

בחינת גדול פלפל תחת רשתות צל צבעוניות באזור הבשור.

חוקרים שותפים:

יוספה שחק, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן
אלי מתן, מוי"פ דרום
דוד בן יקיר, המכון להגה"צ, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן
חנה יחזקאל, מוי"פ דרום
יצחק פוסלסקי, שה"מ (בתקופת הדוח)
גיא רשף, שה"מ (בתקופת הדוח)
יואל מסיקה, שה"מ (בתקופת הדוח)
קירה רטנר, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן
מיכאל חן, המכון להגה"צ, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן
יוסי אופיר, פולישק תעשיות פלסטיקה בע"מ, ניר יצחק וסופה

תקציר

המחקר עסק בהשפעת רשתות צבעוניות נמוכות הצללה על גידול הפלפל באזור הבשור ועל מזיקי הפלפל. מטרת המחקר: א. לבחון השפעת רשתות צבעוניות על שלבי הגידול, היבול ואיכות הפרי בפלפל בבתי רשת באזור הבשור. ב. ללמוד את השפעת סינון האור הבררני על רמת המזיקים, שיעור הנגיעות בוירוסים ומחלות הפלפל בתנאים אלה. ג. לאתר את הרשת שתביא למירב היתרונות בפעולת כיסוי אחת.

החלק הגידולי נלמד בבית רשת גדול תחת משטר הדברה פרופילאקטי. החלק של הגנת הצומח נלמד במנהרות רשת תוך הימנעות מהדברת מזיקים, למעט טיפולי ריסט. התמקדנו בשלוש רשתות צל פוטוסלקטיביות - האדומה, הצהובה והפנינה, בהשוואה לשחורה המסורתית.

בין התוצאות הבולטות: (א) שיפור הפוריות והיבול הכללי ע"י שלוש רשתות הצל הצבעוניות לעומת הרשת השחורה המסורתית. (ב) הקטנת הנגיעות בכנימות ובמחלת הוירוס המועברת על ידן. (ג) שיפור איכות הפרי בקטיף ולאחר קטיף.

הרשת האדומה בלטה במיוחד בשיפור היבול ואחריה הפנינה. השיפור התבטא בעליה במספר הפירות, וביבול הכללי. הפנינה והצהובה בלטו באיכות הפרי וביבול לייצוא, הודות ליתרון בהגנת הצומח. עוד נמצא כי הפרי שנקטף תחת הרשת הצהובה והפנינה שמר על איכות טובה יותר לאחר קטיף והיה עמיד יותר נגד רקבונות לעומת הפרי מהרשת השחורה או האדומה.

שלוש שנות המחקר חידדו את יתרונה של הפנינה במניעת ההידבקות בוירוס החולף CMV. גם הרשת הצהובה נתנה הגנה מרשימה, אך פחות מהפנינה. המזיקים שנבחנו הם כנימות עלה, תריפס הפרחים המערבי וכנימת עש הטבק, שגורמים לנזקי מציצה ישירים ומעבירים מחלות וירליות. הרשת הצהובה הפחיתה במובהק את כנימות העש, כנימות העלה ושכיחות הוירוס, אך העלתה את התריפסים. הפנינה הפחיתה במובהק את כנימות העלה ושכיחות הוירוס (פי 10) אך העלתה במעט את כנימות העש. האדומה לא השפיעה על המזיקים. המתאם בין ממצאי הלכידה ושיעור הנגיעות ב-CMV בצמחים, תומך בכך שצמצום הנגיעות בוירוס נובע מההפחתה הפוטוסלקטיבית בחדירת הכנימות.

תוצאות המחקר מהוות פריצת דרך חשובה בחקלאות בתי צמיחה. היישום ע"י המגדלים החל כבר לצאת לדרך.

מבוא

מזה תריסר שנים אנו עוסקים בפיתוח ויישום של רשתות צבעוניות (פוטוסלקטיביות) לשיפור הביצועים של גידולים חקלאיים. הרשתות הצבעוניות פותחו במגמה לעודד תגובות פיזיולוגיות בעלות יתרון כלכלי. הרעיון מבוסס על העובדה שהצמחים יודעים לחוש את תחומי האור השונים ולהגיב להם באמצעות שינויים הורמונליים-מורפולוגיים-התפתחותיים. במקביל לשינוי הספקטרום, הרשתות הצבעוניות גורמות גם לפיזור ולרפלקציה של האור. האור המפוזר חודר אל אזורי הנוף החבויים ומאפשר ניצול יעיל יותר ע"י הצמח, בהשוואה לקרינה ישירה. היכולת להשפיע על הפנולוגיה והתפתחות הפרי בעזרת סינון פוטוסלקטיבימפוזר של קרינת השמש הולכת ומתבססת בגידולי פרי שונים (ר' מאמרי רביו שחק 2003; שחק 2005; Shahak, 2008; Rajapakse and Shahak 2007). בנוסף, גם חרקים מזיקים ומחלות וירוס המועברות על ידם עשויים להיות מושפעים מכיסוי הגידול ברשתות או יריעות מסוגים שונים (כהן וחוי 1978; Cohen 1981; Antignus & Ben-Yakir 2004).

הפלפל הוא מן הגידולים החשובים באזור הבשור. בשלב הנוכחי מגדלים באזור כ- 1800 דונם פלפל בבתי רשת בעונת הקיץ-סתיו. עם הפנוי מגוש קטיפ (900 דונם) התרחב היקף הגידול באזור במידה ניכרת. הגידול המקובל היה עד כה תחת רשתות שחורות נמוכות הצללה (30-40%) אשר אינן מונעות מעבר מזיקים. את השתילה מבצעים בד"כ לקראת סוף חודש מאי. קטיפ הפרי מבוצע החל מאוגוסט ועד החורף, והוא מיועד הן לשוק המקומי והן לייצוא. בעיקרון, ניתן היה להקדים את השתילה לחודש מרץ, ובכך לקבל עוד מחזורי פרי, ולהעלות את רווחיות הגידול. עד כה זה נמנעו המגדלים משתילת האביב בגלל נגיעות גבוהה בכנימות עלה ובוירוסים שהן מעבירות (בעיקר CMV), אשר פעילותם היא מרבית במרץ-אפריל, ויורדת במאי.

וירוסים חולפים המופצים ע"י כנימות עלה פוגעים קשות בגידולים מרכזיים כגון פלפל, עגבניות וגידולי מיקשה הגדלים באביב ובסתיו. מנגנון ההעברה של וירוסים אלו מאפשר לווקטור לרכוש ולהעביר את הוירוס בפרקי זמן של דקות ספורות. התהליך הקצר הנדרש לצורך ההדבקה, אינו מאפשר שימוש בהדברה כימית עקב הזמן הארוך יחסית הנדרש לקוטל החרקים כדי לקטול את החרק. שימוש בשמנים מינראליים אינו מבטיח הגנה מספקת מפני וירוסים חולפים בעיקר במקרים בהם אוכלוסיית הכנימות גדולה כפי שקורה בד"כ באביב. גם שימוש בזנים עמידים אינו פיתרון מספק למחלות אלה עקב חסרונם של מקורות עמידות יעילים. במחקר הנוכחי נבדקה האפשרות להגן על פלפל מפני וירוסים חולפים בעזרת רשתות צל צבעוניות (30%-35% הצללה) בהשוואה לרשת הצל השחורה הסטנדרטית שהייתה נהוגה לאורך שנים רבות.

בשנת הלימוד ההקדמית למחקר המסוכם כאן (2005) מצאנו שגידול פלפל תחת רשת אדומה או פנינה מעלה את רמת היבול ואיכותו בהשוואה לגידול תחת רשת צל שחורה. שלושה זנים (אנה, טריפל סטאר וקליבר) הגיבו באופן דומה (שחק וחוי 2006). תוצאות אלה היוו בסיס למחקר הנוכחי, בו הורחב המחקר הגידולי לשלוש רשתות צבעוניות (הוספנו רשת צהובה) בהשוואה לרשת שחורה בשתי רמות הצללה, נבחנו זנים נוספים (ורגסה, אנה אלגריה ורומנס) ונלמדו תגובות הצמח והפרי. במקביל הורחב המחקר ללימוד השפעת הגידול תחת רשתות אלה על הסיכון לנגיעות הפלפל במזיקים. המזיקים שנבחנו הם כנימות עלה, תריפס הפרחים המערבי וכנימת עש הטבק. מזיקים אלה גורמים נזקי מציצה ישירים ועלולים להעביר מחלות וירליות.

מטרות המחקר היו: א. לבחון השפעת רשתות צבעוניות על שלבי הגידול, היבול ואיכות הפרי בפלפל בבתי רשת באזור הבשור. ב. ללמוד את השפעת סינון האור הבררני על רמת המזיקים, שיעור הנגיעות בוירוסים ומחלות הפלפל בתנאים אלה. ג. לאתר את הרשת שתביא למירב היתרונות בפעולת כיסוי אחת. בכלל זה הקטנת הנגיעות במזיקים ומחלות שתאפשר שתילה בחודש מרץ ותפחית את השימוש בחמרי הדברה לאורך כל העונה, הארכת עונת הפרי (הודות להקדמת השתילה), שיפור היבול ואיכות הפרי לאורך כל העונה.

פרוט עיקרי הניסויים והתוצאות

מערך הניסוי

המחקר בוצע בשני אתרים סמוכים זה לזה בתחנת הניסיונות בבשור. אתר א' - בית הרשת המרכזי בו נלמד החלק הגידולי, ואתר ב' - מנהרות הרשת בו נלמד ההיבט של הגנת הצומח.

אתר א' - בית הרשת: מבנה שטוח בגובה 2.5 מ'. התקנו בו 4 סוגי רשת ב-4 חזרות באקראי, המכסות יחידות של 18 על 18 מ' (324 מ"ר) כ"א. סה"כ כ-5.2 דונם (נספח 1). הרשתות שנבחנו: ב-2006 כרומטינט אדומה, צהובה ופנינה ברמת הצללה התחלתית 30-35% לעומת שחורה 35%. ב-2007: כרומטינט אדומה וצהובה 30-35% רשת שחורה 35%, ורשת שחורה 30%. ב-2008 כרומטינט אדומה, צהובה ופנינה ברמת הצללה התחלתית 30-35% לעומת שחורה 35%. הרשתות כולן סרוגות, מתוצרת פולישק. רמת ההצללה שצוינה למעלה מתייחסת להתוויות היצרן. המדידות בשטח יובאו בהמשך.

הזנים שנבחנו: ב-2006 ורגסה (המקור: כצ"ט), אנה (תרסיס), ואלגריה (סולי). 6 ערוגות מכל זן תחת כל רשת. במעקב נכללו רק שתי המרכזיות בכ"א. ב-2007 וב-2008 ורגסה (כצ"ט) ורומנס (סולי). 9 ערוגות מכל זן תחת כל רשת. במעקב נכללו רק שתי המרכזיות. עומד כללי: 2500 צמחים/ד'.

מימשק הגידול: לפני השתילה בוצע חיטוי קרקע סולרי. ההדליה בשיטה הספרדית. מועד השתילה: סוף מאי-תחילת יוני. מועדי הקטיפים: החל מסוף אוגוסט, ועד לחורף (מועד הסיום בהתאם למצב החלקה), אחת לשבוע. נציין, כי ב-2007 אורך עונת הקטיפה היה קצר בחודש וחצי לעומת 2006 עקב נגיעות גבוהה בוירוס לקראת נובמבר. הממשק האגרוטכני: המיטבי המקובל באזור. ממשק מזיקים ומחלות: פרופילקטי כמקובל בגידול המסחרי. פיקוח הגה"צ נעשה אחת לשבוע בעזרת הפקחית רות רביד. במהלך העונה עקבנו אחר תאורה, מיקרואקלים, ומדדי צימוח בשטח ובמדגמי צמחים הרסניים. הקטיפים בוצעו אחת לשבוע. הפרי מוין לפי מדדי ייצוא, ונשקל. בוצע גם אומדן ויזואלי לצבע ופגמים. ב-2007 ו-2008 נשלחו מדגמי פרי אל ד"ר אלי פליק במינהל המחקר החקלאי, לבחינה של איכות הפרי באיחסון וחי מדף.

אתר ב' - לימוד חדירה והתבססות של מזיקים:

חלק זה של המחקר בוצע במנהרות בגודל 6X6 מ' ובגובה 2.5 מ' שכוסו מכל צדדיהן ברשתות צל כרומטינט-פנינה, כרומטינט-צהובה, כרומטינט-אדומה, ורשת שחורה (טיפולים). כולן רשתות פוליה סרוגות מתוצרת פולישק, זהות לרשתות שנלמדו בבית הרשת במקביל. היו 4 מנהרות (חזרות) מכל סוג רשת (נספח 2). גודל החורים בכל הרשתות אפשר מעבר חופשי של מזיקי הפלפל שנלמדו. לפני השתילה בוצע חיטוי קרקע סולרי. בכל מנהרה נשתלו 82 צמחים ב-6 שורות. מועד השתילה הוקדם משנה לשנה כדי לבחון לחצי נגיעות שונים. הצמחים הודלו בשיטה הספרדית. לפרטים נוספים ר' טבלה 1.

בכל מנהרה הוצבו שתי מלכודות דבק צהובות (אופקיות) לכנימת עש הטבק ושתי מלכודות כחולות (אנכיות) לתריפסים. המלכודות הוחלפו ונספרו אחת לשבוע. בערך אחת לחודש ניתנו במנהרות טיפולי הדברה

("reset") כדי למנוע את התבססות מזיקים ברמה גבוהה. באמצע יוני נערכו דגימות לקביעת רמת הנגיעות בתריפס בפרחי הפלפל. פעמים במהלך כל עונת גידול נלקחו דגימות עלים לקביעת רמת הנגיעות בדרגות צעירות של כנימות העש. בכל תחום ומועד שנבדקו הממצא תחת הרשת השחורה קיבל את הערך 1.0 (היקש) והממצאים שנאספו תחת הרשתות הצבעוניות נותחו בהשוואה לערך זה. שיעור הנגיעות במחלות ויראליות נקבע כדלקמן: בשנת 2007 נקבע שיעור הנגיעות ב-CMV עפ"י תסמיני המחלה על נוף הצמח ובדיקת ELISA של מיצוי עלים. בשנת 2008 נקבע שיעור הנגיעות ע"י דגימה אקראית של 20 פירות פלפל (פרי אחד מכל צמח) משתי השורות המרכזיות בכל מנהרה. שיעור הנגיעות ב-CMV בפירות אלה נקבע באמצעות מבחן ELISA עם קיט של חברת Agdia. נערך גם מעקב אקלימי (טמפרטורת אויר ולחות יחסית) במנהרות באמצעות אוגרי נתונים HOB0 (3 לטיפול), ומדידות אור.

טבלה 1. פרטי הזנים והטיפולים בחלק ב' של מערך המחקר ב-2006-8

שנה	צבעי רשת חזרות	זן פלפל	עמידות לזירוסים	שתילה	תקופת קטיף	אירגון ניסוי
2006	שחורה צהובה פינה	4	ורגסה	מאי -- 5		בלוקים באקראי
2007	שחורה צהובה פינה אדומה	4	רומנס	אפריל -- 16	יולי-אוג	ריבוע לטיני + reset
2008	שחורה צהובה פינה אדומה	4	רומנס	מרץ -- 31		ריבוע לטיני + reset

כמות ואיכות האור

רמת ההצללה:

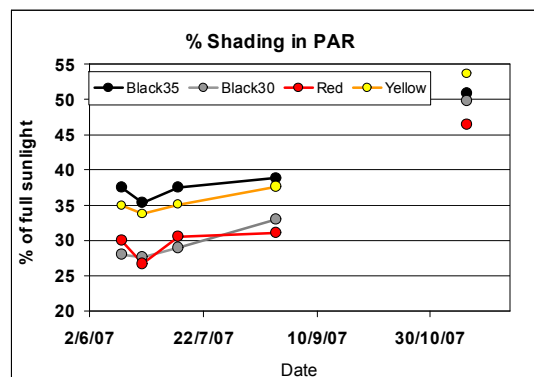
כדי שהמחקר יתמקד בנושא הפוטוסלקטיבי, כיוונו את מערך הרשתות לבסיס אחיד של רמת ההצללה. אך ההתמודדות עם נושא זה לא הייתה טריויאלית. נתייחס למספר נקודות. (א) בשונה מהרשת השחורה שחוסמת % קבוע של האור לכל רוחב הספקטרום, ברשתות הצבעוניות % ההצללה משתנה בתחומי ספקטרום שונים, כל רשת לפי תכונותיה הכרומטיות. החלטנו להגדיר ולהגביל את אחוזי הצללה לטווח PAR (400-700 נ"מ). (ב) הרשתות הצבעוניות שחוטיות מעבירים חלק מהאור הפוגע בהם (translucent) מושפעות מצבירת אבק יותר מהרשת השחורה. כ"א מהן במידה שונה. לכן, גם אם היצרן היה מצליח ליצור את כל הרשתות באחוז הצללה התחלתי זהה לחלוטין, היו נוצרים הבדלים בשטח במהלך העונה עקב השפעה שונה של האבק. (ג) הרשתות הן גמישות, ולכ"א מירקם שונה שנובע מהצורך להגיע לרמת הצללה אחידה. מידת המתיחה של הרשתות בעת התקנתן בשטח משפיעה על % ההצללה בפועל. ואכן, בשטח ניכרו הבדלים בין מקטעים שונים ובתוך המקטעים עקב שוני במתיחה. זה גם משתנה במהלך העונה עקב שינויי טמפי ורוח. (ד) השתנות זוויית השמש במשך ביום ובמשך העונה, ביחד השוני במרקמי הרשת דרכם עובר האור, גם הם מוסיפים מרכיב שונות. מכל אלה עולה שבסוג מחקר כזה לא ניתן להשיג זהות מוחלטת של אחוזי הצללה. (ה) ברשת האדומה והצהובה יש נטיה לדהייה מסוימת משנה לשנה. התשובה שלנו לבעיות הללו הייתה בחירת

רשתות קרובות ככל האפשר זו לזו ברמת ההצללה המוצהרת של היצרן, מדידות אור של הרשתות שנבחרו במערכת סימולציה וכן מדידות בשטח במועדים שונים לאורך העונה במספר רב של נקודות בכל מקטע רשת, והחלפת הרשתות הצבעוניות בחדשות אחת לשנתיים לצורך המחקר. יצוין, כי עפ"י היצרן הרשתות הצבעוניות ניתנות לשימוש 5 שנים ומעלה. כמו כן חידדנו את ההבדלים הנובעים מהבדלי הצללה ע"י השוואה בין שתי רשתות שחורות הנבדלות ב- 5-8% הצללה זו מזו בשנת המחקר השנייה (2007).
 טבלה 2 (עמודה שנייה) ואיור 1 מדגימים את ההבדל בין רמות ההצללה שנמדדו במתקן הסימולציה (ברשתות נקיות) לבין המדידות בשטח. מדידות ההצללה בשטח הראו ב-2007 קירבה בין הרשת האדומה לשחורה 30%, ואילו הצהובה הייתה קרובה יותר לשחורה 35% (איור 1). ההצללה הגבוהה בסוף העונה (מדידת נוב' 07) נובעת ברובה מהצמחים, אשר הגיעו אז כמעט לגובה הרשת, והשפיעו על המדידה.

טבלה 2. סיכום מאפייני האור המסונן ע"י הרשתות כפי שאופיינו בסוכת סימולציה. המדידה בוצעה בעזרת ספקטורודיומטר LiCor 1800 בצהרי יום בהיר ב-03.06.07 בבית דגן. האור המפוזר נמדד ע"י הסתרת הקרינה הישירה בעזרת דיסק. משטח הרשת ופני הסנסור מוקמו במאונך לכוון קרני השמש. לפרטים נוספים – ר' Shahak et al. 2004a&b. תחומי האור השונים חושבו מאינטגרל עצמות האור בתחום 305-380 (UV), 410-470 (B), 640-680 (R), 690-750 (FR), 400-700 (PAR). כל ספקטרום הוא ממוצע של 2-3 מדידות.

יחס PAR/UV		יחס Red/FR		יחס Red/Blue		אור מפוזר ב-PAR (%)**	הצללה Tot-PAR (%)*	הרשת
אור מפוזר	כלל האור	אור מפוזר	כלל האור	אור מפוזר	כלל האור			
8.0	18.8	0.72	0.71	0.53	0.95	15.6	0	ללא רשת
8.0	18.3	0.70	0.71	0.55	0.96	16.2	37.4	שחורה 35
8.0	18.1	0.71	0.71	0.55	0.94	16.0	27.0	שחורה 30
10.5	18.9	0.69	0.69	1.27	1.18	22.4	29.6	אדומה
15.6	21.6	0.69	0.69	1.59	1.33	30.2	31.9	צהובה
24.5	24.1	0.68	0.69	0.94	1.04	35.0	27.2	פנינה

*ההצללה מתייחסת ליחס של כמות האור הכללי בתחום (PAR) תחת הרשת לעומת שטח פתוח. **מרכיב האור המפוזר מתייחס ליחס בין כמות האור המפוזר בתחום PAR לכמות האור הכללית בתחום PAR בכל טיפול.



איור 1. אחוזי הצללה של כלל האור (ישיר+מפוזר) בתחום PAR ע"י הרשתות השונות בבית הרשת בבשור. המדידות בוצעו בצהרי ימים בהירים במועדים המצוינים, בעזרת מד אור ידני (LiCor LI250A עם חיישן LI190SA), במנח מאוזן, בכל החזרות של כל סוג רשת. % ההצללה מחושב יחסית לקרינת השמש בשטח פתוח בקרבת בית הרשת.

לקראת עונת 2008 יוצרה בפולישק, לפי בקשתנו, רשת אדומה בתכנית סריגה צפופה מעט יותר, אשר החליפה את האדומה הקודמת בכל החזרות של האדומה. ההצללה ההתחלתית שלה הייתה 33%. ההבדלים ברמת ההצללה בין הרשתות השונות לאורך עונת 2008 הצטמצמו לטווח של 1-5% בלבד (טבלה 2).

טבלה 2. מדידות אור PAR במנהרות הרשת של 2008. בוצע בצהרי יום בהיר ב-26.11.08 (ללא צמחים) בעזרת מד אור ידני עם סנסור קוונטום מתוצרת LiCor. ממוצעי 15 מדידות למנהרה. ההצללה מתייחסת לאור מלא (קרינה ישירה + מפוזרת) תחת הרשת לעומת שטח פתוח. תכולת האור המפוזר מבטאת את החלק היחסי של האור המפוזר מהאור המלא בכל טיפול.

רשת שחורה	רשת צהובה	רשת פנינה	רשת אדומה	ללא רשת
39.2	40.1	42.7	37.0	0
19.9	34.6	43.1	26.3	22.6
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)

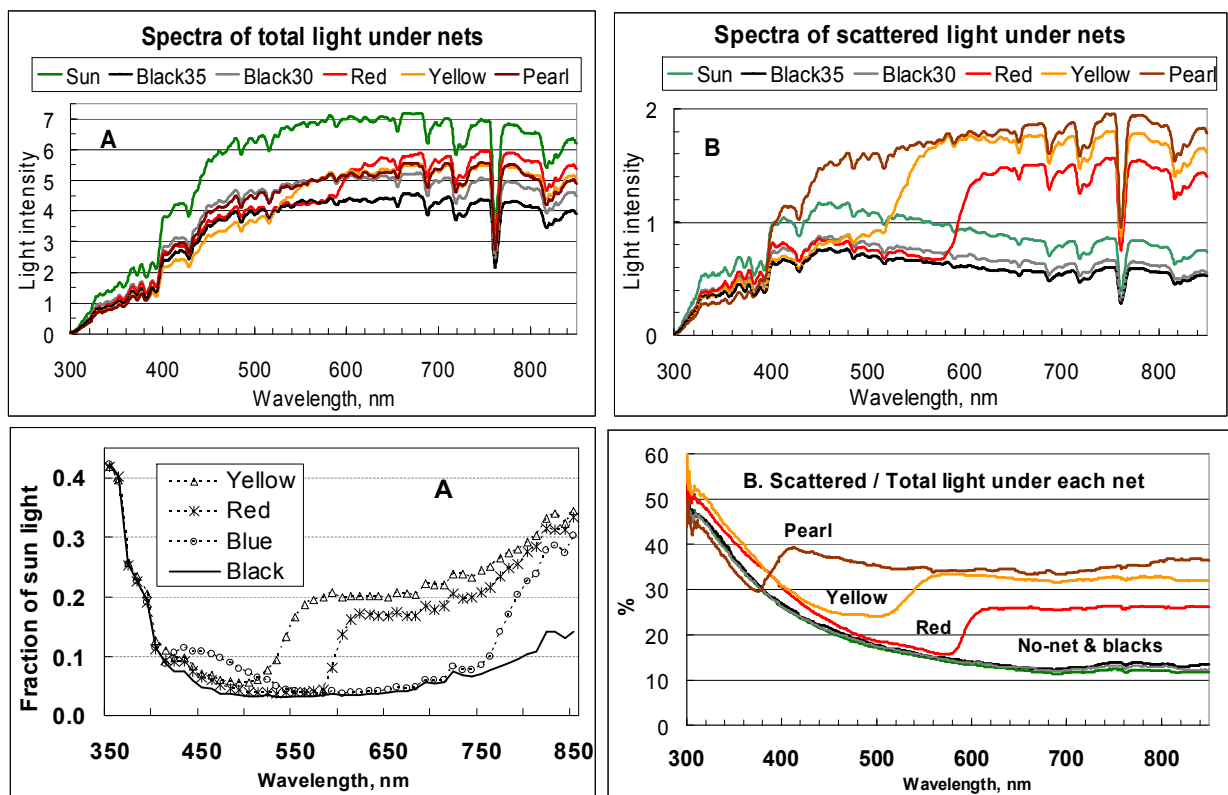
ספקטרה, פיזור והחזר אור:

מדידות הספקטרה של האור המסונן ע"י הרשתות הנבחנות במחקר זה, פיזור האור והחזר אור השמש שנעשו במערכות סימולציה, והתוצאות מסוכמות בטבלה 2 ובאיור 1. ניתן לראות כי כל שלוש הרשתות הצבעוניות שונות משתי השחורות בהרכב הספקטראלי של האור הדיפוזי ובכמותו: (א) הן מפזרות את האור העובר דרכן וכתוצאה מכך מגבירות את כמות האור המפוזר (דיפוזי) המגיע אל הצמח. אור מפוזר מנוצל טוב יותר ע"י הצמח לעומת קרינת אור ישירה. (ב) האור המפוזר מועשר בתחום Red+FR יחסית ל-Blue+UV. כל רשת צבעונית בהתאם לפיגמנט שהיא מכילה. עם זאת, שלוש הרשתות הצבעוניות הללו אינן משנות את היחס R/FR. (ג) הרשתות הצבעוניות מחזירות חלק מן האור הפוגע בהן (רפלקציה). ספקטרום הרפלקציה דומה לספקטרום פיזור האור, כאשר הפיזור/רפלקציה מתרחשים החל מ-390 נ"מ ומעלה (פנינה), 520 (צהובה) ו-590 (אדומה) כל אחת בהתאם לתכולת הפיגמנט שהיא מכילה. לשלושת ההיבטים הללו יש חשיבות הן מבחינת הצמחים והן מבחינת החרקים.

המיקרואקלים בבית הרשת ובמנהרות

בבית הרשת לא נמצאו הבדלים מיקרואקלימיים משמעותיים בין הרשתות השונות בתחילת העונה. בהמשך (גיל הצמחים 2.5-3.5 ח') הייתה הטמפ' תחת האדומה ב-2007 גבוהה ב-1.0-0.5 מ"צ משאר הרשתות, ואילו לאחר מכן הייתה גבוהה יותר תחת השחורה 35% (נספח 3 א' ב'). אנו מיחסים זאת להשפעת הצמחים, אשר הולכים וממלאים את חלל בית הרשת במהלך העונה, על המיקרו אקלים. ב-2008 נמדדו הבדלים קטנים עוד יותר בין הרשתות השונות (נספח 3 ג').

במנהרות הרשת נרשמה ביולי 2007 (צמחים בגיל 3.5 ח') טמפ' יום דומה בכל הרשתות, למעט האדומה שהייתה גבוהה ב-1.0-0.5 מ"צ (נספח 4). ב-2008 הטמפ' תחת האדומה החדשה (בעלת % הצללה גבוהה במקצת מהאדומה הקודמת) הייתה קרובה לשאר הרשתות הצבעוניות, ואילו תחת השחורה טמפ' המקסימום היומיות היו נמוכות. נזכיר, כי כדי להגיע לאותם אחוזי הצללה החורים ברשת השחורה גדולים מחורי הרשתות הצבעוניות, מה שמאפשר תנועת אור חופשית יותר ברשת זאת. המסקנה מחלק זה: ההשפעות הייחודיות של הרשתות הצבעוניות שנמצאו במחקר זה בעיקרן אינן נובעות מהבדלים מיקרואקלימיים אלא מתכונותיהן הפוטוסלקטיביות של הרשתות.

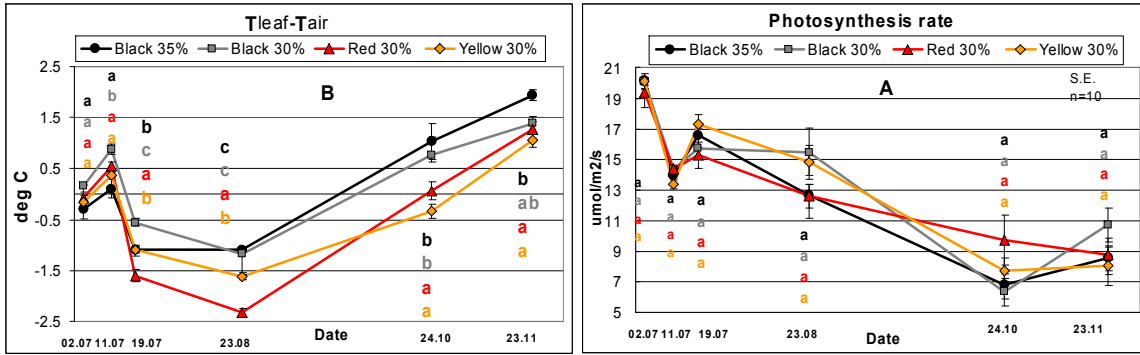


איור 1. ספקטרה של האור המלא (ישיר+מפוזר) תחת הרשתות (A למעלה), של האור המפוזר בלבד (B למעלה), החזר אור השמש משטח פני הרשתות (A למטה), ו-1% האור המפוזר יחסית לאור המלא מתחת לכל רשת (B למטה). ספקטרום האור המלא נמדד במרחק של 1.5 מ' מתחת לכל רשת שנפרסה על מתקן הסימולציה, כאשר פני הסנסור ומשטח הרשת מכוונים במאונך לקרני השמש, עם (למידת אור מפוזר) ובלי (אור מלא) דיסק שחוסם את הקרינה הישירה מפני הסנסור. נמדד בעזרת LiCor 1800. % האור המפוזר חושב ע"י חלוקת ספקטרום האור המפוזר בספקטרום האור המלא של כל רשת. החזר האור נמדד בעזרת ספקטרומטר Ocean Optics כאשר פני הסנסור מופנים כלפי משטחי רשת (1X1 מ') שהונחו אופקית מעל בד שחור, במרחק זווית קבועים. הוא מבוטא כחלק היחסי מכלל האור שהגיע אל הרשת (ונמדד עם סנסור כלפי השמש) בכל אורך גל.

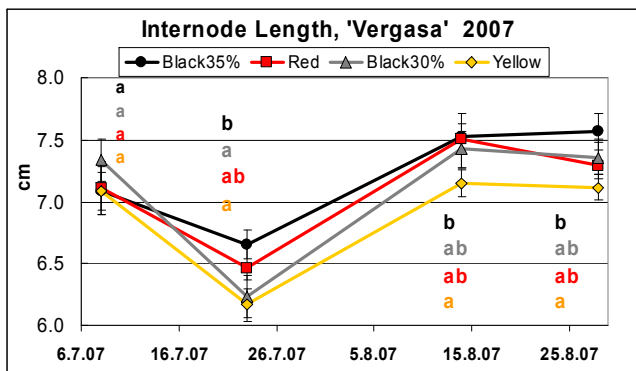
השפעת הרשתות הצבעוניות על פעילות עלווה ומדדי גידול בבית הרשת

מדדים שונים נלמדו באופן פרטני בזן ורגסה בבית הרשת, ובכלל זה קצב פוטוסינתזה (עם המדדים הנילוים – טמפי' עלה ואוויר בעת המדידה וקצב טרנספירציה מחושב) בעלים חשופים, תכולת כלורופיל בעלים, משקל חלקי הצמח, אורך ומספר מפרקים, מספר ניצנים/פרחים/חנטים וגובה הצמחים. במרביתם לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הרשתות השונות. בשלושה מדדים מצאנו הבדלים מובהקים: (א) כושר צינון העלים החשופים (עפ"י ההפרש בין טמפי' העלה לטמפי' הסביבה, שנמדדו ביחד עם קצב ההטמעה), היה טוב יותר ברשתות הצבעוניות לעומת השחורות (איור 2). (ב) אורך המפרק הממוצע היה קצר יותר באופן מובהק ברשת הצהובה לעומת השחורה (איור 3). במדידת 24.9.2008 נמצאו תוצאות דומות. אורך המפרקים הממוצע היה לפי סדר יורד: שחורה 7.35 ס"מ < אדומה 7.08 ס"מ < פנינה 6.77 ס"מ < צהובה 6.62 ס"מ. התוצאה ב-2006 הייתה דומה, עפ"י הסדר: שחורה < פנינה < אדומה < צהובה.

(ג) גובה הצמחים בשטח היה גבוה יותר ברשתות השחורה והצהובה לעומת האדומה והפנינה (טבלה 3) והוא משקף, ככל הנראה, הטיית שווי המשקל יותר לכוון הצימוח בשתיים הראשונות לעומת יותר פוריות ופחות צימוח באדומה ובפנינה.



איור 2. קצב קיבוע CO₂ (ימין) וההפרש בין טמפי העלה לטמפי הסביבה (שמאל). נמדדו במועדים המצויינים בין 09:00-11:00 בעזרת מד פוטוסינתזה נייד CI-340 מתוצרת CID, ארה"ב.



איור 3. אורך המפרקים בגבעול המרכזי. המעקב בוצע ב-4 צמחים בכל חזרה של כל רשת במועדים המצויינים באופן בלתי הרסני. אותיות שונות מציינות מובהקות ברמת 95% לאותו מועד בדיקה.

תאריך	זן/רשת	שחורה	צהובה	פנינה	אדומה
7.8.2008	ורגסה	109.6 bc	111.8 c	105.5 a	107.2 ab
7.8.2008	רומנס	93.0 c	87.1 b	82.1 a	80.2 a
4.12.2008	רומנס	164 ±20	163 ±13	150 ±10	156 ±13

טבלה 3. גובה הצמחים בבית הרשת באוגוסט ובדצמבר 2008. אותיות שונות מעידות על מובהקות ברמת 95% (n=25) צמחים לסוג רשת). במועד השני ברומנס לא נמצאה מובהקות, ואילו מרבית צמחי הורגסה הגיעו עד לגג בית הרשת ולכן לא נכללו כאן.

תוצאות הקטיפים בבית הרשת

במהלך כל שנות המחקר הסתמנה השפעה ברורה של הרשתות הצבעוניות לעומת הרשת השחורה, אשר התבטאה בעליה במדדי יבול ואיכות שונים, כפי שיפורט בהמשך. המגמה נשמרה בזנים השונים שנבחנו, גם אם עוצמת התגובה לרשתות הצבעוניות הייתה שונה מזן לזן. והיא נשמרה בכל עונות המחקר, למרות שונות טבעית משנה לשנה כמו גורמי אקלים, שכיחות מזיקים (ב-2007 הייתה נגיעות גבוהה בוירוס שאילצה לסיים את עונת הקטיפי כבר באמצע נובמבר), ושונות שבידי אדם (למשל הדלייה לא אופטימלית ב-2006).

פוריות - מספר הפירות הכללי לצמח

השפעת הרשתות על מספר הפירות שנקטפו לצמח (או לדונם) במשך העונה הוא מדד להשפעתן על הפוריות. היתרון היחסי של הרשת האדומה בהגדלת הפוריות בלט באופן הדיר (טבלה 4). טווח העלייה במספר הפירות

לצמח תחת הרשת האדומה היה 20-40% לעומת הרשת השחורה במרבית הזנים, למעט רומנס אשר בו התקבלה תוספת של כ-10% בלבד (טבלה 4).

השקענו עבודה רבה בניסיון לענות על השאלה ממה נובעת העלייה בפוריות: שינויים מורפולוגיים? קיצור המפרקים? שיפור ההטמעה? קיצור זמן המחזור פרח-חנט-פרי? שיפור % החנטה? מניעת נשירת חנטים? המדידות את המדדים הצמחיים שפורטו למעלה, כמו גם מעקב חנטה לא הניבו תשובה חד משמעית. לא מצאנו קורלציה ברורה בין אף אחד מהמדדים לעלייה במס' הפירות שנקטפו תחת הרשתות הצבעוניות. סביר להניח שהשונות בשטח מקשה על קבלת תשובות ברורות, ודרושה מערכת מבוקרת תנאים כדי להגיע להבנת הפיזיולוגיה שמאחורי התגובות.

טבלה 4. מספר הפירות העונתי המצטבר לדונם בכל שנות המחקר ובכל הזנים שנבחנו, והשיפור תחת הרשתות הצבעוניות יחסית לשחורה. הקטיף בוצע אחת לשבוע בתקופות שבין 23.8.05-10.1.06 (עונת 2005); 29.8.06-7.1.07 (עונת 2006); 28.8.07-27.11.07; 24.8.08-4.1.09 (עונת 2008). עונת 2007 הייתה קצרה יותר עקב נגיעות גבוהה בוירוס, אך בקטיף האחרון נקטף ונספר כל הפרי שעל הצמח ונכלל בנתונים.

שנה	רשת	מס' פירות כללי לעונה			מס' פירות לדונם		
		קליבר	טריפל סטאר	אנה	קליבר	טריפל סטאר	אנה
2005	שחורה 35	51045	50573	61387	100	100	100
	פנינה	68625	64729	76470	128	125	125
	אדומה	69695	71559	76843	141	125	137
2006	שחורה 35	46042	45000	40000	100	100	100
	צהובה	52958	45957	49250	102	123	115
	פנינה	55708	50500	51875	112	130	121
	אדומה	58167	53375	54708	119	137	126
2007	שחורה 35	47405	47474		100	100	רומנס
	שחורה 30	51438	47808		101	109	ורגסה
	צהובה	58945	53391		112	124	ורגסה
	אדומה	60859	54141		114	128	ורגסה
2008	שחורה 35	49600	49000		100	100	רומנס
	צהובה	60597	51043		104	122	ורגסה
	פנינה	60691	52327		107	122	ורגסה
	אדומה	63435	52810		108	128	ורגסה

גודל הפרי והיבול הכללי: כללית, לא נמצאו השפעות פוטוסלקטיביות ניכרות על גודל הפרי. ב-2005 ו-2006 היתה מגמת של פרי קטן באחוזים בודדים לעומת הפרי מהרשת השחורה, ככל הנראה על רקע העלייה הרבה בפוריות. לעומת זאת ב-2007 ו-2008 היה הפרי גדול יותר תחת הצבעוניות, ככל הנראה עקב הקטנת נגיעות בוירוס לעומת הרשת השחורה (טבלה 5). ההשפעה המועטה בלבד על גודל הפרי הביאה לכך שהעלייה בפוריות התבטאה גם בהגדלת היבול (בטון לדונם) ע"י הרשתות הצבעוניות, והאדומה בראשן (טבלה 5).

מדדי איכות ויבול לייצוא: שיפור היבול ע"י הרשתות הצבעוניות לעומת הרשת השחורה בלט עוד יותר כשמדובר ביבול באיכות לייצוא. במיוחד בשנים 2007 ו-2008 בהן רמת הנגיעות בוירוס היתה גבוהה יותר.

ב-2007 נאלצנו לסיים את עונת הקטיפי עקב כך כבר בנובמבר. הוירוס גרם לאחוז נמוך של פרי באיכות לייצוא: 66-69% בלבד ברשתות השחורות (בזן ורגסה). השיפור הדרמטי של היבול לייצוא ע"י הרשתות הצבעוניות, בלט תחת הרשת האדומה, ועוד יותר מכך תחת הצהובה והפנינה. ב-2007 גרמה הרשת הצהובה (הפנינה לא נכללה באותה שנה בניסוי) להגדלה של היבול לייצוא פי 1.71 (!) בורגסה. ב-2008 הגדילו הפנינה והצהובה פי 1.55 לעומת השחורה. תוצאה זאת משקפת, כנראה, שילוב של השפעה חיובית על פוריות הפלפל, ביחד עם הפחתה פוטוסלקטיבית של הנגיעות בוירוסים (ר' בהמשך).

התפלגות היבול המצטבר לעונה על פי מדדי איכות פגמים (ר' דוח 2007), הראתה מספר נקודות מעניינות: (א) הזן ורגסה היה רגיש יותר מרומנס לוירוסים). ברשתות השחורות 20%-18 מפרי הורגסה היה עם סימפטומים, לעומת 8-11% מפרי הרומנס. (ב) שתי הרשתות הצבעוניות הפחיתו את שכיחות פגמי הוירוס בפרי הורגסה עד לרמה דומה לזאת שברומנס. (ג) הרשתות הצבעוניות הפחיתו גם את שכיחות הפירות המעוותים בהשוואה לשתי השחורות.

בנוסף על כך, בדיקה של איכות הפרי באחסון ובחיי מדף, הצביעה על התפתחות ריקבונות פחותה בפרי שהגיע מהרשת הצהובה ומהפנינה, לעומת השחורה והאדומה. המחקר בנושא זה עדיין נמשך (בראשות אלי פליק). התוצאות הראשוניות סוכמו לאחרונה במאמר (Fallik et al., 2009).

טבלה 5. ריכוז תוצאות יבול כללי (טוד), יבול לייצוא (טוד), ומשקל פרי ממוצע מסה"כ היבול המצטבר בכל שנות המחקר ובכל הזנים שנבחנו. תקופות הקטיפי היו בין 10.1.06-23.8.05 (עונת 2005); 7.1.07-29.8.06 (עונת 2006); 27.11.07-28.8.07 (עונת 2007 שהופסקה מוקדם עקב נגיעות גבוהה בוירוס); 4.1.09-24.8.08 (עונת 2008). אותיות שונות מציינות מובהקות ברמת 95% או 99% (מורכבות הטבלה לא אפשרה לפרט) עפי (n=4) Student T-test.

שנה	רשת	יבול כללי טון לדונם			יבול לייצוא טון לדונם			משקל פרי ממוצע גרם לפרי		
		קליבר	טריפל סטאר	אנה	קליבר	טריפל סטאר	אנה	קליבר	טריפל סטאר	אנה
2005	שחורה 35	9.96 a	9.70 a	11.62 a	8.23 a	7.95 a	9.18	200 b	197	198
	פנינה	12.30 b	11.83 b	13.45 b	9.44 ab	9.49 b	10.05	191 a	191	191
	אדומה	12.76 b	12.83 b	13.61 b	9.81 b	9.91 b	10.24	192 a	188	194
2006	שחורה 35	9.25 a	8.41	7.53	8.79 a	7.56 a	6.77 a	198	182	184
	צהובה	9.78 ab	8.34	9.02	8.75 ab	7.34 a	7.58 ab	183	178	182
	פנינה	10.57 b	9.03	9.44	9.93 b	7.94 a	8.11 b	191	176	183
	אדומה	10.61 ab	9.72	10.00	9.68 ab	8.42 b	8.62 b	183	183	184
2007	שחורה 35	6.79 a	7.33 a		4.51 a	5.29		162 ab	161	161
	שחורה 30	8.35 b	7.52 ab		5.73 a	5.38		151 a	161	164
	צהובה	9.72 c	8.58 b		7.72 b	6.14		171 b	164	168
	אדומה	9.22 bc	8.88 b		6.94 ab	6.31		169 b	168	168
2008	שחורה 35	7.73 a	8.64 a		5.42 a	6.48 a		159	163 ab	178 b
	צהובה	10.18 b	10.04 b		8.40 b	8.70 b		171	174 ab	177
	פנינה	10.34 b	9.78 b		8.38 b	7.65 ab		177	159 a	159 a
	אדומה	9.98 b	9.05 ab		7.49 b	6.62 a		164	159 a	164

לימוד החדירה והתבססות של מזיקים במנהרות הרשת הצבעוניות

בחלק זה של המחקר, אשר בוצע במנהרות ובו, כאמור, נמנעו מהדברת מזיקים, למעט טיפול הדברה ל"דריכה מחדש" (reset) של מערכת הניסוי, נמצאה השפעה משמעותית של הרשתות הצבעוניות על הסיכון לחדירה והתבססות של המזיקים והמחלות שהם מעבירים, בהשוואה לרשת השחורה שהייתה מקובלת בגידול המסחרי הקיימי. הממצאים חזרו על עצמם בקירוב ניכר במהלך שלוש שנות המחקר, למרות השונות הטבעית בין שנה לשנה, זני הפלפל השונים, ומועד השתילה אשר הלך והוקדם משנה לשנה, כדי להחמיר את רמת הסיכון בנגיעות. סיכום השפעת הרשתות הצבעוניות על המזיקים ועל שכיחות מחלת ה-CMV במחקר זה מוצג בטבלה 6, והוא מתמצת מספר רב של מדידות לאורך 3 עונות גידול. התוצאות הפרטניות של השנתיים הראשונות הובאו בדוחות 2006 ו-2007.

נמצאה התאמה טובה בין רמת הנגיעות על הצמחים עצמם לבין ממצאי הלכידה. כן הייתה הדירות טובה לגבי השפעת הרשתות על החדירה והתבססות המזיקים במחזורים שונים באותה שנה (לדוגמא איור 4).

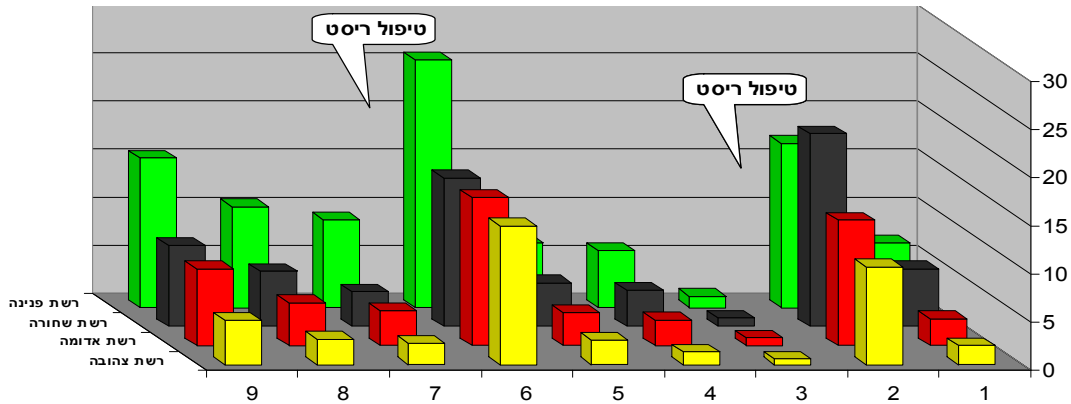
טבלה 6. השפעת הכיסוי של מנהרות גידול פלפל ברשתות צבעוניות על החדירה והתבססות של מזיקים ושכיחות מחלת וירוס, חוות הבשור, 2006-2008. פירוט הנגיעות בוירוס CMV מובא באיור 5.

ערכים יחסיים (הרמה תחת הרשת השחורה מוגדרת כ = 1.0)						
כנימות עש						
שנה	שיטת מעקב	מס' חזרות למנהרה	צהובה	פנינה	אדומה	הערות
2006	מחזורי לכידה	8	0.3 ± 0.3	1.2 ± 0.4	----	
2007	מחזורי לכידה	10	0.5 ± 0.2	1.5 ± 0.5	0.8 ± 0.2	
2008	מס' ל-5 עלים	10	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.5 ± 0.3	9.3 כנימות עש תחת רשת שחורה
תריפס						
שנה	שיטת מעקב	מס' חזרות למנהרה	צהובה	פנינה	אדומה	הערות
2006	מחזורי לכידה	6	1.6 ± 0.4	0.9 ± 0.4	----	
2007	מחזורי לכידה	7	1.5 ± 0.3	0.9 ± 0.2	0.8 ± 0.1	
2008	מחזורי לכידה	2	1.8 ± 0.4	0.7 ± 0.3	0.7 ± 0.2	
2008	מס' לפרח	12	1.9 ± 0.5	1.0 ± 0.4	0.9 ± 0.7	2.7 תריפסים תחת רשת שחורה
כנימות עלה						
שנה	שיטת מעקב	מס' חזרות למנהרה	צהובה	פנינה	אדומה	הערות
2007	מחזורי לכידה	2	0.5 ± 0.4	0.3 ± 0.2	1.1 ± 0.6	
2007	שיעור נגיעות ב-CMV*	10	0.4 ± 0.3	0.1 ± 0.1	1.1 ± 0.4	CMV 35% תחת הרשת השחורה
2008	שיעור נגיעות ב-CMV**	40	0.4 ± 0.1	0.6 ± 0.2	0.9 ± 0.2	CMV 89% תחת הרשת השחורה
2008	No. per leaf	10	0.6 ± 0.5	0.8 ± 0.4	0.6 ± 0.5	1.2 כנימות עלה תחת הרשת השחורה
Cucumber Mosaic Virus *						
** בפירות						

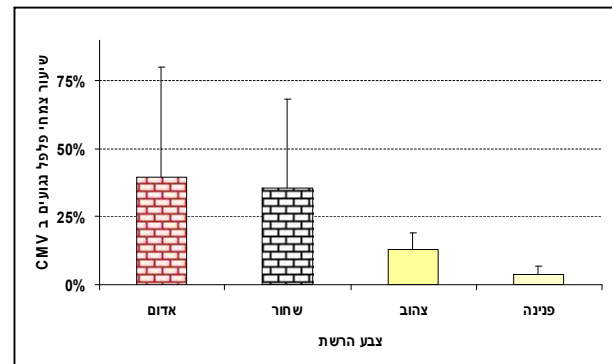
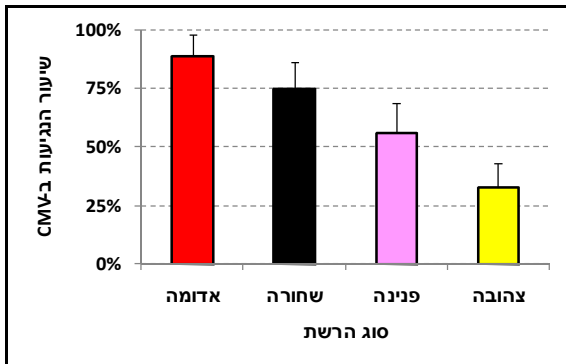
תוצאות הקטיפים ממנהרות הרשת

איסוף נתוני יבול הפרי ממנהרות הרשת ואיכותו נתן בידינו כלי נוסף ללמוד על השפעת הרשתות השונות על הנגיעות במזיקים ומחלות. בהתאמה עם ההשפעה על הפוריות בבית הרשת, גם במנהרות הגדילו שלוש הרשתות הצבעוניות את מספר הפירות לצמח, לעומת השחורה, עם יתרון יחסי לאדומה. ואולם, הודות

להשפעה הפוטוסלקטיבית הייחודית של הצהובה והפנינה על רמת הנגיעות בכנימות ובירוס, היה לשתיהן יתרון מאוד בולט מבחינת גודל הפרי, איכות הפרי והיבול באיכות לייצוא הן לעומת הרשת האדומה, והן לעומת השחורה (טבלה 7 ואיור 6).



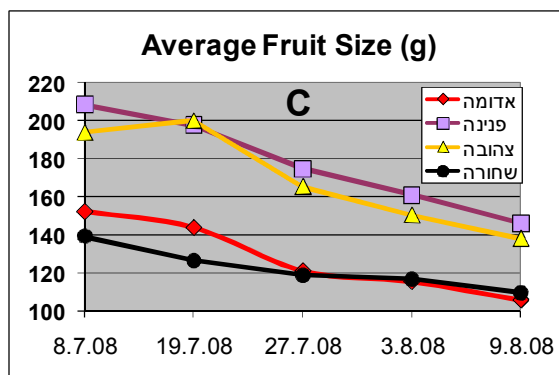
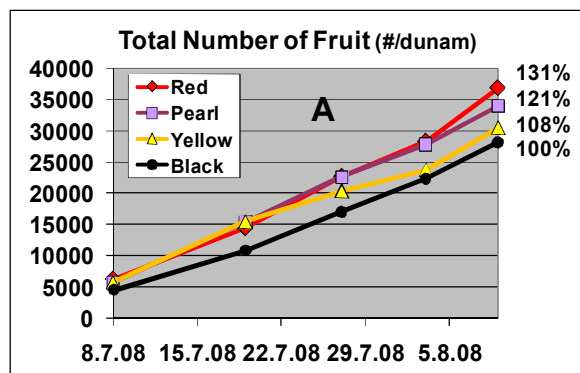
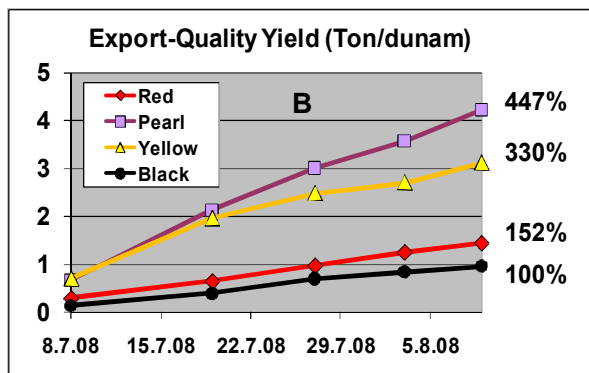
איור 4. השפעת צבע הרשת והצללה על ממוצע לכידות שבועי של כנימות עש במנהרות הפלפל בחוות הבשור, מאי-יולי 2007.



איור 5. השפעת סוג רשת הצל על שיעור הנגיעות של פלפל עם CMV במנהרות בחוות הבשור. מימין – שיעור הנגיעות בצמחים באפריל 2007. משמאל – נגיעות במדגמי פרי בספטמבר 2008. ערכים ממוצעים למנהרה + ס"ת (N=4).

טבלה 7. השפעת הכיסוי ברשתות הצל הצבעוניות על היבול ואיכות הפלפל במנהרות, יולי- אוגוסט 2007. תוצאות מצטברות של 4 קטיפים שבועיים ראשונים. אומדן הפרי המעוות והנגוע בירוס בוצע ויזואלית.

צבע רשת	משקל יבול (טון לדונם)	משקל פרי (גרם)	% יצוא	% עיוותים	ירוס %
שחורה	3.1	111.6	27.4	36.5	34.0
אדומה	4.2	110.0	25.9	20.3	48.0
צהובה	4.8	164.3	63.8	19.0	12.1
פנינה	4.8	167.3	72.8	13.9	6.6



איור 6. מספר הפירות שנקטף (מחושב לדונם, A), יבול הפרי באיכות לייצוא (מחושב כטון/ד', B), ומשקל פרי ממוצע (C) בחמשת הקטיפים הראשונים ממנהרות הרשת בעונת 2008.

תצפית קימחונית במנהרות הרשת

בשנת 2008 השארנו שורת צמחים מערבית בכל מנהרה שלא רוססה כנגד מחלות. ד"ר דני שטיינברג בצע הערכות נגיעות בשלושה מועדים. הצמחים נראו גרוע בגלל הפגיעה מהמזיקים (שהמעקב אחריהם היה מטרת הניסוי), וזה הפריע בהערכות הנגיעות של הקימחונית. בכל מינהרה הוערכו 10 עלים בחלק התחתון של הצמחים (בקומות 2-3) ועל כל עלה הוערכה חומרת המחלה באחוזים. המדד מבטא את שטח העלה היחסי המכוסה בכתמי המחלה. לאחר מכן חושבה הנגיעות הממוצעת למנהרה, והנתונים נותחו באמצעות ניתוח שונות. ממצאים רלוונטיים התקבלו מההערכה שבוצע בתאריך 7 לאוגוסט, 2008. במועדים המוקדמים יותר חומרת המחלה הייתה נמוכה מידי, ובמאחרים יותר הפגיעה ממזיקים הייתה כה משמעותית עד כי לא ניתן היה להגדיר בצורה מהימנה את הנגיעות במחלה. התוצאות של חומרת המחלה הממוצעת: רשת שחורה 5.0%, רשת צהובה 1.2%, רשת אדומה 3.0%, רשת פנינה 4.1%, ללא מובהקות. המסקנה: ערכי חומרת המחלה היו נמוכים מאד בכל הרשתות. הגורם שהגביל את הגידול לא היתה הקימחונית אלא המזיקים והוירוס.

סיכום ודיון

במחקר הרב-שנתי המסוכם כאן הגענו למספר ממצאים שמהווים פריצת דרך בגידול פלפל בפרט, ובחקלאות בתי צמיחה בכלל. מתוך מגוון המוצרים הפוטוסלקטיביים שפותח בעשור האחרון ע"י חברת פולישק בשיתוף איתנו, בחרנו ללמוד כאן שלוש רשתות צל פוטוסלקטיביות – האדומה, הצהובה והפנינה. זאת, על בסיס הידע שצברנו במחקרים קודמים. התוצאות שהתקבלו עלו על כל הצפיות. בין התוצאות הבולטות ביותר:

(א) שיפור הפוריות והיבול הכללי ע"י שלוש רשתות הצל הצבעוניות לעומת הרשת השחורה המסורתית.

(ב) הקטנת הנגיעות בכנימות ובמחלת הוירוס המועברת על ידן.

(ג) שיפור איכות הפרי בקטיף ולאחר קטיף.

אופיו של המחקר היה יישומי, אך ניסינו לגעת גם בהבנת מנגנונים, לפחות באופן ראשוני. נציין, כי על אף שבנינו את המחקר כך שחלקו האחד (בית הרשת) התמקד בחלק הגידולי ואילו חלקו השני (מנהרות הרשת) בהגה'צ, נוצרה חפיפה חלקית ביניהם. שהרי משטר הדברה פרופילאקטי (בבית הרשת) איננו יכול למנוע לחלוטין נגיעות בוירוסים חולפים, ומצד שני במנהרות ניכרה גם השפעה פוטוסלקטיבית על הפוריות, במקביל להשפעות דרך המזיקים. ממצאי שני חלקי המחקר השלימו זה את זה ותמכו במגמות ברורות שהלכו והתבססו משנה לשנה.

שיפור היבול ע"י הרשתות הצבעוניות

ביססנו את המימצא הבסיסי של הגדלת היבול (במספר פירות ובטון לדונם) ע"י הרשתות הצבעוניות בהשוואה לרשת השחורה בארבע עונות רצופות, תוך השוואת זנים שונים. היעילות היחסית של הרשתות היתה בסדר יורד אדומה <פנינה> <צהובה> שחורה. ההבדל בלט גם על רקע השונות המסוימת באחוזי ההצללה של הרשתות. ההשלכה היישומית היא שבפעולת החלפת רשת פשוטה, וללא עלויות קונסטרוקציה נוספות, ניתן להפיק יותר רווח מהגידול הקיים. בנוסף, ניתן יהיה להחיל את המימצאים על גידולים נוספים, לאחר בחינה והתאמות מימשק.

השפעת הרשתות הצבעוניות על איכות הפרי לאחר קטיף

המימצא הראשוני של הפחתת הרקבונות באחסון ובחיי מדף (אלי פליק וחוב', דוח מדען 2008 ; Fallik et al. 2009) בפרי שגדל תחת הרשת הצהובה והפנינה לעומת הרשת השחורה והאדומה מעיד על מנגנון "זיכרון" של הפרי. תופעה מעניינת זאת עשויה לנבוע מהשפעה פוטוסלקטיבית על (א) התרבות הפתוגנים בשטח לפני קטיף; (ב) עמידות קליפת הפרי לחדירת הפתוגנים; (ג) ייצור מוגבר של חמרי תגודת טבעיים; (ד) גורם אחר; (ה) שילוב של מספר תגובות. הנושא נלמד במסגרת מחקר נפרד שעדיין נמשך, בהנחיתו של אלי פליק.

השפעת הרשתות הצבעוניות על מזיקי הפלפל והשלכותיה

בנושא המזיקים מצאנו שלתכונות הכרומטיות של רשת הכיסוי יש השפעה על הסיכון לחדירת מזיקי הפלפל למבני הגידול. זאת, למרות שגודל החורים של כל רשתות הצל שנכללו במחקר מאפשר חדירה חופשית של המזיקים שנלמדו. שתי רשתות בלטו מאוד בהשפעתן הסלקטיבית הייחודית: הפנינה והצהובה. רשת הפנינה הפחיתה במידה הרבה ביותר את כנימות העלה ואת שכיחות וירוס ה-CMV (פי 10). במקביל היא העלתה במעט את כנימות העש. הרשת הצהובה הפחיתה במובהק את כנימות העש, כנימות העלה ושכיחות וירוס ה-CMV. מעניין לציין שההפחתה של שני סוגי הכנימות נגרמה למרות שהן נמשכות לצבע הצהוב. גם תריפס הפרחים המערבי נמשך לצבע צהוב, אך במקרה זה הרשת הצהובה אכן גרמה לעלית הנגיעות במזיק זה. רשת הפנינה עשויה לאפשר הקדמת מועד השתילה של פלפל קיצי באזור הבשור בזכות יכולתה להפחית את השכיחות של מחלת ה-CMV. הרשת האדומה לא השפיעה על המזיקים. כל הרשתות הצבעוניות תרמו לעליה בכמות ובאיכות הפלפל בהשוואה לרשת השחורה. השיפור ביבול הפלפל תחת הרשתות פנינה וצהובה נבע בחלקו מההגנה היחסית שהן העניקו לפלפל מכנימות והמחלות שהם מעבירות. חשוב לציין שרשתות צל

צבעוניות בלבד אינן יכולות להגן ברמה מספקת על גידול פלפל מסחרי מפני מזיקים ומחלות וירליות. צפוי השימוש ברשתות אלה יסייע להפחית את הנגיעות במזיקים בשילוב עם אמצעי הדברה אחרים. מבין שתי הרשתות הבולטות לטובה, לפנינה נראית עדיפות מסוימת על פני הצהובה. התוצאות שהובאו כאן, וכן תוצאות ראשוניות בעגבניה (אנטיגנוס וחוב' 2009) מצביעות בבירור על יתרונה של רשת לפנינה (א) בבמניעת ההידבקות בוירוסים החולפים CMV ו-PVY בגידולי פלפל ועגבניה בהתאמה. כאמור, גם רשתות צהובות נתנו אפקט הגנה מרשים, אך נמוך מזה שהקנתה רשת לפנינה. (ב) בהיבט של הגדלת יבול הייתה לפנינה בד"כ 2nd-best לאחר האדומה ולפני הצהובה. (ג) לפנינה בלטה מכל הרשתות גם באיכות הפרי בקטיף ולאחר קטיף (שחק וחוב' 2006, 2008, 2009; Fallik et al. 2009; Shahak et al 2008).

מנגנוני פעולה

תגובות הצמח

אנו משערים כי הגדלת הפוריות, היבול ואיכותו בהשראת הרשתות הצבעוניות נובעים משיפור הרכב האור המגיע אל חלקי הצמח השונים, לעומת המצב תחת הרשת השחורה. היתרון של אור מפוזר לעומת קרינת אור ישירה תועד ע"י Healey et al. 1998. הרשתות הצבעוניות לא רק שהן מגבירות כמותית את תכולת האור המפוזר, אלא שהן יוצרות אור מפוזר אשר הרכבו הספקטראלי שונה מהרכב האור הטבעי. באור המפוזר ע"י שלוש הרשתות בהן השתמשנו במחקר זה יש העשרה יחסית של תחום האדום + אדום רחוק (R+FR), והפחתה של תחום הכחול+UV. לעומת זאת אין כל השפעה על היחס R/FR. מכאן סביר שהפוטורצפטורים (Briggs & Onley, 2001) המעורבים בתגובות שנמצאו הם ממשפי הכריפטוכרומים ואו הפוטורופין ולא הפיטוכרומים. אתרי התגובה שעשויים ליהנות במיוחד מהאור המפוזר הם אברים חבויים כמו ניצני חיק, חנטים ועלים שמוצללים ע"י חלקי הצמח שמעליהם, או ע"י הצמחים הסמוכים. אמנם עדיין לא שמנו את האצבע על הגורם הפיזיולוגי העיקרי האחראי לייצור המוגבר של פירות תחת הרשתות הצבעוניות שבבדיקה, אך חידדנו את הגורמים שאינם מעורבים ישירות (מיקרואקלים, קצב הטמעה, וכו').

כנימות ווירוסים חולפים

מנגנון הפעולה של הרשתות האחראי לאפקט ההגנה מפני הדבקה בוירוסים חולפים אינו ידוע במלואו. המתאם הטוב בין ממצאי הלכידה של כנימות עלה ושיעור הנגיעות ב-CMV בצמחים, תומך בכך שצמצום הנגיעות בוירוס הוא תולדה של ההפחתה בחדירת הכנימות. אנו מניחים כי אותות אור בתחומים מסוימים של ספקטרום האור הנראה משפיעים על ההתנהגות התעופתית של חרקים ועשויים לצמצם את נחיתתם על צמחים המכוסים בתווך מחזיר/מפזר אור. משך הזמן שבמהלכו יכולה הכנימה להעביר וירוס חולף הוא מוגבל ולכן כל גורם המעכב את נחיתת הכנימה על הצמח מקטין את סיכויי ההדבקה.

רשת לפנינה: בעבר דווח שכנימות עלה נדחות ע"י כיסוי רפלקטיבי (למשל Greer and Dole, 2003). זה עשוי להסביר את התוצאות הנוכחיות המעידות על הסיכון הנמוך ביותר לחדירתן ולהעברת מחלת ה-CMV תחת רשת לפנינה, אשר מצטיינת, יותר מכל שאר הרשתות הצבעוניות המקבילות לה באחוזי ההצלחה, בכושר הרפלקציה ופיזור האור בתחום הספקטרום החל מ-390 ננומטר ומעלה. יחד עם זאת, הסיכון לחדירת כע"ט

דרך הפנינה היה גבוה יותר, בהשוואה לשאר הרשתות. זה עשוי להיות חשוב בגידולים בהם כע"ט מהוות איום משמעותי.

הרשת הצהובה: מחקרים רבים הראו שכנימות עש וכנימות עלה נמשכות לצבע צהוב. למרות זאת, במחקר הנוכחי מצאנו, כי חדירת הכנימות והתבססותם במבנים שכוסו ברשת הצהובה היו נמוכות באופן מובהק לעומת מבנים שכוסו ברשת שחורה או אדומה (ברמת הצללה דומה). להלן הסבר אפשרי: הכנימות נוחות על הרשת הצהובה ו"חושבות" שהן על צמח. לכן הן נעצרות על רשת זאת (מנגנון "Arrestment", ר' Bukovinszky et al. 2005) ועוברות להתנהגות אכילה והתבססות. כשניסיונותיהן לאכול נכשלים הן מתות, או נוטשות בחיפוש אחרי פונדקאי אחר. התוצאה הסופית היא פחות נגיעות מתחת לרשת זאת. מנגנון דומה תואר בהקשר לחיפוי קרקע (mulch) צהוב, אשר משמש להגנה מפני מזיקים אלה (Cohen and Berlinger, 1986). בשונה מכך, במקרה של התריפסים לא מדובר במנגנון Arrestment. אצלם המשיכה לצבע הצהוב הביאה להגדלת הסיכון לחדירה והתבססות בהשוואה לשאר הרשתות.

הרשת האדומה: העדר תגובה ספציפית לרשת זאת נובע מהספקטרום של האור המועבר מפורמולמוחזר על ידה, שהוא כנראה מחוץ לטווח הראיה של המזיקים שנבחנו כאן (Döring & Chittka 2007).

גודל החורים

מעבר להיותן של הרשתות חיץ אופטי הן מהוות גם חיץ פיזי. אמנם, כפי שצינו למעלה, גודל החורים בכל רשתות הצל שנבחנו כאן עולה על גודל מזיקים הפלפל. אך בכל זאת קיים סיכוי סטטיסטי לפגיעה של המזיקים בחוטי הרשת תוך כדי מעופה. תיאורטית, צפיפות החוטים הנמוכה יותר ברשת השחורה לעומת הצבעוניות, עשויה היתה להסביר את החיסרון היחסי שלה מבחינת התוצאה הסופית בהגה"צ. ואולם, העובדה שלרשת האדומה, שהיא צפופה יותר מהשחורה, לא רק שלא היה יתרון על פניה מבחינת המזיקים, אלא אף חיסרון (לא מובהק), תומכת בכך שכשמדובר ברשתות צל דלילות, הגורם המשפיע הדומיננטי הוא הגורם הפוטוסלקטיבי.

הדברה משולבת

השימוש בהדברה משולבת הוא אבן יסוד בהדברת מחלות ויראליות עקב חסרונם של אמצעים תרופתיים היכולים לקטול את הפתוגן הויראלי מבלי לפגוע בתא המאכסן. הדברה משולבת היא הדרך המקובלת להתמודדות עם מחלות מקבוצה זו. הדברה משולבת כוללת שילוב אמצעים שונים היוצרים יחד מערך הגנה אפקטיבי ובר קיימא. מגוון האמצעים העומד לרשותנו כדי להתמודד עם מחלות ויראליות הנגרמות ע"י וירוסים חולפים מצומצם ביותר. תוצאות המחקר הנוכחי מוסיפות נידבך חשוב בבניית מערך הגנה יעיל כנגד וירוסים חולפים. שילוב השימוש ברשת הפנינה ביחד עם ריסוס בשמנים מינראליים, ואולי גם ביחד עם הכנסת זנים בעלי כושר סבילות משופר, עשוי לצמצם באופן יעיל את הנזקים הכבדים הנגרמים ע"י קבוצת וירוסים זו ולהפוך את הגידול לרווחי יותר ובריא יותר.

השלכות יישומיות

א. מימצאי המחקר יכולים להיות מיושמים בגידול פלפל קייצי, ולאפשר הקדמת השתילה, הארכת העונה, והגדלת הרווחיות למגדלים תוך הפחתת השימוש בחמרי הדברה. זאת, לאחר בחינה ברמת משקי מודל ולאחר התאמות (fine tuning) של % ההצללה ומימשק הגידול, שעשויות להידרש עבור זנים שונים. למשל, סביר שזנים בעלי עצמת צימוח חלשה, יחסית, זקוקים לרמת הצללה גבוהה יותר מזנים בעלי עצמת צימוח גבוהה.

בנוסף, בתנאים של זירוז תהליכים פיזיולוגיים ע"י רשת צבעונית, יתכן ויש צורך לתגבר את הדישון, לעומת המימשק המותאם לרשת השחורה. בפועל, תהליך היישום של מימצאי המחקר ע"י המגדלים כבר החל. ב. יישום התוצאות עשוי להביא לשיפור גם בגידול פלפל חורפי, במיוחד בתקופות בהן נדרשת הצללה. ג. למימצאים העקרוניים שנמצאו כאן צפויים יישומים בגידולי ירקות נוספים בבתי צמיחה. התוצאות הראשוניות שלנו בעגבנייה שהוזכרו כאן מעידות על היתכנות ריאלית של הרחבת הישום. ד. אנו צופים שניתן ליישם את עיקרון השילוב בין ההשפעות החיוביות של רשתות פוטוסלקטיביות על הגידול לבין ההשפעות על הגה"צ גם בגידולי מטע.

תודות

תודות לד"ר חזי אנטיגנוס (מינהל המחקר החקלאי) אשר הצטרף במהלך המחקר כשותף פעיל לנושא הוירולוגי, ולד"ר דני שטיינברג שליווה את נושא הקמחוניות; תודות לחברת פולישק אשר סיפקה את הרשתות למחקר ותמכה בו; תודות לנפתלי צור ויורי גילר ממנהל המחקר החקלאי, ולליאנה גנות, דויד שמואל ואלכס סולפוי ממו"פ דרום על הסיוע בביצוע המחקר; ולשבתאי כהן (מו"פ דרום ורמת נגב) על מעורבותו בדיונים. המחקר מומן ע"י המדען הראשי של משרד החקלאות. השנה ההקדמית (2005) מומנה ע"י ענף הירקות במועצת הצמחים. ברכת הדרך לאלי מתן, איציק פוסלסקי, גיא רשף ויואל מסיקה שעברו במהלך המחקר מהמגזר הציבורי למגזר הפרטי.

רשימת ספרות

- Antignus, Y and D. Ben-Yakir (2004). Ultraviolet-absorbing barriers, an efficient integrated pest management tool to protect greenhouses from insects and virus diseases. In Insect Pest Management - Field and Protected Crops (eds. Horowitz, A.R. and I. Ishaaya), pp. 319-335. Springer (Publisher).
- Briggs, W.R. and Olney, M.A. 2001. Photoreceptors in Plant photomorphogenesis to date. Five phytochromes, two cryptochromes, one phototropin, and one superchrome. *Plant Physiol.* 125: 85-88.
- Bukovinszky, T., Potting, R.P.J., Clough, Y., Lenteren, J.C. van and Vet, L.E.M. 2005. The role of pre- and post-alighting detection mechanisms in the responses to patch size by specialist herbivores. *Oikos* 109:435-446.
- Cohen, S. (1981) Reducing the spread of aphid-transmitted viruses in peppers by coarse-net cover. *Phytoparasitica* 9, 69-76.
- Cohen S. and Berlinger M.J. 1986. Transmission and cultural control of whitefly-borne viruses. *Agric. Ecosyst. Environ.* 17:89-97.
- Döring, T.F. and Chittka L. (2007) Visual ecology of aphids - a critical review on the role of colours in host finding. *Arthropod-Plant Interactions* 1 (1): 3-16.
- Fallik, E., Alakali-Tuvia, S., Parselan, Y., Aharon, Z., Elmann, A., Offir, Y., Matan, E., Yehezkel, H., Ratner, K., Zur, N. and Shahak, Y. (2008) Can colored shade nets maintain sweet pepper quality during storage and marketing? Acta Hort., 830: 37-43.
- Greer, L. and Dole, J.M. 2003. Aluminum foil, aluminum-painted plastic and degradable mulches increase yields and decrease insect-vectored viral diseases of vegetables. *HortTech.* 13:276-284.

- Elad, Y., Messika, Y., Brand, M., Rav David, D. and Szejnberg, A. (2007) Effect of colored shade nets on pepper powdery mildew (*Levillula taurica*). *Phytoparasitica* 35 (3): 285-299.
- Healey, K. D. Rickert, K. G. Hammer, G. L. and Bange, M. P. 1998. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. *Australian Journal of Agricultural Research* 49(4): 665-672.
- Rajapakse, N.C. and Shahak, Y. (2007) Light quality manipulation by horticulture industry. In: *Light and Plant Development* (G. Whitelam and K. Halliday, eds.), pp 290-312, Blackwell Publishing, UK.
- Shahak, Y., Gussakovsky, E.E., Cohen, Y., Lurie, S., Stern, R., Kfir, S., Naor, A., Atzmon, I., Doron, I., and Greenblat-Avron, Y. (2004a) ColorNets: A New Approach for Light Manipulation in Fruit Trees. *Acta Hort.* 636: 609-616.
- Shahak, Y., Gussakovsky, E.E., Gal E. and Ganelevin R. (2004b) ColorNets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Hort.* 659 (1): 143-151.
- Shahak, Y. (2008) Photosensitive netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried in Israel. *Acta Hort.* 770: 161-168.
- כהן, ש., ק. יולס ור. בן יוסף. 1978. מניעת התפשטות וירוסים בגידול פלפל על ידי כיסוי ברשת דלילה. *השדה* ני"ח 1776-1779
- שחק, י. (2003) רשתות ציבעוניות: גישה טכנולוגית חדשה בחקלאות. *עלון הנוטע*, כרך 57 (חוברת פברואר): 81-84.
- שחק, י. (2005) גישות חדשות בכסוי מטעים ברשת: רשתות צבעוניות. *חקלאי ישראל* 20 (אפר'): 50-56.
- שחק, י., ת. יחזקאל, א. מתן, ד. בן יקיר, י. אופיר, י. פוסלסקי, י. מסיקה, ת. זוהר, ד. שמואל, א. סולפוי, ק. רטנר נ. צור (2006) רשתות צבעוניות משפרות יבול בפלפל. *גן שדה ומשק*, (אפריל) 37-40.

נספחים

שחור 30	צהובה	אדומה	שחור 35	אדומה	שחור 30
שחור 30	שחור 35	צהובה	שחור 30	צהובה	אדומה
שחור 30	אדומה	שחור 35	צהובה	שחור 30	שחור 35
חמנס	ורגסה	חמנס	ורגסה	חמנס	ורגסה



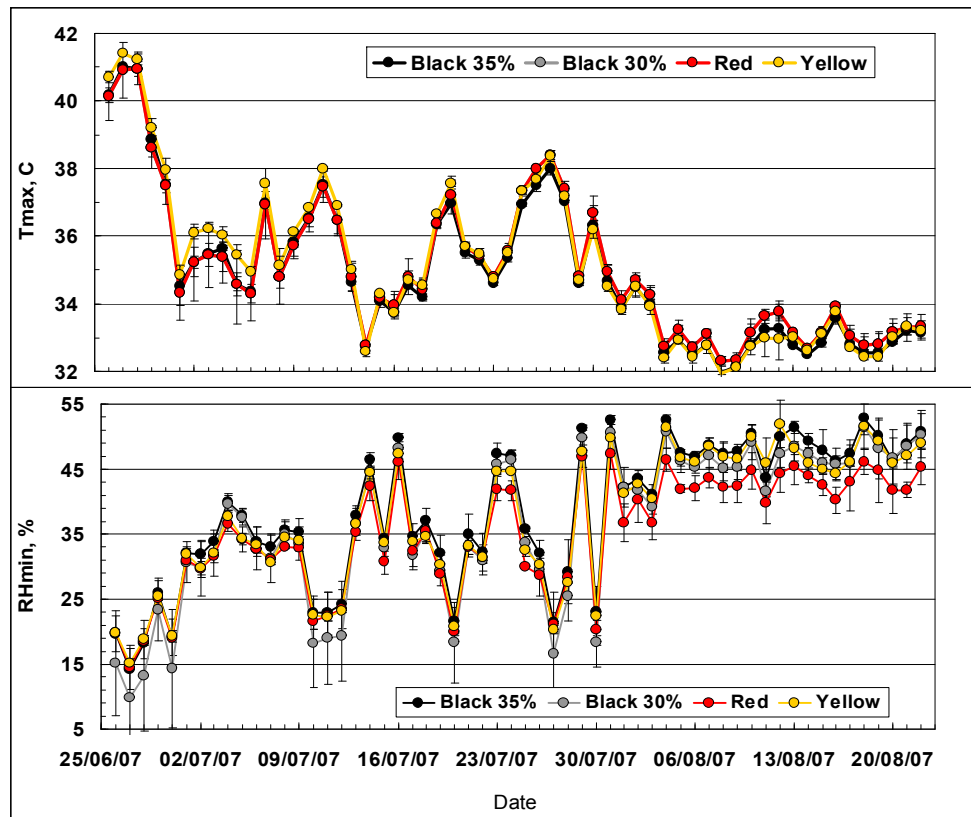
נספח 1. סכימת מערך הרשתות בבית הרשת של החלק הגידולי ב-2007, ומראה תוך בית הרשת ביוני ובנובמבר 2007. את מקום הרשת החורה נמוכת ההצללה החליפה ב-2006 וב-2008 רשת הפנינה.



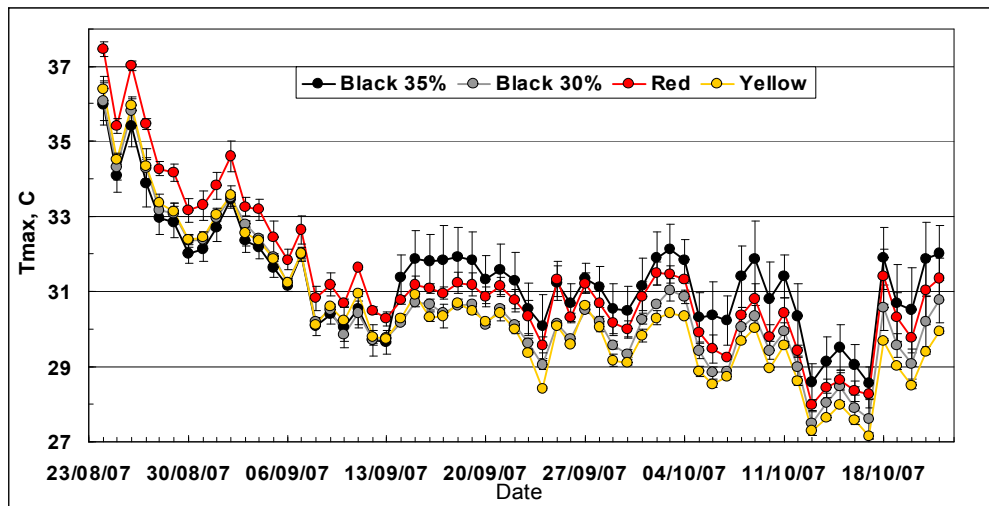
בלוק	דרום			
I	פנינה	אדומה	שחורה	צהובה
II	שחורה	פנינה	צהובה	אדומה
III	צהובה	שחורה	אדומה	פנינה
IV	אדומה	צהובה	פנינה	שחורה
	צפון			



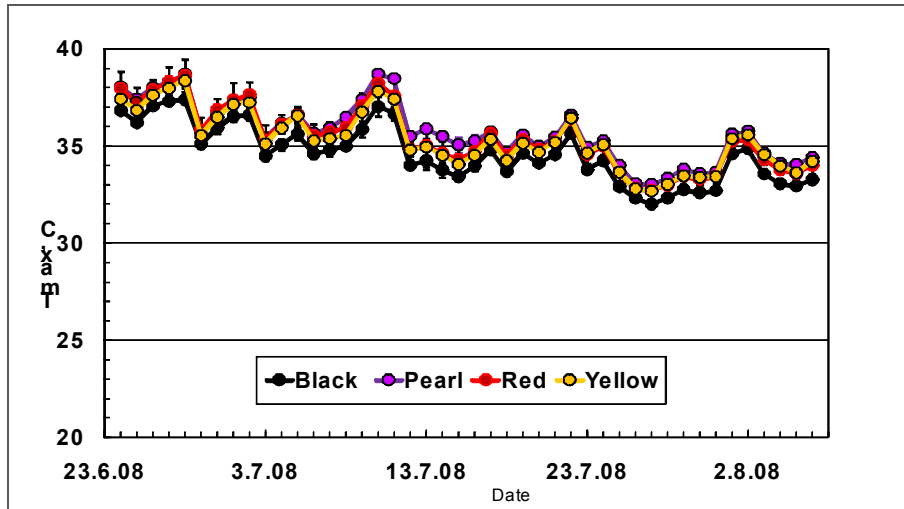
נספח 2. מערך מנהרות הרשת ב- 2007 ו-2008, והמראה בשטח.



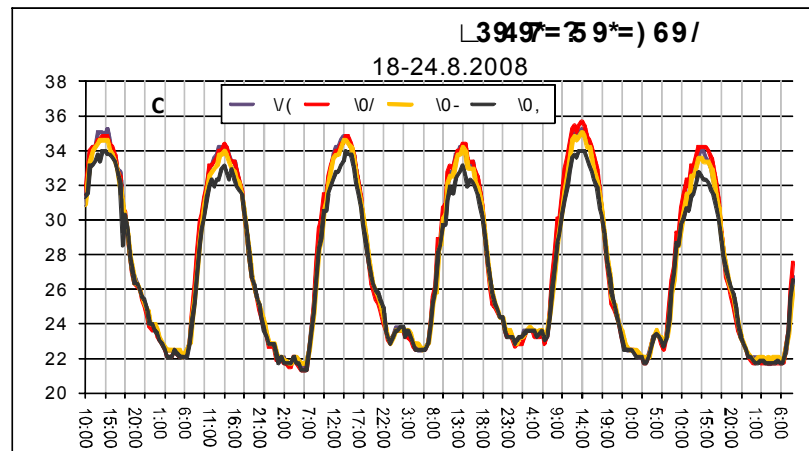
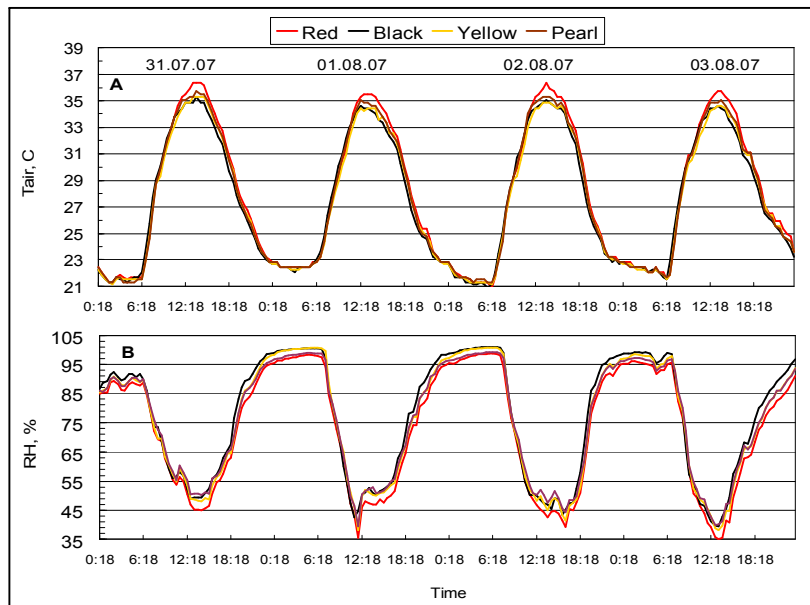
נספח 3א: טמפי' מכסימום יומית (למעלה) ולחות יחסית מינימלית (למטה) בקרבת הנוף תחת הרשתות השונות בבית הרשת בתחילת עונת 2007. כל נקודה היא ממוצע של 3 הובואים.



נספח 3ב. טמפי' מכסימום יומית בבית הרשת בתקופת אוגו-אוקטי 2007.



נספח 3ג'. טמפ' מקסימום יומיות תחת הרשתות השונות בבית הרשת ביוני-אוגוסט 2008.



נספח 4. רישום רציף של טמפ' אויר (A) ולחות יחסית (B) במינהרות הרשת ב-31.7.07-3.8.07, וטמפ' אויר ב-18-24.8.08 (C). ממוצעי 3 יחידות הובו לטיפול. הנתונים נאגרו כל 20 דקות.

פירסומים הנובעים ממחקר זה (לא כולל תקצירים)

- שחק, י., ח. יחזקאל, א. מתן, ד. בן יקיר, י. אופיר, י. פוסלסקי, י. מסיקה, ח. זוהר, ד. שמואל, א. סולפוי, ק. רטנר נ. צור (2006) רשתות צבעוניות משפרות יבול בפלפל. גן שדה ומשק, (אפריל) 37-40.
- שחק, י., ח. יחזקאל, א. מתן, ד. בן יקיר, י. אופיר, י. פוסלסקי, י. מסיקה, ח. זוהר, ד. שמואל, א. סולפוי, ק. רטנר נ. צור (2007) רשתות צבעוניות משפרות יבול בפלפל. יבול שיא, חוברת מיוחדת לרגל היום הפתוח במו"פ דרום.
- שחק, י., ק. רטנר, י. גילר, נ. צור, ד. בן יקיר, ח. יחזקאל, א. מתן, ד. שמואל, י. אופיר, י. פוסלסקי, י. מסיקה, ח. זוהר (2008) רשתות צל צבעוניות לשיפור גידול הפלפל בדרום. שדה וירק, מרץ-אפריל (3): 40-46.
- בן-יקיר, ד., י. אופיר, י. מסיקה, י. אנטיגנוס, מ. חן, א. מתן, ח. יחזקאל וי. שחק (2008) השפעת רשתות צל צבעוניות על חזירה והתבססות מזיקים ומחלות וירוס בפלפל. משוב לחקלאות 236: 56-52.
- אנטיגנוס, י., ד. בן-יקיר, י. אופיר, י. מסיקה, א. דומברובסקי, מ. חן, ל. גנות, ח. יחזקאל, ש. גנץ, י. שחק (2009) רשתות צל צבעוניות יוצרות חיץ אופטי המגן על פלפל ועגבנייה מפני וירוסים חולפים הנישאים ע"י כנימות עלה. שדה וירק (בפרסום).
- Rajapakse, N.C. and Shahak, Y. (2007) Light quality manipulation by horticulture industry. In: Light and Plant Development (G. Whitelam and K. Halliday, eds.), pp 290-312, Blackwell Publishing, UK. (A book chapter).
- Shahak, Y. (2008) Photosensitive netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried in Israel. Acta Hort. (IHC2006), 770: 161-168.
- Ben-Yakir, D., Hadar, M.D., Offir, Y., Chen, M. and M. Tregerman, M. (2008) Protecting Crops from Pests Using Optinet[®] Screens and Chromatinet[®] Shading Nets. Acta Hort. (IHC2006), 770: 205-212.
- Ben-Yakir, D., M.D. Hadar, Y. Offir, M. Chen, M. Tregerman (2008) Protecting Crops from Pests Using OptiNet[®] Screens and ChromatiNet[®] Shading Nets. Acta Hort. 770: 205-212.
- Shahak, Y., Gal, E., Offir, Y. and Ben-Yakir, D. (2008) Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. Acta Hort. 797: 75-80.
- Shahak, Y., Ratner, K., Zur, N., Offir, Y., Matan, E., Yehezkel, H., Messika, Y., Posalski, I., and Ben-Yakir, D. (2009) Photosensitive Netting: an Emerging Approach in Protected Agriculture. Acta Hort. 807 Vol. 1: 79-84.
- Fallik, E., Alakali-Tuvia, S., Parselan, Y., Aharon, Z., Offir, Y., Matan, E., Yehezkel, H., Ratner, K., Zur, N. and Shahak, Y. (2009) Can colored shade nets maintain sweet pepper quality during storage and marketing? Acta Hort. 830: 37-43.