

אפיון תהליכי בניית סופרסיביות של קרקעות כנגד מחלות שוכנות קרקע
Studying the development of suppressiveness against soil-borne diseases
דוח סופי לתכנית 132-1357-10 המוגש לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות

ע"י

רוני כהן, מיכאל רביב, יעל לאור
יעקב קטן, יצחק הדר וענת יוגב
מינהל המחקר החקלאי, נווה יער
הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית, רחובות
מו"פ ערבה
שמעון פיבניה

R. Cohen, M. Raviv, Y. Laor, Newe Ya'ar Research Center, P.O. Box 1021, Ramat Yishay 30095. E-mail: ronico@volcani.agri.gov.il

J. Katan, Y. Hadar, A. Yogev, Department of Plant Pathology and Microbiology, Faculty of Agriculture, Rehovot 76100, Israel

S. Pivonia Arava R&D Center, Yair Exp. Stn. Israel

מאי 2011

אייר תשע"א

הממצאים בדוח זה הינם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים.

חתימת החוקר

תקציר

בהיעדר האפשרות לבצע בחקלאות אורגנית (ח"א) חיטוי קרקע למעט חיטוי סולרי, מחלות צמחים המועברות בקרקע עלולות לגרום בה לנזקים לגידולים שונים. לפיכך פיתוח שיטות למניעתן הינו תנאי הכרחי להמשך פיתוח הח"א. קרקעות סופרסיביות הינן קרקעות המדכאות גורמי מחלה או מפחיתות את אלימותם. כתוצאה נחלשת עצמת המחלה או שאינה מתבטאת כלל בצמח על אף נוכחות הפתוגן. במחקר זה בדקנו האם הסופרסיביות שאיבחנו במחקר קודם בחלק מקרקעות הח"א הנה ספציפית לפתוגן מסוים או שיש לה טווח רחב של פתוגנים. ניסינו לאתר את המאפיינים הביולוגיים והכימיים המייחדים קרקעות בהן נתגלתה סופרסיביות ולפתח מערכות לחיזוי רמת הדיכוי שתתפתח בקרקע בעזרת ממשק מסוים. במחקר הנוכחי לא נמצאו הבדלים בכשר הדיכוי של שני סוגי הקרקעות מסיבות שעדיין אינן ברורות לנו. הפעילות המיקרוביאלית היחסית של הקרקע האורגנית הייתה כפולה, לערך, מזו של הקרקעות הקונוונציונאליות, כפי שהיא באה לידי ביטוי בקצב פליטת חום, נשימה ופעילות הידרוליטית. במקביל נדגמו גם 4 סוגי קומפוסטים מסחריים ונמצאה שונות רבה ברמת הבשלתם, בתכונותיהם הכימיות והביולוגיות ובכושרן לדכא את מחלת הנבילה של המלפפון, המלון ומחלת הדוררת. נראה כי הן רמת הבשלות והן גורמים כגון ריכוז האמון משפיעים על כושר הדיכוי של הקומפוסטים. הצלבת תוצאות שני המחקרים

שערכנו מצביעה על כך כי יישום קומפוסטים המראים סופרסיביות במבחן מקדים, עשוי להקנות כושר זה גם לקרקע. עם זאת, לא הצלחנו להוכיח כי הסופרסיביות שאפיינה קרקעות אורגניות כלפי הפטרייה (FOM) *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* הינה בעלת אופי כללי וכי היא מופנית גם כלפי פתוגנים נוספים, אם כי נצפתה תופעה דומה גם בהקשר ל *Sclerotium rolfsii*.

מבוא ותאור הבעיה

מחלות צמחים המועברות בקרקע (soil-borne diseases) גורמות נזקים קשים לכל הגידולים האינטנסיביים המרכזיים בחקלאות אורגנית (ח"א). מאחר שבח"א אין משתמשים בחיטוי קרקע למעט חיטוי סולרי, נזקי מחלות אלו עלולים להיות קשים. לפיכך, פיתוח שיטות מניעה שתהיינה יעילות כלכליות וקבילות סביבתית הינו תנאי הכרחי להמשך פיתוח הח"א. קרקעות סופרסיביות הינן קרקעות המדכאות (באופן טבעי או עקב פעולה חקלאית) גורמי מחלה (הקיימים בהן או החודרים אליהן מבחוץ) או מפחיתות את אלימותם. כתוצאה מכך, נחלשת עצמת המחלה או שאינה מתבטאת כלל בצמח על אף נוכחות הפתוגן. המידע לגבי המנגנון הגורם להפיכת קרקע רגילה לקרקע מדכאת אינו שלם אך נראה כי פעילות מיקרוביאלית (התלויה, בין השאר, בתכולת חמר אורגני זמין בקרקע) מהווה גורם עיקרי הקובע את בריאות הקרקע. בחקלאות הרגילה לא מקובל להוסיף חומר אורגני בקרקע ועבודות רבות מראות כי במרוצת הזמן תכולתו פוחתת. יתרה מזו, ישנן עדויות רבות המראות כי שימוש בדשנים ובחומרי הדברה מקטין את ביומאסת הקרקע ופוגע בפעילותה. בחקלאות האורגנית מקובל ליישם קומפוסט בקרקע מדי שנה, להקפיד על מחזור זרעים ולהימנע משמוש בדשנים ובתכשירי הדברה קונבנציונאליים. אחת מהתוצאות של ממשק זה היא עליה בתכולת החומר האורגני בקרקע, בביומאסה ובפעילות המיקרוביאלית. במחקר קודם אשר נעשה על ידינו במימון המדען הראשי הראינו שסוגי קומפוסט מסוימים משרים בקרקע דיכוי כנגד פתוגנים של שורש. כמו כן, הראינו שבחלק מהקרקעות של ח"א (אך לא בכולן) דוכאה מחלת הפוזריום של מלון בייעילות רבה יותר מאשר בקרקעות זהות פדולוגית שעובדו במימשק קונוונציונאלי. בשל כללי הפיקוח הנהוגים בח"א קיים תיעוד מפורט של כל הפעילויות המתבצעות בשדות אורגניים ולפיכך מהוות הקרקעות של הח"א מאגר מידע חשוב המאפשר למדוד ולנתח נתונים בהיקף רחב, לתועלת הח"א והחקלאות הקונבנציונאלית, כאחת. חשוב לציין בהקשר זה כי בהיות הח"א חלק ממרקם חקלאי מגוון, ניתן לאתר שדות סמוכים, בהן קיימים סוגי קרקע וגידולים דומים תחת ממשק קונבנציונאלי. עובדה זו מרחיבה מאוד את טווח ההשפעות הניתנות לבדיקה. המידע המעודד על חשיבות יישום החומר האורגני בחקלאות אורגנית אינו שלם ומציב שאלות המהוות את הבסיס למחקר הנוכחי: 1. האם הסופרסיביות שאובחנה בחלק מקרקעות הח"א הנה ספציפית לפתוגן מסוים או שיש לה טווח רחב של פתוגנים? 2. מה הם המאפיינים הביולוגיים והכימיים המייחדים קרקעות בהן נתגלתה סופרסיביות? 3. האם ניתן לפתח מערכות לחיזוי רמת הדיכוי שתפתח בקרקע בעזרת ממשק מסוים?

מטרות המחקר

1. חקר טווח הדיכוי של מחלות שורש שונות בקרקעות ח"א, במגוון רחב של קרקעות מבחינת ההרכב וההיסטוריה של ממשק גידול.
2. אפיון התכונות הביולוגיות של קרקעות בעלות רמות שונות של דיכוי מחלות.
3. אפיון התכונות הביולוגיות והכימיות של קומפוסטים בעלי רמות שונות של דיכוי מחלות.

4. פיתוח שיטות מהימנות לחיזוי רמת הדיכוי בקרקע ח"א.

מטרה 1: חקר טווח הדיכוי של מחלות שורש שונות בחקלאות ח"א

כאמור, במחקר הקודם חקרנו את ההשפעות של קרקעות ח"א על מהלך מחלת פוזריום הנבילה של המלון הנגרמת על ידי הפטרייה *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* (FOM). בסקירה של 15 זוגות קרקעות ממשקים אורגניים ברחבי ישראל נמצאה מגמה מובהקת של דיכוי המחלה בקרקעות אורגניות לעומת קרקעות זהות פדולוגית שטופלו במימשק קונבנציונאלי. במחקר הנוכחי התחלנו להרחיב את חקר טווח הדיכוי כנגד פתוגנים נוספים כדי לבחון את השאלה האם כושר הדיכוי של קרקע הינו ספציפי לפתוגן מסויים או האם הוא מכסה פתוגנים נוספים. לשם כך עלינו לפתח שיטות הדבקה מתאימות, שחלקן יתוארו להלן.

נדגמו קרקעות מ 4 אתרים: נווה יער, בית אלפא, אפיקים ועין חרוד. כפי שיוברר בהמשך (וכפי שאף ידוע בספרות), למועד לקיחת הדגימה יש משמעות מכריעה ביחס לפעילות המיקרוביאלית של הקרקע (4). במחקר הראשון בוצעה הדגימה בחורף (פברואר). במקרה זה בוצעה הדגימה בסוף יולי, מועד בו, בתנאי ישראל, הפעילות המיקרוביאלית של הקרקע נמוכה יותר מאשר בחורף. מספר פרמטרים מאפיינים מאנליזות הקרקעות שנדגמו מובאים בטבלה 1.

טבלה 1: מדדים אופייניים בקרקעות ששימשו לניסויים בשנת 2008.

קרקע	% חמר אורגני	% חול	% סילט	% חרסית	K*	P**	N-NO ₃ ^{-**}	N-NH ₄ ^{***}
אפיקים א ¹	3.60	21.5	33.6	44.9	42.9	65.5	15.1	13.2
נווה יער א	2.33	13.5	29.6	56.9	16.0	90.0	31.1	11.2
בית אלפא א	2.30	17.5	33.6	48.9	28.9	86.8	31.5	10.5
עין חרוד א	1.47	13.5	33.6	52.9	10.1	33.8	22.4	7.2
אפיקים ק ²	2.32	25.5	29.6	44.9	60.5	220.5	13.3	4.0
נווה יער ק	1.35	17.5	33.6	48.9	16.4	26.4	37.3	2.5
בית אלפא ק	2.03	13.5	41.6	44.9	27.3	79.1	68.2	17.1
עין חרוד ק	1.01	13.5	33.6	52.9	6.2	30.0	31.4	8.2

* mg l⁻¹ in a 1:10 water extract

** mg Kg⁻¹

¹ אורגני

² קונוונציונאלי

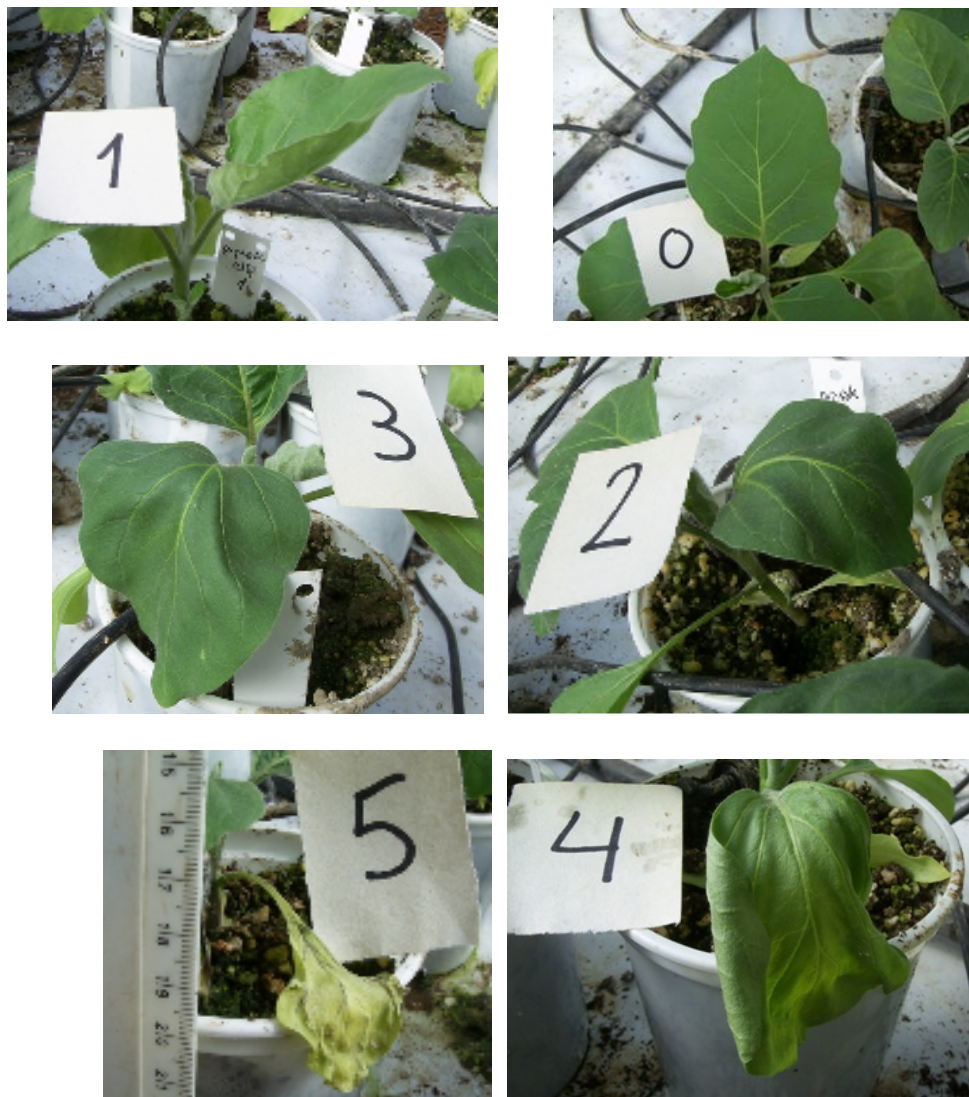
ברב המקרים נמצא, כצפוי, כי קרקעות אורגניות מכילות יותר חומר אורגני מקרקעות קונוונציונאליות. תחקור המגדל בבית אלפא העלה שהשטח הקונוונציונאלי שם קיבל בשלוש השנים האחרונות כמות מצטברת של 10 מ"ק זבל בקר לדונם, עובדה המסבירה את האחוז החרגי של החומר האורגני בקרקע זו. אין זה המצב במטע הקונוונציונאלי של אפיקים, שלדברי המגדל דושן בדשן כימי בלבד. במקרה זה המדובר הוא במטע אבוקדו שניטע

בשנת 1981. נראה שהיעדר פליחה והצטברות העלווה שנשרה והתפרקה במקום לאורך כמעט 30 שנה תרמה לתכולת החומר האורגני החריגה באתר זה. עם זאת, אין הדבר מסביר את הריכוזים החריגים של הזרחן והאשלגן.

מערכת הפתוגן-פונדקאי הראשונה שנבדקה היתה *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum* (FORC) ומלפפון מהזן בית אלפא. בהשוואה לכבול דיכאו כל הקרקעות את הופעת המחלה. בעוד שבכבול מעל ל-90% מהצמחים נפגעו כבר לאחר 15 יום מההדבקה, בקרקעות לא עלתה ההדבקה במועד זה מעל ל-27%. עם זאת, במקרה זה לא היה הבדל מובהק בין זוגות הקרקעות באשר לדיכוי המחלה מלבד בית אלפא, שם הקרקע הקונוונציונאלית דיכאה בצורה מובהקת את מחלה, יותר מהקרקע האורגנית, מסיבות שעדיין אינן ברורות לנו.

מערכת פתוגן-פונדקאי נוספת שנבדקה היא *Verticillium dahliae*, מחולל מחלת הדוררת וחציל מהזן מלכה שחורה. כאן היה עלינו לפתח שיטות בדיקה המתאימות למערכת זו, מאחר שהתפתחות המחלה בה איטית בהרבה מאשר במקרי מחלות הפוזריום. איפיון המחלה במקרה זה נעשה ע"י מעקב אחרי הופעת סימני נבילה בעלים,

כמתואר בתמונה 1.



תמונה 1: הגדרת רמות נבילת עלי חציל כתוצאה מפעילות פטריית הדוררת.

גם במקרה זה נמצאו רק הבדלים מועטים בין קרקעות אורגניות לקונונציונליות. רק במקרה של קרקע נווה יער היה הפרש מובהק בין שני סוגי הקרקעות: הקרקע הקונונציונאלית דיכאה את המחלה באופן מובהק בהשוואה לקרקע האורגנית.

כפי שדווח במועד הבדיקה הקודם, הראו רב הקרקעות האורגניות כשר דיכוי גבוה כנגד FOM מאלו של בנות הזוג הקונונציונאליות שלהן. על מנת לוודא שהתוצאות שנתקבלו עם פטריות ה FORC והדוררת לא היו מקריות, שבנו ובדקנו קרקעות אלו עם הצמד FOM ומלון ואכן נמצא כי גם במקרה זה לא היו הקרקעות האורגניות בעלות כשר דיכוי גבוה יותר מאלו של הקונונציונאליות. ממצא זה מצביע על האפשרות שתופעת הדיכוי קשורה למועד הדגימה, ובעקיפין, לעוצמת הפעילות הביולוגית בקרקע. על מנת לבסס השערה זו נלקחו בהמשך מדגמי קרקע בעונות נוספות והשווה כושר הדיכוי היחסי שלהן, בהשוואה לביקורת בעלת פעילות מיקרוביאלית יציבה (כבול).

בשנת המחקר השנייה הדגימה בוצעה באביב (מרס). נדגמו קרקעות מ 4 אתרים: נווה יער, אפיקים, עין חרוד וחפציבה. בשל העובדה שהקרקעות הקונונציונאליות של בית אלפא דושנו, כאמור, בכמויות גדולות של זבל בקר הן לא נדגמו בשנה זו ובמקומן נדגמו קרקעות מחפציבה. כמו כן נדגמו קרקעות משדה אליהו, אך בחינה פדולוגית הראתה כי זוג הקרקעות אינו זהה ולכן תוצאות זוג זה אינן מובאות בהמשך. מספר פרמטרים מאפיינים מאנליזות הקרקעות שנדגמו מובאים בטבלה 2. ניתן לראות כי פדולוגית, זוגות הקרקעות שנדגמו דומים מאד וההבדלים הם בטווח טעות הדגימה והמדידה. כמו כן ניתן לראות כי כמויות החומר האורגני המצטברות שפוזרו בשנים 2002-2009 בחלקות שנדגמו מקיימות מתאם טוב עם תכולת החומר האורגני בהן, כמוצג באיור 1.

טבלה 2: מדדים אופייניים של הקרקעות אשר שימשו לניסויים בשנת 2009.

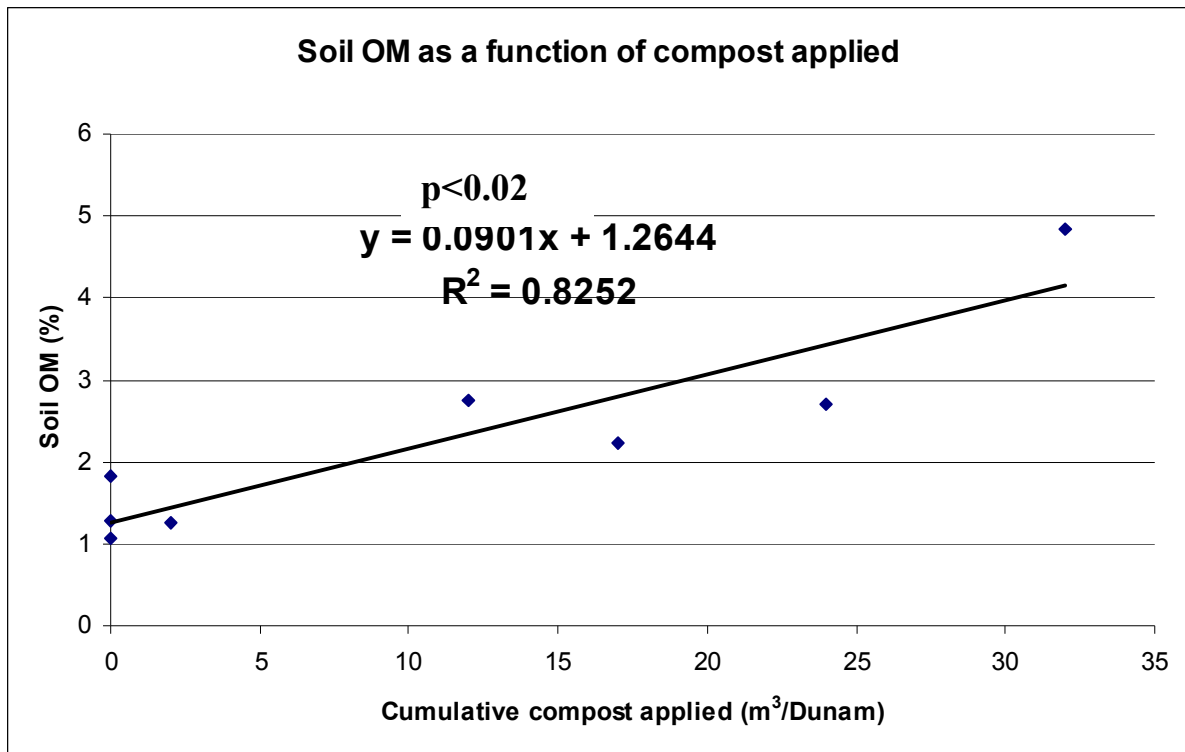
קרקע	% חמר אורגני	% חול	% סילט	% חרסית	K*	P**	N-NO ₃ ^{-**}	N-NH ₄ ^{***}
אפיקים א ¹	4.84	24.6	35.1	40.3	55.8	208.1	15.9	46.2
חפציבה א	2.76	12.6	31.1	56.3	33.5	146.5	44.3	20.1
נווה יער א	2.23	12.6	27.0	60.4	14.8	101.8	8.7	11.2
עין חרוד א	2.71	16.6	27.0	56.4	21.1	60.7	55.4	25.0
אפיקים ק ²	1.82	28.6	27.1	44.3	16.8	51.9	2.0	29.8
חפציבה ק	1.25	16.6	31.0	52.4	5.5	19.2	23.5	6.9
נווה יער ק	1.28	12.7	27.0	60.3	9.4	18.0	2.7	12.0
עין חרוד ק	1.06	12.7	31.0	56.3	5.1	12.8	47.3	18.1

* mg l⁻¹ in a 1:10 water extract

** mg Kg⁻¹

¹ אורגני

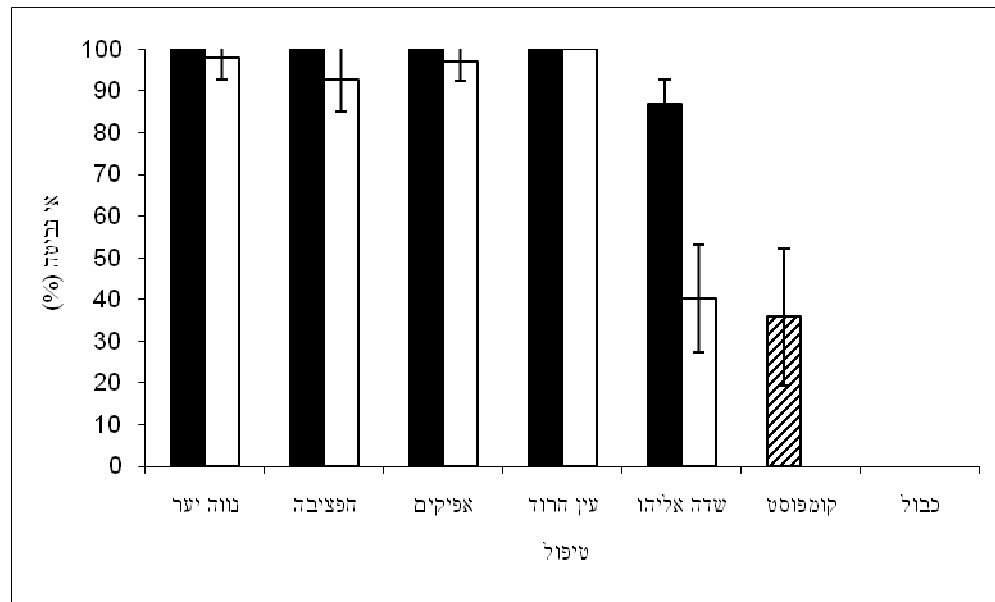
² קונונציונאלית



איור 1: הקשר בין הכמות המצטברת של קומפוסט שיושמו בחלקות שנדגמו בשנים 2002-2009 לבין תכולת החומר האורגני בקרקעות אלו.

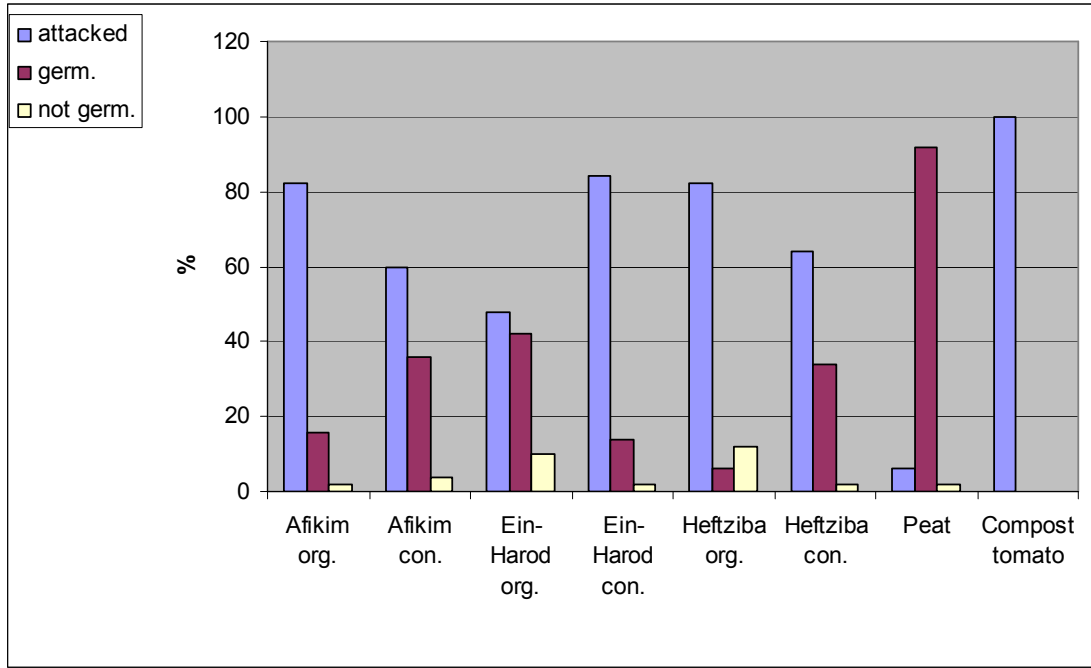
בחינת כשר הדיכוי של קרקעות אלו בוצעה עם הפתוגנים FOM, FORC ודוררת. בכל מקרה בוצעו לפחות 2 חזרות לניסוי. שלא כבשנים קודמות לא נמצא הבדל מובהק לטובת הקרקעות האורגניות במניעת נגיעות ב FOM ובקרקעות נווה יער אף נמצא יתרון לקרקע הקונוונציונאלית. גם בבדיקת העמידות ל FORC לא נמצאו הבדלים מובהקים בין זוגות הקרקעות, מלבד יתרון קל לקרקע האורגנית של חפציבה. במקרה של דוררת נמצא יתרון קל לקרקע עין חרוד קונוונציונאלית, ללא הבדלים בין יתר זוגות הקרקעות.

בשנה השנייה נבחנה לראשונה השפעת הממשק על שרידות קשיונות הפתוגן *Sclerotium rolfsii*. הקרקעות הובאו לדרגת רטיבות אחידה והודגרו ב - 30 מ"צ למשך שבוע. לאחר מכן חולקו הקרקעות לצלחות פטרי בקוטר 90 מ"מ. בכל צלחת הונחו 20 קשיונות (סה"כ 100 קשיונות לטיפול). כביקורת שימשו צלחות עם כבול סטרילי. במקביל הושוו הקרקעות לקומפוסט בוצת-שפכים מסחרי מאתר דלילה. לאחר חמישה ימים נבדקה נביטת הקשיונות בשני הטיפולים ונערכה השוואה לביקורת. לא נמצא הבדל בין הקרקעות האורגניות לקונוונציונאליות. הקשיונות לא נבטו על אף אחת מהקרקעות שנבדקו (איור 2).



איור 2: השוואה בין קרקע אורגנית (עמודות שחורות) לקרקע קונבנציונלית (עמודות לבנות). כביקורת לדיכוי הקשיונות הושוּו הטיפולים לטיפול של קומפוסט בוצת-שפכים (עמודה מקווקוות). בביקורת לחיוניות הקשיונות (כבול) נבטו כל הקשיונות. ערכי ציר Y אי-נביטה (%).

חזרה נוספת על מבחן זה נעשתה עם הקרקעות שנדגמו בשנה השלישית, אשר תכונותיהן מובאות ב**טבלה 3**. בנוסף, נעשו שתי ביקורות: כבול וקומפוסט עגבניות וזבל בקר. הקרקעות והמצעים האורגניים הורטבו והודגרו למשך חמישה ימים, כמתואר לעיל. לאחר מכן חולקו הם לצלחות פטרי (5 חזרות) ו 10 קשיונות הונחו בכל צלחת על פני הקרקע. לאחר 5 ימי הדגרה נוספים נבחנו הקשיונות בעזרת מיקרוסקופ סטראוסקופי וחולקו לשלוש קטגוריות: קשיונות שנתקפו על ידי פטריות מיקופרזיטיות, קשיונות שנבטו וקשיונות שלא נבטו. כפי שניתן לראות ב**איור 3** ההבדל בין הכבול לקומפוסט היה חד משמעי. לא כך היה המצב בקרקעות: קרקע אפיקים וחפציבה אורגניות היו יותר תוקפניות כלפי קשיונות (כלומר יותר קשיונות נתקפו על ידי פטריות פרזיטיות). לעומת זאת בקרקעות עין חרוד המצב הפוך. בכל הקרקעות, הן אורגניות והן קונבנציונליות נמצאו פטריות התוקפות קשיונות נובטים אך בשיעור שונה.



איור 3: השוואה בין תקיפת קשיונות *Sclerotium rolfsii* שהונחו על קרקעות אורגניות לקונבנציונליות. כביקורות שימשו כבול וקומפוסט.

טבלה 3: מדדים אופייניים של הקרקעות אשר שימשו לניסויים בשנת 2010.

N-NH ₄ ^{***}	N-NO ₃ ^{**}	P**	K*	% חרסית	% סילט	% חול	% חמר אורגני	קרקע
3.6	49.7	105.9	46.2	48.6	32.3	19.1	7.36	אפיקים א ¹
4.4	29.6	64.6	21.4	65.6	23.3	11.1	2.08	הפציבה א
8.7	18.4	83.6	16.4	62.8	29.6	7.6	1.84	נווה יער א
6.7	36.3	95.4	36.1	56.2	25.5	18.3	2.02	עין חרוד א
8.8	7.2	47.4	22.6	51.6	31.3	17.1	1.31	אפיקים ק ²
8.5	7.9	17.8	8.6	60.6	29.3	10.1	0.60	הפציבה ק
4.3	9.4	20.1	13.3	62.8	31.6	5.6	1.48	נווה יער ק
14.7	26.6	19.6	7.0	63.6	23.3	13.1	0.95	עין חרוד ק

* mg l⁻¹ in a 1:10 water extract

** mg Kg⁻¹

¹ אורגני

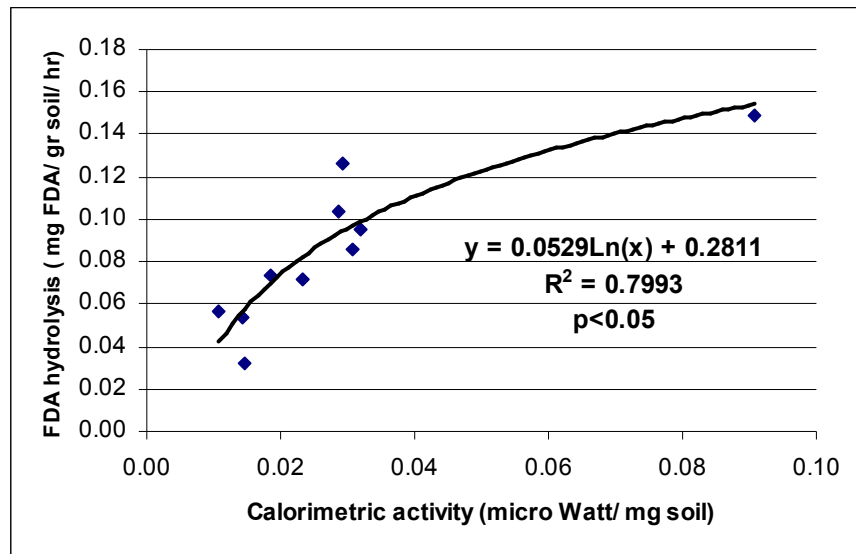
² קונוונציונאלי

לסיכום נושא זה ניתן לקבוע כי לא אושר קיומו של הבדל הדיר בכשר דיכוי המחלות שנבדקו בין שני ממשקי הגידול, וזאת עבור 4 פתוגנים שונים, במועדי בדיקה שונים. מאמצינו לפתח מערכת בדיקה נוספת, כמתוכנן (מקרופמינה\שעועית) לא עלו יפה ואיננו יכולים להראות תוצאות של מערכת בדיקה זו.

מטרה 2: איפיון התכונות הביולוגיות של קרקעות בעלות רמות שונות של דיכוי מחלות.

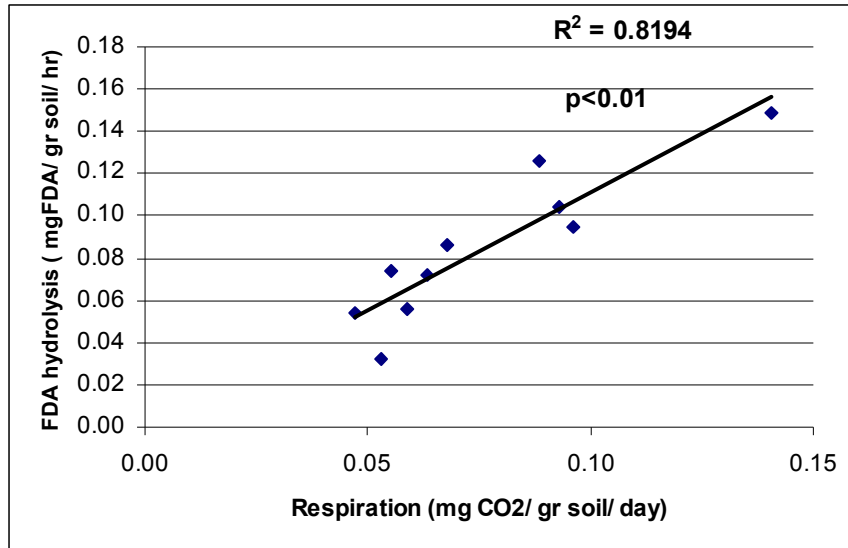
פעילות הקרקעות על בסיס קצב שחרור החום אופיינה בקלורומטר. מלבד המקרה של קרקע בית אלפא קונוונציונאלית, בה יושמה, כאמור, כמות גדולה של זבל אורגני טרי בשנת הדיגום, היתה פעילות הקרקעות האורגניות גבוהה באופן מובהק מזו של הקונוונציונאליות (ממוצע של 0.028 מיקרו וואט\מ"ג קרקע באורגני לעומת 0.015 בקונוונציונאלי). ממצא זה חזר על עצמו גם בקרקעות שנדגמו בשנה העוקבת.

פעילות כלל האנזימים ההידרוליטיים (המאופיינת בהידרוליזה של Fluorescein diacetate) התנהגה באופן דומה לשחרור החום: הפעילות האנזימטית הגיעה לממוצע של 2.34 מ"ג FDA\מ"ג קרקע קונוונציונאלית, בהשוואה ל 4.21 בקרקע האורגנית. שני המדדים נמצאים בקשר לוגריתמי, כמודגם באיור 4. ממצא זה חזר על עצמו גם בקרקעות שנדגמו בשנה העוקבת.



איור 4: הקשר שבין כושר שיחרור החום של קרקעות המדגם לעוצמת הפעילות ההידרוליטית שלהן.

קשר חזק יותר, וליניארי, נמצא בין נשימת הקרקע לפעילות ההידרוליטית, כמתואר באיור 5.

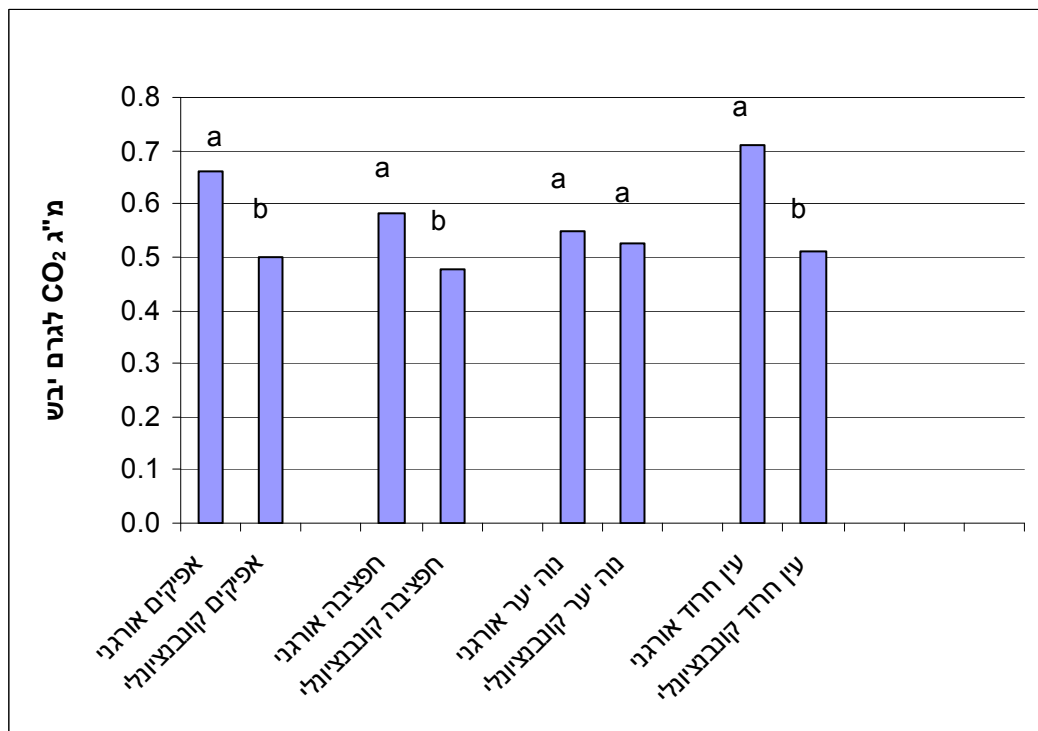


איור 5: הקשר שבין נשימת קרקעות המדגם לעוצמת הפעילות ההידרוליטית שלהן.

כמו כן נמצא מתאם חלש (מובהק ברמת $p < 0.1$) בין פעילות FDA לבין כשר הדיכוי כלפי פוזריום של מלון, אך לא כלפי FORC או וורטיציליום.

בשנה השנייה בחינת פעילות מיקרוביאלית כללית (על בסיס נשימה) של זוגות הקרקעות הראתה, בדומה לממצאי השנה הראשונה, פעילות גבוהה יותר ברב הקרקעות האורגניות, בהשוואה לקונוונציונאליות. נשימת הקרקעות מובאת באיור

6.



איור 6: נשימת זוגות הקרקעות שנבדקו. אותיות שונות מסמנות הבדל סטטיסטי מובהק בתוך זוג הקרקעות.

כמו במקרה הקודם, נמצא מתאם טוב ($p < 0.05$) בין נשימת הקרקעות לבין הפעילות האנזימטית שלהן, כפי שהתבטאה בחיזור FDA. עם זאת, מעניין לציין כי בעוד שבהשוואה לבדיקות השנה הקודמת הפעילות האנזימטית של הקרקעות עלתה, הרי נשימתן ירדה, וזאת בניגוד לצפוי מקרקעות הנדגמות באביב, בהשוואה לקיץ.

לסיכום ניתן לקבוע כי כל המדדים המאפיינים פעילויות ביולוגיות של הקרקע (פליטת חום, נשימה, פעילויות אנזימטיות) היו גבוהים יותר בקרקעות האורגניות, בהשוואה למקבילותיהן הקונוונציונאליות. כשלעצמו, ממצא זה אינו מפתיע בשל הוספת החומר האורגני המקובל במימשק האורגני. עם זאת, ההיפותזה שניתן יהיה להשתמש באחד או יותר ממדדים אלו כמנבא כושר דיכוי כלפי מחלות קרקע שונות לא אומתה.

מטרה 3: אפיון התכונות הביולוגיות והכימיות של קומפוסטים בעלי רמות שונות של דיכוי מחלות.

ההיפותזה שהנחתה אותנו היתה כי חלק חשוב מיכולת הדיכוי המתפתחת בקרקעות הנתונות לממשק אורגני היא תוצאת השימוש בקומפוסט לאורך השנים וכתוצאה, שינויים במבנה האוכלוסייה המיקרוביאלית בקרקע. מאחר שאין בקרת איכות של הקומפוסטים המשמשים לח"א בהקשר לכושרם לדכא מחלות, ביצענו דיגומי קומפוסטים בהם נוהגים להשתמש בקרקעות ח"א רבות, בהשוואה לקומפוסט שיוצר בנווה יער בתנאים מבוקרים מתערובת של קש עגבניות עם זבל בקר, ואשר כושר הדיכוי שלו כלפי FOM הוכח במספר מבחנים נוספים (למשל 5, 10). אופיינו כמה מתכונותיהם הכימיות והביולוגיות של קומפוסטים אלו וחלק מהתוצאות מפורטות ב**טבלאות 4 ו 5**.

טבלה 4: אנליזות כימיות של הקומפוסטים המסחריים שנבדקו.

קומפוסט	% חמר אורגני	N (%)	K (%)	P (%)	N-NO ₃ ^{-*}	N-NH ₄ ⁺ *	יחס חנקן/אמון
נווה יער	56.5	2.88	0.74	2.98	339	25	13.4
1	42.7	2.13	1.68	3.88	181	39	4.62
2	21.5	1.05	0.81	1.49	125	32	3.91
3	33.5	1.55	1.08	2.38	17	34	0.49
4	50.8	1.85	1.09	3.88	12	48	0.25

* mg l⁻¹ in a 1:10 water extract

תכולת החומר האורגני בקומפוסט העגבניות גבוהה, וכן גם ריכוז החנקן הכללי והזמין. היחס הגבוה בין החנקן לאמון מעיד על בשלותו של קומפוסט זה. לקומפוסט 1 תכולת ח"א, חנקן כללי וזמין סבירים ויחס בינוני של חנקן לאמון. קומפוסט 2 עבר, ככל הנראה, הבשלה מאולצת בתנאי טמפרטורה גבוהים מאד שגרמו לתכולת חומר אורגני וחנקן נמוכים במיוחד. לקומפוסט 3 תכולת ח"א וחנקן נמוכות למדי ויחס חנקן/אמון המלמד על היותו בלתי בשל. קומפוסט 4 הוא הפחות בשל מכולם.

טבלה 5: תכונות ביולוגיות של הקומפוסטים שנבדקו, בהשוואה לכבול (אותיות שונות ליד הערכים מלמדות על הבדל מובהק ברמת $p < 0.005$).

קומפוסט	נשימה (מ"ג CO ₂ \גרם ח"י)	FDA (מ"ג FDA \גרם ח"י)	דיכוי FORC (AUDPC)*	דיכוי FOM (AUDPC)	דיכוי דוררת (AUDPC)
נווה יער	2.06 c	0.34 b	160 cd	113 b	0.70 a
1	1.89 c	0.27 cd	496 b	104 b	0.89 a
2	1.29 c	0.26 cd	114 d	93 b	0.72 a
3	4.39 b	0.22 d	384 bc	248 b	0.67 a
4	6.92 a	0.32 bc	256 bcd	66 b	0.29 a
כבול	1.54 c	0.61 a	978 a	502 a	0.94 a

* AUDPC – Area under the disease progress curve

זהו מדד המבטא את חומרת וקצב התקדמות המחלה.

נשימת הקומפוסטים נמצאת במתאם מעריכי מובהק עם יחס החנקן/אמון, חיזוק נוסף לשימוש במדד זה כמדד אמין להערכת בשלות קומפוסטים. ניתן לראות מנתוני הנשימה (טבלה 4) כי קומפוסטים 3 ו 4 הם הפחות בשלים מכל הקומפוסטים שנבחנו. עם זאת, ניתן לראות כי הפעילות האנזימטית ההידרוליטית, כפי שהיא מתבטאת ב FDA אינה מקיימת מתאם עם הנשימה או עם יחס החנקן/אמון. יתרה מזאת, בניגוד למקובל בספרות אין גם קשר בינה לבין כשר הדיכוי כלפי דוררת, FORC או FOM. את ממצאי כשר הדיכוי (כפי שהם מובעים בערכי השטח מתחת לעקומת התקדמות המחלה, AUDPC), ניתן לסכם כך: כבול, כמצופה אינו סופרסיבי לשתיים מהמחלות שנבדקו (FORC ו FOM), וכל חמשת הקומפוסטים יעילים ממנו בדיכויין. מבין הקומפוסטים, קומפוסט מס. 2, קומפוסט נווה יער וקומפוסט 4 היו היעילים ביותר כנגד מחלות אלו. קומפוסט 4 היה היעיל ביותר גם כנגד הדוררת. קומפוסט 1, למרות היותו בשל למדי, היה הפחות יעיל מבין הקומפוסטים כנגד FORC. משתמע מכך כי מדד הבשלות הינו רק אחד מהמדדים המכתיבים את יעילותו של הקומפוסט כנגד הפתוגנים שנבדקו. כך למשל, יתכן מאד שלתכולת האמון הגבוהה של קומפוסט 4 היה חלק בהיות קומפוסט זה סופרסיבי כלפי FOM ודוררת (בצד היותו הרעיל ביותר לצמחי המבחן).

מטרה 4: פיתוח שיטות מהימנות לחיזוי רמת הדיכוי בקרקע ח"א.

בחינת הקומפוסטים המסחריים נעשתה, בין היתר, במטרה לקשר בין תכונות הדיכוי של הקרקעות, כפי שאופיינו במחקר הקודם, לקומפוסטים שיושמו בהם. למרות ההסתייגות הנובעת ממרחק הזמן בין שתי מערכות הבדיקות, הממצאים המובאים בזאת נותנים חומר למחשבה: מבין הקרקעות האורגניות המדכאות, שני משקים השתמשו בקומפוסט שיוצר ע"י היצרן של קומפוסט 1, שניים השתמשו בקומפוסט של יצרן 4, אחד השתמש בקומפוסט של

יצרן 2 ואחד השתמש בקומפוסט מייצור עצמי. מבין הקרקעות האורגניות שהראו כושר דיכוי נמוך, משק אחד השתמש בקומפוסט של יצרן 3 שהיה הפחות יעיל בבדיקות המתוארות לעיל, 3 משקים השתמשו בקומפוסט מייצור עצמי ואחד לא טייב את הקרקע שלו בקומפוסט בשלוש השנים שקדמו לדגימת הקרקע. סביר איפוא שלמרות הממצאים החלקיים של מחקר זה ואי הצלחתנו לפתח שיטת חיזוי אמינה לרמת דיכוי מחלות בקרקע, ניתן להניח במידה סבירה של וודאות כי יישום קומפוסטים המראים סופרסיביות במבחן מקדים, יקנה כושר זה גם לקרקע.

1. Cohen, R., Burger, Y., Horev, C., Saar, U. and M. Raviv (2008). Peat in the inoculation medium induces *Fusarium* susceptibility in melons. *Plant Breeding* 127: 424-428.
2. Medina, Sh., Raviv, M., Saadi, I. and Y. Laor (2009). Methodological aspects of microcalorimetry used to assess the dynamics of microbial activity during composting. *Bioresource Technology* 100: 4814-4829.
3. Raviv, M., Aviani, I., Laor, Y., Yogev, A., Saadi, I, Cohen, R. and Sh. Medina (2009). Agricultural practices affect microbial functional diversity, microbial activity and suppressiveness against soil-borne diseases. *Multitrophic Interactions in Soil: IOBC/WPRS Bulletin* Vol. 42: 139-144.
4. Saadi, I., Laor, Y., Raviv, M. and Sh. Medina (2007). Land spreading of olive mill wastewater: Effects on soil microbial activity and potential phytotoxicity. *Chemosphere* 66: 75-83.
5. Saadi, I., Laor, Y., Medina, Sh. Krassnovsky, A. and M. Raviv (2010). Compost suppressiveness against *Fusarium oxysporum* was not reduced after one-year storage under various moisture and temperature conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 626-634.
6. Yogev, A., Raviv, M., Kritzman, G., Hadar, Y., Cohen, R., Kirshner, B. and J. Katan (2009). Suppression of Bacterial Canker of Tomato by Composts. *Crop Protection*. 28: 97-103.
7. Yogev, A., Raviv, M., Hadar, Y., Cohen, R., Wolf, S., Gil, L. and J. Katan (2010). Induced resistance as a putative component of compost suppressiveness. *Biological Control* 54: 46-51.

סיכום שאלות מנחות**1. מטרת המחקר לתקופת הדוח תוך התייחסות לתוכנית העבודה.**

- ✓ חקר טווח הדיכוי של מחלות שורש שונות בקרקעות ח"א, במגוון רחב של קרקעות מבחינת ההרכב וההיסטוריה של ממשק גידול.
- ✓ אפיון התכונות הביולוגיות של קרקעות בעלות רמות שונות של דיכוי מחלות.
- ✓ אפיון התכונות הביולוגיות והכימיות של קומפוסטים בעלי רמות שונות של דיכוי מחלות.
- ✓ פיתוח שיטות מהימנות לחיזוי רמת הדיכוי בקרקע ח"א.

2. עיקרי הניסויים והתוצאות.

- נמצאו סוגי קומפוסטים מסחריים שהיו סופרסיביים למחלות השונות שנבדקו.
- נחקרה בשלות הקומפוסט כמפתח להבנת הסופרסיביות. נמצא כי בשלות יכולה להסביר את כשר הדיכוי רק בחלק מהמקרים, אך ככל הנראה גורמים נוספים מעורבים בדיכוי מחלות אחרות, כגון דוררת.
- נחקרה הסופרסיביות של קרקעות ממשק אורגני, בהשוואה לקרקעות בממשק רגיל כנגד פתוגנים נוספים, שלא נחקרו במחקר הקודם. לא ניתן להכליל ממימצאים שנתקבלו עם פתוגן מסויים (כגון FOM) לגבי כשר הדיכוי הקרקע כלפי פתוגנים אחרים.

3. המסקנות המדעיות והשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו.

- ניתן להניח כי בחינה מקדימה של קומפוסטים המיועדים ליישום תאפשר חיזוי כושרם להשרות דיכוי מחלות בקרקע.

4. הבעיות שונות לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים); התייחסות המשך המחקר לגביהן.

- אפיון קרקעות בחקלאות אורגנית שלא פיתחו כשר דיכוי והבנת הסיבות לכשל.
- שיפור הבנת הקשר בין תכונות הקומפוסטים השונים לבין כשר הדיכוי שלהם.

5. הפצת הידע.

- חלק מהממצאים הוצגו בוועדות של החברה הישראלית לפיטופתולוגיה, במפגשי חקלאים ובמספר פירסומים.

פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)

X רק בספריות

ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)

חסוי – לא לפרסם

