

תדפיס מתוך "השדה", כרך ע"ד, חוברת ב', חשוון תשנ"ד, נובמבר 1993

## שימוש ברשתות הצללה כאמצעי לצמצום נזקי קרה

מ. טייטל, י. צביאלי, א. פייפר, י. כץ, נ. לבב, י. סגל,  
המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי\*



המאמר עבר ביקורת מדעית.

### הקרקע

כדי לבדוק את השפעת אופייני הרשת (הצבע וצפיפות החוטים) על המיקרואקלים המתפתח תחתיה ועל הפרמטרים של צמיחה, יכול ואיכותו - נעשתה תצפית בגידול פלפל שכוסה ברשתות מסוגים שונים. התצפית נעשתה במושב פארן שבערבה, בינואר 1993.

### שיטות וחמרים

התצפית נעשתה בגידול מסחרי של פלפל מהזן "מאורי". פירוט נרחב בנושא הגידול, תאריכי שתילה וקטיף, והשפעת הרשת על גודל הפרי, על איכותו, ועל מועד הקטיף - במאמר נפרד של י. צביאלי וחבורתו. שטח הגידול (כחמישה דונמים) חולק ל-20 אזורים בגודל 22 x 10 מ', וכל איזור כוסה ברשת שונה, כדי לבחון את ההשפעה של סוג הרשת על התפתחות קרה מתחתיה. הרשתות נמתחו בגובה של כ-2.5 מטרים מעל הקרקע. הקרינה נטו וטמפרטורת האוויר נמדדו מתחת למספר רשתות, שהיוו מדגם מייצג של סוגי הרשתות השונים. הקרינה נטו היא כמות הקרינה המגיעה מהרקיע פחות כמות הקרינה המוחזרת מהקרקע ומהצמחים שמתחת למדיד. הקרינה נטו נמדדה כדי לאפשר את מדידת כמויות החום הנפלטות בקרינה במשך הלילה לכיוון הרקיע. בנוסף, נמדדו הטמפרטורה והקרינה נטו מחוץ לבית הגידול. כן נמדדה הטמפרטורה מתחת למנהרת רשת, שבה הונחה הרשת על פני השתילים, לשם השוואה בין שיטות כיסוי שונות ברשתות. באחד מאזורי הבדיקה נמדדה הטמפרטורה בשלושה גבהים מעל הקרקע, כדי לבחון את פירוס הטמפרטורה כפונקציה של המרחק מהקרקע, ולקבל מידע רחב ככל האפשר על המיקרואקלים הנוצר מתחת לרשת. הטמפרטורה נמדדה בעזרת תרמוקופלים, אחד לכל חלקה, ונדגמה בעת ובעונה אחת עם הקריאות ממד-הקרינה, על-ידי Campbell Micrologger 21X מתוצרת Campbell. דגימות נעשו בכל דקה, ואחת לחצי שעה חושב ממוצע הנתונים שנאספו והוכנס לזיכרון.

מדידת הטמפרטורה נעשתה באזורים ובתנאים הבאים:

- 1) מחוץ לבית הגידול, בגובה 65 סנטימטר מעל הקרקע.
- 2) מתחת למנהרת רשת נמוכה, בתוך נוף השיח.
- 3) בתוך בית הגידול, מתחת לרשתות הבאות:
  - א) "20% לבן", תוצרת קלימן-מטאור, בגובה 120 ס"מ מעל הקרקע;
  - ב) "30% שחור", תוצרת בן-צור-דרויאנוב, בשלושה גבהים שונים: בתוך נוף הצמח, בגובה 150 ס"מ מעל הקרקע, וחמישה ס"מ מתחת לרשת;
  - ג) "40% שחור", תוצרת פולישק, בגובה 120 ס"מ מעל הקרקע;
  - ד) אלומיניום תוצרת פולישק, בגובה 120 ס"מ מעל הקרקע.

ערך ניסוי לבדיקת האפשרות של מתיחת רשתות מעל גידולי פלפל כדי למנוע נזקי קרה בו. נבדקו מספר רשתות הנבדלות בצבע ובצפיפות החוטים. מהניסוי מתברר כי כיסוי ברשת מתוחה בגובה כדי 2.5 מ' מעל הקרקע מקטין את מספר השעות שבהן טמפרטורת האוויר יורדת למטה מאפס, וכתוצאה מכך מקטין את סכנת הפגיעה בגידול. הרשתות מגינות על הגידול הודות להפחתת הקרינה ארוכת-הגל מהקרקע לרקיע בשעות הלילה. רשת אלומיניום (כ-50% צל) מתוצרת "פולישק" נתנה את ההגנה הטובה ביותר על הגידולים. לעומת זה מראות התוצאות, כי רשת הנפרשת על-פני הגידול אינה יעילה דיה בהגנה מפני נזקי קרה.

### מבוא

קרה קרינתית היא השכיחה והממושכת ביותר, ולכן גם המסוכנת ביותר לגידולים (1). הקרה מתרחשת כלילות שבהם כמעט אין רוח והשמים בהירים. מכיון שהשמים בהירים - מאבדות הקרקע והצמחייה כמויות חום גדולות לרקיע, בקרינה ארוכת-גל, וכתוצאה מכך יורדת טמפרטורת האוויר בשכבות הקרובות לקרקע (2, 3). לילות כאלה מאופיינים בדרך-כלל בעננות מרובה ובשטף קרינה ארוכת-גל מרובה (3, 4, 5). תופעת הקרה גורמת נזקים לחקלאות עד כדי השמדת שדות יבולים לחלוטין, ומכאן הצורך להתמודד עם הבעיה ולנסות להפחית את הנזקים ככל האפשר. אחד האזורים המועדים לנזקי קרה הוא איזור הערבה, בייחוד שדות מושב פארן, כפי שמתברר מסקר אירועים אקלימיים באיזור. בערבה מתמודדים עם בעיית הקרה באמצעים שונים: הפעלת מערכת טפטוף מים, שימוש במאווררים (בעבר), כיסוי ברשתות צל, והפעלת מסוקים המפזרים את האוויר הקר שבסמוך לקרקע.

שיטה זולה יחסית למניעת התהוות קרה - היא מתיחת רשת מעל הגידול, כדי לחסום את הקרינה מהקרקע לרקיע. השימוש המקורי, שנעשה בעבר ברשתות צל בפלפל, היה לדחייה והאטה של הבשלת הפרי על-ידי הצללה בשעות היום, ולוויסות והכוונה של מועדי הקטיף. לאחר שנמצא בעונות האחרונות כי השדות שכוסו ברשתות צל נפגעו פחות מקרה, או שלא נפגעו כלל - הורחב השימוש ברשתות, והשתמשו בהן גם כאמצעי להפחתת נזקי קרה. הרשתות מצמצמות במידה ניכרת את הפסדי החום מהקרקע, ויוצרות מיקרואקלים שונה מזה שבחוץ ונוח לשמירת הצמחים במצב תקין וללא נזקים גם בעת קרה. כיסוי הצמחים יכול להיעשות בשני אפנים: 1) פרישת רשת על-פני הגידול (להלן "רשת נמוכה"); 2) הקמת בית-רשת, כשהרשת מתוחה בגובה 2 - 2.5 מטרים מעל

\*גידול פלפל בבית רשת. "השדה", כרך זה, חוברת א'.

\*פירסום של מינהל המחקר החקלאי, סדרה ב', 93-3019.



גבוהה מאפס מ"צ נשמרה לאורך כל הניסוי. ההפרשים בטמפרטורה, הן בשעות היום והן בשעות הלילה, מתחת לרשתות השונות (לא כולל רשת האלומיניום) - היו זניחים. לעומת זאת היתה הטמפרטורה מתחת לרשת שנפרשה על פני הגידול נמוכה ב-2 מ"צ מאלה שנמדדו מתחת לרשתות שנמתחו בגובה 2.5 מטרים ברוב לילות הניסוי. בלילה של ה-16 לינואר אפשר להבחין בתנודות חזקות בטמפרטורה (דיאגרמה 1), הנובעות כפי הנראה מהפעלת מסוקים (באותו לילה הופעלו המסוקים אינטנסיבית).

כדי להשוות בין הרשתות - חושב מספר השעות שבהן הטמפרטורה הנמדדת היתה למטה מערך נתון. תוצאות החישוב מראות כי הטמפרטורה מתחת לרשת האלומיניום לא ירדה למטה מאפס מ"צ לאורך כל תקופת הניסוי. מספר השעות הכללי שבו היתה הטמפרטורה נמוכה מאפס מ"צ, בפרק-זמן של 12 ימים, היה: ללא רשת - 100 שעות, תחת רשת נמוכה - 56 שעות, תחת רשת 20% - 24 שעות, 30% - 19 שעות, 40% - 16 שעות בלבד.

מהתוצאות עולה, שרשת נמוכה המונחת על-פני הגידול אינה יעילה דיה במניעת קרה, ומספר השעות שבהן הטמפרטורה מתחתיה נמוכה מאפס הוא כדי פי 2 עד 3 מאשר תחת שאר הרשתות. כדי לבדוק את פירוס הטמפרטורה כמונקציה של הגובה מעל הקרקע - הושמו שלושה תרמוקפלים בגבהים שונים מעל הקרקע: אחד בגובה כ-30 ס"מ מעל הקרקע, אחד בתוך נוף הצמח, אחד בגובה ביניים מעל נוף הצמח כ-1.5 מטרים מהקרקע, ואחד סמוך לרשת, כ-5 ס"מ למטה ממנה. מתוצאות המדידה התברר כי במשך שעות היום והלילה, הטמפרטורות סמוך לרשת ובתוך נוף הצמח כמעט זהות. במשך היום הן נמוכות בכדי 2 מ"צ מהטמפרטורה של התרמוקפל שבגובה הביניים, ואילו בשעות הלילה המגמה מתהפכת, כך שטמפרטורת תרמוקפל הביניים נמוכה יותר. כמו כן ניתן לראות מהנתונים שנאספו, כי התנודות בטמפרטורה הנמדדת בתרמוקפל הביניים, בייחוד בשעות הלילה, דומות לתנודות בתרמוקפל המודד את טמפרטורת הסביבה. בשני התרמוקפלים האחרים התנודות מרוסנות יותר. יתכן שתופעה זו נובעת מהעובדה, שהתרמוקפל האמצעי חשוף יותר למשבי רוח המגיעים מחוץ לבית הרשת, בעוד ששני התרמוקפלים האחרים (בתוך נוף הצמח, וסמוך לרשת) אינם חשופים כל כך לרוח מהירה המגיעה מהסביבה. רצוי אפוא לבחון הקמת שברוחים סביב בית הרשת, כדי לצמצם את משבי הרוח הגורמים ירידת טמפרטורה בלילה מתחת לרשת, ולבדוק את השפעתם על האקלים המתהווה מתחת לרשת.

משעה 18:00 בקירוב ועד לשעה 6:00 בבוקר שלמחרת יורדת הקרינה נטו (במדידה ללא רשת) לערכים שליליים, ובממוצע היא כ-45 W/m<sup>2</sup>. בשעות הלילה. גם מתחת לרשתות הקרינה היא בעלת ערך שלילי, אף כי הערכים האבסולוטיים נמוכים יותר. הערכים השליליים היו צפויים, שכן בתקופת הלילה מאבדת הקרקע קרינה לרקיע, משום שטמפרטורת הקרקע גבוהה מזו של הרקיע. בדיאגרמה 2 מוצגת הקרינה בימים הקרים ביותר בתקופת הניסוי. בימים אלה ירדה הקרינה נטו מחוץ לבית הרשת לערך ממוצע של כ-74 W/m<sup>2</sup>. מתוצאות הניסוי עולה, שרשת האלומיניום מאבדת את כמות החום הקטנה ביותר בקרינה, ולעומתה רשת 20% מאבדת את כמות החום הגדולה ביותר מבין כל הרשתות. ממוצע הקרינה בין השעות 18:30 ל-6:00 בבוקר שלמחרת, תחת כל אחת מהרשתות, חושב ומוצג בדיאגרמה 3. הערכים הממוצעים שהתקבלו הם:

יצוין כי רשתות הצל נמכרות תחת שם מסחרי (כגון: "20% לבן"), שבו האחוז מציין את שיעור הצל מתחת לרשת. האחוז מחושב מתוך הביטוי  $S=1-R_i/R_o$ , כאשר  $R_i$  מציין את הקרינה מתחת לרשת כפי שהיא נמדדת בלוקסמטר, ו- $R_o$  מציין את הקרינה מעל הרשת. הקרינה נטו נמדדה ב-Radiation Balance Probe 8110 מתוצרת Philipp Schenk, בעל תחום מדידה של 0.3 - 60 מיקרומטר. מדי הקרינה הושמו מתחת לרשתות השונות שבהן נמדדה הטמפרטורה, ובנוסף נמדדה הקרינה נטו ללא רשת, כדי לאפשר השוואה.

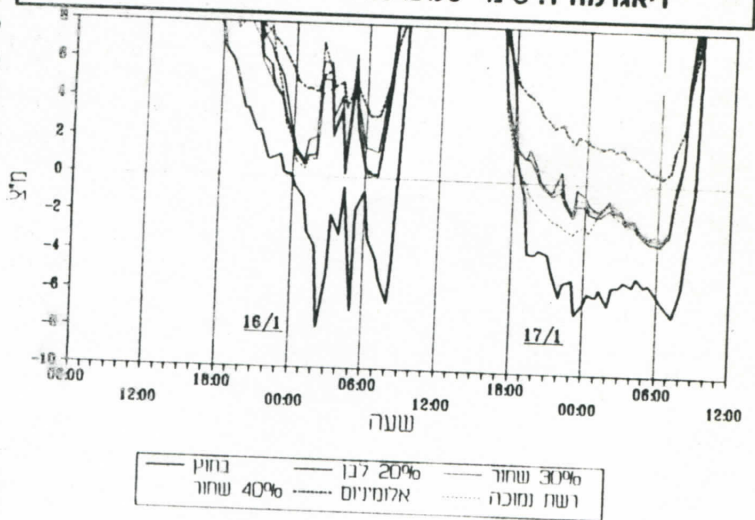
תוצאות

קרינה וטמפרטורה

בלילות שבין 16 ל-19 בינואר ובייחוד בין 16 ל-17 בחודש שרו האיוור ציינו כאירוע קרה, קשה ביותר. שטחי גידול רבים בסביבת התצפית וביתר שטחי פארן נפגעו, למרות אמצעי ההתגוננות שנקטו החקלאים ושכללו השקיה, רשתות ומסוקים. בחלקת התצפית אובחנו נזקים, שהתבטאו בקמילת עלים בשלב הראשון, וכעבור מספר ימים - בהתייבשות חלק מהנוף העליון. נזקים אלו היו אחידים למדי בכל חלקות התצפית, פרט לחלקה המכוסה ברשת אלומיניום.

ראוי לציין כי במשך שמונה לילות רצופים היתה הטמפרטורה מחוץ לבית הגידול נמוכה מאפס מ"צ, וכתוצאה מכך גדלה ההסתברות לפגיעה בגידול. בלילות שבין 16 ל-18 בינואר הגיעה הטמפרטורה עד למינימום של כמינוס 8 מ"צ. הטמפרטורות שנמדדו במשך היום אינן מדויקות, שכן התרמוקפלים היו חשופים לקרינת השמש. מכיון שבעבודה הנוכחית התמקדנו על מדידות בשעות הלילה בלבד - לא הקפדנו למנוע קרינה ישירה על התרמוקפלים במשך היום. בדיאגרמה 1 מוצג מידע משני לילות (16 ו-17 בינואר),

דיאגרמה 1. שינויי טמפרטורה בלילות הקרים ביותר

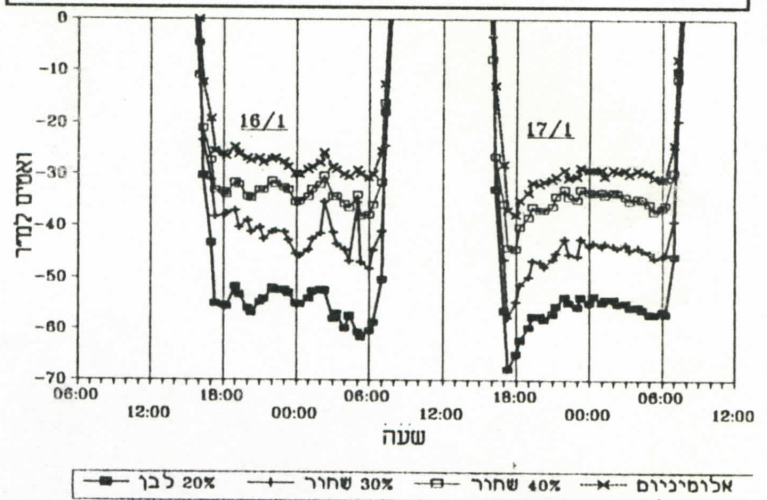


מתוך כלל הימים בהם נערך הניסוי, מכיון שאלה היו הלילות הקרים ביותר. הדיאגרמה מראה בבירור, כי תחת כל הרשתות חוץ מרשת האלומיניום נמדדה בלילה הקר ביותר (17 בינואר) טמפרטורה נמוכה מאפס מ"צ. אנו מסיקים אפוא כי רשת האלומיניום היא היעילה ביותר. יעילותה בשמירה על טמפרטורה



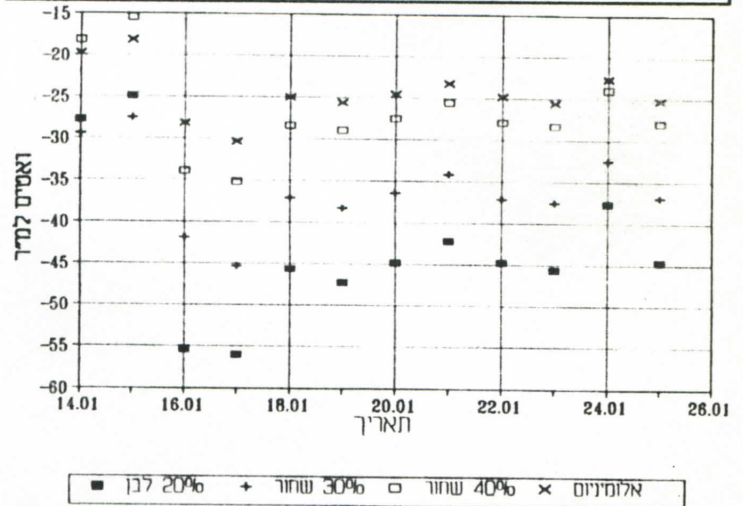
לבית הרשת. נעיין, בדיאגרמות אלה, במידע שנאסף בלילה של 17/1, שכן ההתנהגות הכללית של הטמפרטורה והקרנה בלילה זה אפיינית לרוב הלילות האחרים של תקופת הניסוי. בדיאגרמה 2 אנו רואים כי הקרינה נטו פוחתת למינימום בשעה 17:00 לערך, ומתחילה לגבור לאחר מכן. התנהגות זו סבירה, שכן בשעה 17:00 לערך השמש שוקעת, והקרקע עדיין חמה ופולטת קרינה ארוכת-גל רבה לכיוון הקרקע. כתוצאה מכך צפוי שהקרינה נטו תהיה בעלת הערך השלילי הגדול ביותר. בהמשך הלילה, עקב פליטת הקרינה - הקרקע והאוויר הסמוך לה מתקררים, כפי שרואים בדיאגרמה 1. כתוצאה מירידת הטמפרטורה - שטף הקרינה מהקרקע לרקיע קטן, והערך האבסולוטי של הקרינה נטו קטן.

דיאגרמה 2. שינויי קרינה מתחת לרשת בלילות הקרים ביותר.



**יבול**  
סקירה נרחבת על נושא זה פורסמו י. צביאלי וחוברייו\*. באופן כללי ניתן לומר, שלא נמצאו הבדלים משמעותיים באיכות הפרי ליצוא. נראה כי ציון האיכות של הפרי יורד ככל שהרשת בעלת אחוזי צל גדולים יותר. נוסף על כך נראה כי בצמחים שגדלו תחת רשתות בעלות שיעור צל רב מ-50% - הקטיף מתאחר.

דיאגרמה 3. קרינה ממוצעת מתחת לרשת בשעות הלילה 6:00 - 18:30



**מסקנות**  
מתוצאות הניסוי נראה כי רשתות מסוימות מסוגלות למנוע ירידה משמעותית בטמפרטורת האוויר לכאלה העוללות לגרום נזקי קרה. רשת האלומיניום נמצאה היעילה ביותר בהשוואה לשאר הרשתות, ולכן מומלץ להשתמש בה בעתיד. עם זה יש להדגיש, כי רשת האלומיניום יקרה כדי פי שניים מרשת רגילה בעלת אותו אחוז צל. נראה שרשתות הנפרשות על הצמח אינן יעילות, ויעילותן פחותה אפילו מרשת 20%. כדאי לחשוב בעתיד על בניית מיתקן המאפשר החלפת רשתות, כך שבמשך היום תהיה הקרינה הסולארית שתעבור דרך הרשת - מרובה, ותעזור להתפתחות הצמח; ואילו לקראת הלילה תוחלף הרשת לכזאת שתספק הגנה טובה מפני קרה. נראה כי רשתות בעלות אחוזי צל גדולים עלולות להביא לידי דחיית הקטיף ופחיתה ביבול ובאיכותו.

**מקורות**  
1. צילה דורפמן, ציפורה גת, עמי בר-יוסף (1992). "דפי מידע" 4, דצמבר, עמ' 18 - 20.  
2. J.C. Howard (1966). General Climatology. Prentice-Hall, second edition.  
3. E. Plate (1982). Engineering Meteorology. Elsevier Scientific Publishers.  
4. C.B. Richey, P. Jacobson, C.W. Hall (1961). Agricultural Engineers' Handbook. McGraw-Hill.  
5. V.I. Vitkevich (1963). Agricultural Meteorology. Israel Program for Scientific Translations. Translated from Russian.

| סוג הרשת:          | 40% | 30% | 20% | אלומיניום |
|--------------------|-----|-----|-----|-----------|
| קרינה, ואטים למ"ר: | -25 | -28 | -35 | -45       |

14- ו-15 בינואר היו הערכים האבסולוטיים של הקרינה נטו קטנים יותר, בשל עננות שהפחיתה משמעותית את איבוד החום מהקרקע. ממוצע הקרינה לשעות הצהריים (12:00 - 14:00) מתחת לרשתות השונות חושב אף הוא. היה אפשר להניח, כי רשת האלומיניום תפחית את הקרינה היומית במידה הניכרת ביותר, בשל העובדה שהיא מנעה בצורה הטובה ביותר בריחת חום בקרינה בלילה. תוצאות הניסוי מראות כי הנחה זו אינה נכונה, כפי הנראה בשל העובדה שאופייני הרשת (מעבירות, מחזירות, ובליעות) בקרינה סולארית - שונים מאלה שבקרינה ארוכת-גל. רשת האלומיניום העבירה קרינה - היטב יותר מרשתות 30% ו-40%. ממוצעי הקרינה לשעות הצהריים הם:

| סוג הרשת           | 40% | 30% | 20% | אלומיניום |
|--------------------|-----|-----|-----|-----------|
| קרינה, ואטים למ"ר: | 160 | 130 | 150 | 280       |

מהדיאגרמות 1 ו-2 אפשר להבין את התהליך המתרחש מתחת

\*גידול פלפל בבית רשת, "השדה", כך זה, חוברת א'.