



# שימושי אפר פחם בחקלאות

## סקירת מחקרים ועבודות בהיגוי צוות מקצועי – מדעי (חקלאות)<sup>1</sup> מנהלת אפר הפחם

אוקטובר 2016

הוכן בסיוע  
פרופ' אורי מינגלגרין

---

<sup>1</sup> חברים בצוות לדורותיו ושותפים בדיוניו: אריה בוסק, דר' מנחם בן-חור, דר' ישעיהו בראור, יועץ דויטש, אינג' דוד ויינברג, דר' אבנר זילבר, דר' נדיה טויטש, פרופ' אורי מינגלגרין, דר' אריאל מצגר, אילן נסים, דר' יעקב נתן ז"ל, דר' פנחס פיין, דר' אילן צדיקוב, דר' שי רייכר, פרופ' רמי קרן ז"ל, גיא רשף.



**סקירת מחקרים ועבודות  
 אוקטובר 2016  
 שימושי אפר פחם בחקלאות**

**תוכן עניינים**

עמ'

1	<i>הקדמה</i>
	<b>מצע לגידול צמחים</b>
1	❖ אפיון כימי ופיסיקלי של האפר ופיתוח השימוש בו כמצע גידול – פרופ' יונה חן, צילה אביעד, אורי מגדל
	<i>אפיון אפר התחתית (אפ"ת) כמצע גידול והיבט סביבתי-בריאותי של היישום</i>
2	❖ קליטת מתכות ורדיונוקלידים בגידולים – פרופ' יונה חן, גוסטבו חקין
2	❖ אישור ליישום – שירות המזון, המשרד להגנת הסביבה
	<i>בחינת היישום במגוון גידולים</i>
3	❖ ניסויים בחממה אקולוגית עין שמר עם גידולים שונים – ענבל הגלעדי
3	❖ עירית במו"פ בקעת בית שאן – רוחי רבינוביץ', אריה יצחק, ציון דקן
4	❖ פלפל במו"פ בקעת הירדן – אפרים ציפלבץ', זיוה גלעד, דויד סילברמן, אחיעם מאיר
4	❖ ענבי יין בכרם שדה בוקר – פרופ' יונה חן, צילה אביעד
4	❖ עגבניות שרי במשק מודל מושב קדש ברנע – עמית ורד, יובל קיי
	<b>רפד לבעלי חיים</b>
	<i>היבט סביבתי-בריאותי של השימוש באפ"ת כרפד לבע"ח</i>
5	❖ מתכות בתשטיפים מהרפד – פרופ' רמי קרן, פרופ' אורי מינגלגרין, דר' פנחס פיין, דר' ישראל ברוקנטל
5	❖ רדיונוקלידים בחלב פרות – גוסטבו חקין
5	❖ מתכות בפרות ופטמים – דר' ישראל ברוקנטל, פרופ' רמי קרן ולודמילה צחנסקי
6	❖ מזהמים אורגניים בחלב פרות, מזון פרות ורפד האפר – דר' גיל כץ
	<b>שיפור תכונות של קרקעות חקלאיות בעזרת אפר מרחף</b>
6	<i>סקירת ספרות – פרופ' אורי מינגלגרין</i>
	<i>מחקר מעבדתי לבחינת יתרונות היישום בהיבטים שונים – שי ברטל, פרופ' אורי מינגלגרין, דר' פנחס פיין, פרופ' רמי קרן:</i>
7	❖ היווצרות קרום בקרקעות לס
7	❖ שיפור תאחיזת מים בקרקעות חוליות
8	❖ מניעת סידוק בקרקעות כבדות
	<i>בחינת ההיבטים בשדה והשפעה על היבול והגידולים – דר' פנחס פיין, פרופ' אורי מינגלגרין, אריה בוסק, שי ברטל, אנה בריוזקין, שושי סוריאנו, ניר עצמון, יוסי משה, יוסי</i>



**סקירת מחקרים ועבודות  
אוקטובר 2016  
שימושי אפר פחם בחקלאות**

בר :

- 9 ❖ צמצום איבוד מים בלס בהתאדות בנטיעות בלס בנגב
- 10 ❖ שיפור תאחיזת מים בכתמי חול סמוך למושב בני דרום
- 10 ❖ מעקב אחר תכונות הקרקע וסידוק בקרקעות כבדות ברבדים
- ייצוב בוצת שפכים בעזרת אפר מרחף ויישומה בחקלאות (חוקר ראשי דר' פנחס פיין)**
- 12 **שלב מחקר מעבדתי – דר' פנחס פיין, פרופ' אורי מינגלגרין, אריה בוסק, רבקה רוזנברג, אנה בריוזקין, שושי סוריאנו, אילן דרור**  
**ניסויי שדה**
- 13 ❖ גידול חיטה בקרקע חרסיתית ברבדים
- 14 ❖ שיפור תאחיזת מים בכתמי חול בשדה בבני דרום
- 14 ❖ טיוב קרקע חרסית-נתרנית ברבדים
- אופטימיזציה של השימוש בבמס"א ובזבלים אחרים בגד"ש**
- 15 ❖ גידול תירס למספוא ברבדים
- 16 ❖ גידול חסה בליזימטרים ברבדים ומכון וולקני
- 16 ❖ גידול תלתן-בקיה (פלחה) במשמר דוד
- 17 ❖ גידול תפוז"א במו"פ דרום-חוות בשור (ניסוי הדברת מחלות שוכנות קרקע)



**סקירת מחקרים ועבודות  
אוקטובר 2016  
שימושי אפר פחם בחקלאות**

**הקדמה**

השימוש באפר פחם לייעודים חקלאיים ידוע ומיושם בעולם מזה שנים רבות. בארץ נבחן האפר במספר שימושים חקלאיים: (1) טיוב ודישון קרקעות חקלאיות הן בבתי גידול (מחקר ופיתוח ייחודי ברמה עולמית של המחלקה לקרקע ומים בפקולטה לחקלאות באוניברסיטה העברית מאז סוף שנות השמונים בניצול המקטע הגס של אפר התחתית כמצע גידול צמחים איכותי, זמין וזול) והן בשדה הפתוח (מחקר של המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה במרכז וולקני לחקר החקלאות שהחל ב- 2005 במסגרת ייצוב בוצת שפכים ע"י אפר מרחף וסיד); שימוש זה מסתמך על המאפיינים הכימיים (למשל נוכחות יסודות הזנה לגידולים) והפיזיקליים (למשל המבנה הנקבובי של אפר התחתית המגדילה את תאחיזת מים ואת האוורור בבית השורשים); (2) שיפור מבני של קרקעות כתוצאה מהפעילות הפוצולנית של האפר המרחף (מתחילת העשור הקודם באמצעות המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה); ו- (3) רפד לבעלי חיים - בקר ועופות (מחקר של המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, המחלקה לעופות בפקולטה לחקלאות ושירות ההדרכה והמקצוע במשרד החקלאות). השימוש באפר לטיוב קרקע מההיבט הכימי-פיזיקלי הוכח כיעיל אולם טרם נכנס לשימוש בהיקף מסחרי. לעומת זאת, השימוש באפר תחתית (מנופה) בתערובת עם קומפוסט כמצע לגידול צמחים מיושם מזה למעלה מעשר שנים ומשמש בעיקר חממות בדרום הארץ, כמו גם אפר תחתית דק (קטן מ- 2 מ"מ) המשמש כמצע רביצה לפרות ברפתות ברחבי הארץ.

**מצע לגידול צמחים**

צמחי תרבות – ירקות ופרחים – מגדלים בישראל, כבמקומות אחרים בעולם, על גבי מצעים מנותקים מן הקרקע המקומית או כאלה המחליפים את הקרקע, בבתי גידול (חממות, סככות רשת) או בשדה הפתוח. מצעים אלה מיוצרים בתהליכים תעשייתיים ומורכבים מתערובות של חומרים אורגניים (למשל קומפוסט) וחומרים אחרים, איאורגניים ואורגניים המיועדים ליצור מדיום גידול מתאים למערכת השורשים, במטרה לאפשר לצמח תנאים אופטימליים לגידולו ולהשאת יבולים באמצעות שליטה בתכונות המצע ובתנאי הסביבה השוררים בו תוך שימוש במשטר השקיה יעיל וחסכוני.

קבוצת מחקר בראשות פרופ' יונה חן וצילה אביעד מהמחלקה לקרקע ומים בפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, בחנה את **השימוש באפ"ת גס כמצע לגידול צמחים במסגרת מחקרים שהחלו ב- 1998 וסוכמו בדו"ח מ- 2003**, ולאחר מכן בעבודת מוסמך מ- 2006 של אורי מגדל מהפקולטה לחקלאות. בדו"ח הסיכום מ- 2003 פורט ההליך המעבדתי לבחינת השימוש: אפיון כימי (pH, מוליכות חשמלית, יסודות מיקרו ומקרו בתמיסת מיצוי המצע ביחס מוצק:מים 1 ל- 5) ופיזיקלי (צפיפות, נקבוביות, תאחיזת מים ומוליכות הידראולית ברוייה), של מספר מצעים: מצע המורכב מ- 70% אפ"ת מנופה לגודל גרגר עיקרי של 2 – 9 מ"מ ("מצעית") ו- 30%



**סקירת מחקרים ועבודות  
 אוקטובר 2016  
 שימושי אפר פחם בחקלאות**

קומפוסט בהשוואה למצע מקביל המכיל אפי"ת מנופה לג"ג קטן מ- 2 מ"מ ("ריפודית") ומצע המכיל טוף במקום אפר באותם מקטעי גודל, וכן מצעים המכילים אפר/טוף בלבד, ובדיקת התאמת המצעים השונים לגידולי בוחן בזיל וכרוב סיני (בדו"ח קודם מ- 1998 נבחנו עגבניות שרי בפרוצדורת בדיקה דומה). מכלול הבדיקות והניסויים שבוצעו באפר הממוין מצביעים על דמיון בין מצע אפר עם קומפוסט לבין מצע של טוף עם קומפוסט, הן מבחינת האפיון הכימי-פיזיקלי והן מבחינת היבולים שהתקבלו על כל מצע ומוכיחים כי האפר יכול להוות מרכיב איאורגני מתאים במצע גידול בתערובת עם קומפוסט. עם זאת, לא מומלץ להשתמש באפר כמרכיב יחיד במצע הגידול עקב כושר הבופר הגדול שלו לערך הגבה גבוה. שילוב הקומפוסט ממתן את עליית ה-pH, וכן תורם חומרים אורגניים מסיסים המשפרים את הזנת הצמח, משפר את זמינות הזרחן והאשלגן לצמח (יסודות אלו שוקעים או מתקבעים מתוך מי ההשקיה לטוף/אפר אליהם היסודות מוספים), משפר את תאחיזת המים (בתוספת קומפוסט בשיעור 30% למצע) ומקטין במעט את המוליכות ההידראולית ברווייה. מאידך המוליכות החשמלית (מדד למליחות) נמוכה יותר באפר/טוף לעומת הקומפוסט ולכן יש לבצע שטיפה מוקדמת במים להרחקת עודפי המלח ולמנוע נזקי המלחה, למרות שבמהלך השטיפה יישטפו החוצה גם יסודות הזנה, כך שבהמשך הגידול יהיה צורך להוסיף ע"י דישון. מסמך אורי מגדל ב- 2006 מאשש את היתכנות השימוש באפר תחתית כמצע גידול לצמחים ומוכיח את הצלחת השימוש, לאור היבול הדומה של צמחים שגודלו באפר ובטוף ויתרון האפר על פני הטוף במחירו הנמוך וכתחליף לכריית מחצבים מתכלים שכרייתם פוגעת בנוף.

המחקרים הנ"ל הובילו לפיתוח ייחודי של אפי"ת מנופה גס (המטרה בניפוי היא לקבל פרקציית גודל של 2 – 8 מ"מ אולם בפועל האפר המנופה מכיל גם חלקיקים דקים מתחת ל- 2 מ"מ, כך שהפרקציה האמיתית היא 0 – 8 מ"מ) בערבוב עם קומפוסט, המהווה מצע איכותי לגידול ירקות, צמחי נוי ופרחים, ובעל תכונות המתאימות לצמח: יחס אוויר:מים רצוי, מוליכות ותאחיזה של מים בשיעורים נכונים, ניקיון ממחלות ועשבי בר, ויציבות במרקם המצע.

**בהיבט הסביבתי-בריאותי נבדקה בין 1999 – 2006 קליטת מתכות כבדות (פרופ' יונה חן) ויסודות רדיואקטיביים  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ו-  $^{40}\text{K}$  (גוסטבו חקין, ממ"ג-שורק) במגוון גידולים** (עגבניות- רגילות ושרי, פלפל, מלון, עירית, מלפפון, תות שדה, חסה, בזיל, כרוב סיני ומנגו). בכל הבדיקות נמדדו ריכוזים נמוכים מאד, בחלקם נמוכים מסף הרגישות של מכשירי המדידה, דומים או נמוכים מאלו שנמצאו בצמחים שגדלו במצע טוף והעומדים בדרישות בריאות הציבור. בנוסף, ריכוזי מרבית המתכות שנבדקו במי נקז מהמצעים היו מתחת לסף גילוי המכשיר וכולם היו נמוכים מתקן מי שתייה. בהתבסס על מחקרים שהוכיחו כי אפר תחתית עומד בהגדרת חומר אינרטי על פי הקריטריונים של האיחוד האירופי, דהיינו אינו משחרר כמות משמעותית של מזהמים העלולים לפגוע באיכות מי תהום המיועדים לשתיה, ניתן ב- 2002 **אישור רשות המים** לשימוש באפי"ת כמצע חקלאי. בהתבסס על בדיקות מתכות ורדיונוקלידים בצמחים ניתן ב- 2006



## סקירת מחקרים ועבודות אוקטובר 2016 שימושי אפר פחם בחקלאות

**אישור שירות המזון** לצריכת צמחים אכילים חד שנתיים שגדלו על מצע אפי"ת. להשלמת בחינת ההיבטים הסביבתיים התבצעה הערכה של סיכוני חשיפת בני אדם השוהים בסביבת חממה המכילה מצעי אפר וטוף עם קומפוסט לקרינה ולאבק ונמצא כי סיכונים אלה זניחים: בתחום הקרינה- תוספת החשיפה לקרינה בקרב עובדי החממה נמוכה בפקטור 5 – 10 מחסם המנה של ה- ICRP (דר' ז'אן קוך, ממ"ג-שורק, 2002); בתחום האבק- אפי"ת הוא חומר אינרטי שהאבק הנוצר ממנו הוא אבק מטריד (דר' אשר פרדו, יועץ גהות תעסוקתית וסביבתית, 2005). בהתבסס על ממצאי המחקרים וההערכות הסביבתיות-בריאותיות הנגזרות מהם ניתן ב- 2007 **אישור המשרד להגנת הסביבה** לשימוש באפי"ת כמצע לגידול צמחים עונתיים ולגינן.

המחקרים הנ"ל שימשו כבסיס לעבודות נוספות במסגרתן נבדקה התאמת ה- "מצעית" למגוון רחב של גידולים בחממות ובבתי גידול במרכזי מו"פ חקלאיים: גידול עירית (מו"פ בקעת בית שאן), פלפל (מו"פ בקעת הירדן), בחלקות מסחריות אחדות בערבה, בבקעה, בבשור ובהר הנגב, במגוון גידולים (מלון, פלפל, מלפפון, עגבניית שרי, מגנו ועוד) וכן בחממה האקולוגית עין שמר.

**בחממה האקולוגית עין שמר** המשמשת אכסניה לעבודות מחקר ולימודים של תלמידי תיכון בהנחיית חוקרים שונים בהם גם פרופ' יונה חן וצוותו מהפקולטה לחקלאות ובפיקוח ענבל הגלעדי מצד החממה, מנהלת אפר הפחם בחנה מהיבטים שונים (צמיחה, קליטת מינרלים, מתכות כבדות ורדיונוקלידים בצמח, מוליכות חשמלית ורמת ה-pH) את התאמת השימוש באפר פחם תחתית לגידולים שונים: (1) טרגון על מצעי גידול באחוזים שונים של אפר תחתית (ריפודית ומצעית) עם קומפוסטים שונים (**מנאל חוסיין עתאמנה, 2006**; **מונה עתאמנה, 2007**)- נמצא שהמצע המיטבי לגידול מורכב מ- 70% אפר ו- 30% קומפוסט; (2) חסה על מצע אפר/טוף כמרכיב יחיד או עם קומפוסט (30%) בוצת שפכים (בני אדם) או בוצת מפרדה (בע"ח)- נמצא יתרון למצע אפר עם קומפוסט מבחינת הצימוח; (3) כלניות על מצע אפר לעומת טוף, עם וללא קומפוסט (30%) (**אסף וירגיליס, 2009**)- במספר מדדי צמיחה (גובה, קוטר פרח, אורך חיי מדף) היה יתרון למצע האפר עם הקומפוסט ובמדדים אחרים (מספר עלים ופרחים) יתרון לטוף. בשיקול כל התוצאות היה יתרון למצע הטוף עם קומפוסט, אך הוסק כי עדיין ניתן להשתמש במצע האפר עם קומפוסט ולהגיע לתוצאות טובות. כמו כן, בוצעה עבודה **בכפר סילבר** שבחנה כרוב לבן על מצע המכיל מצעית מול טוף (**טוהר טויטו ועדן קלוג, 2007**)- במגבלת היקף הניסוי המצומצם מצע האפר לא היה נחות מהטוף ואף טוב ממנו.

**בניסוי שבוצע במו"פ בקעת בית שאן בניהול רוחי רבינוביץ' וסוכס ב- 2007** נבחן גידול עירית על מצע אפר/טוף בשני מדדים: השפעה על היבול וקליטת מתכות כבדות ורדיונוקלידים בצמח בכל מצע. במדד הראשון לא נמצא שיש לסוג המצע השפעה על כמות היבול ואיכותו; במדד השני התוצאות היו דומות עבור הצמח שגדל על שני המצעים ובכל מקרה היה ריכוז היסודות שנבדקו מתחת לסף המותר.



**סקירת מחקרים ועבודות  
 אוקטובר 2016  
 שימושי אפר פחם בחקלאות**

**ניסוי לבחינת השפעת סוג המצע וצורת המארוז על יבול ואיכות פלפל חממה מזן סיליקה במו"פ בקעת הירדן, בוצע ע"י אפרים ציפליביץ' וקבוצתו ב- 2006 – 2011.** נבדקו בעונה הראשונה (2006/7) שלושה סוגי מצעים מנותקים במארוזים שונים: פרלייט בכריות גידול (אריזה חדשנית בשרוולי אריג) וקלקר, עם וללא 25% חומר אורגני (קומפוסט זבל מפרדה); תערובת אפ"ת ו- 25% חומר אורגני בכריות גידול וקלקר (המארוז הרגיל); ומצע טוף בקלקר. היבול הכללי (לייצוא ושוק מקומי) הגבוה ביותר התקבל בטיפול של האפר (11 טון/ד') ובאופן מובהק סטטיסטית יותר מהיבול במצע הטוף בקלקרים (8.3 טון/ד'), ודומה ליבול במצע הפרלייט (10 טון/ד'). באופן כללי נמצא שגידול במארוז שרוולים מניב יבול גבוה ואיכותי יותר ביחס ליבול במארוז הקלקר, ייתכן בשל ניקוז משופר בגידול בשרוולים המאפשר אוורור טוב יותר של בית השורשים. בעונה השנייה ואילך (סה"כ 5 עונות) נבדקו טיפולי אפר עם חומר אורגני ופרלייט עם וללא חומר אורגני במארוז שרוולים בלבד, למול טיפול ביקורת של טוף בקלקר. לא נמצא הבדל מובהק בסה"כ היבול שהתקבל בטיפול האפר והפרלייט ובסיכום כל שנות הניסוי לא קיים הבדל ברור בין המצעים ולמעשה התוצאות היו טובות בכלם, להוציא יתרון מובהק למצע האפר והפרלייט על פני הטוף בעונת 2010/11 (8.6 – 9.5 טון/ד' לעומת 7.9 טון/ד').

**ניסוי לבחינת התאמת מצעית (עם קומפוסט מפרדה) להשבחת קרקע לגידול גפן בכרם יין של שדה בוקר, בוצע ב- 2008-2009 ע"י פרופ' יונה חן וצילה אביעד מהמחלקה לקרקע ומים בפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, וממצאיו סוכמו בדוחות משנת 2009 ו- 2011.** בקרקע המאופיינת כלס והיא בעלת מליחות גבוהה ומוליכות מים נמוכה יחסית, נבדק האם המצע, הידוע כמשפר את מוליכות המים ויחס אוויר/מים בבית השורשים, מביא בתנאים המקומיים לשיפור בקליטת המים בצמחים (וע"י כך גם לחיסכון במים להשקיה), מאחר ובתנאי ההשקיה הקיימים (טפטוף) חלק ניכר מהמים, המשמשים גם להזנה, אינם מחלחלים לקרקע ומתאדים בתנאי האקלים היבש השורר באזור. מעבר לבדיקות הרגילות (אפיון קרקע ומצע, כימיה של מי ההשקיה והנקז ויסודות בעלים), בוצע מעקב אחר רטיבות והתפתחות השורשים במצע ושקילת הפרי בגפני המצע בהשוואה לביקורת. ממצאים ראשוניים הראו כי האפר מצמצם את התאדות המים ומסייע בהתפתחות מערכת שורשים עשירה במצע. בהיבט הבריאותי לא נתגלתה חריגה בריכוזי מתכות שנמדדו בענבים מגפנים שגדלו על מצע האפר מערכי הסף של שרות המזון.

**ניסוי לבחינת התאמת מצעית לגידול עגבניות שרי בתעלות הזנה פתוחות בחממות משק מודל בקדש ברנע** בהשוואה למצעי גידול מסחריים אחרים (טוף, פרלייט) ולחול המקומי (ביקורת). בוצע ניסוי הכולל מעקב שבועי של פרמטרים כימיים שונים (חנקן, אשלגן, מוליכות חשמלית, pH) ושל איכות ומשקל היבול, בשנים 2008 – 2010, ע"י הדוקטורנט יובל קיי ובעל המשק עמית ורד, ובהנחיית פרופ' יונה חן. כן נבחנו השפעת מצע מנותק (גידול בדליים ושקים) ולא מנותק (תעלות) על הגידול. בבחינת היבול שהתקבל במצעים השונים מצע האפר לא נפל מהמצעים המסחריים



**סקירת מחקרים ועבודות  
אוקטובר 2016  
שימושי אפר פחם בחקלאות**

ואף הראה יתרון קל. בנוסף, היבול בתעלות ההזנה שהכילו אפר וטוף היה גבוה מהיבול במצעים המנותקים.

**רפד לבעלי חיים**

אפר פחם תחתית דק (מתחת ל- 2 מ"מ) המתקבל כשארית מניפוי החלקיקים הגסים מתאים לשמש כרפד לבעלי חיים כפרות, כבשים ועופות ("ריפודית"), והוא מספק את היתרונות הבאים למגדל: מרפץ יבש וספיגת נוזלים מההפרשות ונידופם; מצע נוח ונעים לרווחת בעלי החיים; מזעור קצב צמיחת חיידקים; מניעת אבק ומטרדי ריחות רעים, טפילים וזבובים. העבודות שבוצעו בארץ לבחינת השפעת הריפודית התמקדו בעיקר בפן הסביבתי-בריאותי.

**בבדיקת זבל פרות מעורב באפר פחם תחתית שימש כרפד במרפץ רפת בקיבוץ שער העמקים משנת 2000**, אשר בוצעה ע"י פרופ' רמי קרן ועמיתיו מהמכון למדעי הקרקע, המים והסביבה במרכז וולקני, נמצא כי ריכוזי כל מתכות הקורט בתשטיפים היו נמוכים באופן משמעותי מריכוזי הסף המומלצים לאיסור השימוש במי קולחים להשקיה מעל אקוויפר החוף, למעט בורון (4.5 מ"ג/ליטר בתשטיפ תערובת האפר עם הזבל לעומת 0.1 מ"ג/ליטר בתשטיפ האפר בלבד), שרובו נתרם מהפרשות הפרה העשירות ביסוד זה. בבדיקות יסודות מקרו ומיקרו בחלב פרות שהוחזקו במתחם סגור בו פוזר רפד האפר ובחצר ללא טיפול (ביקורת) למשך 10 ימים, הראו שלאפר לא הייתה השפעה על ריכוז היסודות שנבדקו בחלב.

**בבדיקות שנעשו בהנחיית שירות המזון במשרד הבריאות, נמדדו ריכוזי יסודות רדיואקטיביים בחלב פרות** ע"י גוסטבו חקין מממ"ג-שורק, ו**ריכוזי יסודות קורט בחלב ורקמות של פרות ותרנגולות שרבצו על מצע אפר הפחם** ע"י דר' ישראל ברוקנטל מהמכון למדעי בעלי החיים, מרכז וולקני. ריכוזי יסודות הקורט שהתקבלו נמוכים מהערכים המרביים המותרים על פי דרישות רשות המזון במשרד הבריאות, והם דומים לריכוזים שהתקבלו בתוצרים שפורטו לעיל, אך שגודלו על מצעים נטולי אפר. בדומה, לא נמצא הבדל בריכוזי היסודות הר"א בין חלב שהופק מפרות שרבצו על האפר לפרות שרבצו על מצע מקובל. יתר על כן, ריכוזי  $^{226}\text{Ra}$  ו- $^{232}\text{Th}$  לא היו ברי מדידה. כמו כן, נבדקו ע"י פרופ' קרן ולודמילה צ'חנסקי **ריכוזי יסודות קורט בתשטיפים מזבל עופות המעורב באפר פחם תחתית שימש כרפד לעופות בהשוואה לרפד רגיל של נסורת עץ**. הממצאים סוכמו בדו"ח מ- 2004 ולפיהם נמצא כי הריכוזים של חלק מהיסודות (קדמיום ומוליבדן) היו מתחת לסף הגילוי של המכשיר (בשני סוגי הרפד), וחלקם (אבץ ומנגן) היו נמוכים ברפד האפר מאלה שהתקבלו מהרפד הנסורת. השימוש באפר תחתית כרפד לבעלי חיים אושר ע"י המשרד להגנת הסביבה. לבקשת שירות המזון, ממשיכה מנהלת אפר הפחם בבדיקת ריכוזי מזהמים ברקמות בעלי חיים ששהו על רפד אפר פחם לצורך בחינת השפעת הרפד על הצטברות מזהמים בתוצרים האכילים של בעלי החיים בטווח ארוך.





## סקירת מחקרים ועבודות אוקטובר 2016 שימושי אפר פחם בחקלאות

במסגרת ניסויים המתנהלים בהנחיית דר' ישראל יוסלביץ' מהמחלקה לעופות בשה"מ, נבחן ב-2007 ניצול אפר התחתית כתחליף לרפד הנסורת הרגיל בלול פטם ניסיוני בקיבוץ גזית, ובלולים מסחריים בשבי ציון (פטם) ובמולדת (רבייה כבדה) וכן בלול מטילות במושב בוסתן הגליל. בלול הפטם התקבלו עד כה תוצאות טובות במונחי תפוקה, בריאות ומזיקים, אף כי התגלו בעיות אחדות בהסתגלות האפרוחים בימיהם הראשונים ובהתרוממות אבק במחצית הראשונה של מחזור הפטם. בלול המטילות התקבלו תוצאות שעל פיהן האפר תורם להקטנת חלחול המזהמים לקרקע, לעלייה בספיגת הנוזלים ולהפחתת ריכוזי הניטרטים והכלורידים בלשלת (הפרשות העופות). בלול הרבייה רפד האפר הוכיח יכולת ספיחה טובה יותר בכ- 20% למזהמים שנבדקו. מאידך, לא חל שינוי משמעותי ברטיבות, המייצגת את היכולת לספוח את נוזלי העופות, וכן במספר הטלות הביצים, בין רפד האפר לנסורת.

מזהמים אורגניים נבדקו ע"י דר' גיל כץ, KTE, בחלב פרות הרובצות על מצע אפר תחתית ומצע רגיל, במזון הפרות וברפד האפר. מהממצאים עולה כי ריכוז המזהמים בחלב על שני מקורותיו, אינו חורג מהתכולה המותרת בתקן המחמיר האירופאי ומכאן שאין סכנה בצריכתו. עוד עולה מהשוואה בין פרופיל המזהמים בחלב לזה במזון הפרות ובאפר המצע, שמקור סביר למזהמים בחלב הוא מן המזון המסופק לפרות ולא מאפר הפחם.

## שיפור תכונות של קרקעות חקלאיות בעזרת אפר מרחף

ניצול אפר פחם מרחף להשבת קרקעות המשמשות לחקלאות ידוע ונפוץ בעולם ומתועד בפרסומים מדעיים ויישומיים לרוב. היעודים המקומיים מתמקדים ביישומים התורמים ישירות לגידול, למשל על ידי שיפור מבנה הקרקע או בתרומת יסודות מזון; בשימור הפוריות העתידית של הקרקע, למשל ע"י מניעת סחף; או בהחלפת תוספים או פעילות חקלאית אחרת תוך חסכון בעלויות או מניעת פגיעה סביבתית, למשל, בהקטנת השימוש בחומרי הדברה. כל זאת תוך שמירת מאזן חיובי של עלות- תועלת הן מההיבט הכלכלי והן מההיבט הסביבתי.

בחינת היישום בארץ החלה ב- 2003, במסגרת תכנית מחקר המתבססת על סקירת ספרות מקדימה ע"י פרופ' אורי מינגלגרין מן המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני לחקר החקלאות, ממנה נגזרו כיווני הפיתוח הבאים:

- מניעת היווצרות קרום בקרקעות לס שהן חסרות מבנה ונוטות ליצור קרומים המונעים חידור מים ונסדקים בהתייבשות. עקב כך הקרקעות גם רגישות לזקי סחף ונגר. נבחן האם הוספת האפר משפרת את מבנה הקרקע (יצירת תלכידים) ומצמצמת ואף מונעת את התופעות לעיל ומשפרת את חידור המים לקרקע.



**סקירת מחקרים ועבודות  
אוקטובר 2016  
שימושי אפר פחם בחקלאות**

- הגדלת פוריות קרקעות חוליות על ידי שיפור תאחיזת המים שלהן (יכולת הקרקע להכיל מים בנקבובים) באמצעות יצירת תלכידים, בין השאר כתוצאה מפוצולניות האפר והקטנת גודל הנקבובים.
- מניעת סידוק בקרקעות כבדות עתירות נתרן, הנגרם עקב תפיחה בהרטבה והתכווצות בהתייבשות תוך יצירת סדקים, כאשר הוספת האפר נועדה להפחית את התפיחה בעת ההרטבה ולפיכך גם את התכווצות וסידוק במהלך ההתייבשות.

**שלב א' של המחקר** בוצע במסגרת עבודה של שי ברטל לקבלת תואר מוסמך בהנחיית פרופ' אורי מינגלגרין, דר' פנחס פיין ופרופ' רמי קרן מהמכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני. העבודה כללה [שלב סינון מעבדתי שבוצע בשנים 2005-2006](#) וסוכמה ב- [2008](#). להלן הממצאים:

- **היווצרות קרום בקרקעות לס** – הקרום נוצר בשני תהליכים: (1) עקב פירוק גושי הקרקע בפגיעת מי גשם; (2) עקב דיספרסיה כימית של מקטע החרסית במי הגשם הדלים במומסים שמגדילה את ניידות החרסית, שבחלקה נשטפת לעומק הקרקע ובחלקה נותרת בתרחיף על פני הקרקע ויוצרת לאחר הייבוש קרום צפוף. כדי לבחון את השפעת האפר על היווצרות הקרום, הוספו לקרקע אחוזים שונים של אפר (0, 8, 10, 12, 15) ובוצעה מדידה של קצב חידור מים לקרקע במדמה גשם ומדידה ספקטראלית של החזר הקרינה מקרום הקרקע באמצעותה ניתן להעריך את ריכוז החרסית בקרום הקרקע וע"י כך להעריך את חוזק הקרום הנוצר. החזר קרינה גבוה מעיד על הימצאות משמעותית של קרום. נמדדה גם כמות הסחף מהקרקע במהירות רוח שונות ובאחוזי אפר של 8 ו-15 אחוז בקרקע כנגד ביקורת ללא אפר. בבדיקת שלושת המדדים הוכח שתוספת אפר מעכבת את היווצרות הקרום וע"י כך משפרת את קצב חידור המים עד כדי הכפלתו בתוספת אפר השקולה ל-10 טון לדונם קרקע (כ-15 אחוז אפר), וכן להחלשת חוזק התאחיזה בין חלקיקי החרסית ועימה ההתנגדות לסחיפה על הרוח, כפי שבא לידי ביטוי בעלייה בכמות הסחף ובמקביל לירידה במהירות הנדרשת לניתוק חלקיקים ראשוני עם עלייה באחוז האפר בקרקע (10 ו-24 מטר/שניה ב-15 ו-8 אחוז אפר, בהתאמה). השפעת הרוח ברמה המכסימלית הובחנה בטיפול עם 15 אחוז אפר, שבו נוצר הרס מוחלט של הקרקע במהירות מרבית של 26 מטר/שניה. **בהיבט הסביבתי**- אובחנה חריגה מתקן מי שתיה במי נקז של הקרקע ביסודות ניקל, כרום, גופרית וסלן. רק כרום מהווה סכנה בריאותית פוטנציאלית, אך רמתו הייתה מתחת לערך הסף לפי בחינת ה-TCLP.

- **שיפור תאחיזת מים בקרקעות חוליות** – הקרקעות החוליות בארץ מורכבות בעיקרן מגרגרי קוורץ המצויים במקטע חולי אחיד יחסית. כתוצאה מכך הקרקעות מאופיינות בפילוג צר של גודל נקבובים שרובם גדולים מכדי להחזיק מים קפילאריים, מה שמקנה לקרקע מוליכות הידראולית וקצב חידור למים גבוהים ומנגד תאחיזת מים נמוכה. כתוצאה מכך, אובדן המים רב וזה מחייב השקיה בתדירות גבוהה יותר. כדי לבחון את השפעת האפר על קצב חידור



**סקירת מחקרים ועבודות  
 אוקטובר 2016  
 שימושי אפר פחם בחקלאות**

המים, נבדקה קרקע באחוזים שונים של אפר (0, 8, 10, 12, 15) במכשיר מדמה גשם ולבדיקת השפעת האפר על תאחיזת המים נבדקה הקרקע באמצעות שקילת תכולת המים לאורך עמודות קרקע שהמים נוקזו מהן במשך שבוע; יכולת תלכוד חלקיקי הדיונה ע"י האפר נבדקה באמצעות מכשיר פנטרומטר המודד את התנגדות פני השטח לחדירת המכשיר דרכם; ולבסוף נמדדה מידת היווצרות סחף בסופת רוח בקרקעות עם אפר בשיעור 8 ו-15 אחוז בהשוואה לביקורת ללא אפר. התוצאות הראו שתוספת האפר גורמת לירידה של עד 90 אחוז בקצב חידור המים לקרקע בהשוואה לקרקע דומה ללא אפר ובמקביל להקטנת המוליכות ההידראולית והגדלת תאחיזת המים כתוצאה ממילוי הנקבובים הגדולים בחלקיקי האפר הדקים (התוצאות הטובות ביותר הושגו בהוספת 12-15 אחוז אפר), כך שבתהליך ייבוש הקרקע לאחר הרטבתה נוצרים תלכידים ע"י האפר כתוצאה מהתכונות הפוצולניות שלו ומתקבל מבנה יציב והתפלגות נקבובים טובה יותר. כתוצאה מכך גדלה הרטיבות היחסית בשכבת החריש ותכולת המים הזמינים לצמח. במקביל לעלייה בתכולת האפר בקרקע חל גם שיפור בעמידותה לסחף רוח גם במהירות רוח של 26 מטר/שניה (בקרקע עם 15% אפר) בהשוואה לסחף רוח מוחלט בקרקע הביקורת במהירות 9 מטר/שניה. הוספה חוזרת של אפר בשיעור נמוך (2 – 2.5 אחוז) לקרקע לאחר שזו טולטלה עד להרס התלכידים (מדמה עיבוד חקלאי), הקטינה משמעותית את קצב חידור המים שהתקבל כתוצאה מהוספת המנה הראשונה של האפר, וזה מצביע על אפקט מצטבר של יישום הדרגתי של אפר מרחף וכי ניתן לשמר את ההשפעה החיובית של האפר לאורך זמן. נראה שתוספת אפר בכמות ראשונית השקולה ל-10 טון לדונם ולאחר מכן הוספה שנתית של כ-2 טון אפר לדונם הביאה לשיפור תאחיזת המים בקרקע, ללא תופעות שליליות משמעותיות. **בהיבט הסביבתי**- אובחנה חריגה מתקן מי שתיה במי נקז של הקרקע ביסודות ניקל, כרום, עופרת, בריום וסלן. רק כרום מהווה סכנה בריאותית פוטנציאלית, אך ריכוזו היה מתחת לערך הסף לפי ה-TCLP; ריכוזי העופרת במי הנקז חרגו מתקן מי שתיה במידה כזו שאין בה בכדי לגרום חשש לזיהום מי תהום או הצטברות אפשרית ביבול. לאחר תוספת שניה של אפר פחם (2 אחוז) ריכוזי חלק מהיסודות עלו בהשוואה לתוספת הראשונה של האפר ונצפתה חריגה מתקן מי שתיה בריכוזי גופרית, סלן ובייחוד כרום במי נקז הקרקע. נראה שריכוזי היסודות במי הנקז נקבע לא רק על ידי קצב שטיפת המקטע המסיס אלא גם על ידי שינויים במסיסות (במקרים מסוימים עליה ובאחרים ירידה, והמושפעת במידה רבה מרמת ה-pH של מי הנקז), כתוצאה מתהליכים כימיים ופיזיקליים ארוכי טווח המתרחשים באפר שהוסף לקרקע ונחשף לסופות גשם ולמחזורי ייבוש והרטבה.

- **מניעת סידוק בקרקעות כבדות** – נבדק האם הוספת אפר לקרקע חרסיתית-נתרנית תפחית את רמת הנתרן ואת היווצרות סדקים המאפיינים קרקע מסוג זה בגלל ריכוזי הסידן הגבוהים באפר והפוצולניות שלו. לצורך כך הוספו כמויות גדולות של אפר ונבחנו השפעת האפר על היבול ואיכותו וריכוזי יסודות הקורט בגידולים. לצורך כך נבחרה חלקה בקיבוץ



**סקירת מחקרים ועבודות  
אוקטובר 2016  
שימושי אפר פחם בחקלאות**

רבדים של קרקע חרסיתית-נתרנית שהוצנע בחלקה העליון אפר בשיעורים השקולים ל- 20 ו- 80 טון לדונם ושבויעיים לאחר מכן (מרץ 2005) נזרע תירס למספוא בקרקע זו ובביקורת ללא אפר. נמצא שהוספת אפר בשיעורים הנ"ל לא גרמה לפחיתה ביבול. **בהיבט הסביבתי**- כרום היה המזהם היחיד שריכוזו בקלחי התירס הושפע משמעותית מהוספת האפר, כנראה בגלל עליה בזמינותו לצמח ולא בגלל ריכוזו באפר מאחר שהוספת האפר לא השפיעה על ריכוז הכרום בקרקעות שכן הריכוז באפר היה דומה לריכוז הכרום בקרקע. עם זאת, הריכוז בקלחים לא הגיע לרמות המהוות בעיה בריאותית. האפר השפיע על קליטת המוליבדן בנוף אך לא בקלחים, אולם לא על הצטברות כרום בנוף ולא על ריכוז יסודות הקורט העיקריים (ברזל, מנגן, אבץ, נחושת, ניקל, קובלט ובורון), או על ריכוזי הקדמיום והעופרת הרעילים, שהיו נמוכים מאד הן בקלחים והן בנוף של צמחי התירס.

**על בסיס מסקנות שלב א' של המחקר נבחן ע"י דר' פנחס פיין ושותפיו למחקר פוטנציאל יישום המסקנות בשדה באתרים הבאים במסגרת מחקר שהחל להתבצע בשנת 2005 במקביל לשלב הסינון המעבדתי וסוכם ב- 2010. להלן הממצאים:**

- **בחינת צמצום איבוד מים בהתאדות בנטיעות באדמת לס בנגב**, ע"י הוספת האפר כאמצעי למניעת התקרמות הקרקע לשיפור חידור המים והאצת קצב גידול העצים. העצים הניטעים בנגב בשיחים או לימנים בכדי לאגור את מי הגשמים וע"י כך להגדיל זמינותם לעץ, אך רובם אובדים בהתאדות עקב היווצרות קרום חרסיתי פני הקרקע שכאמור מקטין את חידור המים. (בניהול דר' ניר עצמון מהמכון למדעי צמח, מרכז וולקני).

הניסוי בשטח כלל מעקב אחר לימנים ושיחים שנחפרו ב- 2004 באתר כתף בתרים אשר בגבעות גורל בנגב סמוך ליישוב עומר, שהוסף להם אפר בשיעור 5, 10 ו- 20 טון/דונם (שבהצנעה ב- 10 עד 20 ס"מ העליונים של הקרקע מהווים כ- 2, 4 ו- 8 אחוז ממשקל הקרקע), למול ביקורת ללא אפר.

תוצאות:

פיזור האפר בלימנים יצר סידוק מוגבר לעומת טיפולי הביקורת שכמעט ולא הכילו סדקים; תכולת הרטיבות הייתה דומה בכל הטיפולים מתחת לעומק 20 ס"מ ועד לעומק הדיגום המרבי (1 מטר), משום שכושר תאחיזת המים היה דומה בין תערובות הקרקע-אפר השונות; הוספת אפר לקרקע בשיחים בשיעור של עד 8 אחוז לא השפיעה על תאחיזת המים של הקרקע, כפי שנראה מתכולת הרטיבות שהייתה דומה בשיחים עם וללא אפר; חוזק הקרומים בפני הקרקע נחלש משמעותית בהוספת אפר לשיחים בשיעור של 4 אחוז או יותר; קצב חידור המים בלימן עם 8 אחוז אפר היה גבוה יותר מאשר בלימן ללא אפר, ובכך האפר סייע גם



**סקירת מחקרים ועבודות  
אוקטובר 2016  
שימושי אפר פחם בחקלאות**

בהקטנת שיעורי נגר והצטברות סחף במורד הערוץ, בשל ההתנקזות המהירה של המים בלימון שהביאה לשקיעת סחף בקרקעית הלימון.

- **בחינת שיפור תאחיזת מים בכתמי חול בשדה סמוך למושב בני דרום** בלב אזור בו מרבית הקרקע כבדה יותר. חוסר האחיזות במרקם הקרקע פוגם באחיזות משטר ההשקיה-דישון הנדרש, בעיקר בשל השונות המרחבית במוליכות ההידראולית ובתאחיזת המים. כדי למנוע שונות זאת, הוסף האפר לכתמי החול על מנת להגדיל את תאחיזת המים בכתמי החול. בחלקות התצפית גודלה חיטה (בניהול דר' אריה בוסק).

הניסוי בשטח כלל טיפולים ללא אפר פחם ועם אפר בעומס של 10 ו- 30 טון/דונם וטיפול בבמס"א (בוצת שפכים מיצבת בסיד ואפר פחם) בעומס של 10 טון/דונם. בוצעו בדיקות כימיות לקרקע ובדיקות נתרן, זרחן, אשלגן, יסודות קורט ומתכות כבדות בצמחים. תוצאות:

שונות במרקם הקרקע בחלקת הניסוי השפיעה על הדירות התוצאות והקשתה על מציאת קשר חד משמעי בין תוספת האפר לתכונות הפיסיקליות של הקרקע ותאחיזת המים בה. ומכאן שקשה היה לקבוע אם האפר משפר את היבול. יבול החיטה היה שונה בין הטיפולים אך לא באופן מובהק סטטיסטית, ונקבע שבעומס אפר של עד 30 טון/דונם אין השפעה על החיטה. מבחינת זמינות יסודות הזנה בקרקע- טיפול הבמס"א היה יעיל בהעלאת ריכוז החנקן; והן האפר והן הבמס"א הגדילו באופן מובהק את ריכוז הזרחן בקרקע ביחס לטיפול ביקורת, אם כי רק בדיגום הראשון. לסיכום, בשל מגבלות בתנאי הניסוי לא ניתן היה להסיק מסקנות חד משמעיות.

- **מעקב אחר תכונות הקרקע (ובעיקר סידוק) בקרקעות כבדות ברבדים** ואחר השפעת האפר על התפתחות גידול כותנה (2006), חימצה (2007), חיטה (2007/8), כותנה (2009) ותירס למספוא (2010), ועל ריכוז יסודות מקרו ומיקרו בקרקע ובצמח (בניהול דר' אריה בוסק). תוצאות:

יבולי התירס היו גבוהים (6.5 טון/דונם) וללא הבדלים מובהקים סטטיסטית בין הטיפולים (הוספת אפר בשיעור 20 ו- 80 טון לדונם וביקורת ללא אפר). בנוסף, מידת ההסתדקות של הקרקע פחתה עם עליה בכמות האפר המוסף. ריכוזי יסודות המקרו והמיקרו העיקריים בצמח היו דומים בין הטיפולים. ריכוזי עופרת וקדמיום היו נמוכים מאד ולא הושפעו ע"י הטיפולים, וגם ריכוז הבורון לא הושפע מהטיפולים. לעומת אלה, תוספת האפר כן השפיעה באופן מובהק על ריכוז כרום בקלחים (1.6, 1.9 ו- 3.1 מ"ג/ק"ג בטיפול ביקורת, 20 ו- 80 טון אפר/דונם, בהתאמה) וריכוז מוליבדן בנוף.



## סקירת מחקרים ועבודות אוקטובר 2016 שימושי אפר פחם בחקלאות

ביבול הכותן לא היו הבדלים מובהקים סטטיסטית בין הטיפולים, אולם נראה שלתוספת אפר של 20 טון/דונם הייתה השפעה חיובית על היבול. בכל מקרה, תוספת אפר של 80 טון/דונם לא פגעה ביבול.

ההבדלים ביבול גרעיני החימצה בין הטיפולים לא היו מובהקים סטטיסטית, וכך גם לגבי ריכוזי יסודות מקרו, מיקרו ומתכות כבדות בין הטיפולים, אך נראה שלתוספת האפר הייתה השפעה חיובית על היבול.

מבחינת הסתדקות ומבנה הקרקע- בבדיקה שנערכה 3 שנים לאחר יישום האפר נראה שהאפר מנע או הקטין את ההסתדקות שהייתה פחותה בטיפול של 80 טון אפר/דונם בהשוואה ל- 20 טון/דונם, ובבדיקה שנערכה 6 שנים מהיישום נראה בבירור שהאפר הקטין את גודל האגרגטים (תופעה חיובית) שנוצרו לאחר תיחוח הקרקע שבוצע לאחר עונת התיירס ב- 2010. לסיכום, האפר שינה את התכונות הפיסיקליות של הקרקע בכך שמנע או הקטין את הסתדקותה והקטין את גודל האגרגטים שנוצרו לאחר תיחוח. השפעת האפר על היבולים הייתה בהגדלה מסוימת אך לא מובהקת סטטיסטית. האפר לא השפיע על ריכוזי יסודות בקרקע ולא על ריכוזי קדמיום ועופרת בקלחים או בנוף של צמחי התיירס, אך גרם לעליה בריכוזי יסודות אחדים בצמח: כרום וסטרונוציום בקלחים ומוליבדן בגבעולים.

## ייצוב בוצת שפכים בעזרת אפר מרחף ויישומה בחקלאות

בוצת שפכים עירונית (Municipal Sewage Sludge) היא תוצר הלוואי העיקרי בתהליך טיהור השפכים במתקן טיהור שפכים (מטי"ש). הבוצה מורכבת בעיקר מחומר אורגני, אך מכילה גם מתכות כבדות ופתוגנים - חיידקים גורמי מחלות. הבוצה מסולקת ממערכת הטיהור במצב נוזלי ועוברת לפני סילוקה תהליכי הסמכה, סחיטה וייצוב (איכול אנאירובי או אירובי, להקטנת ריכוז חומרים אורגנים נדיפים ופתוגנים). בעקבות הנחיות המשרד להגנת הסביבה להפסיק את הזרמת בוצת השפכים של השפד"ן לים, נבחן ניצול אפר פחם מרחף בתערובת עם סיד לייצוב הבוצה (במס"א) בטכנולוגיית N-Viro ושימושה כתוסף לשטחים חקלאיים, על ידי קבוצת מחקר בראשות דר' פנחס פיין הכוללת, בין היתר, מומחים ויועצים ממרכז וולקני, משרד החקלאות וגופים חקלאיים שונים. בטכנולוגיה זו נעשה שימוש בתוספים אלקאליים, במקרה הנוכחי אפר מרחף (המשמש בעיקר כמלאן המגדיל את אחוז המוצקים בבמס"א לקבלת חומר פריך ונוח לפיזור בשדה), וסיד לחיטוי הבוצה מפתוגנים (חיידקים, פטריות, זרעי עשבים וכו') ע"י פיסטור כתוצאה מהעלאת הטמפר' וה- pH. טיפול זה מביא את הבוצה לרמה של בוצה סוג א' (מותרת לשימוש כתוסף לקרקע בגידולי מאכל לבני אדם), הניתנת לשימוש כדשן משום שהיא עשירה בחומר אורגני וביסודות הזנה לצמחים. בבדיקות מעבדה שנערכו בצמחים שגודלו על תערובות



**סקירת מחקרים ועבודות  
אוקטובר 2016  
שימושי אפר פחם בחקלאות**

אפר מרחף ובוצה לא נתגלו חריגות בריכוזי המתכות הכבדות, וכל התערובות עמדו בדרישות בוצה סוג א'. באופן מעשי, מאז תחילת 2012 מיושמת במס"א מהשפד"ן בשדות חקלאיים בדרום יהודה ובצפון הנגב, בעיקר לגידולי מספוא וגידולים אחדים המשמשים למאכל אדם.

השימוש בבמס"א נבחן בארץ לראשונה במסגרת תכנית מחקר שכללה בשלב הראשון (בשנים 2005 – 2006) **מחקר מעבדתי** שבחן את ההיבטים הסביבתיים (עמידת הבמס"א בדרישות התקן לבוצה סוג א', תכולת מתכות כבדות בבמס"א ובצמחים שגודלו על מצע המכיל במס"א) והאגרונומיים (הזנת יסודות חיוניים), ומחקרי שדה השוואתיים שכללו מעקב אחר התפתחות צמחים ויבולים בקרקעות, גידולים ומשטרי דישון שונים בנוכחות במס"א בהשוואה לביקורת ללא במס"א.

**במחקר המעבדתי** נלקחו בוצות ממט"ש אשדוד ומט"ש בית שמש (במס"א משפד"ן עדיין לא יוצרה בשלב זה), ועורבבו עם אפר מרחף וסיד חי, כתחליף מלא או חלקי לחרסית ול-CKD (אבק כבשני מלט) ששימשו בייצור "אקוסויל" – מוצר דמוי-במס"א שיוצר במט"ש בית שמש. התערובות עורבבו בחול דיונה והושמו בעציצים בחממה עם תירס כגידול בוחן. נערכה השוואה לעציצים עם בוצת בית שמש לא מיוצבת או עם דישון מסחרי כטיפול ביקורת. העומס הכולל של הבוצה המיוצבת בקרקע (על בסיס לח) היה בין 6.5 ל-25.9 טון לדונם, ונקבע לפי כמות החומר האורגני המותרת להוספה שהיא 1.5 טון בוצה יבשה לשנה או 1.1 טון חומר אורגני לדונם לשנה; עומסי יישום הבוצות (על בסיס יבש) היו 0.6 – 3.3 טון/דונם; אחוז האפר בתערובות נע בין 32 ל-48.

כל התערובות עמדו בתקן הישראלי למתכות כבדות. התוספת לקרקע של מרבית היסודות הייתה נמוכה למדי ובמספר מקרים אף מתחת לסף רגישות המדידה. גם ריכוזי היסודות בצמחים כמעט ולא הושפעו בטיפול הבמס"א בהשוואה לביקורת (דשן כימי או בוצה לא מיוצבת) – ריכוזי עופרת וקדמיום היו בגבול המדידה או מתחתיו; ריכוזי ברזל ונחושת ומנגן היו אחידים למדי בכל הטיפולים ובתחום הנורמטיבי; ריכוזי אבץ היו גבוהים אך עם שונות גבוהה בין הטיפולים; ריכוזי בורון אמנם היו הגבוהים ביותר בצמחים שגדלו על בוצה עם אפר אולם עדיין נמוכים (עד כ-40 מ"ג/ק"ג); ריכוזי מוליבדן וליתיום היו גבוהים במיוחד בצמחים שגדלו עם בוצה ואפר אולם אין ביסודות אלה בתחום הריכוזים שאובחנו סיכון סביבתי או בריאותי. ריכוזי יסודות אחרים (כרום, קובלט, בורון וסטרוניציום) היו בתחום הנורמטיבי.

באשר לריכוזי יסודות הזנה- ריכוזי החנקן בצמחים היו דומים בין הטיפולים, עם יתרון מובהק לטיפול הדישון המסחרי ונמוכים בהשוואה לריכוזים המקובלים (שהם בתחום 1.5 – 2 אחוז מהמשקל היבש). תוצאה זו מחזקת את האפשרות שהיה מחסור בחנקן בכל הטיפולים כתוצאה משטיפת חנקן מהקרקע, מנידוף אמון או מדה-ניטריפיקציה. תכולת הזרחן בצמחים בטיפול



**סקירת מחקרים ועבודות  
 אוקטובר 2016  
 שימושי אפר פחם בחקלאות**

הבמס"א והאקוסויל הייתה דומה במרבית הטיפולים והיוותה רק חלק קטן מהזרחן שהוסף לקרקע (בדר"כ פחות מ- 5% ממנו). ריכוזי הזרחן הזמין בקרקע היו גבוהים בכל הטיפולים לאורך כל הניסוי (115 יום) ובסיומו הם נותרו בשיעור גבוה שהיווה כ- 60 – 90 אחוז מהריכוזים ההתחלתיים. כלומר הזרחן לא היה גורם שהגביל צמיחה. ריכוזי אשלגן בצמחים היו נמוכים והעידו על מחסור ביסוד שכנראה גרם לעיכוב בצמיחה.

מבחינת יבול התירס בעציצים המשקל היבש הממוצע של הצמחים היה בין 15 ל- 37 גרם. נמצאו הבדלים בין הטיפולים, בדגש על עלייה רציפה ביבול שהתקבלה במקביל לעלייה בעומסי יישום טיפולי הבמס"א מבוצת אשדוד שהיו 0.8, 1.7 ו- 3.3 טון בוצה יבשה/דונם) וכן עלייה בעומס יישום טיפולי האקוסויל (ללא אפר פחם) שהיו 0.6 ו- 1.4 טון בוצה יבשה/דונם (הטיפול בעומס הגבוה הניב את היבול המרבי מבין כלל הטיפולים). תגובת היבול לעלייה בעומס יישום הבמס"א מבוצת בית שמש בלטה פחות. ככלל, לא היה הבדל בין היבול שהתקבל בטיפול עם הדישון המסחרי (29 גרם) לבין היבול שהתקבל בטיפול הבוצה, האקוסויל בעומס היישום הגבוה, ותערובת הבמס"א שהועשרה בבוצת אשדוד (עומס יישום 1.7 טון בוצה יבשה/דונם).

לסיכום, נראה שלא היה סיכון לצמח, לקרקע, לשרשרת המזון ולסביבה משימוש בבוצות שפכים מיוצבות בסיד ובחריסיות או באפר פחם, ולא היה שינוי משמעותי בתכונות הביולוגיות או ההזנתיות של הקרקע.

**השפעת הבמס"א על הגידולים והקרקע בשדה** נבחנה לראשונה בשני ניסויי שדה שהחלו בעונת 2006/7: נבחנו השפעת הבוצה על היבול והרכב הכימי של הגידול בשטחי קיבוץ רבדים על קרקע חרסיתית (ורטיסול) והשפעתה על כושר תאחיזת מים בכתמי חול דיונה בלב שטחי קיבוץ בני דרום על קרקע כבדה.

**הניסוי ברבדים** נמשך שלוש עונות עוקבות (2006/7 – 2009) וכלל שבעה טיפולים שונים שכללו היקש עם דישון כימי בחנקן, היקש עם דישון בזרחן וחנקן יחד, 5 מ"ק/דונם בוצת אשדוד, 5 ו- 10 מ"ק/ד' במס"א בית שמש, 5 מ"ק/ד' במס"א בית שמש עם 2.5 מ"ק/ד' בוצת אשדוד, ו- 10 מ"ק/ד' במס"א בית שמש עם 5 מ"ק/ד' בוצת אשדוד (סה"כ 35 חלקות). גידול הבוחן היה חיטה (לתחמיץ) בעונה הראשונה והשלישית וחמניות בעונה השנייה. הממצאים: (1) מבחינת מדדי יבול (ק"ג/ד') ותכולת יסודות ההזנה (מ"ג/ק"ג) חנקן, זרחן ואשלגן בחיטה, טיפולי הבוצה השונים הניבו תוצאות דומות גם בהשוואה להיקש הדישון בזרחן עם החנקן. אולם, היבול ותכולת יסודות ההזנה היו גבוהים משמעותית (בייחוד הטיפול שכלל 10 מ"ק/ד' במס"א עם 5 מ"ק/ד' בוצת אשדוד) בהשוואה להיקש הדישון החנקני, הן בשחת והן בגרמים; (2) מבחינת ריכוזי יסודות קורט ומתכות כבדות בנוף ובגרמי החיטה – בשתי עונות הגידול לא היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים, למעט מספר יסודות שבהם היו הבדלים מובהקים בין מספר טפולים, אם כי הבדלים





**סקירת מחקרים ועבודות  
 אוקטובר 2016  
 שימושי אפר פחם בחקלאות**

אלו היו חסרי משמעות הואיל וההבדלים בין טיפולי הבמס"א לבין לפחות אחד מטיפולי ההיקש לא היו מובהקים, ובכל מקרה מה שחשוב הוא שריכוזי היסודות הרלבנטיים מבחינת בריאות הציבור- קדמיום, עופרת וארסן היו מתחת לסף הגילוי. לעניין החמניות, לא היה הבדל ביבול בין הטיפולים השונים (לא נעשתה בדיקה כימית של הצמחים). לסיכום, הניסוי הראה כי אין סיכון לצמח ולשרשרת המזון מיישום במס"א וכי הבמס"א יכולה להוות תחליף לדשן חנקני וזרחני (10 ק"ג/ד' חנקן ו-1.9 ק"ג/ד' זרחן) לגידולים בטווח של 3 שנים לפחות.

**הניסוי בבני דרום** נמשך שתי עונות עוקבות (2006/7 – 2008) וכלל 4 טיפולים שכללו היקש עם דישון כימי, אפר מרחף בשיעור 10 ו-30 טון/ד', ובמס"א (מט"ש בית שמש) בשיעור 10 טון/ד'. גידול הבוחן היה חיטה לתחמיץ. ניתן דשן חנקני (13 ק"ג/ד') לחלקות הטיפולים מלבד חלקות הבמס"א. מבדיקת מרקם הקרקע שנתיים לאחר יישום האפר והבוצה נמצא שתכולת החול בקרקע ב-20 הס"מ העליונים בחלקת השונות הייתה דומה לזו בעומק של 20 – 40 ס"מ. לפיכך האפר והבמס"א לא השפיעו באופן ניכר על התכונות הפיסיקליות של הקרקע או על תאחיזת המים בה. בשתי עונות הגידול לא הייתה לאפר בעומס 10 ו-30 טון/ד' וכן לבמס"א השפעה כלשהי על היבול ועל ריכוז היסודות ההזנה חנקן, זרחן ואשלגן בצמח (נבדק בעונה ראשונה בלבד). בדיקת יסודות הזנה זמינים בקרקע בעונה הראשונה הראתה גידול משמעותי של עד פי 3 בריכוז הזרחה בטיפולי האפר והבמס"א ביחס להיקש הלא מזובל, וגידול משמעותי נוסף (פי 1.6 – 2.4) בריכוז החנקן בטיפול הבמס"א בלבד, ביחס לטיפולי האפר וההיקש. כלומר, הבמס"א החליפה תשומות דשן במלואן. בדיקת ריכוזי מתכות ויסודות קורט בחיטה (עונה שנייה בלבד) הראתה הבדלים מובהקים בריכוזי יסודות אחדים בין הטיפולים- ליתיום, מוליבדן, עופרת, סלן וסטרוניציום. ריכוז גבוה של עופרת בחיטה נמדד בטיפול האפר (30 טון/ד') ביחס לשאר הטיפולים; טיפול הבמס"א בעומס הגבוה הגדיל את ריכוז הסלן בחיטה (פי 4 – 5) ביחס לשאר הטיפולים, ואת ריכוז מוליבדן (פי 2 – 2.6) ביחס לטיפול האפר בעומס הנמוך ולהיקש. עם זאת, הריכוזים של כלל היסודות היו נמוכים ועמדו בתקנים, מכאן שאין סיכון לצמח ולשרשרת המזון מיישום הבמס"א.

**ניסוי לבחינת השפעת הבמס"א (ואפר פחם) על טיוב קרקע חרסית-נתרנית (שיפור תכונות הידראוליות וכימיות) ושיפור יבולים: בוצע במשך שתי עונות (2007-2008) בחלקה ברבדים.** הניסוי כלל טיפולים בבמס"א ובקומפוסט בוצה (15 טון/ד'), באפר פחם (15 טון/ד') ובגבס חקלאי (0.5 טון/ד') וכן טיפול ביקורת. בעונה השנייה נוספו שני טיפולים: בבמ"ס (בוצה מיוצבת בסיד) מבית שמש ובקומפוסט בוצה בשיעורי יישום רגילים (5 טון/ד'). הגידולים שנבחנו היו תירס למספוא בעונת 2007 וכותנה ב-2008. הטיפולים לא השפיעו באופן מובהק על התכונות הפיסיקו-כימיות של הקרקע (ניתרון, יציבות תלכידים, כושר חידור למים), על היבולים ועל ריכוזי מתכות כבדות (עופרת, קדמיום) בגרגרים ובנוף התירס, כאשר בגרגרים הריכוזים היו ברובם אף מתחת לסף הגילוי, למרות שיעורי היישום החריגים (פי 6 בערך מהמנה המקובלת); ריכוז הבורון בנוף



**סקירת מחקרים ועבודות  
 אוקטובר 2016  
 שימושי אפר פחם בחקלאות**

התירס בטיפול האפר היה גבוה באופן מובהק בהשוואה לרוב הטיפולים (יותר מפי 2 בהשוואה לביקורת); הייתה עליה מסוימת בריכוזי יסודות קורט רצויים כאבץ, מוליבדן וברזל וכן עליה מתונה יותר בריכוזי החנקן והזרחן הכללי בתירס בטיפולי האפר, קומפוסט הבוצה והבמס"א ביחס לביקורת.

**יישום במס"א מהשפד"ן במחזור גידולים בגד"ש** נבחן במסגרת תכנית ליווי לפיילוט עם כניסת המתקן בשפד"ן לתפקוד מלא, שמטרתה העיקרית הן אפיון וניסוח כמותי של השפעות ארוכות-טווח על הקרקע והגידולים של תוספת הבמס"א לקרקע ועל בסיס הידע והניסיון שיצטברו, לגבש פרוטוקולים של ממשקי גידול (זיבול/דישון/השקיה) בגד"ש לחקלאים לשימוש אופטימאלי בבמס"א (ובוצות אחרות) בהתאם לייעודיה החקלאיים השונים. דהיינו, כחומר לדישון, טיוב מבני והדברת מחלות שוכנות קרקע, לשם השאת יבולים תוך חיסכון בתשומות דשן ומניעת נזק לגידולים, לקרקע ולסביבה. בחינת היישום בגד"ש החלה ב- 2011 במסגרת **ניסויי שדה ארוכי טווח (3 שנים לפחות) – גידול תירס למספוא (שלחין) ברבדים, גידול חסה בליזימטרים ברבדים (ובמכון וולקני), גידול תלתן-בקיה (פלחה) במשמר דוד, וגידול תפוז"א בחוות הבשור (מו"פ דרום) במסגרת ניסוי להדברת מחלות צמחים שוכנות קרקע.**

**ניסויי ברבדים** נבחנו 16 טיפולים על קרקע ורטיסול הכוללים 4 טיפולי היקש של דשן ללא זבל, 3 טיפולי במס"א מהשפד"ן והיתר טיפולים בזבלים אחרים להשוואה (בוצה סוג ב', קומפוסט בוצה, קומפוסט אשפת ערים). מינון הזבלים היה שקול לעומס חנקן כללי של 50 ק"ג/דונם (העומס השנתי המותר לפי תקנות הבוצה) עם וללא דשן ראש, ושל 150 ק"ג/דונם ללא דשן ראש, כאשר כמויות הבמס"א לדונם היו גבוהות (6.6 ו- 18.7 טון על בסיס יבש/דונם לפי עומס חנקן 50 ו- 150 ק"ג/דונם, בהתאמה) בגלל התכולה הנמוכה של חנקן בבמס"א יחסית לזבלים האחרים (אשר הוספו בעומס שבין 0.9 ל- 12.1 טון/דונם לפי עומס חנקן 50 או 150 ק"ג/דונם, בהתאמה). פיזור הבוצות היה ידני וההשקיה הייתה במי קולחים. הגידול שנבחן היה תירס למספוא. **מבחינת היבול**- בשנה הראשונה (2011) היו הבדלים מזעריים בין הטיפולים למרות השוני הגדול ביניהם מבחינת עומס היישום של יסודות הזנה בקרקע, למעט הבדל מובהק בין הטיפול באשפת ערים במינון שקול ל- 50 ק"ג חנקן/דונם (3.8 טון/דונם) לבין טיפול במס"א במינון שקול ל- 150 ק"ג חנקן/דונם (18.7 טון/דונם), והיבול נע בין 1.65 ל- 2.13 טון/דונם בטיפולי הבוצות והקומפוסטים. בשנה השנייה (2012) ההבדלים ביבול היו משמעותיים ומובהקים אולם רק בהשוואה לטיפולי ההיקש ללא דשן או זבל: 1.92 – 2.44 טון/דונם בהשוואה ל- 1.54 – 2.23 טון/דונם, בהתאמה. טיפול הבמס"א במינון שקול ל- 150 ק"ג חנקן/דונם וכן טיפולי קומפוסט אשפת ערים נתנו יבול נמוך יחסית. כל הטיפולים שקיבלו מנה גבוהה של זבל ב- 2011 ללא דשן ראש בשתי השנים, הניבו יבול נמוך ללא הבדל סטטיסטי ביניהם. **מבחינת הרכב כימי בצמחים**- נמדדו ריכוזים ממוצעים בגרגרי התירס מעונת 2012- זמינות חנקן ואשלגן לצמחים הייתה גבוהה יותר באופן מובהק בטיפולי הבמס"א ביחס ליתר הטיפולים וקליטת זרחן הייתה דומה בכל הטיפולים; ריכוזי



**סקירת מחקרים ועבודות  
 אוקטובר 2016  
 שימושי אפר פחם בחקלאות**

יסודות הקורט היו דומים בין הטיפולים למעט הגדלה מסוימת (לא מובהקת בהשוואה לחלק מטיפולי ההיקש) במנגן ומוליבדן בטיפולי הבמס"א והגדלה בריכוזי מגנזיום, סידן, ניקל ונחושת בחלק מטיפולי ההיקש. אולם לגבי המתכות הלא חיוניות- ארסן, קדמיום ועופרת, אלה היו מתחת לסף הגילוי ומתחת למותר, הן בעומס הבוצה המרבי המותר והן בעומס המשולש מהמותר.

**ניסוי הליזימטרים ברבדים ובמכון וולקני** נועד לבדוק זמינות יסודות קורט ומתכות כבדות לחסה ערבית הנחשבת גידול צובר מתכות, בתנאים מבוקרים ביישום 3 בוצות שונות (קומפוסט, בוצה סוג ב' ממט"ש חיפה ובמס"א מהשפד"ן) למול ביקורת ללא זיבול במשך מספר עונות עוקבות (חורף 2011/12, קיץ 2012 וחורף 2012/13) ב-3 קרקעות שונות המייצגות טווח רחב של תכונות פיזיקו-כימיות (חול, לס וחרסית), עם השקיה במי קולחים למעט הליזימטרים עם חול במכון וולקני שהושקו במים שפירים. מינון הבוצות נקבע לפי תכולת חנקן כללי של 50 ו-150 ק"ג/דונם בבוצה (התכולה הגבוהה בטיפול במס"א בחרסית בלבד), אקווילנטי לעומס שנתי של 4.6 ו-31.5 מ"ק/דונם, או 2.2 ו-19.6 טון חומר יבש/דונם, בהתאמה. **מבחינת היבול**- לא היה הבדל משמעותי במשקל הצמחים על הקרקעות השונות, להוציא משקל הצמחים שגודלו במכון וולקני בחורף 2011/12 שהיה נמוך משמעותית מזה ברבדים, ומשקל הצמחים בטיפולי החול והבמס"א (50 ק"ג חנקן/דונם) שהיה נמוך משמעותית מזה שבכל הטיפולים האחרים. **מבחינת הרכב כימי בצמחים**- באופן כללי ריכוזי יסודות הקורט (נחושת, אבץ, ניקל, ברזל, מנגן, כרום, קובלט, בריום, סטרונציום, ונדיום) היו דומים בין הטיפולים ובפרט בין טיפולי הבוצות לביקורת על אותה קרקע, והיו בתחום הנדרש לצמחים (נחושת, אבץ, כרום). באופן פרטני, ריכוזי חלק מיסודות אלו היו נמוכים או גבוהים בעונה מסוימת בהשוואה לשתיים האחרות (מוליבדן, בריום, כרום, ונדיום) או גבוהים באופן מובהק בטיפול מסוים בהשוואה ליתר הטיפולים (קובלט, אבץ, ניקל, מנגן, סטרונציום). ריכוזי בורון ומוליבדן עלו בתגובה לבמס"א אך היו תקינים. **באשר ליסודות הלא חיוניים**: ריכוזים ממוצעים לכל הטיפולים של ארסן, קדמיום ועופרת היו 0.12, 0.33 ו-0.22 מ"ג/ק"ג חומר יבש, מתחת למותר עפ"י שרות המזון- 5, 1 ו-1.5 מ"ג/ק"ג חומר יבש, בהתאמה, למעט חריגה בודדת מהתקן לקדמיום (1.43 מ"ג/ק"ג חומר יבש) שהתקבלה בטיפול ביקורת חול ברבדים בעונה השלישית. בדר"כ בכל אחת מהקרקעות לא היו הבדלים מובהקים סטטיסטית בריכוזים אלה בין צמחים שגודלו בטיפולי בוצה לטיפולי ביקורת. כספית לא נבדקה אולם ריכוזיה בבוצות בארץ נמוכים מאד וקשירתה בקרקע חזקה. ככלל, התוצאות מראות שגם עומסי יישום כבדים של במס"א ושל הבוצות האחרות (יישום שנתי בעומס המרבי המותר ופי 3 ממנו בחול שהוא הקרקע הרגישה ביותר) לא התבטאו בקליטה חריגה מהרגיל של כל יסודות הקורט והמתכות הכבדות. הבדלים נמצאו בריכוזי קדמיום ומנגן בקרקע החול אך ריכוזיהם היו גבוהים יותר בטיפולי הביקורת.

**בניסוי במשמר דוד** בוצעו תצפיות בשני מחזורי גידול, ב- 2010/11 ו- 2011/12, כאשר במחזור הראשון יושמה במ"ס (בוצת מט"ש בית שמש) ובשני יושמה במס"א (שפד"ן) על קרקע גירית דלה



**סקירת מחקרים ועבודות  
 אוקטובר 2016  
 שימושי אפר פחם בחקלאות**

ביסודות הזנה ורדודה (רנדזינה בהירה). התצפיות בוצעו בשתי חלקות סמוכות. גידול הבוחן היה בקיה-תלתן למספוא. התצפית הראשונה כללה 2 טיפולים: חלקה עם 5 מ"ק/דונם במ"ס וחלקת ביקורת ללא זיבול. התצפית השניה כללה 3 טיפולים: טיפול ביקורת ללא זיבול ו- 2 טיפולי במס"א בעומס 5 ו- 15 מ"ק/דונם (שקול ל- 50 ו- 150 ק"ג חנקן/דונם, בהתאמה), כאשר הטיפול הראשון חזר מדי שנה והשני ניתן אחת ל- 3 שנים, שניהם כתחליף ליישום דשן מסחרי. **מבחינת היבול**- יישום הבמס"א הגדיל את היבול במידה משמעותית ביותר (כ- 170% בממוצע במחזור 2011/12 ביחס ליבול ההיקש) תוך מניעת הצורך ביישום דשני יסוד. **מבחינת הרכב כימי בצמחים**- הייתה עליה מובהקת בריכוז המוליבדן וירידה בריכוז העופרת, בריום ונתרן בהשוואה להיקש, תופעות שחזרו על עצמן בשני מחזורי הגידול. בנוסף, נמצאה עליה בריכוז הליתיום וירידה בריכוז האבץ והגופרית בטיפול הבמס"א שיוחסה להשפעת הבמס"א בלבד. באשר ליסודות הלא חיוניים- ריכוזי ארסן וקדמיום בצמחים היו מתחת לסף הגילוי, ריכוזי עופרת כאמור היו נמוכים משל הביקורת (עד פי 2 ו- 4 בטיפול הבמס"א והבמ"ס, בהתאמה), וכספית בבמ"ס ובבמס"א הייתה בלתי מדידה.

**בניסוי בחוות הבשור** נבחנה הבמס"א כתחליף לחומרי הדברה מקובלים כנגד פתוגנים שוכני קרקע. מנגנון ההשפעה העיקרי של הבמס"א הוא שפעול של רעילות אמוניה גזית ( $\text{NH}_3$ ) לצורך ההדברה. השפעה זו תלויה בריכוז האמוניה בתמיסת הקרקע התלוי מצידו ב- pH (בערכי pH של 10 עד 10.5 רוב האמוניום מצוי כאמוניה גזית) ובחום ובטמפרטורת הקרקע. עבודות קודמות הראו שחשיפה לאמוניה גזית קוטלת פתוגנים בתוך דקות, אולם החידוש בעבודה הנוכחית הוא שהבמס"א מהווה מקור הן לאמוניה והן לסיד המעלה את pH הקרקע. כדי לבדוק את יעילות הבמס"א בהדברת גורמי מחלה בקרקע הגורמים למחלות בתפוז"א, בוצע תחילה אילוח מכוון בשדה (שכבר היה מאולח) ע"י זריעת פקעות נגועות בספונגוספורה (גרם אבק) בנובמבר 2010 וגידול תפוז"א מזן דזירה הרגיש לפטריה זו בינואר 2011. לאחר שהאילוח אומת (40% מהפקעות היו נגועות בפטריה) בוצע באוגוסט 2011 השלב הבא של המחקר שכלל 6 טיפולי הדברה: 2 טיפולי ביקורת עם וללא חיפוי ביריעת פלסטיק (נועד להעלאת טמפרטורת הקרקע המסיטה את שיווי המשקל ליצירת אמוניה גזית ובכך מאפשרת לייעל את ההדברה, תוך הפחתה במינון הסיד המוסף כבמס"א ו/או האמוניום), ביקורת הדברה מסחרית עם מתאם סודיום ו- 3 טיפולי במס"א בעומס 4.3 טון חומר יבש/דונם (בבדיקות מעבדה נמצא כי בעומס זה pH הקרקע צפוי לעלות מ- 8.5 ל- 10.5, כנדרש): עם חיפוי בלבד, עם חיפוי ותוספת דשן אמון גופרתי ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) במינון 180 ק"ג/דונם, וטיפול שלישי עם חיפוי ובמינון אמון גופרתי כפול מזה. הפיזור היה ידני. גידול הבוחן היה תפוז"א מזן ווינסטון (ללא חיטוי) שנשתל בסוף אוקטובר 2011. **מבחינת הדברת פתוגנים בקרקע ובריאות הצמחים**- בדיקות דגימות קרקע מעומק 0 – 20 ס"מ ו- 20 – 40 ס"מ מיד לאחר סיום ההדברה, שבוע לאחר מכן ובסיום הניסוי, הראו כי יישום הבמס"א שגרם להעלאת ה- pH וריכוז האמוניום בקרקע בשילוב אפקט החום של חיפוי הפלסטיק, הפחית שכיחות סטרפטומיציטים פתוגנים ב- 20 ס"מ העליונים בקרקע, ואת שכיחות הפוזריום הכללי שבאה



**סקירת מחקרים ועבודות  
אוקטובר 2016  
שימושי אפר פחם בחקלאות**

לידי ביטוי ביעילות הדברה של 87 – 94 אחוז בטיפול הבמס"א לעומת הביקורת ללא חיפוי ביריעת פלסטיק והייתה גם גבוהה בהשוואה ליעילות ביקורת ההדברה המסחרית שעמדה על 63% בלבד. מאידך, לא הייתה הפחתה משמעותית בנגיעות בגרב מצוי ששכיחותו הייתה גבוהה בפקעות ואף גבוהה בחלק מטיפולי הבמס"א מזו שנמצאה בחלק מטיפולי הביקורת. בנוסף, רמת הנגיעות הייתה נמוכה מאד בלי הבדל משמעותי בשכיחות בין הטיפולים, כולל טיפול ההדברה המסחרית. **מבחינת היבול**- נמצא שהבמס"א הגדילה את יבול הפקעות (משקל וכמות) בכ- 50% בהשוואה לטיפול הביקורת. ייתכן וזה נבע ממחסור בזרחן, נחושת ומוליבדן (יסודות קורט חיוניים) בקרקע שעיכבו את גידול הפקעות בטיפול הביקורת, כאשר יישום הבמס"א סיפק מחסורים אלו. **מבחינת הרכב כימי בפקעות**- נבדק בשלושה טיפולי ביקורת שאוחדו לצורך ניתוח סטטיסטי ובאותו אופן בבמס"א. ריכוזי חנקן ואשלגן היו דומים בין טיפולי הביקורת והבמס"א, וכאמור, ריכוזי זרחן, נחושת ומוליבדן היו גבוהים יותר משמעותית בטיפול הבמס"א וכך גם לגבי סידן שהינו גורם חשוב בשמירת איכות הפקעות באחסון, וסלן שהינו מרכיב מזון חיוני לאדם.