

קומפוסטציה משולבת של פסולות בתי בד ויישומם בחקלאות בת קיימא
Co-composting of olive mill wastes and applications in sustainable agriculture

301045307

דו"ח סופי (שנים 8-2006)

מוגש לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות

ע"י

יעל לאור, מיכאל רביב, רוני כהן וענת יוגב

מינהל המחקר החקלאי, נוה יער

יעקב קטן

הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית, רחובות

ראובן בירגר

מועצת הצמחים - המועצה לייצור צמחים ושווקם

בהשתתפות עידו אביאני, ארקדי קרסנובסקי, שלומית מדינה ואיברהים סעדי

Y. Laor, M. Raviv, R. Cohen and A. Yogev

Newe Ya'ar Research Center, P.O. Box 1021, Ramat Yishay 30095

J. Katan

Dept. of Plant Pathology and Microbiology, Faculty of Agriculture, Rehovot 76100, Israel

R. Birger

The Plants Production and Marketing Board

Additional participants: **I. Aviani, A. Krasnovsky, Sh. Medina, I. Saadi**

אוגוסט 2008

אב תשס"ח

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.
הניסויים אינם מהווים המלצות לחקלאים.

חתימת החוקר

רשימת פרסומים

1. רביב, מ., לאור, י., אביאני, ע., קרסנובסקי, א., מדינה, ש. 2006. ייצור קומפוסט מגפת והשימוש בו. מתוך חוברת התקצירים של יום העיון "מחקרים בזית" שהתקיים ב- 21 למרס 2006.
2. לאור, י., סעדי, א., רביב, מ., מדינה, ש. 2006. השפעת יישום עקר על הפעילות המיקרוביאלית ופוטנציאל הפיטוטוקסיות של הקרקע. מתוך חוברת התקצירים של יום העיון "מחקרים בזית" שהתקיים ב- 21 למרס 2006.
3. לאור, י., רביב, מ. 2006. מיחזור פסולות בתי בד בחקלאות. עלון הנוטע, 60, 18-20.
4. רביב, מ., קרסנובסקי, א., מדינה, ש., אביאני, ע., לאור, י., סעדי, א. 2006. קומפוסטציה משולבת של פסולות בתי בד. עלון הנוטע, 60, 21-24.
5. סעדי, א., לאור, י., רביב, מ., מדינה, ש. 2007. השפעת יישום עקר על הפעילות המיקרוביאלית והפיטוטוקסיות של הקרקע. עלון הנוטע, 61, 29-31.
6. Saadi, I., Laor, Y., Raviv, M., Medina, Sh. 2007. Land spreading of olive mill wastewater: Effects on soil microbial activity and potential phytotoxicity. Chemosphere, 66, 75-83.
7. Raviv, M., Medina, Sh., Krasnovsky, A., Cnaan, H., Laor, Y., Aviani, I., Saadi, I. Production of olive mill waste compost and its use in growing media: Challenges and solutions. To be presented at the International Conference on New Technologies for the Treatment and Valorization of Agro Byproducts. 3-5 October 2007, Terni, Italy.
8. Laor, Y. and Raviv, M. 2007. Viable solutions for olive mill wastewater in Israel: Some economical, environmental and practical considerations. To be presented at the International Conference on New Technologies for the Treatment and Valorization of Agro Byproducts. 3-5 October 2007, Terni, Italy.
9. Raviv, M., Medina, Sh., Krasnovsky, A., Laor, Y., Aviani, I. (2008). Composting and Horticultural use of Composted Olive Mill Wastes. Orbit 2008, 13-15/10, Wageningen, The Netherlands

תקציר

נכון להיום אין מיושמת בישראל גישה סביבתית כוללת לטיפול בפסולות בתי בד. כתוצאה מכך מצטברות ערמות של פסולת מוצקה וחלק ניכר מהשפכים מוזרם בצורה בלתי חוקית למערכות הביוב העירוניות, תוך גרימת בעיות במתקני הטיפול. חלק מהפסולות מסולק לסביבה באופן בלתי מבוקר תוך גרימת נזקים סביבתיים וזיהום מקורות מים. קומפוסטציה היא גישה אטרקטיבית למיחזור פסולת חקלאית וליצירת חומר אורגני אותו ניתן ליישם לקרקע. קומפוסטציה משולבת של הפסולת המוצקה והשפכים עשויה לתת מענה כולל לבעיות סילוק ומיחזור פסולות בתי הבד בישראל. לפי גישה זו משמשת הפסולת המוצקה כמרכיב עיקרי בערימת הקומפוסט, ושפכי בתי הבד משמשים כמי הרטבה של הערימה בשלב התרמופילי. על מנת להבטיח את דרישת השוק לחומר הממוחזר יש צורך בבקרה של המוצר הסופי מבחינת ערכו האגרנומי. כמו כן, יש חשיבות רבה לפיתוח פרוטוקול להכנת הקומפוסט אשר יביא למיצוי (והדירות) של הערך הזנתי, העדר רעילות, ופוטנציאל הדיכוי כנגד מחלות שוכנות קרקע, תוך שימת דגש על הצרכים המיוחדים של ממשק בר קיימא. בשתי שנות המחקר הראשונות נבדקו הקומפוסטים המוכנים ולא נמצאה השפעה שלילית מובהקת של הרטבה בשפכים על איכות הקומפוסט. ערכם האגרנומי של הקומפוסטים נמדד במבחני כושר דיכוי כלפי פוזריום של מלפפון ושל מלון, כושר שחרור חנקן, ובמבחן גידול. במבחן הגידול עורבבו בעציצים כמויות שונות של קומפוסטים עם כבול ונבחנה השפעתם על כמויות פרי של צמחי עגבנייה בהשוואה לביקורת שגודלה בכבול. כל הקומפוסטים היו בעלי כושר דיכוי וכושר שחרור חנקן משמעותיים. במבחני הגידול, התערובות של כל הקומפוסטים עם הכבול הראו תוצאות דומות לביקורת הכבול. בכל הבדיקות של ערכם האגרנומי של הקומפוסטים, לא נמצאו הבדלים מובהקים בין קומפוסטים שהורטבו בשפכים או במים. תוצאות אלו מצביעות על ערכו האגרנומי הפוטנציאלי של קומפוסט המיוצר מגפת זיתים ומורטב בשפכי בתי בד. בשנת הניסוי השלישית נבדקת היתכנות השימוש בקומפוסט גפת זיתים ישן כמקור אילוח בקומפוסטציה של פסולות בתי בד במטרה להחליף את השימוש בזבל, באזורים בהם זמינות הזבל נמוכה. בזמן כתיבת הדו"ח מחזור הקומפוסטציה השלישי לא הסתיים ולכן לא ניתן לדווח בשלב זה על איכותם וערכם החקלאי של תוצרי מחזור זה. עם זאת, תוצאות הביניים מצביעות על כך שאילוח ערימות הקומפוסט בקומפוסט זיתים זירז את ההגעה לשלב התרמופילי והעדר זבל בקר בתערובות לא השפיע באופן שלילי על תהליך הקומפוסטציה בכללותו.

1. מבוא ומטרות העבודה

כ – 50,000 מ"ק שפכים (עקר) וכ- 25,000 מ"ק פסולת מוצקה נלווים לייצור השמן בישראל מידי שנה. הפסולת המוצקה מכילה רקמות ציפה לאחר מיצוייה, גרעינים טחונים ועלים של זיתים. השפכים מורכבים ממים שמקורם בפרי הזית, רקמות, פקטין, שמן, וממים אשר מוספים בתהליך המיצוי. פסולות בתי הבד עלולות להוות מטרד סביבתי קשה עקב התכולה גבוהה של חמרים רעילים כגון פנולים, ליפידים, טנינים ועומס אורגני גבוה ביותר המאפיין אותן. הטיפול בפסולות בתי בד בישראל, כמו במדינות אחרות, מלווה בבעיות רבות. בנוסף לעומס האורגני הגבוה והמרכיבים הרעילים, עונת יצור השמן קצרה יחסית (כ- 2-3 חודשים) ומוגבלת במקרים רבים ליישובים כפריים קטנים ומרוחקים זה מזה. עובדה זו לא מאפשרת השקעות גדולות בפיתוח טכנולוגיות ומערכות טיפול בקנה מידה רחב.

מיחזור פסולות בתי בד יכול להתבצע בתהליך של "קומפוסטציה משולבת" כאשר הפסולת המוצקה משמשת כמרכיב עיקרי בערמת הקומפוסט, ושפכי בתי הבד משמשים כמי הרטבה של הערימה בשלב התרמופילי. בקומפוסטציה משולבת של גפת ושפכי בתי בד יש להתחשב בשלושה אלמנטים עיקריים המייחדים את התהליך בהשוואה לקומפוסטציה של זבלי בעלי חיים ופסולת צמחית אחרת: 1. נוכחות של מרכיבים רעילים (לצמחים ולמיקרואורגניזמים מסוימים) בריכוזים גבוהים יחסית, 2. ההוספה של שפכים בעלי צריכת חמצן גבוהה כמי הרטבה במהלך השלב התרמופילי, ו-3. העונתיות של ייצור הפסולות. עד כה לא נעשתה עבודה מקיפה בתחום זה בישראל וקומפוסטציה אינה מיושמת כפיתרון סביבתי שיגרתי לפסולות אלה. עם זאת, על בסיס עבודות שבוצעו בעולם, בעיקר על ידי קבוצות מחקר באיטליה ספרד ויוון, ניתן להניח כי בשילוב נכון של פסולות בתי בד ומרכיבים נוספים, ניתן לייצר קומפוסטים עם דרגת בשלות טובה והעדר פיטוטוקסיות (García-Filippi et al., 2002, Gali et al., 1997, Paredes et al., 1996, Gómez et al., 2003).

מטרות המחקר המטרה הכללית של המחקר היא להגיע לפתרונות מיחזור של פסולות בתי בד מתוך גישה סביבתית מצד אחד (מניעת נזקים סביבתיים הקשורים בסילוק הפסולת) וגישה כלכלית/חקלאית- סביבתית מצד שני (מיצוי הערך האגרונומי של הפסולת הממוחזרת תוך דגש על שימוש בממשק אורגני ובר קיימא). על מנת לענות על מטרה זו הוגדרו מטרות המשנה הבאות: 1. בחינת היכולת לקיים תהליך קומפוסטציה שלם תוך שילוב פסולת בתי בד מוצקה כמרכיב עיקרי של התערובת ושימוש בשפכי בתי בד גולמיים למטרת הרטבה של הערמה בשלב התרמופילי. 2. אופטימיזציה של תנאי הקומפוסטציה לקבלת מוצר סופי עם ערך אגרונומי מקסימלי (עשיר בנוטריינטים ומדכא פתוגנים נישאי-קרקע) ומינימום נזק פוטנציאלי לגידולים (העדר פיטוטוקסיות).

בדו"ח זה מדווח על התקדמות מחזור הקומפוסטציה השלישי. שני מחזורי הקומפוסטציה הראשונים מסוכמים, ומדווח על בדיקות ערכם האגרונומי.

2. עיקרי הממצאים

2.1 הכנת הערמות

במהלך תקופת המחקר הועמדו 3 מחזורי קומפוסטציה המבוססים על פסולות בתי בד. מחזורים אלו נבנו במטרה לעקוב אחרי הפרמטרים הבאים: 1. אחוז משתנה של גפת כמרכיב עיקרי בתערובת (40-70%), 2. סוג ואחוז משתנה של מקור האינוקולום (זבל בקר, 10-30%, זבל הודים, 15%, וקומפוסט ישן ממחזור קודם, 15%). 3. סוג החומר הנפחי (עלי זית או קש חיטה). 4. מקור מי ההרטבה (מי ברז או עקר). 5. גובה טמפרטורה מקסימלית בשלב התרמופילי (55 או 60 מ"צ). בדוחות הקודמים נמסר פירוט לגבי הכנת ערמות הקומפוסט של שני המחזורים הראשונים. מחזור הקומפוסטציה השלישי הועמד בתאריך 12.2007. הניסוי בוצע במתקן קומפוסטציה מבוקר (Rutgers type) הממוקם בנווה יער, ב-3 תאים בנפח של 6 מ"ק כל אחד, בהם הושם נפח תערובת של כ-5 מ"ק, תוך בקרת טמפרטורה על ידי אוורור מאולץ. בשנה השלישית נבחן קומפוסט זיתים ישן כחומר אילוח של הערימות החדשות בהשוואה לאילוח באמצעות זבל בע"ח. בנוסף, נבחנה השפעת טמפרטורות מקסימום שונות (55 ו-60 מ"צ). קש חיטה עורבב בכל

הערימות כחומר נפחי. כל הערימות הורטבו במים במהלך הקומפוסטציה. הרכבן של ערימות הקומפוסט בכל שנות המחקר מוצג בטבלה 1. כל הפסולות הן מבית הבד של איכסאל, באדיבות מר ח'דר דראושה. מאחר שיחס C/N בתחילת הקומפוסטציה היה 31.5 ו-32.1 בערימות 1 ו-3 ובערימה 2 בהתאמה, לא היה צורך בהוספת אוריאה לשם הורדתו. בתחילת התהליך הופעלו המפוחים למשך דקה, מדי שעה, וזאת על מנת למנוע התפתחות תנאים אנאירוביים בערימה. כאשר הגיעו הערימות לטמפרטורת המקסימום הופעלו המפוחים טרמוסטטית, על מנת לשמור מפני התחממות יתר.

טבלה 1. הרכב ערימות (על בסיס נפחי) בשלושת מחזורי הקומפוסטציה

פרמטרים להשוואה	תא 3	תא 2	תא 1	
אחוזי גפת שונים אחוזים שונים של זבל בקר הרטבה במים לעומת הרטבה בעקר	גפת (60%) זבל בקר (10%) עלי זית (30%) הרטבה במים טמפרטורה מקסימלית: 55 מ"צ	גפת (60%) זבל בקר (10%) עלי זית (30%) הרטבה בעקר טמפרטורה מקסימלית: 55 מ"צ	גפת (40%) זבל בקר (30%) עלי זית (30%) הרטבה בעקר טמפרטורה מקסימלית: 55 מ"צ	2005-2006
עליה באחוז הגפת לעומת מחזור קודם זבל הודו לעומת זבל בקר במחזור קודם שימוש בקש חיטה כחומר נפחי לעומת עלי זית במחזור קודם הרטבה במים לעומת הרטבה בעקר		גפת (70%) זבל הודו (15%) קש חיטה (15%) הרטבה במים טמפרטורה מקסימלית: 60 מ"צ	גפת (70%) זבל הודו (15%) קש חיטה (15%) הרטבה בעקר טמפרטורה מקסימלית: 60 מ"צ	2006-2007 (מחזור הקומפוסטציה השני נערך בשני תאים)
הוספת אינוקולום ממקור קומפוסט לעומת אינוקולום ממקור זבל בע"ח טמפרטורה מקסימלית של 55 לעומת 60 מעלות	גפת (70%) קומפוסט זיתים ממחזור קודם (15%) קש חיטה (15%) הרטבה במים טמפרטורה מקסימלית: 55 מ"צ	גפת (70%) זבל בקר (15%) קש חיטה (15%) הרטבה במים טמפרטורה מקסימלית: 60 מ"צ	גפת (70%) קומפוסט זיתים ממחזור קודם (15%) קש חיטה (15%) הרטבה במים טמפרטורה מקסימלית: 60 מ"צ	2007-2008

2.2 מאפיינים פיסיקליים, כימיים, ומיקרוביאליים במהלך הקומפוסטציה

מדידת הטמפרטורה, תכולת הרטיבות ואנליזות כימיות וביוכימיות בוצעו באופן סדיר במהלך הקומפוסטציה. תכולת הרטיבות נבדקה פעמיים בשבוע. בתחילת התהליך, ולאורך כל התקופה התרמופילית נשמרה תכולת רטיבות של 50-60% (על בסיס משקל רטוב). עם הירידה בטמפרטורות ובדרישת הצינון הטרמוסטטית פוחת הצורך בהרטבה והערכים נשמרים בתחום 30-40%. הרטבת הערימות בעקר התבצעה במשך 14 ו-24 שבועות במחזור הראשון והשני בהתאמה. הפסקת ההרטבה בעקר נעשתה על מנת לאפשר את זירוז סיום תהליך הפירוק ועל מנת להימנע משאריות רעילות לקראת תום התהליך. לאחר הפסקת ההרטבה בעקר, הורטבו הערימות במי ברז. שאר האנליזות בוצעו עבור דגימות שנאספו בעת העירבוב הראשוני, במהלך הפיכת הערימות (הפיכה של הערימות בוצעה מידי 35-40 יום), ובסוף הקומפוסטציה. בעת ההפיכות הערימות עורבבו היטב, כך שהתוצאות מייצגות את ממוצעי התכונות של הערימות.

א. מאפיינים כלליים

זמן ההגעה לטמפרטורה תרמופילית, משך הקומפוסטציה, וכמות העקר שהוסף לערימות הרלוונטיות בשני מחזורי הקומפוסטציה הראשונים מוצגים בטבלה 2. זמן ההגעה לטמפרטורה תרמופילית של שלושת הערימות במחזור הקומפוסטציה השלישי היה הקצר ביותר (8 ימים). במחזור הקומפוסטציה השני זמן ההגעה לטמפרטורה תרמופילית היה ארוך בכ-10 ימים יחסית למחזור הראשון, וב-18 ימים יחסית למחזור השלישי. בהתאם להתחממות האיטית של הערימות, משך הקומפוסטציה במחזור השני היה גם כן ארוך בכחודשיים יחסית למחזור הראשון. תוצאות אלה מצביעות על נחיתותו של זבל הודים בהשוואה לזבל בקר או קומפוסט זיתים ישן כחומרי אילוח לערימות הקומפוסט. ייתכן כי הרעילות ההתחלתית הגבוהה של זבל ההודים או ריכוזי הפנול הגבוהים יותר במיצוי הקומפוסט בתחילת המחזור השני (כמתואר בפסקה ג' בהמשך) פגעו בהתפתחותן של האוכלוסיות התרמופיליות והאטו לכן את התחממות הערימות במחזור זה. כמו כן, ההתחממות המהירה יחסית של הערימות במחזור השלישי לעומת המחזור הראשון מצביעה על עדיפות של הוספת קש כחומר נפחי בהשוואה לעלי זית. נפח העקר שהושקה בערימה 2 במחזור הקומפוסטציה הראשון גדול בכ-30% מהנפח שהושקה בשתי הערימות האחרות שהושקו בעקר.

טבלה 2. מאפיינים שונים של שני מחזורי הקומפוסטציה הראשונים

	2005-2006			2006-2007		2007-2008		
Compost bin	1	2	3	1	2	1	2	3
Time to reach thermophilic temperature (d)	16	14	16	25	26	8	8	8
Time of composting (d)	287	287	287	345	345			
Volume of OMW irrigated (L/M ³ -compost)	395	554		389				

ב. תכונות פיזיקליות

תכולת האויר, תכולת המים הזמינים בקלות, הנקבוביות, והצפיפות הנפחית של שלושת הקומפוסטים של מחזור הקומפוסטציה הראשון, ושל כבול מוצגות בטבלה 3. המאפיינים הפיזיקליים של הקומפוסטים המוכנים נחותים יחסית לכבול. עם זאת, הצפיפות הנפחית הנמוכה יחסית, ונפח הנקבוביות והמים הזמינים בקלות הגבוהים יחסית של הקומפוסטים, מרמזים על יכולת שילוב של שלושת הקומפוסטים בתערובות עם כבול ללא פגיעה משמעותית במאפיינים הפיזיקליים של המצע. נפח המים הזמינים בקלות בקומפוסט 2 קטן משמעותית יחסית לשני הקומפוסטים האחרים. נתון זה יכול להעיד על בשלות נמוכה יחסית של קומפוסט 2. במסגרת הטיפול בפסולות בתי הבד, רצוי לטפל בכמה שיותר עקר במהלך הקומפוסטציה. עם זאת, שימוש מוגזם בעקר יכול לעכב את התהליך. ייתכן שכמות העקר הגבוהה משמעותית שבה הורטבה ערימה 2 גרמה לתופעה זו.

טבלה 3. מאפיינים פיזיקליים של הקומפוסטים של מחזור הקומפוסטציה הראשון ושל כבול (V/V %)

Tested parameter	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Peat moss
Free air space	20.2	30.3	25.3	10.3
Easily available water	7.9	3.8	8.1	39.0
Total porosity	84.9	86.3	83.3	95.0
Bulk density (gr cm ⁻³)	0.37	0.33	0.41	0.10

ג. תכונות כימיות.

אנליזות כלליות. בוצע מעקב אחר התכונות הכימיות של הערימות במהלך תקופת הקומפוסטציה. האנליזות כללו: אחוז אפר, אחוז חומר אורגני, אחוז פחמן, יחס C/N וריכוזי יסודות (K, P, N, Ca, Mg, Na). בנוסף נקבעו האלמנטים הבאים במיצוי 1:10: pH, EC, total N, NO₃, NH₄, PO₄, K, Cl. הבדיקות בוצעו במעבדת שירות שדה בנווה יער. ערכי חלק מהאלמנטים שנבדקו בסוף הקומפוסטציה מוצגים בטבלה 4. כל הקומפוסטים בשני המחזורים מכילים אחוז גבוה יחסית של חומר אורגני. תוצאה זו מצביעה על אופיה של גפת הזיתים כחומר הגלם שמכיל אחוז גבוה של חומרים קשי פירוק. אחוז חומר אורגני גבוה תורם להעלאת אחוז החומר האורגני בקרקע עם פיזור הקומפוסט. לתכונה זו יש משמעות חשובה בקרקעות ישראל שהן דלות יחסית בחומר אורגני. בערימות 1 ו-3 של מחזור הקומפוסטציה הראשון, יחס C/N נמוך ויחס חנקן/אמון גבוה יחסית לערימה 2. תוצאות אלו מעידות על רמת בשלות גבוהה יחסית של ערימות 1 ו-3 במחזור הראשון. ייתכן שההבדלים בין ערימות 1 ו-2 במדדי הבשלות נובעים מכמות העקר הגבוהה בהרבה שיושמה בערימה 2. במחזור הקומפוסטציה השני ניכרת ההשפעה של זבל ההודו ששימש כמקור אילוח על ערכי המוליכות החשמלית, וה-K, P, Total N הגבוהים יחסית לערכים שהתקבלו במחזור הקומפוסטציה הראשון. יחס חנקן/אמון נמוך וערכי חומר אורגני במיצוי גבוהים, בשני הקומפוסטים מהמחזור השני מעידים על רמת בשלות נמוכה יחסית למרות יחס C/N נמוך. סביר להניח שיחס C/N נמוך בקומפוסטים אלו בגלל ההשפעה של אחוז החנקן הגבוה בזבל ההודים. בכל הקומפוסטים משני המחזורים יש תכולת NPK גבוהה. תכונה זו מלמדת על פוטנציאל הערך ההזנתי של הקומפוסטים. בנוסף, בכל הערימות שהושקו בעקר, שמכיל ריכוז גבוה של אשלגן, נמצאו ריכוזי אשלגן גבוהים יחסית. פרט למדד זה לא נמצאו הבדלים משמעותיים בין הערימות שהושקו בעקר ובמים.

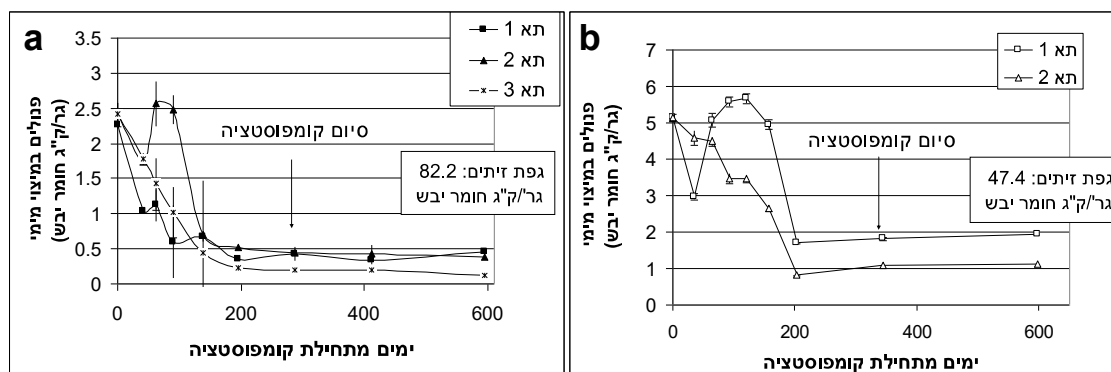
טבלה 4. ערכי מדדים כימיים של הקומפוסטים משני מחזורי הקומפוסטציה הראשונים (המחזור השלישי טרם הסתיים)

	מחזור ראשון (2005-6)			מחזור שני (2006-7)	
	1	2	3	1	2
Compost bin					
C/N	12.9	17	15.3	11.6	11.6
EC (dS m ⁻¹)	2.98	2.83	2.62	5.26	3.9
pH	7.8	8.2	8	9	8.5
Total OM (%)	73.3	79.4	75.0	72.4	70.6
Dissolved organic matter (mg L ⁻¹)	2375	2125	2125	4464	3125
Total N (%)	3.35	2.74	2.88	3.45	3.58
Total P (%)	0.46	0.26	0.22	1.6	1.64
Total K (%)	2.68	2.68	1.53	4.4	3.4
N-NO ₃ (mg L ⁻¹)/ N-NH ₄ (mg L ⁻¹)	10.71	2.92	6.34	2.59	2.37

ריכוז פנולים כללי. נעשה מיצוי מימי ביחס 1:10 (משקל קומפוסט יבש למים) עבור דגימות במשקל יבש של 2.5 גרם. הדוגמאות טולטלו למשך שעה וסורכזו (8500 rpm, 20 דקות) לאחר מכן. האנליזה בוצעה בעזרת ריאגנט פולין וקביעת הבליעה בספקטרומטר באורך גל של 725 nm. ריכוז הפנולים נקבע על פי עקום כיוול שהוכן עם caffeic acid. התוצאות שהתקבלו בשני מחזורי הקומפוסטציה הראשונים מוצגות באיור מס' 1. ניתן לראות כי בשני מחזורי הקומפוסטציה חלה ירידה רציפה וקבועה בריכוז הפנולים במהלך הקומפוסטציה בערימות שהורטבו במים. בערימות שהורטבו בעקר, שמכיל ריכוז פנולים גבוה, ישנה עליה בריכוז הפנולים בשלבים הראשונים של הקומפוסטציה. בהמשך הקומפוסטציה, עם הפסקת ההרטבה של הערימות בעקר, ריכוז הפנולים בערימות אלו יורד לריכוזים דומים לאלו שהתקבלו בערימות שהורטבו במים. במחזור הקומפוסטציה הראשון, ההשפעה של ההרטבה בעקר על העליה בריכוז הפנולים היא גדולה יותר בערימה 2 מאשר בערימה 1. הבדל זה נגרם כנראה בגלל נפח העקר הגדול בהרבה שבו הורטבה ערימה 2. ריכוז הפנולים בערימות בתחילת הקומפוסטציה היה יותר מכפול בערימות המחזור השני יחסית למחזור הראשון. ייתכן שהבדל זה נגרם בגלל הבדלים בריכוז הפנולים בגפת הזיתים שהתקבלה בשתי עונות הניסוי. למרות הירידה החדה בריכוזי הפנולים בכל הערימות בסוף התהליך, ריכוזי הפנולים בקומפוסטים מהמחזור השני, וביחוד קומפוסט 1 שהורטב בעקר היו גבוהים יותר יחסית לקומפוסטים מהמחזור הראשון. ריכוזי הפנולים בקומפוסטים מהמחזור השני היו 2 ו-1 גרם/ק"ג חומר יבש בקומפוסטים 1 ו-2 בהתאמה, ובקומפוסטים מהמחזור

הראשון ריכוז הפנולים היה פחות מ-0.5 גרם/ק"ג חומר יבש בכל הקומפוסטים. הבדלים אלו יכלו להיגרם בגלל ריכוז הפנולים ההתחלתי הכפול בערימות מהמחזור השני או בגלל הבדלים אחרים בין תהליכי הקומפוסטציה בין שני המחזורים. ריכוזי הפנולים בכל הקומפוסטים נמדדו מספר חודשים לאחר סיום תהליך הקומפוסטציה. לא נמצאו הבדלים משמעותיים בערכים שנמדדו בבדיקות אלה יחסית לערכים שנמדדו בסיום התהליך.

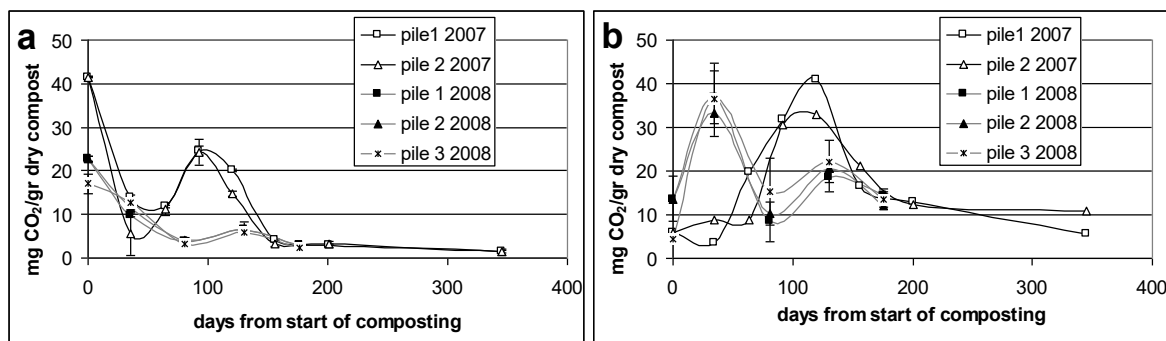
איור 1. ריכוז כלל הפנולים במהלך הקומפוסטציה. כל נקודה מייצגת את ממוצע התערובת לאחר ערבוב בזמן 0 ובמועדי ההפיכה (a – מחזור ראשון 2005-6, b – מחזור שני 2006-7).



ד. נשימה מיקרוביאלית

הנשימה של האוכלוסיה המזופילית (a) והתרמופילית (b) של דגימות ממחזורי הקומפוסטציה השני והשלישי מוצגת באיור 2. הנשימה המיקרוביאלית נבדקה ע"י הדגרת 20 גר' קומפוסט למשך 48 שעות, בתוך צנצנות בנפח 2 ליטר עם סגירה הרמטית. הצנצנות מכילות מלכות NaOH וערכי ה- CO_2 מחושבים מתוך טיטרציה עם HCl. הדוגמאות הודגרו בטמפרטורה מזופילית (25 מ"צ) ותרמופילית (55 מ"צ), כך שהתוצאות מייצגות את פוטנציאל הנשימה של האוכלוסיות המזופיליות והתרמופיליות לאורך תהליך הקומפוסטציה במחזורים השני והשלישי. הנשימה המזופילית היתה גבוהה ביותר בתחילת התהליך בשני המחזורים. במחזור השני בשתי הערימות, ערכי הנשימה המזופילית בתחילת התהליך היו גבוהים יחסית לאלו של המחזור השלישי. בנוסף, לאחר 100 ימי קומפוסטציה חלה במחזור השני עלייה נוספת (בלתי מוסברת) בערכי הנשימה המזופילית. בשלוש הערימות של המחזור השלישי חלה ירידה הדרגתית בנשימה המזופילית עד לערכים נמוכים וקבועים לאחר 100 ימי קומפוסטציה. רמת הנשימה התרמופילית עלתה מהר בשלוש הערימות של המחזור השלישי יחסית לשתי הערימות של המחזור השני. תוצאה זו מלמדת על היווצרות תנאים עדיפים עבור תהליך הקומפוסטציה בערימות מהמחזור השלישי, והיא תואמת את קצב ההגעה המהיר יחסית לשלב התרמופילי בערימות המחזור השלישי (טבלה 3) בשני מחזורי הקומפוסטציה לא נראים הבדלים משמעותיים בין ערימות הקומפוסט של אותו מחזור. לעומת זאת נראים הבדלים משמעותיים בין מחזורי הקומפוסטציה. תוצאה זו מצביעה על מקור חומר האילוח של הערימות כגורם המשפיע ביותר על הנשימה המיקרוביאלית. לעומת זאת, לחומר המשמש להרטבת הערימות (עקר או מים) ולטמפרטורת המקסימום של הערימות (55 או 60 מ"צ) יש השפעה מועטה על הנשימה המיקרוביאלית.

איור 2. נשימה פוטנציאלית של אוכלוסיות מזופיליות (25 מ"צ) (a) ותרמופיליות (55 מ"צ) (b) לאורך מחזורי הקומפוסטציה השני (2006-7) והשלישי (2007-8). הערכים הם עבור נשימה במשך 48 שעות. כל נקודה מייצגת את ממוצע התערובת לאחר ערבוב בזמן 0 ובמועדי ההפיכה.



ה. רעילות התערובות במהלך הקומפוסטציה

תערובות מכל מועד דגימה עברו מיצוי במים מזוקקים ביחס של 1:10. (טילטול למשך שעה וסרכוז ב- 8,500 rpm למשך 20 דקות). ארבעה סמ"ק של תמיסת המיצוי (או מים מזוקקים לביקורת) שימשו להרטבה של נייר סינון בקוטר 90 מ"מ מסיבי זכוכית (תוצרת פילטרק גרמניה, מקביל GF/A של ווטמן) אשר הונח על צלחת פטרי. עשרה זרעים של שחליים עדינים (*Lepidium Sativum*) נזרעו בכל צלחת על גבי נייר הסינון. כל טיפול בוצע ב- 3 צלחות (סה"כ 30 זרעים; כל זרע מהווה חזרה). יומיים לאחר הזריעה נבדקו אחוזי הנביטה ונמדד אורך השורשונים. התוצאות הוצגו כ- % מטיפול הביקורת (מים מזוקקים). התוצאות שהתקבלו עבור חומרי הגלם של תהליכי הקומפוסטציה משני המחזוריים הראשונים מוצגות בטבלה 5. תוצאות הרעילות שהתקבלו עבור שני מחזורי הקומפוסטציה הראשונים מוצגות באיור 3.

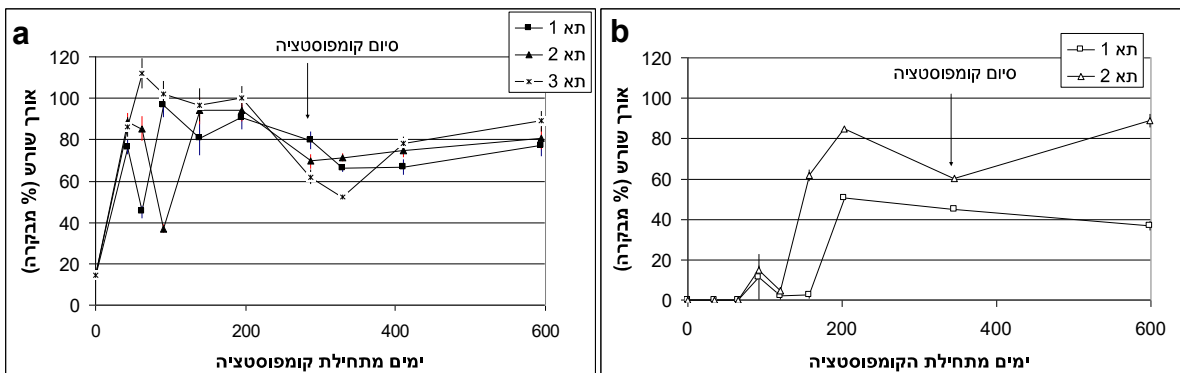
טבלה 5. רעילות חומרי הגלם של שני מחזורי הקומפוסטציה הראשונים (אורך שרשון כ- % מביקורת).

2006-2007			2005-2006		
קש חיטה	זבל הודים	גפת	עלי זית	זבל בקר	גפת
35.19±0.36	0	52.66±0.68	67.52±0.94	92.2±2.47	5.85±0.13

רעילות הגפת שהתקבלה במחזור הראשון גבוהה יחסית לגפת שהתקבלה במחזור השני. מיצוי זבל ההודים רעיל מאד, ולא איפשר נביטה כלשהיא של הזרעים. לעומת זאת זבל הבקר כמעט שאינו רעיל. קש החיטה רעיל בגלל המוליכות החשמלית הגבוהה של מיצויו (6.13). עם זאת, בגלל היותו חומר קל פירוק, סביר להניח שחומרים שמקורם בקש החיטה אינם אחראים לרעילות הקומפוסטים במהלך ובסוף הקומפוסטציה. למרות רעילות הגפת הגבוהה יחסית במחזור הראשון, רעילות הערימות בתחילת התהליך הייתה נמוכה יחסית למחזור השני (איור 3). תוצאות מבחני הרעילות מצביעות על זבל ההודים כאחראי לרעילות הגבוהה יחסית של שתי הערימות מהמחזור השני. בהמשך התהליך, חלה ירידה משמעותית ברעילות של כל הערימות במחזור הראשון, עד ערכים דומים לערכי הביקורת אחרי 200 ימי קומפוסטציה. בסיום הקומפוסטציה ובבדיקות שנערכו לאחר מכן, יש עלייה יחסית ברעילות. הסיבה לעליה ברעילות אינה ברורה. עם

זאת, נראה שההרטבה בעקר איננה המקור לעלייה ברעילות, משום שהעליה ברעילות הופיעה בכל שלוש הערימות, כולל הערימה שהורטבה במים. במחזור הקומפוסטציה השני נשמרה רעילות גבוהה בערימות זמן רב יחסית למחזור הראשון. לקראת סוף התהליך נראתה ירידה מסוימת ברעילות. הירידה ברעילות משמעותית יותר בערימה 2 מאשר בערימה 1 שהורטבה בעקר. ייתכן שההרטבה בעקר גרמה לרעילות הגבוהה יחסית בערימה 1. עם זאת, הגורם המשמעותי ביותר בקביעת הרעילות במחזור הקומפוסטציה השני הוא השימוש בזבל ההודים כפי שמשקף ברעילות הגבוהה של שתי הערימות במחזור השני לעומת הערימות במחזור הראשון.

איור 3. רעילות התערובת במהלך הקומפוסטציה. אורך השורשונים במיצי הקומפוסטים מבוטא כאחוז מאורך השורשונים בביקורת. כל נקודה מייצגת את ממוצע התערובת לאחר ערבוב בזמן 0 ובמועדי ההפיכה a – מחזור ראשון 2005-6, b – מחזור שני 2006-7.



3.2 ערכו האגרונומי של הקומפוסט

בסעיף זה תוצגנה תוצאות הבחינות שנעשו לקומפוסטים שיוצרו בשני מחזורי הקומפוסטציה הראשונים. בוצעו, על פי המתוכנן, 3 סוגי מבדקים: מבחן לכשר דיכוי מחלות נישאות-קרקע, מבחן לכושר שיחרור חנקן לאורך זמן ומבחן גידול במצע כבול המכיל כמויות שונות של הקומפוסטים.

א. דיכוי מחלות נישאות קרקע

נבחנו יכולתם של הקומפוסטים שיוצרו במחזור הראשון והשני לדכא את הפוזריום של המלון (*Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis*, FOM) ואת הפוזריום של המלפפון (*Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis cucumerinum*, FORC). צמחי מלון מהזן אופיר הרגיש לפוזריום נזרעו במצע חול. לאחר הנביטה הם אולחו בריכוז של 1.5×10^5 נבגי FOM לסמ"ק ונשתלו במצעים שהכילו כבול, שלושת סוגי הקומפוסט וקומפוסט עגבניות שיכולת הדיכוי שלו כבר תועדה בעבר (Yogev et al., 2006). הקומפוסטים הכילו רעילות שאריתית מסוימת ולכן, כאמצעי זהירות, נשטפו בנפח אחד של מים לפני הניסוי. המצעים השונים עורבבו עם פרלייט מס. 2 (יחס 1:1 עבור הכבול וקומפוסט הביקורת ו 1:2 עבור קומפוסטי הגפת). נערך מעקב אחרי מצב הצמחים לאורך 23 ימים. בחלק גדול מהצמחים שגודלו בכבול הופיעו סימני מחלה כבר לאחר 10 ימים, מועד בו החלו רק צמחים בודדים שגודלו בתערובות הקומפוסטים משני המחזורים לגלות סימני פגיעה (איור 4). עם סיום הניסוי חושבו השטחים מתחת לעקומות התפתחות המחלה

(AUDPC) ונערך ניתוח שונות להבדלים ביניהם. נמצא כי כל הקומפוסטים גילו מידה דומה של סופרסיביות כלפי הפתוגן בעוד שהכבול איפשר התפתחות בלתי מופרעת שלו. בניסוי דומה נבדקה מערכת הפתוגן/פונדקאי מלפפון/פוזריום ונתקבלו תוצאות דומות. ניתן להסיק כי קומפוסטים אלו מגלים מידה ניכרת של סופרסיביות, בדומה למה שנמצא בקומפוסטים טובים אחרים (Yogev et al., 2006).

איור 4. מעקב אחרי הופעת סימני מחלה בצמחי מלון מהזן "אופיר" שאולחו בפוזריום וגודלו במצעים שונים ממחזור הקומפוסטציה הראשון (a) והשני (b).



ב. קצב שיחרור חנקן לקרקע

קומפוסטים ממחזור הקומפוסטציה הראשון הוספו לקרקע שנלקחה מהמטע האורגני בנוה יער (קרקע המכילה 2% חומר אורגני, Raviv et al., 2006) בשיעור של 5% על בסיס משקלי. הביקורת היתה אותה קרקע ללא הוספת קומפוסט. ניסוי זה מדמה כושר ניטריפיקציה של הקומפוסטים בתנאים של פיזור בשדה. קומפוסטים ממחזור הקומפוסטציה השני עורבבו עם כבול בשיעור של 40% על בסיס נפחי. הביקורת היתה כבול ללא קומפוסט. ניסוי זה מדמה כושר ניטריפיקציה של קומפוסטים שמשמשים כרכיב במצע גידול. התערובות השונות הוכנסו לקולונות שנשמרו בתנאי קיבול שדה, בתנאי טמפרטורה ולחות אחידים (25 ± 1 מ"צ, 60 ± 5 RH). הקולונות נשטפו במים אחת לחודש ונבדקו צורות החנקן השונות במי התשטף. חושבה כמות החנקן המסיס שהודחה מהקרקעות ואשר מקבילה לכמות שהיתה עשויה להיות זמינה עבור צמחים. כמויות החנקן הזמין המצטבר ביחס למשקל הקרקע עבור המחזור הראשון (a) ולמשקל הכבול עבור המחזור השני (b) מוצגות באיור 5. בתוצאות שהתקבלו בניסוי עם הקומפוסטים של המחזור הראשון שמדמה פיזור בשדה ניתן לראות כי לאורך כ- 80 יום הוספת הקומפוסט גורמת לקיבוע מסויים של חנקן. לאחר תקופה זו החל שיחרור נטו של חנקן והכמות המצטברת הסופית של חנקן מוסף היתה 12%, 27% ו 34% עבור הקומפוסטים 2, 3 ו 1, בהתאמה, מעל מה שהשתחרר מתמיסת קרקע הביקורת. המסקנה מכך היא כי ניתן בהחלט להתייחס לתרומת החנקן של קומפוסטים 1 ו-3 כרכיב בהזנת צמחים שיגודלו בקרקע אשר תטויב בקומפוסטים אלו. בתוצאות שהתקבלו בניסוי עם הקומפוסטים מהמחזור השני שמדמה שימוש בתערובות של הקומפוסטים עם כבול כמצע גידול נראה שהחנקן שנוסף עם הקומפוסטים גרם לעליה משמעותית בכמות החנקן הזמין כבר בזמן 0 בו הוכנו התערובות. בהמשך משתחררות כמויות

