



## ייעוד במס"א ליישום חקלאי – מעקב אגרונומי וסביבתי סיכום ממצאי מחקרים שבוצעו בשנים 2005-2012

1. יישום במס"א בגידול חיטה בקרקע חרסיתית – יעילות ההחלפה של תשומת דשנים והשפעת הבוצה על יבול חיטה והרכבה הכימי (תוצאות של שתי שלוש שנות גידול) – פנחס פיין<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>, יגב קילמן<sup>3</sup>
2. יישום במס"א לשיפור תאחיזת המים בכתמי חול בשדה (אתר בני-דרום) וכתחליף דשן בגידול חיטה, והשפעתה על ההרכב הכימי של הצמחים (תוצאות של שתי שנות גידול) – פנחס פיין<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>, רבקה רוזנברג<sup>1</sup>, אנה בריוזקין<sup>1</sup>
3. אופטימיזציה של השימוש במס"א ובזבלים אחרים בגד"ש (תוצאות של שתי שנות גידול; מחקר נמשך) – פנחס פיין<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>, דני קורצמן<sup>1</sup>, דורית שרגיל<sup>1</sup>, אשר איזנקוט<sup>4</sup>, אנה בריוזקין<sup>1</sup>, אסרה רבאח<sup>1</sup>, יגב קילמן<sup>3</sup>
4. יישום אפר פחם מרחף לשיפור תכונות פיסיקו-כימיות של קרקע חרסית נתרנית ברבדים (תוצאות של שלוש שנות גידול) – פנחס פיין<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>, יגב קילמן<sup>3</sup>, אנה בריוזקין<sup>1</sup>, שושי סוריאנו<sup>1</sup>, רבקה רוזנברג<sup>1</sup>
5. טיוב קרקע חרסית-נתרנית באמצעות במס"א, אפר פחם, וקומפוסט בוצה (תוצאות של שלוש שנות גידול) – פנחס פיין<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>, יגב קילמן<sup>3</sup>, גיא לוי<sup>1</sup>, דינה גולדשטיין<sup>1</sup>, אנה בריוזקין<sup>1</sup>, שושי סוריאנו<sup>1</sup>, רבקה רוזנברג<sup>1</sup>
6. הפחתת גורמי מחלה שוכני-קרקע באמצעות במס"א: בשור 2010-2012 – פנחס פיין<sup>1</sup>, אנה בריוזקין<sup>1</sup>, משה אלבז<sup>5</sup>, דוב צהר<sup>5</sup>, עירית דורי<sup>5</sup>, מירון סופר<sup>5</sup>, גיורא קריצמן<sup>6</sup>, יפת בן יפת<sup>6</sup>, עומר פרנקל<sup>6</sup>, אורי זיג<sup>7</sup>
7. טיוב קרקע רנדזינה בהירה בממשק פלחה חרבה ע"י יישום במס"א ובמס"א, וההשפעה על יבול בקיה-תלתן ועל תכולת היסודות בצמחים – פנחס פיין<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>, אנה בריוזקין<sup>1</sup>, אסרה רבאח<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המכון למדעי הקרקע המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני  
<sup>2</sup>מגדלי דרום יהודה  
<sup>3</sup>שותפות צב"ר קמ"ה  
<sup>4</sup>שה"מ, שרות השדה, משרד החקלאות  
<sup>5</sup>מו"פ דרום  
<sup>6</sup>מינהל המחקר החקלאי, המכון להגנת הצומח  
<sup>7</sup>יח"מ (ישובי חבל מעון)



מדינת ישראל, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני,  
המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה

## **ייעוד במס"א ליישום חקלאי – מעקב אגרונומי וסביבתי**

(1) יישום במס"א בגידול חיטה בקרקע חרסיתית – יעילות ההחלפה של  
תשומת דשנים והשפעת הבוצה על יבול חיטה והרכבה הכימי  
(תוצאות של שתי שלוש שנות גידול)

מוגש ע"י:

פנחס פיין, אריה בוסק, יגב קילמן

פברואר 2013

בית דגן

# יישום במס"א בגידול חיטה בקרקע חרסיתית – יעילות ההחלפה של תשומת דשנים והשפעת הבוצה על יבול חיטה והרכבה הכימי (גידול בקרקע חרסיתית ברבדים, חלקה 13)

מוגש ע"י

פנחס פיין, אורי מינגלגרין, אריה בוסק, רבקה רזנברג, אנה בריוזקין, שושי סוריאנו, דני זוהר, יגב

קילמן

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

להלן מדווחות תוצאות של שלוש שנים עוקבות (2006/7 – 2009) של ניסוי שדה ביישום במס"א ב-2 מינונים (5 ו-10 ט'ד') בהשוואה להיקש עם דישון מסחרי רגיל, להיקש עם דישון חנקני בלבד וללא דישון בזרחן ובהשוואה ליישום בוצה במינון 5 ט'ד'. 2 טיפולים נוספים היו ביישום הבמס"א בכל אחד מ-2 העומסים לעיל בתוספת בוצה סוג ב' ממט"ש אשדוד (2.5 ו-5 טון/ד', בהתאמה), בערך כמות הבוצה שהייתה בכל אחד מעומסי הבמס"א לעיל. הבמס"א הוכנה במט"ש בית-שמש מהבוצה המקומית בתוספת סיד חי ואפר פחם מרחף כמלאן. הבמס"א עמדה (בהרחבה) בתקן הישראלי למתכות כבדות. הניסוי בוצע בקיבוץ רבדים על קרקע חרסיתית. הזבלים יושמו פעם אחת בספטמבר 2006. דישון בטיפולי ההיקש בלבד ניתן בסתיו של 2006 ושל 2008. הגידול בעונות הראשונה (2006/7) ובשלישית (2008/9) היה חיטה, ובעונה השנייה (חורף/אביב 2008) גודלו חמניות. לפני החמניות לא ניתן דשן גם בטיפול המסחרי.

נבדקו הקש והגרגרים של החיטה של שתי העונות. ריכוזי המתכות הכבדות לא הושפעו כלל בטיפולי הבמס"א בהשוואה לטיפולי ההיקש (דשן כימי או בוצה לא מיוצבת). בעונה הראשונה, היסודות בהם היה הבדל מובהק בין הטיפולים היו ליתיום, זרחן, גפרית ומוליבדן בנוף החיטה, וגפרית בגרגרים. בעונה השנייה של החיטה היסודות בהם היה הבדל מובהק בין הטיפולים היו ליתיום, מוליבדן וסטרוניזיום בקש, וגופרית, מוליבדן, בריום ונחושת בגרגרים. בפועל, ובדומה ל-2007, לא הייתה להבדלים אלה משמעות מבחינת הטיפולים שנבחנו בניסוי הואיל ובד"כ ההבדלים בין טיפולי במס"א לבין לפחות אחד מטיפולי ההיקש לא היו מובהקים. במקרה של בריום, ריכוזו המרבי היה דווקא בטיפול ההיקש המסחרי. מבין כל היסודות שנבדקו, במס"א העלתה באופן ברור את ריכוז המוליבדן הן בקש והן בגרגרים. כבר ראינו, כי טיפולי זיבול (ובוצה ובמס"א בכללם) משפיעים על ריכוזי יסוד זה בצמחים, ולהערכתנו הדבר נובע ממחסור ביסוד חיוני זה במרבית הקרקעות. החשוב לענייננו הוא שריכוזי קדמיום עופרת וארסן בגרגרים ובנוף היו מתחת לסף הגילוי.

לסיכום, הניסוי הנוכחי הראה כי אין כל סיכון לצמח ולשרשרת המזון מיישום במס"א. הבמס"א גם הייתה תחליף מלא לדשן חנקני וזרחני לגידולים בטווח של 3 השנים.

## שיטות וחומרים

### ניסוי השדה

הניסוי בוצע בשטחי קיבוץ 'רבדים' על קרקע ורטיסול. הטיפולים בניסוי וריכוזי היסודות העיקריים בבוצות ניתנים בטבלה 1.

**טבלה 1:** הטיפולים בניסוי השדה ברבדים

מס' טיפול	הטיפול	סוג הטיפול
א	דישון כימי בחנקן ובזרחן	היקש מסחרי מלא
ב	5 מ"ק"ד' בוצת אשדוד	היקש בוצה (ללא אפר פחם)
ג	5 מ"ק"ד' במס"א מבית שמש	במס"א במינון רגיל
ד	10 מ"ק"ד' במס"א מבית שמש	במס"א במינון גבוה
ה	טיפול ג' + 2.5 מ"ק"ד' ב' אשדוד	במס"א במינון רגיל עם העשרה בבוצה
ו	טיפול ד' + 5 מ"ק"ד' ב' אשדוד	במס"א במינון גבוה עם העשרה בבוצה
ז	דישון כימי בחנקן	היקש ללא זרחן

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. פיזור הזבלים בוצע ע"י אהוד בן-יעקב ב-20/21 בספטמבר 2006.

נבדקה ההשפעה של זיבול בבוצה מיוצבת בסיד ובאפר פחם על היבול, על הזמינות של יסודות הזנה (בדגש על חנקן וזרחן) ועל תכולת המתכות בצמחי חיטה במחזור גידולים בפלחה. בניסוי 5 טיפולי זיבול בהשוואה לשתי ביקורות, האחת עם דשן מלא (P, N) והשנייה עם דשן חנקני וללא זרחן (כדי לבדוק את הערך של הבמס"א כמקור לזרחן לגידול). שישה טיפולים בוצעו בחמש חזרות בבלוקים באקראי, והטיפול השביעי ניתן כפס בשולי השטח. סה"כ 35 חלקות בשטח 480 מ"ר (12 X 40) כל אחת. בוצת מט"ש בית-שמש יוצבה באפר פחם ובסיד, כלהלן: הזנת הבוצה הייתה בקצב המקסימלי של המתקן, הזנת אפר הפחם ו-CKD היו בקצב המינימלי. הכמויות היו בוצה: 45-49 טון (שני מבצעי ייצור), תוספים 28.5 ו-30 טון, שהם 58% ו-66%, הכול בהתאמה. המוצר התחמם ל-54 מ"צ במשך 12 שעות, ה-pH = 12.2. הרכב הבוצות ניתן בטבלה 2. לאחר פיזור הבמס"א, בטיפולים ה' ו-ו' פוזרה באותן חלקות מנה נוספת של בוצה (בוצת אשדוד) כדי לדמות במס"א עם תכולת בוצה גבוהה יותר, זאת על פי התחזית שהייתה באותה עת כי במס"א מהשפד"ן תהיה עם תכולה כפולה של מרכיב הבוצה. לא היה הבדל רב בהרכב הכימי של בוצות בית-שמש ואשדוד (טבלה 2): תכולת החנקן כ-5% מהמשקל היבש, זרחן: כ-1% וכ-1.5% (מהמשקל היבש) בבוצות בית-שמש ואשדוד, בהתאמה. הושלמו שלוש עונות ניסוי: חיטה בעונה הראשונה (2006/7), חמניות בעונה השנייה (2007/8) ושוב חיטה בעונה השלישית (2008/9).

### אגרוטכניקה:

עונה ראשונה – 2006/7: פיזור הבוצות היה בספטמבר 2006, לקראת זריעת חיטה. בעונת 2006/2007 גדלה בחלקה חיטה על גבי כרב חמצה שגדלה בחלקה חורף-אביב 2006. לקראת

זריעת החיטה שדה דושן ב-8 יחידות זרחן ו-10 יחידות חנקן. הדישון כלל את חלקות ההיקש

**טבלה 2:** הרכב כימי של הזבלים ששימשו בניסוי ברבדים

סמל הטיפול		Bet-Shemesh sludge	Ashdod sludge	Revadim 2006 FASB (Bet-Shemesh)	Israel Max
N	%	5.00	5.50	0.51	
P	%	2.10	3.50	0.52	
K	%	0.39	0.31	0.12	
C	%	29.4	33.0	4.6	
OM	%	50.7	56.9	7.9	
ח' יבש	%	21	19	68	
B	mg/kg	138	43	41	
Ba	mg/kg	636	349	189	
Ca	%	7.17	4.24	32.28	
Cd	mg/kg	0.62	1.32	0.59	20
Co	mg/kg	5	5	4	
Cr	mg/kg	34	91	52	400
Cu	mg/kg	190	236	69	600
Fe	mg/kg	5,892	14,069	9,318	
K	mg/kg	3,931	3,072	5,558	
Li	mg/kg	15	2	10	
Mg	mg/kg	5,810	10,490	3,469	
Mn	mg/kg	140	129	92	
Mo	Mg/kg	5.7	6.3	2.9	
Na	Mg/kg	2,146	1,959	1,470	
Ni	Mg/kg	26	36	29	90
P	Mg/kg	14,094	35,117	3,655	
Pb	mg/kg	315	72	58	200
S	mg/kg	9,594	14,628	5,928	
Sn	mg/kg	6	175	2	
Sr	mg/kg	197	293	299	
V	mg/kg	30	43	48	
Zn	mg/kg	947	921	212	2500

המסחרי אך לא את יתר החלקות בנוסיו. החלקה נזרעה ב 23/11/2006 בחיטה מהזן "זהיר".  
בתאריך 28/1/2007 לאחר כ-340 מ"מ גשם מרביתם בדצמבר-ינואר, הוספו 3 יחידות חנקן על כל  
השדה בפיזור מהאוויר. הקציר היה במהלך חודש מאי. היבול הממוצע בשדה היה 701 ק"ג  
גרגרים/ד'.

עונה שנייה - 2008: בעונה זו גודלו בחלקה חמניות מהזן "גוליבר". לא נתנה תוספת דישון כלשהי  
בחלקה. הזריעה ב-3/3/2008. לאחר ההצצה החלקה דוללה. ב-9/5/2008 הוכנסו לחלקה כוורות.  
החלקה רוססה כנגד קימחון. החלקה הגיעה לשלב של 90 אחוז פריחה ב-16/5/2008. החלקה  
נקצרה ב-25/8/2008. היבול בחלקה 116 ק"ג זרעונים/ד' ברוטו ו-104 ק"ג/ד' נטו.  
עונה שלישית - 2008/9: לקראת זריעת החיטה ב-5/9/08 פוזר בשדה זבל עופות במינון של 2

מ"קד'. בחלקות הנסוי לא בוצע הפיזור, וחלקות אלו גם לא קיבלו תוספת דשן. הקציר היה ב- 22/5/2009, היבול המסחרי נמוך יחסית: 280 ק"ג/ד' (בהתאם לדלות המשקעים בעונה זאת, כלהלן:

שנה	06-07	07-08	08-09
אוקטובר	40	0	78
נובמבר	34	141	19
דצמבר	134	65	42
ינואר	123	150	4
פברואר	75	85	114
מרץ	106	0	83
אפריל	0	0	0
מאי	3	0	0
סה"כ	514	440	340

#### דיגום צמחים וקרקע ובדיקות כימיות במדגמים:

דיגום הצמחים נעשה בשני שלבים: בשלב דונג, להערכת היבול (והרכבו) לשחת, ובשלב הבשלה מלא – להערכת יבול הגרגרים והרכבם. הדיגום היה באמצעות מקצרת הניסיונות של משרד החקלאות, אגף מספוא (באמצעות דר' אפרים צוקרמן). יחידת המדגם לשחת הייתה פס ברוחב המקצרה (1.25 מ') לרוחב החלקה (12 מ') במרכזה. דיגום הגרגרים היה באמצעות קומביין הניסיונות של הנ"ל, ויחידת המדגם הייתה ברוחב 1.25 מ' לאורך החלקות (40 מ', בניכוי 2 מ' שוליים מכל צד). הגרגרים נאספו בשקים, נשקלו, ומדגם נלקח להמשך הבדיקות.

הבדיקות הכימיות בחומר הצמחי הטחון כללו קביעה נפרדת של חנקן כללי מחוזר וסריקת יסודות כללית. לבדיקת חנקן כללי מחוזר, מדגמים (במשקל 0.2 גרם) עוכלו בחומצה גופרתית מרוכזת רותחת, עם הוספות עתיות של מי-חמצן לחומצה, לאחר הבאתה לטמפרטורת החדר. ריכוז החנקן נבדק בריאקציית צבע באוטואנלייזר (תוצ' Lachat) כנגד סטנדרטים. סריקת יסודות כללית (כולל זרחן, אשלגן, יסודות מאקרו, יסודות קורט ומתכות כבדות) נעשתה לאחר עיכול מדגמים צמחיים במשקל 0.3 גרם בחומצה חנקתית מרוכזת רותחת. המדידה נעשתה באמצעות ICP-AES.

דגימות קרקע נלקחו מ-2 עומקים, 0-20 ס"מ ו-20-40 ס"מ לפני פיזור הזבלים, כשבוע לאחר הצנעת הזבלים, ובסיום הניסוי. חנקן מינרלי נבדק ע"י מיצוי דגימות קרקע ב-1N KCl ביחס 1 ל 8 קרקע לנוזל. המבחנות טולטלו במשך שעה, סורקזו, והנוזל העליון נבדק באוטואנלייזר כנ"ל. זרחה ואשלגן נבדקו במיצוי קרקע ב-0.5 M NaHCO<sub>3</sub> pH 8.5 ביחס מיצוי קרקע-נוזל 1 ל-20 בטלטול לשלוש שעות. הנוזל העליון נבדק לאחר החמצה באמצעים שהוזכרו לעיל. המוליכות החשמלית וה- pH של דגימות קרקע נקבעו במיצוי מימי ביחס קרקע-מים 1 : 5.

ניתוח סטטיסטי נעשה ב-ANova אמצעות תוכנת JMP. מובהקות ההבדלים בין טיפולים נבדקה בד"כ במבחן Tukey-Kramer HSD ברמה של  $\alpha < 0.05$ , במידה שהמובהקות הסטטיסטית (ערך F) היה נמוך, השתמשנו במבחן Student's t המקל יותר. בכל המדדים שנבדקו, ואשר מוצגים

בטבלאות ובאיורים, העדר אות ליד הממוצע או הופעה של אותה מציינ כי ההבדל בין הממוצעים של הטיפולים לא היה מובהק סטטיסטית.

### תוצאות:

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). טיפולי הבוצה הגדילו את יבול הגרגרים ביחס לטיפול ההיקש (1, ו-7), אולם העלייה הייתה משמעותית או מובהקת רק בהשוואה לטיפול שלא קיבל דישון זרחני (טיפול 7) (טבלה 3). מאחר שההיקש ללא זרחן היה תצפית בשולי השטח ולא נכלל בחלוקה האקראית של החלקות, לבדיקה הסטטיסטית לגבי טיפול זה אין משמעות. מדד מקובל לאיכות הגרגרים לאפייה הוא גלוטן רטוב (%) מהמשקל בעיסה, המציין את תכולת החלבונים התורמים ל"התנפחות" המאפה; ככל שהוא גבוה יותר איכות הקמח לאפייה גבוהה יותר). מדד נוסף הוא החלבון (אחוז מהמשקל היבש). תכולת הגלוטן כמעט לא הושפעה ע"י הבוצה (חוץ מההיקש ללא זרחן). 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).

נבדקה תכולת יסודות ההזנה בשחת ובגרגרים. הגרגרים היו נקיים מגלומות וממוצים. השפעת הטיפולים על ההרכב המינרלי של השחת ושל הגרגרים מוצגת בטבלה 4. 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 בגרגרים. דמה לו טיפול 2 (5 מ"ק/ד' בוצת אשדוד). הערכים (ריכוזים וכמויות של היסודות) בגרגרים 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 בגרגרים וכמויותיהם בגרגרים דמו לאלה שנמצאו בטיפול

**טבלה 3:** תשומת יסודות (צרוף) בבוצות, והשפעתן על יבול גרגרי החיטה ומדדי איכות לאפיה של הקמח. כשהממוצעים מלווים באותה אות ההבדל ביניהם אינו מובהק סטטיסטית (Tukey-Kramer HSD,  $\alpha=0.05$ ).

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 2.5 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 5 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	20.1	9.4
---------------	----	---	---	---	-----	-----	------	-----

1 (היקש עם דיזשן 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 לטיפול 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 לגרגרים. 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, שיישום 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 4: מדדי יבול והרכב כימי של צמחי החיטה (רבדים 2006/2007).** כשהממוצעים מלווים באותה אות ההבדל ביניהם אינו מובהק סטטיסטית (Tukey-Kramer HSD,  $\alpha=0.05$ ).

מספר הטיפול	גרגרים (%)	גרגרים (ק"ג/ד')	Grain N (%)	Grain P (%)	Grain K (%)	Grain N (ק"ג/ד')	Grain P (ק"ג/ד')	Grain K (ק"ג/ד')
1	92.6 a	649 a	0.22 ab	0.31 ab	0/38 b	14.6 a	2.0 b	2.5 b
2	92.6 a	656 a	0.23 ab	0.34 a	0.41 ab	15.3 a	2.2 ab	2.7 ab
3	92.5 a	664 a	0.22 b	0.34 a	0.41 ab	14.5 a	2.3 ab	2.7 ab
4	92.7 a	678 a	0.22 b	0.34 ab	0.40 ab	14.8 a	2.3 ab	2.7 ab
5	92.4 a	671 a	0.23 ab	0.33 ab	0.40 ab	15.5 a	2.2 ab	2.7 ab
6	92.6 a	693 a	0.26 a	0.35 a	0.43 a	17.8 a	2.4 a	3.0 a
7	92.5 a	529 b	0.20 b	0.29 b	0.38 b	10.7 b	1.5 c	2.0 c

מספר הטיפול	שחת (%)	שחת-יבול (ק"ג/ד')	חנקן בשחת (%)	זרחן בשחת (%)	אשלגן בשחת (%)	חנקן בשחת (ק"ג/ד')	זרחן בשחת (ק"ג/ד')	אשלגן בשחת (ק"ג/ד')
1	29.1 a	821 ab	1.45 a	0.21ab	0.12 a	12.0 bc	1.7 cd	10.2 ab
2	27.2 a	1,008 a	1.56 a	0.25a	0.13 a	15.6 a	2.5 a	13.2 a
3	29.6 a	868 ab	1.36 a	0.22ab	0.13 a	11.9cd	1.9 bc	11.0 ab
4	29.2 a	1,018 a	1.50 a	0.22ab	0.13 a	15.2ab	2.3 ab	12.6 a
5	26.4 a	883 ab	1.55 a	0.22ab	0.13 a	13.7abc	2.0abc	11.1 ab
6	27.1 a	949 a	1.63 a	0.23ab	0.15 a	15.4 a	2.2abc	13.9 a
7	26.0 a	655 b	1.39 a	0.19 b	0.12 a	10.4 d	1.3 d	7.8 b



מספר הטיפול	N נוף 26/1/07 (%)	P נוף 26/1/07 (%)	K נוף 26/1/07 (%)					
1	4.26 a	0.32 b	0.32 a					
2	4.05 a	0.35 b	0.34 a					
3	3.94 ab	0.34 b	0.33 a					
4	3.96 a	0.38 ab	0.33 a					
5	3.89 ab	0.37 b	0.32 a					
6	4.29 a	0.47 a	0.38 a					
7	2.95 b	0.20 b	0.41 a					

#### יסודות קורט ומתכות כבדות בצמחים:

התכולה של יסודות קורט ומתכות כבדות בגרגרים ובנוף של החיטה מיבול השנה הראשונה (2006/7) מוצגת בטבלה 5-א'. ליסודות בהם לא היה הבדל מובהק בין הטיפולים מוצג ממוצע אחד לכל איבר צמח, שחושב לכל 35 החלקות בניסוי. השוואת הממוצעים ודירוגם בטיפולים בהם מבחן ANOVA הראה כי קיים הבדל מובהק ביניהם נעשתה באמצעות מבחן Student's t או Tukey-Kramer HSD (המחמיר יותר). התוצאות לגבי נוף החיטה וגרגרי החיטה מוצגות בטבלאות 5-ב' ו-5-ג'.

**טבלה 5-א':** תכולת יסודות קורט ומתכות כבדות בגרגרים ובנוף של צמחי החיטה מיבול השנה הראשונה 2006/7. הממוצעים לכל איבר צמח הם מכל 35 החלקות בניסוי. מובהקות ההבדלים בין הטיפולים לגבי יסודות בהם היה הבדל מובהק ( $p < 0.05$ ) נבדקה במבחן Tukey-Kramer HSD ברמה של  $\alpha=0.05$ .

יסוד (מ"ג/ק"ג)	זרעים			נוף		
	Average	SEM	P	Average	SEM	P
Al	9.5	0.4		179	10	
As	bq			0.08	0.01	
B	17	1		38	2	
Ba	5.3	0.1		26.2	0.6	
Ca	578	10		3,237	70	
Cd	bq			0.11	0.04	
Co	0.06	0.00		0.12	0.01	
Cr	0.47	0.02		9.45	0.42	
Cu	4.3	0.0		4.2	0.1	
Fe	31	1		197	9	
K	4,162	30		15,506	354	
Li	0.03	0.00		0.22	0.01	0.0034
Mg	1,181	10		1,348	30	
Mn	36	0.3		47	1	
Mo	0.21	0.02		0.69	0.08	0.0133
Na	38	1		262	12	
Ni	0.38	0.01		3.69	0.13	
P	3,446	46		2,314	45	0.0114
Pb	bd			0.24	0.01	
S	1,588	20	0.0006	1,890	49	0.0002

Se	0.10	0.01	bd	0.02
Sn	0.04	0.02	0.06	0.03
Sr	3.7	0.1	19.1	0.8
V	0.02	0.00	0.39	0.02
Zn	32	0.5	22	0.4

bd: below detection; bq, below quantification

**טבלה 5-ב':** יסודות בנוף צמחי החיטה (מ"ג/ק"ג; רבדים חלקה 13, 2006/7) בהם היו הבדלים מובהקים בין טיפולים

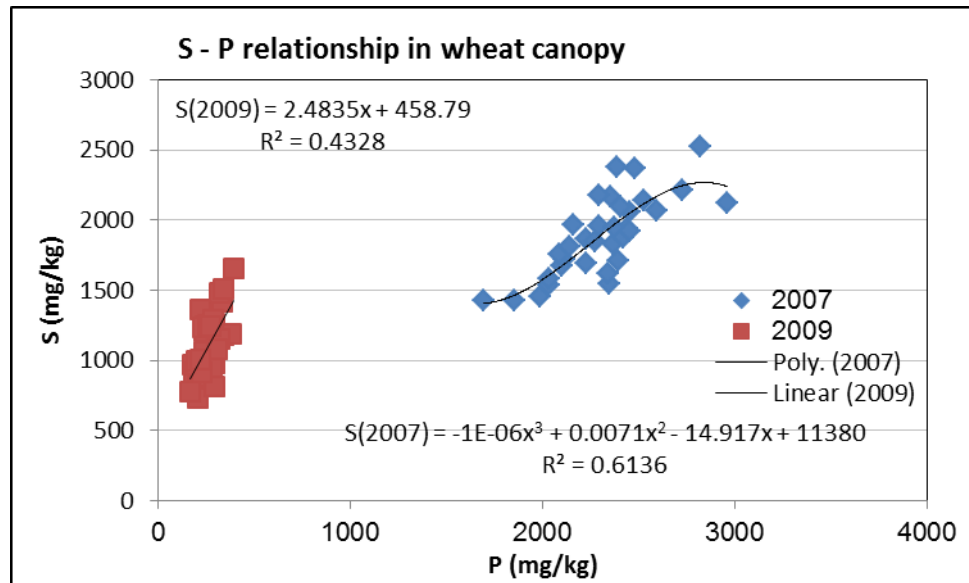
טיפול	Li	Sem	T-K HSD	P	Sem	T-K HSD	S	Sem	T-K HSD	Mo	Sem	T-K HSD
(1) בקורת (N, P)	0.18	0.02	b	2,179	85	b	1,649	67	bc	0.44	0.05	ab
(2) בוצה	0.19	0.01	b	2,585	133	ab	2,163	125	a	0.31	0.03	b
(3) במס"א-5 מ"ק/ד'	0.21	0.02	ab	2,283	120	ab	1,759	112	abc	0.76	0.12	ab
(4) במס"א-10 מ"ק/ד'	0.25	0.03	ab	2,378	40	ab	1,931	37	ab	1.00	0.14	ab
(5) במס"א-5 מ"ק/ד'+2.5 מ"ק בוצה	0.20	0.02	b	2,317	74	ab	2,049	97	a	0.54	0.06	ab
(6) במס"א-10 מ"ק/ד'+5 מ"ק בוצה	0.33	0.06	a	2,404	87	a	2,068	97	a	1.14	0.36	a
(7) בקורת ללא זרחן	0.14	0.00	b	1,981	140	ab	1,511	50	c	0.67	0.06	ab

**טבלה 5-ג':** יסודות בגרגרי החיטה (רבדים חלקה 13, 2006/7) בהם היו הבדלים מובהקים בין טיפולים

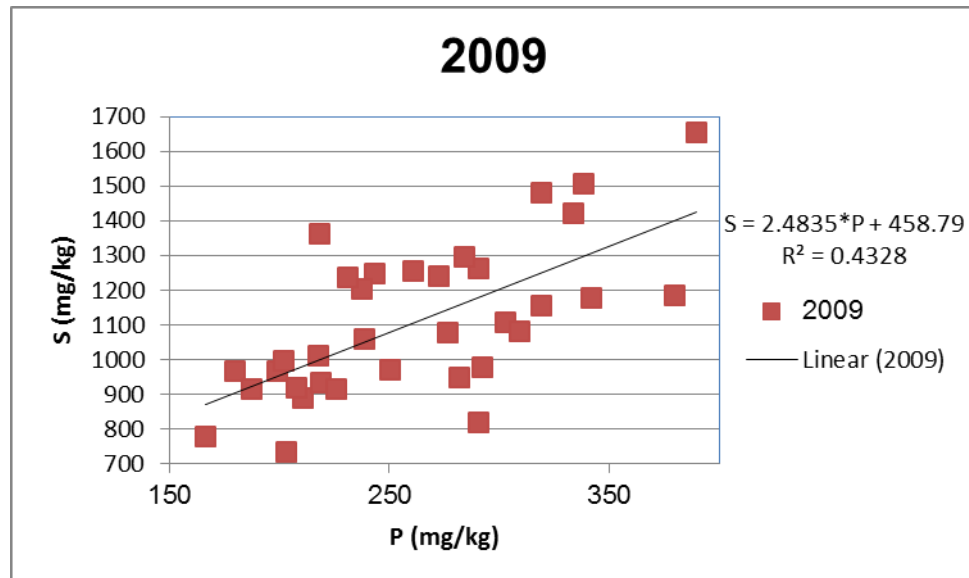
טיפול	S	sem	T-K HSD
1 בקורת (N, P)	1,597	49	a
2 בוצה	1,621	60	a
3 במס"א-5 מ"ק/ד'	1,563	48	ab
4 במס"א-10 מ"ק/ד'	1,558	23	ab
5 במס"א-5 מ"ק/ד'+2.5 מ"ק בוצה	1,633	26	a
6 במס"א-10 מ"ק/ד'+5 מ"ק בוצה	1,724	11	a
7 בקורת ללא זרחן	1,422	31	b

היסודות היחידים בהם היה הבדל מובהק בין הטיפולים הם ליתיום, זרחן, גפרית ומוליבדן בנוף החיטה, וגפרית בגרגרים. בפועל אין משמעות להבדלים אלה, וודאי לא מבחינת הטיפולים, הואיל ובד"כ ההבדלים בין טיפולי במס"א לבין אחד מטיפולי ההיקש (טיפולים 1, 7 ו-2) לא היו מובהקים. הגורמים היחידים שניתן לציין הם (א) היה קשר ישר ברור בין ריכוזי הגפרית והזרחן בנוף (איור 1). (ב) ריכוזי המוליבדן בנוף היו גבוהים בטיפולי הבמס"א בעיקר בהשוואה לטיפול הבוצה.

החשוב לענייננו הוא שריכוזי קדמיום עופרת וארסן בגרגרים היו מתחת לסף הגילוי (ארסן, עופרת) או הכימות (קדמיום), וגם בנוף הם היו נמוכים ביותר, על סף הכימות (טבלה 5-א').



**איור 1:** ריכוזי גפרית וזרחן כלליים בקש החיטה בשנים 2007 ו-2009 בטיפולים בחלקה 13 ברבדים (למטה – הגדלה של נתוני 2009)



**חמניות חורף-אביב 2007/8:**

לא היה הבדל ביבולים בין הטיפולים השונים (טבלה 6). לא נעשתה בדיקה כימית של הצמחים.

**טבלה 6:** מדדי יבול חמניות ברבדים (חלקה 13, זיבול ב-2006). דשן ראש ניתן לפי בדיקות קרקע.

טיפול	זרעונים ק"ג/ד'	משקל זרעונים לראש גר'	ראשים לדונם	משקל ראשים ק"ג/ד'	אחוז זרעונים ממשקל ראש	משקל ראש ממוצע (גר')
1 בקורת (N, P)	146	84	1719	300	48	173
2 בוצה	143	83	1729	292	49	170
3 במס"א-5 מ"ק/ד'	144	90	1594	300	48	188
4 במס"א-10 מ"ק/ד'	146	78	1864	308	48	164
5 במס"א-5 מ"ק/ד' 2.5+ מ"ק בוצה	139	82	1687	287	49	169
6 במס"א-10 מ"ק/ד' 5+ מ"ק בוצה	142	90	1573	305	47	195
7 בקורת ללא זרחן	133	87	1552	277	48	181

**חיטה חורף-אביב 2008/9**

מדדי יבול:

יבול החיטה ותכולת היסודות העיקריים בחלקי הצמח בעונת הגידול השלישית מוצגים בטבלה 7. בעונה זאת הגשם היה גורם מגביל משמעותי (לעיל), והיבולים היו נמוכים וכמותם הרחקת היסודות בצמחי החיטה. עומס בוצה גבוה (בעיקר טיפול #6, 10 מ"ק במס"א + 5 מ"ק בוצה) הגדיל את יבול הגרגרים ואת מדדי תכולת החנקן (ריכוזי החנקן בגרגרים ובקש והרחקת החנקן בגרגרים) באופן מובהק בהשוואה להיקש המסחרי ולטיפולים עם תשומת הבוצה הנמוכה יותר. איכות הגרגרים לשיווק הייתה דומה בכל הטיפולים (טבלה 8).

**טבלה 7:** מדדי יבול חיטה בעונת הגידול 2008\9 (רבדים חלקה 13, זיבול ב-2006).

טיפול	יבול ק"ג/ד'	N בגרגרים		P בגרגרים		K בגרגרים		יסודות בקש		
		ק"ג/ד'	%	ק"ג/ד'	%	ק"ג/ד'	%	%N	%P	%K
1) בקורת (N,P)	263b	3.81b	0.3	0.72	0.34	0.83	0.24b	176	1.46	
2) בוצה	341ab	3.8b	0.26	0.65	0.287	0.71	0.26b	188	1.68	
3) במס"א-5 מ"ק/ד'	267b	3.95b	0.29	0.69	0.30	0.73	0.25b	190	1.61	
4) במס"א-10 מ"ק/ד'	313ab	4.88ab	0.29	0.83	0.35	1.0	0.27b	178	1.71	
5) במס"א-5 מ"ק/ד' 2.5+ מ"ק בוצה	342ab	5.32ab	0.27	0.84	0.31	0.97	0.30ab	204	1.70	
6) במס"א-10 מ"ק/ד' 5+ מ"ק בוצה	354a	6.99a	0.29	0.98	0.34	1.14	0.34a	240	1.92	
P	0.033	0.09	0.012				0.077			
מבחן סטטיסטי	T-K HSD	Stud's	T-K HSD				Stud's			

**טבלה 8:** מדדי איכות גרגרים בעונת הגידול 2008\9 (רבדים, חלקה 13, זיבול ב-2006).

משקל נפחי	משקל אלף	אינדקס גלוטן	אחוז גלוטן	חלבון	טיפול
83.4	40.9	76.1	19.5	9.7	1 בקורת (N, P)
83.2	40.3	86.2	21.3	10.3	2 בוצה
83.1	42.2	60.5	20.4	10.2	3 במס"א-5 מ"ק/ד'
82.6	40.1	75.7	21.3	10.5	4 במס"א-10 מ"ק/ד'
82.9	40.5	49.8	23.4	11.1	5 במס"א-5 מ"ק/ד' +2.5 מ"ק בוצה
82.1	37.9	57.4	25.7	11.8	6 במס"א-10 מ"ק/ד' +5 מ"ק בוצה
81.2	37.4	55.4	26.1	11.9	7 בקורת ללא זרחן

**יסודות קורט ומתכות כבדות בצמחי החיטה – אביב 2009:**

התכולה של יסודות קורט ומתכות כבדות בגרגרים ובנוף של החיטה מיבול השנה השלישית (2009) מוצגת בטבלה 9-א'. התמונה הכללית דומה מאד למצב ביבול החיטה בשנה הראשונה (טבלה 5). לכל אחד מהיסודות באיברי הצמח מוצג ממוצע שחושב לכל 35 החלקות בניסוי. כמו לעיל, השוואת הממוצעים ודירוגם, בטיפולים בהם מבחן ANOVA הראה כי קיים הבדל מובהק ביניהם, נעשתה באמצעות מבחני Student's t או Tukey-Kramer HSD (המחמיר יותר). התוצאות לגבי נוף החיטה וגרגרי החיטה מוצגות בטבלאות 9-ב'.

**טבלה 9-א':** ריכוז יסודות בגרגרים ובקש של צמחי החיטה בעונת הגידול 2008\9

Element (mg/kg)	גרגרים			קש		
	Avg	sem	P<0,05	Avg	sem	P<0,05
Ag	bd			0.055	0.009	
Al	8	1		61	2	
As	bd			0.12	0.02	
B	16	1		15	2	
Ba	3.8	0.1	0.0383	37	1	
Ca	520	5		2,913	85	
Cd	bd			0.064	0.007	
Co	0.048	0.002		0.057	0.006	
Cr	0.23	0.03		0.47	0.02	
Cu	4.3	0.1	0.0080	1.7	0.1	
Fe	21	1		80	2	
K	4,097	27		16,842	452	
Li	bd			0.16	0.01	0.0081
Mg	1,265	9		1,027	36	
Mn	39	1		24	1	
Mo	0.12	0.01	<.0001	0.47	0.05	<.0001
Na	50	1		428	23	
Ni	0.44	0.02		0.19	0.02	
P	3,225	27		262	10	
Pb	bd			0.23	0.02	
S	1,422	21	0.0018	1,110	37	
Se	bd			0.17	0.05	
Sn	1.5	0.3		0.42	0.06	

Sr	2.9	0.0	19	0	0.0472
V	bd		0.21	0.01	
Zn	35	1	11	1	

bd, below detection;

**טבלה 9-ב':** מובהקות ההבדלים בריכוזי יסודות (מ"ג/ק"ג) בגרגרים ובקש בצמחי החיטה בעונת הגידול 2008/9

גרגרים												
טיפול	Ba			Cu			Mo			S		
	Avg	sem	T-K HSD	Avg	sem	T-K HSD	Avg	sem	T-K HSD	Avg	sem	T-K HSD
1 בקורת (N, P)	4.2	0.2	a	4.1	0.1	b	0.060	0.010	cd	1,323	24	c
2 בוצה	4.0	0.3	ab	4.2	0.2	ab	0.057	0.015	cd	1,363	40	abc
3 במס"א-5 מ"ק/ד'	3.9	0.2	ab	4.1	0.1	b	0.131	0.020	bc	1,354	22	bc
4 במס"א-10 מ"ק/ד'	4.0	0.2	ab	4.0	0.2	b	0.171	0.022	ab	1,363	48	bc
5 במס"א-5 מ"ק/ד' 2.5+ מ"ק בוצה	3.6	0.2	ab	4.5	0.2	ab	0.120	0.020	bc	1,473	65	abc
6 במס"א-10 מ"ק/ד' 5+ מ"ק בוצה	3.3	0.1	b	4.5	0.1	ab	0.230	0.028	a	1,552	48	a
7 בקורת ללא זרחן	3.7	0.1	ab	4.9	0.2	a	0.010*	0.009	d	1,541	29	ab
P	0.0383			0.0080			<.0001			0.0018		

קש החיטה									
טיפול	Li			Mo			Sr		
	Avg	sem	T-K HSD	Avg	sem	T-K HSD	Avg	sem	Student's t
1 בקורת (N, P)	0.15	0.01	b	0.24	0.04	b	17	2	bc
2 בוצה	0.15	0.01	ab	0.27	0.04	b	16	1	c
3 במס"א-5 מ"ק/ד'	0.15	0.01	ab	0.55	0.08	ab	18	2	abc
4 במס"א-10 מ"ק/ד'	0.15	0.01	ab	0.60	0.09	ab	19	1	ab
5 במס"א-5 מ"ק/ד' 2.5+ מ"ק בוצה	0.17	0.01	ab	0.43	0.02	b	20	0	ab
6 במס"א-10 מ"ק/ד' 5+ מ"ק בוצה	0.20	0.01	a	0.91	0.17	a	21	1	a
7 בקורת ללא זרחן	0.12	0.01	b	0.24	0.03	b	19	1	abc
P	0.0081			<.0001			0.0472		

היסודות בהם היה הבדל מובהק בין הטיפולים בגרגרים הם גופרית (כמו ב-2007) וכן מוליבדן, בריום, ונחושת. בקש - ליתיום, מוליבדן וסטרוניום (ב-2007 אלה היו: Li, Mo, P, S). בפועל, ובדומה ל-2007, אין להבדלים אלה משמעות מבחינת הטיפולים שנבחנו בניסוי הואיל ובד"כ ההבדלים בין טיפולי במס"א לבין לפחות אחד מטיפולי ההיקש (טיפולים 1, 7 ו-2) לא היו מובהקים. במקרה של בריום, ריכוזו המרבי היה דווקא בטיפול ההיקש המסחרי. טיפולי הבמס"א העלו באופן ברור רק את ריכוז המוליבדן הן בקש והן בגרגרים (דבר שהנו חיובי כשלעצמו מבחינת ההזנה של אוכלי צמח המספוא הזה). וכבר ראינו, כי טיפולי זיבול (ובוצה ובמס"א בכללם) משפיעים על ריכוזי

יסוד זה בצמחים, ולהערכתנו הדבר נובע ממחסור ביסוד חיוני זה במרבית הקרקעות. שוב, החשוב לענייננו הוא שריכוזי קדמיום עופרת וארסן בחלקי הצמח היו מתחת לסף הגילוי (טבלה 9-א').



---

מדינת ישראל, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני,  
המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה

## **ייעוד במס"א ליישום חקלאי – מעקב אגרונומי וסביבתי**

**(2) יישום במס"א לשיפור תאחיזת המים בכתמי חול בשדה (אתר בני-דרום) וכתחליף דשן בגידול חיטה, והשפעתה על ההרכב הכימי של הצמחים**  
**(תוצאות של שתי שנות גידול)**

מוגש ע"י:

פנחס פיין, אריה בוסק, רבקה רוזנברג, אנה בריוזקין



## שיפור תאחיזת המים בכתמי חול בשדה (אתר בני-דרום) והזנת חיטה

פיין, פ', א' בוסק, ר' רוזנברג, א' בריוזקין

### תקציר:

אפר הפחם (10 ו-30 ט"ד) ובמס"א (10 ט"ד) לא השפיעו המידה ניכרת על תאחיזת המים בכתמי החול בחלקת השדה. האפר גם לא השפיע (לרעה או לטובה) על יבול החיטה (ב-2 עונות עוקבות). הבמס"א החליפה את תשומות דשן במלואן, ועלות דשני היסוד (חנקן, אשלגן ופוספט) והראש (חנקן) שנחסכה הייתה כ-100 ₪/ד' (מחירי 2008). ביבול של השנה השנייה (שחת חיטה) נבדקו ריכוזי מתכות ויסודות קורט. ריכוזי העופרת בכל הטיפולים היו גבוהים (אולי בגלל הקרבה לצומת אשדוד על כביש 4, הסואן מאד), וטיפול האפר הגבוה (30 ט"ד) העלה את ריכוז העופרת בקש באופן מובהק בהשוואה לכל יתר הטיפולים. הבמס"א העלתה את ריכוזי הסלן בצמחים יחסית לכל יתר הטיפולים (ל-0.5 מ"ג/ק"ג; פי 4-5 בהשוואה לטיפולים האחרים) ואת ריכוז המוליבדן (ל-1.6 מ"ג/ק"ג חומר יבש) בהשוואה לטיפול האפר הנמוך ולהיקש (0.7 מ"ג/ק"ג חומר יבש). אין לכך משמעות הואיל והריכוזים כולם היו נמוכים ותקינים.

לסיכום, הניסוי הנוכחי הראה כי אין כל סיכון לצמח ולשרשרת המזון מיישום במס"א. ריכוזי ארסן ומוליבדן היו ריכוזי רקע, וריכוז העופרת היה גבוה בכל הטיפולים, כנראה עקב מיקום השדה. הבמס"א גם הייתה תחליף מלא לדשן חנקני וזרחני לחיטה בטווח של 2 השנים שנבדקו.

### כללי:

בקרבית משק בני דרום קיימים כתמי חול בלב שדות עם קרקע כבדה יותר. גודל כתם אופייני נמדד בדונמים. הופעת הכתמים משבשת את ממשק ההשקיה-דישון בשדה. כתמי החול הם עקב חדירת חול דיונה לשטחי המרזבה השנייה, שעיקר תשתית הקרקע הוא חומה כהה גרומית או אף ורטיסול. החלחול לעומק בשטחים אלה הנו אטי. מבוצעת תצפית לבדיקת האפשרות לניצול הממצא שתוספת אפר פחם מביאה לשיפור בתאחיזת המים של קרקע חולית להקטנת ההבדל בתאחיזת המים בין כתמי החול לבין הקרקעות השכנות הכבדות יותר. הצלחת הטיפול תאפשר את האחדת ממשקי ההשקיה והדישון בכל השטח.

### שיטות:

התצפית בוצעה בשטחי קיבוץ בני-דרום, בשוליים המערביים של המרזבה השנייה, מצפון-מזרח לצומת אשדוד, דרום מזרח למעבר מסילת הברזל מתחת כביש 4 (תמונה 1). הטיפולים כללו, היקש ללא תוספת, יישום אפר פחם מרחף בעומס 10 ו-30 טון/ד' ויישום במס"א (בוצה מיוצבת בסיד ובאפר פחם) בעומס 10 ט"ד. הבמס"א הוכנה ע"י אריה פורת במט"ש בית שמש כלהלן: הזנת הבוצה הייתה בקצב המקסימלי של המתקן, הזנת אפר הפחם וסיד היו בקצב המינימלי. הכמויות היו: בוצה - 45-49 טון (שני מבצעי ייצור), תוספים - 28.5 ו-30 טון, שהם 58% ו-66%, הכול בהתאמה. המוצר התחמם ל-54 מ"צ במשך 12 שעות, pH = 12.2. הרכב הבוצה והאפר ניתן בטבלה 1.

**טבלה 1: הרכב הבוצה והאפר**

Parameter	Units	במס"א (בית שמש 2006)	אפר פחם
LOI	%	9.1	2.5
Moisture	%	9	4
OC	%	6.4	2.5
N <sub>Organic</sub>	%	0.51	0.12
C/N	ratio	12.7	20.8
P <sub>Total</sub>	mg/kg	7,664	7,326
PO <sub>4</sub> -P <sub>(Olsen)</sub>	mg/kg	508	365
PO <sub>4</sub> -P/P <sub>T</sub>	%	6.6	5.0
NH <sub>4</sub> -N	mg/kg	868	3
NO <sub>3</sub> -N	mg/kg	1	2
K <sub>(Olsen)</sub>	mg/kg	77	18
pH (1:5)		12.2	10.57
EC (1:5)	dS/m	1.83	1.27
IC <sub>(as CaCO3)</sub>	%	8	4
As	mg/kg	bd	bd
B	mg/kg	83	188
Ba	mg/kg	887	1,465
Ca	mg/kg	42,381	59,460
Cd	mg/kg	0.43	0.20
Co	mg/kg	12	18
Cr	mg/kg	42	74
Cu	mg/kg	48	45
Fe	mg/kg	8,964	13,705
K	mg/kg	4,595	1,713
Li	mg/kg	66	147
Mg	mg/kg	2,544	10,131
Mn	mg/kg	83	274
Mo	mg/kg	3.57	3.08
Na	mg/kg	839	1,048
Ni	mg/kg	29	43
P	mg/kg	3,591	6,332
Pb	mg/kg	43	20
S	mg/kg	3,636	2,197
Se	mg/kg	bd	bd
Sn	mg/kg	1.02	1.11
Sr	mg/kg	761	2,436
Ti	mg/kg	87	63
V	mg/kg	76	109
Zn	mg/kg	128	39

החלקות היו באורך 12 מטר וברוחב 7 מטר כל אחת (= 84 מ"ר). פיזור האפר בוצע במפזרת מכאנית לפי משקל נפחי שנקבע בשטח בהתאם למפת השטח. הפיזור בוצע ב- 1/11/2006. ב- 30/11/06 בוצע דיגום קרקע בכל חלקות הניסוי. לאחר מכן ניתנו 13 יחידות חנקן כאוריאה בפיזור ידני בכל חלקות האפר והביקורת כמקובל באזור. חלקות טיפול הבמס"א לא דושנו. המנה לחלקה הייתה 2.4

ק"ג. דיגום נוסף של הצמחים (לא מדווח) ושל הקרקע בוצע ב-26/1/07. החיטה נדגמה ב-29/3/07 לפני קציר השחת (לתחמיץ), ונלקחו מדגמים למעבדה. הקציר היה בחלקות מדגם באורך כ-3 מ' וברוחב 1 מ' באמצעות מקצרת ניסויים. מיצוי קרקע הוכנו (א) במים (יחס 2 ל-1, לבדיקת מוליכות חשמלית ו-pH), (ב) בדו-פחמה (זרחה, אשלגן) ו-(ג) ב-KCl (חנקן מינרלי). מדגמי צמח יבשים עוכלו בחומצה גופריתנית לקביעת התכולה של P, N ו-K (בדיקה באוטואנלייזר), ובחומצה חנקתית לבדיקת יסודות קורט ומתכות כבדות (בדיקה ב-ICP-AES).

### תוצאות

**מרקם הקרקע:** המרקם נקבע כשנתיים לאחר יישום האפר והבוצה. במועד זה, תכולת החול בקרקע בשכבה 0-20 ס"מ (טבלה 2-א') ובשכבה 20-40 (טבלה 2-ב') היו דומות ולא הראו השפעה של

**טבלה 2-א':** מפת הניסוי בבני-דרום: טיפולים (אותיות), מס' חלקות (מס' סידוריים) ותכולת החול בשכבה 0-20 ס"מ (מס' בכחול)

17 א	16 ב	9 א	8 ב	1 ד
44		56	80	77
18 ג	15 ג	10 ב	7 ג	2 א
50	79	66	61	84
19 ב	14 ד	11 ג	6 ד	3 ב
56	81	77	49	77
20 ד	13 א	12 ד	5 א	4 ג
63	77	79	72	70

**טבלה 2-ב':** מפת הניסוי בבני-דרום: טיפולים (אותיות), מס' חלקות (מס' סידוריים) ותכולת החול בשכבה 20-40 ס"מ (מס' בכחול)

17 א	16 ב	9 א	8 ב	1 ד
47	81	68	75	77
18 ג	15 ג	10 ב	7 ג	2 א
42	89	64	82	80
19 ב	14 ד	11 ג	6 ד	3 ב
76		67	69	90
20 ד	13 א	12 ד	5 א	4 ג
58	79	88	80	72

תוספת סילט שמקורו באפר הפחם. ההשוואה הבולטת ביותר היא בין ההיקש (טיפול א') ל-30 ט"ד' אפר פחם (טיפול ג') שהיו 67% עד 71% בממוצע בכולם. בהנחה שרוב האפר ככולו הנו במקטע הסילטי, התוספת הייתה של כ-10% ממשקל שכבת הקרקע העליונה, ותכולת החול הייתה אמורה לרדת מ-70% לכ-64%. נראה כי העדר ההשפעה של האפר על המרקם הנו בטווח הטעות של שיטת המדידה (והדיגום).

### יבול חיטה ותכולת יסודות הזנה בצמחים:

עונה ראשונה: 2006/7

יבולי החיטה לתחמיץ בכל הטיפולים בחלקה היו אמנם שונים למדי (הבדל של 1.25 ק"ג/מ' רץ, כ-33%), אולם ההבדלים לא היו מובהקים סטטיסטית (טבלה 3). בשטח ניכרה שונות גבוהה שהתבטאה ביבול גבוה יחסית בשני בבלוקים המזרחיים (חלקות 13 עד 20). כמו כן, לא היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים בתכולת יסודות ההזנה העיקריים בצמחים (טבלה 4).

### טבלה 3: בני-דרום, יבול חיטה לתחמיץ יבול 2006/7

טיפול	עומס יישום (טון/ד')	יבול חיטה לתחמיץ (ק"ג ל-3 מ' רץ)		שיעור המשקל היבש (%)	
		ממוצע	סטיית התקן	ממוצע	סטיית התקן
ביקורת	0	4.43	1.38	41.04	4.07
אפר פחם	10	3.75	0.24	41.20	2.71
אפר פחם	30	4.64	0.55	42.30	2.02
במס"א	10	5.00	2.61	42.26	2.07

### טבלה 4: בני-דרום, ריכוזי חנקן זרחן ואשלגן בצמחי החיטה יבול 2006/7

טיפול	עומס (ט"ד')	חנקן (מ"ג/ק"ג)		זרחן (מ"ג/ק"ג)		אשלגן (מ"ג/ק"ג)	
		ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת
ביקורת	0	12,956	903	2,146	188	8,504	504
אפר פחם	10	11,768	1,204	2,036	103	8,348	306
אפר פחם	30	12,674	2,033	2,031	371	9,317	1,852
במס"א	10	13,624	774	2,506	186	10,107	1,690

### השפעת הטיפולים על תמיסת הקרקע ועל זמינות יסודות ההזנה בקרקע:

בדיקות קרקע נעשו פעמיים, כחודש וכחודשיים לאחר יישום הזבלים. השפעת התוספים על המוליכות החשמלית (EC) ועל ה-pH של תמיסת הקרקע בשכבת החריש (0-20 ס"מ) כחודש לאחר הזיבול הייתה קטנה, גם בעומס יישום אפר השווה ל-30 ט"ד' (טבלה 5). אפר הפחם והבמס"א הגדילו את ריכוז הזרחן הזמינה בקרקע באופן מובהק סטטיסטית ביחס להיקש הלא מזובל, השפעה שניכרה בדיגום הראשון אך לא בדיגום השני (טבלה 6). לעומת זאת, רק הבמס"א הגדילה באופן מובהק סטטיסטית (ומשמעותי מאד) את ריכוז החנקן הזמין בקרקע, וההשפעה נותרה גם כעבור כחודשיים למרות שטיפול זה לא קיבל את מנת הדשן החנקני (13 ק"ג N/ד').

**טבלה 5: קרקע בני-דרום, pH ומוליכות החשמלית בשכבה 0-20 ס"מ ב- 30/11/06**

EC dS/m		pH		עומס (ט'/ד')	טיפול
ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע		
0.07	0.21	0.12	8.61		ביקורת
0.03	0.22	0.08	8.65	10	אפר פחם
0.05	0.23	0.11	8.73	30	אפר פחם
0.11	0.31	0.14	8.45	10	במס"א

**טבלה 6: בני-דרום, ריכוזי חנקן, זרחן ואשלגן זמינים בקרקע (מ"ג יסוד צרוף/ק"ג) בעונת 2006/7**

דיגום 26/1/07						דיגום 30/11/06				עומס (ט'/ד')	טיפול
אשלגן זמין		זרחה זמינה		חנקן מינרלי		זרחה זמינה		חנקן מינרלי			
ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע		
5	34	19	35	9	45 ab	3	13 b	3	22 b		ביקורת
12	29	18	29	16	37 b	4	32 a	6	24 b	10	אפר פחם
11	33	27	39	14	41 b	11	45 a	3	21 b	30	אפר פחם
7	36	6	23	20	70 a	14	45 a	19	50 a	10	במס"א

עונה שנייה: 2007/8

יבול החיטה (שחת) בעונת הגידול השנייה (קציר באפריל 2008) לא הושפע ע"י הטיפולים (טבלה 7). לבלוק הייתה השפעה מובהקת (ואולי זה מה שמנע התבטאות של הטיפולים)

**טבלה 7: יבול חיטה בבני דרום – עונת 2008/9 (SEM – טעות התקן)**

טיפול	יבול טרי ('ק"ג/ד')	SEM	יבול יבש ('ק"ג/ד')	SEM
10 ט'/ד' אפר פחם	1,074	110	391	54
10 ט'/ד' במס"א	990	64	363	41
30 ט'/ד' אפר פחם	1,070	25	358	21
ביקורת	1,098	86	358	44

טיפול	יבול קש טרי ('ק"ג/ד')	SEM	יבול קש יבש ('ק"ג/ד')	SEM
10 ט'/ד' אפר פחם	1,074	110	391	54
10 ט'/ד' במס"א	990	64	363	41
30 ט'/ד' אפר פחם	1,070	25	358	21
ביקורת	1,098	86	358	44
בלוק	יבול טרי ('ק"ג/ד')	Student's t	יבש ('ק"ג/ד')	Student's t
1	848	c	255	b
2	966	bc	344	ab
3	1,011	abc	382	ab
4	1,214	ab	445	a
5	1,253	a	410	a
P		0.0359		0.1121

# תכולת מתכות ויסודות קורט בצמחי החיטה בשנה השנייה:

תכולת היסודות נבדקה בשחת החיטה שנקצרה באפריל 2008 (טבלה 8-א'), וריכוזי יסודות בהם היה הבדל מובהק בין טיפולים מוצגים בטבלה 8-ב'. ריכוזי קדמיום היו על סף רגישות המדידה והם ניתנים להמחשה בלבד. ההבדלים בריכוז העופרת ובריכוז הסטרונציום בין הטיפולים הנם על סף המובהקות הסטטיסטית. ריכוזי העופרת היו גבוהים למדי בכל הטיפולים, התופעה לא חזרה על עצמה בניסויים

**טבלה 8-א':** ריכוזים ממוצעים (וטעויות התקן; 20 חלקות; כל הריכוזים הם בחומר היבש) של יסודות בשחת חיטה בבני-דרום (אפריל 2008). בכוכבית מסומנים יסודות המופיעים בטבלה 8, בהם היה הבדל מובהק בין הטיפולים.

יסוד (מ"ג/ק"ג)	avg	sem	P
Ag	bd		
Al	197	33	
As	0.060	0.015	
B	39	2	
Ba	39	1	
Ca	2,632	186	
Cd	0.032	0.002	
Co	0.10	0.02	
Cr	0.60	0.05	
Cu	3.4	0.1	
Fe	188	27	
K	16,765	609	
Li	0.33	0.04	0.0007
Mg	1,371	48	
Mn	29	2	
Mo	1.1	0.1	0.0002
Na	451	29	
Ni	0.34	0.03	
P	2,398	46	
Pb	1.4	0.1	0.044
S	1,503	55	
Se	0.23	0.05	<.0001
Sn	bd		
Sr	23	1	0.044
Ti	6	1	
V	0.49	0.07	
Zn	23	1	

אחרים. ריכוז הנחושת נמוך למדי (ריכוז רצוי בצמחי מספוא הוא כ-10 מ"ג/ק"ג). היחס בין הנחושת למוליבדן בחלק מהטיפולים (במס"א ו-30 ט"ד' אפר פחם) היה 2, שהוא ערך נמוך למדי. ריכוז נחושת כללי נמוך וריכוז מוליבדן גבוה יכולים לגרום למחסורי נחושת (כבשים רגישות במיוחד). מזון כזה נהוג לערבב עם מזונות עשירים ומאוזנים יותר או להעשיר ביסודות קורט את המנה המוגשת לעדר.

**בטבלה 8-ב': ריכוזי יסודות בנוף צמחי החיטה (בני דרום, 2008) בהם היה הבדל מובהק בין טיפולים**

יסוד (מ"ג/ק"ג)	ביקורת			במס"א (10 ט"ד')			אפר פחם (10 ט"ד')			אפר פחם (30 ט"ד')			P
	avg	sem	stat	avg	sem	stat	avg	sem	stat	avg	Sem	stat	
Li	0.19	0.05	b	0.23	0.02	b	0.29	0.05	b	0.59	0.05	a	0.0007**
Mo	0.6	0.1	b	1.6	0.3	a	0.8	0.1	b	1.6	0.1	a	0.0002**
Pb	1.1	0.2	b	1.3	0.1	b	1.2	0.2	b	1.9	0.2	a	0.044*
Se	0.14	0.04	b	0.53	0.07	a	0.07	0.04	b	0.17	0.07	b	<.0001**
Sr	20	2	b	23	2	ab	29	3	a	19	2	b	0.044*

\*Comparisons for each pair using Student's t; \*\*Comparisons for all pairs using Tukey-Kramer HSD

**סיכום**

נבדקה האפשרות להעלות את כושר התאחיזה למים של כתמי חול בשדות על תשתית גרומוסולית האמצעות אפר פחם ובמס"א, ונבדקה השפעתם של וספים אלה על היבול וההרכב הכימי של הצמחים. הבמס"א ניתנה כתחליף לדשן המסחרי. יישום אפר הפחם (והבמס"א) לא השפיעו השפעה ניכרת על התכונות הפיסיקליות של הקרקע או על תאחיזת המים בה. בשתי שנות הגידול לא הייתה לאפר הפחם השפעה כלשהי (לרעה או לטובה) על היבול, גם בעומס של 30 ט"ד'. 10 ט"ד' במס"א החליפו במלואן את תשומות הדשן.

ריכוזי יסודות קורט ומתכות כבדות בשחת (קש החיטה) היו נמוכים חוץ מריכוז העופרת, שהיה גבוה בכל הטיפולים בהשוואה לממצאים מצמחי חיטה אחרים, ומצמחי מספוא אחרים (תירס). מבין הטיפולים בניסוי הוא היה גבוה באופן מובהק ביחס לאחרים רק בטיפול ב-30 ט"ד'. אפר פחם.

יש עניין מסוים בריכוזי נחושת במספוא בגלל בעיות בקליטה עודפת של מתכת זאת בכבשים. והאינטראקציה האפשרית בין הנחושת למוליבדן. ריכוז המוליבדן במנה צריך להיות מעל 0.5 מ"ג/ק"ג, וזה היה המצב בכל הטיפולים בניסוי. מוליבדן מסייע בהפרשת עודפי נחושת מהכבד, ונהוג להוסיף מוליבדן למנה בעיקר כשהיחס בין הריכוז הנחושת לריכוז המוליבדן הנו רחב מדי ( $<10$ ). כשהיחס נמוך מדי ( $>2$ ), עלולים להיווצר מחסורי נחושת. ריכוזי הנחושת בשחת החיטה בבני-דרום (3.4 מ"ג/ק"ג) היו רגילים לקש דגנים והיחס בין הנחושת למוליבדן היה קרוב ל-2. התוצאות אינן שונות במידה ניכרת בהשוואה לניסוי שקיימנו ברבדים בקרקע חרסיתית.



תמונה 1: אתר הניסוי בבני-דרום





מדינת ישראל, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני,  
המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה

## **ייעוד במס"א ליישום חקלאי – מעקב אגרונומי וסביבתי**

**(3) אופטימיזציה של השימוש בבמס"א ובזבלים אחרים בגד"ש**

(תוצאות של שתי שנות גידול; מחקר נמשך)

מוגש ע"י:

פנחס פיין<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>, דני קורצמן<sup>1</sup>, דורית שרגיל<sup>1</sup>, אשר איזנקוט<sup>3</sup>,  
אנה בריוזקין<sup>1</sup>, אסרה רבאח<sup>1</sup>, יגב קילמן<sup>4</sup>

<sup>1</sup>המכון למדעי הקרקע המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני;  
<sup>2</sup>מגדלי דרום יהודה  
<sup>3</sup>שה"מ, שרות השדה, משרד החקלאות  
<sup>4</sup>שותפות צב"ר קמ"ה

מרץ 2013

בית דגן

## אופטימיזציה של השימוש בבוצות שפכים בגד"ש

מחקר זה (מספר 11-0705-301) ממזמן ע"י קרן המדען הראשי במשרד החקלאות

המחקר בוצע בשנים 2011/12 והוא יימשך עד סוף 2013

הדוח הוכן ע"י

פנחס פיין	מדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי
דני קורצמן	מדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי
דורית שרגיל	מדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי
אשר אייזנקוט	משרד החקלאות, שה"מ, שרות השדה
אריה בוסק	אגודת מגדלי דרום יהודה
יגב קילמן	שותפות צב"ר קמ"ה

### תקציר

שימוש מושכל בבוצות בגד"ש ישפר את יעילות ניצול יסודות ההזנה, יחסוך תשומות דשן ויצמצם זיהום הקרקע ותת-הקרקע. תרומת היסודות מזבלים הנה משמעותית מאחר שחלק מהגידולים נמצא על סף הרווחיות, ועקב כך הדישון בהם לוקה בחסר, מה שגורם לדלדול מתמשך של היבולים ושל הקרקעות (ולסחף קרקע מואץ). החובה החוקית לפסטר בוצות הקטינה את תרומתן לגד"ש; קומפוסטציה מפחיתה את מצאי החנקן וזמינותו לצמח ואת התרומה למבנה הקרקע, ייצוב בסיד ובאפר פחם גורם למיהול הבוצה בתוספים. ההנחה של המחקר היא, כי ניתן להשתמש בסוגי בוצה שונים (קיימים ועתידיים) בצורה בטוחה לרווחת כל המגזרים המעורבים (סביבה, עיר, חקלאות). המטרה העיקרית היא לבחון יישום בוצות בצורה שיטתית וארוכת-טווח בשדה ובמעבדה ולגבש המלצות לחקלאים וליצרנים. המטרות הפרטניות הן:

- הערכת ההשפעה של תהליכי הייצוב והפסטור על הרכב הבוצות;
- מדידה וחיזוי של הזמינות לצמח של יסודות ההזנה, הקורט והמתכות הכבדות;
- גיבוש המלצות ליישום בוצות בקרקעות חקלאיות בהתאם להרכבן, לקרקע, לגידול ולתנאי הסביבה.

בשנתיים האחרונות מבוצע במימון המדען ניסוי שדה נרחב בגד"ש (תירס וחיטה למספוא; קרקע חרסיתית בקיבוץ רבדים) בזיבול ב-3 בוצות (סוג ב', קומפוסט ובמס"א) ובקומפ' אשפת ערים מופרדת במקור, כולם במינון שקול ליישום 50 או 150 ק"ג N כללי/ד', עם דשן ראש או בלעדיו, וביחס ל-4 טיפולי היקש ללא זבל, הכול בהשקיה במי-קולחים. סה"כ נבדקים 16 טיפולים.

המסקנות העיקריות עד כה הן כי בחלק מטיפולי הזיבול ניתן לותר כליל על יישום דשנים ביסוד

(N, P, K), ובחלקם גם על דשן הראש (חנקן). הדחת חנקות וזרחות בחתך הקרקע בשני עומסי היישום הייתה מוגבלת. עומס בוצה משולש (לפי 150 ק"ג N\ד'שנה) לא תרם לגידול יותר מהעומס הרגיל. ריכוזי יסודות קורט ומתכות כבדות בגרגרי התירס מיבול השנה השנייה היו רגילים בכל הטיפולים, עם הגדלה מסוימת (לא מובהקת בהשוואה לחלק מטיפולי ההיקש) בריכוזי המוליבדן והמנגן בטיפולי במס"א, והגדלה בריכוזי ניקל, נחושת סידן ומגניזיום בחלק מטיפולי היקש. ריכוזי המתכות הבלתי-חיוניות (קדמיום, עופרת, ארסן) היו מתחת לסף הרגישות של שיטת המדידה הן בעומס בוצה המרבי המותר והן בעומס המשולש.

### **תיאור מקיף של הפעלת המחקר ב-2011/12**

#### **בוצות**

נבחנות בוצות המייצגות מגוון רחב של תכונות כימיות ופיזיקליות (טבלה 1) כפי שנובע מאופן הכנתן. אלו כללו: (א) בוצה בלתי-מפוסטרת שעברה עיכול אל-אווירני ("סוג ב") (מקור: מט"ש חיפה). (ב) קומפוסט מבוצה שעברה עיכול אל-אווירני (מקור: אתר קומפוסטציה "דלילה"). (ג) בוצת שפד"ן מטופלת בסיד ובאפר פחם מרחף (במס"א) (מקור: חברת דן-וירו, אתר השפד"ן). (ד) קומפוסט מאשפת ערים מופרדת במקור (מקור: קיבוץ גלעד). להשוואה מוצג גם ההרכב של בוצת השפד"ן עצמה (ממוצע של 10 דגימות שנאספו במהלך שנת 2011). ניתן לראות, כי הטיפול בבוצה וייצובה, הן בקומפוסטציה והן בסיד ובאפר פחם (או באבק מצצבות ובאפ"ש) גורם לירידה חדה בתכולת החומר האורגני (עליה ב- LOI שהוא איבוד משקל בשרפה ב-500 מ"צ) ובתכולת הפחמן האורגני ויסודות ההזנה העיקריים (חנקן וזרחן). התכולה של יסודות קורט ומתכות כבדות מושפעת הן מן המקור והן מהתוספים (טבלה 1). כך, בוצת חיפה הייתה עשירה ביסודות מנוטרים (priority pollutants), וריכוזי ניקל ואבץ אף עברו את הערך המרבי המותר. הוספת אפר פחם לבוצה העשירה את התערובת ביסודות אוקסיאניוניים (As, B, Co, V אך לא ב-Cr) והפחיתה ריכוזי מתכות אחרות (Cd, Cu, Zn, Ag).

#### **ניסוי השדה**

מבוצע בקיבוץ רבדים (חלקה 20, קרקע ורטיסול) במחזור שלחין (תירס) ובעל (חיטה). שטח הניסוי מחולק ל-16 טיפולים ב-6 בלוקים (באקראי), כ"א על כ-70 מ"ר כלהלן (טבלה 2): ארבעה טיפולי היקש במשטרי דישון שונים (ללא דשן, דשן יסוד בלבד (10 ק"ג N/ד'), דשן ראש בלבד (21 ק"ג N/ד'), דישון משקי מלא (31 ק"ג N/ד') (היישום בפועל היה שונה מהמתוכנן), טיפולי זיבול בבמס"א, קומפוסט בוצה, בוצה מעוכלת וקומפוסט מאשפת ערים, כל זבל ב-3 טיפולים: (א) יישום במינון שקול ל-50 ק"ג N/ד' ללא דשן ראש, (ב) כנ"ל + 21 ק"ג N/ד' בראש, (ג) זבל במנה שקולה ל-150 ק"ג N/ד' ללא דשן ראש. היישום במנה הנמוכה חוזר בכל אביב בעוד שהמנה הגבוהה ניתנה פעם אחת ל-3 שנים. יישום הזבלים נעשה ביד, באמצעות אשפתונים בנפח 50 ל" (טבלה 2), הבוצות פוזרו על הקרקע במגרפות והוצנעו

טבלה 1: הרכב הזבלים שיושמו בשדה ב-2011 (ממוצעי 3 דגימות), ולהשוואה בוצת השפד"ן

מרכיב (בחומר היבש)	יחידות	בוצת חיפה	קומפוסט בוצה (אתר דלילה)	קומפוסט אשפת ערים (גלעד)	במס"א שפד"ן	בוצת שפד"ן (ממוצע של 10 מדגמים 2011)	ערך סף עליון
חומר יבש	%	20	59	60	71	22	
אפר	- " -	24	53	64	88	23	
C <sub>Organic</sub>	- " -	38.7	22.2	19.8	8.0	37.7	
C <sub>Inorganic</sub>	- " -	0.5	0	1.7	1.4	1.3	
N <sub>Total</sub>	- " -	6.33	2.07	1.40	0.70	6.39	
C <sub>Org</sub> /N <sub>Org</sub>	ratio	6.3	12.2	14.6	11.8	6.1	
N-NH <sub>4</sub>	mg/kg	1,922	2,506	385	181	1,642	
P <sub>Total</sub>	- " -	22,744	12,875	3,244	3,557	13,279	
PO <sub>4</sub> -P (Bicarb)	- " -	2,060	1,030	546	307	3,525	
PO <sub>4</sub> /P <sub>T</sub>	%	9	8	17	9	27	
pH (1:5)	mg/kg	6.50	6.62	8.03	11.45	5.76	
EC (1:5)	- " -	7.8	6.6	1.4	2.6	5.9	
Cl	- " -	363	653	1,050	37	323	
Ag	- " -	12.2	6.9	0.2	1.3	10.8	
Al	- " -	4,919	8,141	17,590	22,880	8,869	
As	- " -	1.9	2.1	1.2	13.3	2.6	
B	- " -	29	53	29	332	42	
Ba	- " -	558	242	222	665	120	
Ca	- " -	39,386	70,522	85,434	55,984	21,540	
Cd	- " -	5.0	1.1	0.3	0.5	2.9	20
Co	- " -	7.0	5.8	7.9	13.5	4.3	
Cr	- " -	153	111	140	77	64	400
Cu	- " -	540	234	37	36	149	600
Fe	- " -	6,136	8,034	14,320	18,695	7,391	
K	- " -	2,230	5,912	8,056	1,797	4,975	
K <sub>(Bicarbonate)</sub>	- " -		528	419	11	181	
K <sub>(Bic.)</sub> /K <sub>T</sub>	%		8.9	5.2	0.6	3.6	
Li	mg/kg	2.3	4.9	9.7	45.6	4.9	
Mg	- " -	5,584	9,935	14,985	6,366	4,706	
Mn	- " -	243	195	315	155	87	
Mo	- " -	9.6	3.1	1.5	4.2	2.9	
Na	- " -	1,681	1,869	3,594	825	1,058	
Ni	- " -	108	63	69	42	46	90
Pb	- " -	32	39	15	30	27	200
S	- " -	11,731	7,698	2,191	2,641	8,030	
Sn	- " -	8.6	17.6	10.3	6.6	10.0	
Sr	- " -	222	200	158	807	103	
Ti	- " -	46	16	149	128	51	
V	- " -	20	17	29	86	16	
Zn	- " -	3,366	1,170	120	144	945	2500

טבלה 2: הטיפולים בניסוי השדה ברבדים (פיזור הבוצות היה ידני, שטח חלקה 90 מ"ר, 6 חזרות לטיפול)

	טפול	דשן/זבל ביסוד 2011	דשן/זבל ביסוד 2012	דשן ראש	חנקן בבוצה (ק"ג/ט')	משקל נפחי (ק"ג/ל')	חומר יבש (%)	בוצה לחה (מ"ק/ד')	בוצה יבשה (ט'/ד')	עומס חנקן כללי* (ק"ג/ד')
1	ללא דשן	ללא	כמו 2011	ללא						0
2	יסוד בלבד	מסחרי	-	ללא						10
3	ראש בלבד	ללא	-	מסחרי						21
4	מסחרי מלא**	מסחרי	-	מסחרי						31
5	בוצה מעוכלת	50 ק"ג N\ד	-	מסחרי	50	0.80	0.2	5.6	0.9	44+21
6	קומפוסט בוצה	50 ק"ג N\ד	-	מסחרי	23	0.54	0.63	6.5	2.2	51+21
7	במ"ס שפד"ן	50 ק"ג N\ד	-	מסחרי	8	0.94	0.69	10.1	6.6	50+21
8	קומפ' אשפת ערים	50 ק"ג N\ד	-	מסחרי	12	0.58	0.76	8.7	3.8	47+21
9	בוצה מעוכלת	50 ק"ג N\ד	-	ללא				5.6	0.9	44
10	קומפוסט בוצה	50 ק"ג N\ד	-	ללא				6.5	2.2	51
11	במ"ס שפד"ן	50 ק"ג N\ד	-	ללא				10.1	6.6	50
12	קומפ' אשפת ערים	50 ק"ג N\ד	-	ללא				8.7	3.8	47
13	בוצה מעוכלת	150 ק"ג N\ד	ללא	ללא				16.7	2.7	133
14	קומפוסט בוצה	150 ק"ג N\ד	ללא	ללא				19.5	6.7	154
15	במ"ס שפד"ן	150 ק"ג N\ד	ללא	ללא				28.9	18.7	144
16	קומפ' אשפת ערים***	ללא	150 ק"ג N\ד	ללא				18.6	12.1	141

\*ההשקיה הייתה במי-הקולחים ובה הוספו כ-2.5 ק"ג N/ד' לכל הטיפולים; \*\*ב-2011 בוצע ב-12 חזרות; \*\*\*ב-2011 החלקות בטיפול זה התוספו לטיפול המסחרי.

## טבלה 3-א': יומן הניסוי 2011

תאריך	ימים מזריעה	אירוע
16/06/2011	-17	פיזור בוצות וזבלים; דיגום הקרקע בטיפול המסחרי בלבד לקביעת תצרוכת הדשן ביסוד
23/06/2011	-10	השקיית הרוויה ראשונה
28/06/2011	-5	השקיית הרוויה שנייה
03/07/2011	0	זריעה והנבטה
15/07/2011	12	חלקות ביקורת: פזור ידני דשן יסוד 10 ק"ג N ד'
15/07/2011	12	השקיית השרשה בהמטרה
04/08/2011	32	דיגום צמחים טרום השקיה בטפטוף
04/08/2011	32	תחילת השקיה בטפטוף
07/08/2011	35	דיגום קרקע: עומקים 0-15, 15-30, 30-60
18/08/2011	46	לתירס 10 עלים לצמח
29/08/2011	57	דגימת צמחים
02/10/2011	91	סיום ההשקיה
26/10/2011	115	קציר הניסוי
12/12/2011	162	דיגום קרקע: עומקים 0-15, 15-30, 30-60
22/12/2011	172	עיבוד וזריעת חיטה

תאריך	תיאור	מ"ק/ד'	מ"ק/ד' מצטבר	מ"ק/ד' בטפטוף
23/06/2011	הרווית חתך ראשונה בהמטרה	80	80	
28/06/2011	הרווית חתך שנייה בהמטרה	50	130	
03/07/2011	השקיית הנבטה בהמטרה	40	170	
15/07/2011	השקיית השרשה בהמטרה	40	210	
04/08/2011	השקיה בטפטוף ודישון ראש	31	241	31
09/08/2011	-- " --	14	255	45
11/08/2011	-- " --	12	267	57
15/08/2011	-- " --	17	284	74
18/08/2011	-- " --	18	302	92
21/08/2011	-- " --	18	320	110
24/08/2011	-- " --	17	337	127
28/08/2011	-- " --	17	354	144
31/08/2011	-- " --	33	387	177
04/09/2011	-- " --	15	402	192
07/09/2011	-- " --	20	422	212
11/09/2011	-- " --	21	443	233
14/09/2011	-- " --	20	463	253
18/09/2011	-- " --	15	478	268
22/09/2011	-- " --	11	489	279
25/09/2011	-- " --	10	499	289
02/10/2011	-- " --	21	520	310

## טבלה 3-ב': יומן הניסוי 2012

תאריך	ימים מזריעה	פעילות
24/04/2012	-14	פיזור זבלים
25/04/2012	-13	המשך פיזור הזבלים
30/04/2012	-8	השקיה טכנית - 30 מ"מ
03/05/2012	-5	דיגום קרקע בחלקה המסחרית.
06/05/2012	-2	תיחוח
08/05/2012	0	זריעה
09/05/2012	1	הכנסת עמדות למדידת שטף גזים. דיגום הקרקע (ל-2 מ' ב-6 מקטעי עומק)
10/05/2012	2	התחלת מדידת גזי חממה; השקיית הנבטה (המטרה)
13/05/2012	5	דיגום גזים. התחלת הצצה.
14/05/2012	6	קידוח להכנסת צנרת גישה למפזר נויטרונים. דיגום הקרקע ב-6 מקטעים עד 220 ס"מ
15/05/2012	7	השקיית הנבטה
16/05/2012	8	דיגום גזים
17/05/2012	9	מדידה במפזר נויטרונים
21/05/2012	13	טיפול דשן יסוד מסחרי – יישום 10 ק"ג N/ד' כאוריאה; פתיחת שבילים; דיגום גזים
23/05/2012	15	מדידה במפזר נויטרונים; דיגום קרקע בחלקות המפזר/גזים
24/05/2012	16	דיגום גזים
26/05/2012	18	השקיית הנבטה
28/05/2012	20	דיגום גזים
31/05/2012	23	דיגום גזים
06/06/2012	29	התחלת ההשקיה בטפטוף
07/06/2012	30	דיגום גזים
12/06/2012	35	דיגום קרקע ל-60 ס"מ
14/06/2012	37	מדידה במפזר נויטרונים; דיגום גזים
21/06/2012	44	מדידה במפזר נויטרונים; דיגום גזים
27/06/2012	50	מדידה במפזר נויטרונים; דיגום גזים
28/06/2012	51	מעבר להשקיה בטפטוף
04/07/2012	57	מדידה במפזר נויטרונים; דיגום גזים
11/07/2012	64	מדידה במפזר נויטרונים; דיגום גזים
18/07/2012	71	מדידה במפזר נויטרונים; דיגום גזים
25/07/2012	78	מדידה במפזר נויטרונים; דיגום גזים
01/08/2012	85	מדידה במפזר נויטרונים; דיגום גזים (סיום)
08/08/2012	92	חיסול הניסוי: דיגום קנים וקלחים
20/08/2012	104	דיגום קרקע ב-96 החלקות לעומק 3 מ' (8 מקטעים).
20/12/2012	226	עיבודי קרקע; זריעת גידול חורפי (חיטה); דיגום בגיל 4 עלים (ידווח בשנה ג')



## לוח השקיה ודישון - 2012

תאריך	מנת מים (מ"ק/ד')	מנת מים מצטברת (מ"ק/ד')	יחידות חנקן (כ-אורן)
	30 (הש' טכנית)	30	
	30 (הש' הנבטה)	60	
	30 (הש' השרשה)	120	
6/6/12	15	135	
11/6/12	20	155	
14/6/12	15	170	4
17/6/12	40	210	4
24/6/12	46	256	4
1/7/12	54	310	4
8/7/12	50	360	4
15/7/12	59	419	
22/7/12	50	469	
29/7/12	46	515	

בדיסק כבד. טיפולי ההיקש (לבד מטיפול מס' 1) קיבלו דישון יסוד (K, P) לפי בדיקות קרקע לפני כל עונת גידול. ההשקיה הייתה במי-קולחים שהוסיפו עוד כ-2.5 ק"ג N/ד'.

**בקורות בניסוי השדה:**

קרקע: לפני הניסוי נדגמה הקרקע ב-12 חזרות (דיגום שנפרש בדגם W בשטח החלקה) עד לעומק 1.8 מ'. נבדקו התכולות הכלליות של הפחמן והחנקן האורגניים והזרחן הכללי ומרכיביהם המינרליים והאשלגן הזמין. ב-2011 הקרקע נדגמה פעמיים לעומק 60 ס"מ: בשיא עונת התירס ואחרי הקציר. ב-2012 בוצעו מספר דיגומים: במאי ל-2 מ' ובאוגוסט ל-3 מ'. ביניהם היה דיגום לעומק 60 ס"מ. במדגמים נבדקו ריכוזי האמון והחנקן (במיצוי KCl), זרחה ואשלגן (מיצוי דו-פחמה). בחלק מהמועדים נבדקו גם מיצויים מימיים ובמיצויים ב-CaCl<sub>2</sub>. אלה שמשו לבדיקה של אשלגן, זרחן, יסודות קורט, מתכות כבדות, pH ו-EC. חנקן מינרלי נבדק ע"י מיצוי דגימות קרקע ב-1N KCl ביחס 1 ל-8 קרקע לנוזל. המבחנות טולטלו במשך שעה, סורכזו, והנוזל העליון נבדק באוטואנלייזר כנ"ל. זרחה ואשלגן נבדקו במיצוי קרקע ב-0.5 M NaHCO<sub>3</sub> ב pH 8.5 ביחס מיצוי קרקע-נוזל 1 ל-20 בטלטול לשלוש שעות. הנוזל העליון נבדק לאחר החמצה באמצעים שהוזכרו לעיל. המוליכות החשמלית וה-pH של דגימות קרקע נקבעו במיצוי מימי ביחס קרקע-מים 1 : 5. התרחיף טולטל במשך שעה, סורכז, והנוזל העליון הופרד, סונן דרך מסנן ניילון 0.45 µm (syringe mounted) לבדיקות יסודות מסיסים.

דיגום צמח: צמחי תירס נדגמים פעם או פעמיים בעונה: לעת הפריחה הזכרית ובסיום העונה.

בדיגום המוקדם נקצר צמח אחד בכל חלקה, ונשקל להערכת היבול היחסי. בסיום, נקצרים צמחים לאורך 5 מ' שורה, נספרים, מופרדים לנוף ולקלחים (שנספרים), והנוף והקלחים נשקלים בשטח, ונלקחים מדגמים לקביעת המשקל היבש (80 מ"צ), ולאנליזות כימיות. הגרגרים מופרדים מהאשכול. האשכול מצורף לנוף ונטחן אתו. תכולת היסודות (חנקן, זרחן, אשלגן, יסודות קורט ומתכות כבדות) נבדקת בגרגרים ובנוף.

דיגום צמחי החיטה ייעשה בשני שלבים (לפחות): בשלב דונג (מרץ 2013), להערכת היבול (והרכבו) לשחת, ובשלב הבשלה מלא – להערכת יבול הגרגרים והרכבם. הדיגום נעשה באמצעות מקצרת הניסיונות של משרד החקלאות, אגף מספוא (באמצעות דר' אפרים צוקרמן). יחידת המדגם לשחת היא פס ברוחב המקצרה (1.25 מ') לרוחב החלקה (12 מ') במרכזה. דיגום הגרגרים יהיה באמצעות קומביין הניסיונות של הנ"ל, יחידת המדגם היא ברוחב 1.25 מ' לאורך החלקות (40 מ', בניכוי 2 מ' שוליים מכל צד). הגרגרים נאספים בשקים, נשקלים, ונלקח מדגם להמשך הבדיקות.

**הבדיקות הכימיות** בחומר הצמחי הטחון נבדק החנקן הכללי המחוזר ונעשתה סריקת יסודות כללית. לראשון, מדגמים (במשקל 0.2 גרם) עוכלו בחומצה גופרתית מרוכזת רותחת, עם הוספות עתיות של מי-חמצן לחומצה, לאחר הבאתה לטמפרטורת החדר. ריכוז החנקן נבדק בריאקציית צבע באוטואנלייזר (תוצ' Lachat) כנגד סטנדרטים. סריקת יסודות כללית (כולל זרחן, אשלגן, יסודות מאקרו, יסודות קורט ומתכות כבדות) נעשתה לאחר עיכול מדגמים צמחיים במשקל 0.3 גרם בחומצה חנקתית מרוכזת רותחת. הבדיקה היא ב-ICP.

ניתוח סטטיסטי נעשה ב-Anova אמצעות תוכנת JMP. מובהקות ההבדלים בין טיפולים בהם  $p < 0.05$  נבדקה בד"כ במבחן Tukey-Kramer HSD או במבחן Student's t (המקל יותר) ברמה של  $\alpha < 0.05$ . השתמשנו המבחן האחרון בשני מקרים: כשהמובהקות הייתה גבולית וכאשר רצינו להדגיש הבדלים בין טיפולים. בכל המדדים שנבדקו, ואשר מוצגים בטבלאות ובאיורים, העדר אות ליד הממוצע או הופעה של אותה אות מצוין כי ההבדל בין הממוצעים של הטיפולים לא היה מובהק סטטיסטית.

### **תוצאות ניסוי השדה:**

**יבול תירס 2011:**

הטיפולים כולם לא השפיעו על מרבית המדדים שנבדקו. גובה הצמחים הממוצע בפריחה הזכרית (29/8/11) היה כ-1.25 מ', ובקציר הסופי (26/10/11) כ-2.5 מ'. מספר הצמחים למטר (8.0), מספר הקלחים למטר (7.8), יבול הקנים (משקל יבש ממוצע 737 ק"ג/ד') והיבול היבש הכללי (כ-2 ט"ד') היו דומים בכל הטיפולים. שיעור החומר היבש בקנים היה 42%, ובקלחים - 72%. במדד האחרון היה הבדל מובהק בין טיפולים 2 ו-12 (75% חומר יבש) לבין טיפול 3 (68% חומר יבש). הסיבה לכך אינה ידועה לנו. יבול הקלחים (משקל יבש) הממוצע לכל החלקה היה 1,245 ק"ג/ד'. הבדל מובהק (לפי Tukey-Kramer HSD) היה רק בין הטיפול באשפת הערים במינון 50 ק"ג N/ד' (1.4 ט"ד') לבין טיפול במס"א במינון 150 ק"ג N/ד' (1.0 ט"ד'). בטבלה 5 להלן הצגנו אמנם מבחן מקל יותר של ההבדלים בין הממוצעים (לפי Student's t) אך הוא אינו עוזר בהבהרת התמונה. ניתן לראות, כי גם טיפול 5 (בוצה סוג ב' + דשן ראש) היה נחות ביחס לאחרים. הדבר אינו מתיישב עם ההרכב ועם נתוני שנת 2012 (להלן).

העדר כמעט כל הבדלים בין הטיפולים היה למרות השוני הגדול ביניהם מבחינת עומס היישום של יסודות ההזנה בקרקע. כך בטיפול 1, ללא כל דישון, היבול היה כמו בטיפול המסחרי (יישום של 31 ק"ג N/D) ובטיפול הזיבול בעומס יישום חנקן כללי שהגיע ליותר מ-150 ק"ג N/D. ניתן היה לכאורה להסביר זאת בתכולת רקע גבוהה של יסודות הזנה בקרקע כתוצאה מדישון עודף בעבר אולם כפי שנראה בהמשך, ריכוזי היסודות בקרקע לפני התחלת הניסוי (ובטיפול ההיקש ללא דשן) היו נמוכים. גם היתרון ביבול הקלחים לאשפת הערים במינון 50 ק"ג N/D אינו ברור על רקע הרכבה הדל יחסית (טבלה 1)

#### יבול תירס 2012:

בשנה השנייה (בה היה יישום חוזר של זבלים בטיפולים עם מינון הזבל הנמוך) הייתה לטיפולים השפעה מובהקת ביותר על היבולים (טבלה 6). מרבית טיפולי הזבל עם דשן בראש ובלעדי הניבו יבול שלא היה שונה באופן מובהק (לפי Student's t) מהיבול בהיקש המסחרי (#4), והיו בין 10% מעליו (טיפול #5, בוצה ללא דשן) ל-8% מתחתיו (#8, קומפ' אשפה עירונית). גם בטיפולים 9 ו-10 (בוצה סוג ב' וקומפ' בוצה במנה משולשת ללא דשן ראש), שזובלו ב-2011, נתנו יבול בגבולות לעיל. טיפולי קומפ' האשפה העירונית (#8, #12 - מנה נמוכה, ו-#16 - מנה גבוהה, עם/ללא דשן ראש) וטיפול #15 (במס"א מנה גבוהה, ללא דשן ראש) נתנו יבולים נמוכים יחסית. למעשה, כל הטיפולים שקבלו מנה גבוהה של זבל ב-2011, ללא דשן ראש ב-2 השנים, הניבו יבולים נמוכים יחסית שלא היו שונים מבחינה סטטיסטית. יש כי הזיבול בטיפול #16 (קומפ' האשפה העירונית מנה גבוהה ללא דשן ראש) בוצע רק ב-2012 בעוד שב-3 הטיפולים האחרים הבמינון זה הוא ניתן שנה קודם.

#### תכולות K, P, N בצמחי התירס 2012:

הכמות של היסודות לעיל שהורחקה בצמחי התירס הנה סכום המכפלות של הריכוזים בגרגרים ובצמחים של כל אחד מהיסודות ביבולים של מרכיבי צמח אלה. בטבלה 6 ניתן לראות כי יבולי חנקן גבוהים יחסית (כ-30 ק"ג N/D) היו בהיקש המסחרי ובטיפול הזיבול + דשן ראש - (#8) (#5 וכן בזיבול החוזר בבמס"א (#10) ובזיבול היחיד הגבוה בבמס"א (#15) ובקומפ' בוצה (#14). גם הזיבול הגבוה באשפת ערים נתן יבול חנקן דומה, אולם בטיפול זה הזיבול נעשה ב-2012 ולא שנה קודם כבאחרים. בטיפול ההיקש ללא כל דשן (#1) ס"כ קליטת החנקן הייתה כ-19 ק"ג N/D (ו-69% מהיבול המסחרי), ערך גבוה למדי הנובע רובו ככולו מהמינרליזציה של החנקן האורגני בקרקע. למעשה, די היה בזיבול הראש (טיפול #3) כדי לקבל כמעט את מלוא אספקת החנקן (אך לא את היבול, טבלה 5).

סך כל קליטת הזרחן בצמחים השלמים הייתה כ-5.3 ק"ג P/D בממוצע לכל הטיפולים. לא היה הבדל מובהק בין טיפולים כלשהם (טבלה 6).

ס"כ קליטת האשלגן בצמחים השלמים הייתה כ-34 ק"ג א\ד' בממוצע לכל הטיפולים, מעט יותר מקליטת החנקן, אולם בדומה לה מאד (טבלה 6). יבולי אשלגן גבוהים יחסית היו בטיפול המסחרי ובטיפול הזיבול שקיבלו דשן חנקני בראש. יבולי אשלגן נמוכים יחסית היו בטיפול הבוצה המעוכלת וקומפוסט הבוצה שלא קיבלו דשן חנקני (ב-2 שיעורי היישום), בטיפול קומפ' אשפת הערים ובטיפול ההיקש עם הגבלת דישון. בכל מקרה, הקרקע ספקה כ-31 ק"ג א\ד' (טיפול #1, ללא דשן) ועוד כ-7 ק"ג א\ד' לכל היותר הגיעו מהדשן או מהזבלים.

ניתן לסכם את השפעת הזבלים על יבול התירס ויבולי היסודות בצמחים בתנאים שנבדקו (תירס למספוא, קרקע חרסיתית, השקיה תקינה ב"קולחי דו"ח ענבר") בשנה השנייה כלהלן: (א) היבול הצמחי והרחקת חנקן ואשלגן בהיקש המסחרי דמו לאלה שנמצאו בטיפול הבוצה, קומפוסט הבוצה והבמס"א ביישום השנתי הנמוך עם דשן ראש. בטיפולים ללא דשן חנקני בראש היבול היה כנ"ל אולם קליטת החנקן והאשלגן הייתה נמוכה יחסית.

(ב) היבול הצמחי בטיפול קומפוסט הבוצה והבמס"א היה דומה בכל אחת מ-2 קבוצות הטיפולים ללא דשן ראש. אולם זמינות החנקן והאשלגן לצמחים בטיפול הבמס"א הייתה גבוהה יותר באופן מובהק.

(ג) היבול הצמחי בכל טיפולי קומפוסט אשפת הערים היה נחות יחסית. לעומת זאת, ס"כ קליטת החנקן והאשלגן בצמחים הייתה בד"כ דומה למרבית הטיפולים האחרים.

(ד) סך כל קליטת הזרחן בצמחים הייתה דומה בכל הטיפולים.

(ה) יישום כל אחד מ-4 הזבלים מאפשר להימנע מהדישון ביסוד.

(ו) זיבול במנה הנמוכה בכל אחד מ-3 סוגי הבוצה (אך לא בקומפוסט אשפת הערים) עשוי לאפשר הימנעות גם מדישון חנקני בראש. לגבי קומפוסט אשפת הערים, יהיה צורך לבחון הגדלה של מנת החנקן (מעבר ל-50 ק"ג א\ד' לשנה). הדבר גם אפשרי הואיל וגודל המנה מוגבל למנה דלעיל רק ביישום בוצות שפכים.

(ז) יישום חוזר מדי שנה היה עדיף על יישום חד-פעמי ל-3 שנים במנת זבל משולשת.

(ח) מבין שלושת היסודות העיקריים, K, P, N, הגורם העיקרי שהגביל את היבול היה ככל הנראה זמינות החנקן.

ריכוזים של יסודות מאקרו אחרים, יסודות קורט ומתכות כבדות בגרגרים (ובצמחים) ב-2012:  
הריכוזים הממוצעים בגרגרי התירס של יסודות בהם נמצא הבדל מובהק כלשהו בין הטיפולים מוצגים בטבלה 7, והריכוזים של מרבית יתר היסודות שנבדקו מוצגים בטבלה 8. ניתן לראות כי: (א) ריכוזי סלן, ארסן וכסף היו מתחת ליכולת הגילוי; (ב) הריכוזים המרביים של ארבעה יסודות (מגניון, סידן, ניקל, נחושת) היו בטיפול היקש; (ג) הריכוזים המרביים של שני יסודות אחרים, מנגן ומוליבדן, היו בטיפול במס"א; (ד) תחומי הריכוזים כולם היו תקינים; (ה) השלשת עומס הזבל לא הגדילה את ריכוזי היסודות. האנליזה של יסודות המאקרו, הקורט ובמתכות

טבלה 5: יבולי תירס ממוצעים בניסוי השדה ברבדים בשנים 2011 ו-2012 (המובהקות נבדקה במבחן Tukey-HSD ברמה של 5%).

Treatments	Nitrogen application		Times applied	2011 Yield (ton ha <sup>-1</sup> ) & Student's 't'		2012 Yield (ton ha <sup>-1</sup> ) & Student's 't'		2011 Yield as % of #4	2012 Yield as % of #4
	Base	Side							
1 Cont 0-0	0	0		20.2	ab	15.4	d	99.8	69.0
2 Cont N-0	100	0		21.3	a	21.2	bc	105.6	95.0
3 Cont 0-N	0	150		20.2	ab	18.6	c	99.7	83.5
4 Cont N-N	100	150		20.2	ab	22.3	ab	100.0	100.0
5 SS-500+N	500	150	2	17.4	bc	24.4	a	86.1	109.5
6 SC-500+N	500	150	2	18.9	abc	22.1	ab	93.4	99.1
7 NVS-500+N	500	150	2	19.2	abc	22.5	ab	94.9	100.8
8 MSW-500+N	500	150	2	20.6	a	20.6	bc	101.8	92.3
9 SS-500-0	500	0	2	20.7	a	22.9	ab	102.6	102.8
10 SC-500-0	500	0	2	21.0	a	20.9	bc	103.8	93.6
11 NVS-500-0	500	0	2	19.7	ab	21.1	bc	97.8	94.7
12 MSW-500-0	500	0	2	21.3	a	19.3	c	105.2	86.7
13 SS-1500-0	1500	0	1	18.6	abc	20.8	bc	92.1	93.2
14 SC-1500-0	1500	0	1	21.1	a	21.0	bc	104.3	94.4
15 NVS-1500-0	1500	0	1	16.5	c	19.2	c	81.8	86.1
16 MSW-1500-0	1500	0	1			19.0	c		85.5
Average				19.8		20.7			
P				0.037		<0.0001			

טבלה 6: כמות ממוצעת (ק"ג/הקטר) של היסודות העיקריים שנקלטו בצמחי התירס בניסוי השדה ברבדים ב-2012 (המובהקות נבדקה במבחן Tukey-HSD ברמה של 5%).

Treatments	Nitrogen application		Times applied	2012 N Yield (kg ha <sup>-1</sup> ) & Student's 't' test		2012 P Yield (kg ha <sup>-1</sup> )		2012 K Yield (kg ha <sup>-1</sup> ) & Student's 't' test	
	Base	Side							
1 Cont 0-0	0	0		193	d	50	306	d	
2 Cont N-0	100	0		243	bcd	51	328	bcd	
3 Cont 0-N	0	150		288	abc	51	319	cd	
4 Cont N-N	100	150		303	ab	51	374	a	
5 SS-500+N	500	150	2	316	a	53	365	ab	
6 SC-500+N	500	150	2	303	ab	54	344	abcd	
7 NVS-500+N	500	150	2	301	ab	49	360	abc	
8 MSW-500+N	500	150	2	297	ab	48	359	abc	
9 SS-500-0	500	0	2	264	abc	60	328	bcd	
10 SC-500-0	500	0	2	250	bcd	51	319	cd	
11 NVS-500-0	500	0	2	311	a	52	376	a	
12 MSW-500-0	500	0	2	239	cd	58	335	abcd	
13 SS-1500-0	1500	0	1	247	bcd	51	349	abcd	
14 SC-1500-0	1500	0	1	263	abc	62	330	bcd	
15 NVS-1500-0	1500	0	1	297	ab	59	341	abcd	
16 MSW-1500-0	1500	0	1	280	abc	57	312	d	
Average				275		53	340		
<i>p</i>				0.005		ns	0.03		

טבלה 7: ריכוזים של יסודות (מ"ג/ק"ג) בגרגרי התירס מניסוי השדה ברבדים (נתוני 2012) בהם נמצא הבדל מובהק בין טיפולים כלשהם (המובהקות הנה לפי Students' t או לפי Tukey-Kramer HSD שניהם ברמה של 5%).

Treatment	Mg (Students' t)	Ca (Students' t)	Mn (Student' t)	Ni (T-K HSD)	Cu (Students' t)	Mo (T-K HSD)
1 Cont 0-0	1,132 abcde	44 a	5.5 bcd	0.44 a	1.52 abcde	0.13 abcd
2 Cont N-0	1,030 e	31 bcd	4.8 d	0.29 ab	1.34 de	0.09 d
3 Cont 0-N	1,027 e	38 abc	4.8 d	0.21 b	1.46 bcde	0.11 bcd
4 Cont N-N	1,267 a	34 abcd	6.3 ab	0.17 b	1.75 a	0.10 d
5 SS-500+N	1,108 bcde	24 d	5.1 d	0.17 b	1.51 abcde	0.11 bcd
6 SC-500+N	1,204 abc	36 abcd	6.2 abc	0.17 b	1.66 abc	0.10 d
7 NVS-500+N	1,261 ab	40 abc	6.5 a	0.22 b	1.68 ab	0.15 ab
8 MSW-500+N	1,120 abcde	30 cd	5.4 cd	0.19 b	1.59 abcd	0.09 d
9 SS-500-0	1,041 de	34 abcd	4.9 d	0.28 ab	1.42 cde	0.09 d
10 SC-500-0	1,099 cde	42 ab	5.4 bcd	0.28 ab	1.50 abcde	0.10 cd
11 NVS-500-0	1,186 abcd	40 abc	5.5 bcd	0.22 b	1.66 abc	0.15 a
12 MSW-500-0	1,017 e	37 abc	5.2 cd	0.33 ab	1.32 e	0.10 d
13 SS-1500-0	1,114 bcde	33 abcd	4.9 d	0.29 ab	1.43 bcde	0.12 abcd
14 SC-1500-0	1,026 de	32 bcd	4.8 d	0.33 ab	1.49 abcde	0.11 abcd
15 NVS-1500-0	1,102 cde	35 abcd	5.1 d	0.29 ab	1.43 bcde	0.14 abc
16 MSW-1500-0	1,094 cde	42 ab	5.6 abcd	0.37 ab	1.54 abcde	0.13 abcd
Average	1,114	36	5.4	0.27	1.52	0.11
P	0.02	0.08	0.007	0.0002	0.06	<.0001

טבלה 8: הריכוז הממוצע (מ"ג/ק"ג) של היסודות בגרגרי התירס מניסוי השדה ברבדים  
(נתוני 2012)

Level	Average (mg/kg)	P	Quantification limit (mg/kg)
B	18		
Ca	36	0.083	
Cd	bql		0.035
Co	bql		0.035
Cr	0.11		0.035
Cu	1.5	0.062	
Fe	17		
K	4,746		
Li	bql		0.035
Mg	1,114	0.017	
Mn	5.4	0.007	
Mo	0.11	<.0001	0.17
Na	13		
Ni	0.27	0.000	
P	3,397		
Pb	0.12		0.35
S	1,144		
Sr	0.16	0.049	
V	bql		
Zn	24		

bql – below quantification limit

ה-Quantification limit נקבע לפי הריכוז המזערי של  
היסוד בתמיסת הסטנדרט x יחס המיהול (20). סף  
הגילוי יכול להיות נמוך מזה.

הכבדות בקנים של צמחי התירס הושלמה בכל 96 החלקות אולם בשל בעיות אנליטיות  
החלטנו לחזור על הבדיקה כולה (עיכול המדגמים ובדיקתם ב-ICP) למרות עלותה.

#### ריכוזים של יסודות מסיסים בקרקע

דגימות קרקע מהשכבה 0-20 ס"מ מהדיגום ב-12/12/11, שהיה הדיגום האחרון בעונה  
הראשונה, מוצו במים מזוקקים ונבדקו בהם הריכוזים של היסודות המסיסים (טבלאות 9-א',  
9-ב'). ריכוזי שלושה יסודות, As, B, ו-Mo, היו גבוהים בטיפול במס"א לפי 150 ק"ג N ד'  
באופן מובהק בהשוואה ליתר הטיפולים, ו-As היה גבוה בטיפול קומפ' בוצה לפי 150 ק"ג  
N ד' באופן מובהק בהשוואה להיקש הלא מדושן (טיפול 1). ריכוזי יסודות אלה בכל יתר  
הטיפולים לא היו שונים מבחינה סטטיסטית (As לפי מבחן Tukey-Kramer HSD; B ו-Mo  
גם לפי מבחן Student's t; טבלה 9-א'). הריכוזים של כל יתר היסודות שנבדקו במיצוי  
הקרקע לא היו שונים סטטיסטית בין הטיפולים, והערכים הממוצעים לכל 96 החלקות בניסוי  
של כל היסודות המומסים מוצגים בטבלה 9-ב'.



**טבלה 9-א':** ריכוז יסודות מסיסים (מ"ג/ק"ג) במדגמי קרקע מהשכבה 20-0 ס"מ, ממוצעים של כל 96 החלקות בניסוי (דיגום קרקע 12/12/11). מוצגים ממוצעי שלושה יסודות, היחידים שהטיפול נבדלו בהם בצורה מובהקת.

Treatment	As				B				Mo		
	Avg	sem	TK-HSD	St's t	Avg	sem	TK-HSD	St's t	Avg	sem	St's t
1 Cont 0-0	0.044	0.003	c	f	0.41	0.03	b	cd	0.010	0.002	b
2 Cont N-0	0.063	0.006	bc	cdef	0.46	0.04	b	bcd	0.013	0.003	b
3 Cont 0-N	0.058	0.005	bc	def	0.42	0.05	b	cd	0.016	0.001	b
4 Cont N-N	0.057	0.005	bc	ef	0.38	0.03	b	d	0.016	0.003	b
5 SS-500+N	0.056	0.004	bc	def	0.40	0.05	b	cd	0.015	0.002	b
6 SC-500+N	0.070	0.007	bc	bcde	0.40	0.06	b	cd	0.024	0.005	b
7 NVS-500+N	0.084	0.012	bc	bc	1.08	0.25	b	b	0.042	0.008	b
8 MSW-500+N	0.074	0.007	bc	bcde	0.40	0.06	b	cd	0.019	0.007	b
9 SS-500-0	0.074	0.010	bc	bcde	0.34	0.01	b	d	0.029	0.015	b
10 SC-500-0	0.082	0.011	bc	bcd	0.49	0.03	b	bcd	0.036	0.013	b
11 NVS-500-0	0.083	0.005	bc	bc	0.99	0.15	b	bc	0.037	0.008	b
12 MSW-500-0	0.068	0.006	bc	bcdef	0.41	0.03	b	cd	0.017	0.005	b
13 SS-1500-0	0.056	0.009	bc	ef	0.45	0.05	b	cd	0.030	0.009	b
14 SC-1500-0	0.092	0.009	b	b	0.48	0.04	b	bcd	0.052	0.012	b
15 NVS-1500-0	0.155	0.021	a	a	3.57	0.92	a	a	0.208	0.102	a
Average	0.073				0.68				0.036		
P	<.0001				<.0001				<.0001		

לא היה מתאם ( $r^2 < 0.001$ ) בין ריכוזי מוליבדן ובורון במיצוי לבין ריכוזיהם בגרגרים התירס. ריכוז הארסן בגרגרים היה בלתי מדיד. עם זאת, נציין כי המיצוי נעשה בקרקעות מסוף העונה הראשונה בעוד שהגרגרים הם של צמחי התירס מהעונה השנייה. לא נבדק המתאם בין הריכוז המומס של יסודות לבין ריכוזם בגרגרים לגבי יתר היסודות (אלה שלא ריכוזיהם המומסים לא נבדלו סטטיסטית בין הטיפולים שהם היסודות בטבלה 9-ב' שאינם ה-3 לעיל). תכולת יסודות ההזנה, הזמינים והכלליים, בחתך הקרקע (עד 1.8 מ') לפני תחילת הניסוי: הבדיקות היו לעומק 1.8 מ' ב-12 חזרות כל אחת ב-6 מקטעי עומק. נבדקו החנקן המינרלי הזרחן והאשלגן ה"זמינים" (לפי מיצוי בנתרן דו-פחמתי), והאשלגן הזמין גם במיצוי בתמיסת  $0.01 \text{ mM CaCl}_2$  ובמים, ריכוזי הפחמן האורגני, החנקן האורגני והזרחן הכללי. יחס  $C_{org}/N_{org}$  בקרקע היה אחיד מאד (בממוצע 10.6) בכל השכבות. כל הנתונים מוצגים בדו"ח לשנה ראשונה. לשם הקיצור נזכיר אמנם מובהקויות סטטיסטיות של ההבדלים בין הטיפולים אך נשאיר את הפירוט לדו"ח המלא שיוגש בסיום השנה השלישית (2013).

**טבלה 9-ב':** ריכוז יסודות מסיסים (מ"ג/ק"ג) במדגמי קרקע מהשכבה 0-20 ס"מ, ממוצעים של כל 96 החלקות בניסוי (דיגום קרקע 12/12/11). ממוצעי היסודות שאין לצידם ערך p לא נבדלו בצורה מובהקת בין הטיפולים. bdl – מתחת סף הרגישות. (הבדיקה נעשתה ע"י מיצוי המדגמים ביחס קרקע:מים 5:1 בטלטול במשך שעה)

Element (mg kg <sup>-1</sup> )	Average	SEM	p
Al	20	2	
As	0.073	0.003	<.0001
B	0.7	0.1	<.0001
Ba	bdl		
Ca	58	1	
Cd	bdl		
Co	bdl		
Cr	0.029	0.002	
Cu	0.15	0.01	
Fe	11	1	
K	56	38	
Li	bdl		
Mg	20	1	
Mn	0.26	0.03	
Mo	0.036	0.007	<.0001
Na	194	3	
Ni	0.067	0.004	
P	5.0	0.3	
Pb	bdl		
S	18	1	
Se	bdl		
Sr	0.45	0.45	
Ti	bdl		
V	0.30	0.01	
Zn	0.10	0.02	

#### חנקן מינרלי בחתך הקרקע בעונות 2011 ו-2012:

ריכוזי החנקן המינרלי (סכום אמוניום וחנקת), רובו ככולו כחנקת, מוצגים באיור 1. האיור בנוי מ-12 איורי משנה, המוצגים ב-4 טורים וב-3 שורות. בכל שורה נתונים לגבי עומק קרקע אחד (0-15 ס"מ, 15-30 ס"מ, 30-60 ס"מ), ובכל טור ההשוואה היא של קבוצת טיפולים אחת: הטורים משמאל לימין הם: טיפולי הביקורת ללא זבל; טיפולי זבל במינון שקול ל-50 ק"ג N/ד' בתוספת דשן ראש; טיפולי זבל במינון שקול ל-50 ק"ג N/ד' ללא דשן ראש; וטיפולי זבל במינון שקול ל-150 ק"ג N/ד' ללא דשן ראש. בכל איור מוצגים 3 מועדי דיגום ב-2011 ואחד ב-2012. הראשון ב-2011 - זמן אפס (לפני פיזור הזבלים, 9/5/11), כחודשיים לאחר הפיזור וחודש לאחר הזריעה (4/8/11), הדיגום לאחר הקציר הראשון (12/12/11) (הדיגום הסופי נדחה עד הרטבת הקרקע בגשמים הראשונים, שאפשרה קידוח בקרקע). הדיגום ב-

2012 בוצע 35 ימים לאחר הזריעה (49 ימים לאחר הפיזור) בעונת 2012. ב-2012 בוצעו עוד 2 דיגומי קרקע, שלא הוצגו כאן, שניהם לעומק 2-3 מ': הראשון היה יום לאחר הזריעה, והשני היה לאחר הקציר המסחרי. הבדיקות של המדגמים מהדיגום האחרון טרם הושלמו, והתוצאות של שני מועדי הדיגום יוצגו בדו"ח המלא לשנה השנייה.

ניתן לראות כי ריכוז החנקן המינרלי בכל שכבות הקרקע ב-2011 היה מרבי באוגוסט (איור 1). העלייה ביחס לזמן אפס הייתה עקב הדישון ו/או הזיבול ועקב המינרליזציה של החנקן האורגני בקרקע (ראה טיפולים 1 ו-3 ללא קיבלו דשן או זבל ביסוד). הירידה, לערכים נמוכים מאד, הייתה עקב הקליטה ע"י הגידול. ההבדלים בין 15 הטיפולים בכל אחד מהעומקים ובכל אחד מהתאריכים לא היו מובהקים סטטיסטית. ביוני 2012 הייתה עליה משמעותית בריכוזים בכל הטיפולים, עקב מינרליזציה של החומר האורגני הקרקעי (טיפולים 1, 3) והמוסף (בולט בטיפולים 9-12, עם החומר האורגני הטרי, ובטיפולים 13-16 עם החומר האורגני שהוסף שנה קודם). קשה להבחין, אולם ב-2012 נוסף הטיפול במנה משולשת של קומפ' אשפת ערים (#16; מסומן בעיגול כחול) שהשפעתו הייתה מזערית ולא שונה מיתר הטיפולים בקבוצה זאת (כולל ב-2011, שהייתה שנת יישום הראשונה).

מעניין לציין (א) המנה המשולשת של זבל ב-2011 (טיפולים 13-15) לא הניבה יותר מינרליזציה (חנקן מינרלי בקרקע) מאשר החומר האורגני הקרקעי עצמו (טיפולים 1, 3), (ב) ההשפעה של יישום קומפ' אשפת עירונית גם במנה משולשת מהרגיל (טיפול 16) לא ניכרה כמעט כלל בקרקע. (ג) ריכוזים מרביים (ודליפה מרבית) של חנקן מינרלי לעומק בקרקע הייתה בטיפול 11 (במס"א ללא דישון ראש). גם בטיפול המקביל, עם דישון ראש (#7), הריכוזים בכל העומקים היו גבוהים יחסית ליתר הטיפולים בקבוצה.

#### זרחן מינרלי בחתך הקרקע בעונות 2011 ו-2012:

ריכוזי הזרחן "הזמין" (לפי מיצוי בדו-פחמה) ב-3 שכבות הקרקע העליונות (0-15 ס"מ, 30-15 ס"מ, 60-30 ס"מ) מוצגים באיור 2 באותה מתכונת כמו איור 1.

ריכוזי הזרחן הזמינה בשכבת הקרקע העליונה (0-15 ס"מ) בדיגום אמצע העונה (4/8/11) היו גבוהים יותר באופן מובהק סטטיסטית רק בטיפול הקומפוסט והבמס"א בעומס הגבוה ( $170 < \text{מ"ג P/ק"ג בעומס } 150 \text{ ק"ג N/ד'; טיפולים } 14 \text{ ו-} 15$ ). בסוף 2011, ריכוזי הזרחן בקרקע פחתו בד"כ במידה רבה: כל הערכים היו נמוכים מ-80 מ"ג P/ק"ג ומרביתם (12 מ-15 הטיפולים) נמוכים מ-40 מ"ג P/ק"ג. בשכבה 15-30 ס"מ הריכוזים באמצע ובסוף העונה היו דומים במרבית הטיפולים, ובסוף העונה הם פחתו והשתוו עוד יותר. שוב, הריכוזים היו גבוהים למדי בחלק מהטיפולים בעומס היישום הגבוה. בשכבה 30-60 ס"מ הריכוזים באמצע וסוף העונה היו דומים סטטיסטית במרבית הטיפולים. עם זאת, הייתה חדירה ניכרת של זרחן לעומק הגבוה יותר בעומסים הגבוהים של קומפוסט ובמס"א. ב-2012, הדישון כמעט

לא השפיע על ריכוזי הזרחה הזמינה, אולם בטיפול הזיבול הייתה הגדלה ניכרת בריכוזים בכל העומקים, וגם בטיפולים בעומס הגבוה, שיושם רק פעם אחת (ב-2011). נראה כי הסיבה היא התייחוס שנעשה בסוף 2011, ואשר חשף כנראה שטחי פנים חדשים, מה שגם איפשר הדחה של הזרחה בגשמי החורף לעומק הקרקע.

נציין שוב שקומפ' אשפת הערים תרם מעט זרחן זמין יחסית ליתר הזבלים גם בעומס היישום הגבוה (טיפול 16, ב-2012).

#### תכולת אשלגן "זמין" בחתך הקרקע בעונות 2011 ו-2012:

ריכוזי האשלגן "הזמין" (לפי מיצוי בדו-פחמה) ב-3 שכבות הקרקע העליונות (0-15 ס"מ, 15-30 ס"מ, 30-60 ס"מ) מוצגים באיור 3, הבנוי כדלעיל. הפירוט לגבי התנודות בריכוזים ב-2011 ניתן הדו"ח שנה הראשונה. בתמצית, הייתה ירידה חדה בריכוז בין זמן אפס לדיגום הראשון בכל 3 העומקים. ללא זיבול הערכים נשארו נמוכים גם בסוף העונה, אך הם עלו לקראת אמצע 2012, והמעניין הוא שהתגובה היא בכל 3 העומקים. בטיפול הזיבול הירידה בריכוז במקטע העליון התמידה עד סוף העונה אך ב-2 מקטעי העומק האחרים הייתה עלייה מסוימת, בעיקר בטיפול הזיבול. לזיבול במנה המשולשת לא הייתה השפעה בולטת ב-2011 או ב-2012. לטיפולים מסוימים הייתה השפעה ניכרת יותר, ובעיקר לטיפול בקומפ' אשפה עירונית בטיפול המינון הרגיל ולטיפול בקומפוסט בוצה במינון הגבוה.

#### דיון קצר וסיכום

ההבדלים בין הטיפולים בשדה ברבדים ביבול התירס היו מזעריים. הדבר קשה להסבר על רקע (א) האחידות הגבוהה בשטח הניסוי לפני ההתחלה, והריכוזים הנמוכים של יסודות ההזנה בקרקע, (ב) ההבדלים הגדולים בעומסי היישום של היסודות (בין אפס ליותר מ-150 ק"ג N/ד'). בניסוי הליזימטרים היו הבדלים בצימוח בין הטיפולים, וניכר היה כי קומפוסט הבוצה הוא מקור זמין ליסודות הזנה, אך קצר-טווח מאד, וכי הבוצה המעוכלת וה-N-Viro היו מקורות יותר ארוכי-טווח. בניסוי זה היה ברור כי הזיבול (בתוצר בוצה כלשהו) לא הספיק לצימוח תקין, וניתן דשן ראש בכל הטיפולים.

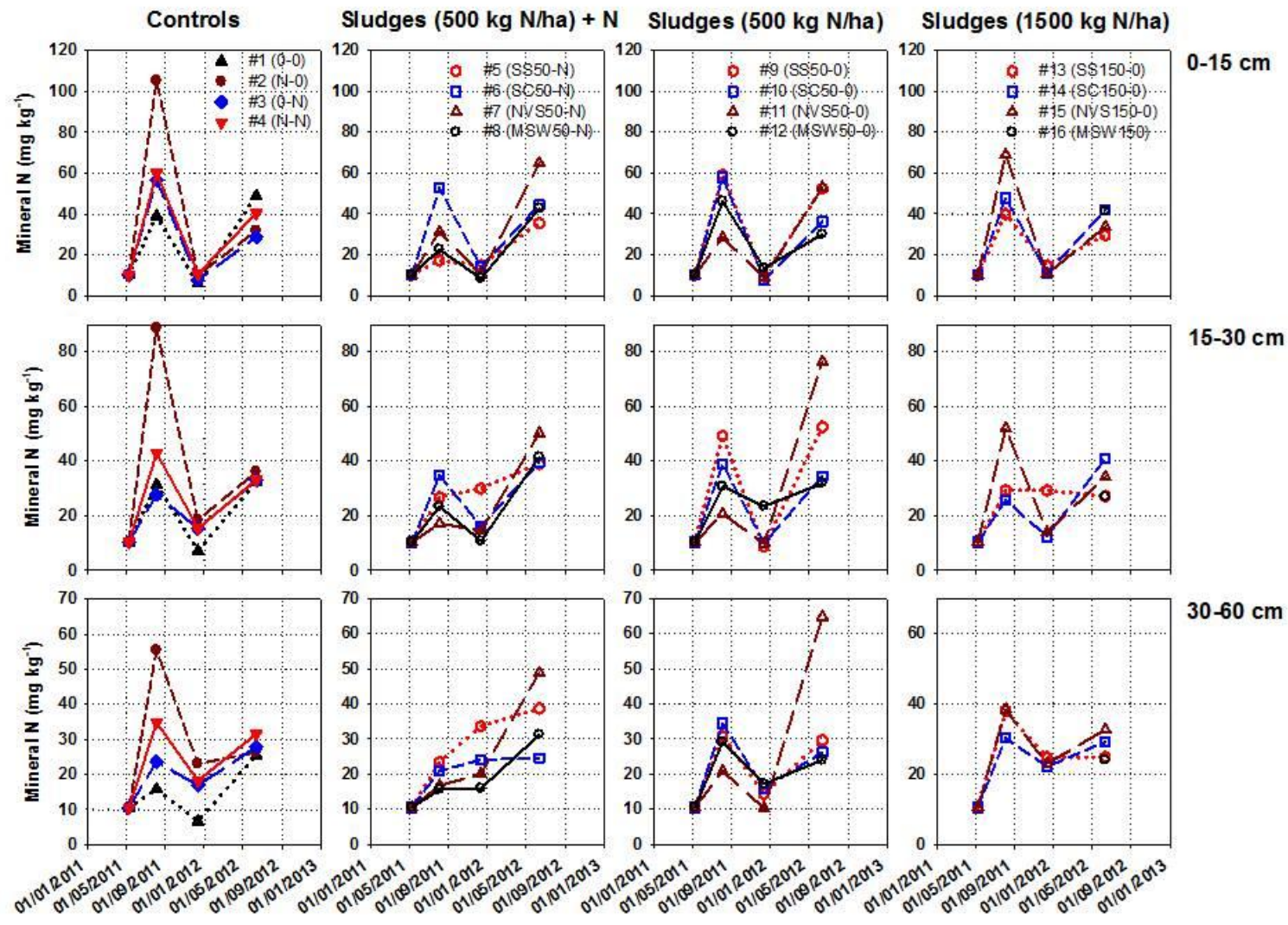
ניסוי השדה הראה עוד כי יישום בוצות במנה התלת-שנתית (לפי עומס החנקן) בפעם אחת גרם להעמסה רבה של הקרקע בזרחן זמין בטיפול קומפוסט הבוצה וה-N-Viro, וריכוזי הזרחה הזמינה עלו (לא מובהק) גם בעומק 30-60 ס"מ. לעומת זאת, הדבר לא קרה כלל בטיפול בבוצה המעוכלת. ריכוזי האשלגן הזמין והחנקן המינרלי בקרקע כמעט לא הושפעו ע"י הבוצות, והריכוזים בטיפול שקיבל דישון יסוד וראש מסחריים היו בד"כ הנמוכים ביותר.

## **מקרא לאיורים**

**איור 1:** ריכוזי החנקן המינרלי (סכום אמוניום וחנקן) בקרקע ב-2011/12. האיור בנוי מ-12 איורי משנה, המוצגים ב-4 טורים וב-3 שורות. בכל שורה נתונים לגבי עומק קרקע אחד (0-15 ס"מ, 15-30 ס"מ, 30-60 ס"מ), ובכל טור ההשוואה היא של קבוצת טיפולים אחת: הטורים משמאל לימין הם: טיפולי הביקורת ללא זבל; טיפולי זבל במינון שקול ל-50 ק"ג N/ד' בתוספת דשן ראש; טיפולי זבל במינון שקול ל-50 ק"ג N/ד' ללא דשן ראש; וטיפולי זבל במינון שקול ל-150 ק"ג N/ד' ללא דשן ראש. בכל איור מוצגים 3 מועדי דיגום ב-2011 ואחד ב-2012. הראשון ב-2011 - זמן אפס (לפני פיזור הזבלים, 9/5/11), כחודשיים לאחר הפיזור וחודש לאחר הזריעה (4/8/11), הדיגום לאחר הקציר הראשון (12/12/11).

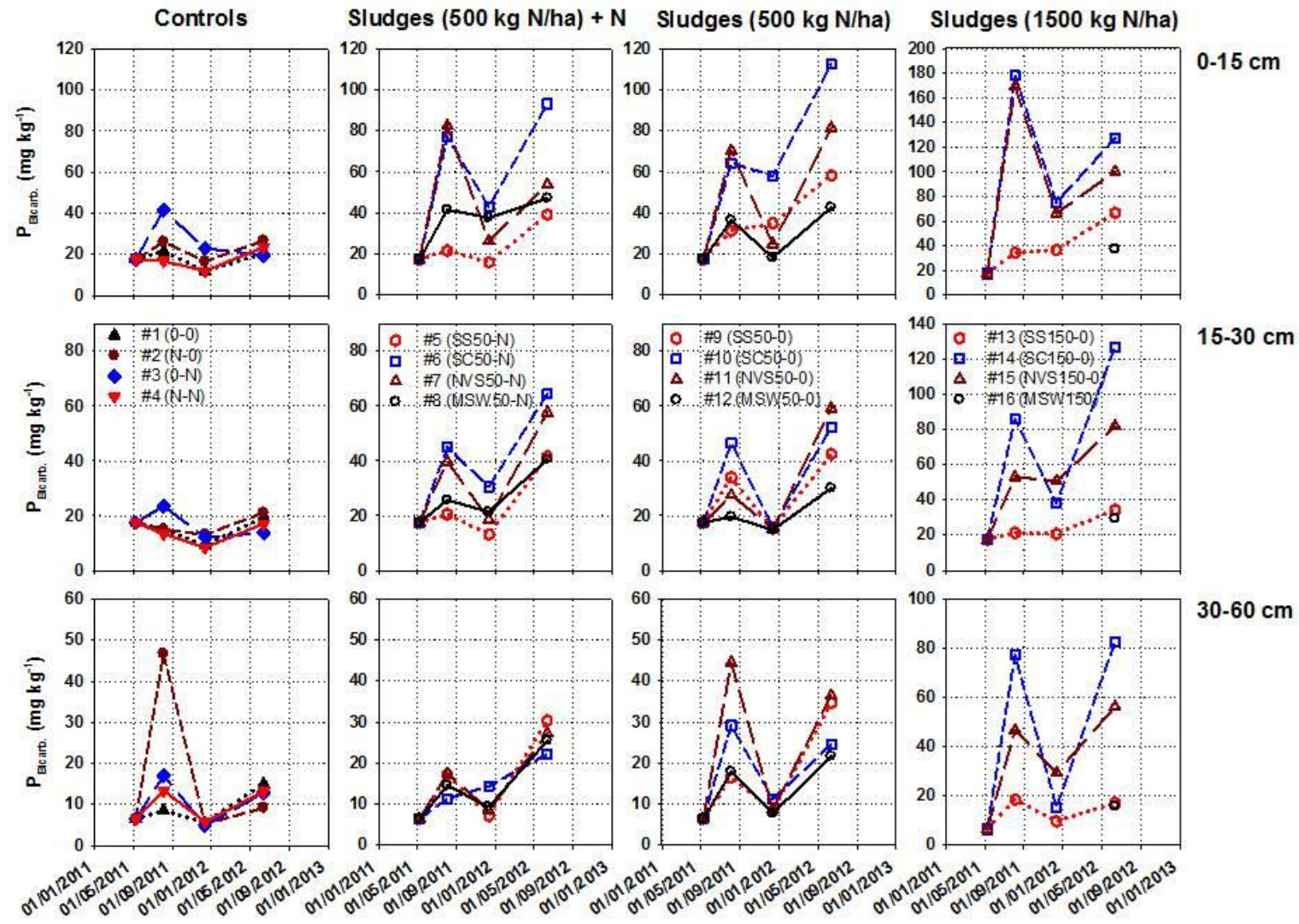
**איור 2:** ריכוזי הזרחן הזמין פוטנציאלית לצמח (לפי מיצוי בדו-פחמה) בקרקע ב-2011/12. הסבר ללגבי תבנית האיור ראה איור 1.

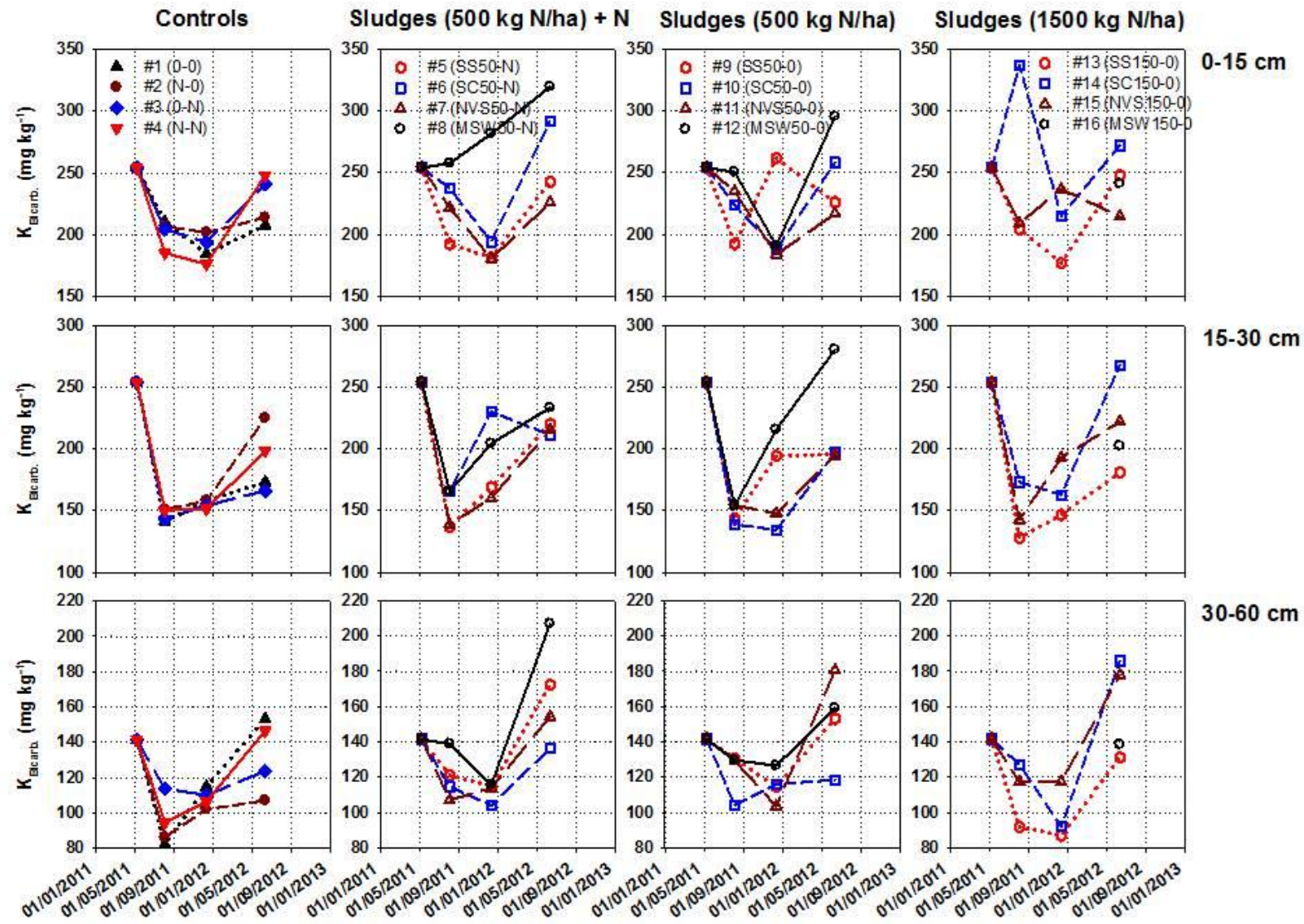
**איור 3:** ריכוזי האשלגן הזמין (לפי מיצוי בדו-פחמה) בקרקע ב-2011/12. הסבר ללגבי תבנית האיור ראה איור 1.



איור 1











## ייעוד במס"א ליישום חקלאי – מעקב אגרונומי וסביבתי

(4) יישום אפר פחם מרחף לשיפור תכונות פיסיקו-כימיות של קרקע  
חרסית נתרנית ברבדים

(תוצאות של שלוש שנות גידול)

מוגש ע"י:

פנחס פיין<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>, יגב קילמן<sup>3</sup>, אנה בריוזקין<sup>1</sup>, שושי סוריאנו<sup>1</sup>, רבקה  
רוזנברג<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המכון למדעי הקרקע המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני;

<sup>2</sup>מגדלי דרום יהודה

<sup>3</sup>שותפות צב"ר קמ"ה

## יישום אפר פחם מרחף לשיפור תכונות פיסיקו-כימיות של קרקע חרסית נתרנית ברבדים

פנחס פיין<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>, יגב קילמן<sup>3</sup>, אנה בריוזקין<sup>1</sup>, שושי סוריאנו<sup>1</sup>, רבקה רוזנברג

### תקציר

נבדקה השפעת יישום אפר פחם על תכונות פיסיקליות של קרקע חרסית-נתרנית. בעומס יישום גבוה יכול אפר פחם להקטין את דיספרסיה של החרסיות ולהקטין את הסידוק של הקרקע בעיקר באמצעות שינוי המרקם, והשפעתו על הרכב הקטיונים החליפים והעוצמה היונית של תמיסת הקרקע (פיין וחוב', 2006). המחקר הנוכחי נבחנה ההשפעה בשדה חקלאי עם קרקע חרסית-נתרנית הידועה כבעייתית. התופעות הרגילות הן מצע זרעים גרוע (עקב היווצרות קרום בפני הקרקע), והתבססות לקויה של הנבטים, המחייבת זריעות חוזרות.

בשנים 2005 – 2008 בחנו השפעת אפר פחם במינון 20 ו-80 טון/דונם בהשוואה לביקורת מסחרית על מופע הקרקע החרסיתית-נתרנית ועל מדדי גידול תירס, כותנה וחמצה וההרכב הכימי של הצמחים. כל הטיפולים קיבלו דשן מסחרי כמקובל וההשקיה הייתה במי-קולחים בטפטוף. האפר מנע לחלוטין או הקטין מאוד את הסתדקות הקרקע, והקטין את גודל האגרגטים שנוצרו לאחר התייבוח (בדיקה חזותית). האפר הגדיל את היבולים באופן לא מובהק. האפר כמעט לא השפיע על ריכוזי יסודות בקרקע (נבדק בעיכול כללי בחומצה חנקתית מרוכזת). ההרכב הכימי של התירס בשנה הראשונה הושפע ע"י האפר בהגדלת הריכוז של שלושה יסודות: ריכוזי הכרום והסטרונציום בקלחים (80 ט"ד/ מובהק סטטיסטית ביחס להיקש ללא תוספת) וריכוז המוליבדן בגבעולים (מובהק סטטיסטית בשני טיפולי האפר ביחס להיקש ללא תוספת). השינויים הללו בזמינות היסודות לא אובחנה לאחר השנה הראשונה. לאפר לא הייתה השפעה על ריכוזי יסודות הקורט הרעילים קדמיום ועופרת בקלחים או בנוף של צמחי התירס.

### חומרים ושיטות

חלקה עם קרקע חרסיתית (41% חרסית, 42% חול ו-17% סילט) ובעייתית ניתרון (כ-9% נתרן ספוח = ESP 9) (תמונה 2) בקיבוץ רבדים טופלה ב-3 במרץ 2005 באפר פחם בשיעורים שקולים ל-20 ול-80 טון לדונם ובהשוואה לביקורת ללא טיפול (טבלה 1). כל חלקה הנה בשטח 6\*6 מ<sup>2</sup>. החיץ הלא מטופל היה ברוחב החלקות (3 ערוגות). הערוגות הלא מטופלות יועדו לטיפולים עתידיים (שלא בוצעו) ושימשו כחלקות ביקורת נוספות. האפר הוצנע באמצעות מתחחת בשכבה העליונה של הקרקע (כ-20 הס"מ העליונים). האפר היה לח בעת הפיזור והפזור לא גרם לאבק למרות שנשבה רוח בעת הפיזור והתייבוח.

כעבור כשבועיים (ב-18/3/05) נזרע תירס למספוא. הגידול היה בתנאים המשקיים בהשקיה במי-קולחים. ניתן דישון יסוד בזרחן, אשלגן וחנקן, ודישון ראש משלים בחנקן. התירס נקצר ב-15 באוגוסט

טבלה 1: מפת חלקת הניסוי ביישום אפר פחם בקרקע חרסית-נתרנית ברבדים

6	ב		7		18	ב
5	80		8		17	20
4	20		9	80	16	
3	ב		10		15	80
2			11	20	14	
1	80		12	ב	13	20

2005. לקראת הקציר סומנו בכל אחת מ-12 החלקות קטעי שורה באורך 2 מטר, בקטעים אלה נספרו הצמחים והקלחים, והקלחים והגבעולים נקצרו בנפרד ונשקלו בשטח. שלושה קלחים ו-3 גבעולים מכל מקטע דיגום נארזו בנפרד בשקיות ניילון אטומות, שהועברו למרכז וולקני. המדגמים נשטפו היטב במי-ברז ובמים חסרי-יונים, יובשו ב-60 מ"צ במשך שבוע, נקבע שיעור המשקל היבש, והמדגמים נטחנו לצורך בדיקות כימיות. הקרקע נדגמה בכל אחת מהחלקות ב-3 מקטעי עומק 0-20, 20-40 ו-40-90 ס"מ. הדיגום היה במרחק של כ-20 ס"מ ממיקום הטפטפת בעונה. הקרקעות יובשו בטמפ' של 35 מ"צ לפני הטיפול בהן במעבדה.

#### בדיקות צמח (קלחים ונוף):

חנקן מחוזר כללי: מדגמי צמח במשקל 0.2 גרם עוכלו בחומצה גופרתית מרוכזת רותחת, עם הוספות עתיות של מי-חמצן לחומצה (לאחר התקררותה לטמפרטורת החדר). לאחר מיהול מתאים במים חסרי יונים ונקבע בהם ריכוז החנקן (כאמוניום) לאחר ריאקציה צבע באמצעות אוטואנלייזר תוצ' Lachat. סריקת יסודות כללית: דוגמאות צמח יבשות וטחונות במשקל חצי גרם עוכלו בחומצה חנקתית רותחת עד להתבהרות התמיסה, וסריקת יסודות כללית (מאקרו ומיקרו) בוצעה באמצעות ICP-AES.

בדיקות קרקע: סריקת יסודות כללית בוצעה כנ"ל בדוגמאות קרקע מהשכבה 0-20 ס"מ. מדגמי קרקע יבשה וטחונה (> 180 מיקרון) במשקל חצי גרם עוכלו בחומצה חנקתית רותחת עד להתבהרות התמיסה.

ניתוח סטטיסטי: השפעת הטיפולים על מדדים שונים של נבחנה באמצעות ניתוח שונות (ANOVA) מתאים. כשערכי ה-F היו מובהקים, נקבעו הבדלים בין הטיפולים במבחן Tukey-Kramer HSD או Student's t (המחמיר פחות) ברמת מובהקות  $\alpha < 0.05$ .

הגידולים הבאים במחזור היו כותנה (אביב-סתיו 2006; נמדד יבול, לא נלקחו ממדגמים); חמצה (אביב 2007; נמדד יבול, נלקחו מדגמים וטופלו כנ"ל. בקיץ העוקב צולמו הסדקים בקרקע (ראה להלן); חיטה

(חורף 2007/8): כותנה (2009); תירס מספוא (2010); הקרקע צולמה לאחר החריש שבוצע לקראת הסתיו).

### תוצאות

השפעת אפר הפחם על ריכוז יסודות בקרקע (דיגום אוגוסט 2005):

הרכב האפר המרחף וריכוזי היסודות בשכבה 0-20 ס"מ של הקרקע בשלושת הטיפולים מוצגים בטבלה 2. ניתן לראות כי בכל יסוד הם היו אחידים למדי, ולא נמצאו הבדלים מובהקים ביניהם. ריכוזי יסודות באפר מוצגים לשם השוואה. הריכוז של חלק מהיסודות באפר שונה מאד מריכוזם בקרקע, אולם השפעת האפר (הגדלה או הקטנה) לא ניכרה למרות העומס הגבוה.

טבלה 2: תכולה כללית של יסודות בשכבה 0-20 ס"מ בקרקע רבדים בהשפעת טיפולי אפר הפחם (4 חזרות). הדיגום היה באוגוסט 2005, כ-5 חודשים לאחר יישום האפר בקרקע (bdl – נמוך מסף הרגישות; – לא נבדק).

אפר מרחף טרי	קרקע עם 80 ט' אפר/ד'	קרקע עם 20 ט' אפר/ד'	קרקע בקורת	יסוד (מ"ג/ק"ג)
7	-	-	-	As
188	56	51	50	B
1,465	217	259	231	Ba
59,500	66,389	72,250	63,878	Ca
0.20	bdl	bdl	bdl	Cd
18	15	14	15	Co
74	52	51	52	Cr
45	38	100	58	Cu
13,705	31,751	34,792	29,921	Fe
1,713	5,517	5,196	5,371	K
147	29	25	23	Li
10,131	9,741	10,451	9,283	Mg
274	688	719	653	Mn
3.1	-	-	-	Mo
1,048	1,410	1,174	1,250	Na
43	35	35	36	Ni
6,332	1,068	850	748	P
20	2.36	2.10	1.71	Pb
2,197	1,255	1,140	1,144	S
9	-	-	-	Se
244	258	312	279	Sr
602	662	715	658	Ti
109	71	76	68	V
39	50	48	53	Zn

### השפעת אפר הפחם על יבול התירס בעונת 2005:

יבול הצמחים ומרכיבי היבול (נוף, קלחים) מוצגים בטבלה 3. היבולים היו גבוהים (כ-6.5 טון/דונם), ולא היה הבדל מובהק (או אף משמעותי) בין הטיפולים. במהלך העונה היה פיגור מסוים של הצמחים בטיפול האפר במינון הגבוה, אולם ההבדלים (אם היו) נעלמו לעת הקציר.

#### טבלה 3: נתוני יבול צמחי התירס (ליחידת מדגם של 2 מ' שורה)

טיפול	מס צמחים	מס' קלחים	משקל הנוף (ק"ג/2 מ')	משקל הקלחים (ק"ג/2 מ')	יבול (טון/ד')
ביקורת	16 ± 2	16 ± 2	8.24 ± 0.94	4.76 ± 0.39	6.495 ± 0.587
20 ט/ד'	16 ± 2	15 ± 2	8.34 ± 1.81	4.55 ± 0.80	6.445 ± 1.256
80 ט/ד'	15 ± 2	16 ± 1	8.57 ± 0.81	4.46 ± 1.14	6.511 ± 0.755

### השפעת אפר הפחם על ריכוז היסודות בצמחי התירס:

ריכוזי היסודות בקלחים ובנוף של צמחי התירס בשלושת הטיפולים (ממוצעים וטעויות תקן של 4 החזרות) מוצגים בטבלה 3 א' ו-ב'. ריכוזי היסודות העיקריים (חנקן, זרחן, אשלגן) ויסודות הקורט החיוניים (ברזל, מנגן, נחושת, אבץ) בקלחים ובנוף היו דומים בשלושת הטיפולים, וממוצעייהם (של 12 החלקות) מוצגים בטבלה 3-א'. ריכוזי מוליבדן, בורון, ליתיום, גפרית וסטרוניזיום בנוף התירס היו גבוהים יותר באופן מובהק בטיפולי האפר בהשוואה לביקורת הלא מטופלת (טבלה 3-ב'). אין לכך כל משמעות גידולית או אחרת הואיל והריכוזים כולם לא היו גבוהים באופן מוחלט. לדוגמה, ריכוזי בורון כאלה (כ-50 מ"ג/ק"ג) בתירס (הנחשב עמיד לבורון) יכולים אף להיחשב לנמוכים. בקלחים היו ריכוזי כרום וסטרוניזיום גבוהים יותר בטיפולי האפר, בעיקר בטיפול ב-80 טון אפר/ד' (טבלה 3-ב'). לגבי כרום, המובהקות אינה אמיתית הואיל וערך  $p$  במבחן ANOVA היה גבוה (0.09). חשוב לציין כי ריכוזי קדמיום, עופרת וארסן היו מתחת לסף הגילוי.

**טבלה 3-א':** תכולת יסודות בצמחי התירס (מ"ג/ק"ג חומר יבש): ממוצעי כל 12 החלקות בניסוי 3-ב-3 (הטיפולים). יישום אפר פחם בקרקע חרסית-נתרנית, רבדים 33, 2005)

יסוד	נוף			קלחים		
	ממוצע	ט"ת	p	ממוצע	ט"ת	P
Al	126	10		1.8	0.4	
As	bd			bd		
B	46	4	0.019	5.3	0.5	
Ba	6.2	0.3		0.077	0.005	
Ca	4,313	221		44	3	
Cd*	0.017	0.003		bd		
Co	0.18	0.01		bd		
Cr	11	1		2.2	0.3	0.086
Cu	13	1		2.0	0.1	
Fe	289	45		30	3	
K	27,209	1,804		3,373	73	
Li*	0.69	0.15	0.049	bd		
Mg	3,786	155		1,062	25	
Mn	56	4		5.7	0.3	
Mo	1.5	0.2	0.001	0.42	0.02	
N	11,181	457		7,808	432	
Na	208	22	0.064	10	2	
Ni	3.9	0.2		1.1	0.1	
P	2,248	149		2,971	75	
Pb*	0.24	0.02		bd		
S	1,309	68	0.035	1,042	19	
Sr	42	2	0.050	0.53	0.04	0.048
V	0.47	0.04		0.009	0.002	
Zn	7	1		15	0	

\*quantification limit of Cd, Co, Li  $\approx 75 \mu\text{g kg}^{-1}$ , Pb:  $\approx 200 \mu\text{g kg}^{-1}$ ; As and Se concentrations were below detection ( $< 150 \mu\text{g kg}^{-1}$ ).

**טבלה 3-ב':** יישום אפר פחם בקרקע חרסית-נתרנית (רבדים 33, 2005): מובהקות ההבדלים בין הטיפולים בריכוזי היסודות בצמחי התירס 2005

נוף											
יסוד (מ"ג/ק"ג)	אפר 20 ט"ד'			אפר 80 ט"ד'			בקורת			p	Stat. test
	Average	SEM	Stat.	Average	SEM	Stat.	Average	SEM	Stat.		
B	50	1	a	50.9	3.2	a	36	2	b	0.019	T-K HSD
Li	0.87	0.06	a	0.96	0.18	a	0.23	0.04	b	0.049	Student's t
Mo	1.8	0.0	a	1.9	0.1	a	0.9	0.2	b	0.001	T-K HSD
Na	248	20	a	204	12	ab	171	12	b	0.064	Student's t
S	1,414	37	a	1,353	53	a	1,161	38	b	0.035	Student's t
Sr	48	2	a	44	3	ab	35	2	b	0.050	Student's t

קלחים											
Cr	1.9	0.4	ab	3.1	0.1	a	1.6	0.4	b	0.086	Student's t
Sr	0.51	0.03	ab	0.66	0.04	a	0.43	0.05	b	0.048	Student's t

שנה ב' (2006) השפעת אפר הפחם על יבול כותן:

בשנה השנייה לאחר פיזור האפר (2006) נזרעה כותנה בחלקת הניסוי ונבדקו יבולי הכותן (טבלה 4).

טבלה 4: יבולי כותן גולמי, רבדים חלקה 33, 2006.

טיפול	מס' חזרות	יבול כותן (ג'/מ"ר)	STD	מס' הלקטים (למ"ר)	STD	משקל הלקט (מוצע ג')	STD
Not amended	4	540	85	166	18	3.2	0.2
20 t/dunam	4	591	56	177	16	3.4	0.4
80 t/dunam	4	563	90	157	28	3.6	0.1

ההבדלים בין הממוצעים של כל אחד ממדדי היבול לא היו מובהקים סטטיסטית. אולם, נראה לכאורה כי לתוספת אפר של 20 טון לדונם הייתה השפעה חיובית על יבול הכותן. על כל פנים גם תוספת אפר בכמות הגבוהה של 80 טון לדונם לא פגעה ביבול.

שנה ג' (2007) השפעת אפר הפחם על יבול חמצה והרכבם הכימי של הזרעים:

בשנת 2007 גודלה בחלקות הניסוי חמצה. ההבדלים בין היבולים בטיפול בטפולי האפר ובביקורת לא היו מובהקים סטטיסטית (טבלה 5). נראה כי לאפר הייתה השפעה חיובית על יבול גרעיני החימצה. ריכוזי ארסן, קדמיום ועופרת בזרעי החמצה היו מתחת לסף המדידה (טבלה 6). היסודות בהם היה הבדל מובהק סטטיסטית בין הטיפולים הם נחושת ואבץ (הערך המרבי בביקורת) וכן ליתיום, מוליבדן,

טבלה 5: יבולי חימצה, אביב 2007

טיפול אפר	מס' חזרות	יבול כולל (קג/מטר רץ)	יבול גרעינים (קג/מטר רץ)	Std Dev
Not amended	8	0.95	0.36	0.04
20 t/dunam	4	1.15	0.39	0.05
80 t/dunam	4	1.11	0.41	0.04

טבלה 5: הרכב כימי של זרעי החימצה, אביב 2007

יסוד (מ"ג/ק"ג)	ללא אפר			20 ט' אפר/ד'			80 ט' אפר/ד'			Stat param	
	AVG	SEM	Stat.	AVG	SEM	Stat.	AVG	SEM	Stat.	p	Stat test
As	0.07	0.02		0.07	0.03		0.08	0.02			
B	14	0		14	1		15	0			
Ba	1.3	0.0		1.3	0.0		1.2	0.1			
Ca	1,007	14		962	18		973	44			
Cd	bd			bd			Bd				
Co	0.27	0.01		0.28	0.01		0.26	0.01			
Cr	bd			bd			Bd				
Cu	6.6	0.2	a	6.0	0.2	ab	5.6	0.2	b	0.051	Student's t
Fe	49	2		47	2		47	1			
K	13,587	198		13,845	141		13,811	118			
Li	0.6	0.1	b	0.9	0.1	ab	1.1	0.2	a	0.012	T-K HSD
Mg	1,444	14		1,452	2		1,431	34			
Mn	27	1		25	1		24	1			

Mo	7	1	b	10	1	ab	12	1	a	0.05	Student's t
Na	803	110	b	1,236	79	a	913	154	ab	0.077	Student's t
Ni	1.1	0.1		0.9	0.0		0.9	0.0			
P	4,094	56		4,241	24		4,071	54			
Pb	bd			bd			Bd				
S	1,948	31		2,009	29		1,903	21			
Sr	9.0	0.4		9.3	0.2		10.1	0.8			
V	bd			bd			Bd				
Zn	20	1	a	19	0	ab	17	0	b	0.047	Student's t

ונתרן בהם הייתה עלייה קלה בטיפול האפר יחסית לביקורת עם נטייה למובהקות רק בטיפול האפר הגבוה.

#### השפעת האפר על הסתדקות הקרקע:

המטרה העיקרית של תצפית זו הייתה לבחון את התאמת האפר לשמש כתוסף למניעת נזקי ניתרון. קרקעות אזור רבדים סובלות מנטיה חמורה לסידוק, ולכן נקבע כי הפחיתה בהסתדקות הקרקע תהווה מדד עיקרי להצלחת הטיפול. השוואה ויזואלית בין החלקות נעשתה בקיץ 2007, כשנתיים וחצי לאחר פיזור האפר. ההסתדקות הקרקע בחלקות האפר הייתה קטנה מאד בהשוואה לקרקע ללא אפר, ופחותה ב-80 ט"ד' בהשוואה ל-20 ט"ד'. תמונות 2 עד 4, בהתאמה, מציגות דוגמאות אופייניות של סידוק בחלקות אלו. לא נעשתה הערכה כמותית של ההפחתה בסידוק ובכל מקרה, בחלקות המכילות אפר (בעיקר באלו שטופלו בעומס האפר הגבוה) לא נמצא סידוק כלל. מבנה פני הקרקע לאחר חריש צולם בנובמבר 2010 כ-6 שנים לאחר פיזור האפר (תמונה 5). עומס האפר הגבוה עדיין ניכר בפני הקרקע וניתן לראות בבירור כי האפר גרם להקטנה של גודל האגרגטים שנוצרו לאחר תיחוח הקרקע שבוצע לאחר עונת התירס ב-2010.

#### סיכום

אפר פחם מרחף הוסף לקרקע חרסית-נתרנית בשיעורים גבוהים: 20 ו-80 ט"ד. האפר שינה את התכונות הפיסיקליות של הקרקע בכך שהוא מנע או הקטין את הסתדקותה (נבדק כ-3 שנים לאחר ההוספה) ובכך שהוא הקטין את גודל האגרגטים שנוצרו לאחר תיחוח (נבדק כ-6 שנים לאחר ההוספה).

האפר לא השפיע על יבולי הגידולים ב-3 השנים הראשונות (תירס, כותנה, חמצה) אם כי הייתה הגדלה קלה ביבולים. האפר לא השפיע על ריכוזי יסודות בקרקע (בעיכול כללי בחומצה חנקתית מרוכזת). הרכב הכימי של גידולי הבוחן (תירס בשנה ראשונה וחמצה בשנה השלישית) הושפע במידת מה ע"י האפר: הייתה הגדלה בריכוזי מוליבדן, ליתיום ונתרן והיו יסודות בהם היה שינוי באחד מהגידולים (ריכוזי בורון גפרית וסטרוניציום עלו בתירס; וריכוזי נחושת ואבץ ירדו בחמצה). השינויים בריכוזים היו קטנים ובד"כ ההבדלים היו מובהקים (למעשה על סף המובהקות הסטטיסטית) רק בין הביקורת לעומס האפר הגבוה. הריכוזים בצמחים בכל הטיפולים של יסודות הקורט הרעילים (קדמיום, עופרת, ארסן) היו בד"כ מתחת לסף הרגישות של שיטת הבדיקה.



**כותרות לאיורים:**

תמונה 1: אתר הניסוי ברבדים

תמונה 2: סידוק בקרקע חרסית-נתרנית ללא תוספת אפר פחם מרחף, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007

תמונה 3: סידוק קרקע חרסית-נתרנית בתוספת 20 ט"ד' אפר פחם מרחף, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007

תמונה 4: סידוק קרקע חרסית-נתרנית בתוספת 80 ט"ד' אפר פחם מרחף, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007

תמונה 5: אגרגטים לאחר תיחוח בקרקע חרסית-נתרנית עם תוספת של 80 ט"ד' אפר פחם מרחף וללא תוספת, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007.



תמונה 1: אתר הניסוי ברבדים





תמונה 2: קרקע חרסית-נתרנית ללא תוספת אפר פחם מרחף, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007





20 טון לדונם אפר פחם

תמונה 3: קרקע חרסית-נתרנית בתוספת 20 ט"ד' אפר פחם מרחף, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007





80 טון לדונם אפר פחם

תמונה 4: קרקע חרסית-נתרנית בתוספת 80 ט'/ד' אפר פחם מרחף, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007





תמונה 5: קרקע חרסית-נתרנית עם תוספת של 80 ט"ד' אפר פחם מרחף וללא תוספת, אתר הניסוי ברבדים, קיץ 2007



מדינת ישראל, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני,  
המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה

## ייעוד במס"א ליישום חקלאי – מעקב אגרונומי וסביבתי

(5) טיוב קרקע חרסית-נתרנית באמצעות במס"א, אפר פחם, וקומפוסט

### בוצה

(תוצאות של שלוש שנות גידול)

מוגש ע"י:

פנחס פיין<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>, יגב קילמן<sup>3</sup>, גיא לוי<sup>1</sup>, דינה גולדשטיין<sup>1</sup>, אנה  
בריוזקין<sup>1</sup>, שושי סוריאנו<sup>1</sup>, רבקה רוזנברג<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המכון למדעי הקרקע המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני;  
<sup>2</sup>מגדלי דרום יהודה  
<sup>3</sup>שותפות צב"ר קמ"ה

מרץ 2013

בית דגן

## **טיוב קרקע חרסית-נתרנית באמצעות במס"א, אפר פחם, וקומפוסט בוצה**

### **תקציר**

יישום במס"א ואפר פחם עשוי לשפר תכונות פיסיקליות של קרקעות כגון; תאחיזת מים, יציבות תלכידים, חדירות ומוליכות לגזים ולמים ופילוג גודל נקבובים. קרקעות נתרניות יוצרות מצע זרעים גרוע עקב דיספרסיה, התמוגגות תלכידים והיווצרות קרום בפני הקרקע, מה שגורם להתבססות לקויה של הנבטים ולעומד צמחים נמוך, ומחייב זריעות חוזרות.

בשנים 2007 – 2008 בחנו השפעת במס"א, קומפוסט בוצה (מדלילה), אפר פחם כולם בעומס שקול ל-15 ט"ד' בהשוואה לביקורת מסחרית ולגבס (500 ק"ג/ד') על תכונות הידראוליות וכימיות של קרקע חרסית-נתרנית ועל מדדי גידול תירס וכותנה. הבמס"א יוצרה לצורך כך במיוחד במס"ש בית-שמש מהבוצה המקומית בתוספת אפר פחם מרחף וסיד חי. כל הטיפולים קיבלו דישון מסחרי כמקובל וההשקיה הייתה בטפטוף במי-קולחים.

השפעה של התוספים על התכונות הפיסיקו-כימיות של הקרקע היו מזעריות, וכך גם השפעתם על התפתחות הגידולים ויבוליהם. ההרכב הכימי של הצמחים לא הראה השפעה משמעותית של הטיפולים (בעיקר בדגש על האפר, הבמס"א והקומפוסט). הבדלים מובהקים היו בגרגרים ולא בנזון בריכוזים של 4 מהיסודות שנבדקו. ריכוז האבץ עלה בגרגרים ובנזון בטיפול הקומפוסט בהשוואה לטיפולים האחרים, ובטיפול זה ריכוז הניקל בגרגרים היה המזערי מבין כל הטיפולים; ריכוז המוליבדן בגרגרים ובנזון היה גבוה בטיפולי הזיבול והאפר בהשוואה לגבס ולהיקש המסחרי; ריכוז הבורון בנזון בטיפול אפר הפחם היה גבוה באופן מובהק בהשוואה למרבית יתר הטיפולים (יותר מפי 2 בהשוואה לביקורת המסחרית). הריכוזים של יתר היסודות בגרגרים ובנזון היו דומים בכל הטיפולים, ובגרגרים רובם אף היו מתחת לסף הגילוי.

### **תיאור מקיף של הפעלת המחקר ב-2007/08**

#### **ניסוי שדה**

הניסוי נועד לבחון את ההשפעה של הוספת אפר פחם, במס"א וקומפוסט בוצה על יבול תירס והרכבו הכימי ועל מידת ניתרון הקרקע ותכונותיה הפיזיקליות. הניסוי בוצע הקרקע חרסית-נתרנית ברבדים. ההנחה הייתה שהתוספים ישפרו על תכונות שכבת הקרקע העליונה כמצע זרעים הן באופן ישיר (עקב התוספת עצמה) והן כתוצאה משינוי בתכונות הכימיות של הקרקע עקב הגדלת העוצמה היונית וריכוז הסיידן בתמיסת הקרקע. ההנחה הייתה ששיעור הניתרן הספוח (ESP) יקטן, ותגדל יציבות התלכידים למיגוג.



הניסוי נערך בחלקה 32 ברבדים, שנבחרה בגלל היותה חרסית-נתרנית (נתונים לשכבה 0-45 ס"מ: 59% חרסית, 14% סילט, 26% חול; קיבול הקטיונים החליפים 55 מאק'100 ג', ממנו נתרן ספוח מהווה 10%-12%). בסוף חודש מרץ 2007 סומן אזור הניסוי וחולק ל-42 חלקות ב-6 בלוקים באקראי, כל חלקה בשטח 48 מ<sup>2</sup> (8X6). הטיפולים שנבחנו היו: ביקורת (ללא תוספים), גבס - 500 ק"ג/ד', אפר פחם – 15 טון/ד', קומפוסט בוצה – 15 טון/ד' (מאתר דלילה), במס"א (בוצה מיוצבת באפר פחם ובסיד, ייצור במט"ש בית שמש במיוחד עבור הניסוי) – 15 טון/ד'. ההרכב הכימי של הזבלים מוצג בטבלה 1. בינואר 2008 נוספו 2 טיפולים: קומפוסט בוצה ובמ"ס (בית שמש, על בסיס אפר פצלי שמן ואבק מחצבות), שניהם בעומס יישום של 5 ט'ד'. בשנה הראשונה (2007) צמח הבוחן היה תירס למספוא וההשקיה הייתה בטפטוף במי-קולחים שניוניים ב-608 מ"ק/ד'. במהלך עונת ההשקיה השדה קיבל 10 יחידות אשלגן K<sub>2</sub>O, 10 יחידות זרחן P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 5 יחידות ניתנו ביסוד ו-5 עם מי-הקולחים. בנוסף ניתנו 25 יחידות חנקן (10 ביסוד ו-15 בראש).

בתום עונת הגידול הראשונה (2007) נבדק יבול התירס והרכבם הכימי של הנוף ושל הגרגרים (שהופרדו משזרת הקלחים). בתום עונת הגידול השנייה נבדק יבול הכותן הגולמי (לא נבדק הרכב הכימי של הצמחים). נבדקה השפעת התוספים על תכונות הקרקע. הבדיקות כללו: שיעור הנתרן הספוח בקרקע, יציבות התלכידים (בשיטת Levy and Mamedov, 2002 HEMC, ראה הסבר לאופן הבדיקה במקרא לאיור 2) וכושר החידור של הקרקע למים (בשיטת הטבעת הכפולה). מאחר שנושא זה אינו בעל חשיבות סביבתית או בריאותית הוא יידון כאן בקצרה.

### תוצאות:

#### השפעה התוספים על תכונות פיזיקו-כימיות של הקרקע:

ה-ESP של הקרקע נבדק בסוף עונת הגידול הראשונה בשכבות 0-15 ו-15-30 ס"מ, ולא נמצאו הבדלים בין הטיפולים השונים בכל אחת משתי שכבות הקרקע שנבדקו. הסיבה לכך הייתה כנראה גם השונות הגבוהה במידת הניתרון של הקרקע. ברור גם שלא הושג שיווי משקל בין מנת ספיחת הנתרן (SAR) בתמיסת הקרקע לבין הרכב היונים בקומפלקס הסופח (ESP). יציבות התלכידים לא הושפעה בצורה מובהקת ע"י הטיפולים (איור 1), אולם כל הטיפולים נתנו ערך <1 המעיד על כך שהטיפולים תרמו לייצוב התלכידים מעבר לתרומה של טיפול הביקורת.

כושר החידור של הקרקע למים (בשיטת הטבעת הכפולה) היה גבוה בתחילת המדידות והוא דעך בהמשך. הייתה שונות גבוהה בין החזרות באותה חלקה שלא לדבר על החזרות באותו טיפול. לכן חמשת הנתונים האחרונים של כושר החידור שנמדדו בכל בדיקה נלקחו כערכים המייצגים את כושר החידור הסופי (במצב עמיד) של הקרקע. מנתונים אלה חושבו הממוצע וסטיית התקן של כושר החידור בכל חזרה, והממוצעים של כל חזרה שמשו לחישוב ערך החידור הסופי הממוצע לטיפול. כושר חידור

**טבלה 1:** הרכב התוספים שיושמו בחלקה 32 ברבדים ב-2007 (bd, מתחת לסף הגילוי)

ממד	יחידות	קומפוסט בוצה	במס"א בית שמש	אפר פחם	במ"ס בית שמש	בוצת בית שמש
LOI	%	56.5	9.1	2.5		
Moisture	%	23	9	4		
OC	%	27.2	6.4	2.5		
N <sub>Organic</sub>	%	2.43	0.51	0.12		
C/N (organic)	ratio	11.2	12.7	20.8		
P <sub>Total</sub>	mg/kg	17,339	7,664	7,326		
PO <sub>4</sub> -P <sub>Olsen</sub>	mg/kg	1,409	508	365		
P <sub>Olsen</sub> /P <sub>T</sub>	%	8.1	6.6	5.0		
NH <sub>4</sub> -N	mg/kg	1,078	868	3		
NO <sub>3</sub> -N	mg/kg	21	1	2		
K <sub>Olsen</sub>	mg/kg	2,875	77	18		
pH (1:5)		6.83	8.68	10.57		
EC (1:5)	dS/m	4.74	1.83	1.27		
IC (as CaCO <sub>3</sub> )	%	22	8	4		
As	mg/kg		bd	bd	5	Bd
B	mg/kg		83	188	41	138
Ba	mg/kg		887	1,465	189	636
Ca	mg/kg		42,381	59,460	322,765	71,742
Cd	mg/kg		0.43	0.20	0.59	0.62
Co	mg/kg		12	18	4	5
Cr	mg/kg		42	74	52	34
Cu	mg/kg		48	45	69	190
Fe	mg/kg		8,964	13,705	9,318	5,892
K	mg/kg		4,595	1,713	5,558	3,931
Li	mg/kg		66	147	10	15
Mg	mg/kg		2,544	10,131	3,469	5,810
Mn	mg/kg		83	274	92	140
Mo	mg/kg		3.57	3.08	2.88	5.67
Na	mg/kg		839	1,048	1,470	2,146
Ni	mg/kg		29	43	29	26
P	mg/kg		3,591	6,332	3,655	14,094
Pb	mg/kg		43	20	58	315
S	mg/kg		3,636	2,197	5,928	9,594
Se	mg/kg		bd	Bd	Bd	Bd
Sn	mg/kg		1.02	1.11	2.30	6.31
Sr	mg/kg		761	2,436	299	197
V	mg/kg		76	109	48	30
Zn	mg/kg		128	39	212	947

סופי הנמוך ביותר היה בטיפול הביקורת והגבוה ביותר היה בטיפול הגבס וקומפוסט בוצה (טבלה 2).  
אולם השונות הייתה גבוהה וההבדלים בין הטיפולים לא היו מובהקים.

## **טבלה 2: חידור הקרקע למים (מ"מ/שעה) במדידות בשיטת הטבעת הכפולה**

טיפול	גבס		קומפ' בוצה 15 ט"ד'		ביקורת		במס"א 15 ט"ד'		אפר פחם	
	ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע	ס"ת	ממוצע
1	392	804	859	2640	110	81	577	1440	171	360
2	882	1734	164	420	125	591	67	1230	300	376
3	536	1290	367	900	67	830	291	400	960	1390
4	130	720	2870	7024	585	980	164	720	350	930
5	130	520	95	1200	277	634	50	194	140	586
6			1170	2440					290	510
ממוצע לטיפול		1013		1290		623		796		692

## **מדדי צמח:**

**תירס 2007:** גובה צמחי התירס היה נמוך יחסית בטיפול האפר פחם בהשוואה לשאר הטיפולים אולם לא היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים במספר הקלחים, משקלם ומשקל החומר הצמחי הכולל (טבלה 3).  
עם זאת: (א) מספר הקלחים בטיפול הקומפוסט והבמס"א היה קטן ב- 9 וב-14%, ובאפר הפחם והגבס גבוה ב-7% מבהיקש; (ב) יבול הביומאסה בביקורת היה נמוך בכ- 18% בהשוואה לשאר הטיפולים. השונות הגבוהה בתכונות הפיזיקו-כימיות של הקרקע מסכה ככל הנראה את השפעת הטיפולים על היבול ומדדיו.

**כותנה 2008:** בינואר 2008 הוספו שני טיפולים: במ"ס מבית שמש וקומפוסט בוצה (מאתר דלילה), שניהם בעומס 5 טון/ד'. לטיפול הזיבול לא הייתה השפעה מובהקת יחסית לטיפול ההיקש על גובה ועומד הצמחים ועל יבול הכותן הגולמי (טבלה 9). עם זאת, יבול הכותן הגולמי בטיפול הזיבול היה גבוה מאשר בביקורת המסחרית בכ-10% בממוצע. העדר האחידות בשטח היה אולי גורם ממסך. לבלוקים הייתה השפעה מובהקת על גובה ועומד הצמחים (אך לא על יבול הכותן; הנתונים אינם מוצגים), כנראה בגלל שוני בין הבלוקים ברמת ניתרון הקרקע.

**טבלה 3:** השפעה של קומפוסט בוצה ובמ"ס על יבולי תירס וכותנה (רבדים, 2007, 2008)

2008 כותנה			תירס 2007			מועד היישום	עומס היישום (ט"ד')	תוסף
גובה (ס"מ) (2/6/08)	מספר מ' שורה (2/6/08)	יבול כותן (ק"ג/ד')	מס' הקלחים	כלל חומר צמחי (ט"ד')	קלחים (ט"ד')			
41.4	7.8	490	22.2	2.53	1.17	-	-	בקורת
47.5	8.2	498	23.7	2.96	1.27	אפריל-07	0.5	גבס
41.9	8.0	548	23.7	2.99	1.20	אפריל-07	20	אפר פחם מרחף
48.2	8.8	540	20.3	3.07	1.13	אפריל-07	15	קומפוסט בוצה
46.8	9.6	522	19.2	2.94	1.12	אפריל-07	15	במס"א
41.7	8.0	555		-	-	ינואר-08	5	במ"ס
46	8.6	513		-	-	ינואר-08	5	קומפוסט בוצה

השפעת התוספים על ההרכב הכימי של צמחי התירס:

ההרכב הכימי של הקנים ושל הגרגרים מוצג בטבלאות 4 ו-5, בהתאמה.

**טבלה 4:** ריכוז ממוצע של יסודות בקנים של צמחי התירס (6 חזרות; מ"ג/ק"ג). מובהקות ההבדלים בין טיפולים נבדקה במבחן Tukey-Kramer HSD עם  $\alpha=5\%$ .

יסוד (מ"ג/ק"ג)	טיפול מסחרי	גבס 0.5 ט/ד'	אפר פחם מרחף 15 ט/ד'	קומפ' בוצה 15 ט/ד'	במס"א (בית שמש) 15 ט/ד'	p
As	0.70	0.35	0.49	0.47	0.42	
B	65 b	58 b	141 a	80 b	95 ab	0.003
Cd	<< 0.05	<< 0.05	<< 0.05	<< 0.05	<< 0.05	
Co	0.27	0.26	0.34	0.27	0.30	
Cr	9.0	6.8	8.9	12.3	9.8	
Cu	10	10	10	13	13	
Fe	217	234	302	284	300	
K	24,300	24,000	25,100	29,100	24,400	
Mn	69	60	70	77	78	
Mo	1.7 bc	1.5 c	3.3 a	3.2 a	3.0 ab	0.001
Ni	3.1	2.3	3.0	4.4	3.1	
P	2,660	2,400	2,750	2,950	2,400	
Pb	0.29	0.34	0.57	0.42	0.35	
Se	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	
V	0.51	0.60	0.84	0.69	0.77	
Zn	20 b	24 ab	25 ab	38 a	32 ab	0.026

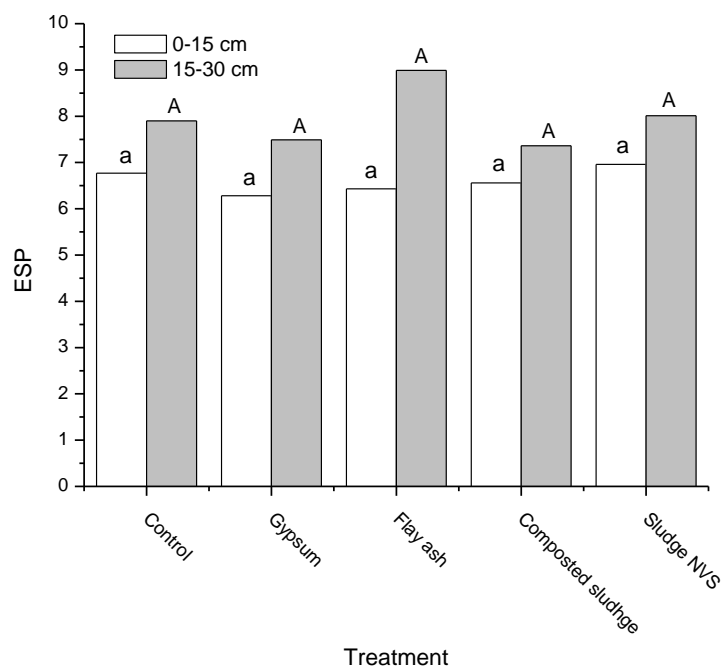
**טבלה 5:** ריכוז ממוצע של יסודות בגרגרים של צמחי התירס (מ"ג/ק"ג) סף הכימות הוא הריכוז הכמותי המזערי שניתן לקביעה, bd-מתחת לסף הכימות. מובהקות ההבדלים בין טיפולים נבדקה במבחן Tukey-Kramer HSD עם  $\alpha=5\%$ .

יסוד (סף הכימות)	טיפול מסחרי	גבס 0.5 ט/ד'	אפר פחם מרחף 15 ט/ד'	קומפ' בוצה 15 ט/ד'	במס"א (בית שמש) 15 ט/ד'	p
As	bd	bd	bd	bd	bd	
B	10	10	10	9	8	
Cd	<< 0.05	<< 0.05	<< 0.05	<< 0.05	<< 0.05	
Co (0.11)	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	
Cr (0.05)	0.65	0.60	0.59	0.46	0.53	
Cu	1.40	1.51	1.51	1.57	1.62	
Fe	18	17	16	19	17	
K	5228	5359	5355	5243	5073	
Mn	5.7	5.8	5.7	6.1	5.9	
Mo (0.08)	0.38 a	0.38 a	0.52 a	0.46 a	0.53 a	0.020
Ni	0.43 a	0.44 a	0.43 ab	0.30 b	0.35 ab	0.014
P	2922	3062	2961	2933	2961	
Pb (0.14)	0.06	0.07	0.06	0.06	0.10	
Se (0.08)	0.14	1.20	< 0.08	0.70	< 0.08	
V (0.08)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	
Zn	18 b	20 b	19 b	24 a	21 b	<.001

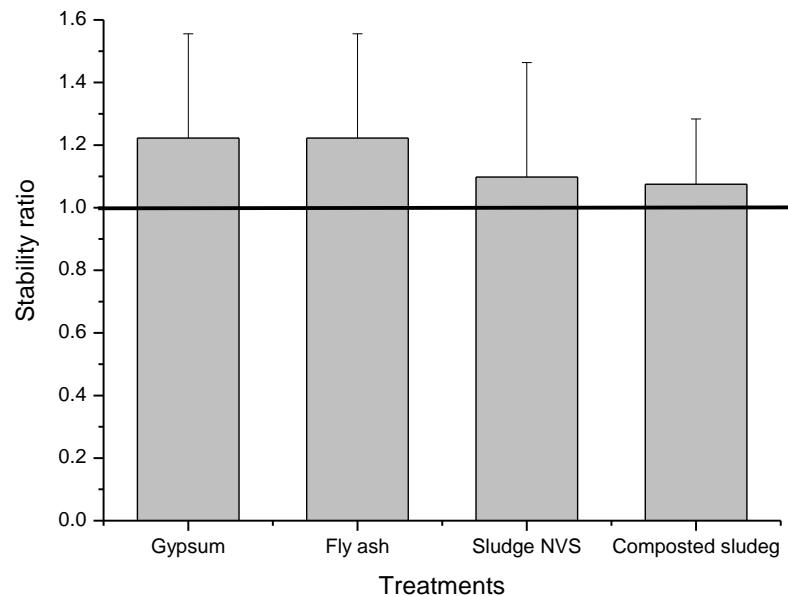
הבדלים מובהקים בריכוזי יסודות היו ב-4 יסודות בגרגרים ולא בנוף. אבץ - גבוה בגרגרים בטיפול הקומפוסט בהשוואה לכל הטיפולים. בנוף, גבוה במובהק רק בהשוואה לביקורת המסחרית; מוליבדן - גבוה בגרגרים ובנוף בטיפולי הזיבול והאפר בהשוואה לגבס ולהיקש המסחרי; בורון – גבוה בנוף בטיפול אפר הפחם באופן מובהק בהשוואה למרבית יתר הטיפולים (יותר מפי 2 בהשוואה לביקורת המסחרית). בגרגרים הריכוזים היו דומים ונמוכים-יחסית בכל הטיפולים. ניקל - הריכוז המזערי בגרגרים היה בטיפול קומפוסט הבוצה, ההבדל היה מובהק בהשוואה להיקש ללא תוספת ולגבס. ריכוזי ארסן, עופרת וקדמיום היו נמוכים ובד"כ מתחת לסף הכימות או אף הגילוי.

## סיכום

התוספים (במס"א, קומפ' בוצה, אפר פחם – 15 ט/ד') כמעט לא השפיעו על הרכב הקטיונים החליפים בקרקע החרסית-נתרנית ועל יציבות התלכידים, לפחות לא בתום העונה הראשונה (עת נערכו הבדיקות). זאת למרות שניתן היה לצפות לכך בגלל הרכבם (ריכוז גבוה של סידן מסיס ובר-המסה) ובגלל הגדלת הריכוזים וקצב השחרור של CO<sub>2</sub> בקרקע (העשוי להמיס גיר בקרקע). השפעת הטיפולים על התפתחות צמחי התירס והכותנה ויבוליהם לא הייתה מובהקת. השפעת התוספים על תכולת מתכות ויסודות קורט הייתה מצומצמת למרות שיעורי היישום החריגים (פי 6 בערך מהמנה המקובלת).



**איור 1:** השפעת הטיפולים על שיעור הנתרן הספוח (ESP) בשתי שכבות הקרקע שנדגמו בסוף השנה הראשונה



**איור 2: השפעת הטיפול על מקדם יציבות התלכידים**

#### **בדיקת יציבות תלכידים בשיטת ה- HEMC**

שיטת ה- HEMC (High Energy Moisture Characteristic) מבוססת על מדידת עמידות התלכידים לפריצת האוויר הכלוא בהם במהלך הרטבה מהירה בהשוואה להרטבה איטית ומדורגת. 15 גר' של תלכידים יבשים בגודל 0.5-1.0 מ"מ מונחים במשפך בקוטר 5 ס"מ שבקרקעיתו מונחת דסקית העשויה מחומר נקבובי עם נקבובים בקוטר של 40-60 מיקרון. הדיסקית נמצאת במצב רווי לפני הנחת התלכידים במשפך. התלכידים במשפך מורטבים בקצב מהיר (100 מ"מ/שעה) או איטי (2 מ"מ/שעה) בעזרת משאבה פריסטלית עד אשר מים חופשיים מכסים את פני התלכידים. בתום הרוויית התלכידים מפעילים על התלכידים מתח יניקה בעזרת עמודת מים, כאשר מגדילים את המתח בצעדים של 2 ס"מ בכל פעם עד למתח של 40 ס"מ. בכל מתח יניקה נתון, עוקבים אחר נפח המים שהתנקז מהתלכידים, ומתקבלים עקומי תאחיזה שונים עבור תלכידים שהורטבו בקצבים שונים. מעקום התאחיזה בהרטבה מהירה מעיד על נוכחות נקבובים קטנים יותר המחזיקים יותר מים כאשר מופעל מתח יניקה גבוה בהשוואה לעקום המתקבל מהרטבה איטית. לעקומי התאחיזה מותאמת משוואה המבוססת על המודל של van Genuchten, (1980). גזירת המשוואה הנ"ל מאפשרת (א) חישוב נפח הנקבובים שמתנקזים, ו- (ב) קביעת קוטר הנקבוב השכיח המיוצג על ידי מתח המים בו מתקבלת נקודת המקסימום בעקום התאחיזה. בהרטבה איטית נפח הנקבובים גדול יותר והנקבוב השכיח בעל קוטר גדול יותר (מתח יניקה נמוך יותר) בהשוואה להרטבה מהירה. היחס בין נפח הנקבובים שמתנקזים לבין מתח המים בנקודת המקסימום של עקום הנגזרת עבור קצב הרטבה נתון מוגדר כ"מדד מבנה". היחס בין "מדד המבנה" המתקבל בהרטבה מהירה לזה המתקבל בהרטבה איטית הנו מדד לעמידות התלכידים להתמוגגות (קרי יציבות התלכידים). יציבות התלכידים המתקבלת נעה בין אפס לאחד; ערך גבוה הקרוב ל- 1 משמעו תלכידים יציבים בעלי רגישות נמוכה להתמוגגות, ערך נמוך הקרוב ל- 0 מעיד על תלכידים לא יציבים הרגישים להתמוגגות.



מדינת ישראל, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני,  
המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה

## ייעוד במס"א ליישום חקלאי – מעקב אגרונומי וסביבתי

(6) הפחתת גורמי מחלה שוכני-קרקע באמצעות במס"א: בשור 2010-2012

מוגש ע"י:

פנחס פיין<sup>1</sup>, אנה בריוזקין<sup>1</sup>, משה אלבז<sup>2</sup>, דוב צהר<sup>2</sup>, עירית דורי<sup>2</sup>, מירון סופר<sup>2</sup>,  
גיורא קריצמן<sup>3</sup>, יפת בן יפת<sup>3</sup>, עומר פרנקל<sup>3</sup>, אורי זיג<sup>4</sup>

<sup>1</sup>מנהל המחקר החקלאי, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, <sup>2</sup>מו"פ דרום, <sup>3</sup>מנהל המחקר  
החקלאי, המכון להגנת הצומח, <sup>4</sup>יח"מ (ישובי חבל מעון)

מרץ 2013

בית דגן



## הפחתת גורמי מחלה שוכני-קרקע באמצעות במס"א: בשור 2010-2012

### תאור הבעיה ותקציר

תוספים עתירי חנקן אורגני ומשחררי אמוניה נוצלו כבר בעבר להדברת מחלות שוכנות קרקע. עם זאת השילוב של מקור אמוניה ושל העלאה בו-זמנית אך חולפת של ה-pH של הקרקע נחקר באופן מועט יחסית. מנגנון ההשפעה של האמוניה נחקר על ידנו בשנים האחרונות, ונלמדה ההשפעה של רעילות אמוניה גזית לאורגניזמים בקרקע. נמצא כי השפעת האמוניה תלויה בריכוז שלה בתמיסת הקרקע, ב-pH ובחום של הקרקע. בערכי pH 10.5-10, רוב האמוניות מצוי בצורה הגזית הפעילה ( $\text{NH}_3$ ). בוצעו מטופלות בסיד עם אפר פחם (במס"א) או בלעדיו הן מקור לאמוניה ולסיד המעלה את pH הקרקע. תוך ימים אחדים לאחר היישום בקרקע לחה, ה-pH יורד לערך אופייני לקרקע, לא לפני שחל נידוף של מרבית האמוניה. העלאת החום מועילה בכך שהיא מסיטה את שיווי המשקל לכיוון יצירת אמוניה גזית, ומאפשרת הפחתת מינון הסיד (כבמס"א) ו/או האמוניות. הידע בנושא השימוש בבמס"א להדברה של מחלות שוכנות-קרקע מצביע על הפחתה של פטריות, חיידקים ונמטודות עפצים, והדבר נבחן בניסויי מעבדה ושדה.

הנחות העבודה הן: (א) לבמס"א השפעה ביוצידיית ישירה על גורמי מחלה בקרקע, (ב) העלאת חום הקרקע (ע"י חיפוי בפלסטיק) תיעל את ההדברה הכימית (שיפור יעילות תוך הפחתת המינונים), (ג) באגרוטכניקה מתאימה, ההזנה והיבולים יהיו תקינים.

במסגרת המחקר נבחנו בתנאי שדה הפעילות הביוצידיית של במס"א מהשפד"ן בהדברה של גורמי מחלה חיידקיים (*Streptomyces spp*), הגורמים למחלות גרב השקעים העמוקים בתפוחי אדמה), ופטרייתיים (*Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*) הגורמים לגרב אבק בתפוחי אדמה. בנוסף, נבדקו יבולי הפקעות (באמצע ובסוף העונה) וההרכב הכימי של הפקעות ושל העלוה.

העלאת ה-pH וריכוז האמוניות באמצעות יישום 4.3 ט"ד' במס"א והעלאת חום שכבת הקרקע העליונה באמצעות חיפוי בפלסטיק הפחיתו את שכיחות גורמי מחלה פטרייתיים וחיידקיים מחוללי מחלות גרב שונות בקרקע. מחלות אכן לא הופיעו, אולם בכל הטיפולים, כולל בביקורת, למרות האילוח הכבד של הקרקע בטיפול מקדים. נגיעות הפקעות בגרב מצוי הייתה שכיחה בכל הטיפולים, כולל בטיפול שקיבל הדברה המסחרית.

הבמס"א הגדילה את יבול הפקעות בכ-50% בהשוואה לטיפול ההיקש. העלייה הייתה עקב גידול במשקל הפקעות ובמספרן. כל הטיפולים בניסוי קיבלו דישון זהה ביסוד ובראש, אבל ייתכן שהצבירה העודפת של זרחן ויסודות קורט חיוניים (נחושת ומוליבדן) בפקעות (הנוף נמצא בבדיקה) בטיפול הבמס"א היה סימפטומטי למחסור בהם בקרקע, שהיה גורם מעכב בטיפול ההיקש (למרות הדישון). יישום הבמס"א סיפק מחסורים אלה. בנוסף, בפקעות של

טיפולי הבמס"א היו ריכוזים גבוהים יותר במידה משמעותית ומובהקת מאד של סידן, שהנו גורם חשוב בשמירת איכות הפקעות באחסון, ובסלן, שהנו מרכיב מזון חיוני לאדם.

### מטרת הניסוי:

(א) פיתוח אגרוטכניקה להפחתת מחלות שוכנות-קרקע בשדה ביישום במס"א.

(ב) כימות השפעת הבמס"א על היבול ועל הרכבו הכימי.

### שיטות ומהלך הניסוי:

נבחר שדה בחוות הבשור הידוע כמאולח בגורמי מחלה שונים. הקרקע החולית אולחה בגרב אבקי (ספונגוספורה) בנובמבר 2010 ע"י הצנעה בזריעה של פקעות מאולחות בפטרייה, וע"י גידול של תפוז"ד מזן רגיש לספונגוספורה (דזירה) (זריעה: ינואר 2011, אסיף: מאי 2011). האילוח אומת, וכ-40% מהפקעות שנאספו היו נגועות בספונגוספורה. השדה חולק ל-36 חלקות בשטח 120 מ"ר (20 מ' x 6 מ') כל אחת, ב-6 בלוקים במבנה אקראי-למחצה, כך שכל טיפולי הבוצה (מוגרלים) היו תמיד בטור ולצידם טיפולי הביקורת (מוגרלים).

בראשית אוגוסט 2011 ביצענו את טיפולי ההדברה (טבלה 1). עומס יישום הבמס"א נקבע בהתאם ל-pH שלה (12.5) ולהשפעתה על ה-pH של הקרקע (נבדק במעבדה), ונמצא כי בעומס שקול לכ-4 טון/ד' ה-pH של הקרקע צפוי לעלות מ-8.5 לכ-10.5, כנדרש.

חלוקת השטח לטיפולים, כשטיפולי הבוצה מופיעים ברצף אפשרה פיזור של הבמס"א במפזרת. עומס הפיזור כויל ע"י ביצוע פיזורי סרק בצד החלקה, כשהמפזרת עוברת מעל יריעת ברזנט בעלת שטח נתון, שקילת החומר שעל היריעה, ותיקון קצב הפיזור בהתאם לצורך עד הגעה לעומס המבוקש (4.3 ט'ד' על בסיס המשקל היבש). אספקת האמוניה מהבוצה תוגברה בחלק מהטיפולים באמצעות פיזור דשן אמון גופרתי, ותצרוכת האמוניה להדברה נקבעה באופן שרירותי (טבלה 1). הדשן נשקל מראש בשקיות, כשכל שקית הכילה את כמות הדשן הדרושה לפיזור על ערוגה אחת (מתוך השלוש שבחלקה). הפיזור היה ידני, וההכנה מראש בכמויות המדודות\חלקה סייעה לקבלת פיזור אחיד ככל האפשר.

### טבלה 1: טיפולי הקרקע בניסוי.

טיפול	בוצה מיצבת בסיד (טון/דונם)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (ק"ג/דונם)	כיסוי פלסטיק
ביקורת ללא טיפול			-
ביקורת פלסטיק			+
טיפול סטנדרטי במתאם סודיום			-
בוצה בלבד	4		+
בוצה + אמוניום גופרתי מינון נמוך	4	180	+
בוצה + אמוניום גופרתי מינון גבוה	4	360	+

\*טיפול במתאם סודיום: ניתן בכמות 50 ליטר לדונם יחד עם 50 קוב לדונם מים.

החלקה הושקתה 24 שעות לפני פיזור הבמס"א. מיד לאחר יישום הזבל והדשן, הקרקע תוחחה לעומק כ-20 ס"מ, ומדגמי קרקע נלקחו במקדח מכל החלקות (מדגם מורכב בכל חלקה). החלקות בטיפולים הרלוונטיים חופו ביריעות פלסטיק. חלקות עם חיפוי וללא חיפוי צוידו ברושמי חום אשר הוכנסו לקרקע לעומק 15 ס"מ בכדי להעריך את השפעת החום על ההדברה. לאחר שבוע הוסר הפלסטיק, והקרקע נדגמה שוב. בקרקעות מ-2 מועדי הדיגום נבדקו ריכוז האמוניום, ה-EC וה-pH, ובדיגום השני נבדקה גם נוכחות סטרפטומיצטים כלליים, סטרפטומיצטים חשודים כפתוגניים ופוזריום כללי. הביקורת המסחרית טופלה באדיגן (50 ליטר לדונם עם מים בכמות 50 מ"ק"ד' ביישום פרופורציונלי. בנוסף, לפי בדיקות הקרקע ניתן דשן יסוד לכל החלקות בניסוי (8 ק"ג"ד' סופרפוספט, ו-40 ק"ג"ד' אשלג). הדישון בחנקן היה עם המים אחת ל-3 ימים במנה של חצי יחידה ליום עד הצצה ו-1 יחידה ליום לאחר מכן. פקעות מהזן ווינסטון (ללא חיטוי) נזרעו בצפיפות של 5.5 זרעים/מ' ב-30/10/11. פטוטורות נדגמו פעמיים במהלך העונה (9/1/12, 21/1/12), פקעות ונוף נדגמו ב-21/1/12, והיבול נאסף ב-28/3/12. מכל חזרה של כל אחד מהטיפולים נדגמו ידנית 2 מטר ערוגה (כ-4 מ"ר), כל פקעות נשטפו, נשקלו ונבדקה הימצאות מחלות שונות. החומר הצמחי נשטף היטב במי ברז ובמים חסרי יונים לפני הכנתו לבדיקה. לבדיקה נלקח מדגם של 10 פקעות בגודל יצוא (כ-50 מ"מ), הפקעות קולפו ופרוסה בעובי כ-1 ס"מ נלקחה ממרכז כל הפקעת לאורכה של הפקעת. הפרוסות נחתכו לקוביות, ואלו יובשו ב-60 מ"צ במשך כשבוע. לאחר ייבושן המלא הן נטחנו לבדיקה. מהנוף נלקח מדגם של כ-500 גר', זה יובש כנ"ל, ונטחן לשם בדיקה.

הבדיקות הכימיות בחומר הצמחי הטחון כללו קביעה נפרדת של חנקן כללי מחוזר וסריקת יסודות כללית. לבדיקת חנקן כללי מחוזר, מדגמים (במשקל 0.2 גרם) עוכלו בחומצה גופרתית מרוכזת רותחת, עם הוספות עתיות של מי-חמצן לחומצה, לאחר הבאתה לטמפרטורת החדר. ריכוז החנקן נבדק בריאקציית צבע באוטואנלייזר (תוצ' Lachat) כנגד סטנדרטים. סריקת יסודות כללית (כולל זרחן, אשלגן, יסודות מאקרו, יסודות קורט ומתכות כבדות) נעשתה לאחר עיכול מדגמים צמחיים במשקל 0.3 גרם בחומצה חנקתית מרוכזת רותחת. המדידה נעשתה באמצעות ICP-AES.

דגימות קרקע נלקחו מ-2 עומקים, 0-20 ס"מ ו-20-40 ס"מ מיד לאחר טיפול ההדברה, שבוע לאחר מכן, ובסיום הניסוי. חנקן מינרלי נבדק ע"י מיצוי דגימות קרקע ב-1N KCl ביחס 1 ל 8 קרקע לנוזל. המבחנות טולטלו במשך שעה, סורכזו, והנוזל העליון נבדק באוטואנלייזר כנ"ל. זרחה ואשלגן נבדקו במיצוי קרקע ב-0.5 M NaHCO<sub>3</sub> ב pH 8.5 ביחס מיצוי קרקע-נוזל 1 ל-20 בטלטול לשלוש שעות. הנוזל העליון נבדק לאחר החמצה באמצעים דלעיל. המוליכות החשמלית וה-pH של דגימות קרקע נקבעו במיצוי מימי ביחס קרקע-מים 1:5.

ניתוח סטטיסטי נעשה ב-ANOVA אמצעות תוכנת JMP. מובהקות ההבדלים בין טיפולים נבדקה בד"כ במבחן Tukey-Kramer HSD ברמה של  $\alpha < 0.05$ . השווינו את הממוצעים של שני טיפולי היסוד: כל טיפולי הבמס"א (18 חלקות) כנגד כל טיפולי הביקורת (18 חלקות). בכל המדדים שנבדקו, ואשר מוצגים בטבלאות ובאיורים, העדר אות ליד הממוצע או הופעה של אותה אות מציין כי ההבדל בין הממוצעים של הטיפולים לא היה מובהק סטטיסטית.

## תוצאות:

### השפעת טיפולי הבוצה על יבול הפעות:

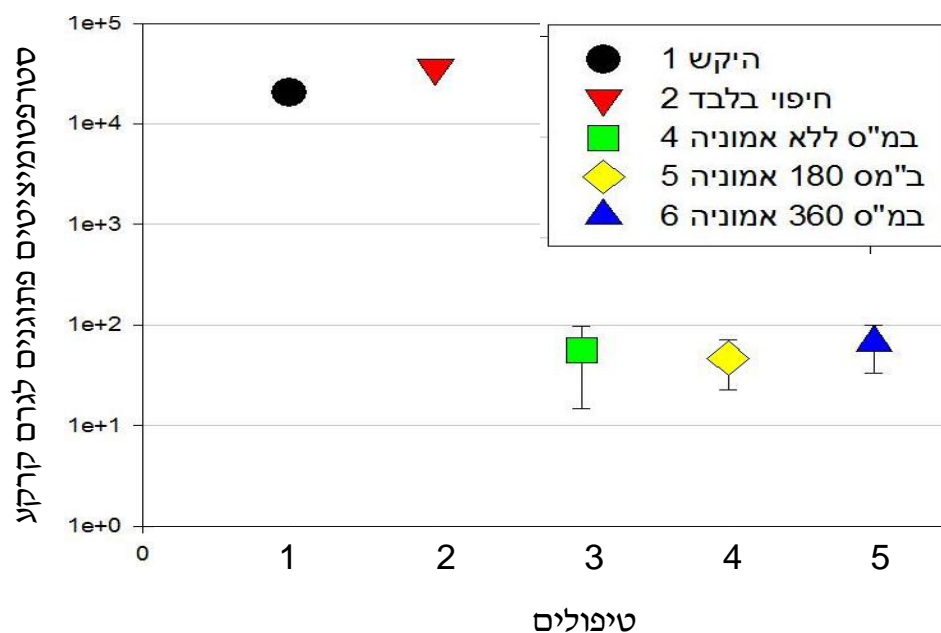
המשקל הכללי של היבול היה גבוה בצורה משמעותית בטיפולי הבמס"א (3 טיפולים, 18 חלקות) בהשוואה לכלל טיפולי הביקורת (3 טיפולים, 18 חלקות). לא היה הבדל מובהק ביבול בתוך טיפולי הביקורת או בתוך טיפולי הבוצה (איור 3). הסיבה להבדל בין טיפולי הבמס"א לביקורות אינה ברורה כל צרכה, מאחר שכל החלקות דושנו ביסוד ובראש במידה שווה. כמו כן, לא היו הבדלים בריכוזי היסודות בקרקע (בהמשך). בכל מקרה, החשוב הוא שהבמס"א ספקה את הגורם שהיה במחסור ואשר עיכב את הגידול בטיפולי הביקורת.

**טבלה 2:** יבול הפקות, משקלן ומספרן. אות שונה מציינת הבדל מובהק סטטיסטית בין טיפולים (לפי Tukey-Kramer HSD,  $\alpha < 0.05$ ).

מספר הפקות	משקל פקעת (גרם)	יבול (ק"ג/ד')	טיפול
b	68	b	ביקורת
a	77	a	טיפולי הבמס"א (+פלסטיק)
0.004	<.0001	<.0001	p
A	71	B	(1) ביקורת ללא טיפול
A	65	B	(2) ביקורת - חיפוי פלסטיק
A	68	B	(3) ביקורת - הדברה מסחרית
A	79	A	(4) במס"א ללא אמוניום
A	80	A	(5) במס"א + 180 ק"ג/ד' אמון גופרתי
A	73	A	(6) במס"א + 360 ק"ג/ד' אמון גופרתי
0.044	<.0001	<.0001	p

### השפעת טיפולי הבוצה על פוזריום כללי וסטרפטומיציטים מחוללי גרב:

בדגימות הקרקע שנלקחו מחלקת הניסוי לאחר יישום הבמס"א ולפני השתילה נמצא כי חלה ירידה בחיידקים מקבוצת הסטרפטומיציטים מחוללי גרב (איור 1). בנוסף, בבדיקת הקרקע להימצאות פוזריום כללי בכל אחד מהטיפולים נמצא כי בטיפולי הבוצה השונים יעילות ההדברה לעומת הביקורת ללא טיפול נעה בין 87-94%. יעילות זו הייתה גבוהה בהשוואה לטיפול המסחרי שם היעילות עמדה על 63% בלבד.



**איור 1:** השפעת טיפולי במס"א, אמון גופרתי וחיפוי על ריכוז סטרפטומיציטים מחוללי גרב השקעים העמוקים (תפ"א) בשכבת הקרקע 0-20 ס"מ הטיפולים הנם לפי טבלה 1

**טבלה 3:** שכיחות פוזריום כללי בדגימות קרקע שנדגמו בשדה ב-06/10/11 (זריעת צלחות פטרי עם מצע נאש ב-9/11, ספירת מושבות ב-13/11)

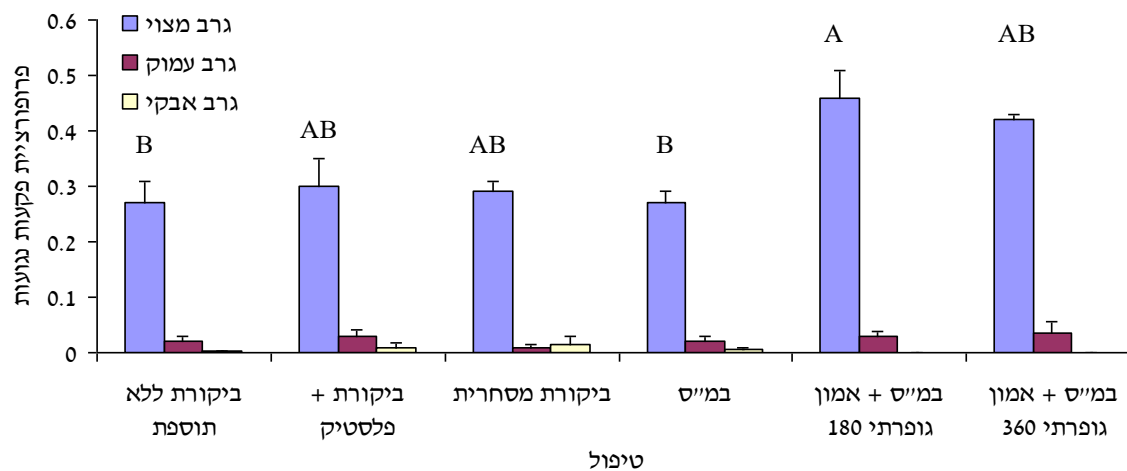
טיפול	מספר מושבות לצלחת						הדברה יחידות לגרם (%)	
	א	ב	ג	ד	ה	ו		
1 ביקורת	3100	2900	3100	3400	3400	2800	3117	0
2 ביקורת חיפוי	200	1200	900	400	500	1400	767	75
3 ביקורת מתמור	400	1700	1000	1400	900	1500	1150	63
4 במס"א	290	230	400	190	930	420	410	87
5 במס"א +אמון נמוך	90	270	190	160	150	280	190	94
6 במס"א +אמון גבוה	110	130	430	270	280	140	227	93

מתמור: 50 ליטר לדונם בתוך כמות מים 50 קוב לדונם ניתן פרופורציונלי. (45 ליטר + 5 שטיפה) השפעה נמוכה על האוכלוסיית הפוזריום ופחותה מחיפוי למשך שבוע.

### השפעת טיפולי הבוצה על נגיעות הפקעות בגרב:

כל אחת מהפקעות נבדקה בנפרד לגילוי מחלות. רמת הנגיעות בגרב אבקי (בו היו נגועות הפקעות בגידול המאלח) ובגרב עמוק הייתה נמוכה מאד בלי הבדל משמעותי בשכיחות בין הטיפולים. שכיחות הגרב המצוי הייתה גבוהה יחסית, וטיפול הבמס"א עם וללא אמון גופרתי לא הפחיתו את שכיחות המחלה. בחלק מטיפולי הבמס"א שכיחות הגרב המצוי הייתה אף גבוהה מזו שנמצאה בחלק מהביקורות (איור 2).

**איור 2:** שיעור הפקעות (ממוצעי 6 חלקות לטיפול) נגועות במיני גרב. אות שונה מציינת הבדל מובהק לאחר טרנספורמציה Arcsin (שורש ריבועי) של שיעור הנגיעות (Tukey-Kramer HSD,  $\alpha < 0.05$ ).



### תכולת יסודות מאקרו ומיקרו בפקעות

תכולת היסודות בפקעות מוצגת בטבלה 4. כאמור, לצורך הבדיקה הסטטיסטית איחדנו את שלושת טיפולי הביקורת מחד גיסא ואת שלושת טיפולי הבמס"א מאידך גיסא. ריכוזי החנקן והאשלגן בטיפולי הביקורת והבמס"א היו דומים אך ריכוז הזרחן בטיפולי הבמס"א היה גבוה יותר, וכן ריכוזי סידן, מוליבדן, סלן ונחושת (עלייה משמעותית ומובהקת מאד). ריכוז הסטרונציום היה גבוה במקצת בביקורות בהשוואה לטיפולי הבמס"א (במידה לא משמעותית ועל סף המובהקות הסטטיסטית). ריכוז הסלן היה אמנם גבוה יחסית אולם עדיין בתחום הנורמלי בצמחים (עד 2 מ"ג/ק"ג חומא יבש). ניתן לשער שזמינות זרחן נמוכה יחסית בטיפולי ההיקש תרמה לירידה ביחסית ביבול הפקעות. עם זאת, יכול להיות שגם לריכוזים הפחותים של נחושת ומוליבדן (שניהם יסודות קורט חיוניים) הייתה השפעה.

### סיכום

בדיקות הקרקע שנעשו אחרי מהלך ההדברה וטרם השתילה הראו כי יישום הבמס"א והתנאים האביוטיים בקרקע (pH וחום) שנוצרו בעקבותיו הפחיתו את שכיחות גורמי מחלה פטרייתיים וחיידקיים מחוללי מחלות גרב שונות. למרות זאת לא נמצאה כל הפחתה

**טבלה 4:** השפעת הבמס"א על הריכוזים בפקעות של יסודות חיוניים ובלתי חיוניים לצמח. הריכוזים הם בחומר היבש המהווה כ-15% מהמשקל הטר.

יסוד (מ"ג לק"ג)	ביקורת			במס"א			P
	Average	SEM	T-K HSD	Average	SEM	T-K HSD	
Al	22	2		25	4		0.35
B	37	3		35	3		0.67
Ba	1.28	0.17		1.57	0.28		0.41
Ca	289	7	b	349	12	a	0.0005
Cd	bd			bd			
Cr	0.11	0.01	a	0.13	0.01	a	0.0513
Cu	3.79	0.17	b	4.54	0.13	a	0.0039
Fe	23	1		28	2		0.08
K	29,985	1,520		31,521	2,101		0.59
Li	bd			bd			
Mg	971	46		1,096	34		0.05
Mn	7	0		8	0		0.07
Mo	0.12	0.02	b	0.90	0.06	a	<.0001
N	14,939	486		16,378	643		0.11
Na	200	11		205	12		0.80
Ni	0.31	0.03		0.31	0.02		0.98
P	1,482	51	b	1,785	46	a	0.0003
Pb	0.12	0.02		0.17	0.02		0.19
Se*	0.06	0.03	b	0.56	0.05	a	<.0001
Sr	1.44	0.05	a	1.25	0.07	B	0.0437
Ti	6	1		7	2		0.66
V	0.09	0.02		0.10	0.02		0.60

bd, below detection level; \*below quantification level

משמעותית בנגיעות בגרב מצוי, שהיה שכיח, בדיגום הפקעות שנערך בסוף הניסוי. הגרב המצוי הופיע בשכיחות דומה גם בטיפול ההדברה המסחרית. ליישום הבמס"א הייתה השפעה משמעותית מאד על כמות הנוף הצמחי שנוצר (לא הובאו הנתונים) ועל יכול הפקעות, שעלה בכ-50% בהשוואה לטיפול ההיקש. העלייה הייתה עקב גידול במשקל הפקעות ובמספרן. כל הטיפולים בניסוי קיבלו דישון זהה ביסוד ובראש, אבל ייתכן שהריכוז הנמוך יחסית של זרחן ויסודות קורט חיוניים (נחושת ומוליבדן) בפקעות בטיפול ההיקש היה סימפטומטי למחסור בקרקע ביסודות אלה, שפוצה ע"י הוספת הבמס"א, והיה גורם מעכב בטיפול ההיקש. בנוסף, בפקעות של טיפולי הבמס"א היו ריכוזים גבוהים יותר במידה משמעותית ומובהקת מאד של סידן, שהנו גורם חשוב בשמירת איכות הפקעות באחסון, ובסלן, שהנו מרכיב מזון חיוני לאדם. העלייה בריכוזי כרום וסטרונציום הייתה מזערית.



מדינת ישראל, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני,  
המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה

## **ייעוד במס"א ליישום חקלאי – מעקב אגרונומי וסביבתי**

(7) טיוב קרקע רנדזינה בהירה בממשק פלחה חרבה ע"י יישום במ"ס  
ובמס"א, וההשפעה על יכול בקיה-תלתן ועל תכולת היסודות  
בצמחים

מוגש ע"י:

פנחס פיין<sup>1</sup>, אריה בוסק<sup>2</sup>, אנה בריוזקין<sup>1</sup>, אסרה רבאח<sup>1</sup>

<sup>1</sup>מינהל המחקר החקלאי, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, <sup>2</sup>מגדלי דרום יהודה

מרץ 2013

בית דגן



## **טיוב קרקע רנדזינה בהירה בממשק פלחה חרבה ע"י יישום במ"ס ובמס"א, וההשפעה על יכול בקיה-תלתן ועל תכולת היסודות בצמחים**

### **תקציר**

בוצעו שתי תצפיות ב- 2010/11 וב- 2011/12 ביישום במ"ס (בית שמש) ובמס"א (שפד"ן) במחזור גידולים בממשק פלחה חרבה בשטחי משמר-דוד. התצפיות היו בשתי חלקות סמוכות, שתיהן עם קרקע רנדזינה בהירה, דלה ביסודות הזנה ורדודה מאד מעל סלע גיר קרטוני רך. הגידול במחזור בשתי השנים היה תערובת בקיה-תלתן. הבמ"ס מבית-שמש הייתה עם תכולות גבוהות של סידן (כפולה מבמס"א עקב השימוש באבק מחצבות כמלאן), אשלגן, כלוריד, נתרן וגפרית (הבמ"ס גבוהה פי 5 עד 50 מהבמס"א, כנראה בגלל תרומת רפת החלב בצרעה לשפכים).

יישום הבמ"ס והבמס"א הגדיל מאד את היבולים בהשוואה לביקורת ללא זבל גם על רקע של דישון אחיד, ובשנה השנייה הוא היה גבוה יותר בכ-170%. בשתי השנים, יישום הבוצות גרם לתופעות (המובנהקות מבחינה סטטיסטית) להלן: (א) עלייה ריכוז המוליבדן בצמחים; (ב) ירידה בריכוז העופרת, הבריום והנתרן. יישום במס"א (אך לא במ"ס) העלה מאד את ריכוז הליתיום (שמקורו בעיקר באפר המרחף) בצמחים. יישום במ"ס (אך לא במס"א) הפחית מאד את ריכוזי ה- alkaline earth metals (מגנזיום, סידן, סטרונציום, בריום) למרות שניתן היה לצפות דווקא לעלייה בריכוזים, במיוחד של הסידן, שריכוזו בבמ"ס גבוה במיוחד. ההנחה שלנו היא שיסודות אלה ועופרת שקעו כפחמות במהלך הקרבונציה של עודפי הסיד שבוצות אלו הוסיפו לקרקע. הירידה בקליטת נתרן בצמחים בשתי השנים קשורה כנראה לחילוף של נתרן ספוח עם הסידן והדחתו מהקרקע הרדודה בגשמי ראשית העונה. בנוסף לאלו, ריכוזי ארסן וקדמיום בצמחים היו מתחת לסף הרגישות של שיטת המדידה. כספית אמנם לא נבדקה אך ריכוזיה בבוצות היו בלתי מדידים.

לסיכום, יישום במס"א ובמ"ס בממשק פלחה חרבה בקרקע רנדזינה בהירה דלה הגדיל יכולי בקיה-תלתן במידה משמעותית ביותר תוך מניעת הצורך ביישום דשני יסוד. ההשפעה של הבמ"ס על הגידולים נכרה במופע השונה של הגידול גם 5 שנים ויותר לאחר היישום.

### **מטרות**

- (א) בחינת ההשפעה של יישום במ"ס ובמס"א על פוריות קרקע דלה (רנדזינה בהירה) כתחליף לדשן מסחרי;
- (ב) בחינת ההשפעה על יכול עשבי מספוא פרפרניים (תלתן-בקיה) ותכולת יסודות בצמחים.

## שיטות

### תצפית א' – 2011 (במ"ס בית שמש)

בוצעה תצפית בבמ"ס מבית שמש בחלקה "7 פלחה" בשטחי משמר דוד של שותפות חמ"ד, המקיימת מחזור גידולים בממשק פלחה חרבה. באוקטובר 2008 פוזרו בחלקה 5 מ"ק/ד' במ"ס לטיוב קרקע רנדזינה בהירה, שהנה דלה מאד ורדודה מעל סלע גיר קרטוני רך. הרכב הבמ"ס מוצג בטבלה 1. ריבוע בשטח כ-2 דונם במרכז החלקה הושאר כביקורת ללא יישום הזבל. בחורף 2008/2009 נזרעה החלקה בתערובת בקיה-תילתן, בחורף 2009/2010 היא נזרעה בחיטה, ובחורף 2010/2011 היא נזרעה שוב בבקיה-תילתן. לקראת הזריעה הוספו לכל שטח השדה 4 יחידות זרחן (ק"ג  $P_2O_5$ ) בדשן שהכיל גם יחידת חנקן אחת (ק"ג N). בחורף זה המשקעים היו 380 מ"מ.

היה שוני ברור בהתפתחות הצמחים בריבוע לללא במ"ס בהשוואה לכלל השטח שקיבל במ"ס (תמונה 1; התמונה צולמה בפברואר 2013, כשבשטח גדלים שוב בקיה-תילתן). הצמחים בריבוע ומצידי מעליו ומתחתיו נדגמו ב- 21/3/2011 ב-5 אתרים שונים (כעין W בכל אחד מהשטחים), והרכבם נבדק במעבדה. נבדק גם היבול אולם הנתונים אבדו.

### תצפית ב' – 2012 (במס"א מהשפד"ן)

בדיקה דומה בוצעה בעונת 2011/12 בחלקת "טל שחר" בשטחי משמר דוד של שותפות חמ"ד, שיועדה לגידול תערובת בקיה-תלתן. יישום הבמס"א ( מהשפד"ן) היה ב- 8/11/2011 על קרקע רנדזינה-בהירה כנ"ל בממשק פלחה חרבה. הרכב הבמס"א מוצג בטבלה 1. במס"א זאת, שיוצרה בתקופת ההרצה של המתקן, הייתה עשירה יחסית במרכיב הבוצה בהשוואה לבמס"א שיוצרו במהלך 2012. בבמ"ס מבית-שמש היו תכולות גבוהות של סידן (כפולה מבמס"א עקב השימוש באבק מחצבות כמלאן), אשלגן, כלוריד, נתן וגפרית (במ"ס גבוהה פי 5 עד 50 מבמס"א, כנראה בגלל תרומת רפת החלב בצרעה לשפכים). יתר היסודות היו דומים או בהבדלים לא גדולים (בערכם המוחלט).

הגידול בעונת הקודמת (2010/2011) היה חיטה לגרעינים. הקרקע נבדקה לפני העונה, ולפי בדיקות אלו השטח החלקה קיבל 4 יחידות זרחן. שטח התצפית (המזובל וההיקש ללא זיבול) לא דושנו. פיזור הבמס"א היה במזבלת ב-2 טיפולים: 5 מ"ק/ד' ו-15 מ"ק/ד'. כל מינון יושם על 6 ערוגות (רוחב של 12 מטר) באורך 150 מ'. כאמור, הושארה ביקורת בשטח כללי דומה ללא זיבול וללא תוספת דשן זרחני. החומרים הוצנעו בקילטור. זריעה בתערובת בקיה-תילתן הייתה ב-6/12/2011. בחורף זה המשקעים היו 564 מ"מ. בתאריך 15/4/2012 נקצרו 6 דגימות, כל אחת בשטח של 0.5 מ"ר, בשלושת הטיפולים. השטח בכללו לא נקצר באותה שנה ע"י שותפות חמ"ד בגלל היבול הכללי הנמוך.

**טבלה 1:** הרכב הבמ"ס (בית-שמש, 2008) והבמס"א (שפדן, 2011)

מרכיב	יחידות	במס"א (שפד"ן)	במ"ס (בית שמש)
חומר יבש	%	56	60
אפר	%	86	85
TOC	mg/kg	107,389	
IC	- " -	12,253	
TN	- " -	14,363	
OC/ON	Ratio	7.6	
N <sub>Kjeldhal</sub>	- " -	14,092	11,395
N-NH <sub>4</sub>	- " -	177	330
P <sub>Total</sub>	- " -	4,315	4,912
P-PO <sub>4</sub>	- " -	403	
P-PO <sub>4</sub> /P <sub>T</sub>	%	9	
TC	mg/kg	119,642	
pH		12.54	11.87
EC	dS/m	8.5	
Ag	mg/kg	2.2	< 2.0
Al	- " -	19,558	14,319
As	- " -	1.3	< 10.0
B	- " -	57	20
Ba	- " -	163	131
Ca	- " -	102,963	242,602
Cd	- " -	0.4	< 1.0
Cl	- " -	54	2,594
Co	- " -	7.8	4.9
Cr	- " -	50	128
Cu	- " -	55	80
Fe	- " -	23,040	12,073
Hg	- " -	<0.5	< 1.0
K	- " -	1,344	8,540
Li	- " -	37.1	9.9
Mg	- " -	3,026	3,174
Mn	- " -	386	96
Mo	- " -	4.5	6.8
Na	- " -	471	2,331
Ni	- " -	27	71
Pb	- " -	27	56
S	- " -	2,432	16,929
Se	- " -		16
Sn	- " -	8.7	<3.0
Sr	- " -	502	624
Ti	- " -	149	411
V	- " -	50	162
Zn	- " -	206	286

## תוצאות

### תכולת יסודות בצמחי בקיה-תילתן ב-2011

נמצאו הבדלים ניכרים, חלקם מובהקים סטטיסטית, בתכולה של יסודות עיקריים ויסודות קורט מסוימים בצמחים (טבלה 2). כך, ריכוזי Ba, Ca, Co, Mg, Mn, Na, Pb, Sr בטיפול הבוצה בשטח העליון היו נמוכים באופן מובהק סטטיסטית ומשמעותית בהשוואה להיקש ללא במ"ס. לעומת זאת, הבמ"ס הגדיל באופן מובהק את ריכוזי הזרחן, האשלגן והמוליבדן בצמחים. ריכוז החנקן בצמחים לא הגיב לטיפול. מעניין לציין כי העלייה בזמינות הזרחן ביישום במ"ס, בהשוואה ליישום דשן זרחני לפי בדיקות קרקע, מנוגדת לתחזיות הנובעות מההכרה של שקיעת זרחן בקרקעות גיריות (בעיקר בתנאים של pH גבוה יותר ושקיעת קרבונטים). גם העלייה בתכולת האשלגן לא הייתה צפויה לכאורה, בגלל התכולה הנמוכה של אשלגן בבוצות. עם זאת, נראה כי תשומת האשלגן הייתה משמעותית על רקע ההימנעות המתמשכת מדישון באשלגן בתנאים של פלחה חרבה, המצויה על סף הריווחיות (בד"כ, מתחתיו). לעלייה בתכולת מוליבדן בצמחים יש חשיבות מיוחדת בקטניות בגלל המעורבות של יסוד זה באנזימים הקשורים לחיזור חנקן אטמוספירי. עלייה במוליבדן בצמחים נמצאה על ידנו במרבית הניסויים האחרים שביצענו בבוצות ובזבלים אחרים. נמצאה ירידה משמעותית ומובהקת בריכוז העופרת בצמחים בטיפול הבמ"ס.

בטיפול הבמ"ס הייתה ירידה מובהקת בתכולה בצמחים של הקטיונים הדו-ערכיים סידן, מגניזיום סטרונציום ובריום, כולן alkaline earth metals. התופעה שניתן היה לצפות לה היא דווקא עלייה בריכוזיהם בצמחים בגלל תכולתם הגבוהה (במיוחד של הסידן) בבמ"ס. ייתכן כי עודף הסידן בבמ"ס גרם לשקיעה מהירה ומתמשכת של פחמות של יסודות אלה. נראה ששקיעת פחמות גרמה גם לירידה בזמינות העופרת בקרקע. קשורה אולי לריכוזי הסידן הגבוהים שהיו בקרקע היא הירידה בקליטת נתרן בצמחים. לא בדקנו את ריכוזיו בקרקע, אבל ניתן לשער כי הוא נדחק מהקרקע בגשמים הראשונים בגלל חילוף עם הסידן. ירידה מובהקת נמצאה גם בריכוזי המנגן בצמחים, ונראה לנו שתופעה זאת ניתן לקשור (בנוסף להסבר לעיל) גם לעלייה בפעילות של חיידקים מחמצנים (כגון, מחמצני אמוניום) בקרקע, הגורמים לחימצון מהיר של המנגן הדו-ערכי (הזמין לצמח) ולשקיעתו כמנגן מחומצן יותר (כגון, ארבע ערכי).

כאמור, תמונה 1 מראה את מצב השטח בפברואר 2013, 4.5 שנים לאחר פיזור הבמ"ס. הגידול הוא שוב בקיה/תלתן, והריבוע הבהיר בשטח הצמחי הוא החלקה שלא קיבלה במ"ס ב-2008.

**טבלה 2:** תכולת יסודות (מ"ג/ק"ג) בצמחי תלתן+בקיה בתצפית במשמר דוד עם  
במ"ס (5 מ"ק/ד') וללא במ"ס (2010/2011)

יסוד	במ"ס, מעלה השטח (4 חזרות)			במ"ס, מורד השטח (3 חזרות)			ללא במ"ס (7 חזרות)		
	AVG	SEM	T-K HSD	AVG	SEM	T-K HSD	AVG	SEM	T-K HSD
K	16,071	2,119	a	8,956	729	b	6,312	600	b
Mo	2.0	0.1	a	0.5	0.1	b	0.4	0.1	b
P	2,037	208	a	1,601	197	ab	1,529	75	b
Ba	42	6	b	211	23	a	328	32	a
Ca	22,749	1,338	b	30,258	1,484	b	38,378	1,663	a
Co	0.21	0.04	b	0.35	0.03	ab	0.62	0.12	a
Mg	1,973	187	b	2,558	90	a	2,912	92	a
Mn	66	19	b	92	7	ab	119	12	a
Na	10,818	1,690	b	12,626	1,354	ab	16,848	666	a
Pb	0.25	0.06	b	0.44	0.18	ab	1.12	0.20	a
Sr	73	3	c	99	5	b	135	5	a
Al	175	32		229	28		520	172	
B	64	7		58	7		49	3	
Cd	bd			bd			bd		
Cr	4.9	0.8		6.7	1.8		14.2	4.8	
Cu	10.5	0.3		10.7	1.0		10.8	0.3	
Fe	156	24		241	54		417	118	
Li	0.76	0.10		0.54	0.03		0.86	0.11	
N	27,260	3,598		21,975	2,483		24,052	925	
Ni	2.3	0.2		2.5	0.2		3.9	0.8	
S	2,667	249		2,014	201		2,255	61	
Ti	5.1	0.9		6.9	1.1		12.5	3.5	
V	0.57	0.14		0.56	0.07		1.37	0.48	
Zn	40	2		38	4		39	2	

bd, below detection

היבול ותכולת היסודות בצמחי בקיה-תילתן ב-2012

במהלך עונת הגידול 2011/12 בלטה שהצמחים בטיפול הבמס"א היו מפותחים מאוד ביחס לשאר חלקי השדה. בכל יתר החלקה התפתחות הצמחים הייתה ירודה מאד למרות התוספת של 4 יחידות זרחן ביסוד, למרות (ואולי בגלל) כמות המשקעים הגבוהה בעונה זאת. עקב כך, המשק לא קצר את היבול (אלא מסרו לקבלן כמות שהוא). קציר ידני בחלקות הניסוי בוצע ב-15/4/2013, והגידול ביבול בחלקות עם במס"א היה כ-170% בממוצע ביחס ליבול בביקורת ללא במס"א (טבלה 3).

תכולת היסודות בצמחים ב-3 הטיפולים מוצגת בטבלה 4. שוב, הייתה עלייה מובהקת ביותר בריכוז המוליבדן בצמחים בטיפול הבמס"א, בדומה להשפעת הבמס"ס על צמחי השנה הקודמת. חזרה שוב הירידה המובהקת בריכוז העופרת בצמחים בטיפול הבמס"א,

**טבלה 3 :** יבול חומר יבש בקיה ותילתן בטיפולים השונים ב 2012.

יבול חומר יבש (גר'מ"ר)	
103 b	בקורת
267 a	במס"א שפד"ן 5 מ"קד'
287 a	במס"א שפד"ן 15 מ"קד'
0.0001	ערך P

והריכוזים פחתו עם העלייה בעומס הבמס"א. חזרה על עצמה גם התופעה שריכוזי בריום (אך לא יתר היסודות האלקליניים-עפרוריים) ונתרן בצמחי הביקורת היו גבוהים מאשר בצמחי הבמס"א. אולי מאותן סיבות שציינו לעיל. יישום במס"א (אך לא במ"ס) העלה מאד את ריכוז הליתיום בצמחים, כנראה בהתאמה לריכוזו הגבוה בבמס"א (טבלה 1). אולם הבמס"א הפחיתה את ריכוזי האבץ והגפרית בצמחים, תופעות שלא קרו בשנה הקודמת בנוכחות במ"ס. ההפחתה בריכוז האבץ לא הייתה גדולה (כ-18%) אבל היא הייתה מובהקת. לא ברור גם הגורם להפחתה בתכולת הגפרית, מה גם שבשנה הקודמת, בה לזיבול לא הייתה השפעה על יסוד זה, התכולה בזבל הייתה גבוהה פי 6 > .

**טבלה 4:** תכולת יסודות (מ"ג/ק"ג) צמחי תלתן+בקיה במשמר דוד (חלקת טל-שחר) עם במס"א במינון 5 מ"ק/ד' ו-15 מ"ק/ד' וללא במס"א (עונת 2011/2012)

יסוד	ביקורת				5 מ"ק במס"א				15 מ"ק במס"א				p
	Avg	SEM	TK HSD	Students' t	Avg	SEM	TK HSD	Students' t	Avg	SEM	TK HSD	Students' t	
Al	281	37			237	73			180	14			
B	42	4			52	10			45	7			
Ba	207	17	a	a	163	13	ab	b	139	9	b	b	0.0097
Ca	32,279	1,857			30,789	2,388			34,011	1,456			
Cd	0.055	0.005			0.063	0.013			0.046	0.004			
Co	0.27	0.04			0.32	0.04			0.27	0.06			
Cr	1.1	0.1			1.1	0.4			0.6	0.1			
Cu	8.4	0.5			8.0	0.3			7.5	0.6			
Fe	260	30			220	55			182	11			
K	8,712	919			8,103	1,034			11,201	1,639			
Li	0.39	0.03	b	b	0.51	0.06	b	b	0.68	0.04	a	a	0.0014
Mg	3,405	125			3,620	212			3,262	178			
Mn	37	5			37	5			30	6			
Mo	0.47	0.02	c		2.35	0.07	b		3.73	0.57	a		<.0001
N	16,987	1,389			16,642	2,252			18,137	1,326			
Na	9,943	589	a	a	8,373	182	a	b	6,319	455	b	c	0.0001
Ni	1.2	0.1			1.3	0.2			1.0	0.1			
P	1,988	278			2,132	419			2,053	180			
Pb	0.26	0.04		a	0.17	0.05		ab	0.13	0.03		b	0.0835
S	4,183	253	a	a	2,972	270	b	b	3,597	202	ab	ab	0.011
Sr	91	2			94	7			109	6			0.0726
Ti	5.3	0.8			4.1	1.2			3.2	0.2			
V	0.68	0.09			0.57	0.18			0.43	0.04			
Zn	47	2	a	a	38	2	b	b	39	2	b	b	0.017

תמונה 1: משמר דוד, קרקע רנדזינה בהירה רדודה מאד במדרון מזרחי מדרום למצבה בכניסה למשמר דוד. בשדה פוזרו 5 מ"ק/ד' במ"ס מבית-שמש באוקטובר 2008, למעט ריבוע ביקורת שלא פוזרה בו בוצה. מאז דושן כל השטח באופן אחיד. השטח זרוע בתערובת תלתן/בקיה. בתמונות (צולמו בראשית פברואר 2013) נראית בבירור המשבצת שלא קיבלה בוצה לפני 5 שנים – חיוורת וצמחים ירודים לעומת שאר השטח.

