

מועצה אזורית אשכול
מועצה אזורית שדות נגב
מועצה אזורית מרחבים



משרד החקלאות ופיתוח הכפר
קרן קיימת לישראל
המשרד לפיתוח הנגב והגליל
ההסתדרות הציונית העולמית-החטיבה להתישבות

NEGEV AGRICULTURAL R&D CENTER



דו"ח התקדמות מקצועי 2024



- **שם תוכנית:** פיתוח טיפולי קרקע מיקרוביאליים ליצירת אדמה סופרסיבית בתפוח אדמה

- **חוקר ראשי:** טל אוגד, מו"פ דרום, אחראי על ניהול המחקר;

- **חוקרים משניים:** טלי אילני, מו"פ דרום, חוקרת קרקע ומים. חגי רענן, מנהל המחקר החקלאי מרכז גילת, כימות מיקרוביולוגיה כללית בקרקע; זיו מי-טל, שה"ם מדריך ראשי לתפוח"א, ליווי ויעוץ מקצועי

- **סטטוס תוכנית:** נמשכת

- **מועד התחלה וסיום התוכנית:** ינואר 2023 – דצמבר 2025

תקציר

גידול תפוח"א מהווה מקור מזון השלישי בגודלו לבני אדם בעולם, גדל ביותר מ 150 מדינות שונות ומשמש לתזונה של מיליוני אנשים. גידול תפוח אדמה הינו מבין הגדולים בין הגידולים החקלאיים בישראל בהיקף הדונמים ומהגדולים בהיקף הפדיון. הירידה באיכות הגידול כתוצאה מגידול עוקב של שנה אחר שנה באותו שטח ידועה לא רק בתפוח"א אלא בכל ענפי החקלאות ומיוחסת להתפתחות מיקרוביאלית בקרקע (מיקרוביום) שיש בה רמות גבוהות של פתוגנים. מחקר זה מנסה לשפר את רווחיות הגידול של תפוח"א על ידי קיצור מספר השנים הנדרש בין מחזורי גידול עוקבים על ידי טיפולי קרקע בתכשירים מיקרוביאליים. בעבודה זאת נמצאו טיפולי קרקע המבוססים על תכשירים מיקרוביאליים שמראים ייתכנות להעלאת היבול בגידול עוקב של תפוח"א, ביניהם תכשיר חברת EM. ישנה חשיבות רבה לבדיקת התוצאות גם בשנה ג ובהמשך תידרש בדיקה נרחבת בשטחים נוספים כדי להביאן ליישום בגידול מסחרי בישראל.

רקע קצר ותיאור הבעיה

בישראל מגדלים תפוח"א בהיקף גדול ליצוא לאירופה ונדרשת טכנולוגיה שמאפשרת את הורדת עלות הגידול כדי להתמודד עם גידול מתחרה באירופה ובארצות אחרות. מחזור גידול בתפוח"א הינו בן 3-4 שנים, עלות השכרת קרקע הינה מרכיב כלכלי חשוב ולכן גידול עוקב של שנה אחר שנה או מחזור קצר יותר מהקיים יכולים להוריד בצורה משמעותית את עלות הגידול של תפוח"א. הרכב האוכלוסייה המיקרוביאלית של הקרקע הינה גורם עיקרי לירידה באיכות הגידול בגידול עוקב שנה אחר שנה (3). כתוצאה מגידול עוקב מתפתחים מחלות קרקע שפוגעות ביבול ובאיכות הפקעות. מחלות הקרקע בתפוח"א כוללות את המחלות הבאות: דוררת, גרב אבקי, גרב חיידקי, רקבון רך, רגל שחורה ופיתיום (2). כל אחת מהמחלות הללו עשויה להתעורר כתוצאה מגידול עוקב. מניעת מחלות קרקע יכולה להימנע על ידי טיפולים שמשנים את ההרכב המיקרוביאלי של הקרקע. טיפולים אלה כוללים תוספת קומפוסט ממקורות שונים (בקר או עוף) והוספת תכשירים מיקרוביאליים לקרקע. בשנים האחרונות פותחו תכשירים מסחריים לטיפול מיקרוביאלי לקרקע שניתן לבחון אותם לבד ובשילובים שונים.

מטרה עיקרית:

- (1) פיתוח טיפול יעיל המשלב תכשירים מיקרוביאליים עם תוספת קומפוסט או זבל עוף שיאפשר את קיצור משך מחזור הזרעים שנדרש בגידול תפוז"א.

מטרות משניות:

- (2) פיתוח טיפולים מיקרוביאליים במקום טיפולים כימיים כנגד מחלות קרקע דבר שימנע את הסכנה בשאריתיות חומרי הדברה ובסכנה האקולוגית שלהם.
- (3) הבנה טובה יותר של האוכלוסייה המיקרוביאלית בקרקע בגידול תפוז"א.

מהלך המחקר ושיטות העבודה

משימה 1: גידול תפוז"א בשדה פתוח שגודל בו תפוז"א בשנה לפני הקודמת עם טיפולים מיקרוביאליים.

תנאי גידול: שטח תפוז"א של 5 דונם שגודל בו תפוז"א בשנתיים האחרונות שנה אחר שנה נזרע בזרעי זן סיפורה שמקורם מייצור מקומי. הזריעה נעשתה בעומד של 3.5 זרעים למטר רץ, גודל הזרעים של 55-65 מ"מ ומשקל 401 ק"ג זרעים לדונם. דישון יסוד נעשה לאחר בדיקת קרקע של זרחן ואשלגן והשלמה ל 30 יחידות זרחן ו 120 יחידות אשלגן ובנוסף יושם קומפוסט עוף בכמות של 3 קוב לדונם או זבל עוף בכמות של 3 קוב לדונם, בהתאם למקובל בגידול מסחרי. תאריך הזריעה היה ב 13/10/24 והגידול נמשך ל 120 יום עד ליום הוצאת הפקעות. נביטה ראשונה נצפתה לאחר 30 יום. במהלך הגידול בוצעו טיפולי הגנת הצומח כמקובל בגידול מסחרי על ידי יישום טיפולים מונעים כנגד חלפת וכימשון מידי שבוע וטיפולים כנגד מזיקים לפי צורך בלבד בהתאם לניטור מזיקים בשטח. השקיה בוצעה פעמים בשבוע כמקובל בגידול מסחרי בהתאם למקדם התאדות פנמן שמתאם לשלבי הגידול השונים. דישון חנקני נעשה על ידי הוספת אמון חנקני למי ההשקיה במנות בהתאם לשלבי הגידול. סה"כ כמות המים לדונם שניתנה במהלך הגידול הייתה 700 מ"מ וסה"כ כמות החנקן שניתנה הייתה 32 יחידות (ק"ג לדונם).

טיפולים מיקרוביאליים: הטיפולים המיקרוביאליים בוצעו כמתוכנן, נבחנו 9 סוגי תכשירים שונים (טבלה 1) שנבחנו ב 20 סוגי טיפולים שונים שכללו שילובים וריכוזים שונים על רקע קומפוסט או זבל עוף (טבלה 2). התכשירים המיקרוביאליים שהשתתפו בניסוי היו: 1. תכשיר חברת EM מבוסס על מגוון חיידקים, 2. תכשיר מיקו-אפ של חברת ביו-בי מבוסס על פטריית מיקוריזה, 3. תכשיר רוט-פרו של חברת אגרו-גדות שמבוסס על פטריית טריכודרמה, 4. תכשיר חברת מיקרוביום המבוסס על חיידק בצילוס, 5. תכשיר ריזובקטרילוס של חברת אגרו-גדות, 6. תכשיר ניקסלה של חברת אגרו-גדות המבוסס על נגזרת של חומצה סיאליצילית, 7. קומפוסט של חברת קומפוסט אור, 8. תכשיר נוטרי אור של חברת קומפוסט אור, 9. תכשיר

ציאנובקטריה של חברת Nostoc Biotec . התכשירים יושמו על ידי הזלפה לקרקע, פיזור לפס הזריעה, תיחוח לקרקע או על ידי ריסוס עלוותי בשלב ההצצה. כל טיפול נעשה בארבע חזרות באקראי, כל חזרה בגודל של ערוגה על 2 מטר אורך (2 מטר רץ ערוגה) עם שטח של 3.9 מ"ר. יישום תכשיר חיידק הבצילוס של חברת מיקרוביום נעשה כ 10 ימים לפני זריעה כשהחומר יושם ב 5 טיפולים כל יומיים לפי הנחיית החברה. נעשה שינוי בתכנון גודל החזרה המקורי כדי לאפשר בחינה של מספר רב יותר של תכשירים.

משימה 2: הערכת איכות גידול ונוכחות מחלות קרקע ונוף בטיפולים השונים.
הערכת בריאות נוף הצמח: נעשתה על ידי הסתכלות בעין כמתוכנן. צמחים בריאים מאוד קיבלו ציון 5 ואילו וצמחים חולים קיבלו ציון 1. מחלת הנוף היחידה שנצפתה היה חלפת שמאפיינת צמחים מבוגרים.

הוצאת פקעות מהקרקע: הוצאת הפקעות נעשתה לאחר כ 120 יום מזריעה. פקעות תפוא"א מהטיפולים השונים הוצאו בעזרת קלשון, נאספו לשקים, נשטפו היטב במים. כל טיפול כלל ארבע חזרות ומכל חזרה הוצאו פקעות משטח של 2 מטר רץ ערוגה (3.9 מ"ר).

הערכת נגיעות פקעות: כפי שמצוין בטבלה 3 הערכת נגיעות הפקעות ב"כסות חומה" נעשתה על ידי הסתכלות בעין. נזק לקליפה כתוצאה מכסות חומה מיוחס כיום בעיקר לגורמים פיסילוגים. נלקח מדגם אקראי של 20 פקעות מכל חזרה והפקעות עברו מיון לפי 3 קטגוריות: 1. נגיעות גבוהה: כאשר כל הפקעת נגועה בכסות החומה. 2. נגיעות חלקית: כאשר רק חלק מהפקעת נגוע. 3. פקעות שאינן נגועות כלל. לאחר המיון התבצעה שקילה של כל קטגוריה וניתן ציון אינדקס לפי אחוז הפקעות בכל קטגוריה כאשר אחוז פקעות נגועות לגמרי הוכפל בפקטור 5, אחוז פקעות נגועות חלקית הוכפל בפקטור 3 ואחוז פקעות שאינן נגועות הוכפל בפקטור 1. כתוצאה מכך ציון גבוהה מצביע על נגיעות גבוהה וציון נמוך מצביע על נגיעות נמוכה של הפקעות. לדוגמה חזרה שיש בה 50% מהפקעות בנגיעות גבוהה, 30% בנגיעות חלקית ו 20% ללא נגיעות תקבל ציון אינדקס $3.6 (1*0.2 + 3*0.3 + 5*0.5)$.

הערכת יבול, משקל פקעות ממוצע ואחוז פקעות בגודל שיווק: מכל חזרה הפקעות נשקלו, נספרו ומתוכם חושב היבול, משקל הפקעת הממוצע ואחוז משקלי של פקעות הגדולות מ 45 גרם מסה"כ משקל הפקעות. פקעות בגודל 45 גרם ומעלה נחשבות כגודל סטנדרטי לשיווק.

בדיקת נוכחות פטריות וחיידקים כללים. בקרקע: דגימות קרקע מטיפולי הקרקע השונים בתכשירים מיקרוביאליים נבדקו לספירה כללית של חיידקים ופטריות בהתאם לפרוטוקול מהספרות (4). דגימות הקרקע נלקחו לאחר חודש מיישום התכשירים. דגימה של כ 9 גרם קרקע עורבבה עם 91 מ"ל מים סטריליים, עברה השהייה של 24 שעות וממנה נלקחו 3 דגימות נוזל לזריעות דילול על מצעים סלקטיביים לגידול חיידקים ופטריות. כמות המושבות שנספרו לאחר השהייה של 3 ימים מהזריעה בטמפרטורת חדר שימשו לחישוב של כמות החיידקים

והפטירות הכללים בקרקע. כמצע סלקטיבי לפטריות שימשו צלחות מצע (PDA) potato dextrose agar בתוספת אנטיביוטיקה nystatin בריכוז 100 חלקי מיליון (ח"מ). כמצע סלקטיבי לגידול חיידקים שימוש צלחות עם מצע (NA) nutrient agar בתוספת אנטיביוטיקה chloramphenicol בריכוז 100 ח"מ. הצלחות נרכשו מחברת טיבאן ביוטק בע"מ. סה"כ נלקחו 80 דגימות קרקע מ 20 טיפולים עם 4 חזרות לכל טיפול. אחוז מושבות פטריות עם תפטיר דמוי ריזופוס חושבו לאחר 6 ימי השהייה בטמפרטורת חדר.

ניתוח סטטיסטי של התוצאות: הנתונים עברו מבחן ANOVA לבדיקת השונות בין הטיפולים. הניתוח הסטטיסטי לשונות נערך בחבילת תוכנה JMP 7.0 בשיטת Tukey, אותיות שונות מייצגות הבדל סטטיסטי מובהק ברמת מובהקות של 0.05.

תוצאות

הערכת בריאות הנוף: תוצאות להערכת בריאות הנוף מוצגות בטבלה 4. התוצאות התקבלו על ידי הערכה בהסתכלות של מחלת החלפת בלבד, מחלות אחרות כדוגמת רגל שחורה וכימשון לא נמצאו במהלך הגידול. צמחים עם נראות בריאה מאוד קיבלו ציון 5 וצמחים עם נראות חולה מאוד קיבלו ציון 1. במהלך הגידול הצמחים עברו טיפולים מונעים כנגד חלפת וכימשון על ידי ריסוס אחד לשבוע ונראות הכללית של החלקה הייתה אופיינית לגידול מסחרי מקובל.

הערכת מחלות בפקעות: לא נמצאו סימנים לנגיעות פקעות במחלות קרקע למעט פקעות הנגועות ב"כסות חומה" שמהווה פגיעה נפוצה בקליפת תפוז"א ומיוחסת ככל שידוע כיום לבעיה כתוצאה מגורם פיסילוגי ולא מיקרוביאלי (2). נזק לקליפה כתוצאה מכסות חומה מהווה בעיה כלכלית קשה שהולכת וגוברת עם השנים בשיווק תפוז"א בארץ ובעיקר בחו"ל. איור 1 מציג את נגיעות הפקעות בכסות חומה כתלות בטיפול קרקע בתכשירים מיקרוביאליים. שגיאת התקן של כל טיפול מוצגות על ידי קווי שגיאה בהתאם לתוצאות שהתקבלו משלוש חזרות. בניתוח סטטיסטי לא נמצא הבדל מובהק ברמת נגיעות הפקעות בין הטיפולים השונים. איור 2 מציג את מופע ה"כסות חומה" כפי שהתגלתה בניסוי הנוכחי.

הערכת יבול והתפלגות גודל פקעות: איורים 3, 4 ו 5 מציגים את היבול, משקל פקעות ממוצע ואחוז פקעות בגודל שיווק בהתאמה כתלות בטיפול הקרקע. שגיאת התקן של כל טיפול מוצגות על ידי קווי שגיאה ואותיות שונות מצביעות על מובהקות סטטיסטית כתוצאה מארבע חזרות שונות של כל טיפול. נמצאו הבדלים מובהקים ביבול ובמשקל פקעות ממוצע.

הערכת מספר חיידקים ופטירות כללים בקרקע: איורים 6, 7 ו 8 מציגים את הספירה הכללית של חיידקים, פטריות ואחוז מושבות פטרייתיות עם תפטיר דמוי ריזופוס בהתאמה. שגיאת

התקן של כל טיפול מוצגות על ידי קווי שגיאה ואותיות שונות מצביעות על מובהקות סטטיסטית כתוצאה מארבע חזרות שונות של כל טיפול. נמצאו הבדלים מובהקים המצביעים על השפעה של טיפולים מיקרוביאליים בקרקע על ספירה כללית של חיידקים ופטריות בקרקע.

דיון

הערכת מחלות נוף: בריאות נוף הצמח בגידול תפוא"א יכולה להצביע על מחלות קרקע. בניסוי לא נמצאו סימנים של מחלות נוף האופייניות למחלות קרקע כדוגמת רגל שחורה, נבילה, ותמותת צמחים כתוצאה מנוכחות קומפלקס חיידקים פקטינוליטיים ומחלת הדוררת (2). ניטור מחלות הנוף נעשה פעם בשבועיים ומחלות הנוף היחידה שהופיעה במהלך הגידול הייתה חלפת שאופיינית לשלב הזדקנות הצמחים. בגידולים מסחריים אחרים שנעשו במקביל לגידול של חלקת הניסוי נמצא שהייתה שכיחות כללית נמוכה של מחלות נוף כתוצאה מתנאי מזג אוויר טובים. נמצאו הבדלים מובהקים בבריאות הצמחים בין טיפולי הקרקע השונים. ניתן להסביר את ההבדלים על ידי כך שמחלת החלפת תוקפת מהר יותר צמחים חלשים שמזדקנים מהר יותר. ההשפעה של טיפולי הקרקע יכולה לנבוע באופן ישיר על חוזק הצמח ובאופן עקיף על ידי השפעתה על רמת היבול של הצמח מתוך הנחה שצמחים עם יבול גבוה יותר פגיעים יותר למחלות בגלל האנרגיה שנדרשת ליצירת הפקעות.

הערכת מחלות קרקע בפקעות: הערכה של מחלות קרקע בפקעות נעשתה על ידי הסתכלות בעין כפי שמתואר בחלק של "מהלך המחקר ושיטות עבודה". לא נמצאו תסמינים כל שהם של מחלות קרקע על הפקעות למעט תסמין של "כסות-חומה" שמיוחס כיום על בסיס הידע הקיים לבעיה פיסיולוגית שאינה נגרמת על ידי גורם מיקרוביאלי. תסמיני "כסות-חומה" בקליפת תפוא"א יחד עם תסמינים נוספים מהווים צבר בעיות קליפה שמהווה בעיה כלכלית קשה ביצוא ושיווק מקומי של ענף תפוא"א (2) ולכן יהיה חשוב לנסות למצוא טיפול שיכול להקל על הבעיה. איור 1 מציג את השפעת טיפולי הקרקע בתכשירים מיקרוביאליים על עוצמת תסמיני הכסות-חומה בפקעות. ניתן לראות שאומנם אין מובהקות סטטיסטית בין הטיפולים אך ניתן שמספר טיפולים מיקרוביאליים מקלים על פגעי הקליפה כדוגמת טיפול טריכודרמה ומיקוריזה (קוד טיפול 13) שהראה גם בניסוי של שנה ארמה נמוכה של תסמיני כסות-חומה אך לא מובהקת ביחס לתכשירים האחרים. כיוון שלפי הידע שקיים כיום בעיות קליפה כדוגמת הכסות-חומה מיוחסות לבעיות פיסיולוגיות כדוגמת טמפרטורה ודישון (2) אפשר לשער שהשפעה אפשרית של תכשירים מיקרוביאליים פועלת על ידי שינוי הזמינות של מרכיבי דשן כתוצאה מנוכחות מיקרוביאלית שונה בקרקע.

הערכת יבול, משקל פקעות ממוצע ואחוז פקעות בגודל שיווק: איורים 3, 4 ו 5 מציג את ההשפעה של טיפולי קרקע מיקרוביאליים שונים על היבול. נמצאו הבדלים מובהקים בין

הטיפולים ואפשר לראות שתכשיר אי-אם במינון נמוך מראה ייתכנות להעלאת יבול בניסוי הנוכחי של שנה ב ובנוסף גם בניסוי של שנה שעברה (שנה א) אם כי התוצאות של שנה א היו ללא מובהקות סטטיסטית.

השפעת תוספת קרקע של קומפוסט לעומת זבל עוף: חלק מהטיפולים נבדקו על רקע של תוספת קומפוסט לקרקע ועל רקע של תוספת זבל עוף. היבול על רקע זבל עוף לעומת קומפוסט הראה שיש השפעה מובהקת בחלק מהמקרים על היבול. לדוגמה טיפול בתכשיר EM (קוד טיפול 05) על רקע קומפוסט היה יבול גבוה יותר מאשר זה על רקע זבל עוף (קוד טיפול 06). את ההשפעה של זבל עוף וקומפוסט על היבול ניתן להסביר על ידי תכולת הזנה שונה, שינוי מיקרוביאלי של סביבת השורשים או שילוב של שני הגורמים האלה יחד.

בחירת טיפולי קרקע להמשך בדיקה בשנה שלישית:טבלה 5 מציגה טיפולי קרקע נבחרים שנרצה להמשיך לבדוק גם בשנה ג. טיפולים שיבחנו בשנה ג הם טיפולים שנבחרו פעמים על סמך תוצאות של שנה א וב. הטיפול בתכשיר EM אדמה של חברת EM במינון נמוך (קוד טיפול 05) אשר הראה יבול גבוה בשנה א אם כי לא בצורה מובהקת הראה בשנה ב שיפור יבול בצורה מובהקת ומשמעותית לעומת הביקורת. בפרמטרים נוספים של נגיעות פקעות בכסות חומה ובריאות צמח לא נמצא הבדל מובהק לעומת הביקורת בשנה הנוכחית (שנה ב) וגם לא בשנה שעברה (שנה א). טיפול קרקע שנרצה לבדוק בשנה ב הוא שילוב של טריכודרמה עם מיקוריזה (קוד טיפול 13) שהראה אומנם בצורה לא מובהקת נגיעות נמוכה בכסות חומה ובריאות צמח גבוהה. חשוב לציין שבחירת תכשיר מיקרוביאלי ליישום בקרקע כהמלצה לחקלאי צריך לעבור תהליך זהיר שבו התכשיר מראה ייתכנות מספר פעמים, במספר שטחים ובשנים שונות.

בדיקת נוכחות פטריות וחיידקים כללים בקרקע: נמצא שטיפול בתכשירי קרקע משנה את הספירה הכללית של חיידקים ופטריות בקרקע וכן את אחוז פטריות עם תפטיר דמוי ריזופיס. בדיקת הקרקע נערכה כחודש מיישום התכשירים ולכן מעידה על שינוי שנמשך כנראה מעבר לנקודת היישום. כיוון שההרכב המיקרוביאלי בקרקע הוא מורכב מאוד (3) ניתן לחשוב בעתיד על אפשרות של פיתוח סמן המבוסס על בדיקת הרכב מיקרוביאלי שיש לו תאחיזה לתכונות קרקע מיטביות כתוצאה מטיפול מיקרוביאלי. בשנה שלישית ניתן יהיה לבדוק הרכב מפורט יותר של אוכלוסיות מיקרוביאליות בקרקע על ידי שימוש בשרותי מיקור חוץ כדי לאפיין הרכב מיקרוביאלי בקרקע של טיפולים שנמצאו במשך מספר שנים כמיטיבים לגידול תפוח אדמה בתנאי הניסוי. טיפול מספר 17 (תוספת קומפוסט אור) הראה שינוי מאוד גדול בכמות החיידקים בקרקע שיכול להיות מוסבר על ידי תכולת חיידקים רבה שקיימת בו. כאמור כמות החיידקים אינה מצביעה בהכרח על ייתכנות לשיפור הגידול ולכן נרצה בעתיד לפתח סמן של הרכב מיקרוביאלי שיאפיין טיפול קרקע שיש לו השפעה חיובית על הגידול.

סיכום

הדו"ח הנוכחי הוא דו"ח שנה שניה של המחקר (שנה ב) שבו נבחנו טיפולי קרקע בתכשירים מיקרוביאליים שנבחרו משנה שעברה (שנה א) ובנוסף נבחנו מספר תכשירים חדשים שלא נבחנו בשנה א. בשנה הבאה של המחקר שתתבצע במהלך שנת 2025 נרצה לבחון שני טיפולי קרקע שנבחרו על סמך תוצאות שנה א ושנה ב. הטיפולים הנבחרים שמוצגים בטבלה 5 כוללים טיפול בתכשיר אי אם במינון נמוך וטיפול המשלב את התכשירים מיקוריזה וטריכודרמה. שני הטיפולים הראו ייתכנות לשיפור יבול, בריאות צמח ונגיעות פקעות בכסות חומה. הבדל מובהק נמצא רק בשנה ב בין הביקורת לטיפול בתכשיר אי אם במינון נמוך ברמת היבול בלבד. בשנים א ו ב של המחקר לא נמצאו מחלות קרקע שהתבטאו באיכות הפקעות או בריאות הצמח. כיוון שהניסוי מבוסס על גידול עוקב של תפוז"א שנה אחר שנה ניתן לצפות שהסבירות להופעת מחלות קרקע ספונטניות תהיה גבוהה יותר בשנה השלישית של המחקר (שנה ג). בנוסף ניתן להעריך שכתוצאה מגידול עוקב שנה אחר שנה לא נגרמת מחלת קרקע ספציפית אך עדיין נוצר מצב בו חוזק הצמח והיבול נפגעים. בשנה ג נרצה לבדוק את הטיפולים הנבחרים בהיקף שטח גדול יותר ובמידה והתוצאות תחזרנה על עצמן נרצה לצאת בשיתוף מדריכי שה"מ בהמלצה לחקלאים ליישם אותם. בנוסף נרצה להמשיך ולפתח שיטות לניטור הקרקע על ידי בדיקות מיקרוביאליות כלליות וספציפיות כדי לאפשר בעתיד פיתוח סמן שמראה את מצב בריאות הקרקע והערכה של מידת ההשפעה על בריאות הקרקע כתוצאה מיישום תכשירים מיקרוביאליים. תכשיר EM במינון נמוך הראה ייתכנות גבוהה אך יש חשיבות לבצע תהליך בדיקה של התכשיר שכולל חזרה על התוצאות מספר פעמים במספר שנים ובמספר שטחים.

טבלה 1. תכשירים שהשתתפו בניסוי. אופן היישום השתנה בין התכשירים השונים, היישומים השונים כללו יישום בתמיסה, כאבקה לפס הזריעה, תיחוח לקרקע או ריסוס עלוותי. תכשירים שיושמו בתמיסה דוללו בהתאם לצורך ויושמו בכמות של 1 ליטר למטר רץ של גדודית. בערוגה יש שני גדודיות והמרחק בין שני גדודיות הוא 0.965 מטר. התכשירים יושמו כ 1-3 ימים לפני זריעת הפקעות למעט תכשיר הבצילוס של חברת מיקרוביום שיושם כ 10 ימים לפני זריעה ב 5 טיפולים במרווח של יומיים בין טיפול לשני. חלק מהתכשירים נבדקו גם בשנה א וחלק מהתכשירים נבדקו בפעם ראשונה בשנה הנוכחית (שנה ב).

שם תכשר	שם חברה	סמ"ק/גרם לדחנם	סמ"ק למטר רץ גדודית	אופן יישום	נבדק בשנה א
בצילוס	מיקרוביום	800	0.77	יישום בתמיסה	ק
מיקואפ	ביובי	300	0.29	יישום בתמיסה	ק
אי אם נמוך	אי אם	30000	28.95	יישום בתמיסה	ק
אי אם גבוהה	אי אם	100000	96.50	יישום בתמיסה	ק
חט-פרו (טריכודרמה)	אגרוגדות	40	0.04	יישום אבקה לפס	ק
ריזובקטריוליס	אגרוגדות	50	0.05	יישום בתמיסה	לא
ניקסלה (חומצה סאליצילית)	אגרוגדות			ריסוס עלווה בשלב הצצה בריכוז 0.5%	לא
קומפסט אור (קומפוצ'ר)	אור פחם הארץ	3000	2.90	תיחוח לקרקע	לא
נטרי אור (נטריצ'אר)	אור פחם הארץ	3000	2.90	תיחוח לקרקע	לא
ציאמבקריה	Nostoc Biotec	200	0.19	יישום בתמיסה	לא

טבלה 2. הטיפולים השונים שהשתתפו בניסוי. סה"כ נבדקו 20 טיפולים שונים כולל טיפול ביקורת שכלל מים בלבד. חלק מהטיפולים נבחנו על רקע של תוספת זבל בכמות של 3 קוב לדונם ויתר הטיפולים נבדקו על רקע קומפוסט בכמות של 3 קוב לדונם. טיפולים שנבחנו על רקע זבל עוף מסומנים בטבלה ב "+" זבל עוף" ויתר הטיפולים הם על רקע קומפוסט. מינון , אופן יישום ומידע על התכשירים מופיע בטבלה 1. לכל טיפול נרשם קוד טיפול וחלק מהטיפולים כוללים שילוב של מספר תכשירים.

קוד טיפול	טיפול
01`	ביקורת
02`	ביקורת + זבל עוף
03`	אי-אם מינון גבוהה
04`	אי-אם מינון גבוהה + זבל עוף
05`	אי-אם מינון נמוך
06`	אי-אם מינון נמוך + זבל עוף
07`	טריכודרמה
08`	טריכודרמה + זבל עוף
09`	אי-אם, טריכודרמה, בצילוס, מיקוריזה
10`	אי-אם, טריכודרמה, בצילוס, מיקוריזה + זבל עוף
11`	אי-אם, טריכודרמה, בצילוס
12`	אי-אם, טריכודרמה, בצילוס + זבל עוף
13`	טריכודרמה, מיקוריזה
14`	טריכודרמה, מיקוריזה + זבל עוף
15`	בצילוס
16`	ריזובקטריוליס
17`	קומפסט אור (קומפוצ'ר)
18`	נוטרי אור (נוטריצ'אר)
19`	חומצה סאליצילית
20`	ציאנו-בקטריה

טבלה 3. הערכת נגיעות פקעות בכסות חומה על ידי ציון אינדקס. 20 פקעות שנבחרו בצורה אקראית מכל חזרה עברו מיון לשלושת הקטגוריות שבטבלה. אחוז הפקעות בכל קטגוריה הוכפל באינדקס הקטגוריה כפי שמופיע בטבלה. רמת הנגיעות התקבלה על ידי חיבור התוצאה בכל הקטגוריות. לדוגמה חזרה שיש בה 50% נגיעות גבוהה, 30% נגיעות בינונית ו 20% נגיעות נמוכה תקבל ציון $3.6 (50\%*5 + 30\%*3 + 20\%*1)$

קטגוריה	תיאור קטגוריה	אינדקס לקטגוריה
נגיעות גבוהה	רוב הפקעות מכסה בכסות חומה	5
נגיעות בינונית	חלק מהפקעות נגיעה בכסות חומה	3
נגיעות נמוכה	פקעות שאין נגיעות כלל	1

טבלה 4. הערכת מחלות בנוף הגידול : הערכה נעשתה על ידי הסתכלות בעין אחת לשבועיים. נגיעות גבוהה קיבלה ציון 5 ואילו נגיעות נמוכה קיבלה ציון 1. מחלת הנוף היחידה שנצפתה הייתה חלפת שהופיעה בשלבים מאוחרים יותר של הגידול עם הזדקנות הצמחים. הניתוח הסטטיסטי לשונות נערך בחבילת תוכנה JMP 7.0 בשיטת Tukey, אותיות שונות מייצגות הבדל סטטיסטי מובהק ברמת מובהקות של 0.05.

קוד טיפול	טיפול	ממוצע בריאות צמח	שגיאת תקן בריאות צמח	מובהקות סטטיסטית
03'	אי-אם מינון גבוהה	4.1	0.3	a
05'	אי-אם מינון נמוך	4.1	0.4	a
17'	קומפוסט אור	4.0	0.4	a
19'	חומצה סאליצילית	4.0	0.2	a
01'	ביקורת	3.9	0.4	a
04'	אי-אם מינון גבוהה + זבל עוף	3.9	0.3	a
14'	טריכודרמה, מיקוריזה + זבל עוף	3.9	0.4	a
16'	ריזובקטריוליס	3.8	0.1	a
08'	טריכודרמה + זבל עוף	3.8	0.3	a
15'	בצילוס	3.8	0.4	a
07'	טריכודרמה	3.7	0.1	a
13'	טריכודרמה, מיקוריזה	3.7	0.1	a
09'	אי-אם, טריכודרמה, בצילוס, מיקוריזה	3.6	0.2	ab
12'	אי-אם, טריכודרמה, בצילוס + זבל עוף	3.6	0.1	ab
06'	אי-אם מינון נמוך + זבל עוף	3.5	0.3	ab
20'	ציאנובקטריה	3.5	0.2	ab
11'	אי-אם, טריכודרמה, בצילוס	3.4	0.1	ab
18'	נטרי קומפוסט אור	3.3	0.1	ab
02'	ביקורת + זבל עוף	3.1	0.2	b
10'	אי-אם, טריכודרמה, בצילוס, מיקוריזה + זבל עוף	3.1	0.2	b

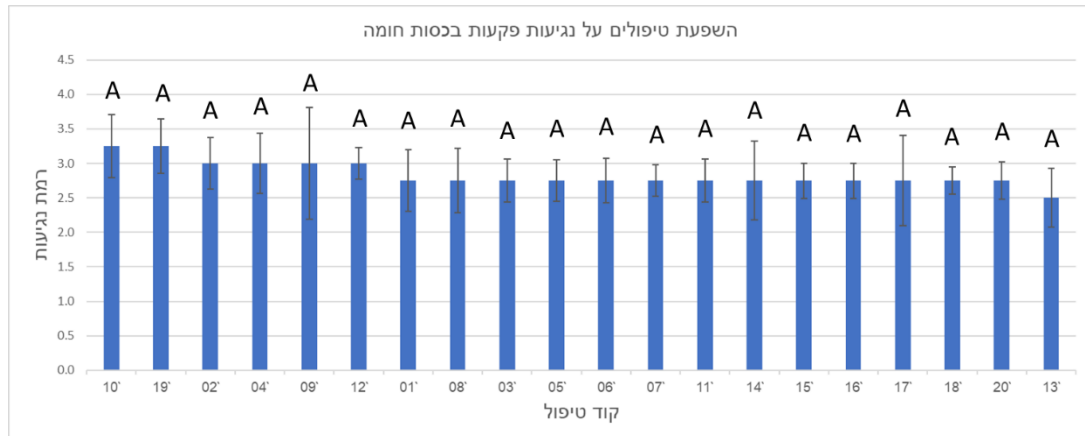
טבלה 5. טיפולי קרקע שנבחרו להמשך בדיקה בשנים ב ו ג. A טיפולים שנבחרו בשנה הנוכחית (שנה ב) להמשך בדיקה בשנה ג. B טיפולים שנבחרו בשנה שעברה (שנה א) לבדיקה בשנה הנוכחית (שנה ב). טיפולי הקרקע מורכבים מתכשירים מיקרוביאליים שונים ונבחרו על סמך יבול, נגיעות פקעות בפגעי קליפה מסוג כסות חומה ובריאות צמח. אותיות שונות מייצגות הבדלים במובהקות. מובהקות נמצאה רק ביבול (טון לדונם) בין טיפול אי אם במינון נמוך לביקורת, יתר ההבדלים היו ללא מובהקות. הניתוח הסטטיסטי למובהקות בין הטיפולים נערך בחבילת תוכנה JMP 7.0 בשיטת Tukey, אותיות שונות מייצגות הבדל סטטיסטי מובהק ברמת מובהקות של 0.05.

A

קוד טיפול	טיפול	טון לדונם	נגיעות פקעות ב"כסות חומה"	בריאת צמח
01	א-אם מינן נמוך	7.4 a	2.8 a	4.1 a
13	טריסדרמה, מיקוריזה	4.7 b	2.5 a	3.7 a
05	ביקורת	4.0 b	2.8 a	3.9 a

B

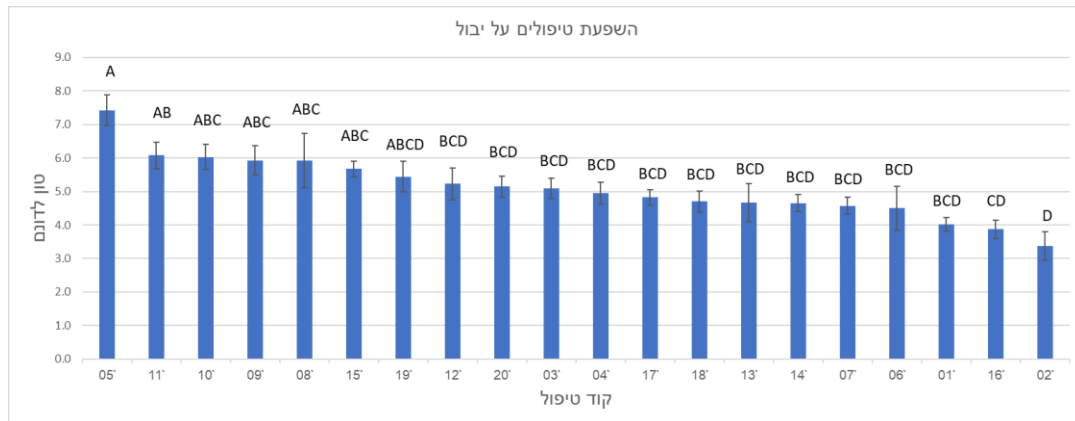
קוד טיפול	טיפול	טון לדונם	נגיעות פקעות ב"כסות חומה"
01	ביקורת	3.7 a	3.8 a
04	אי-אם מינן נמוך	4.3 a	3.8 a
17	טריסדרמה, מיקוריזה	4.1 a	4.0 a
05	טריסדרמה	4.1 a	4.4 a
08	אי-אם מינן נמוך, טריסדרמה, בצילוס, מיקוריזה	4.0 a	4.2 a
09	אי-אם מינן נמוך, טריסדרמה, בצילוס	4.0 a	4.2 a
02	אי-אם מינן גבוהה	4.0 a	3.9 a



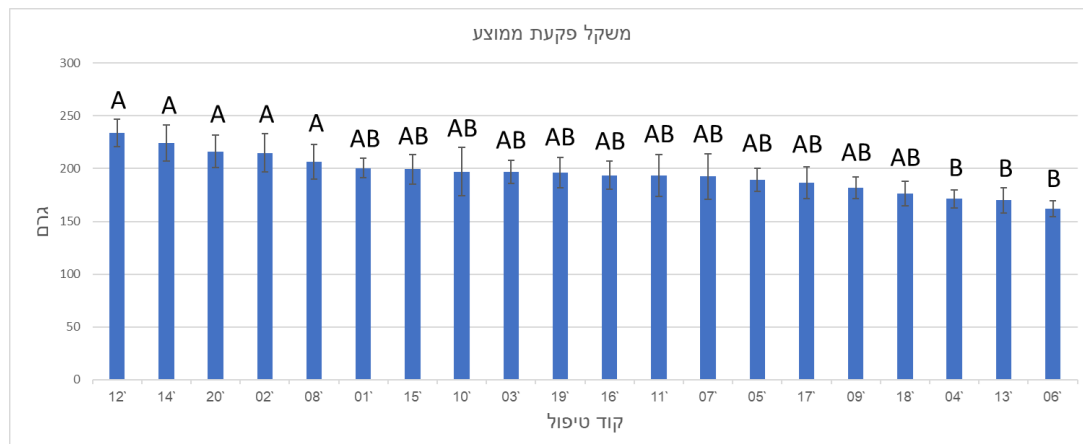
איור 1. נגיעות פקעות בכסות חומה. חישוב רמת נגיעות נעשה כפי שמתואר בטבלה 3. מפתח של קוד הטיפול ושם החומרים המיקרוביאליים שמהם נבנה טיפול הקרקע מוצג בטבלה 2. כל טיפול כלל 4 חזרות, הנתונים מוצגים כממוצעים וקווי השגיאה מייצגים את הערכים של שגיאת תקן. הנתונים עברו מבחן ANOVA לבדיקת השונות בין הטיפולים. הניתוח הסטטיסטי לשונות נערך בחבילת תוכנה JMP 7.0 בשיטת Tukey, אותיות שונות מייצגות הבדל סטטיסטי מובהק ברמת מובהקות של 0.05.



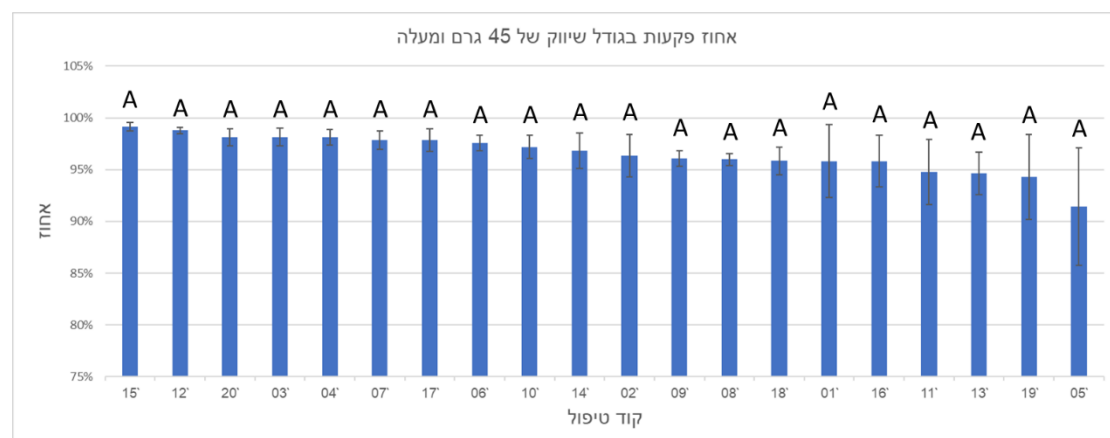
איור 2. מופע של "כסות-חומה" כפי שנמצא בניסוי על הזן סיפרה. הפקעת מסומנת במספר של אינדקס רמת נגיעות: רמה 1 מציגה רמת נגיעות נמוכה, רמה 3 נגיעות בינונית ורמה 5 נגיעות גבוהה.



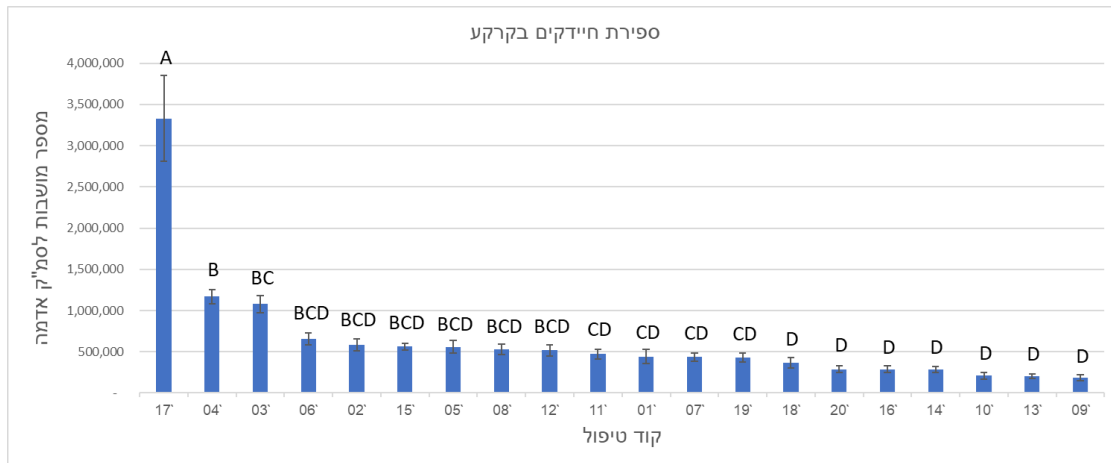
איור 3. השפעת טיפולי הקרקע בתכשירים השונים על יבול כללי. טיפולי הקרקע השונים מפורטים לפי קוד הטיפול בטבלה 2. היבול נמדד ביחידות של טון לדונם. דגימה של כל חזרה נעשתה על ידי הוצאה של פקעות משטח של 2 מטר רץ ערוגה (3.9 מ"ר) שנדגם בכל טיפול מהערוגה האמצעית. מפתח של קוד הטיפול ושם החומרים המיקרוביאליים שמהם נבנה טיפול הקרקע מוצג בטבלה 2. כל טיפול כלל 4 חזרות, הנתונים מוצגים כממוצעים וקווי השגיאה מייצגים את הערכים של שגיאת תקן. הנתונים עברו מבחן ANOVA לבדיקת השונות בין הטיפולים. הניתוח הסטטיסטי לשונות נערך בחבילת תוכנה JMP 7.0 בשיטת Tukey, אותיות שונות מייצגות הבדל סטטיסטי מובהק ברמת מובהקות של 0.05.



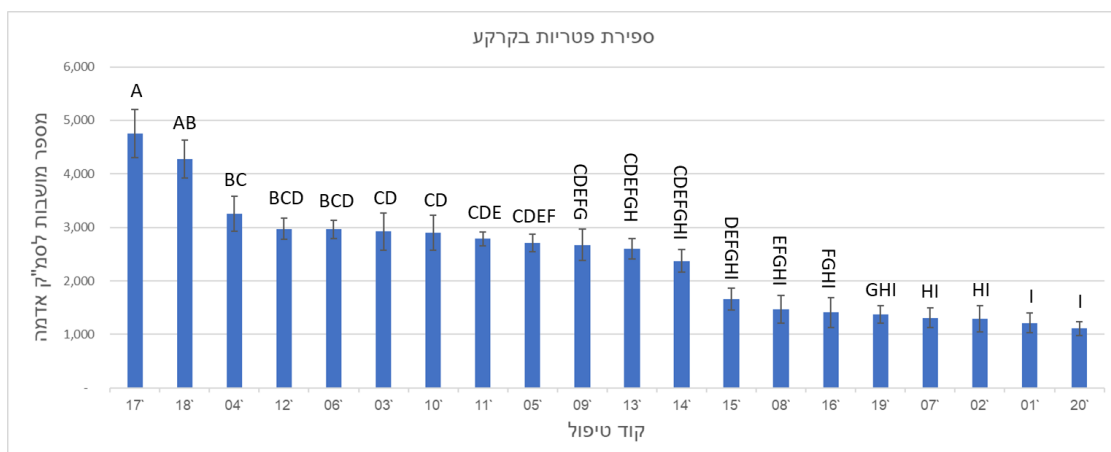
איור 4. השפעת טיפולי הקרקע בתכשירים השונים על משקל פקעת ממוצע. טיפולי הקרקע השונים מפורטים לפי קוד הטיפול בטבלה 2. משקל ממוצע של פקעת נמדד בגרם לפקעת. דגימה של כל חזרה נעשתה על ידי הוצאה של פקעות משטח של 2 מטר רץ ערוגה (3.9 מ"ר) שנדגם בכל טיפול מהערוגה האמצעית. מפתח של קוד הטיפול ושם החומרים המיקרוביאליים שמהם נבנה טיפול הקרקע מוצג בטבלה 2. כל טיפול כלל 4 חזרות, הנתונים מוצגים כממוצעים וקווי השגיאה מייצגים את הערכים של שגיאת תקן. הנתונים עברו מבחן ANOVA לבדיקת השונות בין הטיפולים. הניתוח הסטטיסטי לשונות נערך בחבילת תוכנה JMP 7.0 בשיטת Tukey, אותיות שונות מייצגות הבדל סטטיסטי מובהק ברמת מובהקות של 0.05



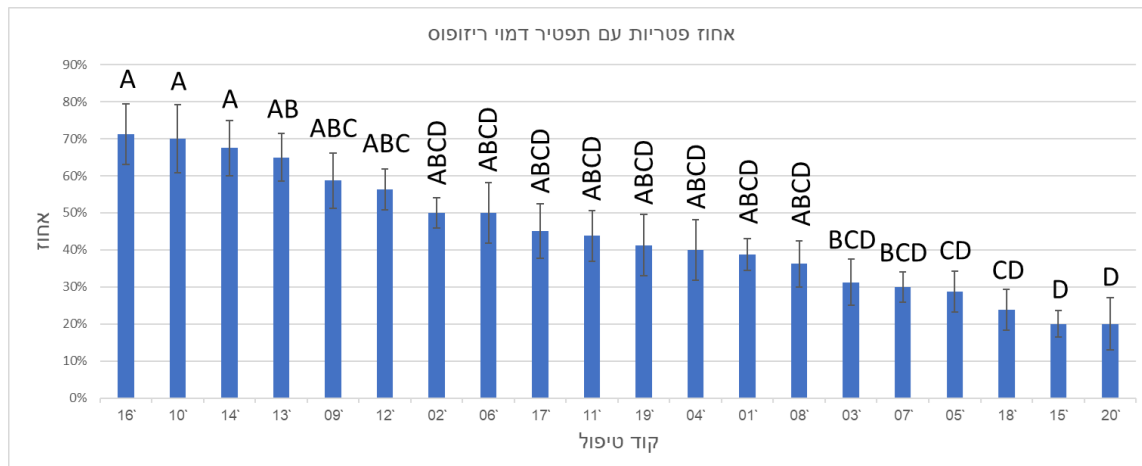
איור 5. השפעת טיפולי הקרקע בתכשירים השונים על התפלגות גודל פקעות לשיווק. טיפולי הקרקע השונים מפורטים לפי קוד הטיפול בטבלה 2. בכל חזרה הפקעות עברו מיון לפקעות הקטנות מ 35 גרם ולפקעות הגדולות מ 45 גרם. דגימה של כל חזרה נעשתה על ידי הוצאה של פקעות משטח של 2 מטר רץ ערוגה (3.9 מ"ר) שנדגם בכל טיפול מהערוגה האמצעית. הנתונים מוצגים כממוצעים וקווי השגיאה מייצגים את הערכים של שגיאת תקן של 4 חזרות מכל טיפול. מפתח של קוד הטיפול ושם החומרים המיקרוביאליים שמהם נבנה טיפול הקרקע מוצג בטבלה 2. לא נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים. הבדלים סטטיסטיים מובהקים נבדקו באחוז הישרדות לפי מבחן Tukey HSD ($\alpha=0.05$).



איור 6. ספירת חיידקים בקרקע. טיפולי הקרקע השונים מפורטים לפי קוד הטיפול בטבלה 2. ספירת חיידקים כללית בקרקע נעשתה לפי הפרוטוקול שמתואר בפרק 5 "מהלך המחקר ושיטות העבודה". הנתונים מוצגים כממוצעים וקווי השגיאה מייצגים את הערכים של שגיאת תקן של 4 חזרות מכל טיפול. אותיות שונות מצביעות על מובהקות סטטיסטית שונה לפי מבחן Tukey HSD ($\alpha=0.05$).



איור 7. ספירת פטריות בקרקע. טיפולי הקרקע השונים מפורטים לפי קוד הטיפול בטבלה 2. ספירת פטריות כללית בקרקע נעשתה לפי הפרוטוקול שמתואר בפרק 5 "מהלך המחקר ושיטות העבודה". הנתונים מוצגים כממוצעים וקווי השגיאה מייצגים את הערכים של שגיאת תקן של 4 חזרות מכל טיפול. אותיות שונות מצביעות על מובהקות סטטיסטית שונה לפי מבחן Tukey HSD ($\alpha=0.05$).



איור 8. ספירת אחוז פטריות עם תפטיר דמוי ריזופוס בקרקע. טיפולי הקרקע השונים מפורטים לפי קוד הטיפול בטבלה 2. חישוב אחוז פטריות דמויות ריזופוס בקרקע נעשתה לפי הפרוטוקול שמתואר בפרק 5 "מהלך המחקר ושיטות העבודה". הנתונים מוצגים כממוצעים וקווי השגיאה מייצגים את הערכים של שגיאת תקן של 4 חזרות מכל טיפול. אותיות שונות מצביעות על מובהקות סטטיסטית שונה לפי מבחן Tukey HSD ($\alpha=0.05$).

ביבליוגרפיה

- 1) Thakur R. et al. 2022. Role of Soil Health in Plant Disease Management: A Review. Agricultural review. Vol. 1856, pages: 1-7.
- 2) כנס לסיכום תוצאות מחקרים בתפ"א, משרד החקלאות בית דגן, 26/02/2020, https://www.gov.il/BlobFolder/reports/booklet-summarizing-research-on-potatoes/he/vegetables_and_fruits_hovet_sicim_mechkarim_tapuach_adama.pdf
- 3) Fiers M. et al. 2012. Potato soil-borne diseases. A review. Agron. Sustain. Dev. Vol. 32, pages: 93–132.
- 4) Mwangi L. and Lelei D. Method for Isolation and Enumeration of Bacteria and Fungi. STANDARD OPERATING PROCEDURE. https://www.cifor-icraf.org/resources-documents/Method-for-Isolation-and-Enumeration-of-Bacteria-and-Fungi.pdf?utm_source=perplexity