

פיתוח מודל חיזוי השפעת טמפ' על חלוקת תאים בתפוח וקביעת פוטנציאל גודל הפרי

דו"ח סופי

עמוס נאור – המכון לחקר הגולן.

משה פליישמן – המכון למטעים, מנהל המחקר החקלאי.

רקע

בשנים האחרונות מיובאים לישראל זנים של פרי תפוח איכותי היוצרים תחרות קשה עם זני הפרי המקומי. לפרי הישראלי יש יתרון בטעם אך חסרון בנושא גודל הפרי כך שאחוז הפרי הגדול המסוגל להתחרות בפרי מיובא נמוך בהשוואה למתחרים. שרידותו של ענף התפוח מותנית בהעלאה משמעותית של היבול של פרי גדול היכול להתחרות בפרי מיובא. גודל הפרי תלוי במספר התאים בציפה ומיצוי הפוטנציאל מושפע מהשקיה, עומס הפרי ומתנאי האקלים בשלב גידול הפרי. בארץ נעשתה פעילות מחקרית ענפה לשיפור גודל הפרי; פעילות זו התמקדה במיצוי פוטנציאל גודל הפרי התלוי באינטראקציה שבין השקיה ומספר הפירות לעץ. פוטנציאל גודל הפרי נקבע כאמור ע"י מספר התאים בציפה ומספר התאים בציפה מושפע מהטמפרטורה השורה בשלב חלוקת התאים המתרחש בארבעים הימים שלאחר החנטה. שלב חלוקת התאים כולל את חודש מאי המאופיין בשרבים רבים ומימצאים ראשונים בניסוי פיטוטרון מראים השפעה שלילית ברורה של טמפ' גבוהות על חלוקת התאים. ברור אם כן שתנאי האקלים בארץ בתקופת חלוקת התאים יכולים לפגוע בחלוקת התאים ובפוטנציאל גודל הפרי. כיוון שקימת שונות בין השנים בעוצמת השרבים ועיתויים הרי שפוטנציאל גודל הפרי ישתנה אף הוא.

המחקר עוסק בחיזוי פוטנציאל גודל הפרי כאשר לחיזוי פוטנציאל גודל הפרי יש השלכות ישומיות מיידיות במספר תחומים: 1. באמצעות המודל ניתן יהיה להגדיר את תחום הטמפרטורות האופטימליות לחלוקת התאים ולקבוע את דרישות הורדת הטמפ' מרשתות צל ומחומרי הלבנה. כך יהיה קריטריון לקביעת יתכנות השימוש בטכניקות הללו. בנוסף, סימולציה של המודל על נתוני טמפ' בתקופת חלוקת התאים תאפשר לקבוע התאמת התפוח לתת-אזורי אקלים על פי הסיכוי לקבל פרי גדול; 2. בשנים בהן יש פוטנציאל גודל פרי גבוה ניתן להעלות את רמת היבול ולהקטין את הדילול דבר שיעלה את היבול של פרי גדול. כיוון שקימת בעיית סרוגיות בתפוח, יש גבול עליון לכמות היבול שכדאי לשאת. לפיכך, בשנים בהן יש פוטנציאל גודל פרי גבוה ניתן לחסוך במנת ההשקיה. כמובן שבשנים בהן פוטנציאל גודל הפרי גבוה אך עומס היבול נמוך ניתן יהיה לחסוך משמעותית בכמויות ההשקיה. המודל יאפשר לתת חיזוי פוטנציאל גודל הפרי בסוף מאי כך שניתן יהיה להשפיע הן על מימשק ההשקיה והן על מימשק הדילול בזמן; 3. חיזוי מוקדם של גודל הפרי מאפשר לבתי האריזה להערך לתכנית האחסון והשיווק מבעוד מועד.

תכנית המחקר

שנה א' - הניסוי בוצע על עצי תפוח מהזן זהוב על כנת חשבי הגדלים במיכלים של 10 ליטר בתערובת 70% טוף ו-30% כבול. העצים נשתלו באביב בחוות אבני איתן ונקטמו בגובה 40 ס"מ. במהלך העונה הראשונה גדלו 2-3 ענפים אנכיים. באביב השני הושקבו העצים לעידוד התעוררות פקעים צדדיים ליצור דורבנות. לאחר צימוח של מס' ס"מ סובבו העצים כך שהתפתחו דורבנות מכל צידי הגזע. בתום תהליך זה, כחודש וחצי מהתעוררות, הועמדו העצים. בתום החורף השני הועברו העצים למנהל המחקר החקלאי לניסוי הפיטוטרון.

העצים התעוררות בבית רשת שכלל גם זן מפרה. לבית הרשת הוכנסה כוורת דבורים לביצוע האבקה. שיא הפריחה חל ב 7 אפריל ו-12 ימים לאחר שיא הפריחה התחיל ניסוי הפיטוטרום. העצים הוכנסו לשלושה תאים בטמפרטורת יום 23, 29 ו-35 מ"צ וטמפ' לילה 15 מ"צ. טמפרטורת היום ניתנה במשך 10 שעות. העצים בכל תא חולקו לשלוש קבוצות ששהו בתאים הנ"ל למשך 3, 6 ו-10 ימים. לאחר מכן כל העצים שהו בטמפ' 23/15 (לילה/יום). לפני הכניסה לפיטוטרום סומנו בכל עץ פירות בשלושה גדלים התחלתיים (2, 4, ו-8 מ"מ) במהלך הניסוי נידגמו פירות מכל קבוצת גודל התחלתי ובוצעה בהם ספירה של מספר התאים בציפה בחתך מבית הזרעים ועד הקליפה. המדידות נעשו 27 ימים משיא פריחה ו-63 ימים משיא פריחה (תום שלב חלוקת התאים). בטיפול הביקורת (15/23 לילה/יום) נעשו מדידות נוספות גם בשיא פריחה ולאחר 3 ו-5 ימים משיא פריחה. קצב חלוקת התאים חושב בשני אופנים, קצב מוחלט וקצב יחסי.

קצב מוחלט

$$\text{Division Rate (cells/day)} = (N_1 - N_0) / (D_1 - D_0)$$

קצב יחסי

$$\text{Relative Division Rate (\%)} = (N_1 - N_0) / (D_1 - D_0) / N_0 * 100$$

כאשר N-מספר תאים; D-תאריך ו-0,1 הם שני מועדים עוקבים.

שנה ג' – עצים בני שנתיים במיכלים עברו את החורף בחוות מתיתיהו לצבירת מנות קור. לקראת הפריחה הועברו העצים לחלקה מסחרית פורחת לצורך הפריה. בוצע סימון של פרחים ביום הפתיחה שלהם ולאחר שבוע בוצעו הפעולות הבאות: העצים הועברו לארבעה אתרים בגבהים שונים ממינוס 100 מטר עד 1500 מטר (רכבל תחתון בחרמון, אלרום, אבני איתן, הבטיחה) על מנת לחשוף את העצים לתנאי טמפרטורה שונים בטווח רחב. העצים הוסעו במשאית מבוקרת טמפרטורה. בכל אתר הותקן הובו למדידת טמפרטורה. העצים הוחזרו לחוות מתיתיהו לאחר שלושה שבועות מפתחת פרחים ולאחר חמישה שבועות מפתחת פרחים. למחרת חזרתם נדגמו הפירות והוכנסו ל-FAA. בכל פרי בוצעה ספירה של תאים.

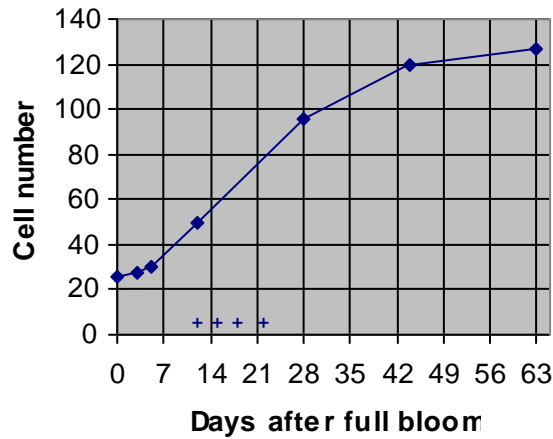
תוצאות

שנה א'

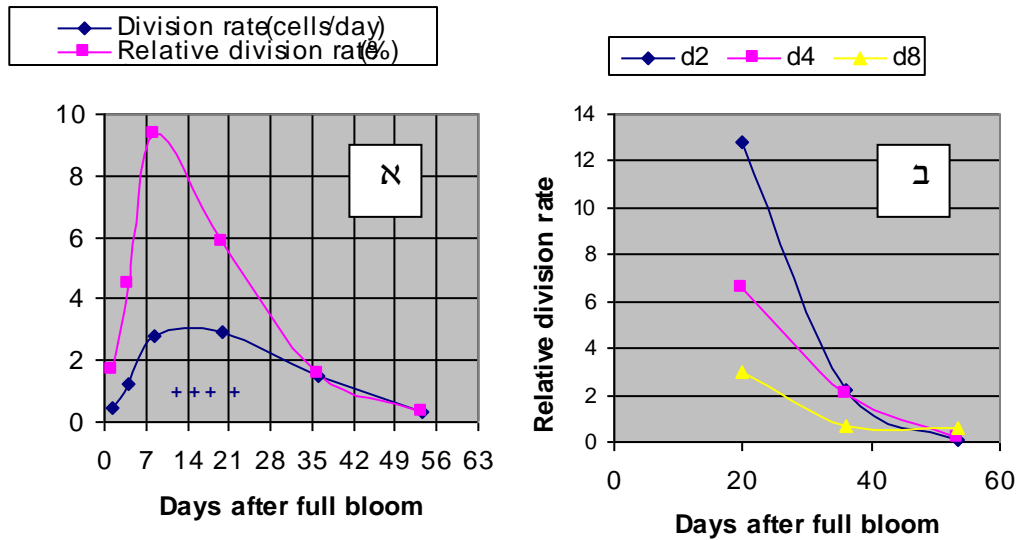
חלוקת התאים בציפה לאורך התהליך היא בדגם של סיגמואיד (איור 1). חלוקת התאים (תוספת תאים ליום) היתה איטית בשבוע הראשון משיא פריחה (איור 2), קצב מקסימלי בשבוע השני והשלישי ולאחר מכן דעיכה איטית עד לסוף תהליך חלוקת התאים. קצב חלוקת התאים היחסי המקסימלי ארע בתחילת השבוע השני. קצב חלוקת התאים בתקופה שבין 12 ל-29 ימים אחרי שיא פריחה עלה עם הירידה בקוטר הפרי ההתחלתי (איור 2).

מספר התאים עלה כצפוי עם העליה בקוטר ההתחלתי (איור 3, 4). מספר התאים ירד עם העליה בטמפרטורת תא הגידול הן לאחר 27 ימים משיא פריחה (איור 3) והן לאחר 63 ימים משיא פריחה (איור 4).

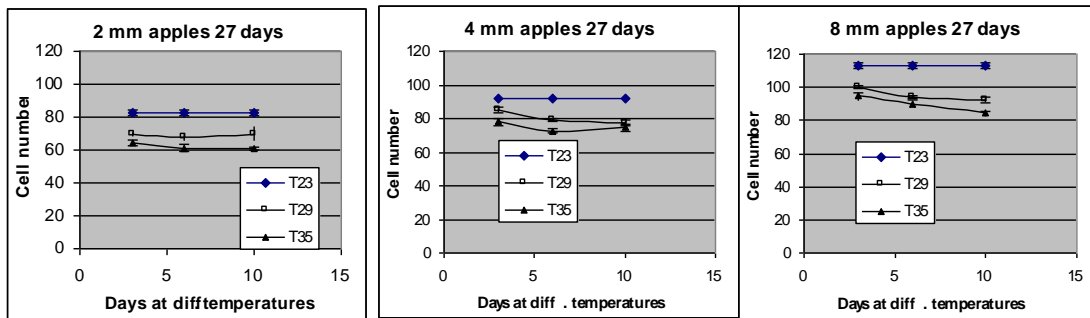
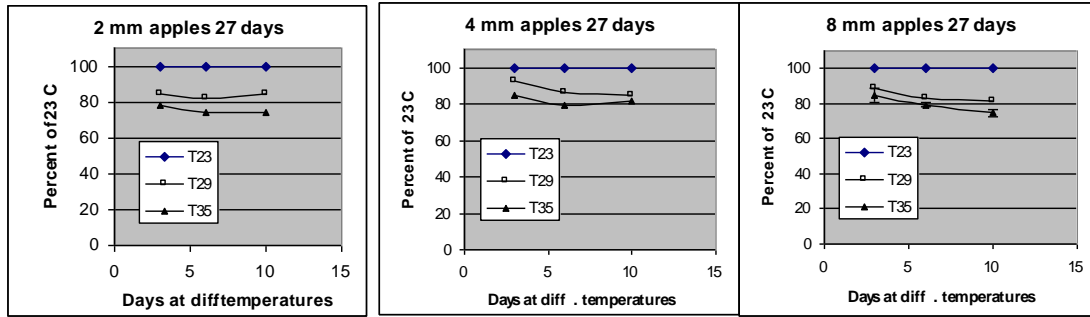
איור 1: מספר התאים לאורך שלב חלוקת התאים בפרי בעצים ששהו בטמפרטורת יום של 23 מ"צ וטמפרטורת לילה של 15 מ"צ. + מציין את תחילת וסיום השהיה בטמפרטורות משתנות.



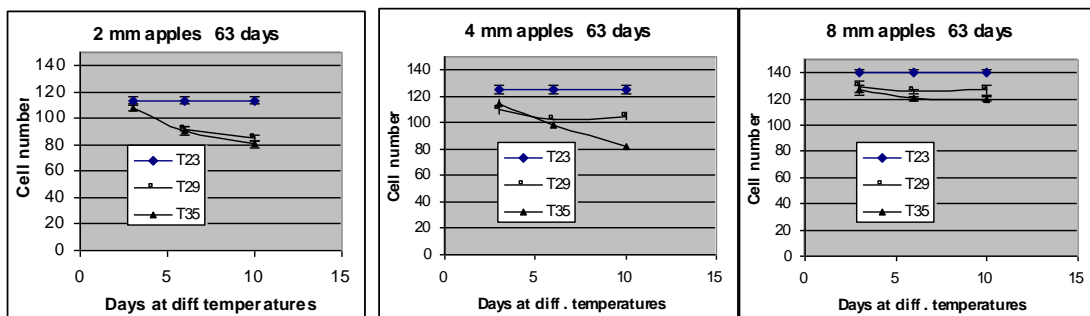
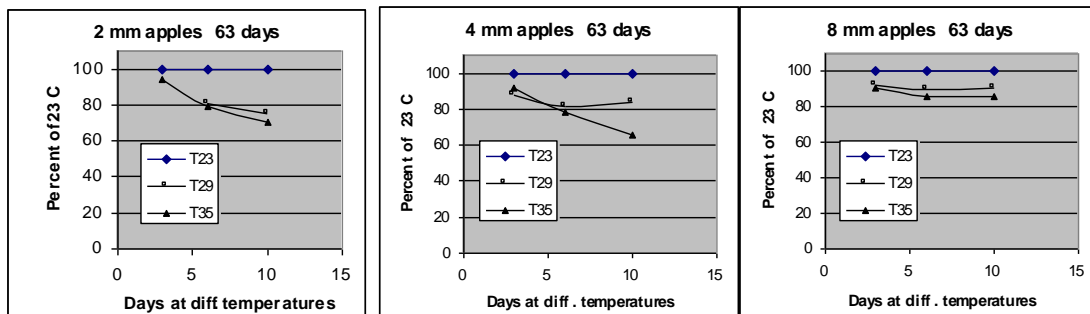
איור 2: א. קצב חלוקת התאים בפרי (תאים ליום) וקצב יחסי של חלוקת התאים (%) לאורך שלב חלוקת התאים. + מציין את תחילת וסיום השהיה בטמפרטורות משתנות. ב. קצב חלוקת תאים יחסי בקוטרי פרי התחלתי של 2, 4 ו-8 מ"מ.



איור 3: מספר התאים המוחלט ומספר התאים (%) מהביקורת – עצים ששהו בטמפ' 23/15 לילה/יום) 27 ימים לאחר שיא פריחה בעצים שהו בשלוש טמפ' (23/15, 29/15, 35/15 לילה/יום), לשלושה משכי זמן (3, 6, ו-10 ימים). הספירה נעשתה על שלוש קבוצות גודל פרי התחלתי (2, 4, ו-8 מ"מ).

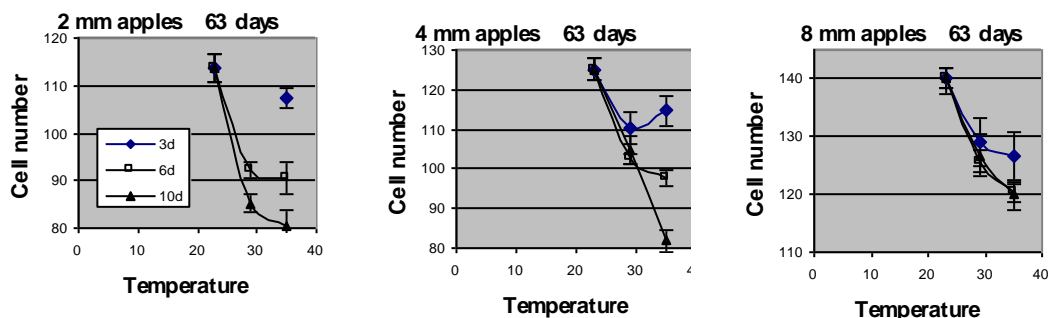


איור 4: מספר התאים המוחלט ומספר התאים (%) מהביקורת – עצים ששהו בטמפ' 23/15 לילה/יום) 63 ימים לאחר שיא פריחה בעצים שהו בשלוש טמפ' (23/15, 29/15, 35/15 לילה/יום), לשלושה משכי זמן (3, 6, ו-10 ימים). הספירה נעשתה על שלוש קבוצות גודל פרי התחלתי (2, 4, ו-8 מ"מ).



עיקר הירידה במספר התאים ארעה בעליה מ-23 ל-29 מ"צ (איור 5) וירידה קלה נוספת במעבר מ-29 ל-35 מ"צ.

איור 5: השפעת טמפרטורת היום (23, 29, 35 מ"צ) למשכי זמן של 3, 6 ו-10 ימים על מספר התאים בסוף שלב חלוקת התאים בתפוחים בעלי קוטר התחלתי של 2, 4 ו-8 מ"מ.



הקוטר ההתחלתי של הפרי השפיע על התגובה לטמפרטורה גבוהה ולמשך החשיפה לטמפרטורה הגבוהה (איור 6). כך, חשיפה של 3 ימים לטמפ' של 35 מ"צ ביום גרמה לירידה של 6%, 8% ו-10% במספר התאים בגודל פרי התחלתי של 2, 4 ו-8 מ"מ, בהתאמה. בחשיפה של 10 ימים לטמפרטורת יום של 35 מ"צ חל חילוף בתגובה של הפירות בקטרים ההתחלתיים השונים והתקבלה ירידה של 29%, 35% ו-14% במספר התאים בפירות בקוטר התחלתי של 2, 4 ו-8 מ"מ, בהתאמה.

איור 6: השפעת חשיפת עצים לטמפרטורת יום של 35 מ"צ למשכי זמן של 3, 6 ו-10 ימים על מספר התאים הסופי בפרי (אחוז מהביקורת – טמפ' יום של 23 מ"צ) בתפוחים בעלי קוטר התחלתי של 2, 4 ו-8 מ"מ.

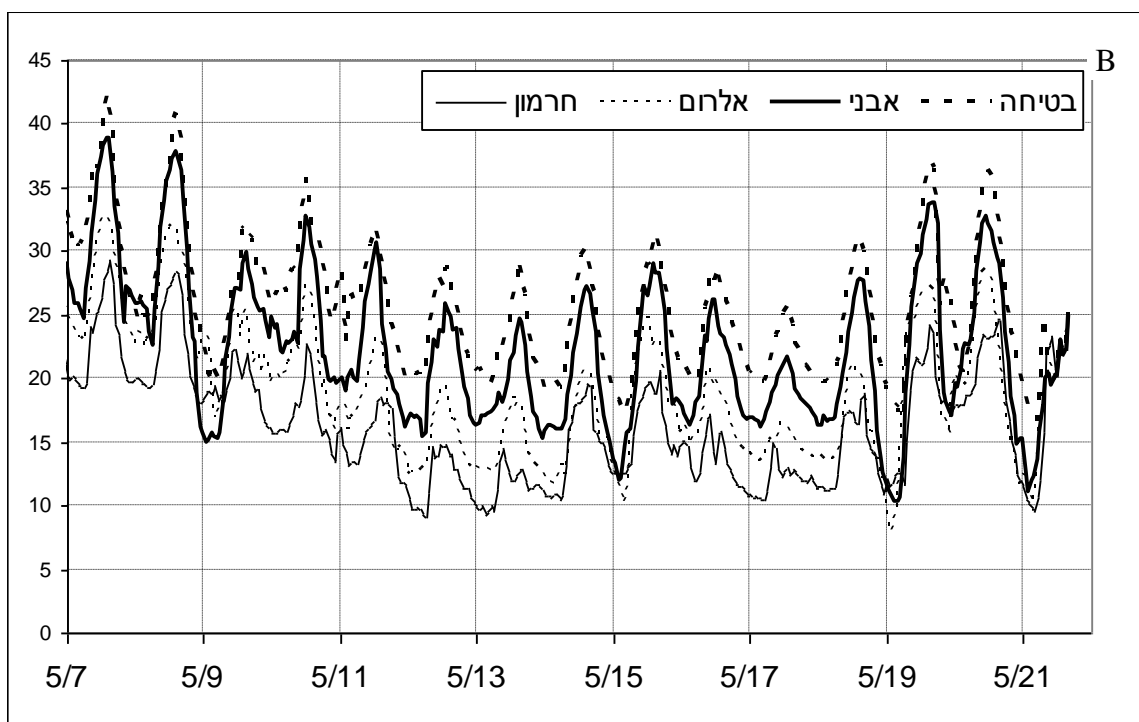
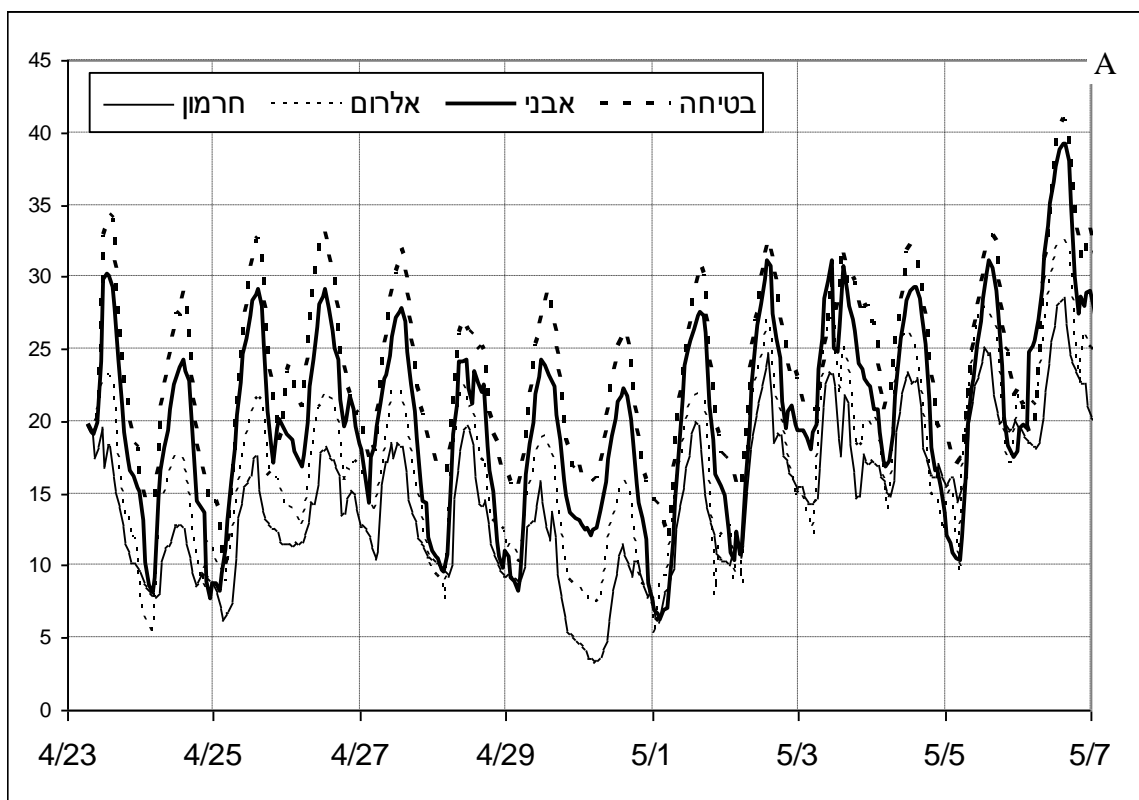
שנה ב'

עקב המלחמה לא בוצעה דגימת פירות בזמן ולא ניתן היה לקבל תוצאות מהימנות של מספרי תאים.

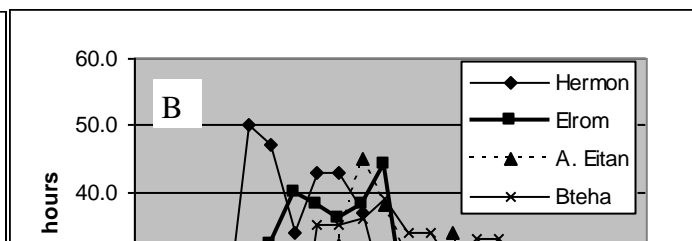
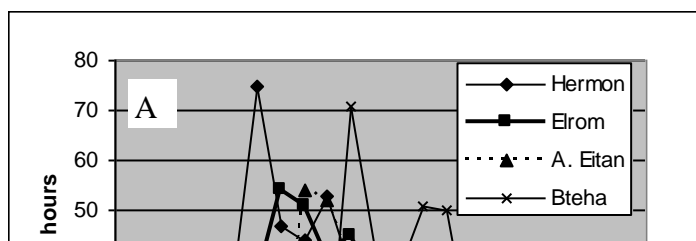
שנה ג'

נתוני הטמפרטורה באתרים השונים בתוקפה שעד האיסוף הראשון ומתקופה זו ועד האיסוף השני מופיעים באיור 7. טווח הטמפרטורות היה רחב (איור 8) וההבדלים בטמפרטורות המקסימום והמינימום בין החרמון לבטיחה היו 11.6 ו-7.2 מ"צ בהתאמה.

איור 7: טמפרטורת האוויר בנוף העצים באתרי הניסוי השונים (חרמון, אלרום, אבני איתן, בטיחה) בשבועיים הראשונים (A) ובשבועיים שלאחריהם (B).

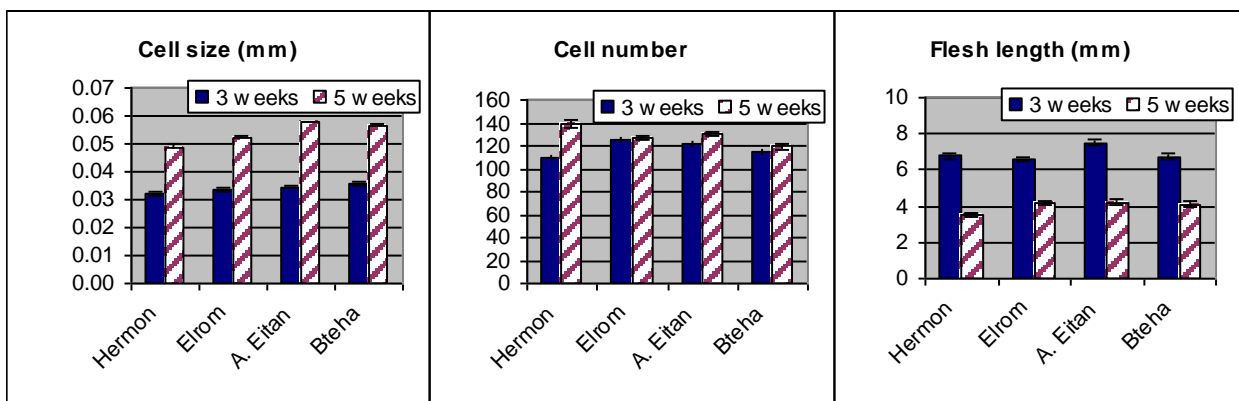


איור 8: התפלגות טמפרטורת האוויר בנוף העצים באתרי הניסוי השונים (חרמון, אלרום, אבני איתן, בטיחה) בשבועיים הראשונים (A) ובשבועיים שלאחריהם (B).



אורך הציפה (מהקליפה עד לתחילת בית הזרעים) לאחר שלושה שבועות מפריחה היה נמוך בחרמון בהשוואה לאתרים האחרים (איור 9) ולאחר חמישה שבועות אורך הציפה באבני איתן היה גבוה משאר האתרים. מספר התאים בחרמון לאחר שלושה שבועות היה הנמוך ביותר ובאלרום ובאבני איתן הוא היה גבוה במקצת מהבטיחה. מספר התאים בחרמון לאחר חמישה שבועות היה הגבוה ביותר, ערכים דומים באלרום ובאבני איתן והנמוך ביותר בבטיחה. התוספת במספר התאים בין שלושה לחמישה שבועות היתה נמוכה מאד בבטיחה, אבני איתן ואלרום (2%-6%) בעוד שבחרמון התוספת הייתה של 28%.

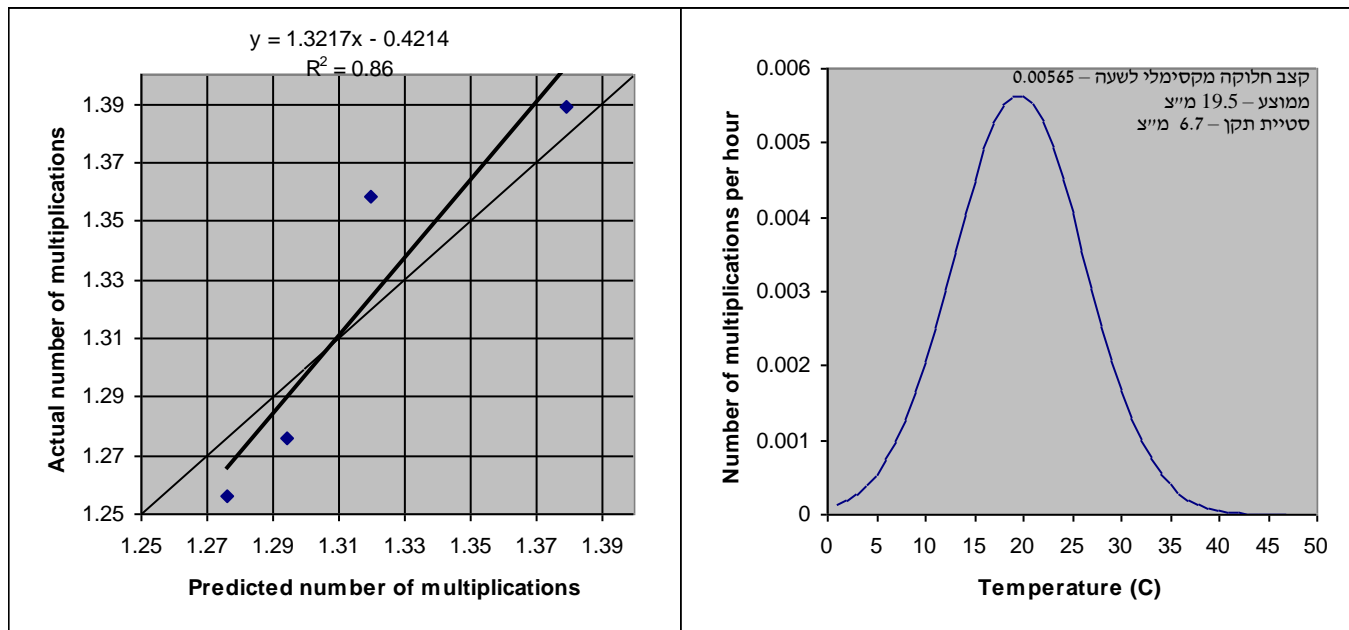
איור 9: אורך הציפה (מהקליפה לבית הזרעים), מספר התאים וגודל התאים באתרים השונים לאחר שלושה וחמישה שבועות מתחילת פריחה.



בנית מודל חיזוי חלוקת תאים – המודל מניח: השפעת הטמפרטורה על חלוקת התאים היא עקומת אופטימום בעלת צורה של עקום גאוס. תגובת התפוחים לטמפרטורה זהה לאורך כל תקופת חלוקת התאים. אין תגובה שלילית של טמפרטורות קיצוניות.

ביצענו התאמה של הפרמטרים של המודל לנתונים שנמצאו בארבעת האתרים לאחר שבועיים (איור 10).

איור 10: השוואת מספר התאים המדוד והחזוי ועקום התגובה של חלוקת התאים לטמפרטורה.



ההתאמה נעשתה בכלים פשוטים ע"י ניסוי וטעיה לאור מורכבות תהליך ההתאמה. בהמשך תבוצע התאמה באמצעות כלים מורכבים יותר.

דיון

ניסוי פיטורון - הקצב הגבוה של חלוקת התאים בפירות בקוטר התחלתי של 2 מ"מ (איור 2) מצביע על כך שפירות אלו חנטו מאוחר יותר מהפירות הגדולים ובתקופה שבין 12 ל-29 ימים לאחר שיא הפריחה הם היו בתקופה של קצב מוגבר של חלוקת תאים. לעומתם פירות בקוטר התחלתי של 8 מ"מ נכנסו לשלב דעיכת קצב חלוקת התאים מוקדם יותר ועל כן בתקופה זו הקצב הממוצע היה נמוך יותר. יש מקום לבצע מדידות חלוקת תאים בתדירות גבוהה יותר עם הכניסה לפיטורון על מנת לקבל עקום מפורט של קצב חלוקת תאים.

התגובה היחסית לטמפרטורה בקטרים השונים השתנתה עם השינוי במשך החשיפה (איור 6) וקימת אפשרות שהפירות בגדלים השונים היגיעו לקצב המקסימלי של חלוקת התאים בעיתוי שונה. יש מקום לברר בעונה הבאה את קצב חלוקת התאים לאורך זמן בהשפעת הגודל ההתחלתי של התפוח. יש מקום גם לבחון האם עומס היבול ברמת העץ/דורבן משפיע על הדינמיקה של חלוקת התאים. קצב חלוקת התאים המקסימלי התקבל בשבוע השני משיא הפריחה (איור 2). נראה לפיכך שהרגישות בתקופה זו לטמפרטורות גבוהות תהיה משמעותית. בתהליך חלוקת התאים היו מעל שתי חלוקות (איור 1) ולפיכך לפגיעה מוקדמת בחלוקה תהיה השפעה מצטברת גדולה מזו של פגיעה מאוחרת. נראה שעיקר הפגיעה בחלוקת התאים נגרם במעבר ל-29 מ"צ (איור 5) למעט בחשיפה ל-10 ימים של חנטים בקוטר התחלתי של 4 מ"מ. כיוון שהפירות בקטרים 2 ו-8 מ"מ התנהגו דומה נראה שההתנהגות של החנטים בקוטר של 4 מ"מ היא חריגה. 29 מ"צ זוהי טמפרטורה אפשרית בתנאי מטע מסחרי בשלב חלוקת התאים ולמשכי זמן של שלושה ימים, דבר המוכיח את הסכנה הממשית בפגיעה

בפוטנציאל גודל הפרי בתנאי מזג האוויר בארץ. בעונה הבאה יש צורך להשלים את עקום התגובה לטמפרטורה לתחום הנמוך מ-23 מ"צ, כאשר אנו צופים ירידה בחלוקת התאים מתחת ל-23 מ"צ על בסיס המחקר בניו זילנד.

עיקר הנזק נוצר בחשיפה של 6 ימים לטמפי' גבוהה (איור 3, 4) למעט חריג בקוטר פרי התחלתי של 4 מ"מ. יש מקום לשקול ביטול משך השהיה הגבוה בהמשך המחקר.

ניסוי שדה ובניית מודל – ניסוי השדה הראה שניתן בתנאים טבעיים לקבל טווח רחב של טמפרטורות ויש בכך יתרון והשלמה לניסויי הפיטוטרון. התאמת מודל לעקום תגובה גאוסיאני לטמפרטורה של חלוקת תאים. תומך במימצאים של ניסוי הפיטוטרון. הטמפרטורה הממוצעת שהתקבלה היא 19.5 מ"צ והמודל היה רגיש במיוחד לטמפרטורה זו. בהשוואת מספר התאים המדוד לחזוי נראית סטיה מקו של 1:1 כאשר באתרים של החרמון והבטיחה (שתי הטמפרטורות הקיצוניות) התקבלה במודל הערכת יתר. נראה לנו שהדבר מצביע על כך שלטמפרטורות קיצוניות שי השפעה מעכבת, קרי שטמפרטורות אופטימליות שלאחר מכן ישפיעו במידה פחותה למשך זמן. על מנת לטפל באפשרות זו יש צורך במודל מורכב יותר שיחייב מספר גדול יותר של נקודות מדידה. נראה שבכל האתרים למעט החרמון חלוקת התאים כמעט והושלמה לאחר שלושה שבועות בעוד שבחרמון נדרש זמן רב יותר להשלמת חלוקת התאים. עוד נראה שהתגובה לטמפרטורה תשתנה לאורך תקופת חלוקת התאים, דבר שיכניס מורכבות נוספת למודל.

להערכתנו, הטכניקה של חשיפה לטמפרטורות טבעיות בטווח רחב תאפשר לבנות מודל חיזוי השפעת טמפרטורות לחלוקת תאים. אובדן שנת מחקר בעקבות המלחמה מנעה התקדמות נוספת בפיתוח המודל.