מכן עבר אחוז ההתעוררות בטמפרטורות הנמוכות את זה שב-19 מ"צ. התרומה היחסית הגבוהה ביותר מתקבלת ב-3 מ"צ בשני המקרים (איור 6) – תרומה ממוצעת לאורך כל התרדמה ותרומה לאחר 1300 שעות ב-3 מ"צ. אך עם עליית הטמפרטורה התרומה היחסית של טמפי גבוהות גדולה יותר לאחר 1300 שעות בהשוואה לתרומה הממוצעת.

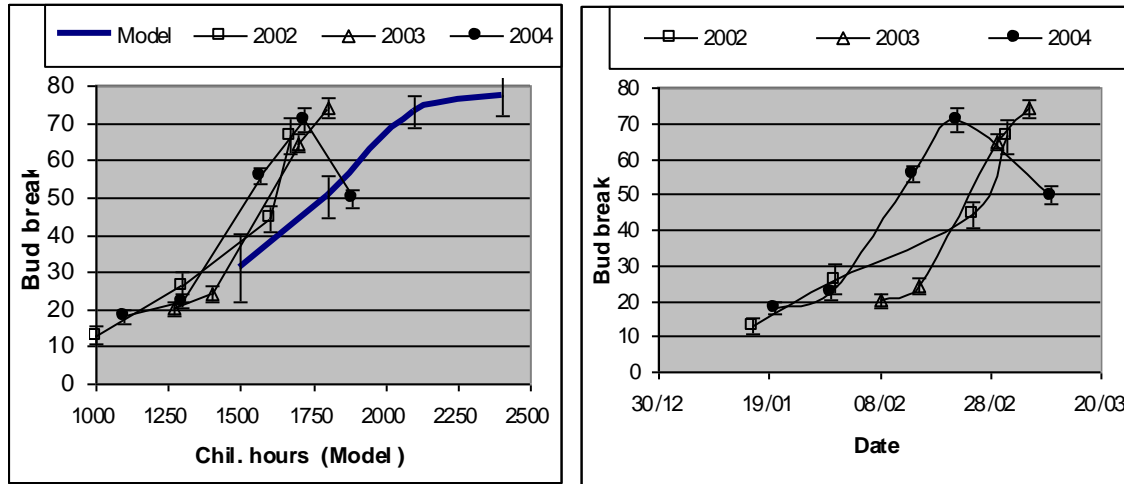
מעבר ל-1500 שעות צינון התקבל חיזוי בחסר במשך שלוש העונות בהם בוצע האימות (איור 5) (במועד האחרון בשנת 2004 חלה ירידה באחוז ההתעוררות באופן בלתי הגיוני ונראה שהדבר קשור בבחירה לקויה של עצי המידגם. אין ספק שתיקון המודל המקורי לפי נתוני שנה זו שמגדילים את משקל הטמפרטורות הגבוהות (7-15 מ"צ) בשבירת תרדמה בחלק התרדמה השני, ישפרו את יכולת החיזוי של מודל התפוח.

איור 4: אחוז ההתעוררות של פקעי צימוח לאורך ההמרצה לאחר חשיפה של 1300 שעות ב-3 מ"צ ובהמשך לטמפי משתנות. הסימנים המתחילים באות T משמעותם טמפי והסימנים המתחילים באות D משמעותם ימים בהמרצה. המספרים מציינים את מועד הכניסה להמרצה (שעות מתחילת הניסוי).

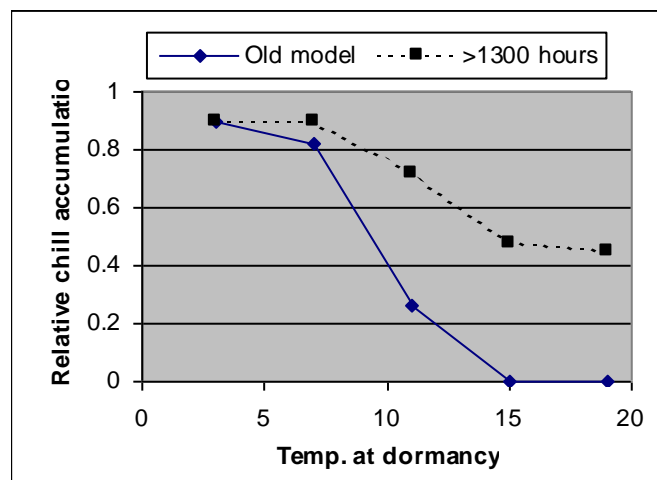


השפעת משך השהיה בטמפרטורות נמוכות בתחילת התרדמה על עוצמת התרדמה של דורבנות – אחוז ההתעוררות של פקעי פריחה עלה עם העליה במשך החשיפה לטמפי של 0 מ"צ בתחילת התרדמה (איור 7). ההבדל היה מובהק ב- $\alpha=0.10$. אחוז ההתעוררות כבר בשהיה של 160 שעות בטמפי של 0 מ"צ היה נמוך מביקורת. אחוז ההתעוררות של הטיפולים ששהו 160 שעות ו-320

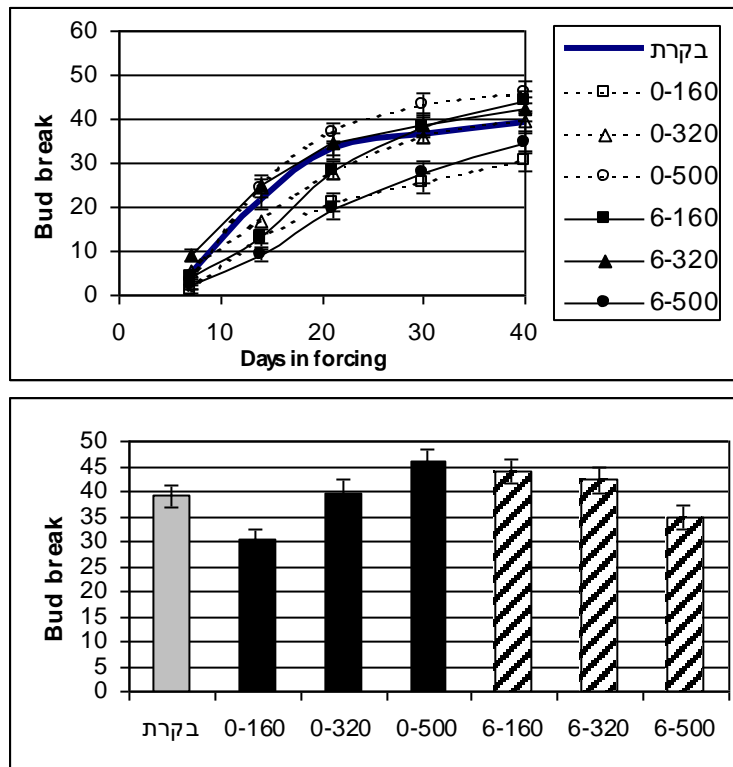
שעות בטמפי של 6 מ"צ בתחילת התרדמה היתה דומה לביקורת בעוד שאחוז התעוררות בשהיה של 500 שעות בטמפי של 6 מ"צ היה נמוך מבקרת (איור 7). ההבדלים לא היו מובהקים.
 איור 5: אחוז התעוררות פקעי צימוח לאורך החורף בחוות פיכמן; אחוז התעוררות של פקעי צימוח כפונקציה של צבירת שעות צינון בהשוואה למודל.



איור 6: התרומה היחסית של טמפרטורות שונות לצבירת קור בפקעי צימוח על פי המודל הישן (תגובה ממוצעת לאורך התרדמה) ותרומה יחסית של טמפרטורות שונות לאחר 1300 שעות ב-3 מ"צ.



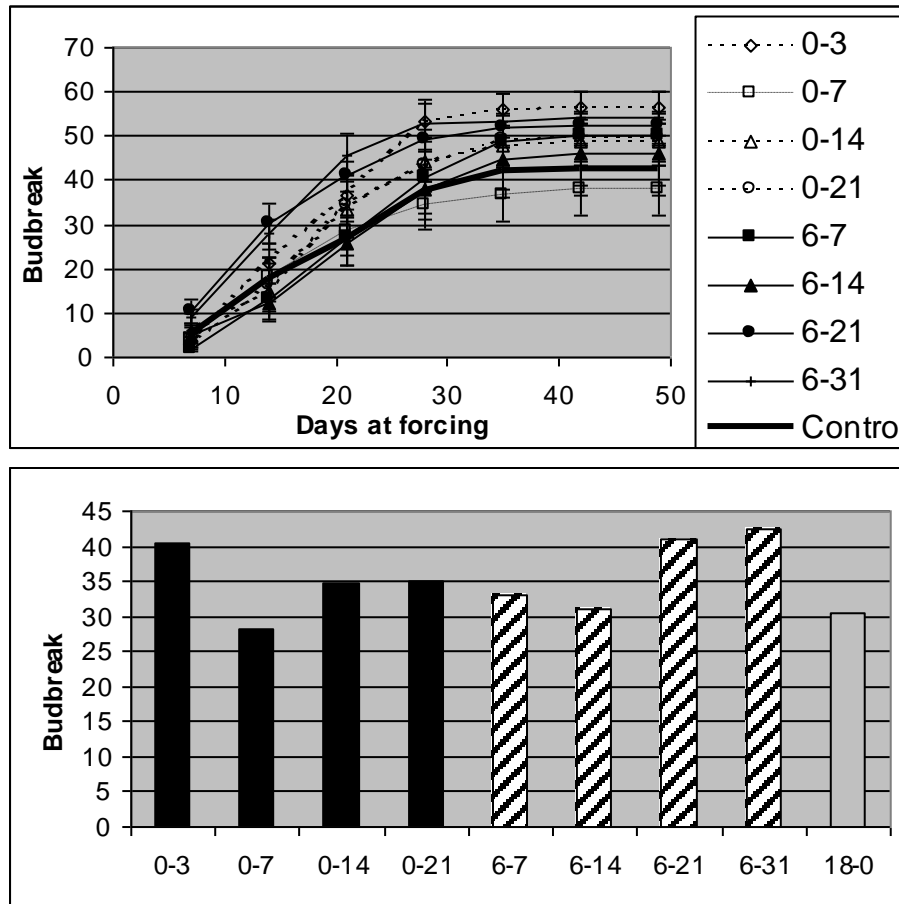
איור 7: אחוז התעוררות פקעי פריחה לאחר 1700 שעות כאשר בתחילת התרדמה שהו העצים בטמפ' 0 או 6 מ"צ למשך 160, 320 ו-500 שעות ואח"כ ב-18 מ"צ עד להשלמה ל-1700 שעות. העצים בבקרת שהו בטמפ' 18 מ"צ במשך 1700 שעות. המספר השמאלי בסימון הטיפול הוא הטמפ' והימני הוא משך הזמן בשעות.



2005

השהיה ב-0 מ"צ במשך 7 ימים הורידה את אחוז ההתעוררות באופן מובהק בהשוואה ל-3 ימים ב-0 מ"צ דבר המצביעה על כניסה לתרדמה מעבר ל-3 ימים ב-3 מ"צ (איור 8). מעבר ל-7 ימים ב-0 מ"צ חלה עליה באחוז ההתעוררות (לא מובהק) בדומה לעונה הקודמת. השהיה ב-6 מ"צ בתחילת התרדמה לא השפיעה באופן מובהק על אחוז ההתעוררות אך התקבלה מגמה של התעוררות גבוהה יותר ב-21 ו-31 ימים ב-6 מ"צ.

איור 7: אחוז התעוררות פקעי פריחה לאחר 1700 שעות כאשר בתחילת התרדמה שהו העצים בטמפ' 0 מ"צ (3, 7, 14 ו-21 ימים) או 6 מ"צ (7, 14, 21, 31 ימים) ואח"כ ב-18 מ"צ עד להשלמה ל-1700 שעות. העצים בבקרת שהו בטמפ' 18 מ"צ במשך 1700 שעות. המספר השמאלי בסימון הטיפול הוא הטמפ' והימני הוא משך הזמן בימים.



דין

השפעת טמפרטורה בחלק השני של תקופת התרדמה על התעוררות פקעי צימוח – הערכת החסר של אחוז ההתעוררות של פקעי צימוח מעל 1500 שעות צינון מצביעה על אפשרות של תגובה שונה לטמפרטורות לאורך תהליך התרדמה. הניסוי ב-2004 מראה שהתגובה לטמפ' השונות משתנה לאורך התרדמה והשינוי הוא בכיוון של עליה בתרומה היחסית של טמפ' גבוהות. כיוון זה יכול להסביר חלק מהפער בחיזוי. בהמשך יבנה מודל עם עקום תגובה משתנה ותיבדק מידת הסטיה של אחוז ההתעוררות המדוד מהחזוי. קימת אפשרות שחלק מההתעוררות בטמפ' הגבוהות מקורה בהמרצה מוגברת הקורית רק בטמפרטורות הגבוהות והמביאה לידי ביטוי התעוררות שאיננו מתיחסים אליה במודל כיוון שמשכי הזמן הדרושים להתעוררות זו גדולים מאד ואינם מעשיים מבחינה חקלאית. לא ברור לנו כרגע האם ניתן להפריד בין שני תהליכי התעוררות אלו במחקר.

תגובת דורבנות לטמפרטורה בשלב תרדמה - תגובת אחוז ההתעוררות לטמפי המקובלת לגבי דורבנות תפוח היא עקום אופטימום עם מקסימום ב-6 מ"צ והמימצאים במחקר שונים מהמקובל בספרות. חשוב לציין שהנתונים בספרות לא נעשו בתנאים מבוקרים. עליית אחוז ההתעוררות מעל ל-12 מ"צ מצביעה אולי על העדר כניסה מושלמת לתרדמה בטמפרטורות אלו. אחוז ההתעוררות הגבוה בחוות פיכמן נובע מהטמפרטורות הנמוכות בחווה זו. מפליא אחוז ההתעוררות הגבוה אליו היגיעו הדורבנות בחוות גד"ש.

השפעת משך השהיה בטמפרטורות נמוכות בתחילת התרדמה על עוצמת התרדמה של דורבנות – הירידה באחוז התעוררות בשהיה של 160 שעות ב-0 מ"צ בתחילת התרדמה בהשוואה לבקרת מצביעה על כך שב-18 מ"צ לא היתה כניסה משמעותית לתרדמה. ההבדל בתגובה בשהיה ב-0 ו-6 מ"צ מצביע על השפעה של טמפי השהיה בתחילת התרדמה על קצב הכניסה לתרדמה. כך ב-0 מ"צ הכניסה לתרדמה מוקדמת מאשר ב-6 מ"צ. העליה באחוז התעוררות עם העליה במשך השהיה ב-0 מ"צ מעבר ל-7 ימים מצביעה על תרומה חיובית לצבירת קור עם עלית משך השיה ב-0 מ"צ. נראה לפיכך שהכניסה לתרדמה קורית בין 3 ל-7 ימים ב-0 מ"צ. המימצאים של השנה מאששים את ההיפותזה שעלתה בעונה הקודמת אך מסבכים את המודל כיוון שיש צורך לבחון את השפעת הטמפי על הכניסה לתרדמה. כמו כן יש לקבוע מתי קורית הכניסה לתרדמה וממתי יש להתחיל למנות את צבירת הקור להשלמת התרדמה. ההתעוררות הנמוכה בביקורת ב-2005 אינה ניתנת להסבר.

מסקנות – במחקר מצאנו עקומי תגובה של אחוז ההתעוררות לטמפרטורה, הן בפקעי צמיחה והן בדורבנות וניתן לבנות מודל חיזוי. החיזוי בסוף שלב התרדמה אינו טוב מספיק בפקעי צימוח. מסתבר שתנאי הכניסה לתרדמה אינם ברורים ועל כן מועד תחילת המניין של שעות הצינון אינו מדויק דבר היכול להשפיע על החיזוי.