

תאורת לדים (LEDs) בכרם כאמצעי לשיפור ההתמיינות והצבע ולזירוז ההבשלה

LED illumination in the vineyard as a means to improve color, enhance ripening and improve bud fertility

פנחס סריג, אבי סטרומזה – מו"פ בקעת הירדן
דנה חרובי, אורלי אידלמן, יאיר מני, קירה רטנר – המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי
דפנה הררי, טוביה סטרייקר – מו"פ ערבה תיכונה
דליה גינת – עין יהב

מבוא

כרם ענבי המאכל הנו ענף המטעים השני בחשיבותו (לאחר ענף התמרים), בבקעת הירדן ובערבה. הזן העיקרי בהיקפו (90% מהשטח הנטוע) הוא SBS – Early Sweet, זן ירוק, לצדו נטועים מספר זנים מוקדמים צבעוניים כגון Flame seedless. בשנים האחרונות, העדפת צבע הענבים בשוק האירופי ובישראל במגמת שינוי, עם עלייה משמעותית להעדפת זנים צבעוניים. קיימים מספר חסמים בגידול של זנים מוקדמים בבקעת הירדן ובערבה. פרי צבעוני הגדל בתנאים של אזורים אלו אינו מפתח את מלוא פוטנציאל הצבע שלו, בעיקר עקב טמפרטורת לילה גבוהה. שימוש במוסתי צמיחה כמו תכשירי אתילן ותכשירי חומצה אבסיסית, מסייעים במידה מסוימת, אך לא מספקת, בשיפור הצבע. פיתוח/מציאת שיטות נוספות אשר יהיו יעילות וכלכליות, לשיפור הצבע עשויות להרחיב את סל הזנים הגדלים בבקעת הירדן ובערבה ולהרחיב את היקף הגידול הכולל. רכיב נוסף בפיתוח ענף הכרם בבקעת הירדן ובערבה, משותף לענבים ירוקים וצבעוניים, הוא זירוז ההבשלה. כל טכנולוגיה שתמצא יעילה בזירוז ההבשלה, תאפשר הרחבת עונת היצוא והשיווק המקומי ובעקבותיה הרחבת היקף הגידול. גידול ענבי מאכל בחממות, בערבה ובבקעת הירדן מהווה "יתת ענף" בגידול גפן באזורים אלו. לפרי הנבצר בחממות ערך כלכלי גבוה, אך לקבלת יבול סביר, נדרשת זמירה כפולה (זמירה קייצית לאחר בציר וזמירה סתוית לפני לבלוב). שיפור פוריות הפקעים של צימוח הקיץ עשוי לייצר את זמירת הקיץ, להוזיל את הגידול ולהאריך את חיי הכרם.

לאור תפקיד מרכזי בתהליך הגידול וההתפתחות של צמחים ובכללם בגפן. האור מספק אנרגיה לתהליך הפוטוסינתזה, וממלא תפקיד מרכזי בפיקוח ובקרה על מגוון רחב של תהליכים במחזור חיי הצמח, לרבות היווצרות הפרי והתפתחותו. לכל הפרמטרים השונים של האור, כולל עוצמה, פיזור ואורך הגל, ישנן השפעות על התהליכים הפיזיולוגיים של הצמח. השפעות אלו שונות בין צמחים/מינים שונים ואפילו לעיתים בין זנים שונים של אותו הצמח. האור הנו גורם מרכזי המשפיע על פוריות והתפתחות הפרי במטע (1). מחקרים שונים מרחבי העולם הראו כי הצללה בנוף הגפן גורמת לירידה באיכות הפרי, ובענבי יין גם לירידה באיכות היין (2-4). באגרוטכניקה הרווחת בגידול גפן, מושם דגש רב על נושא האור בקביעת מרחקי נטיעה, צורת ההדליה, שליטה בנוף וחשיפת הפרי. בגפן יין מקובל גם גיזום ירוק לצורך חשיפה ישירה של האשכולות. מזה עשור נעשה בכרם שימוש

בכיסויים בעלי תכונות אופטיות מוגדרות לשיפור הצימוח ואיכות הפרי. חשוב לזכור כי השפעת האור, גם אם יש לה תפקיד מרכזי, איננה עומדת בפני עצמה. היא תלויה בגורמי אקלים ובהזנה (4,5). מחקרים בענבים אדומים באזורי גידול חמים הראו כי בעוד שבטמפרטורות הנמוכות מ-20 מ"צ קיימת התבטאות טובה של אנתוציאנים, בטמפרטורות גבוהות מ-30 מ"צ קיימת פגיעה בביטוי אנתוציאנים כתוצאה מפגיעה בפעילות גנים המעורבים ביצירה ובהצטברותם (6,7). פגיעה דומה בביטוי גנים אלו התקבלה כתוצאה מהצללה (8,9). מחקרים ראשוניים מיפן הראו קשר סינרגיסטי בין אור וטמפרטורה בעידוד צבירת אנתוציאן בגפן, וההיתכנות לשיפור באמצעות תאורה מוספת בתחום הכחול והאדום (10,11).

בשנים האחרונות טכנולוגיית הLEDs (light-emitting diodes) עברה פריצת דרך משמעותית עם התייעלותם האנרגטית ומגמת הירידה במחירים. תאורת לדים מחליפה בהדרגה את רוב סוגי התאורה השונים, כולל בחקלאות (12,13). יתרונות ה-LEDs על פני מקורות התאורה המסורתיים רבים. ביניהם אורך חיים משופר, שליטה מדויקת בהרכב הספקטרום וצריכת חשמל נמוכה יותר. פליטת החום הנמוכה וגודלם הפיזי הקטן של נורות הLED מאפשרים את שימושן כתאורה 'יתוך-נופית' - 'LED-interlighting' או 'intra-canopy illumination' (14,15). שימוש זה מיושם בעיקר עבור גידולים אינטנסיביים כגון עגבנייה ופלפל במדינות צפוניות בחממות מבוקרות-אקלים ולרוב גם בתוספת של תאורה עליונה. השפעותיו של תגבור התאורה בתוך הנוף יכולות להיות רבות ומגוונות – מהגברת הפוריות, איכות וגודל הפרי, מניפולציה של מועד הקטיף, ערכים תזונתיים, ועוד (16,17).

מטרת המחקר

בעבודה זו, אנו בוחנים את השימוש בתאורת לדים מוספת בכרם לשיפור בהופעת צבע בפרי, לזירוז הבשלה ולשיפור בהתמיינות הפקעים. הבחינה כוללת שימוש ב-LEDs באורכי גל שונים, הארת הנוף במיקומים זמניים שונים. מתבצע מעקב אחר מדדים פיזיולוגיים של הגפנים, על היבול, איכותו ומועד הבציר.

מהלך המחקר ושיטות עבודה

המחקר התבצע בשני אתרים, בעין יהב ובבקעת הירדן.

4.1. עין יהב - באתר זה נבחנה השפעת התאורה על ההבשלה והפוריות. הניסוי התבצע במשק של דליה גינת, בחממה מסחרית במטע SBS שניטע ב-2012 על כנת רוג'רי. הניסוי כלל 3 טיפולים: אור לבן-חם (WW, warm-white), אור לבן-קר (CW, cool-white) וביקורת ללא תאורה (איור 1). **בניית מערכת התאורה -** מערכת התאורה הורכבה מפסי נורות לדים בתוך גלילי סיליקון מוגני מים (לדארט בע"מ, מושב חגור) אשר הוצמדו לפסי אלומיניום. האורך של כל מקטע תאורה היה 5 מ' וכלל 4 יחידות תאורה זהות באורך זה, שתי יחידות מכל צד של עמוד ה-Y. בשנה זו, הפסים נתלו כך שכיוון התאורה מלמטה כלפי מעלה, על מנת לאפשר פיזור חום טוב יותר לעומת העונה הקודמת (איור 2). התאורה נבחנה בשני הרכבים ספקטראליים: (1) אור לבן חם (warm white, WW) שנבחן

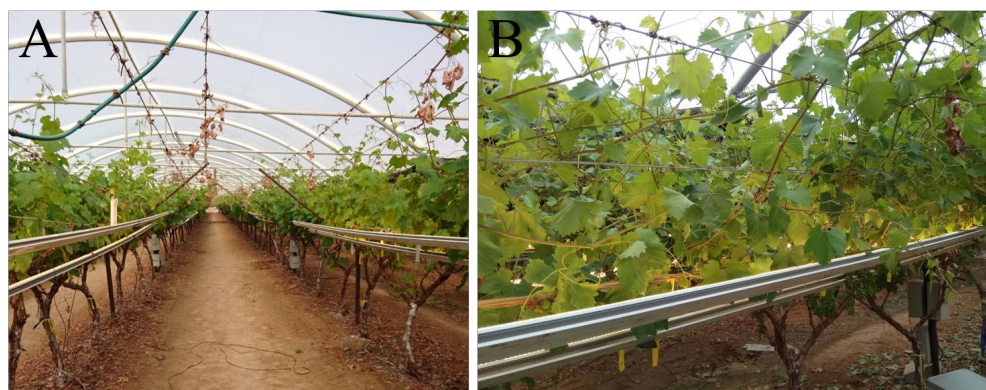
בשלושה מקטעים; ו-2) לבן קר (cool white, CW) במקטע בודד כתצפית. לניסוי היו שני מקטעי ביקורת באורך זהה לאלו עם תוספת התאורה. בכל מקטע (תאורה או ביקורת) נכללו 5 גפנים. התאורה הופעלה עם התעוררות הגפנים (החל מה-11 בינואר 2018) ועד 10 באפריל, במהלך שעות היום בין 00:00-18:00. נתוני התאורה, כולל עוצמה והרכב ספקטרלי אופיינו בשטח באמצעות מכשור ייעודי.

גידול, פוריות והבשלה - לאורך עונת הגידול, התבצעו מדידות של פרמטרים פיזיולוגיים של הגפנים הכוללים אורך השריגים, קצב התארכות האשכולות, ותכולת הכלורופיל בעלים. כמו כן, בוצעו מדידות של טמפי' העלווה והאשכולות על מנת לברר האם ישנה התחממות עם תוספת התאורה. **פוריות** - בסוף עונת הגידול בוצעה בדיקה של פוריות הפקעים. הבדיקה נעשתה תחת בינוקולר לאחר חשיפת תוכן הפקע. לאחר הסרת שכבות הפקע אפשר לראות האם קיים בתוכו אשכול, מה גודלו והאם האשכול תקין (הרוס או פגוע).

הבשלה - לצורך בדיקת ההבשלה, בוצעו בדיקות של תכולת הסוכרים המסיסים (TSS) באשכולות שסומנו מראש. עם הגעתה לרמה מינימלית של 14.5% האשכולות נבצרו והועברו לבדיקת איכות. כל אשכול נשקל בנפרד, גרגרי האשכול נספרו לחישוב משקל גרגר ממוצע וכן נבדקה רמת ה-TSS הממוצעת בכל טיפול.



איור 1. מפת הניסוי בעין יהב 2018.



איור 2. מערכת התאורה בחממה בעין יהב. התמונות צולמו ב-20 בפברואר 2018.

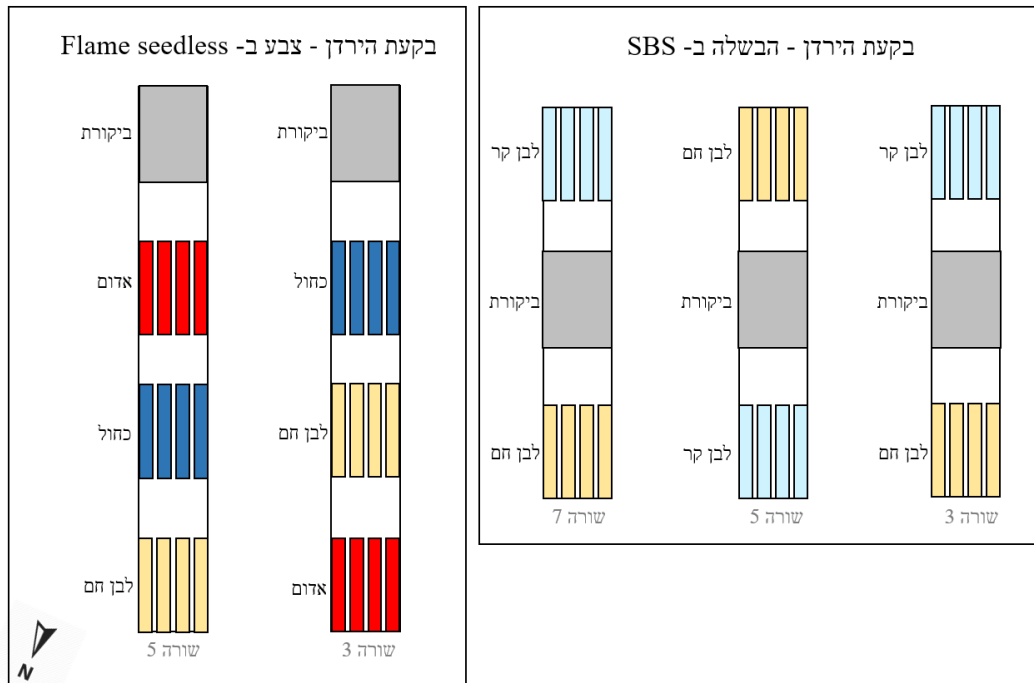
4.2. בתחנת צבי - מו"פ בקעת הירדן - בבקעה בוצעו שני ניסויים : (1) בחינת השפעת התאורה על ההבשלה בזן SBS ו- (2) בחינת השפעת התאורה על הצטברות צבע בזן Flame seedless. שתי החלקות ניטעו ב-2010 על כנת רוג'רי בצפיפות 220 גפנים לדונם. SBS מכוסה ברשת לבנה 12% צל, ואילו הזן פליים סידלס גדל בשטח פתוח ללא כיסוי.

בניית מערכת התאורה - גם בניסוי זה מערכת התאורה הורכבה מפסי נורות לדים בתוך גלילי סיליקון מוגני-מים (לדארט בע"מ, מושב חגור). הגלילים הוצמדו לפסי אלומיניום אשר משני צידי ה-Y ונתלו כך שהאור הגיע מהצד, וזאת על מנת לאפשר הארה מקסימלית של הפירות והשריגים. עבור ניסוי (1) הבשלה ב-SBS נבחנו שני סוגי תאורה, לבן חם (WW) ולבן קר (CW), כל אחד ב-3 חזרות (איור 3) – כל חזרה כללה 5 גפנים. כמו כן היו לניסוי 3 מקטעי ביקורת באורך זהה ללא תאורה. עבור ניסוי (2) צבע בפליים, נבחנו 3 סוגי תאורה – לבן חם (WW), אור כחול (450 nm) ואור אדום (660 nm). כל הרכב נבחן בשתי חזרות ובנוסף היו שני מקטעי ביקורת באורך זהה. בשני הניסויים התאורה הופעלה למשך כל שעות אור היום הטבעי. נתוני התאורה, כולל עוצמה והרכב ספקטרי אופייני בשטח באמצעות מכשור ייעודי. כמו כן, נעשו מדידות לבחון את השפעת התאורה על המיקרו-אקלים ועל טמפרטורת העלווה והאשכולות. עבור שני הניסויים, התאורה הופעלה במהלך שעות היום, בין 00:00-18:00, בין התאריכים 11 במרץ ועד 16 ביולי 2018. סיכום של כלל טיפולי התאורה שנבחנו, בעין יחב ובבקעת הירדן, מופיע בטבלה 1.

השפעת התאורה על ההבשלה – בוצעו בדיקות סוכר בארבעה מועדים שונים לפני הבציר במעבדת השירות בבקעת הירדן, וכן בדיקות ידניות עם רפרקטומטר.

השפעת התאורה על תכולת האנתוציאנין בזן Flame seedless - באופן שגרתי ניתן טיפול(ים) בתכשיר "אתרל" (הגברת פעילות אתילן) על מנת לזרז את הצטברות הצבע בפרי. השפעת התאורה נבחנה הן על רקע של טיפול בודד של אתרל ב-17.5.18 (שורה 5 של הניסוי, איור 3) והן ללא טיפול כלל (שורה 3 של הניסוי, איור 3). בוצעו הערכות צבע ויזואליות על מנת לעקוב אחר הצטברות האנתוציאנין של האשכולות. ההערכה בוצעה על פי סולם צבעים בדרגות 0-3: כאשר דרגה 0 מייצגת אשכול ירוק לחלוטין, דרגות 1 ו-2 מציינות דרגות ביניים ודרגה 3 מציינת פרי אדום (תחתית איור 18). בבציר בוצעו בדיקות מיצוי מיץ של הגרגרים מהטיפולים השונים וריכוז האנתוציאנין נקבע עפ"י בדיקה ספקטרופוטומטרית (λ : 529, 650 nm) במעבדת השירות בבקעה.

טבלה 1. טיפולי התאורה שנבחנו ב- 2017-2018.					
צבע ב- Flame seedless (בקעה)		הבשלה ב- SBS (בקעה)		הבשלה ופוריות SBS (עין יחב)	
חזרות	טיפול	חזרות	טיפול	חזרות	טיפול
2	לבן חם - WW	3	לבן חם - WW	3	לבן חם - WW
2	כחול (450 nm)	3	לבן קר - CW	1	לבן קר - CW
2	אדום (660 nm)	3	ביקורת	3	ביקורת
2	ביקורת				



איור 3. מפות הניסויים בבקעת הירדן 2018.



איור 4. מערכות התאורה בבקעת הירדן 2018. (A) ניסוי לבחינת זרוז ההבשלה ב-SBS עם אור לבן חם. ניסוי לבחינת הצטברות צבע ב-Flame seedless עם אור לבן חם (B), אור כחול (C) ואור אדום (D).

תוצאות

5.1. עין יהב

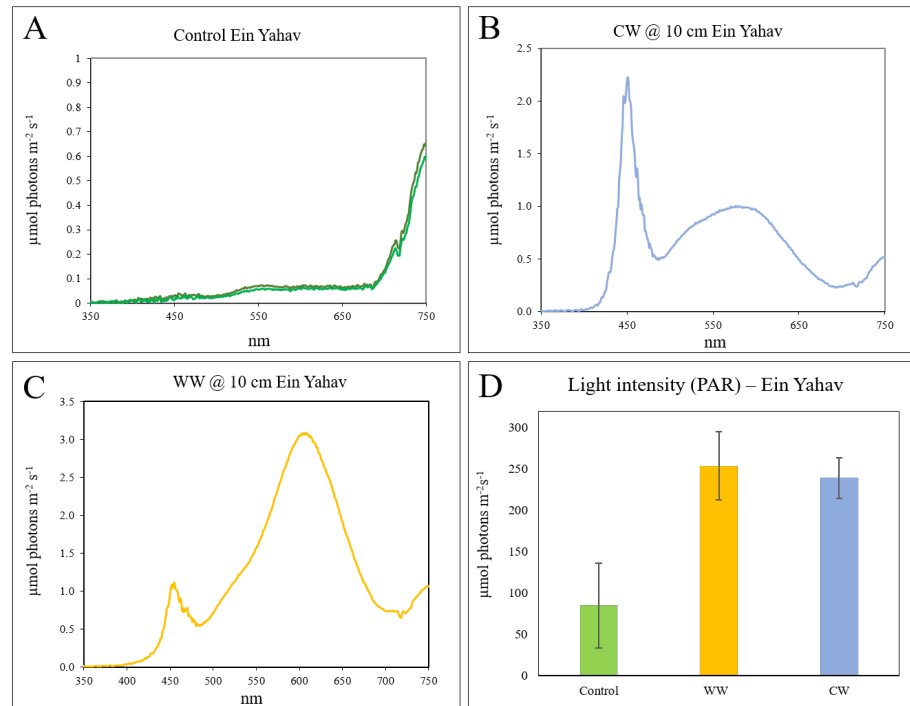
איפיון התאורה והשפעתה על העלווה - עוצמת התאורה בטיפולים השונים היתה $230-280 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ [כפי שנמדד במרחק 10 ס"מ ממקור התאורה], לעומת ממוצע של $85 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ בביקורת ללא תאורה מוספת. כלומר, עוצמת האור הייתה גבוהה פי 3-4 עם תוספת תאורת הלדים לעומת הביקורת. מדידות התאורה שבוצעו ב-20.2.18 מסוכמות באיור 5. לא נמצאו הבדלים משמעותיים בתכולת הכלורופיל של עלים שהיו במרחק 10-15 ס"מ מתאורת הלדים לעומת עלים של הביקורת (איור 6A). לעומת זאת, היו הבדלים בטמפרטורת העלווה בין הביקורת לחלקות התאורה, נמדדו בממוצע טמפרטורות הגבוהות ב- $2.5-2.7^{\circ}\text{C}$ בחלקות התאורה בהשוואה לחלקות הביקורת (איור 6B). לא היו הבדלים משמעותיים (פחות ממעלה אחת) בטמפי' האשכולות (איור 6C).

גידול ופוריות - נמצא כי קצב התארכות השריגים היה מהיר יותר בחלקות המוארות לעומת חלקות הביקורת (איור 7A). התארכות אשכול-ביקורת בצד המזרחי של הכרם התארכות האשכול הייתה משמעותית יותר (איור 7B). על פי בדיקת הפקעים בבינוקולר, ניתן לראות את אחוז הפקעים ההרוסים, היבשים ולפי הפקעים התקינים לחשב את הפוריות. כפי שניכר מטבלה 2, אחוז הפוריות היה נמוך מאוד הן בביקורת והן בטיפולי התאורה, ולכן כל הזמורות בכרם הוסרו ע"י החקלאית כדי לאפשר

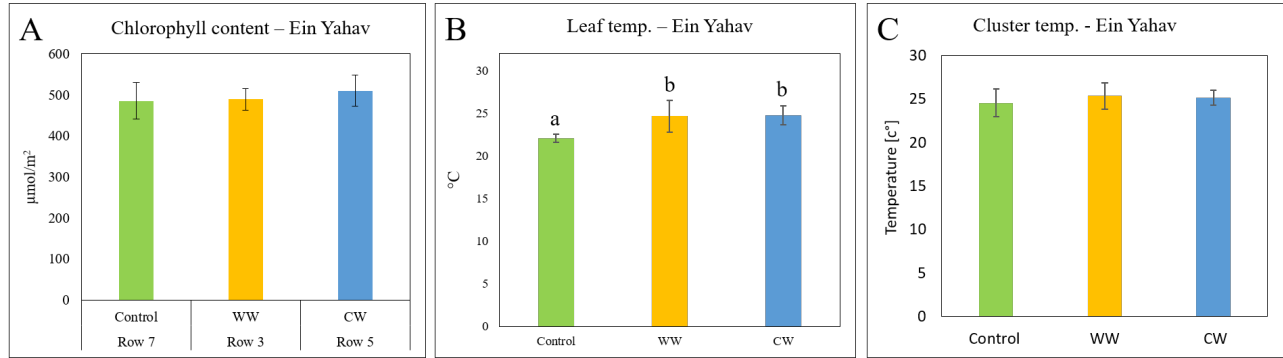
צמיחה נוספת של זמורות חדשות. הזמורות החדשות יתמינו בחודש יוני תחת אור טבעי (ולא תחת כיסוי הפוליאאתילן) ואז צפוי שהפוריות שלהן תעלה.

הבשלה – בוצעו בדיקות סוכר בשני תאריכים, בנפרד לצד המזרחי והמערבי של חלקות הניסוי. ניתן לראות כי בחלק המערבי של הכרם, בו הקרינה הטבעית (בעונה זו) מועטה ביחס לצד המזרחי, אחוז הסוכר הגבוה ביותר היה בטיפול האור החם (איור 8). דבר זה אפשר להקדים את הבציר במקטעים שהוארו באור לבן חם בשבועיים (איור 9).

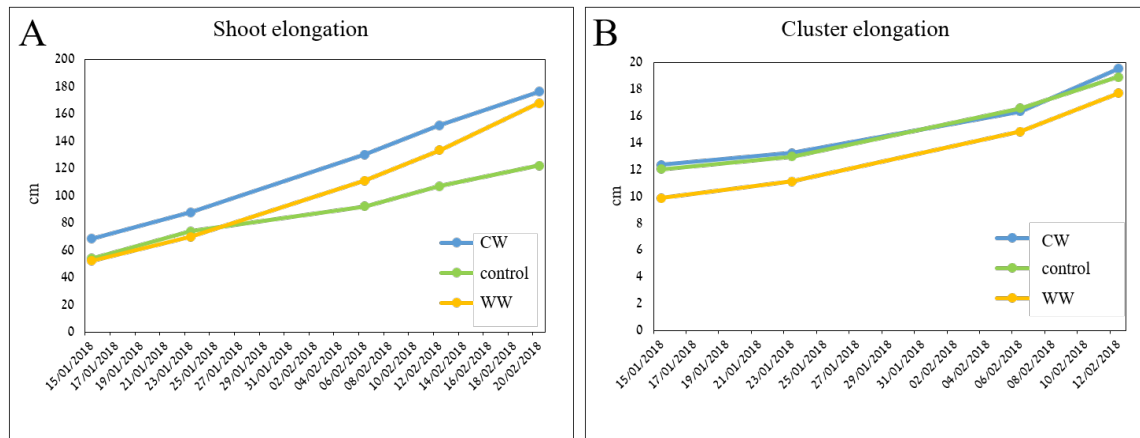
יבול - הבציר התבצע בשלושה מועדים על פי בדיקות הסוכר. ניתן לראות כי היתה הקדמה מסוימת של ההבשלה בטיפול האור החם (WW) ביחס בצד המזרחי של הכרם (איור 9A) שם היה בציר של 40% מהיבול במועד הראשון, לעומת 20%-25% ב-CW ובביקורת, בהתאמה. בחלק המערבי של הכרם, דבר זה התבטא באופן יותר מובהק, שם בצרו 70% מהפרי בטיפול ה-WW כבר במועד הראשון, וזאת לעומת 20% בביקורת וב-CW (איור 9B). לא היו הבדלים משמעותיים במשקל האשכול הממוצע של כלל היבול (מזרח + מערב, איור 10A). לעומת זאת, בחלק המערבי של הכרם, ניתן לראות כי משקל האשכול הממוצע היה גבוה יותר בטיפול עם אור לבן קר (CW) וכן עם אור לבן חם (WW) לעומת הביקורת (איור 10B).



איור 5. אפיון מערך התאורה בשטח החממה בעין יהב. המדידות בוצעו במרחק 10 ס"מ ממקור התאורה ובאותו גובה בחלקות הביקורת. ספקטרום האור בביקורת (A), אור לבן קר (B), ואור לבן חם (C). (D) עוצמות האור בטיפולים השונים, ביקורת, לבן חם (WW) ולבן קר (CW).



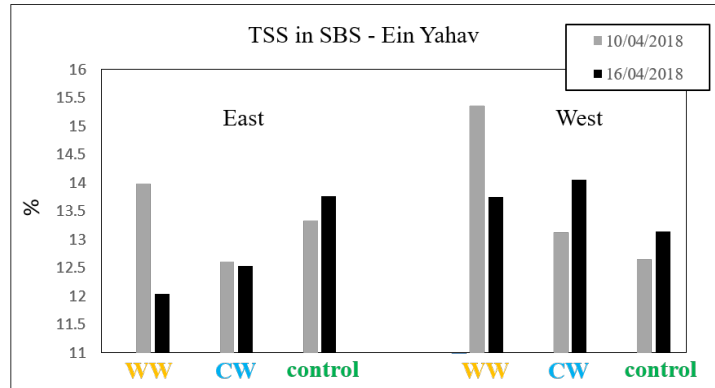
איור 6. תכולת כלורופיל וטמפרטורת העלווה והאשכולות בכרם בעין יהב. (A) תכולת הכלורופיל נמדדה באמצעות מכשיר נייד (בלתי הרסני). (B) טמפי העלים וטמפי האשכולות (C) נמדדו באמצעות מדחום infra-red. עמודות מייצגות ממוצעים \pm SD. ב- (A, B) נמדדו 10 עלים בכל חלקה בודדת (10, 20, 30 עלים בהתאמה עבור CW, ביקורת, WW). עבור (C) נמדדו 5 אשכולות בכל חלקה בודדת. אותיות שונות ב- (B) מייצגות הבדלים מובהקים.



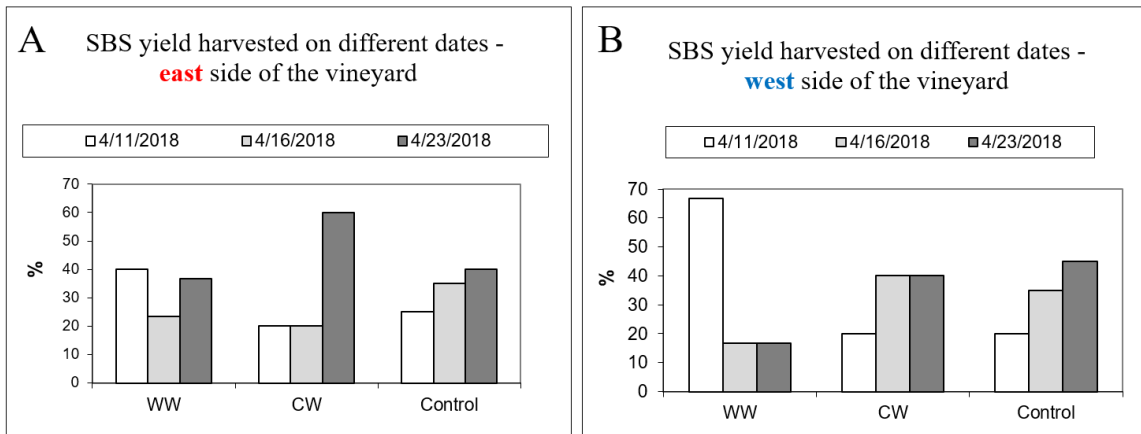
איור 7. השפעת התאורה על התארכות השריגים (A) והאשכולות (B) ב- SBS בעין יהב.

טבלה 2: תוצאות בדיקת פוריות בתגובה למשטרי הארה שונים 2018			
פוריות	אור לבן חם (WW) חלקה מס' 1	אור לבן קר (CW) חלקה מס' 2	ביקורת חלקה מס' 3
פוריות	0%	10%	8%
% ריקים	43%	30%	24%
% הרוסים*	57%	60%	68%

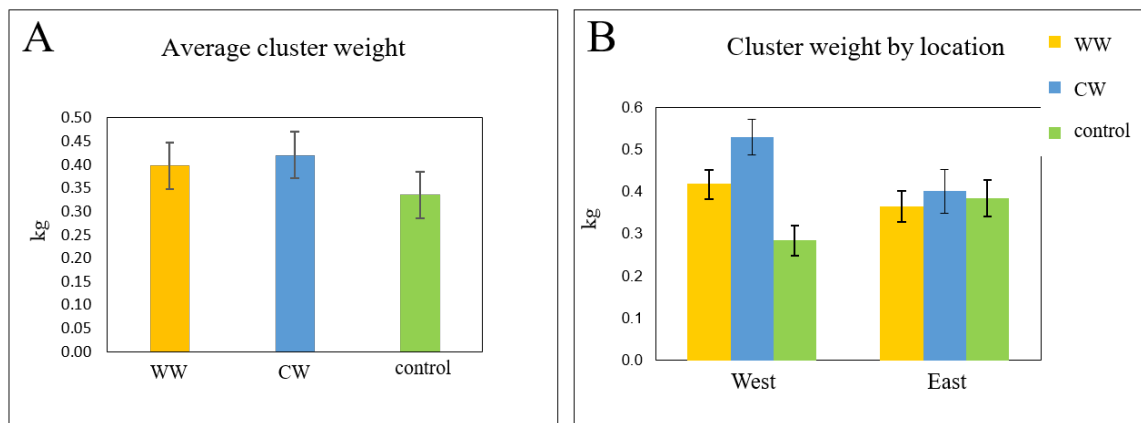
*הפקעים ההרוסים לא היו יבשים לגמרי אלא רק במרכז.



איור 8. תכולת הסוכר ב- SBS בעין יהב. בדיקות הסוכר בוצעו בחלקות הביקורת והתאורה בנפרד בחלק המזרחי והמערבי של הכרם בשני תאריכים (10 ו-16 באפריל).



איור 9. יבול לפי מועדים בטיפולים השונים בצד מזרח (A) ומערב (B) של הכרם – עין יהב. הבציר נעשה בשלושה מועדים שונים (11, 16 ו- 23 באפריל) על פי בדיקות הסוכר.



איור 10. משקל האשכולות בטיפולים השונים – עין יהב. (A) משקל אשכול ממוצע, (B) משקל אשכול לפי מיקום בכרם (מזרח ומערב).

5.2. בקעת הירדן

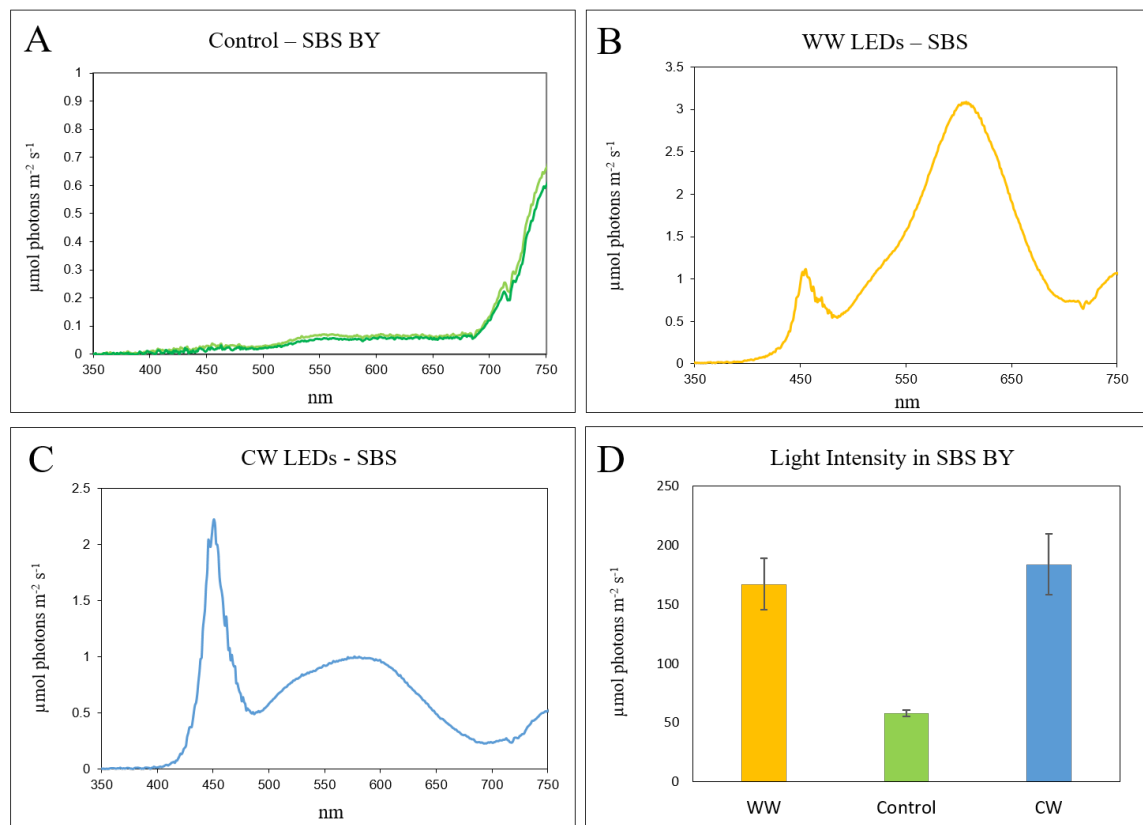
5.2.1. בחינת השפעת התאורה על קצב ההבשלה ב-SBS early sweet

אפיון מערכת התאורה - האפיון הספקטראלי של מערכות התאורה כפי שבוצע בשטח מוצג באיור 11. עוצמת האור באזורים המוארים הייתה פי 3 מהעוצמה בחלקות הביקורת, כ- $180 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (לבן-קר - CW) או כ- $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (לבן-חם - WW) לעומת כ- $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ בביקורת.

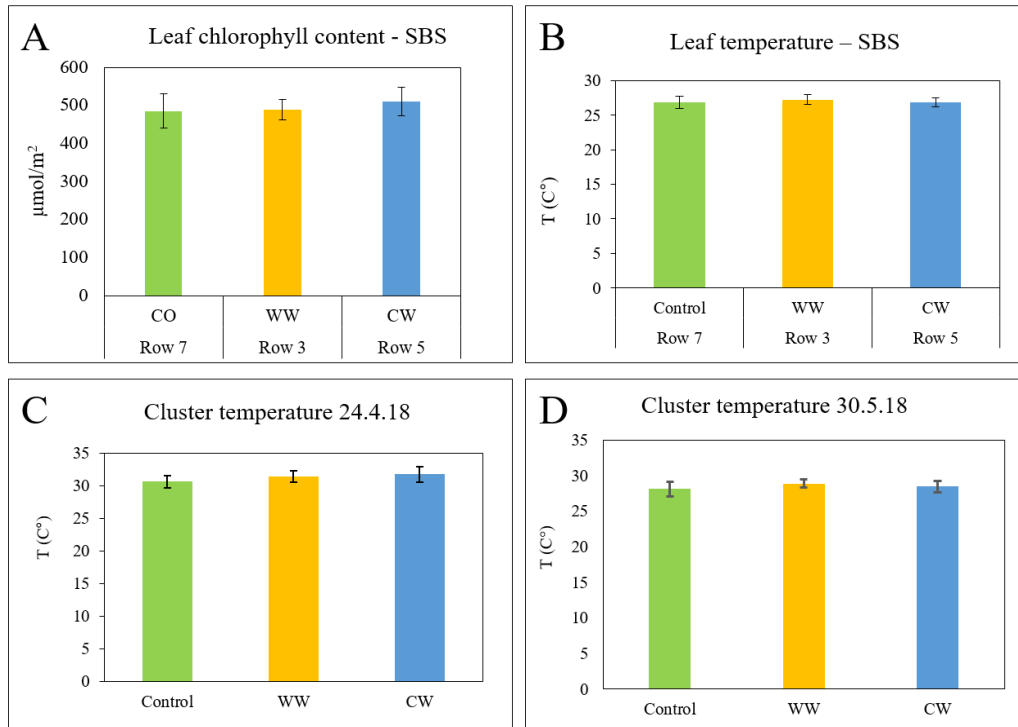
תכולת כלורופיל וטמפרטורת הנוף - מדידה של תכולת הכלורופיל בוצעה באופן לא הרסני באמצעות מד כלורופיל (Apogee). לא נמצאו הבדלים בתכולת הכלורופיל של עלים שהיו חשופים לתאורת הלדים בהשוואה לביקורת (איור 12A). בנוסף, לא נצפו הבדלים ניכרים בטמפ' של עלים או אשכולות מוארים לעומת אלו של מקטעי הביקורת (איור 12B-D).

הבשלה - מדידות הסוכר בוצעו בארבעה מועדים באמצעות דגימה של עשרה גרגרים מכל טיפול ובדיקה ברפרקטומטר. לא היו הבדלים ניכרים בתכולת הסוכר בין הטיפולים השונים לביקורת (איור 13A).

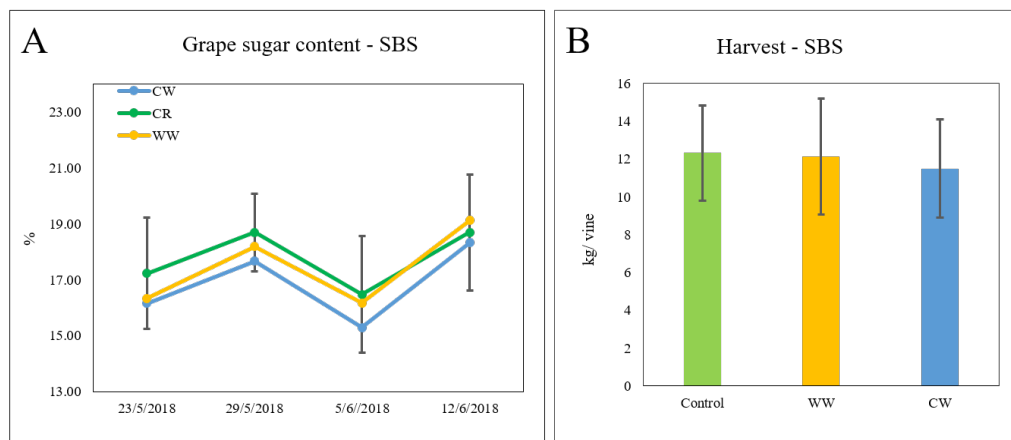
יבול - לא נמצאו הבדלים ברמות היבול בין הטיפולים לביקורת (איור 13B).



איור 11. הרכב ספקטראלי של התאורה בזן SBS בבקעת הירדן. (A) ספקטרום האור בחלקות הביקורת ללא תאורה מוספת. איפיון ספקטראלי של הלדים אור לבן חם (B, WW), ולבן קר (C, CW). (D) עוצמות האור של התאורות השונות (במרחק 10 ס"מ) לעומת הביקורת באותו הגובה.



איור 12. תכולת הכלורופיל וטמפרטורת הנוף עם/בלי תאורה מוספת ב-SBS. (A) תכולת הכלורופיל כפי שנמדדה באופן בלתי הרסני בעלים של ביקורת ללא תאורה ועלים המוארים באור לבן חם (WW) או לבן קר (CW). (B) טמפי העלים בטיפולי התאורה לעומת הביקורת. (C, D) טמפי האשכולות בטיפולי התאורה לעומת הביקורת, כפי שנמדדו בשני מועדים נפרדים.



איור 13. תכולת הסוכר והיבול ב-SBS – בקעת הירדן. (A) תכולת הסוכר, כפי שנמדדה בארבעה מועדים שונים בפרי מטיפולי התאורה לבן קר (CW), לבן חם (WW) וביקורת ללא תאורה. (B) היבול בחלקות המוארות לעומת הביקורת.

5.2.2. בחינת השפעת התאורה על הצטברות הצבע ב-flame seedless

אפיון מערכת התאורה - האפיון הספקטראלי של מערכות התאורה, אדום, כחול ולבן-חם כפי שבוצע בשטח מוצג באיור 14. עוצמת האור בטיפולים השונים עם התאורה הייתה $160-170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, פי 3 מהעוצמה בחלקות הביקורת שהיתה כ- $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (איור 14E).

מיקרואקלים - נתוני טמפ' האוויר והלחות היחסית נאספו באמצעות מיקרולוגרים שנתלו בין הגפנים במרחק של כ- 10 ס"מ מהתאורה. כצפוי לא היו הבדלים בטמפ' היומית המינימלית (איור 15A) בהתאם לכך שהתאורה לא פעלה בלילה. לעומת זאת התקבלו הבדלים בטמפ' היומית המקסימלית, של עד כ- 5°C יותר בחלקות עם תאורה מוספת לעומת הביקורת, אמנם ברוב הימים ההפרשים היו קטנים יותר (איור 15B). לא ניכרו הבדלים בלחות היחסית בטיפול התאורה לעומת הביקורת (איור 15C,D).

תכולת כלורופיל וטמפרטורת הנוף - מדידה של תכולת הכלורופיל בוצעה באופן לא הרסני באמצעות מד כלורופיל (Apogee). לא נמצאו הבדלים בתכולת הכלורופיל של עלים שהיו חשופים לתאורת הלדים בהשוואה לביקורת (איור 16A). בנוסף, לא נצפו הבדלים ניכרים בטמפ' של עלים או אשכולות מוארים לעומת אלו של מקטעי הביקורת (איור 16B-D).

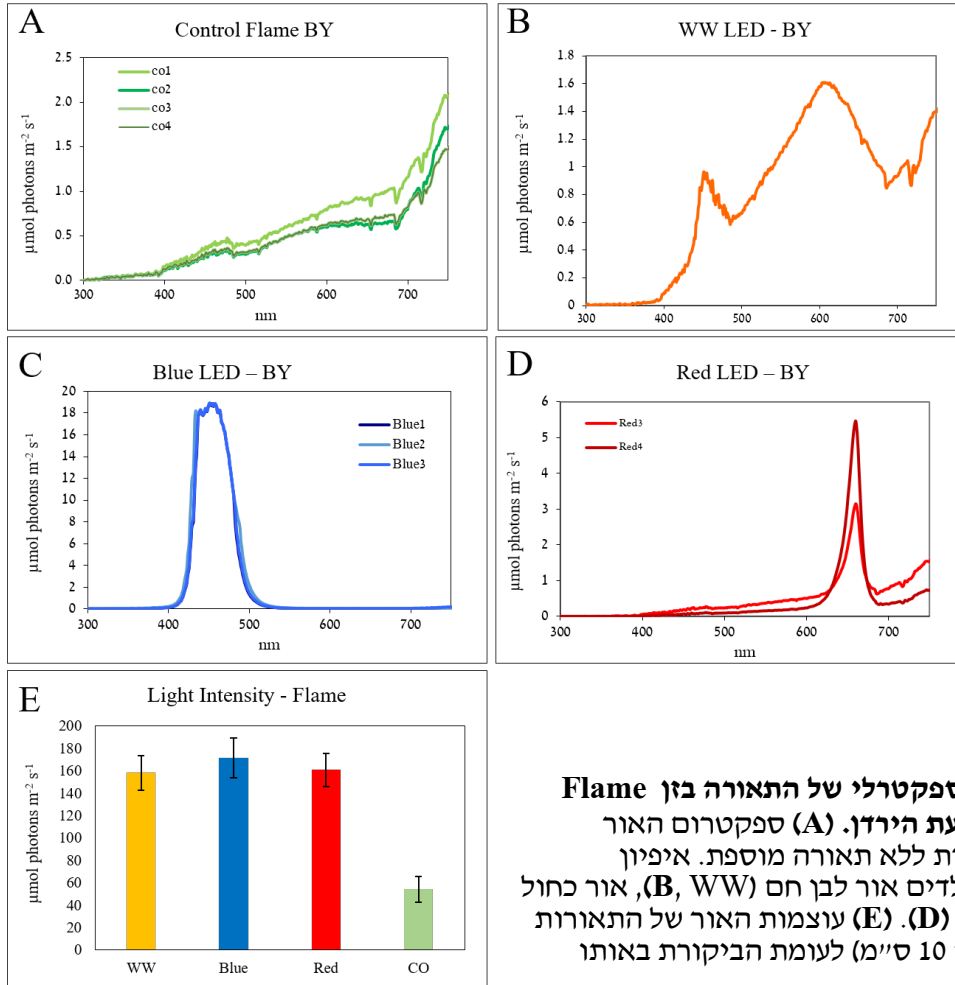
הבשלה - מדידות תכולת הסוכר בוצעו באמצעות דגימה של עשרה גרגרים מכל טיפול שנבדקו במכשיר רפרקטומטר. הבדיקות בוצעו ב- 4 מועדים בהפרש של שבוע אחד זו מזו. בדומה ל-SBS העונה בבקעת הירדן, גם במקרה זה לא נמצאו הבדלים בתכולת הסוכר בין הטיפולים השונים לביקורת (איור 17).

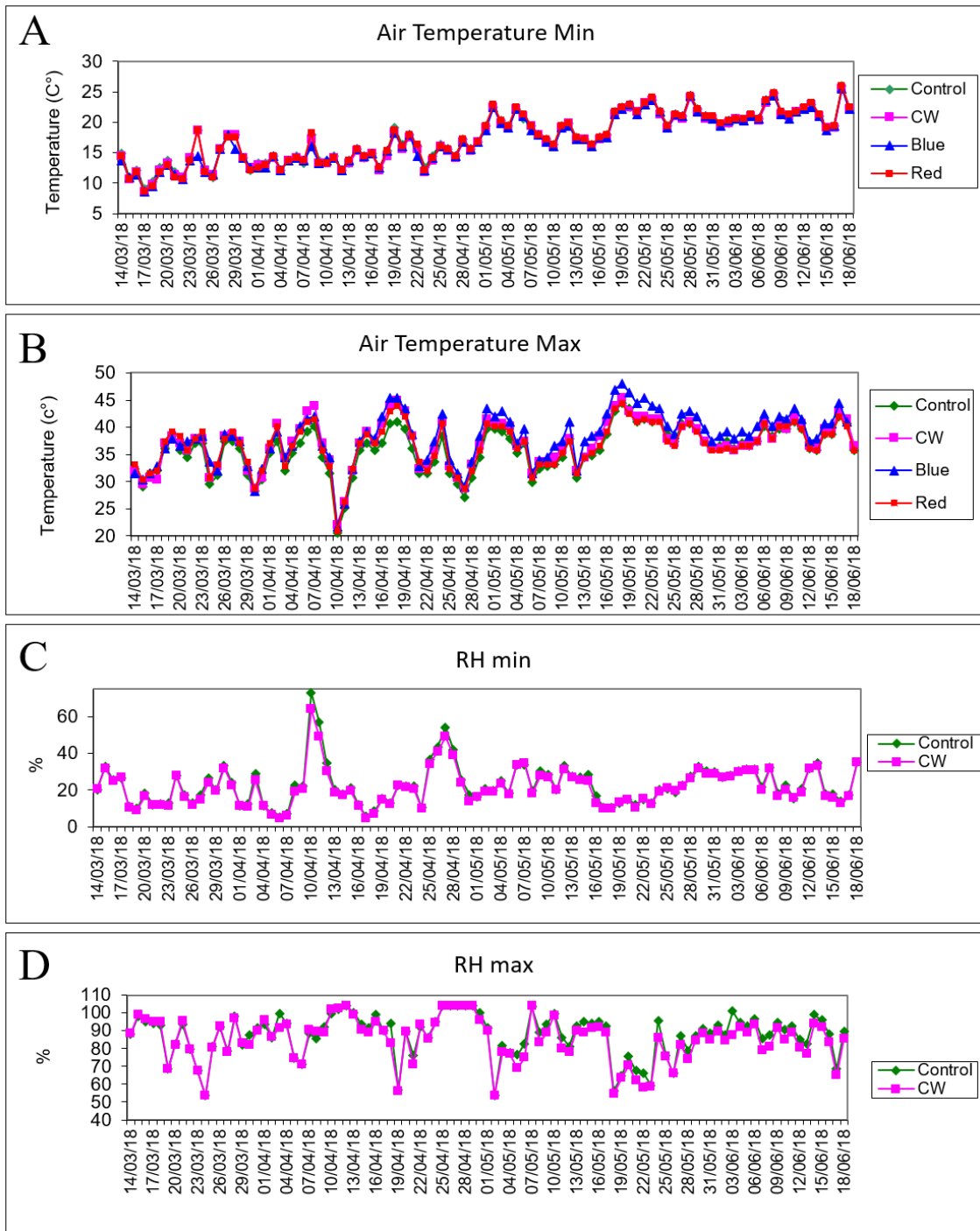
צבירת אנתוציאנין - כפי שפורט בשיטות, שורה אחת של הניסוי (שורה 5) טופלה פעם אחת עם אתרל, בעוד השנייה לא טופלה כלל (שורה 3), על מנת לבחון את השפעת התאורה המוספת עם או ללא הרקע של שיפור הצבע באמצעות אתילן. בוצעה הערכה ויזואלית לכלל האשכולות של כל הטיפולים ב- 3 מועדים שונים (איורים 18 ו-19). האשכולות דורגו ברמת צבע בין 0 ל-3 (תחתית איור 18). כצפוי, קיים הבדל משמעותי בצבירת הצבע בביקורת (ללא תאורה) עם טיפול אתרל לבין ביקורת ללא טיפול אתרל (השווה איור 18A לאיור 19A). בכלל טיפולי התאורה בשורה 3, בה לא היה טיפול אתרל, ניתן לראות כי לא היה שיפור בצבירת האנתוציאנין בהשוואה לביקורת ללא תאורה (איור 18). בחלק מהמקרים (אור כחול או אדום) נראה שאף היה עיכוב מסוים ביחס לביקורת וברוב הטיפולים היה אחוז ניכר של אשכולות בדרגת צבע 1. בשורה 5, בה הגפנים טופלו בריסוס בודד של אתרל בנוסף לטיפולי התאורה, גם כן לא היו שינויים מהותיים בין טיפולי התאורה לביקורת (איור 19). בתאריך בו נעשתה ההערכה האחרונה, כ- 70% מהאשכולות שהוארו באור אדום היו בדרגה 2, בהשוואה לכ- 50% בטיפולי התאורה האחרים או הביקורת. נראה גם שהיתה מעט "נסיגה" ברמת הצבע בין ה- 23 ל-30 במאי, ייתכן כתוצאה מהטמפרטורות הגבוהות. בנוסף, יש לציין כי בכלל הניסוי, רוב האשכולות לא פיתחו את מלוא הצבע (קרי דרגה 3).

מדידת ריכוז האנתוציאנין - בנוסף להערכה הויזואלית, נלקחו דוגמאות מיץ מ- 10 אשכולות בכל טיפול, ו-10 גרגרים מכל אשכול שנבדקו במעבדת השירות. על פי תוצאות אלו נראה כי ריכוז האנתוציאנין הגבוה ביותר היה בטיפול האור הכחול (איור 20). דבר זה אינו תואם את הבחינה

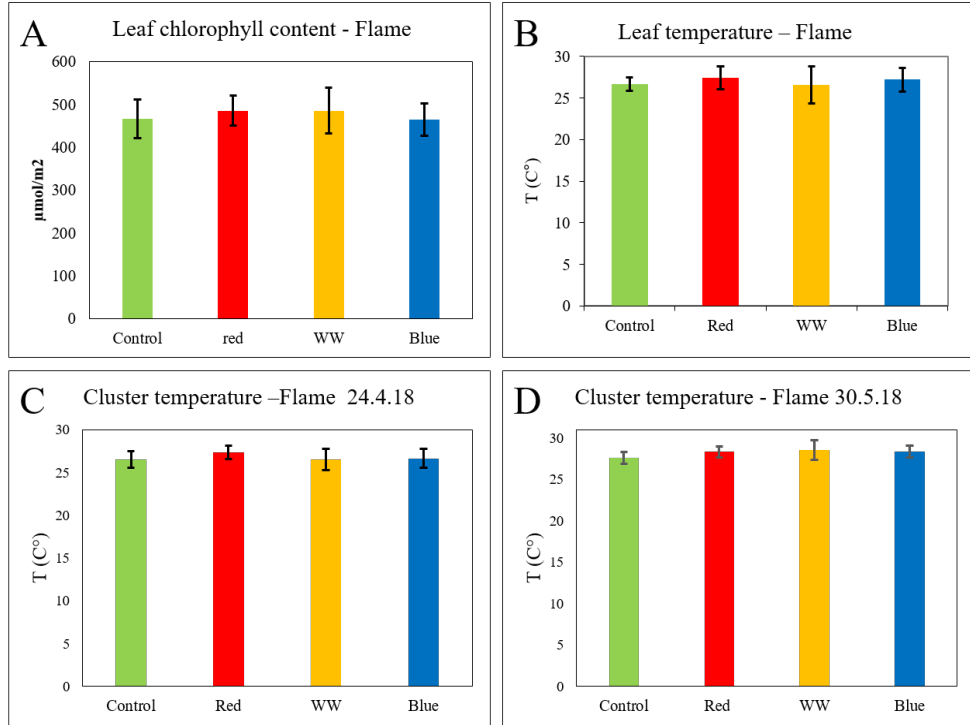
הויזואלית וכנראה נבע מכך שבדיקת המעבדה בוצעה על דוגמת מיץ שכללה את כל תוכן הענבים, ללא הפרדה של הקליפות, ולפיכך נפח הדוגמא הכולל ייתכן והסיט את התוצאות.

יבול - הבציר בפליים התבצע כאשר אחוז הסוכר היה 16%. בטיפולי התאורה השונים היה יותר יבול ביחס לביקורת, כאשר בטיפול של אור לבן חס התקבלה עליה של 43% ביבול (איור 21A). לא נמצאו הבדלים משמעותיים במשקל האשכולות או בקוטר גרגר בין הטיפולים השונים לביקורת (איור 21B,C).

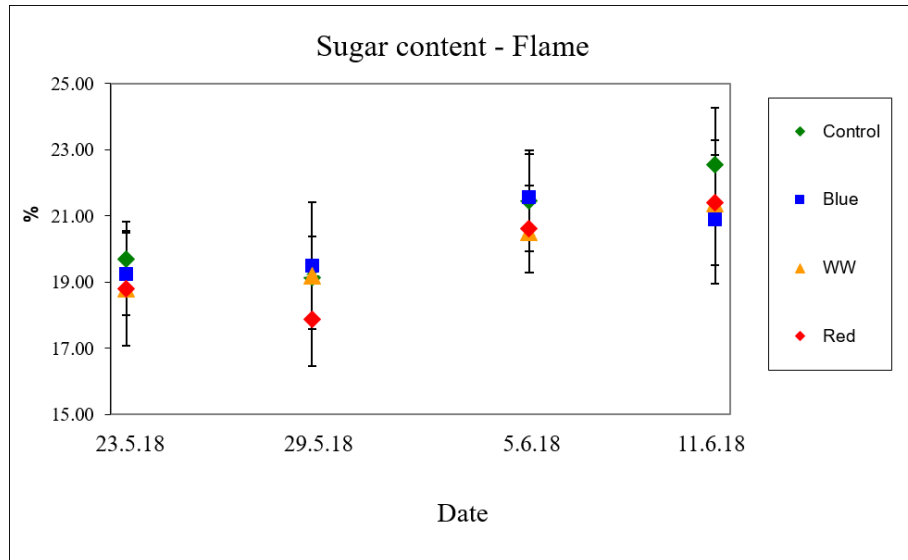




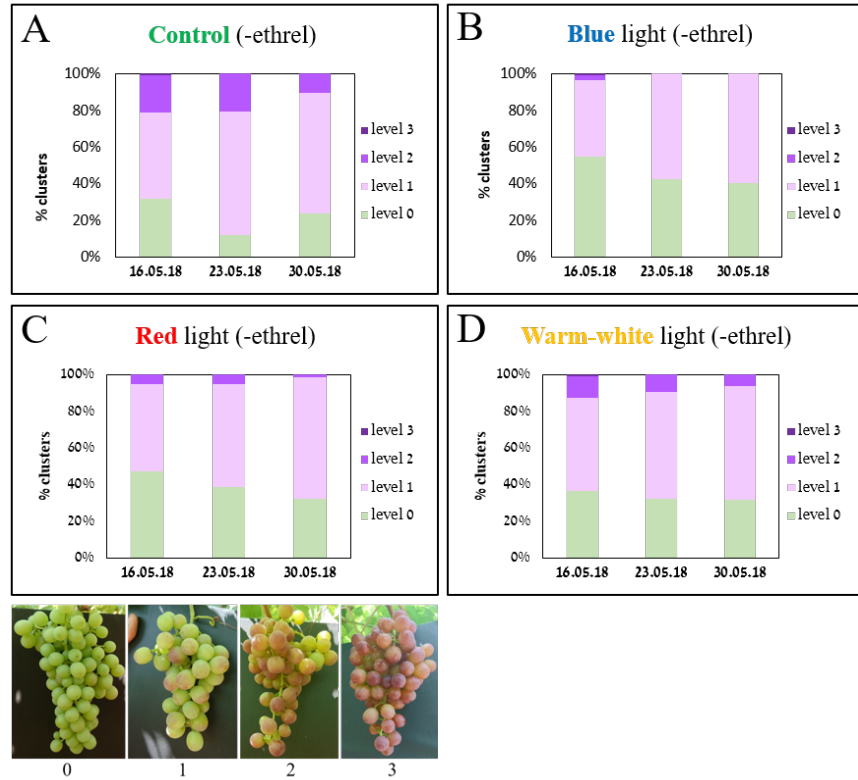
איור 15. השפעת התאורה על המיקרואקלים. הנתונים נאספו לאורך הניסוי, מ-14.3.18 ועד 18.6.18 עם מיקרולוגים שנתלו במרחק של כ-10 ס"מ ממערכת התאורה או בגובה דומה בביקורת.



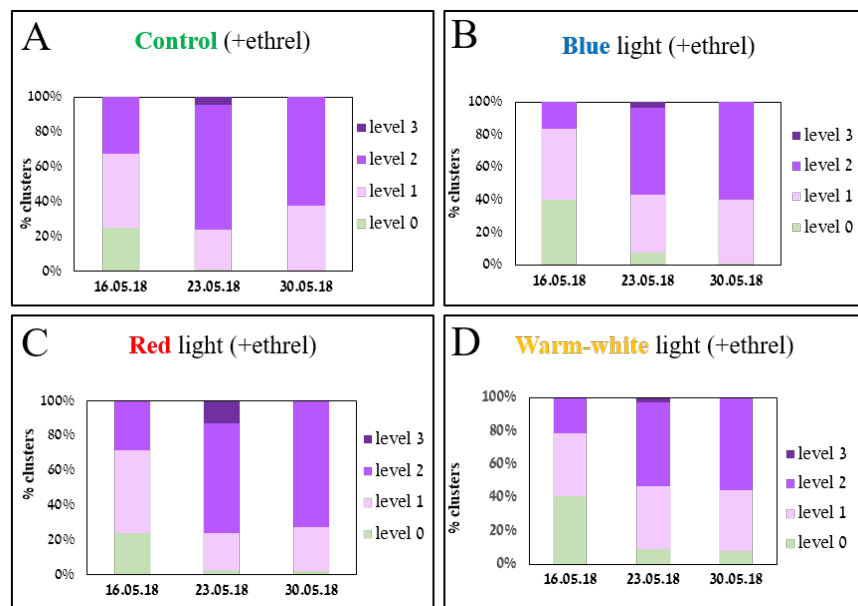
איור 16. תכולת הכלורופיל וטמפרטורת הנוף עם/בלי תאורה מוספת ב- Flame seedless (A). תכולת הכלורופיל כפי שנמדדה באופן בלתי הרסני בעלים של ביקורת ללא תאורה ועלים המוארים תכולת הכלורופיל כפי שנמדדה באופן בלתי הרסני בעלים של ביקורת ללא תאורה ועלים המוארים באור לבן חם (WW) או אור אדום, או אור כחול, או אור אדום. (B) טמפי העלים בטיפול התאורה לעומת הביקורת. (C, D) טמפי האשכולות בטיפול התאורה לעומת הביקורת, כפי שנמדדו בשני מועדים נפרדים.



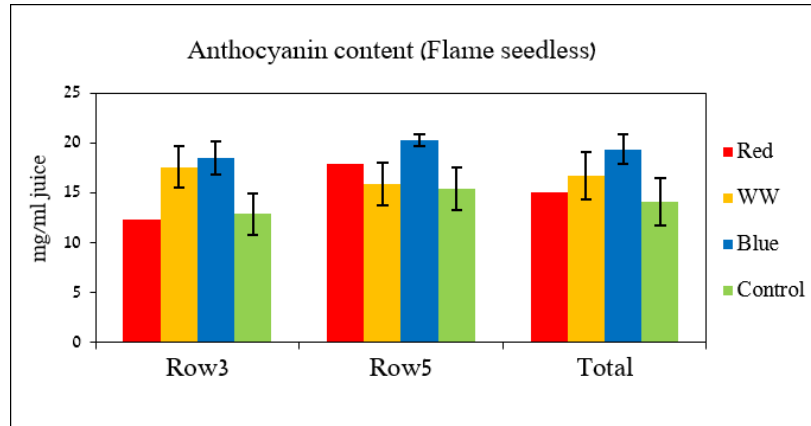
איור 17. השפעת התאורה על תכולת הסוכר ב- Flame seedless - בקעת הירדן. מוצגים ממוצעים \pm SD לטיפול התאורה (כחול, אדום, לבן חם) ולביקורת.



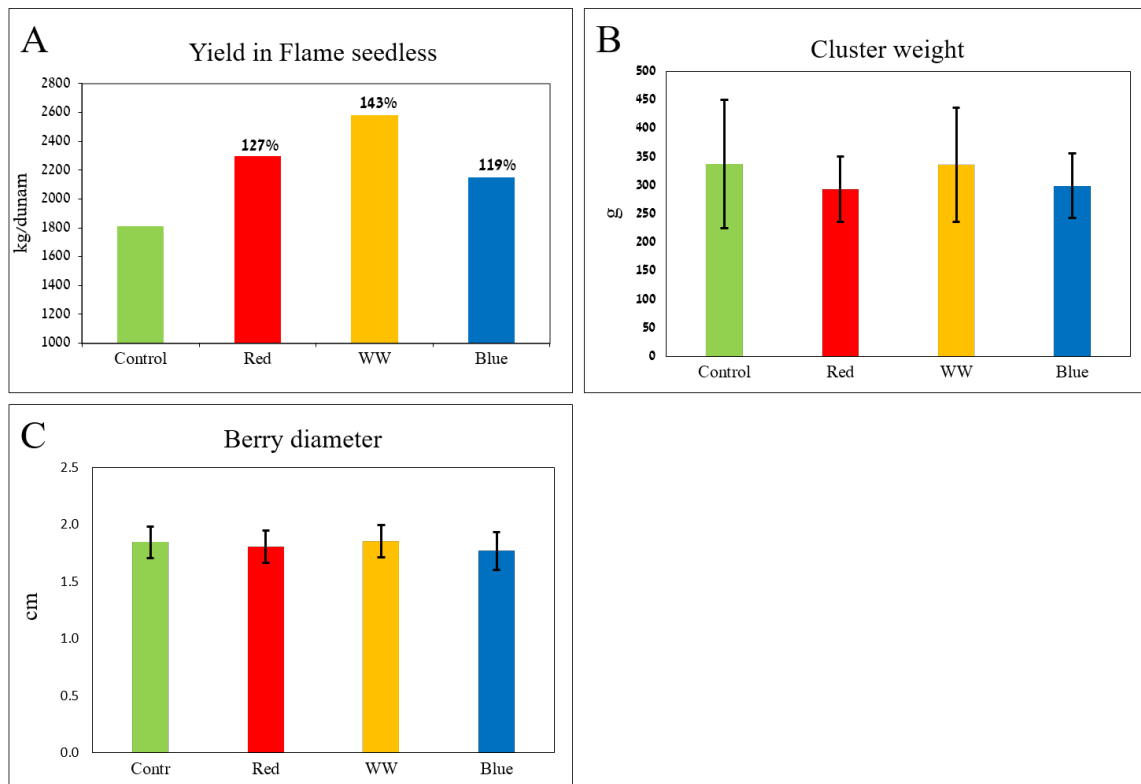
איור 18. השפעת התאורה על הצטברות הצבע באשכולות Flame seedless ללא טיפול אתרל. הגרפים מייצגים את התפלגות האשכולות לפי דרגות הצבע שמוצגות בתחתית האיור. (A) ביקורת ללא תוספת ללא תוספת תאורה, (B) תוספת אור כחול, (C) תוספת אור אדום, (D) תוספת אור לבן חם.



איור 19. השפעת התאורה על הצטברות הצבע באשכולות Flame seedless על רקע ריסוס אתרל יחיד. הגרפים מייצגים את התפלגות האשכולות לפי דרגות הצבע (איור 19). (A) ביקורת ללא תוספת תאורה, (B) תוספת אור כחול, (C) תוספת אור אדום, (D) תוספת אור לבן חם.



איור 20. השפעת התאורה על תכולת האנתוציאנין ב- **Flame seedless**. מכל טיפול נדגמו 10 גרגרים מ-10 אשכולות שונים ובוצע מיצוי של המיץ. ריכוז האנתוציאנין נקבע באופן ספקטרוסקופי.



איור 21. היבול ב- **Flame seedless**. (A) יבול בטיפולים השונים של הניסוי (ביקורת, אור אדום, לבן חם וכחול). אחוזים מסמנים את היבול ביחס ליבול בביקורת ללא תאורה. (B) גודל אשכול, (C) קוטר גרגר בטיפולים השונים.

6.1. התמיינות והבשלה ב-SBS

בניסוי בעין ייב בחנו האם תוספת תאורה יכולה לשפר את הפוריות בגפנים של ענבי מאכל בגידול בחממה. בעונה זו (2018) מצאנו כי הפוריות בחלקות הביקורת היתה נמוכה מהמצופה ולא היתה השפעה לטובה של תוספת התאורה. אפילו היתה ירידה בפוריות בטיפולי התאורה. אך כאמור זאת על רקע של פוריות התחלתית מאד נמוכה בביקורת. בעונה הקודמת (2017) תוספת התאורה העלתה את אחוז הפקעים ההרוסים, אך הורידה באופן מוחלט את הנגיעות באקרית הפקע. הסיבה לכך היתה שמערכת התאורה התחממה ככל הנראה בגלל בעיה במערכת החשמל. לפיכך, המסקנות לגבי השפעת התאורה על הפוריות משתי העונות הנ"ל אינן חד משמעיות.

באותו הניסוי בעין ייב, נמצא כי תוספת תאורה של אור לבן חם (WW) זירזה את ההבשלה בצד המערבי של הכרם, צד שמקבל משמעותית פחות אור בעונה זו של השנה. תכולת הסוכר היתה 15.4% במועד הבדיקה הראשון לעומת כ-12.7% בביקורת (המקובל הוא לבצור פרי ב % סוכר מעל 14.5). כך, ניתן היה לבצור 70% מהפרי בחלקות התאורה (צד מערבי) של WW כבר במועד הראשון, בהשוואה לכ- 25% בביקורת באותו המועד (איורים 8 ו-9). תוצאות אלו מעודדות בנוגע לזירוז ההבשלה בערבה. בחלק זה (מערב) של הכרם היו גם הבדלים במשקל האשכולות, אשר היו גדולים יותר בטיפולי התאורה לעומת הביקורת. בשונה מהערבה, בניסוי לבחינת זירוז ההבשלה ב-SBS בבקעת הירדן לא ניכר הבדל משמעותי במדדי קצב הצימוח או בריכוז הסוכר ביחס לביקורת. יתכן שהשוני בתוצאה נובע מההבדלים בתנאי הגידול השונים של הבקעה והערבה (עונת גידול בחודשים שונים). למרות זאת, לא היו השפעות שליליות של תוספת התאורה.

6.2. צבירת אנתוציאנין ב-Flame seedless

בניסוי זה בחנו האם תוספת תאורה (בשעות היום) באורכי גל שונים יכולים לשפר את הצבע בזן פליים. דבר זה נבחן הן על רקע של טיפול באתרל, כמקובל בפרקטיקה, אך גם ללא הטיפול על מנת לבודד את השפעת התאורה. על מנת לעקוב אחר שינויי הצבע בפרי, התבצעה הערכה ויזואלית בשלושה מועדים עוקבים בהפרשים של שבוע. לא נמצאה השפעה לחיוב על הצטברות האנתוציאנין, עם או בלי הרקע של טיפול באתרל. סביר להניח כי תוספת התאורה ביום לא יעילה בגלל הטמפי' הסביבה הגבוהות. בנוסף היתה עלייה, אמנם קטנה, בטמפי' שנבעה ממערכת התאורה.

כמפורט בתוצאות, היתה אי התאמה בין תוצאות של ההערכה הויזואלית לתוצאות מיצוי האנתוציאנין. תוצאות ההערכה הויזואלית הן מהימנות כפי שבוצעו ב-3 מועדים שונים, והדבר גם בולט לפי ההשוואה בין השורה שטופלה באתרל לזו שלא טופלה. כיוון שהאנתוציאנין נמצא רק בקליפת הענב רצוי לבצע מיצוי רק מהקליפה ולא מכלל המיץ של הפרי על מנת לא למהול את הדוגמא. בנוסף יש לקחת בחשבון את גודל הגרגרים שמהם מבוצע המיצוי בכל טיפול.

למרות שלא היתה השפעה על צבע הפרי בניסוי זה, כן התקבלה עליה משמעותית ביבול בחלקות עם תוספת של אור לבן חם.

התמיינות/הבשלה בערבה - בעונה הבאה מתוכננת חזרה על ניסוי התאורה בחלקות של כרם ענבי מאכל בחממה בתחנת יאיר. נבחרה חלקה בעלת פוריות התחלתית בגדר הנורמה בביקורת. יש לבצע בדיקות סוכר כשבועיים לפחות לפני התקופה ה'רגילה' כדי לעקוב אחר הקדמת ההבשלה. הבשלה בבקעת הירדן – לאור זאת שלא התקבלה תוצאה לחיוב או לרעה, נחזור על הניסוי כפי שהיה. צבע בבקעת הירדן – נחזור על הניסוי עם תוספת תאורה בתחום האדום והכחול (בנפרד), אך התאורה תופעל בשעות הלילה ובעוצמות נמוכות יותר של כ- $50 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ בדומה לניסוי של Azuma *et al.* (11).

7. ספרות מצוטטת

1. Jackson JE. Light Interception and Utilization by Orchard Systems. In: Horticultural Reviews. John Wiley & Sons, Ltd; 1980. p. 208–67.
2. Perez J, Kliewer WM. Effect of shading on bud necrosis and bud fruitfulness of Thompson Seedless grapevines. Am J Enol Vitic. 1990;
3. Roubelakis-Angelakis KA, Kliewer WM. Effects of exogenous factors on phenylalanine ammonia-lyase activity and accumulation of anthocyanins and total phenolics in grape berries. Am J Enol Vitic. 1986;
4. Smart RE, Robinson MD (Michael D., of Agriculture NZM, Fisheries. Sunlight into wine : a handbook for winegrape canopy management. Adelaide, S.Aust. : Winetitles; 1991.
5. Kliewer WM. Influence of Temperature, Solar Radiation and Nitrogen on Coloration and Composition of Emperor Grapes. Am J Enol Vitic. 1977;
6. Yamane T, Seok TJ, Goto-Yamamoto N, Koshita Y, Kobayashi S. Effects of temperature on anthocyanin biosynthesis in grape berry skins. Am J Enol Vitic. 2006;
7. Mori K, Sugaya S, Gemma H. Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. Sci Hortic (Amsterdam). 2005;
8. Matus JT, Loyola R, Vega A, Peña-Neira A, Bordeu E, Arce-Johnson P, et al. Post-veraison sunlight exposure induces MYB-mediated transcriptional regulation of anthocyanin and flavonol synthesis in berry skins of *Vitis vinifera*. J Exp Bot. 2009;
9. Jeong ST, Goto-Yamamoto N, Kobayashi S, Esaka M. Effects of plant hormones and shading on the accumulation of anthocyanins and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in grape berry skins. Plant Sci. 2004;
10. Azuma A, Yakushiji H, Koshita Y, Kobayashi S. Flavonoid biosynthesis-related genes in grape skin are differentially regulated by temperature and light conditions. Planta. 2012;
11. Azuma A, Ito A, Moriguchi T, Yakushiji H, Kobayashi S. Light emitting diode irradiation at night accelerates anthocyanin accumulation in grape skin. Acta Hortic. 2012;956:341–7.
12. Mitchell, C. A., Dzakovich, M. P., Gómez, C., Lopez, R., Burr, J. F., Hernández, R., Kubota, C., Currey, C. J., Meng, Q., Runkle, E. S., Bourget, C. M., Morrow, R. C. and Both AJ. Light-Emitting Diodes in Horticulture. In: J. Janick, editor. Horticultural Reviews: Volume 43. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.; 2015. p. 1–88.

13. Singh D, Basu C, Meinhardt-Wollweber M, Roth B. LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renew Sustain Energy Rev.* 2015;49:139–47.
14. Gómez C, Morrow RC, Bourget CM, Massa GD, Mitchell CA. Comparison of intracanopy light-emitting diode towers and overhead high-pressure sodium lamps for supplemental lighting of greenhouse-grown tomatoes. *Horttechnology.* 2013;23(1):93–8.
15. Jokinen K, Särkkä LE, Näkkilä J. Improving sweet pepper productivity by LED interlighting. *Acta Hortic.* 2012;956:59–66.
16. Olle M, Virsile A. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agric Food Sci.* 2013;22(2):223–34.
17. D'Souza C, Yuk HG, Khoo GH, Zhou W. Application of light-emitting diodes in food production, postharvest preservation, and microbiological food safety. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2015;14(6):719–40.