

שימוש בפסולת יקב לשימור ושיפור פוריות הקרקע בכרמי יין וכתחליף לכבול במצע הגידול

הצגת הבעיה

סחיפת קרקע ודעיכה באחוז החומר האורגני הם הסימנים הבולטים לפגיעה באיכות הקרקע. כרמי היין באגן הים התיכון נטועים לרוב בקרקעות שוליות, באזורים בעלי טופוגרפיה מדרונית, תנאים אשר מגבירים את פוטנציאל הסחיפה של הקרקע. זאת בנוסף לכך, שכרמי היין נמצאים בשלכת במהלך חודשי החורף, אשר מגבירים את פוטנציאל הסחיפה של הקרקע כתוצאה מחשיפה לטיפות הגשם (Novara et al., 2021). כרמי היין בישראל, נטועים על פני שטח של כ-60 אלף דונם, באזורים בעלי טופוגרפיה מדרונית המתאפיינים בקרקעות דלות בחומר אורגני, בדומה לאזורים אחרים באגן הים התיכון.

השפעותיה המועילות של עליה בכמות החומר האורגני בקרקע על תכונותיה הפיסיקליות, הכימיות והביולוגיות הוצגו במספר רב של מחקרים (Magdoff and Weil, 2004). כתוצאה מכך, השימוש בשאריות חומרים אורגניים ובקומפוסטים הולך וגדל בחקלאות (Six et al., 2000; Tilman, 1998). חומר אורגני מוסף לקרקע כחומר חלקיקי גם, אשר במהלך פירוקו הביולוגי עובר קומפלקסציה עם מרכיבים חרסיתיים, ובכך תורם למבנה ויציבות תלכידי הקרקע (Aoyama et al., 1999).

במהלך תהליך ייצור היין נוצרת פסולת אורגנית, המוערכת בכ-16 אלף טון בשנה, אשר מהווה מפגע סביבתי מאחר ואין בה שימוש. פסולת היקב מכילה ריכוזים גבוהים של חומרים מעכבי צמיחה והתפתחות שורשים (Inbar et al., 1992; Gómez-Brandón et al., 2011), ובשל כך, שימוש בה מצריך טיפול ייצוב מקדים, לפני יישום בקרקע (Nogales Paradelo et al., 2014; Domínguez et al., 2005). בעבודות, שנערכו על ידי Flavel et al. (2005) ו-Paradelo et al. (2010) הראו, שבמהלך תהליכי המינרליזציה של קומפוסט פסולת היקב, נוצר קיבוע של חנקן, הנגרם כתוצאה ממחסור בחנקן זמין לפעילות מיקרוביאלית. קצב הפירוק האיטי של פסולת היקב עלול להאריך את משך זמן תהליך הקומפוסטציה שלו. Raviv et al. (2005) השתמשו בתכונה זו של פסולת היקב במטרה להקטין את קצבי המינרליזציה של החנקן בעת תהליכי קומפוסטציה של זבל בקר, באמצעות קומפוסטציה בו-זמנית של שתי הפסולות. בעבודה, שנערכה על ידי Zmora Nahum et al. (2007), הראו ששימוש בקומפוסט פסולת היקב כתוספת למצע גידול אינו משפר את הצימוח של צמחי מלפפון, בהשוואה למספר רב של קומפוסטים, שנבחנו על ידם, כתוצאה מקצב פירוקו האיטי. מטרת המחקר העיקרית הייתה, לבחון את ניצול פסולת היקבים לאחר ייצובה בשילוב עם זבל פטמים מפוסטר, כתוסף אורגני לשימור ושיפור פוריות הקרקע, בקרקעות כרמי יין וכבסיס למצעים לגידול מנותק.

שיטות העבודה

הכנת הקומפוסטים - במחקר הנוכחי נבחנה ההכנה של קומפוסט מפסולת היקב בשיטת קומפוסטציה בו זמנית (Co-composting) של שני מרכיבים אורגניים שאחד עשיר בחנקן (זבל עופות מפוסטר) והשני עני בחנקן ועשיר בפחמן (פסולת היקב). שני המרכיבים האורגניים היו: פסולת יקב שמקורה ביקב "עמק האלה" בשילוב עם זבל עופות מפוסטר ("אורגניקום", חברת "רמ-נוע", פתח-תקווה), שהיחס בין שני המקורות היה 20%\80% (נפחי) זבל עופות מפוסטר\פסולת יקב. זבל העופות המפוסטר הוא זבל פטמים שעובר תהליך מבוקר של תסיסה ב-70 מעלות צלזיוס למשך 48 שעות. תוצר זה אינו מיוצב, כפי שהראנו בעבודה קודמת (Tamir et al., 2013), כמו גם בעבודות אחרות שבוצעו בתחום. תהליך הקו-קומפוסטציה בוצע בשתי שיטות שונות:

1. תהליך קו-קומפוסטציה באמצעות תולעים- תהליך הקו-קומפוסטציה בוצע באמצעות תולעים אדומות (*Eisenia fetida*) במתקנים ייעודיים שנבנו לצורך כך. פעילות אוכלוסיית התולעים נשמרה על ידי שמירה על תכולת רטיבות גבוהה ותוספת חומר "טרי" אחת לשבועיים, באותו היחס המקורי בין שני המרכיבים (להלן יקרא קומפוסט תולעים גפת, "Vermicompost").

2. תהליך קו-קומפוסטציה באמצעות אוכלוסיות החיידקים המקוריות שמצויות בחומרי המקור- בשיטה זו בוצע תהליך הקו-קומפוסטציה באמצעות אוכלוסיות החיידקים שמצויות בחומרי המקור (להלן ייקרא קומפוסט גפת, "Compost"). בשיטה זו הקומפוסט נערם בערימה בנפח של כ-8 מ"ק, ערימה הקומפוסט הורטבה על בסיס יומי ואווררה באמצעות ערבוב מכני של הערמה. ערבוב ערימת הקומפוסט בשלבה הראשון, שערך כשלושה חודשים, נערך אחת לשבוע- עשרה ימים, בשיאה של התקופה הגיע הטמפרטורה במרכז הערימה לכ-60-70 מעלות צלזיוס. בשלב השני, אשר נמשך כחמישה חודשים, הערימה עורבבה כל שלושה שבועות. בתקופה זו התרחשה דעיכה בפעילות המיקרוביאלית שהובילה לירידה בטמפרטורה של הערימה, עד לערך של טמפרטורת הסביבה.

לאחר תהליך הקומפוסטציה, הקומפוסטים השונים יובשו ליובש אוויר ונלקחו דוגמאות לצורך ביצוע אפיון כימי במעבדת שירות שדה בחדרה. ריכוזי החנקן, זרחן ואשלגן נקבעו באמצעות שריפה רטובה בחומצה גופרתית מרוכזת (98%). ריכוזי יסודות קורט (ברזל, מנגן, אבץ ונחושת) נקבעו באמצעות שריפה יבשה, שכללה יבוש בטמפרטורה של 540 מעלות צלזיוס. ריכוזי הכלור, אמון, חנקן, סידן, מגנזיום, נתרן, pH ומוליכות חשמלית נקבעו במיצוי מימי, מים מזוקקים/קומפוסט ביחס משקלי של 1\10, בהתאמה (טבלה 1). תהליכי הקומפוסטציה בשתי השיטות גרמו לירידה בריכוז החומר האורגני ל-590 גרם חומר אורגני לק"ג קומפוסט גפת (31% בהשוואה לחומר המקור) ו-760 גרם חומר אורגני לק"ג קומפוסט תולעים גפת (11% בהשוואה לחומר המקור), כמקובל בתהליכי קומפוסטציה. אחוז החנקן הכללי בקומפוסט גפת נמוך (17.4 גרם חנקן לק"ג קומפוסט) בהשוואה לקומפוסט תולעים גפת (37.7 גרם חנקן לק"ג קומפוסט) ככל הנראה כתוצאה מאיבוד חלק מהחנקן כגז בשיטה הראשונה. הבדלים אלה גרמו ליחס שונה של פחמן\חנקן בין שני הקומפוסטים, 20 בקומפוסט גפת בהשוואה ל-13 בקומפוסט תולעים גפת. ריכוז יתר היסודות כמו גם המוליכות החשמלית דומים בקומפוסטים השונים.

טבלה 1. תכונות כימיות נבחרות של תוצרי הקו-קומפוסטציה: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) וקומפוסט הבוצה העירונית (Sludge).

		Sludge	Vermicompost	Compost
Organic Matter	g kg ⁻¹ dry weight	890	760	590
Organic C		520	450	350
Total N		20	34	17.4
P		12	7	6
K		3.5	17	23
N-NH ₄ ⁺		1.0	0.11	0.072
N-NO ₃ ⁻		0.0	0.1	0.03

Ca		0.48	0.56	0.64
Mg		0.24	0.1	0.06
Fe		1.9	0.57	1.0
Mn		0.2	0.2	0.2
Zn		0.18	0.1	0.16
pH		6.5	7.2	8.5
C/N		26.3	13.0	19.9
EC	dS m ⁻¹	1.4	1.2	1.5

1. שימוש בפסולת היקבים כתוסף אורגני לשימור ושיפור פוריות הקרקע, בקרקעות כרמי יין.

לאחר סיום תהליך הקו-קומפוסציה, השפעת הקומפוסטים על הקרקע ויציבותה נבחנה בשני מרכיבי ניסויי: **ניסוי הדגרה:** שכבת הקרקע העליונה (0-10 ס"מ), בכרם היין בו נערך ניסוי השדה, נדגמה ויובשה בממפרטורה של 45 מעלות צלזיוס למשך שבוע. לאחר היבוש, הקרקע נטחנה ונופתה לגודל חלקיקים קטן מ-2 מ"מ. הקרקע המנופה נלקחה לאנליזה לאפיון תכונות קרקע נבחרות בשיטות המקובלות. תכולות גודלי הגרגר בגודל חרסית, סילט וחול בקרקע הן: 58%, 19% ו-23%, בהתאמה; תכולת חומר אורגני כללי - 2.0%; תכולת גיר - 12.0%; pH 7.4-; צפיפות גושית - 1.19 גרם סמ"ק ותכולת רטיבות משקלית יבש אויר היא 3.4% (משקלי). לאחר אפיון תכונות הקרקע, 40 גרם קרקע עורבבה בשילוב עם 0.68 גרם קומפוסט גפת, או קומפוסט תולעים גפת, או קומפוסט בוצה עירונית (להלן ייקרא "קומפוסט בוצה עירונית", Sludge) או טיפול ביקורת ללא תוספת חומר אורגני, בתוך צנצנות 250 מ"ל. קומפוסט הבוצה העירונית הובא מאתר הקומפוסציה של חברת "קומפוסט אור" (בסמוך למושב משואה, בקעת הירדן) ונבחר כטיפול ביקורת, כקומפוסט המיושם בצורה נרחבת בכרמי יין (יעקב כהן-אחדות, שיחה אישית). אחוז החומר האורגני, ריכוז החנקן האמוניקלי ויחס ה-C/N בקומפוסט בוצה עירונית המיוצרת על ידי "קומפוסט אור" יחסית גבוהים (טבלה 1) למקובל בקומפוסטים "בוגרים" ומעידים על קומפוסט יחסית "צעיר" שכל הנראה לא סיים את תהליכי הקומפוסציה. משקל הקומפוסט שהוסף לקרקע נקבע על סמך המינון המקובל בישום קומפוסט בכרם, 4.2 קוב לדונם אחת ל-4 שנים. לאחר הערבוב, התערובות הורטבו ל-80% מקיבול שדה, כוסו בפארפילים מחורר ונשמרו בתנאים מבוקרים של ממפרטורה (30 מעלות צלזיוס), לפרקי זמן של 0, 1, 3, 7, 10, 14, 21, ו-32 ימים. סה"כ 4 טיפולים של קומפוסטים (קומפוסט גפת, קומפוסט תולעים גפת, קומפוסט בוצה עירונית וביקורת ללא תוספת חומר אורגני) 4 X חזרות לטיפול = 16 חזרות לפרק זמן נתון של הדגרה. תערובות הקרקע הורטבו על בסיס שבועי בהתאם לאיבוד המים המשקלי במהלך תהליך ההדגרה. לאחר כל פרק זמן של הדגרה התבצעה אנליזה לקביעת ריכוזי: החנקן החנקתי והאמוניקלי, זרחן ואשלגן בשיטות המקובלות. בנוסף נקבעו המוליכות החשמלית, ה-pH וטפפי פחמן דו חמצני (פד"ח) בשיטות המקובלות.

ניסוי שדה: הקומפוסטים, שפורטו לעיל, יושמו והוצנעו באופן ידני בשורת הצמחים, במינון המקובל בכרם ופורט לעיל, מיד לאחר עונת הבציר של שנת 2018 (2 לאוקטובר 2018) בכרם יין, ליד היישוב נווה שלום. גודל השטח של כל חזרה הוא 7.5 מ"ק. טיפולי השדה כללו יישום של: קומפוסט גפת, או קומפוסט תולעים גפת, או קומפוסט בוצה עירונית או טיפול ביקורת ללא תוספת חומר אורגני שיושמו ב-4 בלוקים שהוצבו באקראי בהתאם לתוואי השטח, סה"כ 16 תתי חלקות. יישום הקומפוסט התבצע בצורה הבאה: 50% מנפח הקומפוסט הוצנע בתוך תלם בעומק 20 ס"מ, שבוצע במקביל לשלוחת

הטפטוף ולשורת הגפנים, כיישום מקובל בכרם, ו-50% בין צמחי הגפנים. בתחילת כל עונת הגשמים (2018-2019 ו-2019-2020) הוקמו מערכי איסוף לנגר ולסחף במטרה לכמת את ההשפעה של היישום על פוריות ויציבות הקרקע. לאורך כל עונת הגשמים נאספו מי הנגר והסחף ונמדדו: נפחי הנגר, משקל הסחף, וריכוזי: החנקן, הזרחן, האשלגן, הסיידן, המגנזיום והנתרן בנגר. בסיום כל עונת גשמים בוצעו דיגומים לעומק של 60 ס"מ ונמדדו ריכוזי היסודות שפורטו לעיל, מוליכות חשמלית, תכולת רטיבות ואחוז חומר אורגני. במקביל נלקחו דוגמאות קרקע בטיפולים השונים למדידות של יציבות תלכידים, ולבחינת השפעת הטיפולים על נפחי הנגר וכמויות הסחף בתנאים מבוקרים של מדמה גשם, שבחן את ההשפעה של טיפולי הקומפוסטים על נפח הנגר, כמות הסחף, ריכוזי יסודות ההזנה בנגר ובנקו בעוצמת גשם של 80 מ"מ גשם בשעה, במכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני. בנוסף, נלקחו מדידות ידניות של מדדי יבול ואיכות הפרי בגפנים בסמוך למועד הבציר המסחרי מכל אחת מהחלקות.

2. שימוש בפסולת היקבים כבסיס למצעים לגידול במנותק מהקרקע

בניסוי זה הוכנו מצעי גידול שונים המורכבים מ-4 יחסים שונים של קומפוסט\טוף דק גרגר: 50\50, 25\75, 0\100. 75\25 (% נפחי), בהתאמה. הקומפוסטים שנבחנו היו קומפוסט גפת וקומפוסט תולעים גפת. הטוף דק גרגר (0-4 מ"מ, טוף מרום גולן בע"מ) מורכב נפחית מ-50% טוף "אדום" שעשיר בתחמוצות ברזל מאתר החרמונית ו-50% מטוף "צהוב" שעשיר בתחמוצות מנגן מאתר תל-פארס. תערובות אלה שימשו לגידול של צמחי חסה וכרוב בהשוואה לגידול במצע כבול (כטיפול הביקורת) שעורבב באותם יחסים עם הטוף דק הגרגר. צמחי החסה והכרוב, נשתלו בעציצים בנפח של 1.2 ליטר שמולאו בתערובות השונות וגודלו בחממת זכוכית למשך כ-6 שבועות. סה"כ 3 טיפולי חומר אורגני $4 \times$ יחסים שונים עם החומר המינרלי (טוף דק גרגר) $6 \times$ חזרות $2 \times$ מיני צמחים = 144 עציצים שהוצבו במתכונת של בלוקים באקראי. הצמחים דושנו באמצעות מערכת טפטוף (הדשייה) בדשן "מור" (6+0.5-2-6-2.5-4, חברת דשנים וחומרים כימיים בע"מ, חיפה) בריכוז של 1.5 ליטר דשן לקוב מים (= 70 מ"ג לליטר חנקן צרוף, 19 מ"ג לליטר זרחן צרוף ו-90 מ"ג לליטר אשלגן צרוף). בתום תקופת הגידול, הצמחים הטריים נשקלו לקביעת משקל טרי. לאחר השקילה, הצמחים נשטפו במי ברז ובמים מזוקקים ויובשו ב-65 מעלות צלזיוס עד להגעה למשקל קבוע, לקביעת משקל חומר יבש. לאחר השקילה, הצמחים נטחנו לצורך ביצוע אנליזות של הרכב מינרלים עיקריים (חנקן, זרחן ואשלגן) בעלים. בהתבסס על ממצאי השנתיים הראשונות, בשנה השלישית למחקר, מערך הניסוי שונה ליחסים שונים של כבול\קומפוסט גפת או קומפוסט תולעים גפת: 40\60, 20\80, 10\90, 5\95 ו-0\100 (% נפחי), בהתאמה, ללא המרכיב המינרלי. 8 צמחי חסה לטיפול נשתלו באותה מערכת שפורטה לעיל. בתום תקופת גידול של 6 שבועות, הצמחים הטריים נשקלו לקביעת משקלי טרי ויובשו ב-65 מעלות צלזיוס עד להגעה למשקל קבוע, לקביעת משקל חומר יבש.

ניתוח סטטיסטי- ההשפעות של הטיפולים העיקריים בניסוי קומפוסטים בכרם נותחו בשימוש במבחן ANOVA חד-גורמי באמצעות תוכנת JMP, ברמת מובהקות של 0.05. בניסוי גידול במצעים מנותקים השפעות הטיפולים העיקריים: סוג החומר האורגני והיחסים בינו לבין הטוף (שנה שניה) או הכבול (שנה שלישית) נותחו במבחן ANOVA דו-גורמי.

תוצאות עיקריות

1. שימוש בפסולת היקבים כתוסף אורגני לשימור ושיפור פוריות הקרקע, בקרקעות כרמי יין.

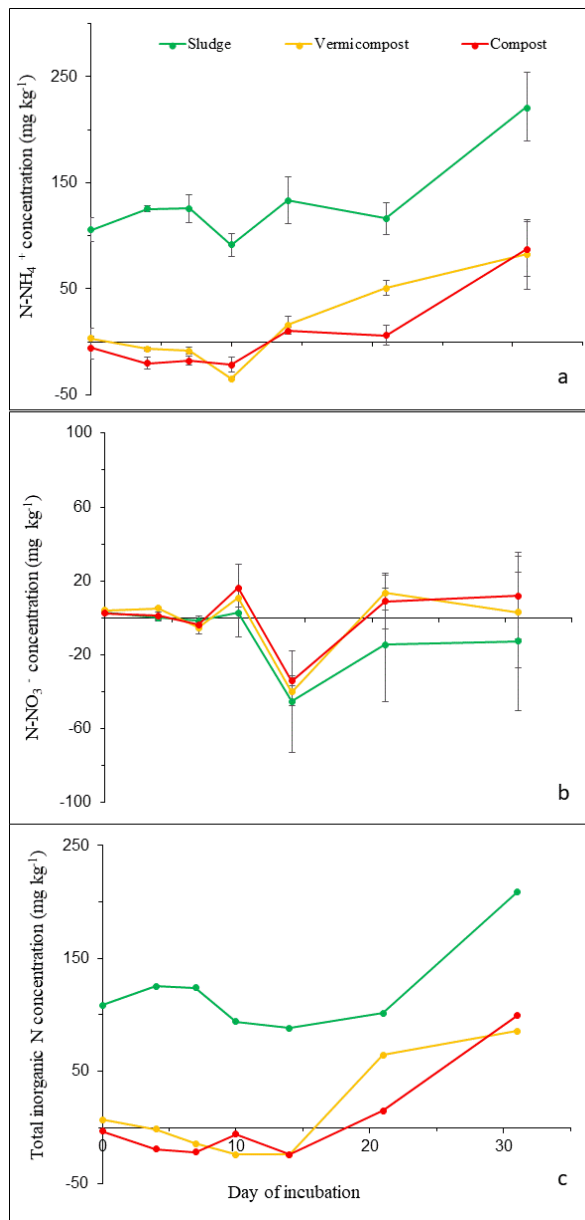
א. השפעת תוספת הקומפוסטים על תהליכי המינרליזציה של חנקן וזרחן בתנאים מבוקרים.

תרומת קומפוסטי הגפת (לאחר הפחתה של תרומת הקרקע המקורית) לריכוז החנקן-האמוניקלי היא נמוכה משל טיפול הביקורת בשבועיים הראשונים, שלאחריהן הריכוזים עולים בשני הטיפולים בהשוואה לתרומה המקורית של הקרקע

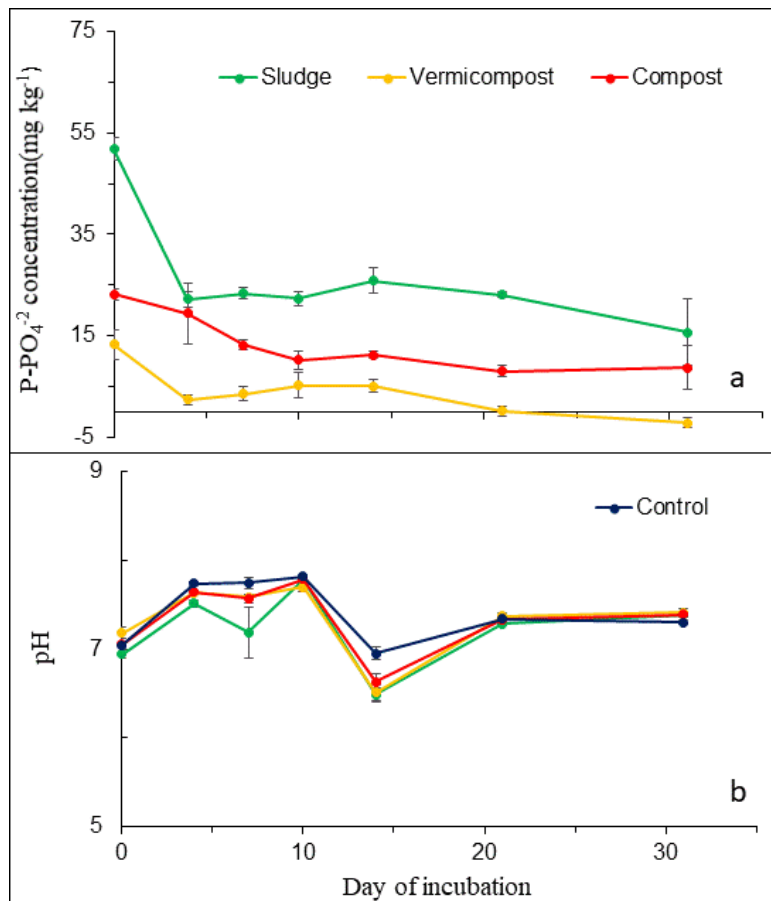
(איור 1a). ריכוזי החנקן האמוניקלי הגבוהים ביותר נמדדו בטיפול הקומפוסט בוצה עירונית והם גבוהים לאורך כל תהליך ההדגרה מאלה שמצויים בטיפול הביקורת. ריכוזי החנקן החנקתי בטיפול הקומפוסטים נמוכים או דומים לאלה שמצויים בטיפול הביקורת (איור 1b). ריכוזי החנקן המינרלי הכללי, בכל הטיפולים מתחילים לעלות, ביחס לתרומת הקרקע המקורית, רק לאחר 14 יום (קומפוסט גפת וקומפוסט תולעים גפת) או 21 יום בטיפול קומפוסט בוצה עירונית (איור 1c). תרומת הקומפוסטים לריכוזי הזרחן בכל הטיפולים יורדת במהלך תהליך ההדגרה בהשוואה לטיפול הביקורת, והם הגבוהים ביותר בטיפול הקומפוסט בוצה עירונית (איור 2a). ה-pH של הקרקע, השתנה בשיעורים קטנים מאוד לאורך תהליך ההדגרה. בשלב הראשון ה-pH עלה בכ-0.2-0.4 יחידות (איור 2b), ברוב הטיפולים, כולל טיפול הביקורת, שלאחריו החלה ירידה ב-pH והתייצבות. שטפי הפד"ח עולים בכל טיפולי הקומפוסטים (לאחר הפחתה של הטיפול ללא תוספת הקומפוסטים-ביקורת) במהלך ה-14 ימים הראשונים להדגרה, והינם הגבוהים ביותר ביום 14 להדגרה בטיפולי הקומפוסט בוצה עירונית והקומפוסט תולעים גפת (איור 3). בטיפול ההקומפוסט בוצה עירונית השטפים נשמרים גבוהים ויציבים בהשוואה ליום 14 של הדגרה גם לאחר 30 יום והינם הגבוהים ביותר בהשוואה ליתר הקומפוסטים. בטיפול הקומפוסט תולעים גפת, נמדדה ירידה בשטפי הפד"ח לאחר 30 יום, בהשוואה ליום-14 ולטיפול הביקורת. בטיפול הקומפוסט גפת שטפי הפד"ח עולים בהשוואה לטיפול הביקורת, במהלך כל פרק הזמן של ההדגרה (30 יום).

ב. השפעת תוספת הקומפוסטים על חומרי ההזנה ואחוז החומר האורגני בקרקע.

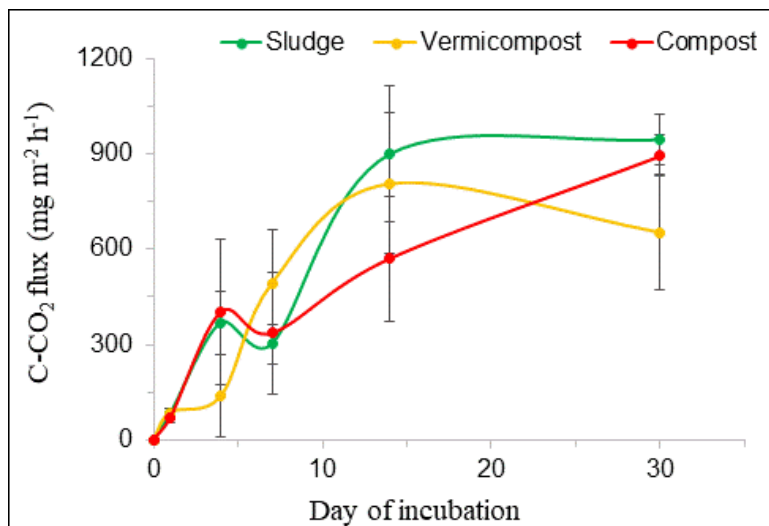
בתום עונת הגשמים הראשונה, ריכוז החומר האורגני, בשורת הנטיעה, הולך ודועך עם הירידה בפרופיל הקרקע העליון, מכ-20-25 גרם לק"ג קרקע יבשה ב-5 ס"מ העליונים לכ-10-15 גרם לק"ג קרקע בעומק ממוצע של 50 ס"מ, בכל הטיפולים (איור 4a). ריכוז החומר האורגני הגבוה ביותר (כ-20-30 גרם לק"ג חומר יבש) נמדד בטיפול הבוצה העירונית. ריכוזי החנקן החנקתי נמוכים מאוד (0.2-0.6 מ"ג לק"ג קרקע) ללא השפעה ומגמה ברורה של שינוי בפרופיל וכתלות בטיפולים (איור 4b). במדידה בשנה השנייה ריכוזי החנקן החנקתי היו נמוכים בכל הטיפולים מסף הרגישות של מכשיר המדידה (התוצאות אינן מוצגות). ריכוזי החנקן האמוניקלי בכל הטיפולים היו בתחום של 10-20 מ"ג לק"ג קרקע יבשה בתום עונת הגשמים, בפרופיל הקרקע העליון (עד לעומק ממוצע של 50 ס"מ) (איור 5a). ריכוזי החנקן האמוניקלי בטיפולי הקומפוסטים גבוה בכ-2-5 מ"ג לק"ג קרקע (איור 5b) בהשוואה לטיפול הביקורת, הבדלים שקטנים עם העומק ובשנה השנייה (איור 5b). ריכוזי הזרחן בכל הטיפולים במשך שנתיים הולך ודועך עם הירידה בפרופיל הקרקע, והוא הגבוה ביותר באופן משמעותי בטיפול הבוצה ב-5 ס"מ העליונים של הקרקע (150 מ"ג לק"ג קרקע יבשה) הבדל שקטן עם הירידה בפרופיל הקרקע (איור 6a,b). בטיפול הקומפוסט גפת ריכוזי הזרחן גבוהים ב-5 ס"מ העליונים של הקרקע (80 מ"ג לק"ג קרקע יבשה) בהשוואה לטיפול הביקורת (60 מ"ג לק"ג קרקע יבשה), הבדל שהולך ודועך עם הירידה בעומק ובשנה השנייה. לעומת זאת בטיפול הקומפוסט תולעים גפת ריכוזי הזרחן נמוכים באופן כללי בהשוואה לטיפול הביקורת לאורך פרופיל הקרקע ובמשך שנתיים של מדידה.



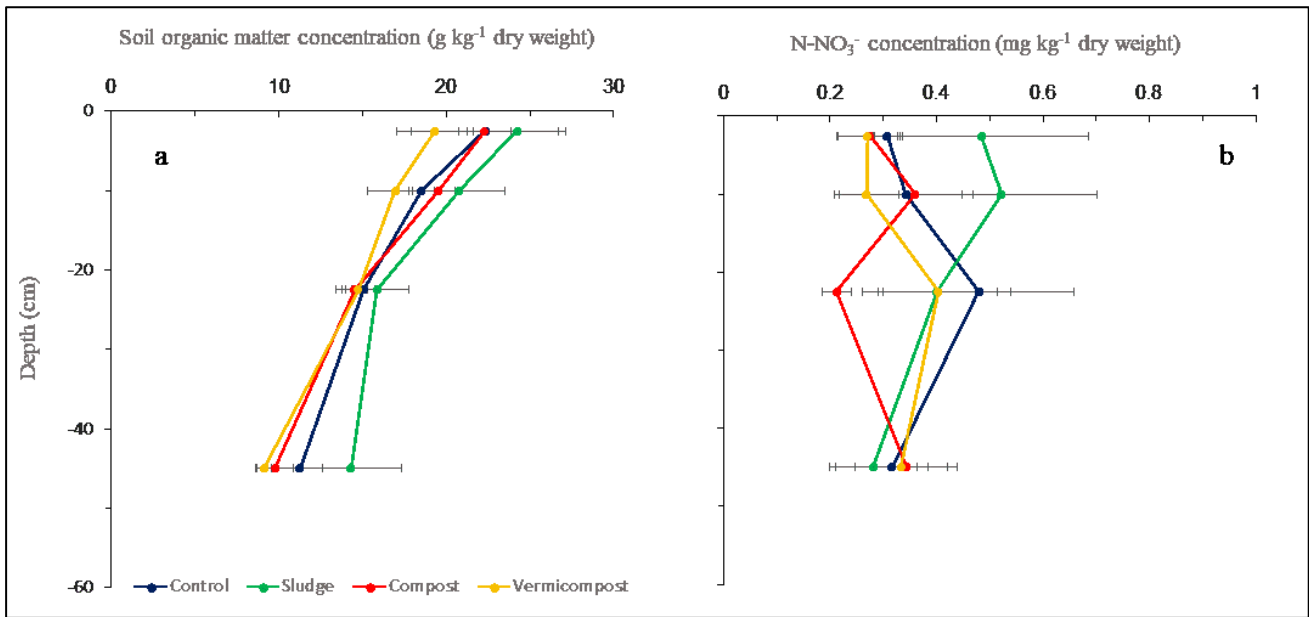
איור 1. השפעת תוספת הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) וקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) על ריכוז החנקן האמוניקלי (a), ריכוז החנקן-החנקתי (b), וריכוז החנקן המינרלי הכללי (c), במהלך תהליך ההדגרה לאחר הפחתה של הריכוזים המתקבלים בטיפול הביקורת (Control).



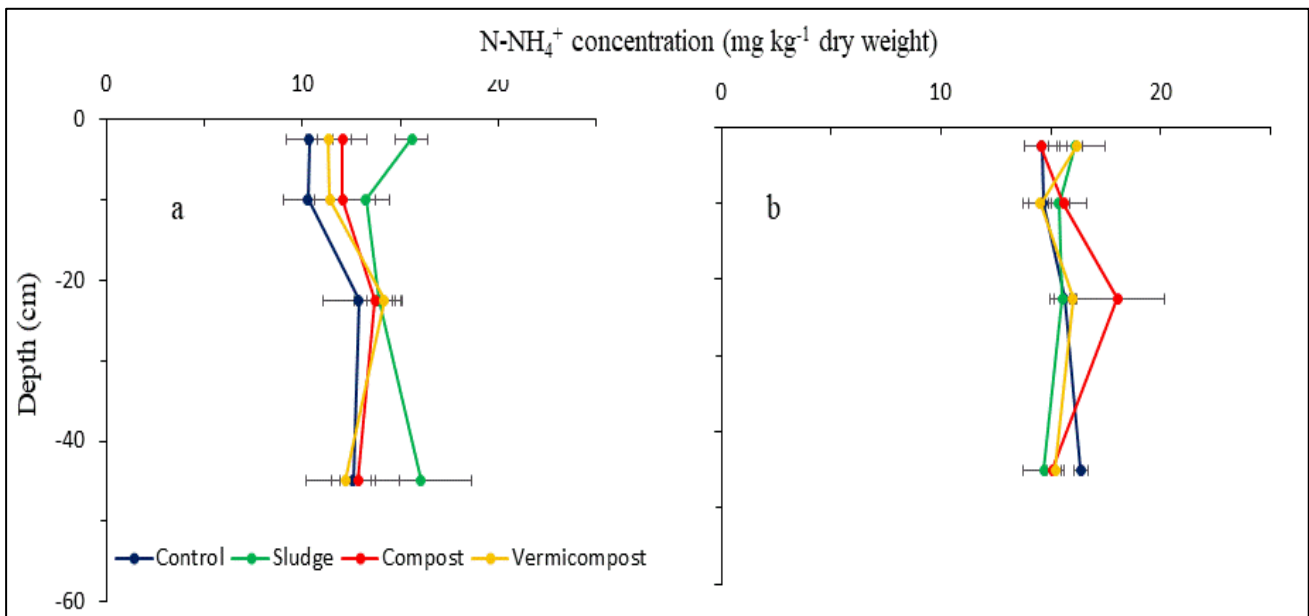
איור 2. השפעת תוספת הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) וקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) על ריכוז הזרחן הזרחתי (a), במהלך תהליך ההדגרה לאחר הפחתה של הריכוזים המתקבלים בטיפול הביקורת (Control) והשתנות ה-pH במהלך תהליך הדגרה (b).



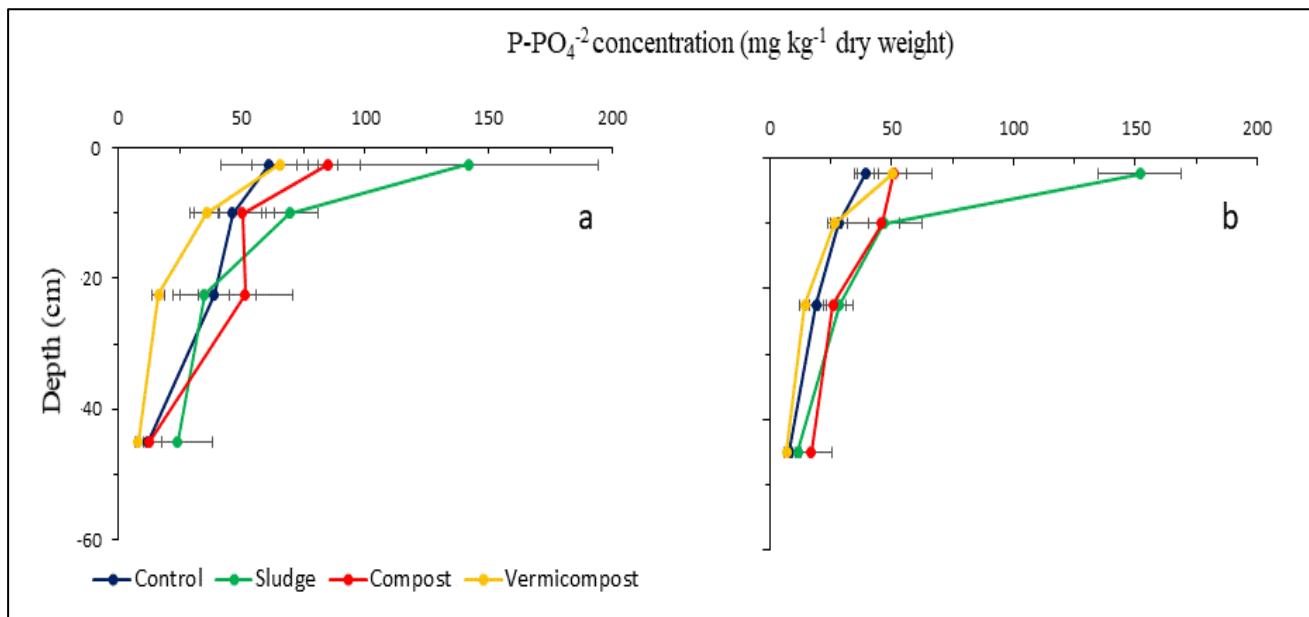
איור 3. השפעת תוספת הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) וקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) על שטפי הפחמן הדו חמצני, במהלך תהליך ההדגרה, לאחר הפחתה של הריכוזים המתקבלים בטיפול הביקורת.



איור 4. השפעת תוספת הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) והקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) וללא תוספת קומפוסט (Control) על ריכוז החומר האורגני (a) וריכוז החנקן-החנקתי (b), בפרופיל הקרקע העליון, בשורת הנטיעה, בתום עונת הגשמים הראשונה של חורף 2018-2019. קווי השגיאה מייצגים שגיאות תקן.



איור 5. השפעת תוספת הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) והקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) וללא תוספת קומפוסט (Control) על ריכוז החנקן האמוניקלי בפרופיל הקרקע העליון, בשורת הנטיעה, בתום עונות הגשמים 2018-2019 (a) ו-2019-2020 (b). המדידות נערכו בתום עונת הגשמים ולפני התחלת ההשקיה. קווי השגיאה מייצגים שגיאות תקן.

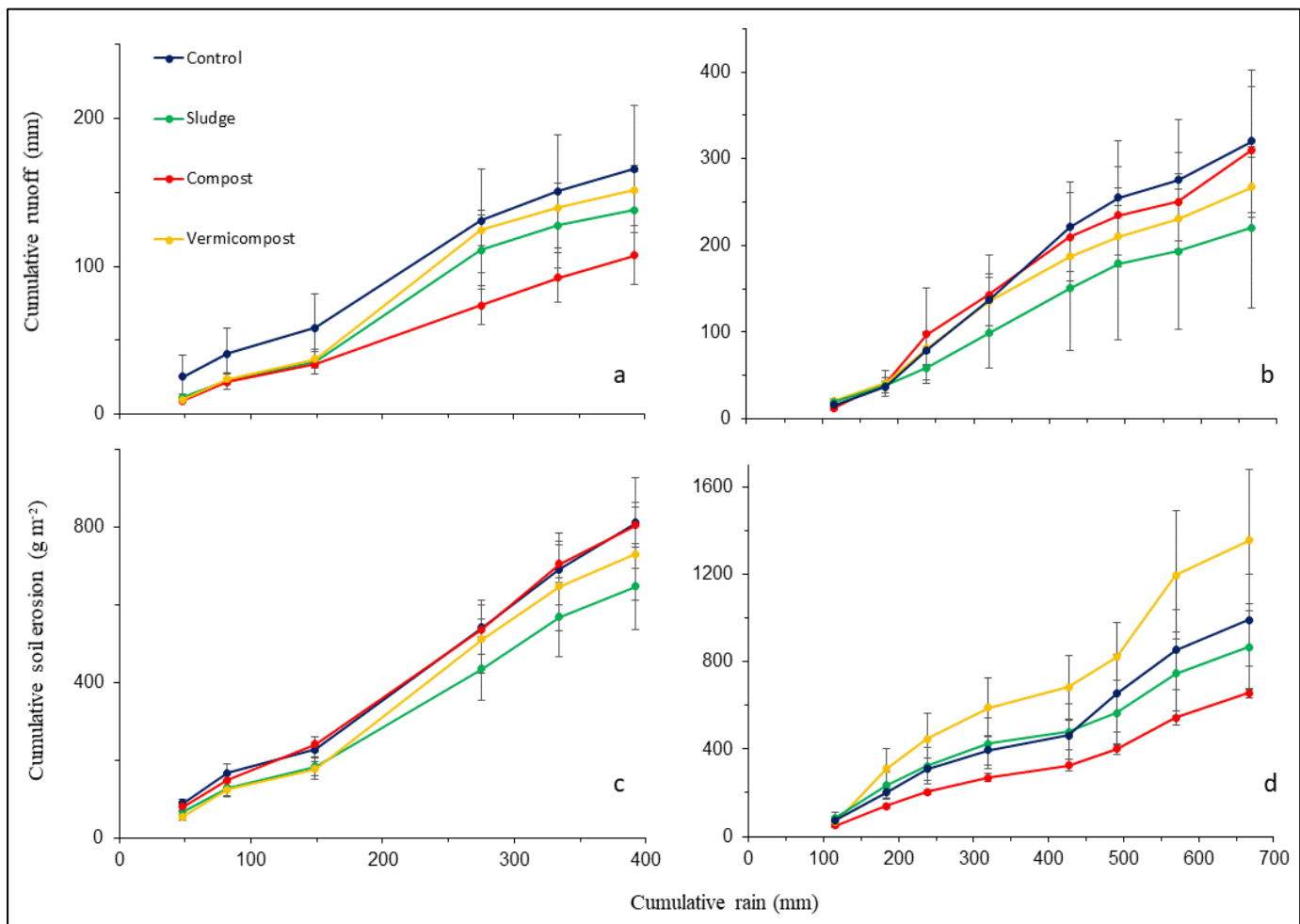


איור 6. השפעת תוספת הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) וקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) וללא תוספת קומפוסט (Control) על ריכוז הזרחן בפרופיל הקרקע העליון, בשורת הנטיעה, בשנים: (a) 2018-2019 ו-(b) 2019-2020. המדידות נערכו בתום עונת הגשמים ולפני התחלת ההשקיה. קווי השגיאה מייצגים שגיאות תקן.

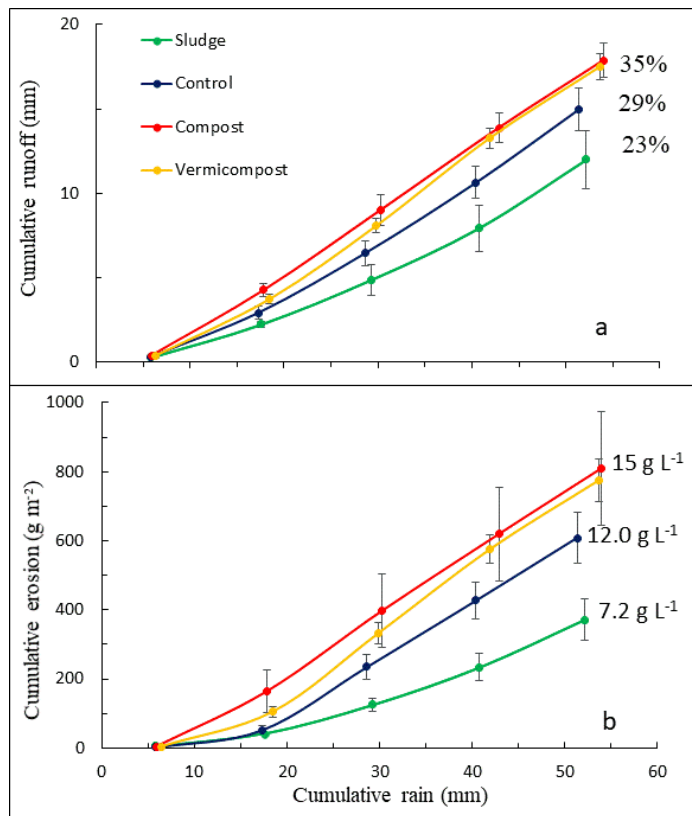
ג. השפעת תוספת הקומפוסטים על נפח הנגר וכמות הסחף וריכוז יסודות ההזנה בנגר.

נפח הנגר וכמות הסחף, משורת הנטיעה, המצטברים עולים בקשר ישיר בכל הטיפולים לאורך שתי עונות המחקר כתלות בנפח הגשם המצטבר (איור 7). נפח הנגר המצטבר הגבוה ביותר שנמדד במשך שנתיים של המחקר הוא בטיפול הביקורת (איור 7a,b) ומהווה כ-43% מנפח הגשם (היחס נפח נגר\נפח גשם - "מקדם הנגר") המצטבר שירד באותה השנה, בהשוואה לכ-37%, 38% ו-32% בממוצע דו שנתי בטיפולי הקומפוסט גפת, קומפוסט תולעים גפת וקומפוסט בוצה עירונית, בהתאמה (טבלה 2). טיפול הקומפוסט גפת הפחית את נפח הנגר המצטבר ב-35% בהשוואה לטיפול הביקורת, בחורף 2018-2019, השפעה שדעכה בחורף 2019-2020 לכ-3.5%, ובממוצע דו שנתי בכ-14%. טיפול הקומפוסט בוצה עירונית הפחית בכ-17% את נפח הנגר בהשוואה לטיפול הביקורת, בחורף 2018-2019, השפעה שגברה בחורף 2019-2020 לכ-31.5%, ובממוצע רב שנתי בכ-26%. טיפול הקומפוסט תולעים גפת הפחית ב-8.5% את נפח הנגר המצטבר, בהשוואה לטיפול הביקורת, בחורף 2018-2019, השפעה שגברה בחורף 2019-2020 ל-16%, ובממוצע רב שנתי בכ-13.5%. כמויות הסחף המצטברות הגבוהות ביותר נמדדו בטיפול ביקורת בחורף 2018-2019 (איור 7c), 811 גרם למטר², בריכוז של 2.07 גרם קרקע שנסחף מהשטח ל-1 מ"מ גשם שיורד על שטח של 1 מטר² (טבלה 2), ובטיפול הקומפוסט תולעים גפת בחורף 2019-2020 (איור 6d), 1356 גרם למטר², בריכוז ממוצע של סחף, 1.86 גרם קרקע שנסחף מהשטח ל-1 מ"מ גשם שיורד על שטח של 1 מטר². טיפול הקומפוסט גפת לא הפחית את כמות הסחף המצטבר בהשוואה לטיפול הביקורת (805 גרם למטר²), בחורף 2018-2019, אולם בחורף 2019-2020, כמויות הסחף שנמדדו בטיפול הקומפוסט גפת (657 גרם למטר²) מהוות הפחתה של כ-33.5% בהשוואה לטיפול הביקורת, שהובילה לירידה בכמות הסחף המצטבר ל-0.91 גרם קרקע שנסחף מהשטח ל-1 מ"מ גשם שיורד על שטח של 1 מטר². בממוצע דו שנתי, כמות הסחף היתה נמוכה בכ-31% בטיפול הקומפוסט גפת בהשוואה לטיפול הביקורת. טיפול הקומפוסט בוצה עירונית הפחית ב-20% ו-12.5% את כמויות הסחף המצטברות בחורפים 2018-2019 (647 גרם למטר²) ו-2019-

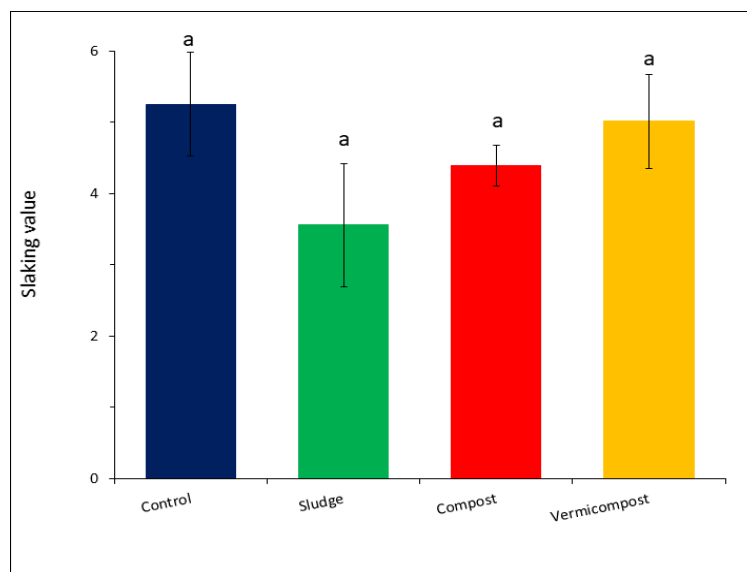
2020 (868 גרם למטר²), בהתאמה, ובממוצע רב שנתי בכ-16% בהשוואה לטיפול הביקורת. טיפול הקומפוסט תולעים גפת הפחית ב-10% את כמות הסחף המצטברת בחורף 2018-2019, וגרם לעלייה של כ-37% בכמות הסחף בהשוואה לטיפול הביקורת, בחורף 2019-2020, ובממוצע רב שנתי לעלייה של כ-16% בהשוואה לטיפול הביקורת. כמות סחף גבוהה, בטיפול הקומפוסט תולעים גפת (חורף 2019-2020), בהשוואה לטיפול הביקורת, מצביעה על כך שקיימת תרומה של הקומפוסט עצמו לסחף. תוצאות אלה תואמות בחלקן, מדידות שנערכו במדמה גשם, בהן נמדד, שבעוצמת גשם שוות ערך ל-80 מ"מ לשעה, נפח הנגר וכמות הסחף עולים בקשר ישר עם העלייה בנפח הגשם המצטבר (איור 8a,b). טיפול הבוצה הוביל להפחתה של כ-20% בנפח הנגר ו-40% בכמות הסחף בהשוואה לטיפול הביקורת. טיפולי קומפוסט הגפת בניגוד חלקי, למדידות השדה, היו גבוהים יותר במדידות מדמה הגשם. תוספת של קומפוסט בוצה עירונית וקומפוסט גפת היו מלווים בערך הפירוק של התלכידים (Slacking value), בהשוואה לטיפול הביקורת (איור 9). ערכים נמוכים יותר במקדם זה מצביעים על עליה ביציבות התלכידים. לעומת זאת, בקומפוסט תולעים גפת לא נמצאו ערכים נמוכים יותר בהשוואה לטיפול הביקורת.



איור 7. השפעת תוספת הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) וקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) וטיפול ללא תוספת קומפוסט (Control) על נפח הנגר (a, b) וכמות הסחף (c, d) המצטברים, משורת הנטיעה, כתלות בנפח הגשם המצטבר בשנים: 2018-2019 (a, c) ו-2019-2020 (b, d). בחורף 2018-2019, המדידות החלו לאחר כ-400 מ"מ גשם, כתוצאה מבעיות טכניות. קווי השגיאה מייצגים שגיאות תקן.

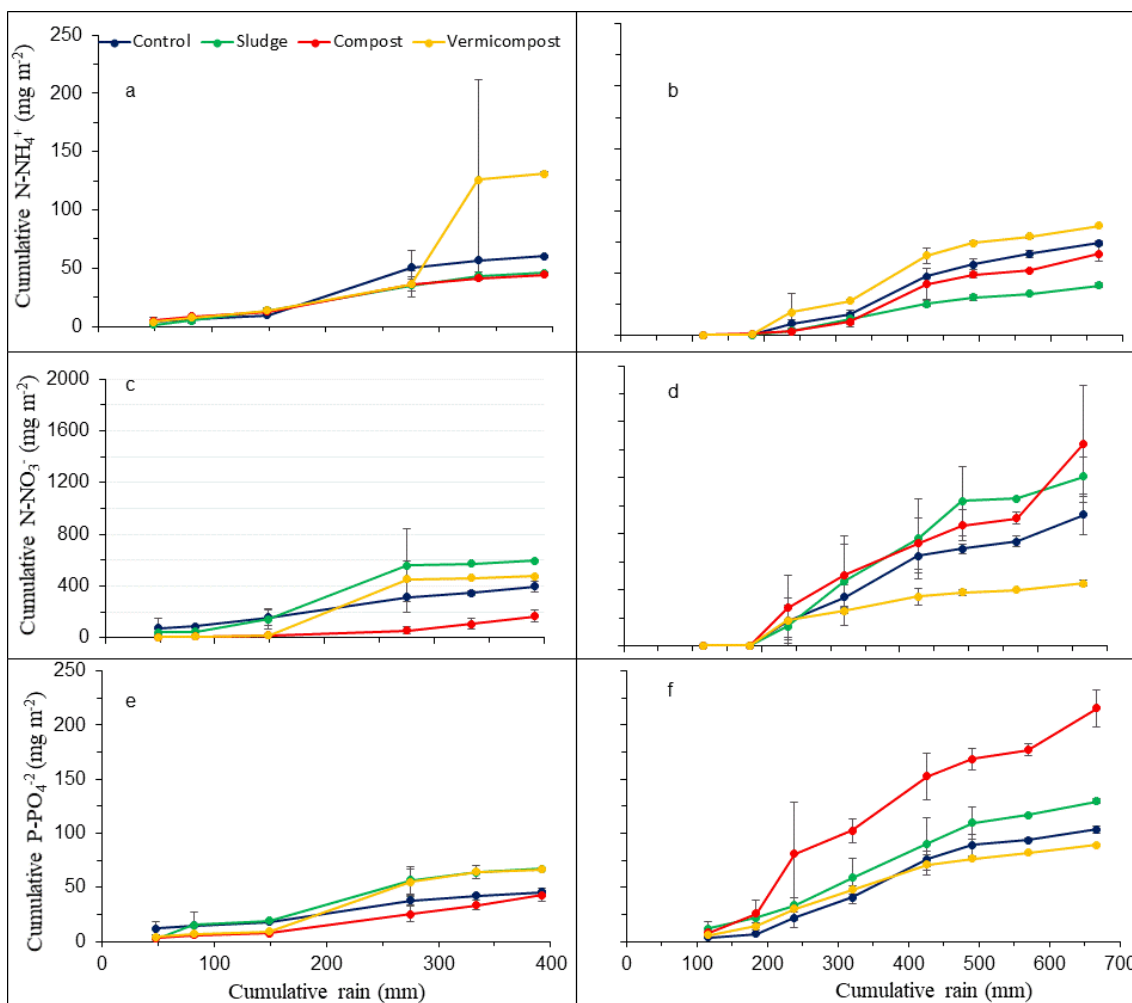


איור 8. השפעת תוספת הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) וקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) וטיפול ללא תוספת קומפוסט (Control) על נפח הנגר המצטבר (a) וכמות הסחף המצטבר (b) כתלות בנפח הגשם, בתנאים מבוקרים של מדמה גשם שהמטיר מים בעוצמה ששווה ל-80 מ"מ גם בשעה. קווי השגיאה מייצגים שגיאות תקן. איור 8a: הערכים לצד העקומות מייצגים את היחס נפח נגר מצטבר/נפח גשם מצטבר (מקדם הנגר) באחוזים. איור 8b: הערכים לצד העקומות מייצגים את היחס כמות סחף מצטברת ליחידת שטח\ נפח גשם מצטבר ליחידת שטח ביחידות של ריכוז (גרם סחף\ ליטר גשם).



איור 9. השפעת תוספת הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) וקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) ללא תוספת קומפוסט (Control) על יציבות התלכידים. קווי השגיאה מייצגים שגיאות תקן.

כמויות החנקן האמוניקלי והחנקתי וריכוז הזרחן- הזרחתי המצטברים שנשטפים, משורת הנטיעה, כתלות בהצטברות הגשם הולכות ומתגברות עם הצטברות הגשם, בכל הטיפולים (איור 10). כמויות החנקן החנקתי שנשטף מהשטח גבוהות בסדר גודל בהשוואה לחנקן האמוניקלי והזרחן הזרחתי, במהלך שתי עונות הגידול (טבלה 2). בחורף 2018-2019, כמויות החנקן המינרלי הכללי והזרחן שנשטפים מהשטח הם הנמוכים ביותר בטיפול קומפוסט גפת והגבוהים ביותר בטיפול הקומפוסט בוצה עירונית. בחורף 2019-2020, כמויות החנקן המינרלי הכללי והזרחן שנשטפים מהשטח הם הנמוכים ביותר בטיפול הקומפוסט תולעים גפת והגבוהים ביותר בטיפול הקומפוסט גפת. במהלך שנתיים של מדידות, כמות החנקן המינרלי הכללי שנשטפת מהשטח היא הנמוכה ביותר בטיפול הקומפוסט תולעים גפת והגבוהה ביותר בטיפול הקומפוסט בוצה עירונית, וכמות הזרחן שנשטפת מהשטח היא הנמוכה ביותר בטיפול הביקורת והגבוהה ביותר בטיפול הקומפוסט בוצה עירונית. באופן כללי, תוספת קומפוסט גפת הייתה מלווה בירידה בשטיפת החנקן המינרלי וקומפוסט הבוצה העירונית היה מלווה בעליה בשטיפת החנקן והזרחן בהשוואה לטיפול הביקורת, במהלך שנתיים של מחקר.



איור 8. השפעת תוספת הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) וקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) ללא תוספת קומפוסט (Control) על הכמות המצטברת של: חנקן-החנקתי (a, b), חנקן-

אמוניקלי (c,d) וזרחן-זרחתי (e,f) שנסחפת מיחידת שטה, בשורת הנטיעה, כתלות בנפח הגשם המצטבר בשנים: 2018-2019 (a, c, e) ו-2020 (b, d, f). בחורף 2018-2019, המדידות החלו לאחר כ-400 מ"מ גשם, כתוצאה מבעיות טכניות. קווי השגיאה מייצגים שגיאות תקן.

טבלה 2. השפעת הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) וקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) על נפח הנגר (Cumulative runoff, CRO) וכמות הסחף (Cumulative erosion, CE) מיחידת שטח, על היחסים בניהם: נפח הנגר/נפח הגשם (מקדם הנגר, CRO/CR) וכמות הסחף/נפח הנגר (CE/CRO), ועל ריכוזי החנקן-האמוניקלי, חנקן-חנקתי, חנקן מינרלי כללי וזרחן-זרחתי שנשטפים בנגר מיחידת שטח, בשנים 2018-19 ו-2019-2020, ובמצטבר בשנתיים אלה. בחורף 2018-2019, המדידות החלו לאחר כ-400 מ"מ גשם שירדו, כתוצאה מבעיות טכניות.

Treatment		Year	Cumulative rain (CR)	Cumulative runoff (CRO)	CRO/CR Ratio	Cumulative erosion (CE)	CE/CRO Ratio	Cumulative N-NH ₄ ⁺	Cumulative N-NO ₃ ⁻	Cumulative mineral N	Cumulative P-PO ₄ ⁻²		
			mm	L m ⁻²	%	g m ⁻²	g m ⁻² mm ⁻¹	mg m ⁻²					
Control		2018-2019	392 (828 mm at all winter time, but the measurements began after 436 mm)	166	42.4	811	2.07	60.1	399	459	45.5		
Compost				108	27.4	805	2.05	27.3	75	102	33.8		
Vermicompost				152	38.7	731	1.86	132	474	605	66.3		
Sludge				138	35.2	647	1.65	46.2	583	629	67.3		
Variable	df			F<0.05									
Treatment	3			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
Block	3	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			
Control		2019-2020	729	321	44.0	992	1.36	74.3	978	1051	103		
Compost				310	42.6	657	0.91	60.1	1239	1299	196		
Vermicompost				269	37.0	1356	1.86	88.2	449	537	89.5		
Sludge				220	30.3	868	1.20	40.3	1208	1247	130		
Variable	df			F<0.05									
Treatment	3			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
Block	3	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			
Control		Total	1164	487	43.4	1803	1.55	134	1376	1510	149		
Compost				417	37.3	1249	1.26	87	1314	1402	230		
Vermicompost				421	37.6	2087	1.79	219	922	1142	156		
Sludge				359	32.0	1515	1.30	86	1790	1877	197		
Variable	df			F<0.05									
Treatment	3			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

Block	3			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
-------	---	--	--	------	------	------	------	------	------	------	------

ד. השפעת תוספת הקומפוסטים על פוטנציאל המים בעלה, מדדי הנבה ואיכות הפרי

פוטנציאל המים בעלה (בערכים מוחלטים) היה הנמוך ביותר בטיפול הבוצה עירונית והגבוה ביותר בטיפול הקומפוסט גפת במהלך שנת 2020 (טבלה 3), אולם הבדלים אלה אינם מובהקים. בנוסף, פוטנציאל המים בעלה (בערכים מוחלטים) הושפע באופן מובהק ממועד הדיגום וממיקום הבלוק. פוטנציאל המים בעלה (בערכים מוחלטים) היה הנמוך ביותר במדידות יוני והגבוה ביותר במדידות אוגוסט במהלך שנת 2020. בנוסף, פוטנציאל המים בעלה (בערכים מוחלטים) בכל שלושת מועדי הדיגום בשתי עונות הדיגום (2019 ו-2020) היה הנמוך ביותר בבלוקים 2 ו-4. בנוסף, נמצאו הבדלים מובהקים בין שתי עונות המדידה, כאשר פוטנציאל המים בעלה (בערכים מוחלטים) בחודש אוגוסט 2019 היה נמוך באופן מובהק מאשר בשנת 2020.

טבלה 3. השפעת טיפולי הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) וקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) וטיפול ללא תוספת קומפוסט (Control), מיקום החלקה בשטח (בלוק) ומועד המדידה על פוטנציאל המים בעלה.

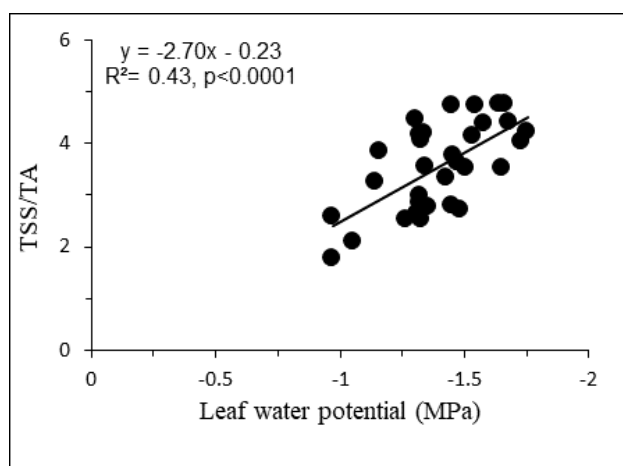
		Leaf Water Potential	Leaf Water Potential
		MPa	
Treatment		2020	
Control		-1.15 ab	-1.38 a
Compost		-1.18 b	-1.46 a
Vermicompost		-1.11 ab	-1.37 a
Sludge		-1.09 a	-1.38 a
Month		Year	
			2019 2020
June		-0.91 a	
July		-1.18 b	
August		-1.32 c	-1.49 b -1.31 a
Block			
1		-0.96 a	-1.16 a
2		-1.23 c	-1.46 bc
3		-1.13 b	-1.42 b
4		-1.21 c	-1.55 c
Value	df	F<0.05	
Treatment	3	0.008	n.s.
Month	2	<0.001	
Block	3	<0.001	<0.001
Year	1		<0.0001

היכול לצמח בממוצע דו-שנתי היה גבוה בטיפול הקומפוסטים בהשוואה לטיפול הביקורת, כאשר היכול לצמח הגבוה ביותר התקבל בטיפול הקומפוסט בוצה עירונית (טבלה 4). מספר האשכולות לצמח בממוצע דו שנתי היה גבוה יותר (בכ- 5-10%) בטיפול הבוצה עירונית והקומפוסט תולעים גפת בהשוואה לטיפול הקומפוסט גפת והביקורת. משקל האשכול הממוצע היה גבוה בטיפול הקומפוסט גפת בהשוואה לטיפול הביקורת (בכ-5%) ולטיפולי הקומפוסטים האחרים (בכ-

10%). ריכוז כלל מוצקים מסיסים (Total soluble solid, TSS) היה גבוה בטיפול הקומפוסט תולעים גפת בהשוואה ליתר הטיפולים. ריכוז כלל החומצות המטוטרות (Titratable Acids, TA) היה גבוה יותר בטיפול הביקורת בהשוואה ליתר הטיפולים. היחס TSS/TA, שהינו מדד ל"מתיקות" הפרי, הינו גבוה יותר בטיפול הקומפוסטים בהשוואה לטיפול הביקורת, אולם ההבדלים בין הטיפולים אינם מובהקים. השפעת הטיפולים המובהקת היחידה נמדדה ב-pH שהיה גבוה יותר באופן מובהק בטיפול הקומפוסט גפת בהשוואה לקומפוסט תולעים גפת. בנוסף, שנת הגידול ומיקום החלקה בשטח (בלוק) השפיעו באופן מובהק על מדדי היבול והאיכות. בשנת 2019 היבול לצמח היה גבוה באופן לא מובהק בהשוואה לשנת 2020. משקל האשכול הממוצע, TSS, pH והיחס TSS/TA היו גבוהים באופן מובהק בשנת 2019, בהשוואה לשנת 2020. לעומת זאת, ה-TA היה נמוך בשנת 2019 בהשוואה ל-2020. גם למיקום הבלוק הייתה השפעה מובהקת על היבול ומספר אשכולות ממוצע לצמח, בשתי עונות הגידול, היבול ומספר האשכולות הגבוהים ביותר התקבלו בבלוק 1 והנמוכים ביותר בבלוק 4. לעומת זאת, TSS, pH, TA, והיחס TSS/TA לריכוז החומצות היו נמוכים באופן מובהק בבלוק 1 בהשוואה לבלוקים 3 ו-4. פוטנציאל המים בעלה בחודשי יולי-אוגוסט השפיע לשלילה על היחס TSS/TA (איור 11). משמע, ככל שעקת המים יותר גבוהה "המתיקות" עולה.

טבלה 4. השפעת תוספת הקומפוסטים: קומפוסט גפת (Compost), קומפוסט תולעים גפת (Vermicompost) וקומפוסט בוצה עירונית (Sludge) וטיפול ללא תוספת קומפוסט (Control) על מדדי הנבחה ואיכות הפרי בגפן ליין.

		Yield	Cluster number	Cluster weight	Total soluble solid (TSS)	pH	Titratable Acids (TA)	TSS/TA
		kg pl ⁻¹	pl ⁻¹	g cluster ⁻¹	Brix		g L ⁻¹	
Treatment								
Control		7.16	53.4	136	21.6	3.65 ab	6.74	3.46
Compost		7.32	51.9	143	21.9	3.72 a	6.33	3.60
Vermicompost		7.41	56.6	132	22.1	3.62 b	6.59	3.54
Sludge		7.54	57.7	131	21.1	3.65 ab	5.97	3.61
Year								
2019		7.58	53.4	142 a	22.2 a	3.75 a	5.48 b	4.12 a
2020		7.14	56.4	129 b	21.1 b	3.58 b	7.34 a	2.99 b
Block								
1		8.49 a	61.6 a	139	20.0 b	3.60 b	7.39 a	2.87 b
2		8.27 a	59.1 ab	140	22.7 a	3.68 a	6.42 ab	3.65 a
3		6.74 b	47.5 c	129	21.6 a	3.69 a	5.86 b	3.86 a
4		5.93 b	51.5 bc	135	22.4 a	3.68 a	5.97 b	3.84 a
Value	df	F<0.05						
Treatment	4	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.006	n.s.	n.s.
Year	1	n.s.	n.s.	0.005	0.0006	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Block	3	<0.0001	0.0005	n.s.	0.0001	0.002	0.01	0.002



איור 11. הקשר בין פוטנציאל המים בעלה בחודשים יולי ואוגוסט ליחס TSS/TA בפירות הגפן.

2. שימוש בפסולת היקבים כבסיס למצעים לגידול במנותק מהקרקע

שיעורי הביומסה הגבוהים ביותר של צמחי חסה וכרוב נמדדו במצע שהכיל כבול והנמוכים ביותר במצע שהכיל קומפוסט גפת (טבלה 5). שיעורי הביומסה של צמחי חסה וכרוב במצע שהכיל קומפוסט תולעים גפת היו נמוכים באופן מובהק מאלה שגדלו במצע שהכיל כבול וגבוהים באופן מובהק מאלה שגדלו במצע שהכיל קומפוסט גפת. שיעורי הביומסה הגבוהים ביותר, שהתקבלו, בשני הצמחים, היו במצע שהכיל 50% קומפוסט או כבול בתערובת ו-50% טוף והנמוכים ביותר באופן מובהק בטיפול שהכיל 100% קומפוסט או כבול בתערובת. שיעורי הביומסה של שני הצמחים בטיפולים שמכילים 25%-1 ו-75% קומפוסט או כבול בתערובת היו נמוכים יותר בהשוואה ליחס 50%, אך לא באופן מובהק. שיעורי הביומסה של שורשי החסה שגדלו במצע שמכיל קומפוסט תולעים גפת היו גבוהים באופן לא מובהק מאלה שמכילים קומפוסט גפת וכבול. בנוסף, שיעורי הביומסה של שורשי החסה היו גבוהים באופן לא מובהק, בטיפולים שמכילים 25%-1 ו-50% קומפוסט או כבול בתערובת ויורדים ככל שאחוז הקומפוסט או הכבול גדלים. ריכוז האשלגן בעלי החסה היה גבוה באופן מובהק בצמחים שגודלו בטיפולי הקומפוסט גפת והקומפוסט תולעים גפת בהשוואה לאלה שגודלו במצע שהכיל כבול (טבלה 5). ריכוז האשלגן בעלי הכרוב היה גבוה באופן מובהק במצע הקומפוסט גפת בהשוואה לשני המצעים האחרים. ריכוז האשלגן הגבוה ביותר בעלים של שני סוגי הצמחים נמדד בטיפול 75% קומפוסט או כבול בתערובת והנמוך ביותר בטיפול של 25% קומפוסט או כבול בתערובת. ריכוז הזרחן בצמחי הכרוב הושפע באופן מובהק מאחוז הקומפוסטים או כבול במצע, ובדומה לאשלגן היה הגבוה ביותר בטיפול ה-75% קומפוסט או כבול בתערובת והנמוך ביותר בטיפול ב-100% קומפוסט או כבול בתערובת. ריכוזי הזרחן בחסה והחנקן בשני סוגי הצמחים לא הושפעו באופן מובהק מהטיפולים השונים.

טבלה 5. השפעת סוג הקומפוסט או הכבול והיחס הנפחי בניהם לבין הטוף על הצטברות הביומסה של צמחי

חסה וכרוב שגודלו במנותק מהקרקע

	Root biomass	Above ground biomass	N	P	K
	g plant ⁻¹		g kg ⁻¹ dry weight		
Lettuce					

Organic matter source						
Vermicompost		1.38	206 b	39.4	7.08	104 a
Compost		1.28	151 c	33.9	6.76	103 a
Peat		1.00	261 a	35.2	6.53	84.6 b
Compost or peat content in mixture						
25	% (v/v)	1.39	209 ab	36.1	6.65	84.6 b
50		1.40	223 a	36.5	6.80	101 ab
75		1.23	199 ab	36.9	6.90	106 a
100		0.87	192 b	35.1	6.80	91.0 ab
Value	df	F<0.05				
Organic matter source	2	n.s.	<0.0001	n.s.	n.s.	<0.0001
Organic matter content	3	n.s.	0.02	n.s.	n.s.	0.006
Organic matter source X Organic matter content	6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Cabbage						
Organic matter source						
Vermicompost			296 b	41.0	4.77	54.8 b
Compost			216 c	35.4	4.67	64.5 a
Peat			392 a	35.1	5.15	55.9 b
Compost or peat content in mixture						
25	% (v/v)		316 a	35.5	4.84 ab	52.7 b
50			337 a	41.7	4.87 ab	55.7 b
75			305 a	37.0	5.20 a	65.3 a
100			248 b	34.5	4.54 b	59.8 ab
Value	df	F<0.05				
Organic matter source	2		<0.0001	n.s.	n.s.	0.003
Organic matter content	3		<0.0001	n.s.	0.06	0.003
Organic matter source X Organic matter content	6		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

גידול חסה במנותק מהקרקע בתערובות ביחסים משתנים בין כבול לקומפוסט גפת או קומפוסט תולעים גפת לא השפיע באופן מובהק על משקל הצמח (טבלה 6). אולם, ליחס בין הכבול לקומפוסטי הגפת היתה השפעה מובהקת על משקל הצמח. יחס של 20% קומפוסט גפת או קומפוסט תולעים גפת הגדיל באופן מובהק את משקל הצמח בהשוואה ליחסים הנמוכים (5% ו-10%, נפחי) ובאופן לא מובהק בהשוואה ל-40% קומפוסט ולמצע כבול ללא תוספת קומפוסט כלל (0%).

טבלה 6. השפעת סוג הקומפוסט והיחס הנפחי בינו לבין הכבול על משקל צמחי חסה שגדלו במנותק מהקרקע

		Biomass production
		g plant ⁻¹
Compost source		
Vermicompost		382
Compost		374
Compost ratio		
0	% (v/v)	384 ab
5		361 b
10		345 b
20		414 a
40		386 ab
Value	df	
Compost source	1	n.s.
Compost ratio	4	0.004
Compost source X Compost ratio	4	n.s.

דיון

תוספת קומפוסטי הגפת לקרקע לא הובילה לעליה בריכוזי החנקן המינרלי בשלב הראשון של ההזגרה, שאורך כשבועיים, בהשוואה לטיפול הביקורת (איור 1). ריכוז אמון והחנקה הנמוכים בטיפולים אלה יכול להצביע על תהליך קיבוע של חנקן מינרלי על ידי אוכלוסיות החיידקים במטרה לפרק את החומר האורגני. תהליך הקיבוע מתרחש לרוב כשהיחס בין הפחמן לחנקן המינרלי הוא גבוה. בטיפול הבוצה העירונית ריכוז האמון ההתחלתי גבוה משל קומפוסטי הגפת, ולכן ריכוז החנקן המינרלי הכללי אינו נמוך משל טיפול הביקורת, אולם ניתן לראות שריכוז החנקה אינו עולה בטיפול זה בשלב הראשון, תופעה שמצביעה על קיבוע חנקה. בניית האוכלוסיה המיקרוביאלית בקרקע, שבאה לידי ביטוי בעליה בשטפי הפד"ח (איור 3), שלאחריהן מתחילים למדוד עליה בריכוזי החנקן המינרלי בכל הטיפולים נובעת ככל הנראה מהאצה בתהליך המינרליזציה. השינויים ב-pH (איור 2) של הקרקע עוקבים את תהליכי המינרליזציה והטרנספורמציה של החנקן, אולם לא נמצאו הבדלים מובהקים בהשפעת הטיפולים השונים על ה-pH. בשלב הראשון ה-pH עולה בתהליך האמוניפיקציה, תהליך החימצון של אמון לחנקית מלווה בשחרור פרוטונים שעלולים להביא להחמצה של תמיסת הקרקע. תהליך זה הוא לרוב מהיר בקרקעות גירניות שמאופיינות ב-pH נייטרלי-בסיסי קל. החנקית מתחמצנת מהר מאוד לחנקה בקרקעות מאווררות. אחוז הגיר שהינו יחסית גבוה בקרקע זו סותר את תהליכי ההחמצה וה-pH נשמר יחסית יציב לאורך תהליך ההזגרה. ריכוז הזרחן בכל טיפולי הקומפוסט הוא גבוה בהשוואה לטיפול הביקורת, במיוחד בטיפול הבוצה העירונית (איור 2) והולך ודועך עם התקדמות ההזגרה, ככל הנראה כתוצאה מצריכתו על ידי אוכלוסיית החיידקים. ריכוז הזרחן בקומפוסט בוצה עירונית גבוה בסדר גודל בהשוואה לקומפוסטי הגפת (טבלה 1).

ריכוז הנמוך של חנקן מינרלי לצד אחוז גבוה של פחמן אורגני בשילוב עם שטיפה מוגברת של חנקן מינרלי על ידי מי הנגר (טבלה 2 ואיורים: 4, 5 ו-8) גורם לכך שלא נמדדה עליה בריכוזי החנקן המינרלי בטיפולי קומפוסט, בפרופיל הקרקע

העליון בשדה, בהשוואה לטיפול הביקורת. במדידות השנה השנייה שטיפה מוגברת של חנקן חנקתי שהתרחשה בשנה הראשונה (טבלה 2), הובילה ככל הנראה לכך שריכוז החנקן החנקתי בפרופיל הקרקע העליון הוא נמוך מסף המדידה של מכשירי המדידה. בדומה לניסוי ההדגרה תוספת של קומפוסט בוצה עירונית הובילה לריכוזי זרחן גבוהים במשך שנתיים, בפני השטח העליונים (5 ס"מ) בהשוואה ליתר הטיפולים (איור 6). הזרחן ידוע כיסוד ששוקע בקרקעות גירניות בפני השטח, כסידן זרחתי, וכתוצאה מכך ניידותו בפרופיל הקרקע וזמינותו לצמח יחסית קטנות, זה גם הגורם לכך ששטיפתו מפני השטח על ידי מי הנגר דומה לזאת של האמון ונמוכה בסדר גודל משל החנקן החנקתי על אף היותו אנוני (טבלה 2). תוספת של קומפוסטים הייתה מלווה בהפחתה משמעותית במקדם הנגר, דהיינו מי הגשם שאובדים מהחלקה כנגר עילי, מ-43% במוצע דו שנתי ל-37% בטיפולי קומפוסטי הגפת ו-32% בקומפוסט גפת עירונית (טבלה 2), הפחתה שמהווה 14% ו-24% של מים שאובדים כנגר עילי, בהתאמה. מקדמי הנגר שנמדדו במחקר גבוהים בהשוואה לערכים המדווחים בספרות (5-37%) עבור כרמי יין, שגדלים במשטר גידול נטול צמחיית כיסוי, באזורים שונים, בחלקו הצפוני של אגן הים- התיכון (Novara et al., 2021). בהנחה שנפח ההשקיה בכרמי יין הוא כ-200 מטר³ לדונם לשנה, תוספת של נפחים אלה יכולה לחסוך 30-60% מנפח ההשקיה. כמויות הסחף בכרמי יין, שמדווחות באגן הים התיכון (Martinez- Casanovas et al., 2000; Novara et al., 2011) גבוהות (2000-7000 גרם למטר² בשנה) בהשוואה לאלה שנמדדו, בטיפול הביקורת, בשנתיים של מחקר (טבלה 2). ההבדלים בנפחי הנגר (גבוהים יותר במדידות מקומיות) וכמויות הסחף (נמוכים יותר במדידות מקומיות) נובעים ככל הנראה ממשני סביבה (טופוגרפיה, פנות המדרון) וסוג הקרקע. הפחתה של נפחי הנגר בטיפולי קומפוסט הגפת וקומפוסט בוצה עירונית היו מלוות בהפחתה בכמויות הקרקע שנסחפת מהחלקה, במוצע דו שנתי של כ-30% ו-16% בהתאמה, בהשוואה לטיפול הביקורת. כמויות קרקע ששוות ערך ל-150-250 ק"ג קרקע לדונם בשנה שנסחפות לכיוון מערכות הניקוז הטבעיות. בטיפול הקומפוסט תולעים גפת בשנה הראשונה למחקר נמדדה הפחתה של 70 גרם קרקע למטר² שנסחפת מהחלקה בהשוואה לטיפול הביקורת. אולם, בשנה השנייה, כמות הסחף מטיפול זה הייתה גבוהה בהשוואה לטיפול הביקורת. משמע, שהקומפוסט עצמו תרם גם הוא לחומר המוצק שנסחף. באופן כללי ריכוזי הסחף שנמדדו במדידות במדמה גשם (איור 8b) גבוהים בסדר גודל בהשוואה למדידות השטח. לעומת זאת מקדמי הנגר נמוכים בכ-20%-10. הבדל שניתן לייחס לשימוש במדגם קרקע מופר במדמה גשם שגורם לעליה בנפח הגשם המחלחל על חשבון נפח המים הנגר על פני השטח ולהפחתה ביציבות התלכידים. תוספת הקומפוסטים היתה מלווה בעליה ביבול הממוצע במשך שנתיים בשיעור של עד 5% (טיפול קומפוסט בוצה עירונית), במספר אשכולות ממוצע לצמח (קומפוסט תולעים גפת וקומפוסט בוצה עירונית) ובמשקל אשכול ממוצע (קומפוסט גפת (טבלה 4), בהשוואה לטיפול הביקורת. כמו גם, התוספת הייתה מלווה בשינויים במדדי איכות הפרי. אולם הבדלים אלה קטנים ואינם מובהקים. תוצאות החלק הזה של המחקר מצביעות על כך שבמטרה לכמת את ההשפעה של תוספת קומפוסטים על איכות הקרקע ופוריותה יש צורך לבצע מחקרים ארוכי טווח.

שימוש בקומפוסטי גפת כבסיס למצע גידול היה מלווה בהפחתה מובהקת במשקל צמחי חסה וכרוב בהשוואה למצע כבול (טבלה 5), אך מצד שני היה מלווה בעליה בריכוז האשלגן באופן מובהק בטיפול הקומפוסט גפת (חסה וכרוב) וקומפוסט תולעים גפת (חסה). תוספת של מרכיב מינרלי בשיעור של 50% (נפחי) שיפרה באופן מובהק את הביומסה של צמחי חסה וכרוב בהשוואה ל-100% קומפוסט או כבול, ככל הנראה כתוצאה מעלייה באוורור של המצע. כתוצאה מכך, ובמחשבה להפחית את נפח השימוש במצע כבול, שהינו משאב מתכלה, בשנה השלישית בחנו את ההשפעה של השימוש ביחסים שונים בין הכבול לקומפוסט גפת או קומפוסט תולעים גפת על ההתפתחות של צמחי חסה. בטבלה 6 ניתן לראות

שלסוג הקומפוסט לא היתה השפעה על שיעורי צבירת הביומסה. אולם, שימוש בריכוז של 20% קומפוסטי גפת שיפרה את הביומסה באופן מובהק בהשוואה לריכוזים של 5% ו-10% ובאופן לא מובהק בהשוואה ל-40% ולמצע כבול טהור (0%). תופעה זאת מצביעה על כך שככל הנראה חרצני הגפן, שאינם מתפרקים בתהליך הקומפוסטציה, מהווים תחליף לתרומה של הטוף בהתפתחות הצמח.

בשני מערכי הניסוי (יישום בכרם ושימוש כבסיס למצע מנותק) לא מצאנו השפעה רעילותית של הקומפוסט שמקורו בפסולת יקב על התפתחות צמחים, בניגוד לסברה המוצעת במספר מחקרים.

רשימת ספרות

- Aoyama et al. (1999). *Can. J. Soil Sci.* 79, 295–302.
- Domínguez et al. (2014). *Waste Manage. Res.* 32, 1235-1240.
- Flavel et al. 2005. *Soil Biol. Biochem.* 37, 1397-1400.
- Gómez-Brandón et al. (2011). *J. Hazard Mater.* 187, 291-295.
- Inbar et al. (1986). *Acta Hort.* 178, 147-154.
- Magdoff, Weil, (Eds.) (2004). *Soil organic matter in sustainable agriculture.*
- Martínez-Casasnovas et al. (2000). *Soil Tillage Res.* 57. 101-106.
- Nogales et al. (2005). *J. Environ. Sci. Health part B*, 40, 659–673
- Novara et al. (2011). *Soil Tillage Res.* 117. 140-147.
- Novara et al. (2021). *Soil Tillage Res.* 208, 104896.
- Six et al. (2000). *Soil Biol. Biochem.* 32, 2099-2103.
- Paradelo et al. (2010). *Waste Manage. Res.* 29, 1177-1184.
- Raviv et al. (2005). *Bioresour. Technol.* 96, 419–427.
- Tamir et al. (2013). *Geoderma.* 209-210. 50-56.
- Tilman (1998). *Nature* 396, 211-212.
- Zmora-Nahum et al. (2007). *Soil Biol. Biochem.* 39, 1263-1276.