פיתוח ממשק להדברה משולבת של מחלות נוף בחממות אורגניות.

<u>חוקרים שותפים</u>:

דני שטיינברג, חיים וינטל, יגאל אלעד ולאה צרור - המחלקה לפתולוגיה של צמחים, מינהל המחקר החקלאי.

מיריטרגרמן ואלי מתן - מו"פ דרום.

יואל מסיקה ואורי אדלר - שה"מ, משרד החקלאות.

א. תקציר

הצגת הבעיה:

מחלות נוף (ובעיקר מחלת הכימשון הנגרמת על ידי הפטרייה *Phytophthora infestans*) מהוות גורם מגביל בגידול עגבניות אורגני. פיתוח ממשק יעיל להתמודדות עם המחלות הוא תנאי להצלחת הגידול והענף וזו מטרת תוכנית המחקר הנוכחית.

מהלך ושיטות עבודה:

במהלך שלוש שנות המחקר בצענו ניסויים במעבדה, בחממות מחקר הממוקמות במינהל המחקר החקלאי בבית דגן ובחממות הממוקמות בחוות הבשור. בניסויים שבוצעו בחממות המחקר בבית דגן גודלו צמחי עגבניה בעציצים בתאי צמיחה ואולחו בצורה מלאכותית. בניסויים אלה נבחנה היעילות של תכשירי הדברה חדשים המתאימים לחקלאות האורגנית בהשוואה ליעילות התכשירים המקובלים כיום. בנוסף, עסקנו בנושאים שונים הקשורים לאפידמיולוגיה של המחלה ולאופטימיזציה של הדברתה. בסדרת תצפיות וניסויים שבוצעה בתחנת הניסיונות בשור גודלו צמחי עגבנייה בחממות בתנאים המדמים גידול מסחרי ובשיטות המקובלות בחקלאות האורגנית. בניסויים נבחנה יעילותם של אמצעים שונים להתמודדות עם המחלות וכומתה התרומה היחסית של כל אחד מהם בנפרד ובמשותף עם האחרים.

תוצאות עיקריות:

מספר תכשירים המתאימים לחקלאות האורגנית הראו יעילות בניסויי המעבדה אך לא בחממות הדמוי-מסחריות. יעילות התכשירים הפרוטקטנטים תלויה במועד ישומם יחסית למועד ההדבקה: הם יעילים רק אם יושמו לפני, או עד שעתיים אחרי, ההדבקה. חיפוי קרקע בפוליאתילן שצבעו בצד העליון אפור ובצד התחתון שחור הפחית בצורה משמעותית את נגיעות הנוף במחלות המעודדות בתנאי לחות ורטיבות גבוהים. סניטציה (הרחקת הרקמות הצמחיות הנגועות) הפחיתה בצורה משמעותית את הפגיעה מהמחלות המתפתחות על גבי הגבעולים והגורמות לחיגורים ולתמותת הצמחים.

מסקנות והמלצות:

המטרה המרכזית של אסטרטגית ההתמודדות עם הכימשון צריכה להיות מניעת היווצרות מוקדי נגיעות על הגבעולים. ניתן להשיג זאת על ידי כמה קווי הגנה. מטרת קו ההגנה הראשון היא למנוע את הדבקת הטרפים. זאת, על ידי הפחתת כמות המידבק ההתחלי (הנמצא במרבית המקרים מחוץ לחממה), מניפולציה של תנאי המיקרואקלים בחממה (על ידי חיפוי הקרקע בפוליאתילן שצבעו בצד העליון אפור ובצד התחתון שחור), ושימוש בתכשירי הדברה. קו ההגנה השני מופעל אם הקו הראשון "נפרץ" והמחלה בכל זאת ניגעה את הטרפים. מטרתו – להאט ואם אפשר למנוע את התקדמות המחלה מהטרפים הנגועים אל עבר הגבעולים. זאת, על ידי הרחקת אברי הצמח הנגועים (סניטציה) והעלאת טמפרטורת האוויר בחלל החממה אל מעבר לזו המתאימה להתקדמות הפתוגן על פטוטרות העלים.

ב. מבוא

עגבניות הגדלות חממה חשופות לפגעים רבים התוקפים את נוף הצמחים ועלולים לגרום לנזקים משמעותיים ואף לסכן את הגידול כולו. הבעיה חמורה בגידול קונבנציונאלי והיא קשה הרבה יותר בגידול אורגני משום שאמצעי ההדברה העומדים לרשות המגדלים האורגנים מעטים ויעילותם מוגבלת. ממשק ההדברה המקובל כיום בחקלאות האורגנית מבוסס באופן כמעט בלעדי על אמצעי הדברה אחד: ריסוסים שבועיים בתערובת של תכשיר נחושתי (לדוגמא, קוצייד) בתערובת עם נימגרד. אולם, יעילותו של טיפול זה מוגבלת; כשכמות המידבק ההתחלי גבוהה וכשתנאי הסביבה מעודדים את התפתחות הפתוגנים, כמעט בלתי אפשרי לעצור את התפרצות המחלות ולמנוע את הנזק. צפוי שבשנים הקרובות הבעיה עוד תחריף מפני שהשימוש בתכשירי נחושת יוגבל (כשלב ביניים) ובהמשך יאסר כליל. לכן, חשוב לפתח בהקדם האפשרי ממשק הדברה חלופי, יעיל יותר. הדרך הטובה ביותר להתמודד עם פתוגנים היא על ידי יישום של עקרונות ההדברה המשולבת לפיהם תכשירי ההדברה הם רק מרכיב אחד ממכלול של אמצעים המיושמים בו זמנית או בזה אחר זה, על פי הצורך. אמצעי ההדברה הנוספים בהם ניתן להשתמש הם העמידות גנטית, מדבירים ביולוגיים ושיטות אגרוטכניות שונות. כמובן שכל אחד מהאמצעים הנכללים במערכת ההדברה המשולבת צריך להתאים לממשק הגידול המיוחד של החקלאות האורגנית. יישום מוצלח והדיר של אמצעי ההדברה השונים מחייב הבנה של הדרך בה משפיע כל אחד מהם על המגיפה, ולכן למחקר אפידמיולוגי מלווה יש חשיבות רבה. המטרה ארוכת הטווח של המחקר הייתה לפתח ממשק להדברה משולבת של מחלות נוף בחממות עגבנייה אורגניות. סביר להניח שהעקרונות שיגובשו לגידול האורגני יתאימו גם להתמודדות עם מחלות אלה בגידול הקונבנציונאלי. המחלה החמורה ביותר של עגבניות חממה בישראל (בגידול האורגני כמו גם בגידול הקונבנציונאלי) היא מחלת הכימשון הנגרמת על ידי הפטרייה *Phytophthora infestans*. לכן, הושקעו מרב מאמצי המחקר לפיתוח אמצעים שיאפשרו להתמודד ביעילות עם מחלה זו. מחלות אחרות בהן עסקנו במהלך המחקר היו עובש אפור (*Botrytis cinerea*), קמחונית (*Leveillula taurica*), קמחון (*Oidium* sp.) ועובש עלים (*Cladosporium fulvum*). מפאת קוצר המקום ידווחו כאן הממצאים הקשורים למחלת הכימשון; הממצאים הקשורים למחלות האחרות לא יפורטו בדו"ח זה.

ג. פירוט הניסויים שבוצעו

במהלך שלוש שנות המחקר בצענו ניסויים במעבדה, בחממות מחקר הממוקמות במינהל המחקר החקלאי בבית דגן ובחממות הממוקמות בחוות הבשור. בניסויים שבוצעו בחממות המחקר בבית דגן גודלו צמחי עגבניה בעציצים בתאי צמיחה ואולחו בצורה מלאכותית. בניסויים אלה נבחנה היעילות של תכשירי הדברה חדשים המתאימים לחקלאות האורגנית בהשוואה ליעילות התכשירים המקובלים כיום. בנוסף, עסקנו בנושאים שונים הקשורים לאפידמיולוגיה של המחלה ולאופטימיזציה של הדברתה. בסדרת תצפיות וניסויים שבוצעה בתחנת הניסיונות בשור גודלו צמחי עגבנייה בחממות בתנאים המדמים גידול מסחרי ובשיטות המקובלות בחקלאות האורגנית. בניסויים נבחנה יעילותם של אמצעים שונים להתמודדות עם המחלות וכומתה התרומה היחסית של כל אחד מהם בנפרד ובמשותף עם האחרים. במהלך הניסויים בצענו מדידות והערכות שונות ששימשו לחקר השפעת תנאי הסביבה על הפתוגן ולהבנת הדרך בה משפיעים אמצעי ההדברה בהם השתמשנו על המגיפות שהתפתחו. ממצאי המחקר היוו את הבסיס לפיתוח ממשק חדש להתמודדות עם מחלות הנוף של העגבניה המתאים לחקלאות האורגנית (אך גם לחקלאות הקונבנציונאלית). ממשק זה נבחן בשנת המחקר האחרונה על ידינו ובצורה מבוקרת גם בתצפיות שבוצעו בחממות מסחריות, בניהולו של יואל מסיקה משה"מ.

ג1. שימוש בעמידות גנטית

בעונת 2001/2 בוצע ניסוי אחד ובעונת 2002/3 בוצעו שני ניסויים בהם נבחנה תגובתם של זני עגבנייה שונים למחלת הכימשון. הניסויים הוצבו במתכונת של אקראיות גמורה או בלוקים באקראי וכללו ששה עד שמונה

טיפולים (זני עגבנייה) כל אחד. גודל כל חלקת ניסוי היה 5-7 מ׳ לאורך שורה, וכל טיפול (זן) חזר חמש פעמים. הצמחים גודלו בשיטות המקובלות בחקלאות האורגנית ורוססו כנגד הכימשון בנימגרד+קוצייד מידי שבוע עד עשרה ימים. למרות זאת התפתחה המחלה, וחומרתה הוערכה ויזואלית כמה פעמים. תוצאות אחת מהערכות הנגיעות מוצגות בטבלה 1. השונות בנגיעות בין חזרות שונות של אותו הזן הייתה גבוהה בניסוי שבוצע בעונת 2001/2 וההבדלים בחומרת המחלה בין הזנים לא היו מובהקים. בשני הניסויים שבוצעו בעונת 2002/3 הייתה השונות בין החזרות נמוכה יותר, אך גם בניסויים אלה לא היו הבדלים מובהקים בחומרת המחלה בין הזנים. מכאן עולה שלא קיימים עדיין זני עגבניות המגלים עמידות, ולו בינונית, למחלת הכימשון. המסקנה העיקרית מסדרת ניסויים זו היא שלא ניתן עדיין להשתמש בעמידות גנטית ככלי למניעת נזקי הכימשון, ויש הכרח להתמקד בפיתוח ויישום גישות ואמצעים אחרים להתמודדות עם המחלה.

טבלה מספר 1: השפעת העמידות הגנטית על חומרת הנגיעות במחלת הכימשון בניסויים שבוצעו בחוות הבשור בעונות 2001/2 ו – 2002/3. הערכות הנגיעות בוצעו בתאריכים 2 לינואר, 2002 ו - 13 לפברואר, 2003. בכל ניסוי, ההבדלים בחומרת הנגיעות בין הזנים לא היו מובהקים.

ניסוי 1 – 2001/2			ניסוי 1 – 2002/3			ניסוי 2 – 2002/3		
זן	שגיאת תקן	חומרת מחלה (%)	זן	שגיאת תקן	חומרת מחלה (%)	זן	שגיאת תקן	חומרת מחלה (%)
139	18.6	31.0	1903	2.3	6.4	144	5.5	28.0
1309	12.5	23.7	1450	1.0	4.6	1457	4.1	19.0
196	9.6	45.0	דנוור	1.3	4.2	תומס	3.7	22.0
קונצ׳יטה	11.9	25.0	Risoca	4.1	9.6	קרפטון	5.5	22.0
496	7.7	18.7	נסיכה	1.8	7.2	643	6.6	18.4
303	8.6	26.2	שנון	5.8	14.2	איכרם	7.9	39.0
316	8.4	15.0	2764	1.7	4.6			
522	12.9	41.2	אלגנס	0.7	7.4			
LSD		55.1			14.1			28.0

ג2. שימוש בהדברה כימית

בכל ממשק הדברה שהוא האמצעי הבסיסי להתמודדות עם מחלות הוא תכשירי הדברה. מאחר והשימוש בתכשירי נחושת בחקלאות האורגנית מוגבל כבר כיום ויפסק בעתיד, חשוב ביותר למצא תכשירים חלופיים שיעמדו לרשות המגדלים. לכן, בחנו במסגרת תוכנית מחקר זו את כל התכשירים הפוטנציאלים הקיימים בשוק הישראלי. התכשירים נבחנו תחילה בסדרת ניסויים שבוצעה במינהל המחקר החקלאי בבית דגן. התכשירים שנמצאו יעילים בניסויים אלה נבחנו בשנה העוקבת בחממות חוות הבשור.

ג2.1. בחינת היעילות של תכשירי הדברה חדשים המתאימים לחקלאות האורגנית

<u>ניסויים בתנאים מבוקרים</u>

במהלך שלוש שנות המחקר נבחנה יעילותם של תכשירי ההדברה כנגד מחלת הכימשון בניסויים שבוצעו בתנאים מבוקרים, בהדבקה מלאכותית. התכשירים סופקו על ידי יבואני ויצרני התכשירים, והריכוזים בהם השתמשנו נקבעו בהתיעצות עימם. צמחי עגבנייה גודלו בעציצים עד שהגיעו לגודל של כ – 10 עלים אמיתיים, לערך. הם רוססו בתכשירי ההדברה עד נגירה ולאחר 24 שעות אולחו בתרחיף שהכיל מנבגים של הפטרייה *P. infestans* בריכוז שנעו בין 10^2 ל - 10^4 מנבגים לסמ״ק. לאחר האילוח כוסו הצמחים בשקיות פוליאתילן לשמירה על לחות יחסית גבוהה והונחו להדגרה בתא גידול בטמפרטורה של 19±2 מעלות צלזיוס. בחלק מהניסויים השקיות נשארו סגורות במהלך כל הניסוי (והתפתחה בהם נגיעות גבוהה במיוחד) ובאחרים נפתחו השקיות אחרי 24-36 שעות. האילוחים בוצעו בצורות שונות ובריכוזי מדבק שונים כדי להגיע לשונות בעוצמת המחלה המתפתחת. זאת בהנחה שיש תכשירים המגלים יעילות רק כשפוטנציאל המחלה נמוך או בינוני. הצמחים נשארו בחדר הגידול

למשך 14-21 ימים נוספים. צמחים שרוססו במים ואולחו בפטרייה שימשו כהיקש מאולח, ואחרים שרוססו במים ולא אולחו בפטרייה שימשו כהיקש לא-מאולח. צמחי ההיקש הוחזקו בתנאים דומים לצמחים המרוססים והמאולחים. סימני המחלה הראשונים נראו 4-7 ימים לאחר ההדבקה והשפעת הטיפולים הוערכה מידי 3-5 ימים לאחר מכן. המדד המוערך היה חומרת המחלה (באחוזים). בדיווח זה יוצגו ערכי חומרת המחלה במועד ההערכה האחרונה בכל ניסוי, שבוצעה כשבועיים-שלושה לאחר האילוח. בסך הכל בוצעו 11 ניסויים ונבחנו בהם 20 תכשירים שונים, חלקם נבחנו בכמה ריכוזים וחלקם נבחנו גם בשילוב עם תכשירים אחרים. שמות התכשירים והריכוזים בהם יושמו מופיעים בטבלאות 2-4; בניסויים נכללו 3 תכשירים כימיים, 14 מיצויים צמחיים שונים ו-3 מיקרואורגניזמים (תכשירי הדברה ביולוגיים). יחידת הניסוי בסדרת ניסויים זו הייתה עציץ בודד, וכל טיפול כלל 4-6 חזרות. הניסויים הוצבו במתכונת של אקראיות גמורה.

בכל הניסויים שבוצעו לא נפגעו צמחי ההיקש הלא-מאולח מפתוגנים; בצמחי ההיקש המאולח התפתחה המחלה בחומרה שנעה בין 32.5 ל – 100%. יעילות הטיפול הסטנדרטי (קוצייד+נימגרד) שיושם כהשוואה הייתה גבוהה בכל הניסויים וחומרת המחלה בצמחים המטופלים בתכשירים אלה הייתה נמוכה במובהק מזו של צמחי ההיקש. יעילותם של רוב התכשירים החדשים, בכל הריכוזים שנבחנו לא הייתה מספקת. חומרת הנגיעות בצמחים המטופלים, גם אם הייתה נמוכה במובהק מזו של צמחי ההיקש המאולח, הייתה גבוהה. במספר מקרים גם נראו סימני פגיעה (פיטוטוקסיות) בצמחים המטופלים. אולם, כמה מהתכשירים שנבחנו הפחיתו את הנגיעות ביעילות שלא נפלה מזו של טיפול הסטנדרטי, לפחות בניסוי אחד. התכשירים היו אינולקס (מיצוי מצמח הטיון הדביק), נימגרד משופר (תערובת של אינולקס ונימגרד), טימור C וטימור D (תואריות שונות של מיצוי מעץ התה האוסטרלי) (טבלאות 2-4). המסקנה העיקרית מסדרת ניסויים זו הייתה שכדאי לבחון תכשירים אלה בניסויים המבוצעים בתנאי גידול מסחריים, בהדבקה טבעית.

טבלה מספר 2: יעילות תכשירי הדברה המתאימים לחקלאות אורגנית כנגד מחלת הכימשון בעגבניות בארבעה ניסויי עציצים שבוצעו בשנת 2002. המספרים מבטאים את חומרת המחלה הממוצעת בכל אחד מהטיפולים.

טיפול	ניסוי 1	ניסוי 2	ניסוי 3	ניסוי 4
היקש מאולח	99.6 א*	32.5 א	100.0 א	98.5 א
קוצייד (0.5%)	6.5 ג	0.0 ג	60.0 ב	14.1 ב
נימגרד (2%)	71.3 ב	26.2 א	97.2 א	90.1 א
קוצייד (0.5%) + נימגרד (2%)	5.0 ג	0.8 ג	7.0 ד	2.3 ג
נימגרד משופר (3%)	7.2 ג	2.5 ג	20.0 ג	7.6 בג
אינולקס (2.7%)	-	-	15.8 גד	0.1 ג
טריכודקס (0.3%)	-	-	92.1 א	96.3 א
סרנד 0.5%)	98.2 א	40.0 א	99.6 א	95.8 א
סונטה (0.5%)	-	-	96.3 א	99.7 א
רמנוליפיד (0.01%)	-	-	97.5 א	95.0 א
M-3 (1%)	-	-	92.6 א	100.0 א
טימור (1%)	-	-	96.3 א	95.8 א
פימון (1%)	-	-	92.1 א	94.1 א
מילסנה (1%)	-	-	95.1 א	95.8 א

*מספרים שלידם אותיות שונות שונים זה מזה במובהק כנקבע על פי מבחן LSD ברמת מובהקות של $P \leq 0.05$.

<u>ניסויים בחממה בתנאי גידול מסחריים</u>

יעילותם של האינולקס ושל תואריות שונות של מיצויים מצמח עץ התה האוסטרלי נבחנה בניסויים שבוצעו בחוות הבשור בעונות 2003/4 ו – 2004/5 בהתאמה. בניסויים אלה התפתחו מגיפות כימשון קשות שמקורן בהדבקה טבעית. בחינת תכשירי ההדברה הייתה חלק מסדרת ניסויים שבוצעה בחדרים של "פרויקט 16". לצורך מחקר זה הוקצבו (בכל שנה) 8 חדרים שגודל כל אחד מהם 20 × 16 מ'. בחדרים הוצבו כמה ניסויים ותצפיות; חלקם כללו את כל החדרים וחלקם – רק חלק מהם. ככלל, מתכונת הניסויים הייתה תלת-גורמית בחלקות מפוצלות פעמיים. הגורם הראשון שהוצב בחלקות הראשיות היה חיפוי הקרקע ביריעת פוליאתילן כאמצעי למניפולציה של תנאי המיקרואקלים השוררים בחלל המבנה. גורם זה יפורט בהמשך. הגורם השני שהוצב

בחלקות המשניות הראשיות היה תכשירי הדברה. חדרי הגידול חולקו לשתי קבוצות שבכל אחת מהן נכללו חדרים עם קרקע חשופה וחדרים עם קרקע מחופה בפוליאתילן. בכל אחד מחדרי הגידול (החלקות הראשיות) סומנו חלקות המשנה שגודל כל אחת מהן היה שורת צמחים כפולה לאורך 10 מ׳. כך, שבכל חלקה ראשית היו 10 חלקות משנה שהיוו את יחידות הניסוי ובהם יושמו תכשירי ההדברה השונים. בניסוי שבוצע בעונת 2003/4 בשיתוף עם חברת סמדר נבחנה יעילותו של האינולקס. ניסוי זה כלל 5 טיפולים (תכשירי הדברה), כלהלן. **1.** היקש; **2.** קוצייד (300 ג׳ לדונם)+נימגרד (2%); **3.** אינולקס 0.25%; **4.** אינולקס 0.5%; **5.** אינולקס 1%. תכשירי ההדברה יושמו באמצעות מרסס מפוח מוטורי, פומית מספר 4, בנפח תרסיס של 50 ליטר לדונם. הריסוס הראשון יושם ב - 2.12.03 והריסוסים העוקבים יושמו מידי 6-8 ימים עד ל - 24.2.04. בסך הכול יושמו בניסוי זה 13 ריסוסים. מתכונת הניסוי הייתה בלוקים באקראי והוא כלל שמונה חזרות; ארבע מהן היו בחדרים החשופים וארבעת הנותרים בחדרים שהקרקע שלהן חופתה בפוליאתילן.

טבלה מספר 3: יעילות תכשירי הדברה המתאימים לחקלאות אורגנית כנגד מחלת הכימשון בעגבניות בארבעה ניסויי עציצים שבוצעו בשנת 2003. המספרים מבטאים את חומרת המחלה הממוצעת בכל אחד מהטיפולים.

תכשיר (וריכוז)	יבואן[1]	ניסוי 1	ניסוי 2	ניסוי 3	ניסוי 4
היקש לא מאולח		0	0	0	0
היקש מאולח		100.0 א[2]	99.0 א	85.6 א	96.8 א
קוצייד (0.5%)+נימגרד (2%)	1+2	1.4 ב	4.7 ג	0.2 ג	1.0 ג
מיצוי מעץ ה - Neem (2%)	3	94.7 א	100.0 א	-	-
מסטקס (תערובת מוכנה)	3	70.0 *[3]	*	-	-
תמצית סרפד (תערובת מוכנה)	3	80.0 אב	97.2 א	-	-
תמצית סירפד + תמצית אורגנו (תערובת מוכנה)	3	96.0 א	100.0 א	-	-
פימונקס B (1%)	4	-	47.5 ב	-	-
טימור C (1%)	4	-	80.0 א	-	-
טימור D (1%)	4	-	7.5 ג	6.8 ג	8.0 ג
תרכיז הדרים (0.4%)	5	-	-	78.5 א	2.6 ג
תרכיז הדרים (0.8%)	5	-	-	50.0 *	19.0 *
ציטרופרש (1%)	6	-	-	-	24.0 ב
ציטרופרש (2%)	6	-	-	32.0 ב	5.4 ג
ציטרופרש (3%)	6	-	-	2.6 *	-

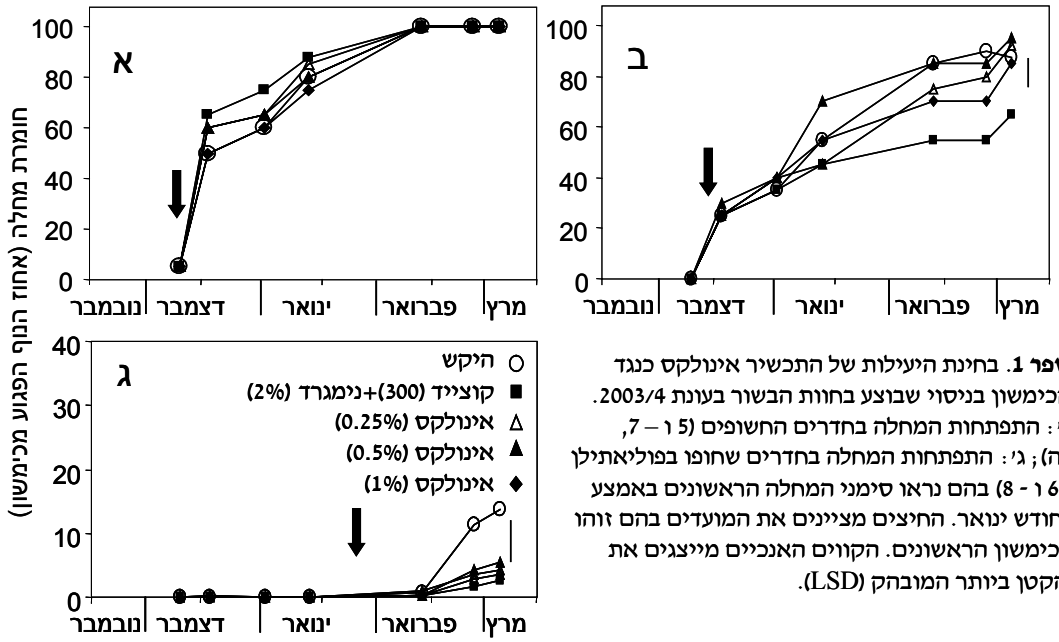
[1] היבואנים: 1 = פדרמן ובניו; 2 = אגרון; 3 = תומר טבע; 4 = ביו-מור; 5 = אחים מילצ׳ן; 6 = יוגב שרותים ותשומות לחקלאות. [2] מספרים שלידם אותיות שונות שונים זה מזה במובהק כנקבע על פי מבחן LSD ברמת מובהקות של $P \leq 0.05$. [3] תאים או מספרים שלידם כוכב מציינים הופעת סימני פיטוטוקסיות בצמחים המרוססים.

טבלה מספר 4: יעילות תכשירי הדברה המתאימים לחקלאות אורגנית כנגד מחלת הכימשון בעגבניות בשלושה ניסויי עציצים שבוצעו בשנת 2004. המספרים מבטאים את חומרת המחלה הממוצעת בכל אחד מהטיפולים.

תכשיר (וריכוז)	יבואן[1]	ניסוי 1	ניסוי 2	ניסוי 3
היקש לא מאולח	-	0	0	0
היקש מאולח	-	93.2 א	91.2 א	68.7 א
טימור (1.5%)	3	40.0 בגד*[3]	-	60.0 א
טימורקס (1.5%)	3	55.0 אבג	-	48.7 אב
טימור C (0.5%)	3	-	77.5 א	17.0 בג
טימור C (1.0%)	3	-	90.0 א	-
טימור C (1.5%)	3	15.0 ד	-	-
טימור D (1.5%)	3	3.5 ד	-	37.5 בג
פימונקס (1.5%)	3	73.7 אב	-	45.0 אבג
Biolux New (0.1%)	4	71.2 אב	-	-
Biolux New (0.5%)	4	-	91.2 א	-
Biolux New (1.0%)	4	-	90.0 א	-
Biolux New (1.5%)	4	-	87.5 א	17.0 בג
קוצייד (0.5%) + נימגרד (2%)	1+2	-	-	7.2 ג

[1] היבואנים: 1 = פדרמן ובניו; 2 = אגרון; 3 = ביו-מור; 4 = אחים מילצ׳ן; [2]מספרים שלידם אותיות שונות שונים זה מזה במובהק כנקבע על פי מבחן LSD ברמת מובהקות של $P \leq 0.05$. [3] תאים או מספרים שלידם כוכב מציינים הופעת סימני פיטוטוקסיות בצמחים המרוססים.

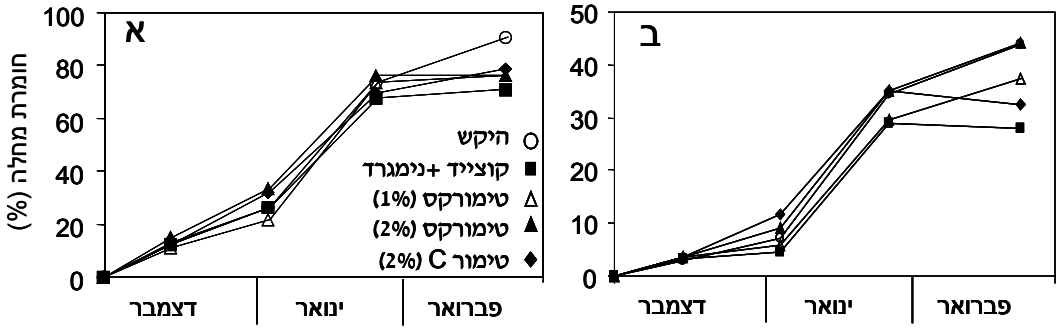
סימני הכימשון הראשונים בשטח הניסוי נראו בתחילת חודש דצמבר בחדרים החשופים שמספרם 5 ו – 7 ; כחודש וחצי מאוחר יותר, בסוף חודש ינואר, נראו סימני המחלה הראשונים בחדרים המחופים בפוליאתילן שמספרם 6 ו – 8. בכל המקרים, מקור המידבק היה טבעי. בגלל ההבדלים במועד התפרצות הכימשון בין החדרים החשופים והמחופים יתוארו הממצאים ויערך דיון אודות התוצאות על פי מועד ההופעה של המחלה בחדרים השונים. בחדר 5 עלתה הנגיעות בחלקות ההיקש במהירות ובתוך שבועיים הייתה חומרת המחלה 50% ויותר; בתוך שבועיים נוספים הושמדו למעשה הצמחים בחדר זה. לאף אחד מתכשירי הדברה שנבחנו לא הייתה השפעה כל שהיא על התפתחות המחלה איור מספר 1א). בחדר החשוף השני (חדר 7) זוהתה המחלה לראשונה כשבוע מאוחר יותר. קצב התפתחותה היה איטי יותר, אבל בסופו של דבר נפגעו גם הצמחים בחדרים אלה בצורה קשה. לא היה הבדל בנגיעות בין החלקות שרוססו בתכשירי ההדברה השונים לבין חלקות ההיקש עד לאמצע חודש ינואר. ממועד זה ואילך החלו להיווצר הבדלים בנגיעות ועד לסוף הניסוי הייתה הנגיעות בחלקות שרוססו בקוצייד+נימגרד נמוכה במובהק מנגיעות חלקות ההיקש. הנגיעות בחלקות שרוססו בריכוזי האינולקס השונים לא הייתה שונה במובהק מנגיעות חלקות ההיקש (איור מספר 1ב'). בשני החדרים שחופו בפוליאתילן התפתחה המחלה באופן שונה מאשר בחדרים החשופים: סימני הכימשון הראשונים נראו רק בסוף חודש ינואר, ועליה בנגיעות נצפתה רק בסוף חודש פברואר. חומרת הנגיעות בסוף הניסוי בחלקות ההיקש לא עלתה על 15%. הטיפול בקוצייד+נמגרד ובאינולקס (בכל הריכוזים שנבחנו) הפחית את הנגיעות במובהק יחסית לנגיעות חלקות ההיקש (איור מספר 1ג). המסקנה העיקרית מניסוי זה הייתה שלמרות שהאינולקס הפחית במקרים מסוימים את הנגיעות, יעילותו לא הייתה מספקת (כמו גם יעילות הטיפול הסטנדרטי).



איור מספר 1. בחינת היעילות של התכשיר אינולקס כנגד מחלת הכימשון בניסוי שבוצע בחוות הבשור בעונת 2003/4. א' ו – ב': התפתחות המחלה בחדרים החשופים (5 ו – 7, בהתאמה); ג': התפתחות המחלה בחדרים שחופו בפוליאתילן (חדרים 6 ו - 8) בהם נראו סימני המחלה הראשונים באמצע עד סוף חודש ינואר. החיצים מציינים את המועדים בהם זוהו סימני הכימשון הראשונים. הקווים האנכיים מייצגים את הטווח הקטן ביותר המובהק (LSD).

בעונת 2004/5 בוצע ניסוי דומה בשיתוף עם חברת ביומור בו נבחנה יעילותם של תוארויות שונות של מיצויים מצמח עץ התה האוסטרלי. כעקרון, הוצב הניסוי במתכונת דומה לזו שתוארה למעלה לגבי ניסוי האינולקס. הטיפולים שנכללו בניסוי זה היו: **1.** היקש; **2.** קוצייד (300 ג' לדונם)+נימגרד (2%); **3.** טימורקס 1%; **4.** טימוקרס 2%; **5.** טימור C 1%. תכשירי ההדברה יושמו באמצעות מרסס מפוח מוטורי. הריסוס הראשון יושם בסוף חודש נובמבר והריסוסים העוקבים יושמו מידי שבוע לערך. גם בניסוי זה היו הבדלים בהתפתחות המחלה בין החדרים החשופים לבין אלה שהקרקע שלהם חופתה בפוליאתילן, ולכן יוצגו גם כאן התוצאות בנפרד. סימני

המחלה הראשונים נראו בחדרים בהם בוצע הניסוי באמצע חודש נובמבר. הנגיעות נצפתה בחדרים החשופים וגם בחדרים המחופים, אך קצב התפתחות המחלה בחדרים החשופים הייתה מהירה יותר, ועד סוף חודש ינואר הושמדו למעשה הצמחים בחדרים אלה. בחדרים המחופים התקדמה המחלה לאט יותר אך בחלק מהחדרים המחופים הייתה חומרתה גבוהה, בסופו של דבר. ללא תלות באם הקרקע חופתה בפוליאתילן או לא, אף אחד מטיפולי ההדברה, כולל הטיפול הסטנדרטי, לא הפחית את חומרת הנגיעות במובהק בהשוואה לחלקות ההיקש שלא רוססו כלל (איור מספר 2). המסקנה העיקרית מניסוי זה היא שלא ניתן בשלב זה להשתמש בתכשירים שנבחנו כנגד מחלת הכימשון בצורה מסחרית. חשוב לחזור ולציין את חוסר היעילות של הטיפול הסטנדרטי. אין לנו הסבר מדוע התקבלה תוצאה זו.



איור מספר 2. בחינת היעילות של מספר מיצויים מעץ התה האוסטרלי כנגד מחלת הכימשון בניסוי שבוצע בחוות הבשור בעונת 2004/5. א׳: התפתחות המחלה בחדרים החשופים; ב׳: התפתחות המחלה בחדרים שהקרקע שלהם חופתה בפוליאתילן. ההבדלים בנגיעות בין הטיפולים השונים לא היו מובהקים ($P = 0.05$).

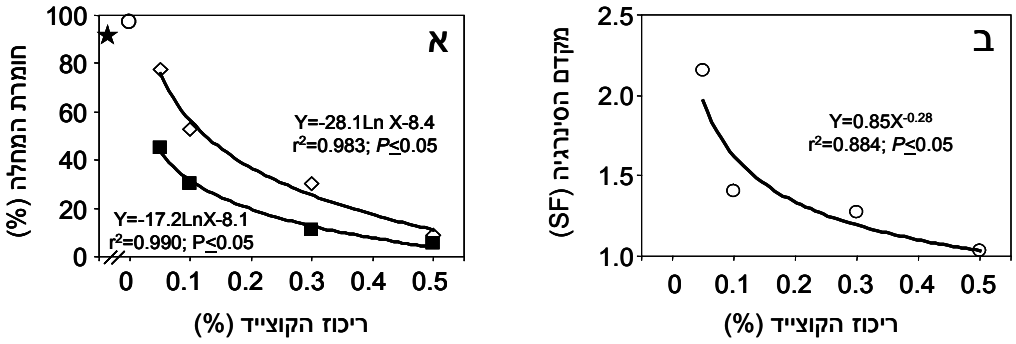
ג.2.2. אופטימיצזיה של ההדברה הכימית

<u>הפעילות המשותפת של קוצייד ונימגרד</u>

בחלק מהניסויים שבצענו בשנת המחקר הראשונה נמצא שתוספת נימגרד (2%) לקוצייד (0.5%) שיפר את יעילות האחרון במובהק (טבלה 2). בניסויים אלה הפעילות המשותפת של שני התכשירים הייתה סינרגיסטית. חשוב היה לאושש ממצאים אלה ובנוסף, לברר האם ניתן להפחית את מינון הקוצייד בגלל פעילותו המשופרת כשהוא מיושם יחד עם הנימגרד. כדי לבחון שאלה זו בצענו ניסויים בעציצים במינהל המחקר החקלאי ובצמחים בחוות הבשור. בניסוי העציצים יושם הקוצייד בסדרת ריכוזים עולה לבדו, או בשילוב עם נימגרד. ריכוז הנימגרד היה קבוע (2%) בכל הטיפולים בהם הוא שולב. תכשירי ההדברה יושמו במכון להנדסה חקלאית על ידי דר׳ אברהם גמליאל וציוותו. כצפוי, יעילות הקוצייד עלתה עם העלייה בריכוזו ובריכוז המסחרי (0.5%) הייתה יעילותו גבוהה מ - 90%. כמו בניסויים הקודמים שבצענו, הנימגרד, כשיושם לבדו לא הפחית את חומרת המחלה יחסית לצמחי ההיקש המאולחים. אולם, כשהוסף הנימגרד לקוצייד שופרה יעילות האחרון בכל הריכוזים שנבחנו. התרומה היחסית של השילוב קטנה עם העליה בריכוז הקוצייד מאחר ובריכוזי הקוצייד הגבוהים הייתה יעילותו גבוהה ממילא. הפעילות המשותפת של שני תכשירי ההדברה חושבה באמצעות נוסחאות Abbott. מקדם הסינרגיה (Synergy factor, SF) הוא מקדם המבטא את הפעילות המשותפת של שני תכשירי ההדברה. כשהערך של מקדם הסינרגיה הוא 1, הפעילות המשותפת של שני התכשירים היא אדיטיבית (תוספתית); כשערכו קטן מ – 1, פעילותם המשותפת היא אנטגוניסטית וכשהערך גדול מ - 1 הפעילות היא סינרגיסטית. בכל טווח ריכוזי הקוצייד שנבחנו מקדם הסינרגיה של שילובו עם נימגרד היה גדול מ – 1, ערך המצביע על פעילות סינרגיסטית של שני התכשירים (איור מספר 3).

הפעילות המשותפת של קוצייד ונימגרד נבחנה בניסויים שבוצעו בחוות הבשור בחדרים של פרויקט 16 בעונות 2002/3 ו – 2003/4. הניסויים כללו ארבעה טיפולים כלהלן: 1. היקש; 2. קוצייד (0.5%); 3. נימגרד (2%);

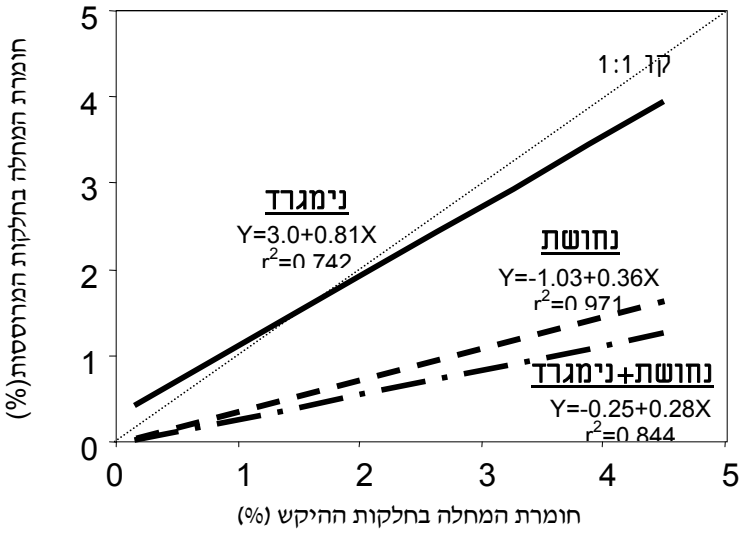
4. קוצייד (0.5%)+נימגרד (2%); הם הוצבו בלוקים באקראי בשמונה חזרות; גודל כל חלקת ניסוי היה צמד שורות צמחים לאורך 10 מ׳. הריסוסים יושמו מידי 7-10 ימים במרסס מוטורי. בניסוי שבוצע בעונת 2002/3 נראו סימני הכימשון הראשונים ב – 16 לינואר, 2003 ובתוך ימים ספורים עלתה הנגיעות (בחלק מהחלקות) בצורה ניכרת. בדו״ח זה יפורטו תוצאות הערכת הנגיעות שבוצעה בתאריך 13 לפברואר. לאחר ניתוח הנתונים התברר שישנם הבדלים משמעותיים בנגיעות בין החדרים ובין הבלוקים בתוך החדרים. לכן, לערכים הממוצעים אין במקרה זה משמעות רבה והממצאים לא נותחו על ידי ניתוחי שונויות (ANOVA) אלא בדרך הבאה. בכל טיפול, השווינו את חומרת הנגיעות בכל אחד מהבלוקים לנגיעות שהוערכה בחלקת ההיקש של אותו הבלוק. מאחר והניסוי כלל בסך הכול 8 חזרות (בלוקים), בוצעו 8 השוואות כאלה. התברר, שלגבי כל אחד מהטיפולים התקיים קשר ליניארי בין חומרת המחלה בחלקות המרוססות לחומרתה בחלקות ההיקש. משוואות הרגרסיה שחושבו היו מובהקות מאד ($P\leq 0.01$) בכל המקרים (איור מספר 4). השוואת שיפועי הרגרסיה מלמדת על יעילות התכשירים, כלהלן. התכשיר נימגרד לא היה יעיל כנגד הכימשון מפני שהנגיעות בחלקות שרוססו בנימגרד הייתה דומה לזו שהוערכה בחלקות ההיקש המקבילות: שיפוע קו הרגרסיה של הנימגרד לא היה שונה משיפוע שערכו 1, המרמז על התאמה מוחלטת בנגיעות בין החלקות המרוססות לחלקות (איור מספר 4). לעומת זאת, שיפועי קווי הרגרסיה של טיפול הקוצייד וטיפול הקוצייד+נימגרד היו נמוכים במובהק מ – 1. כשיושם הקוצייד במשולב עם נימגרד הייתה יעילותו גבוהה יותר מאשר כשיושם לבדו, אך ההבדלים לא היו מובהקים. הנתונים שימשו לחישוב מקדם הסינרגיה ונמצא שהוא 1.03, ערך המבטא פעילות סינרגיסטית חלשה.



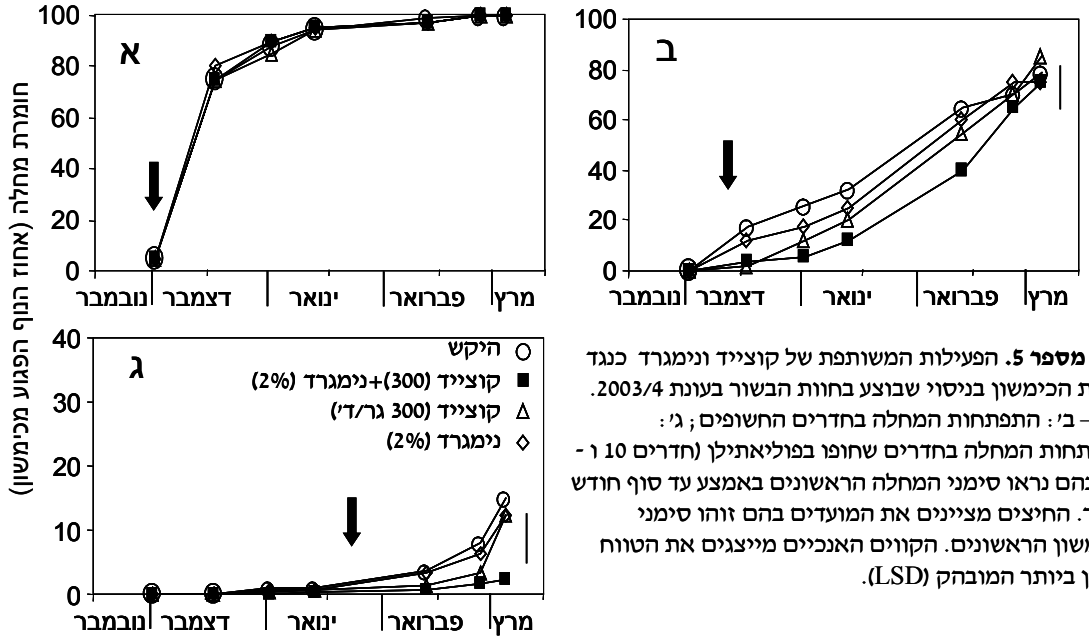
איור מספר 3. ההשפעה המשולבת של קוצייד ונימגרד על מחלת הכימשון בעגבניות. א: חומרת המחלה בצמחים שרוססו בריכוזים שונים של קוצייד כשיושם לבדו (מעוינים ריקים) או כשהוא יושם בתערובת עם נימגרד בריכוז של 2% (ריבועים מלאים). כהשוואה, צוינה הנגיעות בצמחים שלא רוססו בתכשירי הדברה כלל (היקש, עיגול ריק) ובצמחים שרוססו בנימגרד 2% בלבד (כוכב מלא). ב: ערכי מקדם הסינרגיה (SF=synergy Factor) של קוצייד שיושם בריכוזים שונים בתערובת עם נימגרד 2%. ערכים הגבוהים מערך של 1 מרמזים על תגובה סינרגיסטית בין שני התכשירים.

בעונת 2003/4 בוצע ניסוי דומה שכלל את אותם הטיפולים והוצב באותה המתכונת. תכשירי ההדברה יושמו באמצעות מרסס מפוח מוטורי, פומית מספר 2, בנפח תרסיס של 80 ליטר לדונם. הריסוס הראשון יושם ב - 26.11.03 והריסוסים העוקבים יושמו מידי 4-8 ימים עד ל - 23.2.04. בסך הכול יושמו בניסוי זה 15 ריסוסים. עקומי התפתחות המחלה בטיפולים השונים מתוארים באיור מספר 5. ערכי הנגיעות שימשו לחישוב השטח שמתחת לעקום התפתחות המחלה (AUDPC) המבטאים את השינויים בחומרת המחלה במהלך כל שלבי הניסוי. ערכי ה – AUDPC היו הבסיס לחישוב ערכי יעילות ההדברה (באחוזים) שהושגה על ידי כל אחד מהטיפולים. בשלב הבא השתמשנו בנוסחאות Abbott לאומדן של מקדם הסינרגיה שבין הקוצייד והנימגרד. ערכי מקדם הסינרגיה שחושבו היו 1.26 עבור העקומות המוצגות באיור 5ב׳ ו – 1.43 עבור העקומות המוצגות באיור 5ג׳. המסקנות שעלו מסדרת ניסויים זו היא שלנימגרד פעילות חלשה כנגד הכימשון אך שילובו עם קוצייד משפר בצורה סינרגיסטית את יעילותו של האחרון. ממצא חשוב נוסף שעלה מניתוח ניסויי החממה היה, שיעילות

הטיפול הכימי המקובל בחקלאות האורגנית (קוצייד+נימגרד) תלויה בעוצמת המחלה. כשזו חלשה או בינונית יש לטיפול זה השפעה אך ככל שעוצמת המחלה עולה, כך פוחתת יעילות הטיפול. במקרים בהם מתפתחות מגיפות קשות הטיפול אינו יעיל כלל. מכאן עולה ששימוש בהדברה כימית לבדו אינו מספק ויש להשתמש באמצעי הדברה נוספים כדי להתמודד עם המחלה ביעילות.



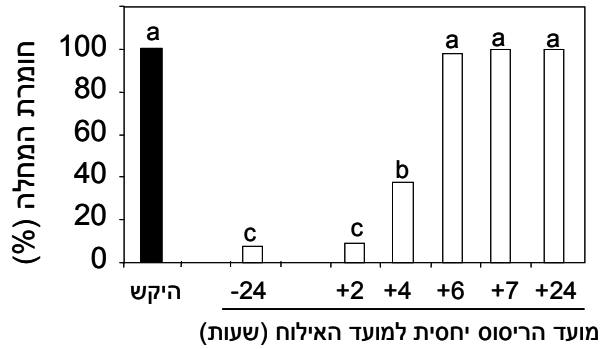
איור מספר 4. הפעילות המשותפת של קוצייד ונימגרד כנגד מחלת הכימשון בניסוי שבוצע בחוות הבשור בעונת 2002/3. הנגיעות הוערכה ב - 13 לפברואר, 2002. הקוים מתארים את קשר בין חומרת המחלה בחלקות ההיקש (מדד לעוצמה הפוטנציאלית של המגיפה) לחומרתה בחלקות שרוססו בתכשירי הדברה (מדד ליעילות התכשירים). כל קווי הרגרסיה מובהקים ברמת מובהקות של $P\leq 0.01$. קו 1:1 הוא קו תיאורטי המבטא מתאם מושלם בחומרת המחלה בין החלקות המרוססות לחלקות ההיקש, שפירושה חוסר פעילות מוחלט של תכשיר ההדברה.



איור מספר 5. הפעילות המשותפת של קוצייד ונימגרד כנגד מחלת הכימשון בניסוי שבוצע בחוות הבשור בעונת 2003/4. א' ו – ב': התפתחות המחלה בחדרים החשופים; ג': התפתחות המחלה בחדרים שחופו בפוליאתילן (חדרים 10 ו - 12) בהם נראו סימני המחלה הראשונים באמצע עד סוף חודש ינואר. החיצים מציינים את המועדים בהם זוהו סימני הכימשון הראשונים. הקווים האנכיים מייצגים את הטווח הקטן ביותר המובהק (LSD).

<u>הפעילות ההגנתית והמרפאה של תכשירי ההדברה</u>

כל תכשירי ההדברה המתאימים לשימוש בחקלאות האורגנית (כולל התכשירים החדשים) הם תכשירים פרוטקטנטיים; הם לא חודרים לרקמות הצמחיות ופעילותם היא הגנתית בלבד. המשמעות היא שיעילות ההדברה המושגת על ידם תלויה במועד יישומם: אם ייושמו לפני התרחשות ההדבקה הם יהיו יעילים. אבל, אם ייושמו אחרי שמנבגי הפטרייה כבר נבטו וחדרו לרקמות הצמחיות הם לא יהיו יעילים כלל מפני שתפטיר הפטרייה הגדל בתוך הרקמות הצמחיות מוגן בפניהם. השאלה היא כמה זמן אחרי תחילת נביטת המינבגים (מועד התרחשות ההדבקות) התכשירים עדיין יעילים. למידע זה חשיבות רבה לגבי ההתמודדות עם מחלת הכימשון. כדי לברר נקודה זו בצענו סידרת ניסויים בהם אילחנו צמחי עגבנייה שגדלו בעציצים בצורה מלאכותית. בזמנים שונים לאחר האילוח, רוססו הצמחים בתכשירי ההדברה השונים שנבחנו - קוצייד+נימגרד, אינולקס וטימור D. המטרה הייתה לבחון כמה זמן אחרי מועד האילוח המלאכותי (=מועד התרחשות ההדבקות) עדיין ניתן להדביר את המחלה ביעילות. להשוואה, נכללו בניסויים טיפולים בהם לא יושמו תכשירי הדברה כלל (כמדד לחומרת המחלה בצמחים לא מוגנים) וטיפולים בהם יושמו תכשירי ההדברה 24 שעות לפני מועד האילוח (כמדד ליעילות תכשירים המיושמים כטיפול הגנתי). בדו"ח זה יוצגו תוצאות הניסוי בהם נבחנה הפעילות ההגנתית והתגובתית של קוצייד+נימגרד. כשיושמו התכשירים הללו שעתיים לאחר מועד האילוח הייתה יעילות ההדברה גבוהה ודומה לזו שהתקבלה בטיפול ההגנתי. כשיושמו התכשירים ארבע שעות לאחר האילוח כבר הייתה פחיתה מובהקת ביעילותם וכשהם יושמו 6 שעות או יותר אחרי האילוח כבר לא הייתה להם השפעה כל שהיא (איור מספר 6). תוצאות דומות התקבלו בניסויים שבוצעו באותה המתכונת ובהם נבחנה הפעילות ההגנתית והמרפאה של האינולקס ושל התכשיר טימור D (תוצאות לא מפורטות). המסקנות העיקריות שעלו



איור מספר 6. השפעת מועד יישום תכשירי ההדברה (קוצייד 0.5%+נימגרד 2%) יחסית למועד האילוח, על חומרת הנגיעות בכימשון בצמחי עגבנייה שגדלו בעציצים. עמודות שלידן אותיות שונות שונים זה מזה במובהק כנקבע על פי מבחן LSD ($P \leq 0.05$).

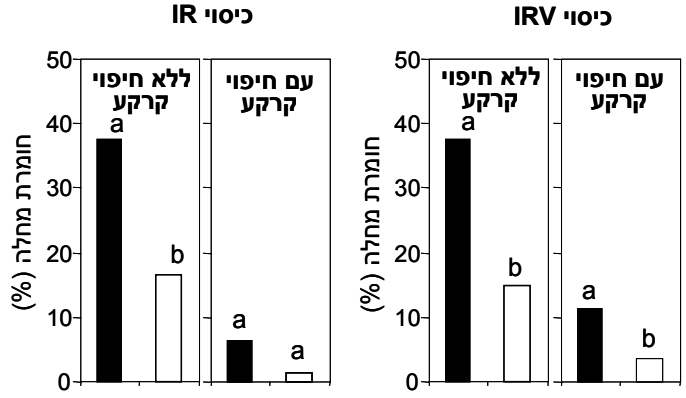
מסדרת ניסויים זו הן שיש ליישם את כל תכשירי ההדברה המתאימים לחקלאות האורגנית לפני התרחשות ההדבקות, כטיפול הגנתי. ישומן באיחור (ואפילו של שעות ספורות) יגרום לחוסר פעילות מוחלט.

ג3. שימוש בשיטות אגרוטכניות

בסדרת ניסויים שבוצעה במהלך שלוש שנות המחקר בחוות הבשור בחנו את השימוש בשיטות אגרוטכיות שונות כנגד מחלת הכימשון בניהן מניפולציה של תנאי המיקרואקלים בחלל החממה וסניטציה של רקמות נגועות. הניסויים שבוצעו היו מורכבים (דו- ותלת-גורמיים) ולכן בשורות הבאות יוצג כל ניסוי במלואו, כולל כל הטיפולים שנבחנו (גם אם הם היו אמצעים כימיים).

ג 3.1 מניפולציה של תנאי המיקרואקלים בחממה למניעת הדבקה

במנהרות עבירות שגודלן 4 × 6 מ׳ בוצע בעונת 2002/3 ניסוי תלת גורמי בחלקות מפוצלות בו נבחנה ההשפעה המשולבת של יריעת הכיסוי של המבנה (IR או IRV), חיפוי הקרקע בפוליאתילן רפלקטיבי (פוליאתילן שצידו התחתון שחור והעליון אפור), וריסוסים בתכשירי הדברה המקובלים (קוצייד+נימגרד). גודל כל חלקת ניסוי היה שתי שורות צמחים לאורך 4 מ׳ וכל טיפול חזר ארבע פעמים. בניסוי התפתחה מגיפת כימשון טבעית והשפעת הטיפולים הוערכה ב – 13 לפברואר. ניתוח שונות תלת-כיווני הראה שהשפעת יריעת הכיסוי של המבנה לא הייתה מובהקת אך השפעות חיפוי הקרקע ותכשירי ההדברה היו מובהקות. הממצאים מתוארים באיור מספר 7. השתמשנו ברגרסיה רבת משתנים עם משתני דמא כדי לאמוד את ההשפעה היחסית של חיפוי הקרקע (= בקרת אקלים) ושל הריסוסים (=הדברה כימית) על הפחתת הנגיעות בכימשון. נמצא, שחיפוי הקרקע הפחית את הנגיעות בכימשון ב – 18.5% בממוצע, בעוד שריסוס בתכשירי הדברה הפחית את הנגיעות בכימשון ב – 14.2% בממוצע. בחלקות המרוססות בהן היה חיפוי קרקע הייתה השפעת שני הטיפולים תוספתית וחומרת הנגיעות בכימשון הופחתה ב – 32.7% בממוצע.

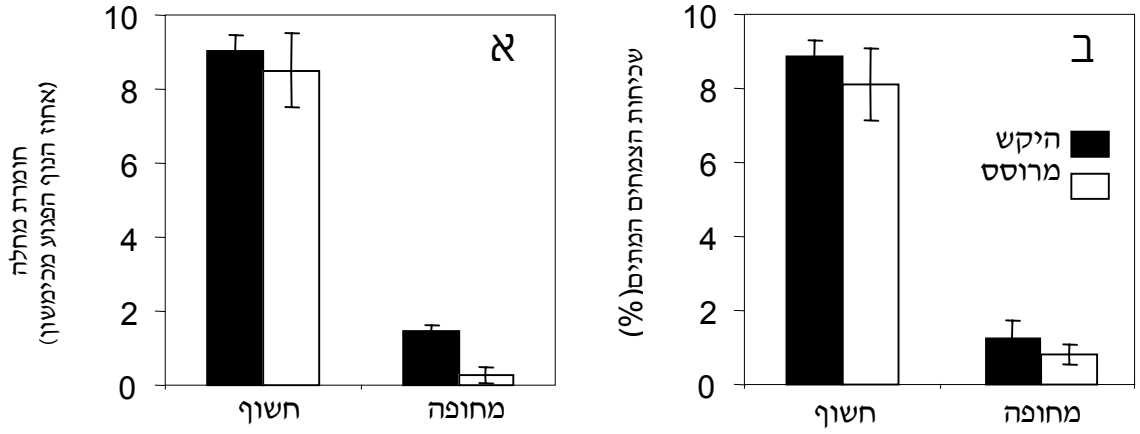


איור מספר 7. השפעת סוג הפוליאתילן המכסה את מבנה הגידול, חיפוי הקרקע וריסוסי הנוף בתכשירי הדברה, על חומרת מחלת הכימשון בעגבניות בחוות הבשור בעונת 2002/3. טיפולי ריסוס הנוף: היקש – עמודות שחורות; מרוסס – עמודות לבנות. הנגיעות הוערכה בתאריך 13 לפברואר, 2003. ניתוח הנתונים העלה שהשפעת סוג הפוליאתילן ששימוש לכיסוי המבנה לא הייתה מובהקת (P=0.05) אך השפעות חיפוי הקרקע וריסוס הנוף היו מובהקות ($P\leq$0.05). השפעת ריסוסי הנוף מצויינת באמצעות אותיות הנמצאות בסמוך לעמודות.

השפעת חיפוי הקרקע בנפרד, ובמשולב עם תכשירי הדברה נבחנה בניסוי נוסף שבוצע בעונת 2003/4 בפרויקט 16 בחוות הבשור. יחידת הניסוי הייתה חדר והניסוי הוצב במתכונת של ניסוי דו-גורמי עם שתי רמות, כלהלן: 1. חיפוי קרקע (קרקע חשופה או קרקע מחופה ביריעות פוליאתילן רפלקטיבי) 2 –הדברה כימית מקובלת (היקש, או ריסוס בקוצייד+נימגרד). כל טיפול חזר 4 פעמים. השפעת חיפוי הקרקע בפוליאתילן והריסוס בקוצייד+נמגרד, בנפרד ובמשולב, על התפתחות הכימשון נקבעה תוך שימוש בערכי חומרת המחלה שהוערכו בסוף הניסוי. חיפוי הקרקע הפחית את חומרת הנגיעות בכימשון בצורה משמעותית וההבדלים בנגיעות בין החדרים היו דרמטיים. השפעת הריסוסים אמנם הייתה מובהקת, אך תרומת ההדברה הכימית הייתה נמוכה במידה רבה (איור מספר 8א׳). השתמשנו ברגרסיה רבת משתנים עם משתני דמא לקביעת התרומה היחסית של כל גורם בנפרד. המשתנה התלוי היה חומרת המחלה (DS, באחוזים); המשתנה הבלתי תלוי הראשון (X_1) היה חיפוי הקרקע בפוליאתילן, כאשר X_1=0 מייצג קרקע חשופה ו – X_1=1 מייצג קרקע שחופתה בפוליאתילן. המשתנה הבלתי תלוי השני (X_2) היה ריסוס בקוצייד+נימגרד, כאשר X_2=0 מייצג חלקות שלא רוססו (היקש) ו – X_2=1 מייצג את החלקות המרוססות. משואת הרגרסיה שהתקבלה היא: $DS=92.1-78.7X_1-8.9X_2$. מקדם המתאם המרובה (R^2) היה 0.961 ומובהקות הרגרסיה הייתה $P\leq$0.000001. משמעות המשוואה היא שחומרת המחלה בצמחים שגדלו בחדרים חשופים, שלא רוססו בתכשירי הדברה, הייתה בסוף הניסוי 92.1%. חיפוי הקרקע בפוליאתילן הפחית את חומרת המחלה ב – 78.7% וריסוסי הנוף הפחיתו את חומרתה ב – 8.9% נוספים.

הפגיעה המשמעותית ממחלת הכימשון נובעת מהתפתחות המחלה על הגבעולים הגורמת להיווצרות חיגור ולתמותת הצמחים. מאחר והמחלה מתקדמת מהטרפים הנגועים על גבי הפטוטרות, לגבעולים, הגיוני

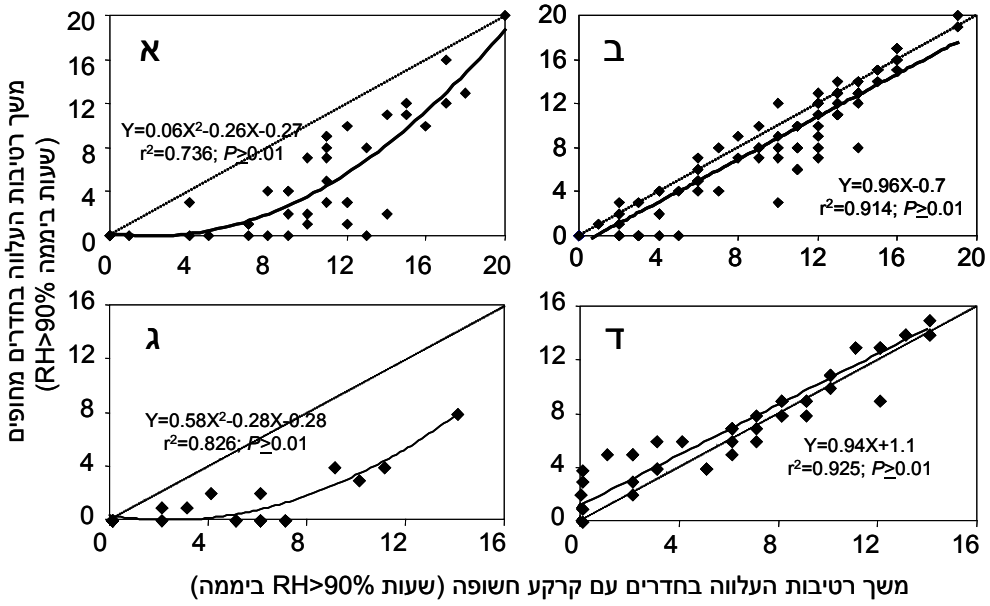
להניח שככל שחומרת המחלה (בעלים) גבוהה יותר, כך תהיה שכיחות הצמחים המתים גבוהה יותר. מכאן עולה שטיפול המפחית את נגיעות העלים יפחית בהמשך גם את תמותת הצמחים. ואכן, בחדרים המחופים בפוליאתילן הייתה תמותת הצמחים נמוכה במובהק מזו שבחדרים החשופים. לעומת זאת, השפעת הריסוס בקוצייד+נימגרד על התמותה לא הייתה מובהקת (איור מספר 8ב'). המסקנה שעלתה מסדרת ניסויים זו היא שלחיפוי הקרקע בפוליאתילן רפלקטיבי השפעה דרמטית על הינגעות הנוף בכימשון. הפחתת הנגיעות בעלים הביאה בסופו של דבר להפחתה משמעותית בתמותת הצמחים בחדרים המחופים. תרומת החיפוי (כטיפול המשנה את המיקרואקלים בחלל המבנה) הייתה גבוהה בצורה משמעותית מתרומת תכשירי ההדברה המותרים בחקלאות האורגנית.



איור מספר 8 .השפעת חיפוי הקרקע בפוליאתילן וריסוס הנוף בתכשירי הדברה (קוצייד 300 ג'/ד'+נימגרד (2% על חומרת הנגיעות בכימשון (א) ועל שכיחות הצמחים המתים מחיגור בגבעול (ב) בניסוי שבוצע בחוות הבשור בעונת 2003/4. הערכות הנגיעות בוצעו ב – 4.3.2004. הקווים האנכיים מייצגים את שגיאת התקן .

כדי שניתן יהיה להשתמש בטכנולוגית חיפוי הקרקע ככלי לבקרת מחלת הכימשון (ומחלות אחרות), חשוב להבין את הגורמים האפידמיולוגים שהביאו בסופו של דבר למניעת הינגעות העלים בגורם המחלה. בניסויים שבצענו במינהרות הנמוכות בעונת 2002/3 ובחדרים של פרויקט 16 בעונת 2003/4 הוצבו קוראי נתונים אלקטרוניים מדגם HOBO שמדדו את הטמפרטורה והלחות היחסית בחדרים שהקרקע שלהם הייתה חשופה ובחדרים שהקרקע שלהם הייתה מחופה בפוליאתילן הרפלקטיבי. קוראי הנתונים הוצבו בגובה של מטר לערך, בתוך נוף הצמחים והמדידות נערכו מידי שעה. חיפוי הקרקע בפוליאתילן רפלקטיבי השפיע על הלחות היחסית וגם על הטמפרטורה. בדו"J זה יפורטו ההשפעות על הלחות היחסית. מקובל להניח (הנחה זו נכונה בקירוב) שעלי הצמחים רטובים כשהלחות היחסית גבוהה מ – 90%. בהסתמך על הנחה זו חישבנו את משך הזמן (בשעות) בו היו הצמחים רטובים בכל אחד מהטיפולים. השוואת משך הרטיבות בין שני הטיפולים הראתה שהיו הבדלים בהשפעות הטיפול בין החלק הראשון של העונה (מתחילת הניסוי עד לשבוע הראשון של חודש ינואר) לבין חלקה השני של העונה (ממועד זה ועד לסוף הניסוי). לכן מוצגות התוצאות באיור 9 בנפרד לכל חלק. בחלק הראשון של העונה הפחית חיפוי הקרקע בפוליאתילן הרפלקטיבי את משך רטיבות הנוף הצורה משמעותית. לדוגמא, בלילות בהם היו הצמחים בחדרים החשופים רטובים למשך 8 שעות היה משך הרטיבות בחדרים המחופים שעתים ופחות ובלילות בהם היה משך הרטיבות בחדרים החשופים 12 שעות היה משך הרטיבות בחדרים המחופים 6 שעות ופחות (איור מספר 9 א' ו – ג'). בתקופה זו התרחשו ההדבקות הראשונות בשתי עונות המחקר. ניתן להניח שקיצור משך תקופת הרטיבות בחדרים המחופים היה הגורם לנגיעות הפחותה, משמעותית, בכימשון בחדרים אלה. זאת מפני שרטיבות לפרקי זמן ארוכים היא תנאי להתפתחות המחלה. המועד בו הפסיק חיפוי הקרקע להשפיעה על תנאי המיקרואקלים בחממה, בשתי השנים, מתאים בקירוב למועד בו הגיעו הצמחים לגובהם המירבי. כמקובל בשיטת גידול העגבניות בהדליה, הוסרו אז עלי הצמח התחתונים והגבעולים הושכבו. במועד זה החלה התקופה השניה בה לחיפוי כבר לא הייתה השפעה. בתקופה זו היה משך הרטיבות בחדרים המחופים זהה בקירוב לאלה של החדרים החשופים (איור מספר 9 ב' ו – ג'). בתקופה זו נדבקו הצמחים שגדלו בחדרים

המחופים ובמקביל חלה התעצמות בחומרת הנגיעות של הצמחים שגדלו בחדרים החשופים. המסקנה שעולה מניתוח זה היא שמשך השפעת החיפוי מוגבלת, והשפעתו היא על ההדבקות המתרחשות (אם מתרחשות) בחלק הראשון של העונה. כפי שנראה בניסויים שבצענו להשפעה זמנית זו עשויים להיות השלכות דרמטיות על בריאות הצמחים גם בהמשך העונה.

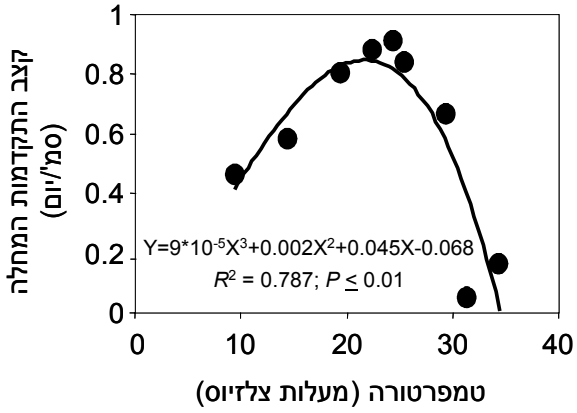


איור מספר 9. משך רטיבות העלווה בחדרים בהם הקרקע הייתה מחופה בפוליאתילן רפלקטיבי בהשוואה למשך הרטיבות באותם הלילות בחדרים שהקרקע שלהם נשארה חשופה. א׳ ו – ב׳: מדידות שנערכו בעונת 2002/3 ; ג׳ ו – ד׳: מדידות שנערכו בעונת 2003/4. א ו – ג׳: מדידות שנערכו מתחילת הניסוי ועד השבוע הראשון של חודש ינואר ; ב׳ ו – ד׳: מדידות שנערכו מהשבוע הראשון של חודש ינואר ועד לסוף הניסוי. הקו המקווקו מבטא התאמה מושלמת בין הערכים המושווים.

ג 3.2 מניפולציה של תנאי המיקרואקלים בחממה למניעת מעבר המחלה מהעלים לגבעולים

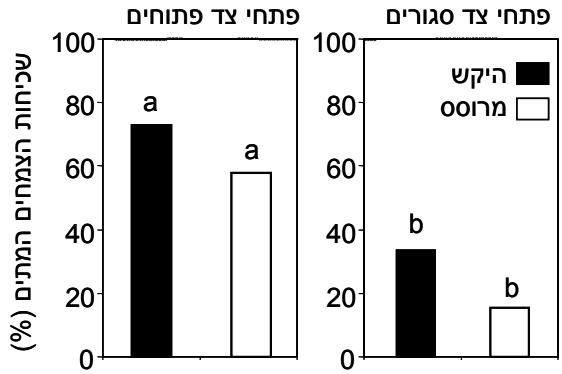
כפי שצוין למעלה הפגיעה המשמעותית ממחלת הכימשון נובעת מהתקדמות המחלה על פטוטרות העלים כלפי הגבעולים. התפתחות המחלה על הגבעולים גורמת, בסופו של דבר, לחיגורים ולתמותת הצמחים. התקדמות המחלה על הפטוטרות מתרחשת גם כששוררת לחות נמוכה וגם כשאברי הצמח הנגועים יבשים. הגורם העיקרי המשפיע על קצב ההתקדמות הוא הטמפרטורה. בסדרת ניסויים שבוצעה בחדרי גידול מבוקרי מחשב נבחנה השפעת הטמפרטורה על קצב התקדמות המחלה על טרפים וגבעולים של צמחי עגבניה. הצמחים גודלו בעציצים ואולחו על ידי הנחת טיפה של תרחיף נבגים על גבי העלעל האחרון של העלה הפרוש הצעיר ביותר. לאחר האילוח כוסו הצמחים בשקיות נילון לשמירה של לחות יחסית גבוהה והוכנסו להדגרה לתא גידול בטמפרטורה של 19±2 מעלות. לאחר 24 שעות הוסרו השקיות והצמחים נשארו בתא הגידול עד שכתמי המחלה עברו מהטרפים המאולחים לפטוטרות של אותם העלים. בשלב זה פוזרו הצמחים לתאי גידול שונים בהם היו טמפרטורות שונות. מידי שניים-שלושה ימים נמדד אורך הכתם שנוצר על הפטוטרות (בתחילה) והגבעולים (לאחד מכן) של הצמחים. הנתונים שימשו לחישוב קצב התקדמות המחלה (סמ׳ ליום) כתלות בטמפרטורה. המחלה התקדמה על פני הטרפים במהירות הרבה ביותר בטמפרטורה של 22 מעלות צלזיוס. בטמפרטורות גבוהות יותר או נמוכות יותר היה קצב התקדמות המחלה איטי יותר. טמפרטורת הסף העליונה (הטמפרטורה הגבוהה ביותר בה המחלה התקדמה) הייתה 34 מעלות צלזיוס. כדי להמחיש את המשמעויות האפידמיולוגיות של השפעת הטמפרטורה בוצע החישוב הבא: בהנחה שטרף הנמצא במרחק של 20 סמ׳ מהגבעול נדבק במחלה, בטמפרטורה של 22 מעלות צלזיוס תגיע המחלה לגבעול בתוך 23 ימים; בטמפרטורה של 30 מעלות המחלה תגיע לגבעול בתוך 36 ימים ובטמפרטורה של 33 מעלות יהיה קצב ההתקדמות כה איטי עד כי יקח למחלה 80 יום להגיע לגבעול. כמובן שככל

שמשך הזמן העובר עד שהמחלה מגיעה לגבעול קצר יותר, כך הסבירות להיווצרות מוקדי נגיעות על הגבעולים גבוהה יותר והנזק שירגם לצמחים יהיה משמעותי יותר.



איור מספר 10. השפעת הטמפרטורה על קצב ההתקדמות הסימפטומים של מחלת הכימשון על פטוטרות וגבעולים של צמחי עגבניה.

בעונת 2003/4 בחנו את השפעת המניפולציה של תנאי מזג האוויר בחלל החממה אחרי שהכימשון התפתח על פטוטרות הצמחים. פתחי הצד של חלק מחדרי הגידול של פרויקט 16 בהם בוצע הניסוי נפתחו מידי בוקר כרגיל, ואלה של החדרים האחרים נשארו סגורים גם במשך היום (פתחי הצד של כל החדרים היו סגורים במהלך הלילה). הטמפרטורה ששררה בחדרים שפתחי הצד שלהם נשארו סגורים במשך היום הייתה גבוהה ב – 2 עד 5 מעלות מזו של החדרים שפתחי הצד שלהם נפתחו במשך היום. ברוב הימים הטמפרטורה המרבית הייתה גבוהה מ – 22 מעלות צלזיוס (הטמפרטורה המיטבית להתקדמות המחלה על הפטוטרות) ועובדה זו גרמה לכך שבחדרים בהם פתחי הצד היו סגורים התקדמות המחלה כלפי הגבעולים הואטה, מוקדי נגיעות על הגבעולים נוצרו בפחות צמחים ושכיחות הצמחים המתים הייתה נמוכה במובהק מזו שבחדרים בהם פתחי הצד נפתחו מידי יום (איור מספר 11). בחדרים שפתחי הצד שלהם לא נפתחו הייתה הלחות היחסית גבוהה מזו של החדרים האחרים, אך לעובדה זו לא היתה כנראה השפעה מכרעת על התקדמות המחלה כלפי הגבעולים ועל תמותת הצמחים.

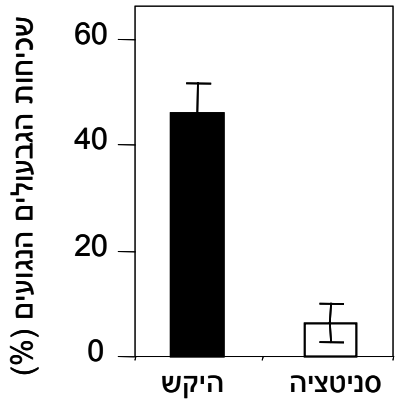


איור מספר 11. השפעת ההמנעות מפתיחת פתחי הצד של החממות במשך היום וריסוס הנוף בתכשירי הדברה (קוצייד 300 ג'/ד'+נימגרד2%) על שכיחות צמחי העגבניה שמתו עקב היווצרות חיגור של מחלת הכימשון על הגבעולים עליהם, בניסוי שבוצע בחוות הבשור בעונת 2003/4. ערכים בעמודות שלידן אותיות שונות שונים זה מזה במובהק כנקבע על ידי מבחן LSD.

ג 3.3 סניטציה של רקמות נגועות

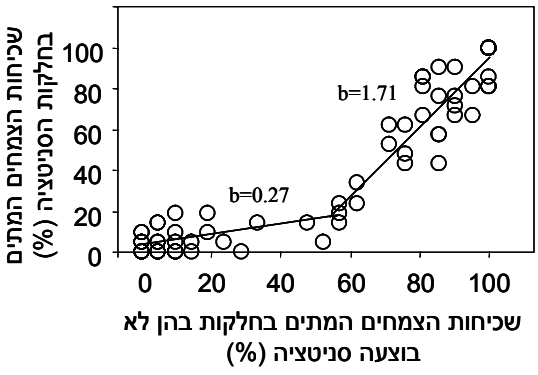
דרך אחרת באמצעותה ניתן למנוע את היווצרות מוקדי הנגיעות על הגבעולים ואת תמותת הצמחים היא על ידי סניטציה: הסרת העלים הנגועים לפני שהמחלה הגיעה לגבעולים. במקרים בהם המחלה כבר הגיעה לגבעולים ניתן לקטום את הגבעול מתחת למקום הפגוע ולאפשר לענפים צדדים להתפתח ולהפוך לגבעולים ראשיים חלופיים. בחדרים של "פרויקט 16" בתחנת הניסיונות בשור נבחנה בעונת 2002/3 ההשפעה של טיפול הסניטציה. אלה היו תצפיות שיחידת הניסוי בהן הייתה חצי חדר. לאחר זיהוי הסימפטומים הראשונים של המחלה (ב – 16 לינואר, 2003) הוסרו העלים ו/או הגבעולים הנגועים מכל הצמחים בחצי של כל אחד מהחדרים. השפעת הטיפול הוערכה על ידי ספירת הצמחים שעל הגבעולים שלהם היו מוקדי נגיעות של מחלת הכימשון. לסניטציה הייתה השפעה גדולה על מעבר הכימשון לגבעולים: באזורים בהם לא הוסרו העלים הנגועים התפתח כימשון על

הגבעולים ב – 45% מהצמחים בעוד שבאזורים בהם בוצעה הסניטציה והוסרו העלים הנגועים התפתחו מוקדי נגיעות בגבעולים של רק 8% מהצמחים (איור מספר 12). ההבדלים אלה משמעותיים ביותר מפני שכימשון שהתפתח על הגבעולים גרם בסופו של דבר לחיגורם ולתמותת כל האיברים הצמחיים הנמצאים מעל מקום החיגור (תוצאות לא מוצגות).



איור מספר 12. השפעת הסניטציה (הסרת עלים וגבעולים נגועים) על שכיחות הצמחים שבגבעוליהם היו מוקדי נגיעות של מחלת הכימשון. התוצאות הן מתצפית שבוצעה בחממת עגבניות אורגנית בחוות הבשור, בעונת 2002/3. הקווים האנכיים מייצגים את שגיאת התקן.

בעונת 2003/4 חזרנו ובחנו את יעילות טיפול הסניטציה. כפי שצוין למעלה הניסויים שבוצעו בפרויקט 16 בעונה זו היו במתכונת של ניסוי תלת-גורמי בחלקות מפוצלות פעמים. כזכור, הגורם הראשון בחדרים (ששימשו כחלקות הראשיות) היה חיפוי הקרקע והגורם השני בשורת צמחים כפולה לאורך 10 מ׳ (ששימשו כחלקות המשנה הראשיות) היה טיפול הריסוס. עתה יפורט הגורם השלישי בניסוי זה – הסניטציה. כל חלקת משנה ראשית חולקה לשנים: שורת צמחים אחת לא טופלה כלל ונשארה כהיקש, ושורת הצמחים השנייה עברה טיפול רצוף של סניטציה. גודל חלקת משנה משנית (בתוך כל חלקת משנה ראשית) היה, אם כן, שורת צמחים לאורך 10 מ׳. החל מסוף ינואר הוערכה שכיחות הצמחים המתים בכל חלקות המשנה המשניות. כדי לאמוד את התרומה הבלעדית של הסניטציה, בנפרד מהשפעות הטיפולים האחרים (חיפוי הקרקע בפוליאתילן וריסוסי הנוף), השוונו את שכיחות הצמחים המתים בשורה שעברה סניטציה לשכיחות הצמחים המתים בשורה הסמוכה (באותה החלקה), בה לא הורחקו אברי הצמחים הנגועים. ההשוואה כללה את כל חלקות הניסוי בכל החדרים. התברר, שתרומת הסניטציה הייתה תלויה בפוטנציאל הנגיעות אותו ניתן לאמוד על פי שכיחות הצמחים שמתו בחלקות בהן לא בוצעה סניטציה. עד לשכיחות תמותה של 55% בחלקות ההיקש, לסניטציה הייתה תרומה מכרעת: היא אפשרה להפחית את שכיחות הצמחים המתים ב – 73%. זאת, על פי שיפוע קו הרגרסיה הראשון באיור מספר 13 (b=0.27). מכאן עולה שכאשר עלתה שכיחות הצמחים המתים בחלקות בהם לא בוצעה סניטציה ב – 1%, בחלקות בהן בוצעה סניטציה עלתה שכיחות הצמחים המתים ב - 0.27% בלבד. אבל, כששכיחות הצמחים המתים בחלקות ההיקש הייתה גבוהה מ - 55%, תרומת הסניטציה קטנה וכאשר בחלקות ההיקש הייתה שכיחות תמותת הצמחים 80% ומעלה, לסניטציה כבר לא הייתה השפעה משמעותית (איור מספר 13). המסקנה שעולה מסדרת ניסויים זו היא שהסניטציה היא כלי רב עוצמה בהתמודדות עם מחלת הכימשון והיא מאפשרת, אם תיושם בזמן, למנוע את הנזק העיקרי של מחלה זו – תמותת הצמחים.



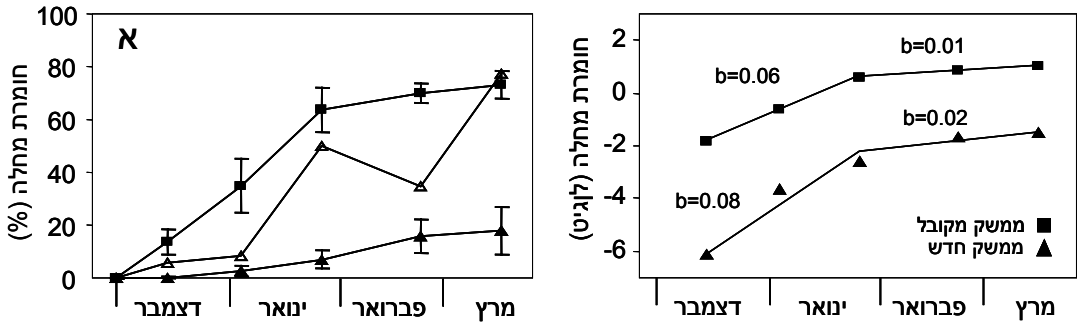
איור מספר 13. השפעת הסניטציה על שכיחות צמחי העגבנייה שמתו כתוצאה מהתפתחות מחלת הכימשון על הגבעולים, בניסוי שבוצע בחוות הבשור בעונת 2003/4. כל נקודה מסמלת חלקת ניסוי שקבלה אותו טיפול ריסוס וחיפוי קרקע. ערכי תמותת הצמחים בתאריך 4.3.2004 שימוש לחישוב המתאם שבין שכיחות הצמחים המתים בחלקות הסניטציה ובחלקות ההיקש. משוואת הרגרסיה במקטעים: $Y=3.1+0.27X_1+1.44(X_1-55.0)X_2$, כאשר: Y=שכיחות הצמחים המתים בחלקות הסניטציה; X_1=שכיחות הצמחים המתים בחלקות בהן לא בוצעה סניטציה; X_2=משתנה דמא: $X_2=0$ כאשר $X_1<55$ ו – $X_2=1$ כאשר $X_1 \geq 55$. מקדם המתאם המרובה $R^2=0.9677$; $P>0.00001$.

ג4. פיתוח ממשק להדברה משולבת של כימשון בחממות אורגניות

בהתבסס על תוצאות הניסויים שתוארו לעיל פותח ממשק להדברה משולבת של כימשון בעגבניות בגידול האורגני. על פי ממשק זה ההתמודדות עם המחלה נעשית עלידי שילוב של אמצעים אגרוטכניים (חיפוי הקרקע בפוליאתילן רפלקטיבי וסניטציה) ואמצעים כימיים (ריסוסי קוצייד+נימגרד) תוך התבססות על ניטור לזיהוי סימני המחלה ומידע אודות תנאי מזג האוויר החזויים. עקרונות הממשק ידונו ויפורטו בסעיף ד׳ להלן. מהלך עונת 2004/5 נבחן הממשק החדש במערת הניסויית של חוות הבשור ויושם כחלק מפרויקט של הדברה משולבת של מחלות ומזיקים בסדרת תצפיות בחממות עגבניה מסחריות בניהולו של יואל מסיקה.

ג 4.1. בחינת הממשק החדש במערכת ניסויית

בניסוי שבוצע בחוות הבשור נבחן הממשק החדש בהשוואה לממשק המקובל (ריסוס מניעתי של תכשירי הדברה) בחדרים של פרויקט 16. כל אחד מהממשקים יושם בארבעה חדרי גידול. גם בעונה זו התפתחה מגיפת כימשון טבעית בחדרי הגידול וסימני המחלה הראשונים נראו במהלך חודש נובמבר. בחדרים בהם יושם הממשק המקובל התפתחה המחלה בעוצמה רבה למרות שיושמו ריסוסי קוצייד+נימגרד תכופים. בסופו של דבר נפגעו הצמחים בחדרים אלה בצורה קשה. השפעת הממשק החדש הייתה וריאבילית. בעוד שבשלושה מארבעת החדרים (החזרות) הייתה הנגיעות נמוכה יותר מזו שהתפתחה בחדרים בהם יושם הממשק המקובל במשך כל העונה, הרי שבחדר הגידול הרביעי בו יושם הממשק החדש התפתחה המחלה בעוצמה גבוהה ובסופו של דבר הייתה הנגיעות בחדר זה דומה לזו שהתפתחה בחדרים בהם יושם הממשק הרגיל (איור מספר 14א). קורא נתונים אלקטרוני שהוצב בחדר זה הראה שחיפוי הקרקע בפוליאתילן הרפלקטיבי לא השפיע על משך הרטיבות והוא היה דומה למשך התקופה שנמדדה בחדרים החשופים. בחדרים המחופים האחרים הפחית החיפוי את משך הרטיבות כפי שמצאנו בניסויים הקודמים. ממצא זה עשוי להסביר את הסיבה להתפרצות המחלה בחדר זה אך אין לנו הסבר מדוע לא השפעת החיפוי על תנאי המיקרואקלים בחדר זה הייתה שונה מזו של החדרים המחופים האחרים. השוואת עקומי התקדמות המחלה (אחרי שערכי הנגיעות עברו טרנספורמציה לערכי לוגית) מלמדת שההבדלים בחומרת המחלה בין שני הממשקים במהלך כל העונה נבעו מההשפעה של חיפוי הקרקע על ההדבקות הראשוניות, אלה שהתרחשו בתחילת המגיפה. לאחר שהתרחשו ההדבקות הראשונות, ובמשך כל העונה, היה קצב התקדמות המחלה בשני הטיפולים דומה (איור מספר 14ב). ממצא זה מתאים לאלה שהתקבלו בניסויים הקודמים לגבי השפעת החיפוי על המגיפות.



איור מספר 14. השפעת ממשק ההדברה על התפתחות מחלת הכימשון בניסוי שבוצע בחוות הבשור בעונת 2004/5. א. עקומי התפתחות המחלה באחוזים. העקום המסומן במשולש ריק מתאר את התפתחות המחלה בחדר בו יושם הממשק החדש, שהתפתחות המחלה בו הייתה שונה מהחדרים האחרים בטיפול זה. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן של ארבע (ממשק מקובל) או שלוש (ממשק חדש) החזרות שנכללו בניסוי. ב. עקומי התפתחות המחלה לאחר שערכי הנגיעות עברו טרנספורמציה לערכי לוגיט. קצב התקדמות המחלה היחסי (apparent infection rate, b) מצויינים ליד העקומים.

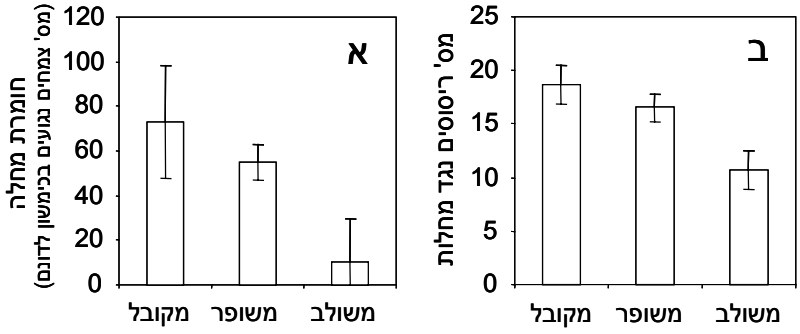
ג 4.2. בחינת הממשק החדש בתצפיות מסחריות

במסגרת פרויקט בו נבחנת יעילותו של ממשק הדברה ביולוגית משולבת בעגבניות (בגידול קונבנציונאלי) בוצעו תצפיות בארבע משקים המגדלים עגבניות לשוק המקומי באזור מושבי אשכול. בכל אחד מהמשקים נבדקו שלוש ממשקי הדברה:

1. משטר ההדברה הקונבנציונלי (להלן "משטר מקובל") שכלל זן רגיש לצהבון האמיר, רשתות 50 מש והדברה כימית כנגד מחלות ומזיקים בחממה ללא חיפוי קרקע בפוליאתילן אפור, וללא כיסוי גג ביריעות בולעות UV.
2. משטר הדברה משופר (להלן "משטר משופר") שכלל זן רגיש לצהבון האמיר, רשתות 50 מש חיפוי קרקע בפוליאתילן אפור כיסוי גג ביריעות בולעות UV. פיזור אקריות טורפות כנגד אקרית הקורים, וריסוסים כימיים כנגד מחלות ומזיקים במידת הצורך.
3. משטר הדברה ביולוגי משולב (להלן "משטר משולב") שכלל: זן עמיד לצהבון האמיר, רשתות 30 חיפוי קרקע בפוליאתילן אפור חיפוי גג ביריעות בולעות UV. שימוש באויבים טיבעיים, וריסוסים כימיים כנגד מחלות ומזיקים במידת הצורך.

גודל כל חממה היה 2-5 דונם, כל החממות (14 במספר) נשתלו במהלך חודש ספטמבר בכל אחד מהמשקים נבדקו מספר פרמטרים בניהם: נגיעות הצמחים במחלות ומזיקים בחממות השונות, יומני ריסוסים שמולאו על ידי המגדלים, שאריות תכשירי הדברה באמצעות בדיקות מעבדה שבוצעו ע"י מעבדת בקטוכם, יבול העגבניות מהצמחים בכל אחד מהחממות, ונתוני מיקרואקלים ע"י הצבת אוגרי נתונים של טמפרטורה ולחות יחסית בכל אחד מהמבנים שבפרויקט. הדו"ח המסכם של סדרת תצפיות זו יפורסם במועד אחר על ידי יואל מסיקה. כאן יוצגו הממצאים הקשורים לתוכנית מחקר זו.

מחלת הכימשון התפתחה בכל החממות, בכל המשקים שהשתתפו בפרויקט. חומרתה הייתה שונה בין המשקים השונים ובין הממשקים שנבחנו. בממוצע, הנגיעות הגבוהה ביותר התפתחה בחממות בהן יושם הממשק המקובל, למרות שבממשק זו יושם מספר הריסוסים הגבוה ביותר. הנגיעות בחממות בהן יושם הממשק המשופר הייתה נמוכה יותר במעט והמספר הממוצע של הריסוסים שיושמו כנגד מחלות היה נמוך יותר (שני ריסוסים פחות). בחממות בהן יושם הממשק המשולב הייתה הנגיעות הנמוכה ביותר ויושמו בהן 8 ריסוסים פחות (בממוצע) מאשר בחממות הממשק המקובל. ממצאים אלה מצביעים על כך ששילוב של אמצעי הדברה מאפשר להפחית את מספר הריסוסים המיושם בלי פגיעה (אלא להפך) באיכות ההדברה המושגת.



איור מספר 15. בחינת ממשקי גידול שונים במשקי מודל בעונת 2004/5. א. חומרת הנגיעות בכימשון ; ב. מספר הריסוסים שיושמו כנגד מחלות. הערכים הם ממוצעים אל ארבעה משקי מודל. הקווים האנכיים מיצגים את שגיאת התקן.

ד. דיון ומסקנות

הצורך בביצוע מחקר זה הגיע מה"שטח". קיימת בעיה אמיתית בהתמודדות עם מחלת הנוף של העגבניה בגידול חממה ובמיוחד עם מחלת הכימשון. הכימשון מתפתח באזורי הגידול העיקריים בישראל כמעט מידי שנה. בגידול הקונבנציונאלי ניתן להתמודד עם המחלה על ידי שימוש בתכשירי הדברה כימיים, שחלקם יעילים מאד כנגד הפתוגן. ואכן, מגדלי העגבניות מרססים את החממות שלהם בתכיפות ומיישמים 10 עד 25 ריסוסים בעונה. בגידול האורגני מותר להשתמש רק בתכשירי נחושת, שיעילותם מוגבלת, וכשתנאי הסביבה מעודדים את התפתחות הפתוגן לא ניתן למנוע את ההתפתחות המחלה ונגרמים נזקים קשים. כפי שכבר צוין צפוי שבעתיד הקרוב הבעיה עוד תחריף כי לא ניתן יהיה עוד להשתמש בתכשירי נחושת. לא מן הנמנע שיהיו שנים בהם יושמד הגידול ועתידו עשוי לעמוד בסימן שאלה. עקב כך המשימה שעמדה לפנינו הייתה משימה יישומית בעיקרה וכך גם הגדרנו את המטרה המרכזית של המחקר: לפתח ממשק הדברה חלופי שיאפשר להתמודד עם מחלת הכימשון בצורה טובה. המחקר התמקד בחקלאות האורגנית אבל ניתן יהיה ליישם את הממצאים שעלו ממנו גם בחקלאות הקונבנציונאלית, זאת עקב הדרישה לצמצום מספר הריסוסים המיושם בגידולים חקלאיים. למרות שהוגדרה למחקר זה מטרה יישומית, לא היה מנוס מהתמודדות עם נושאים עקרוניים יותר מפני שהבנת הגורמים המשפיעים על המגיפה והנזק כמו גם הבנת ההשפעות של האמצעים בהם השתמשנו על גורם המחלה הם הבסיס לפיתוח ממשק הדברה יעיל, אפקטיבי והדיר.

אחד הממצאים החשובים שעלו מעבודה זו היה ההכרה שיש לחלק את התפתחות מגיפות הכימשון בחממות עגבנייה לשני שלבים. השלב הראשון הוא שלב ההדבקה. מנבגי המחלה המהווים את מקור המידבק ההתחלי חודרים לחלל המבנים מבחוץ (סביר להניח שהפטרייה לא שורדת בתוך החממות עצמן) ומדביקים את טרפי הצמחים. עוצמת הנגיעות תלויה בכמות המידבק ההתחלי ובתנאי הסביבה. גורם הסביבה העיקרי המשפיעה על עוצמת הנגיעות הוא הרטיבות. ההדבקה מתרחשת רק כשנוף הצמחים רטוב וככל שמשך תקופת הרטיבות ארוך יותר, כך תהיה עוצמת הנגיעות גבוהה יותר. גם לטמפרטורה השפעה על התהליך אך היא פחותה מהשפעת הרטיבות. בהמשך, שכתנאי הסביבה מתאימים, מתרחשים מחזורי הדבקה נוספים ומקור המידבק עשוי להיות מבחוץ או מתוך החממה. למרות שהפגיעה בעלווה עלולה להיות משמעותית הנזק הנגרם ממנה לצמחים, בטווח הארוך, אינו רב. זאת משום שצמח העגבניה הוא בעל כושר צימוח רב וכמות העלווה הנוצרת גדולה מזו הנדרשת למילוי הפירות. הראיה, המגדלים מסירים את העלים "העודפים" ללא פגיעה ביבול. בשלב השני (שלעיתים מתרחש במקביל לשלב הראשון) מתקדמת המחלה על פטוטרות העלים, מהטרפים הנגועים כלפי הגבעול. ההתקדמות מתרחשת גם כשלא שוררת רטיבות וגם כשהלחות היחסית של האוויר נמוכה. קצב התקדמות המחלה על הפטוטרות תלוי רק בטמפרטורה והוא עשוי להגיע עד ל - סמ' ליום. כשהמחלה מגיעה לגבעולים היא מתפתחת עליהם, יוצרת מוקדי נגיעות שבהמשך עלולים לגרום לחיגור ולתמותת החלקים הצמחיים הנמצאים מעליהם. מאחר וצמחי העגבניה המגודלים בחממות הם בעלי גבעול אחד, במקרים רבים מת הצמח כולו. בתצפיות ובניסויים שבצענו במחקר זה עלה שהנזק המשמעותי הנגרם לצמחי העגבניה מכימשון הוא תוצאה של תמותת הצמחים (שנגרמה מכתמי הגבעול) ולא תוצאה של הפגיעה בעלים. מכאן היסקנו שהמטרה המרכזית של אסטרטגית ההתמודדות עם הכימשון צריכה להיות מניעת היווצרות מוקדי נגיעות על הגבעולים. ניתן להשיג זאת על ידי כמה קווי הגנה. מטרת קו ההגנה הראשון היא למנוע את הדבקת הטרפים. זאת, על ידי הפחתת כמות המידבק ההתחלי (הנמצא במרבית המקרים מחוץ לחממה), מניפולציה של תנאי המיקרואקלים בחממה (ובמיוחד הפחתה של משך הזמן בו העלווה רטובה), ושימוש בתכשירי הדברה. קו ההגנה השני מופעל אם הקו הראשון "נפרץ" והמחלה בכל זאת ניגעה את הטרפים. מטרתו – להאט ואם אפשר למנוע את התקדמות המחלה מהטרפים הנגועים אל עבר הגבעולים. זאת, על ידי הרחקת אברי הצמח הנגועים (סניטציה) והעלאת טמפרטורת האוויר בחלל החממה אל מעבר לזו המתאימה להתקדמות הפתוגן על פטוטרות העלים. בשורות הבאות יפורטו הממצאים העיקריים והמסקנות שעלו לגבי כל אחד מאמצעי ההדברה שצוינו.

הפחתת כמות המידבק ההתחלי. נושא זה לא היה חלק מתוכנית מחקר זו אולם הוא נחקר בתוכנית מקבילה העוסקת בפיתוח ממשק להתמודדות עם כימשון בגידול תפוחי אדמה אורגניים. במהלך התוכנית המקבילה נערך סקר מקיף שמטרתו הגדרת מקורות המידבק העיקריים של הכימשון. ניתוח תוצאות הסקר הראו שמקור המידבק העיקרי של הכימשון מזבלות אליהם הושלכו בעונה הקודמת צמחי עגבניה נגועים. ממחקריו של פרופ׳ יגאל כהן מאוניברסיטת בר-אילן ידוע שאברי הריבוי המיני של הפתוגן (אואוספורות) עלולים להיווצר בפירות עגבניה נגועים, לשרוד בין עונות הגידול ולהוות מקור מידבק ראשוני בעונה העוקבת. אם מזבלות היו מקור מידבק עיקרי לשדות תפוחי האדמה, סביר להניח שהם שימשו גם כמקור מידבק לחממות העגבניה. השמדת הצמחים הנגועים במזבלות עשויה להביא להפחתה משמעותית בכמות המידבק ההתחלי של הכימשון המסכן את שני הגידולים.

מניפולציה של תנאי המיקרואקלים בחממה. לחיפוי הקרקע בפוליאתילן רפלקטיבי הייתה השפעה משמעותית על רטיבות נוף הצמחים וכתוצאה מכך גם על השלבים הראשונים של התפתחות המחלה. ההבדלים בעוצמת הנגיעות בין צמחים שגדלו בחדרים שהקרקע שלהם חופתה בפוליאתילן לצמחים שגדלו בחדרים שהקרקע שלהם נשארה חשופה גרמו בהמשך – לאחר שהמחלה עברה מהטרפים לגבעולים – להבדלים דרמטיים בתמותת הצמחים. נעשה כאן שימוש בביטוי שלא מקובל להשתמש בו בדו״חות מדעיים כדי להדגיש את ההשפעה יוצאת הדופן של הטיפול. להמחשה, מובאות כאן תמונות שצולמו בשני חדרים סמוכים בניסוי שבוצע בעונת 2003/4 (איור מספר 16). מדידות שנערכו במהלך הניסויים העלו שהשפעת חיפוי הקרקע מוגבלת בזמן – עד לראשית חודש ינואר. התברר גם שהשפעתו עלולה להיות וריאבילית (כפי שקרה בניסוי שבצענו שעונת 2004/5). לכן, לדעתנו, יש חשיבות רבה להבנת המנגנון הפיסיקלי וההשפעות האפידמיולוגיות של חיפוי הקרקע. זו לא הייתה מטרת מחקר זה ולכן לא עסקנו בנושאים אלה. אמצעי אחר בו ניתן להשתמש לשם מניפוציה של תנאי המיקרואקלים בחממה הוא מעבר מרשתות 50 מש לרשתות של 30 מש. נושא זה לא נבחן במסגרת מחקר זה והוא חלק מפרויקט ההדברה המשולבת המתבצע באזור הדרום בניהולו של יואל מסיקה. המעבר לרשתות עם הפתחים הגדולים יותר משפר את מאזן הרטיבות בחממה אך עלולות להיות לו השפעות שליליות על התפתחות הצמחים ועל חדירת מזיקים למבנה.

שימוש בתכשירי הדברה. הדברה כימית היא הכלי הבסיסי להתמודדות עם מחלות צמחים. יישום מושכל של תכשירי הדברה צריך להיות חלק בכל ממשק הדברה שהוא. לכן, השקענו במהלך המחקר מאמצים רבים למציאת תכשירי הדברה המתאימים לחקלאות האורגנית שישמשו כתחליף לתכשירי הנחושת כשזו תצא משימוש. בניסויים שבצענו בתנאים מבוקרים בחנו את כל התכשירים שסופקו לנו על ידי יצרנים ויבואנים שונים ומצאנו כמה תכשירים מבטיחים. שלושה מהם נבחנו גם בניסויים המדמים את המצב בחממות מסחריות אך התברר שהם לא יעילים מספיק. התוצאה היא שלא קיים כיום, למרות המאמצים, תכשיר חלופי לנחושת. לכן, לא תהיה ברירה לכן אלא להמשיך ולהשתמש בתכשירי נחושת בתקופה הקרובה. במקביל, נקטנו בגישה שונה ובחנו אפשרויות שונות לאופטימיזציה של השימוש בתכשירי נחושת בהנחלה שניתן יהיה להפחית את הריכוזים המיושמים. מצאנו שיישום במשולב של נחושת ונימגרד שיפר בצורה סינרגיסטית את פעילות הנחושת. ממצא זה העלה את האפשרות שניתן יהיה להפחית את ריכוזי הנחושת המיושמים בלי לפגוע ביעילות ההדברה. אולם, בניסויים שבצענו בחממות חוות הבשור התברר שבחלק מהמקרים גם הטיפול המקובל (מינון מלא של קוצייד) לא היה יעיל דיו. תוצאה זו התקבלה בניסויים שבוצעו בשנים שונות והריסוסים יושמו על ידי רססים שונים, כך שלא סביר שהיא תוצאה של בעיות טכניות. אין לנו הסבר לממצא זה, אך הוא צריך להדליק ״נורה אדומה״ לגבי יעילות הטיפול המקובל בחממות מסחריות.

הרחקת אברי הצמח הנגועים (סניטציה). לסניטציה הייתה השפעה רבה על בריאות הצמחים בניסויים שבצענו. יעילות הטיפול הייתה תלויה בעוצמת המחלה. במקרים בהם בוצעה הסניטציה בחלקות עם נגיעות נמוכה או

בינונית, אפשר היה למנוע את היווצרות מוקדי הנגיעות על הגבעולים ולהפחית את תמותת הצמחים. אולם, בחלקות עם נגיעות גבוהה טיפול זה לא היה יעיל. מכאן עולה שהסניטציה צריכה להיות מרכיב אחד, ולא המרכיב היחיד, בממשק ההתמודדות עם המחלה.

העלאת טמפרטורת האוויר בחלל החממה. אי פתיחת פתחי הצד במשך היום הביאה לעלית הטמפרטורה ולהאטת קצב הקדמות המחלה על הטרפים. בעקבות כך מתו פחות צמחים בחדרים הללו. אמצעי זה, גם אם הוא יעיל, חייב להיות מיושם בזהירות ובצורה מושכלת. ניתן להשתמש בו רק את קיימת נגיעות בעלים, ובימים בהם הטמפרטורה המרבית החזויה גבוהה מ – 22 מעלות צלזיוס. במקרים בהם הטמפרטורה המרבית החזויה נמוכה יותר יש סכנה שאי פתיחת פתחי הצד תגרום להיווצרות תנאים מיטביים להתקדמות המחלה.

כל האמצעים המפורטים למעלה נכללו בממשק החדש שפיתחנו להתמודדות עם מחלת הכימשון בעגבניות חממה אורגניות. בחינת הממשק החדש, בהשוואה לממשק המקובל כיום בניסוי מסודר ובתצפיות מסחריות אוששו את יעילותו. נקודה ראויה לציון היא שמרבית האמצעים הנכללים בממשק המוצע אינם אמצעים כימיים וניתן להשתמש בהם מיידית וללא כל חשש בחקלאות האורגנית. יותר מכך, הם גם מתאימים למטרות הנוכחיות של הפחתת השימוש בתכשירי הדברה בחקלאות הקונבנציונאלית. כפי שצוין בפרק המבוא מחקר זה התמקד במחלת הכימשון. אולם, חלק מהאמצעים בהם השתמשנו יעילים כנגד גורמי מחלה "אוהבי לחות" אחרים. בניהם עובש אפור, עובש עלים וקמחונית. במהלך הניסויים נאספו נתונים לגבי יעילות הטיפולים כנגד מחלות אלה והם יפורסמו במקומות אחרים.

איור מספר 16 .השפעת חיפוי הקרקע בפוליאתילן רפלקטיבי על התפתחות מחלת הכימשון בחדרי פרויקט 16 בחוות הבשור בניסוי שבוצע בעונת 2003/4. א. חדר שהקרקע שלו חופתה בפוליאתילן ; ב. חדר שהקרקע שלו נשארה חשופה.