

Dr. Pinchas Fine
Dept. of Soil Chemistry and Plant
Nutrition
Institute of Soil, Water and
Environmental Sciences



ד"ר פנחס פיין
המחלקה לכימיה של הקרקע
והזנת הצמח
המכון למדעי הקרקע, המים
והסביבה

13 מאי 2014

השפעת במס"א על מדדי קרקע וצמח

תמצית ממצאי המחקר

1 כללי

להלן נתונים מעבודותינו המדגימים את התועלת בשימוש בבוצות מיוצבות בסיד (V-Viro או במס"א מהשפד"ן; אקוסויל או במ"ס מביית-שמש). נצבר כבר ניסיון לא מבוטל בשימוש בבמס"א, ולכן אתייחס בעיקר לסוג בוצה זה ופחות ל"אקוסויל" מביית-שמש. הנתונים רוכזו ממספר רב של עבודות, והם מדגימים את התועלת בשימוש בבמס"א, לצד סיכונים אפשריים. במידת האפשר נעשית השוואה לסוגי בוצה אחרים (בד"כ קומפוסט בוצה), ודומני שהייתי שותף לרוב ככול העבודות ההשוואתיות שנעשו בארץ.

ראשית, הבמס"א מהשפד"ן והאקוסויל מביית-שמש הם מוצרים שונים, בעיקר בתוספים המשמשים לייצורם. המלאנים הנם אפר פחם בבמס"א ואבק מחצבות באקוסויל, והתוספים הסידיים הם סיד חי ו אפר פצלי שמן, בהתאמה. גם הרכב הבוצות יחסי הערבוב בין התוספים לבוצה שונים בשני המוצרים. התוצאה היא הבדל משמעותי בהרכב ובתכונות של התוצרים הסופיים. לדוגמה, תכולת החנקן האורגני בבמס"א גבוהה פי 2-3 מאשר באקוסויל, המוליכות החשמלית בבמס"א היא בערך חצי, ותכולת הסיידן היא כרבע מבאקוסויל. לפיכך, יש להתייחס לשתי בוצות אלו כאל מוצרים שונים, הן מבחינת ערך הדישוני והן מבחינה אגרוטכנית. הרכב הבמס"א והאקוסויל הנם יציבים למדי לאורך זמן בגלל האופי התעשייתי של ייצורן. שינויים בהרכב הנם תוצאה של שינוי בהרכב חומרי הגלם (כגון, שינוי בתכונות אפר הפחם, בתכולת המים בבוצה וכד') או ביחסי הערבוב (עקב אילוץ הנובע מהרכב התוספים או עקב החלטה מודעת).

לבוצות המיוצבות בסיד יש בעיה תדמיתית הנובעת בעיקר מסיבות היסטוריות של אחסון לקוי באקוסויל בצפון-מערב הנגב לפני כעשור. להלן אתייחס בעיקר לבמס"א מהשפד"ן, שבעייתה העיקרית (בעיקר מבחינת המשרד להגה"ס) היא תכולת האפר הגבוהה בה (כ-40% מהמשקל הלה). התלונה האמתית לכאורה, היא ה-pH הגבוה של הבמס"א (12.5) והקרבונאציה המלווה את הירידה ב-pH. השפעתם החזויה היא הורדת זמינות הזרחן ויסודות הקורט לגידול החקלאי. אציין כבר כאן, כי לשתי התחזיות הללו אין כל אישוש בתוצאות מהשדה (ומהמעבדה), כולל בקרקעות לא-גיריות. בעיה אחרת, אסטטית יותר, היא האפשרות של התגבשות גושי במס"א שנותרו על פני הקרקע לאחר הפיזור וההצנעה. אלה בולטים במיוחד בעונה הראשונה אך הם נעלמים בהמשך. איננו קובעים שאין בעיות אופייניות ליישום בוצות בכלל ולבמס"א בפרט. טענתנו היא שהכרת החומרים מאפשרת את השימוש בהם במרבית הגידולים והתנאים, וכי שימוש נכון יאפשר הפקת תועלת ללא תקלות.

השימוש הבלעדי כמעט בבמס"א הנו כתחליף דשן בגד"ש, והניסיון המצטבר בכך רב ומעודד (אפס תקלות!) בשנתיים של יישום הבמס"א על כ-10,000 ד/שנה). שימושים נוספים הם לטיוב קרקע ולהדברת גורמי מחלה צמחיים שוכני קרקע. ההדברה הנה באמצעות אמוניה גזית הנוצרת באמוניפיקציה (מינרליזציה) של החנקן האורגני המוכל בבמס"א בתנאי ה-pH הגבוה בקרקע (הנוצר זמנית במינון גבוה מספיק של הבמס"א). לאחר הרטבת הקרקע, ה-pH יורד במהירות והרעילות חולפת (כמו ביישום של חומרי הדברה אחרים). בעיה נוספת, המאפיינת את רוב הזבלים ובעיקר זבלי בע"ח וקומפוסטים שלהם היא תרומתם למליחות הקרקע (ודווחו מקרים רבים של קמילת נבטים בזיבול זבלי עוף). מליחות גבוהה בקרקע מיישום במס"א (או קומפוסטי זבל בע"ח) נוצרת רק בעומסים חריגים, ולא בעומסי יישום אגרונומיים.

התייחסות קצרה ליישום קומפוסט בוצה ובמס"א בחקלאות ארצנו. ראשית, כל מוצר בוצה פסול קטגורית ליישום בחקלאות אורגנית או בגידולים המשווקים למאכל אדם באירופה. גם חלק מהתעשיות בארץ מחייבות הימנעות מגידול על בוצות כלשהן. הדבר מותיר את השימוש בהם בעיקר בקרקעות המיועדות לגידולים לתצרוכת מקומית ולגד"ש ופלחה. אלה גידולים על סף הרווחיות, ובדיקה מדעית-כלכלית של התרומה בפועל של מרכיבי הבוצות לגידולים (עלות/תועלת ותרומה לרווחיות) מראה כי ההחזר לחקלאי ביישום במס"א כמקור ל-NPK זמינים לצמח היא כ-230 ש"ד' בעוד שיישום קומפוסט בוצה גורם הפסד נטו (של כ-50 ש"ד')

בהשוואה ליישום דשן כימי. ולשם השוואה, יישום קומפוסט זבל בקר לאותה מטרה כרוך בהפסד של כמעט 500 טון/ד'.

2) תועלות מייצור במס"א בהשוואה לקומפוסטציה:

א) תועלת למגזר העירוני:

הפסטור בסיד אינו מצריך טיפול מוקדם כלשהו בבוצה הסחוסה. יש בכך פישוט תהליכים וחיסכון רב (כ-50% בעלויות הקמת מט"שים ותפעולם).

ב) תועלת ישירה לסביבה:

- קומפוסטציה של כל בוצת ארצנו (כ-100 אלף טון חומר יבש לשנה) תגרום לפליטה של כ-4000 טון חנקן (שהיה במקורו חלק מהחומר האורגני) כגז אמוניה לאטמוספירה, ויימנע ניצולו כדשן חנקני.
- קומפוסטציה של בוצה פולטת גזי חממה כמתאן (CH_4) או כחנקן תת-חמצני (N_2O). פד"ח (CO_2) נפלט עקב שריפת דלק פוסילי בתהליך עצמו ובהובלת גזם (המינרליזציה לפד"ח של כ-40% מהפחמן האורגני בבוצה אינה נחשבת לפליטת גזי חממה מסיבות שלא נפרט). תרומת המתאן וה- N_2O היא כ-22 אלף טון/שנה CO_2 -equivalent (כ-220 ק"ג/טון בוצה יבשה) ותרומת האנרגיה הנצרכת בתהליך היא עוד כ-5000 טון/שנה.
- ייצור של 4,000 טון דשן חנקני כרוך בפליטת 16 אלף טון גזי חממה כ- CO_2 -equivalent (4.2 ט'ט' חנקן).
- ס"כ העלות הסביבתית הישירה של קומפוסטציה של כל בוצת ארצנו (כדרישת המשרד להגה"ס) היא פליטה של כ-43 אלף טון CO_2 -equivalent לשנה.
- החלפת אפשרית (ולוא רק חלקית) של חומרי הדברה קונוונציונליים בגידול ירקות בקרקעות קלות (להלן, סעיף ג'-4).
- שימוש חוזר בתוצר לוואי (אפר פחם מרחף) והפחתת ניצול משאבים מתכלים (החלפת דשנים סינטטיים).

ג) תועלות חקלאיות ישירות:

- מקור ליסודות הזנה (חנקן, זרחן, אשלגן), פחמן אורגני ויסודות קורט;
- השפעה על יבול גידולים בשדה;
- השפעה על תכונות פיסיקו-כימיות של קרקעות נתרניות (הן של הבוצה והן של האפר);
- הדברת גורמי מחלה צמחיים שוכני קרקע;

ג-1) כושר אספקת יסודות הזנה וקורט מבמס"א

- **זמינות החנקן האורגני לצמח:** מינרליזציה של החנקן האורגני של הבוצות גבוהה במידה משמעותית ביותר בבוצות המיוצבות בסיד בהשוואה לקומפוסט בוצה. במ"ס/ס' במס"א משמרות כמעט ללא שינוי את הזמינות הגבוהה למינרליזציה של החנקן האורגני של הבוצה המקורית. קומפוסט בשל משמר חלק קטן מכלל החנקן שהיה בבוצה (מכושר אספקת החנקן שהיה לבוצה המקורית, חלק ניכר של החנקן שהיה בבוצה אובד בנידוף אמוניה). בנוסף, קומפוסטציה נעשית בתוספת גזם עץ, והישארות חלק ממנו (לפחות 30%) בקומפוסט המוגמר גורמת לעיתים לכך שהמוצר הסופי גורע חנקן מינרלי מהקרקע לאחר הוספתו במקום לתרום לה (ולגידול החקלאי) חנקן מינרלי. זוהי תוצאה של הפירוק המיקרוביאלי של מרכיב העץ אשר אינו מסולק מהקומפוסט. עם זאת, קומפוסט בוצה יכול להיות בעל טווח תכונות רחב, תלוי במידת הבשלות שלו. גם בכך אני חלוק על מי שגורס הבשלה מרבית ("תקן 5"). די בפסטור, רצוי מהיר, ובשימור מרב התכונות ההזנתיות של הבוצה.
- **זמינות הזרחן לצמח:** הזמינות הפוטנציאלית לצמח של הזרחן בקרקע שיושמה בה במס"א עולה והיא נשמרת לאורך זמן, יותר מעונת גידול אחת. מבחינה זאת היה דמיון רב בין קומפוסט בוצה לבמס"א. גם יחסי N/P בהם דומים, ועל כן, כשהיישום הנו לפי מנת החנקן המרבית המותרת, זמינות הזרחן בקרקע עולה במידה דומה ב-2 הזבלים. עם זאת, ניתן לצפות שהירידה בזמינות הזרחן בקרקע עם הזמן תהיה מהירה יותר בבמס"א בגלל ריכוזי סידן מסיס גבוהים יותר. במידה שעודף זרחן זמין בקרקע מהווה מגבלה, ליישום במס"א עשוי להיות יתרון.
- **הדחה של חנקן מינרלי מתחת לבית השורשים:** החנקן בבמס"א הנו למעשה כולו בתרכובות אורגניות והוא מתנהג כדשן חנקני איטי-שחרור, שהנו פחות נוח להדחה בעודפי מי-ההשקיה (או הגשם), בעיקר בראשית העונה בגד"ש וברקות (בהשקיות הטכניות) מאשר החנקן הזמין שנותר בקומפוסט בוצה.

- **זמינות לצמח של יסודות קורט חיוניים:** הזמינות לצמח של ברזל, אבץ, מנגן, נחושת, מוליבדן ויסודות נוספים הייתה דומה ותמיד בתחום הרגיל בטיפול במס"א וקומפ' בוצה או זבל בקר (נבדק בתפוחי-אדמה, גזר, חסה, תירס, חיטה). הנושא נבחן לאחרונה בהרחבה בניסוי שארך 3 שנים ביישום במס"א (בהשוואה לבוצות אחרות) בליזימטרים, עם חול דיונה, קרקע סיינית ("לס") וקרקע חרסיתית, בגידול חסה בהשקיה במים שפירים ובמי-קולחים. עומסי יישום במס"א מצטברים הגיעו ל-20 ו-60 טון/ד' ביישום בעומס המרבי המותר או פי 3 ממנו. גם בעומסים הכבדים, הריכוזים היו רגילים ובד"כ דומים בין הטיפולים. עלייה בריכוז המוליבדן (שמקורו בעיקר באפר) בצמחים הייתה בתחום התקין (והנה חיובית).

ג-2) זמינות לצמח של מתכות כבדות במס"א

- **זמינות מתכות כבדות לא חיוניות:** הריכוזים של ארסן, קדמיום, עופרת ניקל ויסודות אחרים נבדקו בכל הגידולים הנזכרים לעיל. לא נמצא הבדל בין טיפולי במס"א לטיפול היקש או זיבול אחר. נפרט לגבי החסה (גידול בחון רגיש) בניסוי הליזימטרים: בכל אחת מ-4 עונות הגידול, ריכוזי ארסן, קדמיום ועופרת (יסודות מנוטרים ע"י משרד הבריאות, כספית לא נבדקה בגלל ריכוזיה האפסיים בבוצות) היו נמוכים מאד; ריכוזי הארסן ומרבית ריכוזי העופרת היו אף מתחת לסף הכימות. בכל אחת מהקרקעות, ההבדלים בריכוזי היסודות בין צמחים בטיפול בוצה לבין צמחים בטיפול היקש היו בד"כ לא מובהקים סטטיסטית. טיפולי במס"א וקומפ' בוצה אף הורידו לעיתים (מובהק סטטיסטית בעונה אחת) את ריכוז העופרת בצמחים בהשוואה להיקש. ריכוז מוליבדן בצמחים עלה בתגובה ליישום במס"א אך הריכוזים כולם היו תקינים. ריכוז הבורון בצמחים ב-4 העונות היה בתחום הרגיל.
- **הדחה של יסודות קורט ומתכות כבדות מתחת לבית השורשים:** בניסוי הליזימטרים לעיל נמצא כי הריכוזים במי-הנקז של מרבית היסודות היו נמוכים מאד, מתחת לסף הרגישות (שהיה כ-1 µg/l). רק ריכוז הבורון היה גבוה, יותר בטיפולי הבמס"א מאשר בטיפול בוצה האחרים. **לא ניתן להשוות זאת לתקן, הואיל ואין תקן כלשהו לבורון במי-נקז או שתיה.**

ג-3) יבול גד"ש וירקות ביישום במס"א ותרומה לרווחיות

- נבדק מגוון רחב של גידולים כולל: תפוז, א, גזר, חסה, תירס, חיטה, בקיהלתתן.
- בד"כ, לא הייתה הגדלה ביבולים בהשוואה לדישון תקין. השוואה לקומפוסט נעשתה בגידול תירס וחיטה ולא היו הבדלים ביבולים.
- יישום במס"א בקרקעות דלות הניב עלייה מסיבית ומובהקת ביבול ובאיכות התוצרת (תפוז"א בחוות הבשור; בקיהלתתן במשמר דוד).
- **עלויות:** במס"א: חינום בשדה כולל הובלה ופיזור; קומפוסט (במנה שקולה ליישום 50 ק"ג N כלילי/ד') – כ-730 ש"ד'. העודף נטו הנותר לחקלאי מהחיסכון בדשן כימי זמין לצמח בשנה שלאחר יישום הבמס"א הוא 230 ש"ד', בעוד שעלות הקומפוסט היא כ-50 ש"ד' יותר מההחזר ממרכיב הדשן לעיל.

ג-4) הדברת עשבייה, הדברת גורמי מחלה צמחיים שוכני-קרקע והפחתת מחלות צמחים

- בנושא זה עשינו עבודה מקורית רבה, הן באקוסויל והן במס"א. מנגנון הדברה זהה בשני המקרים והוא כימי ישיר עקב רעילות אמוניה גזית. כמנגנון כימי הוא גם ניתן לחיזוי ולשפעול ע"י: (א) העלאת ה-pH של הקרקע בעומק המטרה, (ב) תגבור תכולת האמוניה בקרקע באמצעות דשן מתאים, (ג) חימום פני הקרקע). ההדברה יעילה בקרקעות קלות.
- יישום במס"א להדברה נעשה ב-2 גידולים: תפוז"א וחסה. בתפוז"א (חוות הבשור 2012) הייתה הפחתה מסיבית של סטרפטומיצטים פאתוגניים וכלליים ושל מיני פוזריום בקרקע. לא הייתה הופעה של מחלה כלשהי בכל הטיפולים (כולל בביקורת). בחסה (עין הבשור 2013) הייתה הפחתה משמעותית ומובהקת בעשבייה הרעה, במדבק של סטרפטומיצטים פאתוגניים בקרקע ובעוצמת המחלה בצמחי החסה (ריקבון גרום-פוזריום) **בהשוואה לביקורת.**
- בעומס יישום חריג (12 ט"ד') היה עיכוב בהתבססות של שתילי החסה עקב המלחה של הקרקע שלא נשטפה במועד.
- באקוסויל (מנגנון פעולה זהה; נבדק בתקופה שקדמה לייצור במס"א) היו הצלחות אחדות. מוצלחת במיוחד הייתה הדברה של **פוזריום אוקסיספורום** דיאנטי והפחתה משמעותית ביותר (ומובהקת) של כמישה גרומת-פוזריום בציפורן.

ג-5) השפעת במס"א על תכונות פיסיקו-כימיות של קרקעות נתרניות

עבודה זאת בוצעה רובה ככולה באקוסויל (במעבדה, בחממה ובשדה). בבמס"א נעשה ניסוי חממה אחד. העבודה בנושא הייתה ברובה בהובלה של דר' גיא לוי ממינהל המחקר החקלאי.

- השפעה על שיעור הנתרן החליף בקרקע (ה-ESP) במעבדה: בוצעו ניסויי חילוף עם אקוסויל בעומסי יישום שקולים ל-5 ול-15 מ"ק/ד'. יעילות החלפת נתרן (הקטנת ה-ESP) בקרקעות גיריות (סיינית מבארי וחרסיתית מרבדים) הייתה: גבס \leq בוצה מעוכלת $<$ במ"ס = קומפוסט = מים מזוקקים. בקרקע לא-גירית (חול סייני ממכמורת) היעילות הייתה: במ"ס $<$ גבס $<$ בוצה מעוכלת = מים מזוקקים $<$ קומפוסט בוצה.
- במס"א בעציצים: בהשוואה לקומפ' בוצה ולבוצה סוג ב' בעומסי יישום שקולים ל-50 ול-500 ק"ג נ/ד'. התוצאות העיקריות: (א) במס"א הגדילה את יציבות התלכידים ב-3 הקרקעות לעיל בכ-50%. שאר הבוצות לא גרמו להגדלת יציבות החלקיקים או שהעלייה הייתה מתונה; (ב) כל הבוצות שיפרו את המוליכות ההידראולית בקרקעות החרסיתית והסיינית והפחיתו אותה בחול.
- אקוסויל בשדה (רבדים) - השפעה על יבול כותנה: יישום אקוסויל (5 מ"ק/ד') בחלקה נתרנית (רבדים 27; חלקה 28 ללא אקוסויל) שיפר את מצע הזרעים לכותנה ואת שיעור התבססות הנבטים, והגדיל את זמינות המים לנבטים ואת יבול הכותן.

ג-6) השפעת אפר פחם מרחף על תכונות הקרקע (סימולציה להשפעה ארוכת טווח של במס"א)

- השפעה על מבנה קרקע חרסיתית-נתרנית: אפר פחם מרחף יושם בשכבת החריש של קרקע חרסית-נתרנית (רבדים, חלקה 33) בשיעור שקול ל-20 ול-80 ט"ד'. מנות אפר אלו שקולות ל-15 ול-60 שנות יישום במס"א (לפי 5 מ"ק/ד' אחת ל-3 שנים), והן מהוות סימולציה מחמירה ביותר ליישום ארוך-טווח של במס"א. הגידול בעונת היישום היה תירס למספוא, והייתה עלייה קלה (בתחום הנורמלי) בריכוז הכרום בגרגרים בטיפול הגבוה, ועלייה במוליבדן בנוף ב-2 שיעורי היישום. בצמחי העונות הבאות (נבדקו חמצה ותיירס) לא היו כל הבדלים בתכולת היסודות בצמחים. היה שיפור ניכר בתכונות הקרקע: נמנעה היווצרות סדקים במהלך התייבשות הקרקע בקיץ, וחלה הקטנה משמעותית בגודל רגבי הקרקע הנוצרים בחריש.
- תכולת מתכות כבדות ויסודות קורט בקרקע לעיל נבדקה כשנה לאחר היישום האפר והשינויים בשני שיעורי היישום היו מזעריים.
- השפעה על תכונות פיסיקליות של חול דיונה: ניסויים במערכת הדמיית גשם ובמנהרת רוח הראו כי תוספת אפר פחם מרחף לחול דיונה (נבדק עד 15% w/w) הגדילה את תאחיזת המים במידה משמעותית (עד לפי 8 בהשוואה לביקורת) והפחיתה במידה משמעותית את סחף הרוח בחול המועשר באפר. חול ללא אפר נסחף ברוח כבר במהירות רוח של 9 מ'/שנ' בעוד שבחול מטופל באפר החל להיסחף באופן משמעותי רק במהירות של 26 מ'/שנ'.
- השפעה על היווצרות קרומים בקרקע לסית: בקרקעות לסיות יש נטייה להיווצרות קרום עקב מטח טיפות גשם, המעודד יצירת נגר עילי וסחף. ניסויים בהדמיית גשם הראו כי העשרה של קרקע כזאת באפר פחם מרחף מחלישה מאד את הקרום. בהתאם, נמדדה עליה של פי 2.5 בקצב חידור המים בקרקע הלס שטופלה באפר.

ד) סיכום:

להערכתנו, יישום מנתי והדרגתי של במס"א לא יגרום לשינוי משמעותי, ודאי לא לרעה, בתכונות הפיסיקליות של הקרקע. שינויים בהרכב הכימי של הקרקע לא יהיו משמעותיים מבחינת תפקודה התקין כמצע לגידול צמחים. לעומת זאת לשימוש בבמס"א בחקלאות יש יתרונות רבים, הן מבחינת ההשפעה החיובית על הקרקע (החלפת תשומות דשן, טיוב הקרקע, הדברת עשבייה וגורמי מחלה שוכני קרקע), הן מבחינת רווחיות המשק החקלאי, והן מבחינת ההשפעה הכוללת על הסביבה (מניעת פליטות האמוניה וגזי החממה לאטמוספירה המתרחשות במהלך הקומפוסטציה של הבוצה, הפחתת השימוש בחומרי הדברה, קיום עקרון המחזור!).

בכל מקרה חשוב להדגיש שאת הנעשה ניתן להשיב. מאז החלו לייצר במס"א, מנהלת אפר הפחם מקיימת מעקב הדוק אחר כל השדות בהם היא פוזרה ומפוזרת, והיא תומכת במחקר על ההשפעות האפשריות של יישום במס"א על הקרקע והגידול החקלאי ועל הדליפה של מרכיבי במס"א מתחת לבית השורשים. למרות הסבירות הנמוכה של השפעות שליליות ארוכות-טווח ביישום חוזר של במס"א יש להמשיך ולעקוב אחר השפעתה על קרקעות חקלאיות.