

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

נכתב על ידי מדי קן

הגידול באוכלוסייה, העלייה ברמת החיים והשינוי בדפוס התנהגות הגדילו פי כמה וכמה את כמויות הפסולת שהחברה המודרנית מייצרת בבית, בתעשייה ובחקלאות. כיום השיטה המרכזית לטיפול בפסולת בישראל היא הטמנה, אך שטחי אתרי ההטמנה הפנויים הולכים ופוחתים וחייבים למצוא פתרון נוסף לטיפול בפסולת. הקומפוסטציה היא אחת מהפתרונות הטובים ביותר, 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 לשם שמירה על איכות הסביבה.

לקומפוסט תפקיד בהזנת צמחים, יישום קומפוסט מעלה את תכולת הזרחן והחנקן בקרקע ובצמח (Gilley et al 2002, Ruppenthal and Castro 2005), הקומפוסט מעלה את זמינות הנוטריאנטים לצמח, דבר המתבטא בריכוזם באיברי הצמח השונים (Viator et al 2002). כמו כן קומפוסט משפר את מבנה הקרקע, כאשר מיישמים קומפוסט, עולה אחוז החומר האורגני בקרקע, משנה 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 (Suzuki et al 2007). 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 ובחיטויים 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 הוא תהליך ביולוגי בו עוברים חומרים אורגניים פירוק ודגרדציה על ידי מיקרואורגניזמים. התהליך מתרחש בתנאים אירוביים כלומר בנוכחות חמצן. ניתן להבחין בארבעה שלבים בתהליך הנבדלים זה מזה בטמפרטורות השוררות בקומפוסט ובמגוון והרכב המיקרואורגניזמים המאכלסים את הקומפוסט (Tim Haug 1993).

השלב הראשון מתרחש במהלך 24-48 השעות הראשונות והוא מכונה השלב המזופילי. טמפ' הקומפוסט עולה ל- $40-50^{\circ}\text{C}$, אז מתפרקים הסוכרים ושאר החומרים המתפרקים בקלות בקומפוסט. בסוף שלב זה מכיל הקומפוסט מיקרואורגניזמים תרמופיליים בלבד המותאמים לשרוד בתנאי חום קיצוניים. בשלב השני, הוא השלב התרמופילי, הטמפ' עולה ל- $40-80^{\circ}\text{C}$ והוא יכול להמשיך חודשים במהלכם ערימת הקומפוסט עוברת מספר הפיכות כדי שכל חלקי הקומפוסט יחשפו לטמפ' הגבוהה בשלב זה מתרחש פירוק חומרים קשי פירוק כמו תאית והמיקרואורגניזמים התרמופיליים, הזרעים והנבגים בקומפוסט מושמדים. השלב השלישי הוא שלב ההבשלה – קצב הפירוק יורד והטמפ' גם היא יורדת בהדרגה. בשלב זה גם מתחילות להיווצר בקומפוסט אוכלוסיות מיקרואורגניזמים חדשות ובנוסף החומר האורגני שהתפרק עובר פילמור. לאחר תהליך הקומפוסטציה התוצר המתקבל הוא קומפוסט נקי מפתוגנים ומריחות רעים (הדר וכהן 1996).

ישנן שתי שיטות עיקריות לקומפוסטציה: השיטה הפתוחה, שהיא השיטה הנפוצה יותר, ובה מציבים את הקומפוסט באוויר הפתוח בערימות בגובה 2 מ' וחתך רוחב של 2 מ', וכדי שכל המצע יתאוויר הופכים את הערימות בתדירות גבוהה. השיטה השנייה היא השיטה הסגורה שבה מניעים את הקומפוסט דרך ריאקטורים בתהליך שלוקח 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.

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.

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).

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 pH הקומפוסט (Borrero et al 2004)

ידועים 4 מנגנונים היכולים להסביר את ההדברה הביולוגית של מחלות- צמחים

המועברות בקרקע בעזרת קומפוסט: תחרות על מקורות מזון, אנטיביוזיס, טפיליות והשראת

עמידות להלן מעט פירוט על כל אחד ממנגנונים אלה:

1.1 תחרות על מקורות מזון: בתהליך יצירת הקומפוסט מתים מיקרואורגניזמים ממחסור

במזון בעיקר מחסור בפחמן, חנקן וברזל. התחרות על מקורות המזון המוגבלים גוררת הדברה ביולוגית של גורמי מחלות הצמחים. המחקרים מתמקדים בגורמי הדברה ביולוגית, המתחרים בעיקר על ברזל. לדוגמה, נמצא שתחרות היא כנראה הגורם העיקרי במנגנון דיכוי של פיתוים במצעים מנותקים.

יחסי- הגומלין, תחרות בפרט, בין האוכלוסיות בקרקע ובריזוספירה משפיעים באופן משמעותי על יכולת ההדברה הביולוגית (Entry et al 2005).

1.2 אנטיביוזיס: תופעה זו מוגדרת כעיכוב פעילות של אורגניזם אחד על ידי מטבוליט של

אורגניזם אחר, כלומר הפרשה של תרכובות אורגניות על ידי מיקרואורגניזמים בקומפוסט שפוגעות בגידול או בפעילות המטבולית של מיקרואורגניזמים אחרים, גורמי מחלות למשל. במובן הרחב תופעה זו מוגדרת כעיכוב הפעילות של אורגניזם אחד על ידי מטבוליט של אורגניזם אחר. למשל קימים תבדידים של פטריות המייצרים חומרים אנטיביוטיים ומשמיים להדברה ביולוגית במצעי קומפוסט ובקרקעות מדכאות (הדר וכהן 1996).

1.3 טפיליות: התקפה ישירה של אורגניזם אחד על ידי אורגניזם אחר וניצולו כמקור מזון.

הידועה ביותר היא פטריית *Trichoderma* הידועה ביכולת הטפילות שלה על מחוללי מחלות רבים, בעיקר על הפטרייה *Rhizoctonia soani*, יחסי טפילות אלו נחקרו רבות. (קיימת הכרה ספציפית בין האנטגוניסט ואורגניזם המטרה (הפתוגן) ומנגנונים אחדים כגון דגרדציה של דופן התא מעורבים בדיכוי הפתוגן. אנטגוניסטים נוספים ידועים הם *Conuothyrium minitans* -
Sporidium sclerotivorum היעילים בדיכוי מחלה הנגרמת על ידי *Sclerotinia spp.* קיימים אנטגוניסטים נוספים המוכרים וידועים בחלקם ידוע גם מגנגנון הטפילות (Albouvette et al 2006).

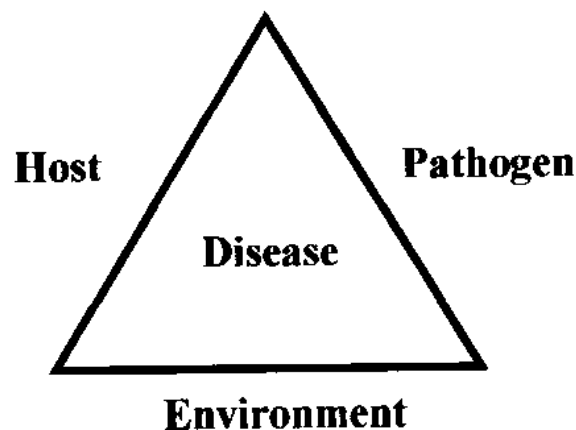
1.4 השראת עמידות: הקניית עמידות לצמח המושרית על ידי חיידקים. השראת עמידות

של צמחים לאחר חשיפתם למיקרואורגניזמים שאינם פתוגניים או לתוצר שלהם, נחשבת לאחד המנגנונים הנפוצים בטבע. הקניית עמידות מושרית לצמח אפשרית לדוגמה על ידי העלאת רמת

הפיטואלקסינים בצמח. נצפתה פחיתה במחלות צמחים, לאחר יישום קומפוסט לקרקע, ונראה שהמנגנון האחראי לכך הוא השראה סיסטמית של עמידות בצמחים (הדר וכהן 1996).

נוכחות של מיני מיקרואוגניזמים בתוצרת חקלאית גורמי מחלות 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). בעצם קיימים יחסי גומלין בין הצמח, הפתוגן והסביבה, היחסים מתקיימים בכל הכיוונים.

ניתן לתאר את יחסי הגומלין דרך איור מס' 1, בו נראה שכל אחד מהרכיבים משפיע על השאר ורק השילוב בין כולם גורם להתפתחות מחלה.



איור מס' 1: יחסי הגומלין בין פתוגן סביבה ומאחסן 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.

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).

כמו כן יש חשיבות לביומסה המיקרוביאלית (Darby et al 2006) ולפעילות המיקרוביאלית במצע הקומפוסט, להשפעת טיפולי חום סלקטיביים אשר משמידים גורמי מחלות אך לא פוגעים באוכלוסייה האנטגוניסטית הספרופיטית במצע, והשפעת תוספת של אנטגוניסטים.

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 לצמחים, נגיעות בגורמי מחלה וחוסר יכולת לדכא גורמי מחלות מאילוח חיצוני ומהקומפוסט.

קביעת בשלות הקומפוסט נמדדת על ידי פרמטרים כימיים כגון כמות וצריכת חמצן, פליטת CO₂, קביעת חנקן כללי ופחמן אנאורגני מסיס וקיבול קטיונים ועל ידי פרמטרים ביולוגיים כגון נשימה PLFA בדיקת חומצות שומן פוספוליפידיות, FDA- דעיכה פלורוסנטית המשמים לקביעת פעילות מיקרוביאלית, ופרמטרים פיזיקאליים כגון צפיפות גושית, טמפ', מוליכות חשמלית (Jeanine I. Boulter-Bitzer 2005)

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

הרכב האוכלוסייה 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 אנתרופוגניים, גם ליישום חקלאי כגון יישום פסטיצידים והרביצידים השפעה ניכרת על אוכלוסיות המיקרואורגניזמים בקרקע ובסביבת השורש אולם, נמצא כי יכולת הדיכוי של קומפוסט אינה קבועה, היא יכולה להתקיים או לא, ותלוי בתערובת בה ניתן הקומפוסט. לדוגמא, היעילות של דיכוי מחלות מסוימות עולה בתוספת כבול. הוכח גם שתערובת בה יש קומפוסט 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).

בשל יתרונות הקומפוסט והקומפוסטציה, נעשות עבודות רבות, על ידי חוקרים מכל העולם בנושא. אחד הנושאים הנחרים הוא סופרסיביות הקומפוסט, ובעיקר היכול לחזות את כושר

יישום 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 ולכך רווחים ישירים ועקיפים ביניהם, הפחתת זיהום קרקע למי תהום ולמים עיליים, הפחתת שימוש בחומרים אשר מזיקים לבע"ח 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 שכאלה לא בהכרח משקפים את המתרחש במציאות שכן, יחסי הגומלין הנוצרים בצלחת פטרי או אפילו בעציץ אינם בהכרח היחסים שמתקיימים בשדה, על הקשר בין שלושת צלעות משולש דיכוי המחלה דובר לעיל, ולהיפך. תחום שלא נחקר מספיק הוא התרכובות האורגניות המופרשות על ידי אוכלוסיות אנטגוניסיות בקומפוסט. כמצויין למעלה, הצליחו לאפיין אורגניזמים אנטגוניסטיים בקומפוסט, מיקרואורגניזמים אלו נחקרו וידועים מטאבולטיים משניים המופרשים על ידם, אולם יש לחקור אם מנגנונים אלה אכן מתקיימים בקומפוסט כמשוער.

כמו כן הקשר בין בשלות הקומפוסט ומידת הסופרסיביות שלו 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, אולם יש להמשיך ולחקור בנושא.

קשר זה הוכח באופן ודאי בעבודתם של **Termorshuizen et al (2006)**, מסקנה עיקרית בעבודתם 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.

References

אבנימלך י (1996). "קומפוסטציה: הופכים זבל לזהב". לבן-כחול-ירוק, גיליון מס' 9 (14)-15).

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.

הדר י, כהן ר (1996). הדברה ביולוגית של מחלות המועברות בקרקע באמצעות קומפוסט. מחקר חקלאי בישראל ח' (2-1): 101-126.

Alabouvette C, Olivain C, Steinberg C (2006). Biological control of plant diseases: the European situation. *European Journal Of Plant Pathology* 114 (3): 329-341.

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.

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

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.

Entry JA, Staussbaugh CA, Sojka RE (2005). Compost amendments decrease *Verticillium Dahliae* infection on potato. *Compost Science & Utilization* 3 (1): 43-49.

Gilley JE, Eghball B (2002). Residual effects of compost and fertilizer applications on nutrients in runoff. *Transactions Of The ASAE* 45 (6): 1905-1910.

Noble R, Conentry E (2005). Suppression of soil-borne plant diseases with composts: A review. *Biocontrol Science and Technology* 15 (1): 3-20.

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.

Sempere F, Santamarina MP (2007). In vitro biocontrol analysis of *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler under different environmental conditions. *Mycopathologia* 163:183–190.

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.

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.

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.

Tim Haug R (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis publisher.

http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=MX_jbemODmAC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Tim+haug+and+compost+r-haug&ots=Wa3Gkj9hh5&sig=0jN26nfFROjwA64DVsplMR1jc8A

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.