

השפעת חיפוי גפן (*Vitis vinifera*) ברשתות צל על

המדדים הפיזיולוגיים ועל צריכת המים

עבודת גמר

מוגשת לפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה

ע"ש רוברט ה. סמית

האוניברסיטה העברית בירושלים

לשם קבלת תואר "מוסמך למדעי החקלאות"

על ידי

עידן בהט

דצמבר 2012

רחובות

טבת התשע"ג

עבודה זו נעשה בהדרכתם של

פרופ' אמנון שוורץ

המכון למדעי הצמח וגנטיקה בחקלאות

הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, רחובות

פרופ' יצחק מרר

המחלקה למדעי הקרקע והמים

הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, רחובות

האוניברסיטה העברית בירושלים

תודות

ראשית אודה לאשתי היקרה והאהובה, **הגר** שתמכה ועודדה אותי בכל מעשי ידיי, באהבה וסבלנות אין קץ ועל שהביאה לעולם את בתנו **יערה** בזמן כתיבת עבודה זו.

לאמי ואבי, שהביאוני עד הלום, על תמיכתם בזמן התואר הראשון והשני.

להורי אשתי על תמיכתם ועזרתם הרבה בשגרת היומיום ומעבר לכך.

למנחה הראשי של עבודה זו – פרופ' **אמנון שוורץ** על הדרכתו הטובה, סבלנותו והסבריו הארוכים אודות כל נושא מנושאי המחקר.

לפרופ' **יצחק מרר**, המנחה הנוסף של עבודה זו, תודה על הדרכתך והכוונתך.

לאנשי המעבדה: **רון זליגמן** שתמך תמיכה מקצועית, נפשית, רוחנית וריחנית. על פתרונות הקסם בכל העבודה הרבה הקשורה במטאורולוגיה ועל שסבל את ההצקות הרבות שלי בזמן כתיבת עבודה זו.

תודה גדולה לד"ר **ישי נצר** על שגילה לי את עולם הגפן, החניכה הצמודה בשטח, והליווי המלא והבלתי מתפשר כמו גם הקשבה ותמיכה חברית אמיתית, תודה לך ישי.

ל**ענבר מאיר**, **עידית דמבק**, **בת אל כנפו** על הרבה 'עזרות קטנות' במעבדה ומחוצה לה.

ל**שראל מוניץ** על עזרה בעבודת השטח והרבה מעבר לכך.

לצוות העובדים שיצאו איתי לשטח בשעות הבוקר המוקדמות: **אור בומץ**, **אלכס פרדיס**, **הילה**, **ניתאי** ועוד רבים וטובים.

ל**מרדכי (מרה) אוזילבסקי** ממושב לכיש על תרומת חלקת התומפסון למחקר, על שיתוף פעולה והתעניינות בלי סוף, תודה.

לצוות ממו"פ לכיש: **יוסי** על עבודה טכנית מדויקת, **אמינה** ועם חיוך, **בני גמליאל** ו**אברהם אליהו**.

לד"ר **אורן דיין** על עזרתו הרבה בשפה האנגלית ועל תמיכתו הנוספת.

1. תקציר

להצללה חלקית יש, ככלל, השפעה חיובית על מדדים שונים של הגידול. למרות זאת המדדים הפיסיולוגיים שהושפעו מהחיפוי ברשת לא כומתו ולמיטב ידיעתנו, בשלב זה, לא נגזר מהם כל שינוי אגרוטכני. מטרת המחקר הייתה לבחון את ההשפעה של חיפוי כרמי ענבי מאכל ברשת צל על שינוי המדדים המיקרו-אקלימיים בכרם ועל מדדים פיסיולוגיים שעשויים להשפיע על הצמיחה, צריכת המים וגובה היבול. לצורך כך בוצע ניסוי בכרם בן כ-12 דונם במושב לכיש ובחלקת ליזימטרים במו"פ לכיש בשנים 2008-2010. במושב לכיש נמתחה רשת שקופה תוצרת פולישק 13% צל על שלוש חלקות בגודל 2 דונם כל אחת ושלוש חלקות נותרו ללא חיפוי. תנאי הסביבה נמדדו בחלקה המחופה והחשופה כחצי מטר מעל נוף הכרם. המדידות הפיסיולוגיות ומדידות היבול בוצעו בחלקות שסומנו מראש בשלושת הקטעים המחופים והחשופים. בחלקה נפרדת במו"פ לכיש נפרשה רשת זהה מעל 12 גפנים שגדלו בתוך ליזימטרים, ונתוני צריכת המים שלהם השוו לנתוני הצריכה בשנים קודמות, בהן לא היה כיסוי כלל.

נמצא כי הממוצע העונתי של מהירות הרוח תחת הרשת נמוך ב- 65% ממהירות הרוח בנוף החשוף. ההפרש השנתי הממוצע בשנת 2009 בין טמפרטורת האוויר בכרם המחופה לחשוף בשעות היום עמד על 1.2°C . שטף הקרינה הפוטוסינתטית הממוצע פחת תחת חיפוי הרשת ב-23%. ממוצע אוופורנספירציה מחושבת בחלקה הלא מחופה במושב עמד על 4.02 מ"מ ליום לעומת 3.11 תחת הרשת כאשר המרכיבים העיקריים שהשפיעו על החישוב הם מהירות הרוח וקרינה נטו. פוטנציאל המים של הגזע שנמדד בשעות הצהריים היה נמוך ב-0.1MPa (פחות שלילי) בממוצע עונתי תחת הרשת לעומת פוטנציאל המים של הגפנים החשופות. קצבי קיבוע הפחמן ומוליכות הפיוניות בחלקות המחופות גבוהים ב-12% ו-21% בממוצע בהתאמה לעומת הגפנים החשופות. לא נתקבל הבדל מובהק בין הטיפולים בגובה היבול. לעומת זאת לחיפוי ברשת הייתה השפעה חיובית מובהקת על צבע הפרי ונתקבל אחוז נמוך יותר של פרי שאינו ראוי לשיווק.

בחלקת הליזימטרים במו"פ לכיש נמצא כי ה-LAI של הגפנים ב-3 השנים בהן החלקה היתה מחופה גבוה יותר מן ה-LAI שנמדד באותן גפנים טרם החיפוי ברשת החל מסוף חודש מאי ואילך. לא הובחן הבדל ביחס K_c/LAI בין השנים שבהן גפני הליזימטרים היו מחופות רשת לעומת השנים טרם החיפוי, וזאת למרות אינדקס עלווה LAI גבוה יותר ב-20% בקירוב.

בחלקת הליזימטרים, צריכת המים הממוצעת לעונה היתה גבוהה ב-10% בקירוב תחת הרשת לעומת צריכת המים בטרם הכיסוי.

המדדים הפיסיולוגיים מצביעים על יתרונות גידול גפן בחיפוי רשת. לאור התוצאות הפיסיולוגיות המשופרות שנתקבלו בחלקה המסחרית במושב לכיש, ניתן לשקול להשאיר על הגפן מספר אשכולות גדול יותר להגדלת היבול. מאחר ולמרות החיפוי בוצעו דילולי פרי אחידים בכל החלקות לא נמדד הבדל בגובה היבול אך נתקבל שיפור מובהק באיכות הפרי. שיפור אפשרי ביעילות ניצול המים תחת הרשת עשוי, על כן, להתקבל על ידי שינויים אגרוטכניים שיבוצעו בגפנים תוך התמקדות בגודל הנוף ועיצובו ובדילול אשכולות קל יותר ולא על ידי הפחתת השקיה.

| | <u>תוכן עניינים</u> | | |
|----|---------------------|---|--|
| 4 | | 1. תקציר | |
| 7 | | 2. מבוא | |
| 8 | | 3. סקירת ספרות | |
| 8 | | 3.1 רקע כללי | |
| 8 | | 3.1.1 הגפן בישראל | |
| 8 | | 3.2 ביולוגיה של הגפן | |
| 8 | | 3.2.1 מחזור הגידול | |
| 9 | | 3.2.2 פריחה, חנטה והתפתחות הפרי | |
| 10 | | 3.3 שימוש ברשתות | |
| 11 | | 3.3.1 מיקרואקלים תחת הרשת | |
| 12 | | 3.4 משק המים של הגפן | |
| 12 | | 3.4.1 פוטנציאל מים | |
| 12 | | 3.4.2 צריכת מים | |
| 13 | | 3.5 חילוף גזים | |
| 13 | | 3.5.1 מוליכות פיוניות לאדי מים | |
| 14 | | 3.5.2 קצב קיבוע פחמן ופלורסנציה של כלורופיל a | |
| 15 | | 3.6 השפעות מורפולוגיות של ההצללה | |
| 15 | | 3.6.1 עלווה | |
| 16 | | 3.6.2 איכות פרי | |
| 16 | | 3.6.3 השפעות ההצללה על פוריות | |
| 17 | | 4. מטרות העבודה | |
| 18 | | 5. חומרים ושיטות | |
| 18 | | 5.1 אתרי הניסוי | |
| 18 | | 5.1.2 מו"פ לכיש | |
| 19 | | 5.1.3 מושב לכיש | |
| 20 | | 5.2 חילוף גזים | |
| 23 | | 5.3 משק המים של הצמח | |
| 23 | | 5.3.1 השקיה של הגפן בלכיש | |
| 23 | | 5.3.2 שיטות למדידת מצב המים בצמח | |
| 24 | | 5.4 מדידת שטח עלווה בגפן | |
| 24 | | 5.5 מטאורולוגיה | |
| 25 | | 5.5.1 מהירות הרוח | |
| 25 | | 5.5.2 קרינה | |
| 26 | | 5.5.3 טמפרטורה ולחות יחסית | |
| 26 | | 5.6 המשקל הספציפי של העלים | |
| 27 | | 5.7 איכות פרי | |
| 27 | | 5.7 פוריות זמורות | |
| | | | |

| | | |
|-----------|--------------------------------|--|
| 28 | 6. תוצאות | |
| 28 | 6.1 מטאורולוגיה | |
| 28 | 6.1.1 מהירות הרוח | |
| 30 | 6.1.2 קרינה | |
| 32 | 6.1.3 טמפרטורה ולחות יחסית | |
| 34 | 6.1.4 התאדות מחושבת | |
| 35 | 6.2 משק מים | |
| 35 | 6.2.1 פוטנציאל מים | |
| 37 | 6.2.2 צריכת מים - ליזימטרים | |
| 39 | 6.3 חילוף גזים | |
| 39 | 6.3.1 מוליכות פיוניות לאדי מים | |
| 43 | 6.3.2 שטף פוטוסינתזה | |
| 46 | 6.3.3 פלורסנציה של כלורופיל a | |
| 47 | 6.4 בדיקות עלים | |
| 47 | 6.4.1 המשקל הספציפי של העלה | |
| 47 | 6.4.2 טמפרטורת העלה | |
| 48 | 6.4.3 צפיפות פיוניות | |
| 48 | 6.5 בדיקות פרי | |
| 50 | 6.6 פוריות זמורות | |
| 51 | 7. דיון ומסקנות | |
| 51 | 7.1 מטאורולוגיה | |
| 52 | 7.2 משק מים | |
| 53 | 7.2.1 צריכת מים - ליזימטרים | |
| 54 | 7.3 חילוף גזים | |
| 56 | 7.3.1 פלורסנציה של כלורופיל a | |
| 56 | 7.4 חיוניות הנוף ואיכות הפרי | |
| 56 | 7.4.1 המשקל הספציפי של העלה | |
| 57 | 7.4.2 טמפרטורת העלה | |
| 57 | 7.4.3 בדיקות יבול ואיכותו | |
| 57 | 7.5 דיון מסכם | |
| 59 | 8. רשימת ספרות | |
| 68 | 9. תקציר באנגלית | |

2. מבוא

חיפוי שטחים חקלאיים ברשתות צל הולך ומתרחב בישראל. אם נבחן את היקף השטחים המחופים, נראה כי מהיקף שולי ביותר בתחילת שנות ה-90, כיום ישנם כ-50 אלף דונם של שטחים מחופי רשת (Möller et al., 2010) במגוון ענפי הצומח. השימוש ברשתות מסוגים שונים במטעים ובכרמים הולך ותופס תאוצה בשנים האחרונות. באזור לכיש נטועים כ-7000 דונם של כרמי מאכל ומתוכם כ-700 דונם בחממות וכ-200 דונם מחופים ברשתות צל. בבקעת הירדן נטועים כ-3500 דונם של כרמי מאכל, כ-90% מהם מחופים ברשתות צל. סקירה של דווחי מחקר בנושא זה ושיחות עם כורמים מעלה כי להצללה חלקית יש, ככלל, השפעה חיובית על מדדים שונים והאזכור הנפוץ ביותר הוא שיפור איכות הפרי, הפחתת המופע של גרגרים בהירים עד צהובים, תופעה הנגרמת, ככל הנראה, מחשיפה של האשכול לקרינת שמש גבוהה. ניתן להעריך כי לרשת יש גם השפעה על עובי שכבת הגבול של הנוף על כל המשמעות הנובעות מכך. בעוד שההשפעה של החיפוי ברשת צל על התנאים המיקרו מטאורולוגיים במטע נלמדה במסגרת מספר מחקרים, הרי השילוב בין השינוי במדדים המטאורולוגיים לבין השינוי במדדים פיסיולוגיים נלמד, בשלב זה, במידה מועטה יחסית. המחקר הנוכחי התמקד, על כן, ב-2 כיוונים עיקריים השזורים זה בזה: האחד הוא השפעת רשת צל אופקית על מדדים מיקרו מטאורולוגיים בכרם והשני הוא התגובה הפיזיולוגית של הגפן לשינויים אלו. ככל הידוע לנו, לא בוצעו מחקרים רבים המשלבים את 2 הנושאים הללו יחד. הנחת המחקר היא כי החיפוי ברשת צל גורם לתגובה צמחית המתבטאת בשינויים מורפולוגיים ופיזיולוגיים רבים. השינוי במדדים הפיסיולוגיים הנובעים מהחיפוי ברשת צל לא זכו עדיין להתייחסות שונה מבחינה אגרוטכנית. למיטב ידיעתי, עדיין לא הונהגו בעקבות החיפוי ברשת ההתאמות האגרוטכניות המתבקשות, כגון: שינויים בהשקיה, בעיצוב הנוף, ובדילול האשכולות.



תמונה מס' 1 : צילום בחלקה המסחרית במושב לכיש בתאריך 10/06/2010

3. סקירת ספרות

3.1 רקע כללי

הגפן התרבותית (*Vitis vinifera*) היא שיח מטפס נשיר ממשפחת הגפניים (Vitaceae) אשר פירותיו משמשים למאכל, הכנת יין וצימוקים ואף שמן המופק מן הזרעים. הגפן היא אחת משבעת המינים ומוזכרת פעמים רבות בתנ"ך ובשל כך זכתה לביטויים רבים הייחודיים לה בשפה העברית. קיימות מספר עדויות לכך שהתרבות של המין *Vitis vinifera* החל בהרי הקווקז באזור שבין הים הכספי לים השחור בתקופת הברונזה (3000 לפנה"ס) ומשם הופץ המין לאירופה ולצפון אפריקה (Winkler, 1962). אזורי הגידול העיקריים בעולם הם בין קווי רוחב 30° N ו- 50° N ו- 40° S בהם שוררים תנאי אקלים מתאימים (Mullins et al., 1992). הסוג הבוטני *Vitis* כולל 2 תתי סוגים: Euvitis ו- Muscadinia. רוב הזנים הנאכלים משתייכים לתת הסוג Euvitis ולמין *Vitis vinifera*. אלו אשר משמשים ככנות הינם לרוב הכלאות בין מינים שונים של תת-הסוג Euvitis (ישנם 59 מינים מוכרים). לאחר שזני ה- *Vitis vinifera* (שניטעו על שורשיהם) הותקפו על ידי כנימת הפילוקסרה באירופה וגם בישראל, עברו לנטיעת שתילים מורכבים והוכנסו לשימוש כנות אשר מקורן במינים מאמריקה הצפונית שבהן הובחנה עמידות מסוימת לכנימה.

3.1.1 הגפן בישראל

כרמי מאכל נטועים בכל רחבי הארץ מהערבה ועד לצפון הארץ. אזור הגידול העיקרי הוא אזור לכיש בו נטועים כ-7000 דונם, בבקעת הירדן כ-5500 דונם ובאזור גזר כ-4500 דונם. כ-80% מהענבים הם חסרי חרצנים כאשר בתכניות הטיפוח אין היום זנים בעלי חרצנים כלל. הזן אשר היקף הנטיעה שלו הוא הגדול ביותר הוא ה'סופריור' – זן ירוק, בכיר יחסית, ללא חרצנים ובעל קוטר גרגר גדול. כיום היקף הכרם הנטוע בזן סופריור מוערך ב-7000 דונם.

הזן הנפוץ השני בהיקפו הוא ה'יתומפסון סידלס' (סולטנינה), זן אמצע/סוף עונה ירוק, הגרגר בעל צורה אובלית מאורכת, ללא חרצנים, נטוע בהיקף של כ-6000 דונם. אחריהם באים הזנים 'ארלי סוויט', 'פריים', והזים האדומים: 'רד-גלוב' ו'קרימסון'.

יבול ענבי המאכל במדינת ישראל בשנים האחרונות עומד על כ-70,000 טון בשנה ומתוכם 15%-5 מיוצאים לאירופה בעיקר. כ-1500 טון מועברים מידי שנה לקירור ומשווקים במהלך עונת החורף (רבן, 2009). היבול הממוצע בישראל ב-5 השנים האחרונות הוא 1.9 טון ודונם (FAOSTAT Website).

3.2 ביולוגיה של הגפן

3.2.1 מחזור הגידול

היציאה של הגפן מהתרדמה מתחילה בפעילות פיסיולוגית של מערכת השורשים עוד בטרם מתחיל לבלוב הניצנים על הזמורות. סמוך לאחר הזמירה ניתן להבחין בתופעה המכונה זיבה המתבטאת בהפרשה של מוהל עצה מחתכי הזמורות. צמיחת השורשים מגיעה לשיא בזמן האנתזיס (McKenry, 1984). במהלך חודש מרץ מתחיל הבלוב (Bud break) של הניצנים הרדומים – שריגים (ענפים ירוקים בני שנה או פחות) מבלבלים מן הניצנים שעל זמורות בנות שנה. השריגים הינם וגטיביים או נושאי פרי. הצימוח בשלב זה הוא מהיר. לאחר האנתזיס והחנטה, גדל הפרי בהתמדה עד ליום הבציר. ברוב הזנים החקלאי נדרש לבצע דילול פרחים וחנטים להקטנת הצפיפות כדי להפחית סכנת הופעת ריקבונות ולקבלת גרגרים גדולים. בזנים בהם הפרי חסר זרעים (דוגמת ה'יתומפסון סידלס' וה'סופריור') מתרחשת הפלת העובר בשלב מוקדם – סטנוספרמוקרפיה (stenospermocarpy). העובר מווסת את זרימת הסוכרים אל תוך הפרי על ידי ההורמון גיברלין (Gibberelic)

(acid), ולכן יש צורך ביישום חיצוני של הגיברלין על מנת להגיע לגודל גרגר מרבי. הבציר מבוצע באופן ידני ולאחר מכן מקובל להפחית את ההשקיה באופן ניכר עד לסיום העונה. בסוף העונה העלים מתחילים להזדקן ולהתייבש, ובהינתן התנאים המתאימים נכנסת הגפן לתרדמה (Dormancy). הגפן משירה עליה ונותרת עם הבד המרכזי (קורדון) ועם זמורות מעוצות בלבד. בשיא התרדמה (דצמבר-ינואר) זומר החקלאי את הגפן, על פי פוריות הזן. לרוב (אך לא תמיד), את גפן המאכל זומרים זמירה ארוכה כך שבכל זמורה משאירים 8-20 ניצנים, 'עיניים'. בתומפסון סידלס הזמירה היא של 12 זמורות בנות 20 ניצנים. במהלך התרדמה מיישם החקלאי תכשיר דורמקס (ציאנמיד חומצי) בשילוב שמן מינראלי על גבי הניצנים הרדומים, על מנת לגרום לאחידות בהתעוררות, ובזנים מסוימים על מנת להקדים התעוררות. מערכת השורשים של הגפן התרבותית היא מסועפת וברוב המקומות שטחית (בהתאם לתנאים). רוב נפח בית השורשים נמצא בעומק של עד 1.5 מטרים מפני הקרקע. בקרקעות חוליות ימצאו שורשים בעומקים גדולים יותר (עד 4 מטרים). השורש העמוק ביותר שתועד בגפן תרבותית הגיע לעומק של כ-12 מטרים (Winkler, 1962). השורשים אשר מבצעים קליטה אקטיבית של מים הינם כאלו שהתפתחו באותה עונה. כאשר במהלך העונה השורשים מפתחים בהדרגה פרידרם וכושר קליטת המים שלהם פוחת. בתחילת העונה הבאה, שורשים אלו יסתעפו לשורשים פעילים (feeder roots) נוספים שיקלטו מים. משמעות הדבר היא שניתן באמצעות ההשקיה לשלוט בעומק ונפח בית השורשים (Winkler, 1962).

3.2.2 פריחה, חנטה והתפתחות הפרי

הגפן התרבותית היא חד ביתית. התפרחת בגפן מתחילה את התמיינותה בסוף האביב של השנה הקודמת בניצנים החיקים שעל גבי השריגים. התמיינות התפרחת היא תהליך תלת שלבי ובו: א. תחילת התמיינות איברים בניצן המתבטאת ביצירה של פרימורדיה בלתי ממוינת (Anlagen). ב. ה-Anlagen מתמייין לפרימורדיית תפרחת או לפרימורדיית קנוקנת. ג. התמיינות הפרחים מפרימורדיית התפרחת עם תחילת לבלוב הניצנים (Mullins et al., 1992). משמעות הדבר היא שניתן להשפיע על ההתמיינות עוד בעונה הקודמת. ישנם גורמים רבים המשפיעים על ההתמיינות וביניהם: מאזן הורמונלי, טמפרטורת מינימום ומקסימום, רמת הקרינה ועוד. נמצא כי זמורות שהיו חשופות למשך קרינה גבוהה, ולכמות גדולה של שעות טמפרטורה שבין 28 ל-32 מעלות צלזיוס היו פוריות יותר מאשר זמורות ששהו בצל ולמשך שעות קצר של טמפרטורה בתחום הנ"ל (Christensen, 2000). במהלך לבלוב הניצנים עולה ונפרשת התפרחת (סמדר) ולאחר כשבועיים עד חודש הפרחים משירים את הכובע הייחודי להם (קליפטרה) וחושפים את איברי הרבייה. לאחר האנתזיס השחלות מופרות ומתפתחות לחנטים בגודל ראש סיכה.

עקומת הגדילה של הפרי מתוארת כסיגמואיד כפול (Coombe, 1976) בעל 3 שלבים:

שלב 1: שלב ההתפתחות המהירה של הגרגר, לפרי יש מוצקות גבוהה ואחוז סוכר נמוך, בשלב זה ישנה צבירה של חומצות אורגניות בעיקר. הגדילה מתרחשת הודות לחלוקה וגדילה של תאים.

שלב 2: שלב ה-lag של הגרגר. בזמן זה גדלים הזרעים שבפרי באופן מואץ וריכוז החומצה מגיע לשיאו. שלב זה נמשך שבועיים-שלושה בזנים בעלי זרעים, אך בזנים ללא חרצנים הוא יכול להיגמר תוך שבוע. בסוף שלב 2 נבחין בבוחל (veraison) – שלב שבירת הצבע.

שלב 3: שלב התפתחות מהירה של הגרגר, עד להבשלתו. ריכוז הסוכר הולך ועולה, חומרי צבע וארומה נוצרים ורמתם עולה. בשלב זה גדילת הגרגר הינה הודות להתארכות תאים וריכוזי מומסים גדולים בפרי הגורמים לכניסת מים בעקבות ירידת פוטנציאל המים (Winkler, 1962, Kennedy, 2002).

3.3 שימוש ברשתות

חיפוי שטחים חקלאיים ברשתות הולך ומתרחב בישראל. אם נבחן את השטחים המחופים, נראה כי משימוש שולי ביותר בתחילת שנות ה-90, כיום ישנם כ-50 אלף דונם של שטחים מחופי רשת (Möller et al., 2010). השימוש הראשון ברשתות בישראל המדווח בספרות היה בפפאיה ב-1982, שם יושמו רשתות בבקעת הירדן על מנת להקטין חדירת מזיקים אל נוף העץ (בר יוסף, 2009). מאוחר יותר הענף גווע ועימו הכיסוי ברשתות. במהלך שנות ה-90, בשל הדרישה להפחתה בריסוסים עלו קרנן של רשתות נגד מזיקים בירקות. בסוף שנות ה-90 בוצעה תצפית ע"י מדריך גפן בשה"מ באיזור בקעת הירדן ובה נראה כי לשימוש ברשת יש יתרון בהעלאת גובה היבול ובאחוז הפרי המשמש לייצוא בכרמי מאכל מהזן ארלי סוויט. לאחר מכן בוצע מהלך של עידוד כלל החקלאים לעבור לחיפוי ברשת ע"י סבסוד של משרד החקלאות. כיום (2011) ישנם כ-3500 דונם של כרמים באזור זה, רובם ככולם מחופים ברשת (שיחה אישית עם חיים אורן, מדריך גפן מקומי, שה"מ). כיסוי ברשתות משמש להגנה על גידולים חקלאיים מ (1) קרינה עודפת (רשתות הצללה), (2) הגנה מפגעי סביבה (ברד, מכות רוח, סופות חול) או (3) מזיקים מעופפים (חרקים, ציפורים, עטלפי פירות). הרשתות הנפוצות להצללה כיום בצמחי נוי ובמשתלות הינם הרשתות השחורות המפחיתות 40-80% מהקרינה. בירקות לעומת זאת נפוצות רשתות שקופות או לבנות נגד מזיקים (50 מש), ובגידולי מטע ישנן הרשתות המגנות מפני ברד שעשויות מחוטי פלסטיק שקוף או לבן ובשנים האחרונות ישנן הרשתות הצבעוניות. רשתות אלו (המשמשות בירקות ובמטעים) מפחיתות את הקרינה בשיעור של 8-25% בד"כ. עוצמת הפחתת הקרינה נקבעת על ידי החומר שבחוטי הפלסטיק ועל ידי צפיפות החורים ברשת (Shahak and Gussakovsky, 2004).

אם נבחן את רשתות הצל מבחינת יכולת סינון האור נמצא את א. **הרשתות השחורות**, המבוססות על שילוב גרגרי פחם בפלסטיק. ברשתות אלו אין שינוי של הספקטרום של האור (בתחום ה-PAR) אלא הפחתה שלו; האור הפוגע בחלקי הפלסטיק השחורים נבלע ברובו ואינו משנה את איכותו, וזה שעובר דרך הפתחים הזעירים נשאר באותו הרכב אור ובאותה עוצמה.

ב. **הרשתות הפוטוסלקטיביות** מכילות תוספים כרומטים אשר בולעים בצורה סלקטיבית חלק מהספקטרום של האור, וגם מפחיתות את עוצמת האור. ג. **הרשתות השקופות** (קריסטליות) הן כל הרשתות אשר אינן מכילות תוספים כרומטיים (ברשתות אלו יש מייצבי פלסטיק, שהשפעתם על האור זניחה). רשתות אלו אינן אמורות לשנות את ההרכב הספקטראלי של האור הנראה אך מגדילות את מרכיב האור הדיפוזי שכן האור שעובר את החוטים, יוצא מהם כשרובו מפוזר (Scattered) (Rajapakse and Shahak, 2007). הגדלת החלק היחסי של הקרינה המפוזרת (דיפוזית) מדווח כמשפר את יעילות ניצול האור ומגדיל את היבול בצמחי נוי (Healy et al., 1998), בבוטנים (Hammer and Wright, 1994) ובמחקר תיאורטי (Mercado et al., 2007). המצב הטבעי בגידולי מטע בכלל ובגפן בפרט בישראל הוא שהעלים העליונים (עלי שמש) חשופים למירב הקרינה ולעתים אף לקרינת יתר, דבר שעלול להביא לנזקים של Photoinhibition בהם נפגע החלבון D1 עקב עקת אור בצהרי היום (Bertamini and Nedunchezian, 2002). בספרות מתוארת תופעת ה-Midday-depression בצמחים המושקים היטב אך חשופים לרמות קרינה גבוהות לאורך זמן ממושך (מצוינות סיבות נוספות אפשריות לתופעה שיתוארו בהמשך), דבר הגורם לירידה במוליכות הפיוניות ולהפחתת שטפי פוטוסינתזה (Correia et al., 1990). שטף הקרינה פוחת באופן חד עם הירידה לשכבות נוף תחתונות יותר. נמצא כי הקרינה שנמדדה בעלים בתחתית הנוף של גפן מזן מרלו מגיעה ל-3-6% מהקרינה המקסימאלית הנמדדת בעלה העליון (Smart, 1985) וכך, העלים התחתונים מצויים במצב שבו הקרינה מהווה גורם מגביל

מבחינת השטף הפוטוסינתטי. לכן ההשפעה העיקרית של הגדלת חלקו של האור המפוזר היא כפולה: מחד עוצמת הקרינה הישירה על עלי השמש מופחתת ומאידך העלים המוצללים נחשפים ליותר אור בשל השיפור בפיזור האור. (שחק, 2003; Möller et al., 2010).

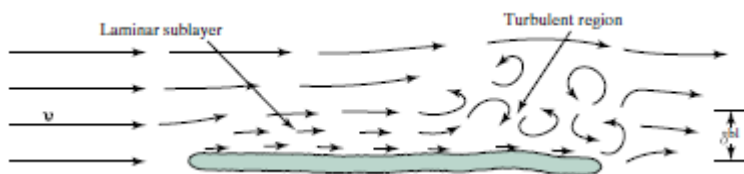
ישנם מספר מחקרים העוסקים בהשפעות ההצללה ברשת. Raveh et al., (2003) הראה בהדרים עליה במוליכות העלה ל- CO_2 וייצור מוגבר של סוכר בעלים תחת רשתות המפחיתות קרינה ב-30 ו-60 אחוז. בצמחי פיטוספורום הראו כי רשתות גרמו לשינויים מורפולוגיים בצמח דוגמת קיצור פרקים וסיעוף מוגבר (Oren-Shamir et al., 2001). בניסוי שנערך בבקעת הירדן בענבי מאכל מהזן ארלי סוויט (א. צלביץ וחובי, 2006) נמצא כי חיפוי ברשת 20% אפשר להקטין את מנת המים ב-20% מבלי לפגוע בגובה היבול.

3.3.1 מיקרואקלים תחת הרשת

ישנם מספר מועט יחסית של מחקרים שעוסקים בהבדל בין תנאי הסביבה בכרם מחופה רשת לבין כרם הגדל בשדה הפתוח. לעניין חיפוי המטע ברשת, יש להבחין בין רשת ארוגה לבין רשת סרוגה (אף כאשר שתיהן מפחיתות את הקרינה בשיעור דומה). כמו כן, קיים הבדל בין תנאי הסביבה השוררים בבית רשת סגור לבין תנאי הסביבה השוררים תחת רשת אופקית הפתוחה בצידה. יוסף טנאי וחובי הראו בתפוח כי הטמפרטורה שנמדדת תחת הרשת גבוהה יותר במהלך הלילה עד לערך מקסימום של 1°C ונמוכה יותר במהלך היום עד לערך של 1.7°C , זאת בשל צמצום איבוד חום בקרינה לרקיע במשך הלילה, והפחתת קרינה נכנסת ביום (טנאי וחובי, 2004).

Kittas et al., 2009 חקרו בעגבנייה את השפעת רשתות שחורות אופקיות באחוזי הצללה שונים על המיקרו אקלים. במאמרם מוצג כי אין הבדלים בין הטמפרטורה וה-VPD שנמדדו תחת הרשת ומחוצה לה. בניסוי שנערך במטע תפוחים נמצא כי רשתות נגד ברד, ונוספות גורמות לעליה של הטמפרטורה ב- 0.5°C בממוצע ולירידה בלחות היחסית של 1-3% (Hunsche et al., 2010).

יאיר ישראלי מדווח בניסוי של בננות תחת רשתות על הבדלים בין רשת סרוגה לרשת ארוגה המפחיתות באופן דומה את שטף הקרינה. הרשת הארוגה נוטה לצבור יותר אבק במהלך העונה כך שאחוזי ההצללה עולים באופן ניכר עד לגשם הראשון שמחזיר את הרשת לתכונותיה הראשוניות. לעומתה, הרשת הסרוגה צוברת פחות אבק, ואחוזי ההצללה אינם משתנים באופן משמעותי לאורך העונה (Castellano et al., 2008) (ישראלי וחובי, 2002).



איור מספר 1: הסבר סכמטי של שכבת אוויר לא-טורבולנטית (חצים ישרים) הזורמת על גבי עלה שטוח ואז הופכת טורבולנטית. בעקבות Nobel, 2005.

שכבת הגבול של העלה מתוארת כשכבה בה זרימת האוויר מואטת בשל חיכוך עם משטח. בתוך שכבה זו מעבר אדים נוצר בעיקר על ידי דיפוזיה ולא על ידי הסעה (Convective flow). שכבה זו זרימת האוויר היא למינרית

ולא טורבולנטית (סחרור אוויר סביב עצמו היוצר תנועת אוויר בחבילות) (Rice et al., 2001). עובי שכבת הגבול של העלה מחושב על פי אורך הטרף בכיוון משב הרוח ועל פי מהירות הרוח. כאשר מהירות הרוח גדלה, עובי שכבת הגבול קטן ומוליכות שכבת הגבול גדלה. כך למעשה ניתן לומר כי מהירות רוח גבוהה גורמת לאופוטנספירציה גבוהה יותר (Nobel, 2005).

ההשפעה המיקרו אקלימית העיקרית הנוצרת מהנחת הרשת היא הפחתת מהירות הרוח מעל הנוף (הורדה של עד מחצית ממהירות הרוח בהשוואה לביקורת) ועל ידי כך הפחתה, ככל הנראה, של האופוטורנספירציה בשל הגדלת עובי שכבת הגבול (ישראלי, 2009). בתפוח בוצע ניסוי בו נראה כי הרשת גורמת להקטנת רמת הטורבולנציה בשכבת הגבול של הנוף בשל הקטנת מהירות הרוח, מצב שתאורטית עשוי להוביל גם להקטנה בשטף הטורנספירציה. (טנאי וחובי, 2004; Tanny et al., 2009).

3.4 משק המים של הגפן

3.4.1 פוטנציאל מים

על פי תיאוריית הקוהזיה-אדהזיה (Cohesion-Tension theory) המים מצויים בצינורות העצה בתנאי תת-לחץ תמידי שמאפשר את עלייתם מהשורש ועד לקצה הנוף (Dixon et al., 1895). עליית המים במעלה הצמח מוסברת ע"י מספר כוחות: א. זרימת מסה - ישנה עמודת מים רציפה מהעצה של השורש ועד לצינורות העצה בטרפי העלים. ההתאדות מפני העלה גורמת לתנועה של מולקולות מים מהעצה אל המזופיל והאפידרמיס של העלה. מולקולות אלה מוחלפות במולקולות המועלות מהשורש. עמוד המים הרציף לאורך הצמח נשמר הודות לכוחות הקוהזיה בין מולקולות המים לבין עצמן וכוחות האדהזיה בין מולקולות המים לבין הדפנות ההידרופיליות של העצה. ב. כניסת המים מהקרקע לעצה של השורש נובעת מהפרש בפוטנציאל האוסמוטי ובפוטנציאל הלחץ של המים בין הקרקע לבין העצה של השורש.ג. כוח הנימיות (עליה קאפילרית) הגורם לעליה ספונטנית של נוזל במעלה קפילרה (Taiz and Zeiger, 1998).

ישנן שיטות רבות לאמוד את מצב המים של הצמח וביניהן מדידה של פוטנציאל המים בעלה, דנדרומטריה (ניתוח ההתרחבות והתכווצות הגזע והפרי), Heat pulse HPV, דיסיפציית חום TDP, חיישני לחץ טורגור של העלה ועוד (קנטי, 2010). מתוך כל אלו בדיקת פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום (Midday stem water potential) שנעשתה על פי (Scholander et al., 1965) מסתמנת כמדד האמין והמדויק ביותר למצב המים של הצמח. נמצא כי פוטנציאל המים בגזע הוא בעל שונות קטנה יותר לעומת פוטנציאל המים בעלה (McCutchan and Shackel, 1992; Doltra et al., 2007), בשל השונות הנמוכה יותר ניתן בשיטה זו להסתפק במספר קטן יותר של דגימות (Naor et al., 2006). נאור הראה שהקשר בין פוטנציאל המים בגזע (Ψ_{stem}) למוליכות פיוניות (g_s) חזק יותר ($r^2=0.85, 0.85, 0.79$) מהקשר בין פוטנציאל המים בעלה למוליכות הפיוניות ($r^2=0.51, 0.61, 0.37$) בתפוח, גפן ונקטרינה (Naor, 1998). כמו כן נמצאו קשרים טובים בין Ψ_{stem} ל- VPD בגפן ובליציי (Olivio et al., 2009; Stern et al., 1998 Williams and Baeza,), ל- ET_o בלימון (Ortuno et al., 2006), ליבול בגפן (Marsal et al., 2008), לגודל פרי בתפוח (Naor et al., 1995), ולשטף פוטוסינתזה (Williams et al., 1990).

בתפוח נמצא כי פוטנציאל המים בגזע גבוה במטע מחופה הרשת ב- 1-3 אטמוספירות יותר מאשר במטע החשוף (שחק וחובי, 2009). בגפן יין מזן סנגיובזה נבדקו השפעות ההצללה על ידי שימוש ברשתות שחורות המפחיתות את הקרינה ב- 40%-70 לעומת ביקורת לא מוצללת. פוטנציאל המים בעלה שנמדד בגפנים המוצללות היה משופר יותר (שלילי פחות) בכ- 0.1-0.2 MPa (Cartechini et al., 1995).

3.4.2 צריכת מים

המושג אופוטורנספירציה (ET) מתייחס לסך המים המתנדפים מהקרקע לאטמוספירה על ידי אידוי מהנוף (דיות או טורנספירציה) ועל ידי אידוי מפני הקרקע (אופורציה). הגורמים העיקריים המשפיעים על

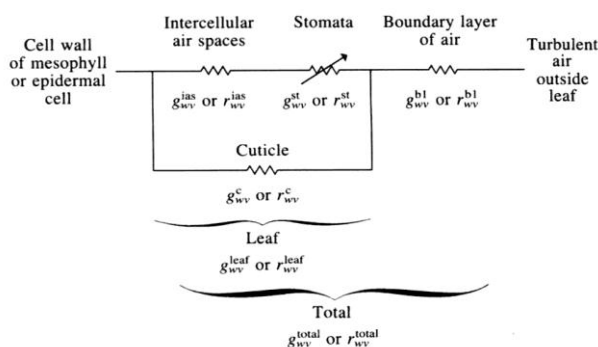
אוּפּוֹטְרַנספִירַצִיָה הֵם הַדְרִישָׁה הָאֶקְלִימִית, מוֹלִיכּוֹת הַפִּיּוֹנִיּוֹת, צוּרַת וְצִפִּיּוֹת הַנוֹף, וְהַשְׁקִיָּה (Allen et al, 1998). ישנן מספר שיטות לחישוב ET של הצמח (ET_c), במחקר הנוכחי ננקטה גישה ישירה, משמע מדידת צריכת המים האמיתית של הצמח, באמצעות ליזימטר עודפים (Drainage lysimeter), שהתקנתו ופרטי הטכניים תוארו בפירוט במאמרם של (Ben-Gal et al., 2002) ובעבודת הדוקטורט של ישי נצר (2011). היתרון בשיטת מדידה זו לעומת שיטות אחרות להערכת צריכת המים של הצמח הוא בכך שהוא מודד *in situ* את צריכת המים בתנאי שדה ולא בתנאים מבוקרים. החיסרון בליזימטרים הוא בעלות הגבוהה הכרוכה בבנייתם ובהפעלתם לאורך תקופה ממושכת דבר שעלול להגביל את מספר החזרות (Verstraeten et al, 2008). ET_0 הוא ערך מחושב של האוּפּוֹטְרַנספִירַצִיָה הַפּוֹטְנַצִיָּאלִית ממשטח היפותטי של דשא בגובה 12 ס"מ, בעל אלבדו (מקדם החזרת הקרינה של הנוף הצמחי) קבוע של 0.23. ET_0 מחושב על פי 4 מדדים מטאורולוגיים: שטף הקרינה, מהירות הרוח, טמפרטורה ולחות יחסית. בכל העולם וגם בישראל נהוג להשתמש בנוסאת פנמן-מונטיס לחישוב ET_0 (Allen et al., 1998).

מקדם הגידול K_c מחושב על פי הנוסחה: $K_c = ET_c / ET_0$ והוא מושפע בעיקר מהשלב הפנולוגי של הגפן (Allen et al., 1998; Doorenbos and Pruitt, 1977). קיימת קורלציה גבוהה בין K_c ל-LAI שהוצגה בספרות בגפן ובשעועית (Williams et al., 2003a; Netzer et al., 2009; de Medeiros et al., 2001). כמו כן, נמצא מתאם גבוה ($r^2=0.95$) בין ה- K_c לאחוז השטח המוצלל תחת נוף הגפן שנמדד בשעות הצהריים כאשר השמש מצויה בזניט או קרוב לכך (Williams et al., 2005). בשל גודל הנוף צריכת המים של גפן מאכל מהזן תומפסון סידלס קטנה יותר כאשר הם צעירים לעומת צריכת המים כאשר הם בני 4 שנים ומעלה (Williams et al, 2003a, 2003b). ככל הידוע לי, לא בוצעו ניסויי צריכת מים בגפנים תחת רשתות.

3.5 חילוף גזים

3.5.1 מוליכות פיוניות לאדי מים

נקבי הפיוניות תופסים בין 2% ל-6% משטח העלה אך קצב הטרנספירציה מהם זהה לקצב ההתאדות ממשטח מים ששטחו שווה ל-50% משטח העלה. היחס משתנה ככל שמהירות הרוח גדולה יותר (שכבת הגבול צרה יותר) (Ting and Loomis, 1965). המשמעות היא שזהו הגורם הפיזיולוגי בעל המשקל הכבד ביותר



איור מספר 2: המוליכות הכללית ומרכיביה השונים. בעקבות (Nobel, 2005).

בכל הקשור לחילוף גזים של העלה עם הסביבה. המוליכות הכללית g^{total} היא סכום מוליכויות העלה g^{leaf} ומוליכות שכבת הגבול g^{bl} . מוליכות העלה היא סכום מוליכות הפיוניות g_s ומוליכות החללים הבין-תאיים (איור מס' 2). מוליכות פיוניות לאדי מים נמצא כגורם בעל קשר טוב למצב המים של הצמח, ובפרט לפוטנציאל המים בעלה (Liu et al., 1978; Kriedemann et al., 1971).

התיאוריה המקובלת היא שסגירה של הפיוניות, בתגובה לעקת יובש הנקלטת בשורש ולייצור של חומצה אבציסית בעקבותיה (ABA), היא כנראה הסיבה הפיזיולוגית העיקרית לירידה בשטפי פוטוסינתזה באזורים יובשניים למחצה (Chaves, 1991; Medrano et al., 2002; Moutinho-Pereira, 2004).

בניסוי הצללה שנעשה בזיתים נמצא כי מוליכות הפיוניות תחת רשת 67% צל בזמן מחזור ללא השקיה היתה נמוכה ממוליכות הפיוניות בזיתים שלא הוצללו. לאחר מכן ניתנה מנת מים ונמדדה שוב מוליכות הפיוניות, ושם המגמה התהפכה: מוליכות הפיוניות שנמדדה בזיתים המוצללים היתה גבוהה מזו של הזיתים החשופים לשמש (Sofa, 2009). לצמח ישנו "קונפליקט" תמידי בין הצורך בייצור סוכרים ע"י קיבוע פחמן לבין הצורך לשמור על מאזן מים תקין. צמחים ממינים שונים מתנהגים באופן שונה בעניין משק המים. שמירה על גבול תחתון של פוטנציאל המים בצמח על ידי הקטנה של מפתח הפיוניות נקראת התנהגות איזוהידרית. בניגוד לה ישנה התנהגות אנאיזוהידרית ובה הצמח מותיר את הפיוניות פתוחות ומקבע פחמן על אף ירידת פוטנציאל המים לרמות נמוכות שיכולות להביאו להתייבשות. במאמר סקירה של Chaves et al., 2010 העוסק בגפנים תחת השקיה בחסר, מציינים החוקרים התנהגות אופיינית של זני ענבים שונים, בהם 'תומפסון סידלס' המתואר כזן אנאיזוהידרי (Williams and baeza, 2007) ו'סולטנינה' כזן איזוהידרי (Paranychianakis et al., 2004). יצוין בעניין זה כי על פי החוק הפדראלי האמריקאי (USA Code of Federal Regulations, 2003) 2 השמות הללו הם שמות נרדפים לאותו זן. בישראל נהוג לקרוא 'תומפסון סידלס' לסולטנינה שקיבלה טיפול בג'יברלין להגדלת פרי ו'סולטנינה' לגפן שלא עברה טיפול (שיחה עם אייל רבן, ממ"ר גפן בשה"מ).

3.5.2 קצב קיבוע פחמן ופלורסנציה של כלורופיל a

אור הוא הגורם הסביבתי המשפיע ביותר על שטף הפוטוסינתזה בצמחים (Van zyl, 1987). ברמות קרינה נמוכות האור יהיה הגורם המגביל וכ-80% ממנו ינוצל לפוטוסינתזה. לעומת זאת ברמות קרינה גבוהות ישנה השפעה שלילית על פוטוסינתזה. ישנן מספר עדויות המראות כי לקרינה עודפת ישנה השפעה שלילית על שטפי פוטוסינתזה בצמחים רבים (Powels, 1984; Long et al., 1994) ובגפן בפרט (Bertamini and Nedunchezian, 2003; Correia et al., 1990). קרינה עודפת מביאה למצב של ירידה בשטפי הפוטוסינתזה בצהרי היום (Midday depression) (Chaves et al., 1987; Correia et al. 1990). ישנן סיבות אפשריות נוספות ל-Midday depression שתוארו בספרות כגון: עליה בגירעון לחץ האדים בין העלה לסביבה (VPG) (Pathre et al., 1998), טמפרטורה גבוהה (Singh et al., 1996), עיכוב כתוצאה מהיזון חוזר של רמות סוכר גבוהות בעלה (Chaumont et al., 1994) וכמובן ירידה במוליכות הפיוניות הגורמת לירידה בריכוז ה- CO_2 בחללים הבין-תאיים (c_i) וכתוצאה מכך לירידה בשטפי פוטוסינתזה (Yu et al., 2009). במקרים אחרים, ישנו מצב בו ריכוז ה- c_i נותר גבוה, ולמרות זאת נראית ירידה בשטף הפוטוסינתזה עקב non-stomatal limitation (Correia et al., 1990; Sinha et al., 1997). מצב זה נגרם ככל הנראה עקב פגיעה בחלבוני מרכז הריאקציה של מערכת אור 2. במצבים כאלו ניתן לצפות לשטפי פוטוסינתזה נמוכים מהרגיל ולהחזרה פלורוסנטית גבוהה יותר. פלורסנציה של כלורופיל a היא אחת השיטות למדוד את היעילות הקוונטית של מערכת אור 2 (PSII), כך ניתן להבחין איזה חלק מהקוונטה הנבלעת של האור משמש לפוטוסינתזה (Maxwell and Johnson, 2000). לרוב, שטף הפוטוסינתזה בגפן הולך וגדל עם העלייה בטמפרטורת העלה

עד לאופטימום שנע בין 28°C ל- 32°C (Downton, 1987; Alleweldt, 1982; Kriedemann, 1968) ומטמפרטורה זו ואילך נראים שטפי פוטוסינתזה הולכים ויורדים, זאת בשל תלות בפעילות אנזימטית. גפנים בעלות שטפים גדולים של פוטוסינתזה יצברו יותר סוכר בעלים, ותיאורטית מצב זה אמור להוביל להגדלת היבול.

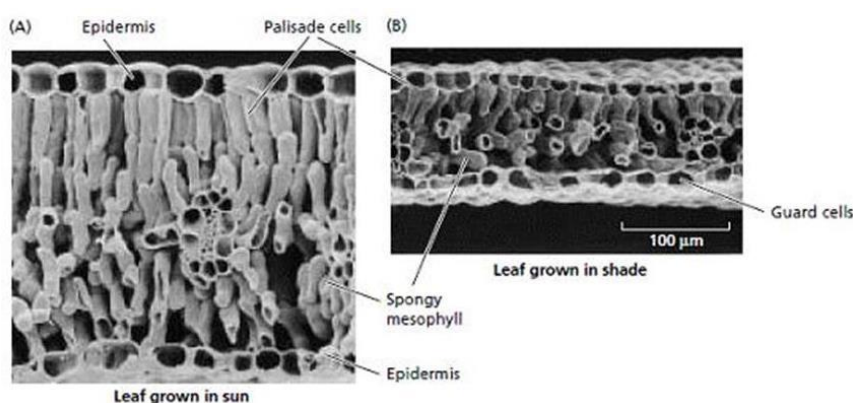
3.6 השפעות מורפולוגיות של הצללה

3.6.1 עלווה

הצללה כבדה של הנוף מובילה לתגובה פיזיולוגית המכונה 'shade-avoidance syndrome' ברוב המוחלט של הצמחים בעולם. הצללה על הצמח "מסמלת עבורו" נוכחות צמחים או עלים אחרים בסביבתו, מוערכת בעלה על ידי מדידת איכות וכמות האור הפוגע בו ומובילה לשינויים מורפולוגיים. צמחים מגיבים להצללה משמעותית בגדילה וגטטיבית מהירה של ענפים על חשבון פרישת עלים מלאה וייצור כלורופיל. לעתים מובחנת ירידה ביבול עקב ייצור קטן של פרחים (Hudson, 2007). לעומת זאת להצללה חלקית יש השפעות מורפולוגיות שונות, ברובן חיוביות: במחקר שנעשה ב-4 מיני עצי אורן מצפון אמריקה נמצא כי בתנאי 30% צל ריכוז הכלורופיל, קוטר הגזע ומשקל חומר יבש גבוהים מטיפול הביקורת תחת קרינה טבעית (Shafiqur et al., 1999). ככלל, אינדקס שטח העלה גבוה יותר בצמחים המוצללים חלקית אך לא נמצאו מחקרים עדכניים רבים בנושא זה.

מחקרים נוספים שעסקו בעובי עלים שגדלו תחת הצללה מראים כי עלי השמש עבים יותר מעלי הצל ב-40% יותר בחבלבל השדה (Gianoli et al., 2007), במחקר אחר נמדדה כמות השעווה הקוטיקולרית בעלי תפוח ונמצא כי עלים שגדלו בשמש ישירה מסוגלים לייצר עד פי 3 יותר שעווה לשטח עלה מאשר אלו שגדלו בחממה עם הצללה חלקית (Hunsche et al., 2004), מאידך אותו חוקר ביצע ניסוי דומה אך תחת רשתות נגד ברד, שם נמצא כי לא היה הבדל משמעותי בכמות השעווה לשטח עלה בין הטיפולים (Hunsche et al., 2010).

(Vanden-Heuvel et al., 2004) ביצעו ניסוי של השפעת הצללה חריפה בחממה בגפנים מזן שרדונה שנחשפו



ל-54, 10 ו-1% מהקרינה הפוטוסינתטית. שם נראה כי עובי העלה ירד תחת הצללה מממוצע של 1.8 מ"מ ל-1.1 מ"מ. הסיבה העיקרית להגדלת המשקל הספציפי של העלה (משקל ליחידת שטח) היא ייצור שכבות נוספות של תאי עמודים בעלי שמש על מנת להגדיל את ניצולת הקרינה הפוטוסינתטית (תמונה מספר 2).

תמונה מספר 2: אנטומיה של עלה ממשפחת הפרפרניים שגדל בתנאי תאורה שונים. התמונה צולמה בעזרת מיקרוסקופ אלקטרוני סורק ע"י T.Vogelmann. מתוך: Taiz and Zeiger, 1998.

(Taiz and Zeiger, 1998)

3.6.2 איכות פרי

קרנית שמש הפוגעת בפרי מומרת ברובה לחום (Smart and Sinclair., 1976). במידה והאשכולות חשופים לקרינה גבוהה המובילה לעלייה בטמפרטורת האשכול, ניתן להגיע לנזקי קרנית יתר ולירידה בריכוזי הסוכר והאנתוציאנין בפרי. בניסוי שנערך במטעי בנות בעמק הירדן (ישראלי וחוב', 2002) נמצא כי בחיפוי רשת ניתן להפחית את מנת המים ב-30% תוך פחיתה קטנה יחסית בגובה היבול, יתר על כן, חל שיפור באיכות הפרי וקיימת הגנה משמעותית על הנוף והאשכולות בפני רוחות (הן בעמק הירדן ובעיקר באזור חוף הכרמל והגליל המערבי). חיפוי מטעים נשירים משפר את משק המים של העץ ואת איכות הפרי בתפוח. תחת רשתות 16% ו-30% הובחנה עליה קלה ביבול אך לא מובהקת סטטיסטית, ונראה באופן ברור כי ישנה ירידה משמעותית באחוז "מכות השמש" (טנאי וחוב', 2004). משיחות עם מגדלים עולה כי רשתות צל משפרות את איכות הפרי ומעלות את אחוז הפרי המשוק לייצוא על ידי הפחתת "מכות השמש" על הפרי הנובעות מקרינה ישירה הפוגעת באשכולות. במקרים הקלים מובחנת הצהבה קלה של הפרי ובחמורים נראים כתמים חומים שמובילים בד"כ למופע לא רצוי ולרקבנות בפרי. הזן תומפסון סידלס אשר משמש אותנו למחקר נחשב כזן רגיש לפגיעות שמש, ויש שנים בהם היבול קטן משמעותית עקב אחוז גבוה של פרי לא ראוי לשיווק ("בררה").

3.6.3 השפעת הצללה על פוריות

ידוע, כי לעוצמת הקרינה הפוגעת בניצנים יש השפעה על ההתמיינות לפריחה ועל גודל היבול (Mullins, 1992). הראשונים שמצאו קשר בין עוצמת התאורה שפגעה בניצן לבין מידת ההתמיינות לפריחה היו (Antcliff, Webster and May, 1958) שראו בזן סולטנינה כי בניצנים הממוקמים גבוה יותר על הזמורה יש אחוז גבוה יותר של התמיינות לפריחה. לאחריהם הצטברו מספיק מחקרים אשר איששו את התיאוריה (Dry, 2000; Sommer et al., 2000). במחקר שנעשה בשנות ה-70 בזן סולטנינה שעסק במיקום הזמורות על השיח, נמצא כי בזמורות שהיו בחלק העליון והיו חשופות ליותר קרינה נמדד יחס פרי/זמורה גבוה יותר מאשר בזמורה תחתונה (May, 1976). בדרום אפריקה, הפרקטיקה המקובלת להפחתת יבולים בזני איכות היא עיצוב חלק מן הזמורות אחת מתחת לשנייה באופן כזה שתהיה הצללה הדדית. במחקר שנעשה בזן קברנה סובינון נמצא כי הצללה גרמה להפחתת יבולים של 30-50% בטיפולי ההצללה (Archer and Strauss, 1989). במחקר שנעשה בזמורות מנותקות של גפן נראה כי להצללה שהורידה את עצמת הקרינה ואת הטמפרטורה בסביבת הניצן יש השפעה סינגטית חיובית על מספר הפרחים לזמורה (Petrie and Clingleffer, 2005). נראה כי להצללה בזמן האביב המאוחר יש את האפקט הדרמטי ביותר על פוריות מאשר בתקופות מוקדמות או מאוחרות יותר בעונה (Srinivasan and Mullins, 1981). כאשר שטף הקרינה הפוטוסינתטית (PPFD) יורד ב-30% או יותר, ישנה השפעה גדולה ביותר על פוריות בגפן (Morgan et al., 1985). רוב המחקרים בנושא אינם עוסקים בהשפעות של הצללה קלה ואינם מכמתים את הגבול ממנו להצללה יש אפקט קריטי על פוריות הזמורות. לאור אלו, ישנו חשש של מגדלים מפני הצללת יתר והשפעתה על פוריות הגפן, וזאת לעתים ללא הצדקה.

4. מטרות העבודה

מטרת המחקר הנוכחי לבחון את ההשפעה של חיפוי כרמי ענבי מאכל ברשת צל על שינוי המדדים המיקרו-אקלימיים בכרם ועל מדדים פיזיולוגיים שעשויים להשפיע על הצמיחה, צריכת המים וגובה היבול. עלות חיפוי דונם כרם ברשת נעה בין 4000 ל- 5000 ש"ח. השאלה אותה שואל המגדל היא מהי המשמעות הכלכלית העשויה לנבוע מההשקעה.

לאור הממצאים ממחקרים בענפי מטע אחרים ובכרם, שאלות המחקר הם:

א. האם בתנאי ההשקיה המקובלים באזור לכיש החיפוי ברשת אכן משפר מדדים פיסיולוגיים שעשויים להשפיע על גובה היבול?

ב. האם חיפוי ברשת גורם לירידה בצריכת המים הנמדדת בליזימטרים בהשוואה לשנים קודמות לא מחופות.

ג. מאחר וגובה היבול בכרם נקבע במידה רבה על ידי פעולות אגרוטכניות כריסון הנוף ע"י "קיצוץ ירוק", דילול מספר האשכולות ודילול מספר הגרגרים, האם הגדלת יעילות ניצול המים (WUE) תתקבל ע"י הקטנת מנת המים בגובה היבול הנוכחי או על ידי שינויים אגרוטכניים שיאפשרו את הגדלת היבול בתנאי ההשקיה הנוכחיים.

5. חומרים ושיטות

5.1 אתרי הניסוי

5.1.2 מו"פ לכיש

31°36'15"N 34°47'26"E, 190 מ' מעל פני הים.



תמונה מס' 3: חלקת הליזימטרים במו"פ לכיש.
התמונה צולמה בתאריך 08/09/2008.

הגפנים בכרם במו"פ לכיש ניטעו בשנת 1997 (כיוון נטיעה צפון-דרום - 21°). מרחקי נטיעה 2X3.5 מטרים (143 גפנים בדונם). שיטת ההדליה היא ורנדה כפולה ע"ג קורדונים Double Veranda. במקום ניטע כרם בן 10 דונם אשר משמש למחקר בהשקיית קולחין ובצמוד לו הוצבו 13 ליזימטרים אשר נבנו ממיכלי פלסטיק בקוטר 1.23 מטר,

בעומק של 1.8 מטר, ובנפח של 1.6 מ"ק כל אחד. מילוי האדמה הראשוני היה כך שבמחצית מן הליזימטרים מולאה תערובת טוף, כבול וורמיקוליט ביחס שווה ובמחצית האחרת מילוי אדמה מקומית. בשנת 2003 חודשו ושופצו מיכלי הליזימטר 13-4 כך שכל ליזימטר מולא באדמה מקומית על פי חלוקת השכבות הטבעית. בתחתית הליזימטר הונחו 2 שכבות של צמר סלעים וביניהן חול סיני. ליזימטרים מספר 1-4 הושאר כפי שהיו כך שליזימטרים מספר 1,3 הם עם התערובת שצוינה לעיל וליזימטרים 2,4 מלאים באדמה מקומית. בכל ליזימטר נשתלה גפן בודדת מהזן סופריוור מורכב על גבי כנת 1103 (*V.berlandieri* x *V.rupestris*) Paulsen. ליזימטר מספר 13 הושאר ללא גפן על מנת למדוד את האידוי מפני הקרקע. בסמוך הוקמה מנהרה אליה זורמים מי הנקז של כל אחד מן המיכלים למיכלי ניקוז נפרדים. בכל בוקר במהלך העונה נשאבים מיכלי הנקז (כל אחד לחוד) ע"י משאבת ואקום וכמות הנקז מכל מיכל נרשמת.

נקז הליזימטרים נמדד בשנים 1999-2007 כשהוא מושקה במים שפירים. הגפנים מקבלות מים מחביות השקיה המונחות על גבי מתקן הגבהה. החביות ממולאות באופן ידני בכל יום במים ודשן 'גופר' 6-2-4 במיהול של 0.6 ליטר למ"ק.

משנת 2008 נפרשה על חלקת הליזימטרים רשת צל שקופה ("קריסטלי") המפחיתה את הקרינה בשיעור של 13% תוצרת פולישק.

5.1.3 מושב לכיש

34°49'57"E 31°34'59"N, 180 מ' מעל פני הים



תמונה מספר 4: צילום ממערב של החלקה המסחרית המחופה במושב לכיש.
התמונה צולמה בתאריך 05/04/2009

הכרם במושב לכיש הוא כרם מסחרי הנמצא בבעלות הכורם מרה אוזילבסקי והוא חלק מקואופרטיב "ענבי טלי". כיוון הנטיעה הוא צפון-דרום - 10° . מרחקי נטיעה 1.66×3.2 מטרים (כ-190 גפנים בדונם). חלקת הניסוי היא בת 12 דונם וניטעה בשנת 2002 בזן Thompson Seedless שהורכב על גבי כנת ריכטר 110 (*V.berlandieri* x *V.rupestris*). הכרם נזמר בכל אביב עד ל-12 זמורות + 2 מחליפים לצמח. שיטת ההדליה ורנדה כפולה (Double Veranda) ע"ג קורדונים מברזל. הכרם מושקה בטפטוף ומדושן באמון חנקתי 12% במהלך הבלבוב, במהלך העונה ניתן דשן "לכיש" ביחס NPK 2-2-10 (100 ליטר/דונם), לאחר הבציר דישון סתווי ביחס NPK 4-2-6 (25 ליטר/דונם). במהלך סתיו 2009 בוצעה בדיקת קרקע לחלקה. סוג הקרקע המקומית היא חרסיתית על גבול סיין חרסיתי בעלת אחוזים ממוצעים של 40.1% חרסית, 38.3% סיין ו-20.9% חול. כל הטיפולים האגרוטכניים מבוצעים כמקובל בכלל החלקות של ענבי טלי ובכללם טיפולים הורמונליים לדילול והגדלת גרגר, חילון, קיצוץ נוף ודילול אשכולות.

בשנת 2008 נפרשו רשתות צל שקופות, תוצרת 'פולישק', ניר יצחק (13% הפחתת קרינה) בגובה 3.5 מטרים בניצב לכיוון השורה (ראה תמונה מספר 4), כך שנוצרו בכל אחת מן השורות 3 חלקות מחופות בנות 2 דונם כל אחת (N_1-N_6), וביניהן חלקות ללא כיסוי רשת (S_1-S_6). נבחרו 2 שורות דגימה (שורות מספר 14,20) ובתוכן סומנו 6 גפנים במרכז כל חלקה. כל חלקה מכילה 6 צמחי גבול (3 מכל צד), ומשני צידיה שורות גבול. מבנה הניסוי הוא חד-גורמי, 2 טיפולים (עם רשת - N בלי רשת - S). ישנן 6 חזרות לכל טיפול ב-2 בלוקים.

5.2 חילוף גזים

נתוני חילוף הגזים שנמדדו במושב לכיש בוצעו כך שבכל יום מדידה נבחרו 3-5 עלי שמש מייצגים מכל חלקה, העלים הנבחרים היו פרושים באופן מלא, בעלי גודל אחיד, ובגיל פיזיולוגי דומה.

כלל נתוני הפוטוסינתזה אשר מוצגים בעבודה זו נתקבלו בעזרת 2 מכשירים תוצרת LI-COR Bioscience, ארה"ב:

א. פורומטר (LI-1600 Steady State Porometer) - מכשיר אשר מחשב ערכי מוליכות פיוניות ביחידות

של $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ומשתמש לשם החישוב במדידה ישירה של מדדים נוספים: טמפרטורת העלה, טמפרטורה ולחות יחסית בתא המדידה ועוד.

בפורומטר ישנה קולונה המלאה בגרגירי סיליקה גיל אשר סופחים לחות מאוויר העובר דרכה. בטרם היציאה לשדה, מיובשים הגרגירים עד ללחות יחסית של כ- 2%. על מנת לחשב את מוליכות הפיוניות לאדי מים בעלה מבוצע בכל מדידה ההליך הבא: הלחות היחסית אשר שוררת באתר המדידה נמדדת ומקובעת כלחות יחסית קבועה של תא המדידה. לאחר קיבוע זה, מוכנס עלה לתא אשר גורם לשינויים בלחות היחסית שקובעה קודם לכן. הדיות מהעלה לסביבה גורם לעליה בלחות היחסית בתוך התא. על מנת לפצות על השינוי בלחות היחסית, המכשיר משנה את קצב זרימת האוויר הנכנס אל תא המדידה באופן כזה שתישאר קבועה. חישוב הדיות מן העלה מבוצע על ידי הפחתת לחץ האדים בתא המדידה בלחץ האדים של האוויר הנכנס לתא, והכפלה שלהם ביחס של קצב זרימת האוויר לתא לשטח העלה הנמדד.

ב. LI-6400 – מכשיר זה פועל כמערכת פתוחה למדידה של חילוף הגזים של העלה. היחידה IRGA (Infra-Red Gas Analyzer) מסוגלת למדוד מולקולות מים (H_2O) ופחמן דו חמצני (CO_2) בצורה ישירה מבלי לקבע רמת לחות קבועה בתא. מדידת ריכוזי הגזים השונים מתאפשרת באמצעות הקרנת אור באורך גל ספציפי ומדידת עוצמת בליעתו. על גבי ראש המדידה ישנן 2 יחידות IRGA, האחת הינה ההיקש והשנייה מוצבת בתא המדידה בו שוהה באותו זמן העלה הנמדד. תוכנת OPEN המותקנת ביחידת הבקרה של המכשיר מבצעת את כל החישובים הנדרשים לקבלת ערכי קצב קיבוע פחמן, מוליכות פיוניות, ועוד. בתחילת כל יום מדידה המכשיר עבר קליברציה על פי הוראות היצרן (CheckList). כלל הנתונים מימי המדידה נשמרו ביחידת הבקרה של המכשיר ונפרקו אל המחשב לצורך עיבוד.

חישוב קצב קיבוע הפחמן במכשיר:

מחושב על פי (von Caemmerer and Farquhar, 1981). על מנת לחשב את שטף הפוטוסינתזה יש צורך

במספר פרמטרים המובאים בנוסחא:

$$A = \frac{CO_2R - CO_2S \times \frac{1000 - H_2OR}{1000 - H_2OS}}{S} \text{ Flow}$$

כאשר:

- CO₂R – ריכוז פד"ח בתא ההיקש ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol air}^{-1}$)
- CO₂S – ריכוז פד"ח בתא המדידה, בו שווה העלה ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol air}^{-1}$)
- H₂OR – החלק היחסי של פרקציית המים מתוך כלל האוויר בתא ההיקש ($\text{mmol H}_2\text{O mol air}^{-1}$)
- H₂OS – החלק היחסי של פרקציית המים מתוך כלל האוויר בתא המדידה ($\text{mmol H}_2\text{O mol air}^{-1}$)
- Flow – קצב זרימת האוויר לתאי המדידה וההיקש ($\mu\text{mol s}^{-1}$)
- S – שטח העלה המוכנס אל תא המדידה (ערך קבוע, 2 סמ"ר)

החלק הזה במשוואה הוא מרכיב הטרנספירציה:

$$\frac{1000 - H_2OR}{1000 - H_2OS} \cdot \frac{Flow}{S}$$

מדוע טרנספירציה מופיעה במשוואה? זהו תיקון מיהול – העלה מדיית מים אל תוך תא המדידה ולכן משנה את הריכוזים היחסיים של הפחמן הדו-חמצני (CO₂S).

$$g_s = \frac{1}{\frac{1}{g_{tw}} - \frac{k_f}{g_{bw}}} \quad \text{אופן חישוב מוליכות פיוניות לאדי מים:}$$

כאשר:

k_f – ערך שמעריך את היחס בין מוליכות הפיוניות בצד העליון למוליכות הפיוניות לצד התחתון של העלה (stomatal ratio)

g_{tw} – המוליכות הכללית של העלה לאדי מים ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). ניתן לומר (לאחר הזנחת מוליכויות

הקוטיקולה והמזופיל) כי היא מורכבת ממוליכות הפיוניות (g_s) + מוליכות שכבת הגבול (g_{bw}).

g_{bw} – מוליכות שכבת הגבול של העלה ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

שכבת הגבול של העלה היא האזור בו זרימת האוויר למינרית ולא טורבולנטית. הלחות היחסית, הטמפרטורה ומהירות הרוח שונים בשכבה זו לעומת השכבה הטורבולנטית. עובי שכבת הגבול יכול להשתנות והוא מושפע מ-2 פרמטרים: אורך העלה בכיוון זרימת האוויר ומהירות הרוח. במכשיר ישנה מהירות זרימה קבועה של אוויר אל תוך תא המדידה ובשל כך מוליכות שכבת גבול קבועה, וכך ניתן להפחיתה מן המוליכות הכללית ולקבל את מוליכות הפיוניות לאדי מים.

ערכים נוספים שנמדדים במכשיר: צמד חומני המצוי ע"ג ראש המערכת המודד ישירות את טמפרטורת העלה. באמצעות טמפרטורת העלה וטמפרטורת האוויר ניתן לחשב את לחץ אדי המים באוויר, את הלחות היחסית (RH) ואת ה-VPD – גירעון לחץ האדים. מחוץ ל-IRGA ובצמוד לה מותקן רגש Quantum sensor המודד את שטף הקרינה בטווח הפוטוסינתטי (400-700 nm).

יכולות טכנולוגיות אלו מקטינות את ההפרש בין תוצאות המדידה לבין המצב האמיתי של הצמח תחת התנאים השוררים בסביבה, ובנוסף, מאפשרות הגעה למצב שיווי משקל בתוך תא המדידה בזמן קצר יותר מאשר ב-LI-1600. החסרונות היחסיים במכשיר הם בסרבולו ובמורכבותו יחסית למכשירים אחרים.

ישנם מספר מדידות חילוף גזים שבוצעו בעבודה זו :

- א. מדידות מהירות- ההגעה לשיווי משקל מתחילת המדידה הייתה מהירה ככל האפשר, על מנת שהתוצאות המתקבלות יהיו קרובות ככל האפשר למצב הפיזיולוגי האמיתי אשר שרר בעלה המייצג. לשם כך, בטרם נמדד עלה, הושוו התנאים החיצוניים לאלו שבתא המדידה על ידי מעקב אחר הקרינה והטמפרטורה החיצוניות ומתן אוטומטי של ערכים זהים בתוך התא. הערכים העיקריים שנתקבלו ממדידה זו הינם קצב קיבוע הפחמן ומוליכות הפיוניות של העלה.
- ב. Light Curve – במדידה זו עלה מייצג מוכנס אל תוך תא המדידה. בתוכו, ערכי הפחמן הדו-חמצני, הטמפרטורה והלחות היחסית קבועים והמשתנה הבלתי תלוי הוא שטף הקרינה. הערך הנמדד הוא קצב קיבוע הפחמן. מטרת הניסוי היא לבחון את תגובת העלה לערכי קרינה משתנים, כאשר הטווח הוא $0-2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, על פי הסדר הבא :
- $2000 \rightarrow 1800 - 1600 - 1500 - 1300 - 1100 - 900 - 700 - 500 - 300 - 150 - 50 - 0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
- בכל ערך המכשיר ממתין להתייצבות של ערכי מוליכות הפיוניות וקצב קיבוע הפחמן, מבצע התאמה בין 2 יחידות ה-IRGA ואז מבצע קריאה.
- ג. מדידות פלורסנציה – בוצעו מדידות מהירות של הערך Φ_{PSII} – היעילות הקוונטית של PSII. ערך זה מייצג את החלק היחסי של הקוונטה מכלל האור הנבלע המנוצל לפוטוכימיה בעלה. המדידה בוצעה בעלי שמש במהלך היום (Light Adapted Leaf). ככל ששטף הקרינה גדל, גדלים באופן יחסי החלקים הדועכים כפלואורסנציה וכחום ביחס לחלק המועבר לפוטוכימיה. בשל כך, בוצעה מדידה זו ברמת קרינה קבועה של $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

ערכים נוספים שנתקבלו במדידה זו הינם :

Electron transport rate – ETR, הוא קצב הזרימה של האלקטרונים המניעים את מערכת אור 2

(PSII)

$$ETR = \Delta F / F_m' \times PPFD \times 0.5 \times 0.84$$

ETR מחושב לפי הנוסחה :

כאשר :

$\Delta F / F_m'$ – היעילות הפוטוסינתטית של PSII

PPFD – שטף הקרינה הפוטוסינתטית ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

הפקטור 0.5 מניח עירור זהה של PSI ל-PSII.

הפקטור 0.84 מביא בחשבון שרק חלק מן האור הפוגע במערכות האור מנוצל לפוטוסינתזה.

(אם נמדוד עלה תקין לחלוטין בסוף הלילה זהו הערך המקסימאלי האפשרי של Φ_{PSII} שניתן לקבל)

5.3 משק המים של הצמח

5.3.1 השקיה של הגפן בלכיש

ככלל, הגישה לגבי השקיית ענבי מאכל במושב לכיש היא מתן מים במרווחים קבועים וקצרים ולרוב בעודף. הכמות השנתית אליה מגיעים בחלקת התומפסון היא בין 600 ל-650 מ"ק לדונם. בכל חלקה הוצבו 2 טנסיומטרים, בהם נעזר החקלאי לקבל את ההחלטה האם להגדיל את מנת המים או לצופף את המרווחים. ערך הסף שנשמר בחלקה הוא 25 סנטיבר. במושב לכיש בתחילת העונה ניתנת מנה של 0.5 מ"ק לדונם אחת ליומיים, ובסוף העונה לקראת הבציר מגיע החקלאי עד ל-6 מ"ק לדונם ליום (ב-2 השקיות ליום). ההדשיה ניתנת בטפטוף, בצינור בקוטר 20 מ"מ, ומרווח של 30 ס"מ בין הטפטפות. בנוסף צינור הטפטוף כוסה בפס של בד פלריג בצמוד לקרקע על מנת לצמצם אידוי מפני הקרקע. ההשקיה הסדורה הינה על מנת להוריד את רמות הסידוק בפרי עד למינימום אפשרי. מיד בתום הבציר מפסיק החקלאי את ההשקיה היומית ועובר להשקיה עם מרווחים גדולים בין השקיה להשקיה.

5.3.2 שיטות למדידת מצב המים בצמח

על מנת להעריך את משק המים של הגפנים השתמשתי בכמה שיטות מדידה:

א. תא לחץ (Pressure Bomb) – מאפשר מדידת פוטנציאל המים הקסילמי של העלה והגזע (Scholander et al, 1965). עלה מייצג נקטף מכל צמח ומיד מוכנס אל תוך תא הלחץ – העיקרון הוא שהלחץ החיובי שעלינו להפעיל על מנת לגרום להופעת טיפת מים על החתך בקצה הפטוטרת שווה לתת הלחץ (השלילי) השורר בעצה המייצג את פוטנציאל המים בעלה (LWP). על מנת למדוד את פוטנציאל המים של הגזע יש לבחור עלה הקרוב לגזע ולכסותו בשקיות אלומיניום אטומות לאור ולהמתין כשעתיים עד להגעת פוטנציאל המים של העלה לשיווי משקל עם זה של הגזע (SWP). ערך זה נמדד פעם אחת במהלך יום המדידה בשעה 13:00 בצהריים (Mid Day Stem water potential) ונחשב כמדד אמין יותר למצב המים של הצמח.

בחלק מימי המדידה נמדד המהלך היומי של פוטנציאלי המים בעלים ובגזע בטיפולים השונים.

ב. לייזימטר עודפים (Drainage Lysimeter) – במהלך כל העונה החקלאית של הגפן, הנמשכת בין התאריכים 1 לאפריל ועד ל-31 באוקטובר (ימים יוליניים 304-91), נערכה מדידה של צריכת המים היומית של הגפנים הנטועות בליזימטרים. חושב ערך הצריכה הנמדדת ET_c . הגדרת ET_c על פי ה-FAO: אווטרנספירציה צמחית של גידול הגדל תחת תנאים סטנדרטיים. תנאים סטנדרטיים מתייחסים לצמח שגדל בשדה גדול תחת תנאי גידול והשקיה מיטביים וללא עקה (Allen et al., 1998). כל אחד מן הצמחים שגדלו בליזימטרים קיבל את מנת ההשקיה והדישון שלו מחבית השקיה סמוכה, אליה הוספה בכל יום, בשעות השחר, מנת מים שהועברה לצמח בטפטוף איטי, שתוכנן כך שהצמח יושקה במהלך מרבית שעות האור. מנת המים נעה במהלך העונה בין 30 ל-80 ליטר לצמח, ולכן הוספו טפטפות בספיקות הולכות וגדלות עם הגדלת מנת המים היומית.

בכל בוקר נמדד נפח מי הנקז (מי השקיה עודפים שלא נוצלו ע"י הצמח ולא התאדו מפני הקרקע) והנתונים הוזנו אל קובץ אקסל בו עובדו הנתונים. מנתוני צריכת המים האמיתית (ליטר לצמח) חושבה צריכת המים

ET_c בערכים של מ"מ (מ"ק לדונם) על ידי הכפלה במספר גפנים לדונם. ערכי ET_0 (התאדות פוטנציאלית מחושבת) מתקבלים מתחנה מטאורולוגית סמוכה המחשבת את ההתאדות על פי נוסחת פנמן מונטיס (Allen et al., 1998). בתחילת 2009 שונתה שיטת החישוב לזו שהוצעה ע"י (Walter et al., 2005). בעקבות המעבר לשיטת החישוב החדשה תוקן קובץ נתוני המדידה עד לעונת 2009 באמצעות פקטור מתאים. בכל 10 ימי מדידה במהלך העונה חושבו ממוצעי ET_0 , ET_c , ומתוכם חושב K_c על פי הנוסחה $K_c = ET_c / ET_0$ ונבנה עקום עונתי.

5.4 מדידת שטח עלווה בגפן

מדידות שטח העלווה בגפן התבצעו אחת ל-10 ימים בקירוב במהלך העונה. המכשיר בו נעשה שימוש הוא ה-SunScan System אשר דרך פעולתו תפורט בהמשך. לצורך קבלת תוצאות מהימנות המכשיר עובד בזווית שמש קטנות מ- 30° מהזנית. זוויות אלו קיימות בחלון זמן קצר יחסית באמצע היום בשעות שונות, על פי היום בשנה. חלון הזמן הרלוונטי לאותו היום חושב בעזרת תכנה סולארית אשר מוזנים לתוכה התאריך, קווי האורך והרוחב של הכרם וכך ניתן לקבל פלט של השעות היעילות למדידה בעזרת המכשיר. בנוסף, גם למכשיר בשטח מוזן המיקום העצמי וכך ניתן לבצע הצלבה של נתוני הפלט של התוכנה הסולארית יחד עם הנתונים שמתקבלים בשטח על ידי המכשיר.

SunScan Canopy Analysis System – בעזרת מכשיר זה ניתן לבצע מדידה בלתי הרסנית של אינדקס שטח העלווה (LAI) (Delta-T Devices, Cambridge, UK). היחידות אשר מוצגות בפרק התוצאות הינם מ"ר שטח עלווה למ"ר של קרקע אשר מעליה נמצא הגידול. המדידה בשטח מתבצעת על ידי 2 יחידות: האחת משמשת כהיקש ונקראת BFS (Beam Fraction Sensor) המודדת את קרינת ה-PAR האמיתית מעל הנוף. יחידה זו מוצבת על גבי חצובה בגובה של 4 מטרים באופן כזה שלא תהיה עליה הצללה משום גוף סמוך. בנוסף חובר ליחידה זו פלס בועה על מנת לשמור על ה-BFS מאוזנת.

SunScan Probe היא יחידה נוספת המודדת את האור המועבר דרך הנוף. ה-Probe הוא מעין שרביט באורך 1 מטר המכיל 64 סנסורי קרינת אור בטווח הפוטוסינטטי (PAR). 2 יחידות אלו מחוברות יחדיו למחשבון מדידה המחשב את ערך ה-LAI הנכון לאותה נקודה. המדידה מתבצעת ברוחב של סה"כ 4 מטרים תחת כל הצמח ובמרחקים שווים של 20 ס"מ כך שבסופה של מדידה מתקבל ערך ממוצע המייצג את ה-LAI של הצמח כולו.

בשנת 2004 בוצעה השוואה בין מדידה ישירה של שטח העלים לבין מדידת LAI באמצעות מכשיר ה-SunScan. ההשוואה בוצעה ע"י הסרות חלקיות של העלים כאשר לאחר כל אחת מהם בוצעה מדידת LAI באמצעות ה-SunScan. העלים שהוסרו הובאו למעבדה ושטחם נמדד באמצעות סורק שולחני תוצרת LI-COR (Nebraska, USA) מודל LI-3100, Area Meter. נתקבל מתאם גבוה $r^2 = 0.982$ בין שטח העלים הנמדד באופן ישיר באמצעות LI-3100 בעקבות כל הסרה לבין הערכים שנמדדו באמצעות ה-SunScan. ההשוואה הני"ל בוצעה במסגרת עבודת הדוקטורט של ישי נצר (2011).

5.5 מטאורולוגיה

בכל אתר מדידה הוצבו 2 תחנות מטאורולוגיות, אחת תחת הרשת כחצי מטר מעל לנוף והשנייה בעמדה דומה מחוץ לרשת. כל תחנה מטאורולוגית כללה: סוכה מטאורולוגית ובה מד לחות יחסית וטמפרטורה, משולב, מדי קרינה ומד מהירות רוח. בשנת 2010 במושב לכיש הוצבו צמדים חומניים למדידת טמפרטורת הקרקע. כל הרגשים חוברו לאוגר נתונים - Data Logger מדגם CR10 תוצרת Campbell Scientific, ארה"ב. בכלל הרגשים בוצעה קריאה מידי 60 שניות. בכל שעה עגולה בוצע מיצוע של הקריאות ורישום. במהלך עונת 2010 חוברו מערכות המדידה למסופים אלחוטיים תוצרת Cinterion, Germany מדגם TC35i ובתוכם SimCard של חברת אורנג'. חיבור המסופים לאוגרי הנתונים בכרם אפשר שליטה מהמעבדה באיסוף והעברת הנתונים מהכרם ובעקבות כך יכולנו להגביר את תכיפות הדגימות (המיצוע והרישום בוצעו אחת ל-10 דקות במקום אחת לשעה).

5.5.1 מהירות הרוח

מהירות הרוח נמדדה בגובה 3 מטר מעל הקרקע. הנתונים נתקבלו באמצעות אנמומטר כפות תוצרת R.M. Young מודל 03102 שחובר לאוגר הנתונים בחיבור Single ended. מהירות הרוח המינימאלית הדרושה להנעת הכפות עמדה במכשיר זה על 0.2 מטר/שנייה. להעברת היחידות מ- סל"ד למטר/שנייה הוכנס לחישוב מכפיל של 0.0125 כנדרש על פי הוראות היצרן.

5.5.2 קרינה

- א. מדי קרינה גלובלית הוצבו במושב ומו"פ לכיש החל משנת 2008 בגובה של 2 ו-3 מטרים מפני הקרקע (תחת הרשת, וללא רשת, בהתאמה). הרגשים הוצבו על צלחת לבנה מחזירת קרינה, ובצורה אופקית. כיפת הזכוכית של המכשיר נוקתה והמשטח פולס אחת לחודש. בתחילת כל עונה הוחלף סופח הלחות השומר מפני התעבות טיפות מים בתוך כיפת הזכוכית. מד הקרינה הוא מדגם CM-5 תוצרת Kipp and Zonen, Holland ובעל דיוק של 25 וואט/מ"י.
- ב. קרינת PAR – 2 מדי Quantum sensor תוצרת LI-COR (Nebraska, USA) דגם LI-190 הוצבו במושב לכיש החל מ- 19/9/2010 ומדדו את הקרינה הפוטוסינתטית תחת הרשת ומחוץ לה. הרגשים כוילו במשך 3 ימים בפקולטה לחקלאות האחד לשני ובהשוואה לרגש ביקורת שלישי.
- ג. קרינה נטו לא נמדדה באופן ישיר אלא חושבה באופן הבא:

חישוב קרינה נטו (R_N):

קרינה נטו (R_N) מוגדרת ככמות אנרגיית הקרינה הזמינה במשטח קרקע או באזור צמחי לצורך אידוי מים, חימום האוויר או הקרקע. קרינה נטו כוללת מרכיבים של קרינה קצרת גל (R_{ns}) וארוכת גל (R_{nl}):

$$R_N = R_{ns} - R_{nl}$$

כאשר:

R_{ns} – קרינה נטו קצרת גל ($MJ m^{-2} d^{-1}$) מוגדרת כחיובית כלפי מטה ושלילית כלפי מעלה.
 R_{nl} – קרינה נטו ארוכת גל ($MJ m^{-2} d^{-1}$) מוגדרת כחיובית כלפי מעלה ושלילית כלפי מטה.

$$R_{ns} = R_s - \alpha R_s$$

קרינה קצרת גל חושבה על פי:

כאשר :

α - אלבדו, או מקדם ההחזרה של הנוף הצמחי. ערך קבוע = 0.23 (ללא יחידות)

R_s - קרינה סולארית נכנסת ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), נמדדה באופן ישיר.

$$R_{nl} = \sigma f_{cd} (0.34 - 0.14\sqrt{ea}) T_K^4 \quad \text{קרינה ארוכת גל חושבה על פי :}$$

כאשר :

R_{nl} - קרינה נטו ארוכת גל ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

σ - קבוע סטפן בולצמן ($4.901 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

f_{cd} - פונקציית העננות (ללא יחידות) (מוגבלת ל $0.05 \leq f_{cd} \leq 1.0$)

e_a - לחץ האדים האמיתי (KPa), חושב מתוך מדידות הטמפרטורה והלחות היחסית באתר

T_K - טמפרטורה אבסולוטית של האוויר (K)

f_{cd} חושב על ידי הכנסת קווי האורך והרוחב באתר הניסוי, על מנת לחשב את זווית השמש ביחס לאופק. כמו כן הנחתי כי זווית הזריחה של השמש קטנה מ 17° באתר הניסוי (איזור שטוח-גבעי). בנוסף, באזורים מעל קו רוחב 50° ישנם חודשי חורף בהם משוואות חישוב ה- f_{cd} אינן מתקיימות בשל זוויות שמש נמוכות מדי, אך לא במקרה שלנו.

הגובה האבסולוטי של אתר הניסוי מעל פני הים נמדד לצורך חישובי הקרינה האבסולוטית בימים בהירים.

החישוב בוצע על פי נייר העבודה של ASCE

(Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers)

5.5.3 טמפרטורה ולחות יחסית

מדי לחות יחסית וטמפרטורה מתוצרת Rotronic, שוויץ מדגם MP100H הוצבו בכל סוכת מדידה. טווחי המדידה של מדי הטמפרטורה והלחות היחסית הם בתחום 40°C - ועד $+60$ ו $0-100\%$ בהתאמה. חישוב VPD בוצע עפ"י (Buck 1981) בתכנת האקסל ע"י חיסור לחץ האדים האמיתי מלחץ האדים ברוויה. במקרים בהם מוצג ΔC_w (Leaf to air vapour pressure difference) הוכנסה טמפרטורת העלה במקום טמפרטורת האוויר לחישוב לחץ האדים ברוויה. במהלך 2010 הותקנו צמדים חומניים למדידת טמפרטורת הקרקע בעומק 5 ס"מ מפני הקרקע. ההתקנה בוצעה ב-2 חלקות וחוברת ל-Data Logger. ככל הנראה בשל התיישנות הכבלים, לא נתקבלו תוצאות ראויות לפרסום.

5.6 המשקל הספציפי של העלים

המשקל הספציפי של העלה הוא מדד לעובי העלה ולצפיפות תאי המזופיל. מדידות המשקל הספציפי בוצעו מידי שבועיים לערך. שלוש דיסקיות עלים לחזרה נדגמו מכל טיפול מעלי שמש בוגרים בגיל פיסיוולוגי דומה. דסקיות בשטח של 3.8 סמ"ר נוקבו באמצעות מנקב דסקיות ייעודי. הדיסקיות נשמרו בצידנית מקוררת עד הגעתן למעבדה. במעבדה הם הועברו לצלחת פטרי על גבי נייר סינון רטוב למשך הלילה עד לחזרת הרקמה

ללחץ טורגור מלא. בבוקר שלמחרת העלים נוגבו משאריות נוזלים ונשקלו במשקל אנליטי תוצרת Sartorius, USA מדגם BL210S בעל דיוק של 0.1mg.

5.7 איכות פרי

במהלך בצירי 2008-2010 נלקחו דגימות פרי במושב לכיש להערכת מדדי איכות פרי. הערכים המוצגים בפרק התוצאות הינם ממוצע של 3 חזרות מכל טיפול, בכל חזרה נדגמו 100 גרגרים ממרכז האשכול, 50 מכל מפנה (מזרחי ומערבי). כל הדגימות נשמרו בתא קירור ונלקחו לאנליזה במעבדה. במעבדה נמדדו: משקל 100 גרגרים, קוטר גרגר, כלל מוצקים מסיסים (כמ"מ) ו-pH של התירוש הנסחט. קוטר הגרגר נמדד לרוחבו של הגרגר ובמרכזו על ידי קליבר אלקטרוני מדגם 75430 תוצרת SIGNET. משקל 100 של הגרגרים נמדד במשקל מדגם AJ-1200CE תוצרת Shinko Denshi, יפן. לאחר מדידות אלו הפרי נמעך עד לקבלת נוזל הומוגני, הנוזל סונן דרך נייר סינון והועבר למבחנות. את הנוזל דוגמים לקבלת כלל מוצקים מסיסים (כמ"מ) בעזרת מכשיר Sugar/brix Refractometer מודל 300010 תוצרת SPER SCIENTIFIC, סין. pH הנוזל נבדק ב-pH-meter מדגם PHM82 תוצרת Radiometer Copenhagen, דנמרק.

שקילות הפרי בשטח נעשו במשקל מדגם PRISMA3119P (עד 100 ק"ג, דיוק של 10 גרם). הופחתו משקלי הארגזים לחישוב משקל נטו של הפרי. פרי שהוגדר של ידי החקלאי כסוג ב' הושאר על גבי הגפן, נבצר ונשקל בנפרד.

במהלך שנים 2009-2010 בוצעה בדיקת צבע פרי באופן הבא: הפרי נאסף באופן שווה משני המפנים (מזרחי ומערבי). נאספו סה"כ 300 גרגרים מכל טיפול ב-6 חזרות שונות. הגרגרים שצבעם נמדד נדגמו מהצד החשוף לשמש וצבעם נקבע באמצעות מצלמה מדגם CR-300 תוצרת Minolta, Japan. בפרק התוצאות מוצגת זווית הצבע h עפ"י סולם הצבעים hue.

5.8 פוריות זמורות

בתאריך 19/01/2009 נלקחו זמורות חד שנתיות מהחלקה בלכיש לבדיקת פוריות הניצנים. הזמורות נלקחו במהלך התרדמה של הגפן, טרם הזמירה. מכל חלקת משנה נלקחו 2 זמורות בנות 10 ניצנים. במהלך הלילה נשמרו הזמורות בקירור, בשקיות אטומות ולחות, עד להגעתן לבדיקה. הבדיקה בוצעה על ניצנים 2,4,6,8,10 לנוכחות אקריות פקע ולספירת כמות תפרחות. נבדקו 60 ניצנים מכל טיפול ובסה"כ 120. הבדיקה בוצעה על ידי מעבדת שירות השדה בצמח.

6. תוצאות

6.1 מטאורולוגיה

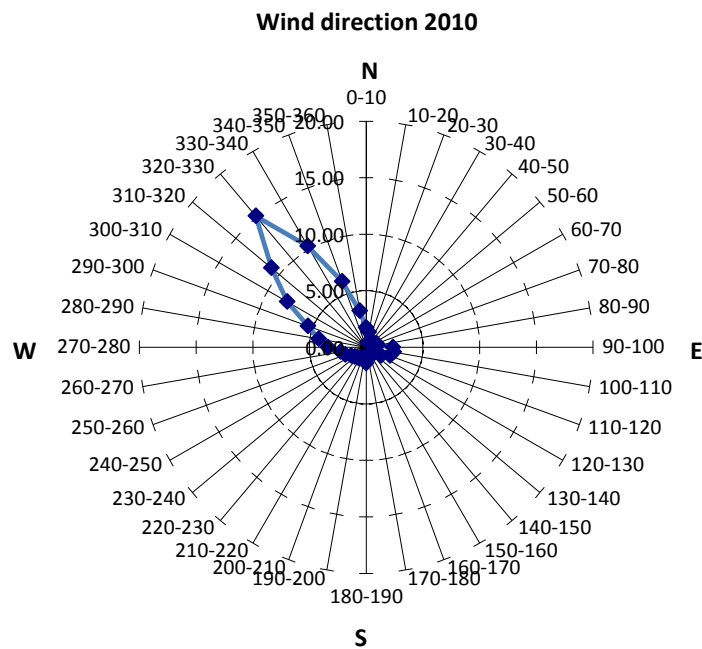
6.1.1 מהירות הרוח

תכנון הניסוי התבסס על ההנחה כי חיפוי חלקות כרם בגודל 20×100 מ' עשוי לייצג באופן אמין את התנאים המטאורולוגיים ששוררים בכרם מחופה ששטחו גדול יותר.

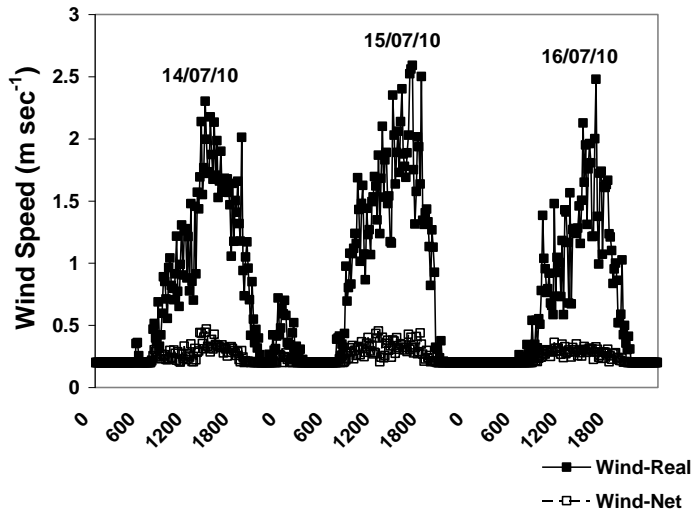


תמונה מספר 4: צילום של החלקה במושב לכיש. התמונה מצולמת ממסוק מכיוון דרום-מזרח, כיוון השורות הוא צפון-דרום. הרשת פרושה בניצב לכיוון השורות (מזרח מערב), אורכה 100 מטר ורוחבה 20 מטר. מיקומו של מכשור המדידה המטאורולוגי מסומן בחיצים, כ-30 מטר מתחילת השורה ו-60 מטר מקצה החלקה בניצב לכיוון השורות.

באיור מספר 3 מוצגת התפלגות כיווני הרוח בעונת 2010. האזימוט הממוצע של כיוון הרוח הוא 260° , באופן שכיוון הרוח לרוב מקביל לציר האורך של הרשת כלומר בקירוב ממערב למזרח.



איור מספר 3: כיוון הרוח כפי שנמדד בתחנה המטאורולוגית הסמוכה למו"פ לכיש. בגרף מוצג המשקל היחסי (ב-%) של הכיוונים השונים (במעלות) מהם נשבה הרוח.

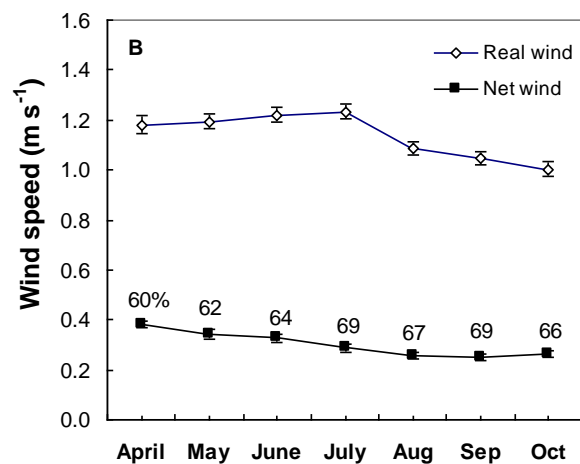
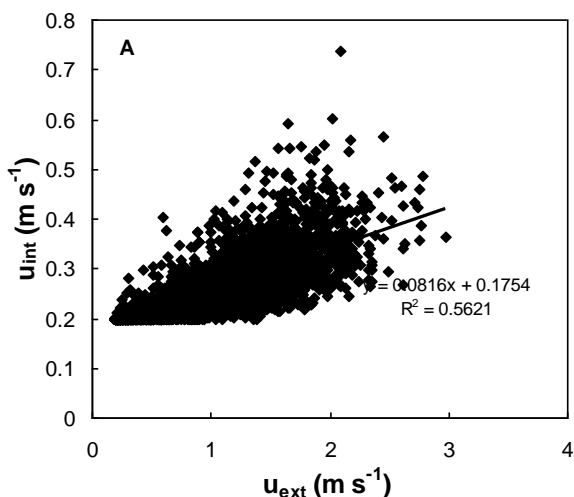


איור מס 4: מהירות הרוח בגובה 3 מטרים מעל פני הקרקע, כחצי מטר מעל הנוף בכרם מחופה רשת ובכרם חשוף במשך שלושה ימים מייצגים 14-16/7/10. ניתן לראות שבכרם המחופה מהירות הרוח נמוכה יותר בכל שעות היום.

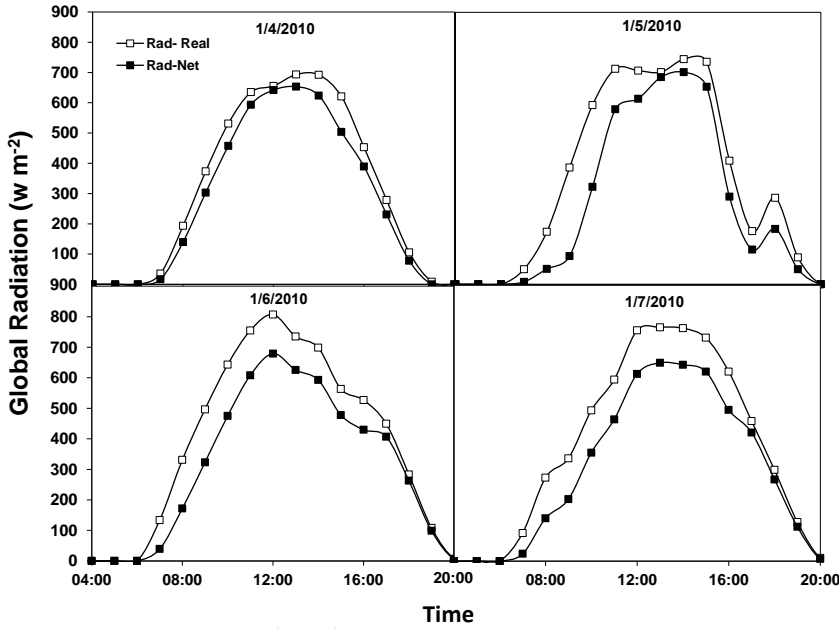
המדד המטאורולוגי שהושפע באופן המשמעותי ביותר מפרישת הרשת הוא מהירות הרוח. מהירות הרוח נמדדה בגובה של 3 מטרים מעל פני הקרקע וכחצי מטר מעל הנוף ומוצגת באיורים 3 עד 5. באיור מספר 4 מוצגים 3 ימים מייצגים של מהירות הרוח בחלקות שאינן מכוסות רשת (Wind real) לעומת החלקות מחופות הרשת (Wind net). מהירות הרוח מגיעה לשיאה בין השעות 14:40 ל- 15:00. במרבית הלילות מהירות הרוח הייתה מתחת לסף המדידה.

מהירות הרוח העונתית הממוצעת עמדה על 1.14 מ' לשנייה, בעוד שתחת הרשת הממוצע עמד על 0.3 מ' לשנייה. ערכי השיא אליהם מגיעה הרוח מחוץ ותחת הרשת היו 3 ו-0.7 מ' לשנייה בהתאמה (איור מספר 5A).

במהלך שעות היום (07:00-19:00) הרשת הפחיתה את מהירות הרוח ב- 65.4% במוצע. באיור מספר 5B מוצגים הממוצעים החודשיים של מהירות הרוח בכרם החשוף (Real wind) לעומת זו שנמדדה תחת הרשת (Net wind). בנוסף מוצג אחוז ההפחתה החודשי של מהירות הרוח. שגיאת התקן של ממוצע מהירות הרוח החיצונית עומדת על 0.03 לעומת 0.014 תחת הרשת, ולפיכך הרשת מקטינה את השונות הנמדדת של מהירות הרוח.



איור מס' 5: A- הקשר בין מהירות הרוח בחלקה החשופה u_{ext} לזו של המחופה u_{int} . מהירות הרוח נמדדה מדי שעה בשעות היום 07:00-19:00. מתחת למהירות רוח של 0.2 m sec^{-1} לא בוצעה מדידה. B- הממוצעים החודשיים של מהירות הרוח בשעות היום בגובה 3 מטרים מעל הנוף בטיפול החשוף ובטיפול המחופה. הערכים המופיעים בסמוך למהירות הרוח בטיפול המחופה מציגים את ה- % שבו פחתה מהירות הרוח תחת הרשת במשך עונת 2010. הרוח נמדדה באננומטר 3-כפות מודל 03102 תוצרת R.M. Young, USA.

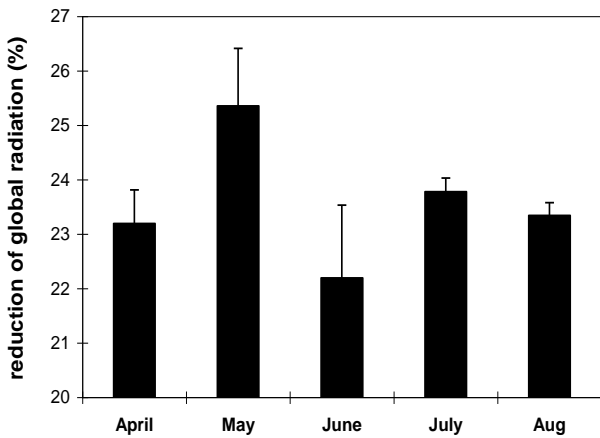


איור מס' 6 : מעקב שעתי אחר הקרינה הגלובאלית בכרם תחת חיפוי רשת (ריבועים שחורים) וכרם חשוף (ריבועים לבנים) בארבעה מועדים מייצגים במהלך עונת 2010.

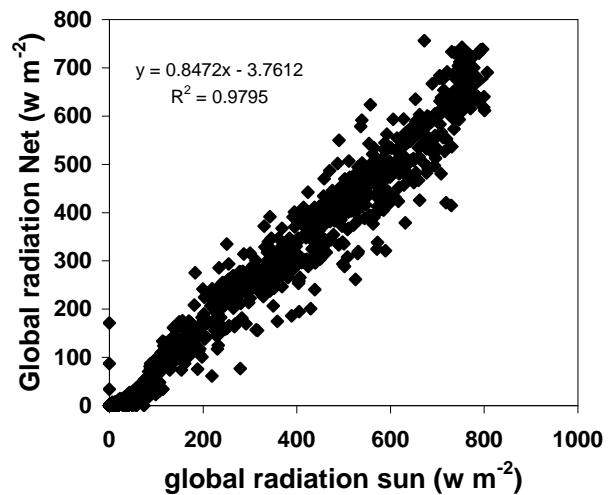
6.1.2 קרינה

שטפי הקרינה מוצגים באיורים 6 עד 11. באיור מספר 6 מוצג שטף הקרינה הגלובלית ב- 4 ימים מייצגים, מחוץ לרשת לעומת תחת הרשת. בעונת 2009 ההפחתה הממוצעת הייתה בשיעור של 15.3% (איור מספר 7, חושב מתוך נוסחת הקו) והמגמות שתוארו בימים המייצגים מעונת 2010 דומות לאלו של 2009. ההפחתה המרבית בשטף הקרינה עמדה על 23.58% בממוצע לעונת 2010 ועל 30% בשולי היום.

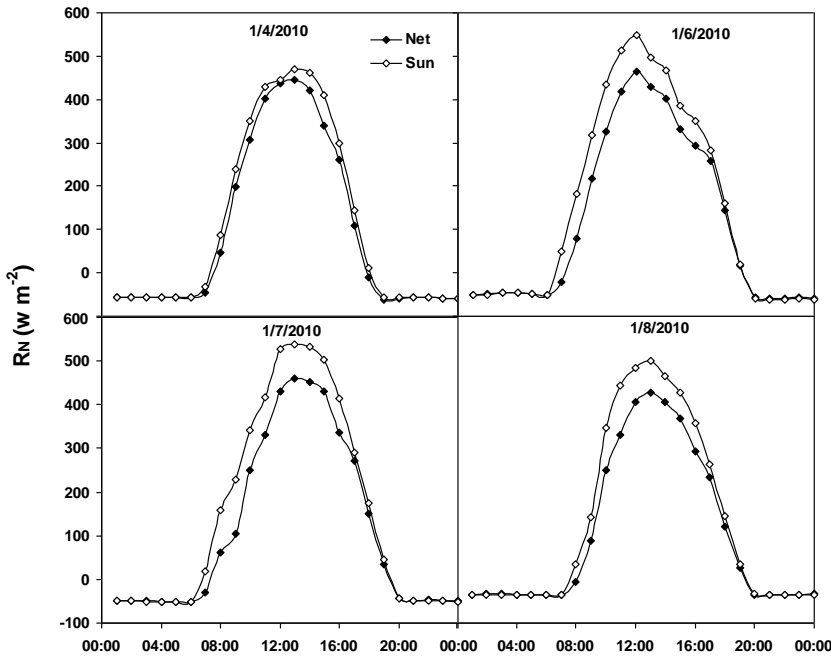
איור מספר 8 מציג את שיעור הפחתת הקרינה הגלובלית בכל אחד מחודשי עונת הגידול 2010. ההפחתה היא בין 22.2% ל- 25.3% בחודשים השונים. ככלל לא נתקבל הבדל מובהק במידה שבה פחתה הקרינה תחת הרשת בחודשים השונים.



איור מס' 8 : האחוז הממוצע שבו פחתה קרינה גלובלית במהלך חודשי עונת הגידול 2010.



איור מס' 7 : קרינה גלובלית מחוץ לרשת (ציר ה-Y) מול קרינה תחת הרשת בציר ה-X במהלך עונת 2009. הנתונים נאספו ע"י מד קרינה מדגם CM-5 תוצרת Kipp and zonen, Holland.



איור מס' 9 : קרינה נטו מחושבת ב-4 מועדים מייצגים. לצורך חישוב הנתונים הוכנסו מספר מדדים לחישוב האופוטורנספירציה המחושבת שנכתבה בהתאם לנייר העבודה של ASCE . Walter et al, 2005)

ערכי קרינה נטו המוצגים באיור 9 חושבו מערכי הקרינה הגלובלית שנמדדו בתחנות המדידה בכרם. אופן החישוב מוצג בפרק השיטות 5.5.2.

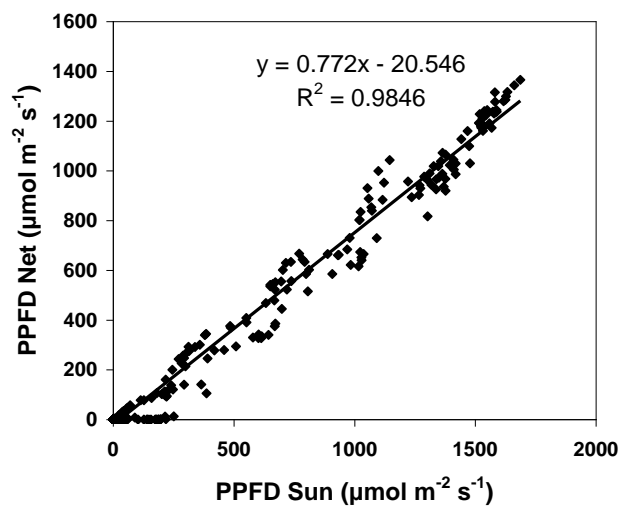
היחס בין שטפי הקרינה נטו בכרם החשוף והמחופה דומה ליחס בין שטפי הקרינה הגלובלית.

בלילה חושבה קרינה נטו שלילית שמגיעה למינימום של -60 וואט/מ"ר ודומה בין 2 הטיפולים.

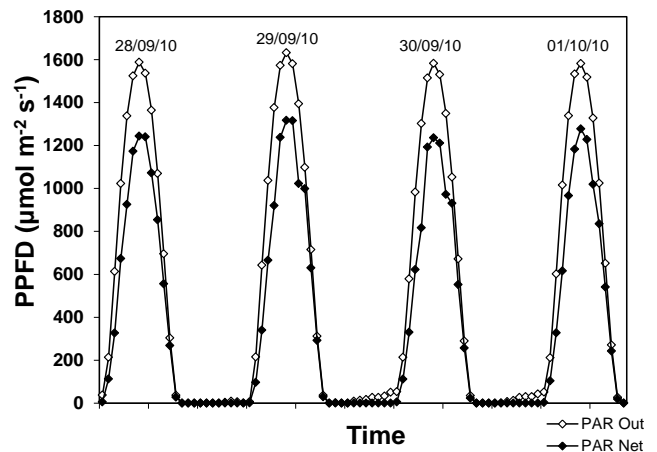
קרינה בתחום ה- PAR נמדדה בסוף עונת 2010. איור מס' 10 מציג מהלך של 4 ימים עוקבים בסוף חודש אוקטובר 2010.

ההפרש המרבי בשטף הקרינה הפוטוסינתטית בין הכרם החשוף למחופה נמדד בין השעות 09:00-10:00 ועמד על $450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. ההפרש הממוצע לכל תקופת המדידה בין הכרם החשוף למחופה עמד על $64.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ואחוזו ההפחתה עומד על 12.6%.

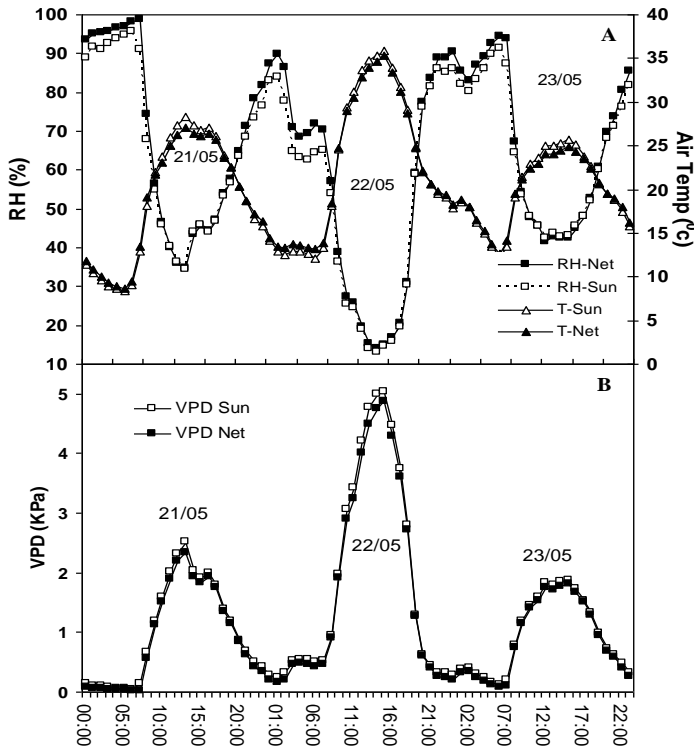
השפעת הרשת על PAR מוצגת באיור מס' 11. קיים מקדם מתאם גבוה של 0.98 בין שטף הקרינה הפוטוסינתטית שנמדדה במהלך היום בכרם החשוף ובמחופה. על פי נוסחת קו הרגרסיה שטף הקרינה הפוטוסינתטית נמוכה תחת הרשת ב-23% בממוצע לעומת השטף בכרם החשוף. נתון זה דומה מאוד למידת ההפחתה בקרינה הגלובלית (23.58% הפחתה בממוצע בעונת 2010).



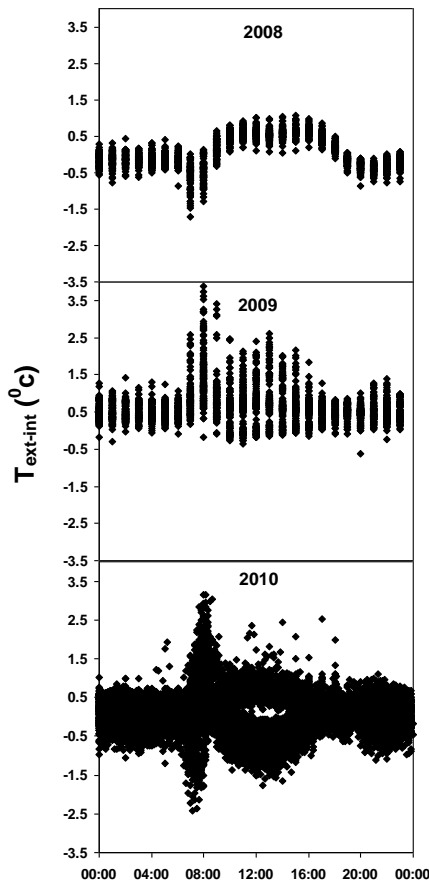
איור מס' 11 : קרינה בטווח הפוטוסינתטי תחת הרשת (PPFD Net) אל מול הקרינה הטבעית (PPFD Sun) בין התאריכים 19/9-31/10 בשנת 2010



PPFD - Photosynthetic Photon flux : איור מס' 10 : density 4-תאריכים עוקבים במהלך 2010. הקרינה הפוטוסינתטית נמדדה ע"י Quantum sensor מדגם LI-190 תוצרת Licor, ארה"ב. הסנסור הותקן בגובה 3 מטרים מעל פני הקרקע.



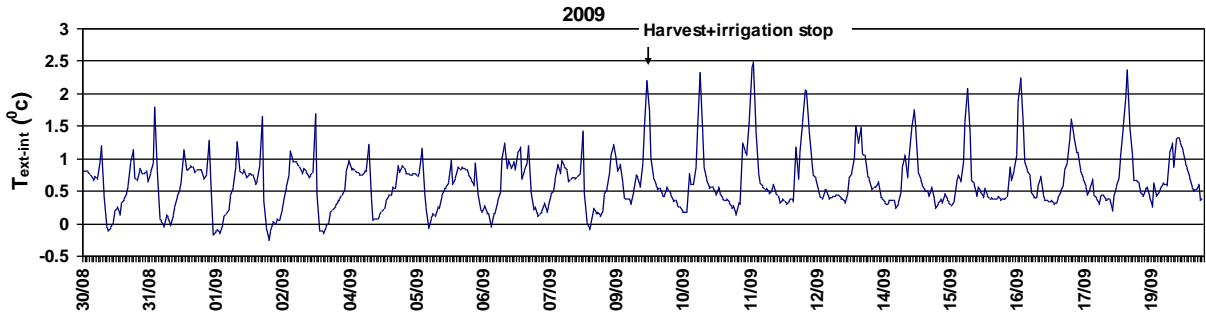
איור מס' 12: הטמפרטורה והלחות היחסית בכרם במושב לכיש בגובה 2 מטרים מעל פני הקרקע במשך 3 ימים מייצגים 14-16.05.2010. (A) גרעון לחץ האדים המחושב (VPD) באותם תאריכים (B). הלחות היחסית נמדדה בגשש לחות וטמפרטורה תוצרת Rotronic, Switzerland.



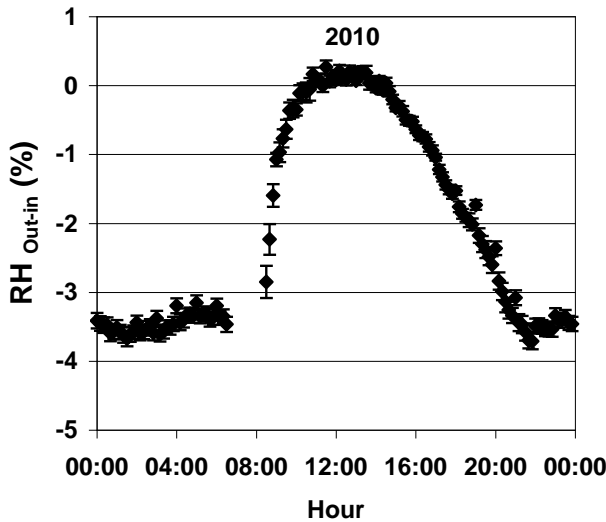
6.1.3 טמפרטורה ולחות יחסית
 הטמפרטורה והלחות היחסית הושפעו מפרישת הרשת האופקית במידה פחותה, יחסית למהירות הרוח ושטף הקרינה. באיור מספר 12 מוצג המהלך היומי של שינוי הטמפרטורה והלחות היחסית (A) ו-VPD (B) בשלושה ימים עוקבים. באיור מספר 13 מוצג ההפרש בין טמפרטורת האוויר שנמדדה מעל חלקה חשופה לשמש ובין החלקה המחופה ברשת, בכל שעות היום. בשנת 2008 נראה כי ההפרש המרבי בטמפרטורה בכרם החשוף לעומת הכרם המחופה הוא 1°C . ההפרש המרבי בין הטמפרטורה בכרם החשוף לכרם המחופה עמד בעונת 2009 על 2.5°C ובעונת 2010 על 1.5°C . ריבוי הנקודות בשנת 2010 נובע ממעבר למדידה כל 10 דקות במקום כל שעה. משנת 2009 נמדדה הטמפרטורה בגשש חדש, רגיש יותר ובשנים אלו נראים הבדלים גדולים יותר. בתוצאות המדידה של עונות 2009 ו-2010 ניתן להבחין באנומליה מסוימת במדידות שבוצעו בשעה 8 בבוקר שנובעת ככל הנראה מהצבה לא נכונה של הגשש.

מעקב אחר המהלכים היומיים של הטמפרטורה בעונת 2009 מגלה כי קיים הבדל בולט בין המהלך היומי בעשרת הימים שלפני הבציר לזה של עשרת הימים שלאחר הבציר (איור 14). החל מיום הבציר הכורם הפחית את ההשקיה עד למינימום ועבר מהשקיה יומית להשקיה אחת לשבוע. נראה לראות כי טרם הפסקת ההשקיה ההבדלים בטמפרטורת האוויר בין הכרם החשוף למחופה נעים בין 0 ל- 1.5°C ולעומת זאת לאחר הפסקת ההשקיה הפרש הטמפרטורות גדל ומגיע ל- 2.5°C .

איור מס' 13: ההפרש בין טמפרטורת האוויר בחלקה החשופה לטמפ' האוויר מעל החלקה המחופה ברשת. בציר ה-X מוצגת השעה. החישוב נעשה בעונות 2008-2010 במושב לכיש בעזרת גשש לחות וטמפרטורה תוצרת Rotronic, Switzerland.



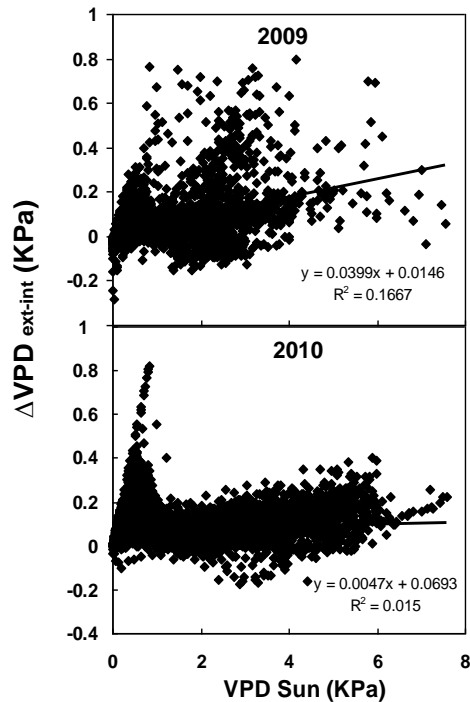
איור מס' 14: הפרש טמפרטורת האוויר בין המדידה מחוץ לרשת לעומת תחת הרשת במהלך חודש הבציר והפסקת ההשקיה. מוצגים 10 ימים לפני ואחרי הפסקת ההשקיה שהתרחשה ב-9/9/2009. הנתונים נאספו במושב לכיש בעזרת גשש לחות וטמפרטורה תוצרת Rotronic, Switzerland.



איור מס' 15: ההפרש בין הלחות היחסית האמיתית לבין הלחות שנמדדה תחת הרשת בעונת 2010 בכל שעות היום. כל נקודה היא ממוצע של 110-175 מדידות שנערכו במהלך העונה.

המהלך היומי של ההפרש הממוצע בין הלחות היחסית מחוץ לרשת לבין הלחות היחסית תחת חיפוי הרשת בכל הימים בעונת הגידול 2010 מוצג באיור מספר 15. ערכים שליליים מציינים לחות יחסית גבוהה יותר תחת הרשת מאשר מחוץ לרשת. ניתן לראות כי בשעות הלילה הלחות היחסית תחת הרשת הייתה כ-3.5% גבוהה לעומת הלחות היחסית שנמדדה בכרם החשוף. במהלך שעות היום ההפרש קטן ומגיע להבדל זניח של 0.2% השעות 06:30-08:30 הושמטו בשל קריאות חריגות שנובעות מהצבה לקויה של הסוכה המטאורולוגית.

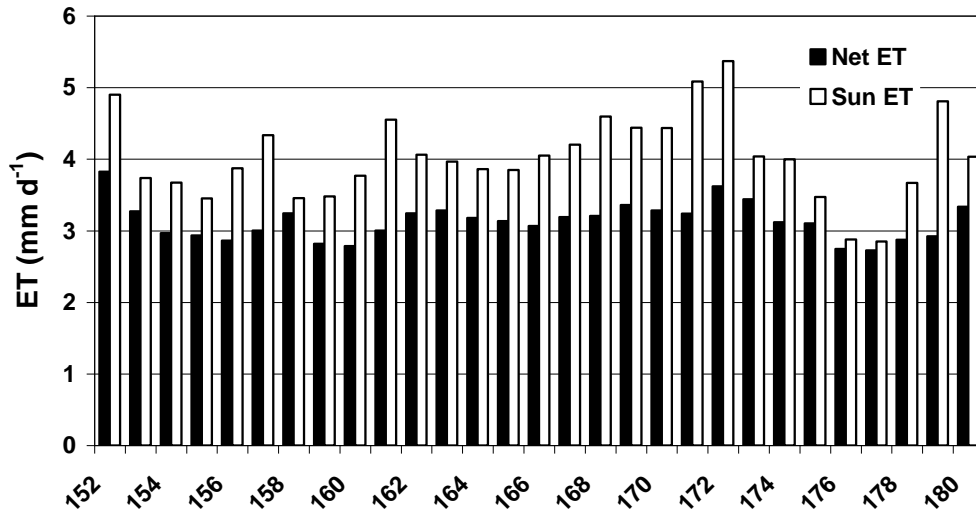
ממוצע הפרש הלחות בין שני הטיפולים עמד בשנת 2010 על 2.24%. הקשר בין VPD לבין ההפרש בין ה-VPD החיצוני ל-VPD תחת הרשת מוצג באיור מספר 16. נראה כי כאשר VPD גבוה מ-2kPa ההפרש בין VPD מחוץ לרשת לזה שנמדד תחת הרשת אינו עולה בד"כ על 0.3 kPa בעונת 2010. ההפרש בין ערכי ה-VPD החיצוני לפנימי היה גדול יותר בעונת הגידול 2009.



איור מס' 16: ההפרש בין ה-VPD המחושב מחוץ לרשת ותחת הרשת אל מול ה-VPD האמיתי.

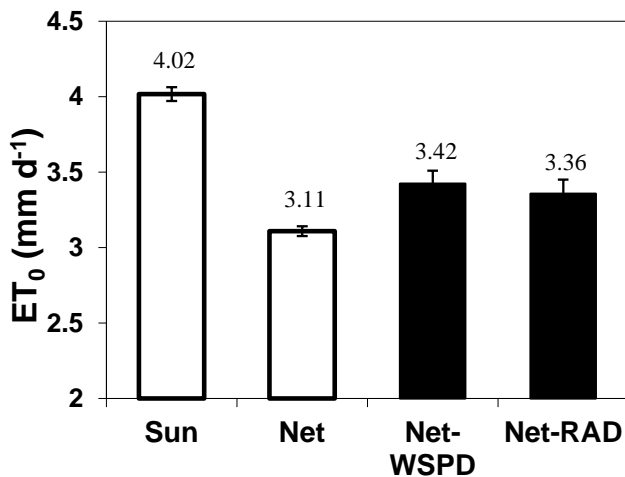
6.1.4 התאדות מחושבת

האופוטורנספירציה הפוטנציאלית המחושבת על בסיס נוסחת Penman-Monteith ותוקנה על פי ASCE, חושבה על פי המדדים שנרשמו בתחנות המטאורולוגיות שבאתר הניסוי. במהלך כל העונה ההתאדות המחושבת על פי המדדים שנקראו בחלקה החשופה גבוהה יותר מההתאדות שחושבה תחת הרשת. הממוצעת בחלקות החשופות עומדת על 4.01 מ"מ ליום לעומת 3.1 מ"מ ביום תחת הרשת, כ-30% יותר. באיור מספר 17 מוצגים ערכי ET_0 לחודש יוני בלבד.



איור מס' 17: התאדות פוטנציאלית ET_0 במהלך חודש יוני 2010 תחת הרשת (Net) ובחלקה החשופה (Sun). החישוב עפ"י נוסחת Penman-Monteith מתוקנת עפ"י ASCE.

הערכים הממוצעים של ET_0 מחוץ ומתחת לרשת מוצגים בעמודות הלבנות באיור 18. ההפרש הממוצע בין ET_0 מחוץ לרשת לבין ערכו תחת הרשת עומד על 0.91 mm d^{-1} . על מנת לבחון את ההשפעה היחסית של מהירות הרוח, קרינה נטו, טמפרטורה ולחות יחסית על ערכו של ET_0 תחת הרשת חושב



איור מס' 18: ממוצע אופוטורנספירציה מחושבת בחלקות החשופות (Sun), בחלקות המחופות (Net), התאדות תחת הרשת עם נתוני מהירות רוח של החשוף (Net-WSPD), והתאדות תחת הרשת עם נתוני עוצמת הקרינה של הטיפול החשוף לשמש (Net-RAD).

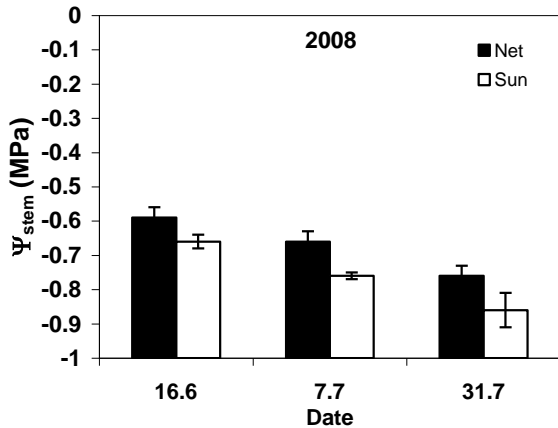
פעם נוספת באופן שכל אחד מהמדדים הרשומים למעלה הוחלף בערכו מחוץ לרשת.

החלפת הערך של מהירות הרוח תחת הרשת במהירות הרוח מחוץ לה (Net-WSPD) העלה את הערך הממוצע של ET_0 ב- 0.31 mm d^{-1} , כ-34% מההפרש. באופן דומה החלפת הערך של קרינה נטו בחישוב ה- ET_0 תחת הרשת בערך של שטף הקרינה מחוץ לרשת (Net-RAD) העלה את ערכו של ET_0 ב- 0.25 mm d^{-1} , כ-27% מההפרש.

נראה כי הקרינה ומהירות הרוח תורמים תרומה גדולה ושווה לחישוב ההתאדות. התרומה של הטמפרטורה והלחות היחסית לאופוטורנספירציה היא קטנה יחסית ולכן אינה מוצגת.

6.2 משק מים

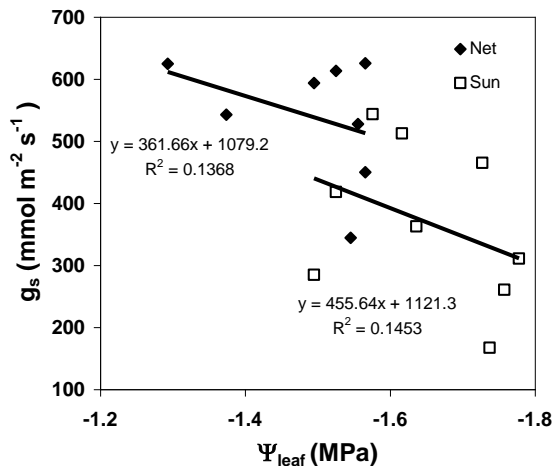
6.2.1 פוטנציאל מים



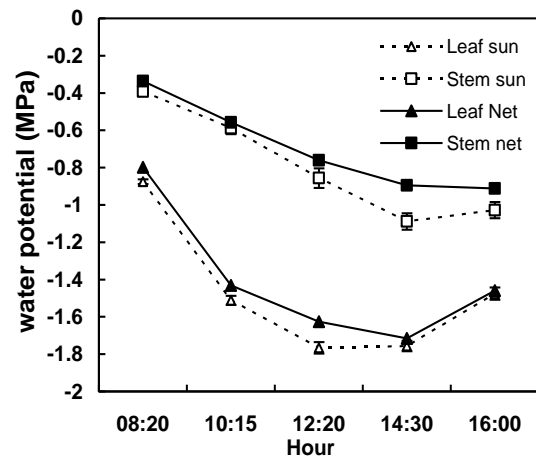
איור מס' 19: פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום ב-3 תאריכים בעונת 2008. כל עמודה מייצגת ממוצע של 9 עלים וכמו כן מוצגת שגיאת התקן. הנתונים נותחו בתכנת JMP במבחן Tukey-Kramer. ב-3 התאריכים נראה הבדל סטטיסטי מובהק ($P < 0.05$).

מאזן המים של הצמח נמדד באמצעות תא לחץ. המדדים שנבדקו הם פוטנציאל המים בעלה ופוטנציאל המים בגזע בשעות הצהריים. באיור מספר 19 מוצגים ערכי פוטנציאל המים של הגזע בשלושה ימי מדידה בעונת 2008. ב-3 התאריכים פוטנציאל המים של הגזע בטיפול הרשת היה גבוה יותר (משופר יותר) מאשר זה של הגפנים החשופות. הערכים הם בין -0.59 MPa ל- -0.86 . נראית ירידה בפוטנציאל המים ב-2 הטיפולים לאורך העונה. באיור מספר 20 ניתן לראות מהלך יומי של פוטנציאל מים בגזע ובעלה, תחת הרשת ובצמחים חשופים. נראה כי בכל שעות היום פוטנציאל המים בעלה ובגזע משופר יותר בגפנים מחופות הרשת וכן

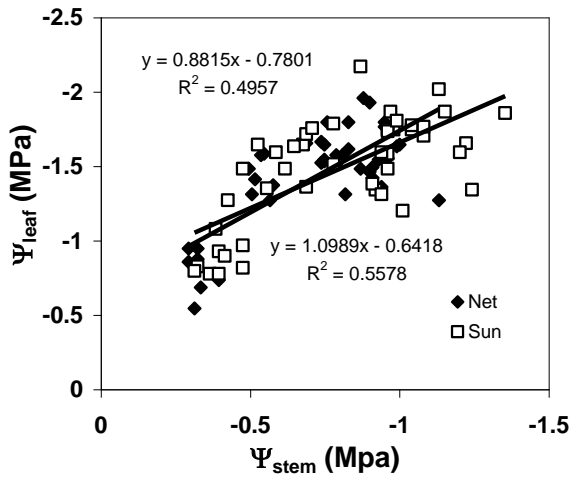
כצפוי פוטנציאל המים בגזע גבוה מזה של העלים. שגיאת התקן של ה-SWP עומדת על 0.02 ו- 0.03 בגפנים מחופות הרשת ובגפנים בכרם החשוף בהתאמה. שגיאת התקן של ערכי LWP עמדה על 0.04 ו- 0.05 בגפנים המחופות והחשופות בהתאמה. נראה כי מצב המים של הצמח הוא משופר ביותר בבוקר, והולך ויורד ככל שמתקדם היום. ניכר שיפור מסוים בפוטנציאל המים לפנות ערב, בעיקר ב-LWP. באיור מספר 21 מוצג הקשר בין פוטנציאל המים בעלה למוליכות הפיוניות לאדי מים בשעה 13:00 בצהריים. ניכרת מגמה של ירידה במוליכות הפיוניות ככל שפוטנציאל המים יורד, עם קשר חלש בניהם. מקדם המתאם הוא 0.13 ו- 0.14 תחת הרשת ובכרם החשוף בהתאמה.



איור מס' 21: הקשר בין מוליכות הפיוניות לאדי מים לפוטנציאל המים בעלה. המדידה בוצעה בתאריך 07/07/2008 בשעה 13:00. כל נקודה מייצגת עלה. המדידה בוצעה בעזרת פורומטר מדגם Li-1600 תוצרת LI-COR Bioscience, ארה"ב ובעזרת תא לחץ תוצרת ARI, ישראל.



איור מס' 20: פוטנציאל המים בגזע ובעלה בגפנים שגדלו תחת הרשת (Net) ובגפנים חשופות (Sun) ביום 31/7/2008. המדידה בוצעה בעזרת תא לחץ תוצרת ARI, ישראל.

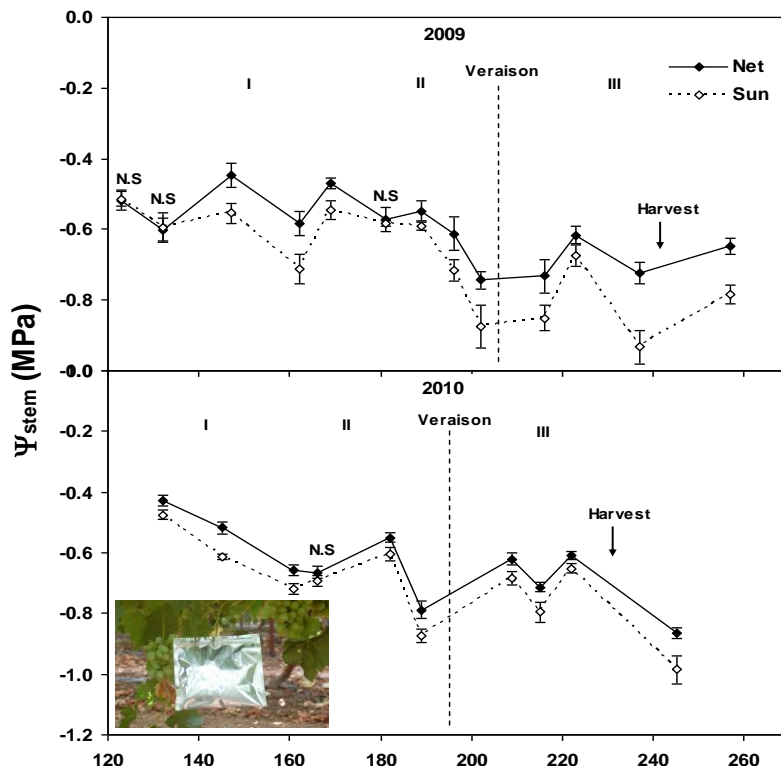


איור מס' 22: הקשר בין פוטנציאל המים בעלה לפוטנציאל המים בגזע ביום 31/7/2008. כל נקודה מייצגת זוג עלים שנמדדו מאותו שיח בשעות סמוכות. המדידה בוצעה בעזרת תא לחץ תוצרת ARI, ישראל.

הקשר בין פוטנציאל המים בגזע לבין פוטנציאל המים בעלה מוצג באיור מספר 22. מקדם המתאם בין שני המדדים, עומד על $r^2=0.49, 0.55$ בכרם החשוף ובמחופה הרשת בהתאמה.

כפי שהוצג בפרק המבוא, למדידת פוטנציאל המים בגזע משקל חשוב יותר בקביעת מצב המים של הצמח ולכן בעונות 2009-2010 בוצעו מדידות של פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום (Mid day stem water potential). מהלך עונתי של ערך זה מוצג באיור מספר 23. באיור מוצגים 3 השלבים הפנוולוגיים של התפתחות הפרי, כמו כן מסומנים יום הבציר ויום הבוחל. קיים הפרש קטן יחסית (0.09 MPa במוצע) אך מובהק סטטיסטית בין שני הטיפולים במהלך הרוב

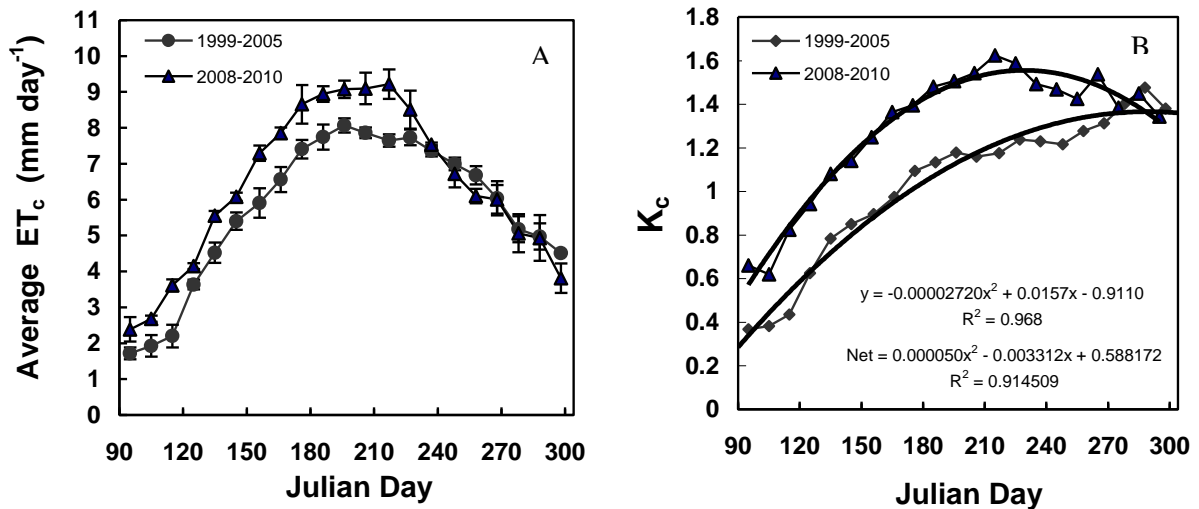
המוחלט של מועדי המדידה. ישנו שיפור של 14% במוצע בפוטנציאל המים תחת הרשת לעומת טיפול הביקורת.



איור מס' 23: Stem water potential בגפנים שגדלו תחת הרשת (Net) ובגפנים חשופות (Sun) כפי שנמדד בעזרת תא לחץ בשעה 13:00 בצהריים. המדידה בוצעה לאורך עונות הגידול 2009-2010. כל נקודה היא ממוצע של 9-12 עלים. נקודות שמופיע לידן הסימן N.S אינן שונות סטטיסטית אחת מן השנייה.

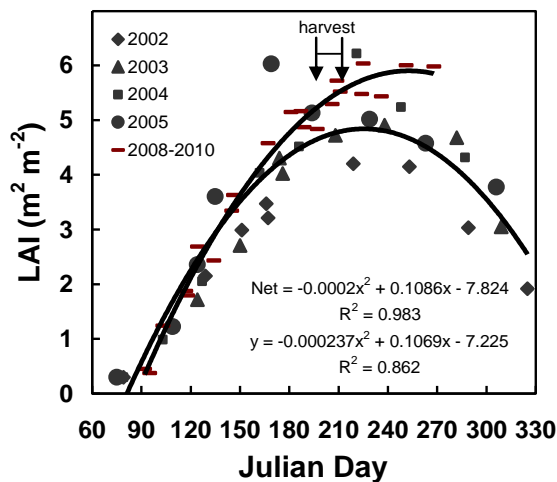
6.2.2 צריכת מים - ליזימטרים

במקביל למדידות שהוצגו עד כה ובוצעו בכרם מסחרי במושב לכיש בוצעו מדידות של צריכת מים בגפנים שגדלו בליזימטרים במו"פ לכיש. מערך הליזימטרים (13 יחידות) חופה ברשת צל זהה לזו שבה נעשה שימוש בכרם המסחרי במושב לכיש. צריכת המים של הגפנים בליזימטרים נמדדה במו"פ לכיש במהלך העונות המחופות (2008-2010) ובעונות בהן החלקה לא היתה מחופת רשת (1999-2005). מהלך עונתי של צריכת המים האמיתית מוצג באיור מספר 24A ובו נראה כי צריכת המים הנמדדת של הגפנים המחופות היתה גבוהה ביחס לצריכת המים בלא-מחופות. באיור 24B מוצג המהלך העונתי של מקדם הגידול K_c . מקדם הגידול K_c הוא היחס שבין האופוטורנספירציה הנמדדת (ET_c) לבין האופוטורנספירציה הפוטנציאלית (ET_0), גם כאן נראה כי ערכי K_c גבוהים יותר בשנים בהם גפני הליזימטרים היו מחופות רשת לעומת השנים בהם גפני הליזימטרים היו ללא חיפוי רשת.



איור מס' 24: A - מהלך עונתי של צריכת המים האמיתית (ET_c) בעונות הלא מחופות (1999-2005) ובעונות המחופות ברשת (2008-2010). B - מהלך עונתי של מקדם הגידול (K_c) באותה תבנית של גרף שמאל. המדידות בוצעו באמצעות ליזימטר שטיפה במו"פ לכיש.

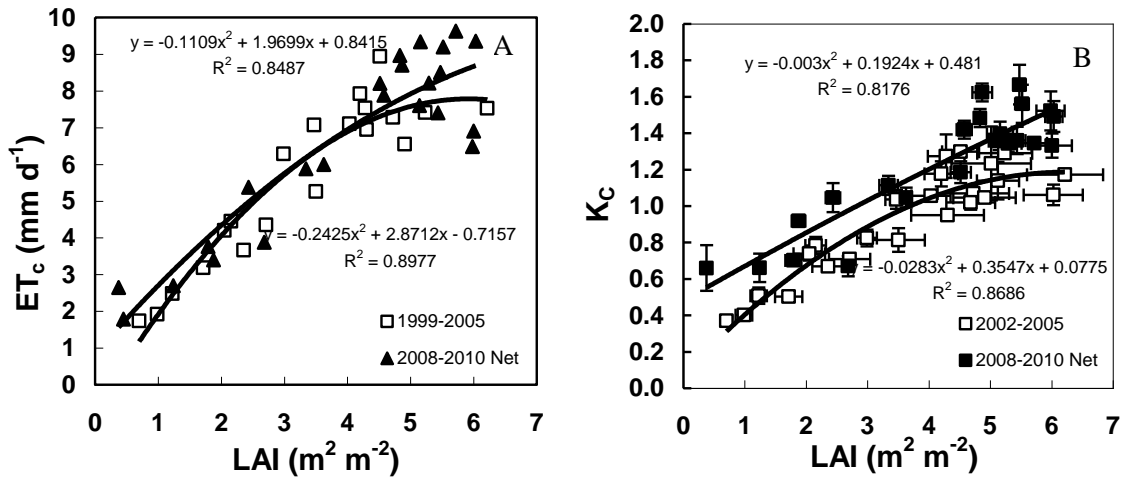
בכל השנים המוצגות בוצעה מדידה של LAI (אינדקס שטח העלווה). מאיור מספר 25 עולה כי LAI של הגפנים ללא חיפוי רשת ועם חיפוי הרשת דומה עד ליום 150 לערך. מיום 150 (סוף מאי) ואילך LAI של הגפנים מחופות הרשת גבוה יותר. הבציר של גפני הליזימטרים התקיים בין הימים 200-210.



איור מס' 25: מהלך עונתי של LAI ב-4 שנים לא מחופות (2002-2005) לעומת שנים מחופות רשת (2008-2010) בחלקת הליזימטרים במו"פ לכיש.

באיור 26A מוצג הקשר בין אופוטורנספירציה שנמדדה בגפני הליזימטרים לבין אינדקס שטח העלווה (LAI) בעונות טרם החיפוי ברשת ובעונות בהן גפני הליזימטרים חופו ברשת צל. נראה כי בחלק ניכר מערכי ה-LAI לא נראים הבדלים בצריכת המים. החל מערך של LAI 4.5 ואילך נראית עליה מסוימת בצריכת המים דווקא תחת הרשת. ואכן באיור 25 ניתן לראות כי הערך LAI 4.5 הוא הערך בו מתחיל להיראות הבדל בין LAI של הגפנים

בשנים המחופות לבין LAI בשנים שבהן הגפנים היו חשופות. המועד בו החל השינוי הוא ביום 150 לערך. באיור מספר 26B ניתן לראות את הקשר בין K_c ל-LAI. מגרף זה עולה כי יש הבדל קטן בין השנים המחופות לחשופות, בערכים נמוכים מ-3 וגבוהים מ- $5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ של LAI ולמעשה בתחילת ובסוף העונה, ללא כל מובהקות סטטיסטית.



איור מס' 26: A – אוופורנספירציה צמחית אל מול ה-LAI במהלך השנים המחופות והלא מחופות. B – מקדם הגידול K_c מול LAI באותן עונות. המדידה בוצעה בעזרת 12 ליזימטרים במי"פ לכיש ובעזרת SunScan תוצרת Delta-T Devices, אנגליה.

בטבלה מספר 1 מסוכמות צריכות המים העונתיות בעונות המדידה, ומוצג חישוב (בחלק התחתון של הטבלה) של ממוצע הערכים לשנים הלא-מחופות (1999-2005) ולשנים המחופות (2008-2010). ערך ה- ET_c הממוצע שנמדד בשנים שהגפנים היו מחופות ברשת גבוה ב-10% מבשנים שבהן הגפנים היו חשופות. ערך ה- ET_0 הממוצע נמוך בשנים המחופות רק ב-32 מ"מ לעונה אך מובהק סטטיסטית.

טבלה מספר 1: סיכום עונתי של שנים 1999-2005 (ללא חיפוי ברשת) ובשנים 2008-2010 (מחופה רשת). הנתונים המוצגים הינם ממוצעים של נתוני צריכת המים האמיתית ET_c של הגפן ואוופורנספירציה פוטנציאלית ET_0 . ההתאדות הפוטנציאלית התקבלה מתחנה מטאורולוגית של משרד החקלאות הסמוכה לכרם. צריכת המים האמיתית חושבה באמצעות 12 גפנים שניטעו בליזימטרים במי"פ לכיש. בנוסף מוצגים ממוצעי עונות 1999-2005, ו-2008-2010.

| Year | ET_c ($L \text{ vine}^{-1} \text{ season}^{-1}$) | ET_c ($mm \text{ season}^{-1}$) | ET_0 ($mm \text{ season}^{-1}$) | Date of harvest (DOY) |
|------------|---|--|--|--------------------------|
| 1999 | 8,585 | 1,228 | 1,238 | 14 July (195) |
| 2000 | No data | No data | 1,243 | 24 July (205) |
| 2001 | 8,104 | 1,159 | 1,225 | 13 August (225) |
| 2002 | 8,600 | 1,230 | 1,257 | 8 August (220) |
| 2003 | 7,599 | 1,087 | 1,232 | 5 August (217) |
| 2004 | 9,425 | 1,348 | 1,235 | 19 July (200) |
| 2005 | 8,968 | 1,282 | 1,238 | 29 July (210) |
| Net | | | | |
| 2008 | 9,878 | 1,412 | 1,219 | 17 July (198) |
| 2009 | 9,219 | 1,318 | 1,189 | 28 July (209) |
| 2010 | 9,176 | 1,312 | 1,211 | 18 July (199) |
| 1999-2005 | 8,547 | 1,222 | 1,238* | 210 ± 4.15 |
| 2008-2010 | 9,424 | 1,347 | 1,206 | 202 ± 3.51 |

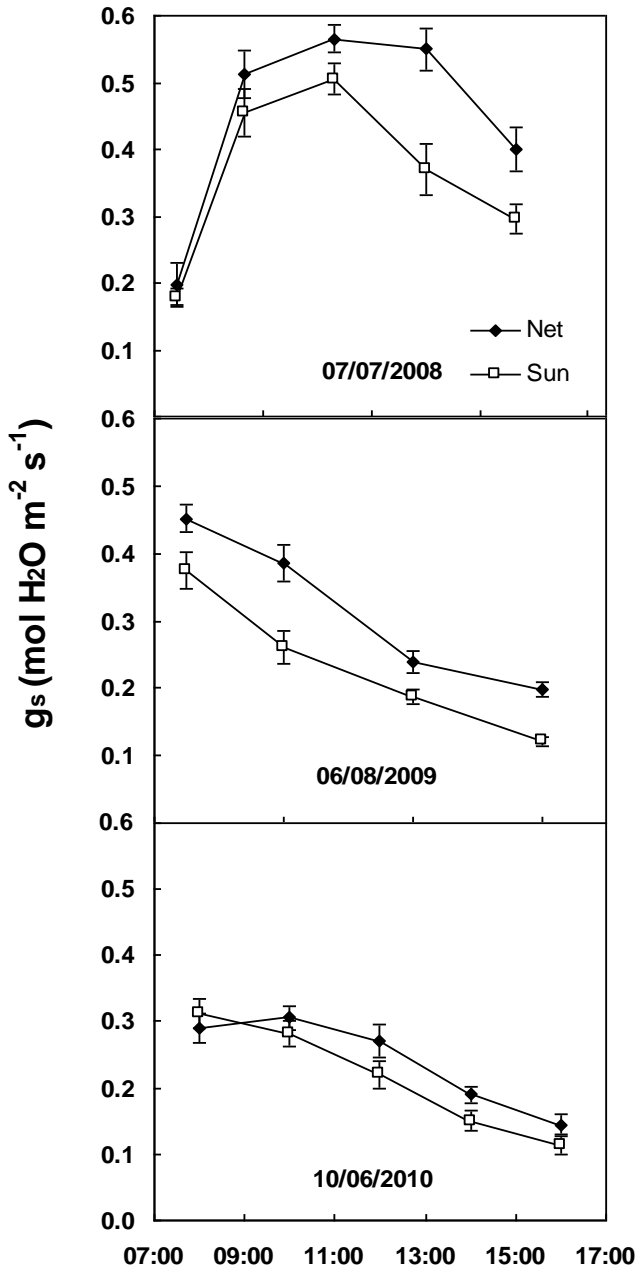
6.3 חילוף גזים

6.3.1 מוליכות פיוניות לאדי מים

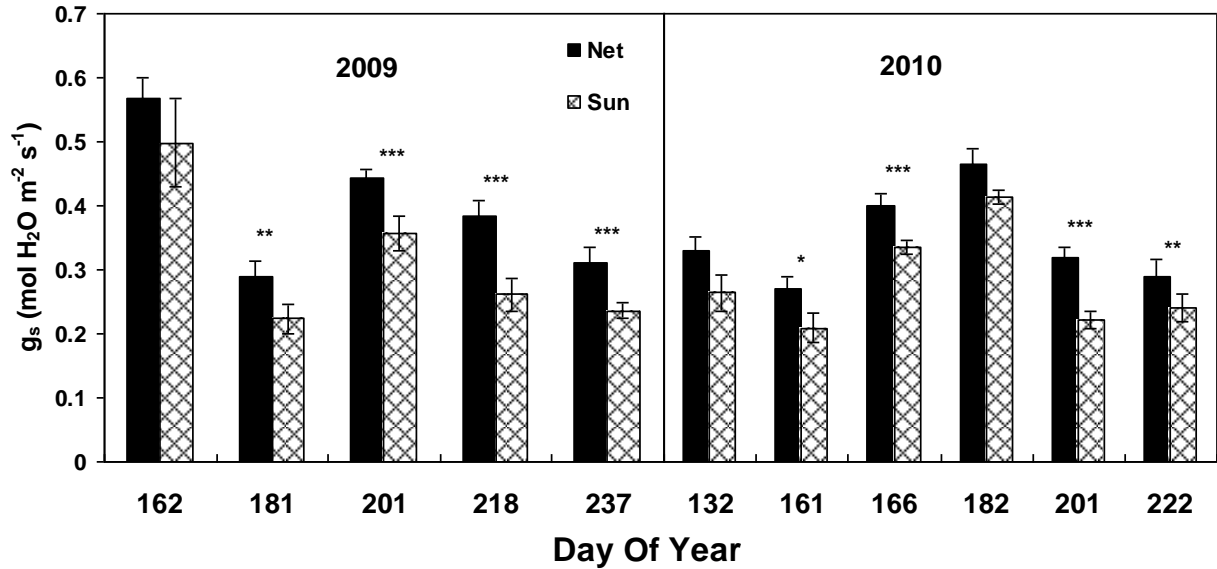
איור מספר 27 מציג מהלכים יומיים של מוליכות הפיוניות לאדי מים ב-3 ימי מדידה מאפיינים ב-3 עונות עוקבות. ערכי המוליכות בעונת 2008, בה נמדדה המוליכות בפורומטר התאפיינה בשונות גבוהה בין העלים הנמדדים והטיפולים ועל כן הבדל בין הטיפולים נראה בגרף משעה 11:00 בבוקר. בעונות 2009-2010 מוליכות הפיוניות נמדדה בעזרת Li-6400. ביום המדידה בעונת 2009 נראה הבדל במוליכות כבר משעה 8:00 בבוקר. בד"כ המוליכות בבוקר היא הגבוהה ביותר הנמדדת באותו יום והיא הולכת ופוחתת ככל שמתקדם היום. ניתן לומר שבהקשר זה הגרף מ-2008 הוא החריג ורוב ימי המדידה בעונות 2009 ו-2010 הציגו מהלכים יומיים דומים לאלו המוצגים באיור. בחלק מימי המדידה שהחלו בשעות מוקדמות יותר, נראתה מגמה בה מוליכות הפיוניות בחלקות החשופות היתה גבוהה מזו שנמדדה בחלקות המחופות, מאוחר יותר המגמה התהפכה (נראה ביום המדידה מ-2010). ברוב המדידות היה הבדל מובהק בין הטיפולים בשעות הצהריים, אז מוליכות הפיוניות היתה גבוהה יותר תחת הרשת. מוליכות הפיוניות לאדי מים בין השעות 12:00-13:00 בעונות 2009 ו-2010 מוצגת באיור מספר 28 בו נראה כי המוליכות תחת הרשת גבוהה יותר באופן מובהק ב-8 מתוך 11 ימי המדידה המוצגים בגרף.

באיורים מספר 29 ו-30 מוצג הקשר בין מוליכות הפיוניות לפוטנציאל המים בגזע בצהרי היום ולפוטנציאל המים בעלה. באיור מספר 29 נראית מגמה בה פוטנציאל המים ומוליכות הפיוניות בגפנים המחופות (Net) גבוהים יותר ממדדים אלו בחלקות החשופות (Sun).

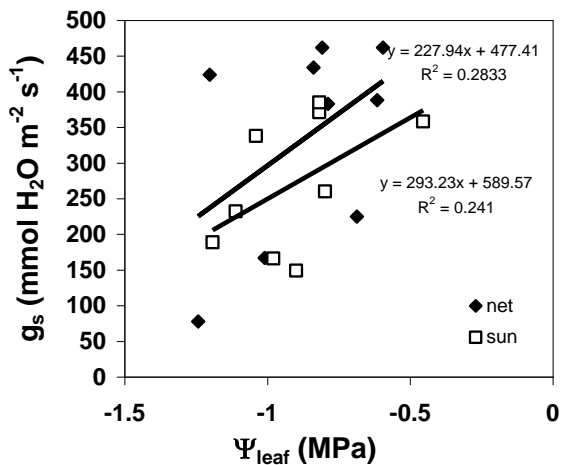
באיור מספר 30 מוצג הקשר בין g_s ל- Ψ_{leaf} שנמדד באותם עלים ובו נראה כי ככל שפוטנציאל המים משופר יותר כך מוליכות הפיוניות גדולה יותר, גם בגפנים המחופות וגם בחשופות. גם באיור זה נראה כי ערכי מוליכות הפיוניות תחת הרשת גבוהים יותר מהגפנים החשופות.



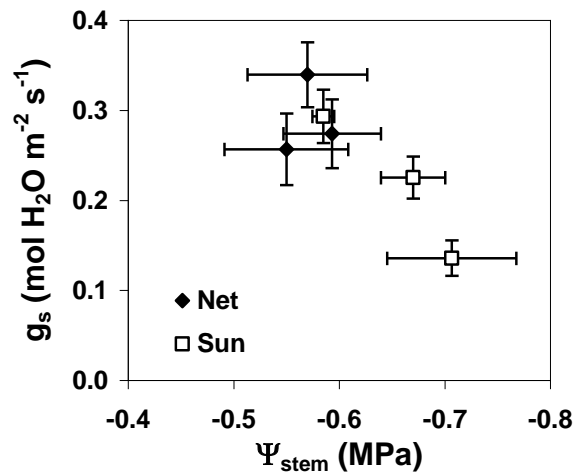
איור מס' 27: מהלכים יומיים של מוליכות הפיוניות לאדי מים (g_s) ב-3 תאריכים מייצגים בעונות 2008-2010 במושב לכיש. המדידה בוצעה בפורומטר מדגם Li-1600 (2008) וב- Li-6400 (2009-2010) תוצרת LI-COR Bioscience, ארה"ב.



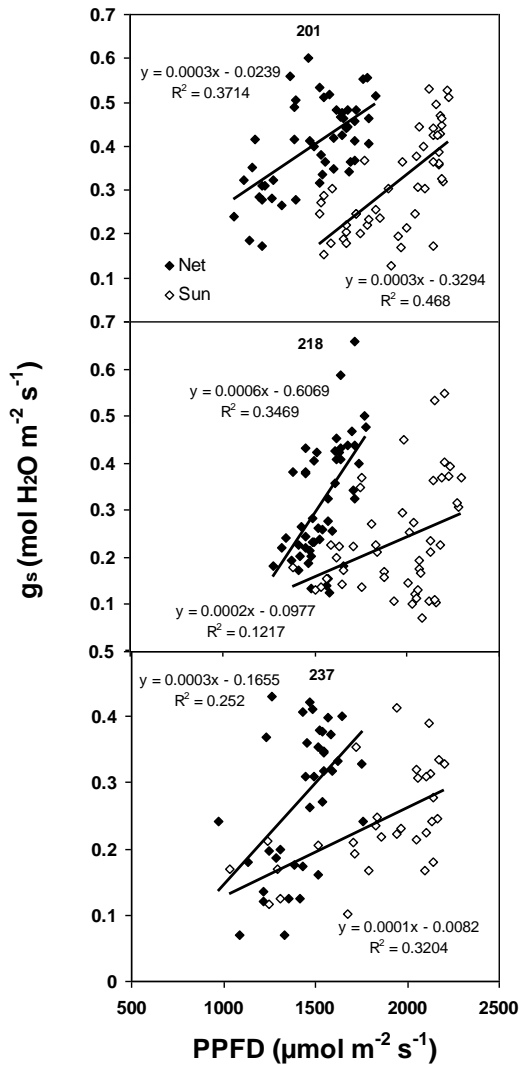
איור מס' 28: מוליכות הפיוניות לאדי מים (g_s) בשעות 12:00-13:00 ב-5 ו-6 מועדים שונים במהלך עונות 2009 ו-2010. כלל המדידות בוצעו בעזרת מערכת חילוף גזים מדגם Li-6400 מלבד ימים 162 ו-182 בשנת 2009 ו-2010 (בהתאמה) שבוצעו באמצעות פורומטר Li-1600. כל עמודה מייצגת ממוצע מדידה של 12-15 עלים, ובנוסף מוצגת שגיאת התקן. בוצע מבחן Studet's t בתכנת ג'אמפ, כוכביות מציינות רמות מובהקות כדלהלן * $p\text{-value} < 0.1$ ** $p\text{-value} < 0.05$ *** $p\text{-value} < 0.01$.



איור מס' 30: מוליכות הפיוניות לאדי מים (g_s) אל מול פוטנציאל המים בעלה בתאריך 27/05/2009 במושב לכיש. המדידה בוצעה בפורומטר מדגם Li-1600 תוצרת LI-COR Bioscience, ארה"ב.



איור מס' 29: הקשר בין מוליכות הפיוניות לאדי מים לבין פוטנציאל המים בגזע בצהריי היום במושב לכיש בתאריך 30/06/2009 המדידה בוצעה בעזרת מערכת חילוף גזים מדגם Li-6400 תוצרת LI-COR Bioscience, ארה"ב ובעזרת תא לחץ תוצרת ARI, ישראל.

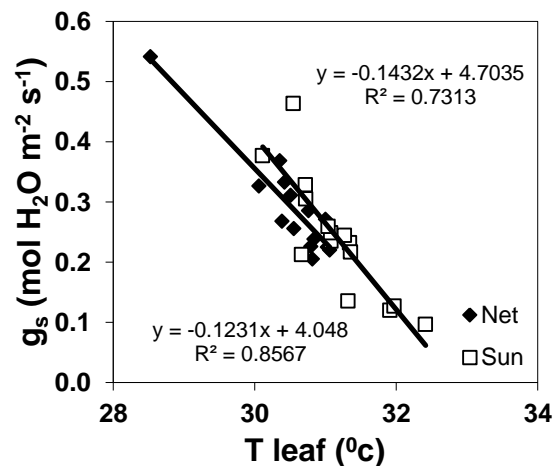


איור מס' 31: הקשר בין מוליכות הפיוניות לאדי מים לבין שטף הקרינה הפוטוסינתטית ב-3 ימים בשנת 2009. המספר בכותרת מצוין את היום היוליאני בשנה.

באיור מספר 32 מוצג הקשר בין טמפרטורת העלה ל- g_s . כאן ניתן לראות קשר ברור ובו ככל שמוליכות הפיוניות גבוהה יותר, טמפרטורת העלה נמוכה יותר. ניתן לומר כי ההשפעה היא דו-צדדית. העלה מדייית יותר בערכי g_s גבוהים ועל כן הטמפ' נמוכה יותר, וכמו כן בזמנים בהם הטמפ' החיצונית נוחה יותר, הפיוניות פתוחות יותר.

הקשר בין מוליכות הפיוניות לקרינה הפוטוסינתטית (PPFD) מוצג באיור מספר 31 בו מוצגים 3 ימי מדידה מלאים משעה 08:00 ועד 17:00 ובמהלכם נמדדו מוליכות הפיוניות ושטף הקרינה הפוטוסינתטית. ניתן לראות בגרף מגמה של עלייה במוליכות הפיוניות עם העלייה בשטף הקרינה.

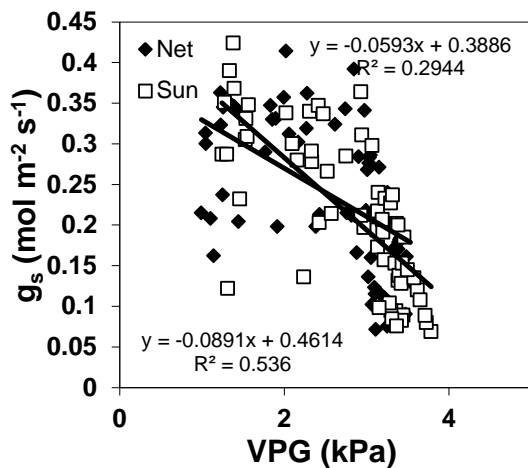
אם נבחן את הערך $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ בימים 201,218 נראה כי בעלים שנמדדו תחת הרשת (Net) מוליכות הפיוניות היתה גבוהה יותר מהעלים החשופים לשמש. תוצאה המרמזת על פוטנציאל גבוה יותר של עלים תחת אותו משטר קרינה. אם נבחן את השיפוע של ימים 218,237 נראה כי הוא חד יותר בעלים שגדלו תחת הרשת משמע תגובה חזקה יותר לעלייה בעוצמת הקרינה בימים אלו.



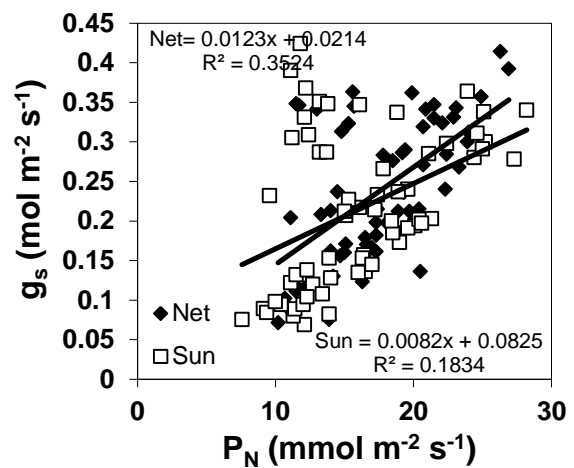
איור מס' 32: הקשר בין מוליכות הפיוניות לאדי מים (g_s) לטמפרטורת העלה בעלים שגדלו תחת רשת (Net) ובעלים חשופים (Sun). המדידה בוצעה ב-10/08/2010 בעזרת Li-6400 תוצרת Bioscience, ארה"ב.

איור מספר 33 מציג את הקשר בין מוליכות הפיוניות g_s לבין קצב קיבוע הפחמן P_N ביום מייצג מעונת 2010. ככלל המתאם הסטטיסטי בין שני המדדים נמוך יחסית באותו יום. לעומת זאת נראה כי בערכי P_N ו- g_s נמוכים, הקשר בין המדדים חזק יותר (לא חושב באופן נפרד). מעיון בנתוני המקור של מדידות אלו נראה כי בשעות הבוקר בהן הדרישה האטמוספרית נמוכה יחסית, מוליכות הפיוניות הייתה גבוהה ביחס לערכי קצב קיבוע הפחמן.

איור מספר 34 מציג את הקשר בין g_s ל- Leaf to air vapour pressure gradient (VPG). ערך זה מייצג נאמנה יותר את דרישות האידיוי הסביבתיות מפני שהוא דורש מדידת טמפ' העלה לשם חישובו. ערכים גבוהים של VPG מתקבלים בימים בהם טמפ' העלה גבוהה והסביבה יבשה. בערכים גבוהים של VPG ערכי g_s הנמדדו הם הנמוכים ביותר באותו יום, וככל ש VPG יורד ישנה עליה ב g_s . ניתן לראות כי שוב ישנו קשר לינארי חזק יחסית בין המשתנים עד לערך של $\sim 0.25 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ומשם והלאה שונות גבוהה בגרף. ישנם מעט יותר מעוינים שחורים בערכים נמוכים יותר של VPG, עובדה המשתלבת באיורים קודמים שהוצגו בפרק 6.1.3 שעסק בטמפרטורה ולחות יחסית באיורים 12,13,15 ובאיור 43 שיובא בהמשך.



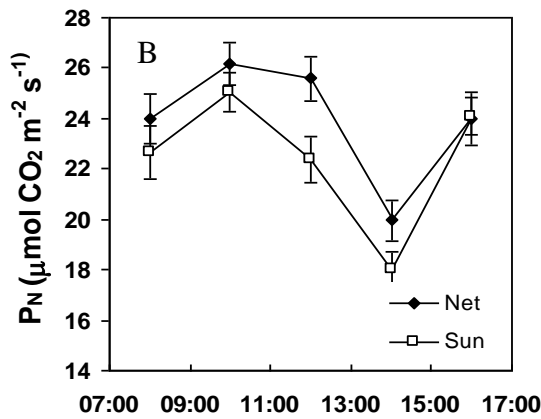
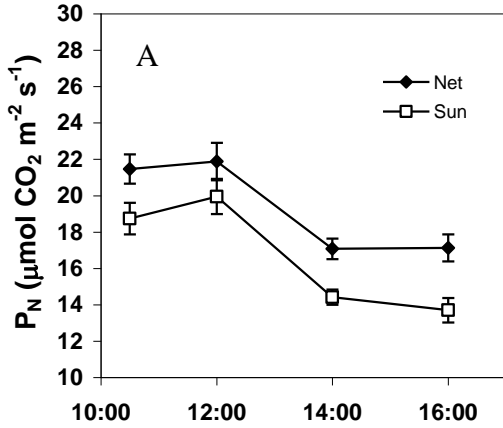
איור מספר 34: הקשר בין g_s להפרש לחץ האדים בין העלה לסביבה (VPG). המדידה בוצעה בתאריך 10/06/2010 במושב לכיש. VPG חושב בעזרת מדידת טמפ' העלה ובעזרת נתוני לחות יחסית וטמפ' מהתחנה המטאורולוגית של הניסוי.



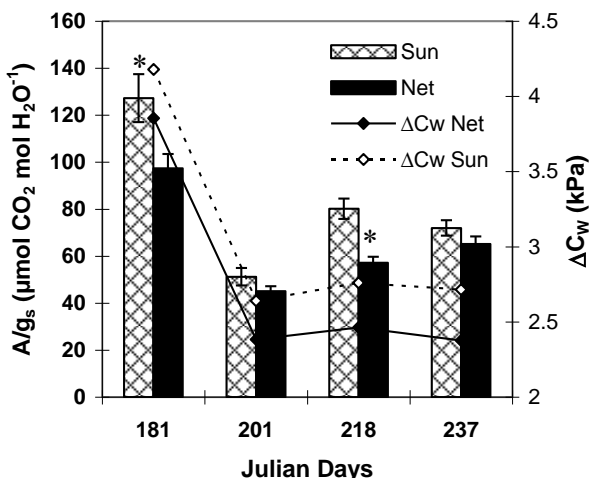
איור מס' 33: הקשר בין g_s לשטף קיבוע הפחמן (P_N) בגפנים שגדלו תחת רשת (מעוינים שחורים) ובגפנים ללא רשת (ריבועים ריקים). המדידה בוצעה ב-10/06/2010 במושב לכיש בעזרת Li-COR Li-6400 תוצרת Bioscience, ארה"ב.

6.3.2 שטף פוטוסינתזה

בשנים 2009-2010 בוצעו מדידות של מהלכים יומיים של שטף קיבוע הפחמן, ברוב המדידות נתקבלה מגמה דומה; קצב קיבוע פחמן גבוה יחסית בתחילת היום תחת הרשת ובביקורת, בצהריי היום הגפנים שגדלו תחת הרשת המשיכו באותם שטפים בעוד שהגפנים החשופות הראו ירידה בקצב קיבוע הפחמן ונתקבל הבדל בין הגפנים מחופות הרשת לבין הגפנים בכרם החשוף. דוגמא למהלכים יומיים כאלו מובאת באיור מספר 35. לעתים נראתה התאוששות של הצמחים במדידת אחר הצהריים, דוגמא לכך מובאת באיור 35B.



איור מס' 35 : מהלך יומי של קצב קיבוע פחמן במהלך ה-06/08/2009 (A) וב-15/06/2010 (B). המדידה נערכה בעזרת Li-6400 תוצרת LI-COR Bioscience, ארה"ב.



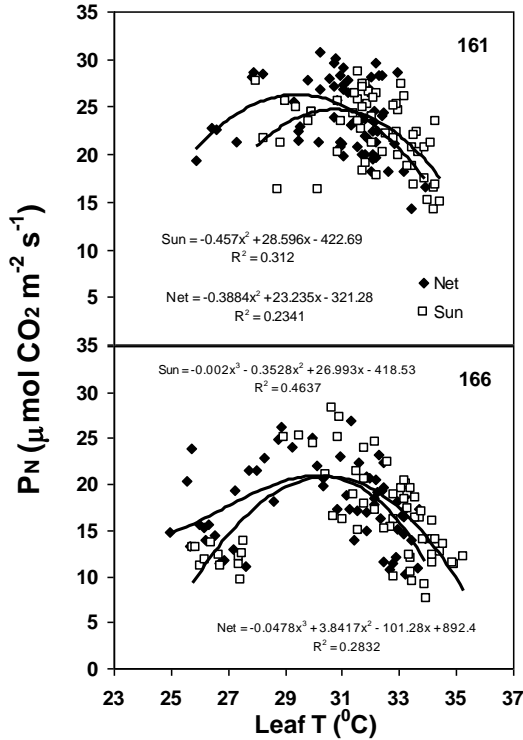
איור מס' 36 : יעילות ניצול המים הרגעית (WUEi) ב-4 מועדים שונים ב-2009 בשעה 12:00 בגפנים המחופות (Net) ובחשופות (Sun) מוצגת בעמודות, ו- Leaf to air vapour pressure difference (ΔC_w) של אותה שעה (מעויינים). ΔC_w חושב בעזרת מדידת טמפי העלה ובעזרת נתוני לחות יחסית וטמפי של האוויר מהתחנה המטאורולוגית של הניסוי.

היחס בין A/g_s המוגדר כ- Intrinsic water use efficiency בספרות, מוצג באיור מספר 36. באיור מוצג היחס A/g_s בשעה 12:00 בחלקות החשופות ובחלקות המחופות בעמודות, ובנוסף מוצג ΔC_w (Leaf to air vapour pressure difference) אותה שעה (מעויינים).

נראה כי היעילות הגבוהה יותר בשעה 12:00 ב-4 המועדים היא בגפנים החשופות. כדי להבין את המשמעות של תוצאות אלו ניתן לצפות באיורים 28 ו-38 של מוליכות הפיוניות וקצב קיבוע הפחמן באותן שעות וימים. התוספת הממוצעת למוליכות הפיוניות של העלים שגדלו תחת הרשת הינה 20% לעומת התוספת הממוצעת לקצב קיבוע הפחמן שעמדה על 10% בלבד, משמע העלייה של g_s גדולה יותר מאשר זו של A בגפנים המחופות ועל כן יחס A/g_s גבוה בכרם החשוף לעומת מחופה הרשת. נוסף על כך נראה כי הדרישה הסביבתית לאידוי (ΔC_w) גבוהה יותר בגפנים החשופות, ההפרש הממוצע עומד על 0.305 kPa.

2 ערכים אלו פועלים בכיוונים מנוגדים מבחינת ניצול המים; מחד ינ"מ (יעילות ניצול המים) גבוהה יותר בגפנים החשופות ומאידך, דרישת אידוי גבוהה יותר באותם גפנים. יום 181 הוא יום

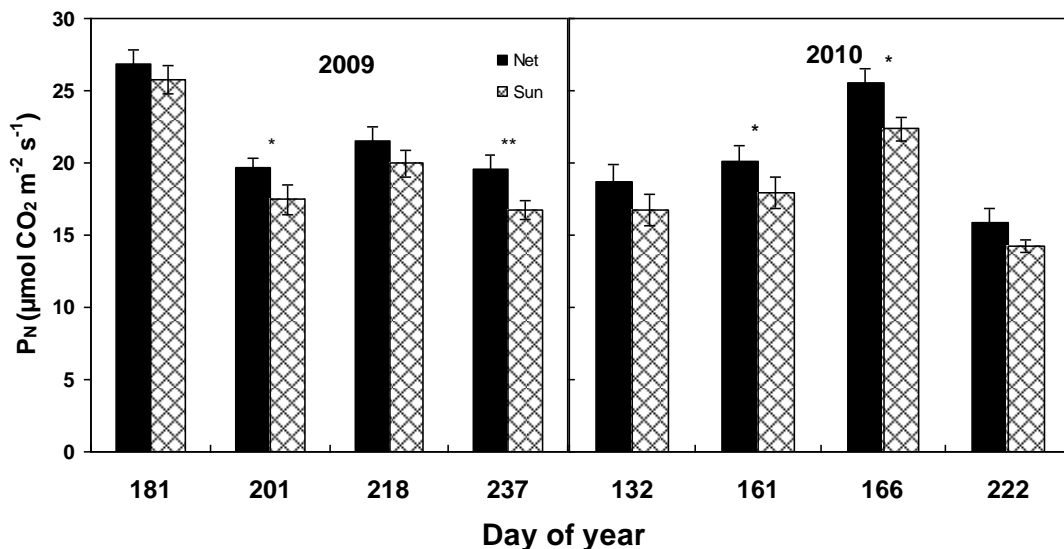
חמסין בו הטמפ' הגיעה ל-36°C ועל כן נראים ערכים גבוהים ביחס לימים האחרים המוצגים באיור.



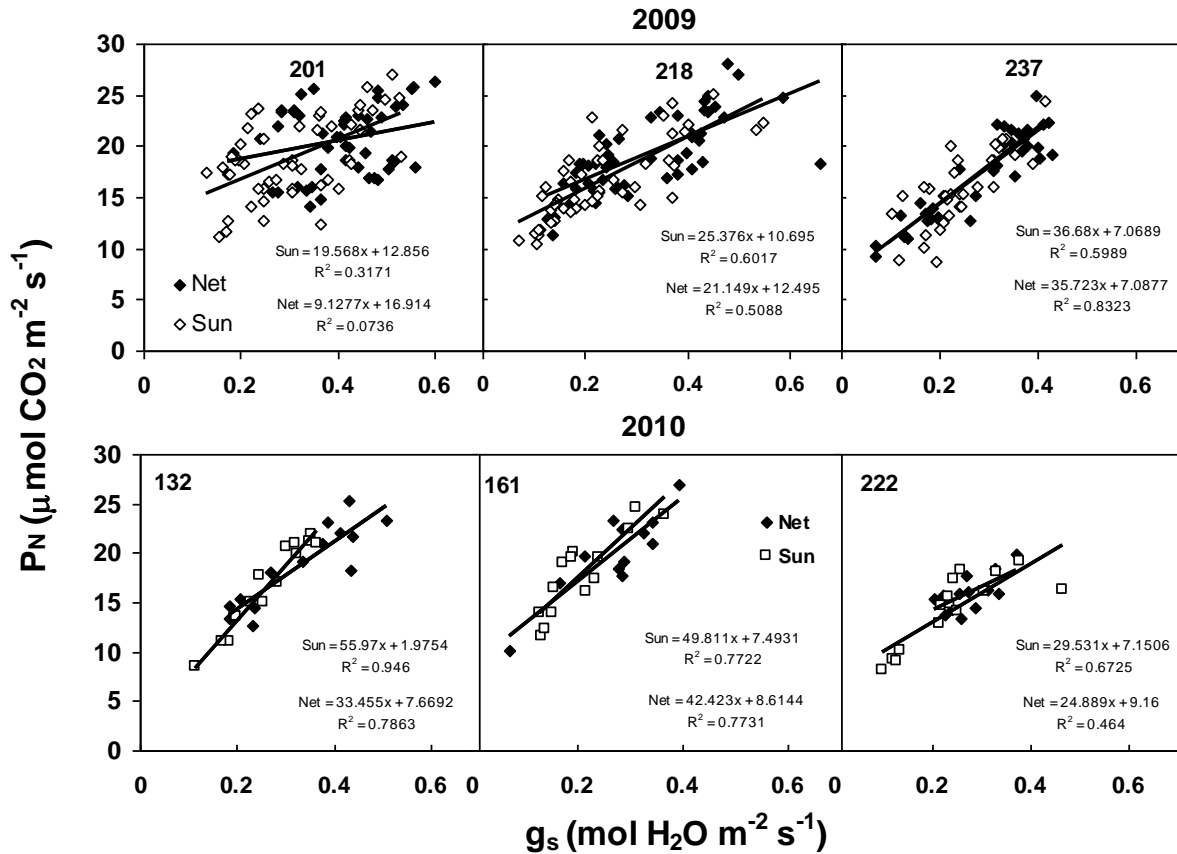
איור מס' 37: הקשר בין קצב קיבוע הפחמן (P_N) לטמפרטורת העלה בתאריכים 10/06/2010 ו-15/06/2010. המדידה בוצעה בעזרת מערכת חילוף גזים מדגם Li-6400 תוצרת LI-COR Bioscience.

באיור מספר 37 מוצג הקשר בין קצב קיבוע הפחמן לבין טמפרטורת העלה ב-2 ימי מדידה משנת 2010. בשני הימים המייצגים נראית עקומה ובה ערכים מקסימליים של קצב קיבוע פחמן סביב טמפרטורה של 31°C. לא נראה הבדל משמעותי בין הטיפולים באיור זה.

באיור מספר 38 מוצג סיכום כלל ימי המדידה בהם נמדד קצב קיבוע הפחמן בשנים 2009-2010 ובו נראים ההבדלים בשעה 12:00 בצהריים בין עלים שנמדדו בחלקות המחופות רשת (Net) לבין עלים בחלקות החשופות (Sun). בכל הימים ממוצע קצב קיבוע הפחמן בחלקות המחופות היה גבוה יותר מממוצע החלקות החשופות. ההבדלים בין הטיפולים קטנים וברובם אינם נבדלים סטטיסטית. התוספת הממוצעת לקצב קיבוע הפחמן בעלים שגדלו תחת הרשת הינה 10% ו-11% בשנים 2009 ו-2010 בהתאמה.



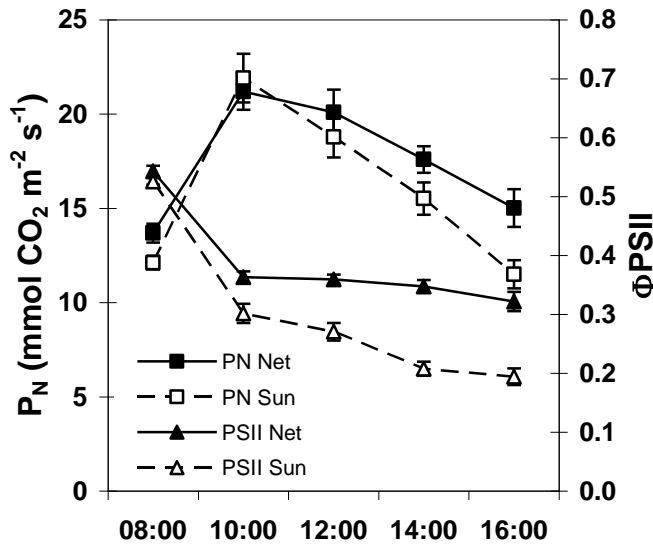
איור מס' 38: קצב קיבוע פחמן (P_N) בשעה 12:00 בצהריים ב-4 מועדים שונים במהלך עונת 2009-2010. כלל המדידות בוצעו בעזרת מערכת חילוף גזים מדגם Li-6400 תוצרת LI-COR Bioscience, ארה"ב. כל עמודה הינה ממוצע מדידה של 12-15 עלים, ובנוסף מוצגת שגיאת התקן. בוצע מבחן Studet's t בתכנת ג'אמפ, כוכביות מציינות רמות מובהקות כדלהלן: * p-value<0.1 ** p-value<0.05



איור מס' 39: קצב קיבוע פחמן (P_N) אל מול מוליכות הפיוניות לאדי מים (g_s) בכל שעות היום (2009) ובשעה 12:00 בצהריים (2010) במושב לכיש ב-3 מועדים שונים במהלך עונות 2009-2010. כל נקודה מייצגת עלה שנמדד ל-2 הערכים בו זמנית. כלל המדידות בוצעו בעזרת מערכת חילוף גזים מדגם Li-6400 תוצרת LI-COR Bioscience, ארה"ב.

הקשר בין קצב קיבוע הפחמן לבין מוליכות הפיוניות לאדי מים מוצג באיור מספר 39 ובו נראה כי בחלק גדול מן הימים ישנו קשר ליניארי וטוב בין 2 המשתנים. ככל שגדלה מוליכות הפיוניות, קצב קיבוע הפחמן גדל. בכל העונות הטווח של הערכים זהה והוא בין $10\text{--}28 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ לערכי קצב קיבוע הפחמן ו- $0.1\text{--}0.6 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ לערכי מוליכות הפיוניות. נראה קשר חזק יותר ברוב התוצאות המובאות מעונת 2010, זאת כי בעונת 2010 מוצג הקשר בין 2 המשתנים בשעה 12:00 ולא לאורך כל היום, ועל כך יורחב בפרק הדיון 7.3 שעוסק בחילוף גזים.

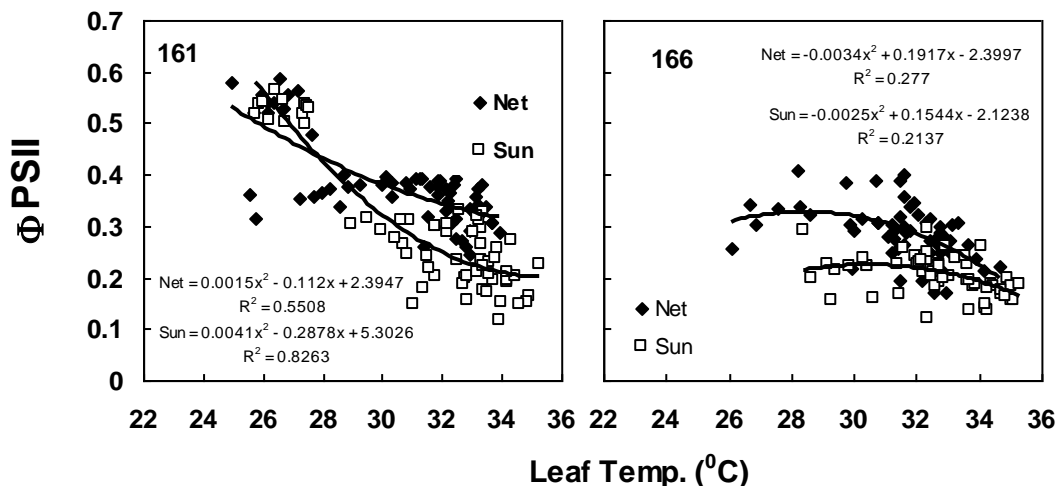
6.3.3 פלורסנציה של כלורופיל a



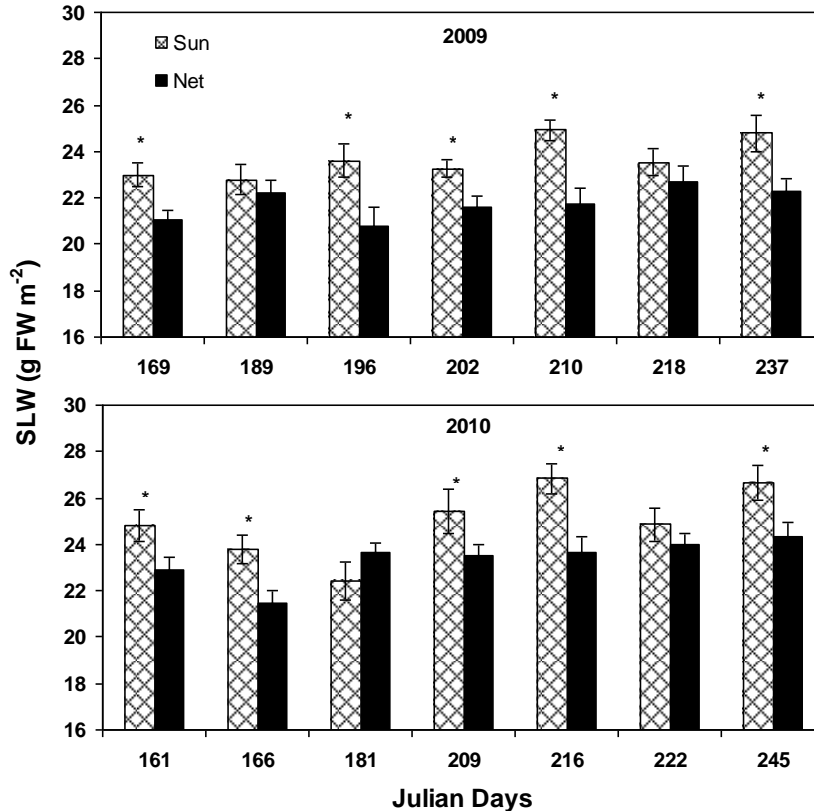
איור מס' 40: מהלך יומי של היעילות הקוונטית של PSII ושל קצב קיבוע פחמן בתאריך 10/6/2010 במושב לכיש. המדידה בוצעה בעזרת מערכת חילוף גזים מדגם Li-6400 תוצרת LI-COR Bioscience, ארה"ב.

מדידות העונה ובו הבדל נראה לעין החל מ-14:00 בצהריים. נראה כי ישנו מתאם בין ירידה בקצב קיבוע הפחמן לבין ירידה ביעילות הקוונטית.

הקשר בין היעילות הפוטוסינתטית של PSII לבין טמפרטורת העלה מוצג באיור מספר 41 ובו מוצגים 2 ימי מדידה ב-2010. נראה כי ככל שטמפרטורת העלה גבוהה יותר Φ_{PSII} קטן. בנוסף, נראה כי הקשר חזק יותר בטמפ' גבוהות יותר. ביום 161 בטמפרטורת עלה של $26-27^{\circ}\text{C}$ נראה קובץ של ערכים גבוהים ובנוסף לו ערכים נמוכים ממנו של Φ_{PSII} , אשר מקורם בשעות הבוקר המוקדמות ושעות אחר הצהריים.



איור מס' 41: הקשר בין היעילות הפוטוסינתטית של PSII לבין טמפרטורת העלה בימים 10/06/2010 ו-15/06/2010 במושב לכיש. הערכים נתקבלו מאותם עלים בעזרת מערכת חילוף גזים מדגם Li-6400 תוצרת LI-COR Bioscience, ארה"ב.



איור מס' 42: משקל ספציפי של דיסקיות עלים מחלקות חשופות לשמש (Sun) מול עלים מחלקות מחופות רשת (Net) ב 7-מועדים לאורך עונות 2009-2010. ממוצעים המסומנים ב * מראים הבדל של $P < 0.05$.

6.4 בדיקות עלים

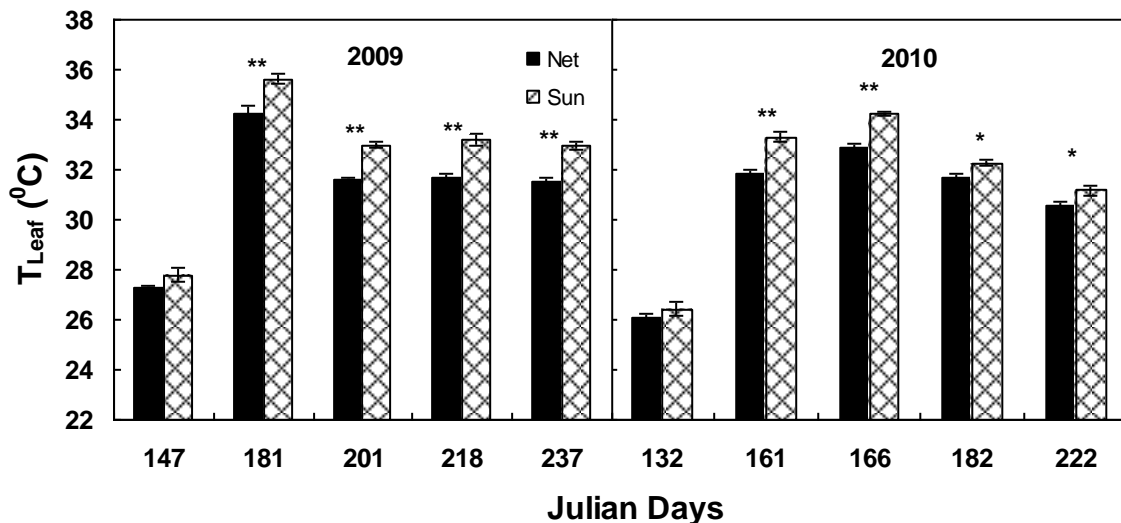
6.4.1 המשקל הספציפי של העלה

מהלך עונות 2009-2010 נדגמו דיסקיות עלים בסוף היום. משקלם הספציפי של הדיסקיות נקבע לאחר שתאי הרקמה הוחזרו ללחץ טורגור מלא כמתואר בפרק השיטות 5.6. מאיור מספר 42 ניתן ללמוד כי המשקל הספציפי של עלים מחלקות חשופות (Sun) גבוה באופן מובהק ברוב ימי המדידה (10 מתוך 14 ימי מדידה ב-2 העונות) מהמשקל הספציפי של עלים מחלקות מחופות (Net). המשמעות של תוצאה זו היא שהעלים מהחלקות החשופות עבים יותר מהעלים מהחלקות המוצללות.

6.4.2 טמפרטורת העלה

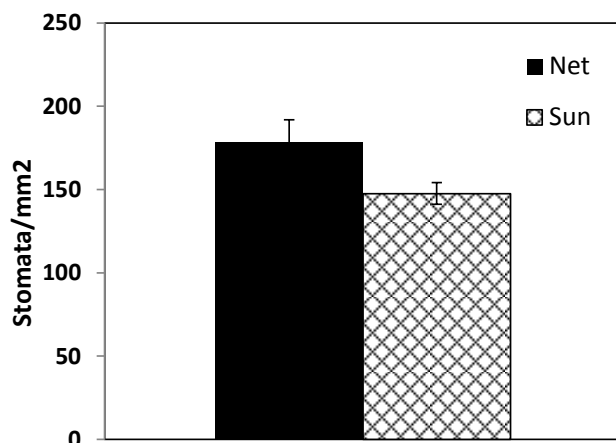
טמפרטורת העלים נמדדה

בשעות הצהריים במספר ימים לאורך עונות הגידול 2009 ו-2010 ומוצגת באיור מספר 43. ככלל טמפרטורת העלים בגפנים החשופות גבוהה מאשר טמפרטורת העלים בגפנים שצמחו תחת הרשת. ההפרש המירבי עמד על 1.55°C וההפרש הממוצע עמד על 1.23°C ו- 0.88°C לעונות 2009 ו-2010 בהתאמה. בשתי העונות לא נראה הבדל בטמפרטורת העלה ביום המדידה הראשון של העונה (חודש מאי).

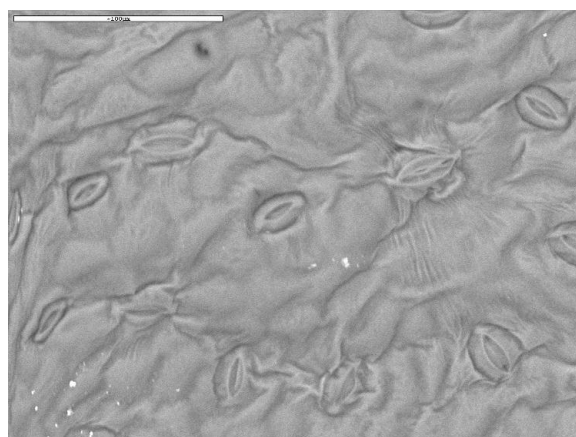


איור מס' 43: טמפרטורת העלה בשעה 12:00 בצהריים ב-5 מועדים שונים בשנים 2009-2010. הטמפ' נמדדה באמצעות צמד חומני המצוי ע"ג מערכת חילוף גזים מדגם Li-6400 תוצרת LI-COR Bioscience, ארה"ב. כוכביות מציינות רמות מובהקות כדלקמן: * $p\text{-value} < 0.05$ ** $p\text{-value} < 0.01$.

6.4.3 צפיפות פיוניות



איור מס' 44: צפיפות פיוניות ממוצעת בחלק התחתון של העלה. הבדיקה בוצעה ב 09/06/2010 בעזרת מיקרוסקופ אלקטרוני סורק מדגם JSM-5410LV, טוקיו, יפן. הספירה נעשתה ידנית על אותו עומק שדה והגדלה (X500). השטח שנראה בתמונה הצמודה הוא של 0.057mm² (קני"מ מצורף).



טבלה מספר 2 מציגה בדיקה שנעשתה ב- 09/06/2010 על פי צילומים במיקרוסקופ אלקטרוני סורק. הבדיקה אינה משקפת מצב עונתי בכרם. בבדיקה נסרקו הצדדים העליונים והתחתונים של העלה. לא נמצאו פיוניות בחלק העליון. בחלק התחתון נצפו פיוניות ונראה כי אין הבדל סטטיסטי בין העלים הנבדקים.

6.5 בדיקות פרי

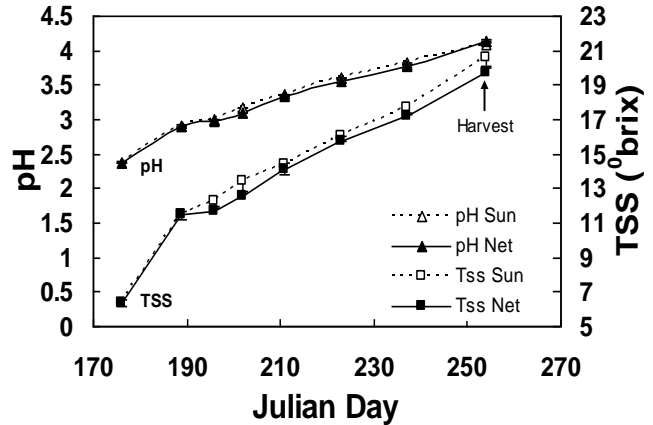
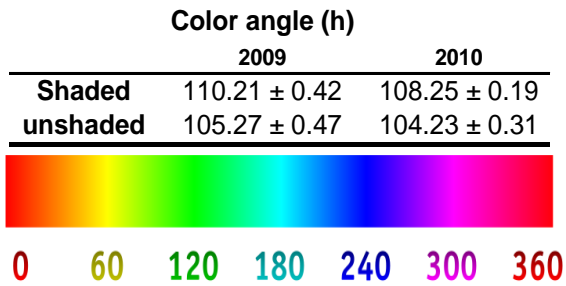
טבלה מספר 2 מציגה את מדדי היבול ב-3 שנות המחקר כפי שנמדדו בשדה ובמעבדה ביום הבציר. מן הטבלה עולה כי קיים הבדל לא מובהק בגובה היבול ב-3 השנים של 270-590 ק"ג לדונם לטובת הגפנים המוצללות. נמדדה עלייה ביבול בגפנים שגדלו תחת הרשת של 17%, 12.5% ו-9% בשנים 2008-2010 (בהתאמה). לא נמצאו הבדלים סטטיסטיים בכלל המדדים המוצגים מלבד כלל מוצקים מסיסים (TSS) בשנים 2008, 2010.

טבלה מספר 2: מדדי יבול שונים בחלקות המחופות (Net) לעומת הלא-מחופות (Sun). מוצגים המדדים: יבול, משקל וקוטר גרגר, מספר אשכולות לחלקה, משקל 'בררה' וכלל מוצקים מסיסים. הנתונים נאספו ביום הבציר (19/8/2008, 11/9/2009, 19/8/2010). נתוני משקל גרגר ממוצע וכמ"מ הינם ממוצעים של מדידות מ-600 גרגרים שנדגמו מ-36 גפנים. ליד תוצאות הנבדלות זו מזו מוצגות אותיות.

| Treatment | Yield (ton 1000m ⁻²) | Average berry weight (g) | Berry Width (mm) | Cluster Number (per plant) | TSS (^o brix) | Unmarketable yield (kg 1000m ⁻²) |
|-----------|----------------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|--|
| 2008 Net | 3.67 ± 0.23 | 7.99 ± 0.19 | | | 19.1 ± 0.12 A | |
| 2008 Sun | 3.14 ± 0.3 | 7.88 ± 0.20 | | | 19.82 ± 0.26 B | |
| 2009 Net | 6.30 ± 0.49 | 6.94 ± 0.12 | 19.57 ± 0.139 | 50.14 ± 2.51 | 19.72 ± 0.29 | 139.3 ± 16.4 |
| 2009 Sun | 5.59 ± 0.15 | 6.58 ± 0.19 | 19.81 ± 0.079 | 49.25 ± 1.8 | 20.57 ± 0.42 | 149.7 ± 22.4 |
| 2010 Net | 3.6 ± 0.24 | 6.7 ± 0.18 | 19.83 ± 0.18 | 35.14 ± 1.54 | 19.8 ± 0.17 A | 784.7 ± 93.8 A |
| 2010 Sun | 3.28 ± 0.25 | 6.57 ± 0.11 | 19.24 ± 0.09 | 36.44 ± 1.42 | 20.68 ± 0.12 B | 924.2 ± 131.6 B |

בשנת 2009 בוצע מעקב הבשלה ל-2 הטיפולים, והוא מוצג באיור מספר 44. לא נראו הבדלים במהלך ההבשלה העונתי ב-pH וגם בכמ"מ. בטבלה מספר 3 מוצגת זווית הצבע של הפרי במועד היבול בשנים 2009-2010. ככל שהערך גבוה יותר כך הצבע ירוק יותר (רצוי יותר). ישנו שינוי קטן לטובה בצבע הפרי מגפנים שגדלו תחת הרשת.

טבלה מספר 3 : ממוצע \pm שגיאת תקן של צבע הפרי בשנים 2009-2010 שנמדד במצלמה מדגם CR-300 תוצרת Minolta, Japan. באיור הצמוד לטבלה מוצג מפתח זווית הצבע HUE. ישנם הבדלים מובהקים בין הפירות שגדלו תחת הרשת (shaded) לאלו הגדלו חשופים לשמש (unshaded) ($P < 0.001$).



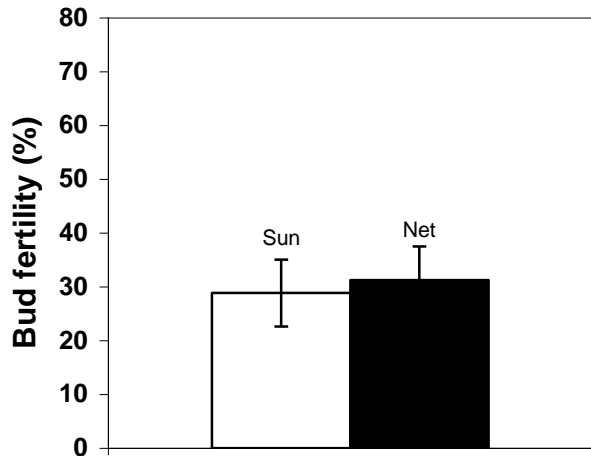
איור מס' 44 : מעקב הבשלה במושב לכיש בעונת 2009. מוצגים ערכי כלל מוצקים מסיסים (TSS) ו-pH. הנתונים נבדקו בעזרת מכשיר Sugar/brix Refractometer מודל 300010 תוצרת SPER SCIENTIFIC, סין ובעזרת pH-meter מדגם PHM82 תוצרת Radiometer Copenhagen, דנמרק.

טבלה מס' 4 : מקדם הרגרסיה (r^2) ומובהקות הרגרסיה הלינארית (P), שנעשו בין מרכיבי היבול בעונת 2009 במושב לכיש ($n=12$).

| מספר גרגרים לאשכול | משקל אשכול | קוטר גרגר | משקל גרגר | מספר אשכולות | משקל יבול | |
|--------------------|---------------------------|----------------------------|-------------|--------------------------|-----------|--------------------|
| <i>n.s.</i> | $r^2=0.523$ $P<0.0078$ | $r^2=0.337$ $P<0.00475$ | <i>n.s.</i> | $r^2=0.491$ $P<0.011$ | | משקל יבול |
| <i>n.s.</i> | <i>n.s.</i> | <i>n.s.</i> | <i>n.s.</i> | | | מספר אשכולות |
| <i>n.s.</i> | <i>n.s.</i> | $r^2=0.808$ $P<0.001$ | | | | משקל גרגר |
| <i>n.s.</i> | <i>n.s.</i> | | | | | קוטר גרגר |
| | $r^2=0.649$ $P<0.0015$ | | | | | משקל אשכול |
| | | | | | | מספר גרגרים לאשכול |

על מנת להבין את המרכיבים המשפיעים על גובה היבול בוצעה קורלציה בין המרכיבים הרשומים לעיל בטבלה מספר 4. ניתן לראות כי 2 הגורמים הקשורים ביותר לגובה היבול הם משקל האשכול ומספר האשכולות. לא נמצאה מובהקות בין מספר הגרגירים לאשכול מול גורמי יבול אחרים למעט משקל האשכול. משקל וקוטר הגרגר קשורים זה בזה באופן מובהק, אך מבין שניהם ישנה מובהקות סטטיסטית רק בין קוטר הגרגר למשקל היבול.

6.6 פוריות זמורות



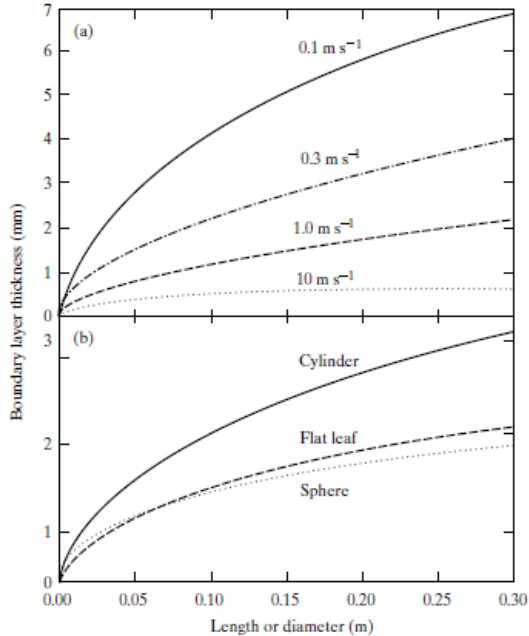
איור מס' 45: אחוז פוריות הפקעים במושב לכיש. הזמורות נלקחו לבדיקה ב-19/01/2009.

באיור מספר 45 מוצג אחוז פוריות הניצנים המורכבים של 2 הטיפולים. הבדיקה נעשתה בינואר 2009, שנה לאחר פרישת הרשת. לא נראה הבדל בין הטיפולים. האחוז הנמוך יחסית של הפוריות נמדד בניצנים הקרובים לבסיס השריג, כפי שנמדד בניצן מספר 2 ומספר 4. נראו יותר תפרחות בניצנים 6,8,10 וזאת בהתאם לידוע על הזן ולפרקטיקה של הזמירה המקובלת (זמירה ארוכה).

7. דיון ומסקנות

7.1 מטאורולוגיה

למעקב אחר המדדים המטאורולוגיים חשיבות רבה בהבנה טובה יותר של מדדים פיסולוגיים המובחנים בכרם. מהירות הרוח בגובה הנוף הוא המדד שהושפע באופן הבולט ביותר מפרישת הרשת מעל נוף הכרם.



איור מספר 46: השפעות אורך הטרף בכיוון משב הרוח ומהירות הרוח על עובי שכבת הגבול של העלה. על פי Nobel, 2005.

מהירות הרוח בחלקה המחופה היתה נמוכה ב- 65.4% ממהירות הרוח בחלקה החשופה. שינוי זה משפיע באופן ישיר על מוליכות שכבת הגבול של הנוף. עובי שכבת הגבול של הנוף מחושב מאורך החלקה בכיוון הרוח, מדד דחיסות הנוף, מהירות הרוח בציר האופקי, מדד חספוס הנוף (roughness length), וגורמים נוספים

(Katul et al., 2004; Campbell and Norman, 1998). המדדים העיקריים המשפיעים על החישוב הם מהירות הרוח ואורך החלקה בכיוון הרוח. למרות שעובי שכבת הגבול לא חושב, ניתן לומר כי עובי שכבת הגבול של העלה הבודד בחלקות החשופות היה קטן מזה שבחלקה המחופה (איור מס' 46). לעובי שכבת הגבול יש השפעה על המוליכות של הנוף ובהתאם גם על קצב ההתאדות (Rice et al., 2001). העובדה שמהירות הרוח פחתה

באופן חד כל כך יכולה להיות מוסברת על ידי מספר גורמים וביניהם כיוון הרוח בכרם, כיוון השורות ואופן הנחת הרשת:

הרוח באזור בו נטוע הכרם היא לרוב מערבית ונושבת בציר האורך של הרשת ובניצב לכיוון השורה (איור מס' 3). לנטיעת שורות הגפן בכיוון צפון-דרום יתרון מבחינת פיזור הקרינה בין המפנים של שורת הגפנים (Smart, 1973; Mullins et al., 1992). בשנים האחרונות מתחזקת ההכרה כי בארץ לנטיעה בשורות שכיון מזרח-מערב יתרון על פני שורות בכיוון צפון-דרום, זאת בשל העובדה שהרוח היא בעיקר מערבית. הצבת השורות בכיוון מזרח-מערב משפרת את זרימת הרוח בתוך הנוף ומסלקת עודפי חום ולחות בלתי רצויים. יש לכך משמעות רבה מבחינת צינון הנוף והפרי (Smart, 2010). גורם נוסף המשפיע על הפחתת מהירות רוח הוא אופן הנחת הרשת. בכרמים שגודלו בבתי רשת סגורים, שבהם קצב חילוף האוויר נמוך במיוחד חלה לעיתים עליה של הטמפרטורה והלחות היחסית עד לפגיעה בהתפתחות האשכול (מדיווחי מדריך גפן באזור לכיש). לעומת זאת כאשר הרשת היא אופקית בלבד ולא במבנה סגור מתקבלת קרינה מופחתת ונותר אוורור במידה הנדרשת.

שטף הקרינה הגלובאלית (Global Radiation) שנמדד תחת הרשת היה נמוך ב- 25% משטף הקרינה הסביבתית. מידת הפחתה של הקרינה הפוטוסינתטית PAR ושל הקרינה הגלובאלית היתה דומה, ועשויה לרמוז כי הרשת לא משנה את ההרכב הספקטראלי של האור. עם זאת, יכולה להיות אפשרות בה ישנה הפחתה דומה של עוצמת הקרינה תחת הרשת, עם שינוי בהרכב אורכי הגל של הקרינה (Quantity vs. Quality) (Rajapakse and Shahak, 2007).

שטף הקרינה נמדד כ-0.5 מטר מעל גובה הנוף אך קיים הבדל גדול בין שטף הקרינה לו זוכים העלים בראש הנוף לעומת השטף לו זוכים עלים בתחתית הנוף. העלים המצויים בתחתית הנוף קולטים קרינה בשיעור של 3-6% מהקרינה הפוגעת בעלים העליונים (Smart, 1985). בשל כך, העלים התחתונים בגפנים החשופות זכו לשטף קרינה גבוה יותר מהעלים המקבילים בנוף מחופה הרשת. מאידך, קיימת השפעה גם לפיזור האור (Scattering), עקב פגיעת קרני השמש בחוטי הרשת ובעקבותיו הגדלת שיעור האור הדיפוזי תחת רשתות, אפקט שיכול להשפיע על קצב הפוטוסינתזה של כלל הצמח (Möller et al., 2010).

פרישת הרשת מעל נוף הגפנים השפיעה במידה קטנה יחסית על טמפרטורת האוויר והלחות היחסית שנמדדו כ-0.5 מטר מעל גובה נוף. ההפרש המרבי בלחות היחסית בין החלקה המחופה לחשופה עמד על 3.8% במהלך הלילה. בשעות הבוקר ההפרש הצטמצם עד למצב בו לא היה הבדל בין החלקות בשעות הצהריים (איור מס' 15). ניתן לשער כי ההפרש הקטן בלחות היחסית נבע ממהירות רוח נמוכה מאוד במהלך הלילה שגורמות להצטברות לחות באיזור הנוף ולא מנדפות אותו. שיא עוצמת הרוח (איור מס' 4) מתאים לזמן בו ההבדל בלחות קרוב ל-0 (בסביבות השעה 13:00).

באיור מספר 14 מוצג הפרש הטמפרטורה, שנמדד כ-0.5 מטר מעל גובה הנוף, בין החלקה החשופה למחופה לפני הבציר ולאחריו. מהתוצאות עולה כי להפסקת ההשקיה לאחר הבציר היתה השפעה על הפרש הטמפרטורות בין הנוף המחופה לחשוף, כנראה בשל ירידה גדולה יותר במוליכות הפיוניות בנוף החשוף. ET_0 הוא ערך מחושב של האופוטורנספירציה הפוטנציאלית ממשטח היפותטי של דשא בגובה 12 ס"מ. חישוב האופוטורנספירציה היומית (ET) בכרם, נעשה על פי הנתונים שנתקבלו מהתחנות המטאורולוגיות שהוצבו בחלקה המחופה ובחלקה החשופה על פי Penman-Monteith (Allen et al., 1998). מתוצאות החישוב עולה כי ET_0 גדול בחלקה החשופה ב-30% יותר מהחלקה המחופה. מהירות הרוח u ושטף הקרינה נטו R_n הם המדדים אשר השפעתם היתה הגדולה ביותר על הערך שנתקבל. יש לזכור כי ערך ET_0 מתייחס להתנגדות הפיוניות לאדי מים כערך קבוע. ניתן להניח כי מאחר ומוליכות הפיוניות שנמדדה בעלי השמש היתה גבוהה יותר בחלקה המחופה, ההבדלים בין הטיפולים היו מצטמצמים בחישוב של האופוטורנספירציה הנמדדת ET_C . על מנת להבין טוב יותר האם גפנים מחופות רשת מאדות פחות מגפנים בלתי מחופות בוצעה בדיקת פוטנציאל המים בגזע שעליה ארחיב את הדיבור בפרק הדיון הבא.

7.2 משק מים

תא הלחץ, בעזרתו נמדד פוטנציאל המים בגזע (Scholander et al., 1965) הינו כלי מדידה אמין להערכת ההבדלים במשק המים של צמחים בטיפולים אגרוטכניים שונים (Naor et al., 2006; Doltra et al., 2007; Chone et al., 2001).

ככלל, פוטנציאל המים שנמדד בגפנים שגדלו תחת רשת גבוה מזה שנמדד בגפנים החשופות. פוטנציאל המים בגזע (Mid-day Stem water potential) שימש מדד מרכזי בהבנת השינוי בגפנים שחופו ברשת. נמדד הפרש קטן ומובהק של 0.1MPa בין הגפנים המחופות לחשופות. בתפוח נמצא כי פוטנציאל המים בגזע גבוה במטע מחופה הרשת ב-0.1-0.3 MPa יותר מאשר במטע החשוף (שחק וחוב', 2009). בגפן יין מזן סנגייובזה נמצא כי פוטנציאל המים בעלה שנמדד בגפנים מוצללות היה פחות שלילי ב-0.1-0.2 MPa (Cartechini et al., 1995).

ההסבר לתוצאה זו נעוץ ב-2 גורמים עיקריים: מהירות הרוח קטנה יותר תחת הרשת היוצרת שכבת גבול רחבה יותר. בגפנים עם שכבת גבול רחבה האיזוי יהיה קטן יותר (Meinzer and Grantz, 1991) גם ללא התחשבות במוליכות הפיוניות. הגורם השני לתוצאה זו הוא טמפרטורת העלה. בכל ימי המדידה נמדדה טמפרטורת עלה גבוהה יותר ב- $0.88-1.23^{\circ}\text{C}$ בגפנים החשופות (איור מס' 43). טרנספירציה אשר גורמת לירידה בטמפרטורת העלה בתהליך צינון התנדפותי, מאפשרת פעילות אנזימטית מוגברת בתהליך קיבוע הפחמן ומביאה לפעילות פוטוסינתטית יעילה יותר (Downton, 1987). עלים בעלי מוליכות פיוניות נמוכה יותר (כפי שנראו העלים מהחלקות החשופות ברוב ימי המדידה) יהיו חמים יותר. בנוסף, בחלקות החשופות מפל הריכוזים שבין סביבת העלה לבין האוויר גדול יותר. אם נניח כי העלים הנמדדים בניסוי מייצגים חלק משמעותי מכלל הנוף בחלקה, ניתן להעריך כי האיזוי בכלל החלקה החשופה גדול יותר, דבר שמסביר את ערכי פוטנציאל המים הנמוכים יותר שנמדדו.

7.2.1 צריכת מים - לזימטרים

לזימטרים שימשו בניסוי הנוכחי למדידה ישירה של צריכת מים יומית של גפנים מחופות רשת (Williams et al., 2003b). הליזימטרים המוצבים בכרם מו"פ לכיש שימשו במשך 7 שנים למדידת צריכת המים של הגפנים ועריכת עקום מקדם גידול K_c (Netzer et al., 2009). בעונת 2008 גפני הליזימטרים חופו ברשת צל בעלת תכונות דומות לאלו של הרשתות בכרם הניסויי במושב לכיש. מטרת הניסוי היתה לבחון את ההבדל בין עקום מקדם הגידול של הגפנים טרם פרישת הרשת ולאחר פרישת הרשת. ניתן היה לצפות כי צריכת המים ET_c של הגפנים מחופות הרשת תהיה נמוכה מאשר של אותן גפנים בארבע העונות הקודמות, שבהן לא כוסו ברשת צל. במחקר שנערך בצמחי קפה בקוסטה ריקה נמצא כי בזמן התקופה היבשה, בה נמדד ערך VPD גבוה, צמחים שגדלו בתנאי צל אידו פחות מים (ET_c) מאשר צמחים חשופים לשמש ישירה. זאת בשל LAI גבוה יותר שנמדד בצמחי הצל (Van kanten and Vaast, 2006).

מאיור 24A ניתן ללמוד כי, שלא כצפוי, צריכת המים של הגפנים מחופות הרשת בעונות 2008 עד 2010 הייתה גבוהה במוצע ב-10% יותר מאשר בשבע העונות הקודמות בהן גפני הליזימטרים גודלו ללא חיפוי רשת. ובהתאם לכך גם עקום K_c שנבנה מערכי צריכת המים היומית ET_c ומערכי האופוטורנספירציה הפוטנציאלית ET_0 שחושבה מנתונים מטאורולוגיים, היה גבוה מעקום מקדם הגידול K_c של הגפנים טרם החיפוי. את העובדה שצריכת המים היומית בעונות בהן הגפנים מחופות רשת היתה גבוהה יותר מאשר בשנים בהן היו חשופות ניתן לתלות, באופן חלקי, בשטח העלים הגדול יותר שהתפתח בגפנים מחופות הרשת, דבר שהתבטא ב-LAI סופי גבוה יותר ב-20% החל מסוף חודש מאי, DOY 150 (איור 25). גורם מרכזי נוסף שעשוי לתרום לצריכת המים הגבוהה הוא מוליכות פיוניות גבוהה יותר במשך היום בעלים שהתפתחו תחת הרשת כפי שנמצא בניסוי הרשתות בכרם במושב לכיש (איורים 27,28). איור 26B מציג את מקדם הגידול K_c מול LAI בעונות בהן הכרם היה מחופה ברשת לעומת העונות בהן היה חשוף. מאיור זה עולה כי אין הבדל ב- K_c בין השנים בהם הכרם היה חשוף לבין השנים בהם הכרם היה מחופה, גם כאשר מתחשבים באינדקס העלווה LAI. גורם בולט נוסף, קשה לכימות, המבדיל בין גפנים מחופות רשת לגפנים החשופות הוא "חיוניות העלווה". הדבר התבטא בעובדה שקצב הזדקנות העלים בגפנים מחופות הרשת היה איטי יותר, כמות הפגעים הפיזיים בעלים היתה קטנה יותר (שריטות, התיבשויות), התקפלות עלים מעטה יותר והצטברות אבק מעטה יותר.

7.3 חילוף גזים

כלל תנאי הסביבה תחת הרשת מעודדים את חילוף הגזים

למרות ששטף הקרינה הפוטוסינתטית (PPFD) אליה נחשפו הגפנים תחת הרשתות נמוך יותר (איור מס' 11), מוליכות הפיוניות g_s בעלים שנדגמו מגפנים בחלקות מחופות הרשת היתה ב- 7 מתוך 11 ימי מדידה גבוהה באופן מובהק מזו שנמדדה בעלים מגפנים בכרם החשוף (איור מס' 28). ממדידות שבוצעו ב-3 תאריכים שונים לאורך העונה נראה כי באותו שטף קרינה נמדדה מוליכות פיוניות (g_s) גבוהה יותר בעלים שגדלו תחת רשת (איור 31). במחקר שנערך בעצי הדר (תפוז ואשכולית) נמצא כי תחת רשת צל (50% הפחתת קרינה) נמדדו מוליכות פיוניות, שטף קיבוע פחמן ויעילות ניצול מים גבוהים יותר בצמחים מחופי הרשת, זאת בשל טמפרטורת עלה נמוכה יותר לעומת טמפרטורת העלים בחלקות החשופות (Jifon and Syvertsen, 2003). במחקר נוסף, (Raveh et al., 2003) הראו בעצי הדר כי מוליכות הפיוניות בעצים שגדלו תחת רשת צל 60% היתה גבוהה יותר באופן מובהק לעומת זו שנמדדה בעצי הביקורת ($155 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ לעומת $92 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). בנוסף הראו החוקרים כי קיבוע הפחמן היומי (Net CO_2 uptake) היה גבוה יותר בעצים שגדלו תחת רשת צל 60% ($137 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ לעומת $96 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). בעצי הדר מהזן 'ולנסיה' נראה כי בצמחים שגדלו תחת הצללה של 50% נמדדו מוליכות פיוניות וקצב פוטוסינתזה גבוהים מצמחי הביקורת שגדלו תחת שמש מלאה. למרות מוליכות הפיוניות הגבוהה, ערך הדיות E שנמדד היה דומה ב-2 הטיפולים וזאת בשל התנאים הנוחים יותר תחת הרשת (Garcia-Sanchez et al., 2006). גם במחקרם של Cohen et al., 2005 נמצא באשכולית כי חיפוי ברשת 30% משפר את מוליכות הפיוניות ואת קצב קיבוע הפחמן בעלה שגדל תחת הרשת באופן מובהק מצמחי הביקורת. ירידה ביחס איזוטופים של פחמן ($\delta^{13}\text{C}$) בעלים מעצים שגדלו תחת הרשת לעומת עלי הביקורת הצביעה אף היא על עליה במוליכות הפיוניות בטיפול זה במהלך התקופה שקדמה לבדיקה.

במחקרים בהם יושמו הצללות חריפות יותר נצפו השפעות פיסיולוגיות שליליות. במחקר שנעשה בגפן יין מזן סמיון (Semillon) נראה כי בעלים של גפנים שגדלו תחת רשת 70% צל, נמדדה מוליכות פיוניות נמוכה ב-24% וקצב קיבוע פחמן נמוך ב-35% מעלים של גפני הביקורת שגדלו תחת קרינה ישירה, דבר שהביא לירידה ביבולים ובאיכות הפרי (Greer et al., 2011). ירידה בקצב חילוף הגזים בעלים שנחשפו ל-50% מערכי קרינה טבעית ניכרת גם בגפן יין מזן שרדונה (Vanden-Heuvel et al., 2004).

נראה כי לחיפוי ברשת יש השפעה חיובית תחת תנאי השקיה מיטביים. במחקרם של Sofo et al., 2009 נראה כי מוליכות הפיוניות של כרם זיתים בעקת מים קטנה יותר תחת רשת צל (30% הצללה) לעומת צמחי הביקורת. ומאידך, בזמן בו ניתנה השקיה מיטבית לצמחי הזית, נמדדה מוליכות פיוניות גבוהה יותר בזיתים המחופים. גם במחקר שבוצע בזריעים של עצי אלון בו נבדקו השפעות הגומלין של 3 רמות קרינה ו-2 רמות השקיה נמצא כי השפעת ההצללה על קצב הפוטוסינתזה היתה חזקה ביותר במקרים בהם ניתנה השקיה מיטבית (Quero et al., 2006).

ידוע לנו כי קיים מתאם ביחס ישר בין מוליכות הפיוניות g_s לבין קצב קיבוע הפחמן A_n בתחום הערכים הנמוכים עד הבינוניים של מוליכות פיוניות בזנים שונים של גפן. בערכים גבוהים של g_s תוספת במוליכות הפיוניות לא גרמה לעלייה בקצב קיבוע הפחמן (Flexas et al., 2010). במחקר הנוכחי, ההצללה ברשת הביאה לעליה במוליכות הפיוניות (איור 28) באופן מובהק יותר מאשר העליה בקצב קיבוע הפחמן (איור 38).

זאת ככל הנראה בעקבות העובדה שערכי מוליכות הפיוניות היו גבוהים בהשוואה לערכים שפורסמו (Williams et al, 2012; Chaves et al., 2010). סיבה נוספת לממצא זה נובעת מכך שתחת הרשת נמדדה קרינה מופחתת (איורים 6-8) והיותה גורם מגביל לתהליך הפוטוסינתזה.

באיור מספר 33 נראה הקשר בין מוליכות הפיוניות g_s לקצב קיבוע הפחמן A_N . באיור ישנן מספר נקודות חריגות המציגות מוליכות פיוניות גבוהה ושטף קיבוע פחמן נמוך. מקורן של נקודות מדידה אלו הוא בשעות הבוקר המוקדמות בהן נמדדה מוליכות פיוניות גבוהה המאפשרת כניסת CO_2 לחללים הבין-פיוניים אך קצב נמוך של מעבר אלקטרונים במרכזי הריאקציה עקב שטף הקרינה הנמוך ששרר באותו זמן. באיור 34 המציג את הקשר בין מוליכות הפיוניות להפרש לחץ האדים בין העלה לסביבה (VPG) ניתן לראות כי בערכים נמוכים של VPG ישנו פיזור גדול של ערכי מוליכות פיוניות, זאת עקב העובדה שמקור נקודות אלו משעות הבוקר המוקדמות בהן נמדדה מוליכות פיוניות גבוהה ושעות אחר הצהריים המאוחרות, בהן נמדדה מוליכות פיוניות נמוכה. המתאם בין מוליכות הפיוניות לבין ערכי VPG גדל ככל שערכי ה-VPG עולים.

יעילות ניצול המים הרגעית intrinsic WUE היא היחס בין A/g_s (Medrano et al., 2010). הערך מוצג באיור 36. נראה כי בגפנים החשופות נמדדה יעילות גבוהה יותר באופן מובהק ב-2 מתוך 4 המועדים המוצגים. הסיבה לתוצאה זו מוסברת בחלקה בפרק התוצאות 6.3.2 ונעוצה בכך שנמדדה עליה ממוצעת של כ-20% במוליכות הפיוניות בגפנים המחופות ב-12:00 לעומת עליה קטנה יותר בקצב קיבוע הפחמן שעמדה על 10% בלבד. לא ניתן להסיק מגרף זה מסקנות חד-משמעיות בנוגע לאידי הצמחי של הגפנים מאחר והדרישה הסביבתית לאידי גדולה יותר בחלקות החשופות. באותו גרף מוצג VPG שהוא ההפרש בלחץ האדים מהעלה לסביבה, נראה כי מפל הלחצים תמיד גדול יותר בחלקה החשופה. יותר מכך, לא ניתן לבסס מסקנות אינדוקטיביות על הצמח השלם מעלי שמש בלבד, מבלי למדוד את חילוף הגזים של עלים משכבות שונות בצמח השלם (Warren Wilson, 1960; de Wit, 1965; Ross and Nilson, 1967; Cowan, 1968; Ross, 1975, 1981; Goudriaan, 1977; de Pury and Farquhar, 1997).

בספרות מתואר הקשר שבין טמפרטורת העלה לבין קצב קיבוע פחמן כעקומת אופטימום ובה עליה של קצב קיבוע הפחמן עד לטווח טמפרטורה שנוע בין $28^{\circ}C$ ל- $32^{\circ}C$ (Downton, 1987; Alleweldt, 1982; Kriedemann, 1968) בטמפרטורה גבוהה מזה, נמדדו שטפי פוטוסינתזה הולכים ויורדים, זאת בשל תלות בפעילות אנזימטית. באיור 37 נראה אותו קשר בניסוי ובו נראה אופטימום בתחום שבין $30^{\circ}C$ ל- $32^{\circ}C$ ומעל לאופטימום ירידה בשטפי הפוטוסינתזה. ניתן לראות כי ישנן הרבה יותר נקודות של הגפנים החשופות באזור שמעבר לאופטימום ובו טמפרטורת עלה גבוהה יותר וקצב קיבוע פחמן נמוך יותר. לא נראה הבדל בין העקומות השונות, משמע התגובה של קצב קיבוע הפחמן לטמפ' העלה ב-2 הטיפולים היתה דומה. ניסיון נוסף לקשור בין מוליכות הפיוניות לקצב קיבוע הפחמן הוצג באיור 39, בו מוצגים 3 ימים מייצגים מכל אחת מן העונות. נראה כי הקשר הליניארי חזק יותר בשנת 2010 לעומת 2009. האיורים משנת 2010 מראים את הקשר בין המדדים כפי שהיה בשעה 12:00 בלבד. לעומת זאת בשנת 2010 מוצגים ערכי כל שעות המדידה ביום שהוצג. הסיבה לקשר החזק יותר היא כי בשעה 12:00 השמש קרובה לזניט ואין מגבלת אור. מאחר ושעה זו היא גם חמה יותר, יש לרוב עקת מים גדולה יותר ולכן הגורם המגביל לתהליך הפוטוסינתזה הוא מוליכות הפיוניות. על כן אנו רואים קשר חזק יותר באיורים משנת 2010.

לסיכום, לאור העובדה שהחיפוי נעשה באמצעות רשת שקופה אין להניח ששינוי בהרכב הספקטרום של האור גרם לעידוד מוליכות הפיוניות (Kim et al., 2004). לעומת זאת, העובדה שמוליכות פיוניות גבוהה יותר נמדדה דווקא כאשר הטמפרטורה נמוכה יותר תומכת באפשרות שכלל תנאי הסביבה תחת הרשת מעודדים את חילוף הגזים (איור 32). כאשר הטמפרטורה החיצונית נוחה יותר, העלה מתחמם פחות ולכן נראית מוליכות פיוניות גבוהה יותר. מאידך – מוליכות פיוניות גבוהה יותר משמע דיות רב יותר שגורם להורדת טמפרטורת העלה (Downton, 1987; Williams et al, 2012).

7.3.1 פלורסנציה של כלורופיל a

במשטרי תאורה נמוכים (פחות מ- $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) יותר מ-80% מהקוונטה הנבלעת מועברת לפוטוסינתזה. כאשר מגיעים לרמת קרינה של $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ פחות מ-25% מועברים. כאשר מגיעים לערכי קרינה טבעית, מלאה, הניצולת יורדת לפחות מ-10%, או במילים אחרות – היעילות הקוונטית של מערכת אור 2 היא הגבוהה ביותר ברמות קרינה נמוכות (Maxwell and Johnson, 2000). איור 40 מראה מהלך יומי של יעילות פוטוסינתטית ושל קצב קיבוע פחמן ב-2010. המגמה שתוארה קודם לכן מן הספרות אכן מתקיימת במקרה זה, אך למרות היעילות הגבוהה של מערכת אור 2 בשעות הבוקר אנו רואים שטף נמוך של קיבוע פחמן. סיבה אפשרית היא שטפי קרינה נמוכים בשעות אלו (איור מספר 6) שגורמים לקצב קיבוע פחמן נמוך יחסית. לא נראו קשרים חזקים במיוחד בין טמפרטורת העלה לבין ΦPSII במדידות שהוצגו באיור 41. הקשר החלש שמוצג הוא בשל העובדה שלא היו אלו ימים חמים במיוחד. בימים חמים יותר נצפה לראות עליה בטמפרטורת העלה בעקבות סגירה חלקית של מרכזי הריאקציה (Demmig-Adams and Adams, 1992). בניסוי שנערך בחיטה נמצא כי יעילות קוונטית גבוהה של מערכת אור 2 בצמחים שגדלו תחת רשת גורמת לניתוב יותר פוטונים של אור לתהליך הפוטוכימי, דבר שמעבר לתרומה העיקרית שלו לפוטוסינתזה, תורם גם לטמפרטורת עלה נמוכה יותר וכן למאזן אנרגטי יעיל יותר (Moffatt et al., 1990). לא מן הנמנע שמצב זה קיים גם במחקר הנוכחי, אך לא הובאו מספיק תוצאות על מנת לבסס מסקנות חזקות דיין.

7.4 חיוניות הנוף ואיכות הפרי

במהלך העונה נראו בשדה הבדלי חיוניות בין הנוף של הגפנים המחופות לנוף של הגפנים החשופות. עלי השמש בחלקות החשופות היו נוקשים יותר ומחוספסים, מגולגלים רוב שעות היום, בעוד שעלי השמש מהחלקות המחופות נראו חיוניים יותר, העלווה נראתה צפופה וירוקה יותר.

7.4.1 המשקל הספציפי של העלה

עלי השמש שנדגמו מהחלקות החשופות הם בעלי משקל ספציפי גבוה יותר (איור 42). ישנן 2 סיבות להסבר התוצאה: הראשונה היא ייצור מוגבר של קוטיקולה ושעווה בשכבה החיצונית של העלה. הסיבה הנוספת היא ייצור שכבות נוספות של תאי מזופיל עמודי (Hunsche et al., 2004). שכבות תאי העמודים, בהם מצוי הכלורופיל, קובעות במידה רבה את הפוטנציאל הפוטוסינתטי של העלה. ייצור מוגבר של תאי עמודים בעלים הגדלים תחת משטר של הצללה נעשה על מנת לפצות על חסר בשטף הקרינה. הסיבה שמסבירה את תוצאות עבודה זו היא ייצור מוגבר של קוטיקולה בעלים שגדלו ללא חיפוי רשת.

7.4.2 טמפרטורת העלה

הטמפרטורה הממוצעת של העלים בחלקות מחופות הרשת הייתה נמוכה ב- 1°C בקירוב לעומת הטמפרטורה הממוצעת של העלים בחלקות החשופות. כל הסיבות להפרש צוינו בפרקים הקודמים. בהקשר זה ניתן לציין כי ישנו קשר בין טמפרטורת עלה גבוהה לקצב גבוה של הזדקנות עלים שמביא לפירוק כלורופיל ולירידה בשטפי פוטוסינתזה (Field and Mooney, 1983).

העובדה שעלי השמש הבוגרים חשופים לטמפרטורה גבוהה הפוגעת בהם ומאיצה את קצב ההזדקנות שלהם מחלישה אותם כמקור. לעלי מקור תפקיד חשוב בתור יצרנים של תוצרי אנרגיה לכלל הגפן, כך שיכול להיות שכלל הצמח ייפגע ממצב זה (Field, 1987).

7.4.3 בדיקות יבול ואיכותו

גפנים שגדלו תחת רשת הניבו % 12.8 יותר יבול בממוצע תלת שנתי מאשר הגפנים החשופות, ללא מובהקות סטטיסטית. את התרומה העיקרית לעליה בגובה היבול תרם גודל הגרגר. מספר האשכולות לגפן היה דומה ב-2 הטיפולים. גורם נוסף, משמעותי פחות להבדל ביבולים הוא כמות היבול שאינו ראוי לשיווק (בִּרְהָ), שהיה נמוך יותר בחלקה המחופה. מדדי ההבשלה (אחוז סוכר וערך הגבה) היו דומים זה לזה במהלך העונה, בעת הבציר נמדדו הבדלים מובהקים זה מזה של אחוזי הסוכר בפרי, ומאחר וממילא היו אלו ערכים גבוהים, אין בהם משמעות רבה עבורנו. בהקשר זה אציין כי צבירת הסוכר בפרי מושפעת יותר מהצללת העלים מאשר הצללת האשכול (Morrison and Noble, 1990). צבע הפרי שנמדד במצלמה הראה הבדלים בין החלקות. בחלקה המוצללת נמדד צבע ירוק יותר (רצוי יותר) מזה של החלקה החשופה. זני גפן מסוימים רגישים לקרינה חזקה סביב מועד היבול, תופעה שגורמת להפחתת יבולים משמעותית עקב 'מכות שמש' שגורמות להתפוצצויות אשכולות ולרקבונות פרי. עקב תופעה זו, חלק מן החקלאים, בחלק מן הזנים מכסים את המרווח שנוצר בין השורות ברשתות שחורות.

בינואר 2009 בוצעה בדיקת פוריות זמורות וזאת מתוך מחשבה שההצללה תגרום להתמיינות לא מלאה בניצני הגפן ועקב כך להפחתת יבולים. בניסוי זה לא נמצאו הבדלים בפוריות הזמורות של החלקות השונות. חיזוק לתוצאה זו היא כמות האשכולות בפועל שנמדדה בעת הבציר והייתה דומה ב-2 הטיפולים.

7.5 דיון מסכם

השאלה מרכזית שעליה מנסה לענות המחקר היא האם יש יתרון לגידול ענבי מאכל ברשת צל 13% על פני גידול ללא רשת כלל. על מנת לענות על שאלה זו נמדדו מדדים פיזיולוגיים בגפנים של חלקת הניסוי שהוצגו בפרק התוצאות. ניתן להסיק כי ישנם הבדלים, בעיקר בשעות הצהריים בין הגפנים המחופות רשת לגפנים החשופות. בגפנים שגודלו תחת רשת נמדדה מוליכות פיוניות גבוהה יותר בשעות הצהריים, שהובילה רק בחלק קטן מהמקרים לקצב קיבוע פחמן רב יותר. להפחתת שטף הקרינה בחלקות הגפנים המחופות היתה, ככל הנראה השפעה חיובית מתונה על הפחתת תופעת ה- Midday depression. ניתן להניח כי תנאי מהירות רוח מופחתים תחת הרשת הביאו למאזן מים חיובי יותר בגפנים המחופות. העלים בחלקות המחופות היו חיוניים יותר ובעלי טמפרטורה ממוצעת נמוכה יותר שגרמה להזדקנות איטית יותר.

על מנת לענות על השאלה מהי צריכת המים של גפן תחת רשת צל בהשוואה לגפן שגדלה תחת שמש ישירה נמדדה צריכת המים ET_C בחלקת הליזימטרים במו"פ לכיש. שיטת הניסוי היתה חיפוי כלל הגפנים ברשת צל והשוואת נתוני צריכת המים בשנים אלו לנתוני צריכת המים בשנים קודמות, בהן לא היה כיסוי. כאן נרשמה, להפתעתי עליה בצריכת המים של הגפנים, ועמה עליה בשטח העלוה בחלק האחרון של העונה. LAI גבוה יותר יחד עם מוליכות פיוניות גבוהה יותר תחת הרשת (מתוצאות הכרם המסחרי) יכולים להסביר חלק מהעובדה כי הגפנים בליזימטרים בשנים המחופות אידו יותר מים תחת הרשת לעומת הגפנים החשופות.

המדידות הפיזיולוגיות ומדידות צריכת המים גם יחד תומכים בשאלה המרכזית בניסוי: האם תובחן עליה ביבול ומדדי איכות יבול בעקבות פרישת הרשת. למרות שבשנים מסוימות נמדדה עליה של 17% ביבול, השונות בין החזרות היתה גבוהה עד כדי פגיעה במובהקות התוצאות ולא נתקבלו הבדלים מובהקים בגובה היבול. לעומת זאת הובחן שיפור באיכות הפרי של גפנים תחת רשת. צבע הפרי נטה לצבע הירוק, הרצוי יותר וכמות הפרי שאינו ראוי לשיווק היתה קטנה יותר.

כיום ישנם פתרונות חלקיים בלבד לחקלאים שאינם מעוניינים לשלם את העלות הכספית הגבוהה הכרוכה בהקמת מבנה מתאים לרשת. על מנת להימנע מצריבות או מכות שמש נהוג להניח רשת בין השורות לקראת הבציר, שהיא זולה יותר ופותרת אך ורק את החשיפה המוגברת של האשכולות לקרינה מזיקה בחודשי הקיץ. נוסף על כך, ניתן, על מנת להפחית את מהירות הרוח באופן ניכר, להציב רשתות בקצה השורה כמשברי רוח. הצבת רשתות אנכיות גרמה להכפלת מספר שעות היום בהם נמדדה מוליכות פיוניות גבוהה לעומת חלקה ללא משבר רוח (Freeman et al., 1982).

לעניות דעתי, הגדלת יבול באופן ניכר תתאפשר על ידי ביצוע פעולות אגרוטכניות נוספות תחת הרשת: הגדלת מספר הזמורות לגפן, קיצוץ נוף נוסף במהלך העונה למניעת הצללת יתר ובנוסף, דילול אשכולות מופחת. מאחר וגובה היבול בכרם זה מוגבל במידה רבה על ידי דילול האשכולות, ולאור התוצאות הפיזיולוגיות המשופרות, ניתן להשאיר מספר גדול יותר של אשכולות בכרמים מחופים רשת ולקבל יבול גבוה יותר וזאת מבלי לפגוע באיכות הפרי.

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome.

Alleweldt G., Eibach R., Ruhl E. (1982). Investigations on gas exchange in grapevines. Influence of temperature, leaf age and daytime on net photosynthesis and transpiration. *Vitis*, 21:93-100.

Antcliff, A. J., Webster, W. J., & May, P. (1958). Studies on the Sultana vine. VI. The morphology of the cane and its fruitfulness. *Crop and Pasture Science*, 9(3): 328-338.

Archer E., Strauss H.C. (1989). Effect of shading on the performance of vitis vinifera L. cv. Cabernet Sauvignon. *S. Afr. J. Enol. Vitic* 10:74-78.

Ben-Gal A., Shani U. (2002). A highly conductive drainage extension to control the lower boundary condition of lysimeters. *Plant and Soil*, 239: 9–17.

Bertamini M. and Nedunchezian N. (2002). Photoinhibition of photosynthesis in vitis berlandieri and vitis rupestris leaves under field conditions. *Photosynthetica*, DOI: 10.1023/A:1024364321833.

Bertamini M. and Nedunchezian N. (2003). Photoinhibition of photosynthesis in mature and young leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Plant Science*, 164: 635-644.

Buck, A.L. (1981). New equations for computing vapor-pressure and enhancement factor. *Journal of Applied Meteorology*, 20:1527-1532.

Caemmerer S.von and Farquhar G.D. (1981). Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta*, 153:376-387.

Campbell G.S. and Norman J.M. (1998). an introduction to environmental biophysics. Second edition. 63-75.

Cartechini A. and Palliotti A. (1995). Effect of shading on vine morphology and productivity and leaf gas exchange characteristics in grapevines in the field. *Am. J. Enol. Vitic*, 46: 227-234.

Castellano S., Scarascia Mugnozza G., Russo G., Briassoulis D., Mistriotis A., Hemming S., Waaijenberg D. (2008). Plastic nets in agriculture: A general review of types and applications. *Applied Engineering in Agriculture*, 24(6): 799-808.

Chaumont M., Morot-Gaudry J.F., Foyer C.H. (1994). Seasonal and diurnal changes in photosynthesis and carbon partitioning in *Vitis vinifera* leaves in vines with and without fruit. *J. exp.Bot*, 45: 1235-1243.

Chaves M.M. (1991). Effects of water deficit on carbon assimilation. *J. exp. Bot*, 42: 1-16.

Chone X., Van leeuwen C., Dubourdieu D., Gaudille re J.P. (2001). Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany* 87: 477-483.

Christensen L.P. (2000). Raisin production manual. ANR Publications. p 25.

Cohen S., Raven E., Li Y., Grava A., Goldschmidt E.E. (2005). Physiological responses of leaves, tree growth and fruit yield of grapefruit trees under reflective shade screens. *Scientia Horticulturae* 107:27–35.

Coombe B.G. (1976). The development of fleshy fruits. *Annu. Rev. Plant Physiology*, 27:207-228.

Correia M.J., Chaves M.M.C., Pereira J.S. (1990). Afternoon depression in photosynthesis in grapevine leaves - evidence for a high light stress effect. *Journal of Experimental Botany* 41: 417-426.

Cowan I.R. (1968). The interception and absorption of radiation in plant stands. *Journal Of Applied Ecology* 5: 367-379.

Demmig-Adams B. and Adams W.W. (1992). Photoprotection and other responses of plants to high light stress. DOI: 10.1146/annurev.pp.43.060192.003123.

De Pury D.G.G. and Farquhar G.D. (1997). Simple scaling of photosynthesis from leaves to canopies without the errors of big-leaf models. *Plant, Cell & Environment* 20 (5):537–557.

de Medeiros, G.A., Arruda, F.B., Sakai, E., Fujiwars, M. (2001). The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficient of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *Agric. Water Manage.* 49: 211–224.

De Wit C.T. (1965). Photosynthesis of leaf canopies. Agricultural research report 663. PUDOC, Wageningen.

Dixon H.H., Joly J. (1895). On the ascent of sap. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 186:563-576.

Doltra J., Oncins J.A., Bonany J., Cohen M. (2007). Evaluation of plant-based water status indicators in mature apple trees under field conditions. *Irrig Sci*, 25:351–359.

Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (1977). Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. FAO, Rome, Italy.

Downton, W.J.S., Grant W.J.R., Loveys B.R. (1987). Diurnal changes in the photosynthesis of field-grown grape vines. *New Phytol*, 105:71-80.

Dry P.R. (2000). Canopy management for fruitfulness. *Aust. J. Grape Wine Res.* 6:109-115.

Farquhar G.D. and Sharkey T.D. (1982). Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology* 33: 317-345.

FAOSTAT (2010). <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>

Field C.B. (1987). Leaf age effects on stomatal conductance. In: Stomatal Function. (Zeiger E., Farquhar G.D. and Cowan I.R). Stanford university press, Stanford, California.

Field C.B. and Mooney H.A. (1983). Leaf age and seasonal effects on light, water, and nitrogen use efficiency in a California shrub. *Oecologia* 56: 348-355, DOI: 10.1007/BF00379711.

Flexas J. and Medrano H. (2002). Drought inhibition of Photosynthesis in C3 Plants: Stomatal and non stomatal limitations revisited. *Ann Bot*, 89(2):183-189.

Freeman B.M., Kliewer W.M., Stern P. (1982). Research note influence of windbreaks and climatic region on diurnal fluctuation of leaf water potential, stomatal conductance, and leaf temperature of grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.*, 33 (4): 233-236.

García-Sánchez F., Syvertsen J.P., Martínez V., Melgar J.C. (2006). Salinity tolerance of ‘Valencia’ orange trees on rootstocks with contrasting salt tolerance is not improved by moderate shade. *J. Exp. Bot.* 57 (14): 3697-3706.doi: 10.1093/jxb/erl121.

Gianoli E., Molina-Montenegro M.A., and Becerra J. (2007). Interactive effects of leaf damage, light intensity and support availability on chemical defenses and morphology of a twining vine. *J Chem Ecol*, 33:95–103.

Goudriaan J. (1977). Crop micrometeorology: a simulation study. PUDOC, Washington.

Greer D.H., Weedon M.M., Weston C. (2011). Reductions in biomass accumulation, photosynthesis in situ and net carbon balance are the costs of protecting *Vitis vinifera* ‘Semillon’ grapevines from heat stress with shade covering. *AoB PLANTS* doi:10.1093/aobpla/plr023.

Healey K.D., Rickert K.G., Hammer G.L., Bange M. P. (1998). Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. *Aust. J. Agric. Res.*, 49: 665-72.

Hudson M. (2007). Photoreceptor Biotechnology. p.269-270. In: Whitelam G. and Halliday K. (eds.), *Light and Plant Development*, Blackwell Publishing, UK.

Hunsche M., Blanke M.M., Noga G. (2010). Does the microclimate under hail nets influence micromorphological characteristics of apple leaves and cuticles? *Journal of Plant Physiology*, 167:974–980.

Hunsche M, Schmitz-Eiberger M, Noga G. (2004) .Rainfastness of mancozeb in ‘Golden Delicious’ apple leaves as affected by rootstock and growth conditions as well as by micromorphology and chemical composition of the leaf surface. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, 396:621-622.

Jifon J.L and Syvertsen J.P. (2003). Moderate shade can increase net gas exchange and reduce photoinhibition in citrus leaves. *Tree Physiology* 23:119–127.

Katul G.G., Mahrt L., Poggi D., Sanz C. (2004). *Boundary-Layer Meteorology* 113: 81–109.

- Kennedy J.A. (2002). Understanding berry development. *Practical Winery and Vineyard* July/August, 14-23.
- Kim H.H., Goins G.D., Wheeler R.M., Sager J.C. (2004). Stomatal conductance of lettuce grown under or exposed to different light qualities. *Ann Bot*, 94(5): 691-697.
- Kittas C., Rigakis N., Katsoulas N., Bartzanas T. (2009). Influence of shading screens on microclimate, growth and productivity of tomato. *Acta Hort*, 807: 97-102.
- Kriedemann, P.E. (1968). Photosynthesis in vine leaves as a function of light intensity, temperature and leaf age. *Vitis*, 7:213-20.
- Liu W.T., Wenkert W., Allen L.A., Lemon E.R. (1978). Soil plant water relations in a New York vineyard: Resistances to water movement. *J. Am. Soc. Hort. Sci*, 103:226-30.
- Long S.P., Humphries S., Falkowski P.G. (1994). Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 45:633-62.
- Marsal J., Mata M., del Campo J., Arbones A., Vallverdu X., Girona J., Olivo N. (2008). Evaluation of partial root-zone drying for potential field use as a deficit irrigation technique in commercial vineyards according to two different pipeline layouts. *Irrig Sci*. DOI 10.1007/s00271-007-0098-4.
- May P., Clingeleffer P.R., Brien C.J. (1976). Sultana (*Vitis vinifera* L.) canes and their exposure to light. *Vitis*. 14:278-288.
- Maxwell K., and Johnson G.N. (2000). Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J. Exp. Bot*, 51:659-668. doi: 10.1093/jexbot/51.345.659.
- McCutchan H., Shackel K.A. (1992). Stem-Water Potential as a sensitive indicator of water-stress in prune trees (*Prunus-Domestica* L cv French). *Journal of the American Society For Horticultural Science*, 117: 607-611.
- McKenry M.V. (1984). Grape root phenology relative to control of parasitic nematodes. *Am. J. Enol. Vitic.* 35: 206-211.
- Medrano H., Escalona J.M., Bota J., Gulías J., Flexas J. (2002). Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. *Ann. Bo.*, 89: 895-905.
- Meinzer F.C. and Grantz D.A. (1991). Coordination of stomatal, hydraulic, and canopy boundary layer properties: Do stomata balance conductances by measuring transpiration? *Physiologia Plantarum* 83: 324-329.
- Mercado L. M., Bellouin N., Sitch S., Boucher O., Huntingford C., Wild M. (2009). Impact of changes in diffuse radiation on the global land carbon sink. *Nature*, 458: 1014-1017.
- Möller M., Cohen S., Pirkner M., Israeli Y., Tanny J. (2010). Transmission of short-wave radiation by agricultural screens. *Biosystems engineering*, 107: 317-327.

- Morgan D.C., Stanley C.J., Warrington, I.J. (1985). The effects of simulated daylight and shade-light on vegetative and reproductive growth in kiwifruit and grapevine. *Journal of Horticultural Science* 60: 473–484.
- Moutinho-Pereira J.M., Correia C.M., Gonçalves B.M., Bacelar E.A., Torres-Pereira J.M. (2004). Leaf gas exchange and water relations of grapevines grown in three different conditions. *Photosynthetica*, 42:81-86.
- Moffatt J.M., Sears R.G., and Paulsen G.M. (1990). Wheat high temperature tolerance during reproductive growth. evaluation by chlorophyll fluorescence. *Crop Sci.* 30:881-885
- Morrison J.C. and Noble A.C. (1990). The effects of leaf and cluster shading on the composition of cabernet sauvignon grapes and on fruit and wine sensory properties. *Ajev* 41:193-200.
- Mullins M.J., Bouquet A., Williams L.E. (1992). *Biology of the Grapvine*. Cambridge university press.
- Naor A. (1998). Relations between leaf and stem water potentials and stomatal conductance in three field grown woody species. *Journal of horticultural science and biotechnology*, 73(4): 431-436.
- Naor A., Gal Y., Peres M. (2006). The inherent variability of water stress indicators in apple, nectarine and pear orchards, and the validity of a leaf-selection procedure for water potential measurements. *Irrig Sci.* DOI 10.1007/s00271-005-0016-6.
- Naor A., Klein I., Doron I. (1995). Stem water potential and apple size. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120 (4): 577-582.
- Netzer Y., Yao C., Shenker M., Bravdo B.A., Schwartz A. (2009). Water use and the development of seasonal crop coefficients for Superior Seedless grapevines trained to an open-gable trellis system. *Irrig Sci*, DOI 10.1007/s00271-008-0124-1.
- Nobel P.S. (2005). *Physicochemical and environmental plant physiology*. Third edition. Elsevier academic press.
- Oren-Shamir, M.; Gussakovsky, E.E.; Spiegel, E.; Nissim-Levi, A.; Ratner, K.; Giller, Y.E.; Shahak, Y. (2001). Colored shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76:353-361.
- Ortuno M.F., Garcia-Orellana Y., Conejero W., Ruiz-Sanchez M.C., Alarcon J.J., Torrecillas A. (2006). Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow, and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees*, DOI 10.1007/s00468-005-0004-8.
- Olivo N., Girona J., Marsal J. (2009). Seasonal sensitivity of stem water potential to vapor pressure deficit in grapevine. *Irrig Sci*, DOI 10.1007/s00271-008-0134-z.

- Pathre U., Sinha A K., Shirke P.A. and Sane P.V. (1998). Factors determining the midday depression of photosynthesis in trees under monsoon climate. *Trees*, 12:472–481.
- Paranychianakis N.V., Chartzoulakis K.S., Angelakis A.N. (2004). Influence of rootstock, irrigation level and recycled water on water relations and leaf gas exchange of Soultanina grapevines. *Environmental Experimental Botany*, 52: 185–198.
- Petrie P.R and Clingeffer P.R. (2005). Effects of temperature and light (before and after budburst) on inflorescence morphology and flower number of Chardonnay grapevines (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11:1.
- Powels S.B. (1984). Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 35:15-44.
- Quero J.L., Villar R., Marañón T., Zamora R. (2004). Interactions of drought and shade effects on seedlings of four Quercus species: physiological and structural leaf responses. *New Phytologist* 170: 819–834.
- Rajapakse N.C. and Shahak Y. (2007). Light quality manipulation by horticulture industry. p.290-312. In: Whitelam G. and Halliday K. (eds.), *Light and Plant Development*, Blackwell Publishing, UK.
- Raveh E., Cohen S., Raz T., Yakir D., Grava A., Goldschmidt E. E. (2003). Increased growth of young citrus trees under reduced radiation load in a semi-arid climate. *Journal of Experimental Botany* 54: 365-373.
- Rice S.K., Collins D., Anderson A.M. (2001). Functional significance of variation in bryophyte canopy structure. *American Journal of Botany* 88(9): 1568–1576.
- Ross J. (1975). Radiative transfer in plant communities. In: *Vegetation and the Atmosphere* 1:13-55.
- Ross J. (1981). *The radiation regime and the architecture of plant stands*. Dr W. Junk Publishers, The Hague.
- Ross J. and Nilson T. (1967). The spatial orientation of leaves in crop stands and its determination. In photosynthesis of productive systems (Nichiporovich A.A) 86-99. *Academy of sciences of the USSR*, Jerusalem.
- Scholander P.F., Bradstreet E.D., Hemmingsen E.A., Hammel H.T. (1965). Sap pressure in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*, 148 (3668):339–346.
- Shafiqur R.K., Robin R., Diane L.H., Thomas E.S. (1999). Effects of shade on morphology, chlorophyll concentration, and chlorophyll fluorescence of four Pacific Northwest conifer species. *New Forests* 19: 171–186.
- Shahak Y. and Gussakovsky E.E., Gal E., Ganelevin R. (2004). Colornets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Hort* 659(1): 143-151.

- Sharkey T.D. and Raschke K. (1981). Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. *Plant physiology* 68: 1170-74.
- Smart R.E. (1973). Sunlight interception by vineyards. *Amer. J. Enol. Viticult.* 24:141-147.
- Smart R.E., Sinclair T.R. (1976). Solar heating of grape berries and other spherical fruits. *Agric. Meteorol.*, 17, 241-259.
- Smart, R.E. (1985). Principles of Grapevine Canopy Microclimate Manipulation with Implications for Yield and Quality. A Review. *Am. J. Enol. Vitic.* 36:230-239.
- Smart, R.E. (1986). Influence of light on composition and quality of grapes. SHS Symposium on Grapevine Canopy and Vigor Management, XXII IHC.
- Smart, R.E. Row orientation and sunburn. (2010). *Practical Winery & Vineyard*. Nov- Dec 42-48.
- Sofo A., Dichio B., Montanaro G. and Xiloyannis C. (2009). Shade effect on photosynthesis and photoinhibition in olive during drought and rewatering. *Agric. Water Manage.* 96:1201–1206.
- Sommer K.J., Islam M.T., Clingeleffer P.R. (2000). Light and temperature effects on shoot fruitfulness in *Vitis vinifera* L. cv. Sultana: Influence of trellis type and grafting. *Aust. J. Grape Wine Res.* 6:99-108.
- Srinivasan C. and Mullins, M.G. (1981) Physiology of flowering in the grapevine. A Review. *American Journal of Enology and Viticulture* 32: 47–63.
- Stern R.A., Meron M., Naor A., Wallach R., Bravdo B.A., Gazit S. (1998). Effect of fall irrigation level in 'mauritus' and 'floridian' lychee on soil and plant water status, flowering intensity, and yield. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123 (1):150 - 155.
- Singh, M., Chaturvedi, R., Sane, P.V. (1996). Diurnal and seasonal photosynthetic characteristics of *Populus deltoides* Marsh. leaves. *Photosynthetica* 32: 11-21.
- Taiz L., Zeiger E. (1998). *Plant Physiology*, Second edition. Vol 1: 67-139.
- Tanny J., Cohen S., Grava A., Naor A. and Lukyanov V. (2009). The effect of shading screens on microclimate of apple orchards. *Proc. IS on Prot. Cult. Mild Winter Climate. Acta Hort.* 807, ISHS.
- Ting, I.P., and Loomis W.E. (1965). Further studies concerning stomatal diffusion. *Plant Physiology* 40: 220–228.
- United States Code of Federal Regulations, title 7, section 999.300.
http://edocket.access.gpo.gov/cfr_2003/7cfr999.300.htm

Van kanten R. and Vaast P. (2006). Transpiration of arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of costa rica. *Agroforestry Systems* 67(2): 187-202.

Verstraeten W.W., Veroustraete F., Feyen J. (2008). Assessment of evapotranspiration and soil moisture content across different scales of observation. *Sensors*, 8: 70-117.

Walter I.A., Allen R.G, Elliott R., Itenfisu D., Brown P., Jensen M.E., Meham B., Howell T.A., Snyder R., Eching S., Spofford T., Hattendorf M., Martin D., Cuenca R.H., Wright J.L. (2005). Final Report. Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers.

Warren Wilson J. (1960). Inclined point quadrates. *New Physiologist* 59:1-8.

Winkler A.J. General viticulture. (1962). University of California Press.

Williams L.E., Baeza P., Vaughn P. (2012). Midday measurements of leaf water potential and stomatal conductance are highly correlated with daily water use of Thompson Seedless grapevines. *Irrig Sci* 30:201–212.

Williams L.E., Baeza P. (2007). Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.*, 58:2.

Williams, L.E., and T.J. Trout. (2005). Relationships among vine- and soil-based measures of water status in a Thompson Seedless vineyard in response to high-frequency drip irrigation. *Am. J. Enol. Vitic.*, 56:357-366.

Williams L.E., Araujo F.J. (1990). Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in vitis vinifera. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 127: 448-454.

Williams L.E., Phene C.J., Grimes D.W., Trout T.J. (2003a). Water use of young Thompson Seedless grapevines in California. *Irrig Sci.*, DOI 10.1007/s00271-003-0066-6.

Williams L.E., Phene C.J., Grimes D.W., Trout T.J. (2003b). Water use of mature Thompson Seedless grapevines in California. *Irrig Sci.*, DOI 10.1007/s00271-003-0067-5.

Yu D.J., Kim S.J. and Lee H.J. (2009). Stomatal and non-stomatal limitations to photosynthesis in field-grown grapevine cultivars. *Biologia Plantarum*, 53:133-137.

Zeiger E., Farquhar G.D. and Cowan I.R. (1987). Stomatal function. Stanford university press, Stanford, California.

רשימת מקורות בעברית

- בר יוסף מ. 2009. השימוש ברשתות דלילות לכיסוי מטעים: מבט אישי והיסטורי. עלון הנוטע, 63 : 42-40.
- טנאי י., נאור ע., כהן ש., רווה ע., בן אריה ר., שטרן ר., גרווה א. 2004. השפעת רשתות צל על צריכת המים, איכות הפרי והמיקרואקלים במטעי תפוח. מתוך ספריית נשירים מו"פ צפון.
- ישראל י., זוהר ח., ארזי א., נמרי נ., לוי י. 2002. חיפוי מטע בננות ברשת צל כאמצעי לחיסכון במים. עלון הנוטע 56 : 74-78.
- ישראל י., שפירא א., לוי י., טנאי י., שוורץ א. 2009. חיסכון במים במטעי בננות בעמק הירדן באמצעות רשת צל. עלון הנוטע 63 : 21-20.
- נצר י. עבודת גמר: ייעול השקיה ודישון ענבי מאכל מהזן "סופריור" בתנאים של מגבלות מים באיזור לכיש. 2003.
- נצר י. עבודת דוקטורט: מודל להשקיית כרמים בתנאי מגבלות מים. 2011.
- צפלבץ א., אורן ח., שריג פ., סטרומזה א., רבן א. 2006. בחינת האפשרות לחיסכון במים בכרם ע"י שימוש ברשתות צל. מפרסומי מו"פ הבקעה.
- קנטי ט. עבודת גמר: יבול ומדדי עקה פיזיולוגיים וסביבתיים של עצי אפרסמון המושקים ברמות קולחין שונות. 2010.
- רבן א. ענף גפן מאכל תמונת מצב 2009. עלון הנוטע. כרך 63. 759-760.
- שחק י. רשתות צבעוניות: גישה טכנולוגית חדשה בחקלאות. 2003. עלון הנוטע, 57 : 81-84.
- שחק י., כהן י., גוסקובסקי י., רטנר ק., צור נ., קורצ'ינסקי ר., גילר י., שטרן ר., נאור ע., כפיר ש., דורון י., גרינבלט-אברון ע., אסקירה י. 2009. כיסוי מטע תפוח ברשתות צבעוניות לשיפור פוריות ואיכות פרי. עלון הנוטע 63 : 26-32.

9. English summery

Partial shading has, at most cases, positive effects over several plant physiological characteristics. For our knowledge, the physiological characteristics of vines under shading nets have not been quantified, nor yielded any agro technical guidelines.

The current study objectives were to examine in which way covering table vines affects micro-meteorological and physiological parameters that may affect vigor, water consumption and fruit yield of the vines. For this purpose 2 sites designated during 2008-2010 for the experiment: a commercial 1.2 hectare vineyard at Moshav Lachish and a 12 lysimeters plot at Lachish R&D center, Israel.

At the commercial plot a 13% shade net manufactured by 'Polysack' Israel, generating 13% shadow, was overlaid above 3 plots sized 0.2 hectares each, while 3 plots remained uncovered. The environmental conditions were measured at 2 plots, approximately half a meter above the vineyard. The physiological and crop measurements were conducted in pre-marked plots, within the uncovered and shaded treatments. At Lachis R&D Center, a similar net was overlaid above 12 vines growing in lysimeters, while its water consumption data was compared to previous years, where no shade net was used.

Findings showed that the seasonal average of wind speed under the net was lower by 65% compared to the wind speed in the open. The 2009 annual average air temperature difference between shaded and un-shaded plots, was 1.2 °C. The average photosynthetic active radiation flow (PAR) measured under the net areas, was lower by 23%.

The average ET_o in the uncovered plot was 4.02 mm per day, compared to 3.11 mm per day in the shaded area, while major parameters that affected ET_o were wind speed and net radiation. The seasonal average of mid-day stem water potential (Ψ_{stem}) was significantly lower by 0.1MPa at the uncovered vines. Average carbon fixation rate (P_N) and stomatal conductance (g_s) in the shaded plots were higher by 12% and 21% respectively, compared to the uncovered vines. There was no significant difference in fruit yield weight. However, the shade net had a significant positive influence on the color of the fruit, and a lower percentage of un-marketable yield.

At the R&D center findings showed that during 2008-2010, when plot was shaded, LAI of the vines was higher than the LAI measured on the same vines prior installing the shading net (1999-2005) as from the end of May onwards. The K_C to LAI ratio did not changed in the shaded years, compared to prior the shading, although LAI values were up to 20% higher.

2008-2010 Seasonal Average ET_C was higher by approximately 10% compared to ET_C prior the shading (1999-2005).

The physiological measurements clearly indicate that growing vines under 13% shade net has few advantages. The improved physiological parameters obtained in the commercial plot in Lachish, suggesting achieving increased fruit yield could cause by thinning lesser number of clusters per vine. Despite the overlay of the net, there were a uniform fruit thinning performed in all plots, which caused no difference in the fruit yield height, but the quality of the fruit was significantly improved. A possible improvement in water use efficiency in the shaded areas may occur by agro-technical manipulations and not by reducing water supply. A few agro-technical manipulations that can be performed on vines can focus on the size of the vine, its design and clusters thinning. All those can, as mentioned, improve the vineyard water efficiency.

**The effects of shading table grape (*Vitis vinifera*) vineyard
on water consumption and physiological parameters**

M.Sc. Thesis

**Submitted to the Robert H. Smith Faculty of Agricultural, Food
and Environment of the Hebrew University of Jerusalem.**

By

Idan Bahat

Rehovot

December 2012