

מועצה אזורית אשכול
מועצה אזורית שדות נגב
מועצה אזורית מרחבים



SOUTH AGRICULTURAL R&D CENTER

משרד החקלאות ובטחון המזון
קרן קיימת לישראל

משרד
החקלאות
ובטחון המזון



מועצת הצמחים



שה"מ



יק"א בישראל
ICA in Israel

מכון וולקני
מנהל המחקר החקלאי



קרן קיימת לישראל
K K L - J N F

דו"ח מסכם 2023-2025

תכנית 92-03-0009



מו"פ דרום / דו"ח סופי מסכם

- מספר מחקר: 92-03-0009

- שם התכנית: ממשק הוליסטי להגדלת יכול העגבנייה תוך שיפור בריאות ופוריות הקרקע

- חוקרת ראשית: טלי אילני

- חוקרים שותפים: משה ברונר, מו"פ דרום; ליאור אברהם, שה"מ; ניר ברהולץ, שה"מ; דובי צהר, שה"מ; עומר פרנקל, מכון וולקני

- סטטוס התכנית: הסתיימה

- מועד התחלה וסיום התכנית: ינואר 2023 – דצמבר 2025

תקציר

גידול עגבניות באזור הבשור מתבצע ברובו במונוקולטורה אינטנסיבית על קרקעות חוליות דלות חומר אורגני, מצב המוביל להידרדרות בריאות הקרקע, הצטברות פתוגנים והתפתחות פגעי קרקע. בשנים האחרונות החרף המצב בעקבות התפשטות וירוס ToBRFV, שהחליש את הצמחים והגביר את שכיחות מחלות הקרקע. על רקע זה, המחקר בחן גישה הוליסטית לשיפור פוריות ובריאות הקרקע באמצעות שילוב קומפוסט, גידולי ביניים, תכשירים מיקרוביאליים וביוסטימולנטים, תוך הפחתת תשומות דשן והדברה. במסגרת המחקר הוקם ניסוי רב-שנתי בבית רשת, שבו נבחנו שמונה ממשקי גידול שונים במשך שלוש עונות רצופות על אותן חלקות. הממשקים כללו שילובים שונים של קומפוסט, גידולי ביניים (חרדל, רוקט וקייל), תוספי מיקרואורגניזמים, תה קומפוסט, ביוסטימולנטים ודישון מופחת. לאורך העונות בוצע ניטור שיטתי של תמיסת הקרקע (EC, ניטרט), תכולת חומר אורגני בקרקע, ריכוזי מינרלים בקרקע ובפטוטורות, התפתחות הצמחים ויבול איכותי וכמותי. התוצאות מצביעות על עלייה עקבית בחומר האורגני בקרקע (מ-0.3% ל-0.7%) בכל הממשקים, בעזרת שיפור בניהול הדישון ושמירה על רמות ניטרט יציבות בעונה השלישית נמצא כי ניתן להפחית את הדישון ב-40%-50% בחלק מהממשקים (למשל בטיפולים "חידקים" ו"תה קומפוסט") מבלי לפגוע ביבול האיכותי. גידולי ביניים גרמו לעיכוב זמני בצימוח בתחילת העונה. לא נמצאו הבדלים מובהקים בשיעור הפגיעה מפוזריום, אך נצפו מגמות שונות בין הממשקים. היבול הכולל והאיכותי היה דומה בין הממשקים לאורך שלוש השנים. ממצאים אלו מדגימים כי ממשק הוליסטי המשלב חומר אורגני, גידולי ביניים או תוספים ביולוגיים יכול לשפר את פוריות הקרקע ולייצב את היבול, תוך הפחתת תשומות כימיות. השפעות ארוכות טווח צפויות להתבטא בהמשך, ולכן מומלץ להמשיך את המעקב הרב-שנתי.

רקע קצר ותיאור הבעיה

בישראל מגדלים עגבניות בבתי צמיחה (חממות ובתי רשת) על שטח של כ-30,000 דונם, 57% מתוכם נמצא באזור הבשור. בחלק ניכר מבתי הצמיחה מגדלים גידול יחיד (מונוקולטורה) בקרקע בו מתמחים המגדלים, שנה אחרי שנה. אולם, עם הזמן רואים ירידה בבריאות הקרקע כאשר יותר ויותר חקלאים מדווחים על פגיעה ניכרת ביבול בעקבות פגעי קרקע שונים. מחקרים שונים בעבר הראו כי גידול מונוקולטורה מוביל להתפתחות אוכלוסיות גדולות של פתוגנים ספציפיים, להפרעה באיזון המיקרוביאלי בקרקע ולהצטברות חומרים אללופתיים (Krupinsky et al., 2002; Peralta et al., 2018). מכאן שגידול אינטנסיבי שכזה מחייב התייחסות מתמדת לבריאות ופוריות הקרקע על מנת למנוע הגרעה (degradation) של הקרקע. בריאות

ופוריות הקרקע, שני מושגים שאינם ניתנים להפרדה, מגדירים בין היתר את איכות הקרקע ואת יכולתה לתפקד כגורם ייצור חקלאי, כמערכת מווסתת מחזורים טבעיים וכבית גידול לאורגניזמים שונים (בע"ח, צמחים ומיקרואורגניזמים) (Karlen, et al., 1997). יכולת הקרקע לספק לצמח את חומרי ההזנה ואת התנאים הכימיים, ביולוגיים ופיזיקליים המיטביים לצמח, כלומר פוריות הקרקע מושפעת ומשפיעה על יכולת מיקרואורגניזמים (מועילים ומזיקים) להתפתח בקרקע (כלומר בריאות הקרקע).

בנוסף, בשנים האחרונות וירוס הטומבו (ToBRFV) החליש מאוד את צמחי העגבנייה ובעקבות זאת אנו עדים לעליה והתחזקות של פגעי קרקע כגון פטריות מסוג פיתיום, פוזריום סולני, פוזריום הנבילה ומחלות חיידקיות כמו נמק הליבה. ההתמודדות המקובלת כיום עם מחלות הקרקע היא על ידי שימוש בחומרים כימיים שונים לפני שתילה ובזמן הגידול. בעבר השתמשו במתיל ברומיד לחיטוי הקרקע. תכשיר זה נתן מענה טוב להתמודדות עם מרבית פגעי הקרקע כמו נמטודות ופטריות שונות אך מאז שהחומר יצא מחוץ לחוק לא נמצא עדיין חומר חלופי בעל אותה יעילות. החומרים בהם משתמשים כיום נותנים מענה חלקי להתמודדות עם חלק מפגעי הקרקע ורואים התפתחות של עמידות, פירוק מואץ וירידה ביעילותם עקב יישום תכוף. בנוסף, קיים איום מתמיד שגם הם יצאו משימוש. יש לציין ששימוש בחומרים מסוג זה עוזר להתמודדות הרגעית עם המפגע אולם רב החומרים אינם סלקטיביים דיים וגורמים לתמותה של מגוון רחב של אורגניזמים בקרקע כולל אורגניזמים מועילים שעוזרים לקליטת חומרי הזנה על ידי הצמחים, לפירוק חומר אורגני בקרקע ולשמירה על איזון עם הפתוגנים השונים.

רוב המחקרים העוסקים בבעיות איכות הקרקע בוחנים היבט מסוים בבריאות הקרקע (כמו התמודדות עם פתוגנים ספציפיים בקרקע או שינוי רכיב אחד בפרוטוקול הגידול), או בהיבט פוריות הקרקע (תכולת חומרי ההזנה, הרכב הקרקע וכדומה). אנו מאמינים שישנו צורך בהסתכלות הוליסטית על המערכת כפי שהגדיר גם Lal (2016) שהדגיש את חשיבות השמירה על כיסוי קרקע, מזעור הפרעה לקרקע, שמירה על מגוון ביולוגי והוספת חומר אורגני. מכיוון שהגורמים השונים קשורים זה לזה, איננו יכולים להפריד את פוריות הקרקע מבריאות הקרקע (ולהיפך). משטר שמדלל את הקרקע מחומרי ההזנה ו/או חומר אורגני בהכרח יוביל לירידה בפאונה של הקרקע. משטר שמוביל לירידה בפאונה של הקרקע יוביל לפירוק איטי יותר של החומר האורגני בקרקע ויפחית את יעילות קליטת הנוטריינטים. העשרה של הקרקע במיקרואורגניזמים מחייבת נוכחות של חומר אורגני בקרקע לצורך שרידותם. לכן, מומלץ לבחון את השילוב בין יישום חומר אורגני לקרקע לאחר פירוק (קומפוסט), גידול ביניים ששאירותיו מוחדרות אל הקרקע והעשרת הקרקע בתכשירים מיקרוביאליים. שימוש מושכל במגוון השיטות המתוארות, יכול לתת מענה כוללני לשיפור פוריות ובריאות הקרקע.

מטרות המחקר

מטרת המחקר היא להציע משטר הוליסטי שיביא להעלאת יכולת העגבנייה בחממות על ידי שיפור פוריות הקרקע תוך הפחתה של פגעים שמקורם בקרקע. משטר המתייחס לאספקטים שונים בפרוטוקול הגידול של צמחי העגבנייה באזור הבשור על מנת לשפר את בריאות ופוריות הקרקע להגדלת היבול תוך הקטנת התשומות (דשן וחומרי הדברה). קרקעות הבשור הן קרקעות חוליות, דלות בחומר אורגני. עם כניסת גידולים חקלאיים אינטנסיביים לאזור, התבססו בקרקעות אלו פתוגנים שונים הפוגעים בצמחי העגבנייה ונוכחת האויבים

הטבעיים שלהם ואורגניזמים אחרים "מועילים" פחות מורגשת. גיוון הגידולים בקרקע יחד עם הגדלה של האוכלוסייה המיקרוביאלית והפחתה של חומרי ההדברה לאורך זמן ישפרו את בריאות הקרקע ואת פוריותה. שינויים בפוריות ובריאות הקרקע, לטובה ולרעה, לרב לא ניכרים אחרי שנה אחת ולכן ישנו צורך בהטמעת המשטר למשך מספר עונות גידול על מנת שנוכל לראות שינויים משמעותיים במצב הקרקע.

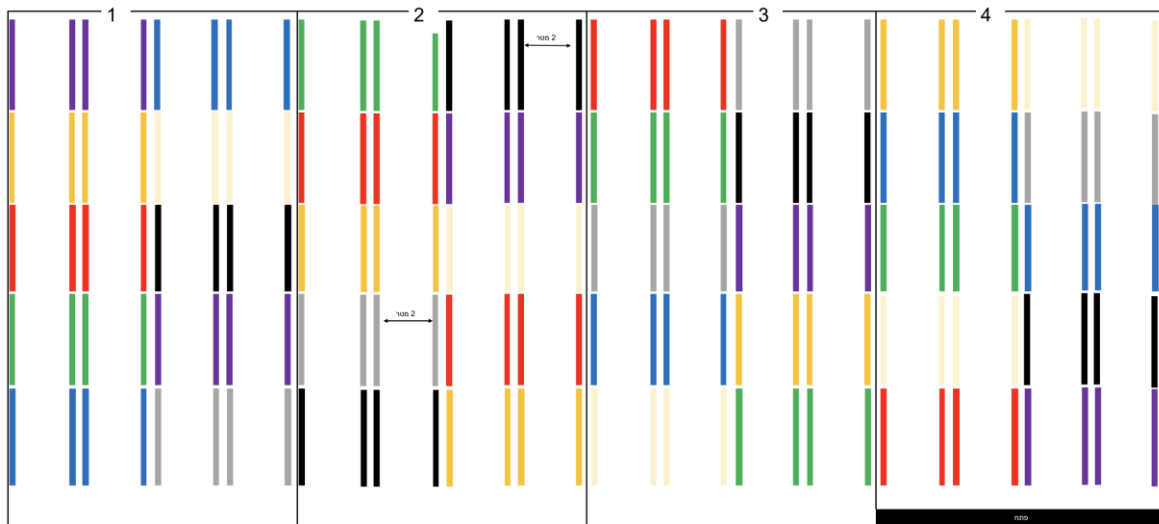
מהלך המחקר ושיטות עבודה

בית רשת 50 מש בגודל של כדונם ורבע חולק ל-40 חלקות בגודל 36 מ"ר כל חלקה. הקרקע חולית (כ-89% חול, כ-3% סילט, כ-8% חרסית). בכל חלקה נשתלו עגבניות אשכול ('סימון' בשתי העונות הראשונות ו'איקרם' בעונה השלישית) בצמד שורות מרכזי עליהן נערכו כל המדידות ומכל צד שורה נוספת עם טיפול זהה (שורות שוליים). הממשקים השונים במהלך עונת הגידול השניה והשלישית בכל חלקה מוצגים בטבלה 1 ובאיור 1. אותם ממשקים שיישמו בעונה הראשונה יושמו בעונה השניה על אותו שטח.

טבלה 1. פירוט הממשקים השונים שנערכו בשטח הניסוי במהלך שלושת עונות הגידול

מספר	שם הטיפול	קומפוסט	הגמעת אדיגן	דישון שנה א' דישון שנה ב'	דישון שנה ג'	הערות
1	ממשק משקי	✓	ללא	לפי המלצות שה"מ	70% מההמלצת לפי משאב +70% תיקון	
2	ממשק EM	✓	✓	לפי המלצות שה"מ	70% מההמלצת לפי משאב +70% תיקון	תוספת מיקרואורגניזמים [†]
3	גידול ביניים	✓	ללא	לפי המלצות שה"מ	70% מההמלצת לפי משאב +70% תיקון	חרדל ורוקט
4	תה קומפוסט	✓	✓	לפי המלצות שה"מ	70% מההמלצת לפי משאב +70% תיקון	אחת לשבועיים הגמעת תה קומפוסט*
5	דשן הצפון	✓	✓	לפי המלצות שה"מ	70% מההמלצת לפי משאב +70% תיקון	תוספת ביוסטימולנטים לפי המלצות החברה**
6	דשנים	✓	✓	לפי המלצות שה"מ	70% מההמלצת לפי משאב +70% תיקון	תוספת ביוסטימולנטים לפי המלצות החברה***
7	חיידקים	✓	ללא	ללא	50 ח"מ חנקן	תוספת של חיידקים****
8	גידול ביניים ללא קומפוסט	ללא	✓	לפי המלצות שה"מ	70% מההמלצת לפי משאב +70% תיקון	עם גידול ביניים לפני העונה – חרדל ורוקט

+ מוצרי EM מכילים 3 קבוצות של מיקרואורגניזמים: בקטריות פוטוסינטטיות וחומצה לקטית ושמרים.
 * תה קומפוסט מוצה מערימת קומפוסט צמחי ע"י מערכת תי-קו-מיקס של חברת אביאני מיד לפני הגמעתו.
 ** יישמו חומרים מסחריים של חברת דשן הצפון - QG-BioRadix, QG-BioShield, Batallon ו Prebiota.
 *** הוגמנו חומרים מסחריים של חברת דשנים - דיימונד (ביוסטימולנט המבוסס על מולקולות אורגניות) ואמבר (מכיל שלושה ביוסטימולנטים: חומצות אמינו, מיצוי אצות ומרכיבים הומיים ופולביים), אמרלד (ביוסטימולנט המכיל חומצות הומיות וטווח רחב של מיקרו-נוטריינטים) ופרל (ביוסטימולנט המכיל תמצית אצות ים וסידן 14%). בנוסף אחת לחודש רוססו על הנוף החומרים ספיר (קומפלקס אצות ים בשילוב עם חומצות אמינו וחומרים הומיים) ורובי (ביוסטימולנט המכיל חומצות הומיות, מועשר בסידן 8% ובורון 2%).
 **** חיידקי קרקע *Bacillus pumilus*, *Bacillus velezensis* עם 2-DA 1mM ממעבדתו של ד"ר ירון שיטריט מאוניברסיטת בן גוריון שבנגב הוספו לקרקע מיד לפני השתילה בגומת השתילה וכחודש לאחר מכן.



איור 1. מפת החלקות והממשקים בעונת הגידול הראשונה. הממשקים: 1. כתום – ממשק ביקורת – "משקי"; 2. סגול – ממשק "EM"; 3. אדום – ממשק "גידול ביניים ללא חיטוי"; 4. ירוק – ממשק "תה קומפוסט"; 5. כחול – ממשק "דשן הצפון"; 6. אפור – ממשק "דשנים"; 7. שחור – ממשק "חיידקים". כתום בהיר – ממשק "גידול ביניים ללא קומפוסט".

באמצע פברואר 2024 ו-2025 פוזר ותוחח לשכבת הקרקע העליונה קומפוסט בקר מסחרי (4 קוב לדונם) בחלקות המיועדות ונזרעה תערובת של חרדל ורוקט בחלקות בהן גידול ביניים בין העונה הראשונה לשניה וקייל בין העונה השניה לשלישית. בתחילת אפריל תוחח השטח כולו והוגמע אדיגן בחלקות המיועדות. בעונה הראשונה נשתלו העגבניות ב-8.5.23, בעונה השניה ב-25.4.24 ובעונה השלישית ב-10.4.25. מרחק בין צמחים בשורה 0.4 מטר, 0.4 מטר בין צמד שורות בערוגה ו-2 מטר בין מרכזי ערוגות. לכל שורת גידול שלוחת טפטוף, טפטפות בספיקה של 0.6 ליטר לשעה והמרווח בין הטפטפות הוא 15 ס"מ, שיעור השקיה 4 מ"מ לשעה. כל צמח עוצב לענף בודד בהדליה הולנדית, כמקובל. לכל ממשק 5 חזרות בבלוקים באקראי. רוב הממשקים ייושמו שלוש שנים ברציפות על אותן חלקות פרט לממשק "EM" שיושם רק שנתיים ברציפות במקום ממשק בו נעשה חיטוי לפני פיזור קומפוסט שהיה בשנה הראשונה. כל הממשקים הושקו באופן זהה. דשן מור 4-2.5-6 ניתן בכל הטיפולים. ממשקי הדישון שניתנו בכל שנה מופיעים בטבלה 1.

בכל ממשק הוצבו משאבים בעומק 20 ו-40 ס"מ. דגימות תמיסת קרקע נאספו מהמשאבים אחת לשבוע ונמדדו EC וריכוז ניטראט. כאשר זוהו עליות חריגות בערכים – ניתנו מספר השקיות ללא דשן על מנת לאזן את רמת המוליכות בקרקע ולהמנע מנזקי המלחה. בשנה השלישית ריכוז הדשן בכל טיפול שונה לאחר כל בדיקה על מנת לנסות לשמור על ערך ניטרט קבוע בקרקע. בנוסף, הותקנו טנסיומטרים בכל חלקה בעומק 15 ו-30 ס"מ למעקב אחר פוטנציאל המים בקרקע.

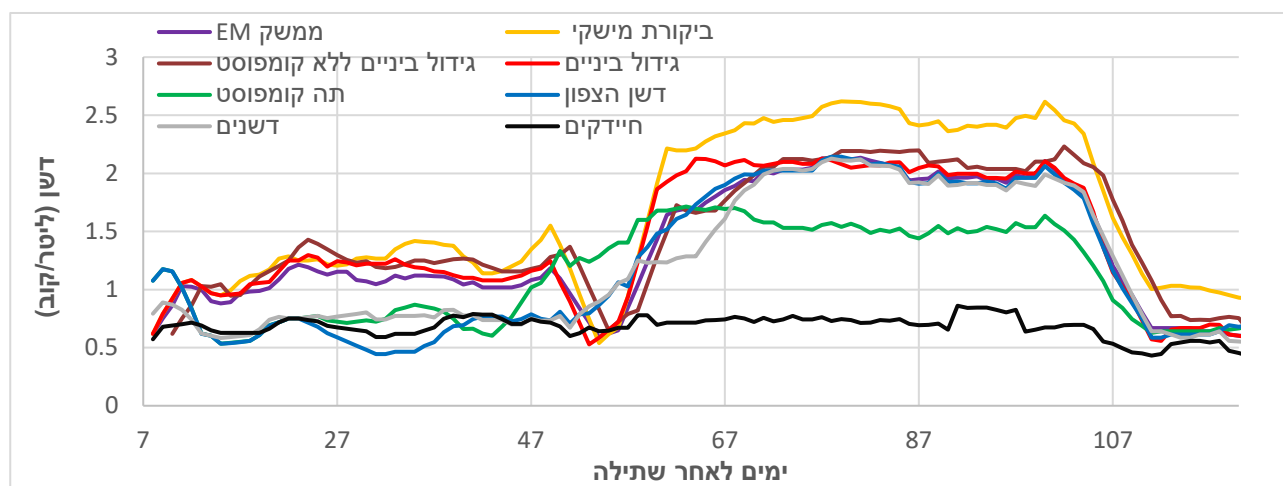
מיד לפני השתילה, ובתום העונה נלקחו דוגמאות קרקע ונשלחו למעבדה לשירות שדה על מנת לאפיין את תכולת החומר האורגני, אשלגן, זרחן, EC. 4-6 פעמים במהלך העונה נדגמו פטוטורות העלה הפתוח העליון בעשרה צמחים מכל חלקה, הפטוטורות נכתשו ומוהל התא שמוצה מהעלים נמדד לקביעת ריכוז ניטרט בעזרת מכשיר Horiba.

החל משבועיים אחרי שתילה החל מעקב שבועי אחר התפתחות הצמחים – גובה הצמחים וסימפטומים של מחלות קרקע. בסוף העונה נספרו הצמחים בכל חלקה שנפלו כתוצאה מסימפטומים של מחלות קרקע. במהלך העונה, בכל קטיפה, כל הפירות מכ-20 צמחים בכל חלקה נשקלו וסווגו לפי איכות הפרי בפרמטרים המקובלים כיום בשוק (פרי מובחר, פרי סוג ב', שחור פיטם וכדומה).

מבחן סטטיסטי - הנתונים עברו מבחן ANOVA לבדיקת השונות בין הממשקים. הניתוח הסטטיסטי לשונות נערך בחבילת תוכנת JMP 7.0 בשיטת Oneway Anova ושונות בעזרת מבחן All pairs, Tukey- Kramer HSD, אותיות שונות בין הממשקים מציינות הבדל סטטיסטי מובהק ברמת מובהקות של 0.05.

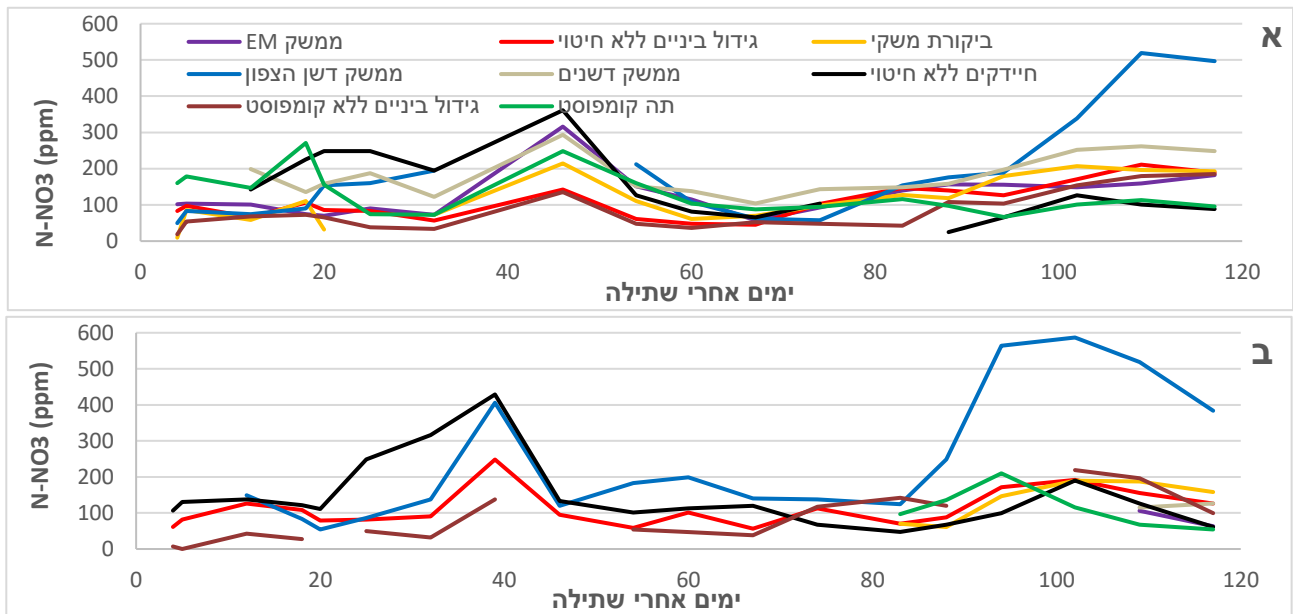
תוצאות

בכל שלושת השנים כל הממשקים קיבלו אותה כמות מים בהשקיה, כל שנה בהתאם לצרכים – בשנה הראשונה 607 מ"מ, בשנה בשניה 563 מ"מ, בשנה השלישית 536 מ"מ. כמות הדשן שניתנה בממשקים השונים בעונה השלישית היתה שונה עבור כל טיפול והיא מוצגת באיור 2. מיון הדשן נקבע לפי תוצאות בדיקות המשאב שנלקחו פעם בשבוע ומופיעות באיור 3א כאשר המטרה היתה לשמור על ריכוז $N-NO_3$ סביב 100-150 ח"מ. עבור ממשק החיידקים ניתנה כמות קבועה של דשן במהלך כל העונה. בחודש וחצי הראשונים ניתנה כמות קטנה יותר של דשן בממשקים של דשן הצפון, דשנים ותה קומפוסט לעומת שאר הממשקים אולם לאחר מכן כמות הדשן בממשקים אלו הועלתה בהתאם לתוצאות אנליזת מי המשאב, בכל ממשק ברמה אחרת. ברב הממשקים ריכוז הניטרט בקרקע נשמר בין 60 ל-200 ח"מ בעומק 20 ס"מ. 104 ימים אחרי שתילה חלה עליה בריכוז הניטרט בתמיסת הקרקע בממשקים השונים ובעקבותיה הורדה משמעותית כמות הדשן הניתן. ברב הממשקים ההורדה בכמות הדשן איזנה חזרה את ריכוז הניטרט בקרקע פרט לממשק דשן הצפון שם העליה היתה החדה ביותר והירידה איטית.



איור 2. כמות הדשן מור 2.5-6 (ליטר/קוב) שניתנה בכל ממשק במהלך עונת הניסוי השלישית.

בעומק 40 ס"מ ריכוז הניטרט נשמר כמעט לאורך כל העונה סביב 100 ח"מ פרט לעליה מסויימת בממשקי החיידקים ודשן הצפון בתחילת העונה ועליה חדה בריכוז בטיפול דשן הצפון במקביל לעליה באותו ממשק בעומק 20 ס"מ (איור 2ב).



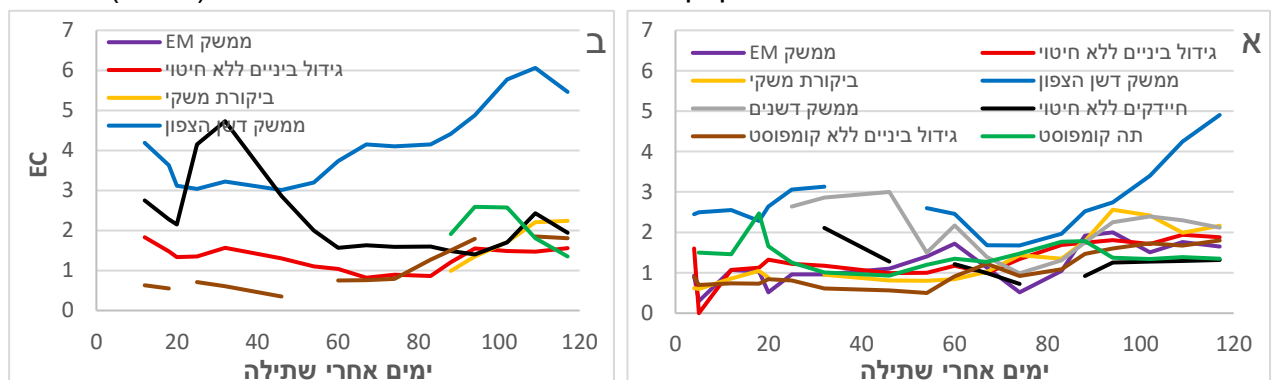
איור 3. ריכוז הניטרט (ח"מ) בתמיסת הקרקע בעומק 20 ס"מ (א) ובעומק 40 ס"מ (ב).

מכיוון שכמות הדשן שניתנה בכל השקיה נקבעה לפי מדדי תמיסת הקרקע בחישוב של כמות הדשן שניתנה במהלך כל העונה נמצא כי היה הבדל משמעותי בין הממשקים השונים כפי שניתן לראות בטבלה 2.

טבלה 2. כמות הדשן הכוללת שניתנה בסופו של דבר בכל טיפול במהלך העונת הניסוי השלישית.

ממשק	ממשקי	גידול ביניים	גידול ביניים	ממשק EM	דשן הצפון	דשנים	תה קומפוסט	חיידקים
ליטר/דונם	861	758	733	697	646	644	589	335

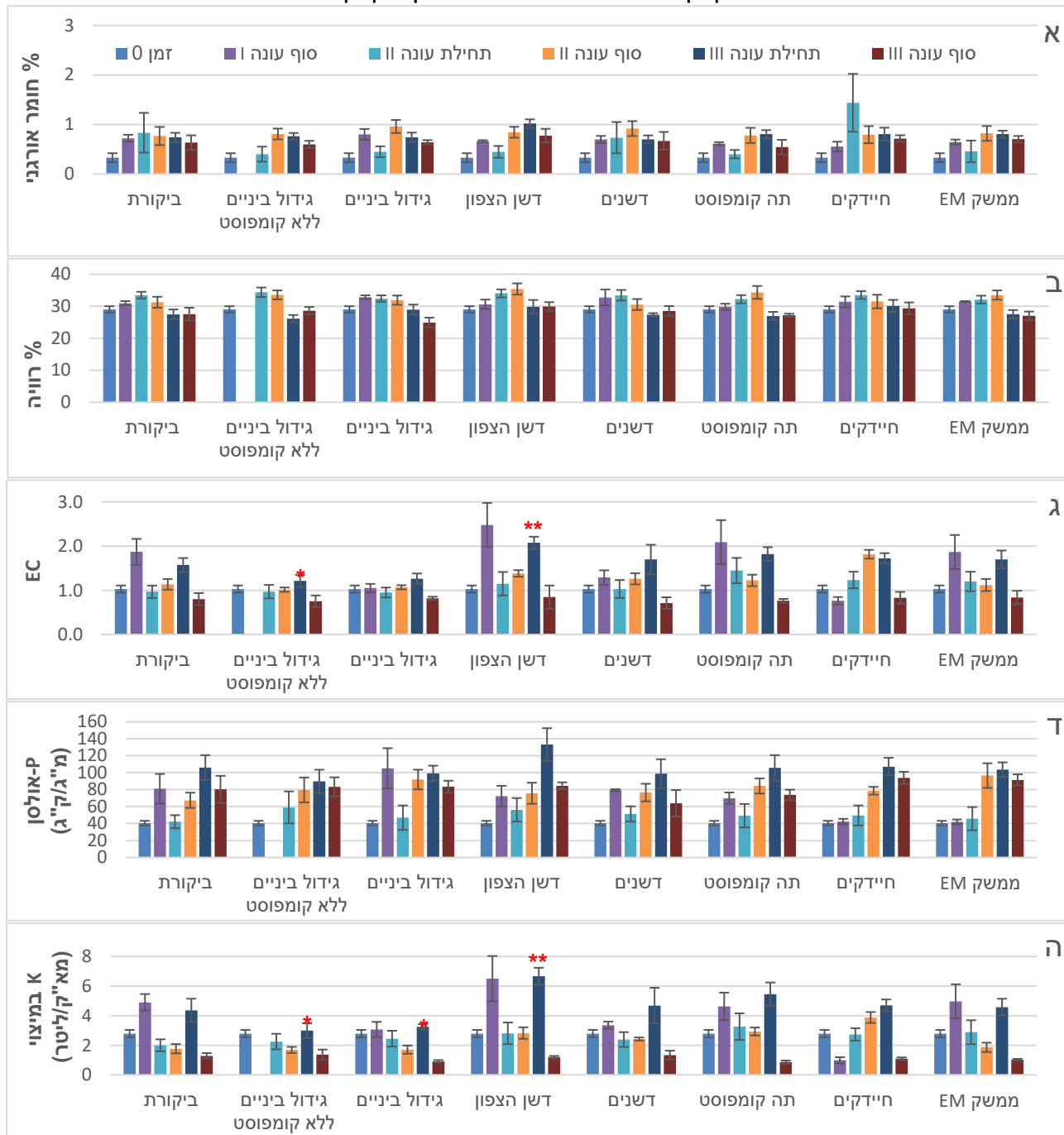
מדידות המוליכות החשמלית של תמיסת הקרקע הראו מגמות דומות לאלו של הניטרט (איור 4).



איור 4. המוליכות החשמלית (ms/cm) של תמיסת הקרקע בממשקים השונים במהלך עונת הגידול השלישית בעומק 20 ס"מ (א) ובעומק 40 ס"מ (ב).

אחוז החומר האורגני בקרקע בתחילת הניסוי היה נמוך מאוד ועמד על כ-0.3% (איור 5א). בסוף העונה הראשונה עלה לסביב 0.7% בכל הממשקים ובהמשך הניסוי היו עליות וירידות מינוריים כך שבסוף הניסוי

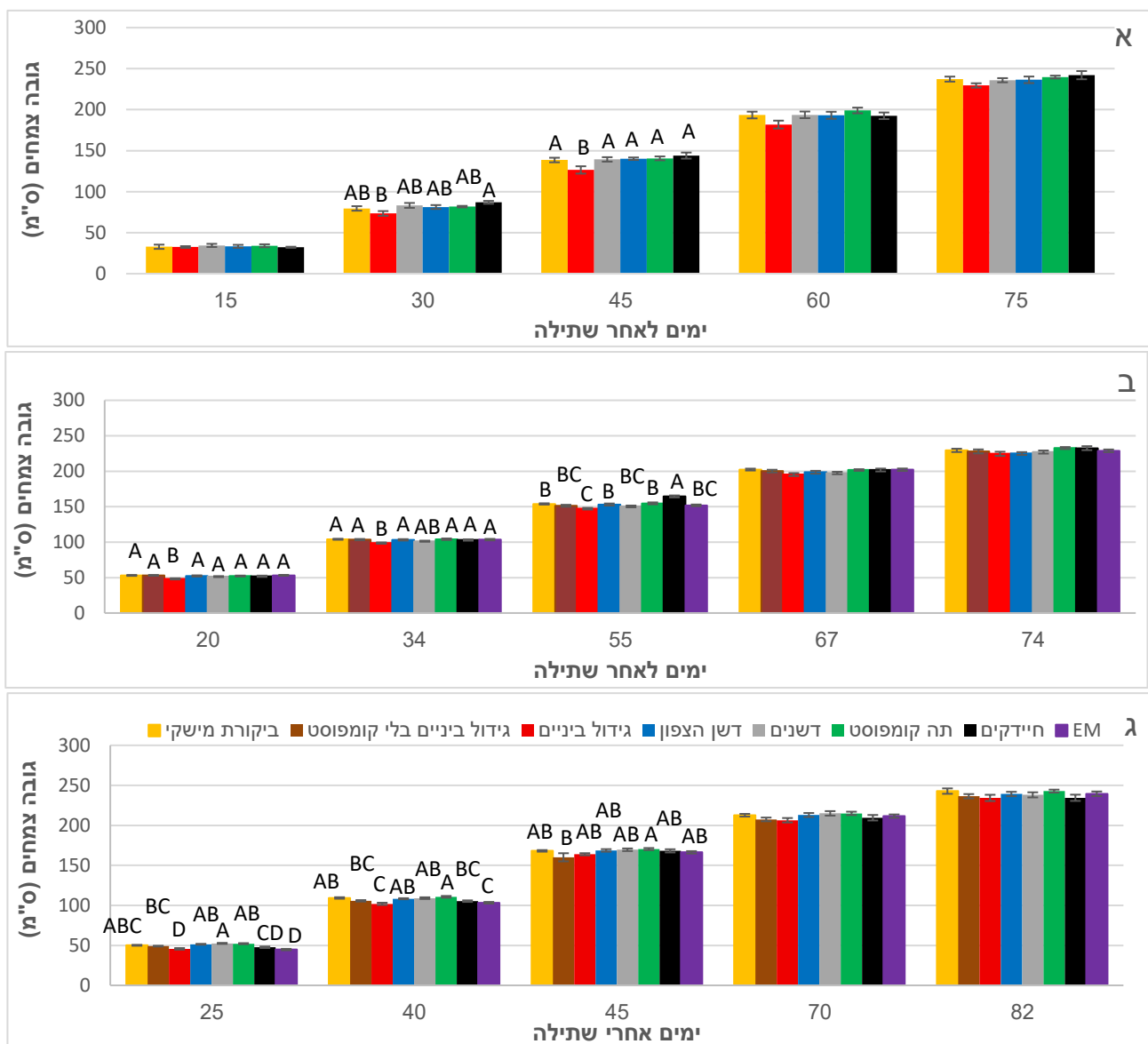
אחוז החומר האורגני , בכל הממשקים עמד על סביב 0.7%. באחוז הרוויה בקרקע, כמות המים שהקרקע יכולה להחזיק, לא חל שינוי משמעותי במהלך תקופת הניסוי (איור 5ב). ברב הממשקים המוליכות החשמלית בקרקע הוכפלה במהלך העונה הראשונה, פרט לממשקים גידול ביניים וחיידקים שבשניהם לא היה חיסוי קרקע לפני שתילה (איור 4ב). במהלך העונה השניה גם כן נצפתה עליה במוליכות החשמלית בקרקע אך העליה היתה פחות משמעותית. בעונה השלישית, בה ניתן דישון לפי מדד קבוע בכל הממשקים המגמה היתה של ירידה במוליכות החשמלית בקרקע. המגמות בריכוזי הזרחן בקרקע היו דומות לאלו של המוליכות



החשמלית – עליה במהלך העונה הראשונה והשניה וירידה במהלך העונה השלישית (איור 5ד). ריכוז האשלגן עלה במהלך העונה הראשונה וירד במהלך העונה השניה (איור 5ה). בתחילת העונה השלישית ריכוזו עלה בכל הממשקים אך בממשקים עם גידול הביניים משמעותית פחות מאשר בשאר הממשקים.

איור 5. בדיקות הקרקע בעומק 0-20 ס"מ בתחילת וסוף כל עונת גידול במהלך תקופת הניסוי. א. אחוז החומר האורגני; ב. % רוויה; ג. המוליכות החשמלית (ms/m); ד. ריכוז זרחן באולסן (מ"ג/ק"ג); ה. ריכוז אשלגן במיצוי (מא"ק/ליטר). הנתונים מוצגים כממוצעים של 3 חזרות $\pm$ שגיאת תקן. הבדלים מובהקים ($p < 0.05$) על פי מבחן שוניות All pairs, Tukey-Kramer HSD שנמצאו בין הממשקים השונים בכל מועד דיגום באים לידי ביטוי בכוכביות.

מעקב אחר התפתחות גובה הצמחים במהלך הניסוי (איור 6) מראה כי בכל שלושת השנים היה עיכוב בהתפתחות הצמחים בממשק של גידול ביניים ללא חידוש וחצי הראשונים לאחר שתילה. כך גם בטיפול EM בשנה השניה והשלישית. הצמחים בממשק החיידקים, שגם כן היה ללא חידוש, בשנה השניה התפתחו מהר יותר מאשר בשאר הממשקים בחודש וחצי הראשון. אולם, בשנה השלישית גם בממשק זה כמו בממשק גידול הביניים ללא חידוש היה עיכוב בהתפתחות. אחרי חודש וחצי – חודשיים כבר לא היה הבדל בין הממשקים השונים בהתפתחות הצמחים.



איור 6. מעקב התפתחות הצמחים (גובה, ס"מ) במהלך שלוש עונות הגידול: א. עונה ראשונה, ב. עונה שניה, ג. עונה שלישית. הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. הבדלים מובהקים על פי מבחן שוניות All pairs, Tukey-Kramer HSD שנמצאו בין הממשקים השונים בכל זמן מדידה באים לידי ביטוי באותיות שונות.

בבדיקת הניטרט בפטוטורות העלים נראה שבכל שלושת העונות ריכוזו ב-40 הימים הראשונים היה גבוה יותר ולאחר מכן ירד (איור 7). פרט לכך, בכל עונה הממצאים היו שונים, ריכוז הניטרט הגבוה ביותר בכל דיגום

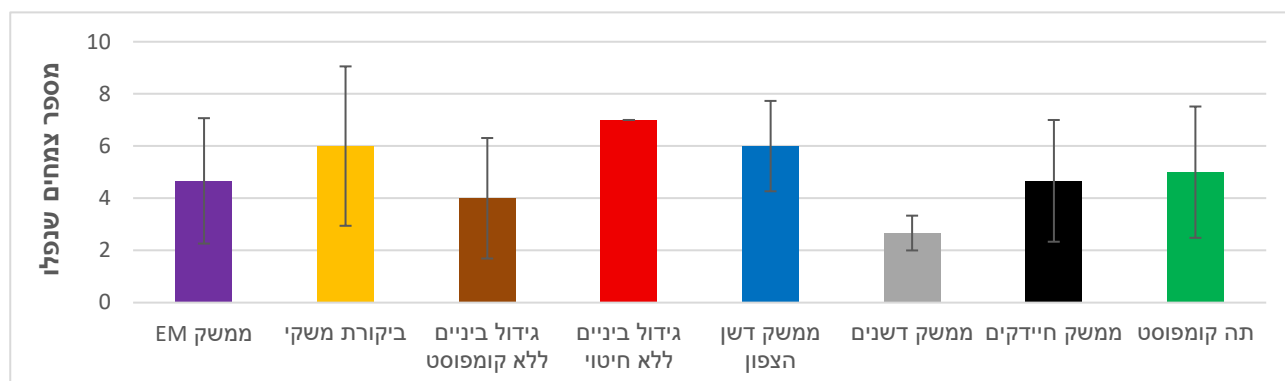


התקבל בכל שנה בממשק אחר ובזמן אחר. 90 ימים אחרי שתילה ריכוז הניטרט בכל שלושת העונות היה נמוך יחסית ועמד על סביב 1000 ח"מ (250 ח"מ של חנקן ניטרטי).

איור 7. ריכוז ניטרט (ppm) בפטוטורות העלים במהלך שלושת עונות הגידול: א. שנה ראשונה, ב. שנה שניה, ג. שנה שלישית. הנתונים מוצגים כממוצעים של 3 חזרות $\pm$ שגיאת תקן. הבדלים מובהקים על פי מבחן Oneway Anova שנמצאו בין הממשקים השונים בכל זמן מדידה באים לידי ביטוי באותיות שונות.

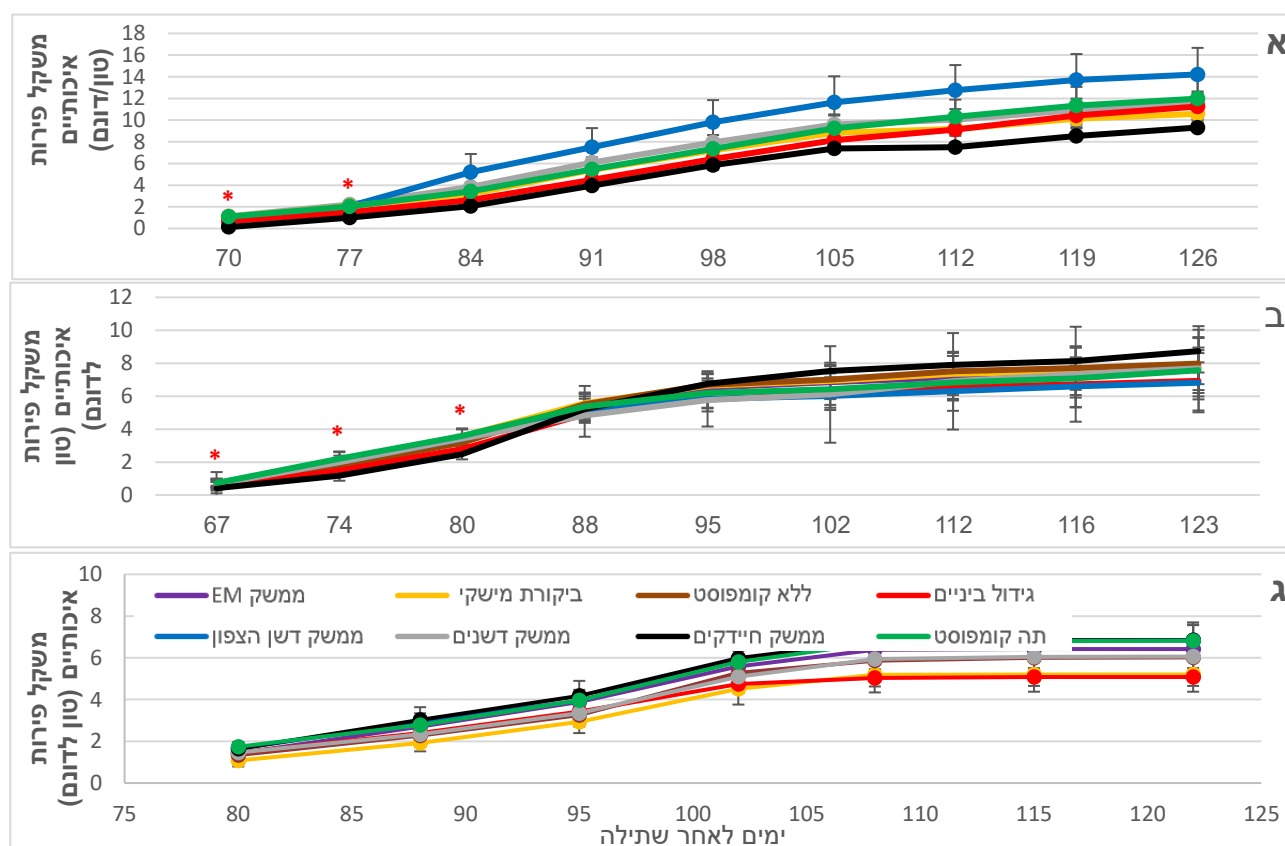
במהלך העונה נעשה מעקב איכותי אחרי הצמחים שהראו סימפטומים של מחלה, אבל לא נראתה כל מגמה בהתפשטות מזיקים בחלקה. בסוף העונה נספרו הצמחים שנפלו מסימפטומים שנראו כמחלת הפוזריום. הנתונים מוצגים באיור 8. לא נמצאו הבדלים משמעותיים בין הממשקים השונים אבל ניתן לראות כי בגידול הביניים ללא חיטוי נמצא שיעור גבוה יחסית של צמחים שנפגעו והשונות בין החלקות היתה קטנה יחסית

לשאר החלקות בהן מספר גבוה של צמחים נפגע. בממשק הדשנים גם מספר נמוך יחסית של צמחים נפגעו וגם השונות בין החלקות היתה נמוכה יחסית.



איור 8. מספר צמחים שנפלו והראו סימפטומים של פוזריום בסוף העונה השלישית. הנתונים מוצגים כממוצעים של 5 חזרות $\pm$ שגיאת תקן. לא נמצאו הבדלים מובהקים על פי מבחן Oneway Anova בין הממשקים השונים.

היבול האיכותי, יבול המשווק כסוג א', עבור שלושת עונות הגידול בניסוי מוצג באיור 9 ובטבלה 3. בכל שלושת העונות היבול עבור ממשק חיידקים היה נמוך ביותר בקטיפים הראשונים. כך גם עבור ממשק גידול הביניים, שניהם ללא חיטוי. בעונה הראשונה היבול בממשק החיידקים היה נמוך לאורך כל העונה (למרות שבסוף העונה ההבדל בין הממשקים כבר לא היה משמעותי). בעונה השנייה והשלישית היבול של ממשק זה כבר היה בין הגבוהים. לעומת זאת, היבול בממשקים גידול ביניים ללא חיטוי ובממשק המישקי היו מהנמוכים בכל שלושת העונות.

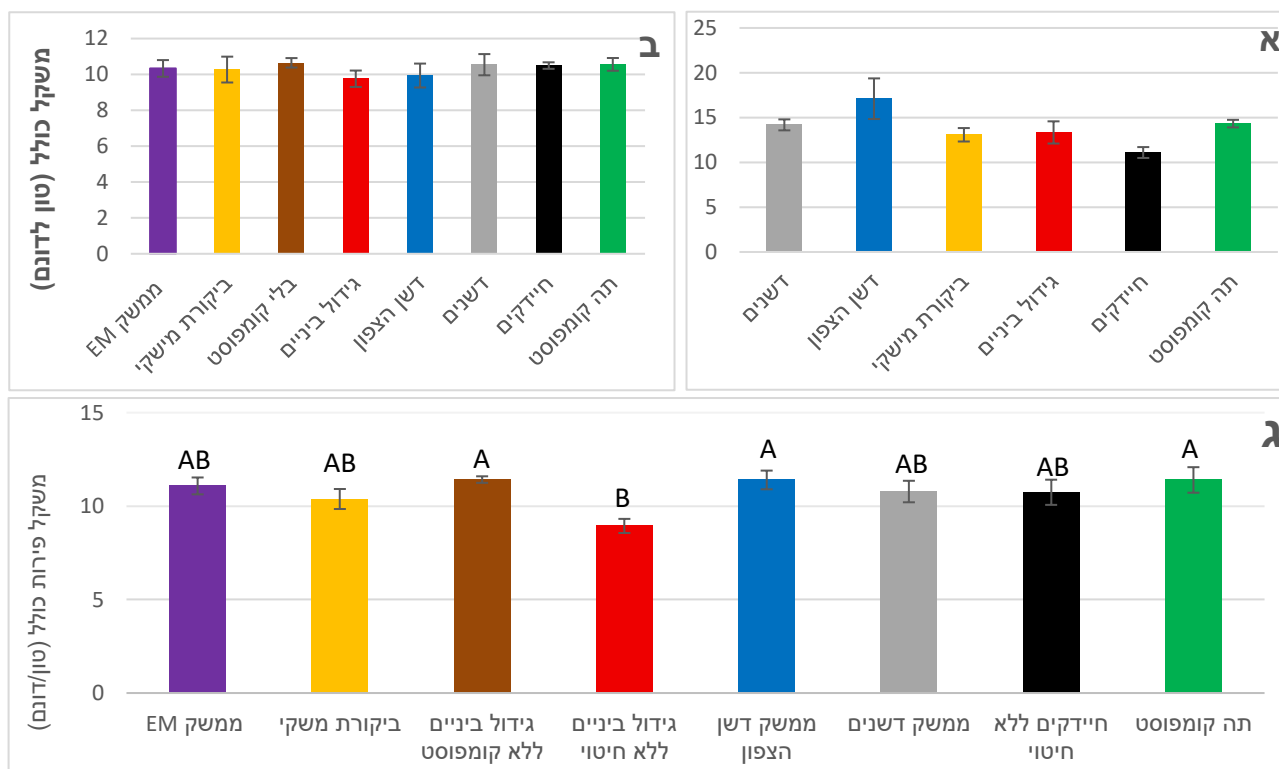


איור 9. יבול הפירות לשיווק במהלך העונה בממשקים השונים: א. עונה ראשונה; ב. עונה שניה; ג. עונה שלישית. הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. זמנים בהם נמצאו הבדלים סטטיסטיים בין הממשקים מסומנים בכוכביות. מבחן סטטיסטי לשוניות בין הממשקים השונים במועדים אלו מוצג בטבלה 3.

טבלה 3. תוצאות המבחן הסטטיסטי עבור יבול הפירות לשיווק (טון/דונם) בשלושת העונות. מוצגים הזמנים בהם נמצאו הבדלים מובהקים בין הממשקים השונים על פי מבחן שוניות All pairs, Tukey-Kramer HSD.

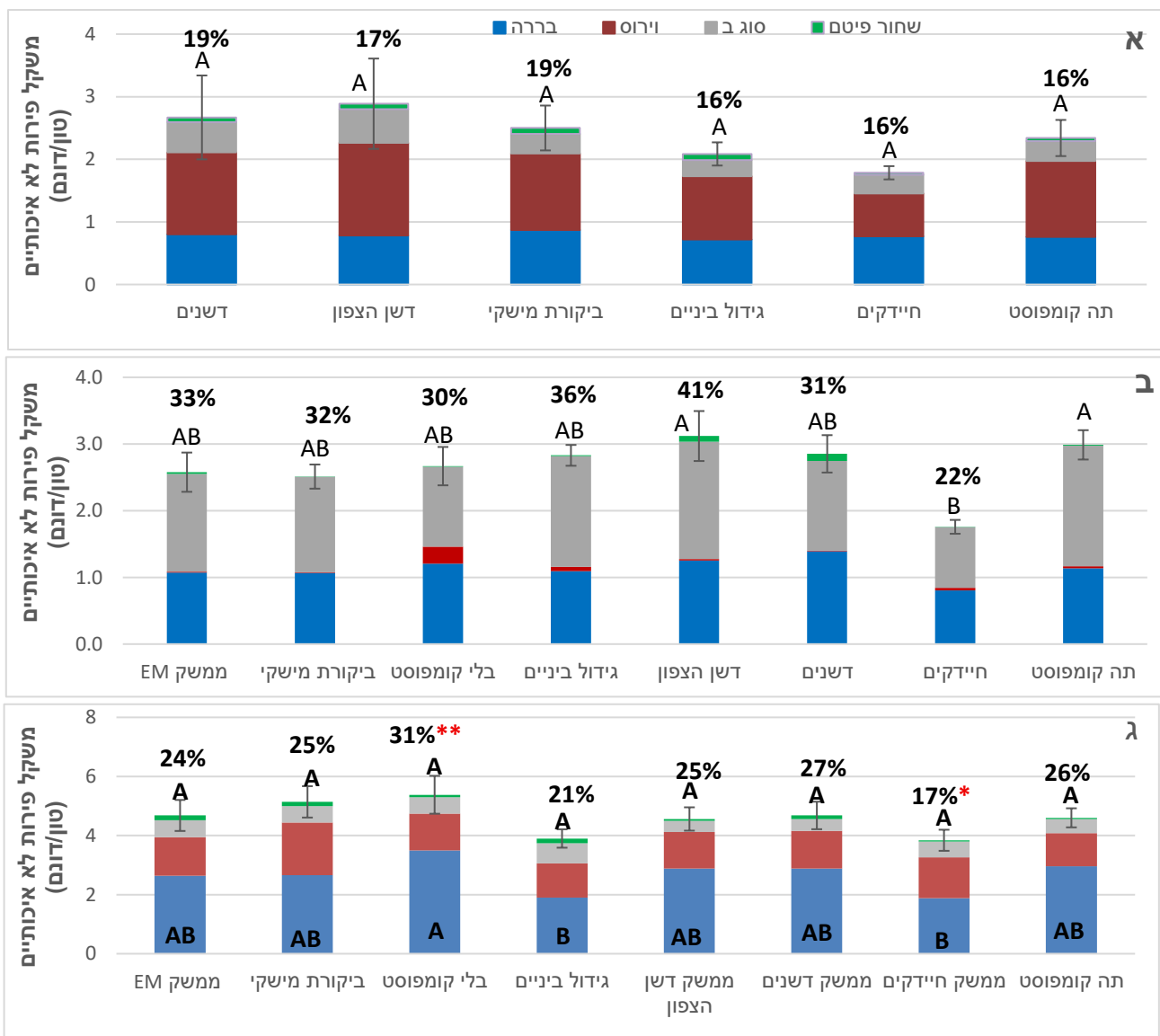
ממשק	עונה I			עונה II			עונה III	
	70 ימים	77 ימים	סה"כ	67 ימים	74 ימים	80 ימים	סה"כ	סה"כ
EM				AB	AB	AB	A	A
משקי	A	AB	A	AB	AB	A	A	A
גידול ביניים	B	BC	A	AB	BC	AB	A	A
תה קומפוסט	A	AB	A	A	AB	A	A	A
ממשק דשן הצפון	A	AB	A	A	AB	AB	A	A
ממשק דשנים	A	A	A	AB	AB	AB	A	A
ממשק חיידקים	C	C	A	B	C	B	A	A
ללא קומפוסט				AB	ABC	AB	A	A

בעונה הראשונה והשניה לא היה הבדל ביבול הפירות הכולל (יבול איכותי + יבול לא איכותי/לא לשיווק) בין הממשקים השונים (איור 10א, 10ב). בעונה השלישית היבול הכולל בממשק גידול הביניים ללא חיטוי היה נמוך משמעותית מאשר בממשקים של גידול ביניים עם חיטוי אך ללא קומפוסט, ממשק דשן הצפון וממשק תה קומפוסט (איור 10ג).



איור 10. משקל הפירות הכולל (טון/דונם) בממשקים השונים בעונה הראשונה (א), בעונה השניה (ב), בעונה השלישית (ג). הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. הבדלים מובהקים בין הממשקים השונים על פי מבחן שוניות All pairs, Tukey-Kramer HSD בעונה השלישית מצויינים באותיות שונות.

בשנת הניסוי הראשונה לא היו הבדלים במשקל הפירות הלא איכותיים והם היוו 16%-19% מכלל היבול (איור 11א). בשנה השניה בממשק ה"חידקים" משקל הפירות הלא איכותיים הכולל היה נמוך משמעותית בהשוואה לממשקים "דשן הצפון" ו"תה קומפוסט" (איור 11ב). אחוז הפירות הלא איכותיים מתוך סך היבול בממשק "חידקים" היה הנמוך בגלל משקל פירות סוג ב' הנמוך ביותר. בשנה השלישית, לא נמצא הבדל משמעותי בין הממשקים בסך כל היבול הלא איכותי למרות שמשקל הפירות הבררה (שאינם ראויים כלל לשיווק מסיבות שונות) היה נמוך משמעותית בממשק גידול הביניים ללא חיטוי ובממשק החידקים ללא חיטוי לעומת ממשק גידול הביניים בלי קומפוסט (איור 11ג). אחוז הפירות הלא איכותיים מתוך כלל הפירות היה נמוך משמעותית בממשק החידקים לעומת ממשק גידול הביניים ללא קומפוסט.



איור 11. משקל הפירות הכולל (טון/דונם) שאינם ראויים לשיווק בממשקים השונים בשנה הראשונה (א), בשנה השניה (ב) ובשנה השלישית (ג). הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן עבור משקל הפירות הלא

איכותיים הכולל. הבדלים מובהקים על פי מבחן שוניות All pairs, Tukey-Kramer HSD שנמצאו בין הממשקים השונים במשקל הפירות הלא איכותיים הכולל באים לידי ביטוי באותיות שונות. אחוז הפירות הלא איכותיים הכולל מתוך סך כל היבול מצוין מעל כל עמודה.

דיון

מחקר זה התמקד בבחינת ממשקים שונים להגדלת יבול העגבניה בבתי צמיחה באזור הבשור תוך שיפור בריאות ופוריות הקרקע. הצורך בגישה הוליסטית נובע מהבנה של הקשר ההדוק בין בריאות הקרקע ופוריותה, כפי שהדגישו Karlen et al. (1997) בהגדרתם את איכות הקרקע כיכולתה לתפקד כמערכת חיה ודינמית. תוצאות המחקר במהלך שלוש שנות הניסוי מספקות תובנות חשובות לגבי השפעת ממשקי גידול שונים על פרמטרים אגרונומיים וביולוגיים.

השפעת הממשקים על התכונות הפיזיקליות והכימיות של הקרקע

ריכוז החומר האורגני בקרקע בתחילת המחקר היה נמוך מאוד ועמד על כ-0.33%. נמצאה עלייה משמעותית בתכולת החומר האורגני בקרקע עד ל-0.7%, בכל הממשקים, בין אם הוסף קומפוסט לקרקע או זבל ירוק מגידול הביניים. עלייה זו מתיישבת עם ממצאים של Diacono & Montemuro (2010) שהדגישו את חשיבות החומר האורגני בשיפור מבנה הקרקע, יכולת אחזקת המים והפעילות הביולוגית אך ריכוז זה עדיין נחשב לריכוז נמוך (Schnitzer et al., 1975). בעונה הראשונה, בה ניתן ריכוז הדשן הגבוה ביותר (לפי המלצות שה"מ), היתה עליה משמעותית במוליכות החשמלית ובריקוזי הזרחן והאשלגן. בעונה השנייה, בה ניתן מעט פחות דשן (70% מהמלצות שה"מ) לא נצפתה עליה בריכוז האשלגן למרות עליה בריכוז הזרחן ובמוליכות החשמלית. בעונה השלישית, בה יושם דישון לפי מדד קבוע, נצפתה ירידה בשלושת הפרמטרים. תופעה זו, של צבירת מלחים וזרחן בקרקע כתוצאה מדישון אינטנסיבי מוכרת ממחקרים קודמים (Hartz & Hochmuth, 1996) בגידולים אינטנסיביים של ירקות. הירידה בעונה השלישית מדגימה את חשיבות הניטור השוטף והתאמת הדישון לצורכי הצמח בהתאם לעקרונות החקלאות המדייקת (Zhang et al., 2002).

דינמיקת החנקן במערכת והשלכותיה

אחד האתגרים המרכזיים שעלו מהמחקר הוא הקושי בשמירה על רמות ניטרט אופטימליות בקרקע. למרות המאמצים לשמור על ריכוז של 100-150 ח"מ של חנקן ניטרטי, נצפו תנודות משמעותיות, במיוחד בממשק דשן הצפון שבו נרשמו עליות חדות בריכוז הניטרט. תופעה זו עשויה להיות קשורה להשפעת הביוסטימוולנטים על קצב קליטת החנקן על ידי הצמח כפי שתיארו Colla et al. (2015) ו-du Jardin (2015). העובדה שבעונה השלישית ניתנו כמויות שונות של דשן בכל ממשק מעידה על השפעת הממשקים השונים על דינמיקת החנקן בקרקע. הביקורת המשקית, למשל, קיבלה כמות דשן גבוהה משמעותית מכמות הדשן שניתנה בממשק החיידקים (יותר מכפול) או ממשק תה קומפוסט (גדול ב-40%). הבדלים אלו עשויים לנבוע מהשפעת הקהילות המיקרוביאליות המועילות בקרקע על יעילות קליטת החנקן, כפי שהוכיחו Adesemoye & Kloepper (2009) במחקרם. ריכוז החנקן הניטרטי בפטוטרות העלים היה גבוה יותר ב-40 הימים הראשונים בכל שלושת העונות ולאחר מכן ירד לסביב 100 ח"מ. דפוס זה מתיישב עם ממצאים מהספרות (Hochmuth, 1994) ועם המחזור הפיזיולוגי של הצמח, כאשר בשלב המוקדם הצמח צובר חנקן להתפתחות הוגטיבית ובהמשך העונה, עם תחילת ההתפתחות הפרודוקטיבית החנקן נצרך לייצור הפירות (Marschner, 2012).

התפתחות הצמחים והתמודדות עם מחלות קרקע

בממשקים ללא חיטוי קרקע – גידול ביניים ללא חיטוי, EM וחידקים היה עיכוב בהתפתחות הצמחים בחודש וחצי הראשונים. תופעה דומה תוארה על ידי Htitink & Boehm (1999) שהסבירו כי העיכוב נובע מהתחרות עם מיקרואורגניזמים בקרקע ומהשקעת משאבים של הצמח במנגנוני הגנה. עם זאת, חשוב לציין שלאחר תקופת הסתגלות ראשונית, הצמחים בממשקים אלו השיגו את קצב הגדילה של שאר הממשקים. למרות שלא נמצאו הבדלים סטטיסטיים מובהקים במספר הצמחים שנפגעו ממחלת הפוזריום, ניתן לזהות מגמות מעניינות. ממשק הדשנים הראה מספר נמוך יחסית של צמחים פגועים עם שונות קטנה בין החלקות, מה שעשוי לנבוע מההשפעה המשולבת של הביוסטימולנטים על חוסן הצמח. ממצאים אלו תואמים למחקרים קודמים שמצאו כי חומצות הומיות וחומצות אמינו משפרות את עמידות הצמח ללחצים ביוטיים (Rouphael et al., 2018). לעומת זאת, בממשק גידול ביניים ללא חיטוי נצפה מספר גבוה יחסית של צמחים פגועים, מה שמדגיש את החשיבות של אסטרטגיות משולבות להתמודדות עם פתוגנים.

השפעת גידול הביניים

גידולים ממשפחת המצליבים (כמו חרדל, רוקט וקייל) מפורשים גלוקוזינולטים שמתפרקים לתרכובות פעילות כמו איזותיוציאנאטים בעלי תכונות המאפשרות עיכוב או פגיעה במיקרואורגניזמים. Matthiessen & Kirkegaard (2006) הראו כי שילוב של גידולי ביניים מסוג זה יכול להפחית משמעותית אוכלוסיות פתוגנים בקרקע, תוך הוספת חומר אורגני. בנוסף, גידולי הביניים תורמים לשיפור מבנה הקרקע, מניעת שחיקה והפחתת שטיפת נוטריינטים. בניסוי זה ראינו עיכוב בצמיחה בשני הטיפולים עם גידול הביניים. עיכוב זה נבע כנראה מהעובדה שלא המתנו מספיק זמן בין סיום גידול הביניים ותיחוחו לקרקע לבין שתילת העגבניה. פירוק של החומר האורגני בקרקע מוביל לחוסר איזון רגעי ותחרות בין המיקרואורגניזמים המפרקים לצמח על חנקן זמין ולכן מעכב את התפתחות הצמחים. בשלב מאוחר יותר, כאשר קצב פירוק המצליבים ירד אפשר לראות שקצב צימוח העגבניות עלה עד שלא היה הבדל בין ממשקים אלו לממשקים האחרים. נראה כי בתזמון שתילה נכון יותר ביחס לזמן סיום גידול הביניים לממשקים אלו פוטנציאל גבוה יותר שיש לבחון.

תפקיד המיקרואורגניזמים המועילים והביוסטימולנטים

ביוסטימולנטים מוגדרים כחומרים המכילים חומרים מועילים ו/או מיקרואורגניזמים המשפרים את יעילות השימוש בחומרי ההזנה, משפרים את תהליכי הצמיחה, האיכות והעמידות ללחצים (Calvo et al., 2014). ממשק הדשנים, שכלל מגוון של ביוסטימולנטים כולל תמציות אצות, חומצות אמינו וחומצות הומיות, הראה ביצועים טובים במונחים של אחוז נמוך יחסית של צמחים פגועים ופירות לא איכותיים. החומצות ההומיות ידועות ביכולתן לשפר את זמינות חומרי ההזנה, להגביר התפתחות מערכת השורשים ולשפר את החוסן של הצמח (Canellas et al., 2015) ותמציות אצות, מצידן מכילות ציטוקינינים, בטאינים ומרכיבים נוספים המעוררים צמיחה (Craigie, 2011).

מצד שני, ממשק דשן הצפון שהכיל ביוסטימולנטים ומיקרואורגניזמים הראה עליה חדה בריכוז הניטרט בקרקע שקשה היה לאזנה גם עם הורדה בכמות הדשן. תופעה זו עשויה להיות קשורה לשיפור בקליטת החנקן על ידי הצמח בעקבות השימוש בביוסטימולנטים, אך גם להערכה לא מדויקת של צרכי החנקן בהתחשב בשיפור היעילות מה שמדגיש את הצורך בהתאמת פרוטוקולי דישון בעת השימוש בביוסטימולנטים.

מספר ממשקים במחקר זה התמקדו בהעשרת הקרקע במיקרואורגניזמים מועילים – ממשק EM, ממשק תה קומפוסט וממשק החיידקים. למרות שלא נמצאו הבדלים דרמטיים ביבול הסופי, לחלק ממשקים אלו היתה השפעה חיובית.

טכנולוגיית EM (Effective Microorganisms), שפותחה על ידי Higa & Parr (1994), מבוססת על שילוב של בקטריות פוטוסינטטיות, בקטריות חומצה לקטית ושמיים. מחקר מאוחר יותר של Javaid (2006) הראה תוצאות מעורבות, כאשר ההצלחה תלויה מאוד בתנאי הקרקע ובאופן היישום. בניסוי זה, טיפול ה-EM לא הראה יתרון ברור בגידול או ביבול אך מאחר וטיפול זה ניתן ללא חיטוי קרקע נראה כי היתרון המרכזי שלו הוא בהפחתה של חיטויי קרקע.

ממשק תה קומפוסט, לעומת זאת, מבוסס על תמצית נוזלית המכילה מגוון רחב של מיקרואורגניזמים מקומפוסט בוגר. Ingham (2005) טענה כי תה קומפוסט יכול להעשיר את הקרקע במגוון ביולוגי ולהגביר את הפעילות המיקרוביאלית. אולם מחקרים מדעיים מבוקרים יותר כמו זה של Scheuerell & Mahaffee (2002) הראו תוצאות משתנות מאוד התלויות באיכות הקומפוסט המקורי, בתהליך ההכנה ובזמן היישום. במחקר זה השתמשנו בתה קומפוסט שמקורו בקומפוסט צמחי אורגני ולמרות שלא התקבלו תוצאות משמעותיות מבחינת צימוח או יבול יעילות השימוש בדשן בניסוי זה היתה מהגבוהות כאשר כמות הקטנה בכ-40% מכמות הדשן ששימשה בביקורת הביאה ליבול דומה.

ממשק החיידקים שהתבסס על שני מינים של בצילוס השילוב עם 2-DA הידוע כאחת האנטיביוטיקות החזקות ביותר שמייצרות בקטריות פסאודומונס במערכות ביולוגיות להדברה (Haas & Défago, 2005). השימוש בבקטריות בצילוס מתאים במיוחד לתנאי הבשור, שכן מינים שלו יוצרים נבגים עמידים המסוגלים לשרוד בתנאים קשים. התוצאות המעודדות, בייחוד בעונה השלישית, לגבי איכות הפרי והיבול שהתקבל במחצית מכמות הדשן מהטיפול המישיקי, מצדיקות המשך מחקר בכיוון זה.

סיכום והמלצות מעשיות

מחקר זה מספק עדויות לכך שגישה של ממשקים הוליסטים לניהול בריאות ופוריות הקרקע בגידול עגבניות בבתי צמיחה היא ריאלית ושימה. למרות שלא נמצאו הבדלים דרמטיים ביבול הסופי בין הממשקים השונים, הממצאים מצביעים על מגמות חיוביות שעשויות להתחזק עם הזמן, במיוחד בהקשר של קיימות ארוכת זמן. במחקר זה מצאנו מספר ממשקים שהראו פוטנציאל של הפחתה בשימוש בחומרי הדברה לחיטוי וממשקים שהראו פוטנציאל להפחתה של כמות הדשן ב-40-50%. תקופת המחקר של שלוש שנות גידול היא משמעותית, אך שינויים בבריאות הקרקע, במגוון הביולוגי ובזמינות הנוטריינטים בקרקע עשויים להמשיך ולהתפתח לאורך זמן רב יותר. McDaniel et al. (2014) מצאו כי שיקום מלא של בריאות קרקע דורש יותר מחמש שנים במערכות חקלאיות רבות. לכן, יתכן שההשפעות המלאות של הממשקים השונים טרם באו לידי ביטוי.

- Adesemoye, A. O., & Kloepper, J. W. (2009). Plant-microbe interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(1), 1-12.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1-2), 3-41.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15-27.
- Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., & Rouphael, Y. (2015). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 28-38.
- Craigie, J. S. (2011). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 371-393.
- Diacono, M., & Montemurro, F. (2010). Long-term effects of organic amendments on soil fertility: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 401-422.
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14.
- Haas, D., & Défago, G. (2005). Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nature Reviews Microbiology*, 3(4), 307-319.
- Hartz, T. K., & Hochmuth, G. J. (1996). Fertility management of drip-irrigated vegetables. *HortTechnology*, 6(3), 168-172.
- Higa, T., & Parr, J. F. (1994). Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. International Nature Farming Research Center.
- Hochmuth, G.J. (1994). Efficiency Ranges for Nitrate-Nitrogen and Potassium for Vegetable Petiole Sap Quick Tests. *HortTechnology* 4(3): 218-222
- Hoitink, H. A. J., & Boehm, M. J. (1999). Biocontrol within the context of soil microbial communities: A substrate-dependent phenomenon. *Annual Review of Phytopathology*, 37, 427-446.
- Ingham, E. R. (2005). *The Compost Tea Brewing Manual* (5th ed.). Soil Foodweb Inc.
- Javaid, A. (2006). Foliar application of effective microorganisms on pea as an alternative fertilizer. *Agronomy for Sustainable Development*, 26(4), 257-262.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.
- Krupinsky, J. M., Bailey, K. L., McMullen, M. P., Gossen, B. D., & Turkington, T. K. (2002). Managing plant disease risk in diversified cropping systems. *Agronomy Journal*, 94(2), 198-209.
- Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5(4), 212-222.
- Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.

- Matthiessen, J. N., & Kirkegaard, J. A. (2006). Biofumigation and enhanced biodegradation: Opportunity and challenge in soilborne pest and disease management. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(3), 235-265.
- McDaniel, M. D., Grandy, A. S., Tiemann, L. K., & Weintraub, M. N. (2014). Crop rotation complexity regulates the decomposition of high and low quality residues. *Soil Biology and Biochemistry*, 78, 243-254.
- Peralta, A. L., Sun, Y., McDaniel, M. D., & Lennon, J. T. (2018). Crop rotational diversity increases disease suppressive capacity of soil microbiomes. *Ecosphere*, 9(5), e02235.
- Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., De Pascale, S., Bonini, P., & Colla, G. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 196, 91-108.
- Scheuerell, S., & Mahaffee, W. (2002). Compost tea: Principles and prospects for plant disease control. *Compost Science & Utilization*, 10(4), 313-338.
- Schnitzer, Morris, and Shahamat U. Khan, eds. 1975. *Soil organic matter*. Elsevier.
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—A worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2-3), 113-132.