



הארגון לחקלאות
אורגנית



משרד החקלאות ופיתוח הכפר
שירות ההדרכה והמקצוע
אגף הירקות ותחום קרקע מים
והזנת הצמח



יולי 2021

יישום קומפוסט בגידול ירקות

אורי אדלר, יזהר טוגנדהפט - הארגון לחקלאות אורגנית
דוד סילברמן, אריה יצחק, מולי זקס, מאיה שניט-אורלנד - שירות ההדרכה והמקצוע
אשר איזנקוט - מדרך שירות שדה בגמלאות
אפרים ציפליץ - שירות שדה, מו"פ בקעת הירדן

הקומפוסט הוא תוצר מיוצב של פירוק חומר אורגני בסביבה אווירנית (אירובית). פעולת הפירוק מבוצעת על ידי מגוון גורמים חיים, כמו: חיידקים, פטריות, פרוטוזואה ושלשולים, ובעקבותיה עולה טמפרטורת הערמה. תהליך הפירוק גורם לייצוב החומר האורגני במצב המאפשר שחרור מושהה של יסודות הזנה וחומרים חשובים לטיוב הקרקע, כמו חומצות הומיות ופולביות.

היתרון הבולט ביישום קומפוסט בגידול ירקות, לעומת יישומו של זבל מטופל, מתבטא במניעת העברה ודיכוי גורמי מחלות קרקע וזרעי עשבים. כמו כן, זבל אורגני טרי צורך חנקן זמין מהקרקע במהלך התפרקותו, ולכן עשוי להתחרות בגידול על מקורות החנקן.

מכיוון שלסוגי קומפוסט מקורות שונים והם עשויים להגיע לדרגות בשלות שונות, יש חוסר אחידות ביניהם, ולכן נחוץ פיתוח של כלים ומדדים לבקרת איכותם להבטחת ביצועיהם ולבדיקה של הימצאות גורמי מחלה בהם. שימוש מושכל בקומפוסט המתאים ובעיתוי הנכון עשוי לצמצם פגיעה סביבתית והוצאה כספית מיותרת.

מטרות יישום הקומפוסט

הייצור ולמידת הבשלתו יש השפעה רבה על איכותו ועל זמינות המינרלים לצמח.

קומפוסט ניתן להכין ממגוון פסולות אורגניות. בארץ מקובל השימוש בקומפוסט העשוי מתערובות של זבלי בעלי חיים, בעיקר מזבל פרות ועופות, בתוספת גזם מרוסק וקש כמקור פחמן. כמו כן, ניתן לייצר קומפוסט ממקור צמחי בלבד. בנוסף, קיימת תעשייה לייצור קומפוסט העשוי מאשפה ביתית ומבוצת שפכים, במקום להזרימה לים ולזהם את הסביבה. קומפוסט מפסולות תעשייתיות וביתיות מותר לשימוש בחקלאות רגילה, בהתאם למגבלות ולתקנות, אך נשלל לשימוש בחקלאות האורגנית ונאסר ליצוא לאירופה על פי תקן GLOBAL GAP. קומפוסט, העשוי מאשפת ערים שלא עברה הפרדה במקור, אינו מומלץ לשימוש בחקלאות בשל החשש להימצאות חומרים זרים, כגון זכוכיות, מתכות כבדות ופולסטיק.

היבטים חקלאיים: עידוד פעילות מיקרואורגניזמים בקרקע; אספקת יסודות הזנה בשחרור איטי; יצירת עמידות בפני פגעי קרקע; הגדלת שטח הפנים הסופח של הקרקע; מניעה של יצירת קרום; שיפור ניקוז הקרקע; בקרקעות קלות גם שיפור תאחיזת מים בקרקע; הפחתת נזקי בורון.

היבטים סביבתיים מקומיים וגלובליים: מחזור - הפיכת פסולת למשאב; נטרול גורמי מחלה לאדם, לחי ולצמח; קיבוע חומר אורגני בקרקע - הקטנת פליטות גזי חממה, שיפור מבנה הקרקע והקטנת סחף; הקטנת הצורך בחומרי הדברה וחיטוי.

חומרי המוצא של הקומפוסט משפיעים מאוד על איכות המוצר הסופי, בעיקר על איכותו ההזנתית ועל תכולת המינרלים שבו. גם לתהליך ייצור הקומפוסט, לשיטת

גורמים המשפיעים על הצלחת תהליך הקומפוסטציה ועל קבלת מוצר מוגמר בעל תכונות רצויות

- ✓ **טמפרטורת התהליך וקצב סילוק החום** - טווח הטמפרטורה האופטימלי בשלב התרמופילי הוא 55-60 מ"צ. בטמפרטורה הגבוהה מ-70 מ"צ עשויים להתרחש בעירה עצמית, פליטה עודפת של פחמן והרס התוצר.
- ✓ **תכולת רטיבות** - חלקיקי הקומפוסט חייבים להיות עטופים במעטפת מים שבה פעילים המיקרואורגניזמים. הרטיבות נדרשת גם לצורך צינון הקומפוסט ולמניעת הגעתו לטמפרטורות גבוהות שאינן רצויות, משום שסילוק החום מתרחש ברובו בדרך של נידוף מים. בשלב התרמופילי תכולת הרטיבות הרצויה היא 55%, ולאחר מכן היא יכולה להיות נמוכה יותר.
- ✓ **אוויר** - הערמה חייבת להיות מאווררת. תהליך הקומפוסטציה תלוי בחמצן. קירור הערמה מחייב חילוף חופשי של גזים בין פנים הערמה לסביבתה החיצונית.
- ✓ **היחס הרצוי בין פחמן לחנקן (C/N)** - בתחילת התהליך הוא 25 ל-30; ובהבשלה 10 ל-15.
- ✓ **היחס בין החנקן החנקתי לחנקן שעבר מינרליזציה יהיה גדול מ-0.8 (כלומר היחס בין ריכוז החנקן החנקתי [ח"מ] לריכוז החנקן החנקתי + ריכוז החנקן האמוניקאלי [ח"מ]).**
- ✓ **היחס הרצוי בין חנקה לאמון** - היחס בין חנקן חנקתי לחנקן אמוניקאלי בסוף התהליך צריך להיות לפחות 5:1 לטובת החנקן החנקתי. יחס נמוך מדי יעיד על תהליך קומפוסטציה שאינו מושלם ועל קומפוסט שאינו בשל. בקומפוסט צעיר או גולמי נמצא בדרך כלל יותר חנקן אמוניקאלי מחנקן חנקתי. עם התקדמות תהליך הקומפוסטציה, בשלב ההבשלה, היחס מתהפך לטובת החנקן החנקתי.

מדדי איכות הקומפוסט ובשלותו

הקומפוסט המקובל והמומלץ הוא קומפוסט בשל (קומפוסט שעבר תהליך קומפוסטציה במלואו), אשר סיים את תהליכי הפירוק המהירים והגיע לתייצבות. קומפוסט בשל מתאפיין בטמפרטורה הדומה לטמפרטורת הסביבה (הוא לא יחזור להתחמם, גם אם ייושם שוב בתנאי קומפוסטציה), בצבע חום כהה, בריח אדמה לאחר הגשם (אין לו ריח רע) ובהיותו פריך, לח ולא רטוב. קומפוסט שאינו בשל ('בשל למחצה') וחם עדיין, עשוי להתחרות בצמח על מקורות חנקן וחמצן ועלול להכיל חומרים הרעילים לצמחים, הגורמים מחלות לאדם

☒ בעקבות עדכון תקנות המים (מניעת זיהום מים, שימוש בבוצה וסילוקה - התש"ף 2020), אין ליישם קומפוסט בוצה בעציצים, באדניות או במשתלות, וכן נאסר ליישם בוצה בגידולים הניתנים להיאכל חי, כגון ירקות, אשר נמצאים במגע ישיר עם הקרקע או בסמיכות אליה, ואשר מקובל להשתמש בהם למאכל אדם גם ללא עיבוד תרמי, כגון בישול, אפייה או צלייה. רשימת הגידולים המותרים ליישום בוצה סוג א' כוללת מטעים וגידולים נוספים, ועשויה להתעדכן מעת לעת. **קומפוסט בוצה אסור לשימוש בחקלאות האורגנית.**

☒ **שימוש עודף בקומפוסט עשוי לגרום לזיהום מי התהום בחנקות ולריכוזים גבוהים מדי של זרחן בקרקע.**

עיקר שלבי תהליך הקומפוסטציה

- ✓ **התחממות ראשונית** - שלב הנמשך ימים אחדים, ובמהלכו נצרכות תרכובות זמינות, כמו סוכר וחלבון, על ידי חיידקים. יש להקפיד על שמירת תכולת רטיבות הערמה ברמה של 50% בערך, לשם קבלת תהליך מיטבי.
- ✓ **שלב תרמופילי** - השלב החשוב ביותר, ובמהלכו נצרכות ומפורקות מרבית התרכובות האורגניות הזמינות על ידי המיקרואורגניזמים. במהלך הפירוק, החנקן האורגני של חומרי המוצא מעוכל, ומשתחרר אמון. תהליך זה מאופיין בפליטת אמוניה, בריח אופייני חריף ובעליית רמת ה-pH. השלב התרמופילי אורך בין שבועות אחדים לכמה חודשים, בהתאם לסוג החומר, אך הוא חייב להימשך לפחות 4 שבועות, לצורך קטילת גורמי מחלות (פתוגנים). בשלב התרמופילי עשויה טמפרטורת הקומפוסט במרכז הערמה להגיע לכדי 65 מעלות צלסיוס.
- ✓ **שלב מזופילי** - מתחיל כאשר הטמפרטורה יורדת אל מתחת ל-40 מ"צ - טמפרטורה שבה יכולים להתחיל תהליכי ניטריפיקציה (חיידקים צורכי חנקן אמוניקאלי, $N-NH_4$, ההופכים אותו לניטראט/חנקה, $N-NO_3$).
- ✓ **הבשלה** - מתרחשת בטמפרטורה הקרובה לטמפרטורת הסביבה. שלב זה נמשך כחודש, ובמהלכו מתאכלס הקומפוסט במיקרואורגניזמים, הכוללים פטריות, חיידקים חוטיים ואקטינומיצטים, המאפשרים דיכוי של מחלות הצמחים ומפרישים את הריח הטוב המאפיין קומפוסט בשל.

ולצמח, וכן זרעי עשבים, ובפרט זרעי עשבים טפילים, קרקע (סופרסיביות). בטבלה 1 שלהלן מוצגים הערכים כמו כשות ועלקת. קומפוסט שאינו בשל חסר גם את תכונות הקומפוסט המסייעות להתמודדות עם פגעי

טבלה 1. מדדי קומפוסט בשל

הערות	טווח ערכים מומלץ	מדד
יחס הגבוה מ-20 מעיד על חומר טרי שאינו מומלץ לשימוש.	15-10	יחס פחמן לחנקן (C/N)
פחות מ-25% אינו מומלץ לשימוש.	50%-40%	תכולת חומר אורגני
ככל שרמת החנקן גבוהה יותר, כך החלק הזמין למינרליזציה גבוה יותר. לחקלאות אורגנית רמה נמוכה מ-1.5% - הקומפוסט אינו מומלץ לשימוש.	2.4%-1.5%	חנקן כללי
רצוי שרמת החנקן תהיה גבוהה מרמת החנקן האמוניקאלי, אף שבמרבית המקרים מצב זה אינו מתקיים.	לפחות 100 ח"מ של חנקן חנקתי (N-NO ₃)	חנקן חנקתי (N-NO ₃)
מומלץ שיחס החנקן לאמון יהיה גבוה מ-5, לטובת החנקן. יחס נמוך יעיד על תהליך קומפוסטציה לא מלא.	N-NO ₃ /N-NH ₄ > 5	יחס חנקן לאמון
חנקן אורגני עובר מינרליזציה לאמון, שהופך לניטריט ואז לחנקן. אמון וחנקן הם צורות חנקן זמינות לצמחים, וסכומם מהווה את ריכוז החנקן שעבר מינרליזציה N _{min} .	יחס N-NO ₃ /N _{min} > 0.8	יחס חנקן לחנקן מינרלי
נוכחות ניטריט - משמעה תהליך חסר חמצן (אנאירובי). הניטריט הוא חומר רעיל העלול לפגוע בשורשי הצמחים.	0 ח"מ	ניטריט (N-NO ₂)
בחקלאות אורגנית רצוי שערכי הזרחן לא יהיו גבוהים במיוחד, כדי למנוע הצטברות גדולה של זרחן בקרקע.	1.8%-0.8%	זרחן (P)
כשערכי האשלגן נמוכים, יש צורך לספק אשלגן במהלך הגידול גם לאחר יישום קומפוסט.	3.0%-0.4%	אשלגן (K)
ביישום קומפוסט בקרקע יש להתחשב ברגישות הגידול למליחות ולהתאים את נפח הקומפוסט המיושם. כשרמת המוליכות גבוהה, מומלץ להיוועץ במדריך.	7-4 דציסימנס למטר	מליחות במינרלי (EC) (ביחס 1:10)
סמן לתנאים אנאירוביים.	0 ח"מ	סולפיד
	8.5-7	pH
עודכן בגיליון העדכון של תקן 801 משנת 2013.	פחות מ-0.5%	גופים זרים

הערכים בטבלה 1 הם התחומים המומלצים למדדים שונים בקומפוסט שאיכותו טובה. רצוי להיצמד ככל הניתן לערכים שבטבלה בבחירת הקומפוסט.

כמו כן, ניתן לעיין בתקן ישראלי 801 של מכון התקנים משנת 2000 (כולל גיליון העדכון משנת 2013), הניתן להורדה מאתר מכון התקנים.

בדיקות כימיות ומתכות כבדות מבוצעות במעבדות שירות השדה ברחבי הארץ. מתכות כבדות ניתן לבדוק גם במעבדות אחרות.

בדיקת שדה של קומפוסט בשל ("מוכן")

כדאי לבדוק בשטח את המשקל הנפחי באמצעות שקילה של 10 ליטר קומפוסט. קביעת המשקל הנפחי מאפשרת לייחס את בדיקות המעבדה לכמויות של יסודות הזנה שניתנו בקומפוסט. המשקל הנפחי הממוצע של קומפוסט הוא 0.5-0.7 גרם/סמ"ק, כלומר 10 ליטר קומפוסט אמורים לשקול כ-5-7 קילוגרמים.

בדיקות איכות הקומפוסט

מומלץ לבקר באתר הקומפוסט ולבדוק את איכות הקומפוסט העתיד להגיע למשק. יש לדרוש מיצרן הקומפוסט תיעוד של תהליך הייצור, טמפרטורות הערמה, חומרי הגלם ומקורותיהם, וכן בדיקות מינרליות ממעבדה מוסמכת של התוצר הסופי.

חשוב שהמגדל יבצע את הבדיקות שלהלן:

- ✓ **טמפרטורה** - מומלץ להצטייד בתרמומטר ידני ולבדוק את הטמפרטורה, אף כי גם בדיקה ידנית תספק תשובה סבירה (הטמפרטורה הרצויה של קומפוסט מוכן היא עד 10 מ"צ מעל טמפרטורת האוויר). ערמה חמה מעידה על תהליך תרמופילי.
- ✓ **נוכחות זבובים** - ערמה המתופעלת כראוי תהיה נקייה מזבובים, אך ערמה שלא התחממה תמשוך אליה זבובים.
- ✓ **רטיבות** - הקומפוסט בערמה חייב להיות לח - כ-50% לחות במהלך הייצור, ו-30%-40% לחות עם סיום הייצור, בקומפוסט המוכן. במהלך הייצור ניתן לבחון את שיעור הלחות באמצעות נטילת חופן ליד ודחיסתו - אם מבצבצות טיפות מים לאחר הדחיסה בכף היד, הרי שהלחות מתאימה (בקומפוסט מוכן לא תופענה טיפות המים).
- ✓ **ריח** - לערמה צריך להיות ריח אופייני של אדמה פורייה לאחר הגשם. אם לערמה ריח בלתי נעים ואף

מסריח, הרי שהתפתחו בה תנאים אנאירוביים ותוצרה אינו מתאים לשימוש חקלאי. ריח של אמוניה מעיד על קומפוסט לא בשל במהלך השלב התרמופילי.

- ✓ **מרקם** - הקומפוסט צריך להיות מנופה ומפורר לחלקיקים קטנים, אך לא אבקתי. חומר המקור אינו צריך להיראות לעין.
- ✓ **קומפוסט אשפה עירונית** - רק קומפוסט העשוי מאשפה שהופרדה במקור מותר לשימוש בחקלאות אורגנית. רצוי לוודא את ניקיון המוצר משברי זכוכיות ומחומרים רעילים (סוללות). קומפוסט שהוכן מאשפה עירונית אשר לא עברה הפרדה במקור, אינו מומלץ לשימוש בחקלאות בשל החשש מהימצאות גופים זרים, כגון זכוכיות, פלסטיק ומתכות כבדות.
- ✓ **קומפוסט בוצת שפכים** - רצוי לוודא מהו מקור הבוצה, מכיוון שקיימים הבדלים באיכותה, בעיקר כשמקורה באזורים תעשייתיים. לפיכך, בדיקה מקיפה של ריכוז המינרלים, כולל מתכות כבדות, היא חיונית ותבצע לפני רכישת הקומפוסט (קיימים ערכי סף לכל המתכות הכבדות המותרות בקומפוסט; ראה טבלה 2).

מתכות כבדות בקומפוסט

מתכות כבדות מהוות גורם זיהום המסכן את הסביבה ואת הגידול. כשנעשה שימוש בבוצות, יש להבטיח שרמת המתכות הכבדות תהיה נמוכה מהתקן. תכולת המתכות הכבדות עשויה להיות בעייתית, בעיקר בקומפוסט שמקורו בבוצה ממתקני טיפול בשפכים, שאליהם מוזרמים גם שפכי ביוב ממפעלי תעשייה. במקרה שנמצאו בקומפוסט מתכות כבדות - יש להיוועץ במדריך. הערכים בטבלה 2 הם ערכי המקסימום, לפי התקן הישראלי.

טבלה 2. ערכי מקסימום למתכות כבדות בקומפוסט

(לפי התקן הישראלי 801 משנת 2000 ועדכנו משנת 2013)

מתכת	סמל	ריכוז מרבי (ח"מ)
אבץ	Zn	2500
בספית	Hg	5
כרום	Cr	400
נחושת	Cu	600
ניקל	Ni	90
עופרת	Pb	200
קדמיום	Cd	20

יישום קומפוסט

לנקוט משנה זהירות במתן כמויות גדולות של קומפוסט. כחודש לאחר השתילה מומלץ לדגום את הקרקע לבדיקת פוריות במעבדות שירות שדה, ולהשלים את יסודות ההזנה החסרים לאחר היוועצות במדריכי קרקע מים והזנת הצמח (שירות שדה).

גידול בתעלות קומפוסט בקרקע

גידול מסחרי בתעלות קומפוסט התפתח כשיטה המאפשרת גידול בקרקעות שנחשבות בעייתיות. במקרים אלה חשוב להקפיד על יישום קומפוסט איכותי מבחינת כל המדדים שנידונו בדפון זה. כמו כן, יש להקפיד על הנקודות שלהלן:

- יש חשיבות גדולה לאנליזה עדכנית של הקומפוסט הנרכש.
- אם קיים חשש שהקומפוסט הנרכש יהיה בשל למחצה, מומלץ לרכשו לפחות חודשיים לפני מועד השתילה, להכין את תעלות הקומפוסט מראש בליווי השקיה מתאימה ולאפשר לקומפוסט לסיים את תהליך ההבשלה בתעלות בשטח טרם השתילה. ריכוזי החנקן (ניטרט) בקומפוסט המשמש כמצע בתעלות הזנה צריכים להיות גבוהים מריכוז האמון. ריכוז חנקן גבוה מריכוז אמון מעיד על בשלות הקומפוסט.
- פיזור החומר בתעלות יסתיים לפחות שבועיים (ועדיף שלושה) לפני השתילה. בתקופה זו משקים אחת ל-5-6 ימים במנה של 5-6 מ"ק לדונם.
- לפני השתילה בתעלות הקומפוסט יש לבדוק מליחות במיצי הקומפוסט, תוך התייחסות לרגישות הגידול. במידת הצורך יש לשטוף את המצע ולוודא שערך המוליכות החשמלית של התמיסה ירד מתחת לסף הרגישות של הגידול. **שטיפת הקומפוסט בתעלות הזנה חייבת להתבצע באופן הדרגתי ולאורך זמן, כדי למנוע ככל הניתן התפתחות תנאים אנאירוביים בקומפוסט.**
- השתילה תתבצע סמוך ככל האפשר לטפטפת.
- בסיום העונה חותכים את הצמחים סמוך עד כמה שניתן לפני הקרקע ומשאירים את מערכת השורשים במצע. פעולה זו שומרת על נפח חומר אורגני בתעלה למשך שנים. במקרה שהמצע היה נגוע במחלות במהלך הגידול, יש לבצע חיטוי, ומומלץ להיוועץ בנושא במדריכי הגנת הצומח.

כמות הקומפוסט המיושמת תלויה בהיסטוריה החקלאית של החלקה מבחינת המדדים שלהלן: כמות הקומפוסט שיושמה בחלקה ומועד היישום; תוצאות בדיקות הקרקע, סוג הגידול המתוכנן להשתל או להיזרע בחלקה והייעוד של הגידול - אורגני או רגיל.

בשתילת ירקות או פרחים ניתן ליישם את הקומפוסט על פני הערוגות ולהצניע הצנעה שטחית בשכבת הקרקע העליונה לעומק של עד 10-20 ס"מ. אין יתרון להצנעה עמוקה יותר, כיוון שבעומק עשויים לשרור תנאים אנאירוביים העלולים לשחרר אמוניה מהקומפוסט. בגידולי שדה בשטח פתוח נהוג לפזר את הקומפוסט על פני כל השטח ולערבבו באופן שטחי בעזרת דיסק קל או תיחוח רדוד ככל האפשר.

שימוש בכמויות גדולות של קומפוסט גורם להצטברות זרחן ואשלגן בקרקע. הצטברות הזרחן עלולה לגרום לתחרות בקליטת המיקרואלמנטים. מומלץ ליישם את הקומפוסט בתיחוח אחרון לפני חיטוי הקרקע ולאחר שטיפה מעודפי מלחים, כדי למנוע צורך בעיבודים העלולים לזהם את הקרקע המחוטאת. חיטוי הקרקע (כולל חיטוי סולרי) עלולים לפגוע במיקרואורגניזמים - המועילים הנמצאים בקומפוסט, אך הם מתחדשים במהרה.

אם יש חשש למליחות הקומפוסט והקרקע, מומלץ לבצע בדיקות קרקע ושטיפות, בהתאם לתוצאות ובהמלצת המדריכים.

במקרה שמיישמים קומפוסט סמוך מאוד לשתילה, חובה להשתמש **בקומפוסט בשל לחלוטין**. אם נרכש קומפוסט בשל למחצה, יש לפזרו ולהצניעו בקרקע מספר שבועות טרם השתילה.

כמויות הקומפוסט המומלצות ליישום

לקרקע שלא עובדה בעיבוד חקלאי, נדרשת כמות קומפוסט של כ-10 מ"ק לדונם. לקרקעות בממשק גידול אורגני יידרשו כ-5 מ"ק לדונם בהכנת הקרקע, כשהכמות ליישום תיקבע בהתאם למצב פוריות הקרקע, כפי שהתקבל מתוצאות גידולים קודמים ובבדיקות הקרקע. בקרקעות, שאינן בממשק אורגני, מומלץ ליישם כ-5 מ"ק לדונם קומפוסט אחת ל-2-3 שנים (או כ-2-2.5 מ"ק לדונם לשנה). כאשר המוליכות החשמלית של הקומפוסט במיצי 1:10 גבוהה מ-6 דציסימנס למטר, יש

כל ההמלצות הכלולות בפרסום זה הן בגדר עצה מקצועית בלבד.

הוצל"א שה"מ * המחלקה לפרסומים * עריכה לשונית: עדי סלוניקו * גרפיקה: לובה קמנצקי