

פיתוח גישה מערכתית להתמודדות עם קומפלקס של פתוגנים (נמטודות נודדות מהסוג

*Pratylenchus*, פיתויס ופתוגנים נוספים) בגידולי ירקות

**Developing an integrated management approach, against the new migratory nematode *Pratylenchus capsici* in pepper greenhouses**

דוח מדעי מסכם לתכנית מחקר מס' 20-07-0012 (מס' מנהל המחקר 21-4544-459)

שנת המחקר: 3 מתוך 3 שנים. מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

מוגש לצוות היגוי הדברה ידידותית לסביבה ע"י

אברהם גמליאל, מרינה בניחיס - המחלקה ליישום שיטות הדברה, המכון להנדסה חקלאית, מכון וולקני

סיגל בראון - המחלקה לאנטומולוגיה והיחידות לנמטולוגיה וכימיה, המכון להגנת הצומח, מכון וולקני, בית דגן

פטריסיה בוקי, המחלקה לאנטומולוגיה והיחידות לנמטולוגיה וכימיה, המכון להגנת הצומח, מכון וולקני, בית דגן

סבטלנה זוברינין, משרד החקלאות ופיתוח הכפר שירות ההדרכה והמקצוע לשכת הדרכה נגב

תמר אלון, משרד החקלאות ופיתוח הכפר שירות ההדרכה והמקצוע לשכת הדרכה בקעת הירדן

**Abraham Gamliel**, Laboratory for Pest Management Research, Institute of Agricultural Engineering the Volcani Center, Bet Dagan, Israel

E-mail: [agamliel@agri.gov.il](mailto:agamliel@agri.gov.il)

**Sigal Braun**, Department of Entomology and the Units of Nematology and Chemistry, the Volcani Center, Bet Dagan, Israel

E-mail: [sigalhor@agri.gov.il](mailto:sigalhor@agri.gov.il)

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים, התוצאות לא מהוות המלצות למגדלים

החוקר האחראי: אברהם גמליאל וסיגל בראון



חתימת החוקר האחראי:

תשפ"א פברואר 2021

## תקציר

בשנים האחרונות התגברה התחלואה בשורשי פלפל ע"י נמטודה נודדת מסוג *Pratylenchus*. באמצעים מורפולוגיים ובשיטות מולקולריות זיהינו והגדרנו נמטודה חדשה שטרם דווח על קיומה בארץ או בעולם. קבענו את שמה של הנמטודה על פי הפונדקאי הראשי (פלפל) שעל שורשיו נתגלתה לראשונה - *Pratylenchus capsici*. ההגדרה והשם נבחנו על ידי הקהילה המדעית הבינלאומית, ואושרו. שורשי סולניים (עגבניות, חצילים) ובמידה פחותה דלועיים (מילון, מלפפון, אבטיח) משמשים אכסניה ל-*P. capsici*, בנוסף לשורשי פלפל, ומציבים את מרבית גידולי הירקות בערבה בסיכון להיפגע מ-*P. capsici*. הנמטודות *P. capsici* מאכלסות שורשי עשבים ממינים שונים כגון, כף אווז, חלמית, מרור הגינות וזיפן, בערכים משתנים. לנגיעות בעשבים חשיבות רבה בהיותם מקור ראשוני של האוכלוסייה או כפונדקאים אשר שומרים על האוכלוסייה. יתר על כן, נוכחות מספר גבוה של האפלוטיפים על עשבי הבר לעומת מספרם על הפלפל מחזק כיווניות זו, ומקורם של אלו מקור ראשוני לאילוח החלקות. תיעדנו נוכחות מסיבית ודומיננטית של הפטריה הביוטרופית *Oplidium brassicae* בשורשי פלפל נגועים ב-*Pratylenchus capsici*. פטריה זו ידועה כווקטור להעברת וירוסים וגם כפתוגן לעת מצוא אשר מסוגל לגרום את ניוונם של צמחים. אולם, מלבד נוכחותם של הפטריה והנמטודה בשורשי פלפל, לא הצלחנו לבסס קשר או השפעת גומלין בין השניים בהשפעתו על שעור התחלואה בשורשי פלפל. התבססות *P. capsici* בשורשי הצמחים היא מהירה, ולאחר השתילה *P. capsici* מאכלס בצפיפות את שורשי צמחים בחלקות מאולחות. הנגיעות המסיבית משפיעה על הדיכוי בהתפתחות הצמחים, על גובהם הסופי, ועל היבול. שעור הנמטודות בשורשים פוחת בהתאמה לשינויי הטמפרטורה העונתיים. חישוב השטח מתחת לעקום אכלוס השורשים ב-*P. capsici* Area Under Nematode Progress Curve (AUNPC), מציג כי מרבית ערך AUNPC בחלקות נגועות נצבר בארבעת החודשים הראשונים לגידול ומשפיע באופן מכריע על התפתחות הצמחים (גובה) ועל היבול.

אכלוס מסיבי של *P. capsici* בשורשים מותיר מדבק גבוה של נמטודות בתום העונה. יתר על כן, אנו רואים גידול משמעותי של נמטודות בעומק הקרקע בתום עונת הגידול. סביר מאד שאוכלוסיות של *P. capsici* ששורדות בעומק שמתחת לשכבת העיבוד מהווים מקור אינוקולום לגידול העתידי. לא ברור לנו עדיין האם תנועה אנכית של *P. capsici* מתרחשת בתנועה אקטיבית עצמאית או ניצול השורשים כנתיב להתקדמות. ממצאים אלה ממחישים את הצורך בטיפול יעיל בקרקעות בהם מדבק גבוה של *P. capsici* לפני שתילת גידול רגיש.

ממשק הדברה משולב שכולל את קטילת השורשים בתום עונת הגידול וחיטוי קרקע טרם הגידול הרלוונטי מצמצם את אכלוס השורשים ב-*P. capsici* לשעור אפסי ומקנה ההצלחה בהדברת *P. capsici* במהלך עונת הגידול. בתום עונת הגידול נותר בקרקע מדבק מספיק לגרום תחלואה רבה בעונה העוקבת, כפי שראינו בגידול שני בשתי חלקות ניסוי. ההישרדות היא גם באמצעות נדידתם לעומק הקרקע בתום עונת הגידול. סביר מאד שאוכלוסיות של *P. capsici* ששורדות בעומק שמתחת לשכבת העיבוד מהווים מקור אינוקולום לגידול העתידי. לכן, ממשק הדברה מתחייב לפני כל עונת גידול, כדי להבטיח את בריאות הגידול. הנמטוצידים שנבחנו בעבודה מקנים הדברה במהלך הגידול. לכן, יישום נמטוצידים בממשק ההדברה עשוי להיות אמצעי חשוב, בעיקר בארבעת החודשים הראשונים לגידול, כדי לאפשר לצמחים לגדול תוך שמירה על אילוח נמוך בפרק הזמן הקריטי של הגידול והבטחת הגידול והיבול.

## מבוא

החקלאות באזור הערבה מאופיינת בגידול אינטנסיבי בבתי רשת ובחממות בהם גידול פלפל מהווה הגידול העיקרי. באזור הערבה שורר אקלים יבש וחם. המים להשקיית גידולים נובעים מבארות המקומיות שמליחותן גבוהה. מליחות מגבירה את אלימותם של מחוללי מחלות שורש כפי שמצאנו בעבודות קודמות. בשני העשורים האחרונים, עם התמעטות האמצעים להתמודדות עם פגעי קרקע, התעצמה התחלואה בנמטודות בשורשי צמחים שונים (עגבניות, פלפל וחצילים). עיקר התחלואה נגרם על ידי נמטודות יוצרות עפצים מהסוג *Meloidogyne*. במקביל אנו עדים להתגברות התחלואה בשורשים ע"י נמטודה נודדת מסוג *Pratylenchus* בגידול פלפל. הופעתה של הנמטודה הנודדת בערבה בשילוב אופי הנזק, חיזק את הצורך להגדיר את המין המדויק של הנמטודה וכן לברר כיצד הגיעה לאזור הערבה. הגעת הנמטודה לערבה היא חשובה מעצם היות הערבה אזור מבודד מאוד משאר הארץ, שננקטים בו ממשקים להדברת פגעים בקרקע. לכן, היה ברור כבר מתחילת העבודה כי חשוב לזהות ולהגדיר את הנמטודה הזו באמצעות שילוב מספר גישות טקסונומיות מורפולוגיות ומולקולריות. בתחילה, הוגדרה הנמטודה כנמטודת חדשה *Pratylenchus capsici*, תוך הפעלת מספר שיטות פילוגנטיות (Qing et al 2018).

## מטרות המחקר

מטרת המחקר כפי שהוגדרה בתכנית המתקנת שאושרה על ידי המדען הראשי, היא פיתוח וגיבוש גישה מערכתית להתמודדות תכליתית עם קומפלקס נמטודות מהסוג *Pratylenchus*, ופטריות מהסוג פיתיום להבטחת גידול בריא ורווחי של פלפל ועגבניות בבתי צמיחה.

המטרות שנגזרו מהמטרה הראשית הן:

1. הבנת הקשר בין פיתיום ופטריות אחרות לבין נמטודות נודדות בקרקע ובסביבת השורשים
2. קביעת רגישות הנמטודות הנודדות *P. capsici* לתכשירי הדברה ונמטוצידים
3. מינוף השפעת פעולות אגרוטכניות הנעשות בחלקות נגועות על הישרדות של *Pratylenchus* ופטריות רלוונטיות בפלפל.
4. פיתוח ויישום גישה מערכתית תוך גיבוש פרוטוקול להתמודדות משולבת עם *Pratylenchus* ופיתיום בגידול פלפל שכוללים פעולות הדברה ומניעה בשלבים שונים – טרם הגידול, במהלכו, ובסופו.

## פירוט הניסויים ותוצאות המחקר:

### 1

#### 1. השפעות גומלין בין *Pratylenchus capsici* לפטריות ועשבים

מטרה 1. הבנת הקשר בין פטריות והנמטודה הנודדת *P. capsici* בשלבים השונים בקרקע ובסביבת השורשים

משימות 1,2,4 הקשר בין נמטודות לפטריות ופונדקאים נוספים, כגון עשבים (שנים א, ב)

א. הקשר לפטריות מהסוג פיתיום ופוזריום.

בשנת המחקר הראשונה מצאנו כי שעור הבידוד הסלקטיבי של פטריות מהסוג פיתיום היה נמוך מאד ולא יכול להסביר קשר כלשהו לנגיעות השורשים בנמטודות. בודדו פטריות נוספות, אולם, לא נמצאה בשלב זה קורלציה בין נוכחות פטריות מסוימות לנגיעות בנמטודות. הממצא העיקרי מהניסויים בשנה הראשונה היה פרופיל פטריות ספציפי לכל קרקע ללא מאפיינים משותפים בין הקרקעות, או קשר לנגיעות בנמטודות. גם בתחילת שנת המחקר

השניה בחנו שוב את הקשר האפשרי בין אכלוס בנמטודות לנוכחות פטריות מהסוג פיתיום. משתי חלקות ניסוי (ראה בהמשך) דגמנו בשלושה מועדים החל מחודש אוקטובר 2018 צמחים מחלקות ההיקש שבהם נראו תסמינים בולטים של עקה כתוצאה מנמטודות. עם עקירת השורשים ראינו תסמינים אופייניים על השורשים. בוצעה הערכה וויזואלית לנגיעות בשורשים על פי שעור התסמינים בסך נפח בית השורשים. השורשים נלקחו למעבדה. מחצית מנפח השורשים הופרדה לצורך הפקת נמטודות. המחצית השניה שימשה לבידוד פטריות לאחר שטיפה וחיטוי חיצוני של שטח הפנים.

שוב שעור הבידוד של הפטריות פיתיום ופוזריום היה קטן בכל החלקות ובכל מועדי הדגימה, ללא קשר לעוצמת הנגיעות בנמטודות *Pratylenchus capsici*. ברור היה לנו בשלב הזה של המחקר כי הופעת פטריות אלה אינה קשורה לתחלואת שורשי פלפל בנמטודות. על כן הופנה

#### טבלה 1. שעור בידוד פטריות משורשים והקשר לנגיעות נמטודות *Pratylenchus capsici*

משק	מועד דגימה	נגיעות שורשים בנמטודות (%) <sup>1</sup>	שעור בידוד (%) מכלל קטעי השורש שנבדקו <sup>2</sup>	
			פיתיום	פוזריום
פארן	1.2019	100	8.4	11
	3.2019	50	12.1	25
	4.2019	100	17.5	30
עידן	1.2019	100	15.4	21
	3.2019	50	7.3	18
	4.2019	50	5	22

#### 1. שעור השורשים הנגועים מסך נפח בית השורשים

#### 2. שעור השורשים מהם בודדנו את הפטריות ביחס לכלל השורשים שנבדקו.

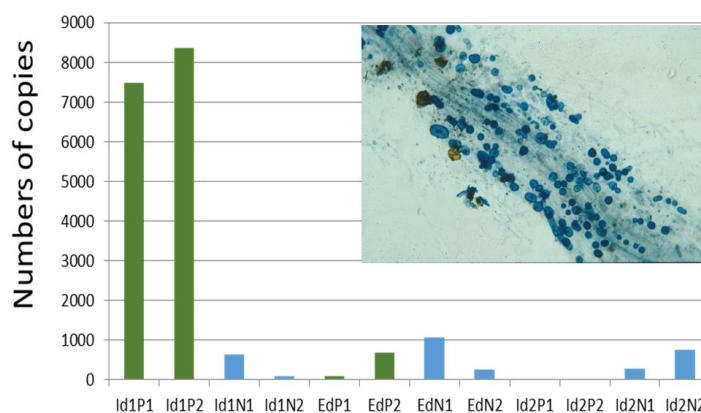
התוצאות מבידודי הפטריות לא הצביעו על קשר בין הפטריות שבודדנו מהשורשים לתחלואה בנמטודות. לכן, כדי למקד את החיפוש בצענו בתחילת שנת המחקר הראשונה אנליזה מטאגנומית לשורשים מאוכלסים בנמטודה *P. capsici* באמצעות הסמן המולקולרי ITS ו 16S לחיידקים ופטריות בהתאמה (טבלה 2). מטרת האנליזה היתה, לאתר תוך שימוש בכלים מולקולריים את החיידקים והפטריות שנמצאו בקשר עם נמטודות בשורשים, ובשלב שני לכוון את הבידוד לחיידקים או פטריות. אלה. לצורך כך איתרנו בחודש ינואר 2019 שתי חלקות נגועות בנמטודות בדרגת חומרה גבוהה ביותר. חלקות אלה (במושב עידן, ומושב פארן) נועדו לניסויי הדברה בקיץ 2019. לכן, ביצענו בחודשים ינואר ופברואר 2019 בחינות למיפוי הנגיעות בחלקות. משורשים של צמחים הופקו נמטודות, ובמקביל בוצעה אנליזה מטאגנומית לקבוצות הפטריות שנמצאות באסוציאציה עם הנגיעות בנמטודות (כלומר בשורשים בהם נמצאות הנמטודות), בהשוואה לשורשים בריאים.

### ב. קשר אפשרי בין נמטודות לפטריות מהסוג *Olpidium*

תוצאות האנליזה הצביעו על נוכחות דומיננטית של הפטריה הביטרופית *Olpidium brassicae* (איור 1). אלה פטריות ירודות אלחוטיות, ממוקמות באפידרמיס של שורשים, אשר מוכרות כטפילות על שורשי צמחים רבים. פטריות אלה השייכות לקבוצת Chitridiomycota, מהוות ווקטורים של וירוסים רבים כגון וירוס העורקים המעובים בחסה, ווירוס (LBV) ווירוס הכתמים הנקרטיים במילון (MNSV). בעבר מצאנו כי פטריות אלה מעורבות בתופעות ניוון צמחי גיבסנית. פטריות אלה הן ביטרופיות ולא ניתן לבודד את הפטריות האלה על מצע מזון מלאכותי. על כן בחינת נוכחותם מתבצעת אך ורק באמצעות צביעתם על השורשים וזיהויים באמצעות הסתכלות במיקרוסקופ.

### טבלה 2. דגימות שורשים שנלקחו לבדיקת מטאגנומית

סימון הדגימה		חזרה		משק
דגימה שניה	דגימה ראשונה			
Id2P1	Id1P1	1	נגוע בנמטודות	עידן משק בן עזיז
Id2P2	Id1P2	2		
Id2N1	Id1N1	1	שורש בריא	
Id2N2	Id1N2	2		
Ed2P1	Ed1P1	1	נגוע בנמטודות	פארן משק שדמות
Ed2P2	Ed1P2	2		
Ed2N1	Ed1N1	1	שורש בריא	
Ed2N2	Ed1N2	2		



איור 1. תוצאות בדיקה מטאגנומית לנוכחות פטריות מהסוג *Olpidium* בשורשים מאוכלסים בנמטודות (תאים של *Olpidium brassicae* על גבי השורשים בתמונה הפנימית).

בעקבות התוצאות שהתקבלו ביצענו בדיקות לנוכחות הפטריה בקרקע ובשורשים בהקשר לאילוח בנמטודות. 1. **בדיקה בקרקע לפני שתילה בשתי חלקות.** בקיץ 2019 נאספו משתי חלקות השדה שיועדו לשתילת פלפל ואשר לא חוטאו, דגימות קרקע במקומות שונים בחממה. דגימות הקרקע נאספו לפני השתילה. אספנו מכל חלקה יותר מ-20 דגימות קרקע. הקרקע מולאה בעציצים ונשתלו שתילים של פלפל מהזן 7158. לפני

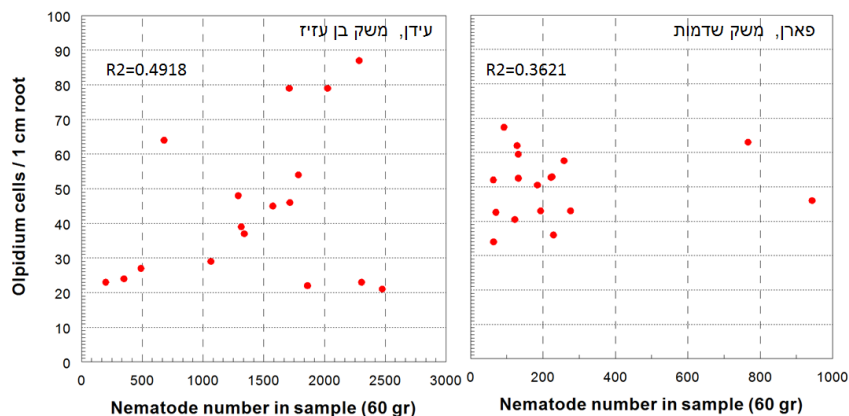
השתילה נבדקו שורשי השתילים לנוכחות *Olpidium*, כדי לוודא כי השתילים אינם נושאים את הפטריה. הצמחים גודלו בבית צמיחה למשך 6 שבועות. לאחר מכן נעקרו הצמחים. מחצית מנפח בית השורשים נבחנה לנוכחות נמטודות (לאחר מיצוי נמטודות מהשורשים בהדגרה בטלטול), והמחצית השנייה שימשה לאיכלוס השורשים באולפידיום.

2. **בדיקה בשורשי צמחים לאחר חודש משתילה.** חודש לאחר שתילה נעקרו שתילים של פלפל בשתי החלקות שתוארו בסעיף לעיל. השתילים נעקרו בדיוק בנקודות מהן נאספו דגימות הקרקע למבחן האכלוס בקרקע. מחצית מנפח בית השורשים שימשה לבדיקת נוכחות נמטודות (לאחר מיצוי נמטודות מהשורשים בהדגרה בטלטול), והמחצית השנייה שימשה לקביעת איכלוס השורשים באולפידיום על פי הפרוטוקול להלן.

### בדיקות אכלוס שורשים ב- *Olpidium*.

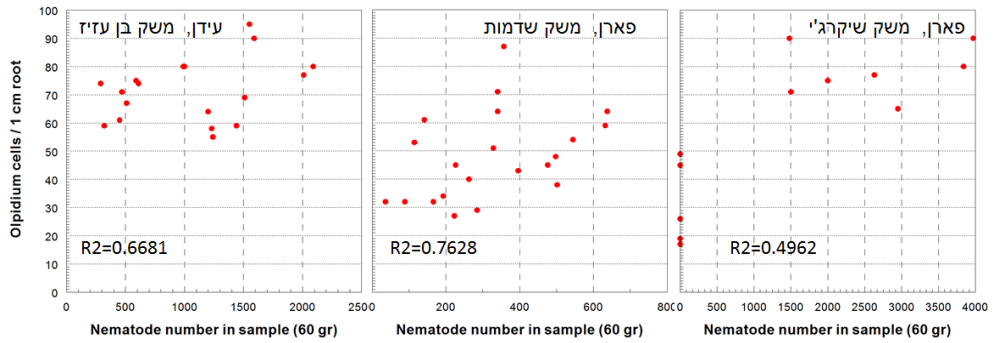
שורשי הצמחים ובעיקר השורשונים, נשטפו והושרו למשך 24 שעות בתמיסת KOH (10%) במטרה להבהיר את השורשים. לאחר מכן סוננו השורשים והוכנסו לתמיסת HCL (1%) לצורך קיבוע למשך שעה. לאחר סינון החומצה הוספנו תמיסת *Trypan blue* (0.05). מכל דוגמא נלקחו עשרה קטעי שורש לבחינת נוכחות תאי אולפידיום בשורשים. דוגמא להימצאות תאי הפטריה על השורשים ניתן לראות באיור 2.

**איור 2. הקשר בין נגיעות שורשים  
בנמטודות לבין האכלוס  
באולפידיום בקרקע לפני תחילת  
הגידול, כפי שנקבע בצמחי  
מלכודות שנשתלו בעציצים וגודלו  
בחממה.**



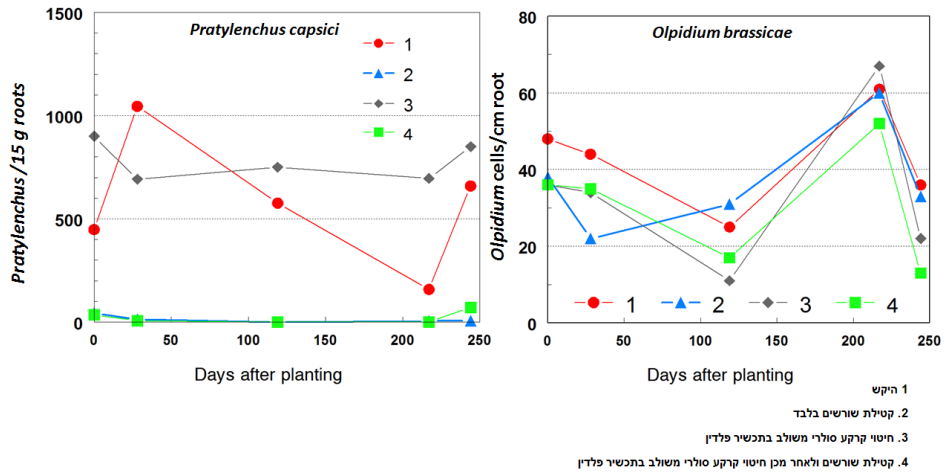
נוכחות *Olpidium* בשורשי פלפל היא מאד ברורה. איור 3 מציג את פוטנציאל האילוח של הפטריה שכן מדובר על קרקע שנאספה בשדה וגודלו בה צמחי פלפל בחממה. זהו פוטנציאל אילוח לא מבוטל, שכן בתוך פרק זמן של שישה שבועות גידול בתנאים מבוקרים בבית צמיחה, תאי הפטריה מכסים את השורשים בצפיפות רבה.

איור 3. הקשר בין נגיעות שורשי פלפל בנמטודות לאכלוס באולפידיום, כפי שנקבע ארבעה שבועות לאחר השתילה בשלוש חלקות שדה מסחריות בערבה



תמונה דומה מתקבלת בגידול פלפל בחלקות מסחריות בשדה. בתוך פרק זמן קצר - ארבעה שבועות משתילה, *Olpidium* מאכלסת את השורשים בצפיפות רבה (איור 3). מכיוון שמקדם הקורלציה בשני המקרים (איורים 2,3) הוא נמוך, ועד כה לא ידוע על מעורבות *Olpidium* בתחלואת פלפל, בחנו בשנת המחקר השנייה והשלישית את הקשר האפשרי בין אכלוס שורשים בנמטודות לאכלוס באולפידיום בהשפעת טיפולים שונים בקרקע. בשנתיים אלה, במסגרת גיבוש גישה אינטגרטיבית להתמודדות עם הנמטודות, הצבנו שני ניסויים בחלקות מסחריות, שבהם נבחנו אמצעי הדברה שונים כולל קטילת שורשים בתום הגידול וחיטוי קרקע לפני שתילת הגידול נשוא הניסוי. פירוט הניסויים והתוצאות מובא בהמשך הדוח בפרק 4. המטרה הראשית בניסויים אלה הייתה להקטין למינימום את אוכלוסיות הנמטודות בקרקע ולבחון את ההשפעה על תחלואת הצמחים. בנוסף לאכלוס השורשים בנמטודות, קבענו גם את אכלוסם ב-*Olpidium brassicae*.

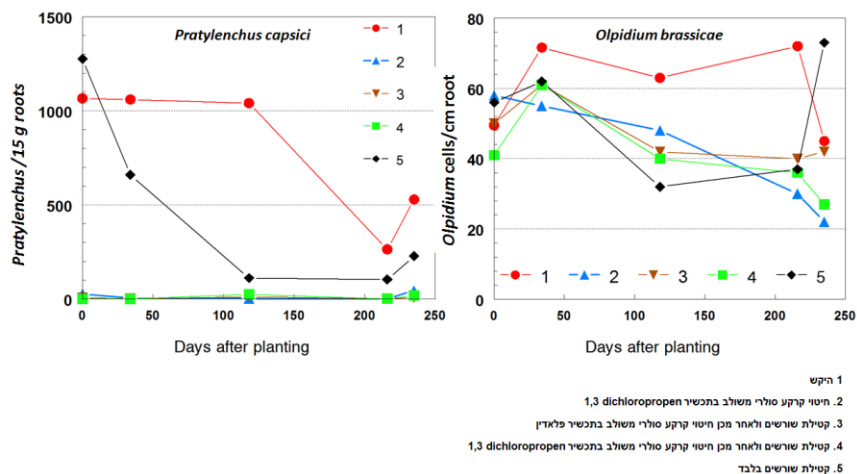
איור 4. אכלוס שורשי פלפל ב-*Pratylenchus capsici* וב-*Olpidium brassicae*, כפי שנקבעו לאורך עונת הגידול בניסוי פארן. לפני השתילה במושב בוצעו בקרקע חיטוי קרקע בהשוואה לחלקות ללא טיפול (פירוט לגבי הניסויים והטיפולים מובא בפרק 4 להלן)



אכלוס השורשים באולפידיום בשני הניסויים אינו קשור בהכרח לשיעור האכלוס בנמטודות (איורים 4,5). מגמה זאת נראית בבירור בצמחים שגדלו בחלקות לאחר חיטוי קרקע. בשורשי הצמחים שגדלו בחלקות לאחר חיטוי קרקע הופחת האכלוס בנמטודות למינימום לאורך כל עונת הגידול. אולם, שיעור האכלוס השורשים באולפידיום היה גבוה בשורשים של צמחים אלה לאורך כל העונה באופן דומה לשורשי צמחים שבהם נרשם אכלוס רב בנמטודות (איורים 4,5). יתר על כן, התנועה העונתית באכלוס השורשים בנמטודות ובאולפידיום אינה דומה בצמחים שגדלו בחלקות ההיקש (איורים 9,10 - עקומות בצבע אדום).

הממצאים מכלל הניסויים בפרק זה מצביעים על נוכחות מסיבית ודומיננטית של הפטריה הביוטרופית *Olpidium brassicae* בשורשי פלפל נגועים ב- *Pratylenchus capsici*. מלבד נוכחותם של השניים בשורשי פלפל, לא הצלחנו לבסס קשר או השפעת גומלין בין השניים בהשפעתו על שעור התחלואה ב- *Pratylenchus capsici*. אנו מתכננים להמשיך לבחון קשר אפשרי בין שני האורגניזמים בניסויים מבוקרים בבתי צמיחה.

איור 5. אכלוס שורשי פלפל ב- *Pratylenchus capsici* וכפי *Olpidium brassicae*, כפי שנקבעו לאורך עונת הגידול בניסוי בחלקת פלפל במושב עידן. לפני השתילה בוצעו בקרקע חיטוי קרקע בהשוואה לחלקות ללא טיפול (פירוט לגבי הניסויים והטיפול מובא בפרק 3 להלן)



### איכלוס שורשי עשבים ב- *Pratylenchus capsici*

במהלך שנת המחקר הראשונה - 2018 בדקנו את נוכחות הנמטודות בשורשי עשבים שגדלו בחלקות פלפל מאולחות הממצאים הצביעו שורשי עשבים מהווים מאגר מצוין לנמטודות. בחלקות בהם זיהינו צמחים נגועים ב- *P. capsici*. הצלחנו להפיק את הנמטודות משורשי עשבים שונים ובעיקר: מרור הגינות, כף אווז, חלמית וזיפן. עשבים אלה היו הדומיננטים בחלקות. ההאפלוטיפים של הנמטודות שהופקו משורשי העשבים הכילו את אלה שהופקו משורשי פלפל, אולם בעשבים נמצאה שונות גבוה יותר של האפלוטיפים.

בשנת 2019 התמקדנו בבחינת תפקידם של שורשי העשבים באיחסון והפצת נמטודות לשורשי פלפל או להיפך. בחודשים נובמבר-דצמבר בצענו מספר בדיקות בחלקה פלפל במושב פארן שבה אנחנו מבצעים ניסוי לממשק הדברה. בחלקות ההיקש (ראה משימות בהמשך הדוח להלן) עקרנו צמחי פלפל עם שורשים נגועים בנמטודות, ובמקביל, את העשבים שגדלו בסמוך אליהם. בדקנו נוכחות נמטודות בשורשי עשבים שצמחו בסמוך לצמחי פלפל וגם במרחק ללא מגע בין השורשים (טבלה 3).

נמטודות נמצאו בשורשי העשבים שנבדקו בערכים משתנים (טבלה 3). ניתן לראות כי הימצאות הנמטודות אינה קשורה בהכרח לשורשי הפלפל. כך לדוגמה מצאנו נמטודות בעשבים שגדלו במרחק משורשי פלפל. שעור האוכלוסיות היה נמוך בהשוואה למספר נמטודות בשורשים בחודשים החמים. למרות זאת מצאנו נמטודות פעילות במרבית דגימות השורשים שבדקנו. ברור מתוצאות השנתיים כי עשבים מהווים מאגר נוסף של הנמטודות. העובדה כי נמצאו נמטודות בשורשי עשבי מרוחקים משורשי פלפל מעידה כי הנמטודות מאכלסות את שורשי העשבים באופן בלתי תלוי לצמחי הפלפל. ייתכן כי הסיבה לכך הן האוכלוסיות הרבות של הנמטודות בחלקות אלה. חשוב לציין כי במרבית המקרים נראו מעט תסמינים של תחלואה בשורשי העשבים למרות האכלוס בנמטודות.

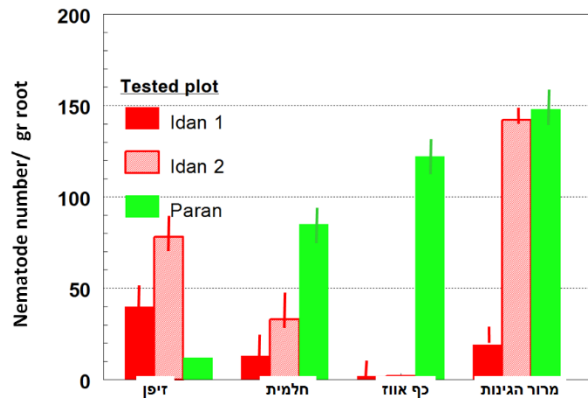


טבלה מס' 3. שיעור המיצוי של נמטודות משורשים של עשבי בר שצמחו בחלקות פלפל במושב פארן.

מרחק מצמח הפלפל (ס"מ)			פלפל	עשב
יותר מ-50	10	0		
10	10	445	*167	מרור הגינות
20	14	445	197	כף אווז
לא נבדק	15	35	115	זיפן
לא נבדק	לא נבדק	23	350	חלמית

\*מספר הזחלים שהפקנו משורשי הצמחים הנבדקים לגר' רקמה. התוצאות הן ממוצע של העשבים שנבדקו (5-10 עשבים בכל דוגמה).

איור 6. נגיעות שורשי עשבים בחלקות פלפל נגיעות ב- *Pratylenchus capsici* בשתי חלקות במושב עידן ובחלקה במושב פארן. בחלקות לא בוצע חיטוי קרקע לפני הגידול.



בשנת המחקר השלישית בחנו את שיעור הנגיעות של שורשי עשבים בנמטודות. הבדיקה נעשתה בשלוש חלקות במושבים עידן ופארן. הבדיקה נעשתה בחלקות שבהם לא בוצע חיטוי קרקע טרם שתילת צמחי הפלפל. במהלך עונת הגידול הצלחנו למצות זחלים של *Pratylenchus capsici* מכל שורשי העשבים שצמחו בחלקה (איור 6). שיעור האכלוס היה דומה לממצאים שקיבלנו בשנים הקודמות (טבלה 3). ארבעת הצמחים שבשורשיהם מצאנו זחלים של *Pratylenchus capsici* היו המינים השכיחים ביותר בחלקות הפלפל. לכן, לא מן הנמנע כי גם עשבים ממינים אחרים יכולים לשמש פונדקאים ל-*Pratylenchus capsici*.

## 2. השפעת נמטוצידים על קטילת *P. capsici*

מטרה 2. קביעת רגישות הנמטודות הנודדות *P. capsici* לתכשירי הדברה ונמטוצידים

משימות 4,5. שנים ב' ג'

המטרה העיקרית הייתה לבחון את יעילותם של תכשירים נמטוצידים בהדברת נמטודות בקרקע בהיעדר ובנוכחות שורשי צמחים. השלב הראשון בביצוע הניסויים כפי שהוגדרו בתוכנית המחקר היה לאלח קרקע בכמות ידועה של זחלי הנמטודות. אילוח קרקע בכמות ידועה של זחלי הנמטודות הוא הדרך המיטבית שכן, אנו מתחילים מנקודת מוצא אחידה בכל הטיפולים. המספר המינימלי של זחלים שנחוץ לניסויי כזה, שבו מאלחים כל יחידת טיפול (מיכל קרקע) ב- 500 זחלים, הוא 25,000. במהלך שנת המחקר הראשונה גידלנו

צמחי פלפל מאולחים בחממה לצורך יצירת מדבק נמטודות. אולם, לא הצלחנו "לחלוב" משורשי צמחים, מספר מספק של זחלי נמטודות לצורך ניסויים אלה. יתר על כן, ניסיונות לאלח שורשים של פלפל בזחלי נמטודות, לא הניבו שעור תחלואה מספק. נראה היה כי מרבית הזחלים אינם שורדים את שלבי ההפקה והאילוח ובעלי כושר אינפקטיביות נמוך. בשנה השנייה התמקדנו במיצוי נמטודות משורשי פלפל, מצמחים שעקרנו משדות נגועים. הקושי הראשון הוא שעור נמטודות זעום שהצלחנו לחלוב מהשורשים בעונות הקרות. אולם, הקושי העיקרי השתנות החיוניות של הזחלים, והדעיכה המהירה בחיוניותם, נתון שלא אפשר ביצוע ניסויי הדברה עם מידבק "מלאכותי" (טבלה 4).

#### טבלה מס' 4. שיעור המיצוי של נמטודות משורשי פלפל, ומידת החיוניות לאחר 24 שעות.

תאריך	מקור הצמחים	שעור הפקה		זחלים חיוניים אחרי 24 שעות	
		(מס' נמטודות ל-15 גר' שורש)	(מס' נמטודות ל-15 גר' שורש)	אחוז הישרדות	(מס' נמטודות ל-15 גר' שורש)
18.11.19	עידן	8500	2400	28.2	
26.11.19	פארן	12095	7500	62.0	
10.12.19	עידן	15005	2600	17.3	
20.1.2020	פארן	10000	3500	35.0	

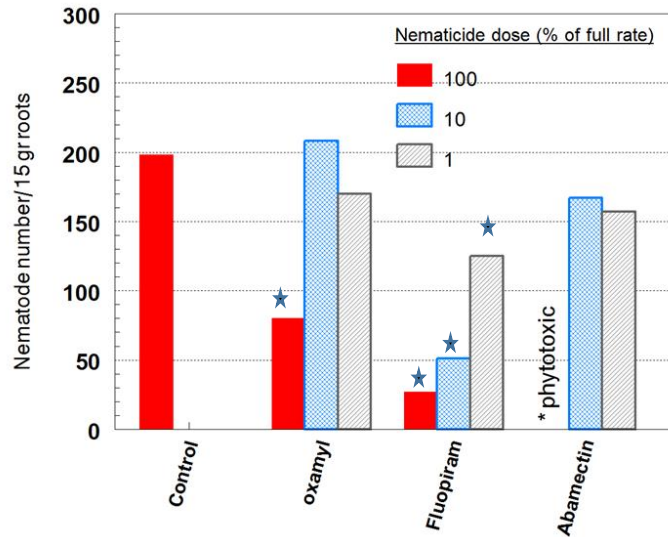
על כן, התאמנו שיטת בדיקה שונה. לצורך יצירת המדבק, אספנו קרקע ושורשים בקרבת צמחי פלפל נגועים ב-*P. capsici* מחלקות מסחריות בערבה. הקרקע עם השורשים מולאה בעציצים ונשתלו בהם שתילי פלפל. לאחר 6 שבועות עקרנו את הצמחים וקבענו את שעור הנמטודות בשורשים. לאחר מכן, איחדנו את הקרקע מכל העציצים, כדי ליצור קרקע בנפח גדול ובשיעור אילוח אחיד. הקרקע פוזרה שוב בעציצים, ונשתלו בהם שתילי פלפל מהזן 158. שבוע לאחר השתילה יישמנו שלושה תכשירים מסחריים רשומים ומורשים להדברת נמטודות (טבלה 5). כל תכשיר ניתן בנפרד בשלושה ריכוזים (טבלה 5), כל ריכוז נבדק ב-9 חזרות (עציצים).

#### טבלה 5. פירוט התכשירים שנבחנו ליעילות הדברת *P. capsici* במהלך גידול צמחי פלפל בעציצים.

תכשיר	שם מסחרי	מינון מומלץ על פי התווית (סמ"ק למ"ר)	מינונים שנבחנו (סמ"ק לעציץ)		
			מינון מלא	10% מהמינון הרשום	1% מהמינון הרשום
Oxamyl	ויידט	4.00	0.06	0.006	0.0006
Fluopiram	ולום	0.13	0.002	0.0002	0.00002
Abamectin	טרוויגו	0.80	0.012	0.0012	0.00012

שני התכשירים fluopiram, oxamyl הפחיתו את שעור האכלוס בשורשים באופן מובהק כאשר הם הוגמנו בריכוזים על פי המופיע בתווית התכשיר (12% איכלוס לאחר יישום fluopiram, ו-37% איכלוס לאחר יישום oxamyl, בהשוואה לנגיעות בשורשי הצמחים ללא טיפול) (איור 7). Abamectin גרם לקטילת הצמחים כאשר הוא הוגמע במינון המלא. הקטנת מינוני התכשירים פגמה בכושר הקטילה של oxamyl ו-Abamectin.

איור 7. השפעת נמוטוצידים על קטילת *P. capsici* במהלך גידול צמחי פלפל בעציצים. שתילי פלפל מהזן 158 נשתלו בקרקע מאולחת בנמוטודות שבוע לאחר השתילה ניתנו התכשירים. כל תכשיר ניתן בנפרד בשלושה ריכוזים כאחוז מהמינון המומלך שהוא 100%, (פירוט המינונים מובא בטבלה 5). כוכבית מציינת קטילה מובהקת בהשוואה להיקש.



לעומתם fluopiram הפחית את שיעור האכלוס גם במינונים מופחתים 25% אכלוס לאחר יישום fluopiram, במינון שהוא עשירית מהרשום בתווית, בהשוואה לנגיעות בשורשי הצמחים ללא טיפול. שני התכשירים oxamyl, ובעיקר fluopiram יעילים בהדברת *P. capsici* בשורשי פלפל במהלך הגידול (איור 7). שני התכשירים fluopiram, oxamyl הם סיסטמיים ולכן, יכולים לנוע בצמח ולפעול נגד *P. capsici* בצמחים במהלך הגידול. בנוסף, מנגנון הפעולה של שני התכשירים הוא שונה. על כן, ניתן ליישם תכשירים אלה במהלך הגידול ולהציב אמצעי נוסף בהתמודדות עם הנמוטודות, במערך הדברה אינטגרטיבי כולל.

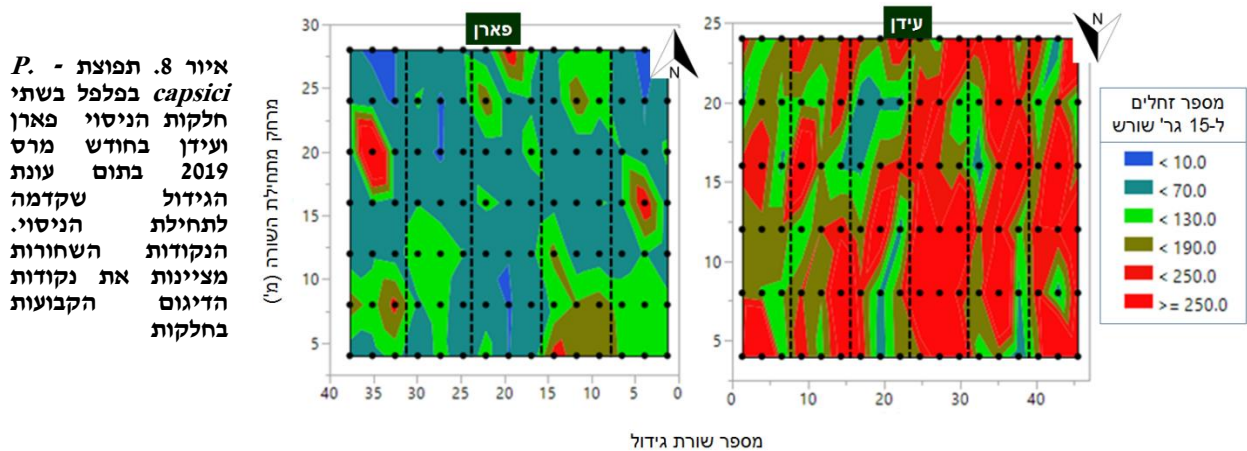
### 3. גיבוש גישה אינטגרטיבית להתמודדות עם *P. capsici* בחלקות פלפל מסחריות

מטרות 3-4 מינוף השפעת פעולות אגרוטכניות על הישרדות של *Pratylenchus*; פיתוח ויישום גישה מערכתית להתמודדות משולבת עם *Pratylenchus* (משימות 3, 6-9), שנים ב' ג'

#### א. עונת גידול ראשונה (2019-2020)

בתחילת שנת המחקר השניה (מרס 2019), ערכנו שני ניסויים בשתי חלקות מסחריות בהם גודל פלפל בשנים האחרונות, האחת במושב פארן והשניה במושב עידן. בניסויים אלה בחנו יישום של שיטות ואמצעי הדברה בנפרד ובמשולב כחלק מגיבוש גישה מערכתית להדברת הנמוטודות *P. capsici* בפלפל. בתפיסת ההדברה הזו נבחנו יעילותם של טיפולים שכללו טיפולי סניטציה להקטנת המדבק באמצעות קטילת שורשים, בתום הגידול הקודם, וחיטוי קרקע לפני הגידול הנוכחי (ביצענו טיפולים בנפרד ובמשולב). במהלך עונת הגידול 2018-19 עקבנו אחרי התפתחות הצמחים ושעור התחלואה. בחודש מרס 2019 שעור התחלואה של צמחי הפלפל ב- *P. capsici* היה גדול מאד. בנוסף, נוכחות עשבים רבים ממינים שונים שגדלו בכל החלקה בשני השדות. לכן, היה ברור לנו בחודש מרס 2019 כי אילוח החלקות בנמוטודות הוא רב.

בשלב הראשון, בחודש מרס 2019, ביצענו מיפוי בשתי החלקות כדי לקבוע את פיזור *P. capsici* בחלקה. בחרנו 5 מפתחים צמודים חממה במושב פארן ו-6 במושב עידן. כל מפתח באורך 50-60 מטר וברוחב 8 מטר (איור 8). בכל מפתח קבענו נקודות דיגום קבועות (21 בפארן, 18 בעידן) – סה"כ 84-90 דיגמות בכל ניסוי. נקודות הדיגמה שימשו לקביעת כמות הנמטודות ושעור התחלואה בשורשי פלפל, במהלך כל שלבי הניסוי כפי שמתואר להלן. לאחר המיפוי, עקרנו צמחי פלפל בכל נקודות הדיגמה. השורשים נשטפו במעבדה והועברו להפקת נמטודות. נוכחנו כי *P. capsici* נפוצה באופן נרחב בשתי החלקות (איור 8). עוצמת הנגיעות בחלקה במושב עידן גדולה יותר מאשר בחלקת הפלפל במושב פארן. כמות הזחלים הגדולה של *P. capsici* והפיזור במרחב שתי החלקות אפשרה את ביצוע הניסוי.



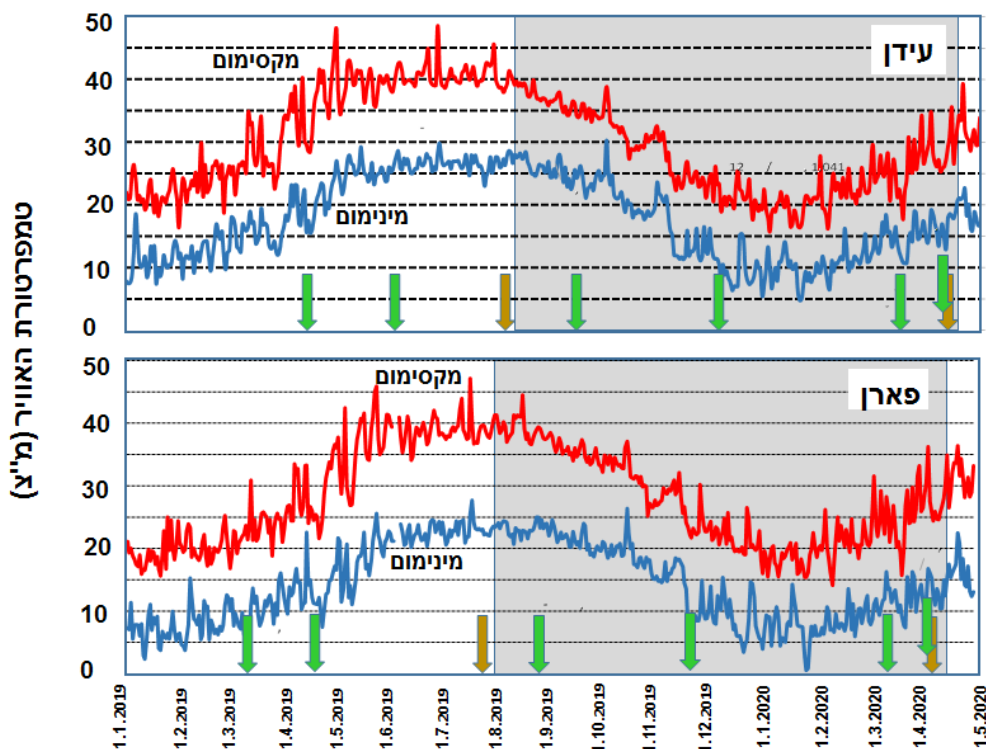
3.2019	4.2019	5.2019	6.2019	7.2019	8.2019	9.2019	10.2019	11.2019	12.2019	1.2020	2.2020	3.2020	4.2020	5.2020
מיפוי החלקה	קטילת שורשים		חיטוי קרקע		גידול פלפל בחלקה									
הערכת נגיעות בצמחים		בדיקת נמטודות בשורשים		בדיקת נמטודות בקרקע	בדיקת נגיעות בשורשים			בדיקת נגיעות בשורשים			בדיקת נגיעות בשורשים		בדיקת נגיעות בשורשים	בדיקת נמטודות בקרקע

**איור 9. סרגל זמנים ופירוט הטיפול שבוצעו בשני הניסויים שבוצעו בעונת הגידול הראשונה להדברת *P. capsici* בפלפל.** לאחר סיום הדיגמה, בסוף חודש מרס, קבענו בכל חלקה את הטיפולים שבוצעו בנפרד ובמשולב, כחלק מגיבוש גישה מערכתית להדברה. לוח הזמנים מפורט באיור 9. כל טיפול בוצע על מפתח שלם של חממה (איור 8). יעילות הטיפולים במהלך כל שלבי הניסוי נקבעה בנקודות הדיגמה הקבועות כפי שתואר לעיל (איור 8). לכן, הניתוח הסטטיסטי מציג את השונות בתוצאות בין נקודות דיגום בכל טיפול בנפרד.

בחנו את הטיפולים הבאים:

1. היקש
2. קטילת שורשים בלבד באמצעות התכשיר 1,3 dichloropropene
3. חיטוי קרקע בלבד (חיטוי סולרי חלקי משולב ביישום תכשיר החיטוי dimethyl disulfide לקטילת נמטודות)
4. קטילת שורשים ולאחר מכן חיטוי קרקע סולרי חלקי משולב ביישום תכשיר החיטוי dimethyl disulfide

5. קטילת שורשים ולאחר מכן חיטוי קרקע (סולרי חלקי משולב ביישום תכשיר החיטוי תכשיר החיטוי 1,3 dichloropropene (טיפול זה בוצע רק בחלקה במושב עידן).



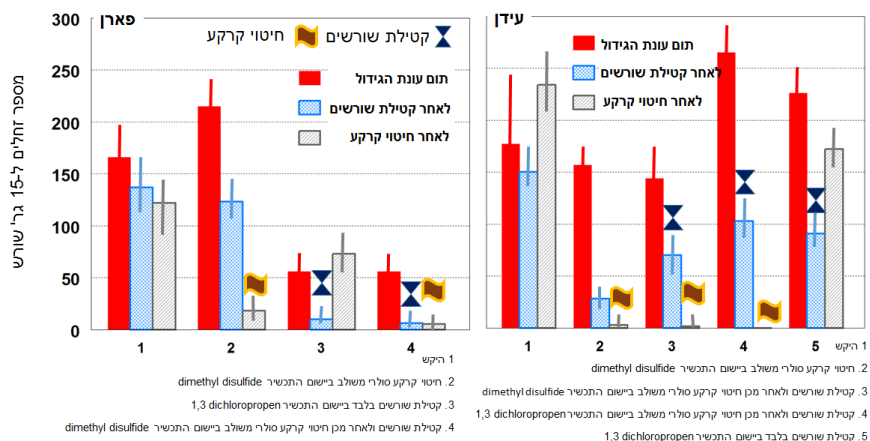
איור 10. לוח הזמנים בתהליך ביצוע הניסויים בפארן ובעידן, וטמפרטורות האוויר בכל התקופה בשני האתרים. התחום באפור מציין את עונת הגידול הרלוונטית בכל ניסוי. היציים מציינים את המועדים בהם נקבעה כמות *P. capsici*. היציים ירוקים מציינים בדיקה בשורשים. היציים חומים מציינים בדיקה בקרקע (באמצעות צמחי בוחן כפי שמפורט להלן).

פירוט מועדי ביצוע הטיפולים בשתי החלקות, מועדי נטילת הדגימות, וטמפרטורות האוויר במהלך הניסויים מוצגים באיור 10 להלן. קטילת השורשים, בחלקות המיועדות לטיפול זה, בוצעה בסוף חודש אפריל, באמצעות הזרמת התכשיר קונדור (1,3 dichloropropene) במינון 10 ליטר לדונם באמצעות מערכת ההשקיה בטפטוף. שלושה שבועות לאחר היישום, נעקרו הצמחים בנקודות הדגימה ונבדקה כמות הנמטודות בשורשים. לאחר גמר הבדיקה נעקרו כל הצמחים והורחקו מהחלקה. החלקה בפארן הושארה ללא טיפול נוסף, החלקה במושב עידן עברה עיבוד ופוזר קומפוסט לפני ביצוע חיטוי הקרקע.

בחודשים יוני-יולי 2019 בוצעו הטיפולים לחיטוי קרקע בכל אחד משני השדות. במושב פארן, החקלאי אינו מבצע עיבוד קרקע לפני החיטוי והשתילה ולכן, לא בוצע עיבוד קרקע לפני החיטוי גם במשבצת הקרקע שיועדה לניסוי. בחלקה במושב עידן נעשה עיבוד על פי המקובל לקראת גידול פלפל. חיטוי הקרקע בשני הניסויים כלל את הרטבת הקרקע, פרישת יריעת חיפוי שקופה על הקרקע הרטובה, והחזקת היריעות על פני הקרקע לצורך חיטוי סולרי חלקי מקדים למשך שבועיים. בשתי החלקות כיסוי הרשת נשאר על המבנה. על כן יעילות החימום פוחתת. לאחר שבועיים, הוזרם התכשיר לחיטוי קרקע (ראה טבלת טיפולים לעיל) באמצעות מערכת ההשקיה בטפטוף שהונחה בחלקה לפני פרישת החיפוי. בסוף חודש יולי, לאחר הסרת היריעות, ולפני שתילת צמחי

הפלפל, אספנו דוגמאות קרקע מכל נקודות הדגימה, לקביעת הישרדות *P. capsici* בקרקע ועל פי הממצאים, הערכת יעילות הטיפולים בקטילת *P. capsici* בקרקע לפני תחילת הגידול.

**איור 11. השפעת טיפולים שכוללים קטילת שורשים וחיטוי קרקע על הדברת נמטודות בשורשים בשתי חלקות ניסוי בפארן ועידן כפעולות לפני שתילה. הצלמיות מופיעות מעל העמודות שבהן בוצעה קטילת השורשים או חיטוי הקרקע. בחינת כמות *P. capsici* בתום העונה ולאחר קטילת השורשים בוצעה בשורשי הצמחים שגדלו**



**בחלקה. בחינת כמות הנמטודות ששרדו לאחר חיטוי הקרקע בוצעה בשורשי צמחים שגדלו בעציצים בחממה בקרקע שנאספה בתום החיטוי. קווים אנכיים בכל עמודה מייצגים את סטית התקן בין הדגימות השונות בכל טיפול.**

כבר בתחילת המחקר נתקלנו בקושי להעריך את אוכלוסיות *P. capsici* בקרקע, שכן, שיעור ההצלחה בהפקת *P. capsici* מקרקע ללא שורשי צמחים היה קטן ביותר ולא מייצג. לכן פיתחנו דרך לקביעת שיעור ההישרדות בקרקע באמצעות שתילת צמחי פלפל כצמחי מלכודת. אספנו קרקע מכל נקודת דגימה (נפח 1 ליטר) והעברנו לעציצים בחממה, שבהם שתלנו צמחי פלפל. שישה שבועות לאחר השתילה עקרנו את הצמחים והפקנו את *P. capsici* משורשי הצמחים. בשיטת מבחן זו, ניתן לקבוע את שיעור הנמטודות ששרדו בקרקע בכל טיפול. כך, יכולנו להעריך את יעילות אמצעי ההדברה בקטילת *P. capsici* בקרקע לפני שתילת הגידול נשוא הניסוי.

קטילת השורשים בתום עונת הגידול, או חיטוי קרקע לפני תחילת הגידול הנוכחי, תרמו כל אחד בנפרד להפחתת מספר הנמטודות (איור 11). קטילת השורשים בלבד היא אמצעי להקטנת המידבק בקרקע, כטיפול ממוקד באזור בית השורשים, ולא בכל שטח המבנה. לעומת זאת, חיטוי הקרקע שמבוצע על פני כל השטח מפחית את האילוח בכל שטח הגידול העתידי. אכן, התוצאות (איור 11) מצביעות על תרומה סגולית גדולה יותר של חיטוי הקרקע בהשוואה לקטילת השורשים. שילוב שני האמצעים (קטילת שורשי הגידול הקודם, וחיטוי קרקע טרם הגידול הנוכחי) קטל את זחלי *P. capsici* בקרקע לערך אפסי שהוא מתחת לסף הגילוי.

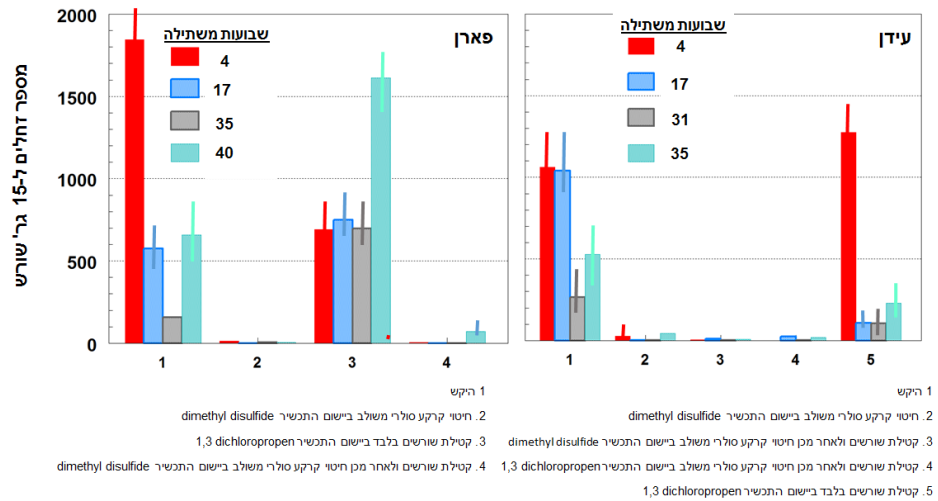
בסוף חודש יולי ובתחילת חודש אוגוסט נשתלו שתילי פלפל בחלקות הניסוי בפארן ועידן, בהתאמה (איורים 9,10). במהלך הגידול ועל פי המועדים שמצוינים באיורים 9,10 עקרנו צמחים בכל נקודות הדגימה ובדקנו את שיעור האכלוס ב-*P. capsici*

התבססות *P. capsici* בשורשי הצמחים היא מהירה מאד (19). ארבעה שבועות לאחר השתילה הפקנו כמות גדולה של זחלי *P. capsici* משורשי צמחים שגדלו בחלקות שלא בוצע בהם חיטוי בקרקע. לעומת זאת, אכלוס השורשים של צמחים שגדלו בקרקעות לאחר חיטוי היה מועט ביותר. קטילת השורשים בלבד אינה מספיקה ותרומת טיפול זה בולטת רק כאמצעי משלים לחיטוי הקרקע (איור 12). שיעור הנמטודות בשורשים פוחת לאחר

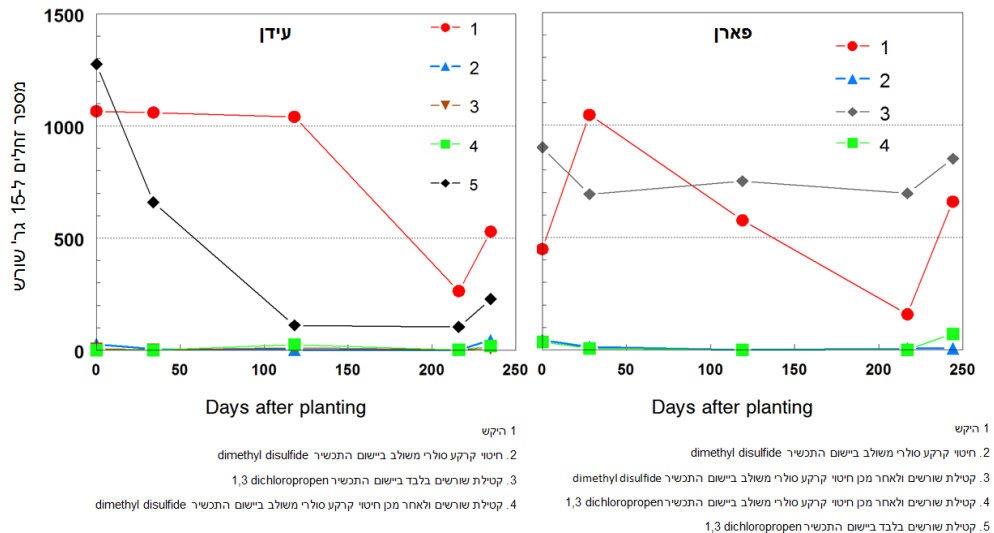


12 שבועות משתילה, ונראה בהתאמה לשינויי הטמפרטורה העונתיים (איור 10). ניתן להסיק שהתקררות הקרקע היא הסיבה העיקרית לשינוי (איור 17). מכל מקום, גם לאחר הירידה בכמות *P. capsici* בשורשים בעונת החורף, עדיין כמות הנמוטודות בצמחים בחלקות ההיקש היא גדולה (איור 12). עם התחממות הקרקע באביב 2020, ישנה התגברות באוכלוסיות *P. capsici* בשורשי פלפל בחלקות ההיקש. התנודות העונתיות באוכלוסיות *P. capsici* בשורשים מוצגות באיור 13.

**איור 12. השפעת טיפולים שכוללים קטילת שורשים וחיטוי קרקע, בנפרד ובמשולב, על הזדברת נמוטודות בשורשי פלפל במהלך עונת הגידול, בשתי חלקות. עמודה אחרונה בכל טיפול מייצגת אכלוס שורשים בתום עונת הגידול. קווים אנכיים מייצגים את סטיית התקן בין הדגימות השונות בטיפול**



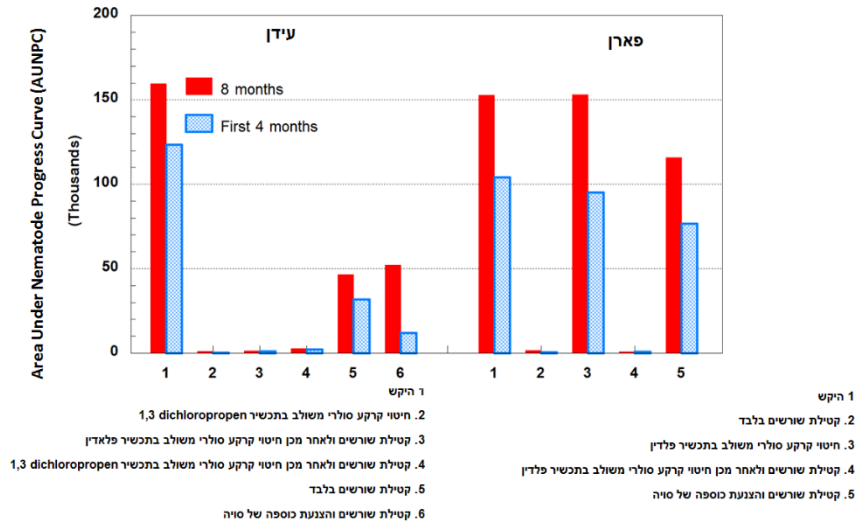
**איור 13. התנודה העונתית באוכלוסיות *P. capsici* בשורשי פלפל בהשפעת הטיפול הזדברה שכללו קטילת שורשים וחיטוי קרקע, בנפרד ובמשולב.**



חישבנו מהנתונים באיור 20 את הערך המצטבר של אכלוס *P. capsici* בשורשי פלפל באמצעות חישוב השטח מתחת לעקום אכלוס השורשים ב- *P. capsici* Area Under Nematode Progress Curve (AUNPC). חישוב כזה הוא מדד חשוב ומקובל בהערכת התפתחות תחלואה, שמאפשר להשוות טיפולים על בסיס אחיד ולייחס אותם למדדי גידול (גובה הצמחים) ויבול הפירות, כפי שיתואר להלן. חישבנו את הערך המצטבר הכולל (במשך כל עונת הגידול) וגם את הערך בארבעת החודשים הראשונים לגידול שבהם ראינו אכלוס מהיר בשורשים (איור

14). מרבית ערך AUNPC בשתי החלקות נצבר בארבעת החודשים הראשונים לגידול (70% בפארן, 75% בעידן). ככל הנראה, החודשים הראשונים להתפתחות הגידול הם הקריטיים מבחינת בניית גודל המידבק ורגישות הצמחים לתחלואה מ-*P. capsici*. שיעור התחלואה בחודשים אלה הוא שקובע את היבול שמתפתח ונאסף בעיקר במחצית השנייה של עונת הגידול.

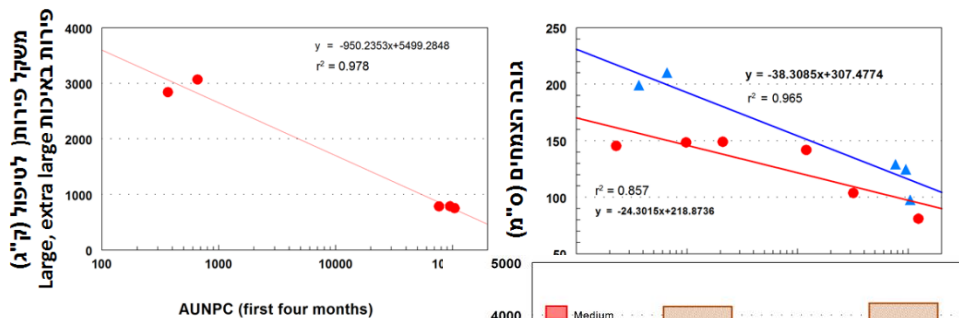
איור 14. השפעת טיפולים שכוללים קטילת שורשים וחיטוי קרקע, בנפרד ובמשולב, על הדברת נמטודות בשורשי פלפל במהלך עונת הגידול, בשתי חלקות, באמצעות מדד המתאר את הערך המצטבר של אכלוס *P. capsici* בשורשי פלפל – Area Under Nematode Progress Curve (AUNPC). החישוב בוצע מהנתונים שמוצגים באיור 20.



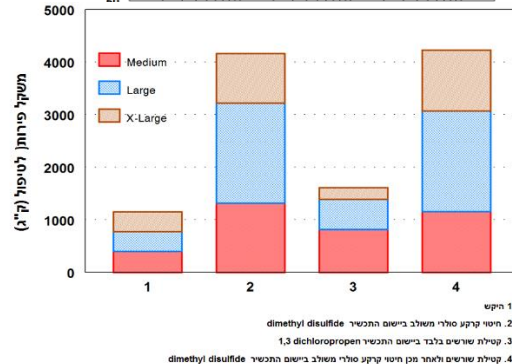
מדדנו את גובה הצמחים כאשר הם הגיעו לגובהם המרבי, בשני הניסויים (תחילת פברואר 2020). הצלחנו לבסס מתאם ברור בין גובה הצמחים בטיפולים השונים לבין שיעור האכלוס בשורשי הפלפל ב-*P. capsici*, על פי מדד AUNPC שחושב לארבעת החודשים הראשונים לגידול (איור 15).

בחדשים ינואר ופברואר 2020, הצמחים נמצאים בשיא התפתחותם הווגטיבית. במועד זה בולט הגידול הנמרץ של צמחים ללא אכלוס בנמטודות לעומת גידול מדוכא בחלקות שבהם לא הודברו הנמטודות.

איור 15. המתאם בין גובה צמחי פלפל בניסויים בפארן ועידן (ימין), ויבול פירות פלפל (שמאל) לבין שיעור האכלוס המצטבר ב-*P. capsici* שמתואר כשטח מתחת לעקום התפתחות הנמטודות בשורשים AUNPC, בארבעת החודשים הראשונים של הגידול.



איור 16. השפעת טיפולים שכוללים קטילת שורשים וחיטוי קרקע, בנפרד ובמשולב, על יבול פירות פלפל (ניסוי במושב פארן





בניסוי במושב פארן אספנו את פירות הפלפל על פי הטיפולים השונים. הפירות מוינו לקבוצות איכות (על פי גודלם) ונשקלו. משקל הפירות מצמחים שגדלו בחלקות המחוטאות (בנפרד, או במשולב עם קטילת שורשים), היה גדול באופן ניכר ממשקלם בחלקות ללא חיטוי (איור 16). כמות היבול בחלקות המחוטאות הייתה פי ארבע מחלקות ההיקש. יתרה מזו, מרבית הפירות בחלקות החיטוי היו בקבוצות המיון של פרי איכותי (Large, Extra large), בעוד שבחלקות שלא חוטאו היה חלקם של הפירות האיכותיים קטן יותר. הצלחנו לבסס מתאם ברור בין כמות הפרי האיכותי (Large, Extra large), בטיפולים השונים לבין שיעור האכלוס בשורשי הפלפל ב- *P. capsici*, על פי מדד AUNPC שחושב לארבעת החודשים הראשונים לגידול (איור 15).

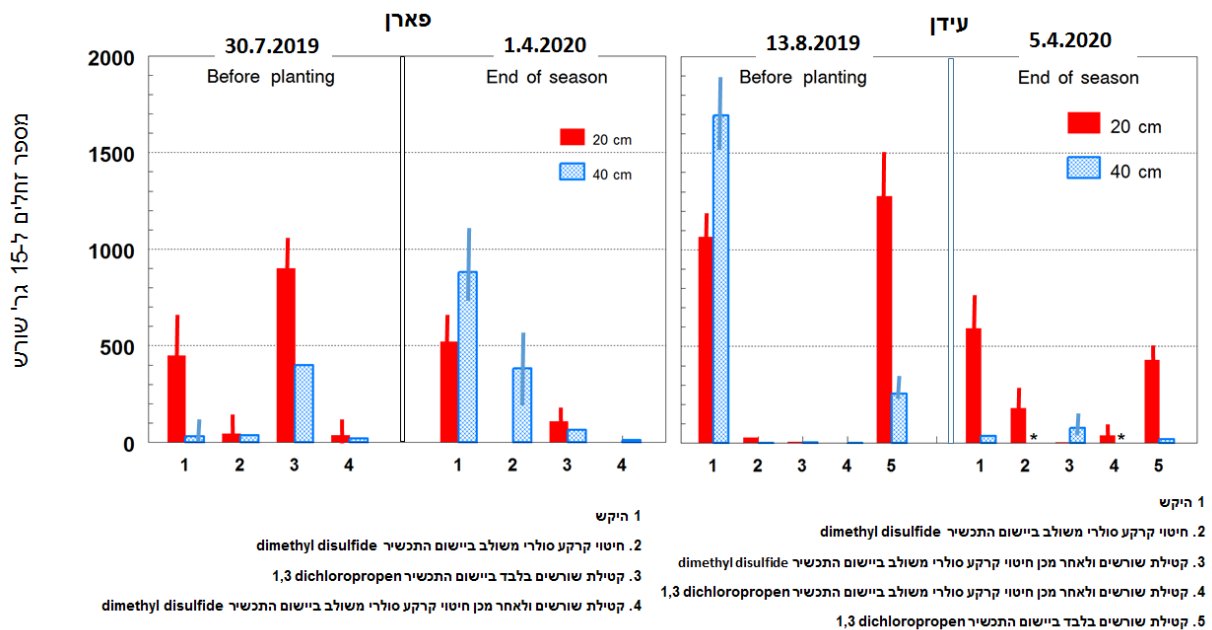
בחדש אפריל, בתום עונת הגידול, ולאחר גמר הקטיפ בשתי החלקות, בדקנו את שיעור האכלוס השורשים ב- *P. capsici* בשורשים (איור 17). לאחר עקירת הצמחים (מבלי לקטול את השורשים) אספנו דגימות קרקע מכל נקודות הדגימה כדי להעריך את כמות הנמטודות בקרקע בתום הגידול. שיעור הנמטודות בקרקע בתום הגידול הוא פוטנציאל המידבק לשנת הגידול הבאה. אספנו דגימות קרקע בנפח 1 ליטר כל אחת, העברנו אותן לעציצים בחממה, ושתלנו צמחי פלפל. שישה שבועות לאחר השתילה עקרנו את הצמחים והפקנו את *P. capsici* משורשי הצמחים. בשיטת מבחן זו, ניתן לקבוע את שיעור הנמטודות שקיימות בקרקע לאחר הגידול בכל טיפול. כך, אנו יכולים להעריך את יעילותם וכושרם של אמצעי ההדברה להקטין או להגביר את כמות המדבק בתום עונת הגידול. ברור כי כמות מדבק זו היא זרעי הפורענות של עונת הגידול הבאה.

שיעור הנמטודות בקרקע בתום עונת הגידול היה משמעותי בחלקות שבהם לא בוצע חיטוי קרקע לפני עונת הגידול (איור 17). מאידך, ממשק ההדברה שכלל קטילת שורשים וחיטוי קרקע שמרו על אכלוס נמוך של נמטודות בקרקע בתום העונה. ברור כי פוטנציאל המדבק השונה בחלקות השונות עשוי להשפיע על שיעור התחלואה בעונה העוקבת, וכן על יעילות אמצעי ההדברה לפני תחילת הגידול הבא. משמעות ממצאים אלה נבחנה בשנה העוקבת (ראה להלן).

### ב. עונת גידול שניה (2020-2021)

בשנת המחקר השלישית המשכנו את הניסויים בשתי החלקות במושב פארן ובמושב עידן. מטרת הניסויים הייתה לבחון את התעצמות *P. capsici* בקרקע, ולאחר מכן בשורשים בגדול העוקב. היבט חשוב אותו בחנו הוא מידת השפעתם של אמצעי ההדברה שהופעלו לפני הגידול הקודם בצמצום עוצמת התחלואה ב- *P. capsici* בגידול נוסף של פלפל. על כן, כדי לבחון את השפעת ההיסטוריה כמרכיב עיקרי, צמצמנו את הטיפולים בצמחים ובקרקע בתום הגידול הראשון ולפני שתילת הגידול החדש. בכל ניסוי בוצעו טיפולים שונים, על פי הנוהג המשקי כפי שמפורט להלן. בתום עונת הגידול הראשונה (אפריל 2020) נעקרו הצמחים מבלי לקטול את השורשים טרם העקירה. לאחר עקירת הצמחים, בחדש אפריל 2020 בדקנו את כמות הנמטודות בקרקע בתום הגידול. שיעור הנמטודות בקרקע בתום הגידול, שמהווה את פוטנציאל המדבק לשנת הגידול הבאה מוצג באיור 17. רואים בבירור כי כמות הנמטודות בקרקע בשתי החלקות בתום עונת הגידול הייתה משמעותית במיוחד בחלקות שבהם לא בוצע חיטוי קרקע לפני עונת הגידול (איור 25). יתר על כן, כמות הנמטודות בקרקע בחלקות אלה התעצמה בהשוואה לכמות הנמטודות שתועדה בקרקע לפני תחילת הגידול ב-2019 (איור 17). ברור כי שתילת פונדקאי רגיש (פלפל) מחד, ושיבוש נרחב בעשבים (שמהווים פונדקאים לנמטודה) מאידך תרם להתעצמות אוכלוסיות

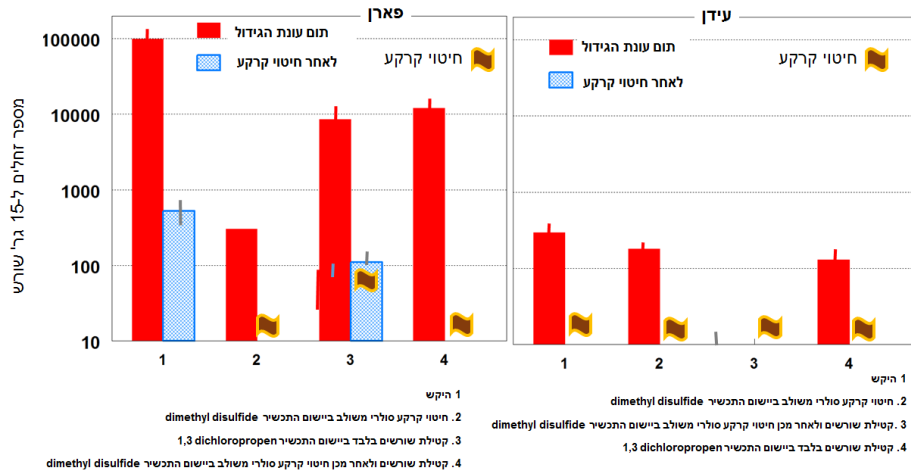
הנמטודות בחלקות. האילוח בנמטודות הוא גם בעומק 40 ס"מ ומרמז על מנגנון הישרדות במעבר בין עונות. בחלקות שבהם הפעלנו ממשק ההדברה שכלל קטילת שורשים וחיטוי קרקע היה שיעור נמוך יותר של *P. capsici* בקרקע בתום עונת הגידול 2019.



איור 17. השפעת טיפולים בקרקע שכוללים קטילת שורשים וחיטוי קרקע, בנפרד ובמשולב, על אוכלוסיות *P. capsici* בקרקע בתום הטיפול ולפני שתילת הצמחים (יולי אוגוסט 2019), בהשוואה לאוכלוסיות בקרקע בתום עונת הגידול (אפריל 2020). נבחן האכלוס בשני עומקים. במקומות המצוינים בכוכבית, לא נבדקה האוכלוסייה בעומק 40 ס"מ. קווים אנכיים מציינים סטיות תקן.

בשתי החלקות לא בוצעה קטילת שורשים לפני העקירה. בחודש יולי 2020 בוצע בפארן חיטוי קרקע באמצעות התכשיר Dimethyl disulfide (פלאדין) בכל משבצות הניסוי למעט בחלקת ההיקש שהושארה ללא כל טיפול (טבלה 6) בניסוי במושב עידן בוצע בחודש יולי 2020 חיטוי באמצעות התכשיר מתאם סודיום בכל החלקות (טבלה 6). מתאם סודיום אינו נמטוציד, אך בעל יכולת מוגבלת בקטילת זחלי נמטודות נודדות. חיטוי הקרקע בשני הניסויים כלל את הרטבת הקרקע, פרישת יריעת חיפוי שקופה על הקרקע הרטובה, והחזקת היריעות על פני הקרקע לצורך חיטוי סולרי חלקי מקדים למשך שבועיים. לאחר מכן, הוזרם התכשיר לחיטוי קרקע באמצעות מערכת ההשקיה בטפטוף שהונחה בחלקה לפני פרישת החיפוי. בסוף חודש יולי, לאחר הסרת היריעות, ולפני שתילת צמחי הפלפל, אספנו דוגמאות קרקע מכל נקודות הדגימה, לקביעת הישרדות *P. capsici* בקרקע בחלקות השונות

איור 18. השפעת היסטוריה של חיטוי קרקע בשנת 2019, על אוכלוסיות *P. capsici* בתום עונת הגידול, ועל הישרדותם לאחר חיטוי קרקע בקיץ 2020. טיפולי הקרקע בעונת 2019-20 מוצגים בתחתית האיור. בעונת 2020 בחלקה במושב פארן בוצע חיטוי בתכשיר פלאזין, ובחלקה במושב עידן מתאם סודיום. הצלמיות מופיעות מעל העמודות שבהן בוצע חיטוי



הקרקע בשנת 2020. בחינת כמות *P. capsici* בתום העונה, ואלה ששרדו לאחר חיטוי הקרקע בוצעה בשורשי צמחים שגדלו בעציצים בחממה בקרקע שנאספה בתום החיטוי. צלמיות מציינות את החלקות בהן בוצע חיטוי קרקע. קווים אנכיים בכל עמודה מייצגים את סטית התקן בין הדגימות השונות בכל טיפול. ציר הנמטודות הוא ציר לוגריתמי.

טבלה 6. פירוט הטיפולים בשתי עונות הגידול והשפעתם על הערך המצטבר של אכלוס השורשים ב- *P. capsici* (AUNPC)<sup>1</sup> בשתי עונות גידול עוקבות.

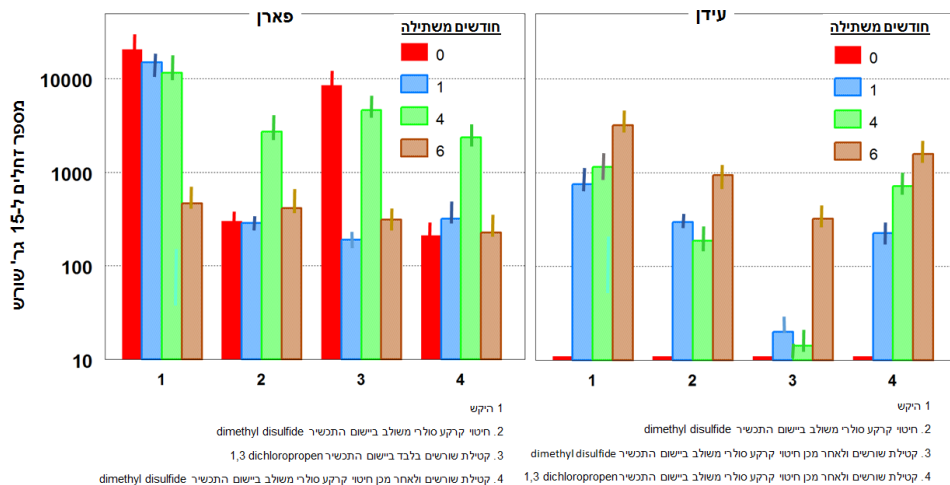
פארן			
עונת גידול שנייה 2020-21		עונת גידול ראשונה 2019-20	
AUNPC	טיפולים לפני הגידול	AUNPC	טיפולים לפני הגידול
1261710	היקש	104075	היקש
287130	חיטוי קרקע ביישום תכשיר החיטוי dimethyl disulfide	95206	קטילת שורשים בלבד ביישום התכשיר 1,3 dichloropropene
473715		657	חיטוי קרקע בלבד ביישום תכשיר החיטוי dimethyl disulfide
252170		367	קטילת שורשים ולאחר מכן חיטוי קרקע תכשיר החיטוי dimethyl disulfide

עידן			
עונת גידול שנייה 2020-21		עונת גידול ראשונה 2019-20	
AUNPC	טיפולים לפני הגידול	AUNPC	טיפולים בקרקע וצמחים לפני הגידול
90043	חיטוי קרקע ביישום תכשיר החיטוי Metam sodium	123536	היקש
46462		2100	קטילת שורשים בלבד ביישום התכשיר 1,3 dichloropropene
1537		978	חיטוי קרקע בלבד ביישום תכשיר החיטוי dimethyl disulfide
21672		228	קטילת שורשים ולאחר מכן חיטוי קרקע תכשיר החיטוי dimethyl disulfide

1- הערך המצטבר של אכלוס *P. capsici* בשורשי פלפל באמצעות חישוב השטח מתחת לעקום האכלוס בנמטודות (AUNPC) Area Under Nematode Progress Curve. ערך AUNPC בטבלה מחושב לארבעת החדשים הראשונים לגידול.

חיטוי הקרקע במתאם סודיום בניסוי במושב עידן היה יעיל בקטילת *P. capsici* עד לעומק 20 ס"מ בקרקע, בכל בחלקות. בניסוי במושב פארן שרדו נמטודות גם לאחר חיטוי בפלאדין, בחלקות שבוצע בהם חיטוי קרקע בשנת 2019 (איור 18). התוצאות אינן מפתיעות, שכן, בניסוי במושב פארן לא בוצע עיבוד קרקע טרם החיטוי, על כן יעילות החיטוי פוחתת.

איור 19. השפעת היסטוריה של חיטוי קרקע בשנת 2019, על אוכלוסיות *P. capsici* במהלך עונת גידול 2020-2021 טיפולי הקרקע בעונת 2019-2020 מוצגים בתחתית האיור. בעונת 2020 בחלקה במושב פארן בוצע חיטוי בתכשיר פלאדין, ובחלקה במושב עידן מתאם סודיום. בחנית אוכלוסיות *P. capsici*



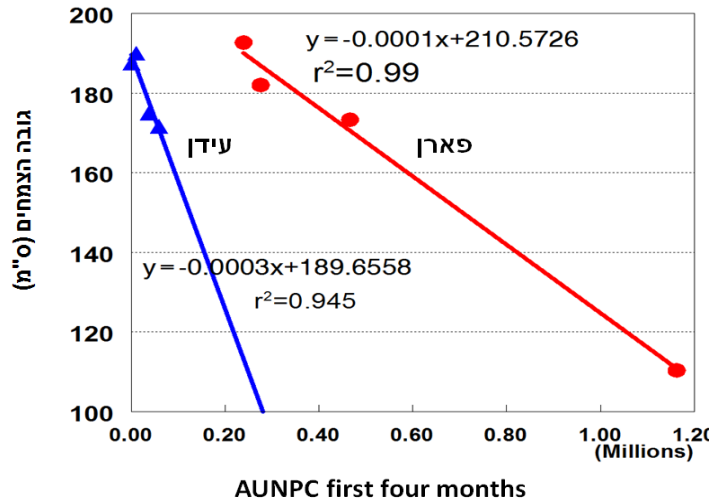
שרדו לאחר חיטוי הקרקע בוצעה בשורשי צמחים שגדלו בעציצים בחממה בקרקע שנאספה בתום החיטוי. הבחינה ביתר המועדים בוצעה על שורשי צמחים שגדלו בחלקות השונות. קווים אנכיים בכל עמודה מייצגים את סטית התקן בין הדגימות השונות בכל טיפול. ציר הנמטודות הוא ציר לוגריתמי.

בסוף חודש יולי ובתחילת חודש אוגוסט 2020 נשתלו שתילי פלפל בחלקות הניסוי בפארן ועידן, בהתאמה במהלך הגידול עקרו צמחים בכל נקודות הדגימה כפי שהוגדרו בשנת הניסוי הראשונה (איור 8) ובדקנו את שיעור האכלוס ב-*P. capsici* בשורשי הצמחים. גידול הצמחים בשתי החלקות בתחילת העונה היה תקין ואחיד למעט בחלקת ההיקש במושב פארן שלא חוטאה לפני הגידול (בחלקה זו ראינו פיגור בגידול הצמחים מתחילת הגידול). התבססות *P. capsici* בשורשי הצמחים בכל הטיפולים בשני הניסויים הייתה מהירה מאד (איור 27). ארבעה שבועות לאחר השתילה הפקנו כמות גדולה של זחלי *P. capsici* משורשי צמחים שגדלו בכל החלקות במושב פארן ובמרבית החלקות במושב עידן. אכלוס השורשים ב-*P. capsici* בשתי החלקות היה גבוה יותר בהשוואת האכלוס בעונת הגידול הקודמת (איור 19). יתרה מכך, שיעור גדול של *P. capsici* תועד בחלקות שחוטאו בשנה הקודמת. ממצאים אלה ממחישים את כושרם המוגבל של אמצעים לחיטוי קרקע לתת מענה למשך עונת גידול אחת. שכן, בתום עונת הגידול 2019-2020 נשאר מדבק גבוה של *P. capsici* בקרקע, שמהווה נקודת פתיחה רעה לגידול. חשוב לשים לב כי נתוני הנמטודות באיורים הם על ציר לוגריתמי שממחיש את התעצמות הנמטודות בשנה זו.

חישוב השטח מתחת לעקום אכלוס השורשים ב-*P. capsici* (AUNPC), בשתי השנים מוצג בטבלה 6. ערך AUNPC בארבעת החודשים הראשונים לגידול הוא גדול יותר בשנת הגידול השנייה בכל החלקות בהשוואה לשנת הגידול הראשונה (למעט חלקת ההיקש בעידן שחוטאה לקראת עונת הגידול השנייה). ערך זה משקף את שיעור האכלוס הגדול יותר בשנת הגידול השנייה, וממחיש את יעילותו של חיטוי הקרקע לעונת גידול אחת. גם

בשנת הגידול השנייה מדדנו את גובה הצמחים כאשר הם הגיעו לגובהם המרבי, בשני הניסויים (סוף ינואר 2021). בדומה לגידול הראשון (איור 20), הצלחנו לבסס מתאם ברור בין גובה הצמחים בטיפולים השונים בעונה השנייה לבין שיעור האכלוס בשורשי הפלפל ב- *P. capsici*, על פי מדד AUNPC שחושב לארבעת החודשים הראשונים לגידול (איור 20).

איור 20. רגרסיה לינארית שמתארת את הקשר בין גובה צמחי פלפל בניסויים בפארן ועידן בעונת הגידול השנייה – 2020-21 לבין שיעור האכלוס המצטבר ב- *P. capsici* שמתואר כשטח מתחת לעקום התפתחות הנמטודות בשורשים בארבעת החודשים הראשונים של הגידול. קווי הרגרסיה נמצאו מובהקים ( $p < 0.05$ )



#### 4. מניעת תנועה אנכית של *P. capsici* משכבות עמוקות באמצעות חיץ ביולוגי

משימה 4 (שנה שנייה ושלישית)

בעבודות קודמות מצאנו כי הצנעה של חומר אורגני (ממקורות מסוימים) בקרקע הוא אמצעי יעיל בקטילת הפגעים בשכבת הקרקע בה הוא מיושם. בנוסף מצאנו כי בשכבת הקרקע המטופלת מתפתחים תהליכים של דיכוי התבססות מחודשת של מחוללי מחלות (Klein et al 2012). כדי לבחון את האפשרות הזו, היצבנו שני ניסויים בחלקות במושב פארן ועידן. בניסויים אלה בחנו האם הצנעת כוספה של סויה לעומק 20 ס"מ יכולה להיות חיץ ביולוגי ולמנוע תנועה של הנמטודות משכבות עמוקות כלפי מעלה. בניסוי זה, בשכבת החיץ (השכבה העליונה עם החומר האורגני) ייקטלו הנמטודות באמצעות שילוב החומר האורגני וחיטוי סולרי חלקי, ולאחר מכן שכבת הקרקע המטופלת תהווה חיץ אפשרי לתנועה אנכית של הנמטודות משכבות עמוקות יותר. בסמוך לחלקות שבהם הצבנו את ניסויי ממשק ההדברה - האחת בפארן והשנייה במושב עידן (פרק 4), הצבנו באותם מבנים גם את הניסויים לבדיקת חיץ ביולוגי. בתום עונת הגידול שקדמה לניסוי עקרו צמחי פלפל. השורשים נשטפו במעבדה והועברו להפקת נמטודות משורשי הצמחים. תוצאות המיפוי מצביעות על פיזור הומוגני של *P. capsici*.

בחודש מאי לאחר עקירה וסילוק הצמחים הצבנו בכל ניסוי שלושה טיפולים על פי לוח הזמנים המתואר להלן:

1 היקש

2. חיטוי קרקע בלבד (סולרי חלקי משולב ביישום תכשיר החיטוי 1,3 dichloropropene)

3. הצנעה של כוספת סויה (1 ק"ג למ"ר)

3.2019	4.2019	5.2019	6.2019	7.2019	8.2019	9.2019	10.2019	11.2019	12.2019	1.2020	2.2020	3.2020	4.2020	5.2020
מיפוי החלקה	קטילת שורשים		חיטוי קרקע כוספה וחיטוי סולרי		גידול פלפל בחלקה									
הערכת נגיעות בצמחים		בדיקת נמטודות בשורשים		בדיקת נמטודות בקרקע	בדיקת נגיעות בשורשים			בדיקת נגיעות בשורשים			בדיקת נגיעות בשורשים		בדיקת נגיעות בשורשים	בדיקת נמטודות בקרקע

**איור 21. סרגל זמנים ופירוט הטיפולים שבוצעו בשני הניסויים שבוצעו בעונת הגידול הראשונה להדברת *P. capsici* בפלפל.**

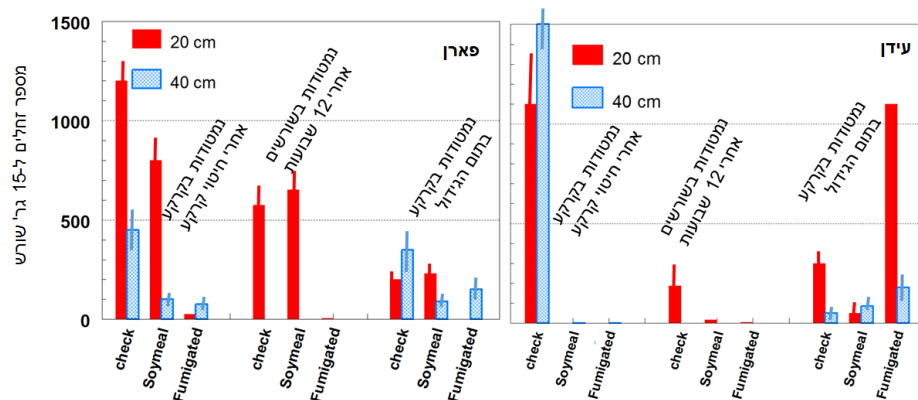
בחלקה במושב פארן לא בוצע עיבוד קרקע לפני החיטוי. בחלקה במושב עידן נעשה עיבוד על פי המקובל בגידול. כוספה מגרעיני סויה פוזרה באמצעות מזבלת מסחרית והוצנעה בתיחוח לעומק 20 ס"מ. לאחר מכן, הושקתה החלקה ונפרשה יריעת חיפוי שקופה. חיטוי הקרקע בתכשיר החיטוי כלל פרישת יריעת חיפוי שקופה על קרקע רטובה, והזרמת תכשיר החיטוי באמצעות מערכת ההשקיה בטפטוף שהונחה בחלקה לפני פרישת החיפוי. הזרמת תכשירי החיטוי בוצעה שבועיים לאחר פרישת יריעות החיפוי.

בחודש אוגוסט, לאחר הסרת היריעות ולקראת השתילה, אספנו דוגמאות קרקע שאותם העברנו לעציצים בחממה ושתלנו שתילי פלפל כדי לבחון באמצעותם את הישרדות הנמטודות בטיפולים השונים. דגמנו קרקע משני עומקים כפי שמוצג באיור 21. חיטוי הקרקע הכימי וגם באמצעות כוספת סויה הפחית את חיוניות הנמטודות באופן חד בעומק 20 ס"מ בשתי החלקות. לעומת זאת התקבלה הדברה חלקית בלבד בעומק 40 ס"מ בחלקה במושב פארן. בחלקה במושב עידן הושגה קטילה טובה של הנמטודות גם בעומק 40 ס"מ.

בחודש אוגוסט נשתלו צמחי פלפל בחלקות. במהלך הגידול עקבנו אחר הגידול. שלושה חודשים לאחר השתילה, עקרנו את צמחים בנקודות הדגימה ובדקנו את שיעור הנגיעות בשורשים ואת כמות הנמטודות. בשלב הזה של הגידול נראה כי בחלקות המחוטאות בשתי שיטות החיטוי נשמר ניקיון החלקה מנמטודות (איור 22). בתום העונה לאחר עקירת הצמחים אספנו דגימות קרקע מכל נקודות הדגימה כדי להעריך את כמות הנמטודות בקרקע בתום הגידול. שיעור הנמטודות בקרקע בעומק 20 ס"מ מייצג את כושרם של הנמטודות לנוע אנכית בחלקות שטופלו בכוספה של סויה (שכן, בתחילת הגידול היתה שכבת קרקע זו חופשיה מנמטודות).

בשתי החלקות הצלחנו למצות כמות לא מבוטלת של *P. capsici* בקרקע בעומק 20 ס"מ בכל החלקות, כולל אלה שהוצנעה בהם כוספה של סויה (איור 30). ממצאים אלה אינם מאששים את ההנחה כי שכבת הקרקע שהוצנעה בה כוספה של סויה יכולה להוות חיץ ביולוגי. הממצאים מראים כי *P. capsici* מתפשט בכל החלקות לעומק עד 40 ס"מ ואולי אף יותר. לא ברור, האם התנועה היא באמצעות מערכת השורשים או תנועה אקטיבית עצמאית. מכל מקום, יש צורך לבחון אמצעים אחרים להשגת חיץ ביולוגי לתנועה אנכית של נמטודות מהעומק.

איור 22. השפעת חיטוי קרקע בתכשירי חיטוי ובאמצעות הצנעה של כוספה של סויה, על קטילת *P. capsici* בתפוחותו בקרקע, בשורשי פלפל וכמות מדבק בקרקע בתום העונה.



## דיון

### פונדקאים מסויים (עשבים)

הנמטודות *P. capsici* מאכלסות שורשי עשבים ממינים שונים כגון, כף אווז, חלמית, מרור הגינות וזיפן, בערכים משתנים (טבלה 3, איור 6). הימצאות *P. capsici* בשורשי עשבים אינה קשורה בהכרח לשורשי הפלפל. כך לדוגמה מצאנו נמטודות בעשבים שגדלו בחלקה בעין יהב, במרחק משורשי פלפל. הממצאים מציעים כי סביר יותר שתפוצת *P. capsici* היא ככל הנראה מעשבים לפלפל. המידע שהצטבר עד כה במחקרים אחרים ובמחקר הנוכחי מציעים ש *P. capsici* הוא מין מקומי שהפך להיות טפיל על צמחי בר או שהוחדר ע"י גורם אחר ובאופן מקרי שרד על עשבי הבר. אנליזה ביאוגיאוגרפית נוספת עם דיגומים במרחב גדול יותר הכוללים פונדקאים נוספים ימחישו יותר טוב תוצאות אלו. חשוב לציין כי אכלוס בשורשי עשבים מסויימים, מלווה לעיתים בתסמינים אופייניים של נגיעות בנמטודות. אולם, בשורשי עשבים אחרים, האכלוס אינו מלווה בתסמינים של פגיעת *P. capsici* לפטריות קרקע

השפעות גומלין בין נמטודות ופטריות בהגברת תחלואה בצמחים מתועדות כבר שנים רבות (Powell, 1971), פטריות מהסוגים *Fusarium*, *Pythium* עלולים להגביר את התחלואה מנמטודות. מהכיוון השני, נמטודות יודעות לפצוע את השורשים ולאפשר חדירה קלה יותר של פטריות. בנוסף, מתועדות מערכות מחלה-צמח שבהן נמטודות "שוברות" עמידות של צמחים לפוזריום. לכן, הגדרנו כמטרה לבחון מעורבות של פטריות מהסוג פיתיום ופוזריום בתחלואה של פלפל בהשפעת *P. capsici*. הממצאים משנת המחקר הראשונה וגם השנייה הצביעו על נוכחות מועטה של פטריות אלה בשורשי פלפל שהיו נגועים בצורה ניכרת ב- *P. capsici*. ברור כי פטריות אלה אינן מעורבות בפגועות של *P. capsici*. לכן, מיקדנו את החיפוש אחרי מעורבות של מיקרואורגניזמים נוספים באמצעות אנליזה מטאגנומית בשורשים נגועים ב- *P. capsici*. תוצאות האנליזה הצביעו על מעורבות אפשרית של פטריות מהסוג *Olpidium* (איור 1). אלה פטריות ירודות אלחוטיות אשר מוכרות כטפילות על שורשי צמחים רבים. פטריות אלה מהוות ווקטורים של וירוסים רבים כגון וירוס העורקים המעובים בחסה, ווירוס (LBV) ווירוס הכתמים הנקרטיים במילון (MNSV). בבדיקת שורשי פלפל שגדלו בשדה ארבעה שבועות לאחר שתילה, מצאנו כי הפטריה מאכלסת את השורשים באופן מסיבי. עוד מצאנו כי אכלוס זה הוא במקביל לאכלוס מהיר של השורשים בנמטודות (איורים 2,3). בשנת המחקר השנייה ניתן היה לראות קשר מסויים בין האכלוס בנמטודות לבין התיישבות הפטריה בשורשים.

כדי לאשש את הקשר האפשרי בין אכלוס שורשים בנמטודות לאכלוס באולפידיום, בדקנו את השפעתם טיפולים שונים בקרקע על שתי האוכלוסיות. כאשר בדקנו אמצעי הדברה שונים כדי להקטין למינימום את אוכלוסיות הנמטודות, מצאנו כי אכלוס השורשים ב- *Olpidium brassicae* אינו קשור בהכרח לשיעור האכלוס בנמטודות (איורים 9,10). מגמה זאת נראית בבירור בצמחים שגדלו בחלקות לאחר חיטוי קרקע, שבהן הופחת האכלוס בשורשי הצמחים בנמטודות למינימום לאורך כל עונת הגידול. מאידך, שיעור אכלוס השורשים ב- *O. brassicae* היה גבוה בשורשים בכל החלקות ללא קשר לאכלוס השורשים ב- *P. capsici* (איורים 4,5). יתר על כן, התנועה העונתית באכלוס השורשים בנמטודות ובאולפידיום אינה דומה בצמחים שגדלו בחלקות ההיקש (איורים 4,5 - עקומות בצבע אדום). אולם, יש לציין כי אי אפשר להתעלם מהנוכחות המסיבית והדומיננטית של הפטריה הביטורפית *O. brassicae* בשורשי פלפל נגועים ב- *P. capsici*. פטריה זו ידועה כווקטור להעברת וירוסים וגם כפתוגן לעת מצוא אשר מסוגל לגרום את ניוונום של צמחים (Gamlie et al 1993). ייתכן כי *O. brassicae* גורם להחלשות הצמחים. אולם, מלבד נוכחותם של השניים בשורשי פלפל, לא הצלחנו לבסס קשר או השפעת גומלין בין השניים בהשפעתו על שיעור התחלואה ב- *Pratylenchus capsici*. אנו מתכננים להמשיך לבחון קשר אפשרי בין שני האורגניזמים בניסויים מבוקרים בבתי צמיחה.



### התפשטות, תחלואה והישרדות

התבססות *P. capsici* בשורשי הצמחים בקרקעות מאולחות היא מהירה מאד (איורים 12,13). ארבעה שבועות לאחר השתילה *P. capsici* מאכלס בצפיפות את שורשי צמחים בחלקות מאולחות. הנגיעות המסיבית יכולה להסביר את הדיכוי בהתפתחות הצמחים בשלב מוקדם (איור 14) וגם את ההשפעה המתמשכת על גובהם הסופי של הצמחים ועל היבול (איורים 22,28). שיעור הנמטודות בשורשים פוחת בהתאמה לשינויי הטמפרטורה העונתיים (איורים 10). סביר ביותר שהתקררות הקרקע היא הסיבה העיקרית לאכלוס הפוחת בשורשים הנובע מהארכת מחזור החיים של הנמטודה. אולם, גם לאחר הירידה בכמות *P. capsici* בשורשים בעונת החורף, עדיין הכמות היא גדולה (איור 12). עם התחממות הקרקע באביב 2020, ישנה התגברות באוכלוסיות *P. capsici* בשורשי פלפל בחלקות ההיקש. איפיון התחלואה של צמחי פלפל והשוואה כמותית של שיעור התחלואה בין חלקות שונות, טיפולים שונים, או אפילו זנים שונים של פלפל, הוא מאתגר בעיקר משום שלא ניתן לכמת תסמיני מחלה. לכן, הערך הכמותי הרלוונטי במערכת פרטילנכוס-פלפל, הוא שיעור האכלוס בשורשים. התנועה העונתית בשיעור האכלוס בשורשים מקשה גם כן על הצגת שיעור תחלואה השוואתי. AUDPC הוא מדד חשוב ומקובל בהערכת התפתחות תחלואה, שמאפשר להשוות טיפולים על בסיס אחיד ולייחס אותם למדדי גידול (גובה הצמחים) ויבול הפירות (Madden et al 2007). חישובנו את השטח מתחת לעקום אכלוס השורשים ב- *P. capsici* Area Under Nematode Progress Curve (AUNPC) מרבית ערך AUNPC בשני הניסויים במשך שנתיים רצופות, נצבר בארבעת החודשים הראשונים לגידול (70% בפארן, 75% בעידן). אכלוס *P. capsici* בארבעת חודשים הראשונים להתפתחות הגידול משפיע באופן מכריע על התפתחות הצמחים (גובה) ועל היבול (איורים 14,15). אכלוס מסיבי של *P. capsici* בשורשים גורר פונטציאל מדבק גבוה בתום העונה (איור 17), מאשר כמות הנמטודות בקרקעות בחלקות אלה לפני תחילת הגידול ב-2019 (איור 18). יתר על כן, אנו רואים שיעור משמעותי של נמטודות בעומק הקרקע בתום עונת הגידול (איורים 22). סביר מאד שאוכלוסיות של *P. capsici* ששורדות בעומק שמתחת לשכבת העיבוד מהווים מקור אינוקולום לגידול העתידי. לא ברור לנו עדיין האם תנועה אנכית של *P. capsici* מתרחשת בתנועה אקטיבית עצמאית או ניצול השורשים כנתיב להתקדמות. ברור לנו, כי שתילת פונדקאי רגיש (פלפל) מחד, ושיבוש נרחב בעשבים (שמהווים פונדקאים לנמטודה) מאידך תרם להתעצמות אוכלוסיות הנמטודות בחלקות. ממצאים אלה ממחישים את הצורך בטיפול יעיל בקרקעות בהם מדבק גבוה של *P. capsici* לפני שתילת גידול רגיש.

### חיטוי קרקע וממשק הדברה

המטרה העיקרית בתוכנית, זו היא גיבוש ממשק הדברה שייתן מענה מידי לעונת הגידול, וגם השפעה לטווח ממושך יותר. שלושה אמצעי הדברה שונים בזמן ובמרחב נבחנו בעבודה זו – קטילת שורשים בתום הגידול הקודם, חיטוי קרקע טרם הגידול הרלוונטי, ויישום נמטוצידים להפחתת נגיעות במהלך הגידול. הממצאים בפרקים 3-4 בעבודה זו מציגים את כושרם המוגבל של האמצעים שצוינו לעיל כאשר הם מופעלים בנפרד וללא שילוב באמצעים אחרים. התפשטותם המהירה של הנמטודות בגידול פלפל בשילוב האכלוס בשורשי עשבים והתנועה האנכית מעומק הקרקע, מחייבים שימוש בגישה אינטגרטיבית להתמודדות עם *P. capsici*. בעבר גיבשנו גישה מערכתית להתמודדות עם נמטודות יוצרות עפצים בפלפל (גמליאל 2015). המערכת מבוססת על שילוב של טיפולים עוקבים. בטיפול משולב כזה קטילת השורשים לפני עקירתם נועדה לקטול את הנמטודות הפעילות בשורשים ולצמצם את תנועתם לקרקע בתום הגידול. בכך, אנחנו מקטינים את המדבק בקרקע. בהמשך מבוצע חיטוי קרקע כדי לייצב מצב חדש שבו שיעור המידבק בקרקע מינימלי. במהלך הגידול ניתן ליישם נמטוצידים כדי לשמור על אילוח מינימלי.

קטילת השורשים בתום עונת הגידול וחיטוי קרקע גרמו כל אחד בנפרד להפחתת מספר הנמטודות בקרקע ולהקטנת האילוח בשורשים לאחר מכן (איור 21-18). קטילת השורשים מקטינה את שיעור המדבק בצורה חלקית בלבד (איור 18). מעצם הגדרת אזור הפעולה של קטילת שורשים, היא לא נועדה להקנות הדברה בכל המרחב, אלא הקטנה כחלק ממערך כולל. אכן, פעולה זו לבדה לא תרמה לגידול בריא של פלפל (איורים 19-20). חיטוי קרקע לבדו הוא יעיל ותרם לגידול בריא ומניב של צמחי הפלפל בחלקות שטופלו. ממשק משולב שכלל קטילת שורשים וחיטוי קרקע צמצם את אכלוס השורשים ב- *P. capsici* לשעור אפסי (איורים 19-21). למרות ההצלחה בהדברת *P. capsici* במהלך עונת הגידול, נותר בקרקע בתום העונה מדבק מספיק לגרום תחלואה רבה בעונה העוקבת, כפי שראינו בגידול שני בשתי חלקות הניסוי (איורים 25,30). ההישרדות היא גם באמצעות נדידתם לעומק הקרקע בתום עונת הגידול (איורים 20,17). סביר מאד שאוכלוסיות של *P. capsici* ששורדות בעומק שמתחת לשכבת העיבוד מהווים מקור אינוקולום לגידול העתידי. לכן, ממשק הדברה מתחייב לפני כל עונת גידול, כדי להבטיח את בריאות הגידול. מציאנו כי נמטוצידים מקנים הדברה במהלך הגידול (איור 7). חשוב לשלב יישום נמטוצידים בממשק ההדברה. יישום תכשירים אלה בארבעת החודשים הראשונים לגידול יאפשר לצמחים לגדול באילוח נמוך בעונה הקריטית, מבלי שייפגע הגידול והיבול.

בעבודות קודמות מצאנו כי הצנעה של חומר אורגני (ממקורות מסוימים) בקרקע הוא אמצעי יעיל בקטילת הפגעים בשכבת הקרקע בה הוא מיושם. בנוסף מצאנו כי בשכבת הקרקע המטופלת מתפתחים תהליכים של דיכוי התבססות מחודשת של מחוללי מחלות אלו (Klein et al 2012). כדי לבחון את האפשרות הזו, הצבנו שני ניסויים בחלקות במוש



פארן ועידן שבהם שילבנו טיפול שבו הצנענו בקרקע כוספה של סויה לעומק 20 ס"מ כדי שתשמש חיץ לתנועה אנכית של הנמטודות משכבות עמוקות יותר. כמות לא מבוטלת של *P. capsici* נמצאה בתום העונה בכל החלקות לעומק עד 40 ס"מ. לכן, ברור כי לא הצלחנו לבנות חיץ ביולוגי לתנועה אנכית של הנמטודות. בעבודה זו הגדרנו נמטודה חדשה בגידול פלפל - *P. capsici*. הצלחנו לאפיין מרכיבים רבים במחזור החיים, ההתפשטות והתחלואה, פונדקאים, וגיבוש ממשק הדברה. היבטים נוספים נלמדים כדי להרחיב את ההבנה והידע בנגע החדש על מנת לפתח גישות התמודדות תכליתיות ויעילות.

## פירוט מלא של הפרסומים המדעיים

- Qing, X., Bert, W., Gamliel, A., Bucki, P., Duvrinin, S., Alon T., and Braun Miyara, S. 2019. Phylogeography and molecular species delimitation of *Pratylenchus capsici* n. sp., a new root-lesion nematode in Israel on Pepper (*Capsicum annuum*). *Phytopathology* 109:847-858. doi: 10.1094/PHYTO-09-18-0324-R.
- Qing, X., Gamliel, A., Bucki, P., Duvrinin, S., Braun Miara, S, 2019. Occurrence of the Stunt Nematode *Neodolichorhynchus sulcatus* as Pathogen of Pepper (*Capsicum annuum*) in Israel. *Plant Dis.* <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-19-1427-PDN>
- Bucki, P. Qing, X., Castillo, P., Gamliel, A., Duvrinin, S., Alon, T., and Braun Miyara, S, (2020). The Genus *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae) in Israel: From Taxonomy to Control Practices. *Plants* 9:1475: 1-18. doi:10.3390/plants9111475

## רשימת ספרות מצוטטת

גמליאל, א. בראון מיארה, ס. 2015. פיתוח גישה מערכתית להדברת ומניעת התפשטות נמטודות בגידול פלפל ובמטע פרי נשירים. דוח לתוכנית מדען 2015-16.

- Gamliel, A., Hadar, E., and Katan, J. 1993. Improvement of growth and yield of *Gypsophila paniculata* by solarization or fumigation of soil or container medium in continuous cropping systems. *Plant Disease* 77:933-938
- Gamliel, A., Katan J. 2012. Soil Solarization: Theory and Practice *APS Press, St. Paul, MN USA* 266 pages.
- Klein, E., Katan, J., and Gamliel, A. 2012. Soil suppressiveness to *Meloidogyne javanica* as induced by organic amendments and solarization in greenhouse crops. *Crop Protection* 39:26-32
- Madden, L. V., Hughes, G., and Van den Bosch F, (2007). The Study of Plant Disease epidemics. APS Press, St Paul, MN, 421 pages.
- Qing, X., Gamliel, A., Bucki, P., Duvrinin, S., Braun Miara, S, 2019. Occurrence of the Stunt Nematode *Neodolichorhynchus sulcatus* as Pathogen of Pepper (*Capsicum annuum*) in Israel. *Plant Dis.* <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-19-1427-PDN>
- Powell, N. T (1971). Interaction between nematodes and fungi in disease complexes. *Annual Review of Phytopathology*, 9:253-274
- Vrain TC, Wakarchuk DA, Levesque AC, Hamilton RI. Intraspecific rDNA restriction fragment length polymorphism in the *Xiphinema americanum* group. (1992) *Fundamental and Applied Nematology* 15: 563-573.
- Youssef, N, M. A (2014) Nematodes associated with date palm and their control measures. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47:425-428, <http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2013.811031>