

בחינת ההשפעה של טמפרטורה וגיל הפרי

על היווצרות נזקי מכות שמש בתפוח

ע. נאור, ש. נשיץ, י. סקס, ח. רבינוביץ', י. שחק

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 שמכת השמש היא סינדרום של פוטואוקסידציה ברמת הכלורופלסט והינה תופעה כללית המאפיינת את כל הרקמות הירוקות. בנוסף, בכוונתנו לפתח מודל חיזוי מכות שמש בהשפעת טמפרטורה שיאפשר הגדרת תנאי הגידול וקריטריון כמותי לדרישת מטיפול הלבנה.

מטרות המחקר בשנת 2001 היו:

1. לאפיין את השפעת הטמפרטורה על היווצרות מכות שמש בתפוחים ללא כושר סבילות; השפעת מספר השעות בטמפרטורה 38 מעלות על רכישת סבילות כנגד מכות שמש; השפעת מספר השעות בטמפרטורה 25 מעלות על איבוד סבילות.
2. לבחון את השינויים בתפקוד מערכת הפוטוסינתזה בהשפעת טמפרטורה בתנאים מבוקרים ובשדה.
3. למצוא את הקשר שבין הקרינה ומהירות הרוח להפרש הטמפרטורה בין הקליפה והאוויר.

חומרים ושיטות

1. בדיקת רגישות פירות תפוח ללא כושר סבילות לטמפרטורה - בתוך תא קירור מבוקר טמפרטורה נבנתה מערכת הדמיה לאינדוקציה של מכות שמש. המערכת הורכבה מארבעה זרקורי הלוגן בהספק של W500 כל אחד, שנתלו על מתקן מיוחד בגובה 64 ס"מ מעל רצפת התא. מתחת למתקן הוצבו 5 תבניות לאריזת פירות עליהן הושמו תפוחים. מדידת הטמפרטורה בקליפת הפרי התבצעה באמצעות תרמוקפלים בעובי 0.2 מ"מ שהוחדרו מתחת לקליפת הפירות, בצמוד לקליפה. התרמוקפלים חוברו לאוגר נתונים CR10. התבצעו חשיפות של פירות תפוח מהזן Smoothie בשלשה מועדים שונים: 27/6, 2/7, 18/7. התפוחים שהו בחושך 25- מעלות צלזיוס למשך 48 שעות לשם ביטול עמידות למכות שמש שנרכשה בשדה ואז נחשפו לטמפרטורות בטווח שבין 35-49 מעלות צלזיוס למשך 8 שעות. לאחר שלב האינדוקציה הועברו הפירות לאינקובציה תחת תאורה חזקה בנוורת פלואורוסנטיות בעלות אור לבן (daylight) ב27- מעלות צלזיוס למשך 5 ימים. בדיקת מכות השמש נעשתה ויזואלית, כאשר הקריטריון לנגיעות היה הלבנת הרקמה בקטע הפרי שנחשף לטמפרטורה גבוהה באינדוקציה. מספר התפוחים הכולל בשלשת המועדים היה 261.

2. בחינת השפעת מספר השעות בטמפרטורה 38° על רכישת סבילות למכות שמש - פירות תפוח
 מהזן Smoothie הושהו בחדר חשוך בטמפרטורה של 25 מעלות צלזיוס למשך 48 שעות. הפירות הועברו לתא האינדוקציה ושהו בו בטמפרטורה של 38 מעלות צלזיוס למשך פרקי זמן של 0, 8, 16 ו-24 שעות, 25 פירות בכל פרק זמן. בתום החשיפה הועברו הפירות לתא אינדוקציה שני וחוממו ע"י תאורה חזקה לטמפרטורה בטווח שבין 42-44 מעלות צלזיוס למשך 8 שעות (תואר בסיף 1). לאחר מכן הושמו הפירות באינקובציה למשך 5 ימים. מכות השמש אובחנו ויזואלית.
3. בחינת השפעת משך השהיה בטמפרטורה של 25° על איבוד סבילות נרכשת למכות שמש - פירות תפוח מהזן Smoothie הושהו בחדר חשוך בטמפרטורה של 25 מעלות צלזיוס למשך 48 שעות. הפירות הועברו לתא האינדוקציה ושהו בו בטמפרטורה של 38 מעלות צלזיוס למשך פרק זמן של 24 שעות לצורך רכישת סבילות מקסימלית. בתום החשיפה הועברו הפירות לחדר חשוך 25- מעלות צלזיוס, בו שהו למשך פרקי זמן של 0, 8, 16, 24 ו-32 שעות. 22 פירות נחשפו לחושך בכל פרק זמן. משם הועברו הפירות לתא אינדוקציה וחוממו ע"י תאורה חזקה לטמפרטורה בטווח שבין 42-44 מעלות צלזיוס למשך 8 שעות (תואר בסעיף 1). לאחר מכן הושמו הפירות באינקובציה למשך 5 ימים. מכות השמש אובחנו ויזואלית.
4. מדידת פלואורוסנציה של כלורופיל במהלך אינדוקציה למכות שמש - פירות תפוח מהזן Smoothie שהו בחדר חשוך ב-25 מעלות צלזיוס למשך 48 שעות לביטול סבילות מהשדה. לאחר מכן נחשפו הפירות לטמפרטורות של 39, 41, 45 ו-49 מעלות צלזיוס במערכת האינדוקציה למכות שמש. לכל טמפרטורה נחשפו 5 פירות. Fv/Fmax נמדד בכל אחד מהפירות לאחר 0, 1, 2, 3, 4, 8- שעות חימום באמצעות פלואורימטר PAM2000. בתום האינדוקציה הועברו הפירות לאינקובציה למשך 5 ימים, ולאחריה נספרו מכות השמש שהתפתחו בפירות. הקריטריון לאבחון מכות שמש היה הלבנת קליפת הפרי בקטע הקליפה שהיה חשוף לתאורה במהלך האינדוקציה.
5. מדידות פלואורוסנציה של כלורופיל בשדה - ב-5 עצי Smoothie בני 12 שנים נבחרו 10 פירות חשופים לקרינת השמש ו-15 פירות מוצלים במשך כל שעות היממה. כל הפירות סומנו בצד המזרחי של השדרה. 10 מן הפירות המוצלים נחשפו לקרינה ע"י הסרת הענפים והעלים שהצלו עליהם. בכל הפירות נמדדה הפלואורוסנציה של כלורופיל בשעות 7:00, 10:00, 13:00, 16:30, 19:00 ו-7:00 בבוקר המחרת באמצעות פלואורימטר PAM2000. במקביל רוכזו נתונים אקלימיים מתחנה מטאורולוגית הנמצאת במרחק של כ-700 מטר ממקום הניסוי. נקודת המדידה על כל פרי סומנה, וכעבור 72 שעות מתחילת המדידה נספרו מכות השמש שהתפתחו במקום המדידה בכל הפירות. מכות השמש אובחנו ויזואלית.
6. מדידת השינויים בטמפרטורת הקליפה במשך היום בתנאי שדה וחיזוי טמפרטורת הפרי מנתונים מטאורולוגיים - בעץ דרומי בשורת עצי Smoothie במטע מסחרי בן 11 שנים נבחרו תפוחים לפי מיקומם בנוף:

- 5 תפוחים בצד המזרחי בגובה 1 מטר
- 5 תפוחים בצד המזרחי בגובה 2 מטר
- 5 תפוחים בצד המערבי בגובה 1 מטר
- 5 תפוחים בצד המערבי בגובה 2 מטר
- 5 תפוחים בצד הדרומי בגובה 1 מטר

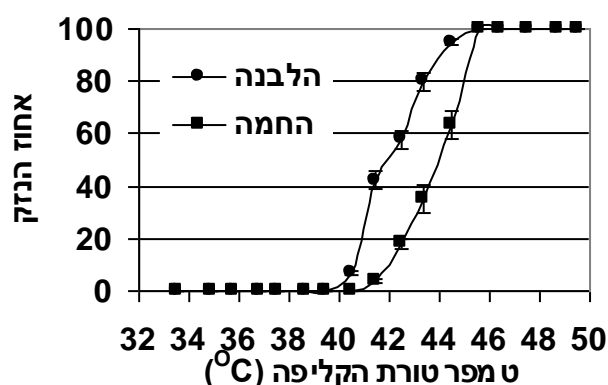
העלים הסמוכים לכל אחד מהפירות הוסרו, ולצידו החשוף לשמש של כל תפוח הוחדר תרמוקפל בעובי 0.2 מ"מ מתחת לקליפה, בצמוד לקליפה. בנוסף נתלו תרמוקפלים באותו עובי על הענף המרכזי של העץ בגבהים של 1, 2 ו-3 מטרים בתוך סוכות מטאורולוגיות. התרמוקפלים חוברו לאוגר נתונים CR10X באמצעות מולטיפלקסר. התבצע מעקב אחר טמפרטורת הקליפה במיקומים השונים בעץ.

נתוני קרינה גלובלית ומהירות רוח בגובה 2 מ' נלקחו מרישומי תחנה מטאורולוגית הניצבת כ-700 מטר מעץ המודל בקו אווירי.

תוצאות

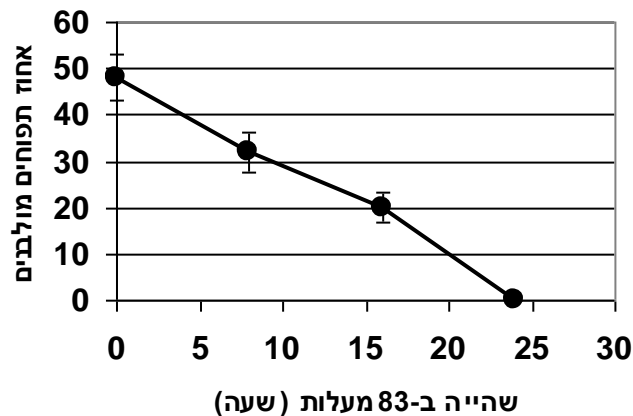
1. בדיקת רגישות פירות תפוח ללא כושר סבילות לטמפרטורה - התקבל עקום סיגמואידי המתאר את עליית אחוז ההלבנה וההחמה בפרי עם העלייה בטמפרטורה (איור 1). מופע ההחמה מתאים חזותית לנזקי בישול (Sunburn) בשונה מהלבנה (Bleaching, Sunscald). בטמפרטורות מתחת ל-40 מעלות צלזיוס לא התקבלה הלבנה כלל, בעוד בטמפרטורות של 46 מעלות צלזיוס ומעלה כל הפירות היו מולבנים. עליה בחמה החלה בטמפרטורות גבוהות יותר אך ב-46 מעלות התקבלה החמה מלאה.

איור 1: השפעת טמפרטורת הקליפה על הלבנה והחמת תפוחים מהזן Smoothie.



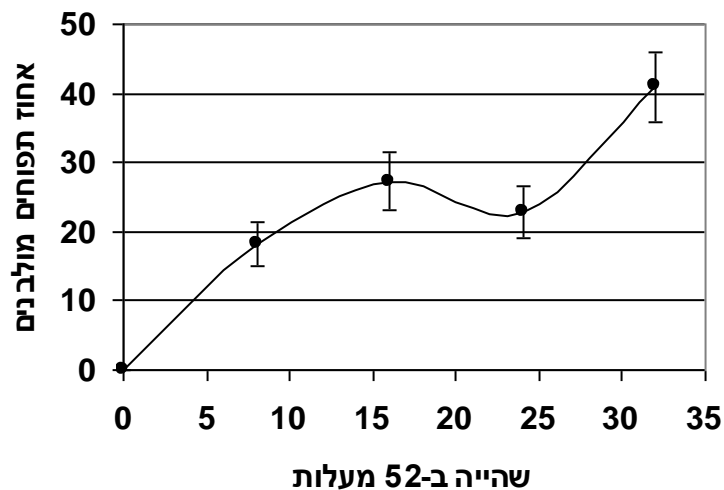
2. בחינת השפעת מספר השעות בטמפרטורה 38°C על רכישת סבילות למכות שמש - הרגישות למכות שמש פחתה ביחס ישר לזמן החימום המוקדם. בתפוחים ששהו ב-38 מעלות למשך 24 שעות לא נצפו כלל מכות שמש בתום האינקובציה (איור 2).

איור 2: השפעת משך החשיפה לתאורה ב-38 מעלות צלזיוס לפני האינדוקציה על רגישות הפרי למכות שמש.



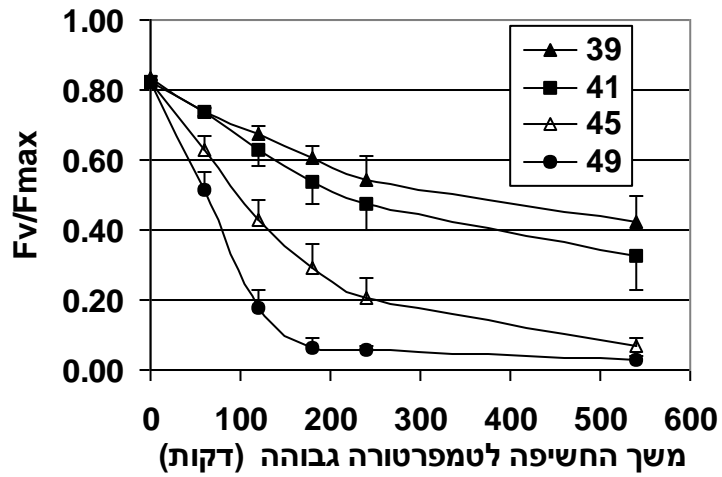
3. בחינת השפעת משך השהייה בטמפרטורה של 25° על איבוד סבילות נרכשת למכות שמש – באופן כללי הרגישות למכות שמש גדלה ככל שמשך האדפטציה לחושך היה ארוך יותר. בפירות שלא עברו אדפטציה כלל לא נצפו מכות שמש בתום האינקובציה (איור 3). יש לציין כי פירות שעברו החשכה במשך 24 שעות הפגינו רגישות קטנה מהצפוי למכות שמש.

איור 3: השפעת משך ההתאמה לחושך בפירות שהושרו ב-25 מעלות צלזיוס על הרגישות למכות שמש לאחר אינדוקציה.

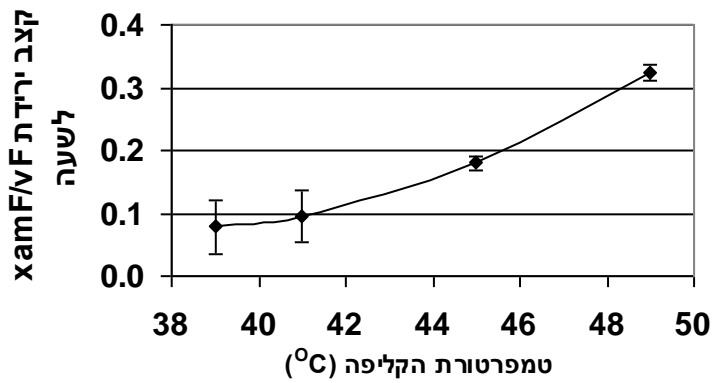


4. מדידת פלואורוסנציה של כלורופיל במהלך אינדוקציה למכות שמש – נמצא מתאם בין טמפרטורת הקליפה לערכי F_v/F_{max} במהלך האינדוקציה (ציור 4). ככל שהטמפרטורה היתה גבוהה יותר, קצב הדעיכה ההתחלתי (בשעתיים הראשונות) היה גבוה יותר (איור 5). הלבנה התקבלה כאשר ערכי F_v/F_{max} ירדו מתחת לערך של 0.1 (ציור 6). הזמן הדרוש להגעה לערך F_v/F_{max} של 0.1 ירד עם עליית טמפרטורת הקליפה (ציור 7).

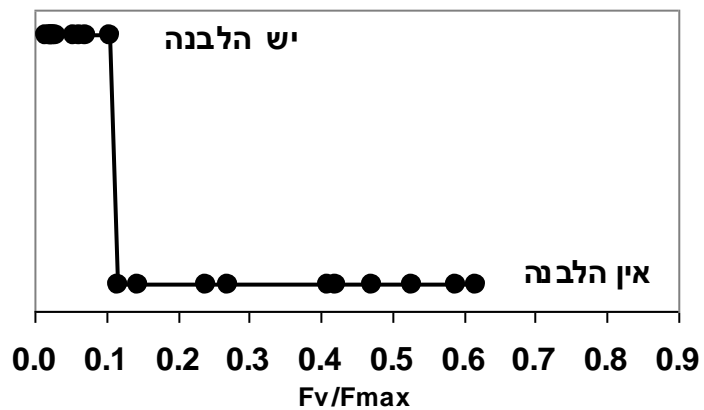
איור 4: שינויים בפלוארוסנציה של כלורופיל במשך האינקובציה בארבע רמות טמפרטורה.



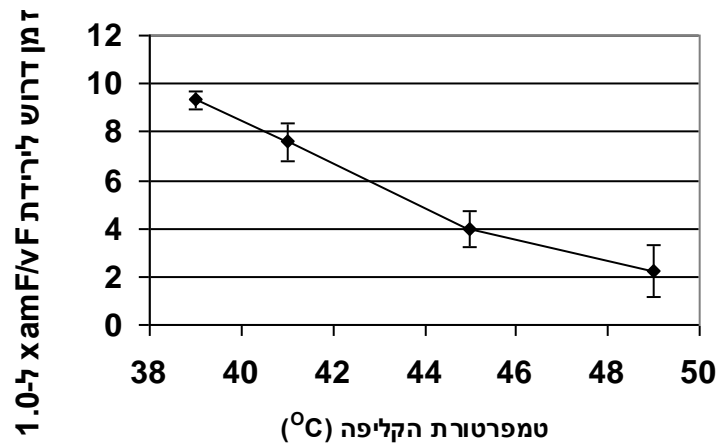
איור 5: השפעת הטמפרטורה על קצב הירידה ב-Fv/Fmax במהלך השעתיים הראשונות לאינדוקציה.



איור 6: הקשר בין ערך Fv/Fmax המינימלי במהלך האינדוקציה לבין הלבנת הקליפה (כל סימן מיצג תפוח).

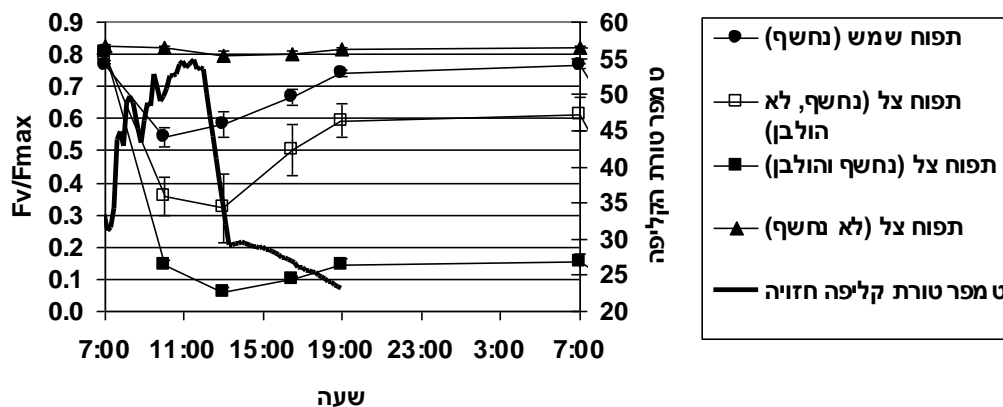


איור 7: משך הזמן הדרוש לירידת Fv/Fmax מתחת לערך של 0.1 בטמפרטורות שונות, על-פי קצב הירידה בשעתיים הראשונות לאינדוקציה.

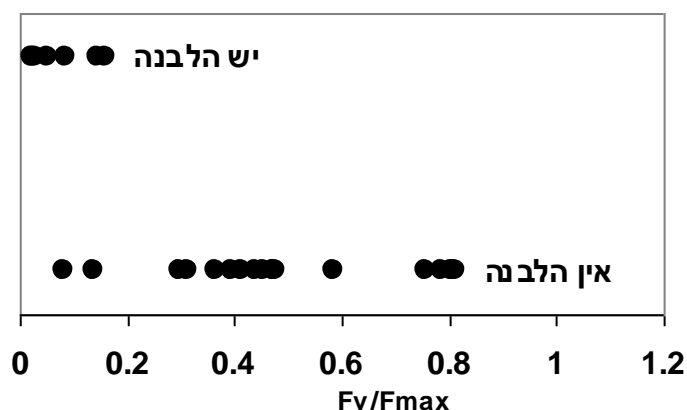


5. מידות פלואורוסנציה של כלורופיל בשדה – ערכי Fv/Fmax של כל הפירות שנחשפו לשמש ירדו בנהלך היום ובתפוחים שנשארו בצל התקבל ערך קבוע של 0.8 (איור 8). ערכי Fv/Fmax מינימליים היו גבוהים בתפוחים שרכשו סבילות (תפוחי שמש) בהשוואה לתפוחים ללא כושר סבילות (תפוחי צל). ערכי Fv/Fmax בקבוצת התפוחים ללא כושר סבילות היו ערכי Fv/Fmax גבוהים בתפוחים שלא התקבלה בהם הלבנה בהשוואה לתפוחים בהם התקבלה הלבנה. ערכי Fv/Fmax בבקר המחרת היו דומים בתפוחי הביקורת (תפוח צל שלא נחשף) ותפוחים בעלי כושר סבילות. בתפוחים ללא כושר סבילות התקבלו ערכים נמוכים מהביקורת בבקר המחרת ובתוך קבוצה זו נמדדו ערכים נמוכים במיוחד בתפוחים שהתקבלה בהם הלבנה. ערכי Fv/Fmax ב-7 בערב היו זהים לאלו של הבוקר למחרת בכל הטיפולים. הלבנה התקבלה בערכי Fv/Fmax מינימליים נמוכים מ-0.2 למעט שני תפוחים. חסרים תפוחים בערכים 0.2-0.3 כך שקשה לקבוע סף את הסף בודאות.

איור 8: שינויים בפלואורוסנציה של כלורופיל בקבוצות שונות של פירות במהלך יום קיץ בתנאי המטע (כל הטיפולים למעט ביקורת נחשפו לשמש ע"י הסרת עלים במידת הצורך).



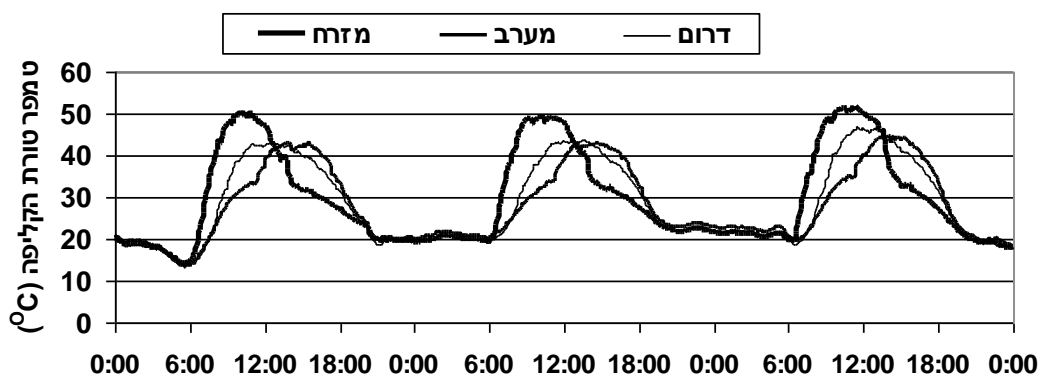
איור 9: הקשר שבין F_v/F_{max} המינימלי לבין קבלת הלבנה במטע כל סימן מיצג תפוח.



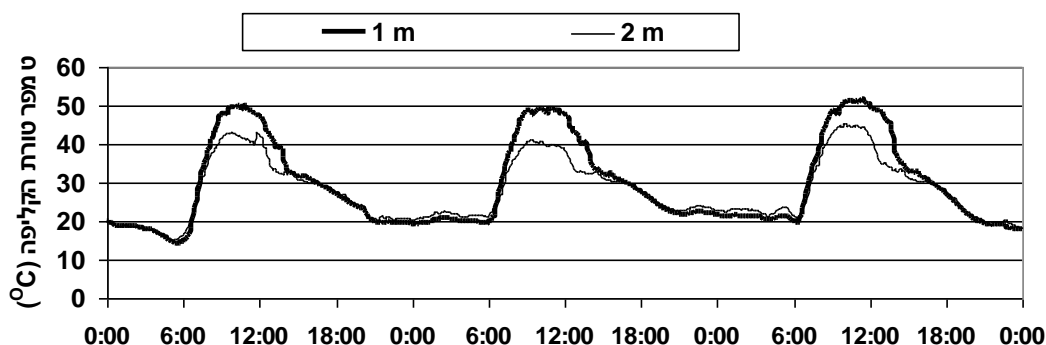
6. מדידת השינויים בטמפרטורת הקליפה במשך היום בתנאי שדה וחיזוי טמפרטורת הפרי מנתונים מטאורולוגיים -

הפירות בצד המזרחי של השורה הגיעו לטמפרטורות גבוהות יותר מאלה הממוקמים בצד המערבי ובצד הדרומי בגובה 2 מ' (איור 10). הפירות בצד המזרחי הגיעו לשיא הטמפרטורה בשעות הבוקר המאוחרות, הפירות בצד הדרומי הגיעו לשיא הטמפרטורה בשעות הצהריים ואילו הפירות המערביים הגיעו לשיא הטמפרטורה בשעות אחר הצהריים המוקדמות (איור 10). הפירות הקרובים לקרקע הגיעו לטמפרטורות גבוהות יותר מאלה הנמצאים בגובה רב יותר באותו צד של העץ (איור 11). נמצאה וריאציה גם בטמפרטורת האוויר עם השינוי בגובה מעל פני הקרקע. ההפרש בין טמפרטורת הקליפה בקטע הפרי החשוף לקרינה ישירה לבין טמפרטורת האוויר הגיע לכ-25 מעלות צלזיוס. נמצא כי הפרש זה עומד ביחס ישר לעוצמת הקרינה הגלובאלית וביחס הפוך לשורש הריבועי של מהירות הרוח (איור 12).

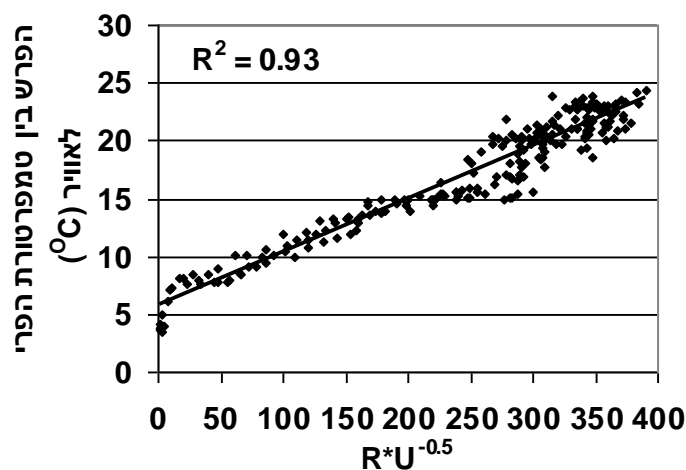
איור 10: השפעת המיקום בעץ על טמפרטורת הקליפה הממוצעת.



איור 11: השפעת גובה הפרי מעל הקרקע על טמפרטורת הקליפה הממוצעת



איור 12: הקשר שבין הקרינה (R) מחולקת בשורש מהירות הרוח (U) לבין הפרש שבין טמפרטורת הקליפה המקסימלית וטמפרטורת האוויר.



דיון

בעונה זו עברנו לעבוד עם תפוחי זהוב שכן התקבלה בתפוחים אלו תופעת הלבנה ברורה בהשוואה לתפוחי גרני סמיט, דבר שאפשר לאפיין את הפונקציות השונות במידת ודאות גבוהה יותר. תגובת תפוחים חסרי כושר סבילות לטמפרטורה (איור 1); רכישת סבילות בטמפרטורה של 38 מעלות (איור 2) ואיבודה בטמפרטורה של 25 מעלות (איור 3) דומים לתוצאות שהתקבלו בירקות על ידי רבינוביץ' וחובריו וניתן לאמר בודאות שמכת השמש בתפוח היא תהליך פוטואוקסידטיבי תלוי טמפרטורה, שזוהי תופעה כללית לרקמות ירוקות. קבלת החמה בטמפרטורות גבוהות מאלו הדרושות להלבנה (איור 1) חיבת להבחן לעומק שכן קימת אפשרות שמדובר גם בתופעות לוואי הקשורות בחמצון של פנולים למרות שלא התקבלה בתפוחים שחוממו בחושך (לא מוצג). בעונה הבאה תבחן השפעת טמפרטורה על קבלת הלבנה והחמה על תפוחים שרכשו סבילות במשך 24 שעות.

סבילות מקסימלית התקבלה לאחר שהיה של 24 שעות בטמפרטורה של 38 מעלות אך בטבע משך
השהיה בטמפרטורות גבוהות על פני היממה נמוך יותר, כך שבאופן תיאורטי לא ניתן לרכוש
סבילות מקסימלית במטע. יחד עם זאת בתפוחים ששהו בשמש (איור 8) לא התקבלה הלבנה
וערכי F_v/F_{max} חזרו בבוקר המחרת לערכים מקסימלים. בטבע לא מתקבל תהליך אינדוקציה
של 8 שעות בטמפרטורה גבוהה כפי שנעשה בתנאים המבוקרים, דבר היכול להסביר את אי קבלת
הלבנה בתפוחים שרכשו סבילות חלקית בשדה. מדידות הפלואורסנציה מספקות לנו כלי לעקוב
אחר הקינטיקה של תהליך ההלבנה ובעזרתן ניתן יהיה לבנות מודל לחיזוי קבלת הלבנה בתפוחים
במטע. נראה שיש ערך סף ברור של $F_v/F_{max}=0.1$ שמתחתיו מתקבלת מכת שמש בתנאים
מבוקרים (איור 5). במטע התקבלה הלבנה בערכים נמוכים מ-0.2 (איור 9) בשונה מהתנאים
המבוקרים בהם הסף היה 0.1. קימת אפשרות שלמהלך דעיכה שונה של ערכי F_v/F_{max} בין
המטע לתנאים המבוקרים יש השפעה על הסף לקבלת הלבנה. יש מקום בעונה הבאה לבצע סדרת
מדידות גדולה בשדה על מנת לברר נקודה זו.

במטע התקבלו טמפרטורות שיא של 53 מעלות ללא קבלת מכת שמש כך שברור שמשך החשיפה
לטמפרטורות הגבוהות הוא שיקבע היוצרות תהליך בו הפגיעה במערכת הפוטוסינטזה,
המתבטאת בירידה בערכי F_v/F_{max} תהיה בלתי הפיכה ותגרור פרוק הכלורופיל.

מופע מכות השמש במטע בדרך כלל אינו הלבנה אלא הצהבה וכתמים חומים. קימת אפשרות
שתפוחים שנחשפים לקרינה וטמפרטורה גבוהה עוברים תהליכים נוספים, איטיים, בנוסף
להלבנה, או לחילופין שנזקי התהליך הפוטואוקסידטיבי מתבטאים לאו דוקא רק בהלבנה.
אפשרות נוספת היא שמדובר בנזק מצטבר של טמפרטורות גבוהות מאוד. בעונה הבאה תערך
תצפית מפורטת בנושא על מנת לנסח שאלת מחקר בנושא.

מסקנות

יש בידנו פונקציות מבסיסיות לתיאור השפעת טמפרטורה על קבלת מכות שמש. יש להשלים
מספר פונקציות הקושרות השפעת הטמפרטורות השונות על רכישה ואיבוד של סבילות כנגד מכות
שמש. אין בידנו עדיין קשרים ברורים המאפשרים לחזות את הקינטיקה של תהליך קבלת מכות
השמש, אך באמצעות מדידות פלואורסנציה ניתן יהיה ליצרן. יש להמשיך במחקר עוד שתי עונות
על מנת להשלים את פונקציות החיזוי השונות, לבחון שינויים ברגישות לקבלת מכות שמש לאורך
העונה ולאפיין זני תפוח נוספים. בנוסף, יש לנסות לקשור את מופע מכות השמש בשדה לתהליך
הפוטואוקסידטיבי או לחילופין לבחון אפשרות לקיום תהליך קבלת נזק נוסף.