

873

2004-2006

תקופת המחקר:

304-0285-06

קוד מחקר:

Subject: SAVING WATER BY PROTECTING BANANA PLANTATION WITH SHADE NETS: MICROCLIMATOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL EFFECTS

Principal investigator: Josef Tanny

Cooperative investigator: YAIR ISRAELI, SHMUEL MORESHET, AMNON SHWARTZ, COHEN SHABTAI, Shabtai Cohen, AVRAHAM GRAVA

Institute: Agricultural Research Organization (A.R.O)

שם המחקר: חסכון במים על ידי חיפוי מטע בננות ברשת צל: השפעות מיקרואקלימיות ופיזיולוגיות

חוקר ראשי: יוסף טנאי

חוקרים שותפים: יאיר ישראלי, שמואל מורשת, אמנון שורץ, שבתאי כהן, שבתאי כהן, אברהם גרווה

מוסד: מינהל המחקר החקלאי, ת.ד. 6 בית דגן 50250

תקציר

הצגת הבעיה: הבננה הוא ענף חקלאי חשוב בעמק-הירדן וסובב כנרת. מנת המים השנתית בעמק הירדן היא כיום כ-2200 מ"מ וניסיונות חוזרים ונשנים להקטין את המנה הראו ירידה (ליניארית) ביבול, איחור בפריחה וירידה באיכות הפרי. מטרת המחקר היא להגיע לצמצום משמעותי בתצרוכת המים על ידי חיפוי יחידות מטע גדולות ברשתות צל קלות. אנו מצפים שהרשת תפחית את עצמת הרוח, תנמיך את הטמפרטורה ביום, תגביר את הלחות היחסית ותקטין את הטרנספירציה.

מהלך ושיטות עבודה: בשלוש שנות המחקר נערכו מספר ניסויים במקביל. בחוות הניסיונות ב"צמח" נערך ניסוי מקיף בגידול בננות בבית רשת בו הונחגו, במשך כל תקופת המחקר, 4 מנות מים: 100% (= מנה מקובלת במטע חשוף), 85%, 70% ו-55%. נערך מעקב אחר מדדי פריחה ויבול. נמדדה זרימת המים בצמחים בשיטת גראנייה בכל רמות ההשקיה השונות וכן בצמחי בננה מחוץ לבית הרשת. בכל טיפול נמדדו עד 18 גזעולים, והרווח בר סמך של הממוצע היה כ-30%. נמדדו מוליכות פיוניות וקצב קיבוע פחמן בטיפולים ברמות ההשקיה הקיצוניות. נמדדה התאדות מגיגית בתוך ומחוץ לבית הרשת, פותח מודל לחישוב האופוטורנספירציה במטע על בסיס נוסחת פנמן סטנדרטית בתוספת פונקציות המתארות את השינויים בגורמים הסביבתיים עקב החיפוי ונערך ניתוח רגישות. במטעי בננה מסחריים מחופים של הקיבוצים דגניה ב' ועין גב נערכו ניסויים למדידת האופוטורנספירציה בשיטת קורלצית הערבולים.

תוצאות עיקריות: במדידות צריכת מים בשיטת "גראנייה" שנערכו במשך שני קיצים לא נמצאו הבדלים מובהקים בקצב זרימת המים בצמח במנות המים השונות. צריכת המים שנמדדה בבית הרשת הייתה פחות מהצריכה שנמדדה בצמחים לא מחופים, אבל ההבדל, שהסתכם בפחות מ-20%, לא היה מובהק. ניתוח רגישות של מודל אופוטורנספירציה פוטנציאלית (PET) הראה כי הירידה בקרינה ובמהירות הרוח גרמו, במשולב, לירידה ב-PET בהשוואה למטע החשוף. מדידות אופוטורנספירציה בשיטת קורלציית הערבולים במטעים מסחריים בהשקיה אחידה הראו שטף אדי מים יומי שנמצא בהתאמה עם רמת ההשקיה במטע ושהיה נמוך ב-35% מאופוטורנספירציה פוטנציאלית מחוץ לבית הרשת. תנועת הרוח בתוך בית הרשת מעל הצמחים התנהגה בקרוב לפי המודל הלוגריתמי. הפחתה של מנת המים מהמנה המקובלת בעמק הירדן (כ-2200 מ"מ בשנה) ב-

30% (ל- 1500-1600 מ"מ) לא גרמה לפיגור בפריחה, לא הפחיתה את היבול ולא פגעה בגודל הפרי. בהפחתת המנה ב- 45% (עד ל- 1200 מ"מ בשנה) נמצאה פגיעה מסוימת: פחיתה ביבול ב- 300-500 ק"ג לדונם לשנה ופחיתה במשקל האשכול ב- 2-3 ק"ג. כמו כן נרשמה פחיתה בגובה האמהות בפריחה ורמז לפגיעה במידות הפרי. מוליכות הפיוניות של העצים במטע המחופה הייתה באופן מובהק גבוה מאשר במטע החשוף. מכלול תנאי הגידול תחת הרשת לא הביאו לשינוי כלשהו במערכת הפוטוסינתטית של העלה והפוטנציאל הפוטוסינתטי של העלים לא השתנה גם כאשר מנת המים הופחתה ל-55% מהמנה המקובלת.

מסקנות: בטווח הקצר נראה שאין השפעה שלילית להפחתת רמת ההשקיה ב- 30% על תפקוד ויצור הבננה המחופה ברשת.

פרסומים שנבעו מהמחקר:

מאמר שפורסם בכתב עת מדעי בינלאומי:

Tanny, J., Haijun, L. and Cohen S., Airflow characteristics, energy balance and eddy covariance measurements in a banana screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139, 105-118, 2006.

שני מאמרים שהוצגו בכנסים ופורסמו ב- ACTA HORTICULTURAE:

Tanny, J., Cohen, S., Elmowitz, D., Grava, A. and Haijun, L., Measuring and predicting evapotranspiration in a banana screenhouse. *Acta Horticulturae*, 718, pp. 539-545.

J. Tanny, S. Cohen, A. Grava and L. Haijun, Airflow and turbulence in a banana screenhouse. *Acta Horticulturae*, 719, pp. 623-630.

תקציר של הרצאה שהוצגה בכנס:

Tanny, J., Haijun, L. and Cohen, S., Energy balance closure and application of the eddy covariance technique in a banana screenhouse. Presented at the EGU General Assembly, Vienna, April 2006.

חסכון במים על ידי חיפוי מטע בננות ברשת צל:

השפעות מיקרואקלימיות ופיזיולוגיות

**Saving water by protecting banana plantation with shade nets:
microclimatological and physiological effects**

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

יוסף טנאי	המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי.
יאיר ישראלי	צמח ניסיונות, מרכז אזורי למחקר חקלאי.
שבתאי כהן	המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי.
אמנון שוורץ	הפקולטה למדעי החקלאות, האוניברסיטה העברית ירושלים.
שמואל מורשת	המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי.
אברהם גרוה	המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי.

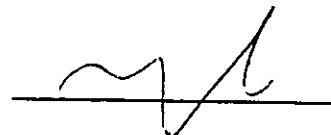
Josef Tanny, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, ARO, Volcani Center, P.O.B. 6,
tanai@volcani.agri.gov.il Bet Dagan 50250. Email:
Yair Israeli, Regional Center for Agricultural Research, Zemach 15132. Email:
jvban@kinneret.co.il
Shabtai Cohen, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, ARO, Volcani Center, P.O.B.
vwshep@volcani.agri.gov.il 6, Bet Dagan 50250. Email:
Amnon Shewartz, Faculty of Agricultural Sciences, The Hebrew University Jerusalem, P.O.B. 12,
schwartz@agri.huji.ac.il Rehovot 76100. Email:
Samuel Moreshet, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, ARO, Volcani Center,
mulu@agri.gov.il P.O.B. 6, Bet Dagan 50250. Email:
Avraham Grava, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, ARO, Volcani Center,
P.O.B. 6, Bet Dagan 50250.

אפריל 2007

ניסן תשס"ז

הממצאים בדו"ח זה הנם תוצאות ניסויים.

הממצאים אינם מהווים המלצות לחקלאים.

חתימת החוקר: 

תקציר

הצגת הבעיה: הבננה הוא ענף חקלאי חשוב בעמק-הירדן וסובב כנרת. מנת המים השנתית בעמק הירדן היא כיום כ-2200 מ"מ וניסיונות חוזרים ונשנים להקטין את המנה הראו ירידה (ליניארית) ביבול, איחור בפריחה וירידה באיכות הפרי. מטרת המחקר היא להגיע לצמצום משמעותי בתצרוכת המים על ידי חיפוי יחידות מטע גדולות ברשתות צל קלות. אנו מצפים שהרשת תפחית את עצמת הרוח, תנמיך את הטמפרטורה ביום, תגביר את הלחות היחסית ותקטין את הטרנספירציה.

מהלך ושיטות עבודה: בשלוש שנות המחקר נערכו מספר ניסויים במקביל. בחוות הניסיונות ב"צמח" נערך ניסוי מקיף בגידול בנות בבית רשת בו הונהגו, במשך כל תקופת המחקר, 4 מנות מים: 100% (= מנה מקובלת במטע חשוף), 85%, 70% ו-55%. נערך מעקב אחר מדדי פריחה ויבול. נמדדה זרימת המים בצמחים בשיטת גראנייה בכל רמות ההשקיה השונות וכן בצמחי בננה מחוץ לבית הרשת. בכל טיפול נמדדו עד 18 גזעולים, והרווח בר סמך של הממוצע היה כ-30%. נמדדו מוליכות פיוניות וקצב קיבוע פחמן בטיפולים ברמות ההשקיה הקיצוניות. נמדדה התאדות מגיית בתוך ומחוץ לבית הרשת, פותח מודל לחישוב האופוטורנספירציה במטע על בסיס נוסחת פנמן סטנדרטית בתוספת פונקציות המתארות את השינויים בגורמים הסביבתיים עקב החיפוי ונערך ניתוח רגישות. במטעי בננה מסחריים מחופים של הקיבוצים דגניה ב' ועין גב נערכו ניסויים למדידת האופוטורנספירציה בשיטת קורלצית הערבולים.

תוצאות עיקריות: במדידות צריכת מים בשיטת "גראנייה" שנערכו במשך שני קיצים לא נמצאו הבדלים מובהקים בקצב זרימת המים בצמח במנות המים השונות. צריכת המים שנמדדה בבית הרשת הייתה פחות מהצריכה שנמדדה בצמחים לא מחופים, אבל ההבדל, שהסתכם בפחות מ-20%, לא היה מובהק. ניתוח רגישות של מודל אופוטורנספירציה פוטנציאלית (PET) הראה כי הירידה בקרינה ובמהירות הרוח גרמו, במשולב, לירידה ב-PET בהשוואה למטע החשוף. מדידות אופוטורנספירציה בשיטת קורלצית הערבולים במטעים מסחריים בהשקיה אחידה הראו שטף אדי מים יומי שנמצא בהתאמה עם רמת ההשקיה במטע ושהיה נמוך ב-35% מאופוטורנספירציה פוטנציאלית מחוץ לבית הרשת. תנועת הרוח בתוך בית הרשת מעל הצמחים התנהגה בקרוב לפי המודל הלוגריתמי. הפחתה של מנת המים מהמנה המקובלת בעמק הירדן (כ-2200 מ"מ בשנה) ב-30% (ל-1600 מ"מ) לא גרמה לפיגור בפריחה, לא הפחיתה את היבול ולא פגעה בגודל הפרי. בהפחתת המנה ב-45% (עד ל-1200 מ"מ בשנה) נמצאה פגיעה מסוימת: פחיתה ביבול ב-300-500 ק"ג לדונם לשנה ופחיתה במשקל האשכול ב-2-3 ק"ג. כמו כן נרשמה פחיתה בגובה האמהות בפריחה ורמז לפגיעה במידות הפרי. מוליכות הפיוניות של העצים במטע המחופה הייתה באופן מובהק גבוה מאשר במטע החשוף. מכלול תנאי הגידול תחת הרשת לא הביאו לשינוי כלשהו במערכת הפוטוסינתטית של העלה והפוטנציאל הפוטוסינתטי של העלים לא השתנה גם כאשר מנת המים הופחתה ל-55% מהמנה המקובלת.

מסקנות: בטווח הקצר נראה שאין השפעה שלילית להפחתת רמת ההשקיה ב-30% על תפקוד ויצור הבננה המחופה ברשת.

מבוא – רקע מדעי ומטרות המחקר אזור בקעת כנרת ועמק-הירדן מייצר כשליש עד מחצית מהיבול הארצי של הבננה. אולם גידול זה צורך כמויות גדולות של מים. בניסויים רבים נמצא שלא ניתן לרדת בהשקיית בנות בעמח"י מתחת למנה של כ-2200 מ"מ לשנה בלא לפגוע באופן משמעותי ביבול, באיכות הפרי ובאורך חיי המטע. במחקרים מוקדמים בשנות ה-50 נמצא שלרוח השכיחה באזור זה השפעה מכרעת על הגברת הטרנספירציה והגדלת תצרוכת המים. במחקרים שנעשו בבנות בארץ ובחו"ל הוכח שקריעת טרף העלה כשלעצמה פוגעת

בייצור הפוטוסינתטי, ביבול ובאיכות הפרי. יש לכן בסיס להיפותזה שהגנת רוח יעילה תקטין את הדיות, תשמור על שלמות העלים ותאפשר חיסכון ניכר במנת המים.

הרעיון הנבחן במחקר זה הוא להגן על המטע על ידי פרישת רשת קלה ובהירה מעל נוף הצמחים. חיפוי ברשת יקטין כמובן, את שטף הקרינה הפוטוסינתטית המגיעה אל העלים ולהגבלת הקרינה עלול להיות אפקט שלילי. אולם במצב של טמפרטורה גבוהה ולחות יחסית נמוכה בשעות הצהריים בקיץ עשויה הגבלת הקרינה להקל על עומס החום. נראה לכן שחיפוי המטע ברשת צל בהירה העוצרת כ-15% מן הקרינה בלבד ומעבירה חלק מהקרינה כאור דיפוזי, עשוי בסופו של דבר להביא תועלת ולאפשר חיסכון במים.

לחיפוי ברשת יש גם השפעה משמעותית ביותר על המיקרואקלים בסביבת הנוף שגם לו השפעה על צריכת המים. במחקר שנערך לאחרונה על השפעת רשת צל על הדריס, נמצא כי רשת צל אופקית קטנה, באורך של 9 מטר בלבד הפחיתה את עצמת הרוח בתוך הנוף בשיעור של כ-40% בהשוואה לנוף דומה ללא רשת. תכנית המחקר התמקדה בנושאים הבאים:

- א. לימוד ההשפעה של חיפוי מטע בננות ברשת צל על צריכת המים, חילוף הגזים והפוטנציאל הפוטוסינתטי.
 - ב. לימוד השפעת רשת צל על המיקרואקלים ועל התכונות האווירודינמיות של שכבת הגבול.
 - ג. השפעת רשתות הצל על הפריחה, התכונות הוגטיביות, היבול ואיכות הפרי לאורך זמן במשטרי השקיה שונים.
- המחקר כלל:**

- א. ביצוע ניסויים בבית רשת בעמק הירדן בהשקיה במנות מים שונות. מדידות של התאידות מגיגה, קרינה, רוח, מיקרואקלים, מהלך הפריחה, היבול, תכונות הפרי וחילוף הגזים תוך השוואת חלק מהנתונים לחלקת בקורת שכנה ללא חיפוי.
- ב. פיתוח, כיול והפעלת מערכת דיסיפציה החום ("גראניה") למדידת ספיקת המים בעיקר (Corm) הבננה.
- ג. מדידות אוופטרנספירציה במטע בננה מסחרי מחופה בהשקיה אחידה ואימות ע"י בחינת מאזן האנרגיה.

פירוט הניסויים שבוצעו והתוצאות

א. ניסויים בחוות ניסיונות "צמח"

חומרים ושיטות: הניסוי בחוות הניסיונות "צמח" בוצע בתוכנית של גושים באקראי, ארבעה טיפולים (מנת מים של 100%, 85%, 70% ו-55% מהמנה במטע פתוח) ב-6 חזרות. מרווחי הנטיעה 2.8×4.2 מ', 85 בתים לדונם (170 שתילים לדונם בנטיעה של שניים לבית). בכל חזרה שתי שורות ובהן 10 בתים, מהם נמדדים ה-8 הפנימיים, וסה"כ 16 בתים (32 אשכולות) לחזרה. החלקה נטעה ב-28/8/03 בשתילים שגודלו במעבדת צמח ובמשתלה בחוות הבנות. בחודש דצמבר 2004 (בלילה שבין ה-16 ל-17 לחודש) התרחש בעמק הירדן אירוע קרה שבו ירדה הטמפרטורה במדחום הסמוך לפני הקרקע ל- -2.7°C ובסוכה המטאורולוגית ל- 0.2°C . לבנות נגרם נזק משמעותי הכולל קפיאה ולאחר מכן נקרזה של טרף עלים חשופים לרקיע. הנזק שנגרם בבית הרשת היה דומה לנזק במטע הפתוח, אולם המטע התאושש ולא הייתה פגיעה בהתנהלות הניסוי.

מחצית מהחלקה כוסתה ברשת קריסטל (13%) מתוצרת "מטאור" (רשת ארוגה) והמחצית השנייה ברשת תוצרת "פולישק" ניר יצחק (רשת סרוגה 17%). ההשוואה בין הרשתות הייתה בחזקת תצפית. החלקה נטעה בקלונים ג"נ 26 וג"נ 44 לפי גושים, לסירוגין, והתאפשרה גם השוואה בין הקלונים (ב-3 חזרות). בשורות הגבול נטעו מעט שתילי "זליג" ו-"גלי". בשלוש השנים בוצע מעקב מלא אחר מהלך ההתפתחות וההנבה של הבנות בבית הרשת.

פוחתה ויושמה מערכת "גראניה" (דיסיפצית חום) שמאפשרת מדידה ישירה של צריכת המים בבננה. השיטה מבוססת על הצבת שני מדידי טמפרטורה בתוך ה"עיקר" (core) של צמח הבננה כאשר אחד מהם גם מחומם. הפרש הטמפרטורה בין שני המדידים יחסי לקצב זרימת המים. לדוגמה, בבננה, כאשר אין זרימה של מים, מדדנו הפרש טמפרטורה בין החיישנים של כ- 10 מ"צ. ככל שהזרימה גדלה היא גורמת לקירור החיישן המחומם והפרש הטמפרטורות יורד. יתרונה של שיטת גראניה הוא ביכולתה למדוד זרימה במקרים של זרימה שאינה חד-כוונית. לכן היא מתאימה ליישום בצמח הבננה.

במטע הותקנו מכשירים לרישום הטמפרטורה והלחות היחסית באוויר (תוצרת מיקרולב, ארה"ב), וטנסיומטרים אלקטרוניים בקריאה רציפה, תוצרת "מוטס", שתי תחנות מדידה לכל טיפול השקיה בעומק 20 ו- 40 ס"מ ובמרחק 20 ס"מ מהטפטפת. בטיפולים א' ו-ד' הותקנו על ידי חברת "נטפים" ובאדיבותה גם רגשי רטיבות נפחית וטנסיומטרים אלקטרוניים הקשורים למערכת שידור רדיו. הותקן מד רוח מדגם וולפלי בגובה 5 מ' אשר מודד את דרך הרוח בבית הרשת בהשוואה למטע סמוך שאינו מכוסה ברשת.

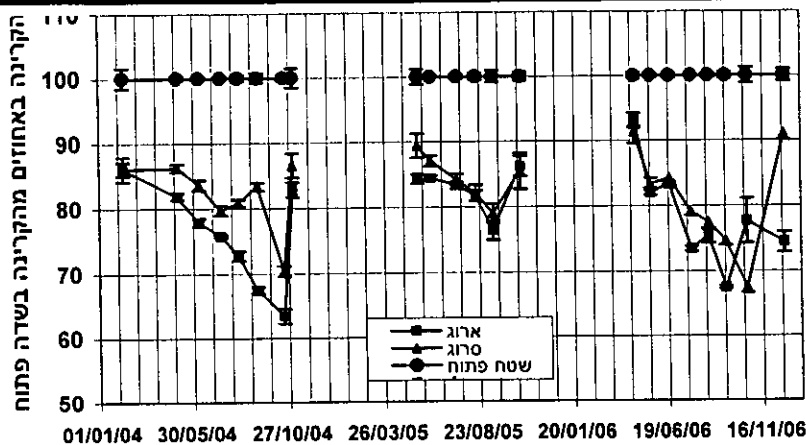
בבית הרשת הותקנה גיגית התאיידות בגובה 4 מ', וניתן להשוות את ההתאיידות מגיגית זו להתאיידות מגיגית הנמצאת מחוץ לבית הרשת (בשטח פתוח) בגובה דומה (3 מ'). בסמוך לגיגית הותקנה תחנה מטאורולוגית שכללה מד טמפרטורה ולחות מדויק, מד קרינת שמש גלובלית ומפוזרת, מד קרינה נטו מעל לגיגית, ומהירות רוח.

היחס בין קצב קיבוע הפחמן (A) לבין ריכוז ה- CO_2 הפנימי (Ci) השורר בחללים הבין תאיים של העלה וכן מדי הפלורסנציה של כלורופיל a הם אמצעי יעיל להערכת ההשפעה של תנאי הסביבה על הביטוי של הפוטנציאל הפוטוסינתטי. המדידות נערכו בעצים מחלקת הביקורת שזכתה למנת מים זהה לזו של מטע בלתי מחופה ובחלקת הטיפול שזכתה למנת השקיה בגובה של 55% מהביקורת. רגישות המערכת הפוטוסינתטית ומוליכות הפיוניות להתפתחות תנאי עקת יובש נבחנה במטע המחופה בניסוי שנערך בקיץ 2006. ההנחה שעמדה בבסיס הניסוי הייתה שקצב התייבשות הקרקע תחת חיפוי הרשת איטי מאשר במטע החשוף ועל כן גם עקת היובש תתפתח בקצב נמוך יותר.

תוצאות מחוות הניסיונות ב"צמח"

קרינה:

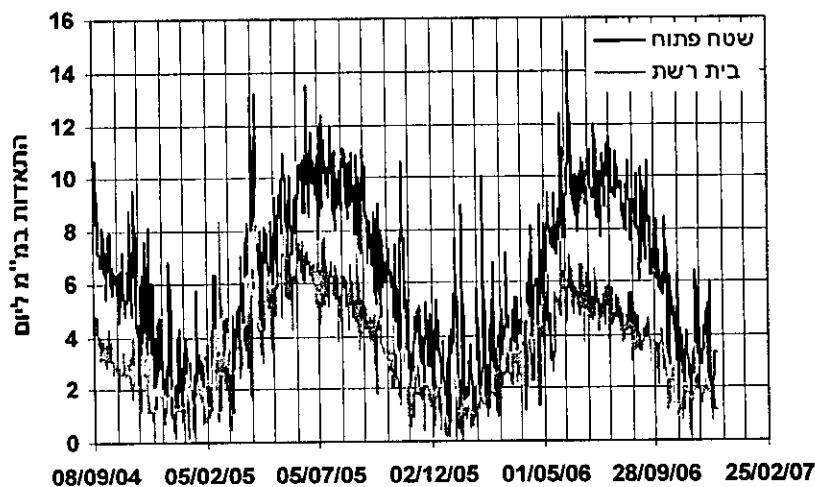
הקרינה בבית הרשת פחתה בהדרגה, במהלך העונה, עם הצטברות אבק על הרשת (איור 1). שיעור ההצללה ההתחלתי היה כ-15%, בשני סוגי הרשתות, והוא עלה בהדרגה עד ל-30% ברשת הסרוגה ו-37% ברשת הארוגה ב-19/10/04. ב-29/10/04 ירדו 21.4 מ"מ גשם, כמות שהספיקה להחזיר את הרשתות לערכים קרובים מאוד למצב ההתחלתי (17% ו-13% אחוזי צל). במהלך קיץ 2005 הצטבר פחות אבק על הרשת, ההצללה הגיעה ל-24% בלבד בשיא הקיץ ושבה לערכים של כ-15% בחודש אוקטובר עם הגשם הקל הראשון. במהלך קיץ 2006 שוב הצטבר אבק רב וההצללה הגיעה לערכים העולים על 30% (ודומים בשני סוגי הרשתות) בסוף הקיץ. הגשם המוקדם, שירד ב-22/10/06, ניקה טוב יותר את הרשת הסרוגה.



איור 1- השתנות הקרינה בבית הרשת מבוטאת באחוזים מהקרינה בשדה פתוח בשנת 2004-2006. המדידה נעשתה באמצעות רגש קוונטום Li 190 שהוצב בקצה מוט בגובה 5 מ' ואוזן באמצעות פלס. כל נקודה בגרף היא ממוצע של 6 קריאות ($\pm SE$).

התאידות מגיית:

ההבדל בהתאידות בבית הרשת (בגובה 4 מ') ובשטח פתוח (בגובה 3 מ') היה משמעותי ביותר. ההבדל בלט במיוחד בחודשי ההשקיה המרכזיים, מאי-נובמבר בהם ההתאידות בבית הרשת הייתה 56% (בממוצע) מההתאידות בשטח פתוח, דומה מאוד להבדל במהירות הרוח (בחודשים מאי-נובמבר 2005 ההתאידות בבית הרשת הייתה 59.5% מההתאידות במטע חשוף; בשנת 2006 באותם חודשים 52.4%) בחודשי החורף הפרשים היו קטנים יותר (איור 2).



איור 2 - התאידות מגיית בבית רשת בגובה הנוף (כ- 4 מ') ובשטח פתוח (3 מ').

מנות המים ורטיבות הקרקע:

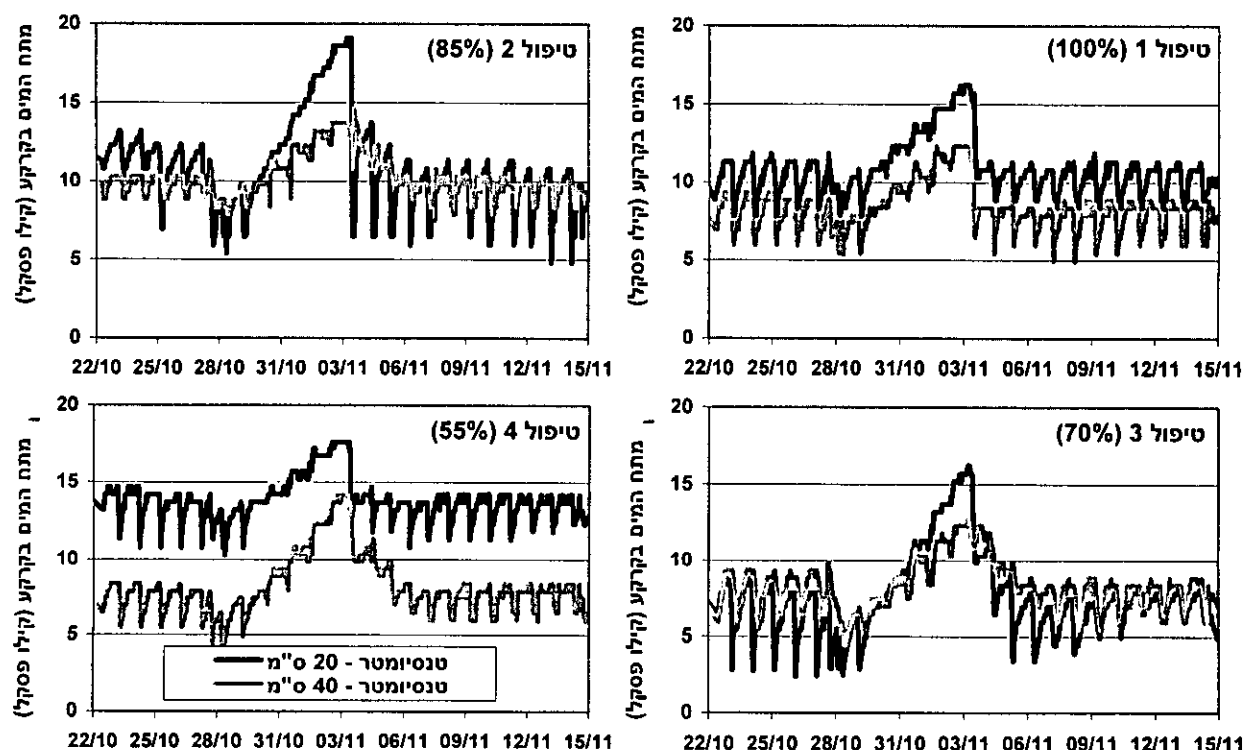
ההשקיה בחלקה נוהלה על פי המדיניות שנקבעה מראש. טיפול אי קיבל מנת מים מלאה, כמקובל בהשקיית בננות בעמק הירדן. המנה מתבססת על השינויים העונתיים בתצורות המים כפי שנמדדו במשך כ-10 שנים בליזימטר עודפים, בתוספת מנת מים להדחת מלחים תוך מעקב והתחשבות באירועי שרב וערכי התאידות חריגים. הטיפולים האחרים קיבלו מנה מופחתת כמתוכנן (טבלה 1).

2006 (מרץ-נובמבר)		2005 (מרץ-אוקטובר)		2004 (אפריל-נובמבר)		טיפול
מנה ב- % מטיפול	מנה במ"מ	מנה ב- % מטיפול	מנה במ"מ	מנה ב- % מטיפול	מנה במ"מ	
100	2194	100	2159	100	2232	א'
86	1887	83	1787	80	1794	ב'
72	1574	71	1537	73	1688	ג'
55	1213	55	1190	54	1251	ד'

טבלה 1 - המנה השנתית שנתנה בפועל, בחודשים אפריל-נובמבר 2004, מרץ-אוקטובר 2005 ומרץ-נובמבר 2006.

המנה שניתנה בפועל קרובה למדי לטיפולים המתוכננים (70, 85, 100 ו-55%). יש לציין שהמנה המלאה, כ- 2200 מ"מ לשנה, נחשבת למנה "חסכונית" בהשקיית בננות (בשטח פתוח) בעמק הירדן. מעקב אחר רטיבות הקרקע ואחר מתח המים בקרקע הראה שבמנה הגבוהה נשמרה כל השנה רטיבות גבוהה והמתח היה נמוך מ-12 קילו-פסקל בחודשים יולי ואוגוסט; ואילו במנת המים הנמוכה נרשמה רטיבות נמוכה יותר וערכי המתח עלו מעל 20 קילו-פסקל במקרים רבים. היינו: הירידה במנת המים התבטאה למעשה בירידה ברטיבות הקרקע ועלייה במתח המים בקרקע באזור בית השורשים הפעיל. במנת המים המקובלת בהשקיית הבננות בעמק הירדן נשמר מתח נמוך של מים בקרקע בחודשי הקיץ העיקריים, יולי עד אוגוסט, והבננה גדלה בתנאי אספקת מים אופטימאליים. ערכי מתח גבוהים יותר נרשמו באביב ובסתיו, משום שבתקופות אלו ההשקיה אינה רציפה. במנת המים הנמוכה נרשמו כצפוי ערכי מתח גבוהים, הרבה מעבר למקובל בבננות בעמק הירדן.

דוגמא הממחישה את השינויים במתח המים בקרקע מייד עם הגשם הראשון (27/10/06) ניתנת באיור 3.



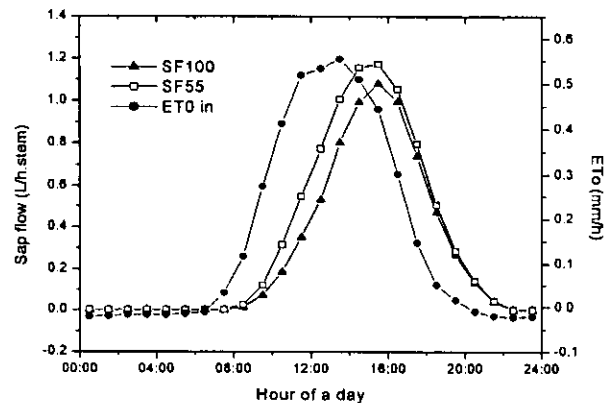
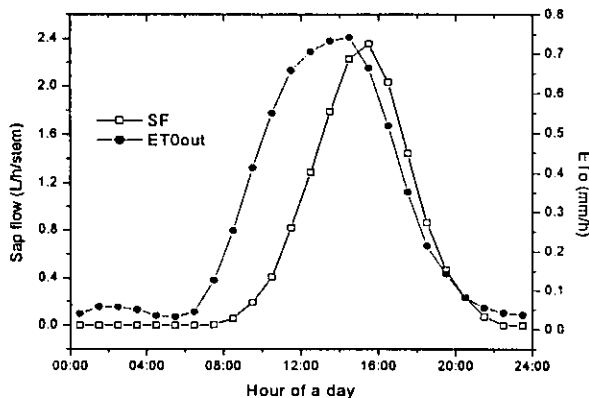
איור 3 - השתנות מתח המים בקרקע בבית הרשת במשטר של השקיה מלאה (100%) ובמנות פוחתות עד ל- 55% מהמנה המלאה, עם רדת הגשם הראשון בסתיו (27/10/06, 13.0 מ"מ גשם).

באיור 3 נראה כי במנת המים המלאה (טיפול 1) הרטיבות בסוף אוגוסט הייתה גבוהה (המתח נמוך) הגשם גרם לירידה קלה במתח המים, אולם עם הפסקת ההשקיה לאחר הגשם הראשון עלה מאוד המתח והגיע ל- 16 ק"פ לאחר 5 ימים. עם חידוש ההשקיה חזר המתח לערכיו הקודמים. במנת המים הנמוכה (טיפול 4) המתח היה גבוה (בעיקר בעומק 20 ס"מ) במהלך אוגוסט כולו. עם הגשם הראשון ירד המתח זמנית אולם חזר ועלה לערכים ההתחלתיים בתוך מספר ימים לא רק בעומק 20 ס"מ אלא גם בעומק 40 ס"מ. במנת המים המלאה (העודפת, למעשה) בתנאי בית רשת (טיפול 1) השינויים במתח במהלך היממה הם קטנים, והמתח נשמר מתחת ל- 13 ק"פ. השינויים היומיים במתח קטנים במיוחד בעומק 40 ס"מ.

פותח גשש המורכב ממחט של מזרק המלוּפף בחוט קונסטנטן לפי מפרט טכני שהועבר אלינו ע"י פרופ' רם אורן מאוניברסיטת DUKE בארה"ב. לאחר מספר ניסויים הגענו לקונפיגורציה המתאימה למדידה בצמחי בננה. בנוסף, על מנת להפעיל את המערכות בשטח, פותחו וניבנו מעגלים אלקטרוניים להתמרת זרם חילופי מ-AC V24 ל-DC V12 ומעגלי מיתוג להפסקת המערכות בלילה ע"מ למנוע ירידת מתח במצברים. נעשו שני ניסויים עם המערכת בשנה השנייה (2005). בראשון, הושתלו גששים ב-8 צמחים בבית רשת בדגניה ב' במקביל להצבת מערכת קורלצית הערבולים המתואר בדו"ח זה. עומק החישנים ב"עיקר" הצמח נקבע לפי עבודתו של Lu et al. (2002) כ-0.2 מרדיוס בסיס הגזע. למרות שקיבלנו ברוב הצמחים מהלך יומי ברור, כמויות המים שהתקבלו היו נמוכות בכ-90% מהצפוי וממה שנמדד במערכת קורלצית הערבולים. כאשר העמקנו את החישנים ל-0.3 מרדיוס הבסיס, קיבלנו ערכים סבירים יותר, אבל כבר איחרנו את האפשרות למדוד בו זמנית עם מערכת קורלצית הערבולים.

במשך 2005 גידלנו צמחי בננה בדליים בבית דגן בבית רשת. באוקטובר הם הועברו לחממה ונעשה כיוול של שיטת גראניה כאשר כל אחד מהדליים הוצב על מאזניים אלקטרוניים מסוג Load cell. המדידות נעשו בין ה-25 לנובמבר ל-5 בדצמבר, 2005. תוצאות הכיוול אישרו את הממצאים של Lu et al. (2002) ככלל, אבל כמצוין לעיל הצטרנו להכניס את החישנים יותר עמוק בתוך הגזע כדי לקבל תוצאות טובות.

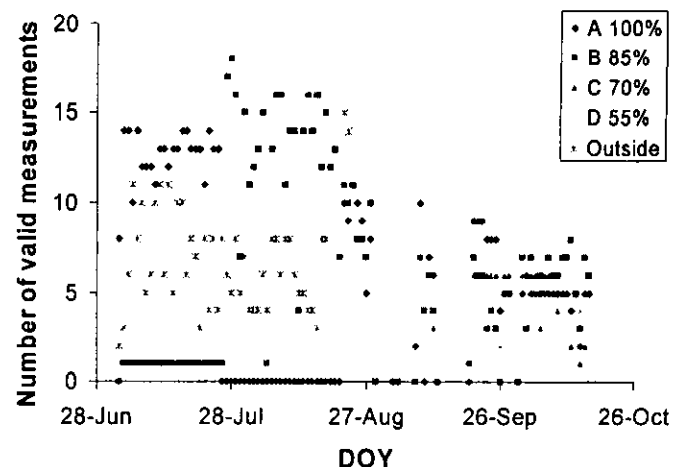
הניסוי השני בעמק הירדן ב-2005 התבצע בתוך ומחוץ לבית הרשת בצמח מיולי עד אוקטובר 2005. גששים הושתלו בתוך 18 גזעולי בננה בכל אחד משלשה טיפולים: השקיה ב-55%-ו-100% בתוך הבית רשת מ-8 יולי עד 9 אוקטובר ובטיפול היקש (100%) מחוץ לבית רשת מ-22 ספטמבר עד 9 אוקטובר. המדידות נעשו בעזרת 2 אוגרי נתונים מסוג Campbell CR10X ושלשה מולטיפלקסרים. לדוגמא, מהלך יומי של ממוצעים שעתיים עבור 23-24 ספטמבר מובא באיור 4. בנוסף למדידות מובאים ערכים מחושבים של צריכת מים לפי מודל פנמן-מונטית סטנדרטי המסתמכים על מדידות אקלים (טמפרטורה, לחות, רוח, וקרינת שמש) שנמדדו בתוך ומחוץ לבית הרשת. התוצאות מראות שבתוך בית הרשת נמדדה צריכת המים של פחות מחצי מהצריכה בחוץ (שימו לב להבדלים בסקלה של שני האיורים) ובבתוך בית הרשת לא היו הבדלים בין שני טיפולי ההשקיה. הבדלים בסדר גודל זה מתאימים לשינוי באקלים, כפי שמתבטא בתוצאות המחושבות לפי מודל פנמן מונטית סטנדרטי. אומנם, מסקנה זאת נגדה את התוצאות של היבולים, שהראו שכאשר ההשקיה בפנים הופחתה ביותר מ-30% הייתה פגיעה ביבול. לכן, נראה שהתוצאות הנמוכות שהתקבלו בתוך בית הרשת בסוף ספטמבר-אוקטובר (המובאות באיורים 4 ו-6) נבעו מהתיישנות החורים שבהם הוכנסו חישני ה"גראניה" בתחילת יולי. החישנים בחלקה החיצונית שהוכנסו מעט זמן לפני מדידות אלו (בספטמבר) נתנו ערכים גבוהים יותר. זה כנראה מסביר למה צריכת המים היומית שנמדדה בתוך בית הרשת הייתה במגמת ירידה אחרי יולי – ראה איור 6 א'.

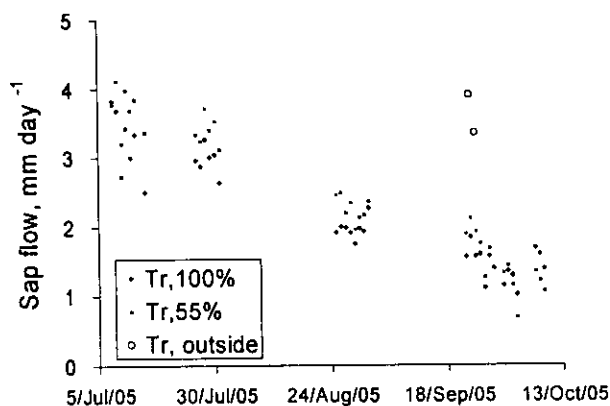
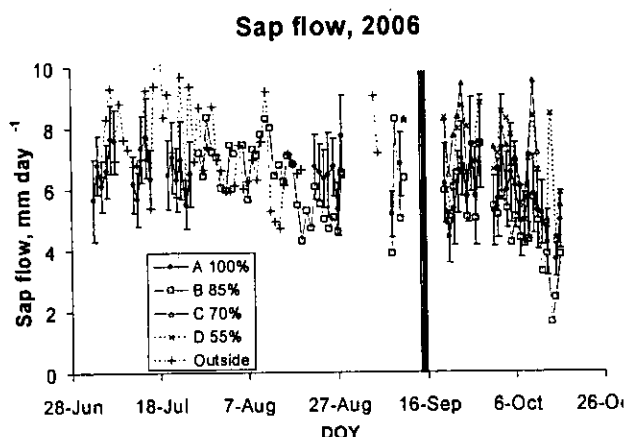


איור 4. מהלך יומי ממוצע (23-24 ספטמבר 2005) עבור צריכת מים של גזעול אחד של בונה (בתוך בית בן 3 גזעולים). המדידות מושוות לחישובי איבוד מים מנוסחת פנמן עם נתוני אקלים שנמדדו בתוך ומחוץ לבית רשת. גרף ימני – בתוך בית הרשת. גרף שמאלי – מחוץ לבית הרשת. התוצאה הנמוכה בתוך בית הרשת (איור ימני) נובעת כנראה מהתיישנות החורים בהם הוחדרו החיישנים.

בשנת 2006 נעשה מאמץ למדוד ביותר גזעולים, להחדיר את החיישנים יותר עמוק בגליל המרכזי של הגזעול (בעומק 0.3 מהרדיוס), ולחדש את החורים בצמחים לפני שהחורים התיישנו. בתחילת העונה הותקנו חיישנים ב-36 גזעולים בתוך בית הרשת וב-18 בחוץ. בעיות באספקת חשמל למערכות ובמעגלים האלקטרוניים שפיתחנו מנעו מאיתנו להפעיל את כולם בו זמנית. לאחר מספר שבועות העברנו את החיישנים בתוך בית הרשת לגזעולים בטיפולים אחרים. באמצע ספטמבר העברנו חלק מהחיישנים לחורים חדשים בתוך אותם גזעולים (המועד מצוין ע"י קו אנכי באיור 6). נכתבה תוכנה לבחון בצורה אוטומטית אם רעשים או בעיות אחרות גרמו לטעויות במדידות. איור 5 מראה את מספר המדידות הטובות שנאספו במשך העונה בארבעת טיפולי ההשקיה בתוך בית הרשת ובחלקה בחוץ. איור 6 מראה את המהלכים העונתיים של צריכת מים שנמדדו ב-2005 ו-2006 בגזעולים מחושבת במ"מ לפי מרחקי הנטיעה בשטח (11.76 מ"מ ו-3 גזעולים לבית). הצריכה שנמדדה ב-2006 הייתה גבוהה יותר מאשר ב-2005. בממוצע ב-2006 נמדדה צריכה של 6.3 מ"מ ליום בתוך בית הרשת ו-7.3 מ"מ בחוץ מיולי עד אוקטובר. ההשקיה ביולי ואוגוסט הייתה 15.5 ו-8.5 מ"מ ליום בטיפולי 100% ו-55% בהתאמה, כאשר בחוץ ההשקיה הייתה לפי 100%, ובספטמבר 10.9 ו-5.9 מ"מ. סטיית התקן של המדידות בטיפולים הייתה כ-30% מהממוצע. לכן, הבדלים בין טיפולים שלא עולים על 30% אינם מובהקים. ב-2006 לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים. העובדה שההבדלים בצריכת מים היו קטנים כאשר ההבדלים ב-PET היו גדולים מצביע על עליה במוליכות הצמחים לאדי מים בתוך בית הרשת.

איור 5. מספר גזעולים שבהם התקבלו מדידות תקינות במשך עונת 2006 בתוך ומחוץ לבית רשת.





איור 6 ב. מהלך עונתי של צריכת מים בבגנות כפי שנמדדה ע"י חיישני ה"גראניה" בתוך ומחוץ לבית הרשת בעונת 2006. הקווים האנכיים על טיפול A מציינים \pm טעות תקן אחת. הקו האנכי בספטמבר מציין את המועד בו חידשנו את החורים בגזעולים.

איור 6 א. מהלך עונתי של צריכת מים בבגנות כפי שנמדד ע"י חיישני "גראניה" בתוך ומחוץ לבית הרשת בעונת 2005.

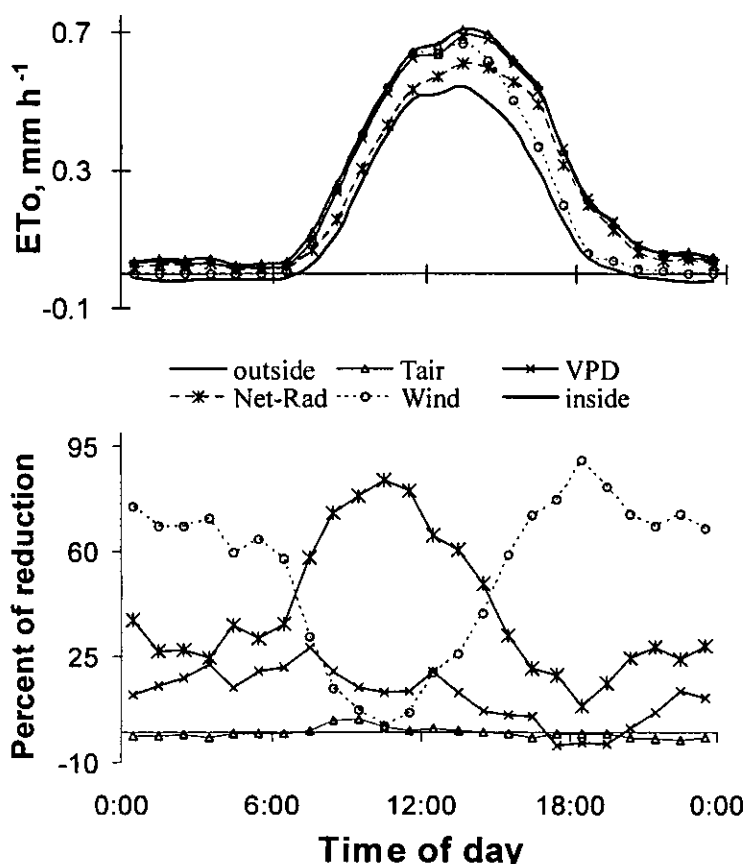
מודל להערכת האופוטורנספירציה וניתוח רגישות:

על סמך המדידות האקלימיות בתוך ומחוץ לבית הרשת יושם מודל להערכת האופוטורנספירציה הפוטנציאלית בתנאים אלו. המודל מבוסס על ערכים שעתיים וחושב לפי נוסחת פנמן-מונטית סטנדרטית המופיעה בפרסום: FAO56. התוצאות מוצגות באיור 7א כמהלך יומי של אופוטורנספירציה המחושבת לפי נתוני אקלים בתוך ומחוץ לבית הרשת. באיור 7א מוצג המהלך היומי של אופוטורנספירציה מחוץ ובתוך בית הרשת (קו עליון ותחתון בהתאמה). בין קווים אלו מופיעים קווים נוספים שחושבו ע"י הצבת שלושה משתני אקלים בתנאים חיצוניים ומשתנה אחד (טמפרטורת אוויר, גרעון לחץ האדים, קרינה או מהירות רוח) בתנאים פנימיים. כך ניתן להבחין בהשפעה של כל משתנה בנפרד על האופוטורנספירציה. באיור 7ב נראית התרומה באחוזים להפחתת האופוטורנספירציה (בתוך בית הרשת ביחס לסביבה החיצונית) של כל משתנה. ניתן לראות כי בין השעות 07:30-14:00 הגורם העיקרי להפחתה הוא הקרינה ואילו בשעות אחה"צ המאוחרות יותר ההפחתה באופוטורנספירציה נגרמת בעיקר בגלל ההפחתה ברוח. הרשת גרמה להפחתה של 1% בטמפרטורת האוויר והגדלה של 8% בגרעון לחץ האדים (תוצאות מהמדידות האקלימיות), ביחס לתנאי אקלים חיצוני. כפי שנראה באיור 7ב לשינויים אלו הייתה השפעה קטנה מאד על האופוטורנספירציה הפוטנציאלית.

יחסי איזוטופים יציבים של פחמן $\delta^{13}C$:

באוקטובר 2006, נדגמו עלים בניסוי ב"צמח" לאנליזות יחסי איזוטופים יציבים של פחמן. הדוגמאות הוכנו על ידנו והועברו לניתוח למכון וייצמן. יחסים אלו מצביעים על הבדלים בריכוז CO_2 בחלל הפיוניות בזמן הפוטוסינתזה. מקובל שערכים נמוכים יותר של היחס מצביעים על פיוניות יותר פתוחות, ומוליכות פיוניות מוגברת. נדגמו עלים צעירים (מהסתיו) ומבוגרים (מהקיץ) בארבעת טיפולי ההשקיה בתוך בית הרשת ובשני

טיפול ההשקיה בחוץ (100%-85%). בניתוח שונויות נמצאו הבדלים מובהקים ביחס לפי גיל העלה, מיקומו, ורמת ההשקיה. ככלל, התוצאות הצביעו על עליה במוליכות עלים בתוך בית הרשת וברמות ההשקיה הגבוהות.

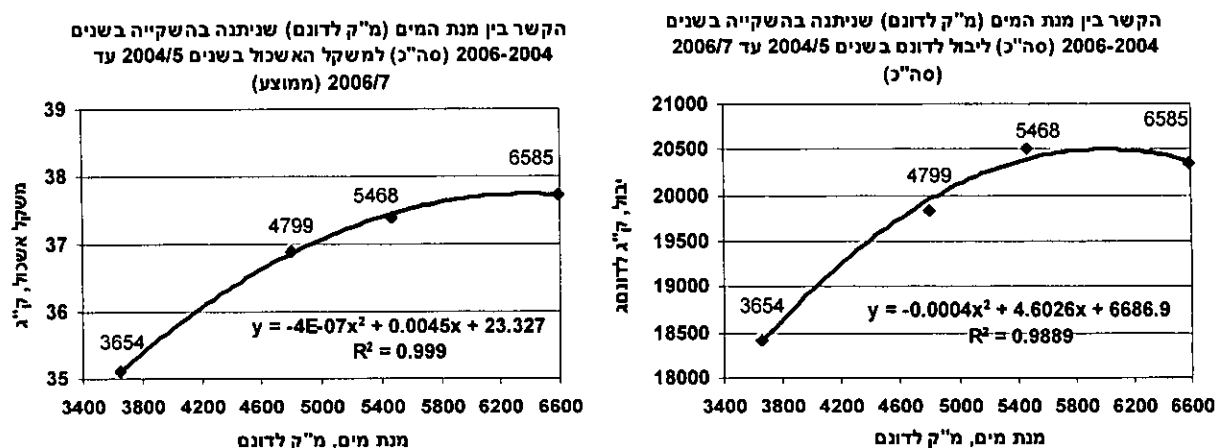


איור 7: (א) מהלך יומי של אומוטרנספירציה פוטנציאלית מחושבת לפי תנאים בתוך (קו תחתון) ומחוץ (קו עליון) לבית הרשת. קווי הביניים הם עבור שלושה ערכים חיצוניים וערך פנימי אחד. (ב) התרומה באחוזים של כל משתנה אקלימי להפחתת האומוטרנספירציה בתוך בית הרשת ביחס לערך החיצוני שלה.

השפעת מנת המים על הפריחה, התכונות הוגטיביות והיבול:

הפחתת מנת המים עד ל-54% מהמנה המלאה (הפחתה ל-1251 מ"ק לדונם לשנה ביבול א') לא הביאה לדחיית הפריחה והקטיף ולא פגעה במשקל האשכול ובתכונות האצבע המייצגת ביבול א'. נמצא אומנם רמז לפחיתה קלה בגובה והיקף הגזעול, במשקל האשכול ובמשקל האצבע המייצגת במנת המים הנמוכה ביותר אולם אף אחד מהבדלים אלה לא הגיע לכלל מובהקות. ביבול חלה פחיתה של כ-500 ק"ג/ד שהיא על גבול המובהקות ($P=0.0731$). גם במנת המים המלאה, 2232 מ"ק/ד לשנה, מסתמן לכאורה חסרון מסוים. ייתכן שמנת מים זו, בבית רשת, עלולה לגרום לנזק. על כל פנים, חסכון בסדר גודל של 30% מהמנה (טיפול 3) הוא משמעותי ביותר ויש לברך עליו, ונראה בשלב זה שזוהי רמה אופטימאלית בבית הרשת. בפריחה ליבול ב' (כמו גם בפריחה ליבול א') לא נרשמו הבדלים מובהקים במרבית הפרמטרים הנבחנים (מועד הפריחה, מספר הפרחים לדונם ומספר הכפות באשכול). בגובה בפריחה נרשמה נחיתות מובהקת במנת המים הנמוכה וזו השנה השנייה שהיקף הגזעול בטיפול זה נמוך מהאחרים, אם כי בשיעור שאינו מובהק. הפרמטר הזה מצביע, בהחלט, על נחיתות מסוימת בהשקיה במנה הנמוכה (55%). בפריחה ליבול ג' נרשמה נחיתות ברורה ומובהקת בגובה הגזעול במנת המים של 55%. הפרשים בהיקף הגזעול ובמספר הפרחים לדונם לא היו מובהקים.

עיון בקשר מנת המים – משקל אשכול ומנת מים – יבול משווק לדונם בשלוש שנות היבול הראשונות (איור 8) מראה שמנת המים הגבוהה נותנת בדרך כלל תוצאה מרבית אולם ההפרש בינה לבין 85% ואף 70% הוא קטן ואינו משמעותי. בהפחתת מנת המים ל- 55% ישנה פחיתה משמעותית במשקל האשכול וביבול המשווק לדונם.



איור 8 - הקשר בין מנת המים שניתנה לבין מדדי היבול הכללי לעונות יבול 2004/5 עד 2006/7.

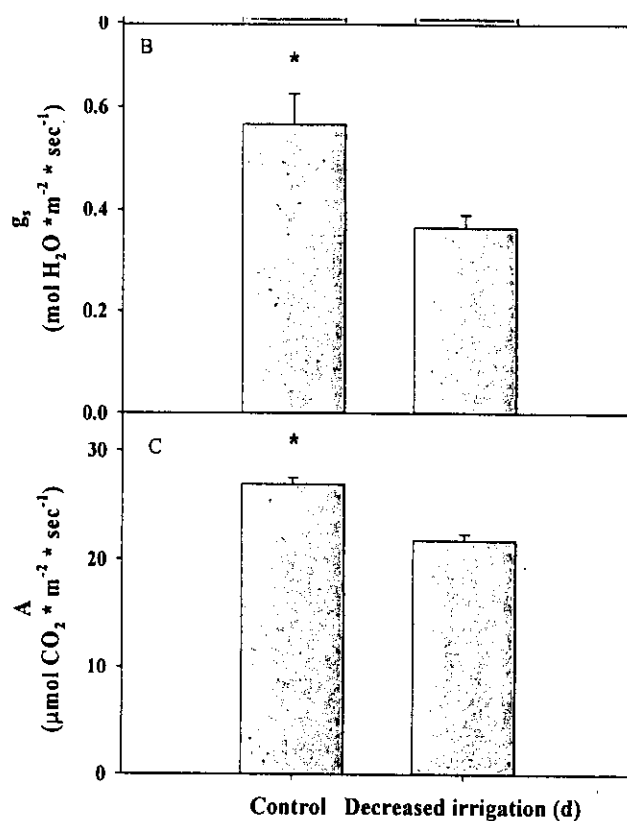
השפעת רמת ההשקיה על פעילות הפוטוסינתטית של צמחי בננה הגדלים תחת רשת הצל:

בחלק הנוכחי של המחקר בחננו את ההשפעה של החיפוי ברשת והפחתת מנת המים על רכיבי חילוף הגזים של הבננה. ההשוואה נעשתה בין המטע חשוף (שאינו מחופה ברשת) לבין מטע מחופה וכן בין שני טיפולי השקיה שניתנו למטע המחופה: השקיה מלאה (כמקובל בעמק הירדן במטעים חשופים) ו- 55% מהמנה המלאה המקובלת.

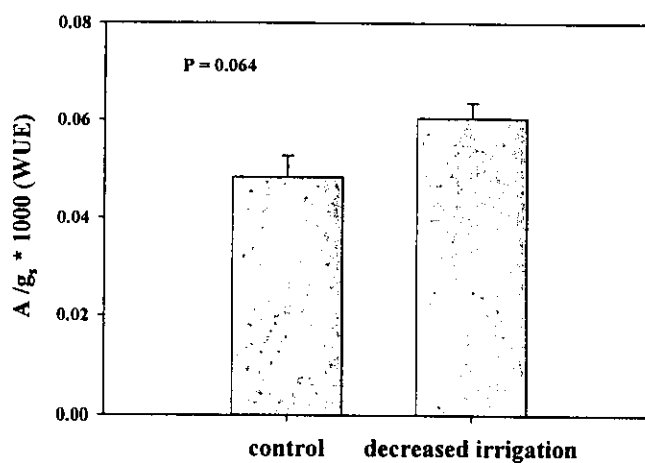
מוליכות פיוניות שנמדדה במטע המחופה הייתה בד"כ גבוהה מאשר במטע החשוף (ראה תוצאות השנה הראשונה וכן איור 9). במדידות שבוצעו בשעות הצהריים הייתה מוליכות הפיוניות במטע המחופה גבוה בכ- 30% מאשר במטע החשוף. הפחתת ההשקיה תחת החיפוי גרמה לירידה מובהקת של 35% במוליכות הפיוניות ושל 15% בקצב קיבוע הפחמן (איור 9) ובהתאם לכך ולעליה בשיעור של כ- 18% ביעילות ניצול המים (איור 10).

הדרך המקובלת לבחינת ההשפעה של תנאי הסביבה על הפוטנציאל הפוטוסינתטי של הצמחים היא ע"י השוואת היחס בין ריכוז ה- CO_2 בחללים הבין תאיים של טרף העלה (C_i) לבין קצב קיבוע הפחמן (A). הפחתת ההשקיה במטע המחופה ל- 55% מהכמות השנתית המומלצת במטע החשוף לא פגעה בכושר קיבוע הפחמן של העלה כאשר זה נחשף לריכוז ה- CO_2 הסביבתי הנוכחי (380ppm). השפעה של הפחתת ההשקיה ניכרה רק כאשר העלה נחשף (באופן מלאכותי) לריכוזי CO_2 גבוהים מהריכוז הסביבתי (איור 11). הירידה של 15% בקצב הפוטוסינתזה שנמדדה בטיפול הפחתת ההשקיה והעלייה ביעילות ניצול המים מקורם בהקטנת מוליכות הפיוניות (איורים 9, 10).

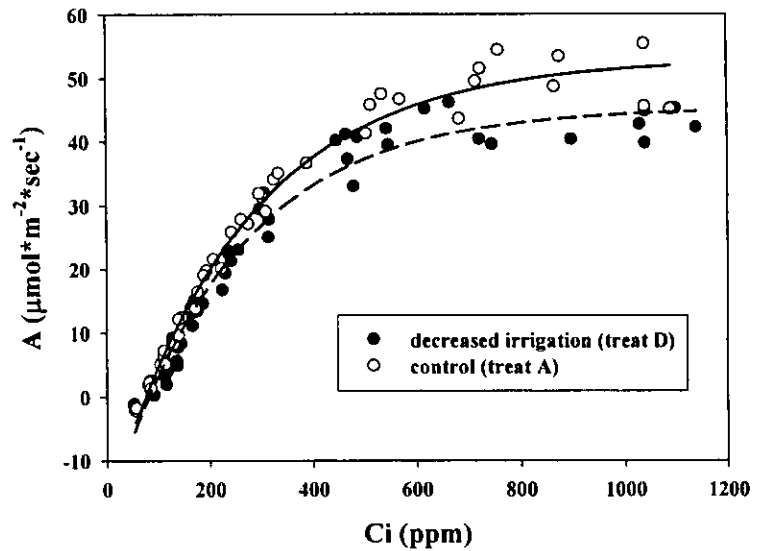
רגישות המערכת הפוטוסינתטית ומוליכות הפיוניות להתפתחות תנאי עקת יובש נבחנה במטע המחופה בניסוי שנערך בקיץ 2006 (איורים 12 ו-13). ההנחה שעמדה בבסיס הניסוי הייתה שקצב התייבשות הקרקע תחת חיפוי הרשת איטית מאשר במטע החשוף ועל כן גם עקת היובש תתפתח בקצב נמוך יותר.



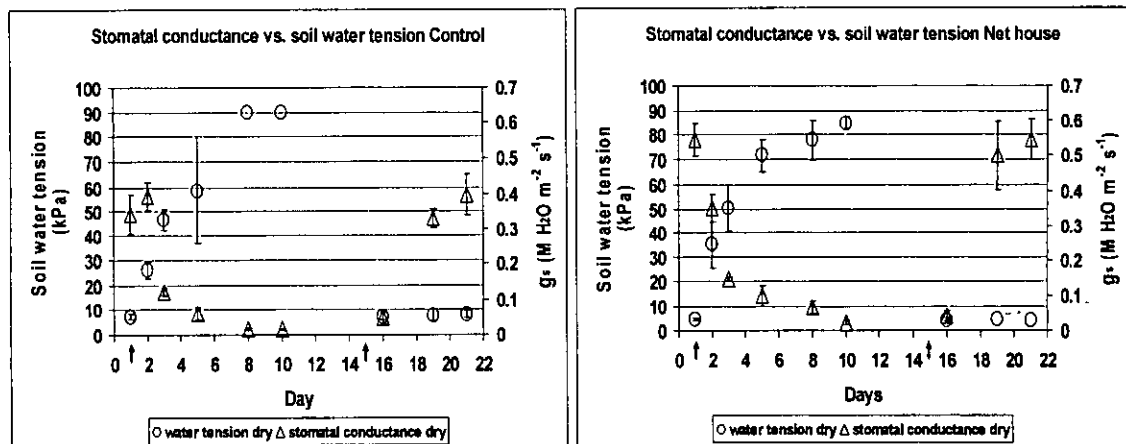
איור מס' 9 : השפעת הפחתת ההשקיה במטע המחופה ל-55% מהמנה הניתנת במטע הפתוח על: מוליכות הפיוניות g_s וקצב קיבוע הפחמן A נמדדו בשטף קרינה $1200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.



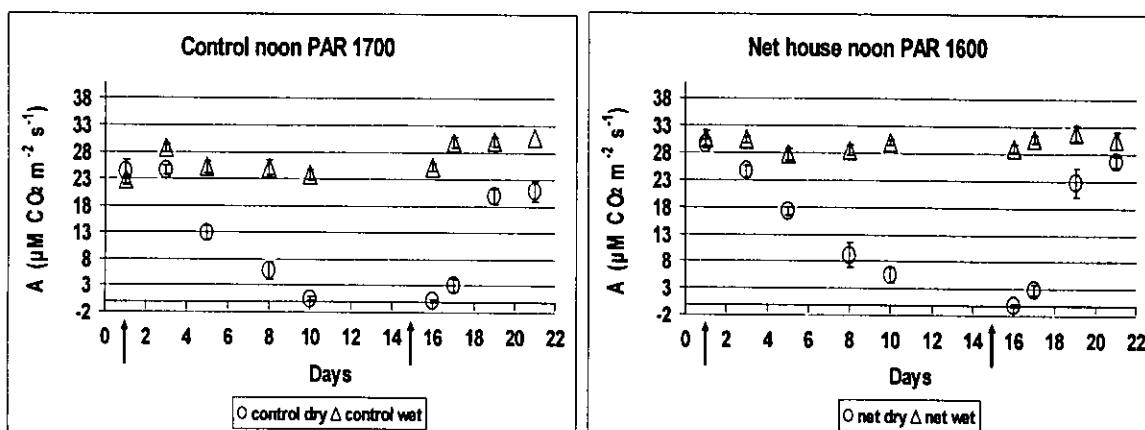
איור מס' 10: השפעת הפחתת ההשקיה במטע המחופה ל-55% מהמנה הניתנת במטע הפתוח על יעילות ניצול המים WUE של הבגנה כפי שהדבר בא לידי ביטוי ביחס בין קצב קיבוע הפחמן A לבין מוליכות הפיוניות g_s (A/g_s). ההבדל בין הטיפולים מובהק רק ב- $P=0.064$.



איור מס' 11: היחס בין ריכוז CO_2 בחללים הבין תאיים של טרף העלה C_i לבין קצב קיבוע הפחמן A (קווי A/C_i) במטע המחופה רשת בשני טיפולי השקיה: טיפול הביקורת (○) קיבל לאורך העונה מנת מים זהה לזו של המטע החשוף, טיפול ההשקיה המופחתת (●) קיבל לאורך העונה 55% ממת המים של הביקורת. המדידות בוצעו במהלך חודש ספטמבר 2005.



איור מס' 12: ההשפעה של הפסקת ההשקיה על מתח המים בקרקע ועל מוליכות הפיוניות g_s במטע ללא כיסוי רשת (איור שמאלי) ובמטע מחופה הרשת (איור ימני). מתח המים בקרקע נמדד מידי יום באמצעות טנסיומטרים שהוצבו בעומק של 25 ס"מ מתחת לטפטפת. מוליכות הפיוניות נמדדה באמצעות פורומטר. ההשקיה הופסקה ביום מס' 1 (30.7.2006) וחודשה לאחר 15 יום (הפסקת ההשקיה וחידושה סומנו באמצעות חצים).



איור מס' 13 : השפעה של הפסקת השקיה במטע החשוף (משמאל) ובמטע המחופה (מימין) על קצב קיבוע הפחמן. קצב קיבוע הפחמן נמדד באמצעות מערכת נידת LI-6400 בריכוז של 370 ppm CO_2 ובשטף קרינה של $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. שההשקיה הופסקה ביום מס' 1 (30.7.2006) וחודשה לאחר 15 יום (הפסקת ההשקיה וחידושה סומנו באמצעות חצים).

למרות שקצב התייבשות הקרקע תחת הרשתות היה אכן איטי מאשר במטע החשוף, הירידה של מוליכות הפיוניות וקצב קיבוע הפחמן התרחשו במהירות בשני הטיפולים בהבדל קטן בניהם. תוצאות אלה תואמות תוצאות קודמות המצביעות על הרגישות הגבוהה של הפיוניות בבננה להתפתחות תנאי עקת יובש. לאחר חידוש ההשקיה חזרו מוליכות הפיוניות וקצב קיבוע הפחמן במטע המחופה לרמתם המקורית בעוד שבמטע החשוף רק מוליכות הפיוניות חזרה לרמה המקורית. קצב קיבוע הפחמן נותר נמוך בכ-20% מהרמה שלפני תחילת טיפול ההצמאה. ניתן להערכתנו ליחס את הדבר לפגיעה במערכת הפוטוסינתטית הנובעת מהשילוב בין עקת היובש לעקת קרינה (photoinhibition).

לסיכום פרק זה ניתן לציין כי מוליכות הפיוניות של העצים במטע המחופה הייתה באופן מובהק גבוהה מאשר במטע החשוף. מכלול תנאי הגידול תחת הרשת לא הביאו לשינוי כלשהו במערכת הפוטוסינתטית של העלה והפוטנציאל הפוטוסינתטי של העלים לא השתנה גם כאשר מנת המים הופחתה ל-55% מהמנה המקובלת. רגישות הפיוניות הגבוהה בתגובה להתפתחות תנאי עקת יובש לא שונה באופן מהותי בין המטע המחופה לחשוף. העובדה שקצב קיבוע הפחמן במטע המחופה חזרה לרמה המקורית שלפני העקה בעוד שבמטע החשוף התאוששות המערכת הפוטוסינתטית לא הייתה מושלמת, מצביעה להערכתנו על יתרונות ההצללה החלקית בהגנה על המערכת הפוטוסינתטית בפני עקת קרינת יתר.

ג. מדידות אוופורנספירציה ממטע בננה מחופה בשיטת קורלצית הערבולים – בית רשת בקיבוץ דגניה ב' (קיץ 2005) וקיבוץ עין גב (קיץ 2006).

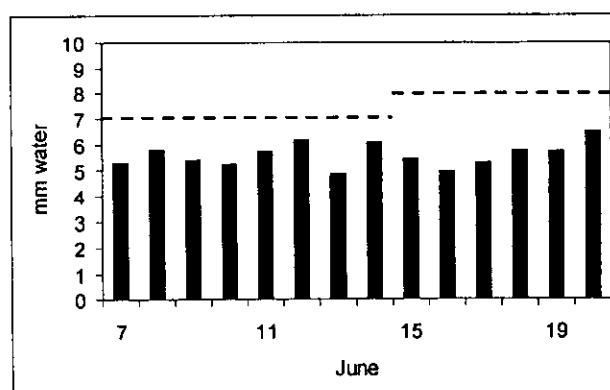
ג.1. בית רשת מסחרי בקיבוץ דגניה ב' (קיץ 2005)

חומרים ושיטות: הניסוי נערך בבית רשת מסחרי של קיבוץ דגניה ב', סמוך לחוות הניסיונות "צמח". ממדי בית הרשת היו 352×228 מ"ר וגובה הרשת היה 6 מ'. הרשת הייתה מסוג קריסטל, עשויה חוט פוליאטילן עגול בקוטר 0.3 מ"מ, תוצרת מטאור, פתח תקווה, בעלת אחוז הצללה המשתנה בין 8 ל-25, כתלות בכמות האבק ובגיל. המערכת הוצבה במיקום שאפשר אורך נשיבה של לפחות 100 מ' בכל הכיוונים. מערכת קורלצית הערבולים כללה מד רוח קולי חד ממדי, תרמוקפל עדין ומד לחות מהיר קריפטון. בנוסף למערכת זו הוצבו במקום חיישנים

נוספים שאפשרו מדידת שאר רכיבי מאזן האנרגיה במטרה לאמת את מדידות ההתאדות. כל הנתונים נאגרו ע"י שני אוגרי נתונים במשך 14 יום, בין ה - 7 ליוני עד ה - 20 ליוני 2005. המטע הושקע באופן אחיד במנה של 7-8 מ"מ ליום בתקופת המדידות.

תוצאות

תכונות הרוח במטע: מתוך מדידות של שלושת רכיבי מהירות האוויר שנערכו בתדר גבוה של 10 הרץ, ניתן היה ללמוד כי זרימת האוויר במטע, בשכבה שבין צמרות הצמחים לרשת, היא בעלת מאפיינים הדומים לשכבת גבול טורבולנטית. **אופוטורנספירציה:** שטף אדי המים התקבל על ידי חישוב הקוואריאנס בין תנודות המהירות האנכית והלחות. הנתונים הגולמיים עברו סדרת תיקונים לפי ההמלצות בספרות. באיור 14 נראית האופוטורנספירציה היומית מהמטע בכל אחד מ - 14 ימי המדידות ביחידות של מ"מ מים. הקו המקווקו מציין את ההשקיה היומית באותה תקופה שעמדה על 7-8 מ"מ ליום והייתה כ - 70% מההשקיה המומלצת למטע בננה חשוף. בממוצע, האופוטורנספירציה הייתה 75% מההשקיה. הערכה של התאדות מהקרקע הראתה כי היא הייתה זניחה ולכן ניתן להסיק כי האופוטורנספירציה הייתה שווה לטרנספירציה מהצמחים.



איור 14: ההתאדות היומית ממטע בננה מחופה ברשת צל קלה (קיבוץ דגניה ב' - 2005) כפי שנמדדה ע"י מערכת קורלצית הערבולים. הקו המקווקו הוא ההשקיה היומית.

מאזן האנרגיה: השיטה המקובלת בספרות לאימות מדידות של אופוטורנספירציה (LE) היא הערכה של שאר רכיבי מאזן האנרגיה - כלומר - קרינה נטו (R_n), שטף חום מוחשי (H) ושטף חום קרקעי (G) וחקירת סגירת מאזן האנרגיה. הקשר בין האנרגיה הזמינה $R_n - G$, לבין האנרגיה הנצרכת ע"י המטע $LE + H$ מיוצג ע"י קו ישר שהותאם לנתונים ע"י שיטת הריבועים הפחותים והוא בעל שיפוע של 0.94 וחיתוך ציר Y של 2.4 וואט/מ"ר. ערכים אלו מראים סגירה טובה מאד של מאזן האנרגיה.

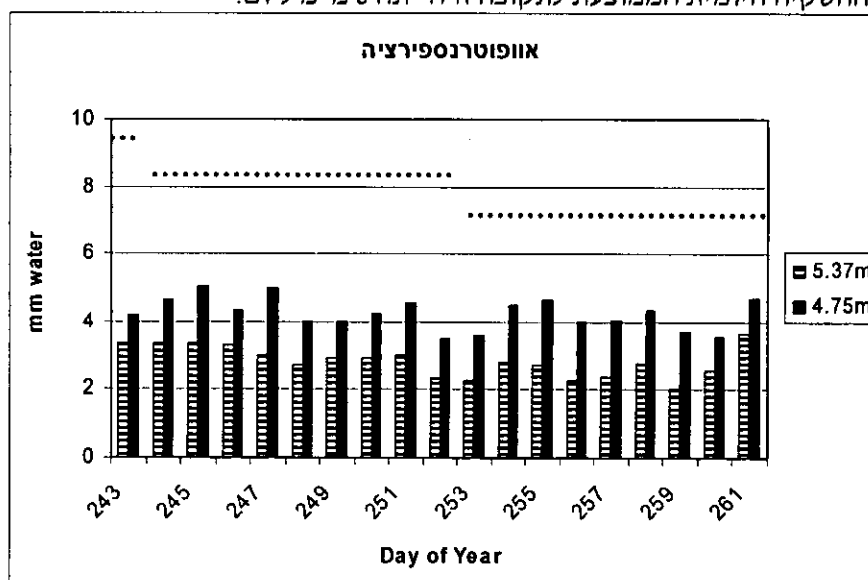
2.2. בית רשת מסחרי בקיבוץ עין גב (קיץ 2006)

חומרים ושיטות: הניסוי נערך בבית רשת מסחרי של קיבוץ עין גב. ממדי בית הרשת היו 220 X 290 מ"ר וגובה הרשת היה 6 מ'. מחצית השטח כוסה ברשת ארוגה ומחצית ברשת סרוגה. הרשת הייתה שקופה, עשויה פוליאתילן בשילוב חוטי מונופילמנט, תוצרת פולישק, קיבוץ ניר יצחק, בעלת הצללה נומינלית של 13%. הוצבו שתי מערכות קורלצית ערבולים (EC) במיקום שאפשר אורך נשיבה של לפחות 100 מ' בכל הכיוונים. המערכות הוצבו על אותו תורן, בגבהים שונים מעל לנוף, כדי לבחון אפשרות של גרדיאנטים אנכיים בשטף הנמדד. המערכות הוצבו בגבהים של 5.37 מ' ו - 4.75 מ'. כל מערכת קורלצית הערבולים כללה מד רוח קולי תלת ממדי ומד לחות מהיר קריפטון. בנוסף למערכות אלו הוצבו במקום חיישנים נוספים שאפשרו מדידת שאר רכיבי מאזן האנרגיה במטרה לאמת את מדידות ההתאדות. כל הנתונים נאגרו ע"י שני אוגרי נתונים במשך 19 יום, בין ה - 31

לאוגוסט (יום בשנה 243) עד ה - 18 לספטמבר (יום בשנה 261) 2006. המטע הושקע באופן אחיד לפי ההמלצות הרגילות באזור.

תוצאות

אופוטנספירציה: שטף אדי המים בכל מערכת (EC) התקבל על ידי חישוב הקוואריאנס בין תנודות המהירות האנכית והלחות. הנתונים הגולמיים עברו סדרת תיקונים לפי ההמלצות בספרות. באיור 15 נראית האופוטנספירציה היומית מהמטע בכל אחד מ - 19 ימי המדידות ביחידות של מ"מ מים, כפי שנמדדה ע"י שתי המערכות. הקו האופקי המקווקו מציין את ההשקיה היומית שניתנה בפועל במשך תקופת המדידות וירדה מ - 9.42 עד 7.15 מ"מ ליום והייתה כ - 70% מההשקיה המומלצת למטע בננה חשוף. ניתן לראות כי ההשקיה הייתה גדולה מהאופוטנספירציה. האופוטנספירציה היומית הממוצעת לימים אלו שנמדדה ע"י המערכת העליונה הייתה 2.8 מ"מ מים ליום ואילו המערכת התחתונה מדדה ממוצע של 4.1 מ"מ ליום. הממוצע של שתי המערכות הוא 3.4 מ"מ ליום. ההשקיה היומית הממוצעת לתקופה זו הייתה 8 מ"מ ליום.



איור 15: ההתאדות היומית ממטע בננה מחופה ברשת צל קלה (קיבוץ עין גב - 2006) כפי שנמדדה ע"י שתי מערכות קורלצית הערבולים. הקו המקווקו הוא ההשקיה היומית.

התוצאות באיור 6 מראות כי היה הפרש בין שטף האדים שנמדד ע"י שתי המערכות. בממוצע, המערכת הגבוהה יותר (5.37 מ') מדדה אופוטנספירציה שעמדה על 66% מהערך שמדדה המערכת הנמוכה (4.75 מ'). גרדיאנט אנכי כזה בשטף אדי המים יכול להיגרם או עקב תופעה של אדווקציה (Advection) של אדים בכיוון אופקי או בגלל בעיות באיכות המדידות בתחנה העליונה שנותנת ערכים נמוכים מאד של אופוטנספירציה. נושא זה עדיין בבדיקה ודורש עיבוד נתונים מעמיק יותר. בהנחה ששטף האדים מיוצג ע"י המערכת התחתונה (שנתנה ערכים קרובים יותר לרמת ההשקיה) הרי שהאופוטנספירציה במטע הייתה בממוצע 54% מרמת ההשקיה. ערך זה נמוך מהערך של 75% שקיבלנו ב- 2005 בבית הרשת של קיבוץ דגניה ב' (ראה לעיל). עם זאת יש לציין כי תוצאה דומה (יחס של כ - 50% בין אופוטנספירציה מדודה להשקיה בפועל) קיבלנו בעבר במדידות שביצענו בפלפל שגודל בבית רשת בשתי שיטות בו זמנית: קורלצית ערבולים וזרימת מים בגבעול.

מאזן האנרגיה: הקשר בין האנרגיה הזמינה $Rn-G$, לבין האנרגיה הנצרכת ע"י המטע $LE+H$ יוצג גם כאן ע"י קו ישר שהותאם לנתונים החצי-שעתיים ע"י שיטת הריבועים הפחותים. למערכת הנמוכה התקבל שיפוע של 0.71 וחיתוך ציר Y של 8.5 וואטמ"ר ולמערכת הגבוהה השיפוע היה 0.65 עם חיתוך ציר Y של 7.3 וואטמ"ר. ערכי שיפועים אלו נמוכים ביחס לשיפוע הרצוי של 1, ומציינים על מחסור באנרגיה הנצרכת ע"י המטע. יש לציין עם זאת כי ערכים דומים של שיפועים גם מדווחים בספרות ממדידות בשטחים פתוחים (יערות, שדות) וערך ממוצע של 0.8 מקובל בספרות. ממצא זה מרמז על כך שבבית הרשת היו תופעות של אדווקציה (Advection) – כלומר הסעה אופקית של אדי מים וחום מוחשי ($LE+H$) ע"י הרוח הממוצעת שלא ניתן לזהות ע"י מערכת קורלצית הערבולים. דרך אחרת לבחון את מאזן האנרגיה היא ע"י השוואה בין ערכים יומיים של רכיבי האנרגיה, במקום השוואת ערכים חצי-שעתיים. חישוב על פרק זמן ארוך יותר יכול לבטל השפעות של אגירת אנרגיה שלא אובחנו היטב ע"י מערכת המדידות. לכל מערכת מדידה חושב הממוצע (של 19 ימי מדידה) של היחס בין הסך הכול היומי של האנרגיה הנצרכת ע"י המטע $LE+H$ והאנרגיה הזמינה $Rn-G$. עבור המערכת הנמוכה (4.75 מ') התקבל יחס ממוצע של 0.78 ולמערכת העליונה (5.37 מ') היחס הממוצע היה 0.71. נראה כי ביצוע מאזן האנרגיה על זמן ארוך יותר משפר את סגירת מאזן האנרגיה.

אם נניח כי כל מחסור האנרגיה היה עקב מחסור בחום כמוס LE בלבד (ולא חום מוחשי H) הרי שניתן לתקן את הערכת האופוטורנספירציה, כלומר להניח שהערך המדוד שלה היה רק 78% (למערכת התחתונה) מהאופוטורנספירציה בפועל. לפי הנחה זו נקבל אופוטורנספירציה יומית ממוצעת של 5.3 מ"מ ליום שהם 65% מההשקיה הממוצעת בפועל (8 מ"מ ליום).

הבעת תודה: תודתנו לחברות "פולישק" ו"מטאור" על אספקת הרשתות, ולחברת "נטפים" על תרומתה המשמעותית להקמת חלקת הניסוי. כמו כן תודות לדן אלמויץ שביצע חלק מהעבודה על מערכת גראנייה, לויטלי חסלבסקי שסייע בניסוי בדגניה ב' (2005) ולאורי דיקן שביצע את עיבוד הנתונים מהניסוי בעין גב (2006).

חסכון במים על ידי חיפוי מטע בננות ברשת צל: השפעות מיקרואקלימיות ופיזיולוגיות

סיכום עם שאלות מנחות

1. מטרות המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתוכנית העבודה.

מטרות המחקר תאמו את תוכנית העבודה. כמתוכנן, נחקרה השפעת טיפולי ההשקיה על צריכת המים של הצמחים, על מוליכות הפיוניות וחילוף הגזים, ועל המיקרואקלים במטע. כן נחקרה השפעת טיפולי ההשקיה על מתח המים בקרקע ועל הפריחה, התכונות בפריחה והיבול בשלוש שנות המחקר. נחקרו אוופוטורנספירציה ומאזן אנרגיה של מטע מסחרי מחופה בתנאים של השקיה אחידה ע"י שיטת קורלצית הערבולים.

2. עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח

(א) בית רשת בחוות ניסיונות בצמח – הפחתה של מנת המים ב- 30% מהמנה המקובלת בעמק הירדן לא גרמה לפיגור בפריחה, לא הפחיתה את היבול ולא פגעה בגודל הפרי. בהפחתת המנה ב- 45% נמצאה פגיעה מסוימת. מוליכות הפיוניות של העצים במטע המחופה הייתה באופן מובהק גבוהה מאשר במטע החשוף. מכלול תנאי הגידול תחת הרשת לא הביאו לשינוי במערכת הפוטוסינתטית של העלה והפוטנציאל הפוטוסינתטי של העלים לא השתנה גם במנת המים של 55%. בית הרשת הפחית את עוצמת הרוח ואת ההתאיידות מגיית בשיעור של כ- 50% בהשוואה למטע סמוך לא מחופה ולשדה הפתוח, בהתאמה. הקרינה בבית הרשת פחתה בהדרגה, במהלך העונה, עם הצטברות אבק על הרשת. (ב) פותחה ויושמה בהצלחה מערכת גראניה למדידת זרימת המים בגזעול הבננה. לא נמצא הבדל מובהק בזרימת המים בין שני הטיפולים הקיצוניים. זרימת המים במטע המחופה הייתה נמוכה בפחות מ- 20% מהזרימה במטע חשוף. ניתוח רגישות של מודל פנמן-מונטית הראה כי ההפחתה בקרינה וברוח הם שני הגורמים העיקריים להפחתה בצריכת המים. (ג) מדידות אוופוטורנספירציה בבתי רשת מסחריים בקיבוצים דגניה ב' ועין גב, ע"י שיטת קורלצית הערבולים, הראו תוצאות בהתאמה טובה למודל ולרמת ההשקיה.

3. המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו.

בוצעו בהצלחה המשימות שתוכננו. בשלב זה נראה כי להפחתת הרוח והקרינה תרומה משמעותית בהפחתת האוופוטורנספירציה בבית הרשת. שיטת קורלצית הערבולים הוכחה יעילה במדידת אוופוטורנספירציה בבית הרשת. במחקר המשך (2007/8) תורחב המדידה הישירה של זרימת המים בבננה לטיפול נוסף כדי להעמיק את הידע בנושא זה, יבוצעו מדידות משולבות של פוטוסינתזה ומוליכות פיוניות ויתבצע המשך מעקב אחר השפעות החיפוי וטיפול ההשקיה על המטע. כן ישופר המודל לחיזוי המיקרואקלים וצריכת המים בבית הרשת.

4. הבעיות שנותרו לפתרון ואו השינויים שחלו במהלך העבודה.

בסך הכול הושגו כל מטרות המחקר. בשנה ב' לא הרחבנו את הניסוי לבית רשת נוסף בו ייבחנו עומד ומרווחי נטיעה שונים (כפי שצוין בתוכנית המקורית לשנה ב'). גם בשנה ג' לא ביצענו זאת. מטרותנו הייתה למצות את המחקר בבית הרשת הקיים על מנת להעמיק ולבסס את הידע על השפעת רשתות על הבננה. ההשפעות ארוכות הטווח של החיפוי על הבננה ייבדקו במחקר ההמשך שאושר לשנים 2007/8.

5. האם הוחל כבר בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח.

פורסם מאמר בכתב עת מדעי בינלאומי. פורסמו שני מאמרים בספרים של כנסים. הוצג מאמר בכנס בינלאומי. מאמר נוסף נמצא בהכנה. (ראה נספח).

6. פרסום הדו"ח: אנו ממליצים לפרסם את הדו"ח ללא הגבלה (ספריות ואינטרנט).

פרסומים שנבעו מהמחקר:

מאמר שפורסם בכתב עת מדעי בינלאומי:

Tanny, J., Haijun, L. and Cohen S., Airflow characteristics, energy balance and eddy covariance measurements in a banana screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139, 105-118, 2006.

שני מאמרים שהוצגו בכנסים ופורסמו ב – ACTA HORTICULTURAE:

Tanny, J., Cohen, S., Elmowitz, D., Grava, A. and Haijun, L., Measuring and predicting evapotranspiration in a banana screenhouse. *Acta Horticulturae*, 718, pp. 539-545.

J. Tanny, S. Cohen, A. Grava and L. Haijun, Airflow and turbulence in a banana screenhouse. *Acta Horticulturae*, 719, pp. 623-630.

תקציר של הרצאה שהוצגה בכנס:

Tanny, J., Haijun, L. and Cohen, S., Energy balance closure and application of the eddy covariance technique in a banana screenhouse. Presented at the EGU General Assembly, Vienna, April 2006.