

בחינת ההשפעה של טמפרטורה וגיל הפרי על היווצרות נזקי מכות שמש בתפוח

עמוס נאור - המכון לחקר הגולן
חיים רבינוביץ - הפקולטה לחקלאות
יולה סקס - המכון לחקר הגולן

מבוא

נזקי מכות השמש גורמים לירידה משמעותית באיכות התפוח והמחיר שהוא פודה. לאחרונה, עם המעבר לכנות מננסות ולשיטות עיצוב מרסנות עולה אחוז הפרי החשוף ובעיית מכות השמש משפיעה על מספר רב של זנים. במחקר זה אנו מנסים לאשר את ההיפוטזה שנמצאה במינים רבים והמניחה שמכת השמש היא סינדרום של פוטואוקסידציה ברמת הכלורופלסט והינה תופעה כללית המאפיינת את כל הרקמות הירוקות.

בשנת 2000 ניסינו לקבוע את טמפרטורת הסף לקבלת מכת שמש בתנאים מבוקרים. כמו כן עקבנו אחר שינויים בפלואורסנציה של הכלורופיל לאחר אינדוקציה בטמפרטורות משתנות תחת תנאי הארה באור בתחום הפוטוסינטזה. בנוסף בוצעה מדידה של טמפרטורות פרי על העץ במהלך הקיץ, נבחן הקשר שבין טמפרטורת האוויר לקבלת מכות שמש לאורך העונה, ונבחנה השפעת כיסוי תפוחים ברשת צל אחת למספר ימים על קבלת מכות שמש.

חומרים ושיטות

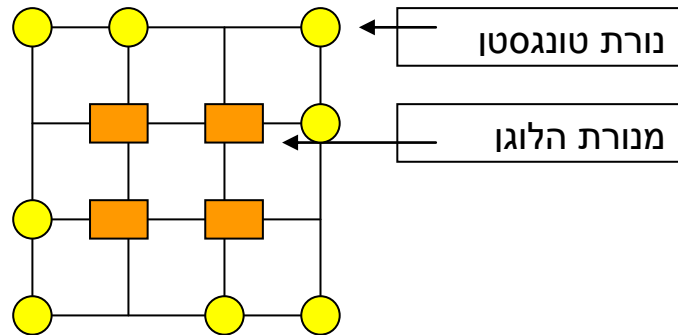
ניסוי 1 – איפיון טמפרטורת הסף לקבלת מכת שמש בתנאים מבוקרים במעבדה

נבנה מתקן תאורה דמוי רשת בגודל 75*75 ס"מ. במתקן מקום ל-16 נורות, וגובהו ניתן לשינוי. התפוחים הוצבו על שולחן בגובה 83 ס"מ מהרצפה. לאחר וריאציות רבות הוגדר הפרוס הבא של נורות על פני המתקן (ציור 1). עוצמת האור בתחום הפוטוסינטזה בפני הפרי היתה לפחות 300

$$\mu\text{Em}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$$

החדר היה ממוזג על מנת לאפשר שמירת טמפרטורה קבועה. נתגלו בעיות בסתיו כיוון שהמזגן קפא.

ציור 1: מבנה סכמתי של רשת התאורה.



מהלך הניסוי – נקטפו פירות גרני סמיט מתוך הנוף על מנת לוודא העדר פגיעה קודמת של מכות שמש. התפוחים הוכנסו לתהליך של איבוד סבילות (deconditioning) בחושך מוחלט ב-25°C למשך 48 שעות. בניסויים הראשונים נמצא שמשך האינדוקציה האופטימלי הוא 8-12 שעות, כאשר הזמן הדרוש להגעה לטמפרטורה קבועה הוא כ-4 שעות. האינקובציה נעשית ב"אור קר" (תאורה פלואורסצנטית בספקטרום daylight). משך האינקובציה הדרוש להופעת הסימפטומים הוא 5 ימים לפחות. בסיום תהליך החימום נמדדה טמפרטורת הפרי בעזרת תרמוקפל מסוג copper constantan שהוחדר אל מתחת לקליפה. התרמוקפל חובר לאוגר נתונים מסוג CR10x מתוצרת Campbell Scientific.

ניסוי 2 – מדידת טמפרטורת הפרי על העץ לאורך היממה

טמפרטורת הפרי נמדדה באמצעות תרמוקפלים שחוברו לאוגר נתונים. טמפרטורת לוח החיבורים נמדדה אף היא לתיקון שגיאות. בנוסף נמדד טמפרטורת האוויר בצל בתוך הנוף.

ניסוי 3 – מעקב אחר הצטברות מכות שמש לאורך העונה

הניסוי בוצע בזן גרני סמיט על כנת חשבי בן תשע. כיוון הנטיעה צפון דרום. נבחרו חמישה עצים לא צמודים ובוצעה ספירה של התפוחים עם מכות שמש (הלבנה הצהבה והחמה). לחי אדומה לא הוגדרה כמכת שמש. הפירות שקיבלו מכות שמש הוסרו בכל מועד. בנוסף קבוצת תפוחים החשופים לשמש כוסתה ברשת צל אחת לשלושה ימים בערך למשך יממה ונבדק אחוז מכות השמש בהשוואה לתפוחי ביקורת חשופים ללא כיסוי.

ניסוי 4 – בחינת שינויים בפלואורסנציה של כלורופיל לאחר אינדוקציה בטמפרטורות שונות

ובאינקובציה רצופה בתנאי הארה בטמפרטורת החדר.

תפוחים למחזור הראשון נקטפו מהאזור המוצל של העץ בתאריך. למחזור השני נלקחו תפוחים מקרור אופרטיבי. התפוחים הוכנסו לחדר חושך בטמפרטורת החדר לאיבוד כושר הסבילות (deconditioning). לאחר מכן הועברו התפוחים לאינדוקציה אל משטח מתחת לרשת הנורות (ציור 1) למשך 12 שעות. לאחר מכן הועברו התפוחים לאינקובציה בתאורת פלואורסנט בטמפרטורת החדר. פלואורסנציה של הכלורופיל נמדדה באמצעות מכשיר Pam-2000 מספר

פעמים לאורך תהליך האינקובציה מזמן 0 ועד 120 שעות. בתחילת התהליך בוצעה מדידה כל 3-5 שעות ולאחר 24 שעות בוצעה בדיקה כל יממה. התפוחים הנמדדים כוסו ע"י מיתקן מיוחד למניעת חדירת קרינה למשך 15 דקות לפני המדידה. המתקן אפשר קרוב של הסיב האופטי לפני הפרי ללא חשיפה לשמש. בסוף שלב האינקובציה במחזור הראשון הוכנסו התפוחים לחדר חושך למשך 48 שעות ולאחר מכן נבדקה הפלואורסנציה שנית.

ניסוי 5 – השפעת מחזורי אינקובציה של 12 שעות ו-120 שעות בחושך במספר טמפרטורות על פלואורסנציה של כלורופיל.

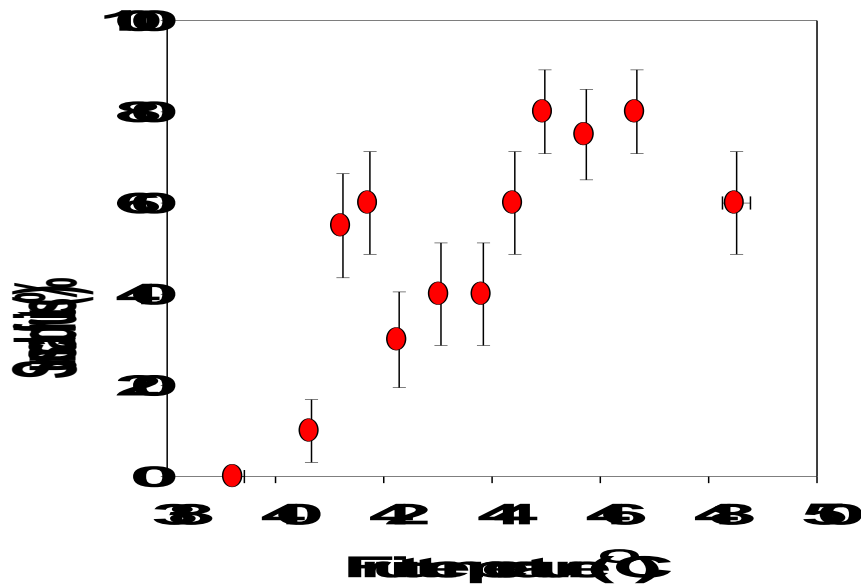
תפוחים מהצל הוכנסו ל48 שעות לחושך לתהליך של ביטול כושר סבילות. לאחר מכן הועמדו התפוחים מתחת לרשת הנורות (ציור 1) למשך 12 שעות שלאחריהן שהיה בחושך למשך 12 שעות נוספות וחוזר חלילה במשך חמישה ימים.

תוצאות

ניסוי 1 – איפיון טמפרטורת הסף לקבלת מכת שמש בתנאים מבוקרים במעבדה

מכות שמש התקבלו בפרי שנקטף מאמצע יולי עד אמצע ספטמבר. לאחר מכן לא התקבלו מכות שמש. מכות שמש התקבלו מעבר לטמפרטורה של 41°C כאשר אחוז מכות השמש עלה עם עלית הטמפרטורה (ציור 2). קימת שונות רבה באחוז מכות השמש בתחום טמפרטורות 41-44.5. יש לחזור על התהליך בעונה הבאה עם מספר חזרות גדול יותר ולאפיין את גורמי השונות על העץ.

ציור 2: אחוז הפרי שקיבל מכות השמש ושגיאת התקן כפונקציה של טמפרטורת האינדוקציה. הנתונים כוללים את כל הניסויים המוצלחים בין אמצע יולי לאמצע ספטמבר (239 פירות). הנתונים קובצו בקבוצות של 15 פירות לפי סדר טמפרטורות עולה.

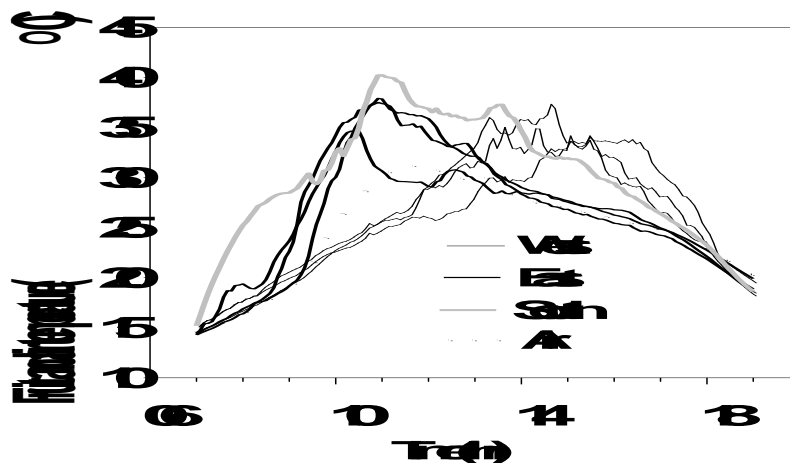


טמפרטורות הגבוהות חלה בפירות רבים תופעה של החמת הקליפה. סימפטום זה מופיע כבר במשך האינדוקציה, לאחר זמן קצר. בפירות בהם מופיעה החמה כזאת לא מתפתחת לאחר מכן הלבנה, וזאת יכולה להיות הסיבה לאחוז הנמוך יחסית של הלבנה בטמפרטורות הגבוהות מ 46°C . טמפרטורת הסף לקבלת מכת שמש בתפוח תואמים את אלו שהתקבלו בעגבניה מלפפון ופלפל.

ניסוי 2 – מדידת טמפרטורת הפרי על העץ לאורך היממה

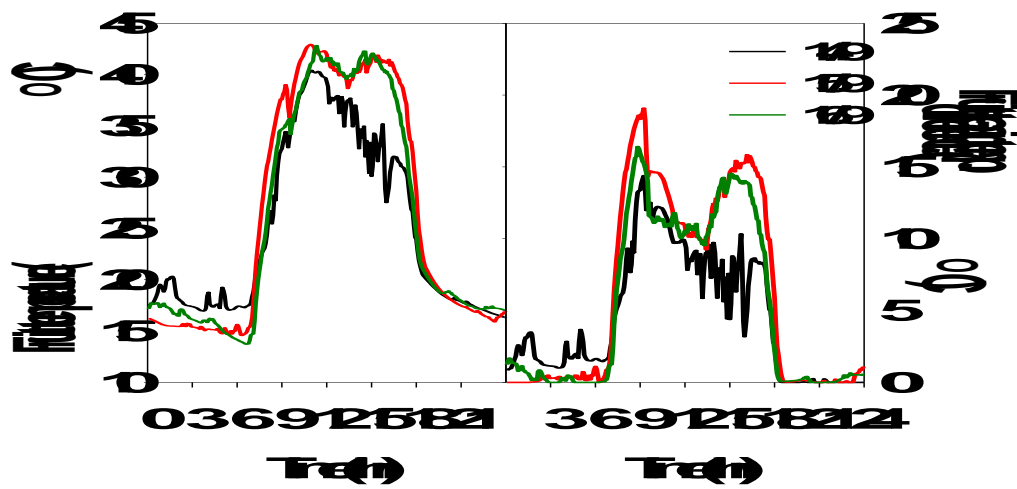
טמפרטורת הפרי לפני הצהריים היתה גבוהה בצד המזרחי לעומת הצד המערבי וההיפך אחר הצהריים (ציור 3), זאת בשל זמני החשיפה לקרינה ישירה. הטמפרטורה המקסימלית התקבלה בצד המזרחי, כנראה עקב רוחות הצהריים שגרמו לקרוור יחסי של הפרי בצד המערבי. טמפרטורת הפרי המקסימלית עלתה לשיא לקראת צהריים ובצהריים היתה ירידה קלה שלאחריה עלה (ציור 3). הדבר בולט במיוחד בהפרש שבין טמפרטורת הפרי לטמפרטורת האוויר (ציור 4).

ציור 3: טמפרטורת הפרי במהלך היום (15.9.00)



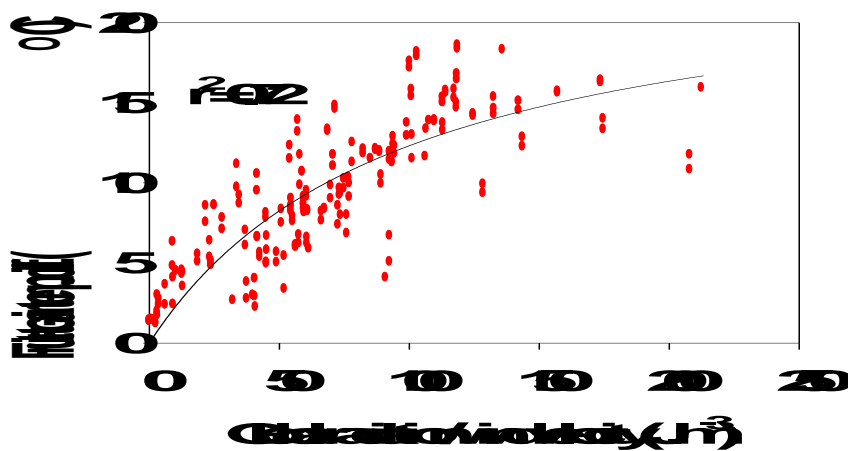
נראה שלא היו תפוחים חשופים לשמש כשהיא היתה בזניט דבר שגרם לירידה בטמפרטורה בדיוק בצהריים. הפרש הטמפרורה בין הפרי לאוויר היה בין 12 ל-15 מעלות בשלושת ימי המדידה (ציור 4). אם כן יש לצפות נזקי מכות שמש מעל 30 מעלות באוויר. כמובן, יש עדיין לבחון את הקינטיקה של תהליך קבלת מכת השמש ומהו משך החשיפה המינימלי מעל 41 מעלות הדרוש לקבלת מכת שמש. כמו כן יש לברר האם הנזק נצבר לפני שהוא מתבטא או שיש תהליך הרפאות עצמית.

ציור 4: טמפרטורת הפרי המקסימלית בכל זמן והפרש הטמפרטורה בין הפרי לאוויר בשלושה ימי מדידה



ההפרש בין טמפרטורת הפרי לאוויר הוא חלק ממאזן האנרגיה ועל כן הוא צפוי לעלות עם עליית הקרינה וירידת מהירות הרוח. הפרש הטמפרטורה בין הפרי לאוויר נמצא במתאם גבוה עם היחס שבין הקרינה למהירות הרוח (ציור 5). בעונה הבאה יש מקום לשפר את הקשר הזה.

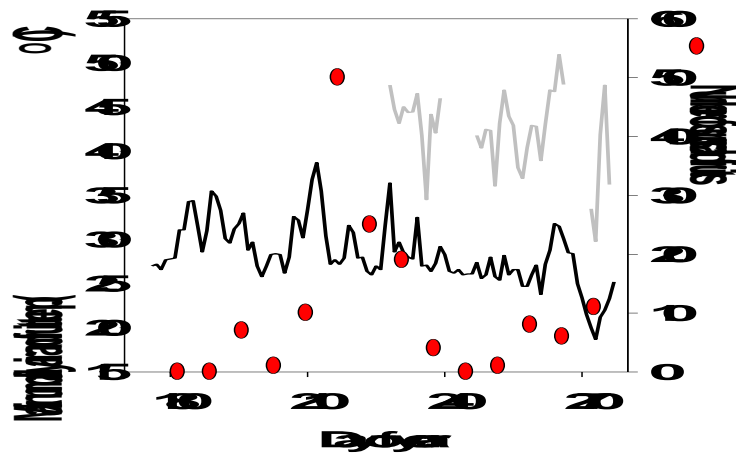
ציור 5: הקשר שבין הפרש הטמפרטורה בין הפרי לאוויר והיחס שבין הקרינה למהירות הרוח.



ניסוי 3 – מעקב אחר הצטברות מכות שמש לאורך העונה

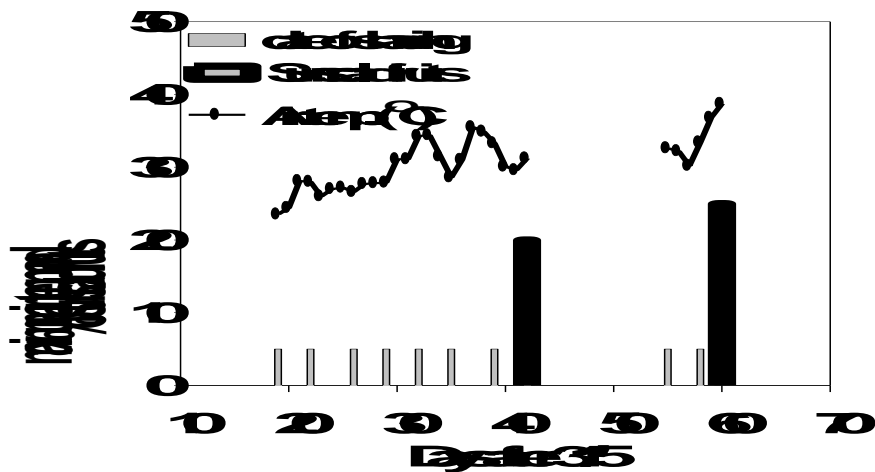
מכות שמש נצפו לראשונה במחצית יולי (ציור 6) לאחר מספר ימים בהם טמפרטורת האוויר התקרבה ל-35 מעלות. עליה משמעותית בכמות מכות השמש נצפתה בתחילת אוגוסט לאחר מספר ימים חמים שהשיא בהם היה 38 מעלות לאחר מכן חלה דעיכה בכמות מכות השמש עד תחילת ספטמבר. במחצית השניה של ספטמבר נצפתה עליה קלה בכמות מכות השמש.

ציור 6 מספר הפירות שנתקבלו בהם מכות שמש לאורך העונה (סכום מחמישה עצים) וטמפרטורת האוויר הממוצעת.



טמפרטורת הפרי במחצית הראשונה של יולי אמורה להיות גבוהה מהסף לקבלת מכות שמש (ציור 3) ולמרות זאת כמות מכות השמש היתה קטנה. הדבר מצביע על אפשרות שהרגישות לקבלת מכות שמש מתגברת במחצית יולי, אך לא מן הנמנע שהנזק נצבר כבר בתחילת יולי אך היה בלתי נראה. כמות מכות השמש היגיע ל-11.7% מסך הפירות.

התפוחים כ-20% מהתפוחים שכוסו ברשת צל קיבלו מכות שמש (ציור 7) דבר המצביעה על איבוד כושר סבילות במהלך יממה כיסוי ברשת צל. ציור 7: אחוז מכות שמש בתפוחים מוצלים.

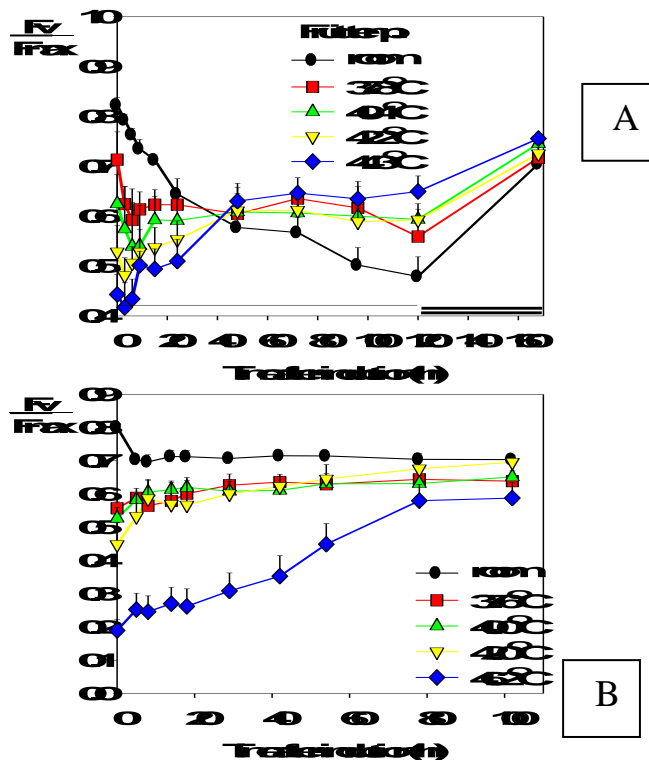


ניסוי 4 – בחינת שינויים בפלואורסנציה של כלורופיל לאחר אינדוקציה בטמפרטורות שונות

ובאינקובציה רצופה בתנאי הארה בטמפרטורת החדר.

F_v/F_{max} בתפוחי הביקורת ששהו בזמן האינדוקציה בטמפרטורת החדר ירד לאורך כל תהליך האינקובציה במחזור הראשון (ציור 8). לעומת זאת בבקורת במחזור השני חלה ירידה קלה ונשמר ערך של 0.7 לאורך כל האנקובציה. לא ניתן להסביר את הירידה בפלואורסנציה במחזור הראשון אלא במקור תפוחים שונה. בכל הטמפרטורות חלה ירידה בפלואורסנציה מיד עם הכניסה לאינקובציה ולאחר מכן עלו ערכי הפלואורסנציה באופן הדרגתי עד שהגיעו לערך קבוע. ערך זה היה דומה בשני המחזורים (0.6). במחזור השני היו תפוחים גם בטמפרטורה של 46 מעלות. בתפוחים אלו הירידה ההתחלתית היתה הגבוהה ביותר; קצב העליה לאחר מכן היה איטי, והערך הסופי היה נמוך במקצאת בהשוואה לטמפרטורות האחרות. בסדרה הראשונה הוכנסו התפוחים לחושך לאחר 120 שעות אינקובציה למשך 48 שעות שבמהלכן עלתה הפלואורסנציה בכל הטמפרטורות לערך של ~ 0.7 . היכולת להבחין בשינויים בפלואורסנציה היחסית בהשפעת טמפרטורות אינדוקציה שונות תאפשר להשתמש בכלי ללימוד הקינטיקה של קבלת מכת שמש. כלי זה יהווה מדד מרכזי בלימוד הקינטיקה של התהליך בשנות המחקר הבאות. לא התקבלו כלל מכות שמש בתהליך זה בשני המחזורים דבר המעלה את האפשרות שמשך האינדוקציה הדרוש לקבלת מכת שמש משתנה לאורך העונה. בניסוי 1 נדרשו 8 שעות באינדוקציה לקבלת מכת שמש. יש מקום להגדיר את משך האינדוקציה הדרוש לקבלת מכת שמש לאורך העונה.

ציור 8: ערכי הפלואורסנציה היחסית במהלך האינקובציה בתפוחים בטמפרטורות אינדוקציה שונות במחזור הראשון (A) והשני (B).

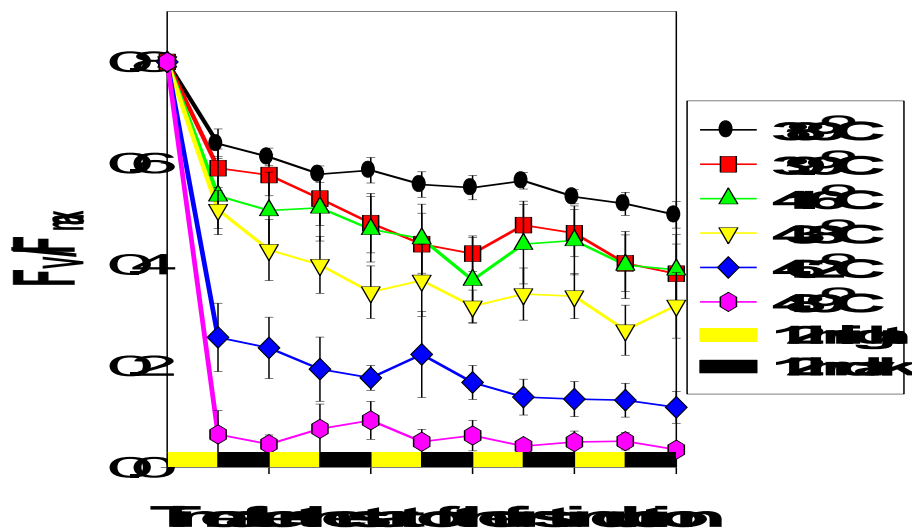


ניסוי 5 – השפעת מחזורי אינקובציה של 12 שעות ו-120 שעות בחושך במספר טמפרטורות על

פלואורסנציה של כלורופיל.

הפלואורסנציה בכל הטמפרטורות ירדה בצורה משמעותית במחזור ההארה הראשון (ציור 9). הדעיכה ברוב מחזורי החושך המשיכה אך בקצב נמוך יותר. בטמפרטורה הגבוהה הפלואורסנציה ירדה כמעט לאפס כבר במחזור הראשון וככלל קצב הפלואורסנציה ירד עם עליית טמפרטורת הפרי. יש מקום לברר מהי הדינמיקה של הירידה בתוך מחזור ההארה הראשון ומהי השפעת משך מחזור ההארה על קצב דעיכת הפלואורסנציה בטמפרטורות השונות.

ציור 9: השפעת מחזורי אינדוקציה וחשכה עוקבים בני 12 שעות על הפלואורסנציה היחסית בטמפרטורות פרי שונות.



מסקנות

נראה שמכות השמש בתפוח הן תופעה זהה לזו שנחקרה בירקות ועל כן ניתן בכלים שבחנו בעונה זו לממש את מטרות המחקר בשנות המחקר הבאות. טמפרטורות הפרי בחלק מהימים וחלק מהיום הן מעל לסף היכול להביא לקבלת מכות שמש. יש יסוד להניח שניתן יהיה לחזות את טמפרטורת הפרי מנתונים של תחנה מטאורולוגית סטנדרטית.