

## קומפוסט - הלכה ומעשה: מדדי איכות, יישום והשפעה על מחלות קרקע

**ד"ר מיכאל רביב**  
**מינהל המחקר החקלאי**  
**נוה יער**



ערבה תיכונה,  
 24.11.2008

## קומפוסט - הגדרות

- **קומפוסט**: חמר אורגני אשר יוצב בתהליך אירובי תוך כדי עליה בטמפרטורה.
- **קומפוסט בשל**: חמר אורגני מיוצב בעל צח"ב נמוך ואשר לא יתחמם שוב אם יושם בתנאי קומפוסטציה.
- **קומפוסטציה**: תהליך בו מ"א צרכו את רב התרכובות האורגניות הזמינות, עד להגעה לשיווי משקל בין קצב יצורן המחודש לבין קצב פירוקן.
- **במצב זה הקומפוסט ניתן לאחסון לפרק זמן של כשנה**

- ✓ רב יצרני הקומפוסט רוצים למכסם את רווחיהם ע"י מכירת קומפוסט לא בשל.
- ✓ רב הצרכנים טרם הפנימו את הקשר הבלתי נפרד בין בשלות הקומפוסט ואיכותו לבין מחירו.
- ✓ הקפדה על נוהלי היצור וביצוע אנליזות כימיות ואחרות עולים כסף ליצרן ולצרכן אך מהווים תנאי הכרחי ליצור קומפוסט איכותי.
- ✓ קשר רופף בין היצרן לצרכן הקומפוסט הינו מכשול מרכזי בדרך לניצול אופטימלי של משאב זה.

קומפוסט בשל		קומפוסט לא בשל	
יתרונות	חסרונות	יתרונות	חסרונות
יצוב תלכדי קרקע (זמני)	תחרות עם הצמח על חמצן	השפעה חיובית ארוכת טווח על יצוב תלכדי קרקע	מחיר
עיצוב קישיון רולפסי	חשש לקיום פתוגנים צמחיים והומניים חרעי עשבים רעים כגון עלקת	העשרת מגוון המ"א ועיצוב מגוון מחלות קרקע	זמינות חנקן נמוכה, יחסית
תכולה וזמינות חנקן גבוהות, יחסית	חשש לפיטוטוקסיות	עידוד גדילת צמחים	

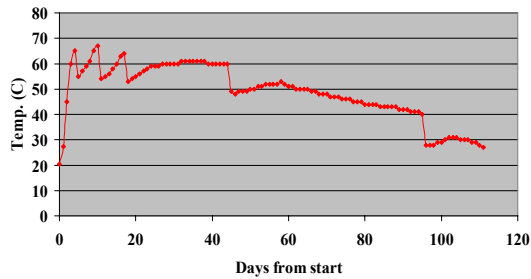
## מטרות הכנת הקומפוסט והשימוש בו

- ❖ מיחזור חומרים אורגניים שללא טיפול מתאים יהוו מטריד סביבתי
- ❖ עידוד פעילות מ"א בקרקע
- ❖ שיפור מבנה הקרקע
- ❖ אספקת יסודות הזנה לצמח
- ❖ **במצבים מסויימים – דיכוי מחלות קרקע**

## האם כל קומפוסט בשל הוא, בהכרח, איכותי?

התשובה היא, בוודאות, שלילית. ניתן להגיע להבשלה מאולצת ע"י מתן אפשרות להתחממות מוגזמת (מעל 65 מ"צ) למשך זמן מסויים. במצב זה הקומפוסט יבשיל, בסופו של דבר אך תכולת החומר האורגני והחנקן שבו יהיו נמוכים. כמו כן, מגוון המ"א בו יהיה מצומצם יותר. גם כשר הדיכוי של קומפוסט זה כנגד מחלות קרקע יהיה נמוך יותר.

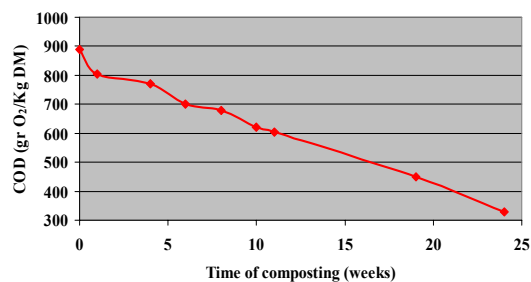
## מהלך הטמפרטורה בערימת קומפוסט הנתונה לתהליך מואץ + 5 הפיכות



## מדדי בשלות ושיטות מדידה

- טמפרטורה: מדידה רציפה ותגובה לאחר היפוך.

## השתנות צח"כ במהלך קומפוסטציה



## מדדי בשלות ושיטות מדידה

- טמפרטורה: מדידה רציפה ותגובה לאחר היפוך
- צח"ב (רספירומטר), צח"כ

## קריטריונים לטיב קומפוסט

- מרקם מפורר ואחיד, בעל צבע חום-כהה, נטול שרידים ניכרים לעין של חומרי המוצא, בעל ריח של אדמה לאחר גשם ....
- נטול זרעים ופתוגנים הומניים וצמחיים
- תכולת חומר אורגני  $< 50\%$
- תכולת חנקן  $< 1.8\%$
- תכולת מתכות כבדות וכו' מתחת לסף המותר
- **כשר דיכוי מחלות קרקע**

## מדדי בשלות ושיטות מדידה

- טמפרטורה: מדידה רציפה ותגובה לאחר היפוך
- צח"ב (רספירומטר), צח"כ
- יחס אמונולחנקה במיצוי מימי
- העדר חומצות אליפטיות קצרות (GC)
- קק"ח
- שיטות מיקרוקלורימטריות

### ולהשוואה: אנליזות קומפוסטים מנוה יער

	TP-SCM	OMWC
OM (%)	62.4	73.3
N (%)	2.70	3.35
P (%)	0.66	0.46
K (%)	2.58	2.68
EC (dS/m)	7.74	2.46
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (ppm)	164	3.9
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (ppm)	20	8.5

### דוגמאות לאנליזות קומפוסטים מהערבה

(ממוצע מ - 28 דגימות, 8 שנים אחרונות)

EC (dS/m)	K (%)	P (%)	N (%)	חומר אורגני (%)	גורם נבדק
7.2	1.7	1.1	1.4	32	ערך ממוצע
0.9	0.5	0.5	0.9	18	מינימום
12.1	2.7	2.1	2.4	50	מכסימום

### השפעות החמר האורגני לאורך זמן:

השפעות תהליך הפירוק  
השפעות החמר המפורק  
השפעות משניות של תוצרי הפירוק  
דרך פעילותם של מ"א  
השפעות הפרשות ותוצרי פירוק של  
מ"א

### חומר אורגני בקרקעות הערבה

- קרקעות הערבה עניות מאד בחומר אורגני דבר הגורם לפוטנציאל פוריות נמוך.
- דישון כימי ועיבודי קרקע גורמים לפחיתה בפעילות מיקרוביאלית ולירידה נוספת בפוטנציאל הפוריות של הקרקע.
- חלק מהחומר האורגני המוסף לקרקע מתפרק במהירות. בטמפרטורה גבוהה תהליך הפירוק מזורז.

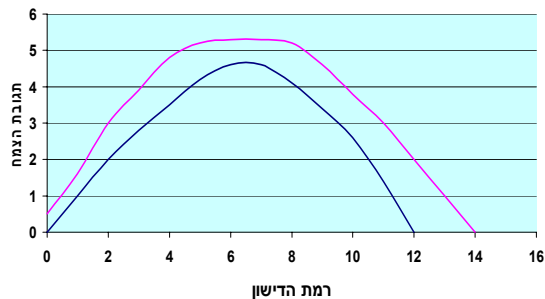
### השפעות כימיות - הזנתיות

✓ יסודות הזמינים מיידית או תוך פרק זמן קצר: כ- 10% מהחנקן, כ- 50% מהזרחן, כמעט כל האשלגן.  
✓ יסודות המשתחררים במהלך הפירוק.  
✓ קק"ח והשפעתו על יעילות קליטת יסודות הזנה.  
✓ נוכחות מקור אנרגיה ופחמן מעודד פעילות מ"א מפרקי מינרלי מבנה (כשלעצמם ובעזרת תוצרי הפירוק של החומר האורגני).

### סוגי השפעות החומר האורגני בקרקע

- השפעות כימיות - הזנתיות
- השפעות על המבנה הפיסיקלי
- השפעות ביולוגיות: על ביומסת הקרקע וישראל על צמחים

ביטוי גראפי לתגובת צמח לגורם הזנתי בקרקע ברמה נמוכה וגבוהה של חומר אורגני

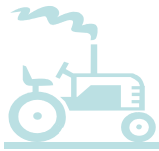


## השפעות כימיות - הזנתיות

- כילציה של יסודות קורט אל תוצרי פירוק של ח"א.
- התוצאה המצטברת של כל הגורמים שנזכרו: העלאה הניתנת למדידה בפוריות הקרקע. לשם שימור ההעלאה והגברתה יש לחדש את אספקת הח"א לקרקע לעיתים קצובות.

## השפעות פיסיקליות של חמר אורגני

- הקטנת המשקל הנפחי של הקרקע
- כתוצאה - הקטנת תשומת אנרגיה לעיבודים



## השפעות חמר אורגני על התכונות הפיסיקליות של הקרקע

- יצוב תלכידים
- כתוצאה - שיפור בחדירות הקרקע למים ולאוויר
- הגדלת תאחיזת המים כלומר הגדלת כמות המים במצב של קיבול שדה

## הפאונה והפלורה של הקרקע

- "ריכוז" המ"א על פני השרש (ריזופלן) גבוה בהרבה מזה המצוי בקרקע ללא שרשים פעילים (בערך פי 6 יותר בקטריות ופי 4 פטריות). בסביבת השרש (ריזוספרה) תכולת המ"א יורדת בהדרגה עם המרחק מהשרש. הפקטור הקובע הינו, ללא ספק, הפרשות השרשים. אין להימלט מהמסקנה כי הצמח "נהנה" מנוכחות מ"א בסביבתו הקרובה, עד כדי כך ש"שווה" לו להשקיע מוטמעים לצורך קיום אוכלוסיה פעילה בסביבתו.

## השפעות ביולוגיות של חמר אורגני בקרקע

- חמר אורגני מוסף משמש מקור לפחמן ואנרגיה לביומאסת הקרקע, הנמצאת, תדיר, במצב של מחסור. הוספת חמר אורגני לקרקע גורמת, איפוא, להתרבות אורגניזמים ולהגברת פעילותם.

### השפעות ביולוגיות של חמר אורגני בקרקע

- רב העלייה היא של אוכלוסיות ספרופיטיות. בתנאים מסויימים עשוי הדבר להוביל להפרכת הקרקע למדכאה (Suppressive) כלפי מספר מחוללי מחלות קרקע וביחוד פטריות פתוגניות. המקור העיקרי לתופעה הוא בפעילות אורגניזמים היות ששיקור (מתיל ברומיד, קיטור, קרינת גמה) מקטין אותה מאד.

### השפעת הוספת חומר אורגני על כמות ופעילות מיקרואורגניזמים

	Control	OM added	Ref.
Mic. BM (mg C/Kg)	359	603	Mader, 96
Phosphatase	416	1607	Mader, 96
Resp. (mg CO <sub>2</sub> /Kg/day)	19	37	Clapp, 86

חקלאות אורגנית בנויה להיעזר בהשפעות החיוביות של קומפוסטים יותר מאשר החקלאות הרגילה בשל השימוש המצומצם בחמרי הדברה ודשנים, ובשל מדיניות צמצום הפליחה אשר מעודדים התרבות ופעילות אורגניזמים שוכני קרקע.

### מקורות החומר האורגני בקרקע:

- שאריות צמחים ובע"ח
- אורגניזמים שוכני קרקע (Soil biomass)
- תוספות חיצוניות: זבל ירוק, זבל, קומפוסט

### תפקיד המיקרואורגניזמים בדיכוי מחלות שרש ונמטודות

בעבר, לאחר שהתגלתה תופעת "הקרקעות המדכאות", נערכו מחקרים במאמץ לזהות את המ"א האחראיים לתופעה. מ"א כאלה אמנם בודדו ונעשה בהם שימוש בטיפולי הצפה.

עם זאת, בתנאי הערבה, גם בתנאי חקלאות קונבנציונאלית יש ליישום קומפוסט תועלות ברורות:  
✓עליה חדה בתאחיזת המים = עליה ביעילות ניצול המים  
✓עליה חדה בכשר ספיחת יוני יסודות הזנה = עליה ביעילות ניצול דשנים  
✓יצירת סביבה ביולוגית המדכאה התפתחות מחלות קרקע  
✓יצירת סביבה ביולוגית המעודדת גדילת צמחים

## דיכוי מחלות שרש בעזרת מ"א

השימוש בפרפרטים שונים מתפשט באיטיות, יחסית, כתוצאה מתוצאות בלתי יציבות. הסיבה העיקרית לכך היא, ככל הנראה, השפעת כלל האוכלוסייה המיקרוביאלית, שאינה באה לכלל ביטוי מלא בניסויים מבוקרים.

עוד גורם המסבך את המצב הוא הקשר הספציפי שבין האנטגוניסט המסוים לבין המין או הזן המגודל. במקרים רבים אנטגוניסט שנמצא כיעיל לזן מסוים נכשל עם זן אחר.

מיני מ"א בעלי פעולה חיובית מוכחת הנמצאים "על המדף":

*Trichoderma viride*, *T. hamatum*,  
*T. harzianum*, *Bacillus subtilis*,  
*Pseudomonas fluorescens*,  
*P. putida*, ***Fusarium oxysporum***

## דיכוי מחלות שרש בעזרת מ"א

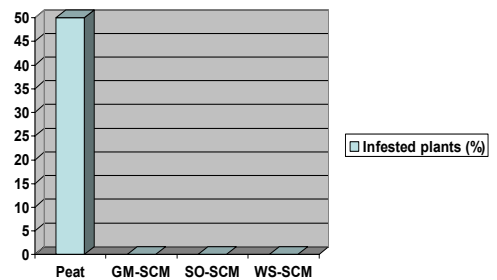
- גורמים אלו אינם אטרקטיביים לתעשייה ובעצם נמצאים בתחום אחריותו של המגדל.
- זה, מצידו יכול להשפיע על תכונות הקרקע ע"י **המימשק** המופעל על ידו. הבעיה היא שהשפעה זו באה לידי ביטוי רק בטווחי זמן ארוכים (5-10 שנים).
- דרך מהירה מעט יותר לבניית כשר דיכוי היא ע"י הוספת קומפוסט (3-5 שנים). (EPA)

## דיכוי מחלות שרש בעזרת מ"א

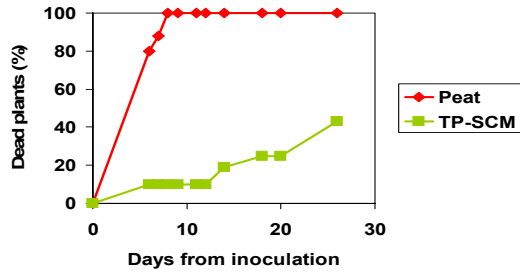
- במצב קרקע מאוזן יש חשיבות מרכזית למגוון הביולוגי הקיים בה.
- נמצא כי המגוון הביולוגי יורד עם הפחיתה בתכולת הח"א בקרקע, כתוצאה מעיבודים, מדישון כימי וממונוקולטורה.



תמותת צמחי עגבניות צ'רי עקב אילוח ספונטני, בהשפעת כבול מול קומפוסטים שונים



**שרידות צמחי מלפפון שאולחו ב FORC וגודלו בנוכחות כבול בהשוואה לקומפוסט**



**מחלה "חדשה" FORC**



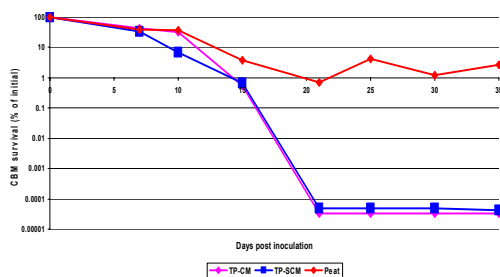
**צמחים חולים**



**סימנים ראשונים לפעילות פתוגן "חדש"**



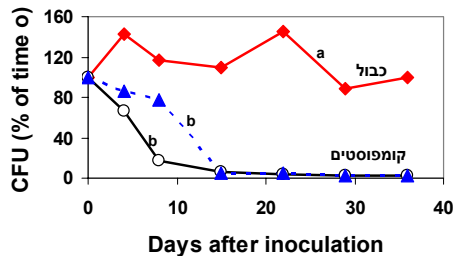
**השפעת כבול ושני סוגי קומפוסט על שרידות CBM**



**זיהוי המחלה**

המחלה זוהתה ע"י ד"ר גיורא קריצמן ממינהל המחקר החקלאי כ – *Clavibacter michiganensis* למיטב ידיעתנו זהו המקרה הראשון המתועד של דיכוי CBM ע"י קומפוסט.

**דעיכת נבגי פוזריום במצעים השונים**  
(*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis- lycopersici*)



**דיכוי מחלות שרש בעזרת קומפוסט - מנגנונים**

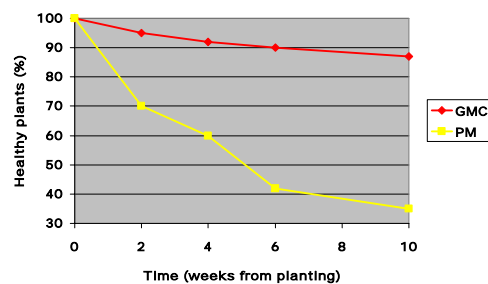
- א. תחרות (דיכוי כללי כלפי אורגניזמים בעלי שלב ספרופיטי)
- ב. היפרפרזיטיות (דיכוי ספציפי)
- ג. אנטיביוזיס
- ד. השראת עמידות
- ה. ספיחה/פירוק סיגנלי שרש
- ו. השפעות כימיות

**דיכוי מחלות שרש בעזרת קומפוסט - מנגנונים נוספים**

- ה. ספיחה ולאן פירוק סיגנלי שרש: קיימות עדויות נסיבתיות. חסר מידע כמותי.
- ו. השפעות כימיות: ניתן להסקה מהישרדות כשר דיכוי לאחר עיקור קומפוסטים. (נביטת סרק).
- ז. פעילות כיטינוליטי, למשל ע"י קווים מסויימים של *Streptomyces* spp כנגד *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*

אורגניזמים תורמים נוספים:  
*Pseudomonas fluorescens*, *P. putida*  
צירוף מספר אנטגוניסטים מעלה את כשר הדיכוי הכללי

**דיכוי מחלות שרש בעזרת קומפוסט - היפרפרזיטיות. *R. solani* על פוטוס. לפי Gorodecki & Hadar, 1990**



**מאפייני קומפוסט בעל כשר דיכוי**

- כדי להיות בעל כשר דיכוי על הקומפוסט להיות בשל, לאחר תקופת Curing אך לא מפורק מדי.
- בקומפוסט בשל יש מעט חמרים פריקים בקלות, דבר המאפשר השתלטות אוכלוסיות ספרופיטיות יעילות. במצב זה נגרמת השראת יצור אנזימים אינדוקטיביים כגון צלולז, המקנים לספרופיטים יתרון בתחרות עם פתוגנים המקיימים שלב ספרופיטי.
- אוכלוסיה זו עמידה לחיטוי תרמי מתון (חיטוי סולארי).