

פיתוח מודל השקיה לכרמי ענבי יין המבוסס על גודל

הנוף ועל מדדים מטאורולוגיים

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

שראל מוניץ

דצמבר 2013

רחובות

טבת התשע"ג

עבודה זו נעשה בהדרכתו של

פרופ' אמנון שוורץ

המכון למדעי הצמח וגנטיקה בחקלאות

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

האוניברסיטה העברית בירושלים

תודות

בראש ובראשונה ברצוני להודות לישי נצר שיזם את המחקר הנוכחי וליווה אותי מתחילת דרכי בנבכי גפן היין באופן צמוד וללא פשרות, הן בשטח והן בעבודת המעבדה. ללא ספק שחלק ניכר מעבודה זו נזקפת לזכותו.

לאמנון שוורץ על הליווי הצמוד וההדרכה.

לחברי למעבדה: יותם (פיצי) זית ודרור דותן שעזרו ותמכו גם במעבדה וגם בשטח.

לטכנאי המסור יחזקאל הראש, על עבודתו הנאמנה בשטח ובמעבדה.

לטכנאי המשנה: ידידיה אטון, נגה קוסטו, סתיו רום, אביעד שבות.

לחקלאים של כרם חולדה, סילביו יגאל ובעיקר רובי.

לאשתי היקרה שיבולת, שתמכה ללא הרף במחקר, בשטח במעבדה ובבית.....

תקציר

גידול גפן היין נמצא בשנים האחרונות במגמת התרחבות בעולם בכלל ובישראל בפרט. כיום נטועים בישראל כ-55,000 דונם כרמי יין, ומגמת העלייה בשטחם נמשכת. בגידול גפן יין (בעיקר בזנים "אדומים") דרושה "עקת יובש" בחלק משלבי עונת הגידול, על מנת לגרום לעלייה בריכוזם של חומרי הצבע והארומה בגרגרי הענבים, הדרושים לייצור יין איכותי. אולם, "עקת יובש" חריפה מדי עלולה לפגוע ברמת היבול ובקיימות הכרם לאורך שנים. מטרת המחקר המוצג בעבודה זו היא לפתח מודל השקיה עבור ענבי יין המבוסס על נתוני אקלים המתקבלים מתחנה מטאורולוגית ועל גודל הנוף המדוד של הגפנים. לשם כך חולקה עונת הגידול לשלוש תקופות, בהתאם לשלבים הפנולוגיים של התפתחות הגרגר (Kennedy 2002): שלב 1 (Stage I) - משלב הפריחה המלאה עד לאשכול צפוף (כאשר גרגרי האשכול נוגעים זה בזה), שלב 2 (Stage II) - מאשכול צפוף עד 95% בוחל (הבוחל "Veraison", מוגדר כשלב בו הגרגר מתרכך ומחליף את צבעו מירוק לאדום) ושלב 3 (Stage III) - מסוף הבוחל עד בציר (23°Brix).

המחקר בוצע בתוך כרם מסחרי באזור חולדה בזן "מרלוי", ונבחנו בו חמש שיטות ליישומו של מודל ההשקיה. שלושה טיפולים בעלי מקדמי השקיה קבועים לאורך עונת הגידול (SDI- Sustained Deficit Irrigation): השקיה נמוכה ($20\% \text{ET}_c$), השקיה בנונית ($35\% \text{ET}_c$) והשקיה גבוהה ($50\% \text{ET}_c$). בנוסף לכך נבחנו שני טיפולים בעלי מקדמי השקיה המשתנים לאורך עונת הגידול (RDI- Regulated Deficit Irrigation): טיפול שבו לא ניתנה השקיה עד עצירת צימוח, לאחר מכן הוא הועבר להשקיה נמוכה עד סוף שלב 2 ובמהלך שלב 3 הוא קיבל השקיה גבוהה ($0 \rightarrow 20 \rightarrow 50\% \text{ET}_c$). בטיפול נוסף, ניתנה השקיה גבוהה במהלך שלב 1 ולאחר מכן הוא הועבר להשקיה נמוכה עד סוף עונת הגידול ($50 \rightarrow 20 \rightarrow 20\% \text{ET}_c$). חמשת טיפולי ההשקיה הללו מאפיינים מגוון רחב של משטרי השקיה המקובלים בפרקטיקה החקלאית בישראל (הן מבחינת מנת המים העונתית והן מבחינת מנת המים היומית), החל מכרמים לגידול ענבי איכות המיועדים לייצור של יין ביקבי בוטיק (השקיה נמוכה) וכלה בכרמים לגידול ענבי כמות המיועדים לייצור של יין שולחני פשוט (השקיה גבוהה).

על מנת לבחון את השפעת משטרי ההשקיה השונים, נבדקו במהלך עונת הגידול מדדים פיזיולוגיים בגפני כל טיפולי ההשקיה. המדדים שנלקחו הם: קוטר גזע (פעם בחודש, 48 גפנים לטיפול), פוטנציאל מים בגזע בצהרי היום (פעם בשבוע, 12 עלים לטיפול), גודל הנוף (פעם בשבועיים, 12 גפנים לטיפול) ומדדי חילוף גזים (פעם בשבוע, 16 עלים לטיפול). בסוף כל עונת גידול כל גפן נבצרה בנפרד, ונמדדו בה כמות היבול מרכיביו ואיכותו. בנוסף לכך, מכל חזרה הוכן יין בנפרד (סך הכול 20 יינות). במהלך החורף נמדדו נתוני הגזם של הגפנים. בסוף תקופת הניסוי נדגמו גלילים מהגזע של גפני טיפולי ההשקיה השונים (12 גפנים לטיפול), ונמדדו בהם פרמטרים אנטומיים ובוצעו בהם חישובי מוליכות הידרואלית.

מהתוצאות עולה כי משק מים משופר במהלך שלב 1 (חנטה עד אשכול צפוף) גרם לצימוח וגטטיבי נמרץ יותר (גודל נוף, משקל גזם, קוטר גזע, רוחב טבעת שנתית ומוליכות הידרואלית) וליבול גבוה יותר, וכי לעקת יובש במהלך שלב 1 אפקט הפוך. גפני טיפול ההשקיה הגבוהה היו בעלות יבול ממוצע הגבוה ב-16% מגפני טיפול ההשקיה הנמוכה, גודל נופם הממוצע היה גדול ב-10% ורוחב הטבעת השנתית שלהם היה גדול ב-23%. בנוסף לכך נמצא כי לעקת יובש במהלך שלב 3 (בוחל עד בציר) השפעה חיובית על איכות היין, ולמשק מים משופר במהלך שלב 3 השפעה שלילית עליו. גפני טיפול ההשקיה הנמוכה היו בעלות רמת סוכר ממוצעת הגבוהה בחצי יחידת Brix מגפני

טיפול ההשקיה הגבוהה ובעלות עוצמת צבע הגבוהה ב 15%. נמצא אפוא, כי גפני טיפול ההשקיה הגבוהה שעוברת לנמוכה (ET_c 20% > 20% > 50) "נהנות" משני העולמות. מחד גיסא, השקיה גבוהה במהלך שלב 1, הגבירה את הצימוח ווגטטיבי והעלתה את גובה היבול (שהיה בממוצע כמעט זהה ליבול גפני טיפול ההשקיה הגבוהה), ומאידך גיסא השקיה נמוכה במהלך שלב 3 הובילה לעקת היובש המשמעותית ביותר (אפילו ביחס לגפנים שקיבלו השקיה נמוכה לאורך כל עונת הגידול) ולאיכות יין משופרת (רמת סוכר ועוצמת צבע הנמוכים במעט מגפני טיפול ההשקיה הנמוכה). ההסבר המוצע לתופעה זו נעוץ ב"בנייה" של מערכת הידרואולית "סיכונית" יותר בגפני טיפול ההשקיה הגבוהה שעוברת לנמוכה יחסית לגפני טיפול ההשקיה הנמוכה. מערכת הידרואולית "סיכונית" היא כזו שבה אחוז גבוה יותר של המוליכות ההידראולית הכוללת מקורו בזרימת מים בחוליות טרכיאה בעלות קוטר גדול, החשופות יותר לסכנת קוויטציה בזמן "עקות יובש" כאשר המתחים השוררים בחוליות הטרכיאה חזקים יותר.

לטיפול ההשקיה הגבוהה שעוברת לנמוכה פוטנציאל יישומי חקלאי גבוה, מאחר והוא מהווה איזון בין יבול וקיימות הכרם לאורך שנים לבין איכות יין משופרת. העבודה ע"פ מודל ההשקיה מפשטת את קבלת ההחלטות של הכורם, ע"י תגובה יישומית להבדלים פנולוגיים ואקלימיים בין שנות גידול שונות.

תוכן עניינים

6.....	מבוא	1.
6.....	רקע כללי	1.1
6.....	גפן היין בישראל	1.2
6.....	ביולוגיה התפתחותית של הגפן	1.3
6.....	מחזור הגידול	1.3.1
7.....	פריחה, חנטה והתפתחות הגרגר	1.3.2
8.....	השקיה בגפן יין	1.4
9.....	חישוב מנות מים	1.5
10.....	משק המים של הצמח	1.6
12.....	חומרים ושיטות	2.
12.....	אתר הניסוי	2.1
12.....	טיפולי ההשקיה ומבנה המערכת	2.2
12.....	מבנה הניסוי	2.3
15.....	מדדים פיזיולוגיים	2.4
15.....	פוטנציאל מים בגזע	2.4.1
15.....	חילוף גזים	2.4.2
16.....	אינדקס שטח עלווה	2.4.3
16.....	קוטר גזע	2.4.4
16.....	קוטר טרכיאות ומוליכות הידראולית	2.4.5
17.....	בדיקת יבול מרכיביו ואיכותו	2.4.6
18.....	תוצאות	3.
18.....	מנות מים והתאדות מחושבת	3.1
22.....	אינדקס שטח העלווה (LAI (Leaf area index	3.2
23.....	גזם	3.3
27.....	פוטנציאל מים בגזע בצהרי היום	3.4
29.....	קצב קיבוע פחמן בצהרי היום	3.5
31.....	מוליכות פיוניות בצהרי היום	3.6
31.....	קוטר גזע	3.7
34.....	מהלכים יומיים של מדדים פיזיולוגיים	3.8
34.....	אמצע שלב 3, 10/08/2011	3.8.1
36.....	סוף שלב 3, 26/07/2012	3.8.2
38.....	חתכים אנטומיים	3.9
43.....	משקל גרגר	3.10
45.....	מדדי יבול והבשלה	3.11
49.....	מדדי איכות	3.12
51.....	מתאמים	3.13
55.....	דיון	4.
55.....	מקדמי השקיה ומנות מים	4.1
56.....	השפעת ההשקיה על ההתפתחות הווגטיבית	4.2
56.....	שטח עלווה	4.2.1
57.....	קוטר גזע	4.2.2
57.....	גזם	4.2.3
58.....	השפעת ההשקיה על מדדים פיזיולוגיים	4.3
58.....	פוטנציאל מים	4.3.1
59.....	מדדי חילוף גזים	4.3.2
60.....	מהלכים יומיים	4.3.3
61.....	השפעת ההשקיה על מדדים אנטומיים ומוליכות הידראולית	4.4
63.....	השפעת ההשקיה על מדדי היבול	4.5
64.....	דיו מסכם	4.6
65.....	רשימת ספרות	5

1. מבוא

1.1 רקע כללי

הגפן התרבותית (*Vitis vinifera*) היא שיח מטפס נשיר המשתיך למשפחת הגפניים (Vitaceae) אשר פירותיו משמשים למאכל, הכנת יין, צימוקים ואף לשמן המופק מן הזרעים. הגפן מאוזכרת פעמים רבות בתנ"ך, וכבר בספר בראשית מסופר על הכורם והיין הראשון "ויחל נוח איש האדמה ויטע כרם" (בראשית ט', כ'). הגפן היא אחת משבעת המינים שהתברכה בהם ארץ ישראל, והיא זכתה לביטויים רבים הייחודיים לה בשפה העברית, דבר המעיד על חשיבותה הכלכלית והתרבותית בתקופה הקדומה באזור אגן הים התיכון. מתוך "משל הכרם" המפורסם המובא בספר ישעיהו (ישעיהו, ה', א'-ו') ניתן ללמוד כי אומנות הטיפול בכרם הייתה ידועה לאבותינו הקדמונים, והם השקיעו מאמץ אגרוטכני רב על מנת לקבל יבול איכותי. קיימות מספר עדויות לכך שהתירבות של המין *Vitis vinifera* החל בתקופה שבין 4000-7000 לפנה"ס באזור שבין הים השחור לאירן, ומשם הופץ המין אל עבר המזרח התיכון ואירופה המרכזית (This et al. 2006; Terral et al. 2010). אזור גידול הגפן העיקרי בעולם מתוחם בין קווי רוחב 30° - 51° בצפון ו 20° - 40° בדרום, בהם שוררים תנאי אקלים המותאמים לגדילת הגפן, קרי חורף ללא טמפי' נמוכות באופן קיצוני וקיץ חם (Perold and Phil 1927). הסוג הבוטני *Vitis* כולל בתוכו 2 תתי סוגים: *Euvtis* ו *Muscadinia*. הרוב המוחלט של זני הגפן בעלי משמעות כלכלית המשמשים להפקת יין משתייכים לתת הסוג *Euvtis* ולמין *Vitis vinifera* (This et al. 2006; Terral et al. 2010). מיני הגפן המשמשים ככנות, הינם לרוב הכלאות בין מינים שונים של תת-הסוג *Euvtis* (ישנם 60 מיני בר של גפן המוכרים כיום). הסיבה לשימוש הנרחב בכנות בגידול הגפן נעוצה בכך שזני הגפן מהמין *Vitis vinifera* אשר ניטעו ללא כנות ("על שורשיהם") נפגעו בסוף המאה ה 19 על ידי כנימת הפילוקסרה (*Daktulosphaira vitifoliae*), דבר שהביא לחיסולו הכמעט מוחלט של ענף גידול הגפן באירופה ובישראל. בעקבות כך הענף עבר לנטיעת שתילים מורכבים, והוכנסו לשימוש כנות אשר מקורן במיני גפן שמקורם באמריקה הצפונית (בעיקר מהמינים: *Riparia*, *Berlandieri*, *Rupestris*), שבהן הובחנה עמידות מסוימת לכנימה יחד עם התאמה מספקת לרוכב (Hellman 2003). בנוסף לכך הכנה היא בעלת תכונות גנטיות המקנות לה עמידות מוגברת לגיר, מלח ועקת יובש.

1.2 גפן היין בישראל

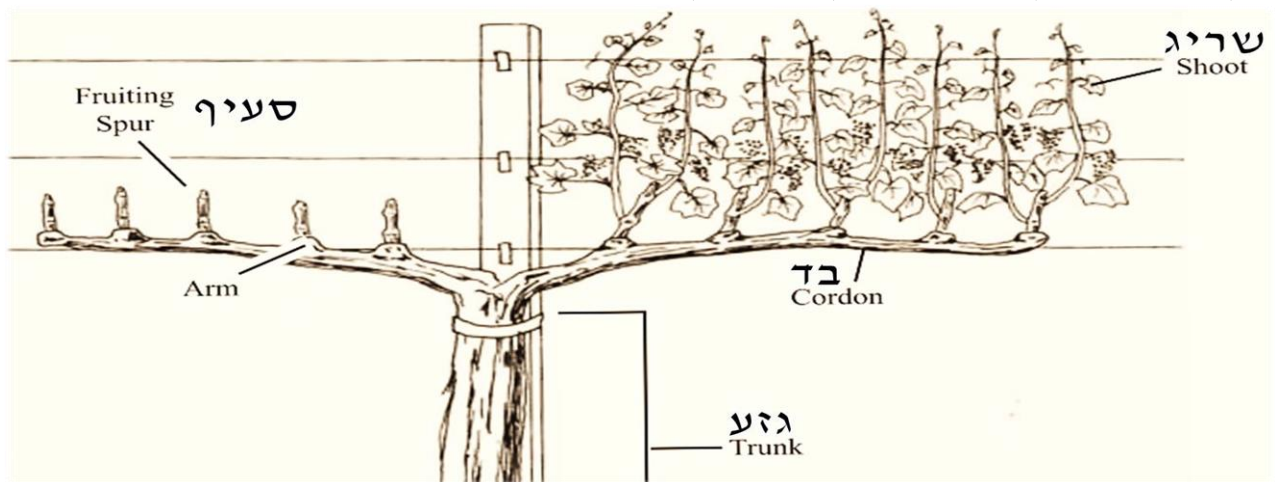
כרמי היין נטועים בכל רחבי הארץ מצפון רמת הגולן ועד לשיזפון בדרום הארץ, וסך שטחם הנטוע מגיע כיום לכדי 55,000 דונם. יבול ענבי היין במדינת ישראל גדל בשנים האחרונות באופן מתמיד, ובבציר 2012 עמד על כ 52,000 טון. כושר הייצור השנתי של כרמי הארץ מגיע ללמעלה מ 40 מיליון בקבוקים ומחזור הכספים השנתי שלהם מגיע לכמיליארד ש"ח (ע"פ דווחי מועצת גפן היין). אחד מאזורי הגידול העיקריים של גפן היין הוא שפלת החוף בכלל, ואיזור חולדה בפרט, בו נטועים כ 2000 דונם של כרמי יין. הזנים האדומים העיקריים המגודלים בארץ עבור ייצור יין הם: מרלו, קברנה סובניון, קרניאן, מרלו ושריאז. צריכת היין השנתית לנפש בישראל עומדת כיום על כ 5 ליטר לאדם, כאשר 75% מתוכה הם יינות אדומים ו 25% יינות לבנים (ע"פ דווח של מועצת גפן היין).

1.3 ביולוגיה התפתחותית של הגפן

1.3.1 מחזור הגידול

במהלך חודש מרץ הגפן יוצאת מתרדמת החורף ומתחילה לבלב (Bud break/Burst). הניצנים הרדומים מתעוררים ומתנפחים, ושריגים (ענפים ירוקים בני פחות משנה) פורצים מן הניצנים שעל הסעיפים שהושארו

בזמירה של השנה החולפת ומן הגזע (Pratt 1974; Hellman 2003) (איור מס' 1). השריגים החדשים הנוצרים הינם וגטיביים או נושאי פרי, כאשר מנגד לחלק ניכר מהעלים מתמיינים אשכול או קנוקנות (Pratt 1974; Hellman 2003). הצימוח הווגטיבי בשלב זה הוא נמרץ, וברוב המקרים את מרבית הנוף שלה הגפן מפתחת עד סוף חודש יוני (Hellman 2003; Netzer et al. 2009; Romero et al. 2010). בסוף עונת הגידול (ספטמבר/אוקטובר) העלים מתחילים להזדקן, לאבד את צבעם הירוק (בעקבות פירוק של הכלורופיל) ולהתייבש, ובהינתן התנאים הנאותים הגפן נכנסת לתרדמה (Dormancy). במהלך תרדמת החורף הגפן משירה את עליה לגמרי, ונותרת עם הבדים (קורדונים) ועם שריגים מעוצים (זמורות). בסוף תקופת התרדמה (ינואר/פברואר), הזמורות של הגפן נקצצות על פי פוריות הזן וייעוד הכרם. מכיוון שגפן היין מאוד פוריה, מקובל לזמור אותה "קצר" ולהשאיר בין 1-3 ניצנים לסעיף (זמורה שקוצרה).



איור מס' 1. החלקים השונים של גפן המודלית במערכת שילוב שריגים אנכית (VSP). מעובד מתוך Hellman 2003.

1.3.2 פריחה, חנטה והתפתחות הגרגר

הגפן התרבותית היא חד ביתית, בניגוד לגפן הבר שהיא דו-ביתית. התפתחות תפוחת הגפן נפרשת על פני שתי עונות גידול, והיא מתחילה את התמיינותה בסוף האביב של השנה הקודמת להופעתה, בתוך הניצנים החיקיים הנמצאים על גבי השריגים (Perold and Phil 1927; Vasconcelos et al. 2009). משמעות העובדה הזאת היא כי מספר האשכולות בעונת הגידול הנוכחית מושפע גם מתנאי הגידול ששררו בעונת הגידול הקודמת להופעתם. במהלך התפתחות השריגים החדשים, עולה ונפרסת התפוחת, ולאחר כעשרה ימים עד חודש, הפרחים משירים את עלי הכותרת הייחודים להם (קליפטרה) ואיברי הרבייה שלהם נחשפים, לרוב חמישה אבקנים וצלקת אחת (Perold and Phil 1927; Hellman 2003).

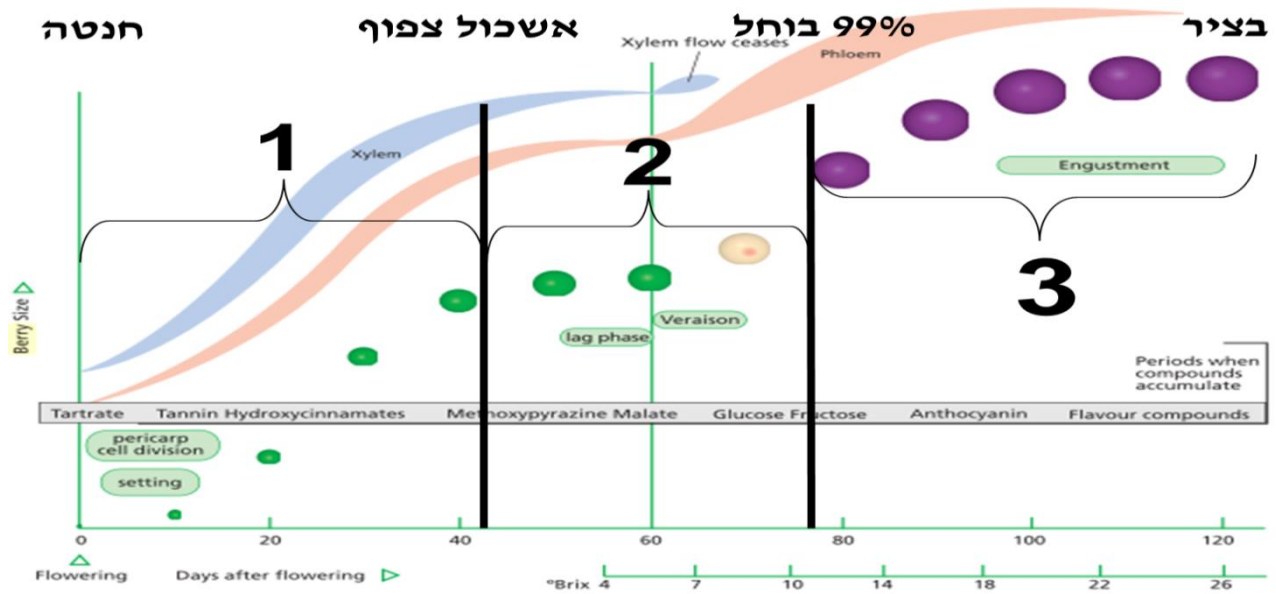
עקומת הגדילה של גרגרי הענבים מאופיינת בסיגמואיד גדילה כפול (Harris et al. 1968; Coombe and McCarthy 2000; Kennedy 2002) בעל שלושה שלבי גידול (איור מס' 2):

שלב 1 (satge I): במהלך שלב זה חלה התפתחות מהירה בגודלו של הגרגר, בעיקר הודות לחלוקה של תאיו (Kennedy 2002). בסוף שלב זה התאים בגרגר מגיעים למספרם הסופי (Harris et al. 1968). הגרגר בעל גוון ירוק, מוצקות גבוהה ואחוז סוכר נמוך. במהלך שלב 1 חלה התפתחות הזרע והעובר ומתרחשת בגרגר צבירה של טאנינים וחומצות, בעיקר חומצה מאלית וטרטרית. משכו של שלב 1 הוא כ 60 יום (Kennedy 2002), ואנחנו קבענו סימן מורפולוגי לסופו - "אשכול צפוף", כאשר גרגרי האשכול מתחילים לגעת זה בזה (בזן "מרלוי").

שלב 2 (satge II): במהלך שלב זה הגרגרים גדלים במידה מועטה בלבד (שלב ה lag). במהלך שלב 2 מתפתחים

זרעי הגרגר באופן מהיר (Hellman 2003), וריכוז החומצה מגיע לשיאו. סוף השלב מוגדר בבוחל (veraison), כאשר הגרגרים מחליפים את צבעם (בזנים האדומים לסגול ובזנים הלבנים לצבע ירוק בהיר יותר) ומתחילים להתרכך (Coombe and Bishop 1980).

שלב 3 (satge III): במהלך שלב זה חלה התפתחות מהירה נוספת בגודלו של הגרגר. ריכוז הסוכר בגרגר הולך ועולה, נוצרים ונצברים חומרי צבע (אנטוציאנינים) וארומה (פוליפנולים) והגרגר מתרכך (Coombe and Harris et al. 2002; McCarthy 2000; Kennedy 2002). גדילת הגרגר בשלב זה מתרחשת בשל גדילה בנפחם של תאיו (Harris et al. 1968). סוף שלב זה הוא בבציר, כאשר מועדו תלוי ביעוד היין אליו הכרם מוכווון ובאילוצי הכורם והיקב, ועל כן אין לו סף קבוע וברור.



איור מס' 2. שלושת שלבי ההתפתחות של גרגרי הגפן. מעובד מתוך Kennedy 2002.

1.4 השקיה בגפן יין

אחד ההיבטים החשובים ביותר בגידול ענבים עבור ייצור יין הוא השקיה מושכלת שתאפשר קבלת איזון מיטבי בין שלושה גורמים - כמות הפרי, איכות היין וקיימות הכרם לאורך שנים. בנוסף לכך הצורך לחסוך במי ההשקיה הולך וגובר עם חלוף השנים, בעקבות הירידה המתמדת בזמינותם באזורים בהם מגודלים כרמי היין (Fereres and Soriano 2007; Chaves et al. 2010). בענבי יין השריית עקת יובש מתונה היא פרקטיקת גידול הכרחית על מנת לקבל איכות יין גבוהה, וזאת בניגוד לענבי מאכל בהם נהוגה אסטרטגיית השקייה ללא עקת מים "non stress" (Bravdo et al. 1985; Matthews and Anderson 1988; Roby and Matthews 2004). קיימים שני הסברים עקריים לכך שעקת מים מגבירה את איכותם של הענבים. האחד הוא שמרבית חומרי הצבע והארומה בזנים האדומים נצברים באיזור הקליפה ועקת מים הגורמת לעיכוב גדילת הגרגר, גורמת להטיית יחס הקליפה/ציפה (Skin to Pulp ratio) לטובת הקליפה, ובעקבות כך ייתקבל יין בעל ריכוז גבוה יותר של חומרי טעם וארומה (Matthews and Anderson 1988; Roby and Matthews 2004; Girona et al. 2009). ההסבר השני הוא שעקת מים מהווה סיגנל לייצור מוגבר של חומרי טעם וארומה בגרגר (Castellarin et al. 2007). סביר להניח כי שילוב שני ההסברים יחד יתן את התשובה המיטבית. חשוב לזכור כי להשריית עקת יובש חריפה מדי יתכנו גם השפעות שליליות, ואכן בשנים האחרונות ניתן לראות בכרמי יין ברחבי הארץ את ההשפעות השליליות של יישום קיצוני של השקיה גרעונית (ערן הרמבי, ישי נצר, תקשורת אשיות). תופעות אלו באות לידי ביטוי בפגיעה משמעותית במשך

חיוניות הגפנים, כנראה עקב בנייה של מערכת הידראולית בעלת יכולת הובלת מים מוגבלת, אשר בתנאי אקלים קיצוניים ומשטר מים מוגבל, גורמת לתופעות של התייבשויות עלים והצטמקות גרגרים (Coombe and McCarthy 2000; Kennedy 2002). בהשקיית מטעים בכלל ובהשקית כרמי יין בפרט, מקובלות כיום שתי שיטות עיקריות של השקיית חסר, קרי השקייה במנת מים הנמוכה מההתאדות הפוטנציאלית (ET_0) של עצי המטע. השיטה הראשונה מכונה SDI (Sustained Deficit Irrigation) והיא גורסת כי ניתן להשרות עקה יובש מדודה וקבועה לאורך כל עונת הגידול מבלי לגרום לפחיתה משמעותית ברמת היבול (Shellie 2006; Fereres and Soriano 2007; Williams et al. 2009; Chaves et al. 2010). השיטה השנייה מכונה RDI (Regulated Deficient Irrigation) על פייה יש לבחון כל גידול לגופו ולאתר את השלבים הפנולוגיים בהם ניתן (ואולי אף רצוי) להשרות עקת יובש נשלטת. על ידי כך ניתן לחסוך בתשומות מים, מבלי לגרום לפגיעה משמעותית ברמת היבול, ובמקרה של גפן היין אף לשפר את איכות הפרי (Cifre et al. 2005; Chaves et al. 2007; Girona et al. 2009; Romero et al. 2010).

1.5 חישובי גודל מנת המים

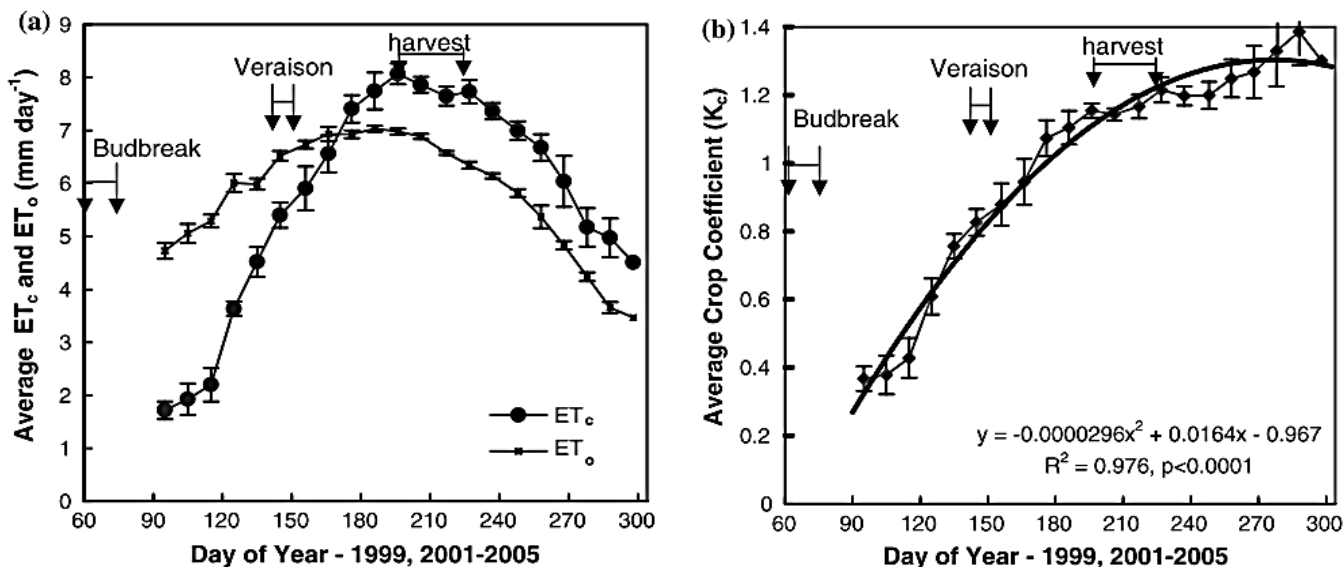
חישוב מנות המים ליישום מבוצע על פי התאמת ההתאדות הפוטנציאלית המחושבת (ET_0) לגידול הספציפי אותו מעוניינים להשקות, במקרה דגן גפן, על ידי מקדם גידול (K_c) המותאם לה. ההתאדות הפוטנציאלית המחושבת (ET_0) מתקבלת על ידי הצבתם של נתונים מטאורולוגיים (טמפ', לחות וקרינה בגובה 2 מ', כיוון ועוצמת רוח בגובה 10 מ') בנוסחת פנמן-מונטית'. הנתונים המשמשים לחישוב ההתאדות צריכים להתקבל מתחנה מטאורולוגית תקנית המוצבת בסמוך לאתר עבורו מעוניינים לבצע את חישובי מנת המים ליישום (Allen et al. 1998). הסיבה לחשיבות הרבה בהסתייעות בתיווכו של מקדם הגידול (K_c), במקום שימוש ישיר בהתאדות המחושבת (ET_0), נעוצה בכך שהמודלים הצמחיים בהם משתמשת נוסחת פנמן-מונטית' מותאמים למשטח דשא אחיד הקצוץ בגובה 10 ס"מ. העלווה של גידול נשיר, כדוגמת הגפן, משתנה רבות לאורך עונת הגידול, דבר המשפיע באופן ישיר על צריכת המים שלה. בנוסף לכך מקדם הגידול תלוי בשלב הפנולוגי של הגידול, גודל וצורת עיצוב הנוף (Allen et al. 1998). לאור האמור לעיל, מובנת הנחיצות של התאמת מקדם גידול דינאמי, הספציפי עבור צריכת המים של הגפן. עקום עונתי של מקדם הגידול (K_c) עבור חושב במספר עבודות עבור גפן מאכל (Yunusa et al. 1997; Williams et al. 2009; Netzer et al. 2005; Netzer et al. 2003; et al. 2003) ובגפן יין (Evans et al. 1993; Picón-Toro et al. 2012; López-Urrea et al. 2012). העקום העונתי של מקדם הגידול נבנה על ידי חישוב צריכת המים האמיתית של הגפנים (ET_c) באמצעות גידולן בתוך ליזימטר. ליזימטר הוא מיכל גדול המלא בקרקע, שמנוקז בתחתיתו, ובתוכו מגודלת הגפן. בכל יום משקלם של מי הנקז המתקבלים מהליזימטר נבדק, כך שעל ידי החסרת מי הנקז היומיים מכמות ההשקיה היומית שניתנה לו, ניתן לקבל את צריכת המים היומית האמיתית של הגפן (ET_c) (Netzer et al. 2009). מקדם הגידול הוא למעשה היחס בין צריכת המים האמיתית לאופוטנספירציה הפוטנציאלית המחושבת, כלומר $K_c = ET_c / ET_0$. לשם דוגמא, כאשר ערכו של מקדם הגידול עומד על 1 המשמעות היא כי צריכת המים האמיתית זהה לצריכת המים המחושבת (Allen et al. 1998). את עקום הגידול ניתן לייחס לצבירת ימי מעלה (Evans et al. 1993; Williams et al. 2003), ימי השנה (Yunusa et al. 1997; López-Urrea et al. 2012) או לגודל שטח העלווה (LAI) (Netzer et al. 2009; Picón-Toro et al. 2012). לאחר מכן, על ידי הצבה של הנתון המיוחס (יום מעלה, יום השנה, LAI) ניתן לקבל את מקדם הגידול עבור המצב

הנוכחי של הכרם. בניסוי שנערך במו"פ לכיש במסגרת עבודת הדוקטורט של ישי נצר, גודלו גפני ענבי מאכל ב 12 "ליזימטרי עודפים" (Netzer et al. 2005; Netzer et al. 2009) נבנה עקום עונתי של מקדם הגידול (K_c) על בסיס נתוני צריכת מים שנאספו במשך 7 עונות גידול רצופות. באיור מס' 3a מוצג מהלך עונתי של ההתאדות המחושבת (ET_0) וצריכת המים האמיתית (ET_c) של גפני מאכל כפי שנמדדו באתר הניסוי במו"פ לכיש. ניתן להבחין כי בתחילת העונה צריכת המים האמיתית (ET_c) של הגפנים נמוכה מזו המחושבת (ET_0), ובאמצע עונת הגידול חל היפוך מגמה, וצריכת המים האמיתית של הגפנים הופכת לגבוהה יותר מצריכת המים המחושבת. באיור מס' 3b מוצג מהלך עונתי של מקדם הגידול (K_c) כפי שנמדד באתר הניסוי במו"פ לכיש, בו ניתן לראות עליה של מקדם הגידול כמעט עד לסוף עונת הגידול. מדידות תכופות, לא הרסניות, של אינדקס שטח העלווה (LAI) בגפני הליזימטרים במו"פ לכיש, איפשרו לנסח את הקשר בין מקדם הגידול (K_c) לבין אינדקס שטח העלווה (LAI), כמוצג באיור מס' 4a. הקשר שנמצא הוא: $K_c = -0.0000296 \times LAI^2 + 0.0164 \times LAI - 0.967$. במהלך הניסוי המתואר בעבודה זו, שבוצע בכרמי יין, בוצעו מדידות תכופות, לא הרסניות, של אינדקס שטח העלווה (LAI) בטיפולי ההשקיה השונים, וחושב על פיהם מקדם הגידול (K_c) לפי החלק הליניארי (הרלוונטי לערכי ה LAI הנמוכים יותר של גפני היין) של היחס שתואר לעיל, שהוא: $K_c = 0.2609 \times LAI + 0.3645$. השימוש במקדם גידול (K_c) שפותח בענבי מאכל עבור ענבי יין, מתבסס על העובדה שהגורם המרכזי המשפיע על צריכת המים של הגפן הוא גודל הנוף והארכיטקטורה שלו (כיוון השורות וצורת ההדליה VSP/Y-shaped (Williams et al. 2003; Netzer et al. 2009). על כן, צריכת המים האמיתית של הגפנים (ET_c) בניסוי הנוכחי חושבה על ידי תיקון של מקדם הגידול (K_c) עבור גפן יין, בהתאם לשטח העלווה הנמדד של הגפנים. במחקר מקביל לזה המתואר בעבודת הגמר הנוכחית המתקיים עתה (2013) בכרם מסחרי הנטוע בענבי יין מהזן "קברנה סוביניון" בכרמי היין בשילה נמדדה צריכת המים של שישה גפנים הגדלות בליזימטרים. מטרת הניסוי המקביל היא לבנות עקום מקדם גידול (K_c) עונתי עבור כרם גפן יין. לאחר שנתיים בהם נמדדה צריכת המים של הגפנים (ET_c) לאורך עונת הגידול במקביל למדידות שטח העלווה שלהם (LAI), נמצא כי מתאם בין מקדם הגידול (K_c) לשטח העלווה (LAI) שחושב עבור גפני יין (איור מס' 4b), דומה לזה שנמדד בכרם ענבי מאכל במו"פ לכיש, לאחר העברת ההתאדות המחושבת (ET_0) לאותה שיטת חישוב. לאחר הכפלת ההתאדות המחושבת במקדם הגידול הרלוונטי, מתקבלת צריכת מים (ET_c) של גפן הגדלה בתנאים מיטביים ללא עקות יובש, בעוד שכאמור, בגידול ענבי יין השריית עקת יובש מבוקרת היא פרקטיקה מקובלת להשגת יין איכותי. לכן, נהוג להכפיל את צריכת המים האמיתית (ET_c) במקדם עקה (K_s) (Allen et al. 1998; Allen and Pereira 2009), המשמעות היא יישום של אחוז מסויים מסך צריכת המים האמיתית לאורך כל עונת הגידול, באופן קבוע (SDI) או משתנה (RDI).

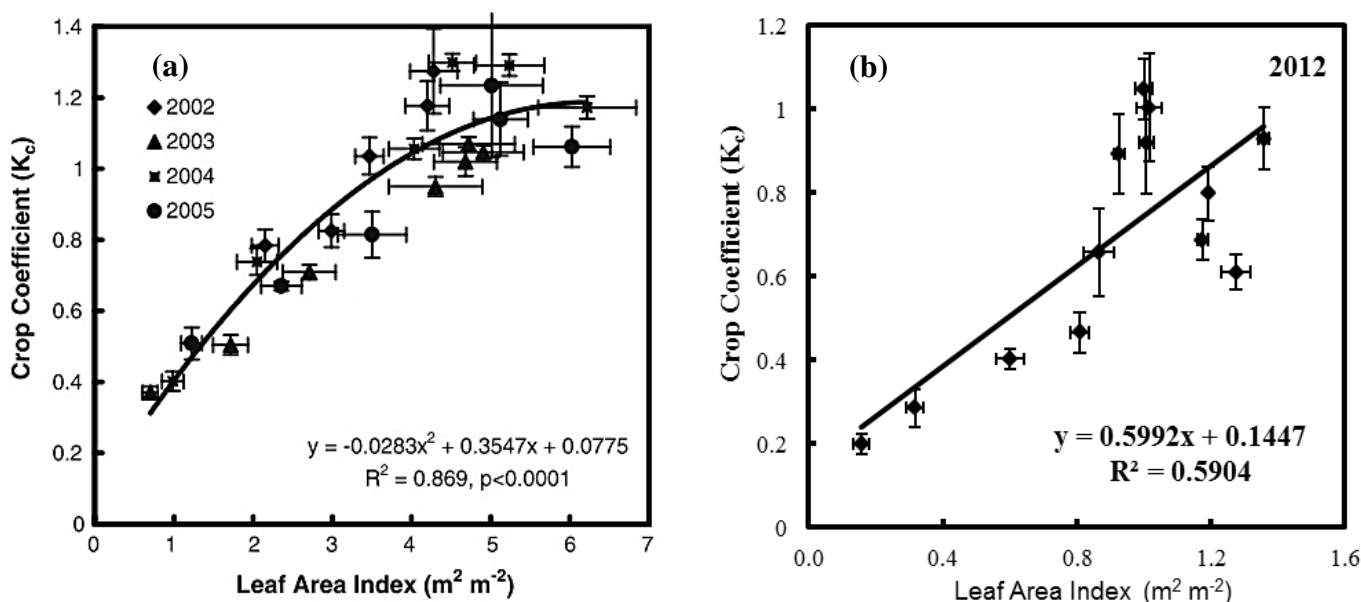
1.6 משק המים של הצמח

ישנן שיטות רבות להערכת משק המים של הצמח וביניהן מדידה של פוטנציאל המים בגזע, מוליכות הפיוניות פלורוסנציה של כלורופיל a, קצב זרימת המים בגזע (Sap flow) דנדרומטריה (ניתוח התרחבות והתכווצות הגזע/ענף/פרי), חיישני לחץ טורגור בעלה ועוד (Myburgh 1996; Cifre et al. 2005; Jones 2007; Westhoff et al. 2009). מבין כל המדדים הללו בדיקת פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום (Midday stem water potential)

הנעשית באמצעות תא לחץ (Scholander et al. 1965) עם הדגשים של (Turner 1988; Boyer 1995) מסתמנת כמדד האמין והמדויק ביותר למצב משק המים של הצמח (Naor 2000; Choné et al. 2001). נמצא כי נדרשות בין 4-15 מדידות של פוטנציאל מים בעלים באמצע היום בכדי לאפיין חלקה (Naor et al 2006, Kanety 2010)



איור מס' 3: (a) עקום עונתי של ההתאדות המחושבת (ET_0) ושל צריכת המים האמיתית (ET_c) עבור ענבי מאכל מהזן 'סופיריור'. העקום נבנה במהלך 7 עונות רצופות שבהן נאגרו נתונים מטאורולוגיים מתחנה סמוכה במקביל למדידת צריכת המים (ET_c) של גפנים שגדלו ב 12 "ליזימטרי עודף", מו"פ לכיש. (b) עקום עונתי של מקדם הגידול (K_c) עבור ענבי מאכל מהזן 'סופיריור', כפי שהתקבל מנתוני 12 "ליזימטרי עודף", מו"פ לכיש. (Netzer et al. 2009).



איור מס' 4: (a) הקשר בין מקדם הגידול (K_c) לבין אינדקס שטח העלווה (LAI) עבור ענבי מאכל מהזן 'סופיריור', כפי שהתקבל מנתוני 12 "ליזימטרי עודף", מו"פ לכיש. ET_0 חושב ע"פ שיטת SIMIS (Netzer et al. 2009). (b) הקשר בין מקדם הגידול (K_c) לבין אינדקס שטח העלווה (LAI) עבור ענבי יין מהזן 'קברנה סובניון', כפי שהתקבל מנתוני 6 "ליזימטרי עודף", עונת 2012, כרם שילה. ET_0 חושב ע"פ שיטת ASCE (דו"ח מדען 3-6802, משרד המדע).

2. חומרים ושיטות

2.1 אתר הניסוי

אתר הניסוי ממוקם בשפלת יהודה (רום של 124 מ' מעל פני הים), בסמוך לקיבוץ חולדה (קו אורך 34.9, קו רוחב 31.8), כחלק מכרם מסחרי של ענבי יין מהזן "מרלו" (*Vitis vinifera* c.v Merlot), שנת נטיעה 1998. שורות הגפנים בכרם נטועות בכיוון צפון/דרום (עם נטייה קלה כלפי מערב, 350°). הקרקע בעלת שיפוע קל כלפי צפון (3.5%). מרווחי הנטיעה הם כמקובל בפרקטיקה החקלאית המסחרית, 3 מ' בין השורות ו-1.5 מ' בין הגפנים בתוך השורה (עומד נטיעה של 222 גפנים לדונם). מערכת ההדליה היא מסוג VSP (שילוב שריגים אנכי) בעלת שני חוטי שילוב (בגבהים 40 ו-80 ס"מ מהבד). ההשקיה בוצעה באמצעות מים שפירים (טבלה מס' 1). דישון ניתן באמצעות דשן נוזלי מורכב (שרית, $2.5:1:3.5+3$, N:P₂O₅:K₂O + 3 Fe, דשנים) בריכוז של 0.05% עד בוחל, ו 0.1% לאחר הבציר. הקרקע בכרם היא מסוג סייך (23% חרסית, 29% סייך ו 48% חול) בעלת תכולת רטיבות ברוויה של 66%. ההתאדות המחושבת (ET_0) חושבה על פי נוסחת Penman-Monteith המתוקנת כאשר הנתונים התקבלו מהתחנה המטאורולוגית הממוקמת ברבדים, הנמצאת 15 ק"מ דרום מערבית לאתר הניסוי. סך ההתאדות המחושבת המצטברת לעונת הגידול במהלך שנות הניסוי עמדה על ממוצע של 1124 מ"מ, וכמות המשקעים השנתית הממוצעת הייתה 444 מ"מ (טבלה מס' 2). האקלים השורר באתר הניסוי לאורך כל עונת הגידול הוא חם ולח, כאשר ערכי המקסימום של הטמפרטורה והלחות הממוצעת מתקבלים בחודשים יולי-אוגוסט (טבלה מס' 3).

2.2 טיפולי ההשקיה ומבנה המערכת

עונת הגידול חולקה לשלוש תקופות, בהתאם לשלבים הפנולוגיים של התפתחות הגרגר (Kennedy 2002):

שלב 1 (Stage I) - מוגדר משלב הפריחה המלאה עד לאשכול צפוף (גרגרי האשכול נוגעים זה בזה).

שלב 2 (Stage II) - מאשכול צפוף עד 95% בוחל (הבוחל Veraison מוגדר כשלב בו הגרגר מתרכז ומחליף את צבעו מירוק לאדום).

שלב 3 (Stage III) - מסוף הבוחל עד בציר. המועדים של השלבים הפנולוגיים השונים היו דומים לאורך כל תקופת הניסוי (טבלה מס' 4).

במהלך שלושת שלבי עונת הגידול נבחנו חמישה טיפולי השקיה (טבלה מס' 5): שלושה טיפולים בעלי מקדמי השקיה קבועים לאורך עונת הגידול (SDI) - השקיה נמוכה ($20\% ET_c$), השקיה בינונית ($35\% ET_c$) והשקיה גבוהה ($50\% ET_c$), ושני טיפולים בעלי מקדמי השקיה משתנים לאורך עונת הגידול (RDI) - טיפול שבו לא ניתנה השקיה עד עצירת צימוח (מתח של 60 cbar בעומק של 60 ס"מ בקרקע), לאחר מכן מעבר להשקיה נמוכה עד סוף שלב 2, ובשלב 3 מעבר להשקיה גבוהה (להלן יקרא טיפול השקיה נמוכה-גבוהה, $0 \rightarrow 20 \rightarrow 50\% ET_c$), וטיפול שבו ניתנה השקיה גבוהה במהלך שלב 1, לאחר מכן במהלך שלבים 2 ו-3 מעבר להשקיה נמוכה (להלן יקרא טיפול השקיה גבוהה-נמוכה, $50 \rightarrow 20 \rightarrow 20\% ET_c$). לאחר הבציר כל הטיפולים עברו להשקיה נמוכה ($20\% ET_c$).

ההשקיה בוצעה פעם בשבוע בעונות הגידול 2009-2010 ופעמיים בשבוע בעונות הגידול 2011-2012. מערכת ההשקיה נבנתה כך כשכל טיפול מושקה באופן עצמאי ללא תלות בטיפולים האחרים. המערכת בנויה מחמישה מגופים נפרדים (מגוף לכל טיפול), המצוידים בפורקי לחץ (נטפים) ולכל אחד מהם יש שעון מים נפרד הנקרא הן מכנית והן דיגיטלית. המערכת נשלטת על ידי מחשב השקיה (ספיר, טלגיל). הדישון ניתן באמצעות דוד דישון.

2.3 מבנה הניסוי

הניסוי בוחן את חמשת טיפולי ההשקיה ומוצב בתבנית של "בלוקים באקראיי" בארבע חזרות, סך הכל 20 חלקות (איור מס' 5), הפרוסות על פני שטח של 4.3 דונם. הניסוי מורכב מ 15 שורות גפנים, 5 מתוכן שורות מדידה (בכל

שורה ארבעה חזרות של טיפולים שונים), ו-10 מתוכן שורות גבול (אחת מכל צד של שורת מדידה). כל חזרה מורכבת מ-12 גפני מדידה ועוד שני גפני גבול מכל צד (סה"כ 16 גפנים לחזרה). בסך הכל 240 גפני מדידה בכל החזרות של כל הטיפולים.

טבלה מס' 1. מדדים שונים של איכות מי ההשקיה (מי רקע ללא דשן), כרם חולדה, 2012-2009.

K⁺ (ppm)	P (ppm)	Cl⁻ (ppm)	Na⁺ (ppm)	EC (ds/m)	
5	0.008	139	59	0.9	מי השקיה

טבלה מס' 2. כמות המשקעים העונתית (מ"מ) וההתאדות המחושבת המצטברת (מ"מ) לאורך השנים באתר הניסוי, כרם חולדה, 2012-2009.

ממוצע	2012	2011	2010	2009	
444	562	394	466	355	כמות משקעים עונתית (מ"מ)
88	99	141	23	87	כמות משקעים באביב (מ"מ)
21	18	37	5	25	גשמי אביב* (%)
1124	1110	1119	1134	1141	התאדות עונתית מחושבת (מ"מ)

*אביב הוגדר החל מ 1 במרץ.

טבלה מס' 3. נתוני טמפ' מינימום, טמפ' מקסימום ולחות יחסית ממוצעת, כפי שהתקבלו מהתחנה המטאורולוגית ברבדים הממוקמת כ 15 ק"מ דרום-מזרחית לאתר הניסוי, כרם חולדה, 2012-2009.

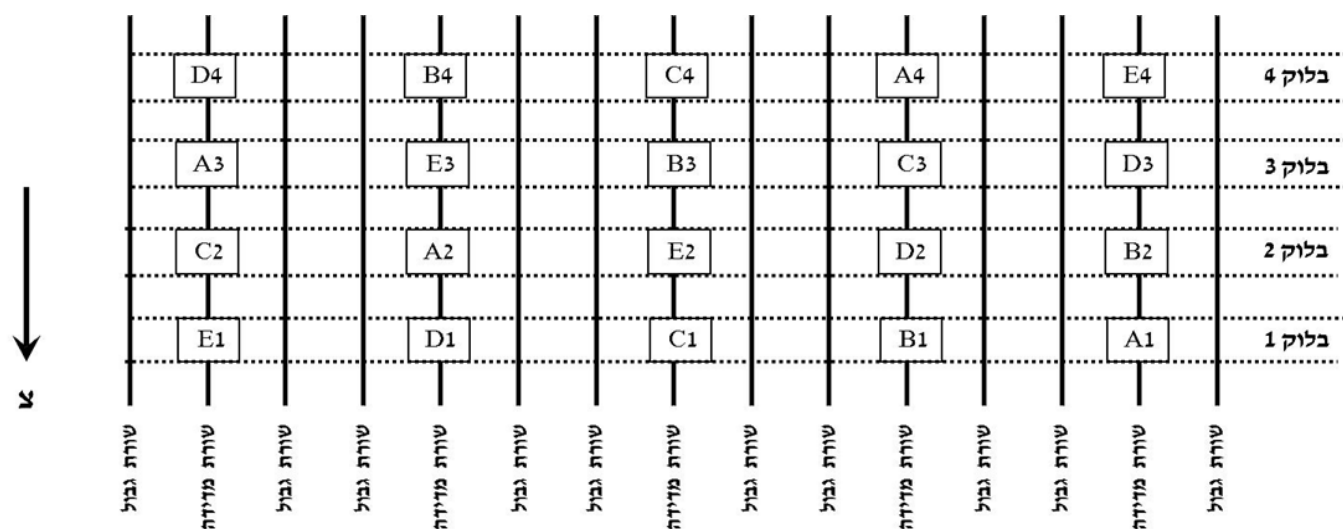
ספטמבר			אוגוסט			יולי			יוני			מאי			אפריל			
RH (%)	Max temp (C ^o)	Min temp (C ^o)	RH (%)	Max temp (C ^o)	Min temp (C ^o)	RH (%)	Max temp (C ^o)	Min temp (C ^o)	RH (%)	Max temp (C ^o)	Min temp (C ^o)	RH (%)	Max temp (C ^o)	Min temp (C ^o)	RH (%)	Max temp (C ^o)	Min temp (C ^o)	
65	32	19	67	33	21	67	33	20	66	33	17	63	28	14	65	26	11	2009
67	33	21	70	34	24	71	32	21	62	32	19	61	29	15	61	27	12	2010
66	32	20	68	33	21	69	33	20	69	30	18	62	28	15	64	25	12	2011
65	33	20	64	34	21	67	34	22	66	32	18	60	30	15	65	27	11	2012
66	32	20	67	33	22	68	33	21	66	31	18	61	29	15	64	26	12	ממוצע

טבלה מס' 4. המועדים של השלבים הפנולוגיים השונים לאורך שנות הניסוי, כרם חולדה, 2012-2009.

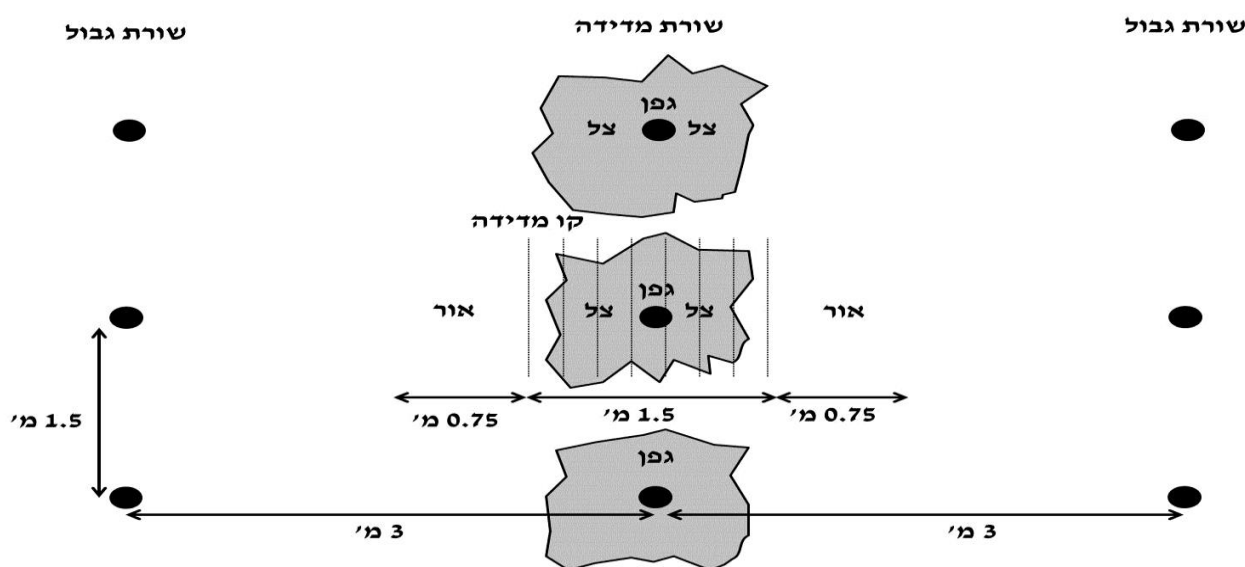
בציר	95% בוחל	אשכול צפוף	100% פריחה	לבלוב	
10/09	23/07	18/06	07/05	27/03	2009
09/09	18/07	10/06	05/05	25/03	2010
11/09	26/07	05/06	12/05	01/04	2011
06/09	23/07	29/05	08/05	20/03	2012

טבלה מס' 5. מקדמי ההשקיה בטיפולים השונים באתר הניסוי, כרם חולדה, 2009-2012.

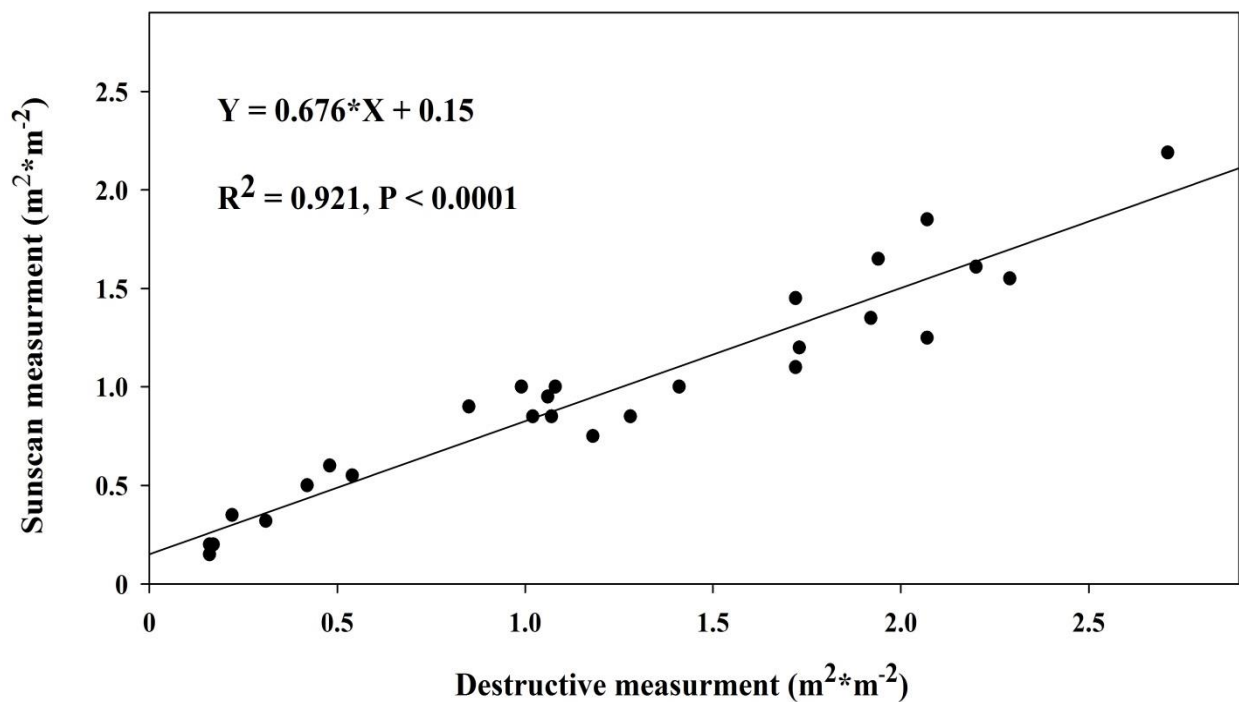
מקדם השקיה	קוד	Stage I מפריחה עד אשכול צפוף	Stage II מאשכול צפוף עד בוחל	Stage III מבוחל עד בציר	לאחר בציר
0.2	A	20 % ET_c	20 % ET_c	20 % ET_c	20 % ET_c
0.35	B	35 % ET_c	35 % ET_c	20 % ET_c	20 % ET_c
0.5	C	50 % ET_c	50 % ET_c	20 % ET_c	20 % ET_c
0->0.2->0.5	D	0 % ET_c	20 % ET_c	50 % ET_c	20 % ET_c
0.5->0.2->0.2	E	50 % ET_c	20 % ET_c	20 % ET_c	20 % ET_c



איור מס' 5. פריסת החזרות של טיפולי ההשקיה השונים באתר הניסוי, כרם חולדה, 2009-2012.



איור מס' 6. סכמת שיטת המדידה של אינדקס שטח העלווה (LAI). הקויים האופקיים (באפור) מציינים את כיוון ההצבה מתחת לגפן של מקל גלאי הקרינה של מכשיר המדידה, כרם חולדה, 2009-2012.



איור מס' 7. מתאם בין המדידה של אינדקס שטח העלווה (LAI) המתקבלת באמצעות מדידה הרסנית שבוצעה על ידי הסרת עלים לבין המדידה המתקבלת ממכשיר ה-Sunscan. המדידה בוצעה בכרם ענבי יין בשלושה אתרים שונים: כרם חולדה, דולב, חוות נטע, 2011-2008.

2.4 מדדים פיזיולוגיים

2.4.1 פוטנציאל מים בגזע

אחת לשבוע ביום שלפני ההשקיה, בוצעה מדידה של פוטנציאל המים בגזע (Ψ_s). המדידה בוצעה על עלים בוגרים, שלמים הנמצאים בפני השטח של הנוף (Medrano et al. 2003; Romero et al. 2010). מכל חזרה נמדדו 3 עלים (12 עלים לטיפול, 60 עלים לכלל החלקה). העלים הוכנסו בשעה 10:30 לשקית ייעודית כסופה ואטומה למשך זמן מינמלי של שעה וחצי. מטרת הכיסוי הייתה למנוע טרנספירציה מהעלה הנמדד (הנמצא בחושך ובלחות גבוהה) ובכך לגרום להשוואה בין פוטנציאל המים בעלה הנמדד לפוטנציאל המים בגזע. החל מהשעה 12:00 ואילך החלו המדידות, עלה המדידה נותק מהגפן והוכנס לתוך תא לחץ (ארימד, כפר חרוב), כאשר לא עברו יותר מ-20 שניות מרגע ניתוק העלה מהגפן ועד להתחלת הפעלת הלחץ הנגדי בתא הלחץ. על מנת לקבוע בדיוק מירבי את רגע הופעת ה"כיפה" המלאה של טיפת המים הראשונה, הלחץ הנגדי הועלה בקצב איטי של $0.01 \text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$ (Turner 1988). הלחץ הנגדי שנדרש להפעיל על העלה המנותק עד להופעת "כיפה" מלאה של טיפת מים ראשונה, שווה ערך למתח שבו אחוזים המים בעצה של הגזע בזמן המדידה (Boyer 1995). הערכים המתקבלים במדידה זו (ביחידות שליליות של MPa) מבטאים את פוטנציאל המים של הגזע. ערכי הלחץ בהם הופיעה ה"כיפה" המלאה של טיפת המים הראשונה, נרשמו עבור כל עלה בנפרד. המדידות הסתיימו בסביבות השעה 14:30. שלוש הגפנים המסומנות בכל חזרה ששימשו למדידות פוטנציאל המים, שימשו גם למדידות אינדקס שטח העלווה ומדדי חילוף הגזים. במהלך כל יום מדידה בוצע בשטח עקום כיוול של תא הלחץ בעזרת מכייל ייעודי (אלקון), שהורכב על תא הלחץ.

2.4.2 חילוף גזים

בעונת הגידול 2012, אחת לשבוע ביום שלפני ההשקיה, בוצעו מדידות של קצב קיבוע הפחמן ומוליכות הפיוניות. המדידות בוצעו בארבעה עלים בוגרים, שלמים וחשופים לשמש (Medrano et al. 2003; Romero et al. 2010),

לחזרה (16 עלים לטיפול, 80 עלים לכלל החלקה). המדידות בוצעו באמצעות מערכת חילוף גזים (Inc, Nebraska,) (Li-Cor 6400, Li-cor USA). המדידות נערכו בין השעות 11:00 - 13:00. חלפו לפחות 45 שניות מרגע סגירת תא המדידה על העלה הנבחר ועד לרישומם של מדדים חילוף הגזים, בכדי לאפשר לעלה הנמדד להגיע לשיווי משקל עם התנאים השוררים בתא המדידה. תא המדידה היה תא פלורוסנטי לעלים רחבים (פתח עגול, 2 cm^2). פרוטוקול המדידה היה: $\text{Flow rate} = 500 (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$, $\text{VPDL} = 3 \pm 1 (\text{kPa})$, $\text{Tblock} = 25^\circ\text{C}$, $\text{Ref CO}_2 = 400 (\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$, $\text{PAR} = 1000 (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$. בתחילת כל יום מדידה בוצעו במלואם כל פעולות הכיול המומלצות על ידי היצרן.

2.4.3 אינדקס שטח עלווה

מדידות אינדקס שטח העלווה (LAI) בוצעו אחת לשבוע/שבועיים בשלושה גפנים לחזרה (12 גפנים לטיפול, 60 גפנים לכלל החלקה), על מנת לעקוב אחר התפתחות הנוף של הגפנים לאורך עונת הגידול ולקבל נתוני יסוד עבור מודל ההשקיה. המדידות נערכו באמצעות מכשיר Sunscan המצויד במקל גלאים באורך 1 מ' בעל 64 חיישני קרינה (Delta-T Devices, Cambridge UK). בכל גפן נמדדו 8 קווי מדידה לאורך 1.5 מ' בניצב לשורת המדידה (איור מס' 6), תוך כדי הקפדה על מדידה של כל המקטע המוצל של הגפן. ערך ה-LAI הממוצע שהתקבל עבור שמונת קווי המדידה חולק ב-2, בכדי להגיע לערכו הסופי של ה-LAI (מכיון שהמרווח בין השורות הוא 3 מ', וערך ה-LAI נמדד רק במקטע של 1.5 מ' המכסה את הצל של הגפן, וקיים עוד מקטע של 1.5 מ' מואר, בו ערכי LAI הם 0 (איור 6). היחידות של מדד אינדקס שטח העלווה (LAI) הם m^2/m^2 , ומשמעותם היא m^2 עלווה ל- m^2 קרקע. כיול מדידות אינדקס שטח העלווה שנמדדו באמצעות מכשיר ה-Sunscan, התבצע על ידי השוואת התוצאות שהתקבלו באמצעות המכשיר לתוצאות שהתקבלו במדידה ישירה של שטח העלווה, שהתבצעו לאחר הסרת עלים מ-27 גפנים, בשלבים פנולוגיים שונים ובאתרים שונים (איור מס' 7). מההשוואה בין שתי שיטות המדידה, נתקבל יחס ליניארי בין תוצאות המדידה של המכשיר לבין תוצאות המדידה הישירה של שטח העלים.

$$(Y = 0.676 \cdot X + 0.015, R^2 = 0.92, n = 27)$$

2.4.4 קוטר גזע

אחת לחודש נמדד באמצעות קליבר דיגיטלי (סיגנט, דגם 75420) קוטר הגזע של כל הגפנים הנבדקות בניסוי (12 גפנים לחזרה, 48 גפנים לטיפול, 240 גפנים לכלל החלקה). קוטר הגזע נמדד בגובה 30 ס"מ, במיקום קבוע שסומן על ידי סרט צבעוני ומכיוון קבוע (מצד דרום).

2.4.5 קוטר טרכיאות ומוליכות הידראולית

בסוף תקופת הניסוי התבצעה דגימה של גלילי עצה מהגזע של הגפנים, בגובה 50 ס"מ מעל פני הקרקע, בשלושה גפנים לחזרה (12 גפנים לטיפול, 60 גפנים לכלל החלקה). הדגים של גלילי העצה התבצע באמצעות מקדח גזע ייעודי (Haglof, Sweden, Increment Borer 5.15mm Core 3-Thread 8"). גלילי העצה נפרסו לחתכים בעובי של $120 \mu\text{m}$ באמצעות מיקרוטום החלקה (Reicher NR 17 800, Austria). החתכים נצבעו באמצעות צבע RG, נשטפו עם מים מזוקקים, יובשו והונחו על גבי זכוכית נושא. החתכים הצבועים צולמו באמצעות בינקולר (Olympus szk-7 Tokyo, Japan) המצויד במצלמה דיגיטלית מובנית (Olympus u-tz 0.5 xc-3, Tokyo,). ניתוח ממוחשב של תמונות החתכים מטיפולי ההשקיה השונים בוצע בעזרת תוכנת (Japan).

ImageJ (Image processing and analysis in java, National Institutes of Health, USA). עבור כל טבעת שנתית בתמונות החתכים נמדדו המדדים הבאים: שטח החתך המנותח (mm^2), רוחב הטבעת השנתית (μm), שטח הטבעת השנתית (mm^2), חושב בעזרת קוטר הגזע של הגפן שנדגמה ורוחב הטבעת השנתית שלה), קוטר חוליות הטרכיאה (μm) וצפיפות הטרכיאות (מספר חוליות הטרכיאה ל- mm^2). בנוסף לכך, באמצעות שימוש בנוסחת Hagen–Poiseuille המותאמת לזרימה בצמחים (Tyree and Ewers 1991) חושבו המוליכות ההידראולית הספציפית ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{MPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) והמוליכות ההידראולית עבור טבעת שנתית ($\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{MPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$).

2.4.6 בדיקות יבול, מרכיבי ואיכותו

על מנת לקבל תמונה מלאה על כלל מרכיבי היבול, נשקל היבול ונספרו האשכולות של כל גפן בנפרד (12 גפנים לחזרה, 48 גפנים לטיפול, 240 גפנים לכלל החלקה). שבוע לפני הבציר נדגמו באקראי 36 אשכולות לחזרה (12 מהצד המזרחי של השורה, 12 מהצד המערבי ו-12 ממרכז הגפן) לצורך בדיקת מדדי הבשלה. בוצעה שקילה של 100 גרגרים לחזרה, על מנת לקבוע את משקלו הממוצע של הגרגר. האשכולות נסחטו ידנית וסוננו באמצעות בד סינון. בתירוש נבדקו המדדים הבאים: רמת הסוכר (Brix), pH וכמות חומצה כללית (mg/L). מכל חזרה הוכן יין בנפרד על פי פרוטוקול למיקרוויניפיקציה שהוכן על ידי ד"ר שיבי דרורי (סה"כ 20 יינות). ביין נבדקה עוצמת הצבע ורמת הפוליפנולים, על ידי בדיקת עוצמת הבליעה בספקטרופוטומטר (באורכי גל של 620, 520, 420, 280 nm).

3. תוצאות

3.1 מנות מים והתאדות מחושבת

עונת הגידול 2011 התאפיינה בערכי התאדות המחושבת ע"פ נוסחת פנמן מונטית' מתונים (כמעט לא היו אירועים של התאדות יומית מעל 6.5 מ"מ) ויציבים יחסית, לכל אורכה (איורים מס' 8,9). במהלך שלב 1 ערכי ההתאדות היומית היו פחות יציבים, ולצד ערכי התאדות נמוכים יחסית של 4.8 מ"מ/יום היו גם ערכי התאדות גבוהים יחסית שעמדו על 6.4 מ"מ/יום (הכי גבוהים בעונת הגידול 2011). במהלך שלב 2 ערכי ההתאדות היומית היו יציבים מאוד וברמה בינונית- גבוהה (ממוצע של 6 מ"מ/יום) ללא אירועי חמסין חריגים. במהלך שלב 3 ערכי ההתאדות היומית הלכו ופחתו, מרמה של 6.3 מ"מ/יום בתחילתו עד רמה של 4.9 מ"מ/יום בסופו. לאחר הבציר המשכה מגמת הפחיתה בערכי ההתאדות היומית, והם הגיעו לבסוף לרמה של 3.9 מ"מ/יום. מנות המים של שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך כל עונת הגידול (SDI) היו דומות לאורך העונה, למעט תחילת העונה, בה הם היו גבוהות מעט יותר (איור מס' 8). טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%), קיבל בממוצע מנת מים שעמדה על 0.8 מ"מ/יום, טיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%) קיבל בממוצע מנת מים שעמדה על 1.3 מ"מ/יום וטיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) קיבל בממוצע מנת מים שעמדה על 1.9 מ"מ/יום (איור מס' 8).

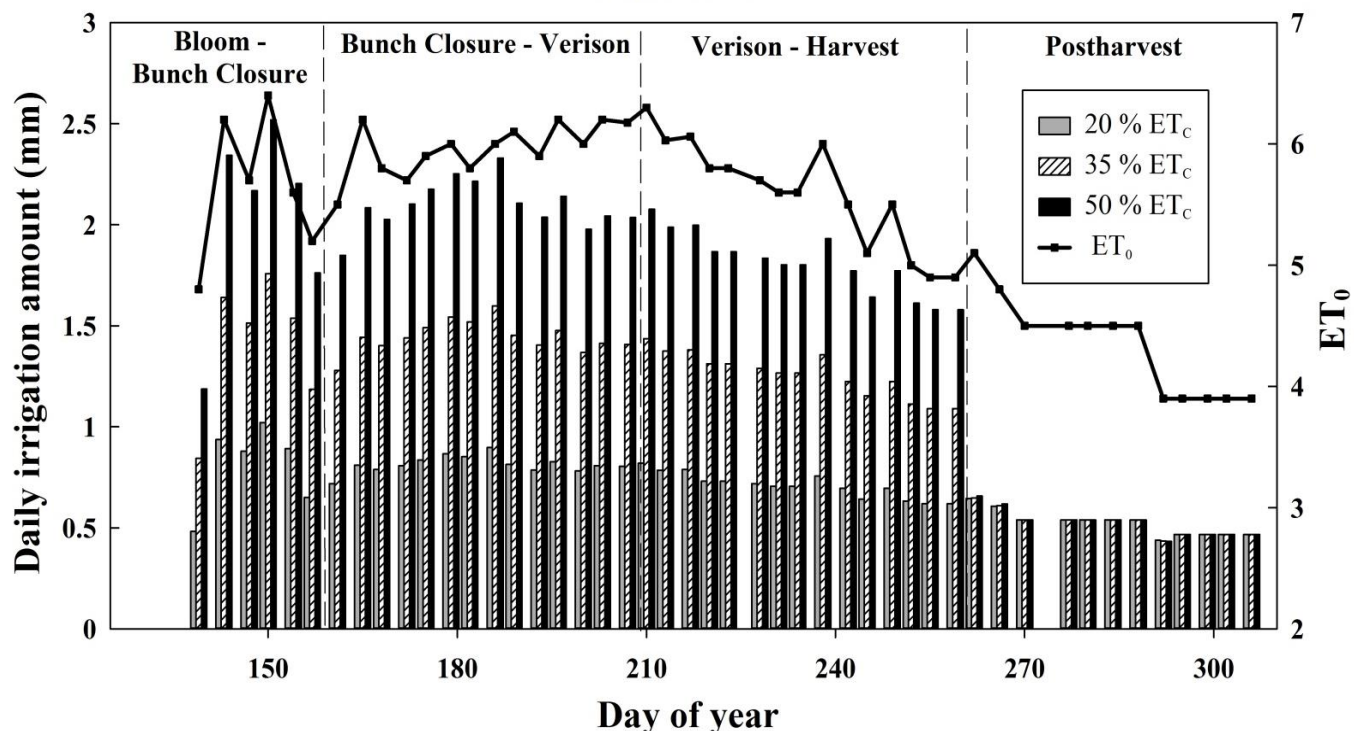
מנות המים של שני הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה המשתנים לאורך עונת (RDI) השתנו באופן משמעותי לאורך עונת הגידול (איור מס' 9). טיפול ההשקיה הנמוכה- < (ET_c 0->20->50%) לא קיבל השקיה כלל עד סוף שלב 1 (יום 160), לאחר מכן במהלך שלב 2 עבר להשקיה נמוכה (ET_c 20%) ומנות המים שלו עמדו בממוצע על 0.75 מ"מ/יום. בסוף שלב 2 טיפול ההשקיה הנמוכה- < גבוהה עבר להשקיה גבוהה (ET_c 50%) ומנות המים שלו עמדו בממוצע על 1.7 מ"מ/יום (איור מס' 9).

טיפול ההשקיה הגבוהה- < נמוכה (ET_c 50->20->20%) קיבל השקיה גבוהה (ET_c 50%) עד סוף שלב 1, ומנות המים שלו עמדו בממוצע על 2 מ"מ/יום. בסוף שלב 1 הופחתה מנת המים שיושמה בטיפול זה (ET_c 20%) עד לבציר, ובממוצע מנות המים שלו עמדו על 0.8 מ"מ/יום (איור מס' 9).

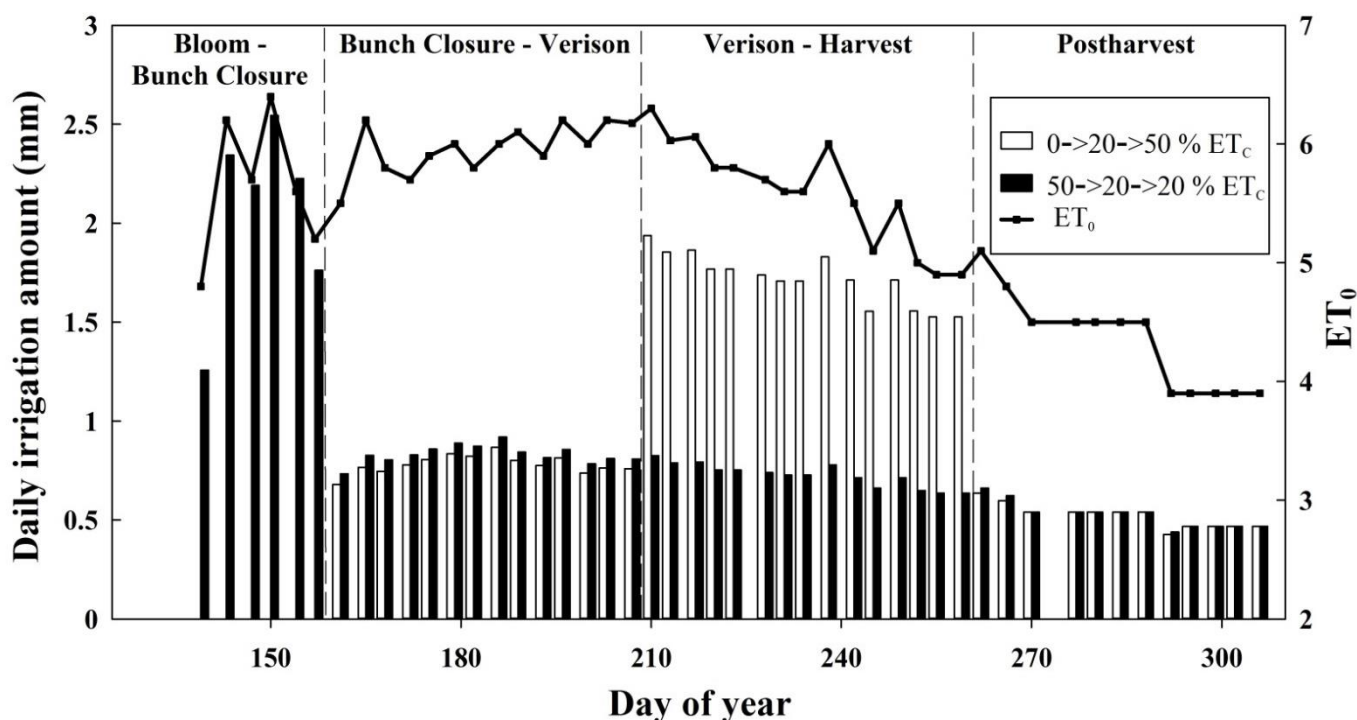
לאחר הבציר, כל הטיפולים עברו להשקיה נמוכה (ET_c 20%) ויושמה בהם מנת מים שעמדה בממוצע על 0.6 מ"מ/יום (איורים מס' 8,9).

עונת הגידול 2012 התאפיינה בערכי התאדות מחושבת מתונים (כמעט ולא היו אירועים של ערכי התאדות יומית מעל 6.4 מ"מ) ויציבים יחסית, לכל אורכה (איורים מס' 10,11). במהלך שלב 1 ערכי ההתאדות היומית הלכו ועלו, מערכים נמוכים יחסית של 4.4 מ"מ/יום עד לערכים גבוהים יחסית של 5.8 מ"מ/יום. בשלב 2 ההתאדות היומית הייתה יציבה וברמה בינונית עד גבוהה (ממוצע של 5.85 מ"מ/יום) ללא אירועי חמסין חריגים. במהלך שלב 2 נמדד ערך שיא עונתי של ההתאדות שעמד על 6.4 מ"מ/יום. במהלך שלב 3 ערכי ההתאדות היומית היו יציבים יחסית וברמה בינונית עד גבוהה (ממוצע של 5.9 מ"מ/יום) ללא אירועי חמסין חריגים. לאחר הבציר חלה מגמה של פחות בערכי ההתאדות, מרמה של 5.1 מ"מ/יום עד לרמה של 3.2 מ"מ/יום.

Year 2011



איור מס' 8. מנות המים (מ"מ/יום) של טיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הבינונית (35% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) וההתאדות המחושבת (ET₀) ע"פ נוסחאת פנמן מונטית. הנתונים עבור ההתאדות המחושבת נלקחו מהתחנה המטאורולוגית ברבדים, כל נתון התאדות הוא ממוצע של שלושה ימים. כל עמודה במנות המים מייצגת השקיה אחת. כרם חולדה, 2011.



איור מס' 9. מנות המים (מ"מ/יום) של טיפולי ההשקיה הנמוכה-גבוהה (0->20->50% ET_c), הגבוהה-נמוכה (50->20->20% ET_c) וההתאדות המחושבת (ET₀) ע"פ נוסחאת פנמן מונטית. הנתונים עבור ההתאדות המחושבת נלקחו מהתחנה המטאורולוגית ברבדים, כל נתון התאדות הוא ממוצע של שלושה ימי מדידה. כל עמודה במנות המים מייצגת השקיה אחת. כרם חולדה, 2011.

מנות המים של שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) היו דומות לאורך העונה, למעט תחילת העונה, בה הם היו נמוכות מעט יותר (איור מס' 10). טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) קיבל בממוצע מנת מים שעמדה על 0.75 מ"מ/יום (איור מס' 10), טיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%) קיבל בממוצע מנת מים שעמדה על 1.35 מ"מ/יום (איור מס' 10) וטיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) קיבל בממוצע מנת מים שעמדה על 1.8 מ"מ/יום (איור מס' 10). מנות המים של שני הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה המשתנים לאורך עונת (RDI) השתנו באופן משמעותי לאורך עונת הגידול (איור מס' 11).

טיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (ET_c 0->20->50%) לא קיבל השקיה כלל עד לאמצע שלב 1 (יום 148), לאחר מכן במהלך שלב 2 עבר להשקיה נמוכה (ET_c 20%) ומנות המים שלו עמדו בממוצע על 0.75 מ"מ/יום. בסוף שלב 2 טיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה, עבר להשקיה גבוהה (ET_c 50%) וקיבל בממוצע מנת מים שעמדה על 1.85 מ"מ/יום (איור מס' 11).

טיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה (ET_c 50->20->20%) קיבל השקיה גבוהה (ET_c 50%) עד סוף שלב 1, ובממוצע מנת המים שלו עמדה על 1.8 מ"מ/יום. בסוף שלב 1 טיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה, עבר להשקיה נמוכה (ET_c 20%) עד לבציר, וקיבל בממוצע מנת מים שעמדה על 0.75 מ"מ/יום (איור מס' 11).

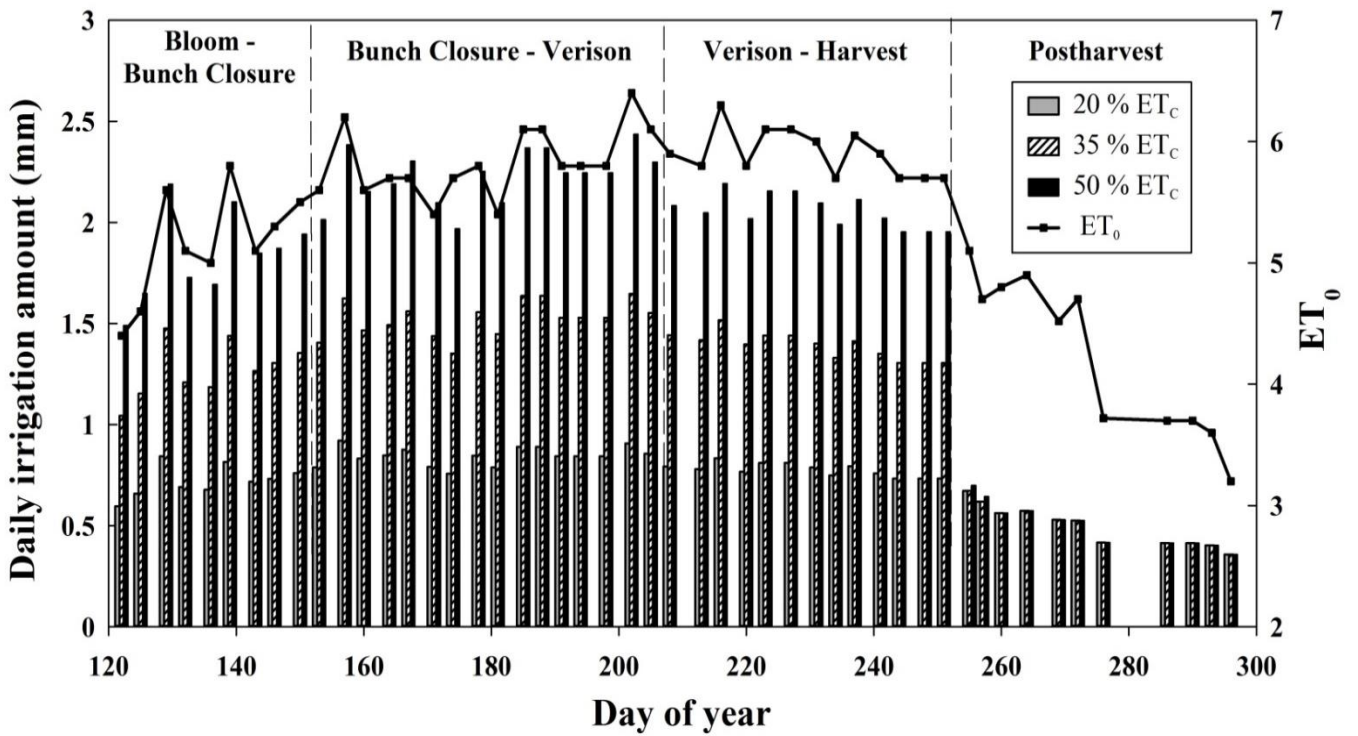
לאחר הבציר כל הטיפולים עברו להשקיה נמוכה (ET_c 20%) וקיבלו בממוצע מנת מים שעמדה בממוצע 0.55 מ"מ/יום (איורים מס' 10, 11).

באופן כללי ניתן לומר כי מנות המים בשלבים הפנולוגיים השונים היו דומות בכל טיפולי הניסוי במהלך שנותיו, למעט שלב 2 בעונת הגידול 2012, שבו מנות המים בכל טיפולי ההשקיה היו גבוהות בכ 20% בממוצע משאר מנות המים שיושמו במהלך שלב 2 בעונות הגידול 2009-2011 (טבלה מס' 6).

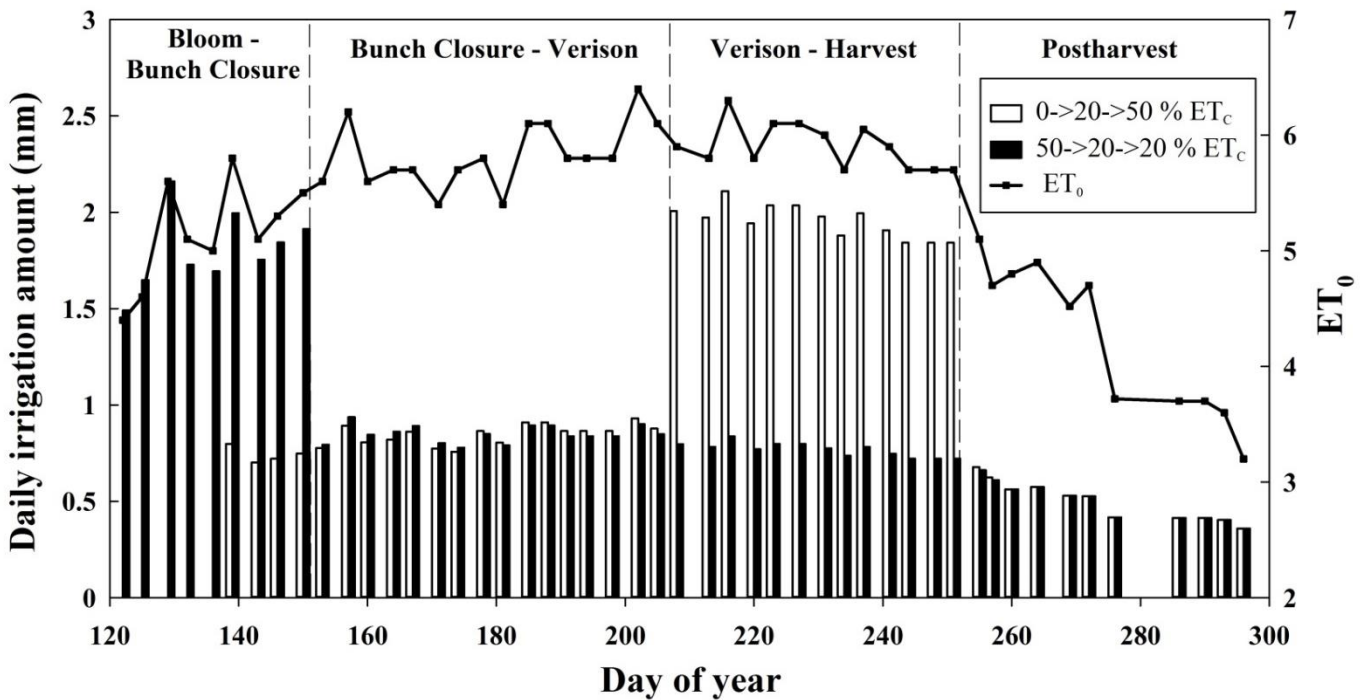
טבלה מס' 6. מנות המים בטיפולי ההשקיה השונים לאורך השלבים הפנולוגיים השונים במהלך שנות הניסוי. כרם חולדה, מרלו, 2009-2012.

Stage III מבוחל עד בציר (mm)				Stage II מאשכול צפוף עד בוחל (mm)				Stage I מפריחה עד אשכול צפוף (mm)				מקדם השקיה (ET_c מ %)
2012	2011	2010	2009	2012	2011	2010	2009	2012	2011	2010	2009	
35	40	35	39	47	41	39	37	22	16	20	22	0.2
63	68	62	70	85	72	68	65	40	30	35	38	0.35
94	97	84	103	125	105	99	92	50	43	50	53	0.5
89	92	85	96	48	39	21	37	10	1	0	0	0->0.2->0.5
35	40	33	39	48	42	39	37	56	43	51	49	0.5->0.2->0.2

Year 2012



איור מס' 10. מנות המים (מ"מ/יום) של טיפולי השקיה הנמוכה (20% ET_c), הבינונית (35% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) וההתאדות המחושבת (ET_0) ע"פ נוסחת פנמן מונטית. הנתונים עבור ההתאדות המחושבת נלקחו מהתחנה המטאורולוגית ברבדים, כשכל נתון התאדות הוא ממוצע של שלושה ימי מדידה. כל עמודה במנות המים מייצגת השקיה אחת. כרם חולדה, 2012.



איור מס' 11. מנות המים (מ"מ/יום) של טיפולי השקיה הנמוכה-גבוהה (0->20->50% ET_c), הגבוהה-נמוכה (50->20->20% ET_c) וההתאדות המחושבת (ET_0) ע"פ נוסחת פנמן מונטית. הנתונים עבור ההתאדות המחושבת נלקחו מהתחנה המטאורולוגית ברבדים, כשכל נתון התאדות הוא ממוצע של שלושה ימים. כל עמודה במנות המים מייצגת השקיה אחת. כרם חולדה, 2012.

3.2 אינדקס שטח העלווה (LAI Leaf area index)

עונת הגידול 2011 התאפיינה במגמת עלייה באינדקס שטח העלווה (LAI) עד לאמצע שלב 2 (יום 172) ומשם ואילך הייתה מגמה של ירידה בערכי ה LAI עד לאחר הבציר (איור מספר 12). במהלך חודש מאי, ניתן לראות בבירור ירידה חדה בערכי ה LAI (יום 158) ולאחריה המשך של מגמת העלייה. ירידה פתאומית זו, מקורה הוא בשילוב החוט הראשון (יום 153).

המהלך העונתי של התפתחות אינדקס שטח העלווה בשלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) היה דומה בין הטיפולים, אם כי במהלך שלב 2 היו הבדלים קטנים בין הטיפולים, אך הם לא היו מובהקים סטטיסטית (איור מס' 12a). שלושת הטיפולים היו בתחילת שלב 1 בערכי LAI ממוצעים של $0.6 \text{ m}^2/\text{m}^2$, משם ואילך עלו ערכי ה LAI שלהם באופן מהיר מאוד, עד שהגיעו לערכי שיא עונתיים ממוצעים של $1.5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (יום 142). לאחר שילוב החוט הראשון (יום 153) וביצוע "קיצוץ ירוק" ירדו ערכי ה LAI של שלושת הטיפולים (סוף שלב 1, יום 155) ועמדו בממוצע על $1.1 \text{ m}^2/\text{m}^2$. בתחילת שלב 2 ערכי ה LAI של שלושת הטיפולים עלו מעט, לאיזור של $1.3 \text{ m}^2/\text{m}^2$, ולאחר מכן חלה ירידה הדרגתית בערכי ה LAI שלהם, עד שהם הגיעו בסוף שלב 2 (יום 200) לממוצע של $1.1 \text{ m}^2/\text{m}^2$, בו הם נשארו עד סוף שלב 3. לאחר הבציר חלה הפחתה נוספת בערכי ה LAI שלהם, שעמדו בממוצע על $0.8 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

בטיפול ההשקיה הנמוכה ($0 > 20 > 50\% \text{ ET}_c$) נצפתה מגמה דומה בהתפתחות העונתית של אינדקס שטח העלווה, אך החל מהיום שבו נמדדו ערכי השיא העונתיים של ה LAI (יום 142), ערכי ה LAI שלו היו נמוכים באופן עקבי מערכי ה LAI של שלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים (בחלק מהמידות אף הייתה לכך מובהקות סטטיסטית) (איור מס' 12b).

בטיפול ההשקיה הגבוהה ($50 > 20 > 20\% \text{ ET}_c$) נצפתה מגמה הדומה בהתפתחות העונתית של אינדקס שטח העלווה לשלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים, כאשר הוא הכי קרוב בערכי ה LAI שלו לטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% \text{ ET}_c$) (איור מס' 12c).

עונת הגידול 2012 (איור מספר 14) התאפיינה במגמת עלייה באינדקס שטח העלווה (LAI) עד תחילת שלב 2 (יום 160), במהלך רוב שלב 2 ערכי ה LAI היו יציבים, והחל מסוף שלב 2 (יום 190) הייתה מגמה של ירידה בערכי LAI עד סוף שלב 3. המהלך העונתי של התפתחות אינדקס שטח העלווה בשלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) היה דומה בין הטיפולים, אם כי במהלך שלב 2 ו 3 היו הבדלים ניכרים בין הטיפולים, ובחלק מהמידות הם אף היו מובהקים סטטיסטית (איור מס' 13a). שלושת הטיפולים היו בתחילת העונה בערכי LAI ממוצעים של $0.6 \text{ m}^2/\text{m}^2$, משם ואילך עלו ערכי ה LAI שלהם באופן מהיר מאוד, עד שהגיעו בתחילת שלב 1 לערך שיא עונתי ממוצע $1.5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (יום 126). לאחר שילוב החוט הראשון (יום 128) וביצוע "קיצוצים ירוקים" ירדו ערכי ה LAI של שלושת הטיפולים (אמצע שלב 1, יום 132) ועמדו בממוצע על $1.2 \text{ m}^2/\text{m}^2$. לאחר מכן עלו ערכי ה LAI של שלושת הטיפולים בהדרגה, עד שהגיעו לערכי LAI ממוצעים של $1.45 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (תחילת שלב 2, יום 156). במשך רוב שלב 2 ערכי ה LAI של שלושת הטיפולים היו יציבים, כאשר טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% \text{ ET}_c$) התייצב על ערכי LAI ממוצעים של $1.5 \text{ m}^2/\text{m}^2$, בעוד שטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% \text{ ET}_c$) התייצב על ערכי LAI ממוצעים של $1.35 \text{ m}^2/\text{m}^2$. בסוף שלב 2 (יום 185) החלו ערכי LAI

של שלושת הטיפולים לפחות, והגיעו בסוף שלב 3 למוצע של $1.2 \text{ m}^2/\text{m}^2$.
 בטיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% \text{ ET}_c$) נצפתה מגמה דומה בהתפתחות העונתית של אינדקס העלווה. החל מהיום שבו נמדדו ערכי השיא העונתיים של ה LAI (יום 126), טיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה היה בעל ערכי ה LAI הנמוכים ביותר עד אמצע שלב 2, לאחר מכן ערכי ה LAI שלו עלו במקצת, והיו מעט גבוהים יותר מערכי ה LAI של טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% \text{ ET}_c$) (איור מס' 13b).
 בטיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% \text{ ET}_c$) נצפתה מגמה הדומה בהתפתחות העונתית של אינדקס העלווה לשלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים, כאשר הוא הכי קרוב בערכי ה LAI שלו לטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% \text{ ET}_c$) (איור מס' 13c).

3.3 גזם

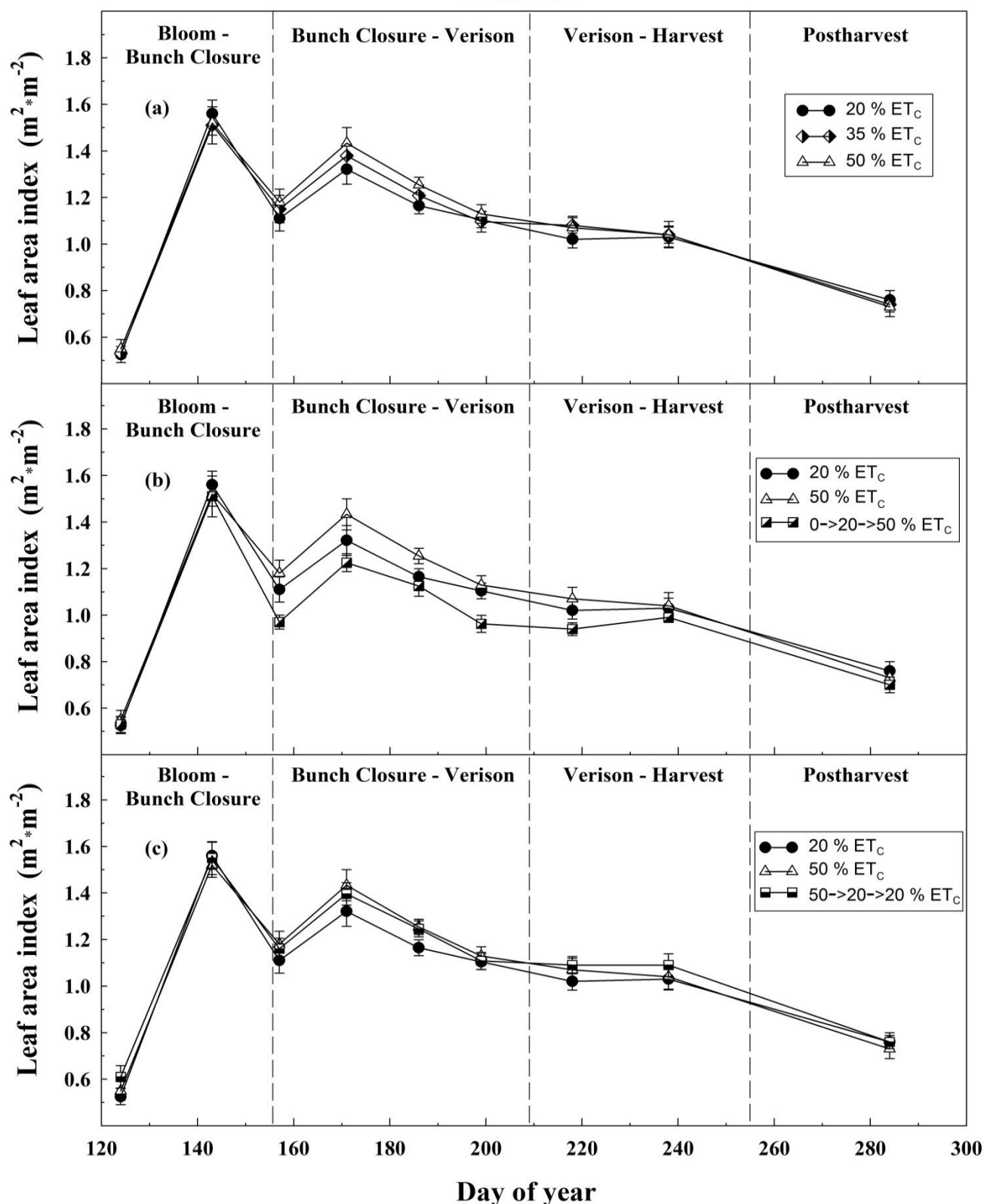
משקל גזם: בכל שנות הניסוי ניכר היה כי בטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% \text{ ET}_c$) התקבל משקל הגזם הרב ביותר ביחס לטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% \text{ ET}_c$) וטיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% \text{ ET}_c$), כאשר ההבדלים המובהקים התקבלו בעונות הגידול 2012, 2011 (טבלה מס' 7). טיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% \text{ ET}_c$) היה בעל משקל גזם נמוך בעונות הגידול 2011, 2010 ובעל משקל גזם בינוני בעונת הגידול 2012.

מספר זמורות לגפן: בעונות הגידול 2012, 2011 ניכר היה כי בטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% \text{ ET}_c$) התקבל מספר זמורות לגפן גבוה יותר ביחס לטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% \text{ ET}_c$) וטיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% \text{ ET}_c$), כאשר ההבדלים המובהקים התקבלו בעונת הגידול 2011 (טבלה מס' 7). טיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% \text{ ET}_c$) היה ברמת ביניים במספר הזמורות לגפן בעונות הגידול 2012, 2011.

משקל זמורה: בעונות הגידול 2012, 2011 ניכר היה כי בטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% \text{ ET}_c$) התקבל משקל זמורה גבוה יותר ביחס לטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% \text{ ET}_c$) וטיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% \text{ ET}_c$), כאשר ההבדלים המובהקים התקבלו בעונת הגידול 2012 (טבלה מס' 7). טיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% \text{ ET}_c$) היה בעל מספר זמורות לגפן נמוך בעונת הגידול 2011 ובעל מספר זמורות לגפן ברמת ביניים בעונת הגידול 2012.

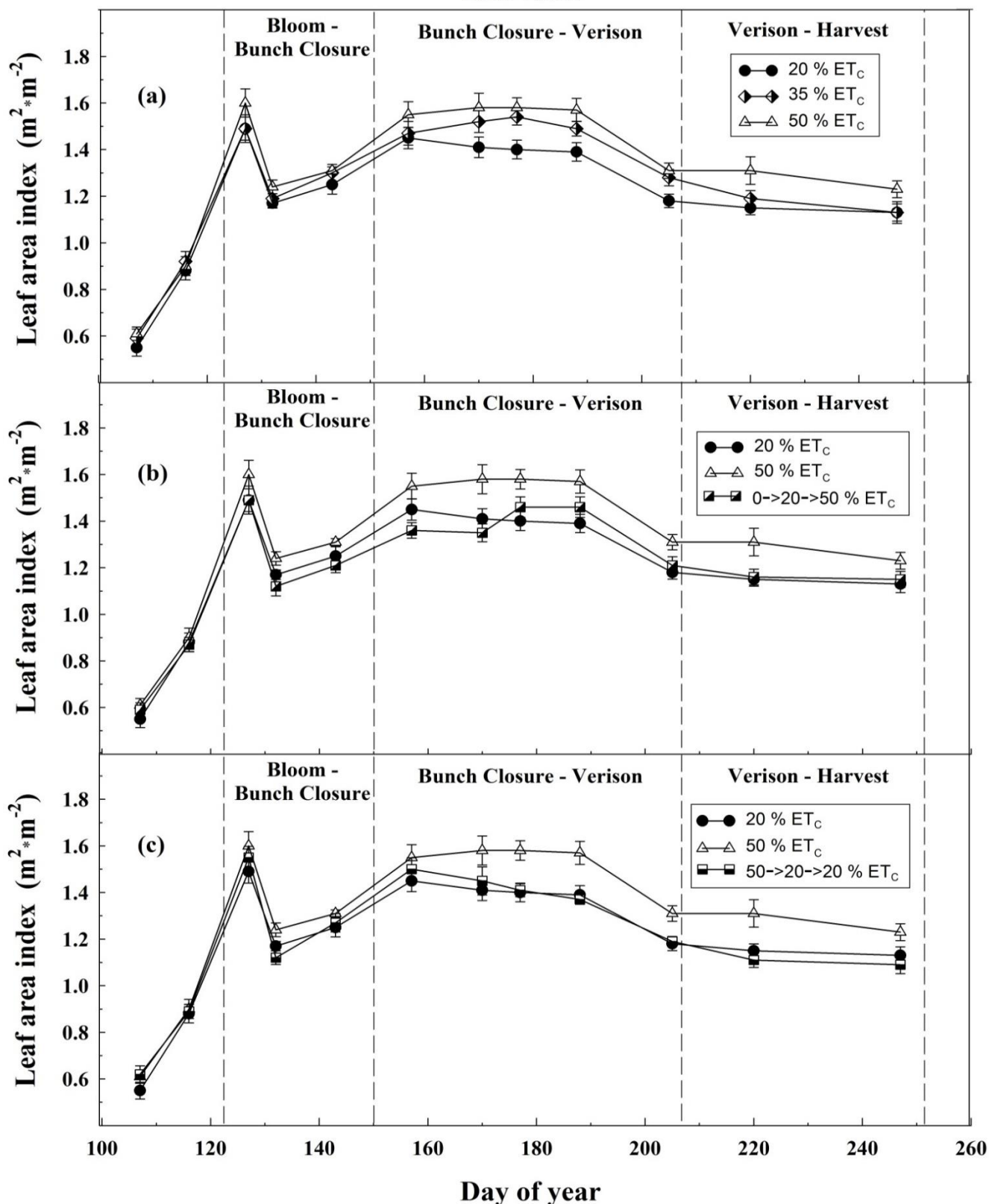
באיור מס' 14 ניתן לראות את המתאם בין משקל הגזם לגפן לבין אינדקס שטח העלווה המקסימלי. המתאם נערך על סמך נתונים שנאספו בעונות 2012-2011, עבור כל טיפולי ההשקיה. המתאם הנמוך מאוד ($R^2 = 0.036$) מעיד על כך שהקשר בין משקל הגזם לאינדקס שטח העלווה המקסימלי הוא קלוש ביותר.

Year 2011



איור מס' 12. : מהלך עונתי של אינדקס שטח העלווה (LAI) בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הבינונית (35% ET_c) והגבוהה (50% ET_c). **(b)** : מהלך עונתי של אינדקס שטח העלווה בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והנמוכה-גבוהה (0->20->50% ET_c). **(c)** : מהלך עונתי של אינדקס שטח העלווה בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והגבוהה-נמוכה (50->20->20% ET_c). כל נקודה היא ממוצע של 12 גפנים, סך הכל 9 מועדי מדידה לאורך עונת הגידול. קווי השגיאה האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצע. כרם חולדה, מרלו, 2011.

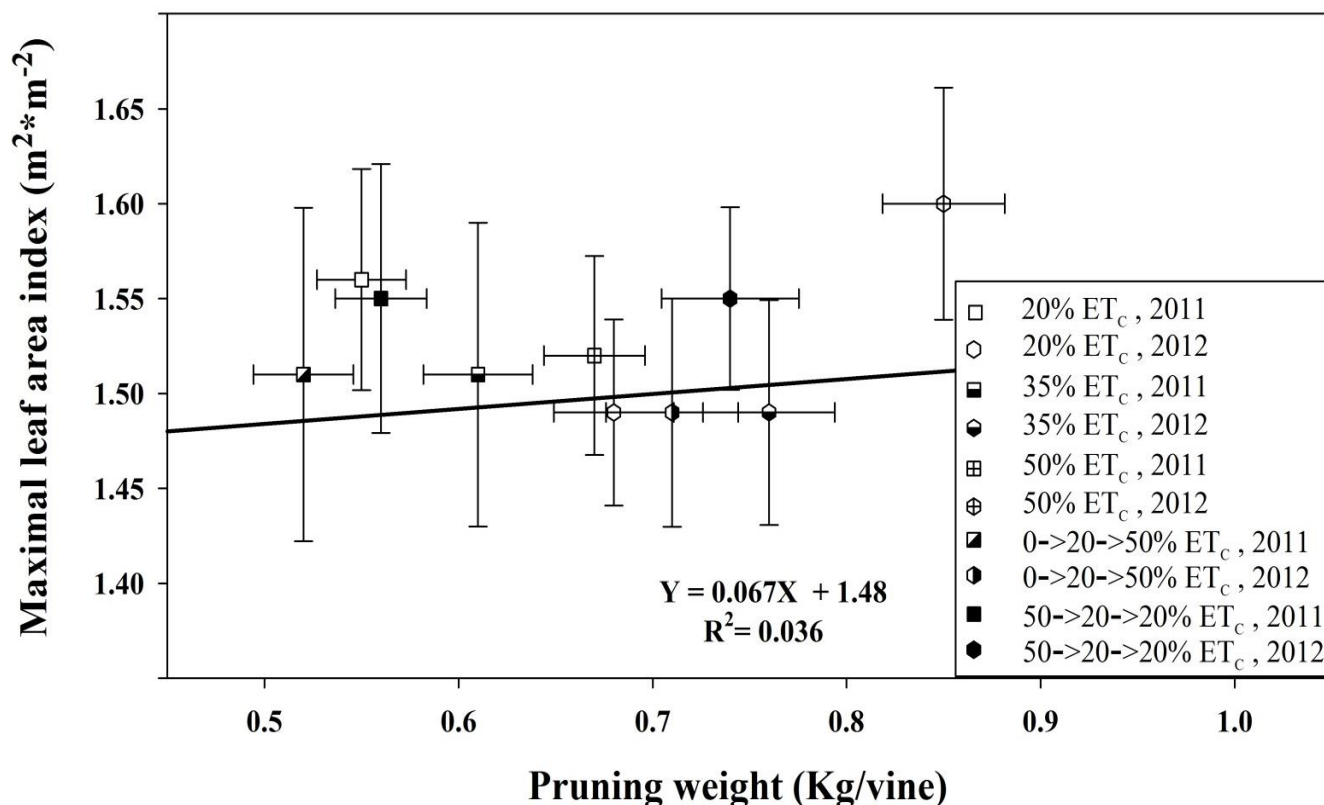
Year 2012



איור מס' 13. (a) : מהלך עונתי של אינדקס שטח העלווה (LAI) בטיפולי ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$), הבינונית ($35\% ET_c$) והגבוהה ($50\% ET_c$). **(b)** : מהלך עונתי של אינדקס שטח העלווה בטיפולי ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$), הגבוהה ($50\% ET_c$) והנמוכה-גבוהה ($0 \rightarrow 20 \rightarrow 50\% ET_c$). **(c)** : מהלך עונתי של אינדקס שטח העלווה בטיפולי ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$), הגבוהה ($50\% ET_c$) והגבוהה-נמוכה ($50 \rightarrow 20 \rightarrow 20\% ET_c$). כל נקודה היא ממוצע של 12 גפנים, סך הכל 12 מועדי מדידה לאורך עונת הגידול. קווי השגיאה האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצע. כרם חולדה, מרלו, 2012.

טבלה מס' 7. משקל גזם לגפן, מספר זמורות לגפן ומשקל זמורה, בטיפולי ההשקיה השונים. הנתונים מייצגים מדידות שנערכו עבור 12 גפנים לחזרה, 48 גפנים לטיפול, 240 גפנים סך הכל. אותיות שונות באנגלית משמעותן היא כי הטיפולים נבדלים זה מזה באופן מובהק על פי מבחן Tukey-Kramer ברמת מובהקות של $p < 0.05$. כרם חולדה, מרלו, 2010-2012.

2012			2011			2010	מקדם השקיה (ET _c %)
משקל זמורה (גר)	מספר זמורות לגפן	משקל גזם (ק"ג/גפן)	משקל זמורה (גר)	מספר זמורות לגפן	משקל גזם (ק"ג)	משקל גזם (ק"ג/גפן)	
17.5 B	39.2	0.68 B	15.6	34.8 B	0.55 BC	0.43 AB	0.2
20.3 AB	38.2	0.76 AB	15.5	39.7 A	0.61 AB	0.45 AB	0.35
21.4 A	40.6	0.85 A	16.4	40.2 A	0.67 A	0.47 A	0.5
19.4 AB	37.2	0.71 B	15.4	33.6 B	0.52 C	0.40 AB	0->0.2->0.5
19.0 AB	38.6	0.74 AB	14.9	36.7 AB	0.56 BC	0.37 B	0.5->0.2->0.2
0.0037	N.S.	0.0039	N.S.	0.0001	0.0002	0.0065	p value



איור מס' 14. המתאם בין משקל הגזם לגפן לבין אינדקס שטח העלווה המקסימלי, עבור כל טיפולי ההשקיה ביחד. כל נקודה מייצגת מדידות שנערכו ב 12 גפנים עבור אינדקס שטח העלווה וב 48 גפנים עבור משקל הגזם. עבור כל נקודה, קווי השגיאה האנכיים והאופקיים מייצגים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצעים שלה. ($n = 10$, $R^2 = 0.036$). כרם חולדה, מרלו, 2010-2011.

3.4 פוטנציאל מים בגזע בצהרי היום

עונת הגידול 2011 (איור מספר 15) התאפיינה במגמת ירידה בערכי פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום עד סוף שלב 2 (יום 205) ומשם ואילך הייתה התייצבות בערכי פוטנציאל המים, עם מגמת עליה קלה, עד לאחר הבציר. שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) עמדו בסוף שלב 1 (יום 140) בערכי שיא של פוטנציאל מים בגזע באיזור של -0.8 MPa, מנקודת זמן זו ואילך ערכי פוטנציאל המים שלהם נבדלו זה מזה עד סוף העונה, כאשר הם יורדים בהדרגה, עד אשר הם הגיעו בסוף שלב 2 (יום 205) לערכי שפל (איור מס' 15a). טיפול ההשקיה הגבוהה הגיע לערך שפל עונתי בפוטנציאל מים בגזע של -1.2 MPa, טיפול ההשקיה הבינונית הגיע לערך של -1.3 MPa וטיפול ההשקיה הנמוכה הגיעה לערך שפל עונתי בפוטנציאל מים בגזע של -1.4 MPa. במרבית המדידות שנערכו החל מסוף שלב 1 ניכרו הבדלים מובהקים בפוטנציאל המים בגזע, בין שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים.

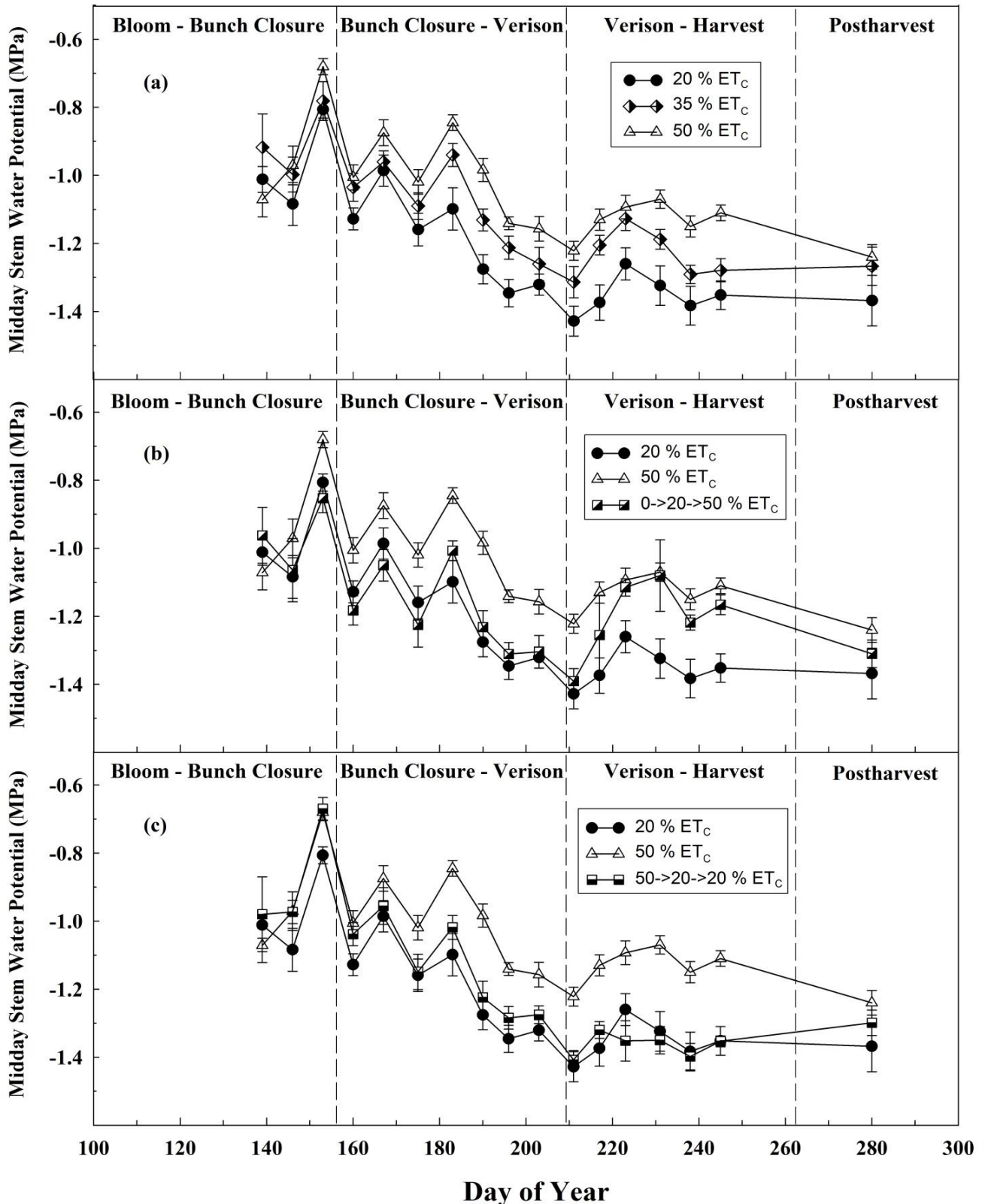
בטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה ($0 > 20 > 50\%$ ET_c) נצפתה מגמה עונתית דומה (איור מס' 15b). עד ליום 172 טיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה היה בעל ערכי פוטנציאל מים בגזע הנמוכים מעט מערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הנמוכה (20% ET_c). החל מיום 172 ועד סוף שלב 2 (יום 209), היו ערכי פוטנציאל המים שלו מעט גבוהים יותר מערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הנמוכה. החל מסוף שלב 2 (יום 209) היו ערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה במגמת עלייה, כאשר החל מאמצע שלב 3 (יום 225) ועד לבציר, הם היו מעט נמוכים יותר מערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הגבוהה (50% ET_c).

בטיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה ($50 > 20 > 20\%$ ET_c) נצפתה מגמה עונתית בערכי פוטנציאל המים בגזע, הדומה לשאר טיפולי ההשקיה (איור מס' 15c). עד ליום 166 טיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה היה בעל ערכי פוטנציאל מים בגזע הדומים לערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הגבוהה (50% ET_c). החל מיום 166 ועד סוף שלב 2 (יום 209), היו ערכי פוטנציאל המים שלו מעט גבוהים יותר מערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הנמוכה (20% ET_c). החל מסוף שלב 2 ועד לבציר היו ערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה דומים לערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), ואף נמוכים ממנו במספר אירועים.

עונת הגידול 2012 (איור מספר 16) התאפיינה במגמת ירידה בערכי פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום עד סוף שלב 2 (יום 206) ומשם ואילך הייתה התייצבות בערכי פוטנציאל המים, עם מגמת עליה קלה, עד לאחר הבציר. שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) (איור מס' 16a) היו בתחילת שלב 1 (יום 128) בערכי שיא של פוטנציאל מים בגזע באיזור של -0.6 MPa, משם ואילך ערכי פוטנציאל המים שלהם ירדו בהדרגה עד אשר הם הגיעו בסוף שלב 2 (יום 206) לערכי שפל עונתיים. טיפול ההשקיה הגבוהה הגיע לערך שפל עונתי בפוטנציאל מים בגזע שעמד על -1.25 MPa, טיפול ההשקיה הבינונית הגיע לערך של -1.35 MPa וטיפול ההשקיה הנמוכה הגיע לערך שפל עונתי בפוטנציאל מים בגזע של -1.4 MPa. החל מתחילת שלב 2 (יום 168) נבדלו שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים בערכי פוטנציאל המים שלהם, ואף הייתה לכך מובהקות סטטיסטית בחלק ניכר של המדידות.

בטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה ($0 > 20 > 50\%$ ET_c) (איור מס' 16b) נצפתה מגמה עונתית דומה. עד לתחילת שלב 3 (יום 212) טיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה היה בעל ערכי פוטנציאל מים בגזע הדומים לערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), ובחלק ניכר מהמדידות הם היו אף נמוכים יותר.

Year 2011



איור מס' 15. (a): מהלך עונתי של פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הבינונית (35% ET_c) והגבוהה (50% ET_c). **(b):** מהלך עונתי של פוטנציאל המים בגזע בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והנמוכה-גבוהה (0->20->50% ET_c). **(c):** מהלך עונתי של פוטנציאל המים בגזע בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והגבוהה-נמוכה (50->20->20% ET_c). קווי השגיאה האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצע. כל נקודה היא ממוצע של 12 עלים, סך הכל 17 מועדי מדידה לאורך עונת הגידול, כרם חולדה, מרלו, 2011.

החל מיום 212 היו ערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה במגמת עלייה, והם היו מעט נמוכים יותר מערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$).
בטיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה ($50\% > 20\% > 20\% ET_c$) נצפתה מגמה עונתית בערכי פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום הדומה לשאר טיפולי ההשקיה (איור מס' 16c). עד ליום 158 טיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה היה בעל ערכי פוטנציאל מים בגזע הדומים לערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$). החל מיום 158 ועד סוף שלב 2 (יום 206), היו ערכי פוטנציאל המים שלו מעט גבוהים יותר מערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$). החל מסוף שלב 2 ועד הבציר היו ערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה שליליים מעט יותר מערכי פוטנציאל המים של טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$).

3.5 קצב קיבוע פחמן בצהרי היום

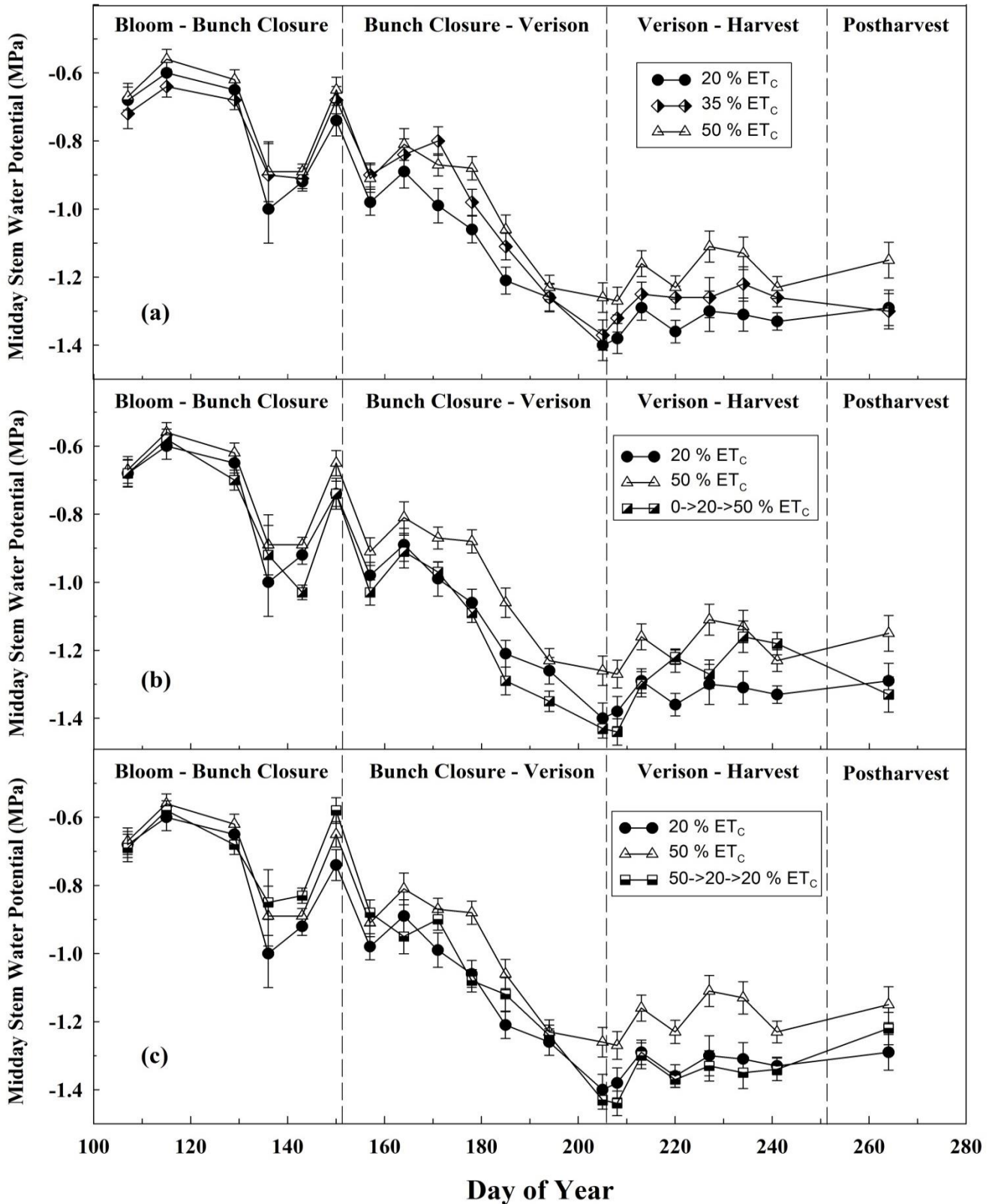
עונת הגידול 2012 (איור מספר 17) התאפיינה במגמת ירידה בקצב קיבוע הפחמן בצהרי היום עד לאמצע שלב 3 (יום 228) ומנקודת זמן זו ואילך הייתה התייצבות עם עלייה קלה בקצב קיבוע הפחמן, עד לאחר הבציר. שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) היו בסוף שלב 1 (יום 128) בערכי שיא של קצב קיבוע פחמן, כאשר טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) וטיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) היו בערכי שיא של קצב קיבוע פחמן עם $16.5 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{s}$ וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) היה בערכי שיא של $14 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{s}$. מנקודת זמן זו ואילך, קצב קיבוע הפחמן הלך וירד בהדרגה, עד אשר הם הגיעו באמצע שלב 3 (יום 228) לערכי מינימום עונתיים של קצב קיבוע פחמן (איור מס' 17a).

טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) וטיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) הגיעו לערך מינימום עונתי של $4 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{s}$, טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) הגיעו לערך מינימום עונתי של $3 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{s}$. החל מתחילת שלב 2 (יום 162) נבדלו שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים בערכי קצב קיבוע הפחמן ברוב המדידות.

בטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה ($0\% > 20\% > 50\% ET_c$) נצפתה מגמה עונתית הדומה לשלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים (איור מס' 17b). עד לתחילת שלב 3 (יום 212) טיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה היה בעל ערכי קצב קיבוע פחמן גבוהים מעט מערכי טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$). החל מיום 212 היו ערכי קצב קיבוע הפחמן של טיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה במגמת עלייה, והם היו דומים לערכי קצב קיבוע הפחמן של טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$).

בטיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה ($50\% > 20\% > 20\% ET_c$) נצפתה מגמה עונתית בערכי קצב קיבוע הפחמן הדומה לשאר טיפולי ההשקיה (איור מס' 17c). עד ליום 158 טיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה היה בעל ערכי קצב קיבוע פחמן הדומים לערכי טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$). החל מיום 158 ועד לבציר היו ערכי קצב קיבוע הפחמן שלו דומים לערכי קצב קיבוע הפחמן של טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$).

Year 2012



איור מס' 16. (a) : מהלך עונתי של פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום בטיפולי ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$), הבינונית ($35\% ET_c$) והגבוהה ($50\% ET_c$). **(b)** : מהלך עונתי של פוטנציאל המים בגזע בטיפולי ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$), הגבוהה ($50\% ET_c$) והנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$). **(c)** : מהלך עונתי של פוטנציאל המים בגזע בטיפולי ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$), הגבוהה ($50\% ET_c$) והגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$). קווי השגיאה האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצע. כל נקודה היא ממוצע של 12 עלים, סך הכל 20 מועדי מדידה לאורך עונת הגידול, כרם חולדה, מרלו 2012.

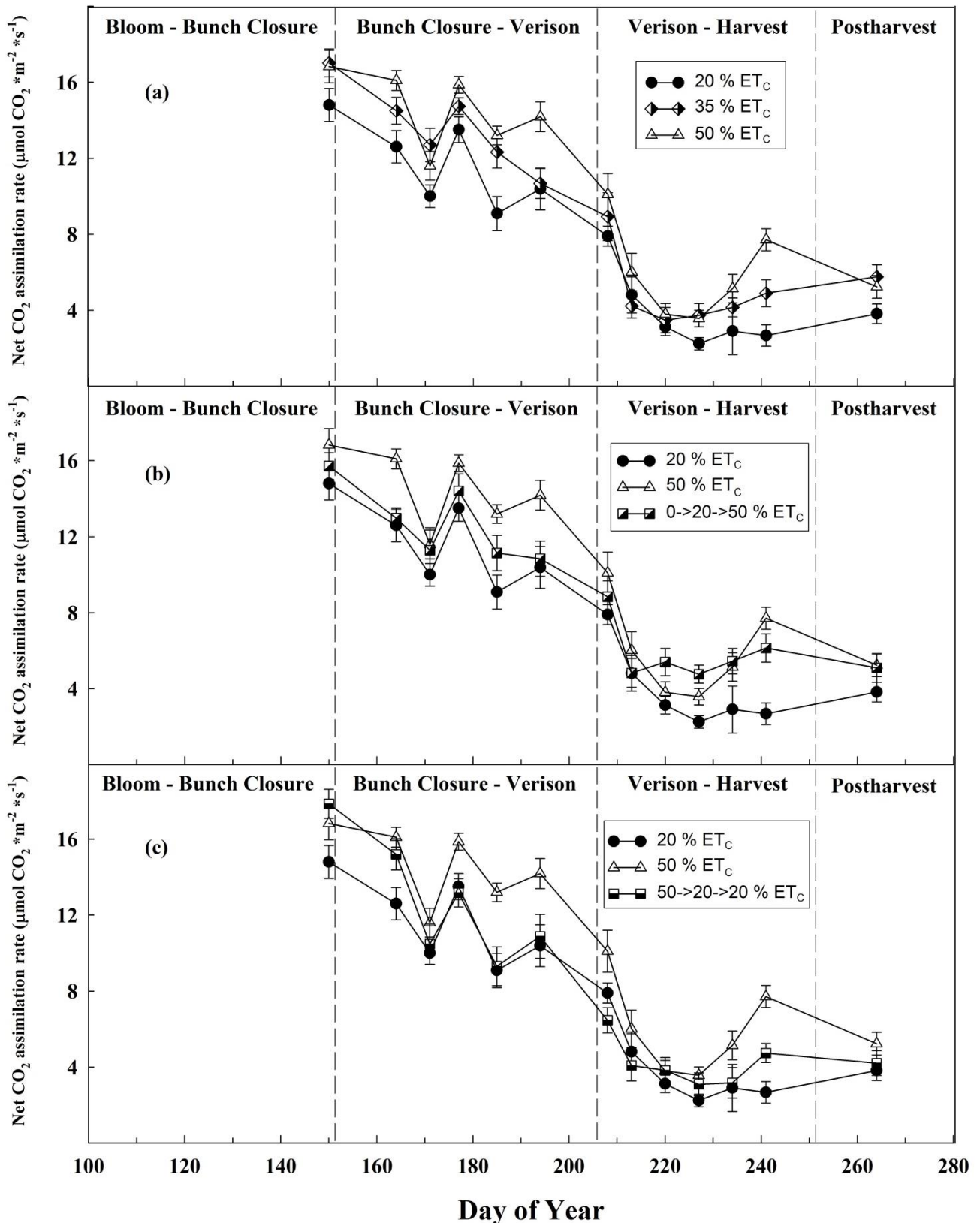
3.6 מוליכות פיוניות בצהרי היום

עונת הגידול 2012 (איור מספר 18) התאפיינה במגמת ירידה בקצב מוליכות הפיוניות בצהרי היום עד לתחילת שלב 3 (יום 212) ומנקודת זמן זו ואילך הייתה התייצבות עם עלייה קלה במוליכות הפיוניות, עד לאחר הבציר. שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) עמדו בסוף שלב 1 (יום 152) על ערכי שיא של מוליכות פיוניות, כאשר טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) עמד על ערך שיא של $240 \text{ mmol H}_2\text{O/m}^2\cdot\text{s}$ וטיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) עמדו על ערכי שיא של $230 \text{ mmol H}_2\text{O/m}^2\cdot\text{s}$ (איור מס' 18a). מנקודת זמן זו ואילך, ערכי מוליכות הפיוניות ששנמדדו בטיפולים הללו הלכו וירדו בהדרגה, עד אשר התקבלו בתחילת שלב 3 (יום 212) ערכי מינימום עונתיים. טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) הגיע לערך מינימום של $65 \text{ mmol H}_2\text{O/m}^2\cdot\text{s}$, טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) הגיע לערך מינימום של $50 \text{ mmol H}_2\text{O/m}^2\cdot\text{s}$ וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) הגיע לערך מינימום של $40 \text{ mmol H}_2\text{O/m}^2\cdot\text{s}$. לאורך כל עונת הגידול נבדלו טיפולי ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) וההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) בערכי מוליכות הפיוניות שלהם, ובחלק רב של המדידות אף הייתה לכך מובהקות סטטיסטית. בטיפול ההשקיה הנמוכה- < גבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) נצפתה מגמה עונתית דומה (איור מס' 18b). עד לתחילת שלב 3 (יום 212) טיפול ההשקיה הנמוכה- < גבוהה היה בעל ערכי מוליכות פיוניות הגבוהים מעט מטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$). החל מיום 212 ואילך, היו ערכי מוליכות הפיוניות של טיפול ההשקיה הנמוכה- < גבוהה במגמת עלייה קלה, והם היו מעט גבוהים מערכי מוליכות הפיוניות של טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$). בטיפול ההשקיה הגבוהה- < נמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$) (איור מס' 18c) נצפתה מגמה עונתית בערכי מוליכות הדומה לשלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים. עד ליום 164 טיפול ההשקיה הגבוהה- < נמוכה היה בעל ערכי מוליכות פיוניות הדומים לערכי טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$). החל מיום 164 ועד הבציר היו ערכי מוליכות הפיוניות שלו דומים לערכי המוליכות פיוניות של טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$).

3.7 קוטר גזע

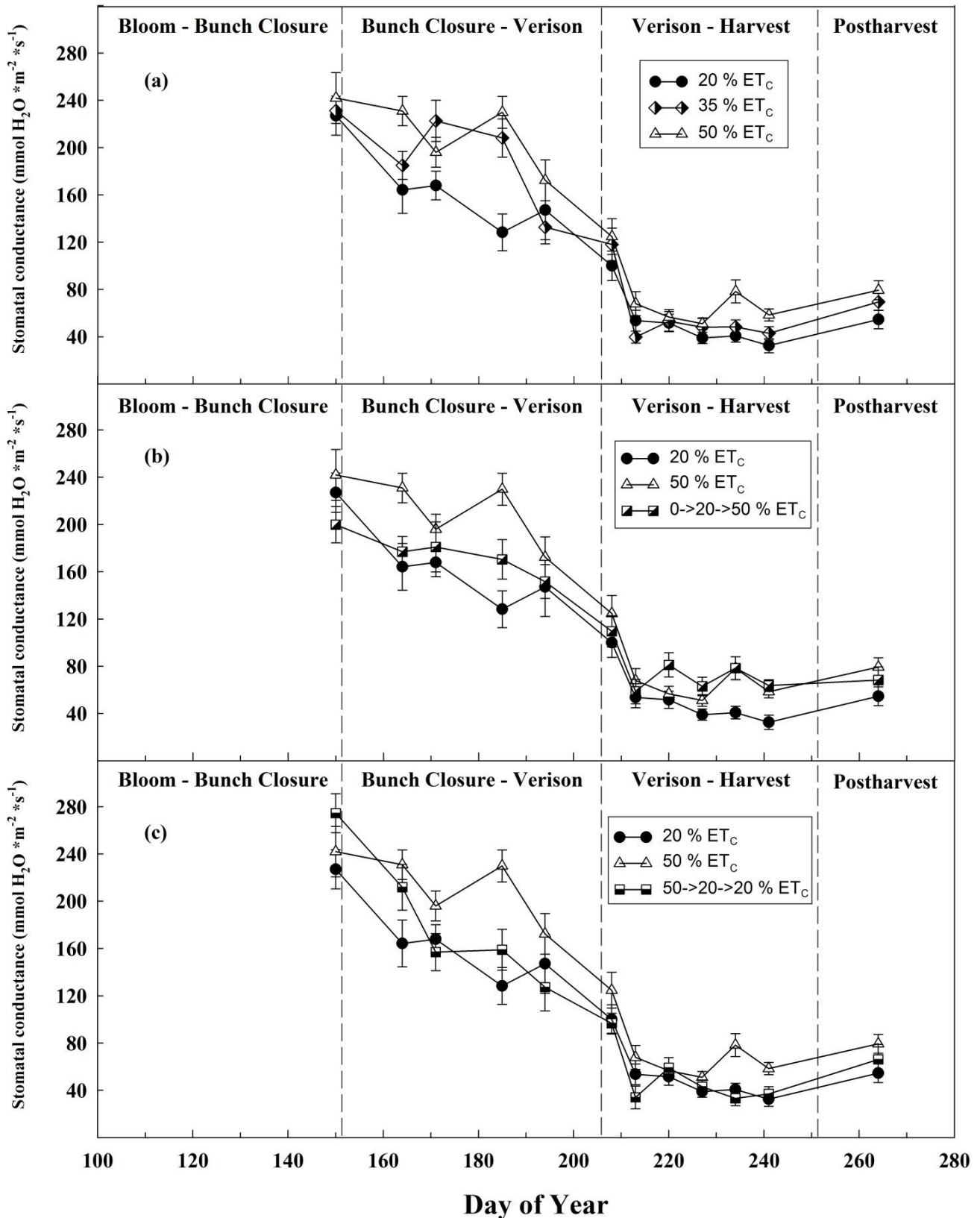
באופן כללי, בשתי עונות הגידול המגמה העונתית של התפתחות קוטר הגזע הייתה דומה (איור מס' 19). תחילת הגדילה בקוטר הגזע נצפתה כשלושה שבועות לאחר הבלבוב, ונמשכה עד תחילת שלב 2. לאחר מכן במהלך שלב 3, חלה ירידה קלה בקוטר הגזע (ניכרת יותר במהלך עונת 2011) ולאחריה הגיעה התייצבות בקוטר הגזע, שנמשכה במהלך כל הסתיו והחורף שאחריו, עד לאחר הבלבוב של העונה הבאה. קוטר הגזע של גפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$), היה באופן מובהק גדול יותר מכל קטרי הגזע של שאר גפני טיפולי ההשקיה, במהלך כל תקופת המדידות (איור מס' 19a). רמות ביניים בערכי קוטר הגזע נמדדו בגפני ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$), איור מס' 19a), בגפני טיפול ההשקיה הגבוהה- < נמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$) (איור מס' 19c) ובגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$), איור מס' 19a). במשך שתי עונות הגידול בטיפול ההשקיה הנמוכה- < גבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) נמדדו קטרי הגזע הקטנים ביותר, בהשוואה לגפני טיפולי ההשקיה האחרים, אם כי לא הייתה לכך מובהקות סטטיסטית (איור מס' 19b).

Year 2012



איור מס' 17. (a) : מהלך עונתי של קצב קיבוע הפחמן בצהרי היום בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_C), הבינונית (35% ET_C) והגבוהה (50% ET_C). (b) : מהלך עונתי של קצב קיבוע הפחמן בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_C), הגבוהה (50% ET_C) והנמוכה-גבוהה (0->20->50% ET_C). (c) : מהלך עונתי של קצב קיבוע הפחמן בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_C), הגבוהה (50% ET_C) והגבוהה-נמוכה (50->20->20% ET_C). קווי השגיאה האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצע. כל נקודה היא ממוצע של 16 עלים, סך הכל 13 מועדי מדידה, כרם חולדה, מרלו, 2012.

Year 2012



איור מס' 18. (a) : מהלך עונתי של מוליכות הפיוניות בצהרי היום בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הבינונית (35% ET_c) והגבוהה (50% ET_c). **(b)** : מהלך עונתי של מוליכות הפיוניות בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והנמוכה-גבוהה (0->20->50% ET_c). **(c)** : מהלך עונתי של מוליכות הפיוניות בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והגבוהה-נמוכה (50->20->20% ET_c). קווי השגיאה האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצע. כל נקודה היא ממוצע של 16 עלים, סך הכל 12 מועדי מדידה לאורך עונת הגידול, כרם חולדה, מרלו 2012.

3.8 מהלכים יומיים של מדדים פיזיולוגיים

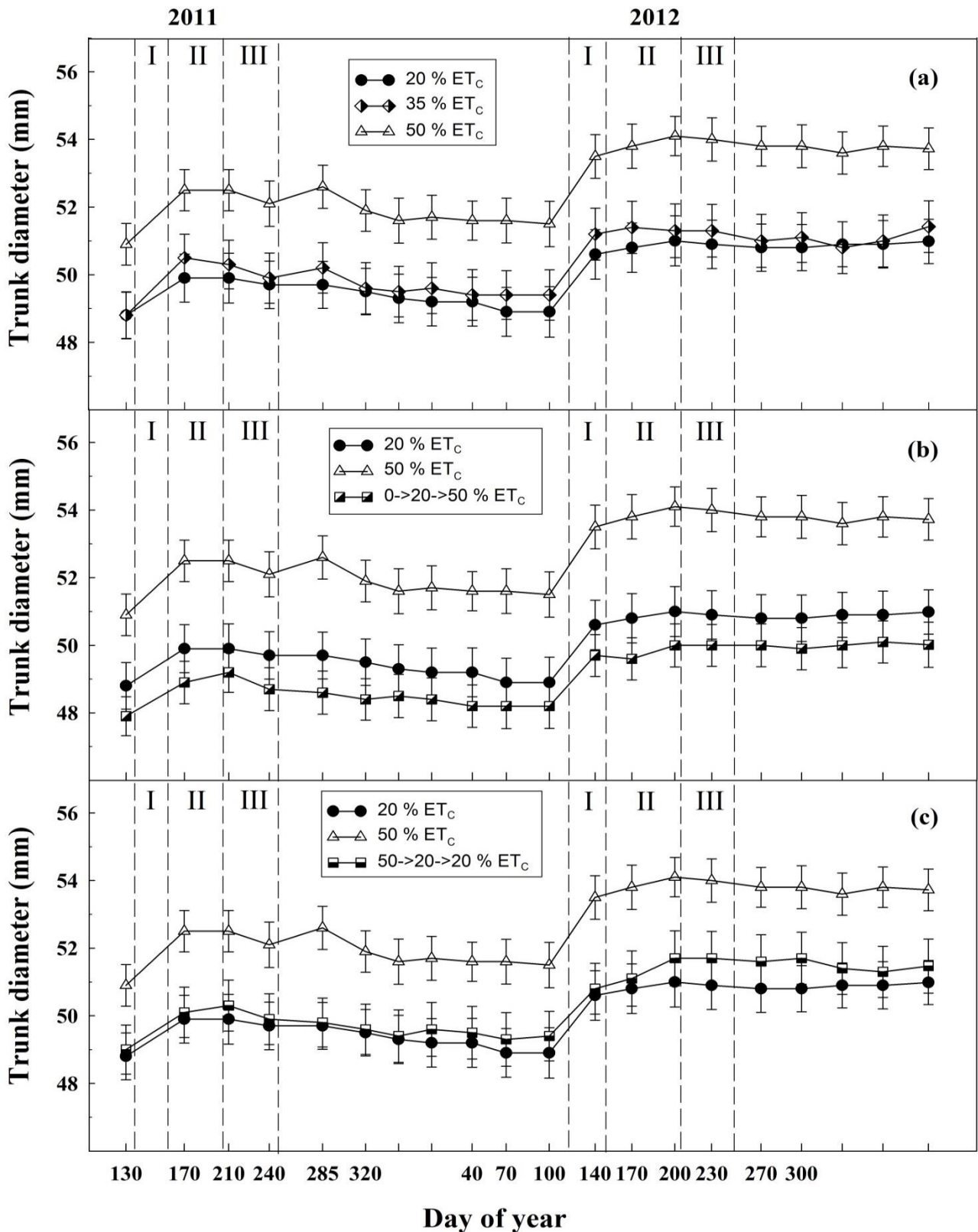
3.8.1 אמצע שלב 3, 10/08/2011: באופן כללי הייתה מגמת ירידה בערכי פוטנציאל המים בגזע במהלך היום עד השעה 12:00 בצהריים בקירוב, ומנקודת זמן זו ואילך הייתה התייצבות של ערכי פוטנציאל המים, עם מגמת עליה קלה, לקראת סוף היום (איור מס' 20 a,b,c). שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) היו בתחילת היום (בשעה 07:00 בבוקר) בערכי שיא יומיים של פוטנציאל מים בגזע (איור מס' 20a). טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) הגיע לערך שיא יומי של $-0.65 MPa$, טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) הגיע לערך שיא של $-0.7 MPa$ וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) הגיע לערך שיא יומי של $-0.8 MPa$. עד לשעה 12:00 בצהריים ירדו חדות ערכי פוטנציאל המים בגזע בשלושת הטיפולים. טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) הגיע לערך שפל יומי של $-1.05 MPa$, טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) הגיע לערך של $-1.25 MPa$ וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) הגיע לערך שפל יומי של $-1.4 MPa$. לאורך כל היום כולו נבדלו שלושת הטיפולים בערכי פוטנציאל המים בגזע שלהם, כשטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) היה בעל ערכי פוטנציאל מים נמוכים יותר מטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) בצורה מובהקת סטטיסטית.

טיפול ההשקיה הנמוכה- $< 50\% ET_c$ (0->20->50) עמד לאורך כל היום על ערכי פוטנציאל מים בגזע הדומים לערכי טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) (איור מס' 20b). תופעה מעניינת שחשוב לשים לב אליה היא שטיפול ההשקיה הגבוהה- $< 20\% ET_c$ (50->20->20) עמד לאורך כל היום על ערכי פוטנציאל מים בגזע הנמוכים מערכי טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) (איור מס' 20c).

בקצב קיבוע הפחמן באופן כללי הייתה עלייה עד לשעה 11:00 בצהריים, ומשם ואילך הייתה ירידה בערכיו עד סוף היום (איור מס' 20 d,e,f). שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) הגיעו בשעה 11:00 בבוקר לערכי שיא יומיים בקצב קיבוע הפחמן (איור מס' 20d). טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) הגיע לערך שיא של $14 \mu mol CO_2/m^2*s$, טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) הגיע לערך שיא יומי של $13 \mu mol CO_2/m^2*s$ וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) הגיע לערך שיא יומי של $9 \mu mol CO_2/m^2*s$. לאורך כל היום נבדלו שלושת הטיפולים בקצב קיבוע הפחמן שלהם, כשטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) היה בעל קצב קיבוע פחמן נמוך יותר מטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) בצורה מובהקת סטטיסטית.

טיפול ההשקיה הנמוכה- $< 50\% ET_c$ (0->20->50) היה לאורך כל היום בעל קצב קיבוע פחמן הדומה לקצבו של טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) (איור מס' 20e). טיפול ההשקיה הגבוהה- $< 20\% ET_c$ (50->20->20) היה לאורך כל היום בעל קצב קיבוע פחמן הדומה לקצבו של טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) (איור מס' 20f).

במוליכות הפיוניות באופן כללי נצפו ערכי שיא בשעה 11:00 בצהריים, ומשם ואילך הייתה ירידה עד סוף היום (איור מס' 20 g,h,i). שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) הגיעו בשעות הצהריים לערכי מינימום במוליכות הפיוניות (איור מס' 20g). טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) הגיע לערך מינימום יומי של $160 mmol H_2O/m^2*s$, טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) הגיע לערך מינימום של $140 mmol H_2O/m^2*s$ וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) הגיע לערך מינימום של $130 mmol H_2O/m^2*s$. בצהרי היום נבדלו שלושת הטיפולים במוליכות הפיוניות שלהם, כשטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) היה בעל מוליכות פיוניות נמוכה יותר מטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) בצורה מובהקת סטטיסטית.



איור מס' 19. (a) : מהלך רב עונתי של התפתחות קוטר הגזע בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הבינונית (35% ET_c) והגבוהה (50% ET_c). **(b)** : מהלך רב עונתי של התפתחות קוטר הגזע בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והנמוכה-גבוהה (0->20->50% ET_c). **(c)** : מהלך רב עונתי של התפתחות קוטר הגזע בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והגבוהה-נמוכה (50->20->20% ET_c). קווי השגיאה האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצע. כל נקודה היא ממוצע של 48 גפנים, סך הכל 20 מועדי מדידה לאורך עונת הגידול. שלבי ההתפתחות של הגרגר מסומנים באותיות רומיות בכל עונת גידול. כרם חולדה, מרלו, 2012-2011.

טיפול ההשקיה הנמוכה- < גבוהה (ET_c 50% >20- >0) היה לאורך כל היום בעל מוליכות פיוניות הדומה לזו של טיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%) (איור מס' 20h).

טיפול ההשקיה הגבוהה- < נמוכה (ET_c 20% >20- >50) היה לאורך כל היום בעל מוליכות פיוניות הדומה לזו של טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) (איור מס' 20i).

3.8.2 סוף שלב 2, 26/07/2012: באופן כללי ניכרה מגמה של ירידה בערכי פוטנציאל המים בגזע במהלך היום עד לשעה 10:30 בבוקר, ומשם ואילך הייתה התייצבות של ערכי פוטנציאל המים, עם מגמת עליה קלה, לקראת סוף היום (איור מס' 21a,b,c). שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) עמדו בתחילת היום (בשעה 08:00 בבוקר) על ערכי שיא יומיים של פוטנציאל מים בגזע (איור מס' 21a). טיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) הגיע לערך שיא יומי של -0.75 MPa, טיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%) הגיע לערך שיא של -0.8 MPa וטיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) הגיע לערך שיא יומי של -1.0 MPa. עד לשעה 10:30 בבוקר ירדו חדות ערכי פוטנציאל המים בגזע בשלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים. טיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) הגיע לערך שפל יומי של -1.2 MPa, טיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%) הגיע לערך של -1.35 MPa וטיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) הגיע לערך שפל יומי של -1.4 MPa. לאורך כל היום כולו נבדלו שלושת הטיפולים בערכי פוטנציאל המים בגזע שלהם, כאשר טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) היה בעל ערכי פוטנציאל מים שליליים יותר מטיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) בצורה מובהקת סטטיסטית.

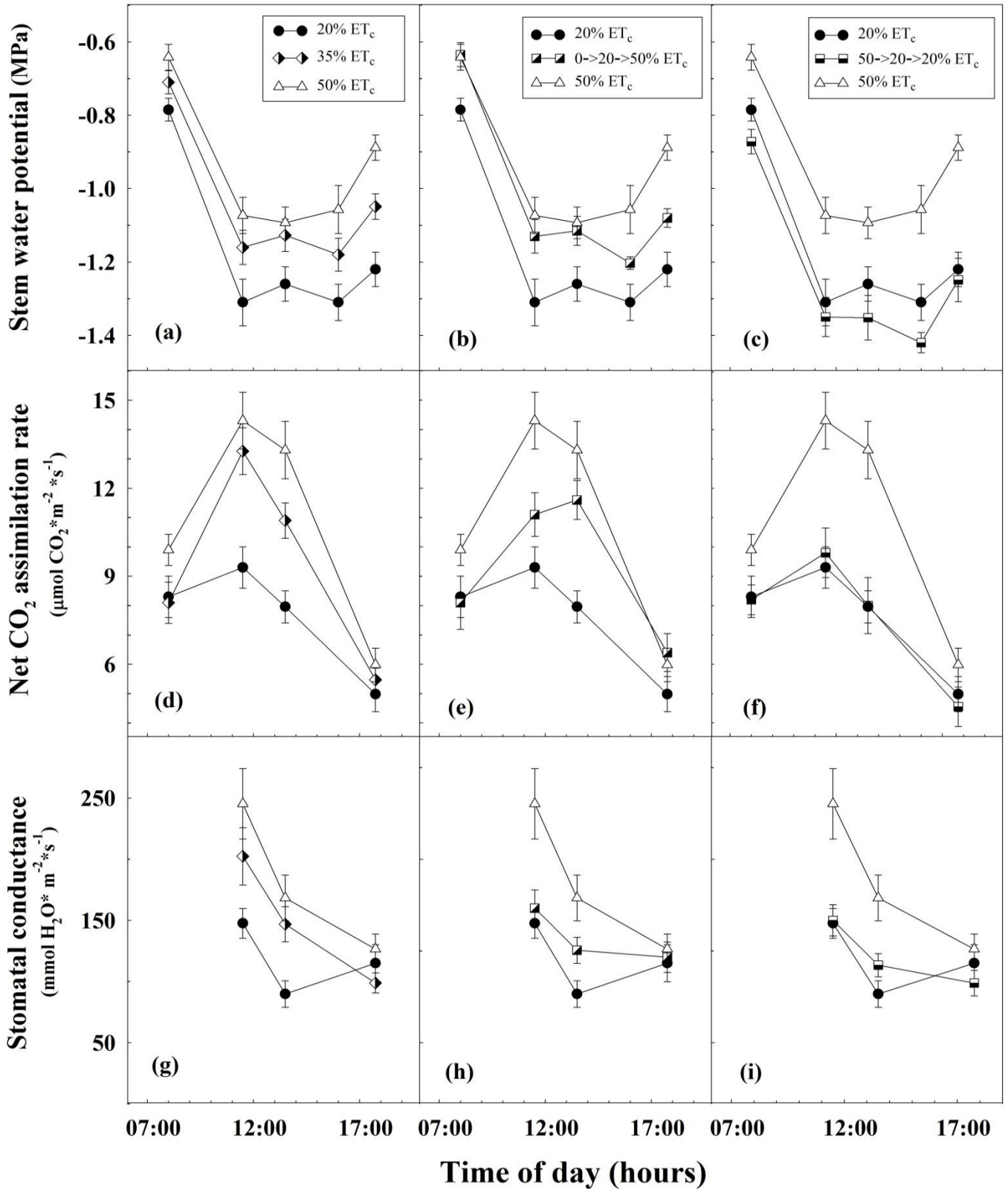
טיפול ההשקיה הנמוכה- < גבוהה (ET_c 50% >20- >0) עמד לאורך כל היום על ערכי פוטנציאל מים בגזע הנמוכים מערכי טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) (איור מס' 21b).

טיפול ההשקיה הגבוהה- < נמוכה (ET_c 20% >20- >50) עמד לאורך כל היום על ערכי פוטנציאל מים בגזע הנמוכים מערכי טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) (איור מס' 21c).

בקצב קיבוע הפחמן ניכרה עלייה עד השעה 10:30 בצהריים, ומשם ואילך חלה בו ירידה הדרגתית עד לסוף היום (איור מס' 21d,e,f). שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) הגיעו בשעה 10:30 בבוקר לערכי שיא בקצב קיבוע הפחמן (איור מס' 21d). טיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) הגיע לערך שיא של $14 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{s}$, טיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%) הגיע לערך שיא של $12.5 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{s}$ וטיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) הגיע לערך שיא יומי של $10 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\cdot\text{s}$. לאורך כל היום נבדלו שלושת הטיפולים בקצב קיבוע הפחמן שלהם, כשטיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) היה בעל קצב קיבוע פחמן הנמוך יותר מטיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) בצורה מובהקת סטטיסטית.

טיפול ההשקיה הנמוכה- < גבוהה (ET_c 50% >20- >0) היה עד השעה 10:30 בעל קצב קיבוע פחמן הדומה לקצבו של טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%), ולאחר מכן הוא הציג קצב קיבוע פחמן הדומה לקצבו של טיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%) (איור מס' 21e). טיפול ההשקיה הגבוהה- < נמוכה (ET_c 20% >20- >50) היה עד השעה 10:30 בעל קצב קיבוע פחמן הדומה לקצבו של טיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%), ולאחר מכן הוא הציג קצב קיבוע פחמן הדומה לקצב של טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) (איור מס' 21f).

10/08/2011



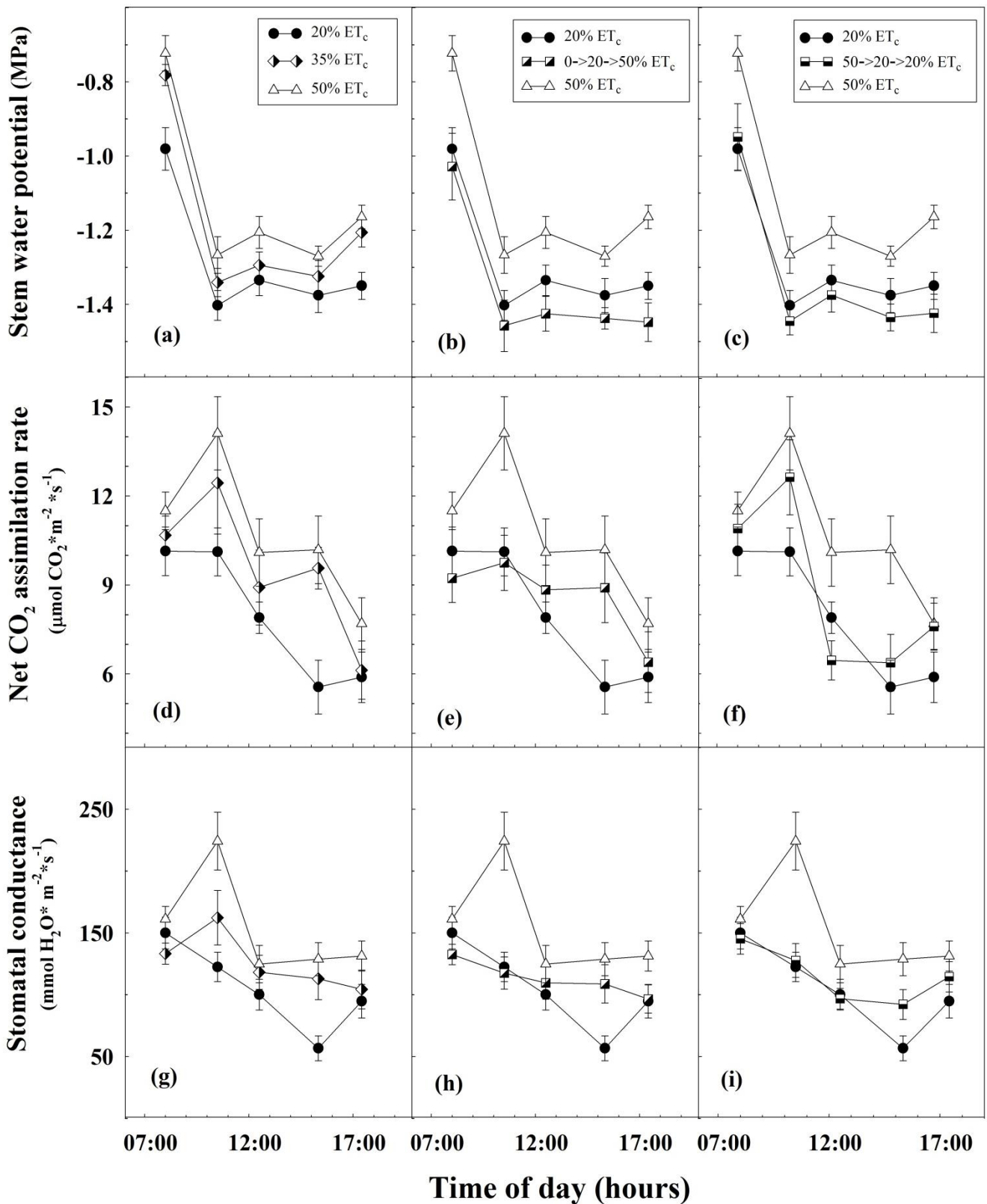
איור מס' 20. (a, d, g) : מהלכים יומיים של פוטנציאל מים, קצב קיבוע פחמן ומוליכות פיוניות, בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הבינונית (35% ET_c) והגבוהה (50% ET_c). (b, e, h) : מהלכים יומיים של פוטנציאל מים, קצב קיבוע פחמן ומוליכות פיוניות, בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והנמוכה-גבוהה (0->20->50% ET_c). (c, f, i) : מהלכים יומיים של פוטנציאל מים, קצב קיבוע פחמן ומוליכות פיוניות, בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והגבוהה-נמוכה (50->20->20% ET_c). כל נקודה בקצב קיבוע הפחמן ומוליכות הפיוניות ובפוטנציאל המים, היא ממוצע של 12 עלים. קווי השגיאה האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצע. כרם חולדה, מרלו, אמצע שלב 3, 10/08/2011.

מוליכות הפיוניות התאפיינה באופן כללי בעלייה עד שעה 10:30 בצהריים, ומשם ואילך חלה ירידה הדרגתית עד סוף היום (איור מס' 21g,h,i). שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים לאורך עונת הגידול (SDI) הגיעו בשעות הצהריים לערכי מינימום במוליכות הפיוניות (איור מס' 21g). טיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) עמד על ערך מינימום יומי של $135 \text{ mmol H}_2\text{O/m}^2\cdot\text{s}$, טיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%) עמד על ערך מינימום של $125 \text{ mmol H}_2\text{O/m}^2\cdot\text{s}$ וטיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) עמד על ערך מינימום של $100 \text{ mmol H}_2\text{O/m}^2\cdot\text{s}$. בצהרי היום נבדלו שלושת הטיפולים בערכי מוליכות הפיוניות שלהם, כשטיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) היה בעל מוליכות פיוניות נמוכה יותר מטיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) בצורה מובהקת סטטיסטית. טיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (ET_c 0->20->50%) עמד לאורך כל היום (למעט בשעה 15:00) על ערכי מוליכות פיוניות הדומה לזו של טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) (איור מס' 21h). טיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה (ET_c 50->20->20%) עמד לאורך כל היום (למעט בשעה 15:00) על ערכי מוליכות פיוניות הדומים לטיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) (איור מס' 21i).

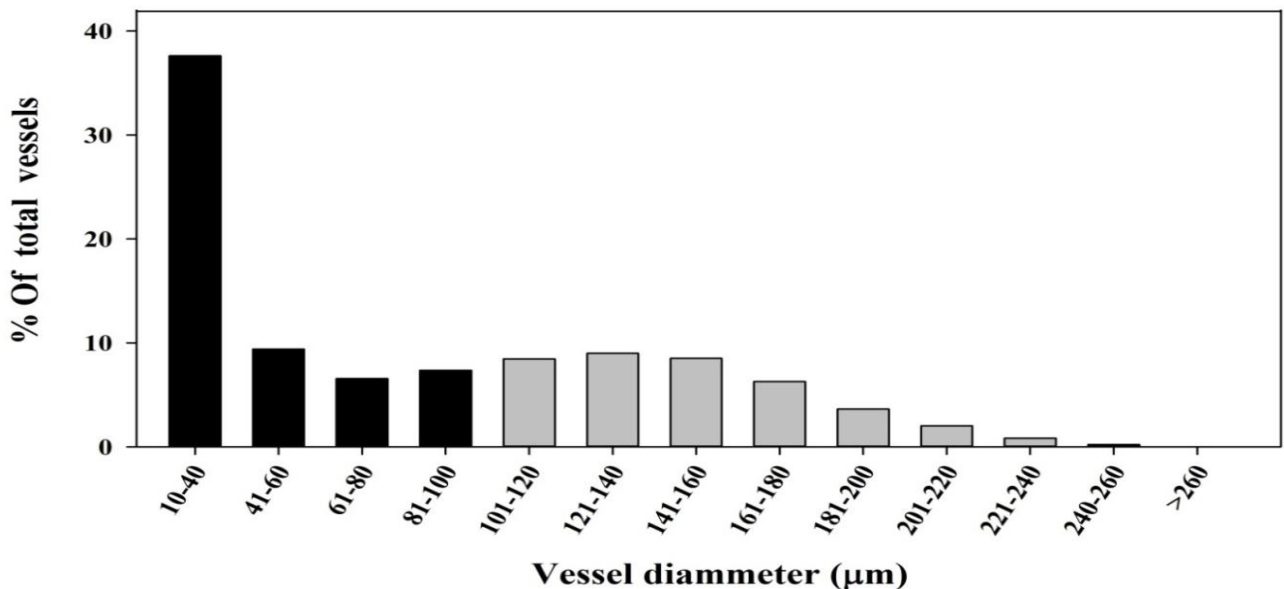
3.9 חתכים אנטומיים

התפלגות קוטר חוליות הטרכיאה לקבוצות הגודל השונות בזן מרלו (איור מס' 22) הייתה בימודלית, כלומר היו לה שני שיאי התפלגות (במקום אחד המתקבל בהתפלגות "פעמון" של גאוס). 60% מחוליות הטרכיאה היו בעלות קוטר קטן מ $100 \mu\text{m}$, מתוכן 64% היו בקבוצת הגודל של $10-40 \mu\text{m}$. 40% מסך כלל חוליות הטרכיאה היו בעלות קוטר גדול מ $100 \mu\text{m}$, מהן 62% היו בקבוצות הגודל של $101-160 \mu\text{m}$. התפלגות המוליכות ההידראולית המחושבת בקבוצות הגודל השונות של חוליות הטרכיאה (איור מס' 23) הייתה נורמאלית, כאשר שיא ההתפלגות של המוליכות ההידראולית היה בחוליות שקוטרן בקבוצת הגודל של $161-180 \mu\text{m}$. קבוצות חוליות הטרכיאה בעלות הקוטר הקטן (פחות מ $100 \mu\text{m}$) היוו רק 4% מסך המוליכות ההידראולית הכללית, בעוד שקבוצות חוליות הטרכיאה בעלות הקוטר הגדול (יותר מ $100 \mu\text{m}$) היוו 96% מסך המוליכות ההידראולית הכללית. חוליות הטרכיאה שקוטרן בקבוצות הגודל של $141-200 \mu\text{m}$ היו אחראיות על 63% מסך המוליכות ההידראולית הכוללת. רוחב הטבעת השנתית הגדול ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה (ET_c 50->20->20%) ובטיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) (טבלה מס' 8). ברמת ביניים היה טיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%). טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) וטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (ET_c 0->20->50%) היו בעלי רוחב הטבעת השנתית הצר ביותר, בצורה מובהקת סטטיסטית. בשטח הטבעת השנתית התקבלה מגמה דומה (טבלה מס' 8). הצפיפות הגדולה ביותר של הטרכיאות הקטנות התקבלה בטיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%), ברמת ביניים היו טיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה (ET_c 50->20->20%), טיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (ET_c 0->20->50%) וטיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%) (טבלה מס' 8). טיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) היה בעל צפיפות הטרכיאות הקטנה ביותר, אך לא היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים השונים בצפיפות הטרכיאות הקטנות. בצפיפות הטרכיאות בעלות הקוטר הגדול (טבלה מס' 8) לא ניכרו כמעט הבדלים בין הטיפולים. קוטר הטרכיאות הקטנות (טבלה מס' 9) הגבוה ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (ET_c 0->20->50%) ובטיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%).

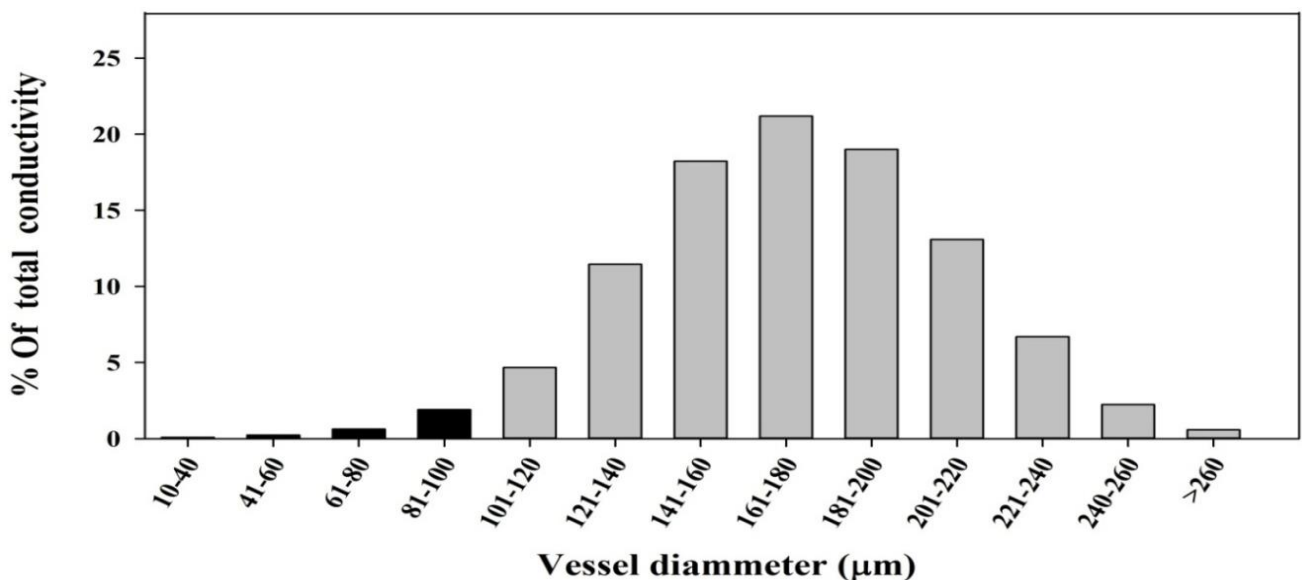
26/07/2012



איור מס' 21. (a, d, g) : מהלכים יומיים של פוטנציאל מים, קצב קיבוע פחמן ומוליכות פיוניות בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הבינונית (35% ET_c) והגבוהה (50% ET_c). (b, e, h) : מהלכים יומיים של פוטנציאל מים, קצב קיבוע פחמן ומוליכות פיוניות בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והנמוכה-גבוהה (0->20->50% ET_c). (c, f, i) : מהלכים יומיים של פוטנציאל מים, קצב קיבוע פחמן ומוליכות פיוניות בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והגבוהה-נמוכה (50->20->20% ET_c). כל נקודה בקצב קיבוע הפחמן ובמוליכות הפיוניות היא ממוצע של 16 עלים, ובפוטנציאל המים היא ממוצע של 12 עלים, 5 מועדים לאורך היום. קווי השגיאה האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצע. כרם חולדה, מרל, סוף שלב 2, 26/07/2012.



איור מס' 22. ההתפלגות הבימודלית של קוטר חוליות הטרביאה לקבוצות גודל שונות. נמדדו למעלה מ 12,000 חוליות טרכיאה, בכל טיפולי ההשקיה ביחד, כרם חולדה, מרלו, 2012-2009.



איור מס' 23. אחוז המוליכות ההידראולית המחושבת של טרכאות מקבוצות הקוטר השונות. האיור מציג חישוב של מוליכות הידראולית עבור למעלה מ 12,000 חוליות טרכיאה, כפי שנמדדו בכל טיפולי ההשקיה ביחד, כרם חולדה, מרלו, 2012-2009.

טבלה מס' 8. מדדים אנטומיים בטיפולי ההשקיה השונים. הנתונים מייצגים מדידות שבוצעו בחתכי רוחב, עבור 3 גפנים לחזרה, 12 גפנים לטיפול, 60 גפנים בסה"כ. אותיות שונות באנגלית משמעותן היא כי הטיפולים נבדלים זה מזה באופן מובהק על פי מבחן Tukey-Kramer ברמת מובהקות של $p < 0.05$. כרם חולדה, מרלו, 2012-2009.

מס' טרכיאות ("גדולות" $>100 \mu\text{m}$) ל mm^2	מס' טרכיאות ("קטנות" $<100 \mu\text{m}$) ל mm^2	שטח טבעת שנתית (mm^2)	רוחב טבעת שנתית (μm)	מקדם השקיה (ET_c מ %)
9.9	16.9	104.4 BC	719.9 BC	0.2
9.6	14.7	124.2 AB	835.6 AB	0.35
10.3	12.6	141.5 A	891.4 A	0.5
9.7	15.5	100.9 C	686.0 C	0->0.2->0.5
9.3	15.8	134.3 A	901.5 A	0.5->0.2->0.2
N.S.	N.S.	0.0001	0.0001	P value

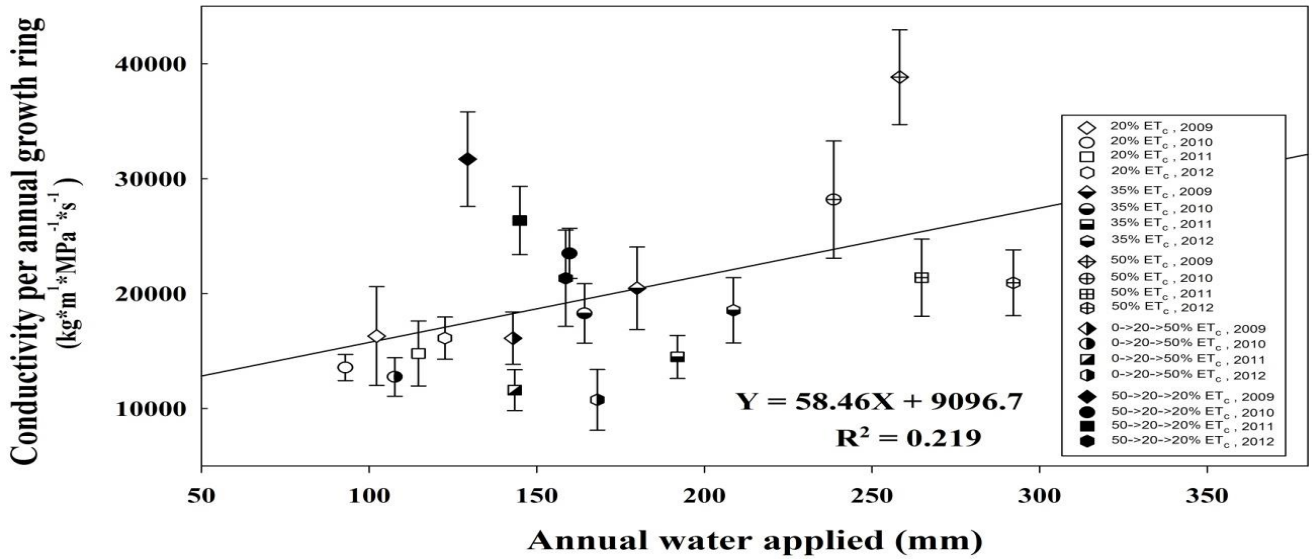
טיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%), טיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה (ET_c 20->20->50) וטיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) היו בעלי קוטר טרכיאות קטנות נמוך יותר, באופן מובהק סטטיסטי. קוטר הטרכיאות הגדולות (טבלה מס' 9) הגבוה ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה (ET_c 20->20->50) ובטיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%). טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%), וטיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%) היו ברמת ביניים בקוטר הטרכיאות הגדולות שלהם, והיו נמוכים באופן מובהק סטטיסטי מטיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה ומטיפול ההשקיה הגבוהה. טיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה (ET_c 0->20->50) היה בעל קוטר הטרכיאות הגדולות הנמוך ביותר מכל טיפולי ההשקיה, באופן מובהק סטטיסטי.

מוליכות המים הספציפית המחושבת (טבלה מס' 9) הגבוהה ביותר התקבלה בטיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) ובטיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה (ET_c 20->20->50). טיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%), טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) וטיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה (ET_c 0->20->50) היו בעלי מוליכות מים ספציפית נמוכה יותר, באופן מובהק סטטיסטי. מוליכות המים המחושבת לטבעת שנתית (טבלה מס' 9) הגבוהה ביותר התקבלה בטיפול ההשקיה הגבוהה (ET_c 50%) ובטיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה (ET_c 20->20->50). טיפול ההשקיה הבינונית (ET_c 35%), טיפול ההשקיה הנמוכה (ET_c 20%) וטיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה (ET_c 0->20->50) היו בעלי מוליכות מים ספציפית נמוכה יותר, באופן מובהק סטטיסטי. כאשר טיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה (ET_c 0->20->50) היה בעל מוליכות המים לטבעת שנתית הגבוהה ביותר מבין שלושתם, למרות שלא הייתה לכך מובהקות סטטיסטית.

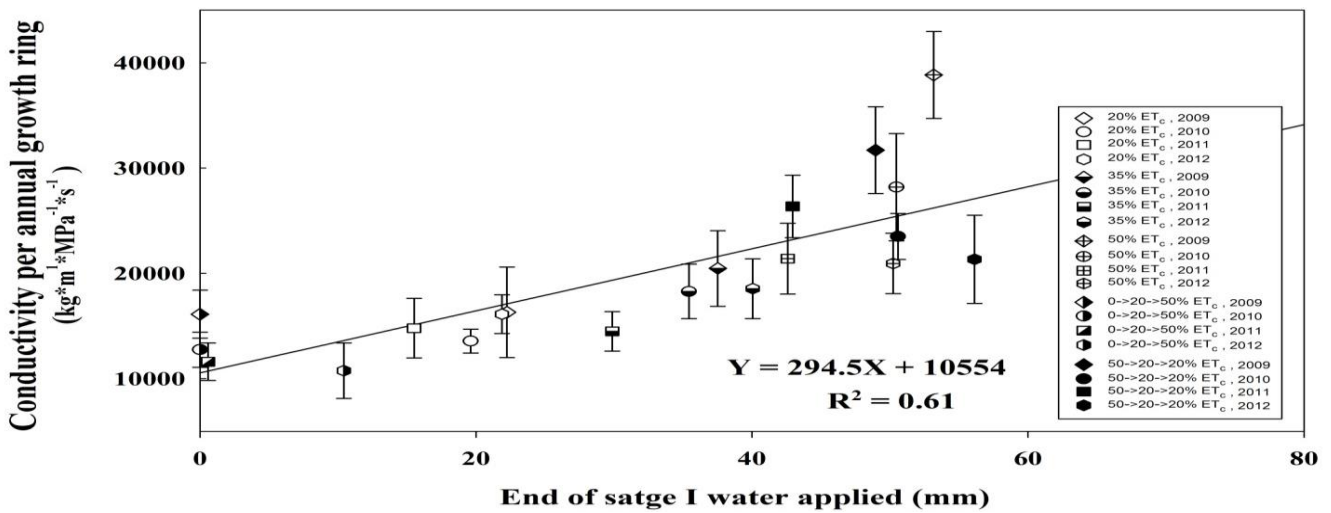
במתאם שנערך בין גודל מנת המים שיושמה בשלב 1 בטיפול ההשקיה השונים לבין מוליכות המים לטבעת שנתית (איור מס' 25) נמצא כי הקשר ביניהם הוא בינוני/חזק ($R^2 = 0.61$). במתאם שנערך בין גודל מנת המים העונתית שיושמה בטיפול ההשקיה השונים לבין מוליכות המים לטבעת שנתית (איור מס' 24) נמצא כי הקשר ביניהם הוא חלש ($R^2 = 0.219$).

טבלה מס' 9. מדדים אנטומיים בטיפול ההשקיה השונים. הנתונים מייצגים מדידות שנערכו בחתכי רוחב בעצה של הגזע, שבוצעו עבור 3 גפנים לחזרה, 12 גפנים לטיפול, 60 גפנים בסה"כ. אותיות שונות באנגלית משמעותן היא כי הטיפולים נבדלים זה מזה באופן מובהק על פי מבחן Tukey-Kramer ברמת מובהקות של $p < 0.05$. כרם חולדה, 2009-2012.

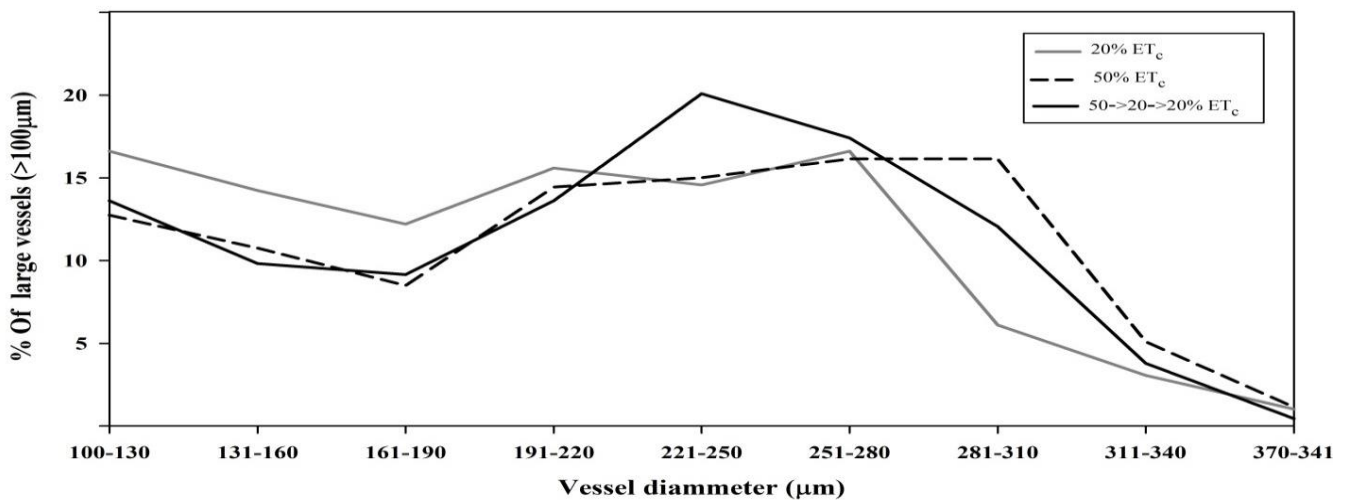
מוליכות מים תיאורטית לטבעת שנתית ($kg \cdot m^{-1} \cdot MPa^{-1} \cdot s^{-1}$)	מוליכות מים ספציפית תיאורטית ($kg \cdot m^{-1} \cdot MPa^{-1} \cdot s^{-1}$)	קוטר טרכיאות "גדולות" ($>100 \mu m$) ממוצע (μm)	קוטר טרכיאות "קטנות" ($<100 \mu m$) ממוצע (μm)	מקדם השקיה (ET_c מ %)
0.01520 B	142.5 B	147.9 B	37.5 B	0.2
0.01794 B	144.0 B	147.1 B	43.3 A	0.35
0.02734 A	188.6 A	154.9 A	40.3 B	0.5
0.01281 B	127.2 B	142.1 C	45.4 A	0->0.2->0.5
0.02572 A	188.3 A	158.5 A	38.3 B	0.5->0.2->0.2
0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	P value



איור מס' 24. מתאם בין מנת המים העונתית לבין מוליכות ההידראולית התיאורטית לטבעת שנתית, עבור כל שנות המחקר בכל טיפולי ההשקיה (n = 20, R² = 0.219). קווי השגיאה האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצע. כרם חולדה, מרלו 2012-2009.



איור מס' 25. מתאם בין מנות המים שיושמו במהלך שלב 1 לבין המוליכות ההידראולית התיאורטית לטבעת שנתית, בכלל טיפולי ההשקיה במהלך כל שנות המחקר (n = 20, R² = 0.61). קווי השגיאה האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצע. כרם חולדה, מרלו 2012-2009.



איור מס' 26. התפלגות קטרי חוליות הטרכיאה הגדולות (מעל 100 µm) לקבוצות גודל שונות, בטיפולי ההשקיה הנמוכה, הגבוהה והגבוהה-נמוכה. האיור מציג נתונים של מעל 2700 חוליות טרכיאה, כרם חולדה, מרלו, 2012-2009.

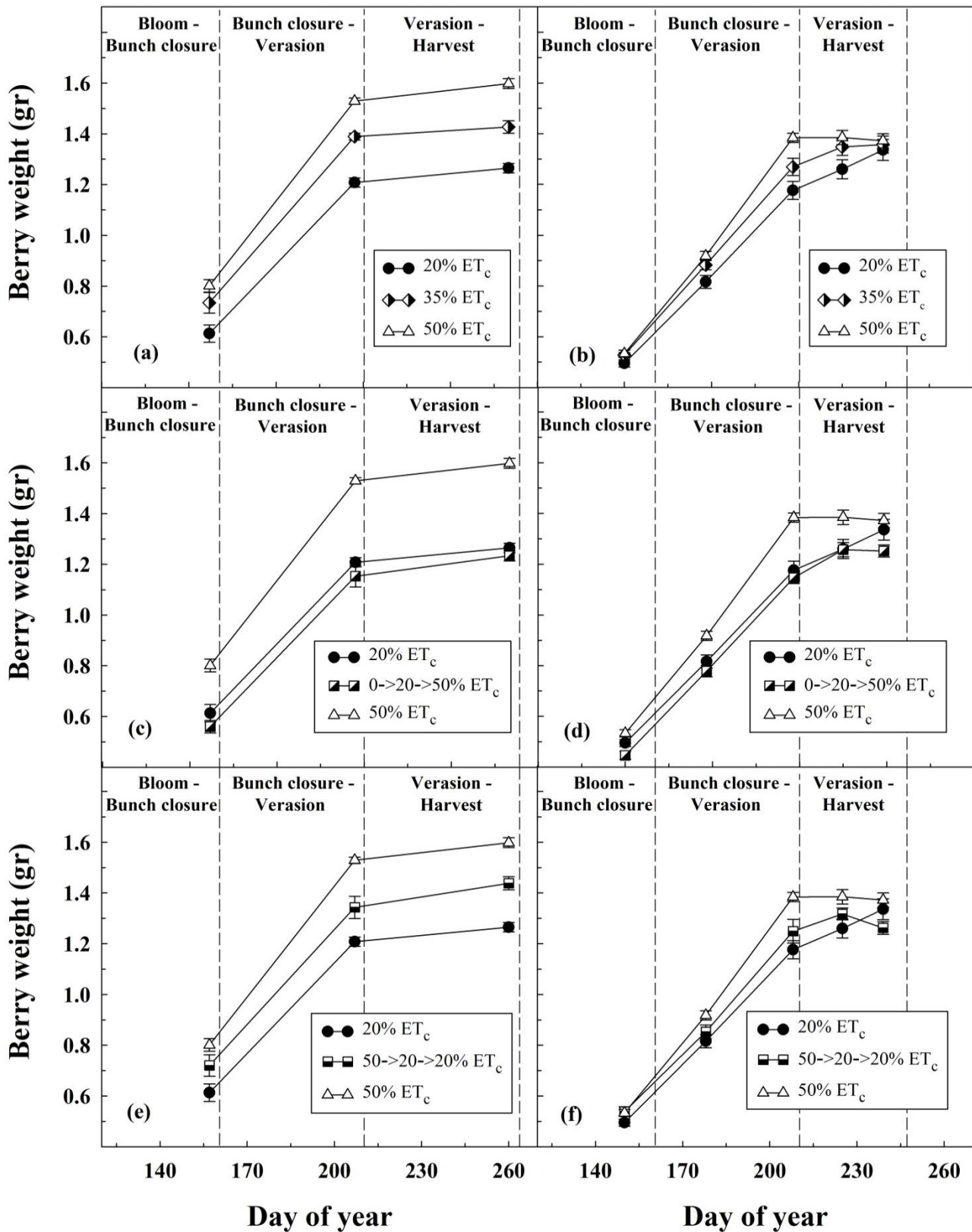
3.10 משקל גרגר

בעונת 2011 שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים (SDI) הראו מגמת עלייה מהירה במשקל הגרגר עד סוף שלב 2 (יום 210) ולאחר מכן התייצבות עם מגמת עלייה קלה עד הבציר (איור מס' 27a). בסוף שלב 1 (יום 158), טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) היה עם משקל גרגר ממוצע של 0.8 gr, טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) היה עם משקל גרגר ממוצע של 0.75 gr וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) עם משקל גרגר ממוצע של 0.6 gr. בבציר (יום 260), טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) היה עם משקל גרגר ממוצע של 1.59 gr, טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) היה עם משקל גרגר ממוצע של 1.43 gr וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) היה עם משקל גרגר ממוצע של 1.26 gr. לאורך כל המדידות, שלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים, נבדלו זה מזה במשקל הגרגר שלהם, באופן מובהק סטטיסטית. טיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) היה לאורך כל עונת הגידול בעל משקל גרגר הנמוך מטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$), כאשר בסוף שלב 1 הוא היה עם משקל גרגר של 0.55 gr ובבציר הוא הגיע למשקל גרגר של 1.23 gr (איור מס' 27c). טיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$) היה לאורך כל עונת הגידול בעל משקל גרגר הדומה לטיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) (איור מס' 27e). בסוף שלב 1 טיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה היה בעל משקל גרגר של 0.73 gr ובבציר הוא הגיע למשקל גרגר של 1.44 gr.

בעונת 2012 שלושת הטיפולים בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים (SDI) הראו מגמת עלייה מהירה במשקל הגרגר עד סוף שלב 2 (יום 208) ולאחר מכן התייצבות עם מגמת עלייה קלה (למעט טיפול ההשקיה הגבוהה) עד הבציר (איור מס' 27b). בסוף שלב 1 (יום 148), טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) היה עם משקל גרגר ממוצע של 0.55 gr, טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) היה עם משקל גרגר ממוצע של 0.5 gr וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) היה עם משקל גרגר ממוצע של 0.47 gr. בבציר (יום 248), טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) היה עם משקל גרגר ממוצע של 1.37 gr, טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) היה עם משקל גרגר ממוצע של 1.36 gr וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) היה עם משקל גרגר ממוצע של 1.34 gr. לאורך כל משך המדידות, שלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים, נבדלו זה מזה במשקל הגרגר שלהם, אולם ההבדלים הניכרים, אשר היו מובהקים סטטיסטית, נצפו במדידות שנערכו במהלך שלב 2. במהלך שלב 3 הלכו והצטמצמו ההבדלים במשקל הגרגר בין שלושת הטיפולים, בעיקר בגלל פחיתה במשקל הגרגר שחלה בטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$). טיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) היה לאורך כל עונת הגידול בעל משקל גרגר הנמוך מטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$), כאשר בסוף שלב 1 הוא היה עם משקל גרגר של 0.45 gr ובבציר הוא הגיע למשקל גרגר של 1.25 gr (איור מס' 27d). טיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$) היה לאורך כל עונת הגידול בעל משקל גרגר הדומה לטיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$), אולם בסוף שלב 3 חלה פחיתה במשקל הגרגר שלו, והוא הגיע בבציר למשקל גרגר הנמוך ממשקל הגרגר של טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) (איור מס' 27f). בסוף שלב 1 טיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה היה בעל משקל גרגר של 0.5 gr ובבציר הוא הגיע למשקל גרגר של 1.26 gr.

Year 2011

Year 2012



איור מס' 27. (a, b) : מהלכים עונתיים של התפתחות משקל הגרגר בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הבינונית (35% ET_c) והגבוהה (50% ET_c). (c, d) : מהלכים עונתיים של התפתחות משקל הגרגר בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והנמוכה-גבוהה (0->20->50% ET_c). (e, f) : מהלכים עונתיים של התפתחות הגרגר בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c), הגבוהה (50% ET_c) והגבוהה-נמוכה (50->20->20% ET_c). כל נקודה היא ממוצע המשקל של 400 גרגרים. 3 מועדי מדידה בעונת 2011, 5 מועדי מדידה בעונת 2012. קווי השגיאה האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצע. כרם חולדה, מרלו 2011-2012.

3.11 מדדי יבול והבשלה

בעונת 2009 (טבלה מס' 10) היבול הגבוה ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה- $ET_c (20\% > 20\% > 50)$ נמוכה (ובטיפול ההשקיה הגבוהה $ET_c (50\%)$) עם 1.97 ו 1.92 טון/דונם, בהתאמה. ברמת ביניים היו טיפולי ההשקיה הבינונית ($ET_c (35\%)$) וטיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c (20\%)$) עם 1.84 ו 1.74 טון/דונם בהתאמה. הטיפול בעל היבול הנמוך ביותר היה טיפול ההשקיה הנמוכה- $ET_c (0\% > 20\% > 50)$ גבוהה עם 1.62 טון/דונם. היבול של טיפול ההשקיה הנמוכה- $ET_c (0\% > 20\% > 50)$ גבוהה היה נמוך יותר, באופן מובהק סטטיסטי, מהיבול של טיפולי ההשקיה הגבוהה- $ET_c (50\%)$ נמוכה ($ET_c (50\% > 20\% > 20)$) והגבוהה ($ET_c (50\%)$). במספר האשכולות לגפן (טבלה מס' 10), לא היו הבדלים מובהקים וניכרים בין טיפולי ההשקיה, והוא היה בקירוב 67 אשכולות לגפן. משקל הגרגר הגבוה ביותר (טבלה מס' 10) התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c (50\%)$) ובטיפול ההשקיה הגבוהה- $ET_c (50\% > 20\% > 20)$ נמוכה עם 1.5 gr ו 1.44 gr, בהתאמה. ברמת ביניים, ובאופן מובהק נמוך יותר, היה טיפול ההשקיה הבינונית ($ET_c (35\%)$), עם 1.33 gr. משקל הגרגר הנמוך ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c (20\%)$) ובטיפול ההשקיה הנמוכה- $ET_c (0\% > 20\% > 50)$ גבוהה עם 1.23 gr ו 1.18 gr, בהתאמה. משקל הגרגר של טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c (20\%)$) וטיפול ההשקיה הנמוכה- $ET_c (0\% > 20\% > 50)$ גבוהה, היה קטן יותר, באופן מובהק סטטיסטי, ממשקל הגרגר של שאר טיפולי ההשקיה. מספר הגרגרים לאשכול הרב ביותר (טבלה מס' 10), התקבל בטיפול ההשקיה הנמוכה- $ET_c (0\% > 20\% > 50)$ גבוהה עם 94 גרגרים לאשכול. ברמת ביניים היו טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c (20\%)$), טיפול ההשקיה הגבוהה- $ET_c (50\% > 20\% > 20)$ נמוכה וטיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c (50\%)$), עם 90.1, 90, 88.8 גרגרים לאשכול, בהתאמה. טיפול ההשקיה הבינונית ($ET_c (35\%)$) היה עם מספר הגרגרים לאשכול הנמוך ביותר, עם 86 גרגרים לאשכול. לא היו הבדלים מובהקים בין טיפולי ההשקיה במספר הגרגרים לאשכול. רמת הסוכר בגרגר (Brix, טבלה מס' 10) הגבוהה ביותר התקבלה בטיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c (20\%)$) ובטיפול ההשקיה הגבוהה- $ET_c (50\% > 20\% > 20)$ נמוכה עם 24 Brix ו 23.8, בהתאמה. ברמת סוכר נמוכה יותר היו טיפול ההשקיה הבינונית ($ET_c (35\%)$), טיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c (50\%)$) וטיפול ההשקיה הנמוכה- $ET_c (0\% > 20\% > 50)$ גבוהה עם 23.6, 23.4, 23.3 Brix, בהתאמה. לא היו הבדלים מובהקים ברמת הסוכר בין טיפולי ההשקיה השונים.

בעונת 2010 (טבלה מס' 11) היבול הגבוה ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c (50\%)$) ובטיפול ההשקיה הבינונית ($ET_c (35\%)$) עם 1.45 ו 1.43 טון/דונם, בהתאמה. ברמת ביניים היו טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c (20\%)$) וטיפול ההשקיה הגבוהה- $ET_c (50\% > 20\% > 20)$ נמוכה עם 1.33 ו 1.28 טון/דונם, בהתאמה. הטיפול בעל היבול הנמוך ביותר היה טיפול ההשקיה הנמוכה- $ET_c (0\% > 20\% > 50)$ גבוהה עם 0.98 טון/דונם. היבול של טיפול ההשקיה הנמוכה- $ET_c (0\% > 20\% > 50)$ גבוהה היה נמוך יותר, באופן מובהק סטטיסטי, מהיבול של שאר הטיפולים. מספר האשכולות לגפן (טבלה מס' 11) הרב ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c (50\%)$) ובטיפול ההשקיה הבינונית ($ET_c (35\%)$) עם 61.5 ו 60.6 אשכולות לגפן, בהתאמה. ברמת ביניים היו טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c (20\%)$) וטיפול ההשקיה הגבוהה- $ET_c (50\% > 20\% > 20)$ נמוכה עם 58.7 ו 56.8 אשכולות לגפן, בהתאמה. בעל מספר האשכולות לגפן הנמוך ביותר היה טיפול ההשקיה הנמוכה- $ET_c (0\% > 20\% > 50)$ גבוהה

($ET_c > 20 > 50 > 0$) עם 53.7 אשכולות לגפן. לא היו הבדלים מובהקים במספר האשכולות לגפן בין טיפולי ההשקיה השונים. משקל הגרגר הגבוה ביותר (טבלה מס' 11) התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c > 50$) עם 1.57 gr. ברמה נמוכה יותר, באופן מובהק סטטיסטי, היו טיפולי ההשקיה הגבוהה- נמוכה ($ET_c > 20 > 20 > 50$), טיפול ההשקיה הבינונית ($ET_c > 35$) וטיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c > 20$) עם 1.44, 1.45, 1.5 gr, בהתאמה. משקל הגרגר הנמוך ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה ($ET_c > 0 > 20 > 50$) עם 1.17 gr. משקל הגרגר של טיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה ($ET_c > 0 > 20 > 50$) היה קטן יותר, באופן מובהק סטטיסטי, ממשקל הגרגר של שאר טיפולי ההשקיה.

מספר הגרגרים לאשכול הרב ביותר (טבלה מס' 11), התקבל בטיפול ההשקיה הבינונית ($ET_c > 35$) עם 77 גרגרים לאשכול. ברמת ביניים היו טיפולי ההשקיה הנמוכה- גבוהה ($ET_c > 0 > 20 > 50$), טיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c > 50$) וטיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה ($ET_c > 50 > 20 > 20$) עם 73, 71, 70.5 גרגרים לאשכול, בהתאמה. טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c > 20$) היה עם מספר הגרגרים לאשכול הנמוך ביותר, עם 68.8 גרגרים לאשכול. לא היו הבדלים מובהקים בין טיפולי ההשקיה במספר הגרגרים לאשכול.

רמת הסוכר בגרגר (Brix, טבלה מס' 11) הגבוהה ביותר התקבלה בטיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c > 20$) ובטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה ($ET_c > 0 > 20 > 50$) עם 24.1 Brix ו 23.6 Brix, בהתאמה. ברמת ביניים של סוכר, היו טיפולי ההשקיה הבינונית ($ET_c > 35$) וטיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה ($ET_c > 50 > 20 > 20$) עם 23.2 Brix ו 22.9 Brix, בהתאמה. ברמת הסוכר הנמוכה ביותר, באופן מובהק סטטיסטי משאר טיפולי ההשקיה, היה טיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c > 50$) עם 22.9 Brix.

בעונת 2011 (טבלה מס' 12) היבול הגבוה ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הבינונית ($ET_c > 35$) בטיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c > 50$) ובטיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה ($ET_c > 50 > 20 > 20$) עם 1.46, 1.43, 1.42 טון/דונם, בהתאמה. ברמת ביניים היה טיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה ($ET_c > 0 > 20 > 50$) עם 1.29 טון/דונם. עם היבול הנמוך ביותר היה טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c > 20$) עם 1.23 טון/דונם. היבול של טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c > 20$) היה נמוך יותר, באופן מובהק סטטיסטי, מהיבול של טיפולי ההשקיה הגבוהה, הבינונית והגבוהה- נמוכה. מספר האשכולות לגפן (טבלה מס' 12) הגבוה ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c > 50$) עם 82.8 אשכולות לגפן. ברמת ביניים היו טיפולי ההשקיה הבינונית ($ET_c > 35$) וטיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c > 20$) עם 79.9 ו 73.8 אשכולות לגפן, בהתאמה. טיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה ($ET_c > 50 > 20 > 20$) וטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה ($ET_c > 0 > 20 > 50$) היו בעלי מספר האשכולות לגפן הנמוך ביותר, עם 73.5 ו 72.6 אשכולות לגפן, בהתאמה. טיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה ($ET_c > 50 > 20 > 20$) וטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה ($ET_c > 0 > 20 > 50$) היו בעלי מספר אשכולות לגפן הנמוך, באופן מובהק סטטיסטי, מטיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c > 50$).

משקל הגרגר הגבוה ביותר (טבלה מס' 12) התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c > 50$) עם 1.59 gr. ברמה נמוכה יותר, באופן מובהק סטטיסטי, היו טיפולי ההשקיה הגבוהה- נמוכה ($ET_c > 50 > 20 > 20$) וטיפול ההשקיה הבינונית ($ET_c > 35$) עם 1.45 gr ו 1.44 gr, בהתאמה.

טבלה מס' 10. היבול, מרכיביו ומדדי הבשלה, בטיפולי ההשקיה השונים. המידע בטבלה מייצג מדידות שנערכו עבור 48 גפנים לטיפול, 240 גפנים בסה"כ, כרם חולדה, 2009.

pH	TSS (Brix)	מספר גרגרים לאשכול	משקל גרגר (גר')	מספר אשכולות לגפן	יבול (טון/דונם)	מנת מים עונתית (mm)	מקדם השקיה (ET _c מ %) 2009
3.97	24.3	90.1	1.23 C	69.6	1.74 AB	105	0.2
3.98	23.6	86.0	1.33 B	66.9	1.84 AB	184	0.35
4.01	23.4	88.8	1.50 A	65.9	1.93 A	256	0.5
4.00	23.3	94.2	1.18 C	65.8	1.62 B	143	0->0.2->0.5
3.99	23.8	90.0	1.44 A	69.0	1.97 A	141	0.5->0.2->0.2
N.S.	N.S.	N.S.	0.0001	N.S.	0.0005		p value

טבלה מס' 11. היבול, מרכיביו ומדדי הבשלה, בטיפולי ההשקיה השונים. המידע בטבלה מייצג מדידות שנערכו עבור 48 גפנים לטיפול, 240 גפנים בסה"כ, כרם חולדה, 2010.

pH	TSS (Brix)	מספר גרגרים לאשכול	משקל גרגר (גר')	מספר אשכולות לגפן	יבול (טון/דונם)	מנת מים עונתית (mm)	מקדם השקיה (ET _c מ %) 2010
3.86	24.1 A	68.8	1.44 C	58.7	1.33 B	93	0.2
3.94	23.2 AB	77.0	1.45 BC	60.6	1.45 AB	179	0.35
3.91	22.1 B	71.0	1.57 A	61.5	1.48 A	238	0.5
3.91	23.6 A	73.0	1.17 D	53.7	0.99 C	107	0->0.2->0.5
3.94	22.9 AB	70.5	1.50 B	56.8	1.28 AB	130	0.5->0.2->0.2
N.S.	0.003	N.S.	0.0001	N.S.	0.0001		p value

טבלה מס' 12. היבול, מרכיביו ומדדי הבשלה, בטיפולי ההשקיה השונים. המידע בטבלה מייצג מדידות שנערכו עבור 48 גפנים לטיפול, 240 גפנים בסה"כ, כרם חולדה, 2011.

pH	TSS (Brix)	מספר גרגרים לאשכול	משקל גרגר (גר')	מספר אשכולות לגפן	יבול (טון/דונם)	מנת מים עונתית (mm)	מקדם השקיה (ET _c מ %) 2011
3.67	22.7	59.7	1.26 C	73.8 AB	1.23 C	115	0.2
3.62	24.0	58.5	1.43 B	79.9 AB	1.46 A	192	0.35
3.60	22.1	49.8	1.59 A	82.8 A	1.43 AB	265	0.5
3.72	23.0	63.3	1.23 C	72.6 B	1.29 BC	143	0->0.2->0.5
3.70	25.0	60.3	1.44 B	73.5 B	1.42 AB	145	0.5->0.2->0.2
N.S.	N.S.	N.S.	0.0001	0.0049	0.0004		p value

משקל הגרגר הנמוך ביותר, באופן מובהק סטטיסטי משאר טיפולי ההשקיה, התקבל בטיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) עם 1.26 gr ו 1.23 gr , בהתאמה. מספר הגרגרים לאשכול הרב ביותר (טבלה מס' 12), התקבל בטיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) עם 63.3 גרגרים לאשכול. ברמת ביניים היו טיפולי ההשקיה הגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$), טיפולי ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) וטיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) עם 58.5 , 59.7 , 60.3 גרגרים לאשכול, בהתאמה. טיפולי ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) היה עם מספר הגרגרים לאשכול הנמוך ביותר, עם 49.8 גרגרים לאשכול. לא היו הבדלים מובהקים בין טיפולי ההשקיה במספר הגרגרים לאשכול.

רמת הסוכר בגרגר (Brix, טבלה מס' 12) הגבוהה ביותר התקבלה בטיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$) ובטיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) עם 25 ו 24 Brix, בהתאמה. ברמת ביניים של סוכר, היו טיפולי ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) וטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) עם 23 ו 22.7 Brix, בהתאמה. ברמת הסוכר הנמוכה ביותר היה טיפולי ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) עם 22.1 Brix. לא היו הבדלים מובהקים בין טיפולי ההשקיה ברמת הסוכר בגרגר.

בעונת 2012 (טבלה מס' 13) היבול הרב ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) בטיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) ובטיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$) עם 2.19 , 2.28 , 2.29 טון/דונם, בהתאמה. ברמת ביניים, ובאופן מובהק סטטיסטי נמוך יותר מטיפול ההשקיה הגבוהה והבינונית, היה טיפולי ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) עם 2.02 טון/דונם. היבול הנמוך ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) עם 1.89 טון/דונם. היבול של טיפולי ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) היה נמוך יותר, באופן מובהק, מהיבול של טיפולי ההשקיה הגבוהה, הבינונית והגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$).

מספר האשכולות לגפן (טבלה מס' 13) הרב ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) ובטיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) עם 97.8 ו 98.2 אשכולות לגפן, בהתאמה. ברמת ביניים היו טיפולי ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) וטיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$) עם 92.2 ו 88.7 אשכולות לגפן, בהתאמה. טיפולי ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) היה בעל מספר האשכולות לגפן הנמוך ביותר עם 83.2 אשכולות לגפן. טיפולי ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) היה בעל מספר אשכולות לגפן הנמוך, באופן מובהק סטטיסטי, מטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) וטיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$).

משקל הגרגר הגבוה ביותר (טבלה מס' 13) התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$), בטיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) ובטיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) עם 1.34 , 1.36 , 1.37 gr , בהתאמה. ברמה נמוכה יותר, באופן מובהק סטטיסטי, היו טיפולי ההשקיה הגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$) וטיפול ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) עם 1.25 gr ו 1.26 gr , בהתאמה. מספר הגרגרים לאשכול הרב ביותר (טבלה מס' 13) התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$) עם 88 גרגרים לאשכול. ברמה נמוכה יותר, באופן מובהק סטטיסטי, היו טיפולי ההשקיה הנמוכה-גבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$), טיפולי ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) וטיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) עם 76.8 , 76.8 , 77.8 , 79.5 גרגרים לאשכול, בהתאמה.

רמת הסוכר בגרגר (Brix, טבלה מס' 13) הגבוהה ביותר התקבלה בטיפול ההשקיה הגבוהה-נמוכה

(50->20->20% ET_c) בטיפול ההשקיה הבינונית (35% ET_c) ובטיפול ההשקיה הנמוכה (20% ET_c) עם Brix 21.5, 21.5, 21.4, בהתאמה. ברמת סוכר נמוכה יותר, היו טיפול ההשקיה הגבוהה (50% ET_c) וטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (0->20->50% ET_c) עם Brix 20.9. לא היו הבדלים מובהקים בין טיפולי ההשקיה ברמת הסוכר בגרגר.

בממוצע של עונות 2009-2012 (טבלה מס' 14) היבול הגבוה ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה (50% ET_c) בטיפול ההשקיה הבינונית (35% ET_c) ובטיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה (50->20->20% ET_c) עם 1.79, 1.76, 1.73 טון/דונם, בהתאמה. ברמת יבול נמוכה יותר, באופן מובהק סטטיסטית, היו טיפול ההשקיה הנמוכה (20% ET_c) וטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (0->20->50% ET_c) עם 1.54 ו 1.48 טון/דונם בהתאמה.

מספר האשכולות לגפן (טבלה מס' 14) הרב ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה (50% ET_c) עם 77.1 אשכולות לגפן. ברמת ביניים היו טיפול ההשקיה הבינונית (35% ET_c) וטיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה (50->20->20% ET_c) עם 76.3 ו 72 אשכולות לגפן, בהתאמה. טיפול ההשקיה הנמוכה (20% ET_c) וטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (0->20->50% ET_c) היו בעלי מספר האשכולות לגפן הנמוך ביותר עם 71 ו 71.4 אשכולות לגפן, בהתאמה. טיפול ההשקיה הנמוכה (20% ET_c) וטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (0->20->50% ET_c) היו בעלי מספר אשכולות לגפן הנמוך, באופן מובהק סטטיסטי, מטיפול ההשקיה הגבוהה.

משקל הגרגר הגבוה ביותר (טבלה מס' 14) התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה (50% ET_c) עם 1.51 gr. ברמת ביניים, ובאופן מובהק נמוך יותר מטיפול ההשקיה הגבוהה (50% ET_c), היו טיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה (50->20->20% ET_c), טיפול ההשקיה הבינונית (35% ET_c) וטיפול ההשקיה הנמוכה (20% ET_c) עם 1.32, 1.41, 1.39 gr, בהתאמה. משקל הגרגר הנמוך ביותר, באופן מובהק משאר טיפולי ההשקיה, התקבל בטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (0->20->50% ET_c) עם 1.21 gr. מספר הגרגרים לאשכול הרב ביותר (טבלה מס' 14), התקבל בטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (0->20->50% ET_c) ובטיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה (50->20->20% ET_c), עם 77.5 ו 77.2 גרגרים לאשכול, בהתאמה. ברמת ביניים היו טיפול ההשקיה הבינונית (35% ET_c) וטיפול ההשקיה הנמוכה (20% ET_c) עם 74.8 ו 74 גרגרים לאשכול, בהתאמה. מספר הגרגרים לאשכול הנמוך ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה (50% ET_c) עם 71.6 גרגרים לאשכול. לא היו הבדלים מובהקים בין טיפולי ההשקיה במספר הגרגרים לאשכול. רמת הסוכר בגרגר (Brix, טבלה מס' 14) הגבוהה ביותר התקבלה בטיפול ההשקיה הנמוכה (20% ET_c) בטיפול ההשקיה הבינונית (35% ET_c) ובטיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה (50->20->20% ET_c) עם Brix 23.3, 23.0, 23.0, בהתאמה. ברמת סוכר נמוכה יותר, היו טיפול ההשקיה הגבוהה (50% ET_c) וטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (0->20->50% ET_c) עם Brix 22.7 ו 22.6. לא היו הבדלים מובהקים בין טיפולי ההשקיה ברמת הסוכר בגרגר.

3.12 מדדי איכות

בעונת 2011, בסכימה של הבליעה באורכי הגל 620, 520, 420 nm (Sum, טבלה מס' 15) הערך הגבוה ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הנמוכה (20% ET_c) ובטיפול ההשקיה הגבוהה- נמוכה (50->20->20% ET_c) עם 8.11 ו 7.99, בהתאמה. ברמת ביניים היו טיפול ההשקיה הבינונית (35% ET_c) וטיפול ההשקיה הנמוכה- גבוהה (0->20->50% ET_c) עם 7.49 ו 7.25, בהתאמה. הבליעה הנמוכה ביותר התקבלה בטיפול ההשקיה הגבוהה

(50% ET_c) עם 6.65. לא היו הבדלים מובהקים בין טיפולי ההשקיה השונים בבליעה באורכי הגל השונים. בעונת 2012, בסכימה של הבליעה באורכי הגל 620, 520, 420 nm (Sum, טבלה מס' 16) הערך הגבוה ביותר התקבל בטיפול ההשקיה הגבוהה- < נמוכה (50->20->20% ET_c) עם 7.16. ברמת ביניים היו טיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET_c) וטיפול ההשקיה הגבוהה (50% ET_c) עם 6.98 ו 6.97, בהתאמה. הבליעה הנמוכה ביותר התקבלה בטיפול ההשקיה הנמוכה- < גבוהה (0->20->50% ET_c) ובטיפול ההשקיה הבינונית (35% ET_c) עם 6.8 ו 6.57, בהתאמה. לא היו הבדלים מובהקים בין טיפולי ההשקיה השונים בבליעה באורכי הגל השונים.

טבלה מס' 13. היבול, מרכיביו ומדדי הבשלה, בטיפולי ההשקיה השונים. המידע בטבלה מייצג מדידות שנערכו עבור 48 גפנים לטיפול, 240 גפנים בסה"כ, כרם חולדה, מרלו, 2012.

pH	TSS (Brix)	מספר גרגרים לאשכול	משקל גרגר (גר')	מספר אשכולות לגפן	יבול (טון/דונם)	מנת מים עונתית (mm)	מקדם השקיה (ET _c מ %) 2012
3.75	21.4	76.8 B	1.34 A	83.2 B	1.89 C	123	0.2
3.71	21.5	77.8 B	1.36 A	97.9 A	2.28 A	209	0.35
3.65	20.9	76.8 B	1.37 A	98.2 A	2.29 A	292	0.5
3.58	20.9	79.5 B	1.25 B	92.0 AB	2.02 BC	168	0->0.2->0.5
3.57	21.5	88.0 A	1.26 B	88.7 AB	2.19 AB	159	0.5->0.2->0.2
N.S	N.S.	0.0009	0.0001	0.0002	0.0001		p value

טבלה מס' 14. היבול, מרכיביו ומדדי הבשלה, בטיפולי ההשקיה השונים. המידע בטבלה מייצג מדידות שנערכו עבור 48 גפנים לטיפול, 240 גפנים בסה"כ, כרם חולדה, מרלו, 2009-2012.

pH	TSS (Brix)	מספר גרגרים לאשכול	משקל גרגר (גר')	מספר אשכולות לגפן	יבול (טון/דונם)	מנת מים עונתית (mm)	מקדם השקיה (ET _c מ %) 2012-2009
3.83	23.3	74.0	1.32 B	71.4 B	1.54 B	108	0.2
3.81	23.0	74.8	1.39 B	76.3 AB	1.76 A	186	0.35
3.79	22.7	71.6	1.51 A	77.1 A	1.79 A	263	0.5
3.80	22.6	77.5	1.21 C	71.0 B	1.48 B	141	0->0.2->0.5
3.81	23.0	77.2	1.41 B	72.0 AB	1.73 A	148	0.5->0.2->0.2
N.S	N.S.	N.S.	0.0001	0.0021	0.0001		p value

טבלה מס' 15. מדדי איכות ביין הצעיר כפי שנמדדו על ידי בליעה בספקטרופוטומטר באורכי גל שונים. היין הוכן מ 12 גפנים עבור כל חזרה. המידע בטבלה מייצג את הממוצע של חזרות הטיפולים (n = 4), כרם חולדה, מרלו, 2011.

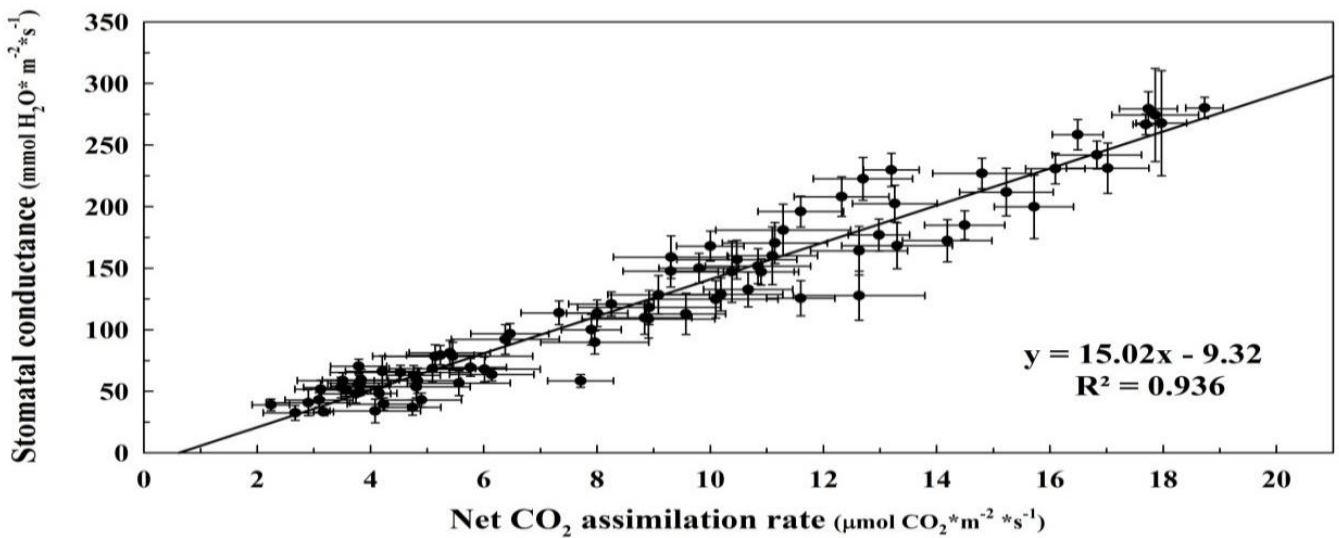
Sum (420 nm + 520 nm + 620 nm)	620 nm (אדום עמוק)	520 nm (אדום חום)	420 nm (סגול)	280 nm (פוליפנולים)	מקדם השקיה (ET _c מ %) 2011
8.11	0.95	4.18	2.98	39.3	0.2
7.49	0.92	3.85	2.73	36.7	0.35
6.65	0.81	3.44	2.40	34.8	0.5
7.25	0.82	3.77	2.67	30.4	0->0.2->0.5
7.99	0.92	4.19	2.88	36.4	0.5->0.2->0.2
N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	p value

טבלה מס' 16. מדדי איכות ביין הצעיר כפי שנמדדו על ידי בליעה בספקטרופוטומטר באורכי גל שונים. היין הוכן מ 12 גפנים עבור כל חזרה. המידע בטבלה מייצג את הממוצע של חזרות הטיפולים (n = 4), כרם חולדה, מרלו, 2012.

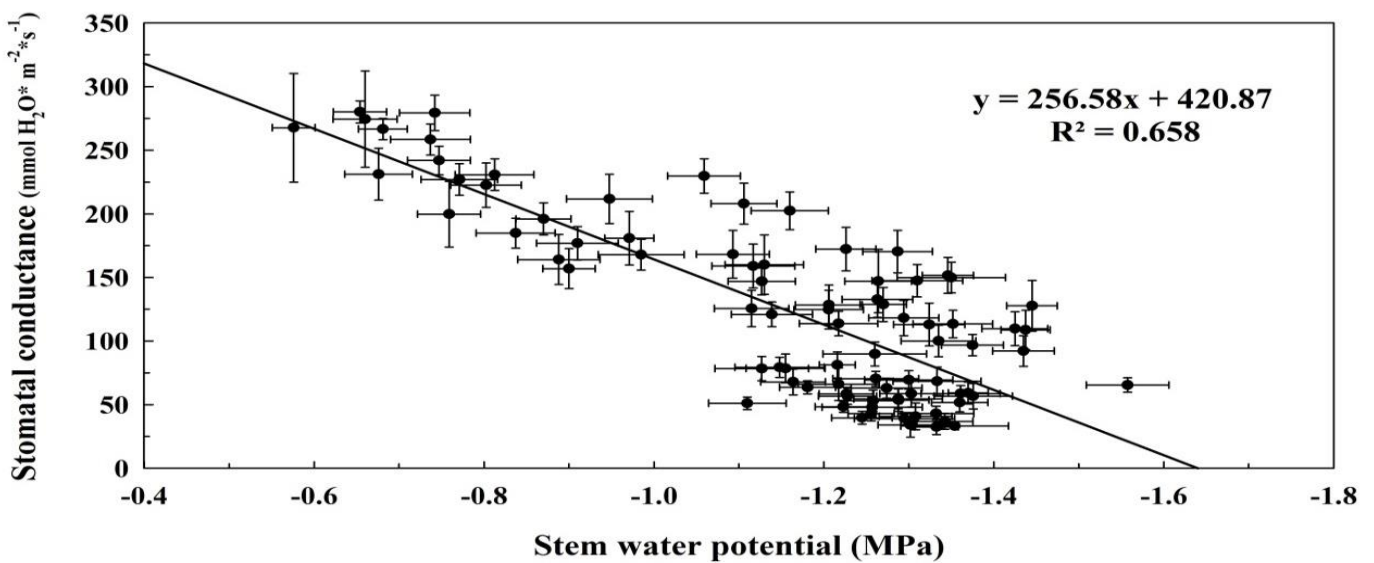
Sum (420 nm + 520 nm + 620 nm)	620 nm (אדום עמוק)	520 nm (אדום חום)	420 nm (סגול)	280 nm (פוליפנולים)	מקדם השקיה (ET _c מ %) 2012
6.98	0.76	3.90	2.33	41.5	0.2
6.57	0.70	3.65	2.22	40.8	0.35
6.97	0.80	3.79	2.38	44.4	0.5
6.80	0.75	3.79	2.26	40.3	0->0.2->0.5
7.16	0.74	4.06	2.37	42.5	0.5->0.2->0.2
N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	p value

3.13 מתאמים

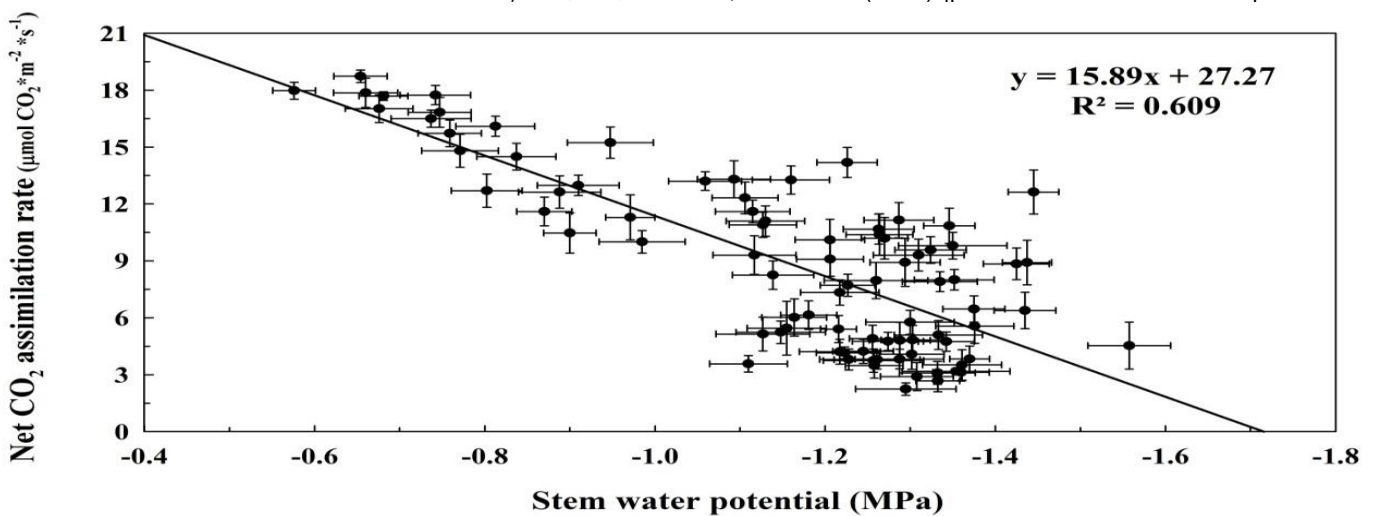
במתאם שנערך על טיפולי ההשקיה ביחד, בין קצב קיבוע הפחמן בצהרי היום לבין מוליכות הפיוניות בצהרי היום נמצא קשר חזק מאוד (איור מס' 28, n = 84, $R^2 = 0.936$). במתאם שנערך בין פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום לבין מוליכות הפיוניות בצהרי היום נמצא קשר חזק-בינוני (איור מס' 29, n = 84, $R^2 = 0.658$). במתאם שנערך על טיפולי ההשקיה ביחד, בין פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום לבין קצב קיבוע הפחמן בצהרי היום נמצא קשר חזק-בינוני (איור מס' 30, n = 84, $R^2 = 0.609$). במתאם שנערך על טיפולי ההשקיה ביחד, בין מרכיבי היבול השונים בעונת הגידול 2009 (טבלה מס' 17), נמצא כי בין גובה היבול למשקל האשכול קיים קשר חזק ($R^2 = 0.76$), כי בין גובה היבול למשקל הגרגר קיים קשר בינוני ($R^2 = 0.5$) וכי בין משקל האשכול למשקל הגרגר קיים קשר חזק ($R^2 = 0.74$). בין שאר מרכיבי היבול הקשרים היו חלשים. במתאם שנערך על טיפולי ההשקיה ביחד, בין מרכיבי היבול השונים בעונת הגידול 2010 (טבלה מס' 18), נמצא כי בין גובה היבול למשקל האשכול קיים קשר בינוני ($R^2 = 0.5$), כי בין גובה היבול למשקל הגרגר קיים קשר בינוני ($R^2 = 0.46$) וכי בין משקל האשכול למשקל הגרגר קיים קשר בינוני-חזק ($R^2 = 0.63$). בין שאר מרכיבי היבול הקשרים היו חלשים. במתאם שנערך על טיפולי ההשקיה ביחד, בין מרכיבי היבול השונים בעונת הגידול 2011 (טבלה מס' 19), נמצא כי בין גובה היבול למשקל האשכול קיים קשר בינוני ($R^2 = 0.5$).



איור מס' 28. מתאם בין קצב קיבוע הפחמן בצהרי היום לבין מוליכות הפיוניות בצהרי היום. כל נקודה היא ממוצע של 16 עלים, בסה"כ 84 נקודות. עבור כל נקודה, קווי השגיאה האנכיים והאופקיים מייצגים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצעים שלה. כרם חולדה, 2012-2011.



איור מס' 29. מתאם בין פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום לבין מוליכות הפיוניות בצהרי היום. כל נקודה היא ממוצע של 16 עלים במוליכות הפיוניות ו 12 עלים בפוטנציאל המים בגזע. סך הכל 84 נקודות. עבור כל נקודה, קווי השגיאה האנכיים והאופקיים מייצגים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצעים שלה. כרם חולדה, 2012-2011.



איור מס' 30. מתאם בין פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום לבין קצב קיבוע הפחמן בצהרי היום. כל נקודה היא ממוצע של 16 עלים בקצב קיבוע הפחמן ו 12 עלים בפוטנציאל המים בגזע. סך הכל 84 נקודות. עבור כל נקודה, קווי השגיאה האנכיים והאופקיים מייצגים את שגיאת התקן (S.E.) של הממוצעים שלה. כרם חולדה, 2012-2011.

וכי בין משקל הגרגר למשקל האשכול קיים קשר בינוני ($R^2 = 0.49$). בין שאר מרכיבי היבול הקשרים היו חלשים. במתאם שנערך על טיפולי ההשקיה ביחד, בין מרכיבי היבול השונים בעונת הגידול 2012 (טבלה מס' 20), נמצא כי בין גובה היבול למשקל האשכול קיים קשר בינוני/חזק ($R^2 = 0.68$) וכי בין מספר האשכולות לגובה היבול קיים קשר בינוני ($R^2 = 0.49$). בין שאר רכיבי היבול הקשרים היו חלשים. במתאם שנערך על טיפולי ההשקיה ביחד, בין מרכיבי היבול השונים בעונות הגידול 2012-2009 (טבלה מס' 21), נמצא כי בין גובה היבול למשקל האשכול קיים קשר חזק ($R^2 = 0.8$), בין גובה היבול למשקל הגרגר קיים קשר חזק ($R^2 = 0.75$) וכי בין משקל האשכול למשקל הגרגר קיים קשר חזק ($R^2 = 0.76$). בין שאר מרכיבי היבול הקשרים היו חלשים. במתאם שנערך על טיפולי ההשקיה ביחד, בין מנות המים בשלבי הגידול השונים לבין פרמטרים אנטומיים, בעונות הגידול 2012-2009 (טבלה מס' 22), נמצא כי הקשרים החזקים ביותר היו בין מנת המים בשלב 1 לבין הפרמטרים האנטומיים השונים.

טבלה מס' 17: מקדם הרגרסיה (R^2) ומובהקות הרגרסיה הלינארית (P), בין מרכיבי היבול השונים, ($n = 20$), כרם חולדה, 2009.

משקל גרגר	משקל אשכול	מס' אשכולות	יבול	2009
			$R^2 = 0.082$	מס' אשכולות
		$R^2 = 0.05$	$R^2 = 0.76, p < 0.0001$	משקל אשכול
	$R^2 = 0.74, p < 0.0001$	$R^2 = 0.07$	$R^2 = 0.5, p < 0.0004$	משקל גרגר
$R^2 = 0.0001$	$R^2 = 0.085$	$R^2 = 0.02$	$R^2 = 0.14$	מס' גרגרים לאשכול

טבלה מס' 18: מקדם הרגרסיה (R^2) ומובהקות הרגרסיה הלינארית (P), בין מרכיבי היבול השונים, ($n = 20$), כרם חולדה, 2010.

משקל גרגר	משקל אשכול	מס' אשכולות	יבול	2010
			$R^2 = 0.37, p < 0.005$	מס' אשכולות
		$R^2 = 0.013$	$R^2 = 0.5, p < 0.0004$	משקל אשכול
	$R^2 = 0.63, p < 0.0001$	$R^2 = 0.001$	$R^2 = 0.46, p < 0.0009$	משקל גרגר
$R^2 = 0.035$	$R^2 = 0.18$	$R^2 = 0.058$	$R^2 = 0.019$	מס' גרגרים לאשכול

טבלה מס' 19: מקדם הרגרסיה (R^2) ומובהקות הרגרסיה הלינארית (P), בין מרכיבי היבול השונים, ($n = 20$), כרם חולדה, 2011.

משקל גרגר	משקל אשכול	מס' אשכולות	יבול	2011
			$R^2 = 0.28$	מס' אשכולות
		$R^2 = 0.046$	$R^2 = 0.5, p < 0.0005$	משקל אשכול
	$R^2 = 0.49, p < 0.0005$	$R^2 = 0.01$	$R^2 = 0.28$	משקל גרגר
$R^2 = 0.16$	$R^2 = 0.12$	$R^2 = 0.027$	$R^2 = 0.03$	מס' גרגרים לאשכול

טבלה מס' 20 : מקדם הרגרסיה (R^2) ומובהקות הרגרסיה הלינארית (P), בין מרכיבי היבול השונים, (n = 20), כרם חולדה, 2012.

משקל גרגר	משקל אשכול	מס' אשכולות	יבול	2012
			$R^2 = 0.42, p < 0.002$	מס' אשכולות
		$R^2 = 0.013$	$R^2 = 0.68, p < 0.0001$	משקל אשכול
	$R^2 = 0.06$	$R^2 = 0.2$	$R^2 = 0.19$	משקל גרגר
$R^2 = 0.41$	$R^2 = 0.287$	$R^2 = 0.068$	$R^2 = 0.069$	מס' גרגרים לאשכול

טבלה מס' 21 : מקדם הרגרסיה (R^2) ומובהקות הרגרסיה הלינארית (P), בין מרכיבי היבול השונים. המתאם נערך בין הממוצעים הרב שנתיים של החזרות השונות (n = 20), כרם חולדה, 2012-2009.

משקל גרגר	משקל אשכול	מס' אשכולות	יבול	2012-2009
			$R^2 = 0.21$	מס' אשכולות
		$R^2 = 0.0001$	$R^2 = 0.80, p < 0.0001$	משקל אשכול
	$R^2 = 0.76, p < 0.0001$	$R^2 = 0.005$	$R^2 = 0.75, p < 0.0001$	משקל גרגר
$R^2 = 0.28$	$R^2 = 0.089$	$R^2 = 0.173$	$R^2 = 0.0009$	מס' גרגרים לאשכול

טבלה מס' 22 : מקדם הרגרסיה (R^2) ומובהקות הרגרסיה הלינארית (P), בין מנות המים בשלבים השונים לבין פרמטרים אנטומיים. המתאם נערך בין הממוצעים הרב שנתיים של החזרות השונות (n = 20), כרם חולדה, 2012-2009.

מוליכות מים תיאורטית לטבעת שנתית ($kg \cdot m^{-1} \cdot MPa^{-1} \cdot s^{-1}$)	מוליכות מים ספציפית תיאורטית ($kg \cdot m^{-1} \cdot MPa^{-1} \cdot s^{-1}$)	קוטר טרכיאות "גדולות" ממוצע (μm)	שטח טבעת שנתית (mm^2)	רוחב טבעת שנתית (μm)	
$R^2 = 0.33$	$R^2 = 0.48$ $P < 0.0008$	$R^2 = 0.17$	$R^2 = 0.39$	$R^2 = 0.07$	מנת מים עונתית (mm)
$R^2 = 0.64$ $P < 0.0001$	$R^2 = 0.68$ $P < 0.0001$	$R^2 = 0.55$ $P < 0.0002$	$R^2 = 0.71$ $P < 0.0001$	$R^2 = 0.40$ $P < 0.0027$	מנת מים בשלב 1 (mm)
$R^2 = 0.13$	$R^2 = 0.42$ $P < 0.0021$	$R^2 = 0.13$	$R^2 = 0.26$	$R^2 = 0.05$	מנת מים בשלב 2 (mm)
$R^2 = 0.00$	$R^2 = 0.011$	$R^2 = 0.016$	$R^2 = 0.004$	$R^2 = 0.05$	מנת מים בשלב 3 (mm)

4. דיון

בענף גפן היין בארץ נהוגה חלוקה לאזורי איכות שונים בהתאם לתנאי האקלים. האזורים הגבוהים והקרירים יותר דוגמת רמת הגולן, גליל עליון, הרי השומרון, הרי יהודה והר חברון נחשבים אזורי גידול איכותיים, ומענביהם מפיקים יין לסדרות "הגבוהות" וליקבי הבוטיק. האזורים החמים והנמוכים יותר בשפלה, דוגמת שפלת יהודה ואזור זיכרון יעקב, נחשבים אזורי גידול באיכות נמוכה יותר, והם מיועדים לגידול המכונה על ידי היקבים "כמותי" אשר ממנו מפיקים יין לסדרות הנחשבות "נמוכות" יותר ולמיץ ענבים.

המחקר הנוכחי בוצע באחד מאזורי הגידול הכמותיים הגדולים ביותר בארץ - אזור שפלת יהודה, בכרם המסחרי הגדול ביותר בשטחו בארץ (מעל 1000 דונם), הנמצא סמוך לקיבוץ חולדה. אזור זה מתאפיין בקרקע מישורית יחסית, דבר המאפשר שימוש אינטנסיבי יותר במיכון למטרת עיבוד הכרם.

במהלך תקופת הגידול של הגפן, לטמפי' ההסביבה השפעה על הרכב ואיכות הענבים. המודל הקלאסי לסיווג אזורי

איכות לגידול ענבי יין פותח באוניברסיטת קליפורניה, והוא מבוסס על חישוב של ימי מעלה (Amerine and Winkler 1944). לפי מודל זה ישנם חמש קטגוריות של אזורי איכות, כאשר באזור גידול 1 (הקר ביותר) נמצאים מרבית הכרמים מהם מפיקים יין איכותי במיוחד (Jackson and Cherry 1988). לטמפי' הסביבה תפקיד מכריע בהשפעה על ההבשלה הן בהיבט של תכולת חומרי הצבע והן בהיבט של הרכב חומרי הארומה

(Tonietto and Carbonneau 2004; Cohen et al. 2011). לטמפרטורות יום גבוהות קיימת מחד השפעה חיובית

על קצב צבירת הסוכר בגרגרי הענבים (Jackson and Lombard 1993), מאידך לטמפי' יום נמוכות אפקט חיובי על

קצב יצירת הצבע בגרגרי הענבים (Kliwer and Torres 1972; Jackson and Lombard 1993; Tonietto and

Carbonneau 2004) ועל קצב יצירת חומרי הארומה בגרגרי הענבים (Jackson and Lombard 1993). לעתים,

לטמפי' לילה נמוכות יש אף השפעה רבה יותר על קצב יצירת הצבע בגרגרי הענבים (Kliwer and Torres 1972; Tonietto and Carbonneau 2004).

ההסבר לתופעות הללו הוא שכאשר שוררות טמפי' נמוכות קצב ה"נשימה" של

הגפן איטי יותר, וכך ישנה יותר אנרגיה זמינה לגפן עבור יצור של חומרי צבע וארומה (Kliwer and Torres

1972). בנוסף לכך, כאשר הטמפי' גבוהות חלק מתרכובות הצבע והארומה יכולות לעבור פירוק וריכוזם יורד

(Cohen et al. 2011).

מטרת המחקר המוצג בעבודה זו הייתה לבחון חמישה טיפולי השקיה המיצגים רמות שונות של SDI ו RDI, לפי

מודל השקיה המבוסס על נתוני נוף ואקלים. השפעת טיפולי ההשקיה השונים נבחנה על פי מדדים פיזיולוגיים

לאורך עונת הגידול ועל פי מדדי כמות ואיכות הפרי. חשוב לציין כי גם בענבי יין המיועדים לייצור כמותי ישנה

חשיבות לאיכות הפרי, אם כי במידה פחותה מענבי יין המיועדים לייצור יינות איכות. בנוסף לכך למרות שיחסית

לגידולי מטע אחרים, גידול גפן יין מצריך ההשקיה מעוטה יחסית, קיימת עדיין חשיבות לחיסכון במים, במידה

והדבר לא מהווה פגיעה בכמות או באיכות הפרי והיין המתקבלים.

היתרון של השימוש במודל השקיה המוצג בעבודה זו, הוא בכך שהוא נותן לחקלאי כלי יישומי בעזרתו הוא יכול

לקבל החלטות השקיה מושכלות בכרם.

4.1 מקדמי השקיה ומנות מים

מקדמי ההשקיה שנבחנו בניסוי (ET_c 20, 35, 50%) הם בטווח של מקדמי ההשקיה שנבחנו בניסויי שדה שונים

שנערכו ברחבי העולם בהשקיית חסר בגפן יין (Chaves et al. 2007; Chalmers and Krstic 2008; Romero et

al. 2010; Romero and Martinez-Cutillas 2012). טווח מנות המים העונתיות שהתקבלו בטיפולי ההשקיה

השוניים עמד על 110-260 מ"מ (טבלה מס' 14). מנות אלה נמצאות הן בטווח של מנות המים העונתיות שניתנו בניסויי השקיה שונים שנערכו בגפן יין ברחבי העולם (Bravdo et al. 1985; Shellie 2006; Acevedo-Opazo et al. 2010) והן בטווח המקובל בפרקטיקה החקלאית בארץ (ערך הרכבי תקשורת אישית). דבר זה מעיד על כך כי מקדמי ההשקיה שנבחרו בשילוב עם ערכי שטח העלווה שהתקבלו, "קלעו" לטווח החקלאי של יישום ההשקיה. לאורך ארבעת שנות הניסוי מנות המים העונתיות היו דומות פחות או יותר ($\pm 10\%$), (טבלאות מס' 11-14). ההבדלים נבעו בעיקר מגודל עלווה שונה בתחילת העונה (בעונת 2012 בה העלווה היתה גבוהה יחסית, איור מס' 14). שלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים נבדלו באופן ניכר במנות המים העונתיות שיושמו בטיפולים הללו. טיפול ההשקיה הנמוכה העוברת לגבוהה ($ET_c > 20\% > 50\%$) וטיפול ההשקיה הגבוהה העוברת לנמוכה ($ET_c > 20\% > 50\%$) קיבלו בממוצע מנת מים בטווח הביניים שבין ההשקיה הבינונית ($ET_c 35\%$) להשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$) (טבלה מס' 14).

ההתאדות העונתית המצטברת במהלך שנות הניסוי הייתה גבוהה (1124 מ"מ בממוצע) והיא מאפיינת אקלים ים תיכוני באזור חצי-יובשני (טבלה מס' 2). לאורך שנות הניסוי, ערכי ההתאדות היומית במהלך שלושת השלבים הפנולוגיים של התפתחות הגרגר היו דומים (איורים 8, 10), אם כי במהלך שלב 1 בעונת 2011 נמדדו במספר ימים ערכי התאדות הגבוהים באופן חריג לשלב זה (איור מס' 8). ניתן לסכם כי לאורך שנות הניסוי ההתאדות הייתה יציבה, ובשל כך מנות המים שניתנו בטיפולי ההשקיה השונים לא היו שונות מהותית בין עונות הגידול.

4.2 השפעת ההשקיה על ההתפתחות הווגטיבית

4.2.1 שטח עלווה

ערכי שטח העלווה שנמדדו בטיפולי ההשקיה השונים במהלך שנות הניסוי, היו דומים לערכי שטח העלווה שנמדדו בניסויים שבוצעו בכרמי ענבי יין המודלים על מערכת VSP בצפיפות נטיעה דומה (Prieto et al. 2012; Carrasco-Benavides et al. 2012; Herrero-langreo et al. 2013). בחלק משלבי העונה היו הבדלים בערכי שטח העלווה בין הגפנים בשלושת טיפולי ההשקיה הקבועים (ניכרים יותר בעונת 2012, איורים מס' 12, 13), אך בעקבות הטיפולים המקובלים הכוללים: שילוב חוטים, קיטום שריגים וקיצוצים, צומצם ההבדל בין הטיפולים הללו. ניתן לראות זאת בברור בנתוני שטח העלווה שנמדדו בעונת 2011 (איור מס' 12). בגפני טיפול ההשקיה הנמוכה העוברת לגבוהה ($ET_c > 20\% > 50\%$) ערכי שטח העלווה היו דומים ואף נמוכים יותר מהערכים של גפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$). גם לאחר המעבר להשקיה גבוהה, ערכי גודל הנוף בגפני טיפול זה נותרו נמוכים, ולא הגיעו לערכים של גפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c 50\%$) (איור 12b, 13b). בתחילת העונה גפני טיפול ההשקיה הגבוהה העוברת לנמוכה ($ET_c > 20\% > 50\%$) היו בעלות ערכי שטח עלווה הדומים לערכים של גפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c 50\%$), לאחר המעבר להשקיה נמוכה ($ET_c 20\%$), ערכי גודל הנוף נותרו דומים לערכים של גפני טיפול ההשקיה הגבוהה (איור מס' 12c) או פחתו והגיעו לערכים של גפני טיפול ההשקיה הנמוכה (איור מס' 13c). בשתי עונות הגידול, בגפנים של כל טיפולי ההשקיה מרבית צימוח שטח העלווה התרחש מהלבול (DOY 80-91) עד אמצע שלב 1 (DOY 128-145). מכאן שלזמינות המים לפני ובמהלך שלב 1 יש השפעה מכרעת על גודל הנוף. לכן גפני טיפול ההשקיה הנמוכה העוברת לגבוהה ($ET_c > 20\% > 50\%$) שכמעט ולא הושקו במהלך שלב 1 (2.7 מ"מ בממוצע, טבלה מס' 6), נותרו בעלי הנוף הקטן ביותר, אף לאחר העלאת מנות המים במהלך שלב 3. גפני טיפול ההשקיה הגבוהה העוברת לנמוכה ($ET_c > 20\% > 50\%$) בנו נוף רחב במהלך שלב 1, מידת צמצום הנוף של הגפנים הללו לאחר הורדת מנות המים במהלך השלבים 2 ו 3, הייתה תלויה במידת ההתערבות של

הכורס בריסון הנוף. ממצאים אלו תואמים למחקר שבוצע בתחילת שנות ה 60 של המאה הקודמת, בו נמצא כי עיקר הפעילות הקמביאלית בזמורות מתרחשת במהלך שלב 1 (Bernstein and Fahn 1960). בהקשר זה יצוין כי הפרקטיקה של פתיחת השקיה מאוחרת עד להגעה לעצירת צימוח השריגים (בדומה לטיפול $0 > 20 > 50\% ET_c$) רווחת מאוד אצל חלק גדול מהכורמים.

4.2.2 קוטר גזע

התבנית העונתית של העלייה בקוטר הגזע שהתקבלה בגפני טיפולי ההשקיה השונים במהלך שנות הניסוי, הייתה דמתה לתבניות הגידול שהתקבלו במחקרים אחרים בהם בוצע מעקב אחר השתנות קוטר הגזע במהלך העונה בגפני יין (Myburgh 1996; Ton and Kopyt 2004). בכל המדידות שנערכו נמצאו הבדלים בקוטר הגזע בין גפני שלושת טיפולי ההשקיה בעלי המקדמים הקבועים (איור מס' 19a). ככל שמנת המים עלתה כך התרחב קוטר הגזע הנמדד (אם כי קוטר הגזע של גפני טיפול ההשקיה הבינונית, $35\% ET_c$, היה קטן מעט מהמצופה, והיה גדול אך במעט מהקוטר של גפני טיפול ההשקיה הנמוכה $20\% ET_c$). גפני טיפול ההשקיה הנמוכה העוברת לגבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) היו בעלות קוטר הגזע הנמוך ביותר לאורך כל המדידות, אפילו בהשוואה לגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) שקיבלו בממוצע עונתי 33 מ"מ פחות (איור מספר 19b). גפני טיפול ההשקיה הגבוהה העוברת לנמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$) היו לאורך כל המדידות בעלות קוטר גזע דומה לזה של גפני טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) (איור מס' 19c). בשתי עונות הגידול בגפנים של כל טיפולי ההשקיה, תקופת הגדילה העיקרית של הגזע, כפי שהיא באה לידי ביטוי בעלייה בקוטר הגזע, התרחשה מהלבלוב (DOY 80-91) עד לאמצע שלב 2 (DOY 175-180). ניתן להסיק מכך כי זמינות המים במהלך שלב 1, השלב העיקרי בו חלה הגדילה בקוטר הגזע, היא הגורם המשפיע על הצימוח הווגטטיבי הרב שנתי. לכן גפני טיפול ההשקיה הנמוכה העוברת לגבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) שלא קיבלו כמעט מים במהלך שלב 1 (2.7 מ"מ בממוצע), נותרו לאורך כל שנות הניסוי בעלות קוטר הגזע הקטן ביותר מבין כל טיפולי ההשקיה, וזאת למרות שבסכימה העונתית מנת המים העונתית הממוצעת שלהם הייתה ברמת ביניים בין טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) לבין טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) (טבלה מס' 14).

4.2.3 גזם

בממוצע רב שנתי בגפני שלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים, ככל שמנת המים עלתה כך עלו משקל הגזם, מספר הזמורות והמשקל הממוצע הזמורה (טבלה מס' 7). בממוצע רב שנתי, בגפני טיפול ההשקיה הנמוכה העוברת לגבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) משקל הגזם ומספר הזמורות היה הנמוך ביותר, אף יותר מגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) (טבלה מס' 7). הממוצע הרב שנתי של משקל הזמורות בטיפול זה היה גבוה מעט ממשקל הזמורות של טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) ללא מובהקות סטטיסטית. בגפני טיפול ההשקיה הגבוהה העוברת לנמוכה ($50 > 20 > 20\% ET_c$) בממוצע רב שנתי, משקל הגזם, מספר הזמורות לגפן ומשקל הזמורה היו ברמת ביניים בין גפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) לגפני טיפול ההשקיה הבינונית ($35\% ET_c$) (טבלה מס' 7). נתוני משקל הגזם מהווים מדד לעוצמת הצימוח הווגטטיבית העונתית (Williams et al. 2003; Romero and Martinez-Cutillas 2012). ניתן להסיק מכך כי שלב 1 היא התקופה המשמעותית ביותר מבחינת ההשפעה על הצימוח הווגטטיבי. מהמתאם החלש בין משקל הגזם לגודל הנוף המקסימלי (איור מס' 14), ניתן להסיק כי למרות שמשקל הגזם מהווה מדד לעוצמת הצימוח הווגטטיבית העונתית, הוא אינו מהווה מדד טוב לגודל הנוף, המשפיע על צריכת המים של הגפן (Williams and Ayars 2005; Netzer et al. 2009; López-Urrea).

et al. 2012). תופעה זו יכולה לנבוע מהעובדה שהשטח המאדה העיקרי בגפן הוא העלים, בעוד שבמשקל הגזם שוקלים את הזמורות לאחר שהעלים נשרו מהם. ניתן לומר כי במהלך השנים האחרונות בד בבד עם ההתפתחות הטכנולוגית בתחום המדידה הבלתי הרסנית של הנוף, הולך מדד גודל הנוף (LAI) ומחליף את משקל הגזם כמדד לצימוח הווגטטיבי העונתי. כיום ישנם מספר שיטות בלתי הרסניות למדידת גודל הנוף של הגפנים, וביניהם: מכשיר ה Sunscan (Netzer et al. 2009), מכשיר ה Licor LAI-2000 (Yunusa et al. 1997; Consoli et al. 2003), ושימוש בחישה מרחוק עם מדד ה NDVI (Johnson et al. 2003). בעבודה הנוכחית השונו את התוצאות שנמדדו בעזרת מכשיר ה Sunscan למדידות הרסניות שבוצעו עם סורק עלווה (Licor 3100). מהשוואה זו התקבל מתאם חזק ($n = 27, R^2 = 0.92$, איור מס' 7).

4.3 השפעת ההשקיה על מדדים פיזיולוגיים

4.3.1 פוטנציאל מים

פוטנציאל מים הוא מדד רגיש מאוד למשק המים של הצמח, והדרך המדויקת ביותר להעריך אותו היא באמצעות מדידה של פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום (Naor 2000; Choné et al. 2001; Patakas et al. 2005). במהלך שנות הניסוי הסתמנה מגמה עונתית ברורה במדידות פוטנציאל המים. יצויין כי המדידות בוצעו בצהרי היום לפני מועד ההשקיה באופן, שככל הנראה, מבטא את הערך המינימלי עבור פרק הזמן שחלף מההשקיה האחרונה. המגמה שהסתמנה הייתה ירידה מתמדת בערכי פוטנציאל המים מתחילת העונה ועד לאמצע שלב 2 ולאחר מכן התייצבות עד סוף העונה, עם שיפור קל במשק המים לאחר הבציר (איורים מס' 15, 16). תבנית עונתית דומה בערכי פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום התקבלה בניסויי השקיה גרעונית שונים שנערכו ברחבי העולם בכרמים מסחריים באזורים בעלי אקלים דומה (Fereres and Soriano 2007; Intrigliolo and Castel 2007; Olivo et al. 2008; Romero et al. 2010). בנוסף לכך טווח ערכי פוטנציאל המים שנמדדו במהלך שנות הניסוי (-1.45 MPa / -0.55 MPa) היה דומה לטווח ערכי פוטנציאל המים שדווח עליהם באותם ניסויים המצוינים לעיל. הירידה המתמשכת בפוטנציאל המים בגזע לאורך עונת הגידול, מוסברת בכך שבהשקיה גרעונית תכולת הרטיבות בקרקע הולכת ופוחתת לאורך עונת הגידול, דבר המביא לירידה מתמשכת בזמינות המים לצמח (Williams and Araujo 2002; Olivo et al. 2008; L.E. Williams 2012). למעט מקרים בודדים, לאורך עונות הגידול בכל טיפולי ההשקיה לא ירדו ערכי פוטנציאל המים מתחת ל -1.4 MPa, הנחשב כערך הסף לעקת מים חריפה (Romero et al. 2010). החל מאמצע שלב 1 (DOY 140-150) גפני שלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים נבדלו בערכי פוטנציאל המים שלהם, בהתאם למנות המים שקיבלו (איורים מס' 15a, 16a). בגפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$) נמדד פוטנציאל המים המשופר ביותר לאורך כל עונת הגידול, בעוד שגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$) היו בעלות פוטנציאל המים השלילי ביותר לאורך כל עונת הגידול. דבר זה מעיד כי פוטנציאל המים בגזע הוא אכן כלי יעיל המעיד על מצב משק המים של צמחים בתנאי שדה כפי שהוזכר לעיל. לאורך שנות הניסוי גפני טיפול ההשקיה הנמוכה העוברת לגבוהה ($0 > 20 > 50\% ET_c$) היו במהלך שלב 1 בעלות ערכי פוטנציאל מים השליליים ביותר מבין כל גפני הניסוי (איורים מס' 15b, 16b). במהלך שלב 2 בו קיבלו השקיה ברמה נמוכה ($20\% ET_c$), היו גפני טיפול זה בעלות ערכי פוטנציאל מים דומים לערכי פוטנציאל המים של גפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% ET_c$). במהלך שלב 3, בו קיבלו השקיה ברמה גבוהה ($50\% ET_c$), היו גפני הטיפול בעלות ערכי פוטנציאל מים הנמוכים מעט מערכי ההשקיה הגבוהה ($50\% ET_c$). לאורך שנות הניסוי גפני

טיפול ההשקיה הגבוהה העוברת לנמוכה ($ET_c > 20\% > 20\% > 50$) היו במהלך שלב 1 בעלות ערכי פוטנציאל מים הדומים לגפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c 50\%$) (איורים מס' 15c, 16c). החל מתחילת שלב 2 בו עברו להשקיה ברמה נמוכה ($ET_c 20\%$), היו גפני טיפול זה בעלות ערכי פוטנציאל מים הדומים לערכי פוטנציאל המים של גפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$) ואף נמוכים מהם במספר מועדים. עובדה זאת מעוררת תהיה מאחר וגפני טיפול זה קיבלו בממוצע עונתי 40 מ"מ יותר מגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$) (טבלה מס' 14). כלומר בנוסף לכך שלרמת ההשקיה המיושמת בכל שלב פנולוגי של התפתחות הגרגר השפעה על משק המים של הגפן (כפי שמובא לעיל), למשק המים של הגפנים במהלך שלב 1, כפי שהוא בא לידי ביטוי בפוטנציאל המים, השפעה על משק המים שלהם במהלך שלב 3.

4.3.2 מדדי חילוף גזים

המהלך העונתי של קצב קיבוע הפחמן בצהרי היום בגפני טיפולי ההשקיה השונים, התאפיין בירידה מתמשכת לאורך כל עונת הגידול (איור מס' 17). מהלך עונתי דומה התקבל בניסויי השקיה גרעונית שונים שנערכו ברחבי העולם בכרמים מסחריים באזורים בעלי אקלים דומה (Padgett-Johnson et al. 2003; Romero et al. 2010; L.E. Williams 2012). ירידה מתמשכת זו בקצב קיבוע הפחמן לאורך עונת הגידול מקורה בשני גורמים- האחד עקת מים המתפתחת לאורך עונת הגידול בעקבות יישום רמות שונות של השקיה גרעונית (Medrano et al. 2003; L.E. Williams 2012) והגורם השני הוא הזדקנות העלווה (Kriedemann et al. 1970; Poni et al. 1994). בעוד שאת הגורם הראשון ניתן לנטרל על ידי השקיה מיטבית ($ET_c 100\%$), את הגורם השני לא ניתן לנטרל, ולכן גם בניסויים בהם בוצעה השקיה מיטבית נצפתה מגמת ירידה בקצב קיבוע הפחמן לאורך עונת הגידול, אם כי במידה פחותה (L.E. Williams 2012). החל מתחילת שלב 2, גפני שלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים נבדלו בערכי קצב קיבוע הפחמן שלהם, בהתאם לגובה מנות המים שקיבלו (איור מס' 17a). עובדה זו מעידה כי ערכי קצב קיבוע הפחמן מושפעים ממצב משק המים של הגפן, תופעה זו נידונה בהרחבה במספר מחקרים שנערכו בגפן יין (Medrano et al. 2003; Patakas et al. 2005; Baeza et al. 2007; L.E. Williams 2012). במהלך שלב 2 בו קיבלו השקיה ברמה נמוכה ($ET_c 20\%$), גפני טיפול ההשקיה הנמוכה העוברת לגבוהה ($ET_c 0 > 20 > 50$) היו בעלי ערכי קצב קיבוע פחמן גבוהים מעט מאלו של גפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$) (איור מס' 17b). במהלך שלב 3 בו קיבלו השקיה ברמה גבוהה ($ET_c 50\%$), היו גפני טיפול זה בעלות ערכי קצב קיבוע פחמן הדומים לאלו של גפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c 50\%$). במהלך שלבים 2 ו 3 בהם קיבלו השקיה ברמה נמוכה ($ET_c 20\%$), היו גפני טיפול ההשקיה הגבוהה העוברת לנמוכה ($ET_c 50 > 20 > 20$) בעלות ערכי קצב קיבוע פחמן הדומים לאלו של גפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$) (איור מס' 17c). חשוב לציין כי בניגוד למה שנאמר לעיל לגבי פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום, במהלך העונתי של קצב קיבוע הפחמן לא נמצאה השפעה של ההשקיה בשלב 1 על קצב קיבוע הפחמן בשלב 3. המהלך העונתי של מוליכות הפיוניות בצהרי היום בגפני טיפולי ההשקיה השונים, התאפיין בירידה מתמשכת בערכי מוליכות הפיוניות לאורך כל עונת הגידול (איור מס' 18). מהלך עונתי דומה התקבל בניסויי השקיה גרעונית שונים שנערכו ברחבי העולם בכרמים הנמצאים באזורים בעלי אקלים דומה (Poni et al. 1994; Romero et al. 2010). בנוסף לכך טווח ערכי מוליכות הפיוניות שנמדדו לאורך עונת הגידול ($280 - 30 \text{ mmol H}_2\text{O/m}^2 \cdot \text{s}$) היה דומה לטווח ערכי מוליכות הפיוניות שדווח עליהם באותם ניסויים. למעט שני מקרים בסוף עונת הגידול, ערכי מוליכות הפיוניות שנמדדו בכל טיפולי

ההשקיה לא ירדו מתחת לערך של $50 \text{ mmol H}_2\text{O/m}^2\cdot\text{s}$ (Cifre et al. 2005; Lovisolo) חריפה (et al. 2010; Romero et al. 2010; L.E. Williams 2012). החל מתחילת שלב 2, גפני שלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים נבדלו בערכי מוליכות הפיוניות שלהם, בהתאם לגובה מנות המים שקיבלו (איור מס' 18a). במהלך שלב 2 בו קיבלו השקיה ברמה נמוכה ($20\% \text{ ET}_c$) גפני טיפול ההשקיה הנמוכה העוברת לגבוהה ($0 \rightarrow 20 \rightarrow 50\% \text{ ET}_c$) היו בעלות ערכי מוליכות פיוניות הגבוהים מעט מאלו של גפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% \text{ ET}_c$). במהלך שלב 3 בו קיבלו השקיה ברמה גבוהה ($50\% \text{ ET}_c$) היו גפני טיפול זה בעלות ערכי מוליכות פיוניות הדומים לאלו של גפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% \text{ ET}_c$) (איור מס' 18b). במהלך שלבים 2 ו 3 בהם קיבלו השקיה ברמה נמוכה ($20\% \text{ ET}_c$), היו גפני טיפול ההשקיה הגבוהה העוברת לנמוכה ($50 \rightarrow 20 \rightarrow 20\% \text{ ET}_c$) בעלי ערכי מוליכות פיוניות הדומים לאלו של גפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($50\% \text{ ET}_c$) (איור מס' 18c). חשוב לציין כי בניגוד למה שנאמר לעיל לגבי פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום, במהלך העונתי של מוליכות הפיוניות לא נמצאה השפעה של ההשקיה בשלב 1 על קצב מוליכות הפיוניות בשלב 3.

4.3.3 מהלכים יומיים

שני המהלכים היומיים בגפני טיפולי ההשקיה השונים היו אופייניים, ודומים זה לזה בשלושת המדדים: פוטנציאל מים, מוליכות פיוניות, קצב קיבוע פחמן (איורים מס' 20, 21). מהלכים יומיים דומים, הן מבחינת הערכים והם מבחינת שעת השיא, נתקבלו בניסויי השקיה גרעונית שונים שנערכו ברחבי העולם בכרמים הנמצאים באזורים בעלי אקלים דומה (Medrano et al. 2003; Schultz 2003; L.E. Williams 2012). במהלך היומי שנמדד באמצע שלב 3 (10/08/11) גפני שלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים נבדלו בערכי מוליכות הפיוניות, קצב קיבוע הפחמן ופוטנציאל המים, בהתאם לגובה מנות המים שקיבלו (איור מס' 20a,d,g). גפני טיפול ההשקיה הנמוכה העוברת לגבוהה ($0 \rightarrow 20 \rightarrow 50\% \text{ ET}_c$) היו לאורך כל היום בעלות ערכי פוטנציאל מים, מוליכות פיוניות וקצב קיבוע פחמן נמוכים יותר מגפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($50\% \text{ ET}_c$) (איור מס' 20b,e,h). עובדה זו מעניינת מאחר וגפני טיפול זה עברו להשקיה גבוהה כשבועיים לפני יום המדידה, וניתן ללמוד מכך כי למשטר ההשקיה במהלך שלב 1 השפעה על מדדים פיזיולוגיים במהלך שלב 3. כלומר העובדה, שגפני טיפול זה חוו עקת יובש במהלך שלב 1 (1 מ"מ, טבלה מס' 6) הובילה לכך שגם לאחר שבועיים שבמהלכם הם הושקו במנות מים גבוהות ($50\% \text{ ET}_c$) הם לא הצליחו לשפר את משק המים כפי שהדבר בא לידי ביטוי בהשוואה למדדים הפיזיולוגיים שנמדדו בגפנים שקיבלו השקיה גבוהה ($50\% \text{ ET}_c$) לאורך כל עונת הגידול. בטיפול ההשקיה הגבוהה העוברת נמוכה ($50 \rightarrow 20 \rightarrow 20\% \text{ ET}_c$) נמדדו לאורך כל היום ערכי מוליכות פיוניות וקצב קיבוע פחמן דומים לגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% \text{ ET}_c$) (איור מס' 20f,i). בערכי פוטנציאל מים היו גפני טיפול זה בעלות ערכים נמוכים יותר מגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% \text{ ET}_c$), לאורך כל היום (איור מס' 20c). עובדה זו מעניינת מאחר ובטיפול זה מנות המים שיושמו עד לתאריך המדידה היו גבוהות ב 27 מ"מ יותר מגפני ההשקיה הנמוכה. ניתן להסיק מכך כי למשטר ההשקיה במהלך שלב 1 השפעה על משק המים במהלך שלב 3, כלומר העובדה שגפני טיפול זה קיבלו מנות מים גבוהות במהלך שלב 1 (43 מ"מ, טבלה מס' 6) גרמה לכך שלאחר שמנות המים הופחתו במהלך שלבים 2 ו 3 ($20\% \text{ ET}_c$), הם הגיעו לעקת יובש חריפה יותר מגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($20\% \text{ ET}_c$), שקיבלו השקיה נמוכה לאורך כל עונת הגידול. עובדות אלה מעלות תמיהה כיצד "זוכרת" הגפן בסוף העונה את ההשפעות של משק המים (במקרה זה משק המים המשופר) ששררו בתחילת העונה. במהלך היומי שנמדד בסוף שלב 2 (26/07/12) גפני שלושת טיפולי ההשקיה בעלי מקדמי ההשקיה הקבועים נבדלו בערכי מוליכות הפיוניות, קצב

קיבוע הפחמן ופוטנציאל המים, בהתאם לגובה מנות המים שקיבלו (איור מס' 21a,d,g). בגפני טיפול ההשקיה הנמוכה העוברת לגבוהה ($ET_c > 20\% > 50\%$) נמדדו לאורך כל יום ערכי מוליכות פיוניות וקצב קיבוע פחמן הדומים לערכים שנמדדו בגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$) (איור מס' 21e,h). בערכי פוטנציאל המים היו גפני טיפול זה בעלות ערכים נמוכים יותר מגפני טיפול ההשקיה הנמוכה, לאורך כל היום (איור מס' 21b). עובדה זו מעניינת מאחר וגפני טיפול זה קיבלו במהלך כל שלב 2 השקיה נמוכה ($ET_c 20\%$), ועדיין בסופו הם היו בעקת יובש חריפה יותר מגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$). גפני טיפול ההשקיה הגבוהה העוברת לנמוכה ($ET_c 20\% > 20\% > 50\%$) היו לאורך כל היום בעלות ערכי מוליכות פיוניות וקצב קיבוע פחמן דומים לגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$) (איור מס' 21f,i). בערכי פוטנציאל מים היו גפני טיפול זה בעלות ערכים נמוכים יותר מגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$), לאורך כל היום (איור מס' 21c). עובדה זו מעניינת מאחר וגפני טיפול זה קיבלו עד לתאריך המדידה 36 מ"מ יותר מגפני ההשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$). ניתן להסיק מכך כי למשטר ההשקיה במהלך שלב 1 השפעה על משק המים במהלך שלב 3. כלומר העובדה שגפני טיפול זה קיבלו מנות מים גבוהות במהלך שלב 1 (56 מ"מ, טבלה מס' 6) גרמה לכך שלאחר שהם הועברו להשקיה נמוכה ($ET_c 20\%$) בתחילת שלב 2, הם הגיעו בסופו לעקת יובש חריפה יותר מגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$), שקיבלו השקיה נמוכה מתחילת העונה.

4.4 השפעת ההשקיה על מדדים אנטומים ומוליכות הידראולית

רוחב הטבעת השנתית ושטחה הם מדד ישיר ואמין לעוצמת הצימוח הווגטיבי. שני הפרמטרים הללו לא רק מושפעים ממצב משק המים בעונה הנוכחית, אלא גם מזמינות המוטמעים שנצברו במהלך העונה הקודמת (Bernstein and Fahn 1960). הטווח של ערכי רוחב הטבעת השנתית שנמדדו בעבודה זו בכל טיפולי ההשקיה, היה דומה לערכים שנמדדו בגפנים על ידי אחרים, הן באופן ישיר באמצעות חתכים אנטומיים (Perold and Phil 1927; Bernstein and Fahn 1960) והן באופן עקיף על ידי מדידת קוטר הגזע (Ton and Myburgh 1996; Kopyt 2004). בגפני שלושת טיפולי ההשקיה הקבועים, ככל שמנת המים עלתה כך גדלו רוחב ושטח הטבעת השנתית (טבלה מס' 8). גפני טיפול ההשקיה הנמוכה שעוברת לגבוהה ($ET_c 0 > 20 > 50\%$) היו בעלות רוחב ושטח הטבעת השנתית הקטנים ביותר מבין כל טיפולי ההשקיה (טבלה מס' 8). כלומר, למרות שגפני טיפול ההשקיה הנמוכה שעוברת לגבוהה ($ET_c 0 > 20 > 50\%$) קיבלו מנת מים עונתית ממוצעת הגבוהה ב 33 מ"מ מגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c 20\%$), הן היו בעלות רוחב ושטח טבעת שנתית קטנים יותר. גפני טיפול ההשקיה הגבוהה שעוברת לנמוכה ($ET_c 50 > 20 > 20\%$) היו בעלות רוחב ושטח טבעת שנתית דומים לגפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c 50\%$). זאת למרות שהן קיבלו מנת מים עונתית ממוצעת הפחותה ב 115 מ"מ מגפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c 50\%$). ניתן להסיק מכך כי למנת המים המיושמת במהלך שלב 1, בו מתרחשת עיקר הפעילות הקמביאלית של הגזע הבאה לידי ביטוי בעלייה בקוטר הגזע (איור מס' 19), ולא דווקא למנת המים העונתית, השפעה מכרעת על רוחב ושטח הטבעת השנתית. המחשה ברורה למסקנה זו ניתן למצוא בכך שמנות המים במהלך שלב 1 נמצאו בעלות המתאם הגובה ביותר לרוחב ושטח הטבעת השנתית (טבלה מס' 22). מוליכות המים לטבעת שנתית בגזע מהווה מדד משוכלל של יכולת הגפן להוליך מים, והיא מורכבת משלושה פרמטרים: קוטר גזע, רוחב טבעת שנתית, מוליכות הידראולית ספציפית. בגפני שלושת טיפולי ההשקיה הקבועים, ככל שמנת המים גדלה, כך גם גדלה מוליכות המים לטבעת שנתית (טבלה מס' 9). גפני טיפול ההשקיה הנמוכה

שעוברת לגבוהה ($ET_c > 20\% > 50\%$) היו בעלות מוליכות המים לטבעת שנתית הקטנה ביותר מבין כל טיפולי ההשקיה (טבלה מס' 9). גפני טיפול ההשקיה הגבוהה שעוברת לנמוכה ($ET_c > 20\% > 50\%$) היו בעלות מוליכות מים לטבעת שנתית נמוכה מעט מזו של גפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c > 50\%$) (טבלה מס' 9).

ניתן להסיק מכך כי למנת המים במהלך שלב 1, ולא למנת המים העונתית, השפעה ישירה על מוליכות המים לטבעת שנתית. המחשה טובה למסקנה זו ניתן למצוא בכך שבעוד שלמנת המים במהלך שלב 1 מתאם גבוה למוליכות המים לטבעת שנתית ($R^2 = 0.61$), למנת המים העונתית מתאם נמוך ($R^2 = 0.22$) (איורים מס' 24, 25). מתוך התבוננות במכלול הנתונים האנטומיים, ניתן להסיק כי השפעה זו מקורה בעיקר בעקבות שטח טבעת שנתית שונה, ובמידה פחותה בעקבות קוטר טרכיאות גדולות שונה (טבלאות 8, 9). מכך שהפעילות הקמביאלית בגזע מתחילה כ-5 שבועות לאחר הליבלוב (Bernstein and Fahn 1960), בעוד שבתקופה זו הגפן כבר "בנתה" חלק ניכר מנופה (איורים מס' 12, 13), ניתן להסיק כי בתחילת העונה הגפן "בונה" את נופה באמצעות המערכת ההידראולית שנוצרה במהלך העונות הקודמות. כלומר למוליכות המים לטבעת שנתית יש השפעה רב עונתית מצטברת. עובדה תומכת ניתן לראות בכך שנמצא כי צינורות הטרכיאה ברקמת העצה בגזע של הגפן נשארים פעילים בממוצע במשך שנתיים עד שלוש שנים, ובמקרים חריגים אף שבע שנים (Pratt 1974; Hellman 2003).

ככל שצינור טרכיאה בעל קוטר גדול יותר, הוא בעל מוליכות הידראולית גבוהה יותר (הקוטר בחזקה רביעית בנוסחת Hagen Poiseuille), אולם הוא גם חשוף יותר לסכנה של קוויטציה (Lo Gullo and Salleo 1991; Chouzouri and Schultz 2005). חשוב לציין כי ישנה פחיתה של 20%-80% במוליכות ההידראולית הנמדדת באופן ישיר יחסית למוליכות ההידראולית התיאורטית המחושבת על פי נוסחת Hagen Poiseuille (Tyree and Ewers 1991). ירידה זו במוליכות ההידראולית מוסברת על ידי כמה גורמים: צורה לא רגולרית של צינורות העצה, חספוס של דפנות הטרכיאה, מעבר דרך דפנות הגומץ, חלק מצינורות הטרכיאה לא מתפקדים (עברו קוויטציה) (Tyree and Ewers 1991). ניתן לומר כי צינורות טרכיאה בעלי קוטר גדול מותאמים יותר להולכת מים בספיקה גבוהה יחסית, במהלך תקופה בה זמינות המים בקרקע ובצמח גבוהה, והמתחים השוררים בצינורות העצה נמוכים יחסית. לעומת זאת צינורות טרכיאה בעלי קוטר קטן מותאמים יותר להולכת מים בספיקות נמוכות יחסית, במהלך תקופה בה זמינות המים בקרקע ובצמח נמוכה מאחר והם מסוגלים להישאר מתפקדים זמן רב יותר במתחים גבוהים (פוטנציאל מים שלילי יותר בחלקי הגפן השונים). ככל שהמערכת ההידראולית של הגפן מתבססת על יותר על טרכיאות בעלות קוטר גדול, תהיה הגפן בעלת מוליכות הידראולית גבוהה יותר, אך היא תהיה חשופה יותר לפגיעות של קוויטציה בתקופות של יובש. לעומת זאת בגפן בה המערכת ההידראולית מבוססת יותר על טרכיאות בעלות קוטר נמוך יותר, תהיה מוליכות הידראולית נמוכה יותר, אך היא תהיה מסוגלת לתפקד יותר טוב במצבי יובש. מהתבוננות בהתפלגות אוכלוסיית חוליות הטרכיאה לקבוצות קוטר שונות (איור מס' 26), ניתן לראות כי בגפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c > 20\%$) יש יותר חוליות טרכיאה בעלות קוטר קטן ופחות חוליות טרכיאה בעלות קוטר גדול. לעומת זאת בגפני טיפול ההשקיה הגבוהה שעוברת לנמוכה ($ET_c > 20\% > 50\%$) יש יותר טרכיאות בעלות קוטר גדול ופחות חוליות טרכיאה בעלות קוטר קטן. משמעות הדבר היא כי המערכת ההידראולית של גפני טיפול ההשקיה הנמוכה ($ET_c > 20\%$) מותאמת יותר להתמודדות עם עקת יובש, בעוד שהמערכת ההידראולית של גפני טיפול ההשקיה הגבוהה שעוברת לנמוכה ($ET_c > 20\% > 50\%$) מותאמת יותר למציבים של זמינות מים גבוהה. ניתן לראות בכך הסבר אנטומי/פיזיולוגי לתופעה שגפני טיפול ההשקיה הגבוהה שעוברת לנמוכה ($ET_c > 20\% > 50\%$) הגיעו לעקת יובש חריפה יותר מגפני טיפול ההשקיה הנמוכה, לאחר המעבר להשקיה נמוכה במהלך שלבים 2 ו-3. כלומר ההשקיה הגבוהה במהלך שלב 1 בגפני טיפול

ההשקיה הגבוהה שעוברת לנמוכה ($ET_c > 20\% > 20\% > 50$) גרמה ליצירה של רקמת עצה בעלת מאפיינים אנטומיים כאלו, שגרמו לגפן לפתח עקת יובש חריפה יותר במהלך שלבים 2 ו 3 בהם זמינות המים ירדה. עקת יובש זו לא יכולה להיות מוסברת על ידי הבדלים בגודל הנוף, מאחר ובמהלך שלב 3 גודל הנוף בשני הטיפולים הללו היה דומה (איורים מס' 12, 13). הבדלים במאפיינים האנטומיים של רקמת העצה בגזע נמצאו בזני גפן שונים (Wheeler and LaPasha 1994; Chouzouri and Schultz 2005; Chatelet et al. 2011), אך לפי מיטב ידיעתי זו הפעם הראשונה בה מדווח על הבדלים אנטומיים ברקמת העצה בגזע הנגרמים כתוצאה ממשטרי השקיה שונים באותו הזן. חיזוק לממצאים אלו ניתן למצוא בכך שנמצא כי למשטר ההשקיה השפעה על קוטר הטרכיאיות ברקמת העצה בזמורות של גפן (Lovisololo and Schubert 1998).

4.5 השפעת ההשקיה על מדדי היבול

בגפני שלושת טיפולי ההשקיה הקבועים, ככל שמנת המים עלתה נצפתה עליה ביבול. היבול של גפני טיפול ההשקיה הגבוה ($ET_c 50\%$) היה נמוך יותר מהמצופה עבור מנת המים שקיבל, והיה גבוה אך במעט מהיבול של גפני טיפול ההשקיה הבינונית ($ET_c 35\%$) (טבלה מס' 14). ניתן להסביר עובדה זו בכך שגפני טיפול ההשקיה הבינונית ($ET_c 35\%$) הגיעו למלוא פוטנציאל היבול בתנאי הגידול השוררים בחלקה (הדליית VSP, זמירה המותירה 2 ניצנים על כל סעיף, טיפולים המווסתים את מימדי הנוף). לכן בגפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c 50\%$) נצפה יבול דומה, למרות שהם קיבלו בממוצע עונתי כמות השקיה הגבוהה ב 78 מ"מ מגפני טיפול ההשקיה הבינונית ($ET_c 35\%$) (טבלה מס' 14). הדעה הרווחת בקרב הייננים היא כי ככל שהגרגר קטן יותר יתקבל יין איכותי יותר, בעקבות הטיה של יחס הקליפה/ציפה (skin/pulp ratio) לטובת הקליפה, בה נמצאים מרבית חומרי הטעם והארומה (Chalmers et al. 2010). בשלושת טיפולי ההשקיה הקבועים, בד בבד עם העלייה בגודל הגרגר (טבלה מס' 14) חלה ירידה באיכות היין (טבלאות מס' 15, 16). יוצא מן הכלל הזה, היו גפני טיפול ההשקיה הגבוהה ($ET_c 50\%$) בעונת 2012 (טבלה מס' 16) שמהם הופק יין באיכות גבוהה יחסית, ככל הנראה בעקבות התכווצות הגרגר במהלך שלב 3 בגפני טיפול זה (איור מס' 27). אולם בגפני טיפולי ההשקיה המשתנים (RDI) "נשבר" היחס בין גודל הגרגר לאיכות היין. גפני טיפול ההשקיה הנמוכה שעוברת לגבוהה ($ET_c 0 > 20 > 50$) היו בעלות גודל הגרגר הנמוך ביותר (טבלה מס' 14) אולם למרות זאת היין שהופק מהם היה באיכות בינונית/נמוכה (טבלאות מס' 15, 16). גפני טיפול ההשקיה הגבוהה שעוברת לנמוכה ($ET_c 50 > 20 > 20$) היו בעלות גודל גרגר בינוני (טבלה מס' 14) אך היין שהופק מהם היה באיכות גבוהה (טבלאות מס' 15, 16). ניתן להסביר תופעה זו בכך שבעוד שגודל הגרגר מושפע מסך עקת היובש העונתית (Girona et al. 2009), איכות היין מושפעת בעיקר ממצב משק המים במהלך שלב 3 (Girona et al. 2009), בו נוצרים עיקר חומרי הצבע והארומה (Kennedy 2002). גם בניסוי השקיה מקביל, שנערך בדולב בין השנים 2009-2013, נמצא כי גפני טיפול ההשקיה הגבוהה שעוברת לנמוכה ($ET_c 50 > 20 > 20$) היו בעלות יבול גבוה, והיין שהופק מהם היה באיכות הגבוהה ביותר. בדיקת איכות היין בניסוי ההשקיה בדולב, כללה טעימה של היין שהוכן מטיפולי ההשקיה השונים על ידי פנל טועמים מקצועי בראשות ד"ר שיבי דרורי. חשוב לציין כי בספרות ישנם תוצאות סותרות לגבי השפעת מועד השריית עקת היובש (מוקדם/מאוחר בעונת הגידול) על איכות היין (Girona et al. 2009). ישנם ניסויים בהם נמצא כי דווקא לעקת מים בשלבים המוקדמים של עונת הגידול השפעה חזקה יותר על העלאת איכות היין (Matthews et al. 1990; Castellarin et al. 2007). ניתן להסביר את ההבדלים הללו בחלוקה שונה של השלבים

הפנולוגים והגדרה לא אחידה של עקת יובש, בניסויים השונים. בנוסף לכך השוני האקלימי והקרקעי באתרי הניסוי השונים ברחבי העולם, תורם אף הוא לחוסר העקביות של התוצאות.

4.6 דיון מסכם

בעבודה זו נבחנה ההשפעה של השריית עקת יובש בשלבים פנולוגיים שונים של התפתחות הגרגר תוך כדי שימוש במודל השקיה מבוסס נוף ואקלים. חשוב לציין כי בגידול גפן יין המטרה המרכזית של השקיה דיפרנציאלית (RDI) היא העלאת איכות היין המופק תוך כדי פגיעה מינימלית ביבול, ולא החיסכון במים (בניגוד לגידולי מטע אחרים). נמצא כי משק מים משופר במהלך שלב 1 (חנטה עד אשכול צפוף) גרם לצימוח ווגטיבי נמרץ יותר (גודל נוף, משקל גזם, קוטר גזע, רוחב טבעת שנתית ומוליכות הידראולית) וליבול גבוה יותר. בנוסף לכך נמצא כי לעקת יובש במהלך שלב 3 (בוהל עד בציר) השפעה חיובית על איכות היין. נמצא איפה, כי גפני טיפול השקיה הגבוהה שעוברת לנמוכה ($ET_c > 20\% > 20\% > 50$) "נהנות" משני העולמות. מחד גיסא, השקיה גבוהה במהלך שלב 1, גרמה להם לצימוח ווגטיבי נמרץ וליבול גבוה, ומאידך גיסא עקת היובש במהלך שלב 3 גרמה להם להגיע לאיכות יין משופרת. לטיפול זה פוטנציאל יישומי חקלאי גבוה, מאחר והוא מהווה איזון בין יכול וקיימות הכרם לאורך שנים לבין איכות יין משופרת.

- Acevedo-Opazo C, Ortega-Farias S, Fuentes S. 2010.** Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management* **97**: 956–964.
- Allen RG, Pereira LS. 2009.** Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrigation Science* **28**: 17–34.
- Allen R, Pereira L, Raes D, Smith M. 1998.** Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome*.
- Amerine M, Winkler A. 1944.** Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* **15**.
- Baeza P, Sánchez-de-Miguel P, Centeno A, Junquera P, Linares R, Lissarrague JR. 2007.** Water relations between leaf water potential, photosynthesis and agronomic vine response as a tool for establishing thresholds in irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae* **114**: 151–158.
- Bernstein Z, Fahn A. 1960.** The Effect of Annual and Bi-annual Pruning on the Seasonal Changes in Xylem Formation in the Grapevine. *Annals of botany* **24**: 159–171.
- Boyer J. 1995.** *Measuring the water status of plants and soils*. San Diego, CA: Academic Press.
- Bravdo B, Hepner Y, Loinger C, Cohen S, Tabacman H. 1985.** Effect of irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet Sauvignon. *American Journal of Enology and Viticulture* **36**: 132–139.
- Carrasco-Benavides M, Ortega-Farías S, Lagos LO, Kleissl J, Morales L, Poblete-Echeverría C, Allen RG. 2012.** Crop coefficients and actual evapotranspiration of a drip-irrigated Merlot vineyard using multispectral satellite images. *Irrigation Science* **30**: 485–497.
- Castellarin SD, Matthews M a, Di Gaspero G, Gambetta G a. 2007.** Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta* **227**: 101–112.
- Chalmers YM, Downey MO, Krstic MP, Loveys BR, Dry PR. 2010.** Influence of sustained deficit irrigation on colour parameters of Cabernet Sauvignon and Shiraz microscale wine fermentations. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **16**: 301–313.
- Chalmers Y, Krstic M. 2008.** Impacts of sustained deficit irrigation on quality attributes and flavonoid composition of Shiraz grapes and wine. *Acta Hort (ISHS)* **792**: 163–170.
- Chatelet DS, Wistrom CM, Purcell AH, Rost TL, Matthews M a. 2011.** Xylem structure of four grape varieties and 12 alternative hosts to the xylem-limited bacterium *Xylella fastidiosa*. *Annals of botany* **108**: 73–85.
- Chaves MM, Santos TP, Souza CR, Ortuño MF, Rodrigues ML, Lopes CM, Maroco JP, Pereira JS. 2007.** Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of Applied Biology* **150**: 237–252.
- Chaves MM, Zarrouk O, Francisco R, Costa JM, Santos T, Regalado a P, Rodrigues ML, Lopes CM. 2010.** Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of botany* **105**: 661–76.

- Choné X, Leeuwen C Van, Dubourdieu D, Gaudillere JP. 2001.** Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of botany* **87**: 477–483.
- Chouzouri A, Schultz H. 2005.** Hydraulic anatomy, cavitation susceptibility and gas-exchange of several grapevine cultivars of different geographic origin. *Acta Hort* **689**: 325–332.
- Cifre J, Bota J, Escalona JM, Medrano H, Flexas J. 2005.** Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Agriculture, Ecosystems & Environment* **106**: 159–170.
- Cohen SD, Tarara JM, Kennedy J a. 2011.** Diurnal Temperature Range Compression Hastens Berry Development and Modifies Flavonoid Partitioning in Grapes. *American Journal of Enology and Viticulture* **63**: 112–120.
- Consoli S, D’Urso G, Toscano A. 2006.** Remote sensing to estimate ET-fluxes and the performance of an irrigation district in southern Italy. *Agricultural Water Management* **81**: 295–314.
- Coombe B, Bishop G. 1980.** Development of the grape berry. II*. Changes in diameter and deformability during veraison. *Australian Journal of agricultural research* **31**: 499–509.
- Coombe BG, McCarthy MG. 2000.** Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **6**: 131–135.
- Evans RG, Spayd SE, Wample RL, Kroeger MW, Mahan MO. 1993.** Water use of *Vitis vinifera* grapes in Washington. *Agricultural Water Management* **23**: 109–124.
- Fereres E, Soriano MA. 2007.** Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of experimental botany* **58**: 147–59.
- Girona J, Marsal J, Mata M, Del Campo J, Basile B. 2009.** Phenological sensitivity of berry growth and composition of Tempranillo grapevines (*Vitis vinifera* L.) to water stress. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **15**: 268–277.
- Lo Gullo M., Salleo S. 1991.** Three different methods for measuring xylem cavitation and embolism: a comparison. *Annals of Botany* **67**: 417–424.
- Harris J, Kriedemann P, Possingham J. 1968.** Anatomical aspects of grape berry development. *Vitis* **7**: 106–1119.
- Hellman E. 2003.** Grapevine Structure and Function. *Oregon Viticulture*.5–19.
- Herrero-langreo A, Tisseyre B, Goutouly J, Scholasch T, van Leeuwen C. 2013.** Mapping Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Water Status during the Season Using Carbon Isotope Ratio ($\delta^{13}C$) as Ancillary Data. *American Journal of Enology and Viticulture* **64**: 307–315.
- Intrigliolo DS, Castel JR. 2007.** Evaluation of grapevine water status from trunk diameter variations. *Irrigation Science* **26**: 49–59.
- Jackson D, Cherry N. 1988.** Prediction of a district’s grape-ripening capacity using a latitude-temperature index (LTI). *American Journal of Enology and Viticulture* **39**: 19–28.
- Jackson D, Lombard P. 1993.** Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-a review. *American Journal of Enology and Viticulture* **44**: 409–430.

- Johnson L, Roczen D, Youkhana S, Nemani R, Bosch D. 2003.** Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* **38**: 33–44.
- Jones HG. 2007.** Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. *Journal of experimental botany* **58**: 119–30.
- Kennedy J. 2002.** Understanding grape berry development. *Practical Winery & Vineyard*.
- Kliewer W, Torres R. 1972.** Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration. *American Journal of Enology and Viticulture* **23**: 71–77.
- Kriedemann P, Kliewer W, Harris J. 1970.** Leaf age and photosynthesis in *Vitis vinifera* L. *Vitis* **9**: 97–104.
- López-Urrea R, Montoro a., Mañas F, López-Fuster P, Fereres E. 2012.** Evapotranspiration and crop coefficients from lysimeter measurements of mature “Tempranillo” wine grapes. *Agricultural Water Management* **112**: 13–20.
- Lovisolo C, Perrone I, Carra A, Ferrandino A, Flexas J, Medrano H, Schubert A. 2010.** Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: a. *Functional Plant Biology* **37**: 98–116.
- Lovisolo C, Schubert A. 1998.** Effects of water stress on vessel size and xylem hydraulic conductivity in *Vitis vinifera* L. *Journal of Experimental Botany* **49**: 693–700.
- Matthews M, Anderson M. 1988.** Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to seasonal water deficits. *American Journal of Enology and* **39**: 313–320.
- Matthews M, Ishii R, Anderson M, O’Mahony M. 1990.** Dependence of wine sensory attributes on vine water status. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **51**: 321–335.
- Medrano H, Escalona JM, Cifre J, Bota J, Flexas J. 2003.** A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biology* **30**: 607.
- Myburgh PA. 1996.** Response of *Vitis vinifera* L. cv. Barlinka/Ramsey to soil water depletion levels with particular reference to trunk growth parameters. *South African Journal of Enology and Viticulture* **17**.
- Naor A. 2000.** Midday stem water potential as a plant water stress indicator for irrigation scheduling in fruit trees. *Acta Hort (ISHS)* **537**: 447–454.
- Netzer Y, Yao C, Shenker M, Bravdo B. 2005.** Water consumption of “Superior” grapevines grown in a semiarid region. *Acta Hort (ISHS)* **689**: 399–406.
- 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. *Irrigation Science* **27**: 109–120.
- Olivo N, Girona J, Marsal J. 2008.** Seasonal sensitivity of stem water potential to vapour pressure deficit in grapevine. *Irrigation Science* **27**: 175–182.
- Padgett-Johnson M, Williams L., Walker M. 2003.** Vine water relations, gas exchange, and vegetative growth of seventeen *Vitis* species grown under irrigated and nonirrigated conditions in California. *Journal of the American society* **128**: 269–276.

- Patakas a., Noitsakis B, Chouzouri a. 2005.** Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **106**: 253–259.
- Perold A, Phil B. 1927.** perold.pdf. *A treatise on viticulture*. London: Macmillan and co., .
- Picón-Toro J, González-Dugo V, Uriarte D, Mancha L a., Testi L. 2012.** Effects of canopy size and water stress over the crop coefficient of a “Tempranillo” vineyard in south-western Spain. *Irrigation Science* **30**: 419–432.
- Poni S, Intrieri C, Silvestroni O. 1994.** Interactions of leaf age, fruiting, and exogenous cytokinins in Sangiovese grapevines under non-irrigated conditions. I. Gas exchange. *American Journal of Enology and Viticulture* **45**: 71–78.
- Pratt C. 1974.** Vegetative anatomy of cultivated grapes--a review. *American Journal of Enology and Viticulture* **25**: 131–150.
- Prieto J a, Louarn G, Perez Peña J, Ojeda H, Simonneau T, Lebon E. 2012.** A leaf gas exchange model that accounts for intra-canopy variability by considering leaf nitrogen content and local acclimation to radiation in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Plant, cell & environment*: 1313–1328.
- Roby G, Matthews MA. 2004.** Relative proportions of seed , skin and flesh , in ripe berries from Cabernet Sauvignon grapevines grown in a vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **10**: 74–82.
- Romero P, Fernandez-Fernandez J, Martinez-Cutillas A. 2010.** Physiological thresholds for efficient regulated deficit-irrigation management in winegrapes grown under semiarid conditions. *American Journal of Enology and Viticulture* **61**: 300–312.
- Romero P, Martinez-Cutillas A. 2012.** The effects of partial root-zone irrigation and regulated deficit irrigation on the vegetative and reproductive development of field-grown Monastrell grapevines. *Irrigation Science*.
- Scholander P, Hammel H, Bradstreet E, Hemmingsen E. 1965.** Sap pressure in vascular plants. *Science* **148**: 339–346.
- Schultz H. 2003.** Differences in hydraulic architecture account for near- • isohydric and anisohydric behaviour of two field- • grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell & Environment* **26**: 1393–1405.
- Shellie K. 2006.** Vine and berry response of Merlot (*Vitis vinifera* L.) to differential water stress. *American Journal of Enology and Viticulture* **4**: 514–518.
- Terral J, Tabard E, Bouby L, Ivorra S, Pastor T, Figueiral I, Picq S, Chevance J, Jung C, Fabre L, Tardy C, Compan M, Bacilieri R, Lacombe T, This P. 2010.** Evolutoin and history of grapevine (*Vitis vinifera*) under domestication: new morphometric perspectives to understand seed domestication syndrome and reveal origins of ancient European. *Annals of botany* **105**: 443–455.
- This P, Lacombe T, Thomas MR. 2006.** Historical origins and genetic diversity of wine grapes. *Trends in genetics* **22**: 511–519.
- Ton Y, Kopyt M. 2004.** Phytomonitoring in realization of irrigation strategies for wine grapes. *acta hort* **652**: 167–173.

- Tonietto J, Carbonneau A. 2004.** A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology* **124**: 81–97.
- Turner N. 1988.** Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrigation science* **9**: 289–308.
- Tyree M, Ewers F. 1991.** The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytologist* **119**: 345–360.
- Vasconcelos MC, Greven M, Winefield CS, Trought MCT, Raw V. 2009.** The Flowering Process of *Vitis vinifera* : A Review. *American Journal of Enology and Viticulture* **60**: 411–434.
- Westhoff M, Reuss R, Zimmermann D, Netzer Y, Gessner a, Gessner P, Zimmermann G, Wegner LH, Bamberg E, Schwartz a, Zimmermann U. 2009.** A non-invasive probe for online-monitoring of turgor pressure changes under field conditions. *Plant biology (Stuttgart, Germany)* **11**: 701–12.
- Wheeler EA, LaPasha CA. 1994.** Woods of the Vitaceae—fossil and modern. *Review of Palaeobotany and Palynology* **80**: 175–207.
- Williams L.E. 2012.** Effects of applied water amounts at various fractions of evapotranspiration (ET_c) on leaf gas exchange of Thompson Seedless grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **18**: 100–108.
- Williams Larry E. 2012.** Interaction of applied water amounts and leaf removal in the fruiting zone on grapevine water relations and productivity of Merlot. *Irrigation Science* **30**: 363–375.
- Williams L, Araujo F. 2002.** 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*. *Journal of the American society* **127**: 448–454.
- Williams LE, Ayars JE. 2005.** Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* **132**: 201–211.
- Williams LE, Grimes DW, Phene CJ. 2009.** The effects of applied water at various fractions of measured evapotranspiration on reproductive growth and water productivity of Thompson Seedless grapevines. *Irrigation Science* **28**: 233–243.
- Williams L, Phene C, Grimes D, Trout T. 2003.** Water use of mature Thompson Seedless grapevines in California. *Irrigation Science* **22**: 11–18.
- Yunusa I a. M, Walker RR, Guy JR. 1997.** Partitioning of seasonal evapotranspiration from a commercial furrow-irrigated Sultana vineyard. *Irrigation Science* **18**: 45–54.

From the results obtained, it seems that improved vine water status during stage 1 of berry development induces vegetative growth (canopy size, trunk diameter and hydraulic conductivity) and raises the yield level. Drought stress during stage 1 causes the opposite effect. The high irrigation vines had in average 16% higher yield, 10% bigger canopy size and 23% wider annual rings, comparing to the low irrigation vines. During stage 3 of berry development, drought stress raises the wine quality, while improved vine water status reduces it. The low irrigation vines had in average sugar content higher in 0.5 °Brix and 15% more intense color, comparing to the high irrigation vines. The vines of the “high to low” irrigation treatment that have been exposed to improved vine water status during stage 1, developed the most extreme drought stress during stage 3 and therefore benefited from those two phenomena and represent an ideal balance between yield and wine quality. They had a yield level very similar to the high irrigation vines, while their wine quality resembled to the low irrigation vines. Hence, the “high to low” irrigation treatment has a high potential of agricultural application.

Abstract

Wine grapevine cultivation is expanding all over the world and particularly in Israel. Today there are 5,500 hectares of cultivated wine vineyards in Israel. In order to achieve high wine quality (color and aroma), “drought stress” must be induced during some stage of the growing season (mainly in red varieties). Extremely severe water stress can cause yield reduction and decrease the “life span” of the vineyard. The aim of the present research is to develop an irrigation method, based on meteorological data obtained from the meteorological station located near the experiment site, and on the measured canopy size of the vines. In order to do so, the growing season was divided into three stages (Kennedy 2002) based on phenological stages of berry development: stage 1- from fruit set to bunch closure (the berries in the cluster are touching one each other). Stage 2- from bunch closure to veraison (berry soften and color change from green to red) and stage 3- from veraison to harvest (23 °Brix). The experiment was conducted in a commercial vineyard in Hulda region on the variety "Merlot". Five variations of the application of the irrigation method were examined: three treatments with consistent stress factors (SDI- Sustained Deficit Irrigation): low irrigation (20% ET_c), medium irrigation (35% ET_c) and high irrigation (50% ET_c), and additional treatments with "dynamic" stress factors (RDI- Regulated Deficit Irrigation): one treatment in which no irrigation was given until canopy ceased growth, changing to low irrigation until the end of stage 2, and high irrigation during stage 3 (0->20->50% ET_c) and a second treatment in which high irrigation was applied during stage 1 and then was reduced to low irrigation during stages 2 and 3 (50->20->20% ET_c). These five irrigation variations are representative of a wide variety of common Israeli agricultural practices, from “quality” grapes grown for boutique wineries (low irrigation) to “quantity” grapes for production of low cost table wine (high irrigation).

In order to compare these five irrigation regimes, physiological parameters from all experimental vines were measured during the growing season: trunk diameter (once a month, 48 vines per treatment), midday stem water potential (once a week, 12 leaves per treatment), canopy size (every two weeks, 12 vines per treatment), and gas exchange parameters (once a week, 16 leaves per treatment). At the end of each growing season each of the vines was harvested separately and yield parameters were measured. Wine was made (micro vinification) from each replication separately (20 different wines). During the winter, pruning parameters of all vines were measured. At the end of the irrigation trial, cores from the trunk of the vines were taken and anatomical parameters were measured and hydraulic conductivity was calculated.

**Development of canopy and climate based model for irrigation
of wine grapevines**

M.Sc. Thesis

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

By

Sarel munitz

Rehovot

December 2013