

## 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 המחקר: [elady@volcani.agri.gov.il](mailto: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, רמי גולן -

מו"פ ערבה תיכונה וצפונית

### תקציר

ביו-פחם הינו תוצר של פירוליזה (פירוק של ביומסה בחום בינוני, 400-600 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. דווח שביו-פחם שהוטמן בקרקע הביא לעלייה כללית ביבולים, לשיפור בתכונות פיסיקליות/כימיות של הקרקע ולהפחתה בפליטות של גזי חממה מהקרקע. עצם הטמנתו בקרקע מביא לקיבוע פחמן כחלק מהמאמצים להפחתת הפליטה של גזי חממה ולהתמודדות עם שינויי האקלים הצפויים. דווח שביו-פחם שהוטמן בקרקע הביא לעלייה כללית ביבולים ולשיפור בתכונות פיסיקליות/כימיות של הקרקע ולהפחתה בפליטות של גזי חממה מהקרקע. מטרת הניסוי בעונת 2011/12 הייתה לימוד ההשפעה של ביו-פחם על גידול והנבה של פלפל בתנאי גידול של הערבה. 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. כמות היבול הכללי ב 14/12/11 הייתה 3,398 ו 3,634 ק"ג לדונם בביקורת ובביו-פחם, בהתאמה, ללא מובהקות בין הטיפולים ובתחילת אפריל 2012 היא הייתה 6,854 ו- 6,745 ק"ג לדונם, בשני הטיפולים, בהתאם; שיעור היצוא היה גבוה אך לא נבדל בין הטיפולים הן במספר הפירות והן במשקלם. 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. טיפול הביו-פחם ניתן בקרקע בעוד מחלת הקמחוניית תוקפת את הנוף, כלומר התקבלה תופעה של השראת עמידות סיסטמית בתנאי שדה. בניסוי נוסף יבדקו סוגי פחם נוספים.

### מבוא

ביו-פחם הינו תוצר של פירוליזה (פירוק של ביומסה בחום בינוני, 400-600 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 ( $\text{CH}_4$  ו- $\text{N}_2\text{O}$ ) 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 בקרקע, הקטנת החוזק המכאני ויציבות התלכידים (Silber *et al.*, 2010).

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 לפחיתה בתחלואה במחלות עובש אפור (*Botrytis cinerea*) וקימחונית (*Leveillula taurica*) בעגבנייה ופלפל (Elad *et al.*, 2010). שתי מחלות אלה תוקפות צמחי עגבנייה ופלפל וכן גידולים רבים אחרים. המחלה הראשונה נגרמת על-ידי פטרייה נקרוטרופית בתנאי לחות גבוהה ורטיבות והשנייה נגרמת על-ידי פטרייה ביוטרופית ומתפתחת גם בתנאי לחות נמוכה יותר. בנוסף, הופחתו שלוש מחלות בתות שדה והן קימחון (*Podosphaera aphanis*) גחלון (אתנקרנוז, *Colletotrichum acutatum*) ועובש אפור (Meller Harel *et al.*, 2012). מטרת הניסויים היא לימוד ההשפעה של ביו-פחם על צימוח, הנבה, איכות הפרי, ועמידות למחלות של פלפל, בתנאי גידול של הערבה.

## שיטות

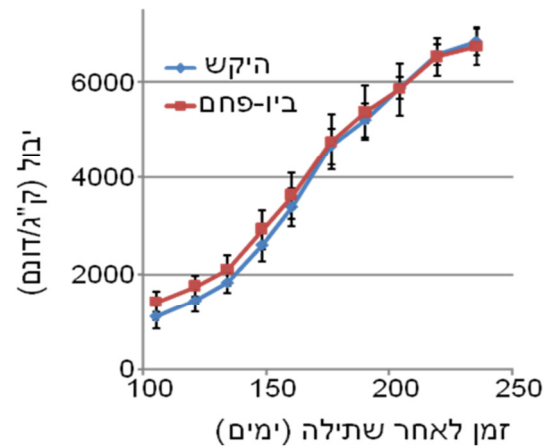
הניסוי נערך בבית רשת 25 מש בתחנת יאיר. שטח בית הרשת כ- 5 דונם. הקרקע חולית, קומפוסט הוצנע בשטח במינון 5 קוב לדונם כשבוע לפני שתילה. ביו-פחם הוכן משאריות צמחי פלפל שגדלו בשנה קודמת בערבה על ידי פירוליזה בטמפרטורה של 450 מ"צ במרכז וולקני. הביו-פחם יושם לפני השתילה, ב 14/8/11 על ידי פיזור על פני שטח באורך 4 מ' וברוחב 0.5 מ' בכל חלקה. טיפולי ההיקש ללא ביו-פחם והביו-פחם היו בבלוקים באקראי בחמש חזרות. 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 1.3 טון לדונם. בחלקה נשתלו 20 צמחים מהזן סובק ב 15/8/11. רשת צל הוסרה ב 16/9/11, נשטפה ב 3/10/11 ונפרסה מחדש ב 27/2/12. 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 אקסמיט, פלורמיט, פרסימיליס, איבוק גופרית והליו-גופרית, טרייסר, אוריוס ואפידיוס.

הקטיף החל ב- 22/11/10 והסתיים ב 4/4/12. סה"כ נערכו 10 קטיפים, הפרי מוין ביום הקטיף. בשני מועדים נדגמו פירות לבדיקות איכות ובכללן משקל פרי בודד (לחמישה פירות נבחרים באיכות יצוא מכל חלקת שקילה, בכל טיפול), משקל זרעים ועובי ציפה. כמו כן נבדקו בכלל הפירות בכל טיפול כלל סוכרים מסיסים וריכוז הגלוקוז בפרי. במועדים נבחרים הוערכה מחלת הקמחונית בעלי הפלפל, לפי מידת כיסוי עלי הצמחים - סקלה של 0-100% (=בריא), מספר העלים הנושרים וחישוב משוקלל לכיסוי עלים ונשירה.

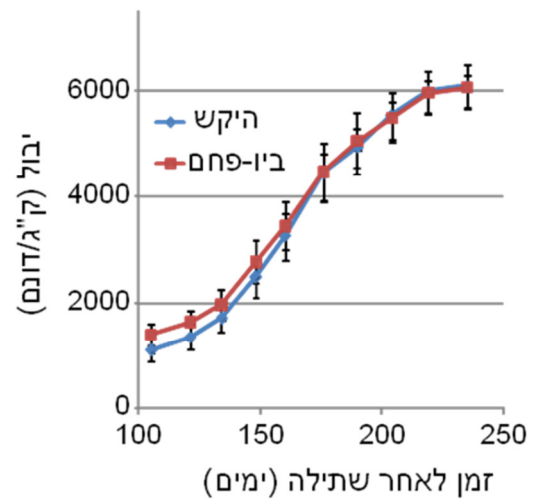
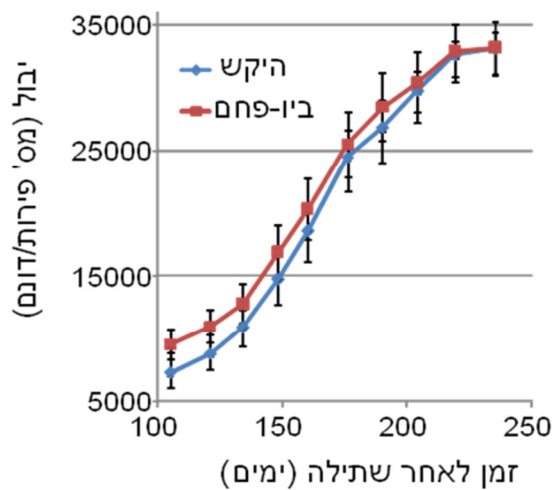
## תוצאות ודיון

כמות היבול הכללי ב 14/12/11 הייתה 3,398 ו 3,634 ק"ג בביקורת ובביו-פחם, בהתאמה, ללא מובהקות בין הטיפולים ובתחילת אפריל 2012 היא הייתה 6,854 ו- 6,745 ק"ג, בשני הטיפולים, בהתאם (איור 1). שעור היצוא היה גבוה אך לא נבדל בין הטיפולים הן במספר הפירות והן במשקלם (איור 2). תוצאות איכות הפרי בדגימות

דצמבר ופברואר (משקל פרי בודד, משקל זרעים, עובי ציפה, כלל סוכרים מסיסים וריכוז הגלוקוז בפרי, טבלה 1) לא נבדלו במובהק בין הטיפולים.



איור 1. משקל כלל היבול בניסוי ביו-פחם בבית רשת בתחנת יאיר 2011/12

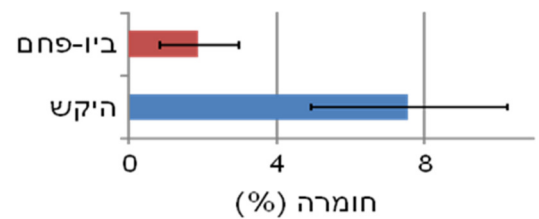
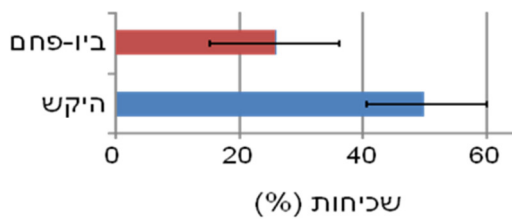


איור 2. יבול באיכות יצוא בניסוי ביו-פחם בבית רשת בתחנת יאיר 2011/12, משקל הפירות (ימין) ומספר הפירות (שמאל)

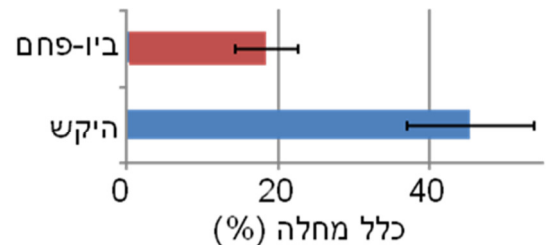
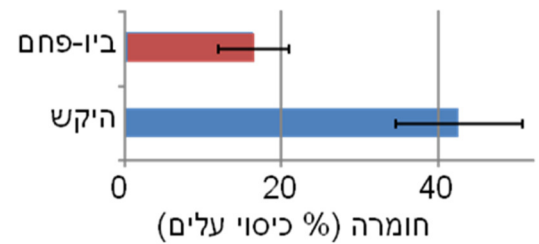
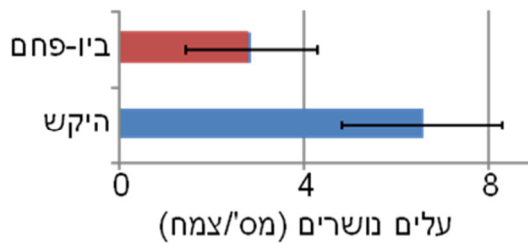
טבלה 1: בדיקות איכות פירות

גלוקוז (מ"ג/דציליטר)	כלל		משקל		תאריך
	מוצקים מומסים (יח' בריקס)	עובי ציפה (מ"מ)	זרעים (גרם/פרי)	פרי בודד (גרם)	
4,764	8.2	5.7	1.6	160.0±4.5	היקש 14/12/11
5,168	8.1	5.6	1.9	162.8±1.8	ביו-פחם
2,628	8.6	6.5	3.9	201.2±5.2	היקש 7/2/12
3,068	8.5	6.1	4.2	199.5±5.8	ביו-פחם

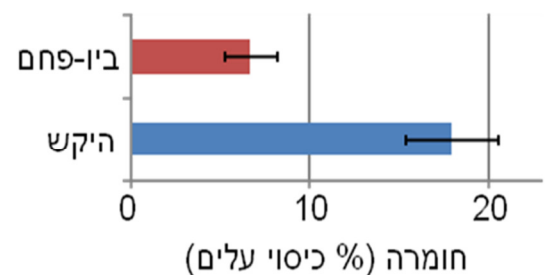
בחלקת הגידול הופיעה קמחוניית החל מאמצע חודש נובמבר 2011. המחלה שהוערכה בסוף חודש דצמבר הופחתה לכדי חצי בשכיחות הצמחים הנגועים וב 75% בחומרת הנגיעות (איור 3). ב 2/2/12 התבטאה המחלה לא רק בכיסוי עלים אלא גם בנשירת חלקם. שיעור הקמחוניית הכולל (שקלול כסוי עלים ונשירה) במועד זה היה 45 ו- 18%, בביקורת ובביו-פחם, בהתאמה (איור 4). מאוחר יותר הוחמרה המחלה בשני הטיפולים וב 23/4/12 הוערכו המחלה רק בענפים חדשים שהתפתחו לאחר החורף ונמצאה חומרה של 18 ו- 7%, בביקורת ובביו-פחם, בהתאמה (איור 5). במהלך הגידול הופיעה נגיעות באקרית העיוותים אשר לא הושפעה על ידי טיפול הביו-פחם וגרמה לחוסר אחידות בין חלקות הטיפולים.



איור 3. מחלת הקמחוניית בטיפולי היקש ללא ביו-פחם ובביו-פחם ב 29/12/11



איור 4. מחלת הקמחוניית ב 2/2/12. חומרת כיסוי העלים (למעלה מימין), שיעור נשירת עלים (למעלה משמאל) וסה"כ מחלה משוקללת (למטה).



איור 5. חומרת מחלה בעלים צעירים ב 23/4/12.

במהלך הגידול לא נצפו כל תופעות של השפעה שלילית על גידול הצמחים כתוצאה מיישום ביו-פחם בקרקע. חומרת המחלה בטיפול הביו-פחם הייתה נמוכה יותר מאשר בטיפול הביקורת ללא ביו-פחם במחצית עונת הגידול הראשונה ובענפים צעירים שהתחדשו באביב גם בסוף העונה. טיפול הביו-פחם ניתן בקרקע בעוד מחלת הקמחונית תוקפת 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). לעומת זה, יכול הפלפל אשר נראה לכאורה כי הוקדם בטיפול הביו-פחם לא היה שונה באופן מובהק בין הטיפולים וזאת בגלל שונות החלקות בשטח ופער לא גבוה מספיק בין הטיפולים. בעבר התקבלו גידול צמחי פלפל ועגבנייה מוגבר ותוספת יכול 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 פירולויזה של פסולות אורגניות.

## ספרות מצוטטת

- גרבר א, הדס א. 2009. פירולויזה 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, Rami Golan - Central and Northern Arava R&D