

השפעת ביו-פחם (Biochar) המוצנע בקרקע על גידול ובריאות של פלפל

יגאל אלעד - המחלקה למחלות צמחים וחקר עשבים, המכון להגנת הצומח, מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי

כתובת המחבר: elady@volcani.agri.gov.il

אלן גרבר, סרגי סגל - המחלקה לכימיה של הקרקע, הזנת הצמח, ומיקרוביולוגיה, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי

בני לב - המחלקה ל הנדסת מערכות גידול, ייצור וסביבה, מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי

חגי יסעור - מרכז מחקר גילת, מנהל המחקר החקלאי

רבקה אופנבך, דורית חשמונאי, שבתאי כהן, אבי אושרוביץ, ישראל צברי, סבטלנה גוגיו, יובל ברזילי - מו"פ ערבה תיכונה וצפונית

תקציר

ביו-פחם הינו תוצר של פירוליזה (פירוק של ביומסה בחום בינוני, 350-600 מ"צ בהעדר חמצן). לביו-פחם משמעות סביבתית וחקלאית התופסת תאוצה בעולם כשהוא מוטמן בקרקע. לביו-פחם משך מחצית חיים של מאות ואלפי שנים בקרקע. בקרקע הביא ביו-פחם לעלייה ביבולים, לשיפור בתכונות פיסיקליות/כימיות של הקרקע ולהפחתה בפליטות של גזי חממה מהקרקע. בעונה קודמת נוסה טיפול ביו-פחם אחד בהצלחה ומטרת הניסוי בעונת 2012/13 הייתה לימוד ההשפעה של ביו-פחם על גידול, הנבה ותחלואה של פלפל בתנאי גידול של הערבה. ביו-פחם שנוצר משאריות צמחי פלפל בפירוליזת 350 ו 450 מ"צ וביו-פחם מפסולת עצי איקליפטוס הוטמן בשיעור של 2.6 ק"ג/מ"ר בקרקע בבית רשת בתחנת יאיר. בנוסף הוטמן ביו-פחם צמחי פלפל במנה של 1.3 ק"ג/מ"ר בחלקות בהן הוא הוטמן בניסוי קודם בשנה שעברה. במהלך הגידול לא נצפו כל תופעות של השפעה שלילית על גידול הצמחים כתוצאה מיישום ביו-פחם בקרקע. כמות היבול הכללי והיבול באיכות יצוא הייתה גבוהה יותר בטיפול הביו-פחם בינואר ובחלק מהטיפולים גם בסוף העונה. טיפול הביו-פחם שניתן בקרקע הביא להפחתת מחלת הקמחוניית בנוף צמחי הפלפל עד כדי מחצית. בניסוי השנה נתקבלה גם הפחתת נזקי אקרית העיוותים. לפיכך התקבלה תופעה של השראת עמידות סיסטמית בתנאי שדה. הניסוי נמשך באותו אתר בעונה העוקבת.

מבוא

ביו-פחם הינו תוצר של פירוליזה (פירוק של ביומסה אורגנית בחום בינוני, 350-600 מ"צ בהעדר חמצן). את הביו-פחם ניתן לנצל כדלק חלופי, אך קיימת הצעה בעלת משמעות סביבתית וחקלאית התופסת תאוצה בעולם - להטמינו בקרקע. ביו-פחם הוא חומר אורגני בעל מבנה של טבעות ארומטיות דחוסות, שמשך מחצית חייו בקרקע הוא מאות ואלפי שנים, ולכן הפחמן שבו מתקבע ונגרע מהאטמוספירה. באמצעות תהליך משולב של שריפת ביומסה באמצעות מתקנים מודרניים לפירוליזה, שימוש בגזים ובנוזלים המופקים כמקור לאנרגיה והטמנת התוצר המוצק (ביו-פחם) בקרקע, ניתן לקבל קיבוע פחמן כחלק מהמאמצים להפחתת הפליטה של גזי חממה ולהתמודדות עם שינויי האקלים הצפויים (גרבר והדס, 2009).

דיווחים שונים בספרות העולמית הראו כי ביו-פחם שהוטמן בקרקע הביא לעלייה כללית ביבולים, לשיפור בתכונות פיסיקליות/כימיות של הקרקע ולהפחתה בפליטות של גזי חממה (CH_4 ו- N_2O) מהקרקע. יישום ביו-פחם בקרקע הביא לשיפור במבנה הקרקע ולעלייה בזמינות יסודות המזון לצמחים כתוצאה מתהליכים תלויים שונים, הכוללים קשירה של יסודות מזון לביו-פחם והפחתת הדליפה שלהם משכבת בית השורשים ושיפור תאחיזת המים

בקרקה, הקטנת החוזק המכאני ויציבות התלכידים (Silber *et al.*, 2010). בעבודות אלה יושם הביו-פחם כמטייב קרקע על רקע של דישון חסר.

בעבודה עם מחלות צמחים, נמצא כי ביו-פחם שנוצר מעצים שיושם במצע גידול בעציצים, בריכוז של 1-5% משקלי, שיפר את הגידול של צמחי עגבנייה ופלפל (Graber *et al.*, 2010), והביא לפחיתת בתחלואה במחלות עובש אפור (*Botrytis cinerea*) וקימחוניית (*Leveillula taurica*) בעגבנייה ובפלפל (Elad *et al.*, 2010) ומחלות נוף בתות שדה (Meller Harel *et al.*, 2012). בעבודות אלה יושם הביו-פחם על רקע של השקיה והזנת צמחים עודפות כך שהסקנו שפעולתו הייחודית הינה מעבר להשפעה הזנה ישירה על הצמחים. מטרת הניסויים בתחנת יאיר היא לימוד את ההשפעה של ביו-פחם על צימות, הנבה, איכות הפרי, ועמידות למחלות של פלפל, בתנאי גידול של הערבה.

בעונת 2011/12 ביו-פחם שנוצר משאריות צמחי פלפל הוטמן בשיעור של 1.3 ק"ג/מ"ר בקרקע בבית רשת בתחנת יאיר. במהלך הגידול לא נצפו כל תופעות של השפעה שלילית על גידול הצמחים כתוצאה מיישום ביו-פחם בקרקע. חומרת מחלת הקמחוניית בטיפול הביו-פחם הייתה נמוכה כדי מחצית מטיפול הביקורת ללא ביו-פחם במחצית עונת הגידול הראשונה ובענפים צעירים שהתחדשו באביב גם בסוף העונה (אלעד וחובי, 2013). בעונת 2012/13 הורחב הניסוי לבדיקת סוגי ביו-פחם נוספים.

שיטות

הניסוי נערך בבית רשת 25 מש בתחנת יאיר. שטח בית הרשת כ- 5 דונם. הקרקע חולית, קומפוסט הוצנע בשטח במינון 5 קוב לדונם כשבוע לפני שתילה בעונת 2011/12. ביו-פחם הוכן משאריות צמחי פלפל שגדלו בשנה קודמת בערבה על ידי פירוליזה במרכז וולקני בטמפרטורה של 350 ו- 450 מ"צ ומפסולת איקליפטוס בפירוליזה בטמפ' 350 מ"צ. מקורות ביו-פחם אלה יושמו בריכוז 1% ובנוסף יושם ביו-פחם פסולת חממה בריכוז 0.5% בחלקות הביו-פחם מהשנה הקודמת בהן במקור יושם ביו-פחם זה בריכוז 0.5% (אלעד וחובי, 2013). הביו-פחם יושם לפני השתילה, ב 10/8/12 על ידי פיזורו על פני שטח באורך 4 מ' וברוחב 0.5 מ' בכל חלקה. טיפולי ההיקש ללא ביו-פחם והביו-פחם היו בבוקים באקראי בחמש חזרות (טבלה 1).

טבלה 1. טיפולי הניסוי בעונת 2012-13 בבית רשת בתחנת יאיר

טיפול	ביו-פחם	טמפרטורת פירוליזה (מ"צ)	ריכוז (%)
-	ביקורת ללא ביו-פחם	-	-
0.5 X2 GHW 450	שאריות צמחי פלפל	450	0.5 שנתיים
GHW 450	שאריות צמחי פלפל	450	1
GHW 350	שאריות צמחי פלפל	350	1
EUC350	פסולת איקליפטוס	350	1

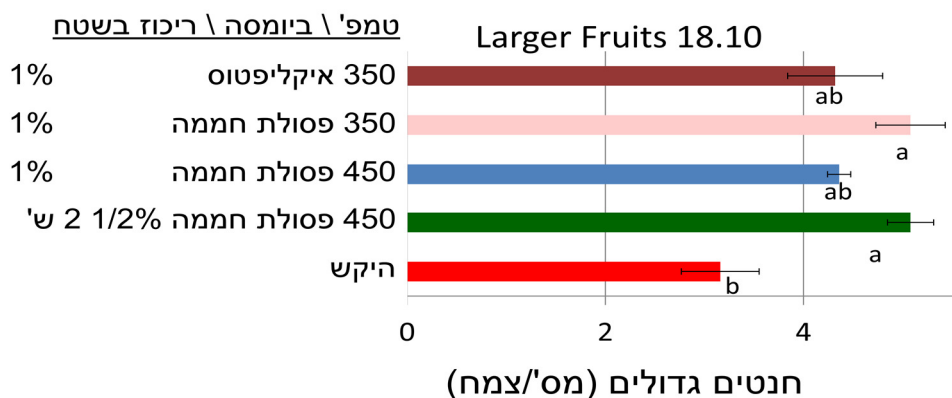
חלקת שקילה הייתה באורך 4 מטר וברוחב 1.6 מ' ערוגה, כך ששטחה היה 6.4 מ"ר. הפחם הוצנע ידנית לעומק כ- 15 ס"מ, שעור הצנעת הביו-פחם היה לפי 2.6 טון לדונם בחלקות ה- 1% ביו-פחם. בחלקה נשתלו 20 צמחים מהזן סובק ב 13/8/12. רשת צל הוסרה ב 24/9/12, נשטפה ב 3/10/12 ונפרסה מחדש ב 16/2/13. אגרו-טכניקת הגידול, שימוש ברשתות צל, טיפולי ההשקיה, דישון והגנת הצומח היו בהתאם להמלצות שה"מ לאזור הערבה אך

לא ניתנו טיפולי הגמעה נגד קמחונית מחשש לאינטראקציה עם הביו-פחם ובמטרה לחשוף את הצמחים למחלה. בשטח הניסוי הופיעה אקרית העיוותים והנגע טופל. טיפולים שנתנו בשטח כללו אקסמייט, פלורמייט, פרסימיליס, איבוק גופרית והליו-גופרית, טרייסר, אוריוס ואפידיוס.

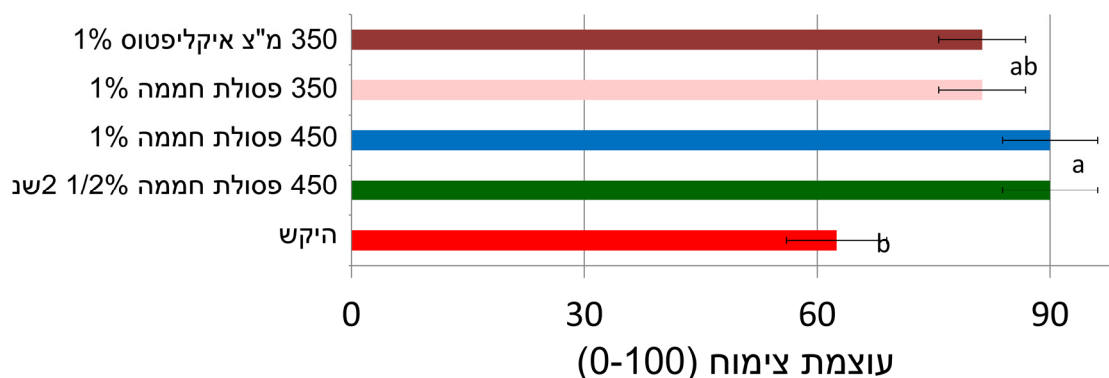
בתאריך 18/10/12 (67 ימים לאחר שתילה) נבדק מספר החנטים הגדולים וכלל החנטים. הקטיף החל ב- 18/11/10 והסתיים ב 7/4/12. סה"כ נערכו 11 קטיפים, הפרי מוין ביום הקטיף. בתאריך 23/1/13 נבדקה עוצמת הצימוח לפי מדד מעובד של 0-100. הפירות נבדקו לריכוז כלל פנולים בפרי. במועדים נבחרים הוערכה מחלת הקמחונית בעלי הפלפל, לפי שכיחות העלים הנגועים, מידת כיסוי עלי הצמחים לפי סקלה של 0-100% (0=בריא), מספר העלים הנושרים וחישוב משוקלל לכיסוי עלים ונשירה.

תוצאות ודיון

מספר החנטים הגדולים 67 ימים לאחר השתילה היה בשניים מטיפולי הביו-פחם גבוה יותר מאשר בהיקש (איור 1). עוצמת הצימוח של נוף הפלפל נבדקה 163 ימים לאחר שתילה והייתה גבוהה יותר מאשר בהיקש בשני טיפולי פסולת החממה 450 מ"צ (איור 2).



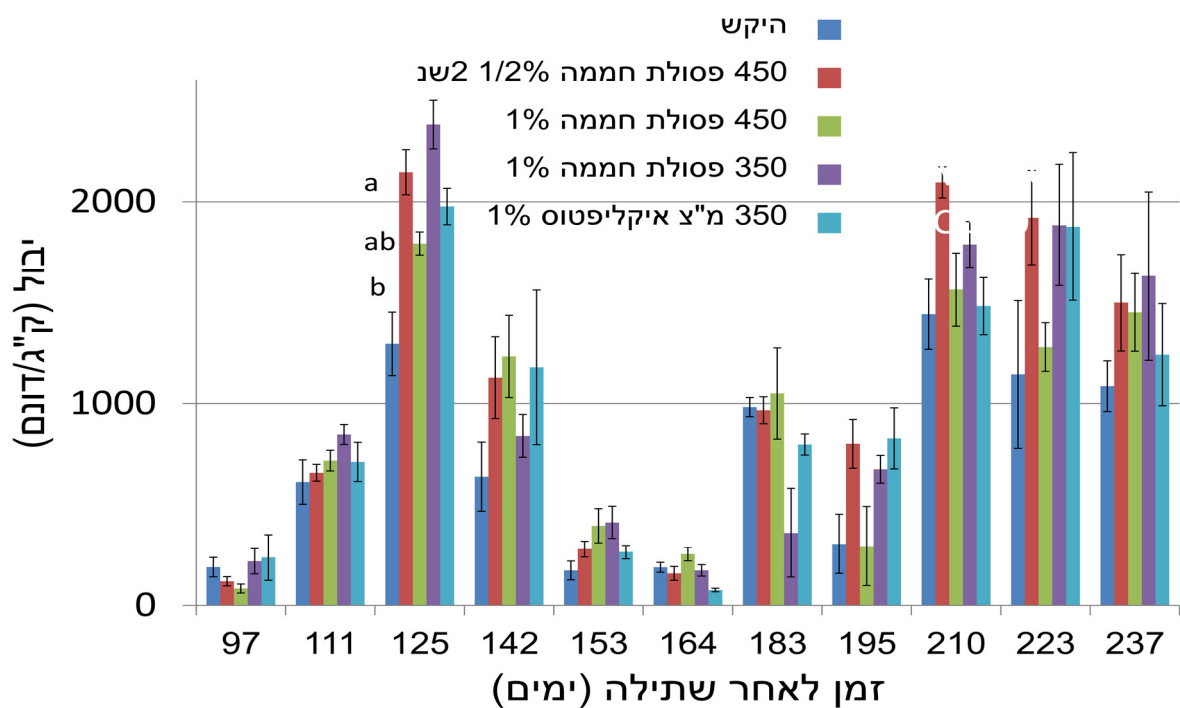
איור 1: כמות החנטים הגדולים על גבי צמחי הפלפל בניסוי ביו-פחם ב 18.10.12 (67 ימים לאחר שתילה), עונת 2012/13



איור 2: עוצמת צימוח צמחי הפלפל בניסוי ביו-פחם ב 23/1/13 (163 ימים לאחר שתילה), עונת 2012/13

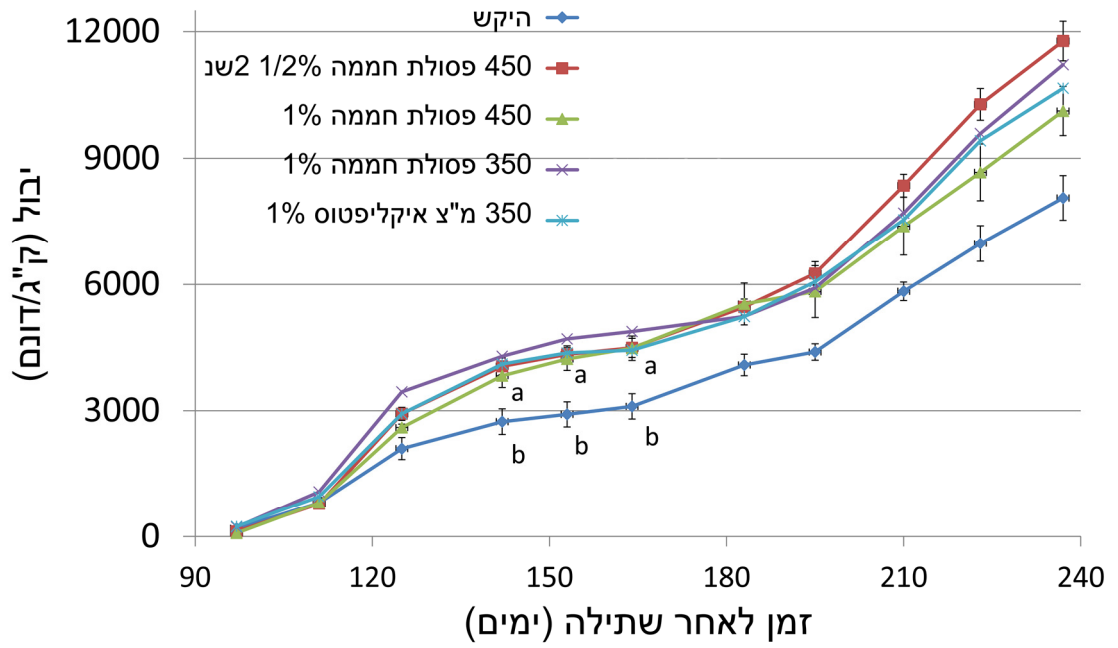
היבול הכללי נשקל אחת עשרה פעמים בעונת הגידול מאמצע נובמבר ועד תחילת אפריל. בטיפול ההיקש התקבל יבול של כ- 8.1 טון/דונם ובטיפולי הביו-פחם התקבל יבול כולל של 10.1-11.8 טון/דונם (איורים 3-4). הקטיפה באמצע דצמבר הניב את כמות הפרי הרבה ביותר ביחס לקטיפים האחרים ובמועד זה התקבל כלל היבול הרב ביותר בטיפולי ביו-פחם פסולת חממה שיושם מפוצל לקראת שתי העונות ובביו-פחם פסולת חממה 350 מ"צ (איור 3). כלל היבול המצטבר היה גבוה יותר בשני טיפולים אלה (איור 4). בחודש ינואר הניבו כל טיפולי הביו-פחם יבול מצטבר גבוה יותר מטיפול ההיקש (איור 4).

משקל היבול באיכות יצוא בהיקש הצטבר לכדי 7.6 ט"דונם ובטיפולי הביו-פחם הוא היה 9.3-11.1 ט"ד'. בדומה לכלל היבול, היבול באיכות יצוא היה רב יותר בטיפולים ביו-פחם פסולת חממה שנתן מפוצל לקראת שתי העונות ובביו-פחם פסולת חממה 350 מ"צ ויבול היצוא המצטבר עד אמצע חודש ינואר, היה גבוה בכל טיפולי הביו-פחם בהשוואה להיקש (איור 6). תוצאה דומה התקבלה בספירת הפירות באיכות יצוא (איורים 7-8).



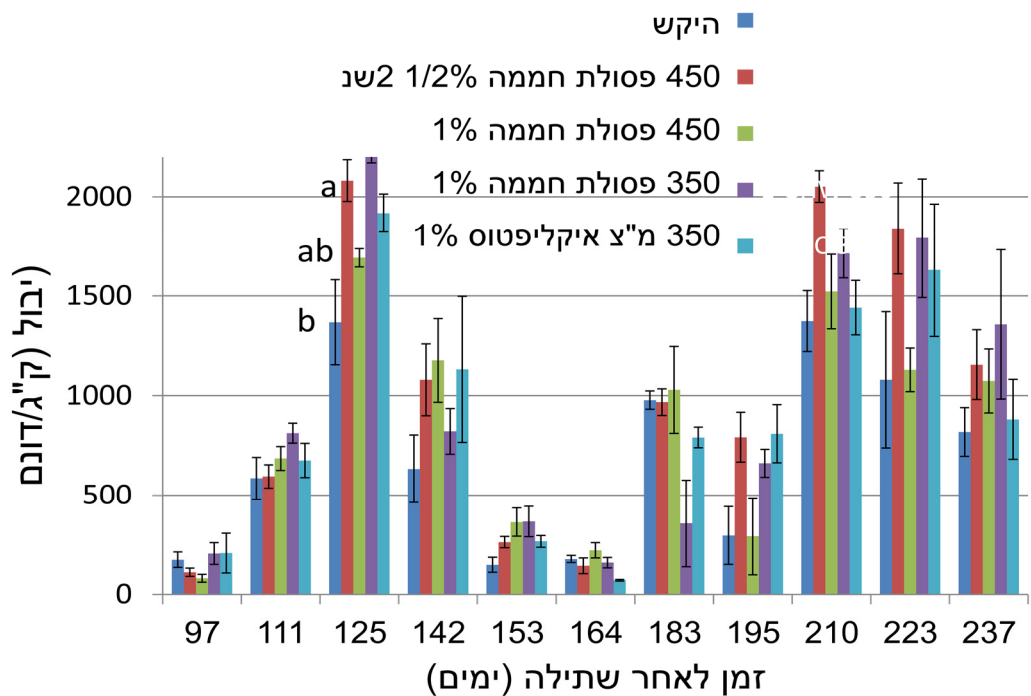
18/11/12	02/12/12	16/12/12	02/01/13	13/01/13	24/01/13	12/02/13	24/02/13	11/03/13	24/03/13	07/04/13
97	111	125	142	153	164	183	195	210	223	237

איור 3. משקל כלל היבול בניסוי ביו-פחם בבית רשת בתחנת יאיר 2012/13

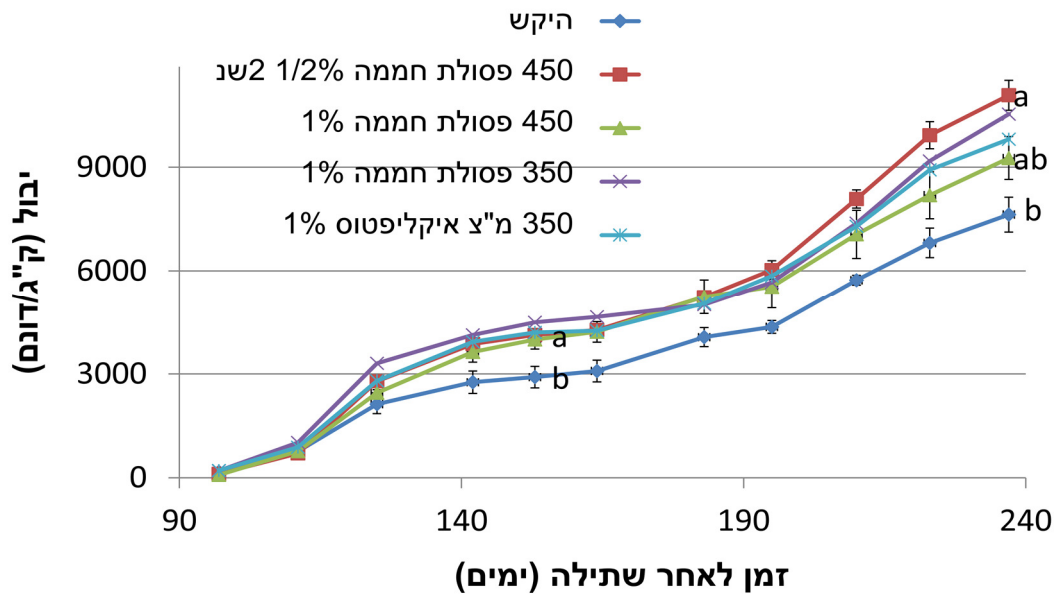


18/11/12	02/12/12	16/12/12	02/01/13	13/01/13	24/01/13	12/02/13	24/02/13	11/03/13	24/03/13	07/04/13
97	111	125	142	153	164	183	195	210	223	237

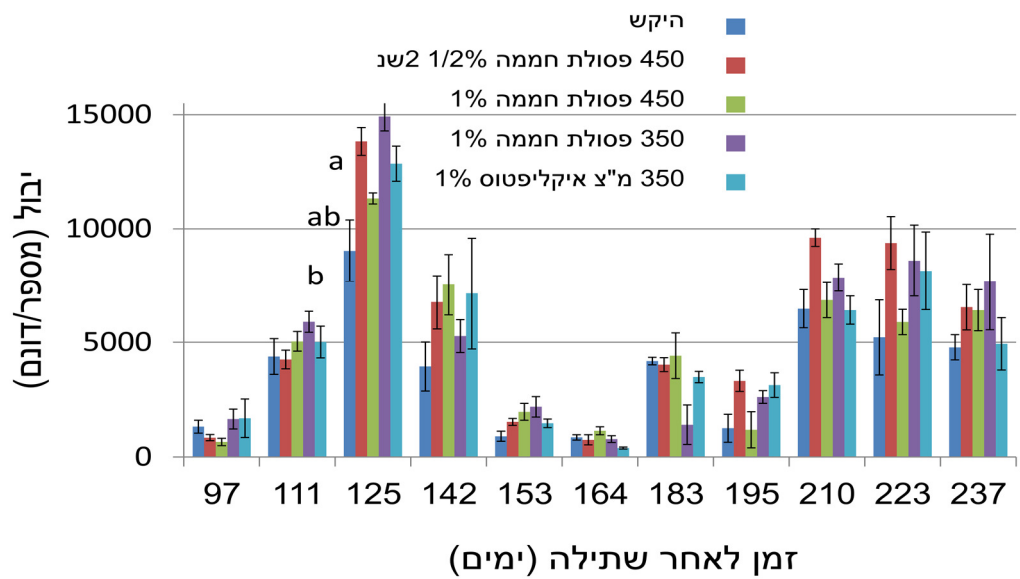
איור 4. משקל כלל היבול המצטבר בניסוי ביו-פחם בבית רשת בתחנת יאיר 2012/13



איור 5. משקל היבול באיכות יצוא בניסוי ביו-פחם בבית רשת בתחנת יאיר 2012/13



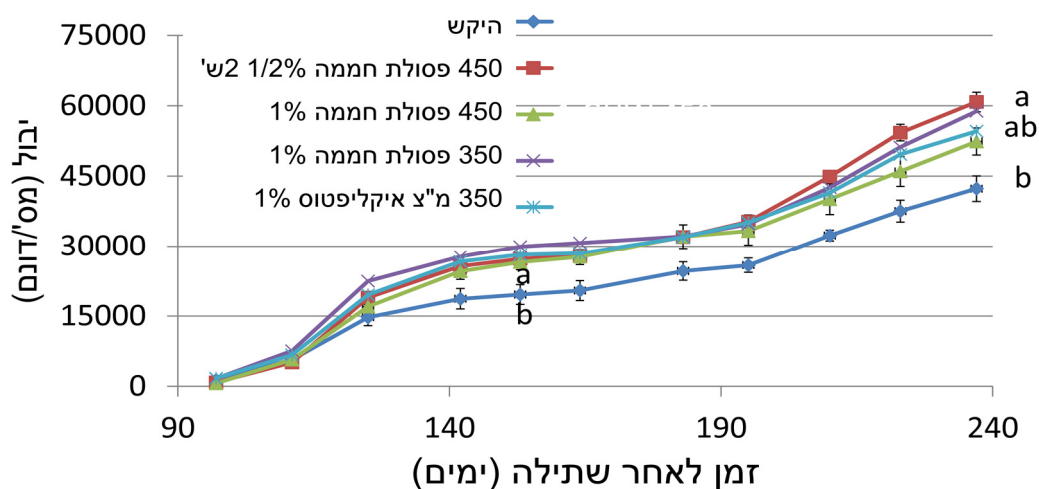
איור 6. משקל היבול המצטבר באיכות יצוא בניסוי ביו-פחם בבית רשת בתחנת יאיר 2012/13



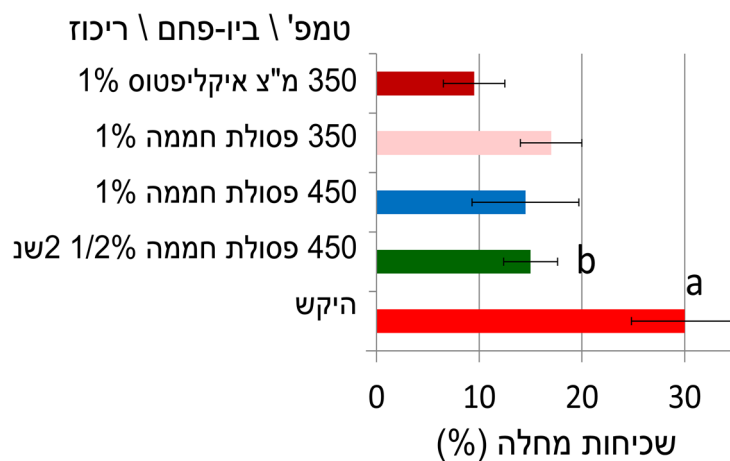
איור 7. מספר פירות באיכות יצוא בניסוי ביו-פחם בבית רשת בתחנת יאיר 2012/13

בחלקת הגידול הופיעה קמחונית החל מאמצע חודש דצמבר 2012. המחלה שהוערכה ב- 20/12/12 לא הייתה תמורה בחלקה ושכיחות העלים הנגועים הגיעה לכדי 30%. שכיחות הקמחונית הופחתה במועד זה לכדי חצי על ידי טיפולי הביו-פחם (איור 9). באמצע חודש ינואר הייתה שכיחות הקמחונית גבוהה ולא נמצאו הבדלים בין טיפולי הניסוי אך חומרת המחלה שהגיעה לכדי 14% כסוי עלים והופחתה על ידי שני מקורות הביו-פחם שהוכנו ב 350 מ"צ (איור 10). חומרת המחלה בעלים הנבדקים הגיעה לכדי 42% כיוסי ב 29/1/13 והופחתה על ידי כל טיפולי הביו-פחם בעוד ב 7/3/13 היא הופחתה על ידי הביו-פחם שהוכן ב 350 מ"צ (איור 11). בסוף חודש מרץ החלו לנשור עלים כתוצאה מקמחונית ובשבוע הראשון של אפריל נמצא שכלל המחלה המשוקללת הגיעה לכדי 50% חומרה וטיפול פסולת החממה 350 מ"צ היה עדיין יעיל בהפחתת הקמחונית, לכדי מחצית (איור 12).

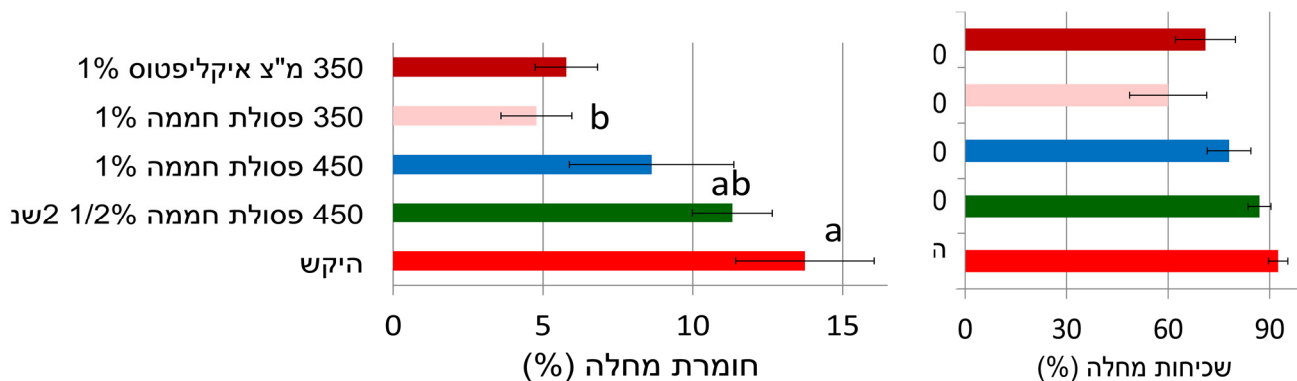
במהלך חודשי ספטמבר-אוקטובר הופיעה נגיעות באקרית העיוותים בחלקה. באמצע חודש אוקטובר הגיעה שכיחות הצמחים המושפעים מהאקרית לכדי 11% בהיקש וזאת עם שונות רבה בין חלקות הניסוי. למרות השונות נמצא שברוב טיפולי הביו-פחם פחתה שכיחות הנגיעות באקרית ובשני טיפולים אפילו לא היו נזקים כלל (איור 13).



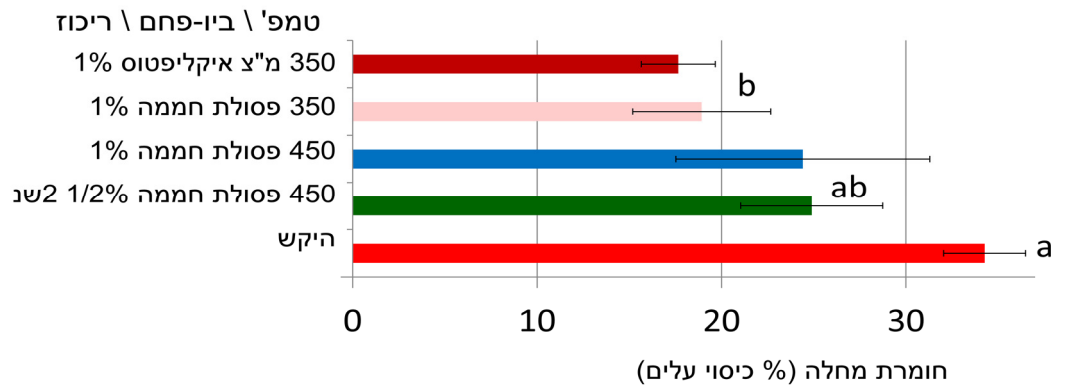
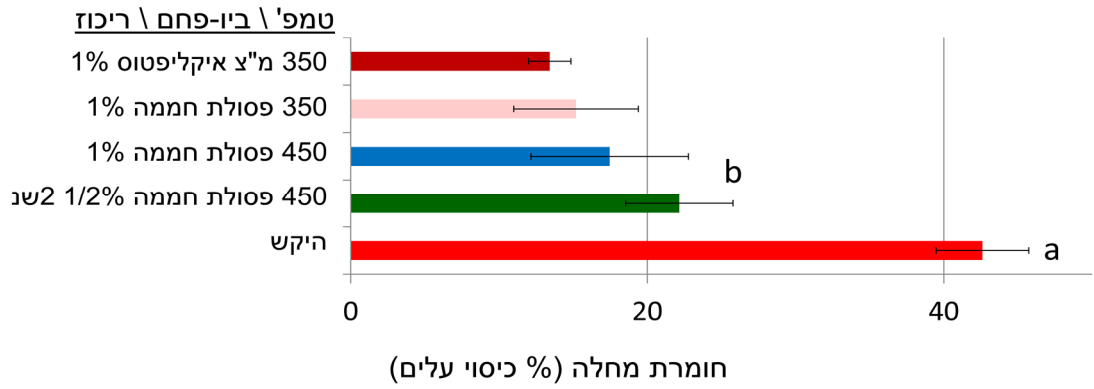
איור 8. מספר פירות המצטבר באיכות יצוא בניסוי ביו-פחם בבית רשת בתחנת יאיר 2012/13



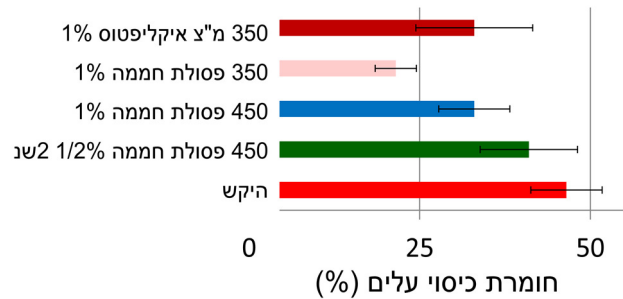
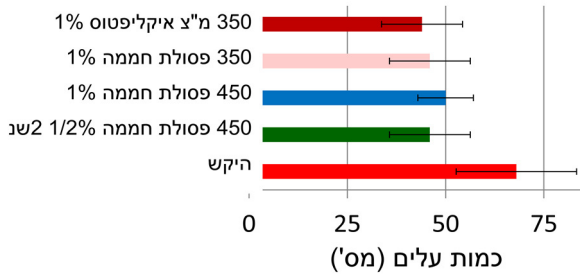
איור 9. שכיחות מחלת הקמחוניית בטיפולי הביו-פחם ב 20/12/12



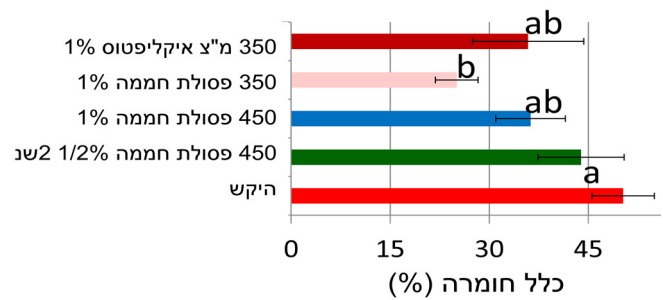
איור 10. מחלת הקמחוניית ב 13/1/13. שכיחות המחלה (ימין) וחומרת כיסוי העלים (שמאל), שיעור נשירת עלים (למעלה משמאל) וסה"כ מחלה משוקללת (למטה).

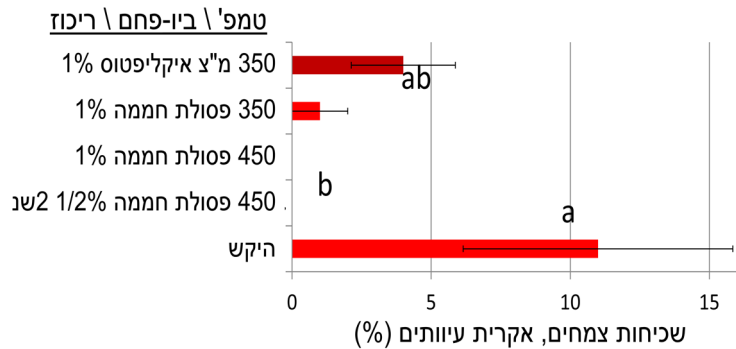


איור 11. חומרת מחלת הקמחוניית ב 29/1/13 (למעלה) וב 7/3/13 (למטה).



איור 12. חומרת מחלת הקמחוניית על גבי העלים (ימין למעלה), נשירת עלים (שמאל למעלה) וכלל המחלה המשוקללת (ימין למטה) ב 7/4/13 הניסוי בתחנת יאיר.





איור 13 : שכיחות הצמחים שנוגעו על ידי אקרית העיוותים ב 18/10/12 בניסוי ביו-פחם בתחנת יאיר.

לסיכום, במהלך הגידול לא נצפו כל תופעות של השפעה שלילית על גידול הצמחים כתוצאה מיישום ביו-פחם בקרקע. ככלל, ביו-פחם הביא לעלייה בצימוח, הקדמת יבול והגברת ההנבה. מחלת הקמחונית בטיפול הביו-פחם הושפעה אף היא על ידי הביו-פחם בקרקע ובמועד הערכה אחד בו נעשתה בדיקה הופחתה אקרית העיוותים. טיפול הביו-פחם ניתן בקרקע בעוד מחלת הקמחונית והאקרית תוקפות את הנוף כך שנראה כי גם בניסוי זה התקבלה תופעה של השראת עמידות סיסטמית בתנאי שדה, כפי שדווח בעבר בעקבות ניסויים בעציצים (Elad *et al.*, 2010, 2011). באשר ליבול, תוצאות הניסוי מאשרות בקנה מידה כמו-מסחרי את שנמצא בעבר בניסויי עציצים. בעבר התקבלו גידול צמחי פלפל ועגבנייה מוגבר ותוספת יבול בניסויים שנערכו במרכז וולקני (Graber *et al.*, 2010).

הבעת תודה

תודתנו נתונה לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות על מימון תוכנית מחקר מספר 301-693-161 בנושא ביו-פחם: דרך המלך להפחתת גזי החממה באטמוספירה ולהסתגלות החקלאות לשינויי האקלים באמצעות פירוליזה של פסולות אורגניות.

ספרות מצוטטת

אלעד י, גרבר א, סגל ס, לב ב, אופנבך ר, חשמונאי ד, כהן ש, אושרוביץ א, צברי י, גוגיו ס, ברזילי י, גולן ר (2013) השפעת ביו-פחם (Biochar) המוצנע בקרקע על גידול ובריאות של פלפל. סיכום עונת מחקר 2011/12 מו"פ ערבה תיכונית וצפונית-תמר, בעריכת צביאלי י ואלעד י, ודווח מלא ב-

<http://www.arava.co.il/cgi->

[webaxy/sal/sal.pl?lang=he&ID=457087_arava2012&guest_data=%20%D%20&act=view&dbid=files&dataid=1164&fid=f6&name=Pepper%20biochar%2011-12.pdf](http://www.arava.co.il/cgi-webaxy/sal/sal.pl?lang=he&ID=457087_arava2012&guest_data=%20%D%20&act=view&dbid=files&dataid=1164&fid=f6&name=Pepper%20biochar%2011-12.pdf)

גרבר א, הדס א. 2009. פירוליזה של פסולת אורגנית לייצור אנרגיה, טיוב קרקע וקיבוע פחמן. ניר ותלם. 12/2009, 12-21.

Elad, Y., Rav David, D., Meller Harel, Y., Borenshtein, M., Ben Kalifa, H., Silber, A. and Graber, E.R. (2010) Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent. *Phytopathology* 100:913-921.

Elad, Y., Cytryn, E., Meller Harel, Y., Lew, B. and Graber, E.R. (2011) The Biochar Effect: plant resistance to biotic stresses. *Phytopathologia Mediterranea* 50: 335–349.

Graber, E.R., Meller Harel, Y., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., Rav David, D., Tsechansky, L., Borenshtein, M. and Elad, Y. (2010) Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil* 337:481–496.

Meller Harel, Y., Elad, Y., Rav-David, D., Borenstein, M., Shulchani, R., Lew, B. and Graber, E. R. (2012) Biochar-induced systemic response of strawberry to foliar fungal pathogens. *Plant and Soil* 357: 245-257.

Silber, A., I. Levkovitch and E.R. Graber (2010) pH-Dependent mineral release and surface properties of cornstraw biochar: agronomic implications. *Environmental Science & Technology* 44, 9318-9323.

Effect of biochar on growth and disease of sweet pepper crop

Yigal Elad - Dept. of Plant Pathology and Weed Research, Volcani Center, ARO

Ellen Graber, Sergey Segal - Dept of Soil Chemistry, Plant Nutrition and Soil Microbiology, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, Volcani Center, ARO,

Beny Lew - Institute of Agricultural Engineering, Volcani Center, ARO

Haguy Yasur Plant Sciences, Gilat Research Center, ARO

Rivka Offenbach, Dorit Hashmonai, Shabtai Cohen, Avi Oshrowitz, Israel Tzabari, Svetlana Gogio, Yuval Barzilai - Central and Northern Arava R&D