

# התנאים להתפתחות "מכות שמש" בפירות תפוח

## סיכום ניסויי שנת 2003

שאול נשיץ, עמוס נאור, חיים רבינוביץ, יוספה שחק, יולה סקס

ניסוי מס' 1

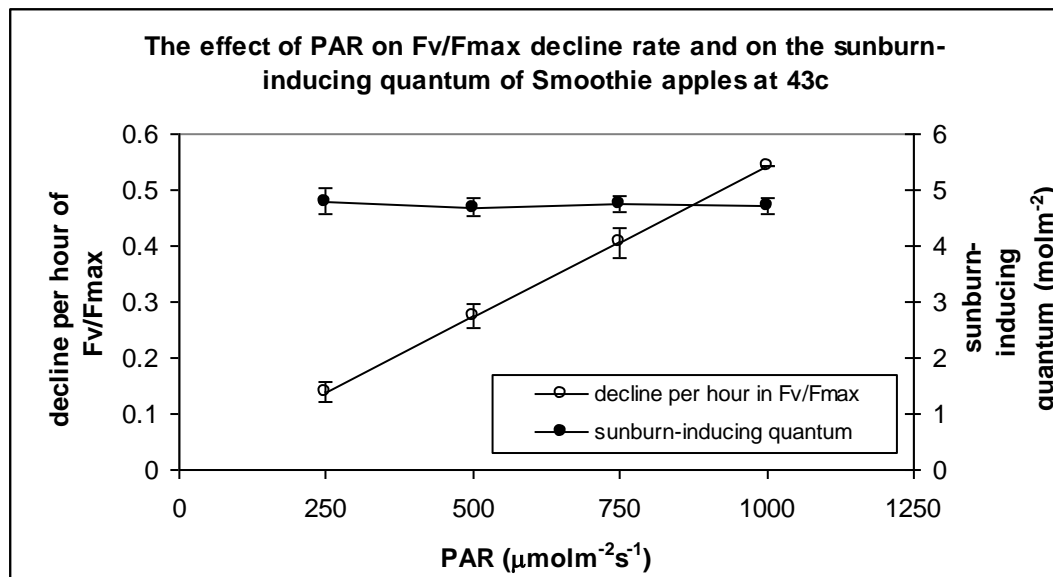
מטרת הניסוי: בחינת השפעת עוצמת התאורה על התפתחות "מכות שמש" בפירות תפוח.

### חומרים ושיטות

פירות תפוח מהזן Smoothie נקטפו בסוף חודש יולי. נבחרו תפוחים שגדלו בפנים העץ ושצבעם ירקרק אופייני בכל שטח הפנים שלהם, בקוטר 46-48 מ"מ. הפירות הועברו לאינקובציה בחושך בטמפרטורה של 25 מעלות צלזיוס למשך 48 שעות לצורך ביטול סבילות לקרינה שנרכשה בשדה. לאחר האינקובציה בחושך נמדד ערך  $F_v/F_{max}$  בכל פרי במרכזו של מעגל מסומן בקוטר של כ- 1 ס"מ. אזור המדידה הופנה כלפי מקור האור במערכת ההדמיה כך שנחשף לטמפרטורה המרבית. התפוחים נחשפו לאור בעוצמות של 0, 250, 500, 750 ו- $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR בטמפרטורת קליפה של 43 מעלות צלזיוס למשך פרק זמן של 8 שעות נטו, 25 פירות לכל עוצמת תאורה. טמפרטורת הקליפה נמדדה באזור המסומן בו נערכו מדידות הפלואורסנציה של הכלורופיל. לאחר שעה, שעתיים, שלוש שעות ושמונה שעות הוצאו הפירות ממערכת ההדמיה ונערכו מדידות של  $F_v/F_{max}$  באזור המסומן. המדידות נערכו לאחר כיסוי האזור המסומן במתקן אטום לאור למשך 15 דקות. לאחר המדידה הוחזר כל פרי למקומו. לאחר החשיפה לעוצמת אור גבוהה חושב משך הזמן הצפוי עד הגעה לערך  $F_v/F_{max}$  של 0.1 בהנחה של קצב דעיכה קבוע של מדד זה השווה לקצב הדעיכה ההתחלתי, וממנו נגזרה כמות האנרגיה הדרושה לקבלת סימפטומים של "מכות שמש" בפרי. הניסוי נמשך מספר ימים, כאשר בכל הפעלה של מערכת ההדמיה נקבעו מחדש המרחק שבין המשטח ועליו הפירות לבין מקור האור, וטמפרטורת האוויר בחדר הקירור

### תוצאות

נמצא כי הקשר בין עצמת האור לקצב הדעיכה של היחס  $F_v/F_{max}$  הינו ישר וליניארי. תחת עצמות אור של 0, 250, 500, 750 ו- $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR נמדדו קצבי דעיכה התחלתיים של 0.14, 0.27, 0.40 ו-0.54. בהתאמה (איור 1). כמות האנרגיה שנדרשה כדי להקטין את היחס  $F_v/F_{max}$  עד 0.1, ערך הסף להתפתחות נזק בלתי הפיך לקליפת הפרי, היתה דומה בכל עוצמות האור, בין 4.69 ו- $4.79 \text{ mol m}^{-2}$ .



איור 1: השפעת עוצמת האור על מנת ה-PAR המינימלית הדרושה להתפתחות נזק פוטואוקסידטיבי בלתי הפיך בטמפרטורה של 43 מעלות צלזיוס בפירות תפוח מן הזן Smoothie שאוקלמו לתנאי חושך.

#### דיון ומסקנות

מן התוצאות עולה כי התפתחות "מכות שמש" בפירות מן הזן Smoothie היא פונקציה של מנת הקרינה אליה נחשף הפרי. ככל שהקרינה חזקה יותר, משך הזמן המינימלי הנדרש להצטברות נזק פוטואוקסידטיבי בלתי הפיך הינו קצר יותר. לעומת זאת, גודל מנת הקרינה הקריטית להתפתחות נזק בלתי הפיך איננה מושפעת מעוצמת הקרינה. כפי שהודגם בשנים קודמות, קיימת השפעה של הטמפרטורה על קצב התפתחות הנזק בקליפת הפרי. בטמפרטורה של כ-40 מעלות צלזיוס ויותר ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר קצב הירידה ביחס  $F_v/F_{max}$  גבוה יותר, דבר המתבטא בהופעת "מכות שמש" רבות יותר באוכלוסיית הפירות במטע.

בערכי שטף פוטונים האופייניים לצהרי היום בקיץ באזורנו, עד  $12000 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , PAR, צפויות להתפתח "מכות שמש" בפרי שהאוריינטציה שלו השתנתה ולכן לא התאקלם לתנאי קרינה בעוצמה גבוהה כבר לאחר כ-40 דקות של חשיפה לקרינת שמש ישירה כאשר טמפרטורת קליפת הפרי 43 מעלות צלזיוס, ולאחר פרקי זמן קצרים אף יותר כאשר טמפרטורת הפרי גבוהה יותר.

מכאן שקיימת חשיבות רבה בקיצור משך החשיפה של הפרי לקרינה ישירה, ע"י הצללה של הפרי. יש לציין כי בפירות במעטפת העץ שכל העלים סביבם הוסרו התקבלה חשיפה ישירה לקרינת השמש למשך פרקי זמן של עד שעתיים. משך החשיפה בפירות המוגנים הן ע"י עלי הדורבן והן ע"י צימוח וגטטיבי יהיה קצר בהרבה.

מטרת הניסוי: בירור השפעת טמפרטורת הקליפה על מנת הקרינה הנדרשת להיווצרות "מכות שמש" בפירות תפוח.

#### חומרים ושיטות

פירות תפוח מהזן Smoothie נקטפו בתאריך 18/7. נבחרו תפוחים שגדלו בפנים העץ ושצבעם ירקרק אופייני בכל שטח הפנים שלהם. הפירות הועברו לאינקובציה בחושך בטמפרטורה של 25 מעלות צלזיוס למשך 48 שעות לצורך ביטול סבילות לקרינה שנרכשה בשדה. לאחר האינקובציה בחושך נמדד ערך  $F_v/F_{max}$  בכל פרי במרכזו של מעגל מסומן בקוטר של כ- 1 ס"מ. אזור המדידה הופנה כלפי מקור האור במערכת ההדמיה כך שנחשף לטמפרטורה המרבית. התפוחים נחשפו לאור  $250 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  PAR בטמפרטורות קליפה של 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52 ו-54 מעלות צלזיוס, 10 פירות לכל טמפרטורה. טמפרטורת הקליפה נמדדה באזור המסומן בו נערכו מדידות הפלואורסנציה של הכלורופיל. לאחר שעה ולאחר שעתיים הוצאו הפירות ממערכת ההדמיה ונערכו מדידות של  $F_v/F_{max}$  באזור המסומן. המדידות נערכו לאחר כיסוי האזור המסומן במתקן אטום לאור למשך 15 דקות. לאחר המדידה הראשונה הוחזר כל פרי למקומו.

מתוך מדידות הפלואורסנציה של הכלורופיל חושב קצב הדעיכה הממוצע של היחס  $F_v/F_{max}$  בכל אחד מן הפירות, ומתוכו נגזרה מנת הקרינה המצטברת הדרושה להביא כל פרי ל-  $F_v/F_{max} \leq 0.1$ . כפי שהודגם בניסויים קודמים זהו הסף מתחתיו מופיעה תמיד הלבנה של הכלורופיל בקליפת הפרי.

הניסוי נמשך מספר ימים בכל פעם, כאשר בכל הפעלה של מערכת ההדמיה נקבעה בחדר הקירור טמפרטורה שונה של האוויר.

#### תוצאות

בתחום הטמפרטורות של 40-50 מעלות צלזיוס ככל שטמפרטורת קליפת הפרי עלתה, נדרשה מנת קרינה פחותה כדי להביא את הפרי לרמת סף הנזק הבלתי הפיך, המתבטא בהופעת "מכות שמש" (איור 2). בטמפרטורה גבוהה יותר, בתחום שבין 50-54 מעלות צלזיוס, לא הייתה לעלייה בטמפרטורה השפעה על קצב הצטברות הנזק.

#### דיון ומסקנות

נראה כי קצב הירידה ביחס  $F_v/F_{max}$  בהשפעת קרינת PAR בטמפרטורה שמעל 40 מעלות צלזיוס קשור למידת העיכוב של תיקון החלבון D1 בכלורופלסטים והאינטגרציה שלו במרכז הריאקציה של PSII. בספרות קיימות ראיות לכך שתהליכים אלה הם אנזימטיים בעיקרם, והדבר עשוי להסביר את התגברות הנזק הפוטואוקסידטיבי עם העלייה בטמפרטורה בתחום של 40 מעלות צלזיוס ומעלה. נראה כי בטמפרטורות גבוהות מ-50 מעלות צלזיוס מידת העיכוב של תיקון החלבון D1 היא כה גדולה עד כי עלייה נוספת בטמפרטורה איננה מגבירה עוד את קצב התפתחות הנזק.

מכאן כי זמן החשיפה המינימלי הנדרש לקבלת "מכות שמש" בשדה מושפע במידה ניכרת מטמפרטורת קליפת הפרי; בטמפרטורת קליפה של 41 מעלות צלזיוס צפוי נזק בלתי הפיך לאחר כ-90 דקות של חשיפת הפרי הבלתי-מאוקלם לקרינה ישירה, בעוד בטמפרטורה של 48 מעלות צלזיוס ידרשו כ-20 דקות של חשיפה לקרינת השמש לקבלת נזק דומה. פרקי זמן כאלה של חשיפה אופייניים לפירות חיצוניים בעצים בעלי עלווה דלילה ומעוטי צימוח וגטטיבי.

מטרת הניסוי: איפיון העמידות לנזק קרינתי בפירות בעלי סבילות נרכשת בשדה.

### חומרים ושיטות

1. פירות תפוח מהזן Smoothie נקטפו בראשית חודש אוגוסט. נבחרו שתי קבוצות של פירות: פירות שגדלו בפנים העץ ושצבעם ירקרק אופייני בכל שטח הפנים שלהם, ופירות שגדלו במעטפת העץ ושצבע צידם האחד צהבהב, אך נקיים מסימפטומים של הלבנת הקליפה, החמה שלה או הופעת 'לחי אדומה'. כל הפירות שנקטפו היו בקוטר 58-61 מ"מ. מיד לאחר איסוף הפירות הם הועברו למערכת ההדמיה. הפירות שגדלו בצל נחשפו לטמפרטורות של 39, 41, 43.5, 45, 47 ו-49 מעלות צלזיוס תחת  $250 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  PAR למשך שעותיים, 10 פירות לכל טמפרטורה. הפירות שגדלו במעטפת העץ נחשפו לטמפרטורות של 41, 43, 47 ו-49 מעלות תחת אותה עוצמת תאורה ולמשך אותו פרק זמן, 10 פירות לכל טמפרטורה. לפני ההכנסה למערכת ההדמיה נמדד ערך  $F_v/F_{max}$  בכל פרי במרכזו של מעגל מסומן בקוטר של כ-1 ס"מ. אזור המדידה הופנה כלפי מקור האור במערכת ההדמיה כך שנחשף לטמפרטורה המרבית. טמפרטורת הקליפה נמדדה באזור המסומן בו נערכו מדידות הפלואורסנציה של הכלורופיל. לאחר שעה ושעתיים הוצאו הפירות ממערכת ההדמיה ונערכו מדידות של  $F_v/F_{max}$  בכל פרי, באזור המסומן. המדידות נערכו לאחר כיסוי האזור המסומן במתקן אטום לאור למשך 15 דקות. הניסוי נמשך כשבוע.

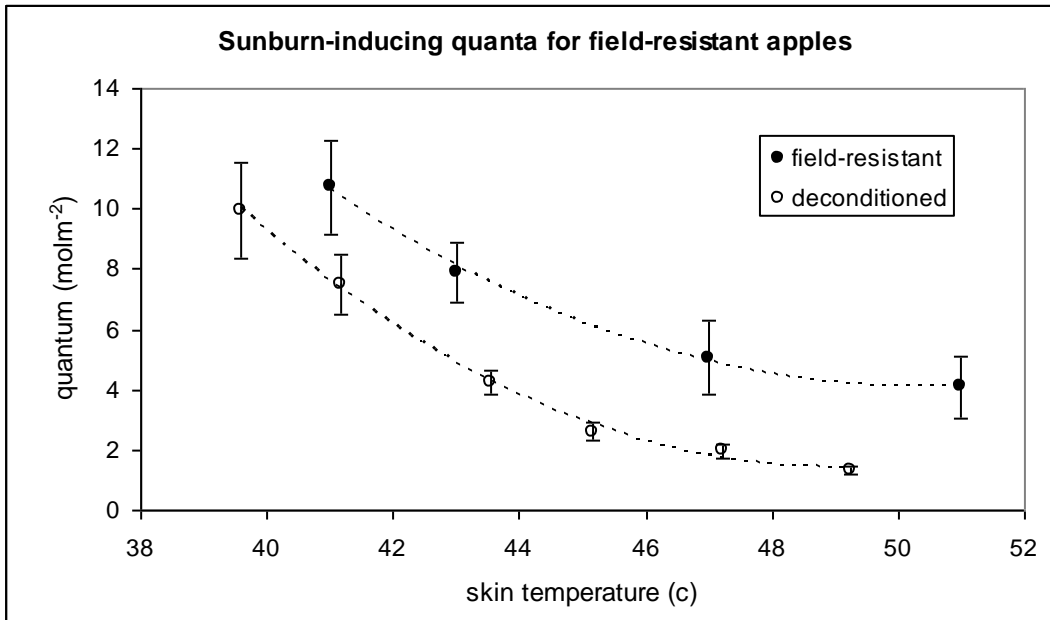
2. בניסוי נוסף הושרו פירות בעלי סבילות שנרכשה בשדה בחושך בטמפרטורה של 25 מעלות צלזיוס. לאחר 0, 24, 72, 96 ו-120 שעות הוצאו 10 פירות בכל פעם למדידת פלואורסנציה של כלורופיל ומיד לאחריה הם נחשפו לקרינה בעוצמה של  $250 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  PAR למשך שעותיים בטמפרטורה של 45 מעלות צלזיוס, בסופן נערכה מדידה חוזרת של היחס  $F_v/F_{max}$ . מתוך המדידות חושבה מנת הקרינה המינימלית הדרושה ל- $F_v/F_{max} \leq 0.1$ , ערך הסף להתפתחות נזק פוטואוקסידיטיבי בלתי הפיך בקליפת הפרי המתבטא בהלבנת הכלורופיל.

### תוצאות

1. בשתי קבוצות הפירות נצפתה התגברות בקצב דעיכת  $F_v/F_{max}$  עם העלייה בטמפרטורה. עם זאת, קצב הדעיכה בפירות השמש היה נמוך מקצב הדעיכה בפירות הצל לכל טמפרטורה בטווח הנמדד (איור 2). בחישוב מנת הקרינה המינימלית הדרושה להתפתחות "מכות שמש" נמצא כי כדי להביא להתפתחות "מכת שמש" בפרי שהתפתח באזור חשוף לקרינה דרושה השקעת אנרגיה של  $3-4 \text{ molm}^{-2}$  יותר מאשר זו הדרושה להתפתחות "מכת שמש" בפרי צל.

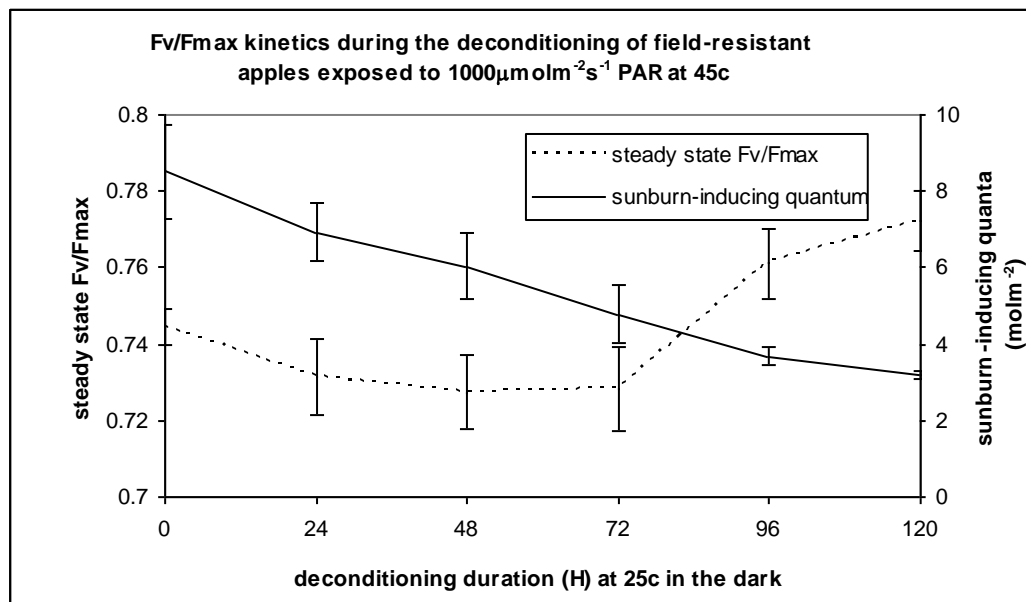
2. ערך היחס  $F_v/F_{max}$  ההתחלתי היה נמוך יותר בפירות בעלי העמידות הנרכשת בשדה מאשר בפירות שהתפתחו בצל, 0.75 לעומת 0.82 בממוצע. לאחר יום אחד של השרייה בחושך ערך זה ירד עוד והגיע לכ-0.73 בפירות בעלי הסבילות. לאחר 24 ו-72 שעות  $F_v/F_{max}$  נשאר ללא שינוי, והוא החל לעלות רק לאחר 96 שעות (0.76) ו-120 שעות (0.77) בחושך (איור 3).

לעומת זאת מנת הקרינה המינימלית הדרושה להתפתחות נזק פוטואוקסידטיבי בלתי הפיך בקליפת הפרי ירדה בהתמדה; לפירות שלא הושרו כלל בחושך לאחר הסרתם מן העץ חושבה מנת קרינה של  $8.5 \text{ molm}^{-2}$  PAR, בעוד לפירות שהושרו בחושך לפרקי זמן של 24, 48, 72, 96 ו-120 שעות חושבו מנות קרינה של 3.2, 3.7, 4.7, 6.0, 6.9 ו- $\text{molm}^{-2}$



PAR, בהתאמה.

איור 2: מנת הקרינה המינימלית הדרושה להתפתחות נזק פוטואוקסידטיבי בלתי הפיך בפירות תפוח מן הזן Smoothie בפירות בעלי עמידות נרכשת מהשדה (סמלים מלאים) ובפירות שעברו ביטול סבילות (סמלים ריקים). הערכים חושבו על-פי קצב הפחיתה ביחס  $F_v/F_{max}$  במהלך אינדוקציה ל"מכות שמש".



איור 3 : השפעת משך ההשריה בחושך בטמפרטורה של 25 מעלות צלזיוס על ערך היחס  $F_v/F_{max}$  ההתחלתי ועל מנת הקרינה המינימלית שתגרום נזק בלתי הפיך לקליפת הפרי בפירות תפוח מן הזן Smoothie. הערכים חושבו על-פי מדידת קצב הפחיתה ההתחלתי ביחס  $F_v/F_{max}$  בהשפעת אינדוקציה ל"מכות שמש" ב-45 מעלות צלזיוס.

#### דיון ומסקנות

ההגנה שמעניקה חשיפה חוזרת ונשנית לקרינת השמש מפני נזק פוטואוקסידטיבי לקליפת הפרי מתבטאת ברמה גבוהה יותר של מנת הקרינה המינימלית הדרושה לקבלת נזק בלתי הפיך בפירות חשופים לעומת פירות מוצללים שעברו איקלום לחושך. מידת העמידות תלויה במידה מועטה בטמפרטורה ועומדת על 3-4 מול פוטונים למ"ר, המתבטאים במונחים של זמן החשיפה ב-25-35 דקות נוספות בשטף קרינת PAR מקסימלי עד התפתחות "מכות שמש". עמידות זאת ממשיכה להתקיים גם לאחר החשכת הפירות, ונעלמת לחלוטין רק לאחר 5 ימים בחושך. הערכים הנמוכים של היחס  $F_v/F_{max}$  שנמדדו בפירות חשופים לקרינה מעידים על הקטנה בשיעור מרכזי הריאקציה הפעילים של PSII בפירות אלה לעומת פירות מוצללים. מנגנון זה עשוי להסביר חלק מן העמידות, בכך שמרכזי הריאקציה הבלתי פעילים "אדישים" לאלקטרונים המועברים אליהם מן האנטנות ובאתרים אלה עירור מולקולות כלורופיל a וחיזור חמצן מולקולרי אינם אפשריים. התוצאות מראות כי רק לאחר 72 שעות של החשכה חל פירוק של מרכזי הריאקציה הבלתי-פעילים, תהליך המתבטא בעלייה ביחס  $F_v/F_{max}$ .

#### ניסוי מס' 4

מטרת הניסוי: בחינת יעילותם של טיפולים שונים בהפחתת הנזק הפוטואוקסידטיבי בפירות תפוח מנותקים.

#### חומרים ושיטות

פירות תפוח מהזן Smoothie נקטפו בסוף חודש אוגוסט. נבחרו תפוחים שגדלו בפנים העץ ושצבעם ירקרק אופייני בכל שטח הפנים שלהם, בקוטר 63-66 מ"מ. הפירות הועברו לאינקובציה בחושך הטמפרטורה של 25 מעלות צלזיוס למשך 48 שעות לצורך ביטול סבילות לקרינה שנרכשה בשדה. לאחר מכן חולקו הפירות באופן אקראי ל-6 קבוצות של 10 פירות. קבוצות הפירות עברו טיפולים כדלקמן:

1. אינקובציה בחושך בטמפרטורה של 38 מעלות צלזיוס למשך 24 שעות.
  2. אינקובציה בטמפרטורה של 38 מעלות צלזיוס למשך 24 שעות תחת  $200 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  PAR.
  3. טבילת הפרי בתמיסה שהכילה diphenylamine (DPA) בריכוז 2000ppm למשך 20 שניות ואינקובציה בחושך בטמפרטורה של 25 מעלות צלזיוס למשך 48 שעות.
  4. מריחת פני הפרי ב"משחה" שהוכנה מקאולין אבקתי וממעט מים.
  5. ריסוס הפרי בתרחיף קאולין בריכוז 10%.
  6. טבילת הפרי במים למשך 20 שניות.
  7. 10 פירות נוספים בגודל דומה שנקטפו ממעטפת העץ.
- לאחר תום הטיפול שניתן לכל קבוצה הועברו הפירות למערכת ההדמיה ונחשפו תחת  $500 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  PAR לטמפרטורה של 44 מעלות צלזיוס למשך פרק זמן של שעה אחת.
- לפני ההכנסה למערכת ההדמיה נמדד ערך  $F_v/F_{max}$  בכל פרי במרכזו של מעגל מסומן בקוטר של כ-1 ס"מ. אזור המדידה הופנה כלפי מקור האור במערכת ההדמיה כך שנחשף לטמפרטורה המרבית. טמפרטורת הקליפה נמדדה באזור המסומן בו נערכו מדידות הפלואורסנציה של הכלורופיל. לאחר שעה הוצאו הפירות ממערכת ההדמיה ונערכו מדידות של  $F_v/F_{max}$  בכל פרי, באזור המסומן. המדידות נערכו לאחר כיסוי האזור המסומן במתקן אטום לאור למשך 15 דקות.

#### תוצאות

בחישוב מנת הקרינה המינימלית הדרושה להתפתחות "מכות שמש" נמצאו הערכים הנמוכים ביותר בפירות הביקורת ובפירות שעברו טבילה במעכב החימצון DPA,  $4 \text{ molm}^{-2}$  (טבלה 1). ערכים גבוהים במעט נרשמו בפירות שנחשפו לאיקלום תרמי בחושך ובאלה שעברו ריסוס בקאולין בריכוז 10% (כ- $4.7 \text{ molm}^{-2}$ ). ערך סף גבוה מעט יותר,  $5.4 \text{ molm}^{-2}$ , נמצא בפירות שעברו איקלום תרמי באור. הפירות שהתפתחו בשמש ופירות הצל שנמרחו ב"משחת" קאולין מרוכזת הציגו עמידות גבוהה בהרבה למכות שמש עם רמות סף של 12 ו- $25 \text{ molm}^{-2}$ , בהתאמה.

מנת הקרינה המינימלית הדרושה להלבנת כלורופיל ב-44 מעלות

צלזיוס ( $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )

a 25.22

הטיפול

קאולין 80%



b 11.83	עמידות שדה
c 5.43	חימום ל-38 מעלות באור
cd 4.49	קאולין 10%
cde 4.47	חימום ל-38 מעלות ללא אור
de 3.99	ביקורת לא מטופלת
e 3.72	טבילה ב-DPA

טבלה 1: השפעת טיפולים מקדימים שונים על מנת הקרינה המינימלית הדרושה להתפתחות הלבנה של הכלורופיל בקליפת פירות תפוח מן הזן Smoothie שנחשפו לקרינת PAR בשטף של  $500 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  בטמפרטורה של 44 מעלות צלזיוס. טיפולים בעלי אותיות זהות אינם נבדלים ביניהם סטטיסטית.

### דיון ומסקנות

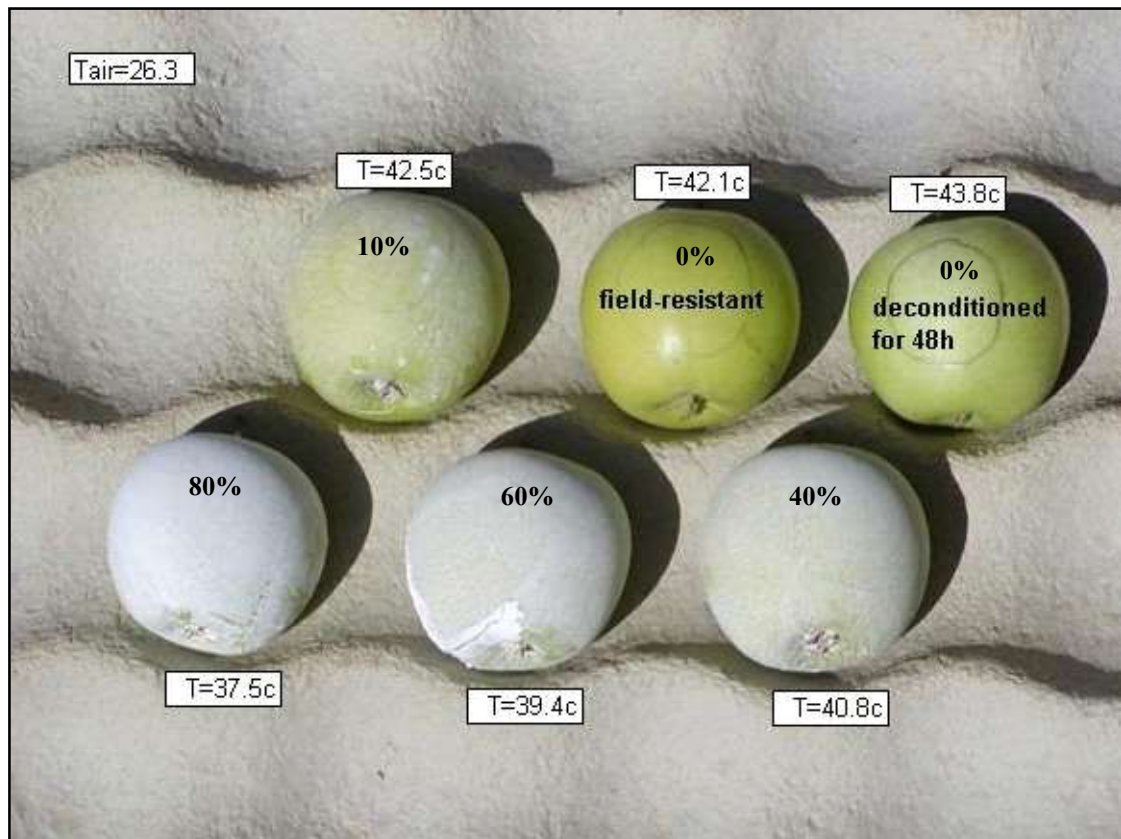
בניסוי זה נבחנו שלוש גישות להגברת העמידות מפני נזקי קרינה בטמפרטורות גבוהות. הגישה הראשונה היא החשיפה המוקדמת לתנאים המעודדים התפתחות של מעכבי חמצון אנדוגניים בקליפת הפרי, ונכללים בה החימום המוקדם ל-38 מעלות צלזיוס בנוכחות אור או בלעדיו והפירות בעלי עמידות השדה. חימום של קליפת הפרי בחושך במשך 24 שעות הגביר את עמידותו לקרינה בכ-10%. לעומת זאת, חשיפתו לקרינת PAR הגביר את עמידותו בכ-30%. החימום המוקדם לפרקי זמן ארוכים במעבדה הוא טיפול שהפירות לא נחשפים אליו בתנאי שדה. בתנאי המטע, לעומת זאת, נחשפים הפירות מידי יום לשטפי פוטונים גבוהים למשך פרקי זמן קצרים יותר התלויים במידת ההצלחה על הפרי. הפירות בעלי עמידות נרכשת בשדה, שנחשפו במשך חייהם פעמים רבות לטמפרטורות גבוהות ולקרינה חזקה, הציגו עמידות הגבוהה בכ-200% מזו של פירות הביקורת שהתפתחו בצל ועברו ביטול סבילות נרכשת לתנאים מעודדי "מכות שמש".

הגישה השנייה שנבחנה היא אספקת מעכב חמצון אקסוגני לפרי לפני חשיפתו לתנאים המעודדים התפתחות עקה פוטואוקסידטיבית. Diphenylamine (DPA) הוא מעכב חמצון סינתטי המשמש להגנה מפני צרבון שטחי (superficial scald) בפירות תפוח, מחלה פיזיולוגית המתבטאת בהחמת הקליפה באחסון ובחיי מדף ונובעת מחמצון מרכיבים פנוליים בקליפת הפרי. יתרונו המסחרי של כימיקל זה על פני מעכבי חמצון אחרים הוא בהיותו מותר לשימוש בפרי קטוף. פעילותו בעיכוב של פנול-אוקסידאזות עשויה לעכב את החמת הפרי בעקבות חשיפה לקרינה בטמפרטורה גבוהה יותר מאשר לעכב את הלבנת הכלורופיל. עם זאת, טבילה מוקדמת של הפרי ב-DPA לא הביאה להגנה מוגברת מפני הקרינה לעומת פירות הביקורת. בפירות המטופלים לא נצפה כל שינוי במופע הנזק הטיפוסי, הכולל החמה של הקליפה במרכז כתם ההלבנה.

הגישה השלישית שנבחנה בניסוי זה היא הגנה פיזיקאלית על פני הפרי באמצעות ציפוי בחומר בעל צבע לבן שתפקידו להחזיר לאטמוספירה את מרב הקרינה המגיעה לפרי. כאן נעשה שימוש בקאולין (kaolin), מינרל חרסית היוצר תרחיף בסביבה מימית, אך בשוק קיימים גם חומרים שונים שהמרכיב הלבן בהם הוא תחמוצת האבץ (zinc oxide). בניסוי יושם החומר בשתי צורות

טיפול: חיקוי היישום המסחרי ע"י ריסוס תרחיף מימי שלו בריכוז 10%, ומריחת "משחה" המורכבת מ-80% חומר ומ-20% מים ישירות על הפרי בשכבה אחידה. התקבל הבדל גדול במידת ההגנה ששני הטיפולים העניקו לפרי: בעוד הריסוס הגביר את מנת הקרינה המינימלית הדרושה להתפתחות הלבנה של הכלורופיל בכ-10%, הכיסוי ב"משחה" כמעט שלא איפשר חדירת קרינה אל פני קליפת הפרי והתקבלה הגברה של העמידות בפני קרינה בשיעור של כ-600%. תוצאות אלה מעמידות בספק את יעילות הטיפולים המסחריים בחומרי הלבנה שונים, מאחר שהעלאת ריכוז החומרים בתרסיס מעבר ל-10% כרוכה בקשיי יסום רבים. פעילות חומרי הלבנה היא למעשה כפולה: הם מפחיתים את הקרינה המגיעה לפני הפרי, ומפחיתים את הפרש הטמפרטורה בין האוויר לבין קליפת הפרי. תצפית בה נמרחו פירות ב"משחות" קאולין בריכוזים שונים מדגימה את השפעת הכיסוי על טמפרטורת שטח הפנים של הפרי (איור 4).

לאור תוצאות אלה נראה כי האסטרטגיה הטובה ביותר להפחתת "מכות שמש" בתנאי המטע המסחרי תהיה להגביר את העמידות הטבעית של הפרי ע"י עידוד הצימוח הווגטטיבי בסביבת הפירות שבמעטפת העץ; חשיפת הפרי לטמפרטורות גבוהות לפרקי זמן קצרים (דקות בודדות) באופן חוזר ונשנה תבטיח רמה גבוהה של סבילות בתנאים בהם טמפרטורת הקליפה מגיעה לערכים קיצוניים.



בעלי עמידות נכסתי מהשדה הוונטוממו פחות מאשר פירות שעברו ביטול טבילנות, גם אם לא נמרחו בקאולין.

מטרת הניסוי: בחינת רגישותם של זנים שונים לתנאים המעודדים התפתחות "מכות שמש".

### חומרים ושיטות

בראשית חודש יולי נקטפו פירות מן הזנים Joni, Red Fuji, Smoothie ו-Granny Smith במטע בגיל 12 שנים. נבחרו פירות בפנים העץ שלא נחשפו לקרינת שמש ישירה במהלך גידולם. כל הפירות, 25 פירות לכל זן, היו בקוטר 44-48 מ"מ ביום הדגימה. הפירות הועברו לאינקובציה בחושך בטמפרטורה של 25 מעלות צלזיוס למשך 48 שעות לצורך ביטול סבילות לקרינה שנרכשה בשדה.

לאחר האינקובציה בחושך נמדד היחס  $F_v/F_{max}$  בכל פרי במרכזו של מעגל מסומן בקוטר של 1-1 ס"מ. אזור המדידה הופנה כלפי מקור האור במערכת ההדמיה כך שנחשף לטמפרטורה המרבית. התפוחים נחשפו לאור  $250 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  PAR בטמפרטורות קליפה של 44 מעלות צלזיוס. טמפרטורת הקליפה נמדדה באזור המסומן בו נערכו מדידות הפלואורסנציה של הכלורופיל. לאחר שעה ולאחר שעתיים הוצאו הפירות ממערכת ההדמיה ונערכו מדידות של  $F_v/F_{max}$  באזור המסומן. המדידות נערכו לאחר כיסוי האזור המסומן במתקן אטום לאור למשך 15 דקות. לאחר המדידה הראשונה הוחזר כל פרי למקומו.

מתוך מדידות הפלואורסנציה של הכלורופיל חושב קצב הדעיכה הממוצע של היחס  $F_v/F_{max}$  בכל אחד מן הפירות, ומתוכו נגזרה מנת הקרינה המצטברת הדרושה להביא כל פרי ל- $F_v/F_{max} \leq 0.1$ . כפי שהודגם בניסויים קודמים זהו הסף מתחתיו מופיעה תמיד הלבנה של הכלורופיל בקליפת הפרי.

### תוצאות

הזנים Joni ו-Red Fuji היו הרגישים ביותר לקרינה בהציגם מנות קרינה מינימליות עד הלבנת הכלורופיל של 2.35 ו-2.56  $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , בהתאמה (טבלה 2). הזן Smoothie היה עמיד יותר והזן Granny Smith היה העמיד ביותר לקרינה מבין הזנים שנבדקו, עם קיבולת קרינה של 4.72  $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  עד הופעת הלבנה בקליפת הפרי.

קיבולת הקרינה המינימלית ב-44 מעלות צלזיוס ( $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	זן
a 4.72	Granny Smith
b 3.03	Smoothie
c 2.56	Red Fuji
c 2.35	Joni

טבלה 2: מנת הקרינה המינימלית הדרושה להתפתחות הלבנה של הכלורופיל בקליפת פירות תפוח מזנים שונים שנחשפו לקרינת PAR בשטף של  $250 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  בטמפרטורה של 44 מעלות צלזיוס. טיפולים בעלי אותיות זהות אינם נבדלים ביניהם סטטיסטית.

### דיון ומסקנות

קיומם של הבדלים בין זנים שונים ברגישות ל"מכות שמש" ידוע היטב לעוסקים באיכות הפרי. ברם, לפי ממצאי ניסוי זה לא תמיד קיים קשר בין שכיחות הופעת "מכות שמש" בפרי בתנאי המטע לבין הרגישות הפיסיולוגית של הפרי לקרינה. מבין הזנים שנבחרו לצורך הניסוי השכיחות הגבוהה ביותר של התפתחות "מכות שמש" היא ב-Granny Smith וב-Red Fuji. הזן Joni, לעומתם, כמעט שאיננו נפגע מקרינה בתנאי הארץ, בעוד הזן Smoothie הינו בעל שכיחות בינונית של הופעת "מכות שמש".

התוצאות מוכיחות כי קיימים מרכיבים נוספים, מלבד הרגישות לקרינה בתנאי טמפרטורה גבוהה, על התפתחות "מכות שמש" במטע; מוצע כאן כי בזנים בהם פירוק הכלורופיל מתרחש מוקדם בעונה, כדוגמת Joni, "חלון ההזדמנות" לאירוע אקלימי חריג הינו קצר ולכן הסיכוי להתפתחות נזק פוטואוקסידטיבי בלתי-הפיך נמוך. לעומת זאת בזנים בהם קצב פירוק הכלורופיל איטי ומתרחש מאוחר בעונה, כמו Red Fuji ו-Granny Smith, יש סיכוי גבוה יותר להופעת "מכות שמש" ללא קשר לרגישותם הפיסיולוגית לקרינה בתנאי טמפרטורה גבוהה. גם אופי הנשיאה של הפרי ישפיע על שכיחות הופעת הנזק: בזנים פוריים מאד כגון Smoothie ו-Granny Smith קיים סיכוי גבוה לשינוי האוריינטציה של ענפים במהלך עונת הגידול עם הגידול במשקל הפרי. שינוי כזה בתנוחת הענפים והפירות יגרום לחשיפתם לקרינה של אזורים בקליפת הפרי שלא היו חשופים לשמש קודם לכן, ולכן רמת העמידות שלהם לקרינה נמוכה במיוחד. לעומת זאת בזנים פוריים פחות כגון טיפוס ה-Red Delicious השונים, או בזנים בהם הפרי נישא על ענפונים דקים וגמישים, כמו Joni, הסיכוי לחשיפה פתאומית של פירות לקרינת שמש ישירה נמוך יותר ופחות פרי נפגע ב"מכות שמש".

מטרת הניסוי: בחינת טיפולים שונים במטע להפחתת שכיחות הופעת "מכות שמש" בפירות תפוח מן הזן Granny Smith.

#### חומרים ושיטות

הניסוי נערך במטע תפוח מן הזן Granny Smith על הכנה MM106. גיל העצים 12 שנים, ומרווחי הנטיעה 4.5 מטרים בין השורות ו-2 מטרים בין העצים בשורה. מבנה העצים – שיחים היוצרים שדרה מלאה בגובה 2.5 מטר. הניסוי כלל 4 טיפולים ב-5 חזרות, 3 עצים לכל חזרה עם עץ גבול בין כל שתי יחידות ניסוי. הטיפולים כללו:

1. ריסוס העצים בתכשיר ההלבנה "צח-פרי" (כצ"ט) בריכוז 10% בתוספת משטח טריטון X100 בריכוז 0.025%.
2. ריסוס העצים ב-DPA בריכוז 2000ppm בתוספת משטח טריטון X100 בריכוז 0.025%.
3. ריסוס העצים בקוטל העשבים "קטלון" (Zeneca Inc., USA) בריכוז 1ppm ללא תוספת משטח.
4. ביקורת בלתי מטופלת.

כל הטיפולים ניתנו 3 פעמים, באותם תאריכים, 3/7, 17/7 ו-31/7. הריסוס נעשה בשעות הלילה באמצעות מרסס מפוח, בנפח תרסיס של 150 ליטר לדונם. ריסוס ההלבנה נעשה תוך נסיעה איטית במהירות של 2 קמ"ש, בעוד הטיפולים האחרים ניתנו תוך נסיעה במהירות של 3 קמ"ש. במהלך הקטיף המסחרי של החלקה, בתאריך 5/10, נדגמו בכל חזרה 100 פירות ממעטפת העץ, בעץ האמצעי מבין השלושה. נעשה מיון ויזואלי לפירות בריאים ולפירות מוכי שמש, ללא הפרדה כמותית של חומרת הנזק.

#### תוצאות

טיפול ה-DPA וההלבנה לא היו שונים במובהק מן הביקורת, אם-כי בטיפול ההלבנה חלה פחיתה של כ-12% בשכיחות הפרי הפגוע לעומת הביקורת (טבלה 3). בטיפול ה"קטלון" נמצאו פחות "מכות שמש" מאשר בטיפולים האחרים, והוא היה שונה במובהק מן הביקורת ומן הטיפול ב-DPA, עם פחיתה של 30% בשכיחות הפרי הפגוע.

שיעור הפרי הפגוע	הטיפול
b 11.2%	ביקורת
b 11.2%	2000ppm DPA
ab 9.8%	"צח-פרי" 10%
a 7.8%	"קטלון" 1ppm

טבלה 3: השפעת טיפולים כימיים שונים על שכיחות הופעת "מכות שמש" בפירות Granny Smith. טיפולים בעלי אותיות זהות אינם נבדלים ביניהם סטטיסטית.

הטיפולים שניתנו לעצים בניסוי זה מייצגים שלוש אסטרטגיות של הגנה על הפרי מפני נזק פוטואוקסידטיבי.

הגישה הראשונה היא הגנה פיזיקאלית באמצעות ציפוי בחומר לבן שתפקידו החזרת חלק מן הקרינה המגיעה אל הפרי לאטמוספירה והורדת הטמפרטורה של פני הפרי ביחס לפירות שלא הולבנו. גישה זו מקובלת במטעים רבים בארץ, אך נתקלת בקשיי ישום עקב אופי התמיסה המתקבלת במיכל הריסוס. כפי שהראינו בעבודה קודמת יעילות הטיפול עולה עם ריכוז החומר המלבין בתמיסה, ובריכוז של 10% כמעט שאין לחומר השפעה על רגישות הפרי לקרינה התוצאות בניסוי זה עולות בקנה אחד עם עבודת המעבדה (ראה ניסוי מס' 4).

הגישה השנייה היא אספקת מעכב חמצון אקסוגני לקליפת הפרי. כמו בניסוי המעבדה (ראה ניסוי 4), נמצא שהחומר DPA איננו מתאים למטרת הפחתת הנזק הפוטואוקסידטיבי בפירות תפוח. דיווחים בספרות מציינים מעכבי חימצון אחרים כגון ascorbic acid ו- $\alpha$  tocopherol כבעלי יעילות בהפחתת הופעת "מכות שמש" בחלק מן המקרים. לכן לא רק שאין לפסול אסטרטגיה זו, אלא יש להמשיך ולחפש חומרים פעילים מקבוצות אחרות שיוכלו לשמש למטרה זו.

הגישה השלישית שנבחנה בניסוי זה היא איקלום של הפרי לתנאי חמצון והגברת הכושר האנטי-אוקסידנטי האנדוגני בקליפה. כאן נעשה הדבר תוך שימוש בחומר הפעיל paraquat, הגורם להפרת שרשרת מעבר האלקטרונים ב-PSI ולהופעת reactive oxygen species ברקמה, המביאים ליצירת רדיקלים חופשיים הרסניים. טיפול בפרי בריכוז גבוה של החומר יגרום להופעת סימפטומים דמויי "מכת שמש" בקליפת הפרי. לעומת זאת, שימוש בחומר בריכוז נמוך לא יתבטא במופע הפרי אך יגביר את פעילות מעכבי החמצון האנדוגניים בקליפת הפרי, ואת העמידות לקרינה בתנאי טמפרטורה גבוהה, כפי שנראה בתוצאות.

חשוב לציין כי paraquat פוגע בבריאות האדם וכי הוא אסור לשימוש במדינות רבות אף לצורך הדבר עשבים. ברם, בריכוז המזערי בו נעשה שימוש בניסוי זה נמצאה ברקמה רמת שאריתיות של פחות מ-0.2 מ"ג לק"ג. הרמה המותרת בארץ היא 0.5 מ"ג לק"ג (נתוני האגף להגנת הצומח במשרד החקלאות).