

# פיתוח גישה אינטגרטיבית לייצור פלפל תוך שימוש מזערי בתכשירי הדברה:

## מיזם חוס"ן – פלפל

שמעון פיבוניה, יעל בר לבן, רחל לויטה, ישראל צברי - מו"פ ערבה תיכונה וצפונית  
יגאל אלעד, דני שטיינברג - מינהל המחקר החקלאי  
סוּטלנה דוברינין - לה"ד נגב, שה"מ משרד החקלאות

### תקציר

מחלת הקימחונית היא מחלת העלים החשובה ביותר של גידול הפלפל. המגדלים מתמודדים עם המחלה בשיטת הביטוח ומיישמים כנגדה ריסוסים רבים, חלקם מיותרים. לפתח ממשק הדברה מושכל להתמודדות עם המחלה. במסגרת זו פותחה מערכת תומכת החלטה בשם *פלפלת*. במהלך המחקר בחנו את יעילות ההדברה המתקבלת על ידי יישום המערכת ואת הבסיס הביולוגי שלה, כימתנו את הנזק שגורמת מחלת הקימחונית ליבול ופיתחנו מודל להערכת נזקים. מערכת *פלפלת* נבחנה בתשעה ניסויים שבוצעו באזורי הגידול החשובים של הפלפל בארץ במגוון סוגים של מבני גידול; נתונים שנאספו מ – 26 ניסויים שבוצעו במהלך חמש שנות מחקר שימשו לפיתוח המודל להערכת נזקים. תוצאות עיקריות: 1. ניתן להפעיל את ההדברה כתגובה (במקום כטיפול הגנתי) ולהדביר את המחלה ביעילות; 2. ניתן בחלק מהזנים ליישם את הריסוסים העוקבים מידי 14 ימים אולם בזנים אחרים במידה ויתגלו כרגישים במיוחד למחלה יהיה צורך בתדירות ריסוסים גבוהה יותר; 3. מועד הופעת המחלה וקצב התפתחות המחלה מושפע (כנראה) משילוב בין תנאי הסביבה השוררים במהלך עונת הגידול החורפית של הפלפל בארץ ותגובת הפונדקאי; 4. תגובת הפונדקאי למחלה משתנה במהלך התפתחותו הפנולוגית; 5. מערכת *פלפלת* נבחנה בתשעה ניסויים שבוצעו בארבעה אזורי גידול בארץ, בשתי עונות. שימוש במערכת איפשר להדביר את מחלת הקימחונית ביעילות, בדומה ליעילות של טיפול הביטוח, תוך יישום מספר קטן יותר של ריסוסים ( $4.7 \pm 0.5$  ריסוסים בטיפול *פלפלת* בהשוואה ל –  $15.8 \pm 1.5$  בטיפול הביטוח); 6. מחלת הקימחונית גורמת לנזק ליבול, אך הוא פחות ממה שמקובל להניח; 7. פותח מודל חיזוי להערכת נזקים באמצעותו ניתן, עוד במהלך העונה, לחזות את הנזק שיגרם ליבול בסוף העונה. יש לבחון את תגובת הזנים השונים למחלה כדי שניתן יהיה ליישם את המערכת בחלקות מודל (במעקב של אנשי הדרכה). במחקר זה התמקדנו בעונת הגידול החורפית (שתילות אוגוסט-ספטמבר 2008; סיום גידול אפריל-מאי 2009) ולכן הממצאים תקפים רק לגבי עונת גידול זו.

### מבוא

מספר מזיקים ומחלות עלולים לפגוע ביבול ובאיכות הפלפל המגודל בבתי צמיחה. בשנים האחרונות מתרחב בארץ השימוש בשיטות של הדברה משולבת כנגד המזיקים ומספר תכשירי ההדברה הכימיים המיושמים כנגדם קטן משמעותית. למרות ההצלחות בהתמודדות עם מזיקים, לא נערך מחקר דומה שעסק בפתוגנים החשובים הגורמים למחלת הקימחונית ולמחלת העובש האפור. מאחר והמחלות עלולות לגרום לנזקים חמורים לגידול, מיישמים המגדלים כנגדה תכשירי הדברה בשיטת ה"ביטוח" ומספרם נע בין 5 ל – 20 ריסוסים בעונה ויותר; מספר הריסוסים משתנה באזורי הארץ השונים ובין מגדלים שונים. לרוב, ההדברה יעילה: רמת הנגיעות נמוכה, והנזק ליבול כתוצאה מהתפתחות המחלות, נמוך אם בכלל. אולם, סביר להניח שאסטרטגיית הדברה זו מביאה לידי יישום ריסוסים מיותרים. כל עוד אין מגבלה על

מספר הריסוסים אותו ניתן ליישם כנגד המחלה אין מניעה שהמגדלים ימשיכו וישתמשו בשיטת הביטוח. אולם, שינוי התקנות (או דרישות הקניינים) יחייבו אולי, בעתיד, להפחית בצורה משמעותית את כמויות תכשירי ההדברה המיושמים. לצורך כך הוקם מיזם חוס"ן-פלפל. המטרה המרכזית של המיזם היא לפתח גישה חדשה להתמודדות עם מחלות ומזיקים בפלפל תוך שימוש מזערי בתכשירי הדברה כימיים ולבנות את הכלים שיאפשרו ליישמה בקנה מידה מסחרי. בעונת 2004/5 החל השלב הראשון של המיזם בו החלנו באיסוף הנתונים הדרושים לבניית מערכת תומכת החלטה בשם **פלפלת**. במסגרת זו ביצענו בתחנת יאיר ניסוי שמטרתו הייתה לבחון גישות שונות לתזמון הריסוסים המיושמים כנגד מחלת הקימחוניית. בנוסף, קיימנו סקר מקיף במבני פלפל מסחריים במושבים פארן וחצבה. בשנת המיזם השנייה (2005/6) ביצענו חמישה ניסויים; ארבעה מהם בוצעו בתחנת יאיר (שניים בחממה ושניים במבנה חממה המכוסה ברשת) והחמישי במנהרה עבירה בתחנת זוהר בעין תמר. בניסויים נצבר מידע שאפשר לפתח את הגרסה הראשונה של מערכת תומכת ההחלטה **פלפלת** (שטיינברג וחובי 2006). בהמשך שופרה המערכת ובשנת המיזם השלישית (2006/7), שהייתה השנה הראשונה של תוכנית מחקר זו, בחנו את מערכת תומכת ההחלטה (שכונתה **פלפלת-3**) בסדרה של 11 ניסויים. הניסויים בוצעו בחמישה אזורים בארץ: הערבה התיכונה (תחנת יאיר), הערבה הצפונית (תחנת זוהר) הבקעה (תחנת גילגל), הבשור ורמת הנגב. הניסויים בוצעו בחממות, בתי רשת 50 מש, בתי רשת צל ומינהרות עבירות. בהתבסס על הממצאים והמסקנות שעלו מהניסויים עודכנה אסטרטגיית ההדברה המיטבית של מחלת הקימחוניית בפלפל (שטיינברג וחובי 2007 א, ב' ג'). העקרונות החדשים סוכמו בגירסה נוספת של מערכת תומכת ההחלטה, **פלפלת-4**. מערכת **פלפלת-4** נבחנה בסדרה של חמישה ניסויים שבצענו בעונת 2007/8 (שנת המחקר השנייה) בבקעה, בגבע כרמל (שבחוף הכרמל), ובערבה הצפונית (תחנת זוהר) (שטיינברג וחובי 2008 א'). בעונת 2008/9 (שנת המחקר השלישית) המשכנו ובחנו את המערכת בארבעה ניסויים שבוצעו בתחנות המחקר בקעה, חוות הבשור וערבה התיכונה. בשנה זו נוספו למערכת רכיבים המתייחסים להתמודדות עם מזיקי הפלפל (אלעד וחובי 2008). לכן שם המערכת שונה ל - **פלפלת-5** (שטיינברג וחובי 2008 ב'); מבחינת ההתמודדות עם קימחוניית גירסה זו זהה לגירסה **פלפלת-4**. בדו"ח זה יפורטו תוצאות הניסויים בהם השתמשנו בגירסת המערכת האחרונה וכדי למנוע בלבול תכונה בדו"ח זה מערכת תומכת ההחלטה בשם **פלפלת**. נתונים שנאספו מ – 26 ניסויים שבוצעו במסגרת המיזם שימשו לכימות השפעת מחלת הקימחוניית על יבול הפלפל באיכות יצוא ולפיתוח מודל להערכת נזקים מהמחלה. המודל עשוי לשמש לחיזוי הנזק שיגרם ליבול מהמחלה עוד במהלך העונה; מידע החשוב לקבלת החלטות לגבי הצורך ביישום ריסוסים נוספים כנגד המחלה.

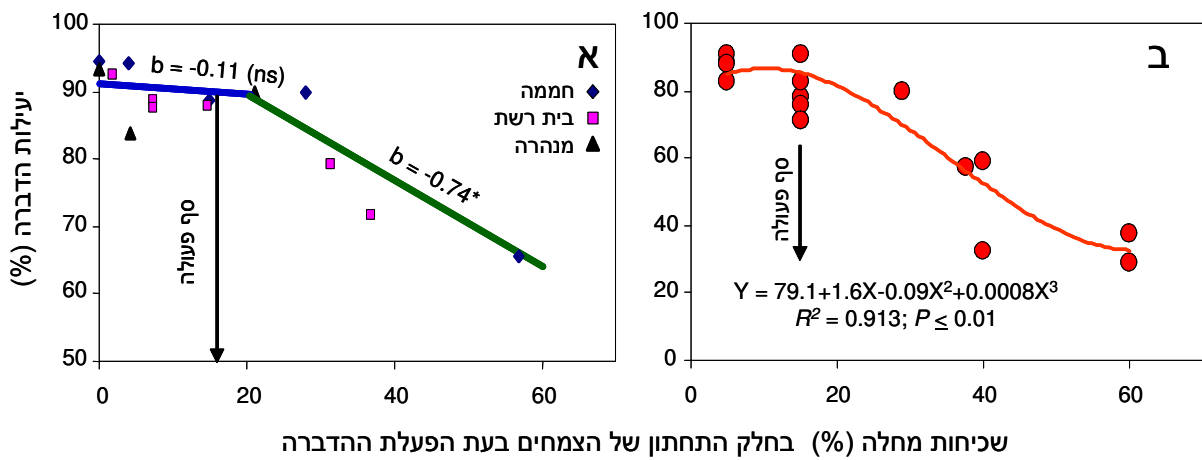
## שיטות וחומרים

**מערכת תומכת ההחלטה פלפלת** - בשורות הבאות נפרט, בקיצור, את הממצאים ששימשו להגדרת רכיבי מערכת **פלפלת**: מועד הפעלת ההדברה, המרווחים של הריסוסים העוקבים ומועד סיום ההדברה. לאחר מכן יוצגו תוצאות ניסויים בהם נבחנה מערכת **פלפלת**, בכללותה, בהשוואה לטיפול הביטוח.

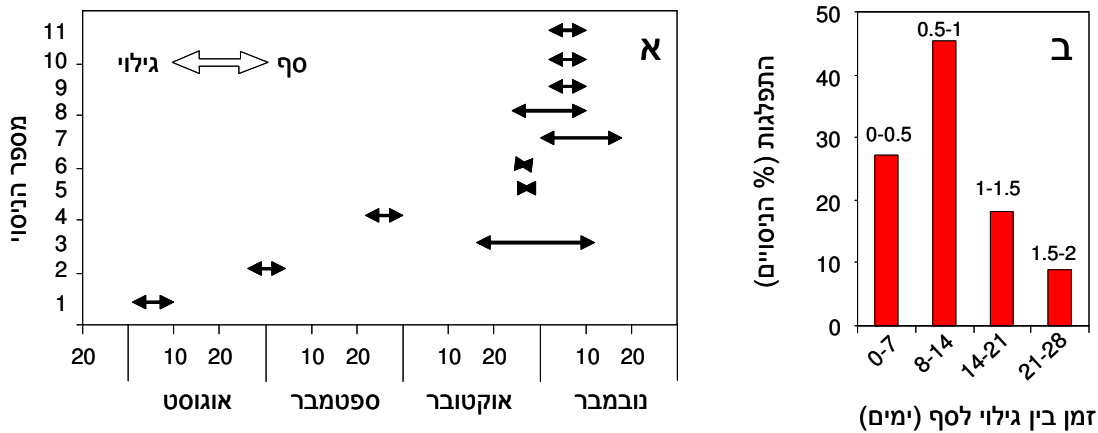
### הפעלת ההדברה כנגד מחלת הקימחוניית

בעת הקמת המיזם הומלץ למגדלים להתחיל לרסס כנגד מחלת הקימחוניית כטיפול הגנתי – עוד לפני זיהוי הסימפטומים הראשונים של המחלה. כדי לבחון אם ניתן לחסוך ריסוסים בתחילת העונה ולהתחיל לרסס רק אחרי זיהוי המחלה, בצענו בעונת 2005/6 שלושה ניסויים שכל אחד מהם כלל סידרת טיפולים שנבדלו זה מזה במועד הפעלת ההדברה (לפני זיהוי המחלה, מיד לאחד זיהוי סימני המחלה הראשונים ובמועדים שונים לאחר מכן). בכל הטיפולים יושם התכשיר הליוגופרית בריכוז של 1%. התברר שניתן להפעיל את

ההדברה הכימית כתגובה ולהדביר את המחלה בצורה טובה בדיוק כמו בטיפולים בהם יושמו הריסוסים הראשונים לפני מועד זיהוי המחלה, כטיפול הגנתי. הממצאים שימשו לפיתוח סף פעולה להפעלת ההדברה (שכיחות מחלה של 15% בעלים הנמצאים בחלק התחתון של הצמחים). סף הפעולה נבחן בסדרת הניסויים שבוצעה בעונת 2006/7, ואומת (איור 1). הערכות הנגיעות שבצענו בניסויים שבוצעו בעונת 2006/7 שימשו לבחינת מספר הריסוסים אותם ניתן לחסוך בעת הפעלת ההדברה כשעוצמתה מגיעה לרמה של הסף בהשוואה להפעלתה בעת זיהוי סימני המחלה הראשונים. התברר שהתרומה הייתה קטנה יחסית: רק ב- 25% מהמקרים שימוש בסף הפעולה היה מאפשר לחסוך יותר מריסוס אחד והממוצע היה 0.7 ריסוסים (איור 2). בגלל החשש שהפעלה מאוחרת מידי של ההדברה הכימית תגרום לכישלון ההדברה הגענו למסקנה שיש להפעילה עם זיהוי סימני המחלה הראשונים בלי שיעילות ההדברה תפגע. בצורה זו ניתן לחסוך עד ארבעה ריסוסים יחסית להפעלה הגנתית (ממוצע 1.5 ריסוסים), לפני זיהוי המחלה (נתונים לא מוצגים).



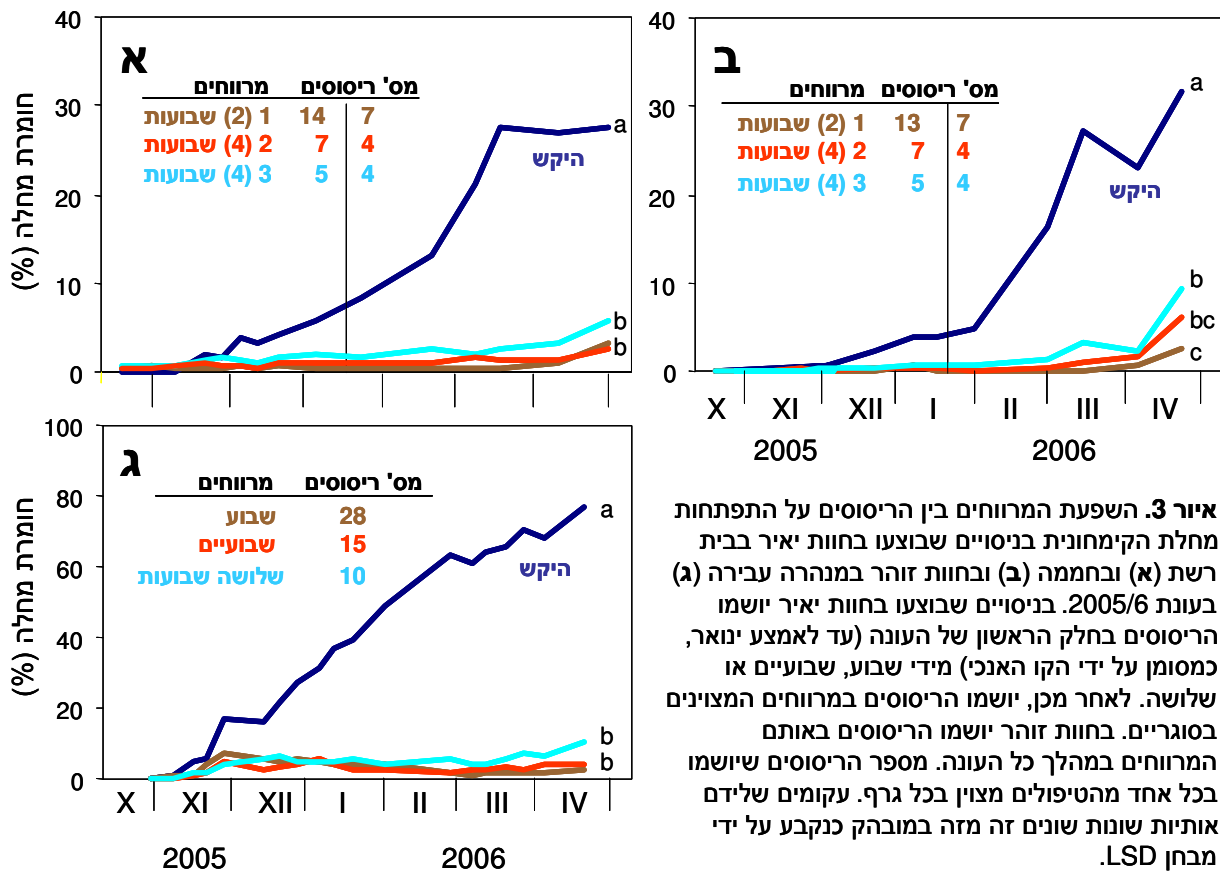
**איור 1.** בחינת התקפות של סף הפעולה שפותח לשם קביעת המועד המיטבי להפעלת ההדברה כנגד מחלת הקימחונית בהשוואה לנתונים ששימשו לפיתוחו. בגרפים מתואר הקשר בין שכיחות הנגיעות בקימחונית בחלק התחתון של הצמחים בעת הפעלת הריסוסים בטיפול מסוים ליעילות ההדברה של המגיפה באותם הטיפולים במהלך כל העונה. **א. הנתונים ששימשו לפיתוח סף הפעולה.** הנתונים מייצגים את כל הטיפולים בשלושת הניסויים שבוצעו בעונת 2005/6 בחממה ובית רשת בחוות יאיר ובמנרה העבירה בחוות זוהר. הנתונים נותחו באמצעות רגרסיה במקטעים (המשוואה מופיעה באיור). שיפועי קווי הרגרסיה לפני ואחרי נקודת הפיתול - בערך שכיחות של 20% - מצויינים גם כן. סף הפעולה נקבע כשכיחות של 15%. **ב. בחינת סף הפעולה בעונת 2006/7:** הערכים נמדדו בכל הניסויים; כל נקודה בגרף מייצגת טיפול אחד, בניסוי אחד. קו הרגרסיה חושב עבור כל הטיפולים בכל הניסויים.



**איור 2.** תרומת השימוש בסף הפעולה להפעלת ההדברה. **א.** הזמן שעבר בין מועד זיהוי מחלת הקימחונית (מועד ה"גילוי") למועד בו הייתה שכיחות המחלה בחלק התחתון של הצמחים 15% (מועד ה"סף") בכל הניסויים שבוצעו בעונת 2006/7. **ב.** עקומת ההתפלגות של פרק הזמן שעבר בין מועד הגילוי למועד סף בכל הניסויים. מספר הריסוסים אותם ניתן היה לחסוך אילו ההדברה הייתה מופעלת על פי סף בהשוואה להפעלתה מייד לאחר הגילוי מצוין מעל כל עמודה.

### תזמון הריסוסים העוקבים כנגד מחלת הקימחוניית

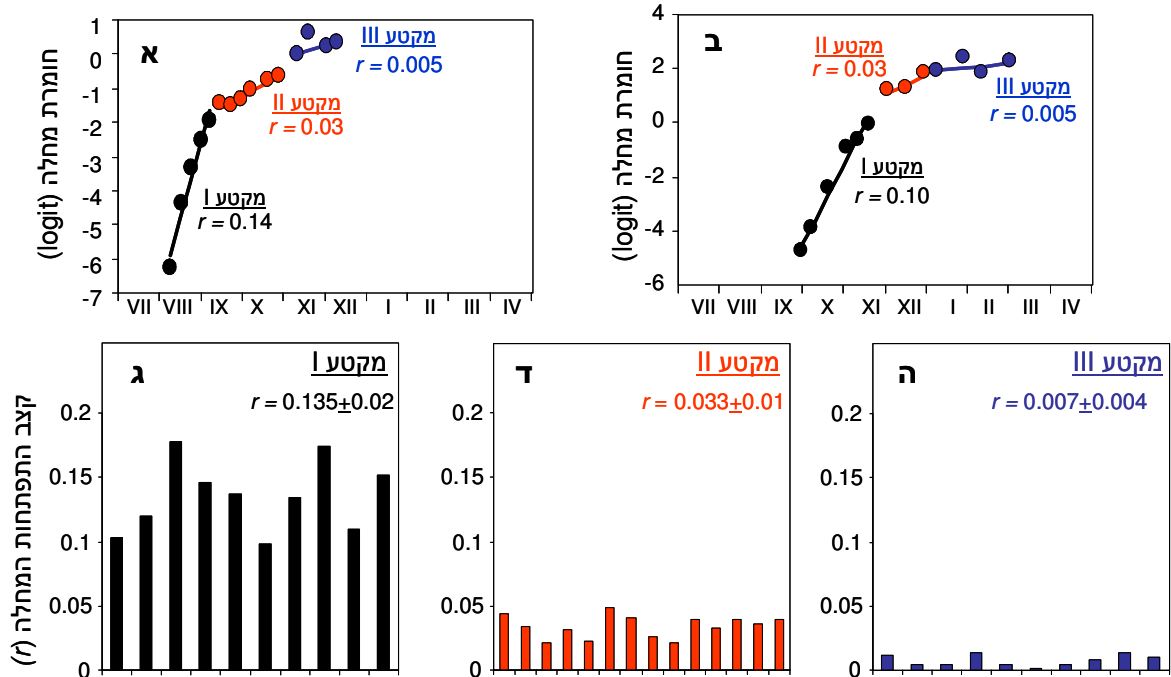
בעת הקמת המיזם הומלץ למגדלים ליישם ריסוסים כנגד הקימחוניית במרווחים של שבוע-שבועיים עד לזיהוי המחלה, במרווחים של שבוע עד לאמצע חודש ינואר ומאז, עם החלת משטר ריסוסי החורף, להמשיך לרסס מידי שלושה-ארבעה שבועות עד לסוף העונה. כדי לבחון אם ניתן לחסוך בריסוסים על ידי הגדלת המרווח בין כל שני ריסוסים עוקבים בחנו בניסויים שבוצעו בעונת 2005/6 בחממה, בבית רשת (בתחנת יאיר) ובמנהרה העבירה (בתחנת זוהר) באילו מרווחים יש לרסס במהלך העונה כדי להדביר את המחלה ביעילות. בכל הניסויים יושמו הריסוסים הראשונים בטיפולים אלה לפני הופעת המחלה או בסמוך לזיהוי הסימפטומים הראשונים, והריסוסים העוקבים יושמו במרווחים קבועים של שבוע, שבועיים או שלושה. בניסויים שבוצעו בחוות יאיר הוגדלו המרווחים בחודשי החורף (משבוע לשבועיים ומשבועיים ושלושה לפעם בחודש, בהתאמה); בניסוי שבוצע בחוות זוהר יושמו הריסוסים באותם המרווחים במהלך כל העונה. לא היו הבדלים ביעילות ההדברה בין הטיפולים המרווחים השונים ובכולם הייתה הנגיעות נמוכה יותר מזו של חלקות ההיקש במהלך כל העונה (איור 2). המסקנה שעלתה מחלק זה של הניסויים הייתה שניתן להגדיל את המרווחים בין הריסוסים עד לפעם בשבועיים (ואפילו יותר), בלי לפגוע ביעילות ההדברה. יש לציין שנכונות מסקנה זו תקפה בזנים אותם בדקנו ורק במקרים בהם איכות ביצוע הריסוסים גבוהה והתרסיס מכסה בצורה טובה את העלים.



### מועד סיום ההדברה הכימית

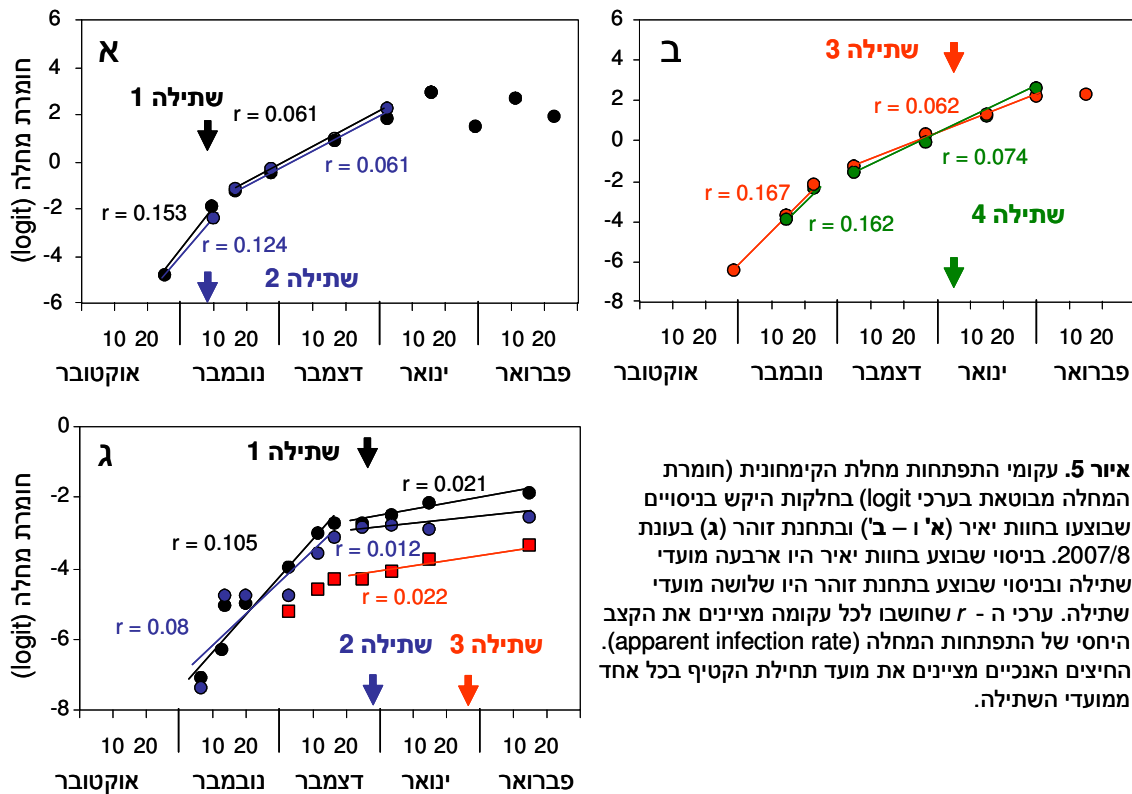
בעת הקמת המיזם הומלץ למגדלים להמשיך וליישם ריסוסים כנגד הקימחוניית עד לסוף העונה (מחודש ההמלצה הייתה לרסס מידי שלושה-ארבעה שבועות). בכל הניסויים שבוצעו במסגרת המיזם היו חלקות בהן לא יושמו תכשירי הדברה (חלקות היקש) בהן בצענו מעקב אחר התפתחות המחלה מידי שבוע-שבועיים. במקרים רבים הביטוי הגראפי של עקומי ההתפתחות של פתוגנים המקיימים מחזורי ריבוי רבים במהלך עונת הגידול (פתוגנים פוליציקליים) הם עקומים לוגיסטיים. לאחר ביצוע טרנספורמציית logit לעקומי התפתחות המחלה הלוגיסטיים מתקבלים עקומים לינאריים. שיפוע הקו הלינארי הוא מדד המבטא את הקצב היחסי של התפתחות המחלה ( $i$ ; apparent infection rate). טרנספורמציה של עקומי התפתחות המחלה שהוערכו בחלקות ההיקש של הניסויים אכן שינתה את העקומים הלוגיסטיים לעקומים לינאריים. אבל התברר שבמהלך העונה השתנה הקצב היחסי של התפתחות המחלה פעמיים: הקצב היה מהיר יותר בתחילת המגיפה, במועד מסוים (שהיה שונה בין הניסויים) הקצב הואט מכן ולאחר זמן מה הואט שוב לקצב איטי ביותר (דוגמא לשני ניסויים מייצגים באיורים 4 ו-4b). התברר שאופי התקדמות מגיפה דומה התקיים בכל הניסויים: בעשרה ניסויים ניתן היה לחלק את עקום התקדמות המחלה לשלושה קצבים ברורים; בשני ניסויים היו שני קצבים (הראשון והשלישי או השני והשלישי) ובארבעה ניסויים היה קצב אחד (הקצב השני). ההבדלים בקצבי התקדמות המחלה בין ניסויים, באותו השלב של המגיפה, היו קטנים יחסית; לעומת זאת היו הבדלים משמעותיים בקצב התקדמות המחלה בין השלבים (איור 4). הקצב הממוצע ( $\pm$  שגיאת תקן) של הקצב הראשון בכל הניסויים היה  $0.135 \pm 0.02$ ; של הקצב השני  $0.0033 \pm 0.01$ ; ושל הקצב השלישי  $0.007 \pm 0.004$ .

העובדה שעקומי התפתחות המחלה בחלקות ההיקש היו דומים בניסויים שבוצעו אינה צפויה. במהלך ארבע שנות המחקר הראשונות בצענו 16 ניסויים. הניסויים בוצעו בשישה אזורים גידול בארץ (ערבה תיכונה, ערבה צפונית, רמת נגב, בשור, הבקעה וחוף הכרמל), בשלושה סוגים של מבני גידול (מנהרות עבירות, בתי רשת וחממות) ונכללו בהם חמישה זני פלפל שונים (סליקה, דינאמו, 117, פלפל חריף ו-7180). התפתחות המחלה בחלקות לא מרוססות היא התוצאה של יחסי הגומלין המתקיימים בין הפתוגן, הפונדקאי ותנאי הסביבה. ניתן להסביר את הממצאים רק אם תנאי הסביבה - **בעונת הגידול החורפית בה בוצעו הניסויים** - לא השפיעו על התפתחות המחלה. [אין מידע אם מסקנה זו תקיפה גם בעונות גידול אחרות, בהן לא בוצעו ניסויים]. הסבר זה נראה לכאורה לא הגיוני כי מקובל וידוע שהגורם המרכזי המשפיע על קצב התקדמות המחלה הוא תנאי הסביבה: כשתנאי הסביבה מיטביים להתפתחות הפתוגן, הקצב היחסי של התקדמות המחלה מהיר ביותר; כשתנאי הסביבה סב-אופטימאליים הקצב איטי יותר וכשהם לא מתאימים כלל הקצב איטי מאד. אם תנאי הסביבה אינם הגורם המשפיע על קצב התפתחות המחלה, חשוב לנסות ולהגדיר את הגורם המשפיע מפני שלתובנה זו משמעות רבה בהתווית עקרונית להתמודדות עם המחלה. לשם כך ניסינו לאפיין את המועדים בהם התרחשו נקודות הפיתול בקצב היחסי של התקדמות המחלה והתברר שנקודת הפיתול הראשונה התרחשה בסמוך למועד תחילת הקטיף ונקודת הפיתול השנייה בסמוך למועד קטיף רוב היבול (תוצאות לא מוצגות). מכאן עולה שגורמים הקשורים לפונדקאי, ולא לתנאי הסביבה, משפיעים על התפתחות המחלה. מאחר והקצב היחסי של התפתחות המחלה השתנה עם הזמן, נראה שגורמים הקשורים לשלבי הגידול הפנולוגי של הצמחים, ולא גורמים הקשורים לעמידות גנטית מעורבים בתהליך. מאחר וקצב התפתחות המחלה אחרי תחילת הקטיף היה איטי כל כך, ניתן לכאורה להניח שהדברה כימית חיונית אר עד מועד זה. אם חומרת הנגיעות במחלה נמוכה במועד תחילת הקטיף, אין צורך ליישם ריסוסים נוספים כי המחלה לא מתפרצת גם בחלקות שאינן מרוססות. המסקנה היא שניתן להפסיק את ההדברה הכימית בתחילת הקטיף.



**איור 4.** עקומי התפתחות מחלת הקימחוניית (חומרת המחלה מבוטאת בערכי logit) בחלקות היקש של שני ניסויים שבוצעו בעונת 2006/7 בחוות הבשור (ניסוי 1; א) וברמת הנגב (ניסוי 2; ב). עבור כל אחד ממקטעי המחלה מצוינים ערכי קצב ההתקדמות היחסי של המחלה ( $r$ , apparent infection rate). ג, ד ו - ה: קצבי התפתחות המחלה שחושבו עבור כל אחד ממקטעי המחלה שחושבו עבור כל הניסויים שבוצעו במסגרת מיזם חוס"ן פלפל בעונות 2004/5, 2005/6 ו - 2006/7.

כדי לאמת ניסויית ממצאים אלה ביצענו בעונת 2007/8 ניסויים בתחנת יאיר ובתחנת זוהר בהם נשתלו צמחי פלפל באותו המבנה, במועדים שונים. בניסוי ביאיר היו 4 מועדי שתילה ובזוהר, שלושה. מועד השתילה הראשון היה שבועיים לפני המועד המקובל; המועד השני היה מועד השתילה המקובל באזור 27/8 ביאיר ו - 15/9 בזוהר; מועדי השתילה השלישי והרביעי היו שבועיים וחודש מאוחר מכך, בהתאמה. מאחר והצמחים נשתלו באותם המבנים הרי שהם נחשפו לתנאי סביבה דומים אבל מועדי השתילה השונים השפיעו על התפתחות הצמחים ועל מועד תחילת הקטיף. בכל הטיפולים התקבלו עקומי מחלה דומים לאלה שהתקבלו בניסויים הקודמים: בתחילת המגיפה היה קצב התפתחות מחלה מהיר ובמועד מסויים הקצב השתנה והוא הפך להיות איטי יותר. בשתי השתילות הראשונות בכל ניסוי מועד השינוי בקצב היחסי של התקדמות המחלה היה בסמוך למועד תחילת הקטיף אך בשתילות המאוחרות יותר היה מועד השינוי בקצב התפתחות המחלה מוקדם ממועד תחילת הקטיף (איור 5). מועד הופעת המחלה ומועד השינוי בקצב התפתחות המחלה היו בקירוב דומים בכל מועדי השתילה. אמנם התברר שמועד תחילת הקטיף לא מהווה מדד טוב להגדרת מועד השתנות תגובת צמחי הפלפל למחלה, אבל בכל המקרים שנבחנו היה מועד ההשתנות מוקדם, ולא מאוחר ממועד תחילת הקטיף.



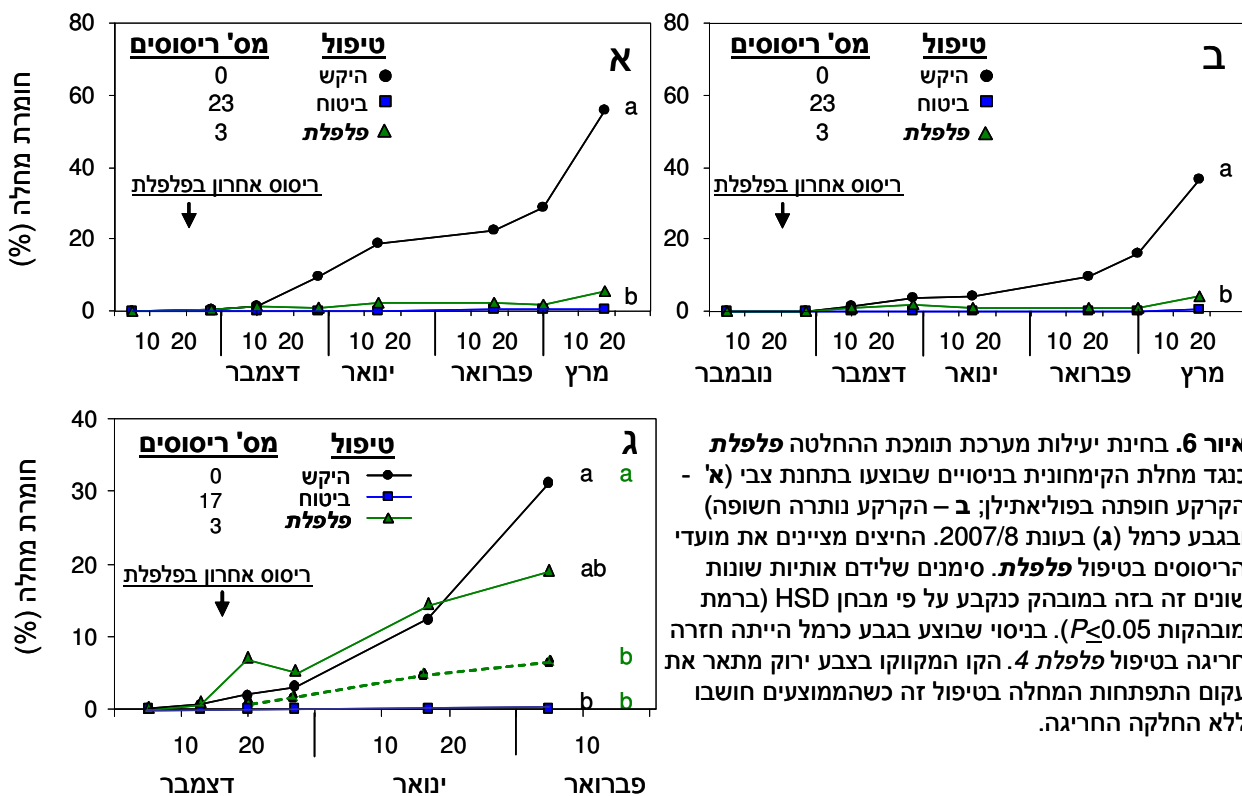
איור 5. עקומי התפתחות מחלת הקימחוונית (חומרת המחלה מבוטאת בערכי logit) בחלקות היקש בניסויים שבוצעו בחוות יאיר (א' ו-ב') ובתחנת זוהר (ג) בעונת 2007/8. בניסוי שבוצע בחוות יאיר היו ארבעה מועדי שתילה ובניסוי שבוצע בתחנת זוהר היו שלושה מועדי שתילה. ערכי ה- $r$  שחושבו לכל עקומה מציינים את הקצב היחסי של התפתחות המחלה (apparent infection rate). החיצים האנכיים מציינים את מועד תחילת הקטיף בכל אחד ממועדי השתילה.

### בחינת מערכת פלפלת בכללותה

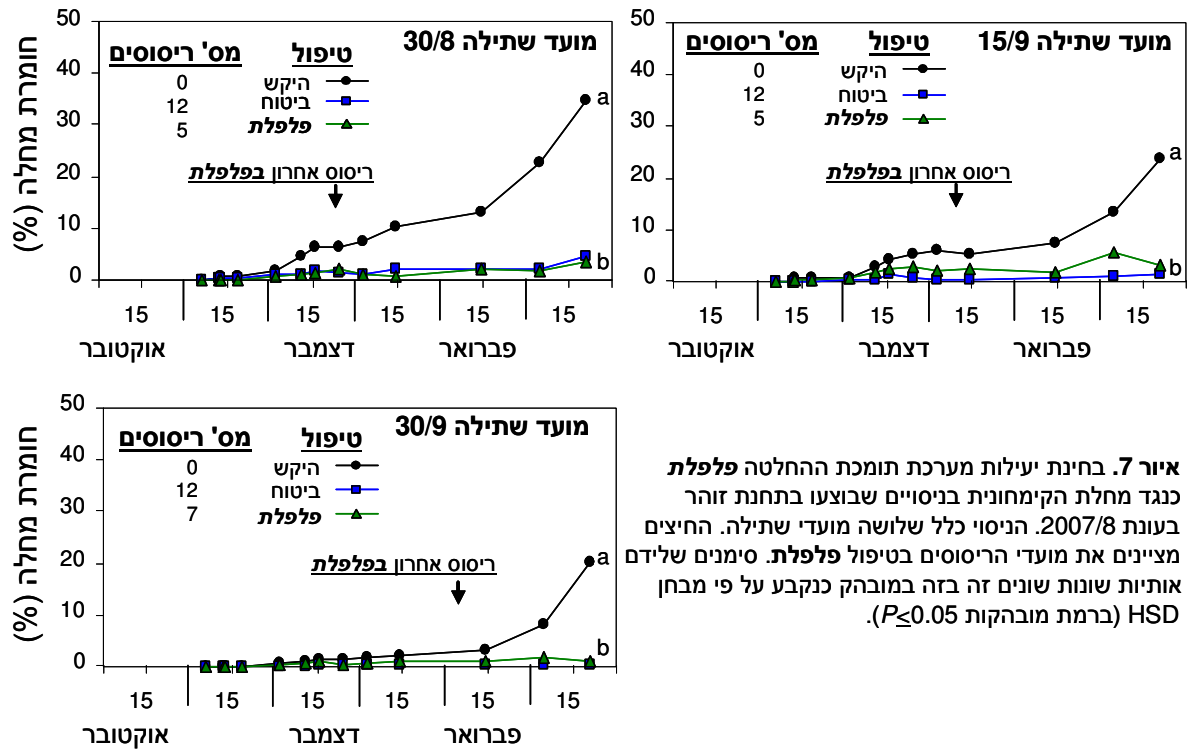
בהסתמך על הממצאים שתוארו עודכנה מערכת תומכת ההחלטה **פלפלת**. על פי הגירסה המעודכנת יש להפעיל את ההדברה הכימית עם זיהוי תסמיני המחלה הראשוניים בחלקה. הריסוסים העוקבים מיושמים מידי שבועיים עד תחילת הקטיף. במועד זה, אם חומרת המחלה נמוכה אין צורך בריסוסים נוספים עד לסוף העונה; אם חומרת המחלה בינונית או גבוהה יש להמשיך ולרסס במרווחים של בין שבועיים לשלושה שבועות כתלות בחומרת המחלה, עד חודשיים לפני הקטיף האחרון. תרשים זרימה של המערכת מתואר בנספח. גירסה זו של מערכת **פלפלת** נבחנה בעונות 2007/8 ו-2008/9 בתשעה ניסויים שבוצעו בארבעה אזורים בארץ: בחוף הכרמל, בבשור, בבקעה ובערבה הצפונית. בכל אחד מהניסויים נכללו שלושה טיפולים, כלהלן: **היקש**; טיפול הביטוח (בו יושמו ריסוסים על פי המקובל באזור) וטיפול בו יושמו הריסוסים על פי הנחיות מערכת **פלפלת**. בכל הניסויים והטיפולים יושם תכשיר ההדברה הליוגופרית בריכוז 1% ממרסס גב. בחלקות היקש של כל הניסויים התפתחו מגיפות בחומרה בינונית (נגיעות סופית של 20-35%) עד קשה (נגיעות סופית  $> 50\%$ ). בטיפול הביטוח יושם הריסוס הראשון לפני זיהוי סימני המחלה (כריסוס הגנתי) והריסוסים העוקבים יושמו מידי שבוע-שבועיים עד לאמצע ינואר, אז הוגדל המרווח לפעם בשבועים-שלושה. בסך הכל יושמו בטיפול זה 12-23 ריסוסים (ובממוצע  $15.8 \pm 1.5$ ). בכל הניסויים הייתה חומרת המחלה בטיפול זה נמוכה מאד במהלך כל העונה (איורים 6-8). בטיפול **פלפלת** יושמו 3-7 ריסוסים (ובממוצע  $4.7 \pm 0.5$ ). בעיקרון, יעילות ההדברה בטיפול הפלפלת לא נפלה מיעילות חלקות הביטוח והיא הייתה נמוכה מזו שהתפתחה בחלקות ההיקש (איורים 6-8). חשוב להדגיש שמרבית הניסויים שבוצעו במסגרת מחקר זה, כולל אלה בהם נבחנה מערכת **פלפלת**, בוצעו בעונת הגידול החורפית ולכן הממצאים תקפים רק לגבי עונת גידול זו.

### השפעת מחלת הקימחוניית על היבול ופיתוח מודל להערכת נזקים

במהלך חמש שנות המיזם בצענו ניסויים רבים לבחינת נושאים שונים הקשורים להתמודדות עם מחלת הקימחוניית. בכל הניסויים היו חלקות היקש, בהן לא יושמו כלל ריסוסים כנגד המחלה וחלקות בהן יושמו הריסוסים על פי שיטת הביטוח; בחלקות אלה ההדברה הייתה יעילה מאוד והמחלה לא התפתחה כלל או שהיא התפתחה בעוצמה נמוכה מאד עד לסוף העונה. ב- 26 ניסויים נאסף היבול ונשקל. ניתוח הנתונים העלה שב- 20 מתוך 26 הניסויים ההבדלים ביבול באיכות יצוא בין חלקות ההיקש לחלקות טיפול הביטוח לא היו מובהקים. תוצאות דומות התקבלו בעת בחינת השפעת המחלה על היבול הכללי (ולא רק היבול באיכות יצוא). הממצאים היוו הפתעה מפני שבכל הניסויים היו הבדלים משמעותיים בעוצמת המגיפה בין שני הטיפולים ומפני שמקובל להניח שהמחלה משפיעה בצורה משמעותית על היבול. כדי להסביר את הממצאים מוצגים כאן עקומי התפתחות המחלה ועקומי צבירת היבול בשני הטיפולים כפי שהוערכו ונמדדו בארבעה ניסויים מייצגים (איור 9). מתברר, שהשפעת המחלה על היבול תלויה ביחסי הגומלין המתקיימים בין שני התהליכים הדינאמיים הללו: במקרים בהם מועד הופעת המחלה והתפרצותה היו מאוחרים (יחסית למועד צבירת היבול) לא נגרם ליבול נזק כלל; כשמועד התפרצות המחלה התרחש במקביל למועד צבירת היבול נגרם ליבול נזק בינוני וכשמועד התפרצות המחלה היה מוקדם יחסית למועד צבירת היבול נגרם מהמחלה נזק משמעותי (איור 9). מאחר ושכיחות המקרים בהם המחלה מתפרצת מוקדם נמוכה, ברוב הניסויים המחלה לא גרמה כלל נזק ליבול.



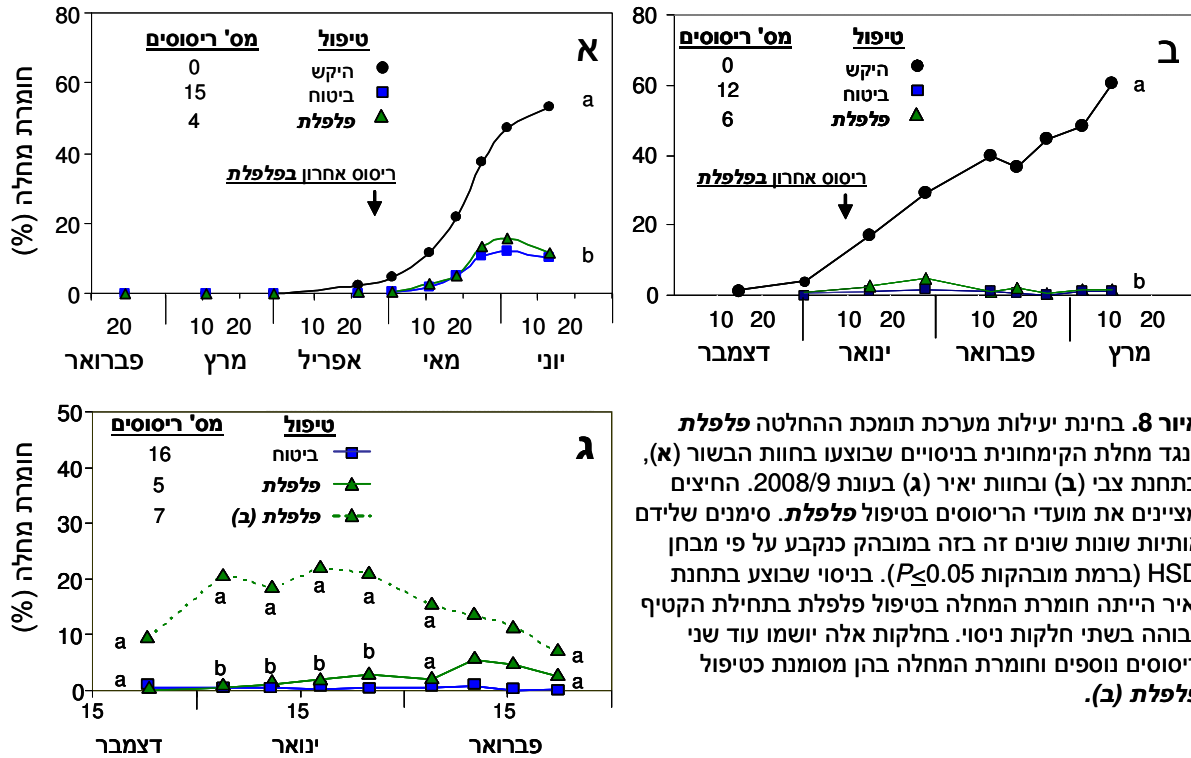




**איור 7.** בחינת יעילות מערכת תומכת ההחלטה **פלפלת** כנגד מחלת הקימחנית בניסויים שבוצעו בתחנת זוהר בעונת 2007/8. הניסוי כלל שלושה מועדי שתילה. החיצים מציינים את מועדי הריסוסים בטיפול **פלפלת**. סימנים שלידם אותיות שונות שונים זה בזה במובהק כנקבע על פי מבחן HSD (ברמת מובהקות  $P \leq 0.05$ ).

השתמשנו בנתונים שנאספו בניסויים שבצענו במסגרת מיזם חוס"ן-פלפל כדי לפתח מודל להערכת נזקים מהמחלה. כדי שניתן יהיה להשתמש במודל שיפותח לקבלת החלטות, השתמשנו במודל הנקרא מודל ה"שלב הקריטי". במודל השלב הקריטי מתואר הקשר הכמותי בין עוצמת המחלה בשלב מוגדר כלשהוא במהלך העונה (= השלב הקריטי) ליבול, או לנזק הנגרם ליבול, בסוף העונה. אם השלב הקריטי מוקדם מספיק, ניתן לחזות את הנזק שיגרם ליבול בסוף העונה אם המחלה לא תודבר. המודל לכן יכול לשמש לקבוע אם יש צורך להמשיך וליישום אמצעים להתמודדות עם המחלה בהמשך העונה. מועד השלב הקריטי יכול להקבע שרירותית, ובלבד שהוא יהיה שלב מוגדר וברור במהלך הגידול. באיור 10 מתואר הקשר בין חומרת המחלה (באחוזים) בתחילת הקטיף (השלב הקריטי) לנזק שנגרם ליבול בסוף העונה בכל אחד מהניסויים שבצענו במסגרת מיזם חוס"ן-פלפל. הגדרנו את הנזק כהפרש (בטון לדונם) בין יבול חלקות טיפול הביטוח לחלקות טיפול ההיקש. החישוב בוצע עבור היבול באיכות יצוא ועבור היבול המשוק הכללי (יצוא+שוק מקומי). בשני המקרים התקבלו ממצאים דומים: כשחומרת המחלה בתחילת הקטיף הייתה 10% או פחות, התקבל "ענן" של 20 נקודות בו לא היה קשר ברור בין חומרת המחלה לנזק (נקודות שחורות באיור 10). בענן זה נכללו מצבים בהם היבול בחלקות טיפול הביטוח היה גבוה מיבול חלקות ההיקש אך היו גם מצבים הפוכים. הערך הממוצע של הנזק ליבול בניסויים אלה (0.27 ו-0.44 טון לדונם, ליבול באיכות יצוא וביבול הכללי, בהתאמה) לא היה שונה מ-0. לעומת זאת, התקבל קשר מובהק מאד בין עוצמת המחלה בתחילת הקטיף לנזק שנגרם ליבול בניסויים הנוותרים (נקודות אדומות באיור 10). הקשר היה חיובי ומשמעותו היא שככל שחומרת המחלה בתחילת הקטיף הייתה גבוהה יותר, כך היה הנזק ליבול בסוף העונה גבוה יותר. המקום בו נפגשים קווי הרגרסיה עם קו האפס יכול לשמש כסף להגדרת הצורך בהמשך ההתמודדות עם המחלה; קו זה מסומן באיור 10 בחיצים אדומים. המשמעות היא שבתחילת הקטיף ניתן להעריך את חומרת המחלה ולהשתמש במידע לחיזוי הנזק שיגרם ליבול במידה ולא

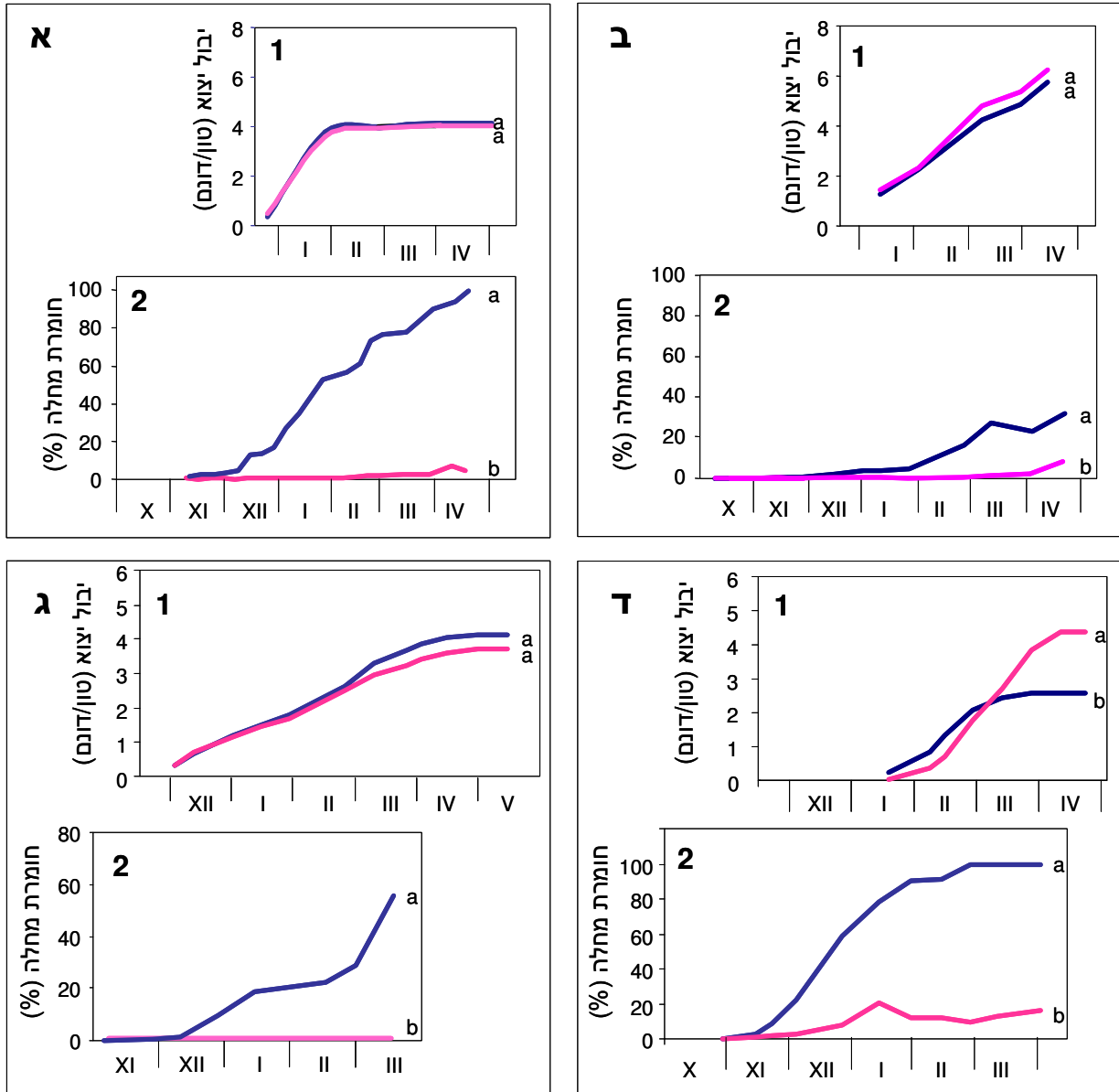
יבוצעו פעולות הדברה ממועד זה והלאה. על פי המודל עולה שבמידה וחומרת המחלה בתחילת הקטיף נמוכה מ-10%, לא צפוי שיגרם נזק ליבול (גם אם המחלה תמשיך ותתפתח) ולכן אין צורך ליישם ריסוסים כלל עד לסוף העונה. קרוב לודאי שתוצאות אלו יהיו תקפות לאזורים בהם נפסקת חנטת הפלפל בחורף, שם מסתיים הקטיף במהלך אפריל. באזורים בהם נמשכת החנטה במהלך החורף ועל כן הקטיף נמשך עד סוף מאי, בהם היו לנו מעט נקודות בדיקה, יהיה עדיין צורך לבחון את תקפות המודל.



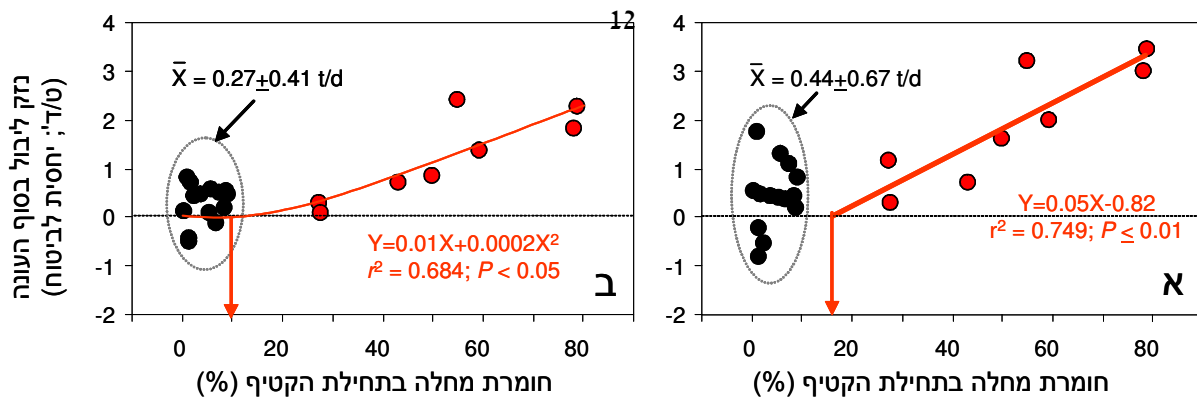
## דיון

פלפל הוא גידול אינטנסיבי. היבולים גבוהים ושווי התוצרת המשוקת לשוק המקומי והמיוצאת לחו"ל מגיע לעשרות אלפי שקלים לדונם, לעונה. עלות ההדברה של מחלת הקימחונית, באופן יחסי לערך היבול, שולית. לכן המגדלים עושים כל מאמץ להדביר את המחלה ביעילות המירבית האפשרית. ריסוסים מיושמים גם אם אין בהם צורך בהם (מפני שהתנאים לא מתאימים להתפתחות המחלה) וגם אם התפתחות המחלה לא גורמת נזק ליבול. מטרת ממשק זה (הנקרא ממשק ביטוח) הוא להדביר את המחלה, לא לבקר אותה. על פי אסטרטגיה זו מיושמים ריסוסים רבים למרות שברור שחלקם (אם לא רובם) מיותרים. ממשק ההדברה זה הגיוני ב"כללי המשחק" הנוכחיים. ברור לגמרי שמבחינה פסיכולוגית יהיה קשה לשכנע את המגדלים, שבמשך שנים השקיעו מאמצים למנוע את התפתחות הקימחונית בכל רמה שהיא, לשנות את אסטרטגיית הפעולה שלהם. הם לא יעשו זאת אלא אם יכריחו אותם. עובדות אלה היו ידועות כשהתחלנו את מיזם חוס"ן-פלפל. המיזם הוקם כדי להקדים תרופה למכה ומטרתו היא להכין את האמצעים שיאפשרו להתמודד עם המחלה במצב בו כללי המשחק ישתנו, ולא ניתן יהיה עוד להתמודד עם המחלה באסטרטגיה של ביטוח. המצב ישתנה במידה וימצאו שאריות של תכשירי הדברה בתוצרת המשוקת, שתפסול אותה ליצוא, ו/או במידה שהקניינים יאסרו שימוש בלתי מבוקר בתכשירי הדברה ויגבילו את מספר הריסוסים או את כמות חומר ההדברה המותרת לשימוש במהלך עונת גידול. ממשק ההדברה שפותח במסגרת מיזם חוס"ן-פלפל (שעקרונותיו הם הבסיס למערכת תומכת ההחלטה

**פלפלת**) מאפשר להתמודד עם המחלה בצורה מושכלת. המשמעות היא בקרה של המחלה (ולא הדברה של המחלה), תוך יישום מספר הריסוסים המזערי האפשרי. המטרה היא למנוע את הנזקים שגורמת המחלה ליבול, לא את עצם התפתחות המחלה.



**איור 9.** השפעת טיפול הביטוח על התפתחות מחלת הקימחוניית (איורים המסומנים בספרה 1) ועל היבול (איורים המסומנים בספרה 2) בארבעה ניסויים מייצגים: א. ניסוי שבוצע בעונת 2004/5 במינהרה עבירה בחוות יאיר; ב. ניסוי שבוצע בחממה בעונת 2005/6 בחוות יאיר; ג. ניסוי שבוצע בבית רשת בעונת 2007/8 בתחנת צבי; ד. ניסוי שבוצע בחממה בעונת 2007/8 בחוות יאיר. קו כחול: היקש; קו ורוד: טיפות הביטוח. תכשיר ההדברה הליוגופרית יושם מידי שבוע בריכוז של 1%. בשני האיורים המייצגים כל ניסוי ציר הזמן מיושר כדי לאפשר השוואה בין הדינאמיקה של התפתחות המחלה לדינאמיקה של צבירת היבול. בסוף העונה, עקומים שלידם אותיות שונות שונים זה מזה במובהק כנקבע על ידי מבחן LSD.



**איור 10.** מודל השלב הקריטי לחיזוי הנזק שיגרם ליבול הפלפל מהתפתחות מחלת הקימחוניות. א. השפעה על היבול הכולל (יצוא+שוק מקומי); ב. השפעה על היבול באיכות יצוא. השלב הקריטי (מועד הערכת הנגיעות) היה תחילת הקטיף. הנתונים נאספו ב - 26 ניסויי שדה שבוצעו במהלך עונות הגידול 2004/5-2008/9 במקומות שונים בארץ. הסברים נמצאים בטקסט.

במהלך הניסויים שבוצעו במסגרת המיזם למדנו שיעילות ההדברה לא נפגעת אם הריסוס הראשון כנגד המחלה מיושם כתגובה (לאחר זיהוי סימני המחלה) ולא כריסוס הגנתי (לפני הופעת המחלה). הגדרנו סף פעולה אך בסופו של דבר החלטנו שהריסוס הראשון ייושם מיד עם גילוי סימני המחלה הראשונים. מצאנו שהמחלה מתקדמת בקצב מהיר בתחילת העונה (בשלב הריבוי הוגסטיבי) ושניתן בשלב זה ליישם את תכשירי ההדברה בדרך כלל במרווחים של 14 ימים. בנוסף למדנו שבשלב מסויים הקצב היחסי של התקדמות המחלה קטן בצורה משמעותית. הסיבה לכך לא ברורה עדיין ואנו בוחנים כעת את ההנחה שיחסי מקור מבלע בצמח, המושפעים מממשק הדישון הזרחני, הם הקובעים את תגובת הפונדקאי להתפתחות המחלה. בכל מקרה, בתשעת הניסויים בהם בחנו את היעילות של מערכת **פלפלת** המחלה הודברה ביעילות, בדומה לזו שהתקבלה בחלקות בהן יושמו ריסוסים על פי ממשק הביטוח. זאת למרות העובדה שבחלקות **פלפלת** יושמו 4.7 ריסוסים בממוצע בהשוואה ל - 15.8 ריסוסים שיושמו בממוצע בחלקות טיפל הביטוח. הממצאים החשובים ביותר שעלו מהניסויים (מבחינת ההתמודדות עם המחלה) הם שהריסוסים המשפיעים ביותר על המחלה הם אלה המיושמים בתחילת המגיפה ושניתן להפסיק את ההדברה הכימית של המחלה בשלבים מוקדמים יחסית של העונה בלי לפגוע ביעילות ההדברה. במקביל למחקר זה ביצענו סידרת ניסויים בהם נמצא שניתן להתמודד עם המחלה ביעילות באמצעות יישום של תכשירי הדברה סיסטמיים (כמו עמיסטר) בהגמעה דרך מערכת ההשקיה. התברר, ששני יישומים של טיפול הגמעה, עם הופעת המחלה ואו מעט לפני מועד ההופעה המקובל באזור, מאפשר להתמודד עם המחלה ביעילות במשך חלק ניכר מהעונה ולעיתים גם כולה. ממצאים אלה מחזקים את הממצאים שעלו מהמחקר הנוכחי לגבי הצורך למקד את עיקר המאמץ להתמודדות עם המחלה בתחילת המגיפה ולגבי החשיבות הפחותה של ההתמודדות עימה בהמשך. חשוב להדגיש שבמחקר זה התמקדנו בעונת הגידול החורפית (שתילות אוגוסט-ספטמבר; סיום גידול אפריל מאי) ולכן הממצאים תקפים רק לגבי עונת גידול זו.

מידע מעניין נוסף שעלה מהניסויים שבוצעו במסגרת מחקר זה קשור בהשפעת המחלה על היבול. מקובל להניח שמחלת הקימחוניות גורמת לנזקים חמורים ליבול, ובמידוד ליבול באיכות יצוא. זאת בגלל הפגיעה בקצב הפוטוסינתזה הנגרמת עקב הפחיתה בשטח הירוק, המטמיע, של העלים ומפני שנשירת העלים הנגועים חושפת את הפירות לשמש וכתוצאה מכך נוצרים על הפירות "כתמי שמש" הפוסלים את היבול ליצוא. מניתוח הממצאים שעלו מ - 26 ניסויים התברר שהמחלה אכן גורמת לנזק ליבול (הכללי ובאיכות יצוא), אך עוצמת הנזק פחותה בהרבה מזו המקובלת. רק בשישה ניסויים מתוך ה - 26 שבוצעו נגרם נזק ליבול. הנזק נגרם במקרים בהם הופיעה המחלה מוקדם והמגיפה התפרצה עוד לפני תחילת

צבירת היבול. לא ניתן להסיק מממצאים אלה שאין צורך להתמודד עם המחלה; אבל ניתן להסיק מהם שאפשר ליעל את הדרך ההתמודדות איתה תוך התחשבות בנזק הצפוי. ניתן לחזות את הנזק, עוד בשלב תחילת הקטיף, על פי המודל להערכת הנזקים שפיתחנו. על פי המודל, אם קיימת בתחילת הקטיף נגיעות שחומרתה פחותה מ- 10% לא יגרם נזק ליבול (הכללי, או באיכות יצוא) עד לסוף העונה. חומרת נגיעות זו הוגדרה כחומרה "גבוהה" על פי מערכת **פלפלת** והיא מחייבת המשך ההתמודדות עם המחלה. תקפות המודל צריכה עדיין להיבדק באזורים בהם נמשכת החנטה במהלך החורף ועל כן הקטיף נמשך עד סוף מאי.

נושא שלא נבחן עד כה הוא השפעת המחלה על איכות התוצרת. לא ידוע אם איכות הפירות שנקטפו מחלקה נגועה זהה או פחותה מזו של פירות שנקטפו מחלקה בריאה. אין מידע גם לגבי כושר השתמרות הפירות הללו באיחסון. אנו מתכוונים לבחון נושאים אלה בניסויים שנבצע בעונה הקרובה בשיתוף עם פרופ' אלי פאליק מהמכון לאיחסון של מינהל המחקר החקלאי.

### הבעת תודה

המחקר התבצע במקומות שונים בארץ ולהצלחתו תרמו רבים. אנו מודים להם על תרומתם. בלי מעורבותם, עזרתם ורצונם הטוב, לא ניתן היה להוציא את המחקר אל הפועל:

**מינהל המחקר החקלאי:** מנחם בורנשטיין, ברק כהן, רן שולחני, דר' אורי ירמיהו.

**שה"מ:** תמר אלון, אורנה אוקו, יואל מסיקה, נטע מור, איציק פוסלסקי, אורי אדלר.

**מו"פ ערבה תיכונה וצפונית:** דורית חשמונאי, אלי ברדוגו, נורית שפירא.

**מו"פ בקעה:** זיוה גלעד, צ'ומי אחיעם.

**מו"פ הר הנגב:** ציון שמר, שבתאי כהן, מיכל עמיחי.

**מו"פ דרום:** אלי מתן, מירון סופר, ליאנה גנות, חנה יחזקאל.

**ביומור:** דני נויפלד, יובל קוצר, יהודית ורדי.

### ספרות

אלעד י, שטיינברג ד, פיבוניה ש, בר לבן י, לויטה ר, צברי י, דוברינין ס (2008) פיתוח גישה אינטגרטיבית לייצור פלפל תוך שימוש מזערי בתכשירי הדברה: מיזם חוס"ן – פלפל. מו"פ ערבה תיכונה וצפונית, סיכום עונת מחקר 2007/8 בעריכת צביאלי י ואלעד י ע' 51 ודווח מלא בדיסק ובאתר המו"פ: [http://www.arava.co.il/haklaut/mop/sumnsu/sumnsu0708/sum/hgz/hgz\\_04.pdf](http://www.arava.co.il/haklaut/mop/sumnsu/sumnsu0708/sum/hgz/hgz_04.pdf)

שטיינברג ד, אלעד י, פיבוניה ש, בר לבן י, לויטה ר, ברדוגו א, חשמונאי ד, דוברינין ס, אלקיים ד, מדואל ע, ואוקו א (2006) פתוח מערך אינטגרטיבי להתמודדות עם מחלות ומזיקים בפלפל בערבה: מיזם חוסן-פלפל. חקלאי ישראל 24,26: 29.

שטיינברג ד, אלעד י, פיבוניה ש, שפירא נ, בר לבן י, לויטה ר, ברדוגו א, חשמונאי ד, דוברינין ס, אלקיים ד, מדואל ע, ואוקו א (2007) מיזם חוסן פלפל. יבולי שיא, קטלוג וחוברת מחקרים מו"פ ערבה. עמ' 48, 46, 50.

שטיינברג ד, אלעד י, פיבוניה ש, בר לבן י, לויטה ר, ברדוגו א, חשמונאי ד, דוברינין ס, אורן ש, גדיאל א, אלקיים ד, מדואל ע, אוקו א (2007) מיזם חוסן-פלפל, תוצאות הניסויים שבוצעו בעונת 2005/6 (חלק ראשון). גן משדה ומשק 2007 (1): 24-30.

שטיינברג ד, אלעד י, פיבניה ש, בר לבן י, לויטה ר, ברדוגו א, חשמונאי ד, דוברינין ס, אורן ש, גדיאל א, אלקיים ד, מדואל ע, אוקו א (2007ג) מיזם חוסן-פלפל, תוצאות הניסויים שבוצעו בעונת 2005/6 (חלק שני). גן משדה ומשק 2007 (2): 66-72.

שטיינברג ד, אלעד י, בורשטיין מ, פיבניב ש, בר לבן י, לויטה ר, ברדוגו א, חשמונאי ד, גדיאל א, אלקיים ד, מדואל ע, דוברינין ס, אלון ת, סילברמן ד, פוסלסקי א, יחזקאל ח, גנות ל, שמואל ד, מתן א, גלעד ז, עמיחי מ ושמר צ (2008א) מיזם חוסן פלפל, דו"ח לעונת המחקר 2006. עמ 68-69 בחוברת תקצירי סיכום עונת המחקר 2006 של מו"פ ערבה תיכונה וצפונית.

שטיינברג ד, אלעד י, ויינטראוב פ, שפירא נ, יפה א, פרקר פ, פיבניה ש, רודמן ר, אדלר א, ושטיינברג ש (2008ב) פיתוח מערך אינטגרטיבי להתמודדות עם מחלות ומזיקים בפלפל אורגני: מיזם חוס"ן – בפלפל אורגני. מו"פ ערבה תיכונה וצפונית, סיכום עונת מחקר 2007/8 בעריכת צביאלי י ואלעד י ע' 51 ודווח מלא בדיסק ובאתר המו"פ: [http://www.arava.co.il/haklaut/mop/sumnsu/sumnsu0708/sum/hgz/hgz\\_03.pdf](http://www.arava.co.il/haklaut/mop/sumnsu/sumnsu0708/sum/hgz/hgz_03.pdf)

**מערכת פלפלת : התמודדות עם מחלת הקימחוונית בפלפל**

