

**משרד החקלאות – דו"ח לתכנית מחקר
לקרן המדען הראשי**

א. קוד זיהוי 837-0013-07 נושא מחקר השפעת עקות חום ויובש בתחילת העונה על נשירת חנטים בתפוח

ב. צוות החוקרים

שם משפחה	שם פרטי	מחלקה	מוסד
גולדשמידט	אליעזר	מדעי הצמח	הפקולטה לחקלאות, רחובות המכון לחקר הגולן
נאור	עמוס	מדעי הצמח	הפקולטה לחקלאות, רחובות מנהל המחקר החקלאי המכון לחקר הגולן
שוורץ	אמנון		
פליישמן	משה		
נשיץ	שאול		

ג. כללי מוסד המחקר – מו"פ צפון סוג הדו"ח – מסכם תקופת הדו"ח – 7/06-7/09
תאריך הגשת הדו"ח למקור מימון 7/07

ד. מקורות מימון מהם מבוקש תקציב המחקר

שם המקור	סכום (ש"ח) קוד מקור המימון
המדען הראשי מו"פ פירות (טווח ארוך)	155,000

ה. תקציר

הצגת הבעיה – האקלים החם יחסית בחורף משפיע לרעה על צבירת מנות צינון להשלמת התרדמה ועל שבירתה, והאקלים החם והיבש בעונת הגידול משפיע לרעה על האבקה וחנטה, נשירת חנטים, חלוקת תאים בפרי וקצב גידול הנוף והפרי. עוצמת נשירת החנטים משתנית בין שנים ואין בידנו בשלב זה כלים להעריך את פוטנציאל נשירת החנטים דבר המקשה על החלטות לגבי ממשק הדילול הכימי.

מטרות המחקר - אפיון כמותי של התנאים המשפיעים על עוצמת נשירת החנטים יסייע בתכנונו של ממשק מתאים.

שיטות העבודה – בוצעו שני ניסויים בעצי דלישש זהוב הנתונים בכלים: א) נבחנה השפעת העברת העצים לחממה למשך שלושה ימים בתקופת החנטה המוקדמת על נשירת החנטים, על רקע מדידת תכולת חומרי התשמורת הסוכריים בעץ בתום הפריחה; ב) נבחנה השפעת מנת ההשקיה היומית במשך כל עונת הגידול על נשירת החנטים ועל התפלגות החומר היבש בנוף; ג) בוצע ניסוי בעצי תפוח בוגרים מהזן דלישש זהוב בו ניתנו טיפולי השקיה ועומס יבול בטווח רחב של ערכים. התבצעו מדידות דו-שבועיות של פוטנציאל המים בגזע. פעמיים במשך העונה נמדדו בכל עצי הניסוי קצב הפוטוסינתזה המרבי, מוליכות הפיוניות, פוטנציאל המים בגזע ובעלים והפוטנציאל האוסמוטי בעלים. פעמיים במשך העונה נמדדה תכולת העמילן בענפים רב שנתיים בכל עצי הניסוי. הפירות שנשא כל אחד מהעצים נספרו ונשקלו, ולכל עץ נקבע שיעור המשקל היבש הממוצע בפירות. נערך מעקב אחר נשירת העלים בסתיו.

תוצאות עיקריות – בתום שנת המחקר השניה התקבלו השפעות שליליות הן של טמפרטורה גבוהה והן של השקיה בחסר על שיעור החנטה. בנוסף, תכולת חומרי התשמורת הסוכריים בשלד העץ לאחר תום הפריחה נמצאה קשורה באורח חיובי עם שיעור החנטה ללא תלות בטמפרטורה. מכאן ניתן להסיק כי זמינות המוטמעים בעץ מהווה גורם מגביל ראשון במעלה לחנטה. ואכן, שיעור החומר היבש הנאגר בפרי מסך ייצור החומר היבש במהלך עונת גידול מלאה גדל עם העליה בשיעור ההשקיה. לעומת הפרי, שיעור צבירת החומר היבש בצימוח הווגטטיבי היה פחות רגיש לשיעור ההשקיה והגיע לרוויה עם אספקת מים לעצים בשיעור של 60% מצריכת המים הפוטנציאלית שלהם.

מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות – שיעור החנטה של פירות התפוח מוגבל ע"י זמינות המוטמעים בעץ. בהשערה זו תומכים השפעתם המיטיבה של שיעור השקיה גבוה בראשית העונה ושל תכולת עמילן גבוהה בענפי העץ בראשית החנטה על שיעור החנטה. נראה כי הצימוח הווגטטיבי נהנה מעדיפות בהפניית מוטמעים הנוצרים בעץ בראשית עונת הגידול ביחס לפרי. לטמפרטורה גבוהה במהלך החנטה השפעה שלילית ספציפית על שיעור החנטה, ללא תלות

בתכולת חומרי התשמורת בשלד העץ. השילוב שבין מצב המים בו נמצא העץ במהלך עונת הגידול ובין עומס היבול שהוא נושא משפיע על זמינות המוטמעים לפרי הבודד יותר מאשר כל אחד משני הפרמטרים האלה בפני עצמו. עומס יבול כבד מגדיל את צריכת המים של העץ ע"י הפחתת פוטנציאל המים בגזע ובעלים כאחד. נראה כי כניסת העצים לתרדמת החורף בעונת הסתיו תלויה בהצטברות כמות מספקת של מוטמעים באברי העץ הרב שנתיים. דחייה של הכניסה לתרדמה עלולה לפגוע בפוריות העץ בעונות העוקבות.

דו"ח זה איננו כולל המלצות ליישום התוצאות.

1. אישורים

<u>תאריך</u>	<u>אמרכלות</u>	<u>מנהל מכון</u>	<u>מנהל מחלקה</u>	<u>חוקר ראשי</u>
--------------	----------------	------------------	-------------------	------------------

השפעת עקות חום ויובש בתחילת העונה על נשירת חנטים בתפוח
Effects of heat and water stresses during early stages of the growing season on
fruit set in apple

אליעזר גולדשמידט, עמוס נאור, אמנון שוורץ, משה פליישמן, שאול נשיץ
מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ולמו"פ צפון

ע"י

אליעזר גולדשמידט – הפקולטה לחקלאות, רחובות
עמוס נאור – המכון לחקר הגולן
אמנון שוורץ – הפקולטה לחקלאות, רחובות
משה פליישמן – מנהל המחקר החקלאי
שאול נשיץ – המכון לחקר הגולן

Eliezer Goldschmidt, The faculty of agriculture, The Hebrew University of
Jerusalem, P.O.Box 12 Rehovot 76100 E-mail:

goldsmi@agri.huji.ac.il

Amos Naor, the Golan Research Institute, P.O.Box 97 Kazrin 12900 E-mail:

amosnaor@research.haifa.ac.il

Amnon Schwartz, The faculty of agriculture, The Hebrew University of Jerusalem,
P.O.Box 12 Rehovot 76100 E-mail:

schwartz@agri.huji.ac.il

Moshe Fleishman, Horticultural Sciences, A.R.O., P.O.B. 6, Bet Dagan 50250, E-
mail: vhmoshea@volcani.agri.gov.il

Shaul Naschitz, the Golan Research Institute, P.O.Box 97 Kazrin 12900 E-mail:

nashitz@el-rom.org.il

ספטמבר 2009

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.
תוצאות המחקר אינן מהוות המלצה לחקלאים

תקציר

הצגת הבעיה – האקלים החם יחסית בחורף משפיע לרעה על צבירת מנות צינון להשלמת התרדמה ועל שבירתה, והאקלים החם והיבש בעונת הגידול משפיע לרעה על האבקה וחנטה, נשירת חנטים, חלוקת תאים בפרי וקצב גידול הנוף והפרי. עוצמת נשירת החנטים משתנית בין שנים ואין בידנו בשלב זה כלים להעריך את פוטנציאל נשירת החנטים דבר המקשה על החלטות לגבי ממשק הדילול הכימי.

מטרות המחקר - אפיון כמותי של התנאים המשפיעים על עוצמת נשירת החנטים יסייע בתכנונו של ממשק מתאים.

שיטות העבודה – בוצעו שני ניסויים בעצי דלישם זהוב הנתונים בכלים: (א) נבחנה השפעת העברת העצים לחממה למשך שלושה ימים בתקופת החנטה המוקדמת על נשירת החנטים, על רקע מדידת תכולת חומרי התשמורת הסוכריים בעץ בתום הפריחה; (ב) נבחנה השפעת מנת ההשקיה היומית במשך כל עונת הגידול על נשירת החנטים ועל התפלגות החומר היבש בנוף; (ג) בוצע ניסוי בעצי תפוח בוגרים מהזן דלישם זהוב בו ניתנו טיפולי השקיה ועומס יבול בטווח רחב של ערכים. התבצעו מדידות דו-שבועיות של פוטנציאל המים בגזע. פעמיים במשך העונה נמדדו בכל עצי הניסוי קצב הפוטוסינתזה המרבי, מוליכות הפיוניות, פוטנציאל המים בגזע ובעלים והפוטנציאל האוסמוטי בעלים. פעמיים במשך העונה נמדדה תכולת העמילן בענפים רב שנתיים בכל עצי הניסוי. הפירות שנשא כל אחד מהעצים נספרו ונשקלו, ולכל עץ נקבע שיעור המשקל היבש הממוצע בפירות. נערך מעקב אחר נשירת העלים בסתיו.

תוצאות עיקריות – בתום שנת המחקר השניה התקבלו השפעות שליליות הן של טמפרטורה גבוהה והן של השקיה בחסר על שיעור החנטה. בנוסף, תכולת חומרי התשמורת הסוכריים בשלד

העץ לאחר תום הפריחה נמצאה קשורה באורח חיובי עם שיעור החנטה ללא תלות בטמפרטורה. מכאן ניתן להסיק כי זמינות המוטמעים בעץ מהווה גורם מגביל ראשון במעלה לחנטה. ואכן, שיעור החומר היבש הנאגר בפרי מסך ייצור החומר היבש במהלך עונת גידול מלאה גדל עם העליה בשיעור ההשקיה. לעומת הפרי, שיעור צבירת החומר היבש בצימוח הווגטטיבי היה פחות רגיש לשיעור ההשקיה והגיע לרוויה עם אספקת מים לעצים בשיעור של 60% מצריכת המים הפוטנציאלית שלהם.

מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות – שיעור החנטה של פירות התפוח מוגבל ע"י זמינות המוטמעים בעץ. בהשערה זו תומכים השפעתם המיטיבה של שיעור השקיה גבוה בראשית העונה ושל תכולת עמילן גבוהה בענפי העץ בראשית החנטה על שיעור החנטה. נראה כי הצימוח הווגטטיבי נהנה מעדיפות בהפניית מוטמעים הנוצרים בעץ בראשית עונת הגידול ביחס לפרי. לטמפרטורה גבוהה במהלך החנטה השפעה שלילית ספציפית על שיעור החנטה, ללא תלות בתכולת חומרי התשמורת בשלד העץ. השילוב שבין מצב המים בו נמצא העץ במהלך עונת הגידול ובין עומס היבול שהוא נושא משפיע על זמינות המוטמעים לפרי הבודד יותר מאשר כל אחד משני הפרמטרים האלה בפני עצמו. עומס יבול כבד מגדיל את צריכת המים של העץ ע"י הפחתת פוטנציאל המים בגזע ובעלים כאחד. נראה כי כניסת העצים לתרדמת החורף בעונת הסתיו תלויה בהצטברות כמות מספקת של מוטמעים באברי העץ הרב שנתיים. דחייה של הכניסה לתרדמה עלולה לפגוע בפוריות העץ בעונות העוקבות. דו"ח זה איננו כולל המלצות ליישום התוצאות.

רקע

נשירת חנטים היא מנגנון טבעי שבאמצעותו מווסת העץ את מספר הפירות שיתפתחו. בתהליך הנשירה מעורב אתילן, אבל עצמת הנשירה מוכתבת ככל הנראה ע"י רמת הפחמימות. יש לכך הוכחות נסיבתיות בתפוח בניסוי הצללה (Bepete and Lakso, 1998) ובהדרים נמצא קשר בין נשירת חנטים, עקת מוטמעים, ABA, ואתילן (Gomez-Cadenas et al., 2000). המחקר בהדרים מהווה דוגמא לקשר בקרתי בין פחמימות להורמונים (Leon and Shen, 2003). רמת העמילן בעלים (ובתפוח עמילן ו/או סורביטול) מהווה אינדיקטור רגיש למצב המוטמעים ונמצא מתאם בין עמילן למצבי שפע ושפל בפוריות (Goldschmidt and Golomb, 1992). מחסור במוטמעים יכול להיגרם בתקופת הפריחה והחנטה (Bustan et al., 1998) כתוצאה מתאורה לקויה המפחיתה את ההטמעה (מצב שכיח בארצות צפוניות) או מעקת חום ויובש הגורמת לסגירת פיוניות.

בחקוי של גל חום בן שלושה ימים, 14 ימים לאחר הפריחה נתקבלו 272, 357, 200 ו-55 פירות לעץ בטמפי יום ממוצעת של 21, 28, 32 או 38 מ"צ, בהתאמה (Lakso, unpublished) דבר המצביע על מעורבות טמפרטורות גבוהות בנשירת חנטים. בניסוי שדה מצאנו שעקת מים בארבעים הימים הראשונים שלאחר הפריחה גרמה לירידה באחוז החנטה מ-15% ל-9% (תומך בממצא שפורסם בעבר). עקת מים יכולה להשפיע על זמינות מוטמעים ע"י ירידה בקצב הפוטוסינתזה ובאופן חלקי גם על ידי הגברת הנשימה עקב עליית טמפי במצב עקת מים וזאת בנוסף על השפעת עקת המים על רמת ה-ABA. לימוד הדינמיקה של התפתחות מערכת הובלת המים בעוקץ החנט מצביע על כך שהעצה מתחילה לתפקד רק כשבועיים לאחר הפריחה (Drazeta et al., 2004) כך שקימת אפשרות שבמזג אוויר חם ויבש מאזן המים של הפרי יהיה שלילי כתוצאה ממגבלת הספקת מים דרך העוקץ ופוטנציאל המים יהיה נמוך בהשוואה לשאר חלקי העץ. לפיכך קימת אפשרות שהפעלת מנגנון נשירת החנטים תעשה גם כתוצאה מעקת מים בחנט הצעיר. בכונתנו לאשש את ההיפותזה שמגבלת מוטמעים גורמת לנשירת חנטים ולאפיין באופן כמותי את התנאים להשריית נשירת חנטים (גובה הטמפרטורה ועיתוי הפעלת הטמפרטורה הגבוהה). בכונתנו לבחון גם את ההיפותזה שעקת מים היא הגורם לנשירת חנטים ע"י השריית דרישות אטמוספירה למים ברמות שונות ובחינת ההשפעה על פוטנציאל המים בפרי ונשירת החנטים.

מטרות המחקר

לאפיין השפעת טמפרטורה ועקת מים על נשירת חנטים בתפוח. באופן פרטני:

1. לאשש את ההיפותזה שהשפעת הטמפרטורה הגבוהה על נשירת חנטים נובעת ממגבלת מוטמעים.
2. לבדוק את ההיפותזה שעקת מים בפרי גורמת לנשירת חנטים עקב מיגבלת הולכת מים.
3. לבחון את השימוש בתכולת חומרי תשמורת בעלים ובענפים כמדד למיגבלת מוטמעים ולעוצמת נשירה צפויה.

חומרים ושיטות

במחקר שהתחיל בשנת 2007 בוצעו הניסויים הבאים:

1. חמישה עצי דלישס זהוב בשנתם הרביעית הוכנסו לחממה בין 10-13 ימים לאחר שיא הפריחה. מולם הוצבו חמישה עצי ביקורת שהושארו מחוץ לחממה באותם ימים.
2. 85 עצי דלישס זהוב בשנה השלישית לחייהם הנטועים בכלים בנפח של 25 ליטר הועמדו במבנה של בלוקים באקראי. גובה העצים כ-3 מטרים והם הוצבו בשורות בודדות במרחקים של 3 מטרים בין שורה לשורה ו-1.5 מטר בין עץ לעץ. 20 מן העצים הושקו במנת מים קבועה שעלתה על הצריכה היומית שלהם. בחמישה מבין עצים אלה נמדד פעמיים בשבוע נגר המים שהתנקז מתחת לעצים, וחושבה צריכת המים לעץ. חמישה מעצי הניסוי הושקו ב-80% ממנת המים הנצרכת, 20 עצים הושקו ב-60% מהצריכה, חמישה הושקו ב-40% מהצריכה, 20 ב-20% מהצריכה, חמישה ב-10% מהצריכה ועשרה עצים נוספים לא הושקו כלל. מתן טיפולי ההשקיה השונים החל 7 ימים לאחר שנקבע שיא הפריחה.
3. ניסוי במטע מסחרי מבוגר בו השתתפו 36 עצים בשתי שורות סמוכות במטע. לעצים ניתנו שילובים שונים של מנת השקיה יומית ועומס יכול החל מראשית חודש יוני, על פי הפירוט בטבלה 1.

טבלה 1: פירוט הטיפולים השונים בניסוי 2008.

מס' הטיפול	מנת השקיה יומית (מ"מ)	מספר הפירות לעץ	מספר העצים
1	1	100	3
2	1	300	3
3	1	600	3
4	1	לא מדולל (מעל 1000)	3
5	3	100	3
6	3	300	3
7	3	600	3
8	3	לא מדולל (מעל 1000)	3
9	7	100	3
10	7	300	3
11	7	600	3
12	7	לא מדולל (מעל 1000)	3

בין טיפולי ההשקיה השונים הושארו עצי גבול על מנת למנוע השפעות גומלין. אומד הפירות לעץ הושג באמצעות דילול ידני שבוצע ב-28 במאי. לאחר קטיף הפירות, ב-31 באוגוסט, הופחתו מנות ההשקיה היומיות בשני טיפולי ההשקיה הגבוהים מ-7 ו-3 מ"מ ל-5 ו-2 מ"מ, בהתאמה. הדבר נעשה כדי למנוע נגר עלי בשורות הניסוי.

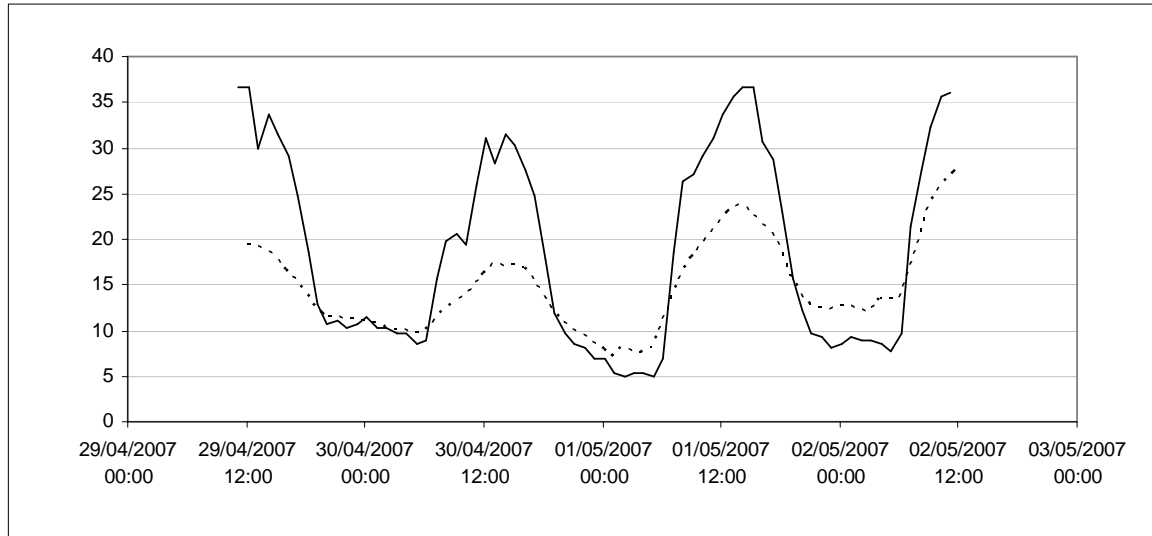
– מדידות

1. בניסוי החממה נספרו התפרחות במועד שיא הפריחה. הפירות ששרדו על העץ נספרו בתום 6 שבועות משיא הפריחה. במהלך שהיית העצים בחממה נערך מעקב אחר טמפרטורת האוויר בחממה ומחוצה לה. תכולת העמילן בענפים נמדדה במדגמים שנלקחו מיד לאחר הוצאת העצים מהחממה.

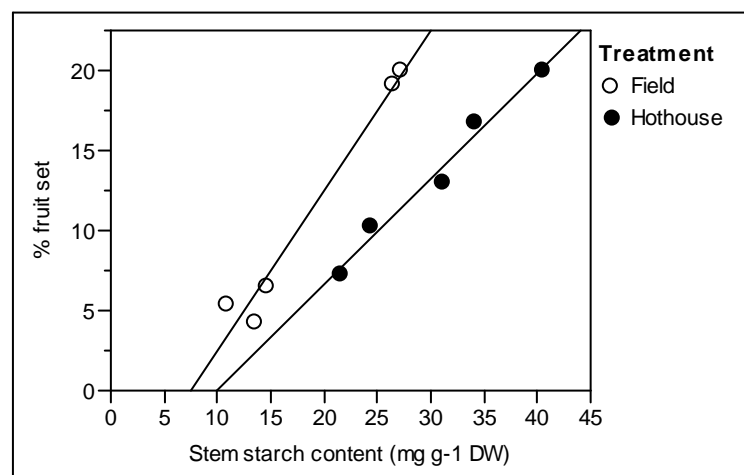
2. בניסוי ההשקיה נמדד הנגר מתחת לעצי הייחוס פעמיים בשבוע. אחת לחודש נאספו האיברים שנשרו מן העץ (פרחים, חנטים ועלים) ומשקלם היבש נרשם. מדידות פוטנציאל מים בוצעו בתאריכים: 12/6, 26/6, 11/7 ו-20/8/2007 ב-15 עצים מייצגים. מדידות מוליכות פיוניות ופוטוסינתזה בוצעו בתאריך 30/7/2007. בתאריך 2/8/2007 נקטפו הפירות, נשקלו ומויינו לפי קוטרם. בתום העונה, לאחר נשירת העלים, הופרדו העצים לאבריהם (ענפי השלד, צימוח חד שנתי ועלים), שנשקלו בנפרד, ובוצעה הערכה של אחוז המשקל היבש בכל סוג איבר.
3. אחת לשבועיים נערכו מדידות פוטנציאל מים בגזע בעצים מייצגים מכל אחד מ-12 הטיפולים. שלוש פעמים במהלך העונה, ב-25 ביוני, ב-6 באוגוסט וב-19 בנובמבר בוצעו מדידות פוטוסינתזה ומוליכות פיוניות בעצים מייצגים. שתי המדידות הראשונות לוו במדידות פוטנציאל מים בגזע ובעלים ובמדידת הפוטנציאל האוסמוטי בעלים. ב-25 ביוני אף נערך עקום יומי של כל המדדים האלה בכל טיפולי ההשקיה ובשני טיפולי עומס היבול הקיצוניים. בשני מועדים, 7 באוגוסט ו-21 בספטמבר נדגמו ענפים למדידת תכולת הסוכרים המסיסים והעמילן. פירותיו של כל אחד מעצי הניסוי נקטפו בנפרד, נספרו, נשקלו ומויינו בממיינת מסחרית לפי גודלם. מכל עץ נלקח מדגם בן 10 פירות להערכת תכולת המוצקים המסיסים והמשקל היבש. בחודשים נובמבר ודצמבר נערך מעקב אחר נשירת העלים וכניסת העצים לתרדמת החורף. ב-5 במרץ 2009 נדגמו שורשים בעובי 3-5 מ"מ מכל אחד מעצי הניסוי והועברו למדידת תכולת הסוכרים המסיסים והעמילן.

תוצאות ודין

השפעת הטמפרטורה ותכולת העמילן בענפים על שיעור החנטה – הטמפרטורות שנמדדו בחממה היו גבוהות בכ-13 מ"צ מאשר מחוץ לחממה בשעות הצהריים (איור 1). בשעות הלילה הטמפרטורה בחממה היתה נמוכה ב-3-0 מ"צ מאשר מחוץ לחממה. לא נמצאה השפעה של טיפול החממה על תכולת העמילן בענפי העץ. עם זאת, שיעור החנטה נמצא ביחס ישר לתכולת העמילן הן בעצים שהוכנסו לחממה והן בעצים שהושארו בתנאי הסביבה (איור 2). הטמפרטורות שנמדדו בשעות היום בחממה היו גבוהות משמעותית מאלה שנמדדו בחוץ, אך הלחות היחסית הגבוהה יותר והרוח החלשה יותר הביאו לירידה בגרעון אדי המים (VPD) בתוך החממה (הנתונים אינם מוצגים).



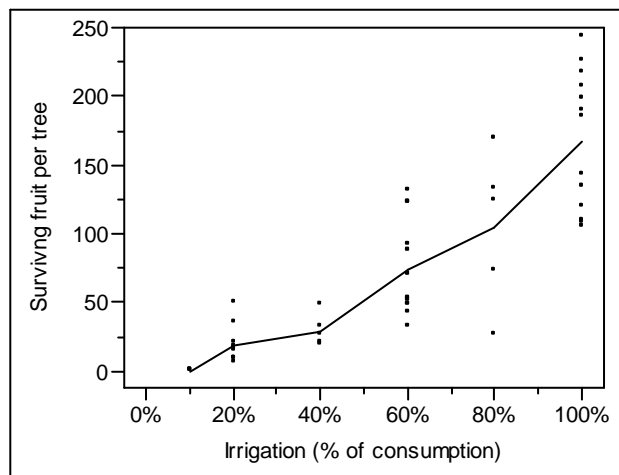
איור 1: מהלך טמפרטורת האוויר במ"צ בחממה (קו רצוף) ומחוץ לחממה (קו מקוטע) במהלך שהיית העצים בה.



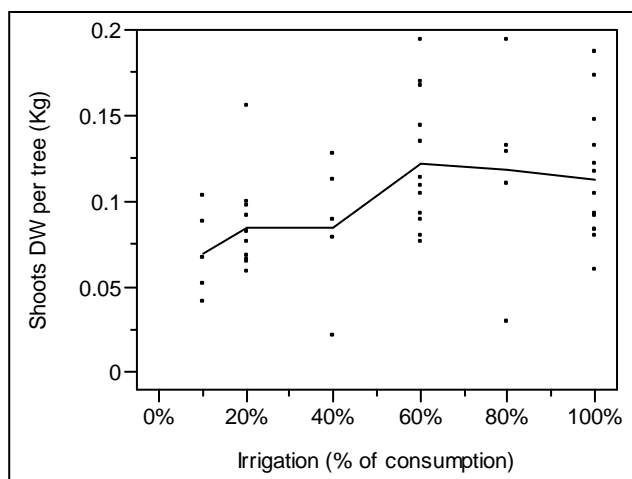
איור 2: השפעת תכולת העמילן בענפי העץ על אחוזי החנטה בעצי דלישס זהוב בני שלוש שנים שגודלו בכלים. מחצית העצים (עיגולים מלאים) הוכנסה לחממה בין הימים 10-13 לאחר שיא הפריחה. מחציתם השניה (עיגולים ריקים) הושארה בתנאי השדה.

נראה כי באיור 2 באים לידי ביטוי לפחות שני גורמים המשפיעים על החנטה: תכולת חומרי התשמורת הסוכריים בעץ, הנקבעת בעיקרה עוד במהלך עונת הגידול הקודמת והטמפרטורה בעת התפתחות החנטים שלה השפעה ספציפית על הישרדותם. בניסויים קודמים מצאנו כי מדד זה מיטיב לתאר את זמינות המוטמעים ברמת העץ השלם בתפוח, ואף עשוי לנבא את משקלו הממוצע של הפרי בקטיף. בעת ארוע ממושך של שרב אביבי יבואו לידי ביטוי שני הגורמים, שכן עם העליה בטמפרטורה צפויה גם הגברת ההתאדות. סביר להניח שבתנאים אלה תחול הפחתה במוליכות הפיוניות שתביא להדלדלות חומרי התשמורת בשלד העץ.

השפעת שיעור ההשקיה בתחילת העונה על החנטה ועל חלוקת החומר היבש בין אברי העץ –
 צריכת המים הממוצעת של עצי הייחוס במשך 190 ימי ההשקיה בעונת 2007 עמדה על 1204 ליטר
 לעץ, כלומר על כ-6.3 ליטר מים ליום. ערך זה נע עם השינויים באורך היום, בטמפרטורה ובעומס
 הפרי. צריכת המים המקסימלית נמדדה בשלהי חודש יולי, 11.9 ליטר ליום, ואילו הצריכה
 המינימלית נמדדה בתחילת נובמבר, 1.8 ליטר ליום. שיעור ההשקיה של העצים הנתונים בכלים
 השפיע רבות על מספר החנטים השורדים: עצים שלא קיבלו השקיה וכאלה שהושקו בעשירית
 מצריכת המים של עצי הייחוס לא חנטו פירות כלל, בעוד עצים שהושקו בעודף נשאו בממוצע כ-
 160 פירות (איור 3). משקלו היבש של הצימוח החד-שנתי גדל עם הגידול במנת מי ההשקיה, אולם
 ההבדלים בין טיפולי ההשקיה השונים היו קטנים (איור 4).

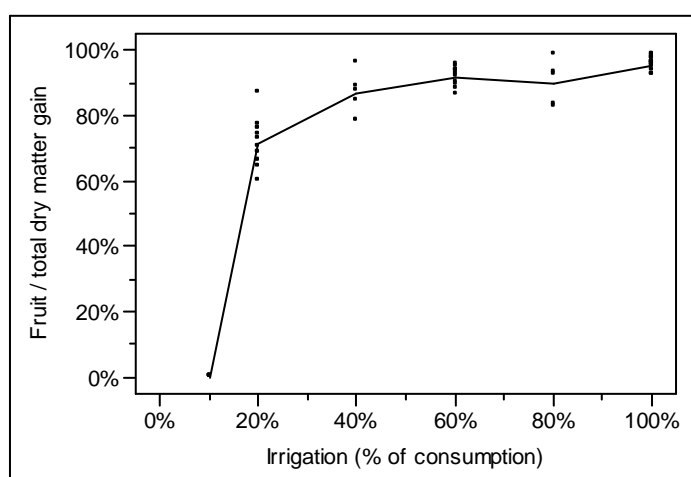


איור 3 : השפעת שיעור המילוי של צריכת המים של העץ על מספר הפירות השורדים בקטיף.



איור 4: השפעת שיעור המילוי של צריכת המים של העץ על משקלם היבש של הצימוח החד-שנתי ושל העלים.

מנת המים השפיעה מאד על חלוקת המשקל היבש בין הצימוח והפרי: ככל שגדלה, כך הופנה שיעור גבוה יותר של החומר היבש אל היבול. בעצים שהושקו בעודף נצברו בפרי למעלה מ-90% מכלל החומר היבש שהצטבר בעץ במהלך השנה (איור 5). יש לציין כי העצים סבלו ממגבלת שורשים עקב נפחם הקטן של הכלים בהם גדלו. מגבלה זו הביאה לכך שלא חל גידול במסת השורש ובעובייה של הגזע ושל ענפי השלד מתחילת הניסוי ועד סופו. בעצים הגדלים במטע צפוי יחס החומר היבש הנצבר בפרי להיות נמוך יותר עקב הפניית מוטמעים רבים יותר לתחזוקת השורשים והשלד (Palmer et al., 1992). ממצאינו מדגימים את כושר המבלע הגבוה של הצימוח החד-שנתי בתחילת העונה. עם זאת, נראה כי בתנאי הניסוי הגיע הצימוח הווגטטיבי לרוויה כבר בשיעור השקיה של 60% מצריכת המים הפרטנציאלית.



איור 5: השפעת שיעור המילוי של צריכת המים של העץ על יחס החומר היבש שנצבר בפרי.

השפעת שיעור ההשקיה ועומס היבול על מוליכות הפיוניות, הפוטוסינתזה ופוטנציאל המים בגזע – השפעותיהם של ההשקיה ביחס לצריכת העץ ומספר הפירות לעץ על מוליכות הפיוניות ועל קצב הפוטוסינתזה נבחנו ע"י הרצת מודל דו-גורמי. מוליכות הפיוניות גדלה עם העליה בשיעור ההשקיה ועם ריבוי הפירות שנישאו ע"י העץ (טבלה 2). ראוי לציין כי בניגוד לצפוי, עומס היבול השפיע על מוליכות הפיוניות יותר מאשר שיעור ההשקיה. קצב הפוטוסינתזה גבר עם העליה בעומס היבול ולא הושפע כלל משיעור ההשקיה (טבלה 3).

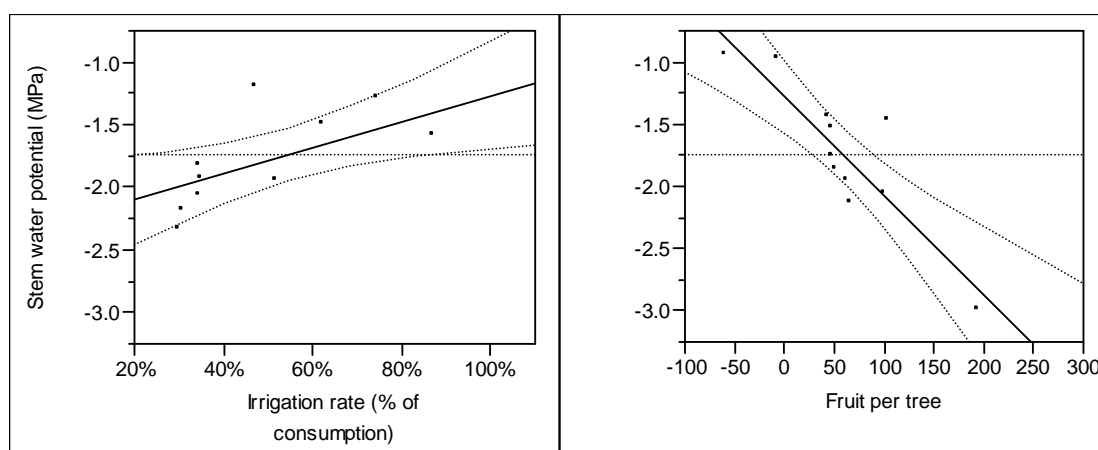
טבלה 2: ניתוח שונות של מודל דו-גורמי לבחינת השפעת שיעור ההשקיה ועומס היבול על מוליכות הפיוניות בעצי דלישס זהוב בני שלוש שנים הנתונים בכלים.

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	0.0719407	0.01295	5.56	0.0005*
Irrigation	0.0005638	0.000264	2.14	0.0651
fruit count 270607	0.0005604	9.315e-5	6.02	0.0003*

טבלה 3: ניתוח שונות של מודל דו-גורמי לבחינת השפעת שיעור ההשקיה ועומס היבול על קצב הפוטוסינתזה נטו בעצי דלישס זהוב בני שלוש שנים הנתונים בכלים.

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	5.9784191	1.102776	5.42	0.0006*
Irrigation	0.0241627	0.02247	1.08	0.3136
fruit count 270607	0.0343266	0.007932	4.33	0.0025*

השפעותיהם של עומס היבול ושיעור ההשקיה על פוטנציאל המים בגזע בצהרים נותחו באמצעות מודלים דו-גורמיים שנערכו לכל אחת מארבע סדרות המדידות. לשם דוגמה מובא להלן הניתוח שנעשה במדידות מן ה-26 ביוני 2007, אף כי בכל ארבע הסדרות התוצאות היו דומות. פוטנציאל המים בגזע נעשה שלילי יותר עם ההקטנה במנות ההשקיה ועם העליה בעומס היבול (איור 6).



איור 6: השפעותיהם החלקיות של שיעור מילוי ההשקיה מצריכת המים של העץ (משמאל) ושל מספר הפירות לעץ (מימין) על פוטנציאל המים בגזע בצהרים כפי שנמדד ב-26/6/2006.

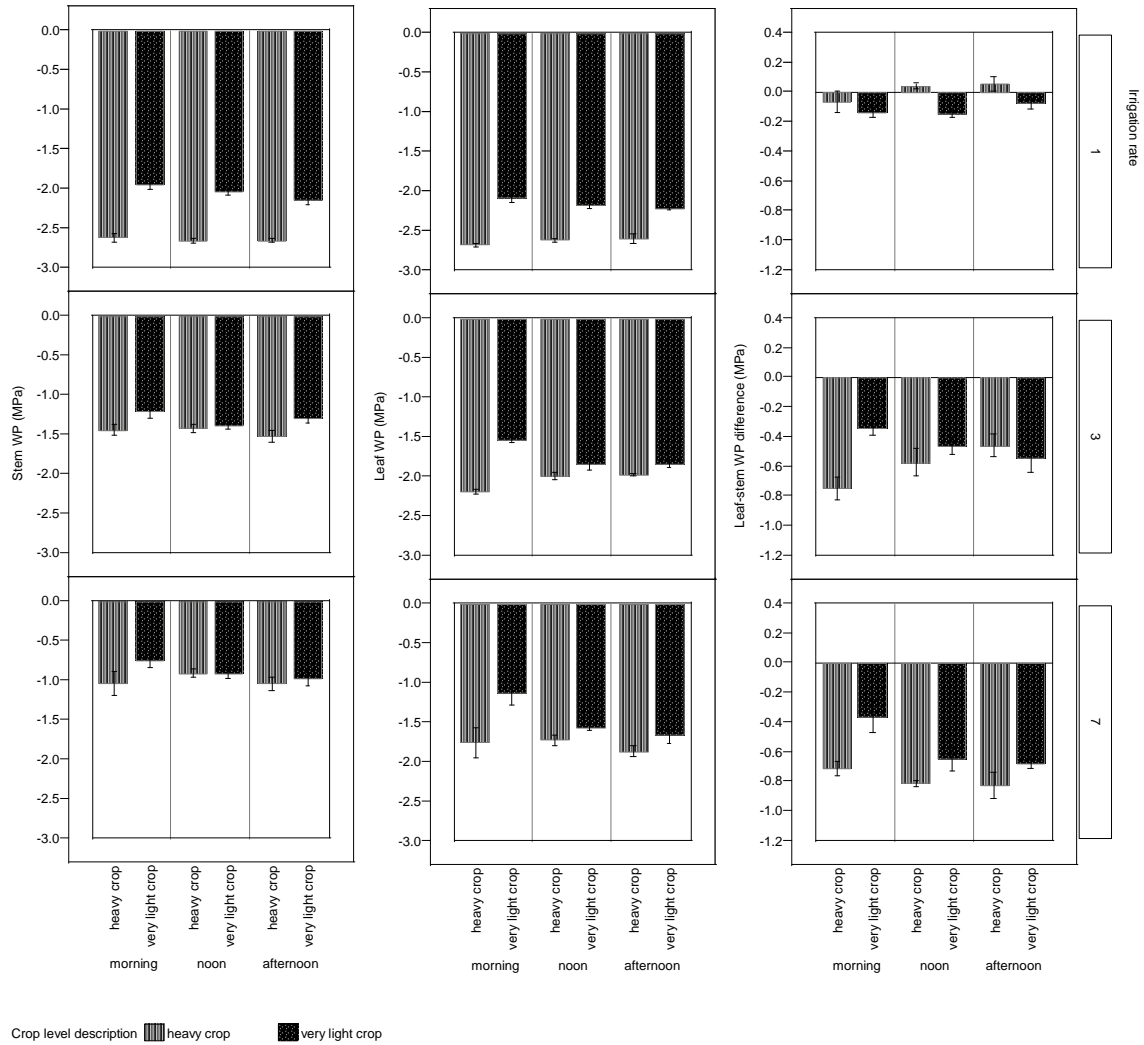
ממצאים אלה מדגימים את תפקידו של הפרי בקביעת צריכת המים של העץ: נראה כי ע"י השרת חנטים (מבלעים) בראשית העונה מתאימים עצמם עצי התפוח לזמינות המים במצע הגידול שלהם ונמנעים מעקת מים חריפה בשיאו של הקיץ. כך למשל, גם צמצום שיעור ההשקיה עד לעשירית מצריכת המים הפוטנציאלית לא גרם לתמותת עצים אלה.

השפעת רמת ההשקיה ועומס היבול על פוטנציאל המים בגזע ובעלים – הן רמת ההשקיה והן עומס היבול השפיעו רבות על פוטנציאל המים: פוטנציאל המים בגזע הגיע לערכיו השליליים ביותר בשעות אחר הצהרים המוקדמות. ברמות השקיה של 1, 3 ו-7 מ"מ ליום נמדד פוטנציאל מים בן -2.6, -1.3 ו-0.8 Mpa, בהתאמה (איור 1). פוטנציאל המים בעלים היה שלילי יותר מאשר בגזע בכל עת, למעט בעצים העמוסים בטיפול ההשקיה הנמוך. בכל טיפולי ההשקיה, עצים שנשאו יבול כבד הגיעו לפוטנציאל מים שלילי יותר מאלה שנשאו יבול קל. השפעת עומס היבול על פוטנציאל המים, הן בגזע והן בעלים, היתה רבה במיוחד בשעות הבוקר והתמעטה לאחר מכן. ההפרשים בפוטנציאל המים בעלים בבוקר בין עצים עמוסים לכאלה בהם עומס היבול היה קל עמדו על כ-0.7 Mpa.

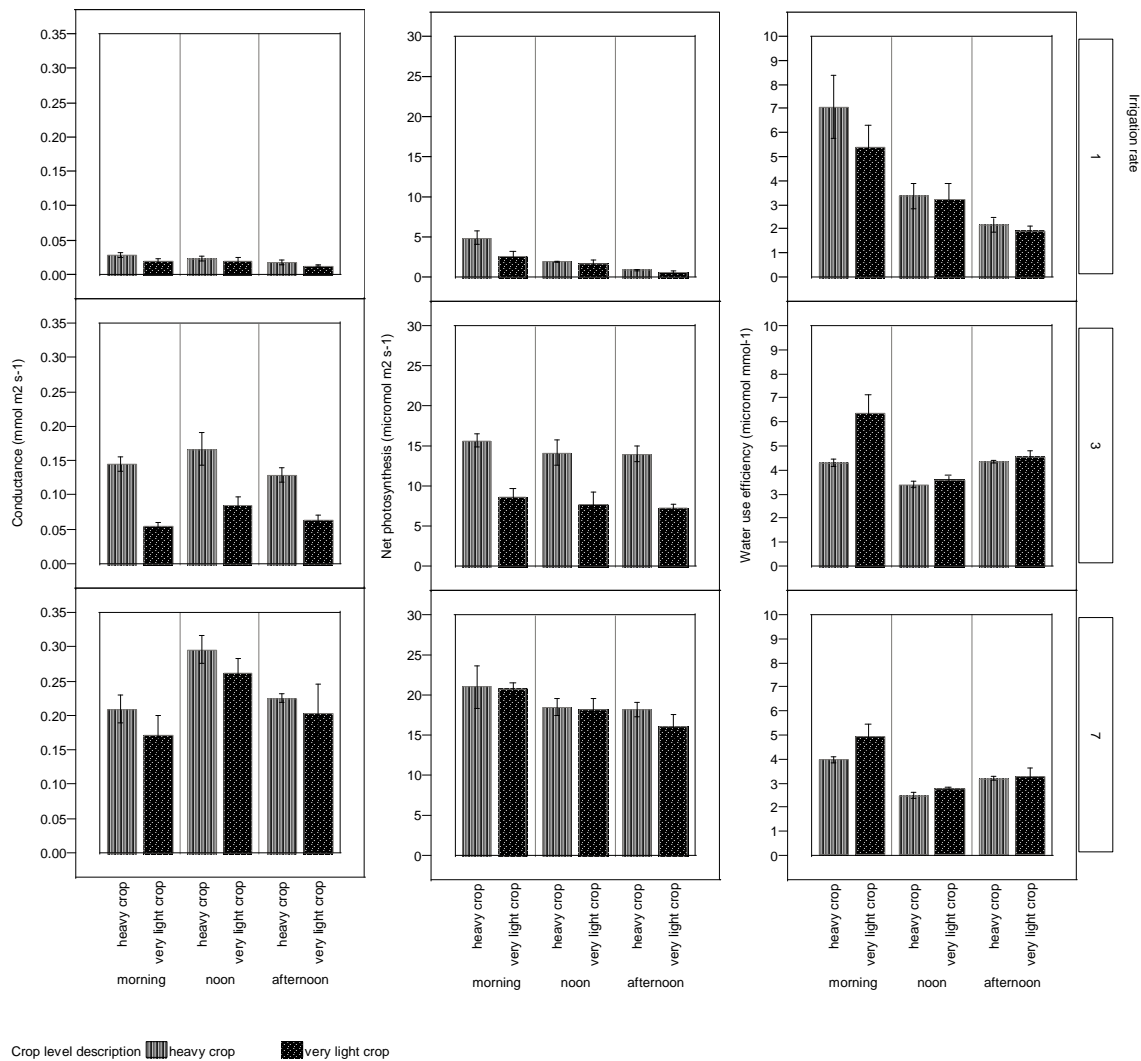
השפעת רמת ההשקיה ועומס היבול על מוליכות הפיוניות, הפוטוסינתזה ויעילות השימוש במים – מוליכות הפיוניות וקצב הפוטוסינתזה היו קשורים באורח חיובי לרמת ההשקיה. מוליכות הפיוניות היתה קשורה באורח חיובי לעומס היבול בכל רמות ההשקיה, אך קצב הפוטוסינתזה עלה עם העליה בעומס היבול רק בשני טיפולי ההשקיה הנמוכים (איור 2). בכל הטיפולים מוליכות הפיוניות הגבוהה ביותר נמדדה בצהרים, כנראה כביטוי לתנאים האטמוספריים (טמפרטורה גבוהה ולחות יחסית נמוכה). קצב הפוטוסינתזה הגבוה ביותר נמדד בכל הטיפולים בבוקר, כנראה עקב ריכוז הסוכרים הנמוך בעלים. עם זאת, יש לציין את ערכיהם הנמוכים מאד של שני מדדים אלה בטיפול ההשקיה הנמוכה. יעילות השימוש במים הרגיעית היתה גבוהה בשעות הבוקר בכל הטיפולים, הגיעה לשפל בצהרים ועלתה שוב אחר הצהרים בשני טיפולי ההשקיה הגבוהים. לעומת זאת בטיפול שנמצא בעקת מים חריפה המשיכה יעילות השימוש במים לרדת אחר הצהרים והגיעה לערכים הנמוכים ביותר בין עצי הניסוי.

ההפרש בין פוטנציאל המים שנמדד בעלים לבין זה שנמדד בגזע (איור 7) מייצג את הכח המניע לזרימת מים בעצה, והוא פרופורציונאלי לשיעור הטרנספירציה. בטיפול ההשקיה הנמוכה עמד הגרדיאנט של פוטנציאל המים על ערכים קרובים ל-0 בכל שעות היום, מה שעלול היה לגרום לסגירת הפיוניות, להתחממות העלים ולפגיעה במערכת הפוטוסינתטית שהתבטאה בירידה ביעילות השימוש במים, למרות עקת המים החריפה בה נמצאו העצים. השינויים היומיים בגרדיאנט פוטנציאל המים מלמדים על מידת העקה בה נמצאים העצים: שלושת הטיפולים בהם חלה ירידה הדרגתית בגרדיאנט במהלך היום (שני טיפולי העומס בטיפול ההשקיה הצמא ביותר והשילוב של השקיה בינונית ועומס יבול גבוה) היו שרויים בעקה שהתבטאה בפירות קטנים בעת הקטיפה. בעצים הנמצאים בעקת מים חמורה קצב ייצור המוטמעים נמוך מאד ואיננו מאפשר פיתוח גרדיאנט משמעותי של פוטנציאל מים. הירידה בגרדיאנט בעצים עמוסים עשויה לנבוע מירידה בתכולת הסוכרים המסיסים בעלים עם הזרמתם לפירות, שהם המבלע החזק ביותר בעץ בתקופת השנה בה נערך הניסוי. בעצים הנושאים עומס יבול נמוך, כמו גם באלה המושקים כל צרכם, נצברים מוטמעים בעלים במהלך היום ואלה מביאים לפוטנציאל אוסמוטי שלילי יותר

בעלים ולהגדלת גרדיאנט פוטנציאל המים לאורך העץ. אכן, שלושה טיפולים אלה הניבו את הפירות הגדולים ביותר בניסוי זה.



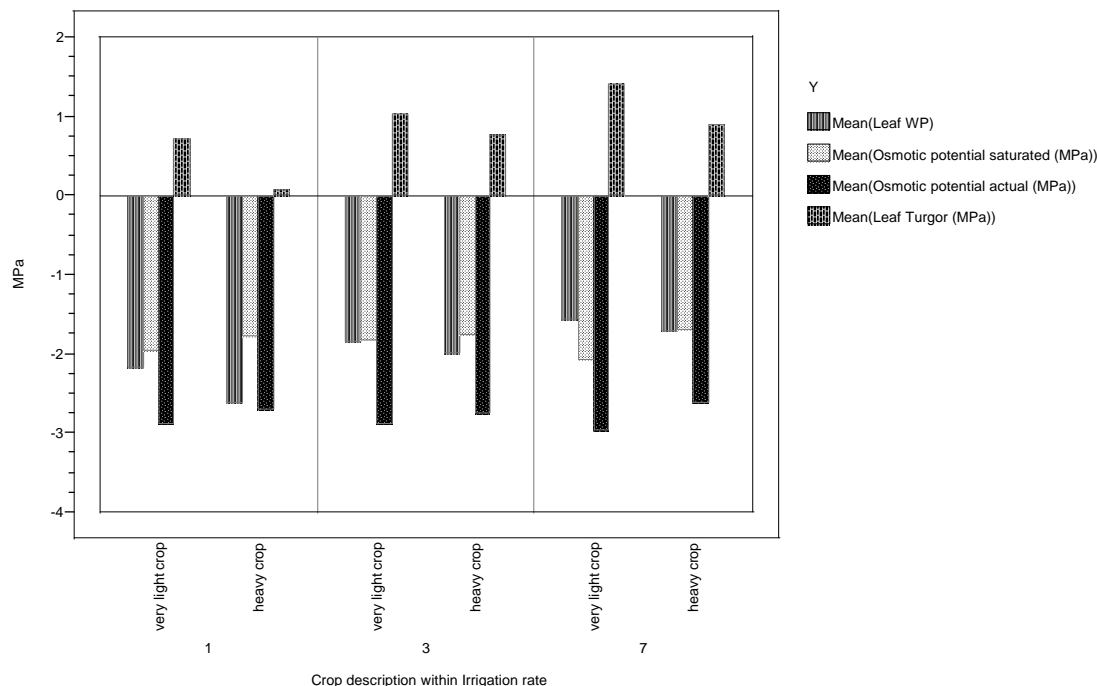
איור 7: עקומים יומיים של פוטנציאל המים בגזע, פוטנציאל המים בעלים וההפרש ביניהם בשלוש רמות השקיה ובשתי רמות של עומס יבול. כל מדידה מהווה ממוצע של שלושה עצים. הקווים המאונכים מייצגים שגיאות תקן.



איור 8: עקומים יומיים של מוליכות הפיוניות, קצב הפוטוסינתזה נטו ועילות השימוש במים הרגעית בשלוש רמות השקיה ובשתי רמות של עומס יבול. כל מדידה מהווה ממוצע של שלושה עצים. הקווים המאונכים מייצגים שגיאות תקן.

השפעת רמת ההשקיה ועומס היבול על הפוטנציאל האוסמוטי והטורגור בעלים – תוצאות משנים קודמות, בהן נמצאה רמה גבוהה של סורביטול בעלים בהשפעת עקת מים, העלו את ההשערה כי סוכר אלכוהול זה משמש בתהליכי התאמה אוסמוטית בעצי תפוח. על מנת לבחון השערה זו נמדד הפוטנציאל האוסמוטי בעלי העצים בהם נמדד פוטנציאל המים. הפוטנציאל האוסמוטי נמדד בעלים שהוקפאו בחנקן נוזלי מיד עם הסרתם מהעץ, על מנת להעריך את תרומתו לפוטנציאל המים בעלים וכן לאחר הרווית העלים במים מזוקקים, על מנת לנטרל את תכולת המים בעלים. תוצאות המדידות האלה מובאות באיור 9. מהתוצאות עולה כי רמת ההשקיה לא השפיעה כלל על תכולת המומסים בעלים (ולכן גם על הפוטנציאל האוסמוטי שלהם). לעומת זאת בכל טיפולי ההשקיה הפוטנציאל האוסמוטי של העלים שלילי מעט יותר בעצים העמוסים מאשר בעצים הנושאים יבול נמוך (ההבדל מובהק סטטיסטית רק בטיפול ההשקיה הגבוה). הטורגור הושפע הן מרמת ההשקיה והן מעומס היבול. הוא הגיע לערכים הגבוהים ביותר בשילוב שבין עומס יבול נמוך והשקיה מרובה, ולערך קרוב ל-0 בשילוב שבין עומס יבול גבוה

והשקיה נמוכה. הימצאותו של ריכוז מומסים דומה בעלי עצים המושקים כל צרכם ובעצים הנתונים במחסור חמור במים מלמד על כך שבעצים הנתונים בעקת מים שיעור המוטמעים הנותר בעלים מתוך סך המוטמעים שהם מייצרים גבוה בהרבה מאשר בעצים שאינם סובלים עקה כזאת (ראה גם שיעורי הפוטוסינתזה באיור 8).



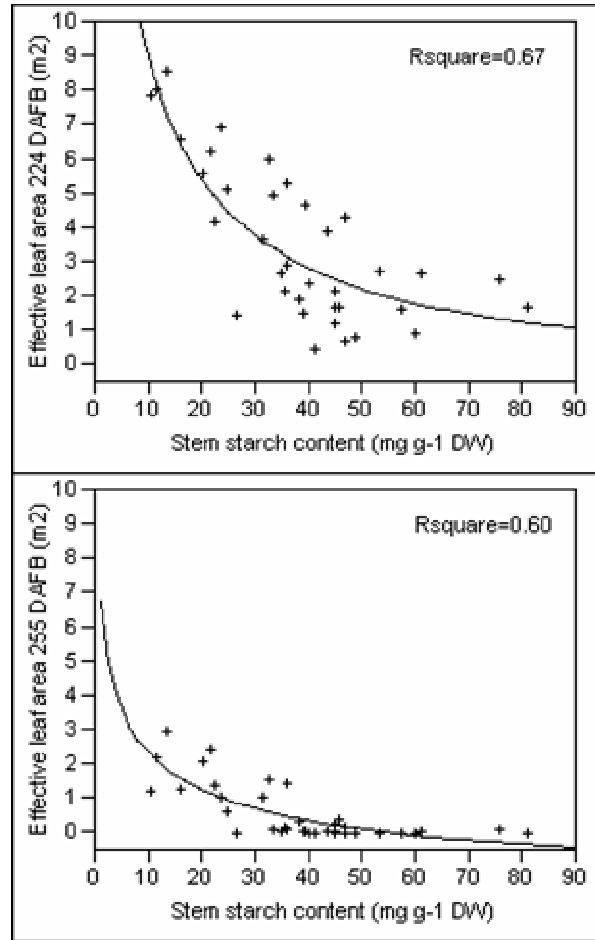
איור 9: השפעת רמת ההשקיה ועומס היבול על פוטנציאל המים בעלים, הפוטנציאל האוסמוטי האמיתי בעלים, הפוטנציאל האוסמוטי בעלים ברוויה והטורגור המחושב בעלים.

השפעת רמת ההשקיה ועומס היבול על נשירת העלים הסתויות – תצפיות שנעשו בשנים קודמות הראו כי עצים הנתונים בעקת מים מאחרים בכניסתם לתרדמה חורפית. בניסוי שנערך בעונת 2008 ערכנו מעקב אחר שטח העלווה הירוקה שנותר על העצים בסתיו ובראשית החורף. העצים שהשתתפו בניסוי צולמו בשני מועדים, 18 בנובמבר ו-19 בדצמבר. פותח אלגוריתם לסימון העלווה הירוקה בתצלומים ולהערכת שטחה: התצלומים חולקו לריבועים בשטח ידוע (5X5 ס"מ). לכל ריבוע כזה חושב הצבע הממוצע. נקבעו קריטריונים של גוון (hue angle), בהירות (value) ורווית הצבע (chroma) המייצגים עלווה ירוקה. לאחר מכן סומנו ריבועים אלה ונספרו (איור 10). בשני מועדי הבדיקה נמצא יחס הפוך בין שטח העלווה הירוקה לבין שיעור ההשקיה שניתן לעצים במשך העונה ($P < 0.001$). יש לציין כי ההשקיה בכל עצי הניסוי הופסקה כבר בסוף חודש אוקטובר, לאחר הצטברות של כ-30 מ"מ של גשם בחלקת הניסוי. עומס היבול לא השפיע על נשירת העלים, אף כי תכולת העמילן בעלים היתה קשורה לשטח העלווה הירוקה באורח הדוק יותר ($r^2 = 0.67$, 0.60 בנובמבר ובדצמבר, בהתאמה) מאשר שיעור ההשקיה בפני עצמו ($r^2 = 0.64$, 0.52 בנובמבר ובדצמבר, בהתאמה) – ראה איור 11. ממצאים אלה מעלים את ההשערה כי האיחור בכניסת העץ לתרדמה בהשפעת עקת מים קשור במחסור במוטמעים: הסתיו בישראל מאופיין בטמפרטורות נוחות, ביום ארוך יחסית לאורך היום בקווי רוחב צפוניים יותר ובארועי

גשם ספורדיים. תנאים אלה הינם קרובים למיטביים לקיומה של פוטוסינתזה נמרצת, המאפשרת מילוי, גם אם חלקי, של המחסור במוטמעים בעצים שסבלו מעקת מים במשך עונת הגידול. ואכן, במדידות פוטוסינתזה שנערכו בעלים ירוקים ב-18 בנובמבר נמצאו שיעורי הטמעה של 6-8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, המהווים כ-40% משיעורי ההטמעה המירביים שנמדדו בחודש יוני (הנתונים אינם מוצגים).

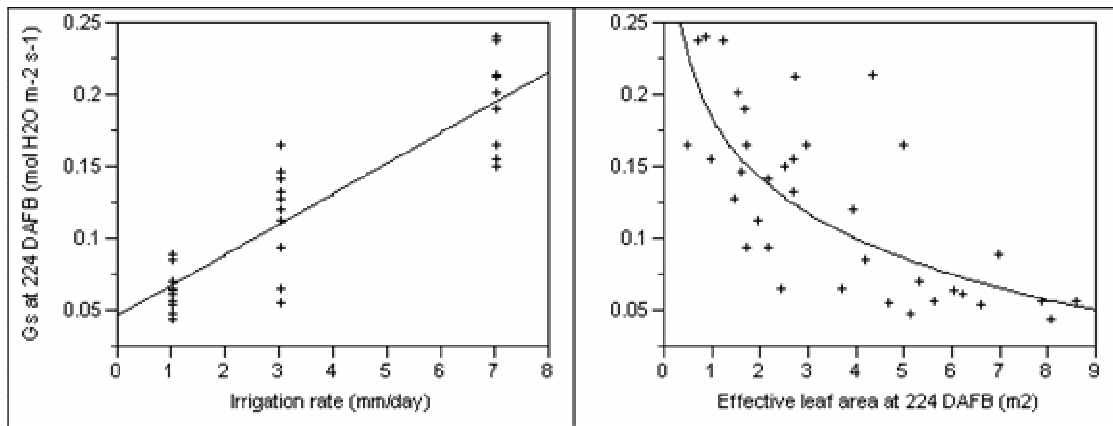


איור 10 : איתור העלווה הירוקה בתצלום של עץ. כל ריבוע בתצלום המעובד – שטחו 25 סמ"ר.



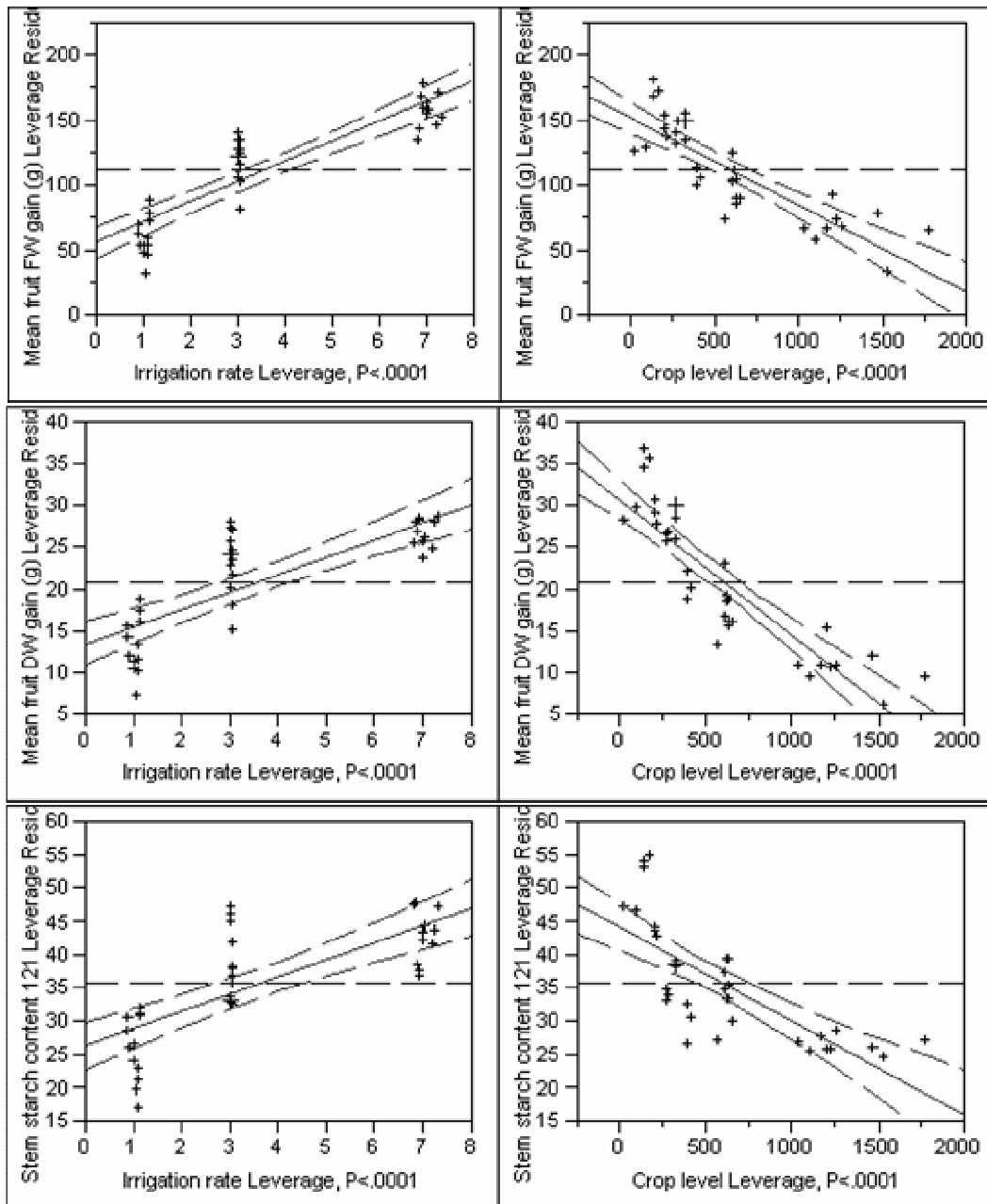
איור 11 : השפעת תכולת העמילן בענפים בסוף חודש ספטמבר על שטח היטל העלווה הירוקה לעץ באמצע נובמבר (למעלה) ובאמצע דצמבר (למטה).

יש לציין כי בעוד שיעור הפוטוסינתזה לא הושפע באורח מובהק משיעור ההשקיה, מוליכות הפיוניות נמצאה ביחס ישר לשיעור ההשקיה במהלך העונה וביחס ישר לשיעור העלווה הירוקה שנשא העץ באותו מועד (איור 12). הממצא האחרון מלמד על מגבלת מים לפוטוסינתזה אפילו בשלב מאוחר זה של העונה בעקבות ניצול יעיל של מי הגשמים ע"י העצים שסבלו עקה חריפה. בעצים אלה התקיים שיעור פוטוסינתזה של כ-7 מיקרומול CO₂ למטר בריבוע לשניה, שיעור דומה לזה שהושג במוליכות פיוניות דומה בחודש יוני (ראה שיעור ההשקיה הבינוני באיור 8). יש לשער כי זמינות מים גבוהה יותר בקרקע היתה מביאה לשיעורי פוטוסינתזה גבוהים אף יותר בעצים אלה. נתונים ראשוניים מראים כי הפיגור הגדול (למעלה מ-30 ימים) בכניסה לתרדמה גרם להתעוררות אביבית מאוחרת ולקויה בפקעים הווגטיביים של העצים שנחשפו לעקת מים חמורה בעונה הקודמת, בעקבות החורף החמים של עונת 2008-2009.

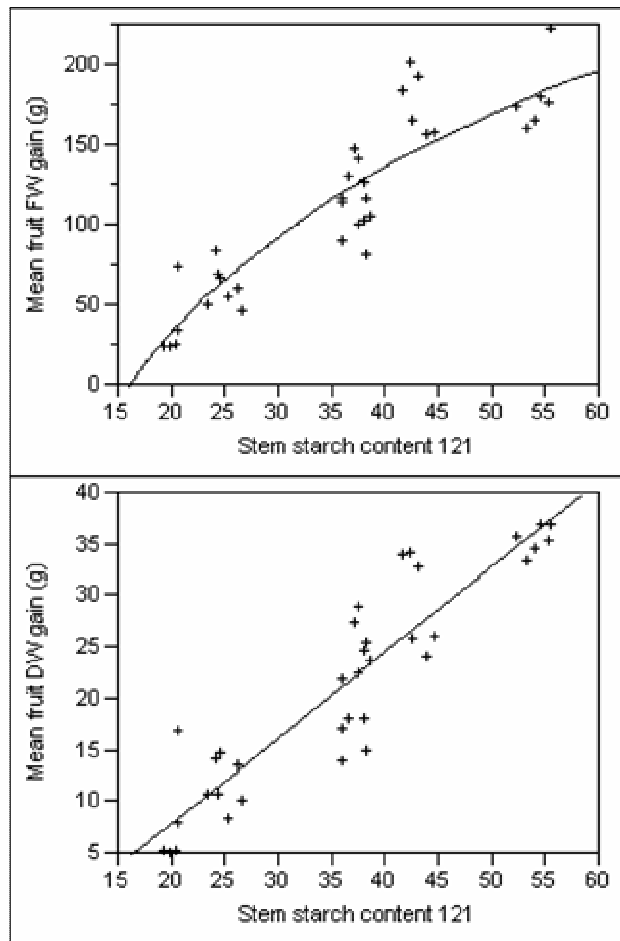


איור 12: השפעת שיעור ההשקיה במהלך העונה (משמאל) ושטח העלווה הירוקה (מימין) על מוליכות הפיוניות של העלווה הירוקה כפי שנמדדה בתאריך 18 בנובמבר. שני העקומים מובהקים ($P < 0.0001$).

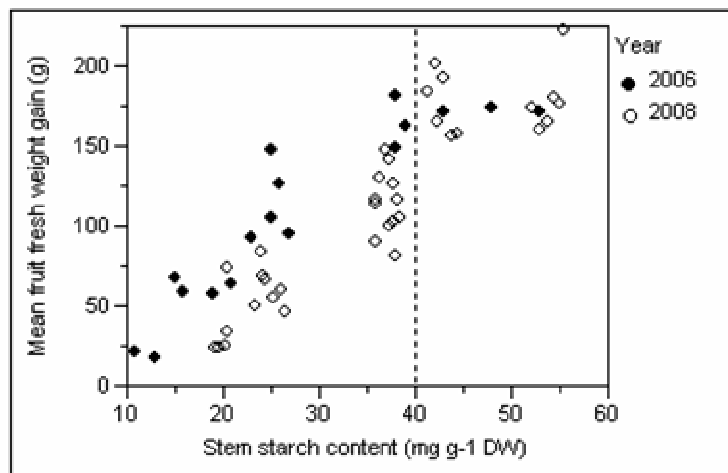
השפעת רמת ההשקיה ועומס היבול על משקל הפרי בקטיף – משקל הפרי הטרי והיבש בקטיף גדל עם העליה בשיעור ההשקיה היומית מ-1 ל-7 מ"מ, ועם הירידה במספר הפירות לעץ מכ-1500 ל-100 (איור 13). תכולת העמילן בענפים רב שנתיים בעץ הושפעה משיעור ההשקיה ומעומס היבול באורח דומה (איור 13). השפעות אלה היו כולן מובהקות מאד ($P < 0.0001$). ממצאים אלה מאששים תוצאות שנתקבלו בניסויים קודמים ומחזקים את ההשערה כי גודל הפרי הממוצע בעת הקטיף מושפע מזמינות המוטמעים בעץ. תכולת העמילן בענפים במהלך עונת הגידול אף עשויה לנבא את משקל הפרי בעת הקטיף (איור 14). עדויות תומכות לכך נתקבלו הן ב-2006 והן ב-2008. בשתי העונות נמצא כי משקל הפרי המירבי מתקבל כאשר תכולת העמילן בענפים עולה על 40 מ"ג לגרם משקל יבש (איור 15).



איור 13 : מודלים דו-גורמיים המתארים את השפעות שיעור ההשקיה היומי (מ"מ) ומספר הפירות לעץ על משקל הפרי הטרי הממוצע לעץ (גרם - למעלה), משקל הפרי היבש הממוצע לעץ (גרם - באמצע) ותכולת העמילן בענפים רב שנתיים כפי שנמדדה בראשית אוגוסט (מ"ג לגרם משקל יבש - למטה).



איור 14: השפעת תכולת העמילן בענפים רב שנתיים של עצי תפוח בני 17 שנים מהזן דלישס זהוב על משקל הפרי הטרי (למעלה) והיבש (למטה) הממוצע בעת הקטיף.



איור 15: השפעת תכולת העמילן בענפים רב שנתיים בעצי תפוח מבוגרים מהזן דלישס זהוב על משקל הפרי הטרי בקטיף בעונות 2006 (עיגולים מלאים) ו-2008 (עיגולים ריקים). הקו המאונך המקווקו מציין רמת עמילן של 40 מ"ג לגרם חומר יבש, מעליה לא חלה עליה במשקל הפרי הטרי.

Internal management of non-structural carbohydrate resources in apple leaves and stems under a broad range of sink and source capacity manipulations (submitted).
Shaul Naschitz, Amos Naor, Shani Genish, Shmuel Wolf and Eliezer E. Goldschmidt.

סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
לאפיין השפעות עקת חום, עקת מים ועומס יבול על נשירת חנטים בעצי תפוח צעירים ובוגרים.
עיקרי הניסויים והתוצאות.
טמפרטורה גבוהה והשקיה בחסר לאחר הפריחה השפיעו לרעה על שיעור החנטה. תכולת חומרי התשמורת הסוכריים בשלד העץ לאחר תום הפריחה נמצאה קשורה באורח חיובי עם שיעור החנטה ללא תלות בטמפרטורה. שיעור החומר היבש הנאגר בפרי מסך ייצור החומר היבש במהלך עונת גידול מלאה גדל עם העליה בשיעור ההשקיה. לעומת הפרי, שיעור צבירת החומר היבש בצימוח הווגטיבי היה פחות רגיש לשיעור ההשקיה והגיע לרמה עם אספקת מים לעצים בשיעור של 60% מצריכת המים הפוטנציאלית שלהם. עומס יבול גבוה השפיע לרעה על מאזן המים של העץ בעצי תפוח מבוגרים. עצים שנשאו יבול כבד הצטיינו במוליכות פיוניות גבוהה יחסית לאלה שנהנו מאותו שיעור השקיה ונשאו יבול קל. הם שמרו פוטנציאל מים שלילי יותר בגזע ובעלים ופוטנציאל אוסמוטי שלילי יותר בעלים. עצים שהיו נתונים בעקת מים במשך עונת הגידול, כניסתם לתרדמת החורף נדחתה באורח ניכר.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
שיעור החנטה של פירות התפוח מוגבל ע"י זמינות המוטמעים בעץ. בהשערה זו תומכים השפעתם המיטיבה של שיעור השקיה גבוה בראשית העונה ושל תכולת עמילן גבוהה בענפי העץ בראשית החנטה על שיעור החנטה. נראה כי הצימוח הווגטיבי נהנה מעדיפות בהפניית מוטמעים הנוצרים בעץ בראשית עונת הגידול ביחס לפרי. לטמפרטורה גבוהה במהלך החנטה השפעה שלילית ספציפית על שיעור החנטה, ללא תלות בתכולת חומרי התשמורת בשלד העץ. השילוב שבין מצב המים בו נמצא העץ במהלך עונת הגידול ובין עומס היבול שהוא נושא משפיע על זמינות המוטמעים לפרי הבודד יותר מאשר כל אחד משני הפרמטרים האלה בפני עצמו. עומס יבול כבד מגדיל את צריכת המים של העץ ע"י הפחתת פוטנציאל המים בגזע ובעלים כאחד. נראה כי כניסת העצים לתרדמת החורף בעונת הסתיו תלויה בהצטברות כמות מספקת של מוטמעים באברי העץ הרב שנתיים. דחייה של הכניסה לתרדמה עלולה לפגוע בפוריות העץ בעונות העוקבות. תכולת העמילן בענפים רב שנתיים במהלך הקיץ עשויה לשמש מדד חד ערכי לזמינות המוטמעים בעץ, וקשורה באופן הדוק לקצב גדילת הפירות. מטרות המחקר הושגו במלואן לגבי עצי תפוח צעירים, והושגו באופן חלקי לגבי עצים מבוגרים.
בעיות שנתרו לפתרון
צריך להמשיך לבחון את ההשפעות המורכבות של עומס היבול והממשק בעונה הקודמת ושל צפיפות הפריחה, תנאי האקלים וממשק ההשקיה והדילול בפריחה ובחנטה על שיעור החנטה. יש לבחון את ההשערה כי תכולת העמילן בענפים ובשורשים עשויה לנבא את שיעור החנטה.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי; פנטטים - יש לציין שם ומס' פטנט; הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.
לא נעשה כל פירסום של המחקר.
פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
<input type="checkbox"/>
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא -