

השפעת יישום קומפוסט על המבנה והתפקוד של אוכלוסיות מיקרואורגניזמים בקרקע ויעילותו בדיכוי מחלות צמחים

מדי קן¹

הגידול באוכלוסייה, העלייה ברמת החיים והשינוי בדפוסי ההתנהגות הגדילו פי כמה וכמה את כמויות הפסולת שהחברה המודרנית מייצרת בבית, בתעשייה ובחקלאות. כיום השיטה המרכזית לטיפול בפסולת בישראל היא הטמנה, אך שטחי ההטמנה הפנויים הולכים ופוחתים וחייבים למצוא פתרון נוסף לטיפול בפסולת. הקומפוסטציה היא אחד מהפתרונות הטובים ביותר לטיפול בפסולת אורגנית, והיא היעילה ביותר לטווח הארוך.

במהלך הקומפוסטציה קטנה כמות החומר לכמחצית, בנוסף היא מונעת מטרדים הנגרמים מאשפה טרייה כגון ריחות רעים ומקור לדגירת חרקים ומזהמים (אבנימלך 1996). לכן חשיבות תהליך הקומפוסטציה כיום היא לא רק בשל הערך הכלכלי שיש לקומפוסט בחקלאות אלא גם בשל הערך של שמירה על איכות הסביבה.

תפקוד הקומפוסט ויתרונותיו



לקומפוסט תפקיד בהזנת צמחים, יישום (הוספת) קומפוסט מעלה את תכולת הזרחן והחנקן בקרקע ובצמח (2005 Gilley et. al 2002, Ruppenthal and Castro), הקומפוסט מעלה את זמינות הנוטריינטים לצמח, דבר המתבטא בריכוזם באיברי הצמח השונים (2002 Viator et. al). כמו כן קומפוסט משפר את מבנה הקרקע, כאשר מיישמים קומפוסט, עולה אחוז החומר האורגני בקרקע, המשנה את המבנה התלכדי של החלקיקים בקרקע, ומשפיע על נקבוביות הקרקע, לכן יישום קומפוסט מגדיל את תאחיזת המים של הקרקע וכמובן את כמות המים הזמינה לצמחים (2007 Suzuki et al). כאשר מיישמים קומפוסט הדבר משפר את ניקוז המים בקרקע. להוספת קומפוסט, השפעה חיובית על חילוף גזים ועל חדירת חמצן לבית השורשים.

יתרון חשוב ליישום קומפוסט הוא דיכוי מחלות המועברות בקרקע. לאחרון חשיבות עצומה בהדברה ביולוגית ובהפחתת השימוש בחומרי הדברה ובחיסויים כימיים בחקלאות. הקומפוסט משנה לחלוטין את אוכלוסיות החיידקים בסביבה, כלומר ליישום קומפוסט השפעה על המבנה ועל התפקוד של האוכלוסייה המיקרוביאלית בקרקע ובסביבת הצמח.

תהליך הקומפוסטציה



תהליך הקומפוסטציה הוא תהליך ביולוגי בו עוברים חומרים אורגניים פירוק ודגרדציה על-ידי מיקרואורגניזמים. התהליך מתרחש בתנאים אירוביים כלומר בנוכחות חמצן. בתהליך ניתן להבחין בארבעה שלבים, הנבדלים זה

¹מדי קן - תיכון לדורה צ"ע רבין medi_kan@hotmail.com

מזה בטמפרטורות השוררות בקומפוסט ובמגוון והרכב המיקרואורגניזמים המאכלסים את הקומפוסט (Tim 1993). (Haug).

- השלב הראשון מתרחש במהלך 24-48 השעות הראשונות והוא מכונה השלב המזופילי. טמפרטורה הקומפוסט עולה ל- 40°C – 50°C , אז מתפרקים הסוכרים ושאר החומרים הנוטים להתפרק בקלות בקומפוסט. בסוף שלב זה מכיל הקומפוסט מיקרואורגניזמים תרמופיליים בלבד המותאמים לשרוד בתנאי חום קיצוניים.
- השלב השני, הוא השלב התרמופילי, הטמפרטורה עולה ל- 40°C – 80°C והוא יכול להמשך חודשים במהלכם הופכים את ערימת הקומפוסט מספר פעמים כדי שכל חלקי הקומפוסט יחשפו לטמפרטורה הגבוהה. בשלב זה מתרחש פירוק חומרים קשי פירוק כמו תאית, והמיקרואורגניזמים התרמופיליים, הזרעים והנבגים בקומפוסט מושמדים.
- השלב השלישי הוא שלב ההבשלה – קצב הפירוק יורד והטמפרטורה גם היא יורדת בהדרגה. בשלב זה גם מתחילות להתפתח בקומפוסט אוכלוסיות מיקרואורגניזמים חדשות ובנוסף החומר האורגני שהתפרק עובר פילמור. לאחר תהליך הקומפוסטציה התוצר המתקבל הוא קומפוסט נקי מפתוגנים ומריחות רעים (הדר וכהן 1996).

בתהליך הקומפוסטציה, מתים מיקרואורגניזמים בשלב התרמופילי, אז מאכלסים את הקומפוסט חיידקים ופטריות. אוכלוסייה זו של מיקרואורגניזמים בקומפוסט, הרכבה ויחסי הגומלין בתוכה קובעים את תכונות הקומפוסט ומשפיעים על יעילותו בדיכוי של מחלות צמחים.

ישנן שתי שיטות עיקריות לקומפוסטציה: השיטה הפתוחה, שהיא השיטה הנפוצה יותר, ובה מציבים את הקומפוסט באוויר הפתוח בערימות בגובה 2 מ' ובקוטר של 2 מ', וכדי שכל המצע יתאוויר הופכים את הערימות בתדירות גבוהה. השיטה השנייה היא השיטה הסגורה שבה מניעים את הקומפוסט דרך ריאקטורים בתהליך שנמשך 7-12 ימים ובסופו הקומפוסט מונח שוב בערימות להמשך התהליך. יתרון השיטה הסגורה הוא שמתאפשרת יותר בקרה על התנאים, כך מושגים תנאי האופטימום ותהליך הקומפוסטציה מהיר יותר.

ניתן לייצר קומפוסט מחומרי גלם שונים. מקורות החומר האורגני העיקריים המשמשים היום בתהליכי קומפוסטציה הם פסולת חקלאית (כמו הפרשות בעלי חיים, רקבוביות עלים, קליפות עצים), פסולת תעשייתית אורגנית בעיקר מתעשיית הנייר והמזון (כמו נסורת, שעם, גפת ענבים), פסולת עירונית (גזם עצים, שאריות מזון) ובוצת שפכים (גורודצקי 1986).



מנגנונים לדיכוי מחלות צמחים על-ידי הקומפוסט

סטריליזציה של הקומפוסט גורמת בדרך כלל לאיבוד יכולת דיכוי המחלות מה שמעיד על כך שהמכניזם הוא בעיקרו ביולוגי, למרות שגם פקטורים כימו-פיזיקליים מעורבים בכך, למשל דרגת ה-pH של הקומפוסט (Borrero et al 2004)

ידועים ארבעה מנגנונים היכולים להסביר את ההדברה הביולוגית של מחלות צמחים המועברות בקרקע באמצעות קומפוסט: תחרות על מקורות מזון, אנטיביוזיס, טפיליות והשראת עמידות. להלן מעט פירוט על כל אחד ממנגנונים אלה:

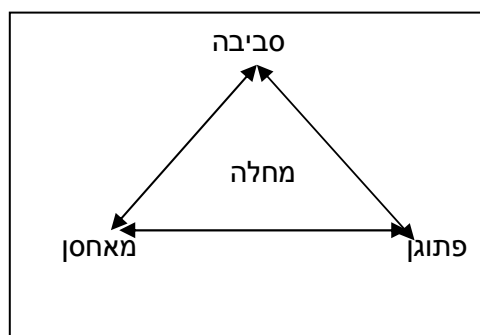
1. תחרות על מקורות מזון: בתהליך יצירת הקומפוסט מתים מיקרואורגניזמים ממחסור במזון בעיקר מחסור בפחמן, חנקן וברזל. התחרות על מקורות המזון המוגבלים גוררת הקטנה של אוכלוסיות המיקרואורגניזמים גורמי מחלות הצמחים בדרך של הדברה ביולוגית. המחקרים מתמקדים בגורמי הדברה ביולוגית, המתחרים בעיקר על ברזל. לדוגמא, נמצא שתחרות היא כנראה הגורם העיקרי במנגנון דיכוי של הפטרייה *פיתיוס* במצעים מנותקים. יחסי הגומלין, תחרות בפרט, בין האוכלוסיות בקרקע ובריזוספירה² משפיעים באופן משמעותי על יכולת ההדברה הביולוגית (Entry et al 2005).
2. אנטיביוזיס: תופעה זו מוגדרת כעיכוב פעילות של אורגניזם אחד על-ידי מטבוליט של אורגניזם אחר. בנושא שלנו - הפרשה של תרכובות אורגניות על-ידי מיקרואורגניזמים המתפתחים בקומפוסט שפוגעות בגידול או בפעילות המטבולית של מיקרואורגניזמים אחרים, גורמי מחלות למשל. קיימים תבדידים (זנים מבודדים) של פטריות המייצרים חומרים אנטיביוטיים ומשמשים להדברה ביולוגית במצעי קומפוסט ובקרקעות מדכאות (הדר וכהן 1996).
3. טפיליות: התקפה ישירה של אורגניזם אחד על-ידי אורגניזם אחר וניצולו כמקור מזון. הידועה ביותר היא פטריית *Trichoderma* הידועה ביכולת הטפיליות שלה על מחוללי מחלות רבים, בעיקר על הפטרייה *Rhizoctonia soani*, יחסי טפיליות אלו נחקרו רבות. (קיימת הכרה ספציפית בין האנטגוניסט ואורגניזם המטרה (הפתוגן) ומנגנונים אחדים כגון דגרדציה של דופן התא מעורבים בדיכוי הפתוגן. אנטגוניסטים³ נוספים ידועים הם *Conuothyrium minitans* ו-*Sporidemia sclerotivorum* היעילים בדיכוי מחלה הנגרמת על-ידי *Sclerotinia spp.* (Albouvette et al 2006).
4. השראת עמידות: הקניית עמידות לצמח המושרית על-ידי חיידקים. השראת עמידות של צמחים לאחר חשיפתם למיקרואורגניזמים שאינם פתוגניים או לתוצר שלהם, נחשבת לאחד המנגנונים הנפוצים בטבע.

² ריזוספירה, איזור מצומצם בקרקע שמושפע ישירות מהפרשות שורשי הצמח ומכיל בקטריות, פטריות וצמחים טפיליים.

³ תוך כדי תהליך הכנת הקומפוסט, מתרבה בתוכו אוכלוסיית מיקרואורגניזמים שברובה אנטגוניסטית לפתוגנים בקרקע

הקניית עמידות מושרית לצמח אפשרית לדוגמה על-ידי העלאת רמת הפיטואלקסינים⁴ בצמח. נצפתה ירידה במחלות צמחים, לאחר יישום קומפוסט לקרקע, ונראה שהמנגנון האחראי לכך הוא השראה סיסטמית⁵ של עמידות בצמחים (הדר וכהן 1996).

נוכחות של מיני מיקרואורגניזמים גורמי מחלות בתוצרת חקלאית תלוי בהרבה גורמים משתנים, למשל, סוג היבול, תכונות הקרקע, שיטות העיבוד החקלאיות, מצב הצמח, מין הצמח, אקלים, תנאי קציר היבול, טכניקות הקציר שיטות הייבוש, ושיטות האחסון בבית האריזה (Sempere and Santamarina 2007). קיימים יחסי גומלין בין הצמח, הפתוגן והסביבה. ניתן לתאר את יחסי הגומלין דרך איור מס' 1 כל אחד מהרכיבים משפיע על השאר ורק השילוב בין כולם גורם להתפתחות מחלה.



איור מס' 1: יחסי הגומלין בין פתוגן, סביבה (קומפוסט) ומאחסן (צמח) ביצירת מחלה.

קשר זה הוכח באופן ודאי בעבודתם של (Termorshuizen et. al 2006), מסקנה עיקרית בעבודתם היא שיישום של קומפוסט גם אם לא תמיד מדכא מחלות המועברות בקרקע אלא רק בחלק מהמקרים (54%) רק לעיתים נדירות יכול לגרום לעידוד של פתוגנים.

כושרו של הקומפוסט בדיכוי מחלות צמחים



קיימים כמה גורמים המשפיעים על כושרו של הקומפוסט לדכא מחלות צמחים: גיל ובשלות הקומפוסט, חומרי הגלם מהם מיוצר הקומפוסט, תכולת הרטיבות שבו, מגוון המיקרואורגניזמים המזופיליים המאכלסים אותו, מליחות וזמינות המזון שבו (Borrero et. al 2004).

גורמים נוספים בעלי חשיבות לגבי כושרו של הקומפוסט לדכא מחלות הם הביומסה המיקרוביאלית (Darby et.al 2006), הפעילות המיקרוביאלית במצע הקומפוסט, טיפולי חום סלקטיביים אשר משמידים גורמי מחלות אך לא פוגעים באוכלוסייה האנטגוניסטית הספרופיטית במצע, והשפעת תוספת של אנטגוניסטים.

⁴ חומרים רעילים למזיקים

⁵ מיקרואורגניזמים בקרקע המפרישים חומרים הנקלטים על-ידי השורשים ומקנים עמידות לצמח כולו.

קיים קושי בקביעת בשלותו של הקומפוסט, ולקביעה זו חשיבות מרובה, שכן הוכח שבעוד שקומפוסט בשל יעיל בדיכוי מחלות, קומפוסט שאינו בשל עלול לגרום לבעיות כגון פיטוטוקסיות (רעילות לצמחים), נגיעות בגורמי מחלה וחוסר יכולת לדכא גורמי מחלות מזיהום חיצוני ומהקומפוסט.

בשלות הקומפוסט נקבעת על-ידי כמה פרמטרים: פרמטרים כימיים כגון קצב צריכת חמצן, פליטת CO_2 , כמות חנקן כללי ופחמן אנאורגני מסיס וקיבול קטיונים. פרמטרים ביולוגיים המשמשים לקביעת פעילות מקרוביאלית, כגון נשימה, חומצות שומן פוספוליפידיות (PLFA) ודעיכה פלורוסנטית (FDA); פרמטרים פיזיקאליים כגון צפיפות גושית, טמפרטורה, מוליכות חשמלית (Jeanine I. Boulter-Bitzer 2005).

יכולת דיכוי של מחלות צמחים המועברות בקרקע תלויה באופן ישיר במידת הקומפוסט המיושמת. נמצא שריכוז של 20% (V/V) לפחות, נדרש כדי לקבל סופרסיביות מיטבית (Noble 2005).

הרכב האוכלוסייה של אורגניזמים בקרקע קשור באופן ישיר לסוג הקרקע ולתכונותיה כלומר, הרכב הקרקע, כמות החומר האורגני שבקרקע, וכדומה (Perez-Piqueres et al 2005). למין הצמח ולגורמים סביבתיים כגון גורמים אקלימיים ואף גורמים שמקורם בפעילות האדם (אנתרופוגנים), כגון מדברי חרקים (פסטיצידיים) ומדברי צמחים (הרביצידיים) השפעה ניכרת על אוכלוסיות המיקרואורגניזמים בקרקע ובסביבת השורש. אולם, נמצא כי יכולת הדיכוי של קומפוסט אינה קבועה, יכולת הדיכוי תלויה בהרכב הקומפוסט. לדוגמה, היעילות של דיכוי מחלות מסוימות עולה בתוספת כבול. הוכח גם שתערובת של קרקע וקומפוסט נמצאה יעילה יותר בדיכוי מחלות מאשר קומפוסט לבדו. השפעה מכרעת בדיכוי מחלות יש גם לסוג הפתוגן, פתוגנים שונים מגיבים באופן שונה ליישום קומפוסט (Scheuerell et al 2004).

מחקר על יישום קומפוסט



בשל יתרונות הקומפוסט והקומפוסטציה, נעשות בכל העולם עבודות מחקר רבות בנושא. אחד הנושאים הנחקרים הוא יכולת הדיכוי המחלות של הקומפוסט, ובעיקר היכולת לחזות את כושרו של קומפוסט מסוים כמדביר ביולוגי. לעבודות אלו חשיבות סביבתית רבה שכן הגברת השימוש בהדברה ביולוגית תפחית במידה ניכרת את השימוש בכימיקאליים להדברה של מחלות ומזיקים בחקלאות. להדברה ביולוגית ורווחים ישירים ועקיפים ביניהם, הפחתת זיהום קרקע, זיהום מי תהום ומים עיליים, הקטנת נזק לבעלי חיים ולאדם ורווחים כלכליים.

אולם עדיין קיימות שאלות לא פתורות, חלקן נובעות ממגבלות טכניות בעריכה המחקרים.

אחת הבעיות העיקריות היא שמרבית העבודות שנסקרו נערכו במעבדה, in-vitro. בדיקות כאלה לא בהכרח משקפות את המתרחש במציאות שכן, יחסי הגומלין הנוצרים בצלחת פטרי או אפילו בעציץ אינם בהכרח היחסים שמתקיימים בשדה. תחום שלא נחקר מספיק הוא התרכובות האורגניות המופרשות על-ידי אוכלוסיות אנטגוניסטיות בקומפוסט. כפי שמצוין למעלה, הצליחו לאפיין אורגניזמים אנטגוניסטיים בקומפוסט, מיקרואורגניזמים אלו נחקרו וידועים מטאבוליטיים משניים המופרשים על-ידם, אולם יש לחקור אם מנגנונים אלה אכן מתקיימים בקומפוסט כמשוער.

הקשר בין בשלות הקומפוסט ומידת הסופרסיביות שלו, גם הוא עדיין לא מובהק. מעבר לזה שעדיין אין פרמטרים קבועים ואחידים אשר על פיהם ניתן לקבוע במעבדה את בשלות הקומפוסט, לא תמיד קומפוסט בשל הוא סופרסיבי והמבחן האמיתי הוא מבחן המציאות' ולכן יש להמשיך ולחקור בנושא.

מסקנה עיקרית בעבודתם של Termorshuizen et. al 2006 היא שליישום קומפוסט השפעה סופרסיבית ב-54% מהמקרים שנבדקו או שאין השפעה בכלל רק במקרים נדירים 3.3%, יישום קומפוסט השרה מחלה. יש להדגיש ששום קומפוסט לא היה סופרסיבי לכל המחלות שנבדקו. באותה מידה, לא כל הפתוגנים הראו את אותה תגובה ליישום קומפוסט. המלצתם, הנובעת במישרין מתוך העבודה, היא ליישם קומפוסט בחקלאות.

מקורות מידע

1. אבנימלך, י. (1996). "קומפוסטציה: הופכים זבל לזהב". לבן-כחול-ירוק, גיליון מס' 9 (14-15).
2. גורודצקי, ב. (1986). דיכוי מחלות המועברות בקרקע על ידי קומפוסטים מפסולת חקלאית. עבודת גמר לקבלת התואר M.Sc, מוגשת לאוניברסיטה העברית בירושלים, הפקולטה לחקלאות, רחובות.
3. הדר י, כהן ר (1996). הדברה ביולוגית של מחלות המועברות בקרקע באמצעות קומפוסט. מחקר חקלאי בישראל ח' (2-1): 101-126.
4. Alabouvette C, Olivain C, Steinberg C (2006). Biological control of plant diseases: the European situation. European Journal Of Plant Pathology 114 (3): 329-341.
5. Borrero C, Trillas MI, Ordovas J, Tello JC, Aviles M (2004). Predictive factors for the suppression of fusarium wilt of tomato in plant growth media. Phytopathology 94 (10): 1094-1101.
6. Boulter-Bitzer J I, Trevors J T, Boland G J (2005). A polyphasic approach for assessing maturity and stability in compost intended for suppression of plant pathogens. Applied Soil Ecology 34: 65-81
7. Darby HM, Stone AG, Dick RP (2006). Compost and manure mediated impacts on soilborne pathogens and soil quality. Soil Science Society Of America Journal 70 (2): 347-358.
8. Entry JA, Staussbaugh CA, Sojka RE (2005). Compost amendments decrease Verticillium Dahliae infection on potato. Compost Science & Utilization 3 (1): 43-49.

9. Gilley JE, Eghball B (2002). Residual effects of compost and fertilizer applications on nutrients in runoff. Transactions Of The ASAE 45 (6): 1905-1910.
10. Noble R, Conentry E (2005). Suppression of soil-borne plant diseases with composts: A review. Biocontrol Science and Technology 15 (1): 3-20.
11. Perez-Piqueres A, Edel-Hermann W, Alabouvette C, Steinberg C (2006). Response of soil microbial communities to compost amendments. Soil Biology and Biochemistry 38 (3): 460-470.
12. Sempere F, Santamarina MP (2007). In vitro biocontrol analysis of *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler under different environmental conditions. Mycopathologia 163:183–190.
13. Scheuerell SJ, Mahaffee WF (2004). Compost tea as a container medium drench for suppressing seedling damping-off caused by *Pythium ultimum*. Biocontrol. Science and Technology 15 (1): 3-20.
14. Suzuki S Noble AD, Ruaysoongnern S, Chinabut N (2007). Improvement in water-holding capacity and structural stability of a sandy soil in northeast Thailand. Arid Land Research and Management 21 (1): 37-49.
15. Termorshuizen AJ, van Rijn E, van der Gaag DJ, Alabouvette C, Chen Y, Lagerlöf J, Malandrakis AA, Paplomatas EJ, Rämert B, Ryckeboer J, Steinberg C, Zmora-Nahum S (2006). Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in pathogen response. Soil Biology & Biochemistry 38: 2461–2477.
16. Tim Haug R (1993). The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis publisher.
http://books.google.co.il/books?hl=en&lr=&id=MX_jbemODmAC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Tim+haug+and+compost+r-aug&ots=Wa3Gkj9hh5&sig=0jN26nfFROjwA64DVsplMR1jc8A&redir_esc=y
17. Viator R P, Kovar J L, Hallmark W B (2002). Gypsum and compost effects on sugarcane root growth, yield, and plant nutrients. Agronomy journal 94 (6): 1332-1336.