

## בדיקת יעילות שימוש בקומפוסט אשפת ערים לגידולי עגבניות

### Evaluation of the usage of municipal solid waste for the growth of tomatoes

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ע"י

מורן סגולי חוקר קרקע ומים, מו"פ דרום ומו"פ רמת הנגב

Moran Segoli, Land and water researcher, Southern R&D and Ramat HaNegev R&D, Mobile Post Office Halutza, 85515. E-mail: [moran.segoli@gmail.com](mailto:moran.segoli@gmail.com)

#### תקציר

הצגת הבעיה: ישנו בשוק היום קומפוסט אשפת ערים במחיר מאוד מופחת יחסית לקומפוסט בעלי חיים, שיכול להוזיל את מחיר הוספת הקומפוסט לגידולים החקלאיים.

מטרת המחקר: בדיקת היתכנות של שימוש בקומפוסט אשפת ערים לגידול עגבניות בחממות בנגב, ועל ידי כך הגדלת הרווחיות של החקלאים. מטרה נוספת הינה הפחתת השימוש בדשנים מינראלים שיפחית את עלות הדישון וגם יכולים לגרום נזק סביבתי (המלחה וזיהום מי תהום).

שיטות עבודה: הצנעה של קומפוסט אשפת ערים וקומפוסט בקר, בדישון מינראלי מופחת ודישון מינראלי מישקי.

תוצאות: שימוש בקומפוסט אשפת ערים והפחתת השימוש בדשן מינראלי לא השפיעו על היבול

#### מבוא

קרקעות הנגב הינן קרקעות דלות בנוטריאנטים ובעלות תנאים פיסיקליים ירודים לחקלאות. להשגת יבולים גבוהים נדרש טיוב הקרקע ותוספות של חומרי הזנה. תוספת של קומפוסט הוכחה כמטייבת קרקע ומקור לחומרי הזנה (Martínez-Blanco et al. 2013). בנוסף, העשרה בחומר אורגני מעודדת פעילות מיקרוביאלית ואנזימית ובכך יכולה אף להאיץ תהליכי מינרליזציה (Crecchio et al. 2004). ההשלכות של תוספת חומר אורגני צפויות להיות משמעותיות יותר בתנאי האקלים של הנגב עקב הפירוק המהיר של חומר אורגני ופעילות מיקרוביאלית נמוכה המאפיינים גם פוריות קרקע נמוכה (Clapp et al. 1986, Erhart et al. 2005, Lakhdar et al. 2011). לעיתים, כאשר פוריות הקרקע נמוכה, טיוב הקרקע על ידי קומפוסט עולה על התרומה ההזנתית בלבד (Sikora and Azad 1993, Zhang et al. 2000). כושר החידור, מניעת הידוק ועלייה בקיבולת הקטיונים החליפיים ובתאחיזת המים (Shiralipour et al. 1992, Celik et al. 2004).

באופן כללי, קומפוסט הינו מוצר דל בחנקן (Raviv et al. 2005, et al. 2013, פיין et al. 2014) ולאחר תהליך הקומפוסטציה נותרים בעיקר תרכובות אורגניות יציבות אשר גורמות

לזמינות נמוכה של החנקן ולקושי משמעותי בחיזוי החנקן הזמין (Beraud et al. 2005). בשל התכולה וזמינות החנקן הנמוכה בקומפוסט, בכדי לספק את צורכי הגידול לחנקן יש ליישם כמויות עצומות של קומפוסט (כ-20 קוב לדונם בשנה ויותר) המובילות לעודפי זרחן (Eghball et al. 1996, Agassi et al. 2004, Bar-Tal et al. 2001, Whalen and Chang 2001) יעילות ניצול חנקן נמוכה (Agassi et al. 2004, איזנקוט et al. 2013), ואף עלולות להוביל להמלחה ולזיהום הקרקע או מי התהום (Dahan et al., 2014), (Shiralipour et al. 1992, Agassi et al. 2004, Moral et al. 2009). לפיכך, השענות על קומפוסט כמרכיב הזנה עיקרי לחנקן (כפי שנעשה פעמים רבות בעבר), לעיתים מובילה לפחיתה ביבול (איזנקוט et al. 2013) בנוסף על ההשלכות הסביבתיות השליליות של זיהום מי תהום וקרקע. שילוב הקומפוסט כמרכיב בתוכנית הדישון תוך שימוש מושכל בדשן מינרלי מסתמנת כדרך האופטימאלית.

באזור הנגב מגדלים את רוב העגבניות של ישראל. מחירי קרקעות באזורים אלו יחסית נמוכים, אך דרושה השקעה כלכלית גדולה לשפר את תנאי הגידול (למשל באמצעות מצע, דישון, בתי צמיחה, וכו'). מחיר הדישון הכימי עולה באופן עקבי, בעיקר עקב עליית מחירי האנרגיה. חקלאי האזור מצניעים קומפוסט בעלי חיים (בעיקר בקר) של 3-5 קוב לדונם פעם ב 1-3 שנים.

לתרומה הלא מבוטלת של יישום קומפוסט בחקלאות יש מחיר: עלות קומפוסט זבל בעלי חיים בשער המפעל הינו כ-90 ₪ לקוב (פיין et al. 2014). בשנים האחרונות נוסף קומפוסט נוסף לשוק - קומפוסט אשפת ערים. כמות קומפוסט אשפת ערים עולה בשנים האחרונות וימשיך לעלות עם הגידול באוכלוסייה, רמת החיים והוספת הפרדה באתר. כיום מייצרים כ-100,000 טון קומפוסט אשפת ערים בחודש (רובו בטבלן והיתר בדודאים). הגידול בייצור קומפוסט אשפת ערים נובע בעיקר מהגדלת הפרדת החומר האורגני בכדי לחסוך עלויות הטמנה. היתרון העיקרי של קומפוסט אשפת ערים הוא המחיר הנמוך שלו. קומפוסט אשפת ערים מחולק בחינם (פיין et al. 2014) הבעיה העיקרית של קומפוסט אשפת ערים הינה שבתוך הקומפוסט יש זכוכיות. ישנם פתרונות מדף (גריסה או שולחן כובד) שיכולים להפריד ולהוציא את הזכוכיות. משיחות עם מנהלי שני אתרי קומפוסט אשפת ערים הגדולים בארץ (טובלן ודודאים), אנו רואים שהם מביעים נכונות להשקיע בפתרונות טכנולוגיים לפתרון הבעיה במידה וימצאו "לקוחות" למוצר. ההערכה היא שהוצאת הזכוכיות מהקומפוסט יעלה את המחיר לכל היותר ל-30 ₪ לקו"ב (בשער המפעל).

כמות חומרי ההזנה בקומפוסט תלוי בעיקר במקור החומר (בעלי חיים, אשפת ערים) ובתהליך הקומפוסטציה. מבדיקות שנעשו לקומפוסטים ממתקני ייצור מסחריים גדולים (טבלה 1), אפשר להכליל שקומפוסט אשפת ערים הינו יותר עני בזרחן ואשלגן מקומפוסט בעלי חיים. באופן כללי, קומפוסט הינו מוצר דל בחנקן, שנמצא בעיקר בתרכובות אורגניות יציבות אשר גורמות לזמינות נמוכה של החנקן ולקושי משמעותי בחיזוי החנקן הזמין (Beraud et al. 2005).

יש להדגיש כי עד כה מרבית הפרסומים בנושא תגובת קומפוסט אשפת ערים בישראל (Agassi et al. 2004, Hadas et al. 2004, איזנקוט et al. 2013, פיין et al. 2014) נעשו תוך

שימוש בקומפוסט ממתקני פיילוט קטנים שייתכן שאינם מייצגים את הקומפוסט שמיוצר ממתקן מסחרי גדול.

## מטרת המחקר המקורית

מטרת המחקר הנוכחי היא בדיקת היתכנות של שימוש בקומפוסט אשפת ערים מופרדת במקור לגידול עגבניות בבתי צמיחה באזור הנגב, ועל ידי כך הגדלת הרווחיות של החקלאים. מטרה נוספת הינה הפחתת השימוש בדשנים מינראלים שגורמים נזק סביבתי (המלחה וזיהום מי תהום). את המטרה הזו ניתן להשיג ע"י:

1. כימות התוספות הנחוצות לגידול אופטימאלי של עגבניות בחממות לאורך שנתיים
2. כימות התרומה של קומפוסט אשפת ערים מופרדת במקור כתחליף לקומפוסט בעלי חיים

## פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר

### שנה א'

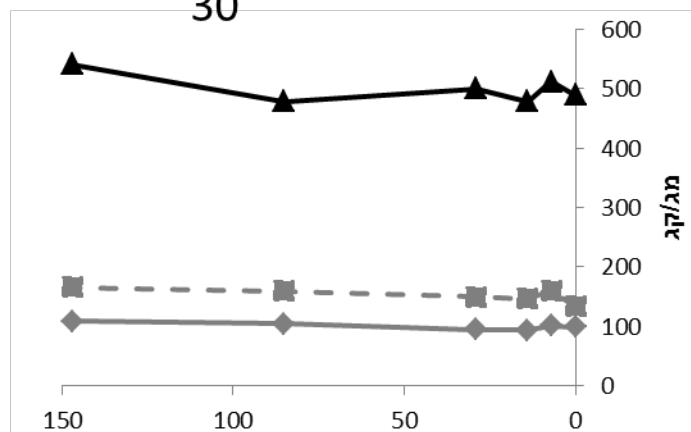
תשע קומפוסטים נאספו: שניים של קומפוסט אשפת ערים מופרד במקור, ארבע של קומפוסט אשפת ערים שהופרד באתר, שניים של קומפוסט בקר ואחד של קומפוסט עופות (טבלה 1). הקומפוסטים השונים עורבבו עם קרקע חולית ביחס של 5% (לפי נפח). הקרקעות הוכנסו לכלי פלסטיק סגורות עם חורי אוורור במכסה. מים מזוקקים הוכנסו למיכלים בכדי להגיע לכ-80% מקיבולת השדה. כל הקומפוסטים הוכנסו לאינקבטור בטמפרטורה של 26°C לתקופה של חמישה חודשים (איורים 1-4). שני קומפוסטים של אשפת ערים שאינו מופרד במקור ושני קומפוסטים של בקר הוכנסו גם לאינקבטור של 15°C לתקופה של ארבע חודשים. שלוש חזרות מכל קומפוסט נשלחו לבדיקה ביום 0, 7, 14, 29, 85, ו-147 (איורים 1-4).

	פרות	ביתי אתר	ביתי מקור	עוף
חנקן כללי	1.72 (0.34)	1.87 (0.15)	2.27 (0.29)	4.16 (0.35)
זרחן כללי	1.01 (0.04)	0.37 (0.07)	0.55 (0.06)	1.48 (0.11)
אשלגן כללי	2.75 (0.31)	0.56 (0.1)	0.82 (0.16)	2.26 (0.34)
מוליכות	8.02 (2.02)	6.41 (0.87)	3.63 (0.73)	9.93 (1.76)
EC	29.24 (2.58)	23.76 (4.99)	13.57 (3.91)	25.63 (1.62)
PH	9.37 (0.2)	6.47 (0.45)	8.3 (0.11)	6.43 (0.15)
פחמן	24.33 (2.16)	27.25 (2.99)	26.67 (1.37)	44.67 (0.58)
ח. אורגני	42.33 (3.88)	47.08 (5.37)	46.17 (1.94)	77 (1)
יח C/N on	13 (0.89)	14.58 (1.83)	11.83 (1.72)	11 (1)
חומר יבש %	96.1 (0.4)	96 (0.9)	94.8 (0.8)	94.3 (1.6)

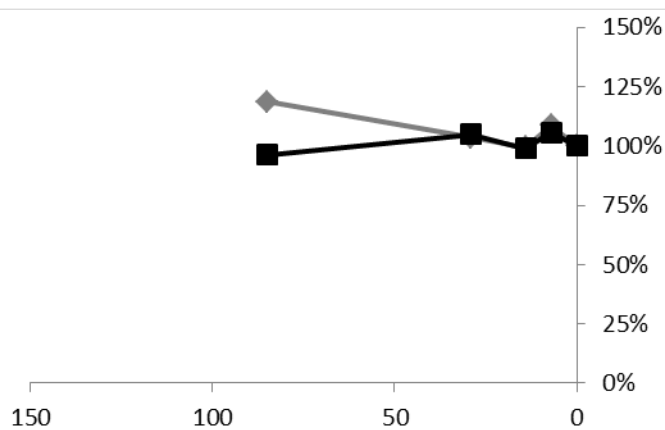
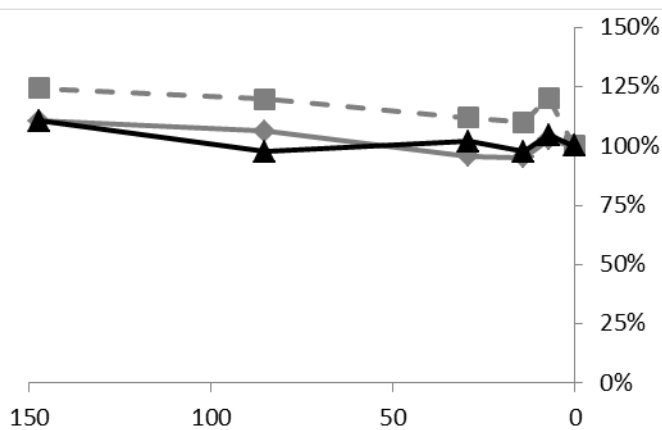
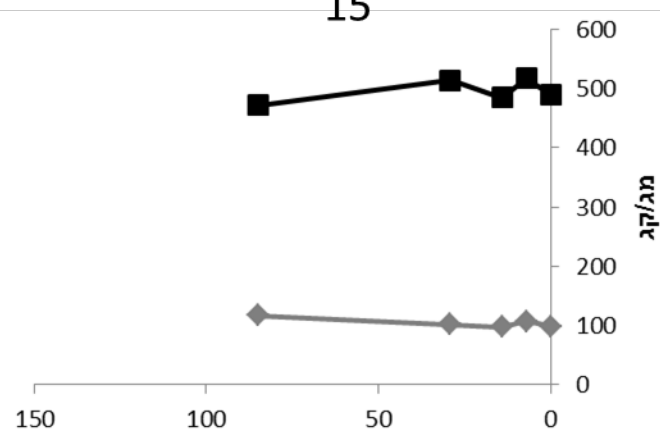
טבלה 1. ממוצע וסטיית תקן (בסוגריים) של תכונות ארבעת סוגי הקומפוסט שנאספו בשנה הראשונה

אשלגן (K) במיצוי  $\text{CaCl}_2$

30°

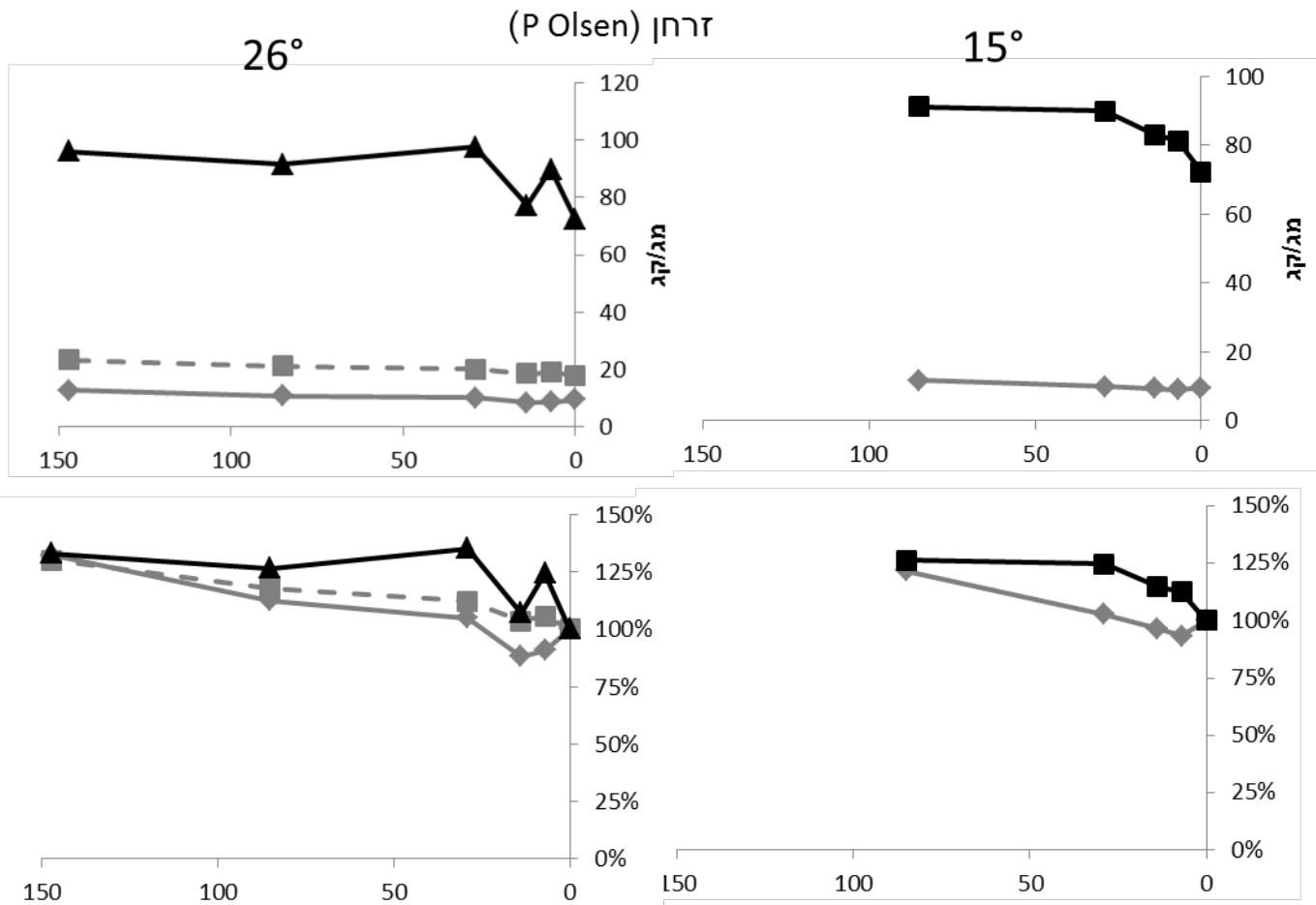


15°



ימים מתחילת אינקובציה

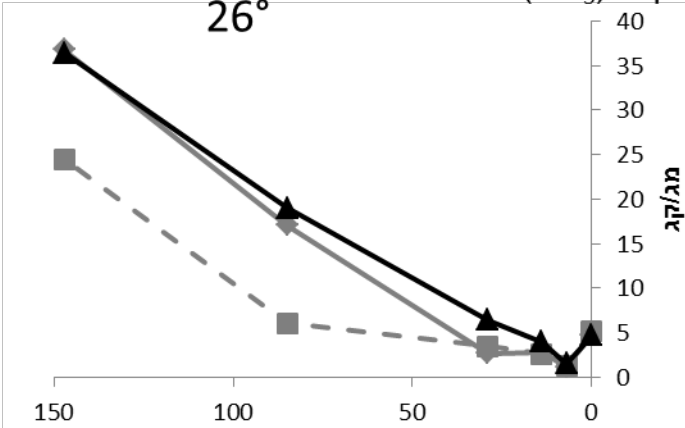
איור 1. תוצאות בדיקות כימיות לדגימות קרקע מעורבות עם קומפוסט שהיו באינקובציה בטמפרטורה ממוצעת של 15 מעלות (עמודות ימניות) וטמפרטורה ממוצעת של 30 מעלות (עמודות שמאליות). סוגי הקומפוסט שנבדקו הן בקר (שחור), אשפת ערים לא מופרת במקור (אפור) ואשפת ערים מופרדת במקור (אפור מקווקו). הגרפים העליונים הינם בערכים הנמדדים והגרפים התחתונים מראית את השינוי היחסי מזמן אפס.



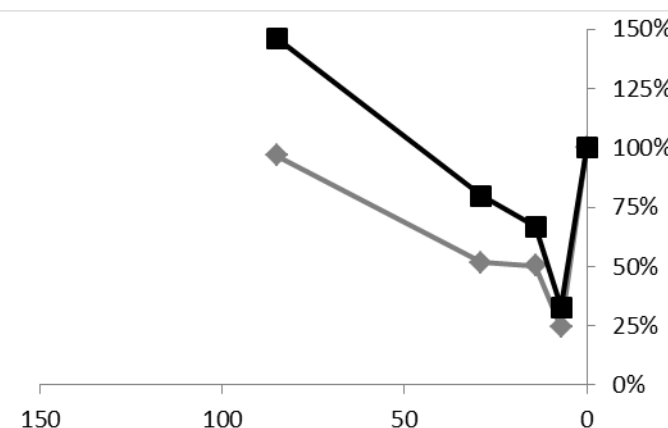
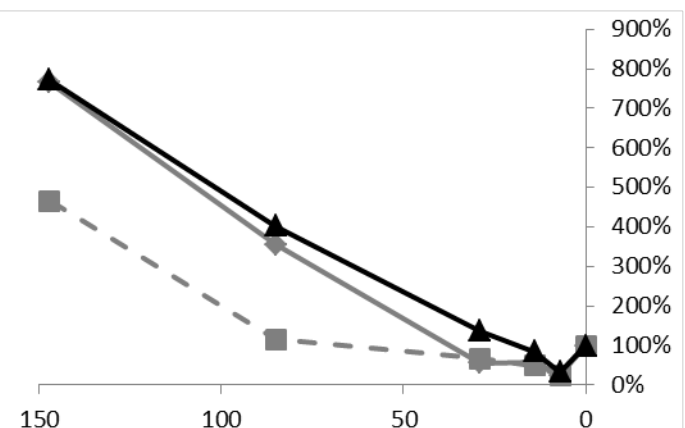
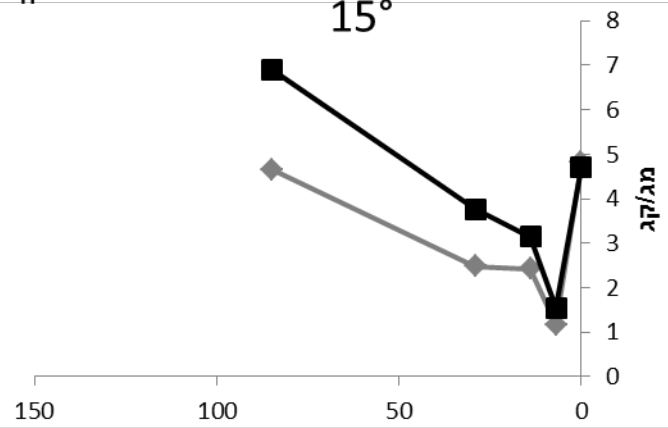
איור 2. תוצאות בדיקות כימיות לדגימות קרקע מעורבות עם קומפוסט שהיו באינקובציה בטמפרטורה ממוצעת של 15 מעלות (עמודות ימניות) וטמפרטורה ממוצעת של 30 מעלות (עמודות שמאליות). סוגי הקומפוסט שנבדקו הן בקר (שחור), אשפת ערים לא מופרת במקור (אפור) ואשפת ערים מופרדת במקור (אפור מקווקו). הגרפים העליונים הינם בערכים הנמדדים והגרפים התחתונים מראית את השינוי היחסי מזמן אפס.

### חנקן חנקתי ( $\text{NO}_3$ )

26°



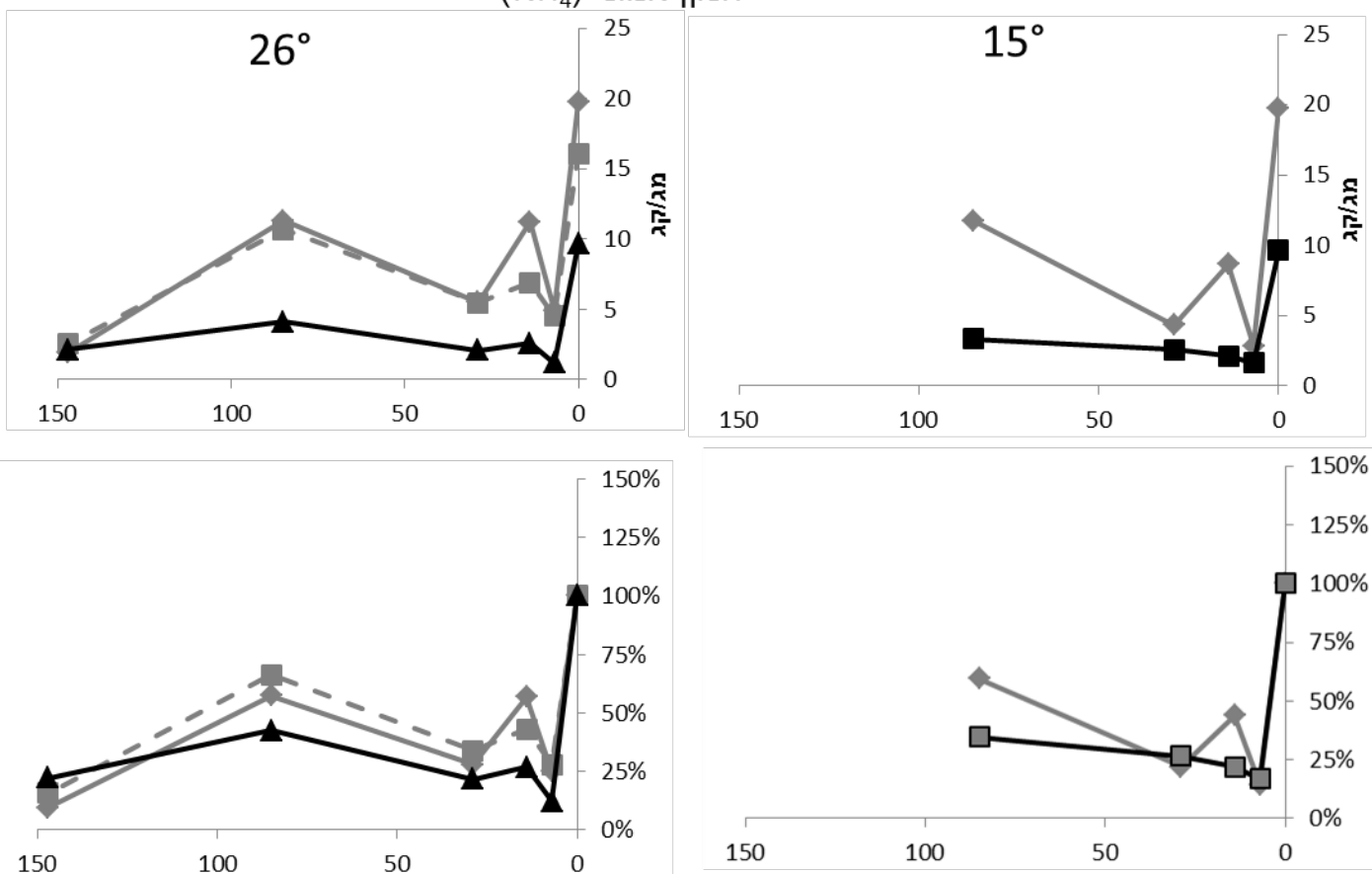
15°



ימים מתחילת אינקובציה

איור 3. תוצאות בדיקות כימיות לדגימות קרקע מעורבות עם קומפוסט שהיו באינקובציה בטמפרטורה ממוצעת של 15 מעלות (עמודות ימניות) וטמפרטורה ממוצעת של 30 מעלות (עמודות שמאליות). סוגי הקומפוסט שנבדקו הן בקר (שחור), אשפת ערים לא מופרת במקור (אפור) ואשפת ערים מופרדת במקור (אפור מקווקו). הגרפים העליונים הינם בערכים הנמדדים והגרפים התחתונים מראית את השינוי היחסי מזמן אפס.

### חנקן אמוני (NH<sub>4</sub>)



איור 4. תוצאות בדיקות כימיות לדגימות קרקע מעורבבות עם קומפוסט שהיו באינקובציה בטמפרטורה ממוצעת של 15 מעלות (עמודות ימניות) וטמפרטורה ממוצעת של 30 מעלות (עמודות שמאליות). סוגי הקומפוסט שנבדקו הן בקר (שחור), אשפת ערים לא מופרת במקור (אפור) ואשפת ערים מופרדת במקור (אפור מקווקו). הגרפים העליונים הינם בערכים הנמדדים והגרפים התחתונים מראית את השינוי היחסי מזמן אפס.

### שנה ב'

שני קומפוסטים ממתקן מסחרי נבחרו לפי תוצאות הניסוי בשנה א': קומפוסט בקר וקומפוסט אשפת ערים. מאפייני הקומפוסט מוצגים בטבלה 2.

בקר	ערים	
2.25 (0.53)	2.24 (0.31)	חנקן כללי
1.14 (0.25)	0.36 (0.02)	זרחן כללי
1.82 (0.46)	0.45 (0.12)	אשלגן כללי
9.07 (0.21)	4.8 (0.17)	מוליכות
25.17 (0.83)	14.27 (1.29)	EC
9.7 (0.1)	7.87 (0.15)	PH
29 (1)	24 (2)	פחמן
49.67 (2.08)	41.67 (3.51)	ח. אורגני
63 (7.19)	83 (0.23)	חומר יבש %

טבלה 2. ממוצע וסטיית תקן (בסוגריים) של תכונות הקומפוסט שהוצנע בשנה ב'.

באופן כללי, רואים שמבחינת טיוב הקרקע (% חומר אורגני, % פחמן), אין הבדל בין הקומפוסטים, אך בקומפוסט בקר יש יותר נוטריאנטים (חנקן, זרחן ואשלגן) מאשר בקומפוסט אשפת ערים. הקומפוסטים הוצנעו בתאריך 3/4/17 בבית רשת במו"פ דרום עם קירות 50 מש לפי הטיפולים הבאים:

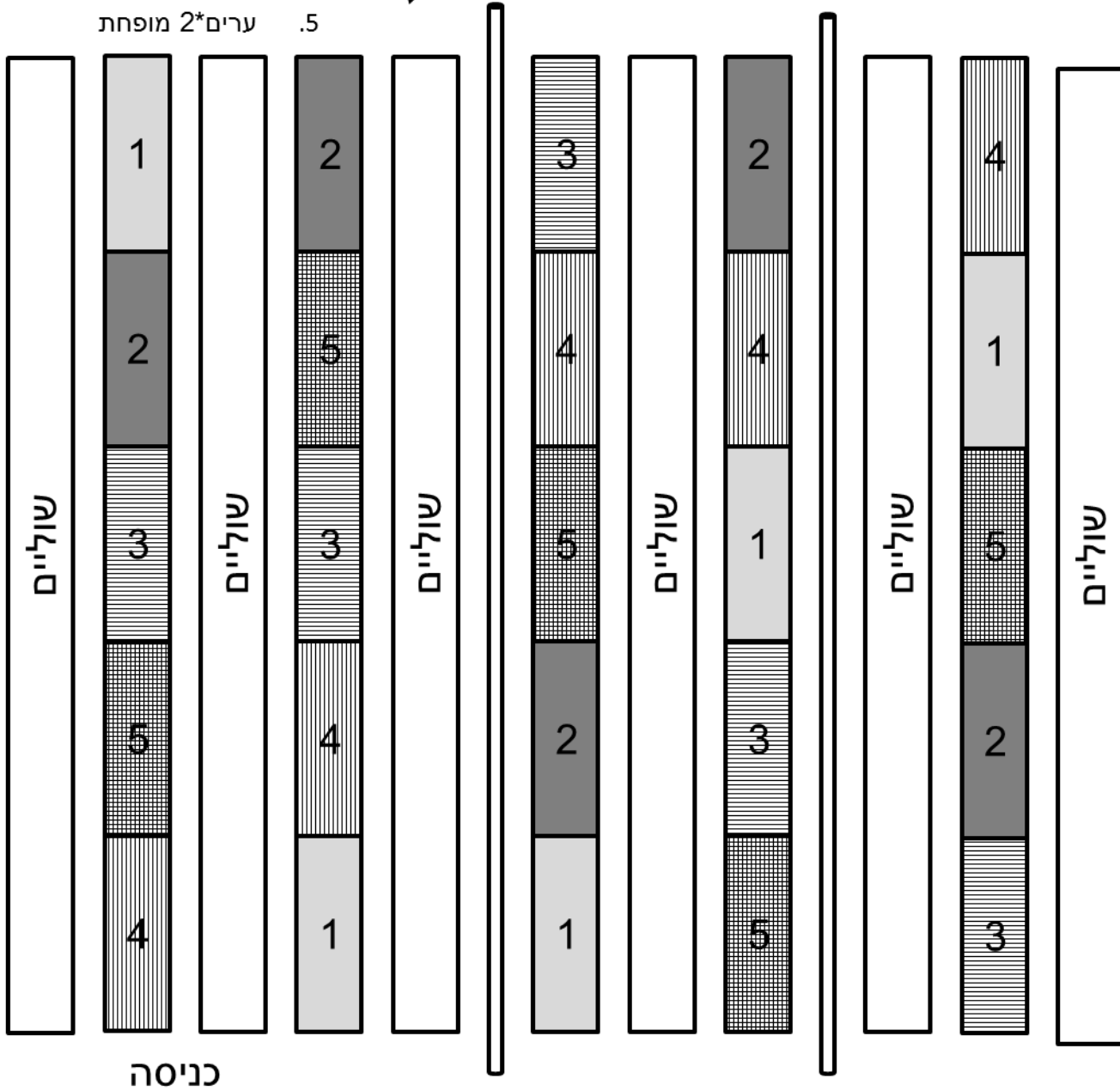
1. קומפוסט בקר במינון מישקי (5 קוב לדונם) עם דישון מישקי
2. קומפוסט בקר במינון מישקי (5 קוב לדונם) עם דישון מופחת
3. קומפוסט אשפת ערים במינון מישקי (5 קוב לדונם) עם דישון מישקי
4. קומפוסט אשפת ערים במינון מישקי (5 קוב לדונם) עם דישון מופחת
5. קומפוסט אשפת ערים במינון כפול (10 קוב לדונם) עם דישון מופחת

לכל טיפול היו חמישה חזרות המסודרים בבלוקים בצורה אקראית. בכל חלקה ישנם 16 צמחי מיקוד במרכז החלקה וצמחי שוליים בקצות החלקה. בין ערוגה לערוגה ישנה ערוגת שוליים (איור 5). חמש פעמים לאורך העונה נלקחו דגימות קרקע למעבדה (איור 6). בכל קטיף, היבול של צמחי המיקוד נלקח לשקילה ומיון איכות הפרי (איור 7-8).

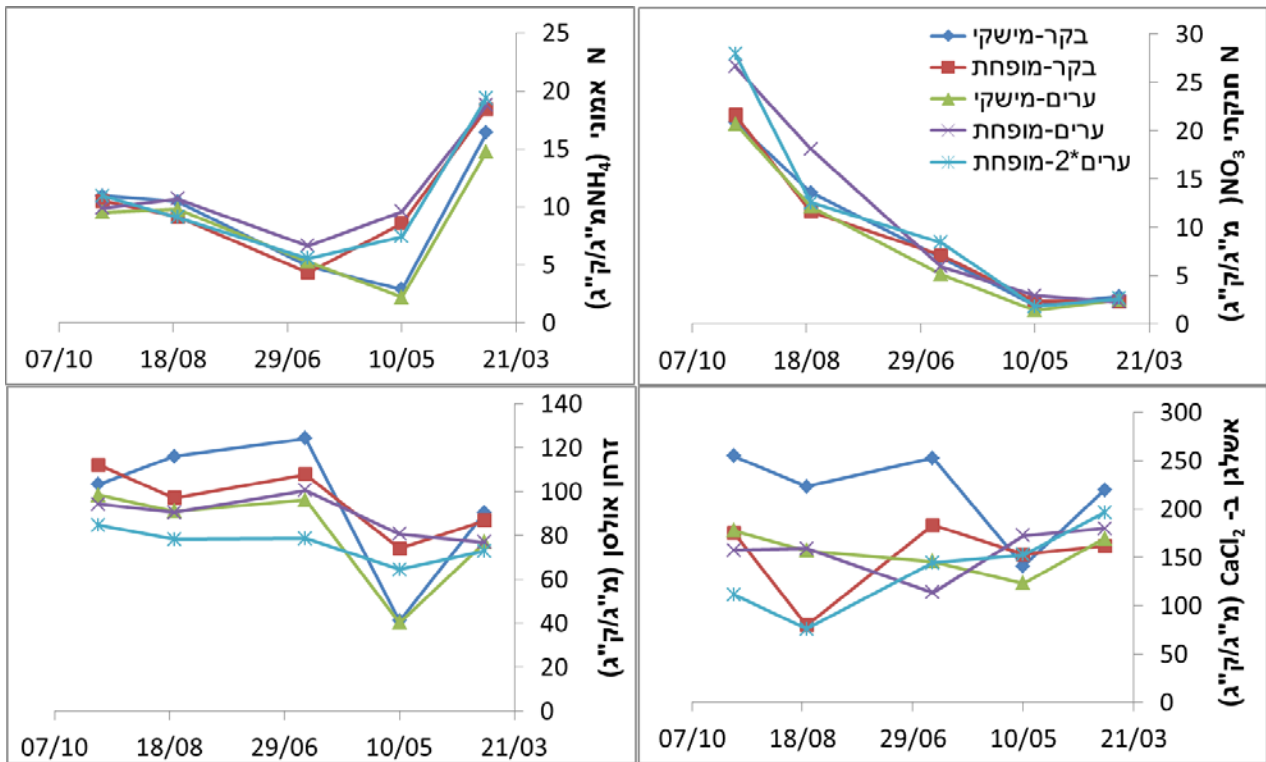


- .1 בקר רגיל (שוליים)
- .2 בקר מופחת
- .3 ערים רגיל
- .4 ערים מופחת
- .5 ערים 2\* מופחת

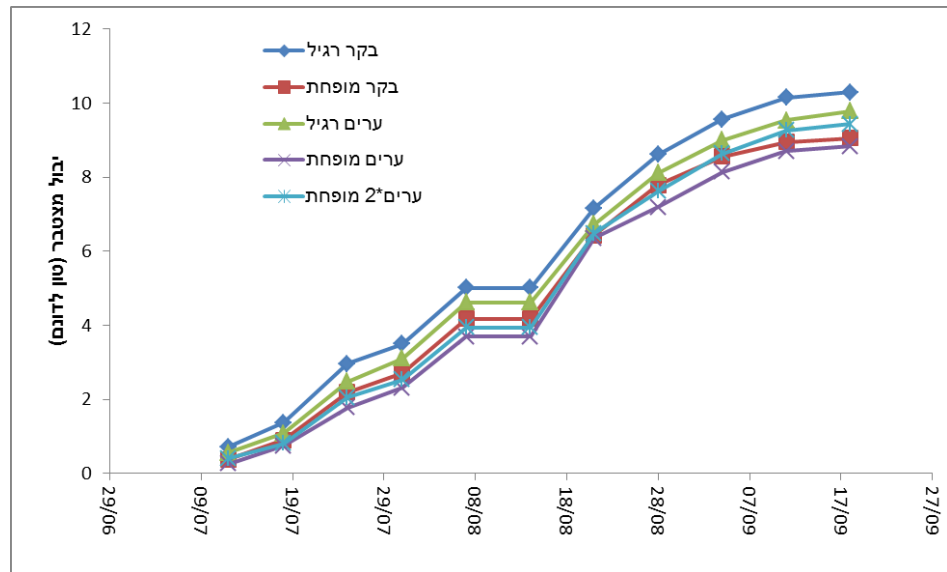
צ  
↓



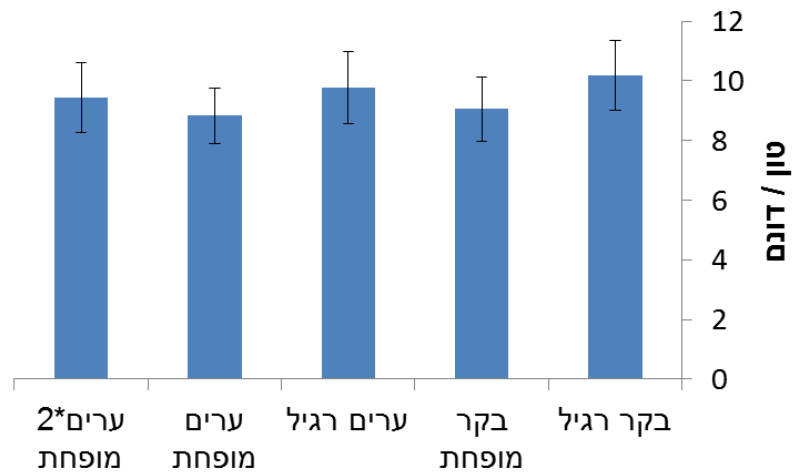
איור 5. מפה של חלקות בניסוי והשוליים בבית הצמיחה.



איור 6. תוצאות בדיקות כימיות לקרקע שהוצעו בו קומפוסט בקר וקומפוסט אשפת ערים



איור 7. יבול מצטבר של עגבניות איקרים לאורך העונה, לפי טיפולי הקומפוסט



איור 8. יבול מצטבר של עגבניות איקום, לפי טיפולי הקומפוסט

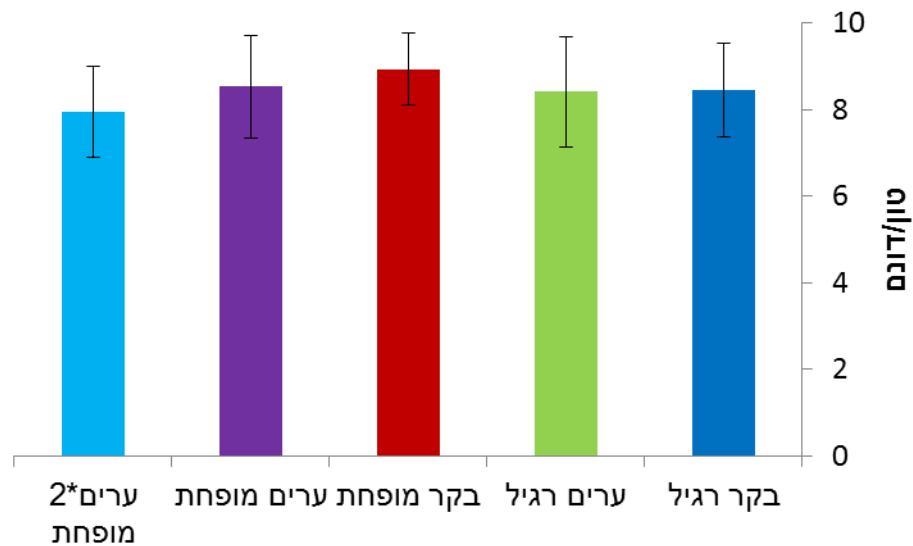
### שנה ג'

בשנה השלישית חזרנו על הניסוי שבוצע בשנה שניה, באותה מבנה ובאותה שיטה. עקב בעיה טכנית בהקמת הניסוי בשנה השלישית, בלוק אחד הוצא מהניסוי (בשנה השלישית היו ארבע חזרות במקום חמישה). מאפייני הקומפוסט מוצגים בטבלה 3.

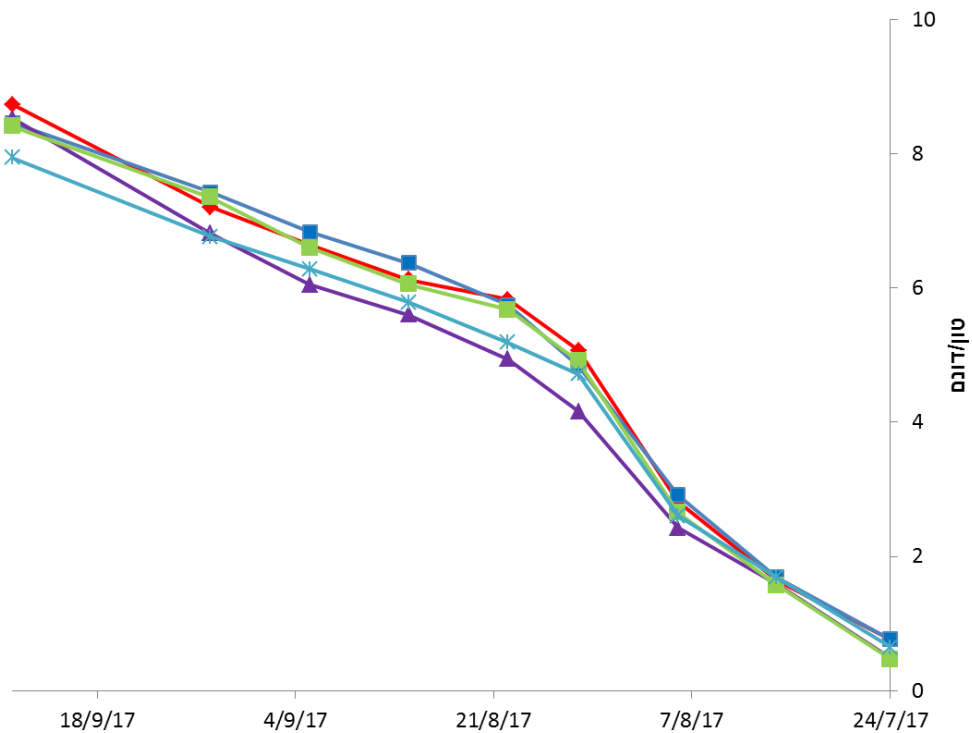
	בקר	ערים		
כללי N	2.34 (0.11)	1.7 (0.16)	חנקן כללי	
כללי P	1.24 (0.03)	0.45 (0.04)	זרחן כללי	
כללי K	3.28 (0.27)	0.55 (0.01)	אשלגן כללי	
מוליכות	9.4 (0.75)	6.25 (0.3)	מוליכות	
EC	23.49 (1.88)	13.05 (0.44)	EC	
PH	9.22 (0.15)	7.31 (0.25)	PH	
פחמן	29.33 (0.58)	29.33 (1.15)	פחמן	
ח אורדני	50.67 (1.15)	50.67 (1.53)	ח. אורדני	
יחס C/N	12.33 (0.58)	17.33 (1.53)	יחס C/N	

טבלה 3. ממוצע וסטיית תקן (בסוגריים) של תכונות הקומפוסט שהוצנע בשנה ג'.

בטיפולים עם הדישון המופחת, חסכנו כ-30% מעלויות הדשן ואילו בטיפול ערים\*2 חסכנו כ-45% מעלויות הדשן. לא היה הבדל מובהק ביבול בסוף העונה (איורים 9-10).



איור 9. יבול מצטבר של עגבניות איקרום, לפי טיפולי הקומפוסט



איור 10. יבול מצטבר של עגבניות איקרום לאורך העונה, לפי טיפולי הקומפוסט

### מסקנות

תוצאות שלושת השנים של הניסוי מראות שיש הבדל בין קומפוסט אשפת ערים לבין קומפוסט בקר, אך הבדל זה לא בא לידי ביטוח ביבול של עגבניות שגדלו בבית רשת במהלך שתי עונות. כמו כן, הפחתת השימוש בדשן, בייחוד באשלגן וזרחן, לא השפיעו על היבול. מעבר לקומפוסט אשפת ערים תוך הפחתת השימוש בדשן יגדיל את רווחיות החקלאים על ידי חסכון בתשומות של קומפוסט ודשן, ללא פגיע בהכנסות מהיבול. יש צורך לציין שקומפוסט אשפת ערים מכיל בתוכו חומרים זרים (בעיקר זכוכית). הזכוכית עצמה אינה פוגעת בצמחי העגבניה אך מונעת מעבר עתידי לגידולי שורש. יש נכונות בשתי אתרי

הקומפוסטציה הגדולים של אשפת ערים לפתור את בעיית החומרים הזרים (גריסה או שולחן כובד), אך הם מחכים לראות אם יהיו 'לקוחות' לקומפוסט אשפת ערים הנקי.

### סיכום עם שאלות מנחות

<b>אנא פרט מהם הניסויים שנעשו תוך השוואה לתכנית העבודה המתוכננת והתאמתם למטרות המחקר כפי שהופיעו בהצעה המקיפה</b>
בהצעה המקיפה ניתן דגש לקומפוסט אשפת ערים מופרדת במקור שיכולה לשמש ליצוא לאירופה. בתחילת הניסוי הסתבר שאתרי הקומפוסטציה הגדולים זנחו את הקומפוסט אשפת ערים מופרד במקור. כמו כן, היצוא לאירופה כמעט והופסק. בהתיעצות עם הועדה המלווה, הוחלף הקומפוסט אשפת ערים שמופרד במקור לקומפוסט אשפת ערים שאינו מופרד במקור בניסוי בית רשת.
<b>מהם עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח?</b>
עיקר הניסוי הוא גידול עגבניות בקומפוסטים שונים עם דישון משקי ודישון מופחת. באופן גורף, לא נמצאה הבדל ביבול בסוגי הקומפוסט השונים ובטיפול הדישון השונים
<b>בעקבות הניסויים שנעשו, אנא פרט והסבר כיצד הושגו מטרות המחקר בתקופת הדו"ח או חלק מהן</b>
הניסוי התקיים כמתוכנן והמטרות הושגו באופן מלא.
<b>בהתאם להצעה המקיפה, ציין מה התבצע מתוך טבלת המשימות ואבני דרך, כולל אבני דרך כמותיות (סעיפים IV-VI) ומהם הקריטריונים שפורטו בהצעה המקיפה כבוחן להצלחת המחקר אכן הושגו</b>
ההצעה לא נכתבה עם אבני דרך, אלא לוח זמנים. המשימות בלוח הזמנים בוצעו במלואם (למעט בדיקות עלים ורמת סוכרים בפרי), אך בתאריכים אחרים עקב מעבר מהנבה חורפית להנבה קיציית.
<b>מהן המסקנות המדעיות ומהן ההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו בעתיד?</b>
המסקנה העיקרית ששימוש בקומפוסט אשפת ערים אינו פוגע ביבול והפחתת השימוש בדישון (בייחוד אשלגן זרחן) אינו משפיעה על היבול.
<b>מהן הבעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה ומה אמורה להיות ההתייחסות בהמשך?</b>
הבעיה העיקרית שנתרה היא חומרים זרים (בעיקר זכוכיות) שנמצאים בקומפוסט. התעשייה צריכה לפתור את הבעיה הזאת ולפחות שתי האתרים הגדולים בארץ בודקים את הנושא.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: <b>פרסומים בכתב</b> - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי; <b>פנטטים</b> - יש לציין שם ומס' פטנט; <b>הרצאות וימי עיון</b> - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
< ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
<
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? לא