



## שימוש חקלאי בבוצות שפכים מיוצבות באפר-פחם מרחף ובסיד

השלמה לדו"ח 2006 למנהלת אפר הפחם

- (1) מיצוי מימי של יסודות מתערובות של חול עם בוצות שפכים מיוצבות באפר-פחם מרחף ובסיד לאחר מחזור גידול של תירס בעציצים
- (2) השפעת במס"א על יבול חיטה והרכבה הכימי בשדה רבדים

מוגש ע"י

פנחס פיין, אורי מינגלרין, אריה בוסק, רבקה רוזנברג, אנה בריוזקין, שושי סוריאנו, דני זוהר  
המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני,

ת"ד 6, בית דגן 50250

[finep@volcani.agri.gov.il](mailto:finep@volcani.agri.gov.il)

### תקציר הדו"ח הקודם וההשלמות

תכשירי בוצה מיוצבת בסיד ובאפר פחם (במס"א) הוכנו מבוצות מבית-שמש או אשדוד בתערובות עם סיד חי או CKD ועם אפר פחם מרחף או חרסיות כמלאנים. התערובות עורבבו בחול דיונה ב-10 הרכבים שונים ותכונות ההזנה שלהן, והשפעתן על ההרכב הכימי של צמחים נבחנו בניסוי עציצים בגידול תירס בחממה. ערבוב התוספים עם החול היה לפי תכולת החומר האורגני בהם, והעומס הכולל של הבוצה המיוצבת בקרקע היה שקול ל-6.5 עד 26 טון/ד'. ה-pH ההתחלתי של התערובות היה סביב 12.5, והוא נשאר כזה במשך כחודש לאחר הערבוב, עם ירידתו מתחת ל-9 נזרע התירס. בתום הניסוי (115 יום לאחר הערבוב), ה-pH היה 8 או פחות מזה בכל התערובות.

שיעור המינרליזציה הממוצע של החנקן האורגני בבמ"ס היה כ-60% מהתוספת בכל התערובות. איבודי חנקן, שהקטינו ככל הנראה את זמינות החנקן, ותשומות אשלגן נמוכות הגבילו את הצימוח ברוב הטיפולים. זמינות הזרחן הייתה גבוהה בכל הטיפולים, והזמינות הפוטנציאלית של הזרחן בקרקע (לפי מיצוי בדו-פחמה) פחתה רק בכ-10%-40% במהלך הניסוי.

כל התערובות עמדו בתקן הישראלי למתכות כבדות. התוספת לקרקע של מרבית היסודות המנוטרים (כספית לא נבדקה) עם הבמ"ס השונות הייתה בין מאיות מ"ג/ק"ג קרקע (קדמיום), למ"ג בודדים לק"ג (עופרת, נחושת, כרום וניקל) לכ-15 מ"ג/ק"ג (אבץ). ריכוזי יסודות הקורט והמתכות הכבדות בצמחים כמעט לא הושפעו בטיפולי הבמ"ס בהשוואה לטיפול היקש (דשן כימי או בוצה לא מיוצבת). ריכוזי בורון בצמחים שגדלו על תוספים שהכילו אפר פחם היו גבוהים יותר אולם כל הריכוזים היו נמוכים (עד כ-40 מ"ג/ק"ג). ריכוזי מוליבדן וליתיום בצמחים בטיפולי הבמ"ס (בעיקר אלה שהכילו אפר פחם) היו גבוהים במידה ניכרת בהשוואה לצמחי היקש ובהשוואה לריכוזים מדווחים, אך אין ביסודות אלה משום סיכון סביבתי או סיכון לשרשרת המזון.

מדווח עתה לראשונה (הדו"ח להלן יהיה על נושאים אלה בלבד):

בוצה מיצוי מימי של תערובות חול-במס"א (יחס 1 ל-10) כדי להעריך את זמינותם הישירה לצמחים ולסביבה. הריכוז של חלק מהיסודות (Pb, Cd, Mo, Ni, Co, Li) היה מתחת לסף הגילוי (כ-10 mg/l). ריכוזי זרחן במיצוי היו גבוהים למדי, 0.8 מ"ג/ל" בממוצע בכל התערובות אולם ריכוזי האשלגן היו נמוכים: כ-1.5 מ"ג/ל" בממוצע. ממוצעי הריכוזים של ברזל (0.18 מ"ג/ל"), מנגן (0.02 מ"ג/ל"), אבץ (0.02 מ"ג/ל") ובורון (0.09 מ"ג/ל") במיצויים היו דומים בכל הטיפולים. לעומתם, ריכוזי הנחושת והונדיום (0.014 מ"ג/ל" בממוצע כל אחד) עלו עם העלייה בעומס היישום. ריכוזי כל היסודות הללו היו בתחום המותר למי השקיה ואף למי שתייה.

הושלמו שתי עונות ניסוי בשדה בזיבול ב-במס"א ברבדים. חיטה בעונה הראשונה (2006/7) וחמניות בעונה השנייה (2007/8). יבול החיטה בטיפול הזיבול היה דומה ליבול בדישון כימי מלא וגבוה יותר בהשוואה לטיפול

לסיכום, נראה כי אין סיכון לצמח, לקרקע, לשרשרת המזון ולסביבה משימוש בבוצת שפכים מיוצבת בסידי ובחרסיות או באפר פחם. לא היה שינוי משמעותי בתכונות הקרקע, ובמס"א (ובוצה מעוכלת) הייתה תחליף מלא לדשן חנקני וזרחני לגידול.

### כללי

נבדקה ההשפעה של בוצת שפכים מיוצבת בסיד ובאפר פחם (במס"א) על גידולים חקלאיים. מאחר של הייתה בידנו באותה עת במס"א מהשפד"ן, התמקדנו בבמס"א מבית-שמש. בוצת בית-שמש אינה עוברת ייצוב, והיא דומה בכך לבוצת השפד"ן. הבוצה נלקחה ישירות מה- belt press במט"ש בית שמש. נבדקה גם האפשרות להשתמש באפר פחם ובסיד כתחליף מלא או חלקי ל'מלאנים' ול-CKD בייצור אקוסויל (בוצה מיוצבת בסיד – במ"ס) בבית שמש. הבמס"א מבוצת בית-שמש ששימשה בניסוי השדה ובסימולציה בחממה. היא הועשרה בבוצת אשדוד, כחיקוי ליחסי המרכיבים (בוצה : אפר פחם : סיד חי) האמור להיות לפי דברי היצרנים (כר"ם טכנולוגיות) בבמס"א מבוצת השפד"ן. השתמשנו בבוצת אשדוד (המייצגת בוצה מתהליך טיפול שונה הכולל גם ייצוב אל-אווירני) מאחר שלא ניתן היה לקבל בוצה אחרת עבור ההעשרה של הבמס"א מבית-שמש בניסוי השדה. התברר שבוצות בית-שמש ואשדוד (לפני הטיפול בסיד) דמו למדי בהרכבן.

ניתן לייצב בוצת שפכים לפי אלטרנטיבה #1 (עם חימום) או לפי אלטרנטיבה #2 (ללא חימום). באלטרנטיבה #1, הדרישה היא לקבל pH 12 בתערובת למשך 72 שעות לפחות, וטמפרטורה  $52 \leq$  מ"צ ל-12 שעות. באלטרנטיבה #2, הדרישה היא לקבל pH 12 בתערובת למשך 7 ימים לפחות, ולקיים את ה-pH הזה בערימה למשך חודש ימים. בשתי האלטרנטיבות יש דרישה לייבוש החומר, ל-50% ול-65% חומר יבש לפחות, בהתאמה. הדרישה ל-65% באלטרנטיבה #2 נראית מיותרת ומזיקה לאיכות האגרונומית של החומר שיתקבל.

### שיטות

הטיפולים מוצגים בטבלה 1. יחסי הערבוב היו על בסיס המשקל הלח של הבוצה. סמל הטיפול מורכב ממקור הבוצה (אשדוד ו/או בית שמש), החלק היחסי בתערובת של הבוצה, האפר, המלאן והסיד, אלה מופרדים בקו נטוי מהכמות (גר') שהוספה לעציץ. בסוגריים ניתנת המנה השקולה ליישום בשדה בטון להקטר. החומר לטיפול 9-10 הוא האקוסויל המיוצר באופן שגרתי במט"ש בית-שמש. החומר לטיפול 12 הוא תערובת של במס"א (במשקל כולל של 44.5 טון), שהוכנה בבית-שמש ביולי 2006 מאפר פחם ו-CKD לפיזור בשדה. טיפול 12 הוא דוגמה מהבמס"א לעיל, שהועשרה בבוצת ממט"ש אשדוד. טיפול 13 הוא טיפול ביקורת ללא בוצה עם דשן "שפר 7-3-7" הכולל יסודות קורט.

התערובות בוצה-חול הוכנו ביד, ונארזו בעציצים בנפח 3.8 ל' (כ- 4.375 ק"ג) ב-5 חזרות (ב-22/6/06). עומס התערובת בקרקע חושב לפי כמות החומר האורגני במרכיב הבוצה בתערובת. על פי התקנות לשימוש חקלאי בבוצות שפכים, הכמות המותרת להוספה היא 1.5 טון בוצה יבשה/ד"שנה. עומס זה של בוצה שקול ל-2.75% מהמשקל היבש של הקרקע בשכבת החריש (לפי 20 ס"מ עובי וצפיפות נפחית 1.25 טון/מ"ק). גורם חישוב אחר הוא לפי 1.1 טון חומר אורגני/ד"שנה. להמחשה, כשתכולת החומר האורגני בתערובת היא 13% (כגון, באקוסויל רגיל) עומס היישום המותר ע"פ גורם זה הוא כ-8.5 טון חומר יבש/ד' שהם כ-12 טון/ד' אקוסויל לח (לפי 70% חומר יבש באקוסויל). לפי גורם זה, עומס היישום של תערובת לחה היא 3-26 ט"ד' שהיוו -300% 40 מהעומס המותר. משתנה נוסף לפיו יכול להיקבע עומס הבוצה בקרקע הוא תשומה מרבית של 50 ק"ג חנקן כללי/דונם/שנה. בהמשך, נחזור לדון בעומסי היישום לפי מדד זה.

הקרקעות הורטבו ונערך מעקב אחר ה-pH והמוליכות החשמלית של מיצויי הקרקע. ב-4/7/06 נזרע תירס מתוק (4 זרעים/עציץ). הנביטה הייתה חלקית, וגם הצמחים שנבטו התמוטטו במרבית הטיפולים. סיבה אפשרית יכלה להיות החום הכבד בחממה (מעל 40 מ"צ עקב תנאי מזג האוויר וכשל במיזוג).

**טבלה 1:** הטיפולים בניסוי העציצים.

קוד הטיפול מורכב ממקור הבוצה (מט"ש בית שמש או אשדוד), יחסי המרכיבים שעורבבו להכנתו, ומעומס הבוצה (טון חומר יבש לדונם) (מחושב ממשקל התערובת שעורבבה בעציץ בנפח 3.8 ל" עם כ- 4.4 ק"ג חול/עציץ).

מס' טיפול	סמל הטיפול	מקור הבוצה	מרכיבי התערובת (גרם)				עומסי יישום (לפי כמות הבוצה בתערובת)	
			בוצה לחה	אפר פחם	מלאן	סיד חי	תוסף לח	בוצה יבשה
							(ט'/ד')	(ט'/ד')
1	Ashd100:50:0:8/ 8(65)	אשדוד	100	50	0	8	6.5	0.8
2	Ashd100:50:0:8/ 17(129)	אשדוד	100	50	0	8	12.9	1.7
3	Ashd100:50:0:8/ 33(259)	אשדוד	100	50	0	8	25.9	3.3
4	BS100:50:0:8/ 8(65)	בית שמש	100	50	0	8	6.5	0.8
5	BS100:50:0:8/ 16(129)	בית שמש	100	50	0	8	12.9	1.6
6	BS100:50:0:8/ 32(259)	בית שמש	100	50	0	8	25.9	3.2
7	BS500:500:0:40/ 9(129)	בית שמש	500	500	0	40	12.9	0.9
8	BS500:0:500:40/ 10(129)	בית שמש	500	0	500	40	12.9	1.0
9	Ecos/ 6(101)	בית שמש					10.1	0.6
10	Ecos/ 14(213)	בית שמש					21.3	1.4
11	BS/ 6(29)	בית שמש					2.9	0.6
12	BS-Ecos-FA : Ashd=1:1 / 17(103)	בית שמש + אשדוד	14.5 +44.5	28		2	10.3	1.7
13	Fertilizer							

ב-16/8/06 נקצרו כל הצמחים ששרדו, ולמחרת נזרע מחזור שני של תירס מזן 'דרכמה' למספוא. טיפולים 12 ו-13 הוכללו רק במחזור השני. הצמחים נקצרו ב-15/10/06 (59 ימים לאחר הזריעה), והקרקה נדגמה. בחלק מהעציצים הופרדו השורשים מהקרקה לאחר קציר השחת.

ההשקיה הייתה במי-ברז. בתחילה היא הייתה ידנית, ובהמשך באמצעות מחשב, פעמים ביום, בטפטפות בספיקה של 2.5 ל"שעה בכמות של 200 עד 400 מ"ל/עציץ/יום. ההשקיה הייתה ללא נקז, ובמידה שהיה נקז, הוא נאסף במלואו והוחזר לעציץ. בימים 42, 49 ו-56 לאחר הזריעה ניתן אשלג במים במנה כוללת של 156 מ"ג/עציץ (שקול ל-9 ק"ג/ד'). ההשקיה בביקורת הייתה יחד עם יתר העציצים, ופעמיים בשבוע נותקה מערכת ההשקיה, וניתנה השקיה ידנית עם תמיסת דשן (אלפית ריכוז של "שפר 7-3-7, עם יסודות קורט"; שקול לכ-32, 6, ו-27 יחידות חנקן, זרחן ואשלגן, בהתאמה).

**בדיקות כימיות:****מיצוי מימי של הקרקע מניסוי העציצים:**

מטרת חלק זה של הניסוי הייתה להעריך באופן יחסי את הזמינות הפוטנציאלית לדליפה של יסודות קורט ומתכות כבדות מהבוצות המיוצבות באפר פחם מרחף ובסיד. המיצוי של תערובות חול-במס"א נעשה ע"י טלטול המדגמים בתמיסת 0.01 M NaCl (יחס 1 ל-10). תמיסה זאת מקובלת כדימוי סביר לתמיסת הקרקע.

**ניסוי שדה:**

הניסוי בוצע בשטחי קיבוץ 'רבדים' על קרקע ורטיסול. הטיפולים בניסוי וריכוזי היסודות העיקריים בבוצות ניתנים בטבלה 2. הטיפולים בניסוי הם בחמש חזרות בבולקים באקראי, סה"כ 30 חלקות. כל חלקה היא בשטח 480 מ"ר (12 X 40), והחלקות והשטח מסומנים היטב באמצעות סימני שטח ברורים וב-GPS. חיטה נזרעה לקראת סוף נובמבר 2006. טיפולים ה' ו-ו' הועשרו בבוצת אשדוד כדי לדמות במס"א עם תכולת בוצה גבוהה יותר. הגידול בעונה הראשונה (חורף 2006-7) היה חיטה לגרגרים, ובעונה השנייה (חורף 2007-8) הגידול היה חמניות.

**טבלה 2: הטיפולים בניסוי השדה ברבדים**

מס' טיפול	סוג הטיפול
א	דישון כימי*
ב	5 מ"ק"ד' בוצת אשדוד
ג	5 מ"ק"ד' במס"א מבית שמש
ד	10 מ"ק"ד' במס"א מבית שמש
ה	טיפול ג'+2.5 מ"ק"ד' ב' אשדוד
ו	טיפול ד' + 5 מ"ק"ד' ב' אשדוד
ז	היקש עם דשן חנקני בלבד**

(\* ב- 19/9/06 ניתן דשן בטיפול א': אוריאה 22 ק"ג/ד' = 10 יחידות חנקן, ו-17 ק"ג/ד' סופר פוספט = 10 יחידות זרחן. \*\*) 10 יחידות חנקן כדלעיל, טיפול זה ניתן בפס ברוחב 12 מ' ואורך 200 מ' לאורך צד אחד של השטח. פיזור הזבלים בוצע ע"י אהוד בן-יעקב ב-20/21 בספטמבר 2006.

**תוצאות****השפעת הבוצות על תכולת יסודות בקרקע מניסוי העציצים:**

הריכוז הממוצע של היסודות השונים בתערובות זבל-חול חושב לפי ההרכב המדוד של כל אחת מהתערובות (שנקבע ע"י יחס בוצה: אפר: מלאן : סיד) ולפי יחס הערבוב של התערובות עם החול. טבלה 4 מציגה את תרומת הבוצות לריכוז היסודות בקרקע. ניתן לראות, כי גם ביחסי היישום הגבוהים (4.7 טון בוצה יבשה/ד', פי 3 בערך מהעומס המותר) תוספת קדמיום הייתה בלתי מדידה, והתוספת של מרבית יסודות הקורט האחרים הייתה קטנה (ובתחום שגיאת המדידה). עומסי החנקן הכללי בקרקע היו בין 30 ל-177 ק"ג/ד', הערך הגבוה הוא פי 3.5 מהערך העליון המותר ליישום ע"פ התקן (50 ק"ג/ד'/שנה).

**יסודות קורט מסיסים בתערובות חול-בוצה מניסוי העציצים:**

המדידה נעשתה לאחר פירוק הניסוי במיצי של התערובות ב-0.01 M NaCl ביחס קרקע:תמיסה = 10:1. הבדיקה של התמיסות הייתה ב-ICP-AES. התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 5 החזרות בכל אחד מ-13 הטיפולים בניסוי. נציין, כי המערכת הנבדקת תוכננה להיות רגישה ביותר לזמינות מתכות לצמח ולסביבה הואיל והמצע הוא חול, שמגיב עם היסודות הללו פחות מכל קרקע.

הריכוזים של חלק ניכר מהיסודות הנחשבים לבעייתיים היו מתחת לסף הרגישות של השיטה. כאלה היו כרום, סלן, מוליבדן, ארסן, קובלט, קדמיום ועופרת, וכן ניקל וליתיום. הריכוזים של יתר היסודות שנבדקו מוצגים בטבלה 6, בצירוף המובהקויות הסטטיסטיות של ההבדלים בין ממוצעי הטיפולים. למעשה, גם הריכוזים בחלק מיסודות הקורט האחרים (בכל המדגמים או חלקם) היו מתחת לסף הרגישות או על גבול הרגישות, בעיקר ונדיום וכן חלק ממדגמי הנחושת והאבץ.

השפעת הטיפולים על ריכוזי ברזל, מנגן, אבץ ונחושת במיצי לא הייתה מובהקת (טבלה 5). במידה שניתן להקיש מהמיצי המימי הספציפי (המובע כאן במ"ג/ק"ג קרקע), הריכוזים היו בטווח נוח מאד לגידולים;

בממוצע לכל העציצים: 1.8, 0.15, 0.17 ו-0.14 מ"ג/ק"ג, בהתאמה. ריכוז הנחושת בקרקע בהיקש המדושן (#13) היה נמוך יחסית ליתר הטיפולים.

ריכוז בורון ממוצע לכל העציצים היה 0.88 מ"ג/ק"ג. אם ניקח מחצית ערך זה כמייצג של תמיסת הקרקע, הריכוז הנו בגבול המותר להשקיה ארוכת-טווח במי-קולחים. ריכוזי יתר היסודות הנם רגילים לקרקעות. נציין במיוחד כי ריכוזי הזרחה המסיסה בטיפולי הבמס"א מאשדוד (10.6 מ"ג/ק"ג בממוצע) היו גבוהים למדי, בהתאמה לריכוזי זרחן כללי גבוהים יותר בבוצה עצמה ובתערובותיה (טבלה 1). ריכוזי הזרחה בתערובות חול-במס"א אשדוד עלו עם עלייה בעומס היישום, למרות ה-pH הגבוה וריכוזי הסיידן המסיס הגבוהים. הדבר התבטא גם בטיפול 12, שהכיל אקוסויל בתוספת של בוצת אשדוד. בכל הטיפולים שהייתה בהם בוצת בית שמש, ריכוזי הזרחה המסיסה היו נמוכים יותר (6.5 מ"ג/ק"ג בממוצע) אבל עדיין גבוהים למדי לגידול צמחי תקין (כפי שנראה בהמשך). לעומת זאת, ריכוזי אשלגן מסיס היו נמוכים למדי (15 מ"ג/ק"ג בממוצע בטיפולי בוצה), וככל הנראה אשלגן הגביל את הצמיחה.

**טבלה 4:** תרומה מחושבת מהזבלים לקרקע של יסודות הזנה ומתכות כבדות מנטרות בניסוי העציצים. זיהוי הבוצות ע"פ מס' הטיפול ו/או הסימול בטבלה 1.

מס' טיפול	סמל הטיפול	עומס בוצה	עומס חנקן	N	P	K	C	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr	Ni
		ח"י/ד'	ק"ג/ד'	mg/kg	Mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mg/kg	mg/kg
1	Ashd100:50:0:8/ 8(65)	1.2	43	173	160	59	0.13	0.006	0.39	3.18	1.10	0.89	0.46
2	Ashd100:50:0:8/ 17(129)	2.3	86	345	321	83	0.26	0.011	0.78	6.36	2.21	1.78	0.93
3	Ashd100:50:0:8/ 33(259)	4.7	173	692	643	130	0.53	0.023	1.57	12.74	4.43	3.57	1.86
4	BS100:50:0:8/ 8(65)	1.2	43	173	124	63	0.13	0.004	1.25	3.57	1.02	0.72	0.44
5	BS100:50:0:8/ 16(129)	2.3	87	347	247	91	0.26	0.007	2.49	7.14	2.05	1.45	0.89
7	BS500:500:0:40/ 9(129)	0.9	66	265	265	98	0.24	0.008	2.14	5.88	2.11	2.02	1.20
8	BS500:0:500:40/ 10(129)	1.0	76	305	133	239	0.46	0.022	2.12	7.76	2.51	1.91	1.06
6	BS100:50:0:8/ 32(259)	4.7	174	695	496	146	0.52	0.015	5.00	14.30	4.11	2.90	1.78
9	BS Ecosoil / 6(101)	1.3	84	265	265	98	0.24	0.008	2.14	5.88	2.11	2.02	1.20
10	BS Ecosoil/ 14(213)	2.6	177	305	133	239	0.46	0.022	2.12	7.76	2.51	1.91	1.06
11	BS sludge/ 6(29)	0.6	30	238	104	194	0.36	0.017	1.66	6.07	1.96	1.49	0.83
12	BS-Ecos-FA : Ashd=1:1 / 17(103)	1.7	72	503	221	371	0.77	0.036	3.51	12.83	4.15	3.15	1.76

### סיכום ניסוי החממה

בדקנו תכשירי במ"ס שהוכנו מבוצות מבית-שמש ואשדוד בתערובות עם סייד חי או CKD ועם אפר פחם מרחף או חרסיות כמלאנים. סה"כ נבדקו התכונות של 6 תערובות שונות בחול דיונה, ב-10 הרכבים. יחסי הערבוב היו לפי תכולת החומר האורגני בבמ"ס השונים, והעומס הכולל של הבוצה המיוצבת בתערובת עם החול היה שקול ל-6.5 עד 26 טון/ד'. בניסוי עציצים בחממה עם תירס מספוא (זן דרכמה) כגידול בוחן נבחנו תכונות ההזנה של הבמ"ס השונות, והשפעתן על ההרכב הכימי של צמחים. השתמשנו בחול ולא בקרקע כדי לקבל את ההשפעה המרבית של התוספים ללא סיכור. נחזור כאן על עיקרי הממצאים:

(א) השפעה על ה-pH: ה-pH ההתחלתי בתערובות היה תלוי בתכונות התוסף ובעומס היישום. תוך כ-10 ימים מהערבוב הוא ירד בכל הטיפולים ל-9 בערך, ובסיום הניסוי (115 יום לאחר הערבוב), הוא היה 8 או פחות מזה.

- (ב) יסודות הזנה בבוצות מיוצבות בסיד: עומסי יסודות ההזנה בתערובות בוצה-חול היו שקולים ל- 30-177 ק"ג חנקן/ד', ל- 8.5-206 ק"ג זרחן/ד' ול- 11-93 ק"ג אשלגן/ד'. שיעור המינרליזציה הממוצע של החנקן האורגני בתכשירי הבוצה היה כ-60% במרבית עומסי החנקן. שיעורי ההחזר בשחת (כמויות חנקן בצמח כאחוז מכלל החנקן שהוסף לקרקע) היו נמוכים. גם תכולות האשלגן בתערובות בוצה-קרקע הספיקו לצימוח תקין רק בחלק קטן מהטיפולים (בעיקר בטיפול הבמ"ס עם חרסיות כמלאן). קליטת זרחן בצמחים הייתה בד"כ בשיעור של עד 5% מכלל הכמות שהוספה לקרקע. במרבית הטיפולים הזמינות הפוטנציאלית של הזרחן בקרקע (לפי מיצוי בדו-פחמה) פחתה בכ-10%-40% בלבד במהלך 4 חודשי הגידול, והזרחן הזמין בסיום היווה כ-20%-30% מכלל תוספת הזרחן שנותרה בקרקע. תכולת הזרחן בבוצה עצמה (בבוצת אשדוד גבוהה פי 2 בערך מבוצת בית שמש) השפיעה במידה ניכרת על זמינות הזרחן בקרקע, וגם אפר הפחם תרם להעלאת זמינות הזרחן. נראה לפיכך, כי זמינות חנקן ואשלגן, אך לא זמינות הזרחן, הגבילה את הצמיחה בניסוי העציצים.
- (ג) תכולת מתכות כבדות ויסודות אחרים בתערובות בחול: כל התכשירים שנבדקו עמדו בתקן הישראלי ליישום חקלאי של בוצות שפכים.
- (ד) מתכות כבדות ויסודות קורט בצמחים: ריכוזי עופרת וקדמיום בצמחים היו בגבול או מתחת לסף המדידה. ריכוזי יסודות הקורט החיוניים ברזל, נחושת ומנגן היו אחידים למדי בכל הטיפולים, ובתחום הנורמטיבי. ריכוזי ברזל, נחושת היו נמוכים במידה ניכרת בהשוואה למה שמצאנו בנוף של תירס מרבדים, וריכוזי מנגן היו בתוך התחום. ריכוזי כרום, קובלט, בורון, סטרונציום היו בתחום של התירס מרבדים, יסודות אחרים (ונדיום, אלומיניום, גופרית ובריום) היו נמוכים יותר. ריכוזי מוליבדן וליתיום היו גבוהים במידה ניכרת בהשוואה לצמחי ההיקש (טיפול דשן וטיפול בוצה לא מטופלת מבית-שמש), וכן בהשוואה לריכוז הנורמטיבי או לריכוז בתירס מרבדים.
- (ה) יסודות קורט (ואחרים) במיצוי מימי של תערובות הבוצה בחול: הריכוז של חלק מהיסודות (Ni, Co, Li, As, Cr, V, Pb, Cd, Mo) היה מתחת לסף הגילוי (כ-20 mg/l). ריכוזי ברזל, מנגן, אבץ, ובורון במיצויים היו דומים בכל או במרבית הטיפולים. ריכוזי נחושת עלו עם העלייה בעומס היישום. ריכוזי כל היסודות הללו היו בתחום המותר למי השקיה ואף למי שתייה. ריכוזי זרחה במיצוי היו גבוהים למדי (כ-8 מ"ג/ק"ג בממוצע בכל התערובות) ותקינים. ריכוזי האשלגן היו נמוכים למדי, כ-15 מ"ג/ק"ג בממוצע.

**טבלה 5:** ריכוזים ממוצעים של יסודות במיצויי תערובות הקרקע ב-0.01 M NaCl. הריכוזים הם ב-מ"ג/ק"ג קרקע. כשהממוצעים מלווים באותה אות ההבדל ביניהם אינו מובהק סטטיסטית (Tukey-Kramer HSD, ) ( $\alpha=0.05$ ).

טיפול	P		K		Ca		Mg		S	
1) ASH100:50:0:8/12	9.2	abc	13	bcd	176	bc	32	ab	54	Cbde
2) ASH100:50:0:8/23	10.0	ab	11	cd	212	abc	31	abc	86	Ab
3) ASH100:50:0:8/47	14.0	a	14	bcd	271	a	41	a	100	A
4) BS100:50:0:8/12	7.4	bcd	12	bcd	156	cd	23	bc	41	Cde
5) BS100:50:0:8/23	8.4	bcd	16	bcd	210	abc	26	bc	70	Abcd
6) BS100:50:0:8/47	8.1	bcd	13	bcd	239	ab	30	abc	83	Abc
7) BS500:500:0:40/18	7.6	bcd	13	bcd	187	bc	25	bc	52	Cbde
8) BS500:0:500:40/18	5.4	bcd	17	abcd	194	abc	27	bc	70	Abcd
9) BS-Ecos/13	5.0	bcd	19	ab	170	bc	26	bc	51	Cbde
10) BS-Ecos/26	5.4	bcd	24	a	208	abc	28	bc	74	Abcd
11) BS-S/6	4.6	cd	17	abc	137	cd	23	bc	37	De
12) BSEcos-ASH/1:1/17	9.1	abc	14	bcd	141	cd	27	bc	52	Cbde
13) Shefer737/0.001	3.3	d	9	d	91	d	20	c	15	E
	<b>Fe</b>		<b>Mn</b>		<b>Cu</b>		<b>Zn</b>		<b>B</b>	
1) ASH100:50:0:8/12	2.68	a	0.19	a	0.10	ab	0.15	a	0.98	Ab
2) ASH100:50:0:8/23	1.34	a	0.11	a	0.16	ab	0.14	a	0.85	Ab
3) ASH100:50:0:8/47	4.30	a	0.23	a	0.27	a	0.29	a	1.29	A
4) BS100:50:0:8/12	1.52	a	0.13	a	0.08	ab	0.14	a	0.70	B
5) BS100:50:0:8/23	2.35	a	0.23	a	0.13	ab	0.13	a	0.90	Ab
6) BS100:50:0:8/47	1.22	a	0.12	a	0.17	ab	0.16	a	1.01	Ab
7) BS500:500:0:40/18	2.26	a	0.19	a	0.09	ab	0.21	a	0.93	Ab
8) BS500:0:500:40/18	0.90	a	0.10	a	0.12	ab	0.09	a	0.87	Ab
9) BS-Ecos/13	1.06	a	0.11	a	0.07	ab	0.22	a	0.81	Ab
10) BS-Ecos/26	1.09	a	0.13	a	0.12	ab	0.18	a	0.69	B
11) BS-S/6	1.52	a	0.14	a	0.22	ab	0.31	a	0.68	B
12) BSEcos-ASH/1:1/17	1.13	a	0.14	a	0.07	ab	0.08	a	0.98	Ab
13) Shefer737/0.001	1.69	a	0.12	a	0.02	b	0.10	a	0.74	B
	<b>Ba</b>		<b>Sr</b>		<b>Al</b>		<b>V</b>			
1) ASH100:50:0:8/12	0.23	a	1.47	abcd	6.13	ab	0.11	d		
2) ASH100:50:0:8/23	0.16	a	1.63	abc	5.26	b	0.12	d		
3) ASH100:50:0:8/47	0.38	a	2.02	a	13.64	a	0.19	bc		
4) BS100:50:0:8/12	0.24	a	1.43	abcd	5.18	b	0.11	d		
5) BS100:50:0:8/23	0.33	a	1.89	ab	7.47	ab	0.16	bcd		
6) BS100:50:0:8/47	0.25	a	1.98	a	5.65	b	0.22	ab		
7) BS500:500:0:40/18	0.36	a	1.95	a	6.87	ab	0.15	cd		
8) BS500:0:500:40/18	0.17	a	1.18	bcde	2.56	b	0.13	cd		
9) BS-Ecos/13	0.16	a	0.99	cde	2.82	b	0.13	cd		
10) BS-Ecos/26	0.14	a	1.02	cde	3.08	b	0.26	a		
11) BS-S/6	0.16	a	0.82	de	3.02	b	מס"ר*			
12) BSEcos-ASH/1:1/17	0.22	a	1.86	ab	4.16	b	0.11	d		
13) Shefer737/0.001	0.13	a	0.69	e	3.14	b	מס"ר*			

(ו) \*מס"ר – מתחת סף הרגישות של שיטת המדידה



## ניסוי שדה

### ניסוי ברבדים:

בניסוי זה (טבלה 2) בדקנו את ההשפעה של זיבול בבוצה מיוצבת בסיד ובאפר פחם על היבול וההרכב הכימי של הגידול. הושלמו שתי עונות ניסוי: חיטה בעונה הראשונה (2006/7) וחמניות בעונה השנייה (2007/8). הניסוי היה במתכונת של בלוקים באקראי חוץ מטיפול 7, שניתן כפס בשולי השטח. טיפולים 5 ו-6 ניתנו על פי התחזית שבוצה מיוצבת בסיד ובאפר פחם מהשפד"ן תהיה עם תכולה כפולה של מרכיב הבוצה. אין הבדל בתכולת החנקן בין בוצות בית-שמש ואשדוד (כ-5% מהמשקל היבש). יש ביניהן הבדל בתכולת הזרחן: כ-1% וכ-1.5% (מהמשקל היבש) בבוצות בית-שמש ואשדוד, בהתאמה. תשומת היסודות בדשן ובזבלים מוצגת בטבלה 4.

### סיכום התוצאות:

**חיטה, עונת 2006-2007:** מדדי יבול החיטה הם יבול השחת (לתחמיץ, הדיגום היה ב-29-03-2007) ויבול הגרגרים (דיגום ב-22-5-07, כשבוע לפני הקציר המסחרי. בוצע בקומביין לניסויים, ללא דיגום של הקש).

ניתן לראות בטבלה 6 כי טיפולי הבוצה הגדילו את יבול הגרגרים ביחס לטיפולי ההיקש (1, ו-7), אולם העלייה היא משמעותית או מובהקת רק בהשוואה לטיפול שלא קיבל דישון זרחני (טיפול 7). נציין, כי מאחר שהטיפול ללא זרחן לא היה במסגרת הניסוי, אלא תצפית בשולי השטח, לבדיקה הסטטיסטית לגבי טיפול זה אין משמעות.

מדד מקובל לאיכות הגרגרים לאפיייה הוא גלוטן רטוב (% מהמשקל בעיסה, המציין את תכולת החלבונים התורמים ל"התנפחות" המאפה; ככל שהוא גבוה יותר איכות הקמח לאפיייה גבוהה יותר). מדד נוסף הוא החלבון (אחוז מהמשקל היבש). תכולת הגלוטן כמעט לא הושפעה ע"י הבוצה (חוץ מההיקש ללא זרחן). גם תכולת החלבון הייתה דומה בד"כ בכל הטיפולים, ורק טיפול הבמס"א בעומס גבוה בתוספת בוצת אשדוד הוא היה גבוה באופן מובהק בהשוואה לשני טיפולי הבמס"א ובהשוואה לטיפול ללא תוספת זרחן (שהיה הנמוך מבין כולם).

בעונת 2007/8, טיפולי הזיבול לא השפיעו על יבול החמניות, והתוצאות אינן מוצגות. זהו גידול שאינו מגיב לדשן, והוא אינו מדושן בד"כ.

**טבלה 6:** השפעת במס"א ובוצה על יבול גרגרי החיטה ומדדי איכות לאפיה של הקמח. כשהממוצעים מלווים באותה אות ההבדל ביניהם אינו מובהק סטטיסטית ( $\alpha=0.05$ , Tukey-Kramer HSD).

טיפול	תשומת חנקן ('ק"ג/ד')	תשומת זרחן ('ק"ג/ד')	תשומת אשלגן ('ק"ג/ד')	תשומת פחמן ('ק"ג/ד')	יבול חומר יבש ('ק"ג/ד')	יבול גרגרים ('ק"ג/ד')	גלוטן רטוב (%)	חלבון (%)
א) היקש: חנקן + זרחן	10	1.9	0	0	821	649 א	22.8 אב	10.7 אב
ב) בוצה 5 מ"ק/ד'	54	34	1.0	327	1008	656 א	24.2 אב	11.1 אב
ג) במס"א 5 מ"ק/ד'	24	14	8.7	315	868	664 א	22.7 אב	10.3 ב
ד) במס"א 10 מ"ק/ד'	48	29	17.3	631	1018	678 א	22.5 אב	10.4 ב
ה) במס"א 5 מ"ק/ד' + בוצה 2 מ"ק/ד'	45	34	9.1	446	883	671 א	23.1 אב	10.8 אב
ו) במס"א 10 מ"ק/ד' + בוצה 4 מ"ק/ד'	91	68	18.1	893	949	693 א	25.4 א	12.4 א
ז) היקש: חנקן	10	0	0	0	655	529 ב	20.1 ב	9.4 ב

נבדקה תכולת יסודות ההזנה בשחת ובגרורים. הגרורים היו נקיים מגלומות וממוצים. השפעת הטיפולים על ההרכב המינרלי של השחת ושל הגרורים מוצגת בטבלה 7. ככלל, טיפול 6 (10 מ"ק/ד' במס"א + בוצה 4 מ"ק/ד'), נתן תוצאות מרביות של ריכוזי יסודות (מ"ג/ק"ג) ויבול יסודות כללי (ק"ג/ד') הן בשחת והן בגרורים. דמה לו טיפול 2 (5 מ"ק/ד' בוצת אשדוד). הערכים (ריכוזים וכמויות של היסודות) בגרורים היו דומים בד"כ בין טיפולי הבוצה. לגבי זרחן ואשלגן, אלה היו גבוהים במידה מובהקת בהשוואה לטיפול 7 (היקש עם דישון חנקני בלבד) וגבוהים (באופן מובהק סטטיסטית רק בטיפול 6) בהשוואה לטיפול 1 (היקש עם דישון חנקני וזרחני). לגבי טיפולי הבמס"א, ריכוזי החנקן, הזרחן והאשלגן בגרורים וכמויותיהם בגרורים דמו לאלה שנמצאו בטיפול 1 (היקש עם דישון מלא), והיו בד"כ גבוהים באופן מובהק סטטיסטית בהשוואה לטיפול 7.

יבול השחת התנהג בצורה דומה, אם כי מוקצנת יותר, והיבול ביותר טיפולי בוצה ובמס"א היה גבוה באופן מובהק סטטיסטית בהשוואה לטיפול 7 (ללא זרחן) אך לא לטיפול 1 (עם זרחן וחנקן). ריכוזי החנקן והאשלגן בצמחים היו דומים בכל הטיפולים, וגם ריכוזי הזרחן במרבית הטיפולים. עם זאת, הכמויות של היסודות השחת הראו הבדלים מובהקים בין טיפולים: עם יתרון לטיפולי בוצה או לטיפולים שקיבלו תגבור בבוצה. טיפול הבמס"א הנמוך (#3; 5 מ"ק/ד') היה הנחות מבין טיפולי הבוצה והגיב בדומה לטיפול ההיקש המדושן (#1; חנקן+זרחן). התגובה בטיפול הבמס"א הגבוה (#4; 10 מ"ק/ד') הייתה כמו בטיפול הבוצה (#2; 5 מ"ק/ד'). תוספת הבוצה לבמס"א (#5; #6) לא שפרה את המדדים במידה מובהקת. הכמות של כל אחד מהיסודות בשחת בהיקש ללא זרחן (#7) הייתה נמוכה במידה מובהקת ממרבית יתר הטיפולים, בדומה לגרורים. נציין עוד, כי בדיגום צמחים שלמים (שחת) שבוצע באמצע החורף (ב-26/1/07) הנחיתות של טיפול 7 בריכוזי החנקן והזרחן בצמחים, כבר הייתה ברורה (טבלה 7).

נראה לפיכך, ששישום במס"א או בוצה בקרקע יכול להיות תחליף מלא לדשן חנקני וזרחני (10 ק"ג/ד' חנקן ו-1.9 ק"ג/ד' זרחן). במס"א בעומס נמוך (5 מ"ק/ד') נותנת תוצאות בדומה להיקש מדושן באופן מלא, במס"א בעומס גבוה (10 מ"ק/ד'), בוצה סוג ב', או תגבור במס"א בבוצה נותנים יתרון מסוים ביחס להיקש המדושן, לא תמיד מובהק. כל טיפולי הבוצה נתנו יתרון ברור (לעיתים מובהק) לגבי הדישון בחנקן בלבד.

טבלה 7: מדדי יבול והרכב כימי של צמחי החיטה (רבידים 2006.2007). כשהמוצעים מלווים באותה אות ההבדל ביניהם אינו מובהק סטטיסטית (Tukey-Kramer HSD,  $\alpha=0.05$ ).

מספר הטיפול	גרגרים (% חומר יבש)	גרגרים ('ק"ג/ד')	Grain N (mg/kg)	Grain P (mg/kg)	Grain K (mg/kg)	Grain N ('ק"ג/ד')	Grain P ('ק"ג/ד')	Grain K ('ק"ג/ד')
1	92.6 a	649 a	22,478 ab	3,130 ab	3,823 b	14.6 a	2.0 b	2.5 b
2	92.6 a	656 a	23,176 ab	3,364 a	4,120 ab	15.3 a	2.2 ab	2.7 ab
3	92.5 a	664 a	21,759 b	3,421 a	4,119 ab	14.5 a	2.3 ab	2.7 ab
4	92.7 a	678 a	21,799 b	3,350 ab	4,008 ab	14.8 a	2.3 ab	2.7 ab
5	92.4 a	671 a	23,071 ab	3,249 ab	4,045 ab	15.5 a	2.2 ab	2.7 ab
6	92.6 a	693 a	25,758 a	3,473 a	4,269 a	17.8 a	2.4 a	3.0 a
7	92.5 a	529 b	20,037 b	2,914 b	3,786 b	10.7 b	1.5 c	2.0 c
מספר הטיפול	שחת (% חומר יבש)	שחת-יבול יבש ('ק"ג/ד')	חנקן בשחת (mg/kg)	זרחן בשחת (mg/kg)	אשלגן בשחת (mg/kg)	חנקן בשחת ('ק"ג/ד')	זרחן בשחת ('ק"ג/ד')	אשלגן בשחת ('ק"ג/ד')
1	29.1 a	821 ab	14,518 a	2,109 ab	12,053 a	12.0 bc	1.7 cd	10.2 ab
2	27.2 a	1,008 a	15,567 a	2,449 a	13,188 a	15.6 a	2.5 a	13.2 a
3	29.6 a	868 ab	13,555 a	2,145 ab	12,684 a	11.9 cd	1.9 bc	11.0 ab
4	29.2 a	1,018 a	14,978 a	2,248 ab	12,553 a	15.2 ab	2.3 ab	12.6 a
5	26.4 a	883 ab	15,549 a	2,240 ab	12,654 a	13.7 abc	2.0 abc	11.1 ab
6	27.1 a	949 a	16,307 a	2,315 ab	14,789 a	15.4 a	2.2 abc	13.9 a
7	26.0 a	655 b	13,878 a	1,909 b	11,936 a	10.4 d	1.3 d	7.8 b
מספר הטיפול	N נוף 26/1/07 (mg/kg)	P נוף 26/1/07 (mg/kg)	K נוף 26/1/07 (mg/kg)					
1	42,568 a	3,169 b	32,267 a					
2	40,499 a	3,548 b	33,920 a					
3	39,412 ab	3,443 b	33,251 a					
4	39,593 a	3,759 ab	33,365 a					
5	38,880 ab	3,674 b	32,253 a					
6	42,893 a	4,725 a	38,385 a					
7	29,525 b	2,039 b	41,374 a					