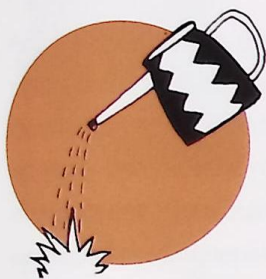


ניסוי: תוספים אורגניים מעכבים תנועת חומרי הדברה



הוספת בוצה לקרקע תגרום לעיכוב תנועת חומרי הדברה ולהאטת תנועת חומרים אלה לעבר מי התהום

ח.סלושני, א.גרבר, ז.גרסטל / המכון לקרקע ומים, מנהל המחקר החקלאי

תקציר

הגדלת נפחי השפכים בארץ מלווה בהצטברות בוצה במתקני הטיפול. יישום קרקעי חקלאי של הבוצה הינו האלטרנטיבה הטובה ביותר לסילוקה. מטרת עבודה זו הייתה בחינת השפעת תוספים אורגניים שונים (בוצה, זבל בקר וקומפוסט אורגני) המיושמים בקרקע לסגירת על ספיחת ותנועת חומרי הדברה המוספים לשדה, בניסויי ספיחה ובניסויי

העליה בספיחת חומרי ההדברה, שנצפתה בקרקע המכילה תוספים אורגניים טריים, לא תתגלה בקרקעות בהן מודגר החומר האורגני

הביולוגית, המהווה מדד לריכוז החומר האורגני) של כ-500 מ"ג/ל (3).

ניתן להניח שתוך כשלושים שנים, כשנפח השפכים המטוהרים יוכפל, תוכל גם כמות הבוצה.

עובדות אלה מצביעות על כמויות ניכרות של בוצה אותן יש לסלק בצורה "הידידותית" ביותר לסביבה. סילוק הבוצה יכול להיעשות בארבע דרכים עיקריות: שריפה, סילוק לים או לגופי מים אחרים (השיטה הנפוצה ביותר כיום בארץ לסילוק הבוצה), קבורה ויישום קרקעי-חקלאי של הבוצה כתוסף אורגני. יישום קרקעי חקלאי של הבוצה (לאחר טיפול מקדים, החל מייבוש וכלה בקומפוסטציה) הוא אלטרנטיבה טובה ואינו מהווה מפגע סביבתי חמור בהשוואה לאלטרנטיבות האחרות.

מחקרים רבים הראו שתוספת בוצה משפרת את התכונות הפיסיקליות של הקרקע כגון תאחיזת מים ומבנה וע"י כך מפחיתה

האורגני גרמה לירידה בספיחת חומרי ההדברה בקרקע המודגרת בהשוואה לקרקע שהכילה תוספים אורגניים טריים. העליה בספיחה נובעת מתוספת חומר אורגני לקרקע נוצפת גם בניסוי המיקרוקוסם, שהראה עיכוב בתנועת חומרי הדברה בקרקע שהכילה זבל בקר וקומפוסט אורגני בנוסף על ירידה בנידופם, כנראה עקב העליה בספיחה. מסקנת המחקר היא, שהוספת בוצה לקרקע תגרום לעיכוב תנועת חומרי הדברה, ובכך עשויה להאט תנועת חומרים אלו לעבר מי התהום.

מבוא

גידול האוכלוסיה בעולם מלווה בעומס רב על מקורות המים השפירים ובהגדלת נפחי השפכים. במהלך טיהור השפכים שוקעת פאזה מוצקה, הבוצה, שהרכבה ותכונותיה תלויות בשפכים מהם נוצרה ובאופי תהליך הטיהור. בוצה שמקורה בטיפול ראשוני הינה תוצר השיקוע של מוצקי השפכים, בעוד שבוצת תהליך הטיהור השניוני מורכבת בעיקר מהמסה המיקרוביאלית המפרקת בנוסף למרכיבים אחרים.

הכמות הפוטנציאלית של בוצה בארץ כיום היא כ-100,000 טון בוצה יבשה לשנה, לפי כ-400 מלמ"ק שפכים ו-BOD5 (צריכת החמצן

תוצרי הפרוק של חומר הדברה עלולים להיות ניידים יותר מחומר האב

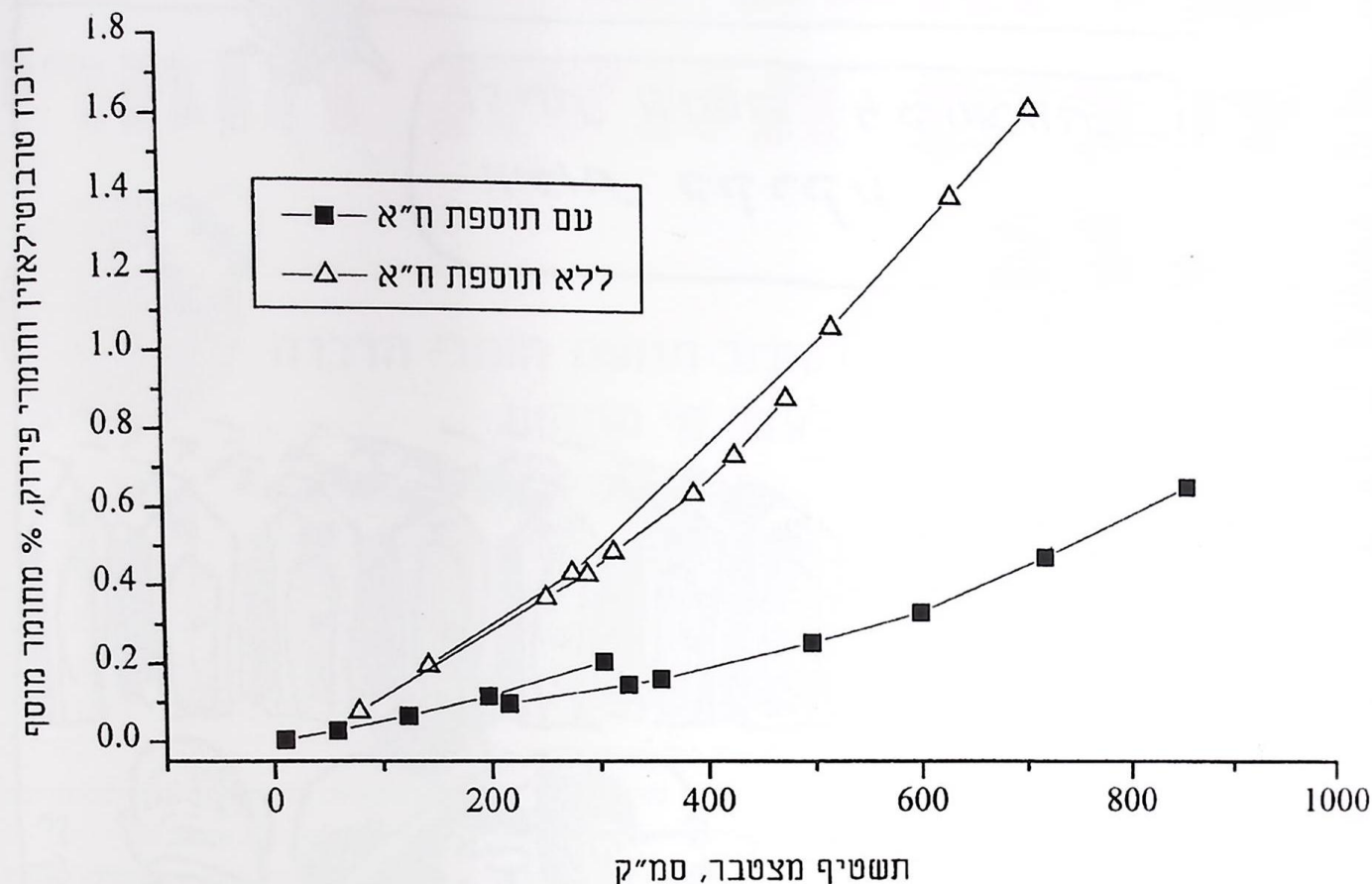
במערכת מיקרוקוסם. תוצאות ניסויי הספיחה הצביעו על עליה של כ-60% בספיחת טרבוטילאזין בקרקע שהכילה בוצה וקומפוסט בוצה טריים. ניסויי ספיחה בחומרי הדברה טריאזינים אחרים (אטרזין, סימזין ואמטריין) הראו גם הם עליה בספיחתם בקרקע שהכילה את התוספים האורגניים הטרניים. כעבור שנה של הדגרת הבוצות בקרקע התפרק החומר האורגני שהוסף ותכולתו הגיעה לריכוז הראשוני בקרקע (בטרם הוספת הבוצה) בדומה לקרקע ביקורת (ללא בוצה או קומפוסט) שהודגרה באותם תנאים. פירוק החומר



כי השקיה במי קולחין האיצה תנועת אטרזין בקרקע, כנראה כתוצאה מספיחתו על חומר אורגני מסיס הנע עם שטף המים (9). היות ובבוצה מצוי בנוסף לחומר האורגני המוצק גם חומר אורגני מסיס, ישנה אפשרות שהוספת בוצה (בדומה להשקייה בקולחין), תאיץ תנועת חומרי הדברה בקרקע והסיכון בחדירתם למי התהום יגדל. מטרת עבודה זו הייתה בחינת השפעת יישום בוצה ותוספים אורגניים אחרים על ספיחה ותנועה של חומרי הדברה

הסביבתיות הנלוות כגון, שאריות חומרי ההדברה בקרקע והשפעת התוספים האורגניים על קצב תנועת חומרי הדברה בקרקע המכילה בוצה (או תוספים אורגניים אחרים כמו זבל בקר). זאת בהשוואה לקרקע ללא בוצה (8,10). ספיחת חומרי ההדברה מתרחשת ברובה על החומר האורגני בקרקע (12). מכאן ניתן להניח שתוספת של חומר אורגני לקרקע תגדיל ספיחת חומרי הדברה. אולם, בוצה מכילה גם חומר אורגני מסיס. לאחרונה נמצא

את סחף הקרקע ושומרת או אפילו משפרת את פוריותה (7,11). בנוסף נחקרו הסכנות הכרוכות ביישום בוצה בקרקע: עלייה בריכוזי המתכות הכבדות בקרקע, חדירת מזהמים אורגניים שמקורם בבוצה למערכת הקרקעית וסכנות בריאותיות הכרוכות בחומר האב של הבוצה (פתוגנים, פריזיטים ועוד). תשומת לב פחותה ניתנה להשפעת תוספת בוצה ופסולות אורגניות אחרות על התנהגות אגרוכימיקלים המוספים לקרקע, ולהשלכות



איור 1. הריכוז המצטבר של טרבוטילאזין ותוצרי הפירוק המסומנים בתשטיף בניסוי המיקרוקוסם. נבכי תשטיף שונים התקבלו מהעמודות.

מתבצעת על החומר האורגני בקרקע. קבוע זה מוגדר כ-Kom-100. (אחוז החומר האורגני בקרקע/קד) Kom = (Kd/קרקע) ספיחת חומרי ההדברה נבדקה בקרקע ללא בוצה (ביקורת) ובקרקע עם בוצה, בשיעור שווה ערך ל-1 טון בוצה יבשה אוויר/דונם (0.5% משקלי בשכבת חריש של 15 ס"מ), בהתאם להמלצות ליישום בוצה של המשרד לאיכות הסביבה מ-1994 (1). תערובת של קרקע+בוצה עורבבה במבחנות זכוכית עם תמיסת חומר הדברה בריכוזים שונים למשך 24 שעות להשגת שווי משקל. ריכוז חומרי ההדברה בתצליל נבדק במכשיר כרומטוגרפיה נוזלית בלחץ גבוה (HPLC). ספיחת חומרי ההדברה בקרקע המכילה בוצה

קוטלי עשבים ממשפחת הטריאזינים: אטרזין, סימזין, אמטרין וטרבוטילאזין. השימוש בחומרים אלה נפוץ בארץ בגידולי תירס, סורגוס ועוד בנוסף על הדברה כללית של עשבים רחבי עלים. נסיונות ספיחה:

ספיחת חומרי ההדברה בקרקע אופיינה באמצעות איזותרמות ספיחה, בהן מוצגת כמות חומר ההדברה הספוחה בגרם קרקע, כתלות בריכוזו בתמיסת שווי המשקל. שיפוע קו איזותרמת הספיחה מוגדר כקבוע הספיחה של חומר ההדברה בקרקע (kd). kd גדל עם העלייה בספיחה. נהוג לתקן את קבוע הספיחה בקרקע לתכולת החומר האורגני (באחוזים), היות ומירב ספיחת חומרי ההדברה

ממשפחת הטריאזינים בקרקע. המחקר עשוי לסייע בגיבוש מדיניות לשימוש נכון בבוצה בקרקע חקלאית.

חומרים ושיטות

קרקע ובוצות:

נחקרה קרקע לס מחוות הניסיונות בגילת, שמורכבת מ-17% חרסית, 11% סילט, 72% חול ו-0.68% חומר אורגני. שתי הבוצות שנחקרו היו בוצה משופעלת ממפעל הטיהור בשפדן ובוצה ממכון הטיהור בחיפה. בנוסף, נעשה שימוש בקומפוסט מבוצת חיפה שהוכן עם שבבי עץ ביחס נפחי של 1:2 (בוצה: שבבים) (5).

בניסויים השונים נעשה שימוש בארבעה

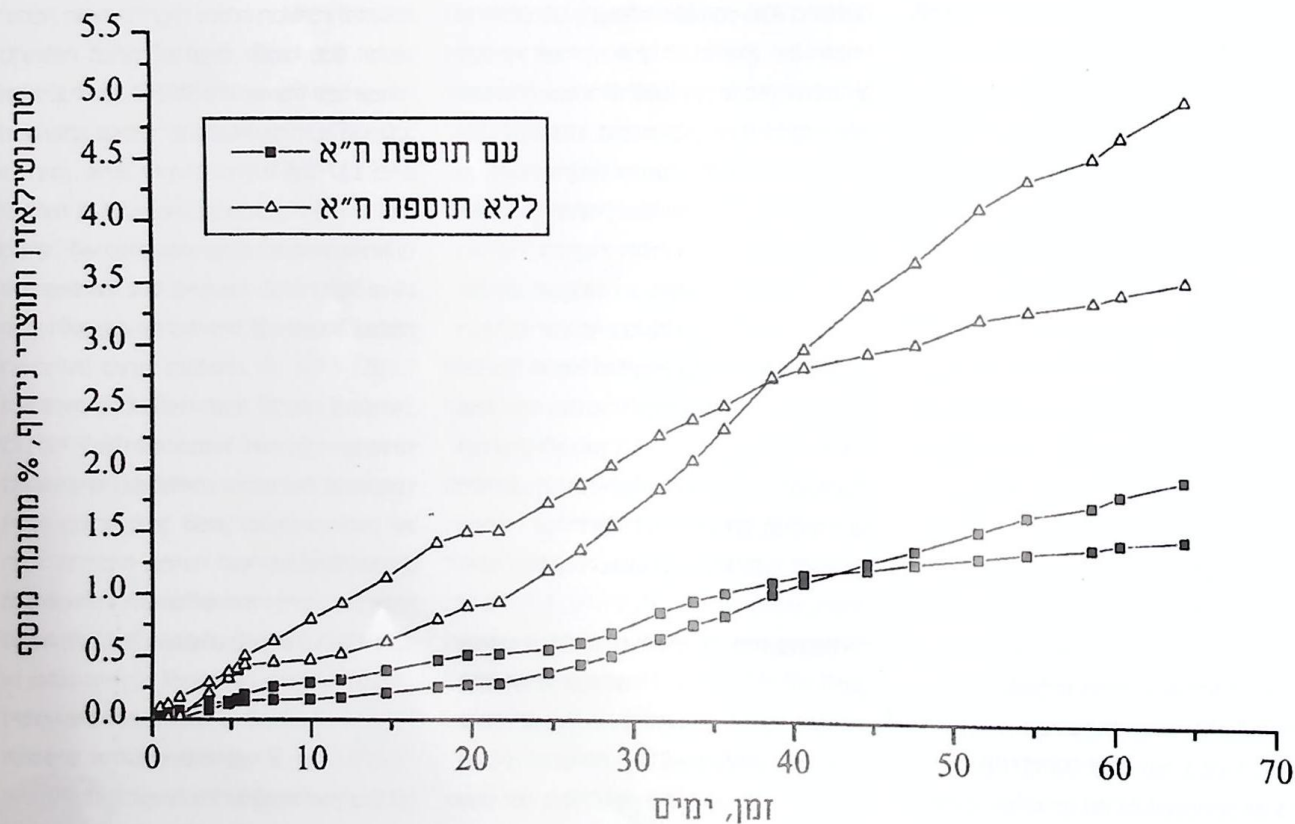
שמטרתם לכידת חומר ההדברה שמתנדף בנוסף על תוצרי פירוק ומינרליזציה (CO₂) ניידים. עמודות הנירוסטה הוחדרו לקרקע בחוות גילת לעומק 30 ס"מ לשם קבלת עמודת קרקע בלתי מופרית. שתי עמודות הכילו קרקע גילת ללא כל טיפול (ביקורת) ושתי הנותרות הכילו קרקע, משדה שהוסיפו לו זבלים אורגניים (זבל בקר וקומפוסט אורגני המורכב מזבל בקר ולשלשת עופות) במינון ממוצע של 4 טון/דונם/שנה משך כשלושים שנה (3,6). תוספים אורגניים אלה שונים מהבוצה שהוספה בניסויי הספיחה, אולם, ההנחה היא שספיחת חומרי ההדברה על חומר אורגני ממקורות שונים תהיה דומה. טרבוטילאזין מסומן בפחמן 14 עורבב בפורמולציה של חומר ההדברה והוסף לכל

תוספים אורגניים על ספיחת ותנועת חומר הדברה המוסף לקרקע. מערכת המיקרוקוסם בנויה מארבע עמודות נירוסטה בגובה 30 ס"מ ובקוטר 15 ס"מ. בתחתית כל עמודה מכסה מחורר, דרכו מתנקזים התשטיפים לבקבוקים המחוברים בצינורות טפלון למשאבת ואקום חלשה (-100 mbar), המאפשרת תנועה רציפה של המים דרך העמודה. החלק העליון של העמודות נסגר באמצעות מכסה טפלון מחורר, דרכו מוחדרים מי ההשקיה בטפטוף (לדימוי של גשם או השקיה). בראש כל עמודה מורכב מדחף היוצר ערבול מתמיד של האוויר מעל העמודה. אוויר מוזרם מעל פני הקרקע באופן רציף ע"י שאיבה דרך מערכת המורכבת משלוש מלכודות המחוברות בטור. מלכודות אלה מכילות ממסים אורגניים

טריה הושוותה לזו של קרקע בה הודגרו התוספים האורגניים משך שנה (בניסויי ספיחה זהים לאלה שתוארו), בהתאם להצעה לתקנות לשימוש בבוצות של המשרד לאיכות הסביבה לבוצה המיועדת לדישון גידולים המיועדים למאכל אדם או לקייט או לנופש (1), בהן מוצעת תקופת המתנה של שנה מרגע הוספת הבוצה ועד לתחילת עיבוד הקרקע. תוצאות ניסוי זה בנוסף לתוצאות הניסוי שכלל תוספים אורגניים טריים מופיעות בטבלה 1.

ניסוי המיקרוקוסם:

מערכת זו נועדה לבחון תהליכים העוברים על חומר הדברה המוסף לקרקע: ספיחה לקרקע תנועה בפאזה הנוזלית, ניסוף לאטמוספירה ופירוק. מטרת ניסוי זה הייתה בחינת ההשלכות ארוכות הטווח של יישום



איור 2. הריכוז המצטבר של טרכוטילאזין ותוצרי הפירוק המסומנים במלכודות החומרים הנדיפים בניסוי המיקרוקוסם

טבלה 1. ספיחת אטרזין ואחוז החומר האורגני בקרקע המכילה תוספים אורגניים טריים, בהשוואה לקרקע בה הודגרו התוספים

זמן ההדגרה	פרמטר	ללא תוסף	בוצת שפדן	בוצת חיפה	קומפוסט חיפה
מידי	חומר אורגני, %	0.68	1.05	1.05	0.97
	Kd, מ"ל/ג	0.22	0.34	0.35	0.35
	Kom, מ"ל/ג	31	32	33	36
שנה	חומר אורגני, %	0.65	0.64	0.65	0.72
	Kd, מ"ל/ג	0.30	0.24	0.29	0.27
	Kom, מ"ל/ג	46	36	43	36

האורגני בקרקע שהכילה בוצה וקומפוסט לערכה ההתחלתי בקרקע המקורית כתוצאה ממנירליזציה של החומר האורגני שהוסף. תכולת החומר האורגני בביקורת (קרקע שהודגרה ללא התוספים) לא השתנתה במידה משמעותית בתום תקופת ההדגרה. המנירליזציה של החומר האורגני המוסף כעבור שנה של הדגרה בקרקע גרמה לירידה בספיחת חומר ההדברה (ירידה בערכי Kd) בהשוואה לקרקע המכילה תוספים אורגניים טריים. בנוסף, ספיחת אטרזין כעבור שנה של הדגרת הבוצות בקרקע, דומה לזו של הקרקע שהודגרה ללא הבוצות. Kom, ברוב המקרים, גדל בקרקע שהודגרה משך שנה בהשוואה לקרקע שלא הודגרה, הן בקרקע בתוספת הבוצה והן בביקורת. העליה בערכי Kom בתום תקופת ההדגרה בהשוואה לקרקע שלא הודגרה, מצביעה על עלייה ביעילות ספיחת חומרי ההדברה כעבור שנה של הדגרה, כנראה עקב שינוי שחל בחומר האורגני הקרקעי בתקופה זו. המסקנה היא שחומר אורגני המוסף לקרקע יתפרק כעבור שנה של הדגרה ולכן, העלייה בספיחת חומרי ההדברה, שנצפתה בקרקע המכילה תוספים אורגניים טריים, לא תתגלה בקרקעות בהן מודגר החומר האורגני.

ניסוי המיקורוקוסם: מירב חומר ההדברה (כ-90% מסך החומר המסומן בעמודות) נותר בשכבת הקרקע העליונה (0-10 ס"מ), הן במקרה של קרקע הביקורת והן בעמודות הקרקע שהכילו תוספים אורגניים. יחד עם זאת, בשכבת הקרקע התחתונה (8-25 ס"מ), נמצא ריכוז נמוך יותר של חומר מסומן בעמודות שהכילו תוספים אורגניים, בהשוואה לביקורת. הצטברות מירב חומר ההדברה בשכבת הקרקע העליונה נובע מהתכולה הגבוהה של חומר אורגני בשכבה זו, הן בקרקע שהכילה תוספים אורגניים והן בקרקע הביקורת. עם זאת, תכולת החומר האורגני הגבוהה

בקרקע המכילה בוצה בהשוואה לקרקע ללא בוצה (ביקורת). Kd בקרקע שהכילה בוצה או קומפוסט בוצה היה גבוה בכ-60% בהשוואה לקרקע הביקורת (ללא בוצה). גם חומרי ההדברה האחרים (אטרזין, סימזין ואמטרין) נתנו תוצאות דומות (2). העלייה בספיחת חומרי ההדברה הייתה צפויה בגלל שריכוז החומר האורגני, המהווה את אתר הספיחה העיקרי לחומרי ההדברה בקרקע, עלה עם הוספת הבוצות בכ-40%. היות ורוב החומר האורגני שהוסף בבוצה הינו במיקטע המוצק, ספיחת חומרי ההדברה בקרקע עלתה. למרות שתכולת החומר האורגני שונה במקצת בין הבוצות, לא ניתן היה להצביע על תוסף אורגני מסויים הגורם לעלייה בספיחת טרבוטלאזין וחומרי ההדברה הנוספים (2) במידה רבה יותר מאשר התוספים האחרים.

תוספים אורגניים לאחר הדגרה בהשוואה לתוספים טריים:

טבלה 1 מציגה את תכולת החומר האורגני, וקבועי הספיחה (Kom, Kd) לאטרזין בקרקע המכילה בוצה וקומפוסט טריים ובקרקע בה הודגרו התוספים האורגניים משך שנה. כעבור שנה של הדגרה בקרקע ירדה תכולת החומר

עמודה במינון של 98 גרם חומר פעיל/דונם (כ-1.5 מ"ג טרבוטילאזין לכל עמודה). לאחר הוספת חומר ההדברה נסגרה המערכת והופעלה ברציפות במשך 67 ימים, שבמהלכם הוספו (כל 2-3 ימים) 50-200 מ"ל מי ברז לכל עמודה (נפח מים מצטבר של 2420 מ"ל מי ברז לכל עמודה, שווה ערך להשקיה של 137 מ"מ ומהווה כ-1.5 נפחי נקבובים).

לאחר 67 ימים פורקו העמודות ונחתכו לשכבות של 1-2 ס"מ עד לעומק של כ-10 ס"מ, ולשכבות של 3-5 ס"מ (בהתאם למיגבלות הטכניות) בשאר העמודה.

האנליזות כללו מיצוי חומר הדברה מהקרקע, בנוסף למדידת כמות החומר המסומן בתשטיפים ובמלכודות באמצעות מונה נצנץ נוזלי. בנוסף נערך אפיון תוצרי הפירוק של חומר ההדברה ממיצוי הקרקע, מהתשטיפים וממלכודות התוצרים הנדיפים באמצעות פלטת TLC (כרומטוגרפיה של רובר דק).

תוצאות ודיון

ניסויי ספיחה

תוספים אורגניים טריים:

איוזתרמות הספיחה של טרבוטילאזין בקרקע עם בוצות וקומפוסט בוצה טריים הראו עלייה משמעותית בספיחת חומר ההדברה

יותר בקרקע שהכילה תוספים אורגניים (1.3% לעומת 0.9%) עיכבה את תנועת חומר ההדברה לעומק. גם השטיפה של חומר ההדברה המסומן מהעמודה (איור 1) והנידוף שלו מפני הקרקע (איור 2) היו נמוכים יותר בנוכחות התוספים האורגניים. התוצאות המוצגות באיורים 1-2 מצביעות על ספיחה מוגברת של ההדברה בקרקע המכילה תוספים אורגניים בדומה לתוצאות ניסויי הספיחה. הרצת מיצויי הקרקע על גבי פלטת TLC הראתה שבשכבות הקרקע התחתונות (10-30 ס"מ) עולה ריכוזו של דסאטילטרבוטילאזין (שהוא אחד מתוצרי הפירוק של טרבוטילאזין) עד לריכוז יחסי של 10%-30% מכלל החומר המסומן. לא נתגלה כל הבדל בריכוז תוצר הפירוק בעמודות שהכילו תוספים אורגניים ובביקורת. כלומר, מירב חומר ההדברה מעוכב בשכבת הקרקע העליונה הן במקרה של קרקע המכילה תוספים אורגניים והן במקרה של קרקע ללא תוספים, אולם, תוצרי פירוק של חומר הדברה עשויים להיות ניידים יותר מחומר האב והסיכוי למציאתם בעומק הקרקע גדל. במלכודות התוצרים הנדיפים זוהה מרבית החומר כטרבוטילאזין, ובתשטיפי הקרקע נמצאו ריכוזים דומים של טרבוטילאזין ושל תוצר הפירוק דסאטילטרבוטילאזין, בנוסף לתוצרים בלתי מזוהים (לא נעו על פלטת ה-TLC בתנאי הניסוי הנוכחים). משך תקופת הניסוי לא נמצא כל CO₂ מסומן במלכודות. מכאן ניתן להניח שבתקופת הניסוי חומר ההדברה לא עבר מינרליזציה בקרקע.

סיכום ומסקנות

הוספת בוצה, קומפוסט בוצה או תוספים אורגניים דומים (זבל בקר וקומפוסט אורגני) לקרקע, מהווה אלטרנטיבה טובה לסילוק חומרי הבוצה. נוסף לכך, תורמת הוספה זו ליתרונות אגרנומיים. ניסויי ספיחה הצביעו

על עלייה בספיחת חומרי הדברה המוספים לקרקע בנוכחות בוצה וקומפוסט בוצה טריים. אולם, כעבור שנה של הדגרה בקרקע מתפרק החומר האורגני שהוסף וספיחת חומרי ההדברה משתווה לזו של קרקע ללא בוצה. גם ניסוי במערכת מיקרוקוסם הצביע על עלייה בספיחת חומרי הדברה המוספים לקרקע בשדה שזובל לעתים בזבל בקר וקומפוסט אורגני משך שלושים שנים.

תוצאות המחקר הראו ששימוש בבוצה כתוסף לקרקע חקלאית עשוי להקטין את הסכנה הפוטנציאלית של זיהום מי התהום בחומרי הדברה המיושמים בשדה. עם זאת, בניסוי המיקרוקוסם נמצא כי הניידות של דסאטילטרבוטילאזין (שהוא זהה לתוצר פירוק של אטרזין) היתה גדולה יותר מניידות חומר האב (טרבוטילאזין) גם בנוכחות האורגניים. תוצאה זו מראה שתוצרי הפירוק של חומר הדברה עלולים להיות ניידים יותר מחומר האב. לכן, בהערכת הסיכון לזיהום מי התהום בחומר הדברה כלשהו יש להתחשב באופי תוצרי הפירוק, בהקשר לספיחתם ותנועתם בקרקע.

מקורות

1. בראור י. (1994) הצעה לתקנות לשימוש בבוצות. המשרד לאיכות הסביבה, האגף לאיכות המים.
2. שלושני ח. (1996) השפעת בוצה ותוספים אורגניים אחרים על התנהגות חומרי הדברה בקרקע, היבטים כימיים פיסיקליים. עבודת גמר, הפקולטה לחקלאות ברחובות.
3. פייגין ע. ושגיב ב. (1988) השפעות ארוכות טווח של זבלים ודשן חנקני על הקרקע. מנהל המחקר החקלאי בית דגן. דו"ח שנתי בניסוי חלקות קבועות בגילת.
4. פייגן פ. הרכב כימי והתנהגות של בוצת שפכים בקרקע. מחקר חקלאי בישראל (בדפוס).
5. פלודה ד. (1993) קומפוסטציה של בוצת

שפכים. מו"פ צפון, סיכום ניסויים בשנת 1993.

6. שגיב ב., בר-יוסף, הדס א., סוריאנו ש., לבקוביץ א., וציפילביץ י. (1995) השפעת קומפוסט אורגני, קומפוסט אשפת ערים ודשן חנקני בטפטוף על התפתחות ויבול גזר. מנהל המחקר החקלאי בית דגן. ניסוי חלקות קבועות, חוות הנסיונות גילת.
7. Banin A., Gerstl Z. and Fine P. (1990) Minimizing soil contamination through control of sludge transformations in soil, Joint German-Israeli Research Projects Final Scientific Report.
8. Belin C.A. and O'connor G.A. (1990) Plant Uptake of pentachlorophenol from sludge-amended soils. J. Environ. Qual. 19:598-602.
9. Graber E.R., Gerstl Z., Fischer E. and Mingelgrin U. (1995) Enhanced transport of atrazine under irrigation with effluent. soil sci. Soc. Am J. 59:1513-1519.
10. Guo L., Bicki T.J. and Hinesly T.D. (1990) Effect of carbon-rich waste materials on movement and sorption of atrazine in a sandy, coarse-textured soil. Environ. Toxic. Chem. 10: 1273-1282.
11. Gupta S.C., Dowdy R.H. and Larson W.E. (1977) Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. Soil Sci. Soc. Am. J. 41:601-605.
12. Hassett J.J. and Banwart W.L. (1989) The sorption of nonpolar organics by soils and sediments. In: Reactions and Movement of Organic Chemicals in Soils. Sawhney B.L. and Brown K. (eds) SSSA Special Publication No. 22, Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, Wi. USA. p. 31-44.

