דו"ח סופי תוכנית 459-4277

ייעול השימוש ברשתות צל בחממות
Improving the use of shading nets in greenhouses

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות
ע"י

מאיר טייטל[1], רוני אמיר[2] , מוטי ברק[1], דני הראל[3], דוד שמואל[3], חנה יחזקאל[3], שלי גנץ[2], יצחק אסקירה[4]

[1] המכון להנדסה חקלאית, [2] שה"מ משרד החקלאות, [3] חוות הבשור, [4] מועצת הצמחים

Teitel[1], M., Amir[2] R., Barak[1], M., Harel[3] D., Shemuel[3], D., Yechezkel[3] H., Gantz[2], S., Esquira[4] I.

[1] Institute of Agricultural Engineering, A.R.O., the Volcani Center, P.O.Box 6, Bet Dagan, Israel 50250, grteitel@agri.gov.il

[2]Shaham, Ministry of Agriculture

[3]MOP DAROM, Besor experimental station, Mobile post 4, 85400, Israel

[4]Israeli Plant Board

הממצאים בדו"ח זה הנם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים

חתימת החוקר _____

תקציר

בעונות החמות של השנה מגדלי פרחים וירקות עושים שימוש נרחב ברשתות צל להורדת עומס החום מהחממה. למרות השימוש הנרחב, אין עד היום הנחיות ברורות לשיטת ההצבה המיטבית של רשת צל וההשפעה שיש לה על המיקרואקלים והגידול. כתוצאה מכך, אפשר לראות חממות עם שיטות יישום שונות: רשת צל בתוך המבנה – מעל הצמחייה בגובה המרזב, רשת צל מונחת על הכיסוי או רשת צל פרושה מעל המבנה ונוגעת רק בקודקודי הגמלונים או פרושה במרחק של כ 1מ' מעל הגמלונים.

מטרת העבודה לבחון את תנאי המיקרואקלים וההשפעה על הצמח (קרינה, רמת האור, טמפרטורת אוויר וצמח, פוטוסינתזה, טרנספירציה, יבול ואיכות) כאשר רשתות צל באחוז הצללה הנפוץ בקרב מגדלים מוצבות בכל אחת מההצבות הנ"ל. נערכו ניסויים עם שתי רשתות שונות בעלות אחוז הצללה הקרוב ל 30%. האחת אלומינט והשנייה רשת שחורה. עם כל רשת נבדקו שני טיפולים שונים במקביל, האחד בו הרשת נפרשה בתוך המבנה בגובה המרזבים (כ 3 מטר מעל הקרקע) והשני בו הרשת נפרשה על כיסוי הפוליאטילן של גג החממה. הניסויים נערכו בחממה בחוות הבשור עם גידול עגבנייה. במהלך שלושת השנים נערכה השוואה בין הטיפולים מבחינת ההשפעה על הקרינה, רמת האור, הלחות וטמפרטורת האוויר והעלווה במבנה. כמו כן נבדקה השפעת הטיפול על טרנספירציה, פוטוסינתזה ויבול. הניסויים בתקופת הדו"ח מראים שאין הבדל משמעותי בין הטיפולים מבחינת קרינה ורמת אור במבנה, טמפרטורת האוויר, לחות, טמפרטורת עלווה, טרנספירציה, פוטוסינתזה ויבול. לכן, חקלאים המשתמשים ברשתות 30% הצללה או ברשתות בעלות אחוזי הצללה נמוכים יותר מ 30% יכולים לפרוש את הרשת בהתאם לנוחיותם ולעלות הכספית הכרוכה בכל שיטה. בגלל שבפריסה אופקית בתוך המבנה שטח הרשת הדרוש להצללה קטן בהשוואה לרשת המונחת על גג קשתי, עלות הרשת נמוכה יותר. יחד עם זאת רשת בתוך המבנה דורשת התקנת כבלים בגובה המרזב.

מבוא

הקרינה החודרת לחממה גורמת לעליית טמפרטורת האוויר לערכים קיצוניים ביחס לדרישת הגידול והטמפרטורות הגבוהות מעכבות את תהליך הצמיחה בעקבות פגיעה במערכות פיסיולוגיות בצמח כגון השפעה על קצב הפוטוסינתזה (יצור חומר יבש), קצב צמיחה וקצב התפתחות פרי[1], יצירת תנאים נוחים להתפרצות מחלות וכניסת הגידול לעקת חום ו/או מים. על מנת להוריד את עומס החום מהמבנה המתבטא בטמפרטורה ולחות גבוהים, החקלאים משתמשים במערכות צינון, ברשתות הצללה, בסיוד יריעות הגג או בשילוב של השיטות הנ"ל. מאחר ועלות ההתקנה והשימוש ברשתות נמוכה מזו של מערכת צינון, רוב החקלאים מעדיפים שימוש ברשת הצללה אף שהיא מפחיתה את רמת האור במבנה.

למרות השימוש הנרחב ברשתות צל, אין עד היום הנחיות ברורות לשיטת ההצבה המיטבית של רשת במבנה וההשפעה של כל שיטת הצבה על האקלים במבנה ועל הגידול. כתוצאה מכך, אפשר לראות בשטח מבנים עם שיטות יישום שונות: רשת צל בתוך המבנה בגובה של כ 2 או 3מ', רשת צל שוכבת על כיסוי הגג או רשת צל פרושה אופקית מעל המבנה נוגעת רק בקודקודי הגמלונים או פרושה במרחק של כ 1מ' מעל המבנה. יש לציין כי מירב החממות בהן מגדלים פלפל או עגבניות

באזור הבשור מאוורורות ע"י אוורור טבעי ומשתמשות ברשתות הצללה שחורות להורדת עומס החום מהמבנה.

לאור האמור לעיל, מטרת המחקר לבחון את ההשפעה של שיטות הצבה שונות של רשתות הגורמות לכ 30% הצללה (בתוך המבנה, או פרושה מעל המבנה) על תנאי האקלים המתפתחים במבנה, על רמת האור המגיעה לצמחיה, על טמפרטורת הצמח וההשפעה על טרנספירציה, פוטוסינתזה, יבול ואיכותו.

מספר חוקרים למדו בעבר את ההשפעה של רשתות על המיקרואקלים בחממה. חלק מהעבודות היו ניסוייות[2,3,4,5] והחלק האחר שילב ניסויים עם מודלים[1,6] . יחד עם זאת, באף עבודה לא נערכה השוואה ניסויית בין שלוש שיטות הצבה שונות של המסך (בתוך המבנה, על פני הכיסוי או מעל המבנה) על תנאי האקלים, טמפרטורת הצמח, רמת האור וההשפעה על היבול ואיכותו. פס[1] בחן את ההשפעה של מסך הצללה חיצוני זחיח על המיקרואקלים בבתי צמיחה. לצורך כך הוא ערך ניסויים והשתמש במודל נומרי (חד ממדי) שלקח בחשבון חמש שכבות: קרקע, צמחיה, אוויר, כיסוי ומסך. המודל התבסס על משוואת מאזן האנרגיה והמסה בשכבות השונות. המודל הורץ גם על מקרה של רשת בתוך המבנה אך לא על מקרה של רשת השוכבת על הכיסוי. תוצאותיו מראות כי תרומת ההצללה להורדת הטמפרטורה היא משנית ביחס לשיטת צינון התנדפותי, אך שילובה במערך הצינון של המבנה הוא עדיין חיוני כאשר נדרשת הורדה נוספת בטמפרטורה. כמו כן, הראו תוצאות המודל כי מסך הצללה פנימי היה פחות יעיל בהורדת טמפרטורת האוויר במשך היום ממסך חיצוני. בשני מאמרים[3,4] שפורסמו לאחרונה בכנס שעסק בצינון חממות המחברים סוקרים בהרחבה שיטות שונות להפחתת עומסי חום בחממות ומפרטים את ההשפעה של השיטות השונות על הצמח. הם טוענים שצינון התנדפותי הוא היעיל ביותר בהורדת טמפרטורת האוויר וגרעון לחץ האדים במבנה אבל זו השיטה הכי פחות יעילה להורדת טמפרטורת העלווה. לדעתם להצללה הפוטנציאל הטוב ביותר להורדת העומס מצמחי פלפל צעירים באקלים ים תיכוני.

תגובת הצמח לספקטרום ולרמה של האור מאוד רלוונטית בגידול חממות בהן מיושמות רשתות[3]. מהספרות אפשר ללמוד כי תגובת הצמחים מושפעת מהשפעת הרשת על ספקטרום האור, מרמת ההצללה, מתכונות הצמח שכן לצמחים שונים תגובות שונות, משלב הגידול ומצפיפות הצמחים במבנה.

ההשפעה של סיוד גג על הפחתת עומס חום בחממה נבחנה[7] במקרה של גידול וורדים. הוורדים הגיבו מיידית להפחתה בעומס החום כתוצאה מהסיוד. הדבר התבטא בשיפור במצב הפיזיולוגי של הצמחים, הגדלת מוליכות הנוף הצמחי, טרנספירציה גבוהה יותר ושיפור ב WSI (Water Stress Index).

<u>עיקר הפעילות בתקופת הדו"ח</u>

<u>תיאור החממה בה נערכו הניסויים:</u>

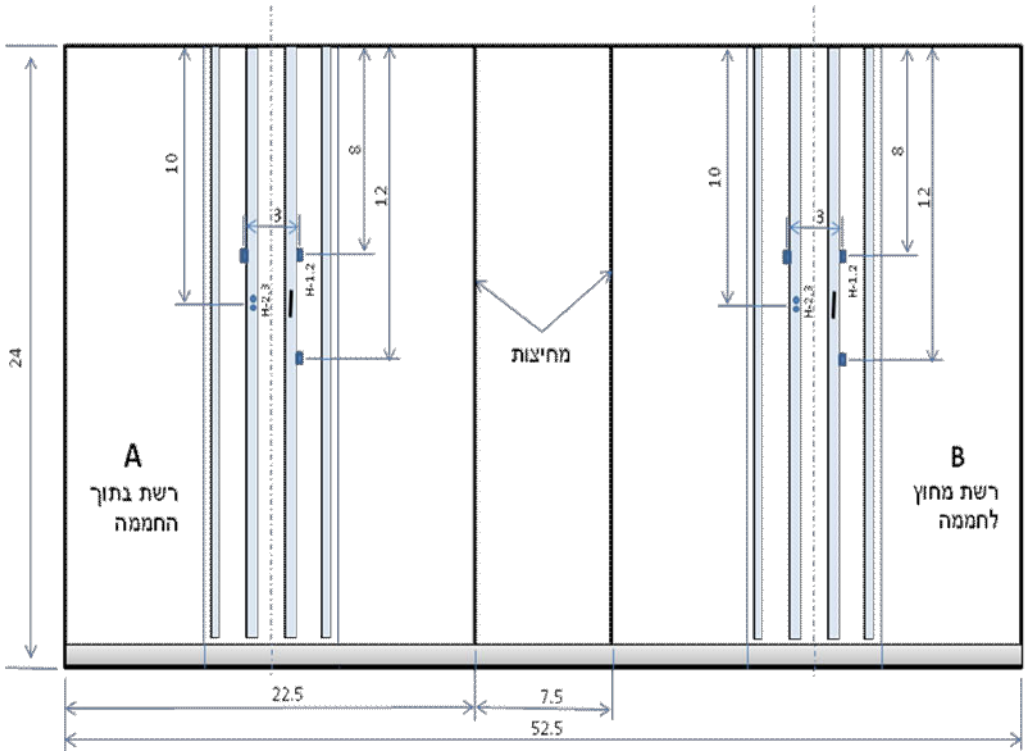
המדידות התבצעו בחממה הממוקמת בחוות הבשור, בנגב המערבי בקרבת חוף הים התיכון. החממה בעלת שבעה גמלונים ושטח רצפה של $1260\ m^2$ (אורך $24\ m$ ורוחב גמלון $7.5\ m$). כיוון המרזבים צפון דרום. עבור הניסויים בחרנו להשתמש בשישה גמלונים בלבד ויצרנו שני תאים של שלושה גמלונים שאינם מופרדים האחד מהשני. הגמלון האמצעי של החממה (השביעי) שימש להפרדה בין שני התאים על ידי יריעת פוליאתילן מסוג IR מפזר C-460 (Plastic Ginegar

Products Ltd.) . אותו סוג יריעה שימש גם לצורך כיסוי החממה. לאחר ההפרדה שטח רצפת כל תא (שלושה גמלונים) היה $540\ m^2$, גובה מרזב $3.5\ m$ ונפחו כ $2376\ m^3$. כל מדידות המיקרו אקלים נעשו בגמלון האמצעי של כל תא על מנת לצמצם למינימום השפעת אפקט שוליים. בתא המזרחי (להלן תא A) ובתא המערבי (להלן תא B) נשתל אותו מספר של צמחים באותה הצפיפות. ההשקיה והדישון היו זהים.

הניסויים נערכו במשך שלוש שנים: 2008, 2009 ו 2010. סיכום הצבת הרשתות בתאים במשך הפרויקט נתון בטבלה א'. לאורך כל השנים התאים היו מאווררים היטב ע"י אוורור טבעי – פתחי צד.

<u>טבלה א': מערך הניסויים בתקופת הפרויקט</u>

שנה	החודשים בהם בוצע הניסוי	סוג רשת	תא A	תא B	תאריך פרישת הרשת	תאריך הסרה
2008	9-10	שחורה 30% צל	בתוך התא	מחוץ לתא על היריעה	3/9	26/9
2009	3-5	שחורה 30% צל	בתוך התא	מחוץ לתא על היריעה	5/4	בסוף הניסוי
2009	9-10	אלומינט 30% צל	בתוך התא	מחוץ לתא על היריעה	3/9	4/10
2010	5-9	אלומינט 30% צל	מחוץ לתא על היריעה	בתוך התא	1/6	17/6
2010	5-9	אלומינט 30% צל	בתוך התא	מחוץ לתא על היריעה	18/6	19/7
2010	5-9	אלומינט 30% צל	מחוץ לתא על היריעה	בתוך התא	20/7	4/9
2010	5-9	אלומינט 30% צל	בתוך התא	מחוץ לתא על היריעה	5/9	בסוף הניסוי



<u>איור 1</u>: פריסת החיישנים בחממה הניסויית. כאן ● מסמן חיישני קרינה מד קרינה גלובלית ומד קרינה בתחום ה- PAR , ■ מסמן מדי טמפרטורה לח ויבש ו- ▌ מסמן מד קרינה פס בתחתית הנוף בתחום ה-PAR. טמפרטורת העלים נמדדה ע״י תרמוקפלים ליד מדי הקרינה. האיור מתאר מיקום הרשתות כפי שהיה בשנת 2008 (ראה טבלה א׳).

<u>מדידת קרינה</u>:

הקרינה נמדדה בתוך החממה ומחוצה לה. מחוץ לחממה הותקן מד קרינה גלובלית על גבי תורן מטאורולוגי (LI-COR, LI-200SZ Pyranometer Sensor). בתוך החממה הותקנו בגובה $2.3\ m$ מעל פני הקרקע מדי הקרינה הבאים (למיקום מדי הקרינה בחממה ראה איור 1) :

1) מד קרינה גלובלית LI-COR LI-200SZ Pyranometer Sensor (דיוק המכשיר $\pm 5\ W\ m^2$).

2) מד קרינה בתחום ה- PAR : LI-COR LI-190SZ Quantum Sensor .

3) בנוסף הונח מד קרינה (PAR LI-COR, Line Quantum sensor, LI-1000) על הקרקע בין שורות הצמחים בכל אחד מהתאים.

<u>מדידת טמפרטורה ולחות</u>:

בנוסף למדידות הקרינה נמדדו טמפרטורת האוויר והעלווה והלחות באוויר. מיקום המדידים נתון באיור 1. טמפרטורת העלווה נמדדה ע״י תרמוקפלים עדינים בקוטר חוט כ 0.1 מ״מ שהוחדרו לעורק הראשי של העלה (6 עלים בכל טיפול). הטמפרטורה והלחות של האוויר נמדדו ע״י יחידה

מאוורר מוצללת מקרינת שמש ישירה שבה הושמו שני תרמוקפלים האחד לח והשני יבש. בשנת 2010 נמדדה טמפרטורת העלווה גם במסגרת מדידות הפוטוסינתזה כפי שמתואר להלן ובנוסף נמדדה טמפרטורת העלווה בצמחים שונים בגמלון המרכזי של כל תא גם ע"י מצלמה תרמית FLIR i5. המדידות עם המצלמה התרמית נערכו בתאריכים 4,11 לאוגוסט ו 16 לספטמבר 2010. בכל יום נדגמו 10 עלים ממספר צמחים בכל טיפול.

מדידות פוטוסינתזה וטרנספירציה

פוטוסינתזה וטרנספירציה נמדדו בשני התאים בימים מסוימים (30/6, 4/8, 16/8, 16/9, 30/9) לאורך עונת הגידול בשנת 2010. המדידות נעשו בדרך כלל בשעות 10 – 13 על כ 3 – 5 צמחים. מכל צמח נדגמו 10 עלים בגבהים שונים. מדידות הפוטוסינתזה והטרנספירציה נעשו ע"י **LI- system open photosynthesis 6400XT (LI-COR Biosciences, Lincoln, NE).** מהמדידות האלה התקבלו גם ערכים של טמפרטורת עלה בכל תא.

אורך צמחים ושטח עלווה

אורך הצמחים ושטח העלווה נמדדו ע"י עקירת שני צמחים, בדרך כלל אחת לשבוע, מהשורות הקיצוניות של הגמלון האמצעי של כל תא. הגמלון המרכזי נבחר בכדי לצמצם השפעת אפקט שוליים. שטח העלווה נמדד ע"י מכשיר LI-COR 3100 .

יבול ואיכות

בשל מחלת הקלביבקטור שתקפה את הצמחים בשלשת השנים ובצורה חריפה במיוחד בשנתיים הראשונות נאלצנו לנטר את היבול ואיכותו בשנה השלישית בלבד. בכל תא בגמלון המרכזי סומנו חמש חלקות, כל חלקה 20 צמחים ולאורך העונה נבדק היבול המצטבר ואיכות העגבניות מהצמחים שסומנו.

תוצאות

קרינה גלובלית:

איורים 2, 3, 4 ו 5 מציגים ערכים ממוצעים של קרינת השמש הגלובלית בשני התאים בין השעות 10:00 ו 14:00 בימים בהם בוצעו הניסויים בשנים 2008, 2009 ו 2010. ארבעת האיורים מראים שלא היה הבדל משמעותי מובהק בין הטיפולים, כלומר כאשר משתמשים ברשת 30% הצללה אין משמעות למיקום הרשת על רמת הקרינה המגיעה לצמרות הצמחים. בעוד שבשנת 2008 ו2009 (חודשים 3-5) לא היה הבדל בין רמות הקרינה בתא A ו B בשנת 2009 (חודשים 9-10) היה הבדל בין התאים כפי שמוצג באיור 4. ההבדל ברמת הקרינה בין התאים לא נובע ממיקום הרשת מאחר והבדל זה נשאר גם כאשר הרשתות הוסרו. בדרך כלל הקפדנו להחליף את יריעת הפוליאטילן בשני התאים לפני תחילת הניסויים, אולם בשנת 2009 בחודשים 9-10 היריעה נשטפה לפני תחילת הניסוי אך לא הוחלפה .

טבלה ב' מציגה את היחס בין הקרינה בתוך המבנה לקרינה מחוץ למבנה עם וללא רשתות הצללה כפי שנמדדו במהלך הניסויים.

ההבדל בשנת 2009 ביחסי הקרינה, ללא רשת, בין מדידות בחודשים 9-10 (0.61 בתא A ו 0.52 בתא B) לחודשים 3-5 (0.65 בשני התאים) נובעים כפי הנראה מהצטברות אבק על יריעת הפוליאטילן.

<u>טבלה ב': יחס בין קרינה בתוך המבנה לקרינה מחוץ למבנה</u>

שנה	חודשי ניסוי	סוג רשת	יחס ללא רשת	יחס עם רשת
2008	9-10	שחורה 30% צל	0.64	0.44
2009	3-5	שחורה 30% צל	0.65	0.45
2009	9-10	אלומינט 30% צל	תא A 0.61 תא B 0.52	תא A 0.44 תא B 0.36
2010	5-9	אלומינט 30% צל	-----	0.5 → 0.42

הניסויים בשנת 2009, עם רשת אלומינט, בוצעו כחצי שנה לאחר הניסויים עם הרשת השחורה ובתקופת זמן זו חל כנראה ירידה במעבירות הכיסוי. ראוי לשים לב שבשנת 2010 בתקופה של 5 חודשים ירדה מעבירות הקרינה של היריעה עם רשת האלומינט מ 0.5 ל 0.42 בשל הצטברות אבק. מאיורים 2, 3 ו 4 עולה שמעבירות הקרינה ירדה ב 5% לערך בתקופה של 2 – 4 שבועות בשל הצטברות האבק.

טבלה ב' מראה כי אין הבדל משמעותי בין רשת שחורה לרשת אלומינט ולשניהן רמת הצללה של כ30% כפי שהיצרן מציין.

<u>רמת אור PAR בגובה צמרות הצמחים</u>

איורים 6 – 9 מציגים ערכים ממוצעים של רמת האור, בשני התאים, בגובה 2.3 מטר מהקרקע בשנים 2008 – 2010 בדומה להצגת הקרינה הגלובלית. רמת האור השתנתה בהתאם לקרינת השמש מחוץ למבנה ונעה בדרך כלל בין הערכים 500 – 1000 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$. בכל השנים לא נמצאו הבדלים מובהקים ברמת האור בתוך המבנה כתוצאה ממיקום הרשת. לעומת זאת יש לציין כי בשנת 2010 היה הבדל ברמת האור בין שני התאים שלא כתוצאה ממיקום הרשת. לא נמצא הסבר מניח את הדעת להבדלים שנמדדו. יתרה מזאת, בהצבה מסוימת של הרשתות בחלק מהימים רמת האור בתא אחד הייתה גדולה מרמת האור בתא השני ובחלק האחר של הימים התופעה מתהפכת.

<u>רמת האור PAR על פני הקרקע</u>

רמת האור על פני הקרקע בשני התאים מוצגת באיורים 10 – 13. גם כאן הערכים המוצגים הם ממוצעים של ערכים שנמדדו בין השעות 10:00 ל 14:00. גם איורים אלה מציגים שאין משמעות

למיקום הרשת מבחינת ההשפעה על רמת האור בקרקעית החממה. ב2008 היה הבדל בין התאים אבל הבדל זה היה גם כאשר לא היו רשתות כלל בשני התאים. ההבדל ברמת האור על הקרקע גם כשאין רשתות נובע ממיקום לא זהה של המדידים בתאים, הצללה שונה של הצמחים על המכשור וייתכן שגם שגיאות כיול. הבדלים בקרינה בין התאים, גם ללא רשת, נצפו גם בחודשים 10-9 בשנת 2009 כפי הנראה מאותם סיבות שגרמו להבדלים ב2008. גם בשנת 2010 לא נצפו הבדלים מובהקים ברמת האור בפני הקרקע בין הטיפולים.

<u>טמפרטורת האוויר</u>

באיורים 14 – 17 מוצגת טמפרטורת האוויר בשני התאים. הנקודות באיור מציינות ממוצעים של מדידות בין השעות 10:00 ל 14:00. כמו עם הקרינה הגלובלית ורמת האור גם בטמפרטורת האוויר לא רואים שינוי כתוצאה ממיקום הרשת. במהלך הניסויים בשנים 2008-2010 טמפרטורת האוויר בתאים השתנתה בתחום 22 – 36 מ״צ. האיורים 14- 17 מראים שישנם ימים בהם יש הבדל בטמפרטורה בין התאים אך הבדל טמפרטורה דומה בין הטיפולים נצפה גם כאשר הרשתות לא היו פרושות. יתרה מזאת, לא נראה שרשת צל 30% משנה משמעותית את טמפרטורת האוויר במבנה ביחס לטמפרטורת האוויר מחוץ למבנה. הדבר כמובן תלוי ברמת האוורור של המבנה אך מאחר והחממה הופעלה במתכונת דומה לזו של חממה מסחרית (אוורור טבעי ע״י פתחי צד) סביר להניח שגם בחממה גדולה לא תהיה לרשת 30% צל השפע משמעותית על הפרש הטמפרטורה פנים-חוץ.

<u>לחות האוויר</u>

הלחות היחסית של האוויר בשני התאים מוצגת באיורים 18 – 21. גם במקרה זה לא רואים השפעה מובהקת של מיקום הרשת. הבדלים בלחות היחסית בין התאים היו גם כאשר לא היו רשתות. ההבדלים בין התאים נשארו פחות או יותר דומים לאחר יישום הרשתות. מאיורים 19 ו 20 נראה שיישום רשתות מגדיל את ההפרש שבין הלחות היחסית בתוך המבנה ללחות שמחוץ למבנה. אין הסבר מניח את הדעת לתופעה זו ומן הראוי לבחון אותה שוב בצורה מעמיקה יותר בניסויים נוספים.

<u>טמפרטורת העלים</u>

טמפרטורת העלים נבחנה בשלוש שיטות; ע״י החדרת תרמוקפל עדין בקוטר חוט של כ0.1 מ״מ לעורק הראשי של העלה במספר עלים, ע״י צילום תרמי במצלמת FLIR i6 וע״י תרמוקפל עדין שמוצמד לפני העלה כשנעשה שימוש במכשיר **LI-6400XT photosynthesis open system.**

התוצאות של כל המדידות בשיטות השונות מוצגות באיורים 22 – 25. איור 22 מציג את טמפרטורת העלים, עם רשת צל שחורה, כפי שנמדדה ע״י תרמו קפלים שהוחדרו לעורק הראשי. האיור מראה שטמפרטורת העלים בתא A הייתה בדרך כלל נמוכה מזו שבתא B ללא קשר למיקום הרשת. מצד שני איור 23, המראה ניסויים עם רשת אלומינט, מציג תופעה הפוכה, טמפרטורת העלים בתא B הייתה גבוהה מזו שבתא A. מדידות הטמפרטורה ע״י המצלמה התרמית מראות שאין הבדל בין התאים מבחינת טמפרטורת העלווה. הטמפרטורה הממוצעת של 30 העלים הייתה כ 31 מעלות. תוצאות המדידות בעזרת מכשיר **LI-6400XT** מוצגות באיור 25 והן מראות את שינוי טמפרטורת העלים כפונקציה של רמת האור (הקרינה) שנמדדה ליד העלים. האיור מראה

שטמפרטורת העלה עולה מעט עם העלייה ברמת האור, כצפוי, כי רמת האור פרופורציונלית לקרינת השמש וקרינת השמש משפיעה על טמפרטורת העלווה. ראוי לשים לב לערכים הנמוכים של מקדם הקורלציה R^2 בשני המקרים המצביע על תלות חלשה שבין רמת האור וטמפרטורת העלה. האיור גם מראה שקצב העלייה גדול יותר כאשר רשת הצל מיושמת מעל היריעה מחוץ למבנה בהשוואה לתא עם יריעה בתוך המבנה. במדידות האלה אנליזת ANOVA הראתה שיש הבדל משמעותי ($P<0.05$) בין הטיפולים. כשרשת האלומינט בתוך המבנה העלים היו קרים יותר ב כ 0.6 מ״צ. מהנתונים על רמת האור שהוצגו באיורים 6 – 9, אפשר להניח שרמת האור הממוצעת בין השעות 10:00 ל 14:00 היא כ $700\ \mu mol\ m^{-2}s^{-1}$, ברמת אור כזו טמפרטורת העלים בתא עם רשת בתוך המבנה היא כ 34 מ״צ ובתא עם רשת מחוץ למבנה היא כ 34.6 מ״צ. הערכים האלה לא שונים בהרבה מהערכים שנמדדו ע״י תרמו קפלים שהוחדרו לעורק הראשי של העלים פחות או יותר באותה התקופה (איור 23) ומחזקים את הביטחון שהמדידות עם **LI-6400XT** אכן נכונות ושגיאות המדידה קטנות.

<u>פוטוסינתזה</u>

ערכי הפוטוסינתזה כפי שנמדדו ע״י מכשיר **LI-6400XT** מוצגים באיור 26. האיור מציג את הערכים כפונקציה של רמת האור ליד העלה. האיור מראה כי יש קורלציה גבוהה בין קצב הפוטוסינתזה לרמת האור שליד העלה, כצפוי. במקרה של רשת בתוך התא היה ערכו של מקדם הקורלציה (0.93) גבוה יותר מהמקרה בו הרשת הייתה מחוץ לתא (0.68). האיור מראה גם שקצב שינוי הפוטוסינתזה בתלות ברמת האור גבוה יותר, ב 25% לערך, כשהרשת בתוך התא בהשוואה לרשת המונחת על יריעת הגג. בהנחה של רמת אור ממוצעת $700\ \mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ מתקבלת רמת פוטוסינתזה של כ $19\ \mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ הגבוהה ב9% לערך מזו שבתא עם רשת מחוץ למבנה. יש לציין שהמדידות נערכו בשעה 10 – 13 כשרמת האור גבוהה ובשעות בהן אנחנו מצפים להבדלים הגדולים ביותר בין הטיפולים.

<u>טרנספירציה</u>

הטרנספירציה מעלים בודדים, בגבהים שונים של הנוף, נמדדה אף היא ע״י מכשיר **LI-6400XT** ומוצגת באיור 27. האיור מראה שהטרנספירציה עולה עם רמת האור עם כי ערכו של R^2 במקרה זה הוא יחסית נמוך. קצב שינוי הטרנספירציה כפונקציה של האור אינו שונה בין טיפול בו הרשת בתוך החממה לטיפול האחר שבו הרשת על הכיסוי. ברמות אור נמוכות עד כ $500\ \mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ הטרנספירציה עם רשת על פני הכיסוי גבוהה מזו שבטיפול עם רשת בתוך המבנה. המגמה מתהפכת ברמות קרינה גבוהות יותר. ברמת אור של $700\ \mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ הייתה ערך הטרנספירציה עם רשת בתוך המבנה כ $11\ \mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ ובטיפול השני $9.7\ \mu mol\ m^{-2}s^{-1}$. כלומר הטרנספירציה הייתה כ 450 ווט\מ״ר שטח עלה. בהנחת LAI ממוצע 2 בימים בהם נמדדה הטרנספירציה (ההנחה מבוססת על מדידות שערכנו) מקבלים שהטרנספירציה לשטח ריצפה הייתה כ 900 ווט\מ״ר. ערך זה הוא גבוה אך רינו מייצג טרנספירציה של צמח שלם בשל העובדה שמדדנו מספר עלים קטן

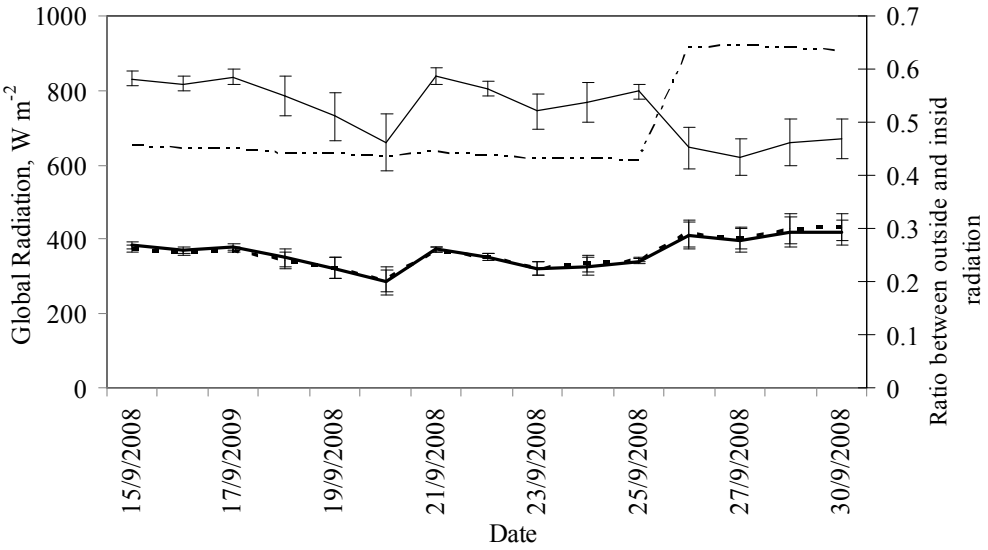
שאינו מייצג צמח שלם וגם אינו מייצג את השינוי בטרנספירציה כתוצאה משינוי הקרינה לגובה הצמח.

אורך צמחים ושטח עלווה

אורך הצמחים ושטח העלווה (LAI) נמדדו בשנת 2010 משתילת הצמחים ועד סיום הגידול. התוצאות מוצגות באיור 28. עם השתילה היה גובה הצמחים כ 10 ס״מ ובמשך כארבעה וחצי חודשים הם גדלו לאורך של כ 5.2 מטר. איור 28a מראה שלמיקום הרשת לא הייתה השפעה על אורך הצמח. היחס בין שטח העלווה לשטח רצפת החממה מוצג באיור 28b. מהאיור רואים כי שטח העלווה בתא A היה גדול מזה שבתא B כמעט בכל תקופת הגידול שנמשכה כחמישה חודשים. בתקופה זו הוחלפו הטיפולים בין התאים ולכן קשה למצוא קורלציה בין שטח העלווה לטיפול. מהתוצאות שבידנו אין אפשרות לקבוע חד משמעית אם למיקום הרשת השפעה על שטח העלווה. מהתוצאות שהתקבלו עד להחלפה הראשונה בין הטיפולים (בתאריך 17 ליוני) נראה ששטח העלווה היה גדול יותר בתא בו הרשת הייתה מחוץ למבנה.

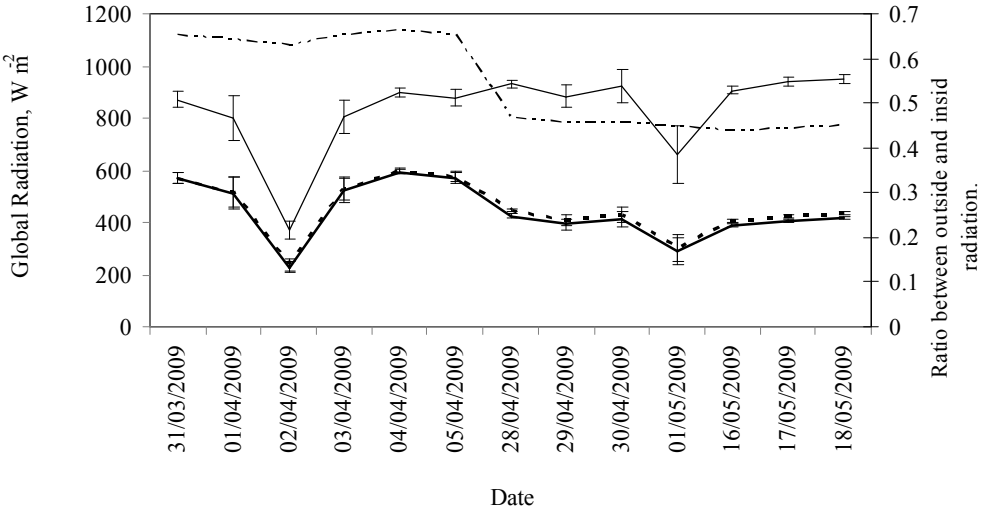
יבול

בשנת 2010 היה היבול משתילה באמצע אפריל וקטיף מתחילת יולי ועד תחילת ספטמבר בתא עם הרשתות בתוך המבנה 6.5 טון לעומת יבול של כ 6 טון בטיפול השני בו הרשת הייתה על הכיסוי. ההבדל בין הטיפולים לא היה מובהק.

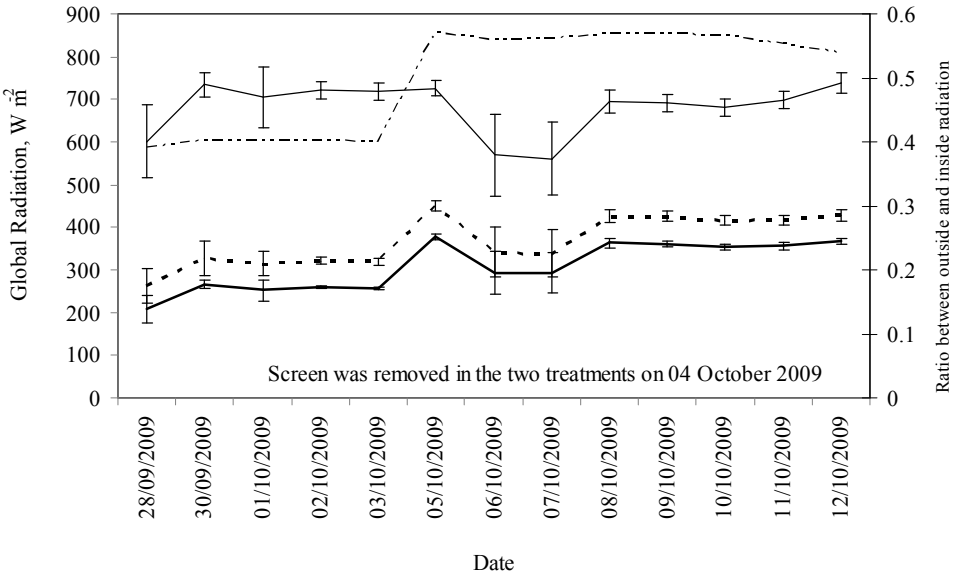


איור 2: השוואה של קרינת שמש גלובלית בין שני התאים של החממה, תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת שחורה). קו מקווקו מייצג את הקרינה בתא A, קו רציף עבה מייצג את הקרינה בתא B וקו רציף דק מייצג את הקרינה מחוץ לחממה. קו מקווקו

מופרד לאורכו ע״י שתי נקודות מתאר את היחס בין קרינת השמש בחממה לקרינה מחוץ לחממה. בתאריך 26.9.2008 הרשתות הוסרו.

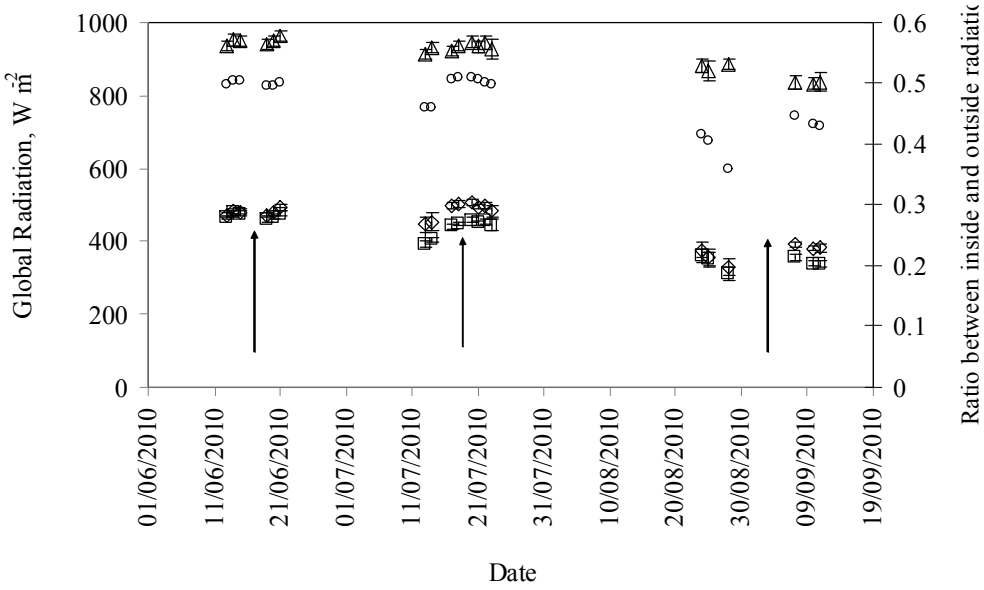


איור 3. השוואה של קרינת שמש גלובלית בין שני התאים של החממה, תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת שחורה). קו מקווקו מייצג את הקרינה בתא A, קו רציף עבה מייצג את הקרינה בתא B וקו רציף דק מייצג את הקרינה מחוץ לחממה. קו מקווקו מופרד לאורכו ע״י שתי נקודות מתאר את היחס בין קרינת השמש בחממה לקרינה מחוץ לחממה. הרשת הונחה בשני הטיפולים בתאריך 5 לאפריל.

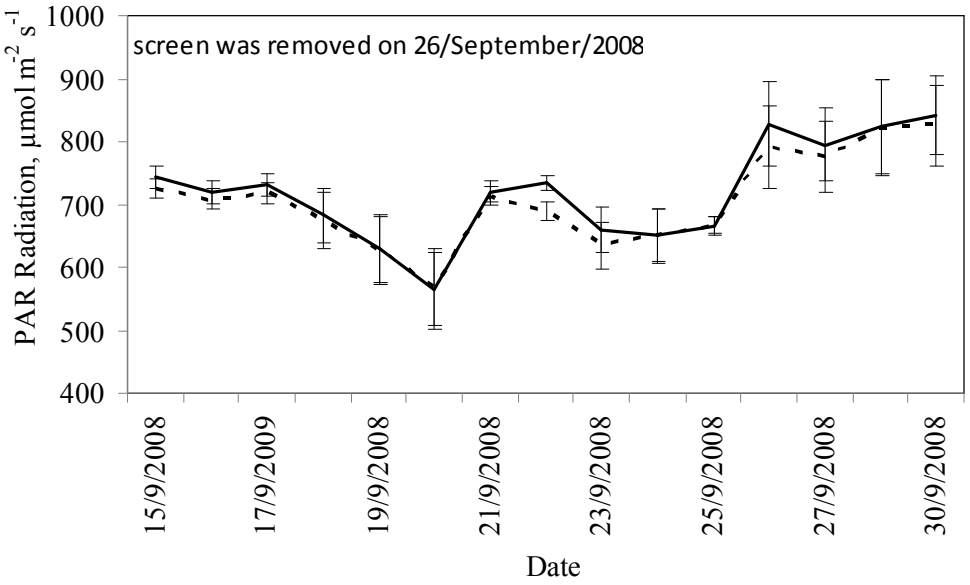


<u>איור 4</u>: השוואה של קרינת שמש גלובלית בין שני התאים של החממה, תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת אלומינט). קו מקווקו מייצג את הקרינה בתא A, קו

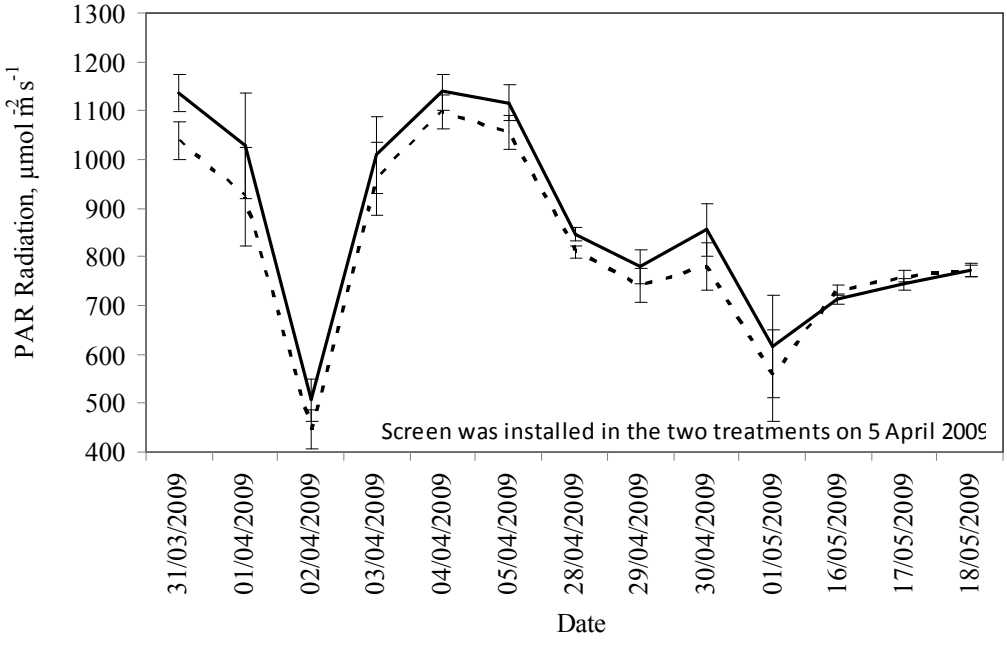
רציף עבה מייצג את הקרינה בתא B וקו רציף דק מייצג את הקרינה מחוץ לחממה. קו מקווקו מופרד לאורכו ע״י שתי נקודות מתאר את היחס בין קרינת השמש בחממה לקרינה מחוץ לחממה. הרשת הוסרה בשני הטיפולים בתאריך 4 לאוקטובר.



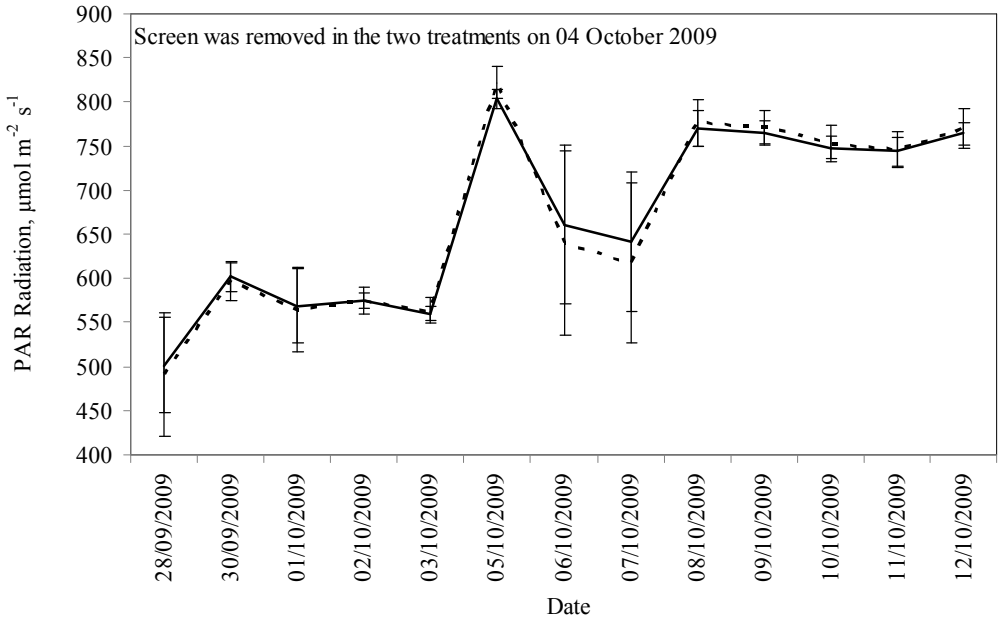
<u>איור 5</u>: השוואה של קרינת שמש גלובלית בין שני התאים של החממה (רשת אלומינט). החיצים מציינים יום בו הוחלפו הטיפולים, ובמקום בו הייתה רשת על הכיסוי הרשת הוכנסה לתוך המבנה ובמקום בו הרשת הייתה במבנה היא נפרשה על הכיסוי (ראה טבלה א׳ לפרוט מיקום הרשת). ◊, תא A ; □, תא B ; Δ, קרינה מחוץ למבנה ; o, יחס בין שני הטיפולים בתאים A ו B.



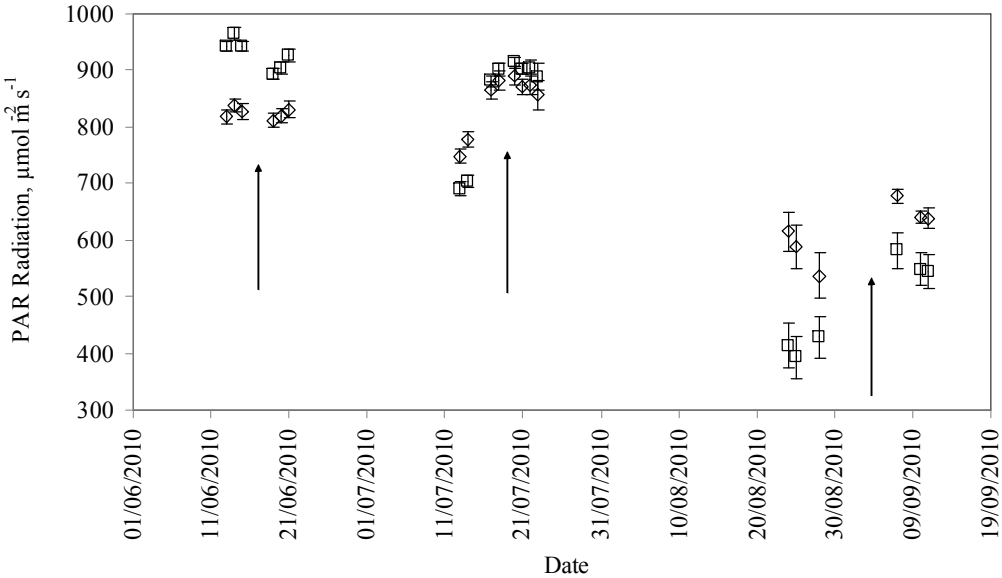
<u>איור 6</u>: השוואה של קרינת PAR בין שני התאים של החממה, תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת שחורה). קו מקווקו מייצג את הקרינה בתא A, קו רציף עבה מייצג את הקרינה בתא B. בתאריך 26.9.2008 הרשתות הוסרו.



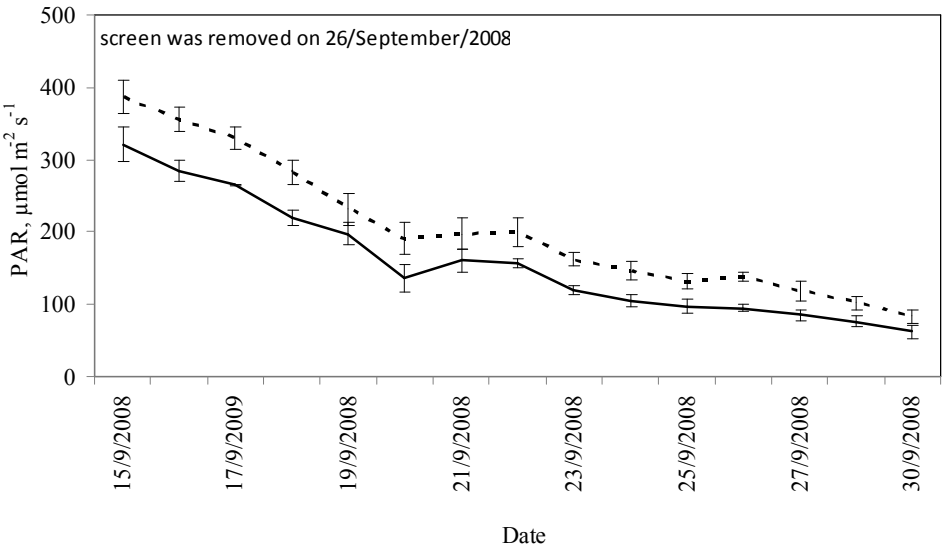
איור 7. השוואה של קרינת PAR בין שני התאים של החממה, תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת שחורה). קו מקווקו מייצג את הקרינה בתא A, קו רציף עבה מייצג את הקרינה בתא B. הרשת הונחה בשני הטיפולים בתאריך 5 לאפריל.



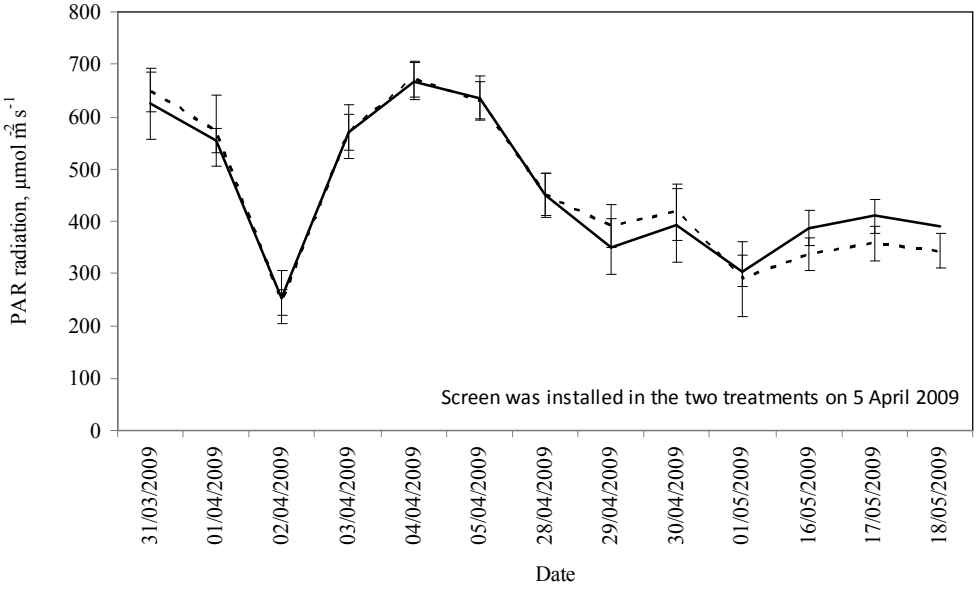
איור 8. השוואה של קרינת PAR בין שני התאים של החממה, תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת אלומינט). קו מקווקו מייצג את הקרינה בתא A, קו רציף עבה מייצג את הקרינה בתא B. הרשת הוסרה בשני הטיפולים בתאריך 4 לאוקטובר.



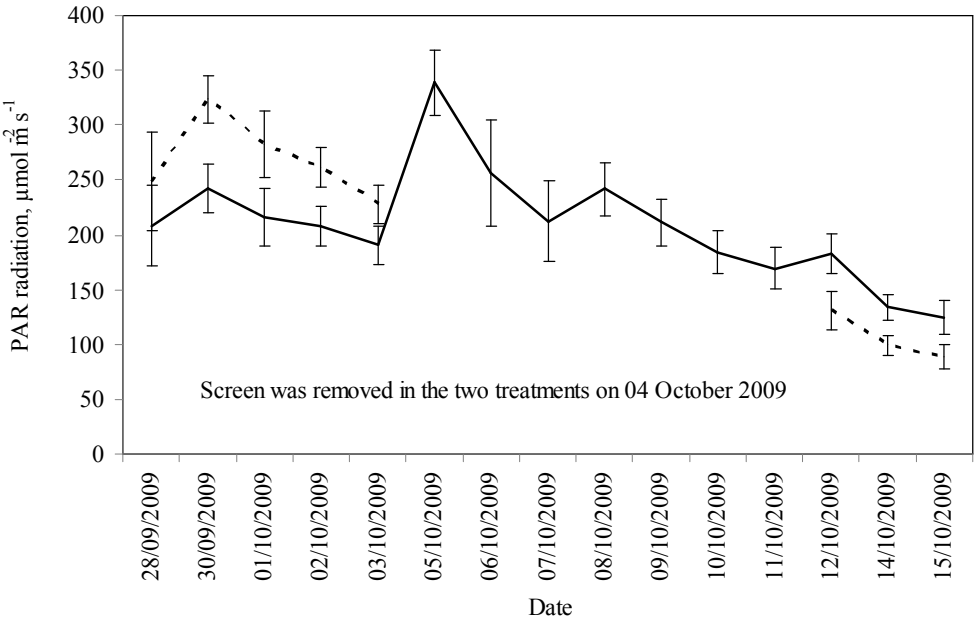
איור 9. השוואה של קרינת PAR בין שני התאים של החממה (רשת אלומינט). החיצים מציינים יום בו הוחלפו הטיפולים, ובמקום בו הייתה רשת על הכיסוי הרשת הוכנסה לתוך המבנה ובמקום בו הרשת הייתה במבנה היא נפרשה על הכיסוי (ראה טבלה א' לפרוט מיקום הרשת). ◊, תא A ; □, תא B.



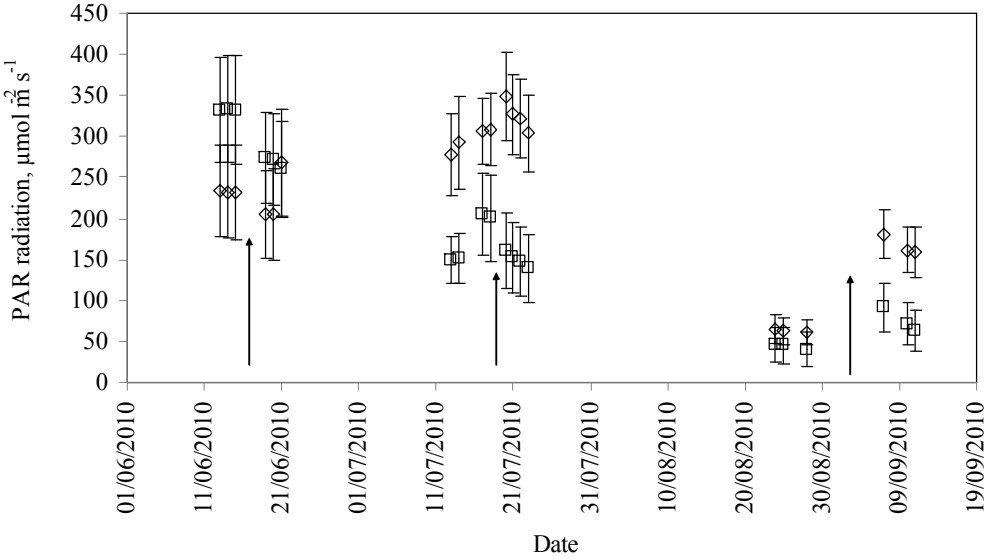
איור 10. השוואה בין קרינת PAR על פני הקרקע של שני תאי החממה, תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת שחורה). קו מקווקו מייצג את הקרינה בתא A, קו רציף עבה מייצג את הקרינה בתא B. רשתות הוסרו משני הטיפולים ב 26 לספטמבר.



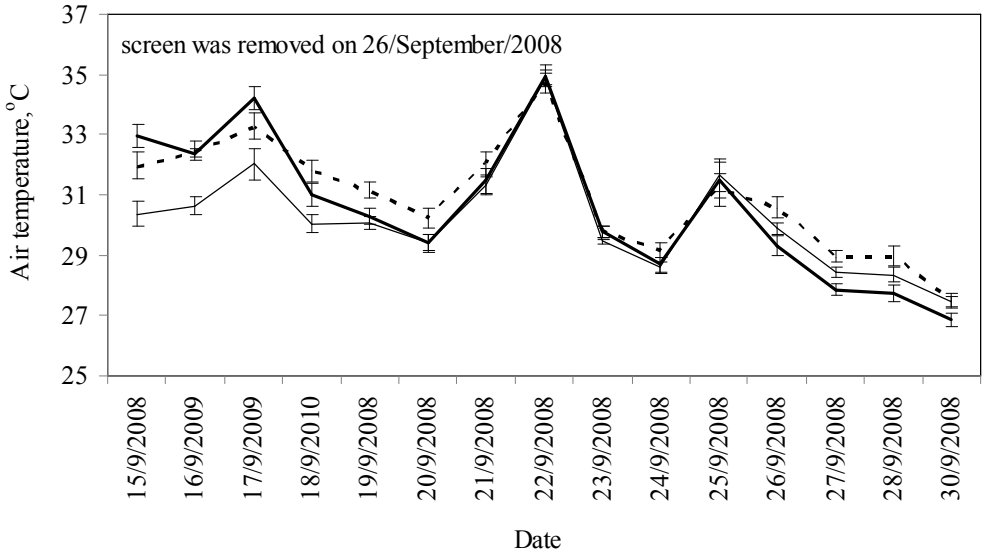
איור 11. השוואה בין קרינת PAR על פני הקרקע של שני תאי החממה, תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת שחורה). קו מקווקו מייצג את הקרינה בתא A, קו רציף עבה מייצג את הקרינה בתא B. רשתות נפרשו בשני הטיפולים בתאריך 5 לאפריל.



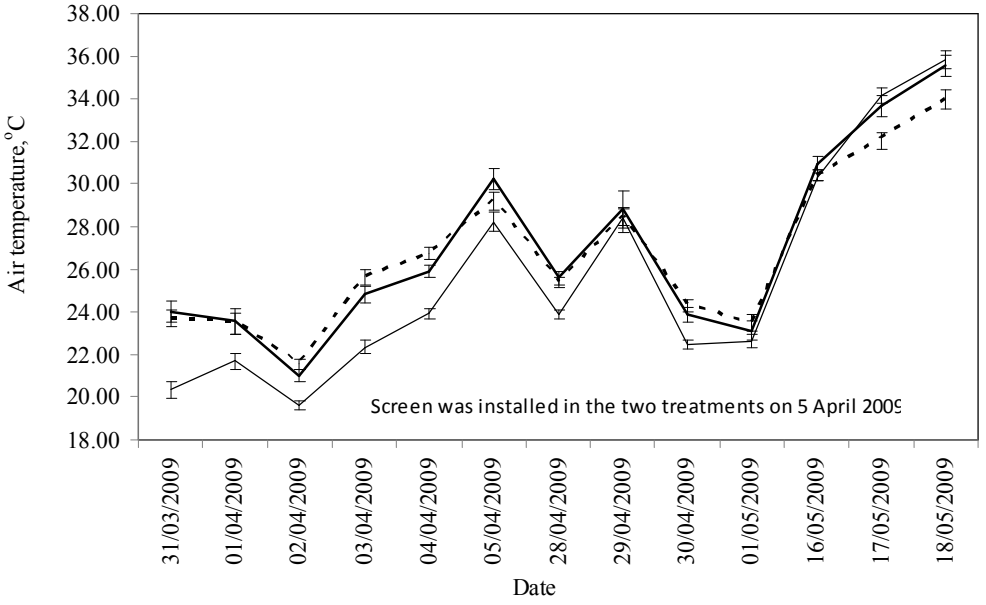
איור 12. השוואה בין קרינת PAR על פני הקרקע של שני תאי החממה, תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת אלומינט). קו מקווקו מייצג את הקרינה בתא A, קו רציף עבה מייצג את הקרינה בתא B. רשתות הוסרו בשני הטיפולים בתאריך 4 לאוקטובר.



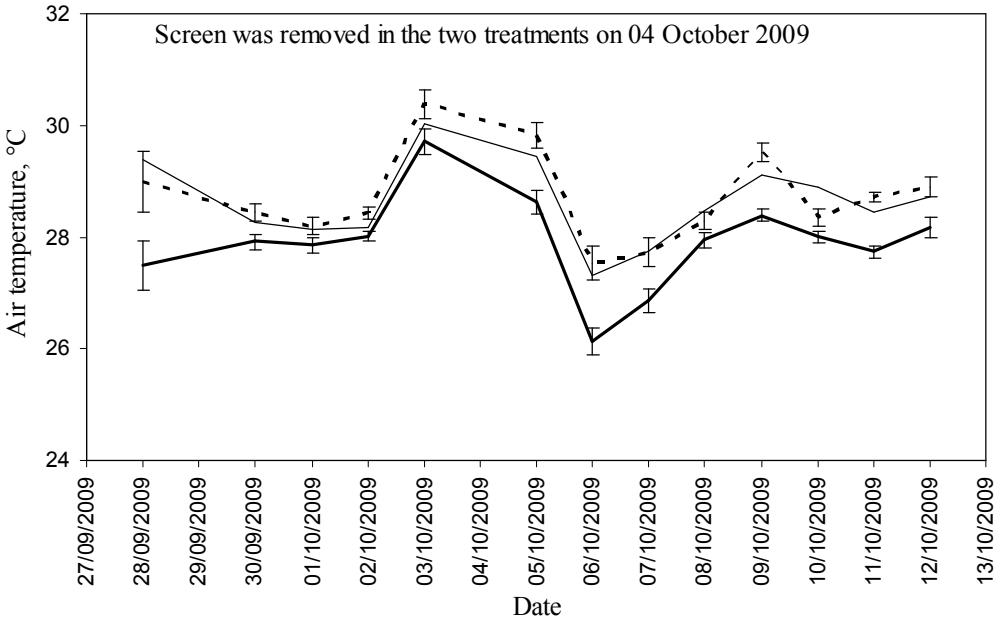
איור 13. השוואה של קרינת PAR על פני הקרקע של שני תאי החממה (רשת אלומינט). החיצים מציינים יום בו הוחלפו הטיפולים, ובמקום בו הייתה רשת על הכיסוי הרשת הוכנסה לתוך המבנה ובמקום בו הרשת הייתה במבנה היא נפרשה על הכיסוי (ראה טבלה א' לפרוט מיקום הרשת). ◊, תא A; □, תא B.



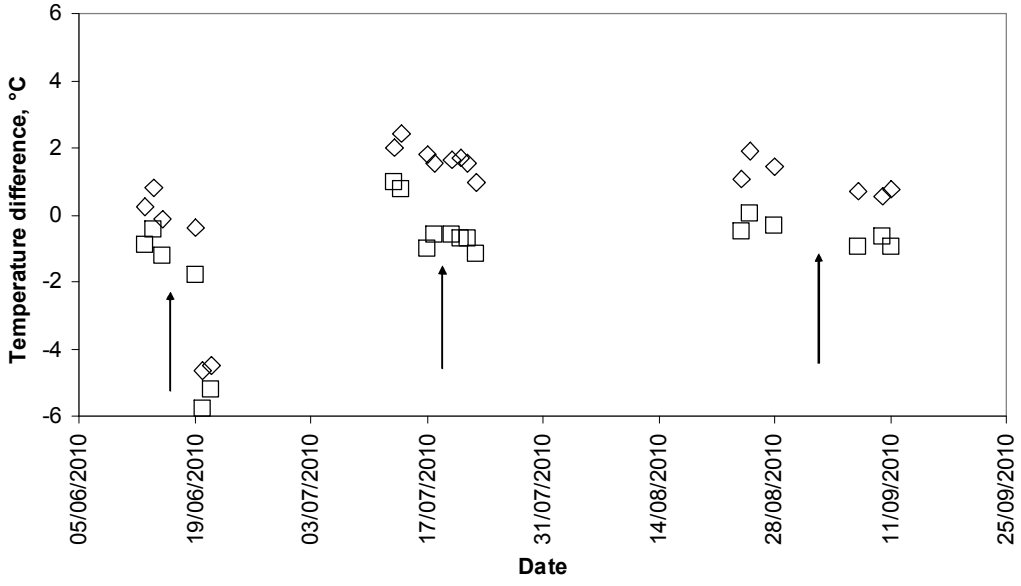
איור 14. טמפרטורת האוויר בשני הטיפולים. תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת שחורה). קו מקווקו מייצג את הטמפרטורה בתא A, קו רציף עבה מייצג את הטמפרטורה בתא B וקו רציף דק מייצג את הטמפרטורה מחוץ לחממה.



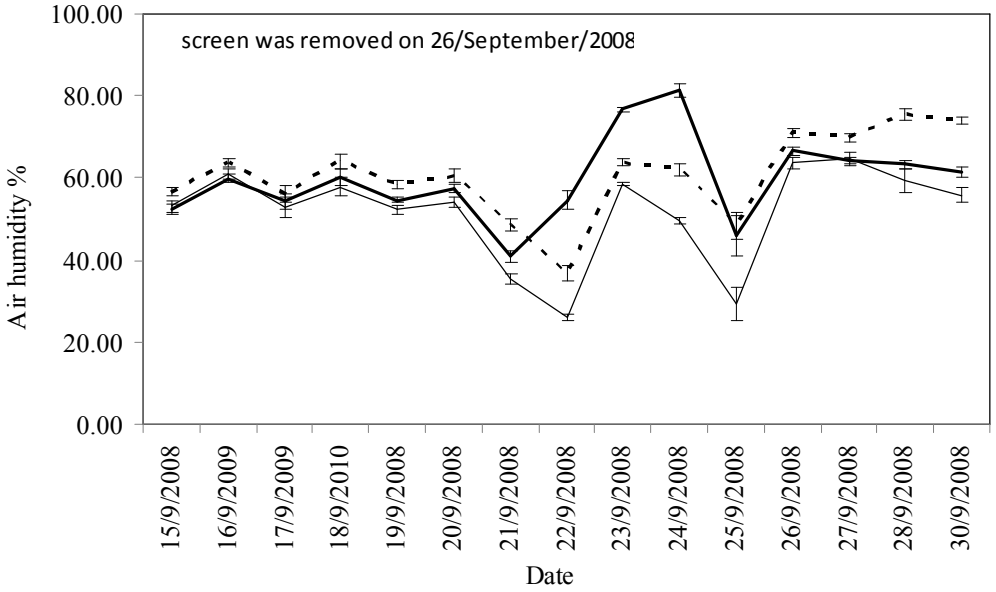
איור 15. טמפרטורת האוויר בשני הטיפולים. תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת שחורה). קו מקווקו מייצג את הטמפרטורה בתא A, קו רציף עבה מייצג את הטמפרטורה בתא B וקו רציף דק מייצג את הטמפרטורה מחוץ לחממה.



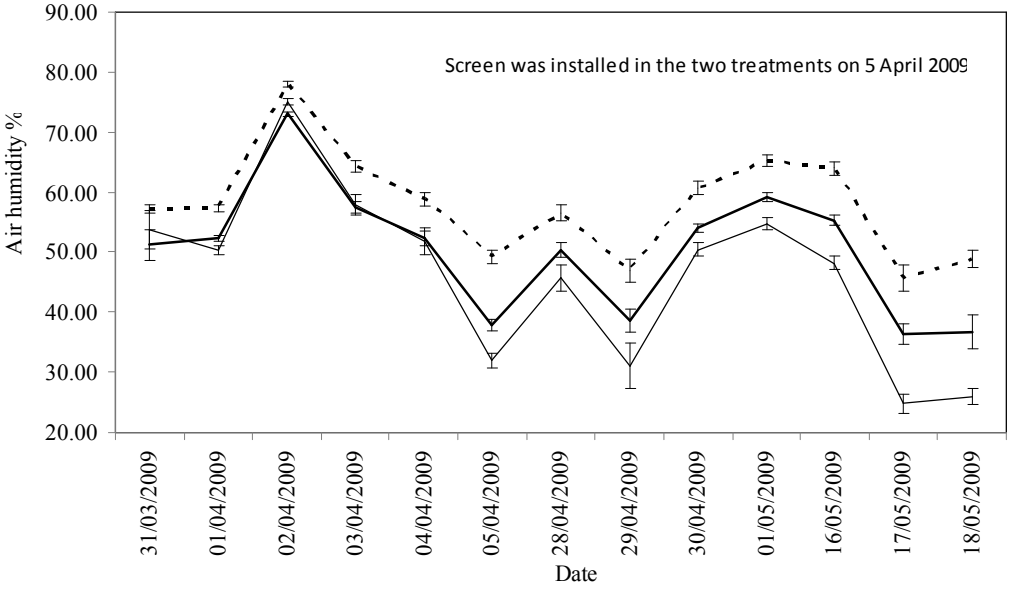
איור 16. טמפרטורת האוויר בשני הטיפולים. תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת אלומינט). קו מקווקו מייצג את הטמפרטורה בתא A, קו רציף עבה מייצג את הטמפרטורה בתא B וקו רציף דק מייצג את הטמפרטורה מחוץ לחממה.



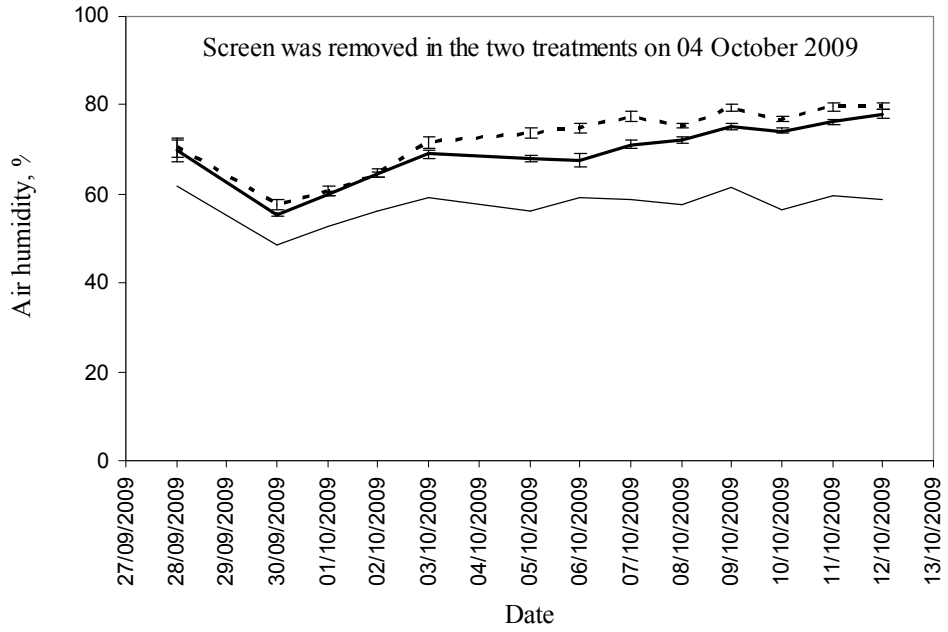
איור 17. טמפרטורת האוויר בשני הטיפולים (רשת אלומינט). החיצים מציינים יום בו הוחלפו הטיפולים, ובמקום בו הייתה רשת על הכיסוי הרשת הוכנסה לתוך המבנה ובמקום בו הרשת הייתה במבנה היא נפרשה על הכיסוי (ראה טבלה א' לפרוט מיקום הרשת). ◊, תא A ; □, תא B.



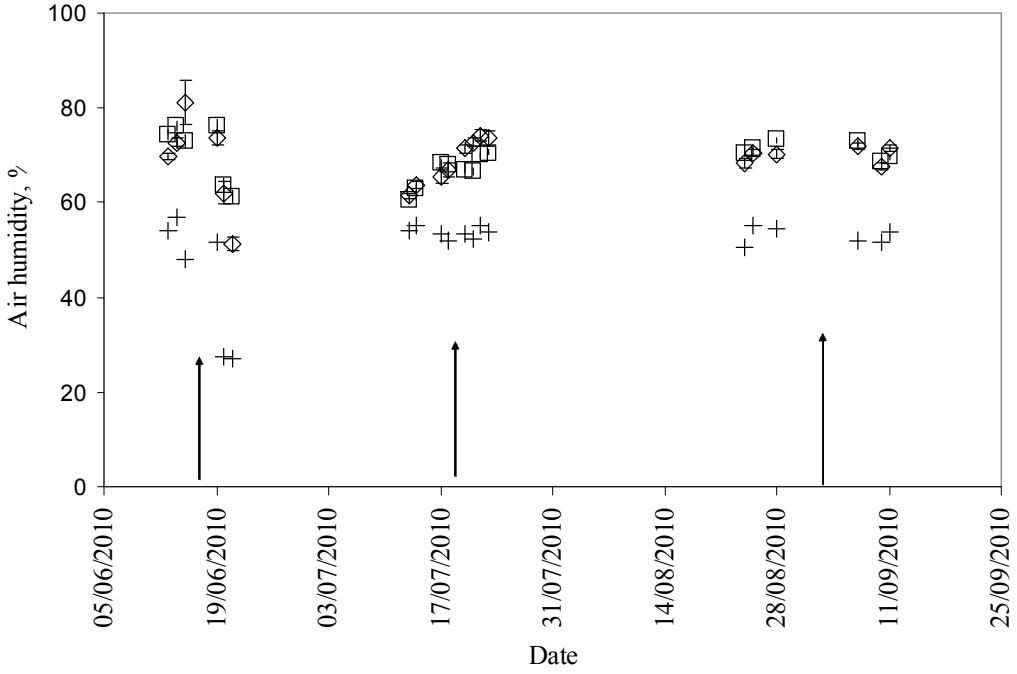
איור 18. לחות יחסית של האוויר בשני הטיפולים. תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת שחורה). קו מקווקו מייצג את הלחות בתא A, קו רציף עבה מייצג את הלחות בתא B וקו רציף דק מייצג את הלחות מחוץ לחממה.



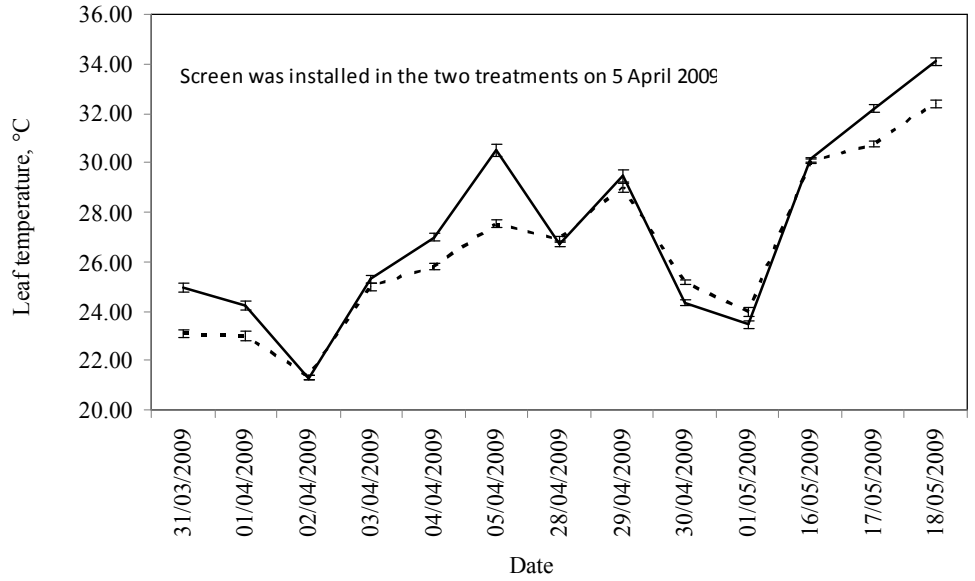
איור 19. לחות יחסית של האוויר בשני הטיפולים. תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת שחורה). קו מקווקו מייצג את הלחות בתא A, קו רציף עבה מייצג את הלחות בתא B וקו רציף דק מייצג את הלחות מחוץ לחממה. רשתות נפרשו בשני הטיפולים בתאריך 5 לאפריל.



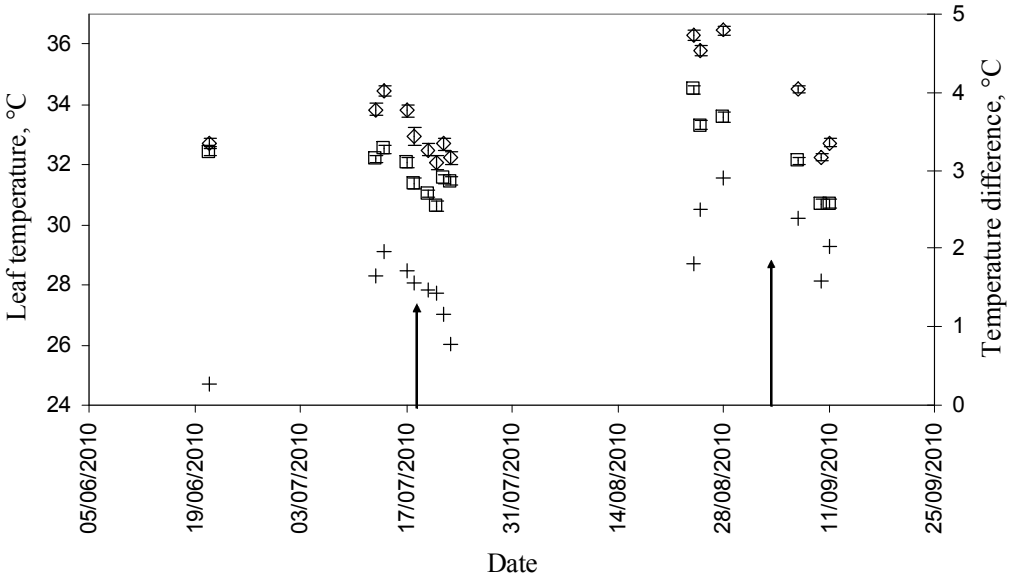
איור 20. לחות יחסית של האוויר בשני הטיפולים. תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת אלומינט). קו מקווקו מייצג את הלחות בתא A, קו רציף עבה מייצג את הלחות בתא B וקו רציף דק מייצג את הלחות מחוץ לחממה. רשתות הוסרו בשני הטיפולים בתאריך 4 לאוקטובר.



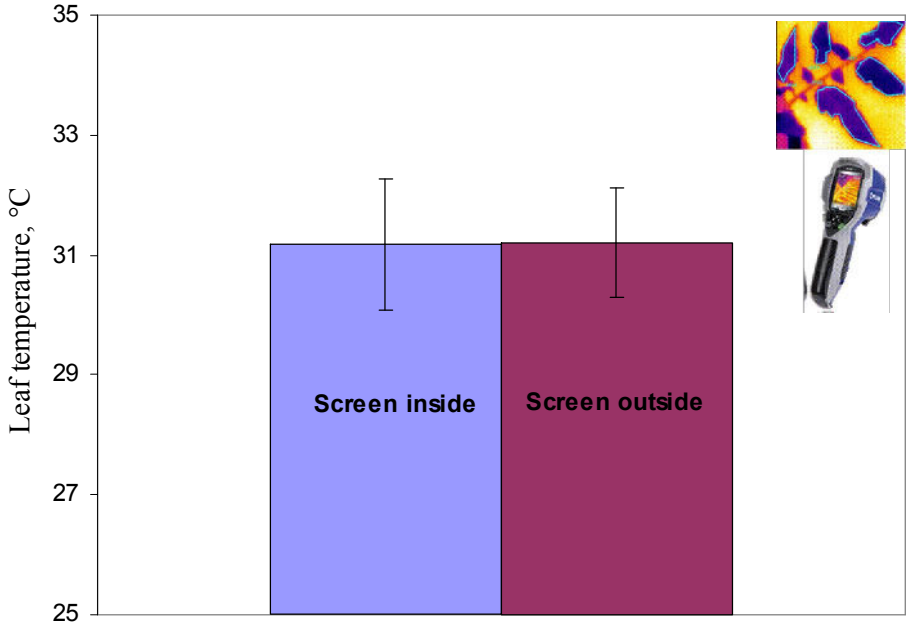
איור 21. לחות יחסית של האוויר בשני הטיפולים (רשת אלומינט). החיצים מציינים יום בו הוחלפו הטיפולים, ובמקום בו הייתה רשת על הכיסוי הרשת הוכנסה לתוך המבנה ובמקום בו הרשת הייתה במבנה היא נפרשה על הכיסוי (ראה טבלה א׳ לפרוט מיקום הרשת). ◊, תא A ; □, תא B ; + מחוץ לחממה.



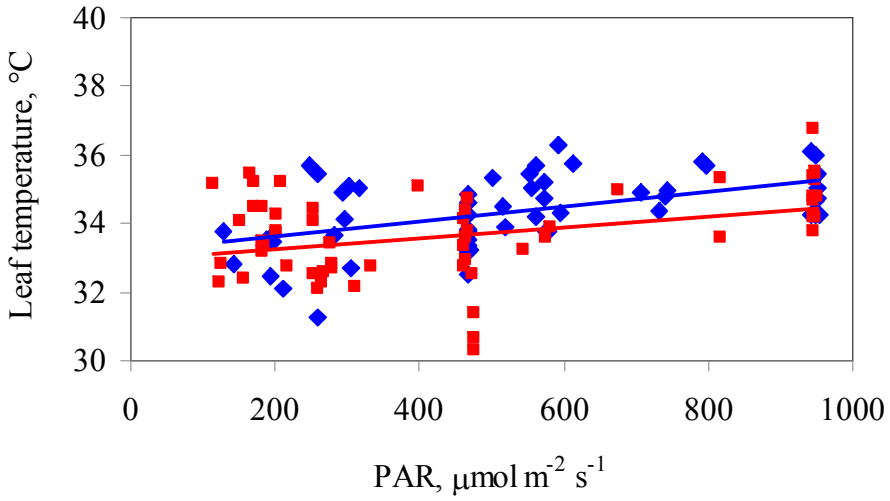
איור 22. טמפרטורת עלווה שנמדדה ע״י תרמוקפלים. תא A עם הרשת בתוך החממה ותא B עם הרשת מחוץ לחממה (רשת אלומינט). קו מקווקו מייצג את טמפרטורת עלווה בתא A, קו רציף עבה מייצג טמפרטורת עלווה בתא B. רשתות נפרשו בתאריך 5 לאפריל.



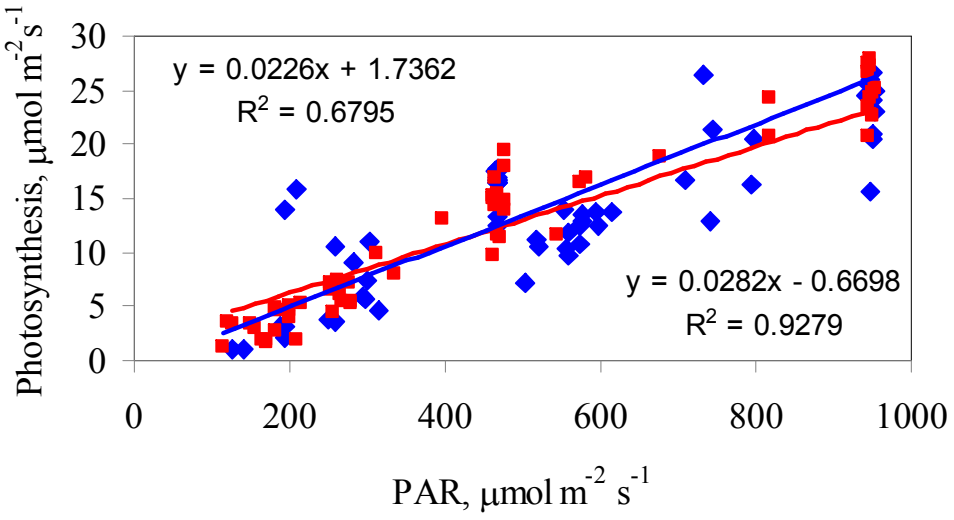
איור 23. טמפרטורת עלווה, שנמדדה ע״י תרמוקפלים. החיצים מציינים יום בו הוחלפו הטיפולים, ובמקום בו הייתה רשת על הכיסוי הרשת הוכנסה לתוך המבנה ובמקום בו הרשת הייתה במבנה היא נפרשה על הכיסוי (ראה טבלה א׳ לפרוט מיקום הרשת). ◊, תא A; □, תא B; +, הפרש בטמפרטורת העלווה בין שני הטיפולים.



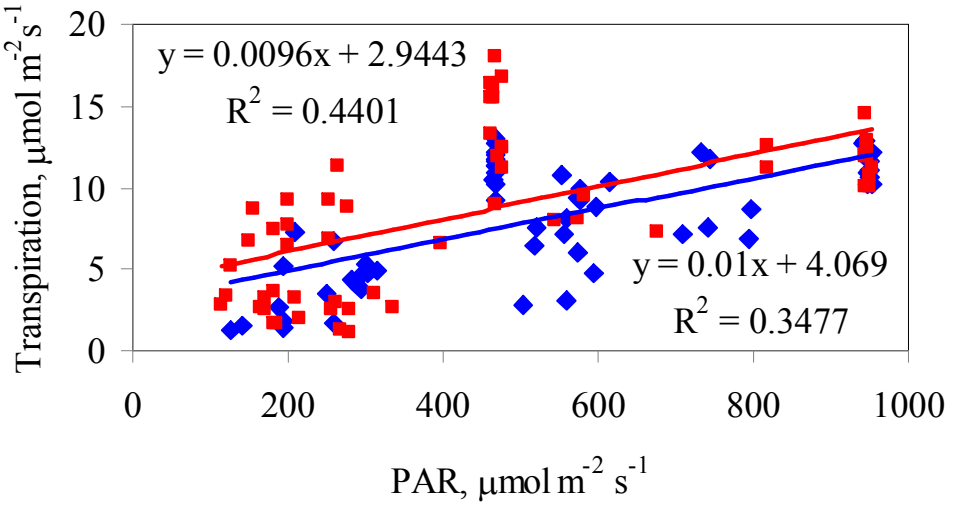
איור 24. טמפרטורת עלווה שנמדדה ע״י מד אינפרא אדום. העמודה הימנית והשמאלית מייצגות מדידות בטיפול בו הרשת מחוץ למבנה ובתוך המבנה בהתאמה.



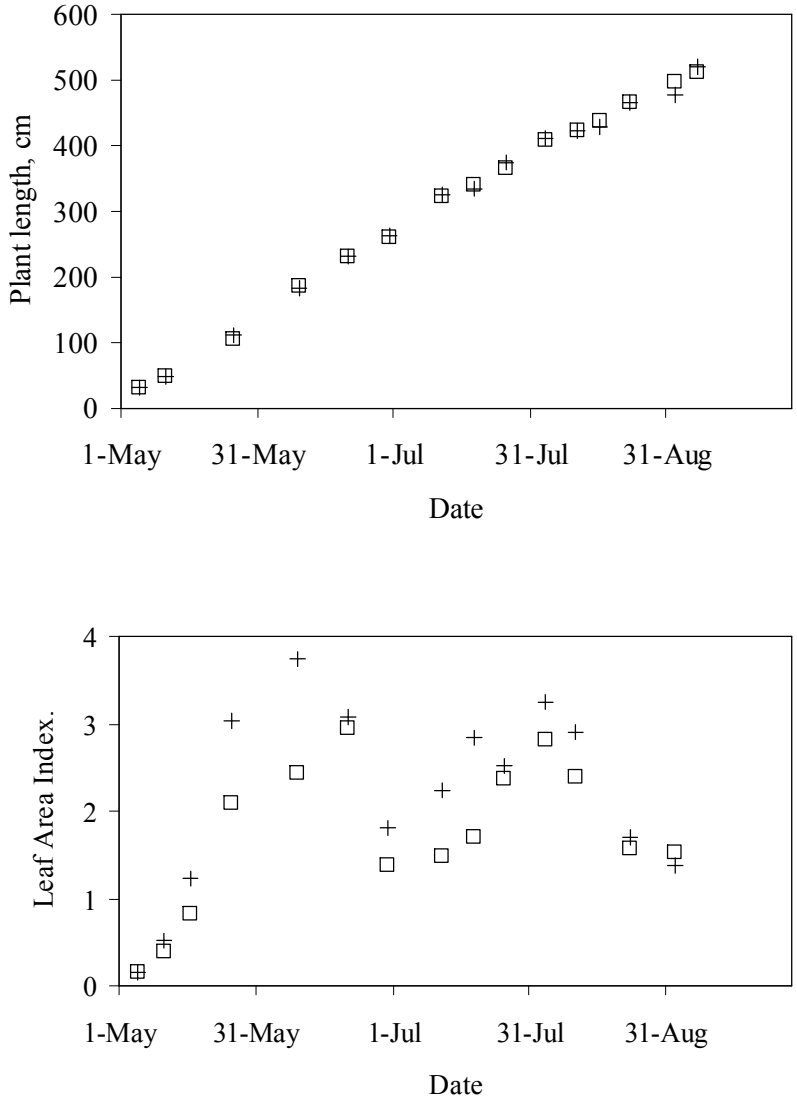
איור 25. טמפרטורת עלים כפונקציה של רמת האור ליד העלה (רשת אלומינט). נמדד ע״י מכשיר **LI-6400XT** . (כחול, מעוינים) רשת בתוך המבנה, (אדום, ריבועים) רשת מחוץ למבנה.



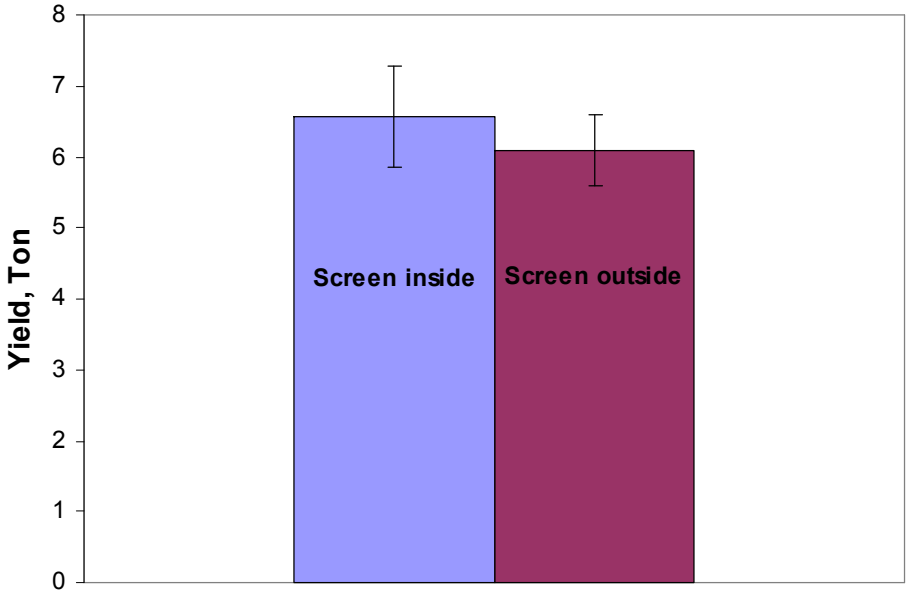
איור 26. פוטוסינתזה של עלים בודדים כפונקציה של רמת האור ליד העלה (רשת אלומינט). נמדד ע״י מכשיר **LI-6400XT** . (כחול, מעוינים) רשת בתוך המבנה, (אדום, ריבועים) רשת מחוץ למבנה.



איור 27. דיות של עלים בודדים כפונקציה של רמת האור ליד העלה (רשת אלומינט). נמדד ע״י מכשיר **LI-6400XT** . (כחול, מעוינים) רשת בתוך המבנה, (אדום, ריבועים) רשת מחוץ למבנה.



איור 28. אורך הצמחים בתקופת הגידול (עליון) ושטח העלווה (LAI) (איור תחתון) . □, תא B; +, תא A. (ראה טבלה א׳ לפרוט מיקום הרשת בכל תא).



איור 29. יבול העגבניות בשנת 2010. שתילה ב 21 לאפריל 2010, קטיף מ 3 ליולי עד 1 לספטמבר.

רשימת ספרות

1) פס נדב, 1996 . בדיקת ההשפעה של כיסוי חיצוני זחיח על המיקרואקלים בבתי צמיחה באמצעות מודל נומרי ומדידות . עבודת גמר לתואר מוסמך למדעי החקלאות , הפקולטה לחקלאות רחובות, האוניברסיטה העברית ירושלים.

2) Kittas, C., Bartzanas, T. and Jaffrin, A. (2003) Temperature gradients in a partially shaded greenhouse equipped with evaporative cooling pads. Biosystems Engineering, 85(1), 87-94.

3) Gonzalez-Real, M.M., and Baille, A. (2006) Plant response to greenhouse cooling. Acta Horticulturae, 719, 427-435.

4) Baille, A., Gonzalez-Real, M.M., Gazquez, J.C. and Lopez, J.C. (2006) Effect of different cooling strategies on the transpiration rate and conductance of greenhouse sweet pepper crops. Acta Horticulturae, 719, 463-470.

5) Zhang, Z.B. (2006). Shading net application in protected vegetable production in China. Acta Horticulturae, 719, 479-482.

6) Miguel, A.F., Silva A.M. and Rosa, R. 1994. Solar irradiation inside a single-span greenhouse with shading screens. J. Agricultural Engineering Research, 59, 61-72.

7) Baille, A., Kittas, C. and Katsoulas, N. (2001) Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. Agricultural and Forest Meteorology. 107, 293-306.

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.

מטרת המחקר לבחון את ההשפעה של שיטות הצבה שונות של רשתות צל בעלות אחוז הצללה של כ 30% (בתוך המבנה, או פרושה על הכיסוי מחוץ למבנה) על תנאי האקלים המתפתח במבנה, על רמת האור המגיעה לצמחיה, על טמפרטורת הצמח וההשפעה על טרנספירציה, פוטוסינתזה והיבול.

עיקרי הניסויים והתוצאות.

נערכו ניסויים, בחוות הבשור, בחממת עגבניות ששטחה כ 1260 מ״ר הנתונה לאוורור טבעי ע״י פתחי צד גדולים, שחולקה לשני תאים בני שלושה גמלונים כל אחד המופרדים האחד מהשני ע״י גמלון ריק. בתקופת הדו״ח נעשו ניסויים עם רשת צל שחורה 30% (2008, 2009) ורשתות צל אלומינט 30% (2009, 2010). רשתות ההצללה נפרשו בשני התאים, באחד הרשת נפרשה בתוך המבנה בגובה המרזבים, כ 3 מטר מעל הקרקע, ובשני הרשת נפרשה על פני כיסוי הפוליאתילן של גג החממה. נערכה השוואה בין הטיפולים מבחינת ההשפעה על הטמפרטורה והלחות במבנה, הקרינה ורמת האור במבנה. הניסויים מראים כי אין הבדל משמעותי בין פרישת רשת בתוך המבנה לפרישה על פני כיסוי הפוליאטילן מחוץ למבנה. יש להדגיש שהתוצאות מתייחסות לרשת בעלת 30% הצללה בלבד. סביר להניח שברשתות בעלות אחוז הצללה נמוך יותר לא יהיו הבדלים אולם לא ידוע מה תהיה ההשפעה ברשתות בעלות אחוזי הצללה גבוהים הרבה יותר. גם מבחינת פרמטרים צמחיים לא נמצאו הבדלים משמעותיים בין הטיפולים.

מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?

הניסויים בתקופת הדו״ח מראים שאין הבדל משמעותי בין הטיפולים מבחינת קרינה, רמת אור, טמפרטורת אוויר לחות, טמפרטורת עלווה, טרנספירציה ויבול. לכן, חקלאים המשתמשים ברשתות 30% הצללה או ברשתות בעלות אחוזי הצללה נמוכים יותר מ 30% יכולים לפרוש את הרשת בהתאם לנוחיותם ולעלות הכספית. בגלל שבפריסה אופקית בתוך המבנה שטח הרשת הדרוש להצללה קטן בהשוואה לרשת המונחת על גג קשתי, עלות הרשת נמוכה יותר. יחד עם זאת רשת בתוך המבנה דורשת התקנת כבלים בגובה המרזב.

בעיות שנותרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנותרה לביצוע תוכנית המחקר?

במהלך שלוש השנים נתקלנו בבעיה חריפה של נגיעות בקלביבקטור שגרמה נזקים לצמחים. הדבר הקשה מאוד על מדידות של פרמטרים צמחיים.

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: **פרסומים בכתב** - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי;
פטנטים - יש לציין שם ומס' פטנט; **הרצאות וימי עיון** - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.

העבודה הוצגה בכנס בינלאומי בנושא חממות: Greensys2011, 5-10 June, Halkidiki peninsula, Greece

פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)

- רק בספריות
- ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
- חסוי – לא לפרסם

האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא -

לא