

דו"ח לתכנית מחקר מספר 12-0848-261

ביו-פחם לבקרת עקות אביוטיות וביוטיות בגידולי ירקות במבנים

CONTROL OF ABIOTIC AND BIOTIC STRESS IN COVERED VEGETABLE CROPS USING
BIOCHAR

מוגש לקרן המדען הראשי משרד החקלאות ע"י

מח' לחקר ירקות, מרכז מחקר גילת	חגי יסעור
כימיה של הקרקע והזנת צמחים	אלן גרבר
מחלות צמחים וחקר עשבים	יגאל אלעד
מח' לחקר ירקות, מרכז מחקר גילת	ג'אנה אורנשטיין
מו"פ ערבה תיכונה וצפונית	רבקה אופנבך
מו"פ ערבה תיכונה וצפונית	שבתאי כהן
מו"פ ערבה תיכונה וצפונית	שמעון פיבניה

Hagai Yasuor, Vegetable Research Dept., Gilat Research Center, ARO, M.P. Negev, 85280,
E-MAIL: hagai@agri.gov.il

Ellen Graber, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, ARO,
Bet Dagan 50250 Israel, E-MAIL: ergraber@agri.gov.il

Yigal Elad, Dept of Plant Pathology and Weed Research, ARO, The Volcani Center, Bet
Dagan 50250, Israel, E-MAIL: elady@agri.gov.il

Jeneta Orenstein, Vegetable Research Dep., Gilat Research Center, ARO, M.P. Negev, 85280,
E-MAIL: janaor@agri.gov.il

Rivka Offenbach, Central and Northern Arava R&D, Sapir, M.P.Arava 86825, Israel, E-
MAIL: rivka@arava.co.il

Shabtai Cohen, Central and Northern Arava R&D, Sapir, M.P.Arava 86825, Israel, E-MAIL:
sab@inter.net.il

Shimon Pivonia, Central and Northern Arava R&D, Sapir, M.P.Arava 86825, Israel, E-MAIL:
shimonp@arava.co.il

תקציר

ביו-פחם הינו תוצר פירוליזה, פירוק תרמי בהעדר חמצן, של פסולות ביומסה ממקורות חקלאיים ועירוניים הניתן לניצול כחומר מטייב קרקע. היפותזת העבודה הייתה שהעשרה בביו-פחם תקנה עמידות לעקות נוספות אביוטיות בדומה להקניית העמידות כנגד העקות האביוטיות. תוכנית זו הושרה למימון לשנה אחת, בה יבוצע מחקר התכנותי שבו תודגם השפעת הביו-פחם על עמידות צמחים לעקות א-ביוטיות. **מטרות התוכנית**: לאור המימון המוגבל והמלצת ועדת השיפוט לבדיקת התכנותית, מטרות המחקר היו לימוד השפעת ביו-פחם המוסף לקרקע על פיזיולוגיית הצמח בתנאי גידול ללא עקות ולבחון האם ביו-פחם פועל גם כמשרן לעמידות בפני עקות אביוטיות (מלח וחום).

שיטות עבודה: צמחי עגבנייה גודלו בחול עם ביו-פחם וללא ביו-פחם. כאשר הופיעו פרחים בשלבי התפתחות שונים הצמחים נחשפו לטמפרטורת גבוהות 34/28 מ"צ למשך שבוע. לאחר מכן נערך מעקב אחר חיוניות גרגרי אבקה ויבול הפירות. בנוסף התבצע מעקב אחר אופי הצימוח של צמחי העגבנייה. כל הבדיקות נעשו בהשוואה לצמחי עגבנייה שגדלו ללא תוספת הביו-פחם. במקביל נבחנה השפעת הביו-פחם גם על גידול עגבנייה בתנאי חורף ועל גידול פלפל בערבה בהשקיה במים מליחים. בנוסף נבחנה השפעת הביו-פחם על התגובה של צמחי עגבנייה לרמות מליחות שונות.

תוצאות: לא נמצאה השפעה משמעותית של ביו-פחם על גידול פלפל בתנאי מליחות. השפעה של ביו-פחם על התגובה של צמחי עגבנייה לעקת החום ולגידול בטמפרטורה נמוכה הייתה מורכבת: בתנאי גידול גיילים עם עקת חום של שבוע, ובתנאי גידול בטמפרטורת לילה נמוכה, לא נצפתה השפעה של ביו-פחם על גידול או יבול. בתנאי גידול טמפרטורת לילה נמוכה ועקת חום של שבוע, כן נמצה השפעה חיובית ומשמעותית של ביו-פחם על יבול. יתכן כי בנוכחות ביו-פחם ועקת הקור, התרחשה תופעה של "priming" שעזר לצמח להתגבר על עקה החום. תופעה זו מצדיקה בחינה בהמשך. לא נמצאה השפעה כלשהי של הביו-פחם על תגובת צמחי עגבנייה למליחות.

מסקנות: בנוסף לבדיקה של תופעת ה"priming", יש צורך לבדוק השפעת ביו-פחם ממקורות שונים ובריכוזי יישום נוספים.

**הצהרת החוקר הראשי:
הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים
הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא**

תאריך 15/9/2013

Hagai Yasur

חתימת החוקר

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר: אין

מבוא:

העלייה המואצת בשימוש בדלקים פוסילים במאה האחרונה הביאה לעלייה ניכרת בכמות גזי החממה הנפלטת לאטמוספירה שגרם ככל הנראה לעלייה בטמפרטורת כדור הארץ. מקובל להניח כי תהליך זה עלול להביא לשינוי אקלים נרחבים ולאסונות טבע. לכן, יש צורך לפתח אסטרטגיות שונות להפחתת הפליטה של גזי חממה מחד, ומאידך להתמודדות עם שינויי האקלים הצפויים. במסגרת זו נעשים מאמצים רבים לעבור מאנרגיה המבוססת על מקורות מאובנים (fossil fuels) לאנרגיה המבוססת על מקורות חליפיים ומתחדשים כגון שימוש במסה ביולוגית של צמחים (ביומסה) המנצלת את אנרגיית השמש לקיבוע פחמן. אחת השיטות לייצור אנרגיה מביומסה הינה יצירת אנרגיה באמצעות פירוליזה, פירוק תרמי בהעדר חמצן, של פסולות ביומסה ממקורות חקלאיים ועירוניים. בתהליך הפירוליזה נוצרים שלושה תוצרי אנרגיה: ביו-שמן, סינגז וביו-פחם (biochar). הביו-שמן והסינגז הם מוצרים בעלי ערך אנרגטי שניתן לנצלם במגוון תהליכים תעשייתיים כדלקים ו/או בתעשייה הכימית. גם את הביו-פחם ניתן לנצל כדלק, אך קיימת הצעה התופסת תאוצה להטמינו בקרקע. לרעיון זה יש משמעות מההיבט הסביבתי והחקלאי כאחד. ביו-פחם הוא חומר אורגני בעל מבנה של טבעות ארומטיות דחוסות שמתפרק בקרקע רק בחלוף מאות ואלפי שנים, לכן הפחמן שבו מתקבע (carbon sequestration) ויוצא מהמאזן האטמוספרי. באמצעות תהליך משולב של שריפת ביומסה בפירוליזה והטמנת התוצר המוצק (ביו-פחם) בקרקע, ניתן לקבל מאזן פחמן שלילי (1). תמריץ נוסף ליישום ביו-פחם לקרקע הינו היכולת שלו לשפר את פוריות הקרקע. בהתחשב בכך שביו-פחם הגביר עמידות למחלות (2), הגיוני היה להניח שתתקבל גם עמידות לעקות אביוטיות וביוטיות אחרות. התגובה התאית של צמחים לאחר חשיפה לגורמי עקה ביוטיים ואביוטיים הינה דומה, עובדה המצביעה על האפשרות שהשראת עמידות (על ידי הביו-פחם) לגורם עקה אחד עשויה לגרום לעמידות צולבת לגורמי עקה נוספים (3). בנושא של השפעת ביו-פחם על הקניית עמידות לצמחים לעקות אביוטיות, אין כלל התייחסות בספרות.

מטרות המחקר: מחקר זה מומן לבדיקת היתכנות במסגרת חד-שנתי, מטרות המחקר היו: (א) לימוד השפעת ביו-פחם המוסף לקרקע על פיזיולוגיית הצמח בתנאי גידול ללא עקות; ו- (ב) בחינה אם ביו-פחם פועל גם כמשרן לעמידות בפני עקות אביוטיות (מלח, קור וחום).

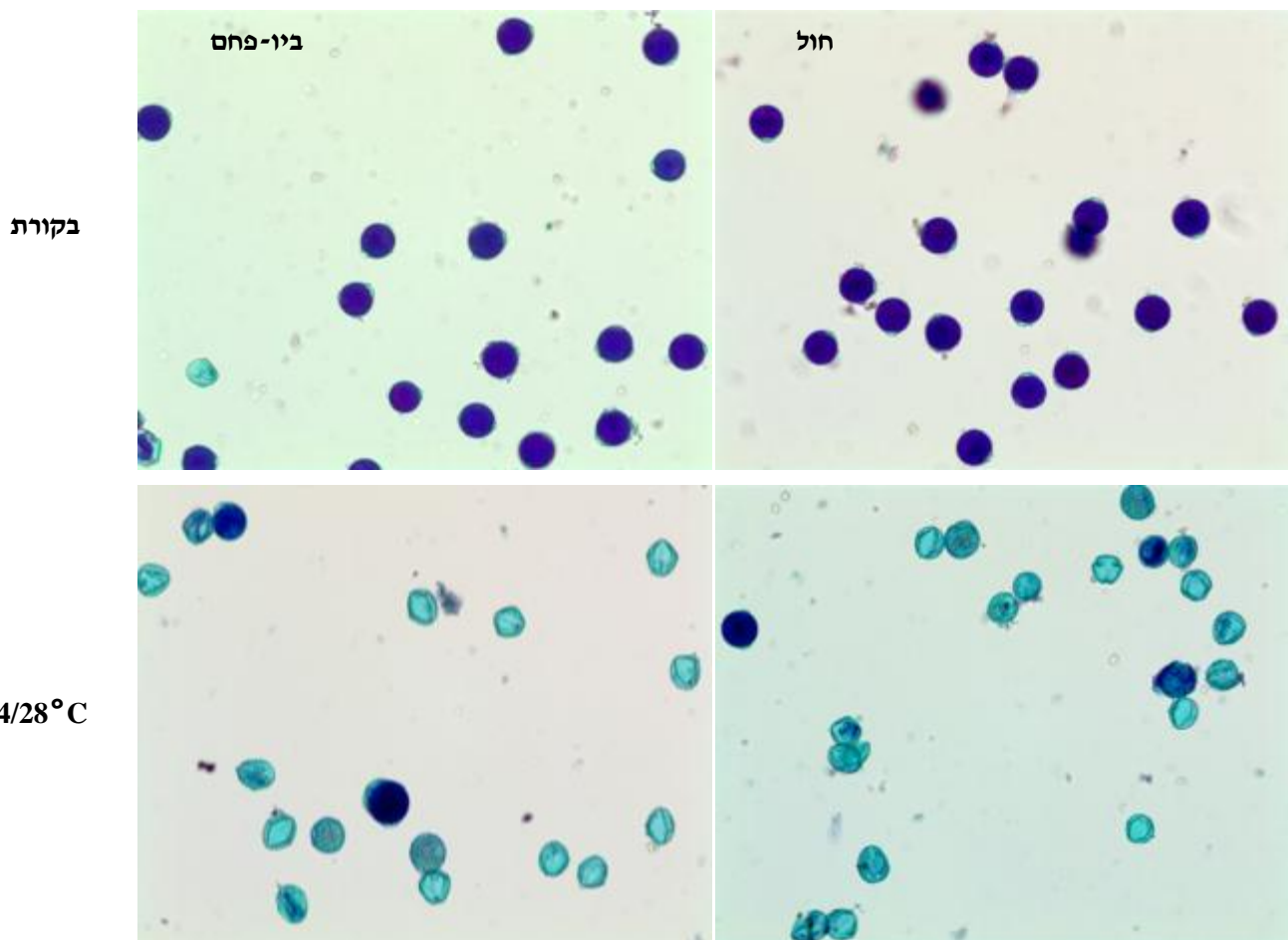
פירוט עיקרי הניסויים

השפעת עקת טמפרטורה:

צמחי עגבנייה מזן תעשייה ברגייט נשתלו בחממה מבוקרת במרכז מחקר גילת בעציצים בגודל 3 ל' אשר מולאו בחול דיונה או בחול דיונה שהכיל 1% ביו-פחם. הביו-פחם לניסויי השפעת הטמפרטורה הוכן בתהליך פירוליזה כאשר החומר הצמחי היה שבבי אקליפטוס וטמפרטורת ההכנה הייתה 350°C (-EUC-350). הצמחים דושנו בדישון מיטבי הנהוג בגידול עגבניות בקרקע חולית באזור הנגב. טמפרטורת הגידול הייתה 27/17 מ"צ (לילה/יום). כאשר הופיעו פרחים בשלבי התפתחות שונים, הצמחים נחשפו לטמפרטורת גבוהות 34/28 מ"צ למשך שבוע. בנוסף התבצע ניסוי לבחינת השפעת הביו-פחם (כמפורט למעלה) על חנטה והתפתחות פירות בטמפרטורות לילה נמוכות. הטמפרטורות שנבחנו היו הטמפרטורות ששוררות בעונת החורף בחממה בגילת (בחממה זו אין מערכת חימום); טמפרטורת הגידול הייתה 25/10 מ"צ (לילה/יום). לאחר תחילת פריחה הצמחים נחשפו לשבוע לטמפרטורת גבוהות (34/28 מ"צ) לאחר מכן נערך מעקב אחר חיוניות גרגרי אבקה, ויבול הפירות. בנוסף התבצע מעקב אחר אופי הצימוח של צמחי העגבנייה. כל הבדיקות נעשו בהשוואה לצמחי עגבנייה שגדלו ללא תוספת הביו-פחם. בנוסף לבחינת השפעת הוספת פחם

למצע הגידול, במקרה שלנו חול על אופי הצימוח והיבול, בחנו גם אם תוספת הביו-פחם משפיעה על הפעילות הפוטוסינתטית של צמחי העגבנייה באמצעות מד פלואורסנציה הנותן אינדיקציה לתקינות ויעילות המערכת הפוטוסינתטית תחת תנאי עקה (חום וקור). כל הניסויים המפורטים מעלה נערכו 3 פעמים והתקבלו תוצאות דומות בכל החזרות לכן מוצגות תוצאות רק מאחד המועדים.

השפעת עקת מלח: על מנת לבחון האם הביו-פחם משרה עמידות כנגד עקה אביוטית אחרת, נבחנה תגובת צמחי עגבנייה לרמות שונות של מליחות מי השקיה, נבחנו 8 רמות מליחות שונות של מי ההשקיה (1-13 dS m^{-1}). צמחי העגבנייה גדלו בקרקע חול ללא תוספת ביו-פחם (חול) ועם תוספת ביו-פחם (GHW-350) (פחם) שנוצר בתהליך פירוליזה של פסולת חומר צמחי מחממות בערבה בטמפרטורה של 350°C . קוטר גבעול, גובה וביומסה נקבעו חודש משתילה, יבול ומשקל פרי בודד בתפוחת הראשונה והשנייה נקבעו בסוף הניסוי.



איור 1: השפעת עקת טמפרטורה על חיוניות גרגרי אבקה של עגבנייה שגדלה עם וללא ביו-פחם (-EUC 350). צמחי ביקורת ואבקת פרחי עגבנייה לאחר עקת חום 34/28 מ"צ למשך שבוע.

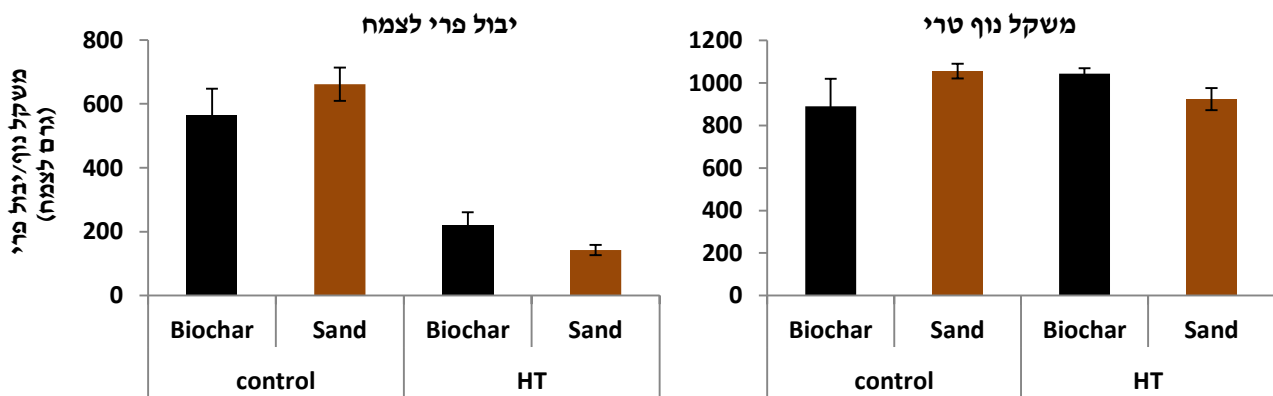
תוצאות:

תוספת הביו-פחם לא שיפרה את החנטה וייצור הפירות בעגבנייה הן בתנאי עקת חום והן בגידול בטמפרטורת לילה נמוכות וזאת בניגוד להשערת המחקר שהביו-פחם בדומה להשפעתו על גורמי מחלה ביוטיים ישפיע על תגובת הצמחים לעקות אביוטיות. תוצאה זו נמצאה בניגוד למה שנמצא בניסוי הראשוני בו נבחנה השפעת ביו-פחם עשוי מפסולת צמחי חממה בטמפרטורת הכנה של 350 מ"צ (GHW-350) ונמצא שביו-פחם זה אכן צמצם את הפגיעה בחנטה וייצור הפירות. להבדיל, כאשר נבחנה חיוניות גרגרי האבקה

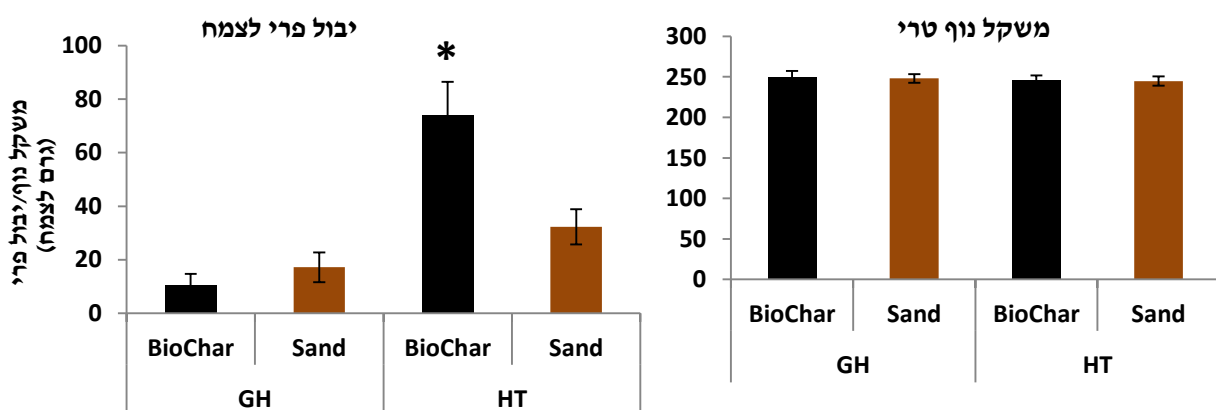
שמהווים מדד לרגישות לטמפרטורת גבוהות, צמחי עגבנייה שגדלו בנוכחות ביו-פחם שהוכן משבבי עץ אקליפטוס (EUC-350) הראו רגישות דומה לחשיפה לעקת הטמפרטורה (איור 1).

העשרת הקרקע בביו-פחם EUC-350 לא גרמה לשיפור מובהק בגידול הווגטיבי של צמחי העגבנייה שנבחנו (איור 2). פגיעה בחיוניות גרגרי האבקה גרמה לחנטה לא טובה ולפגיעה ביבול הפירות. גם בתהליכים אלו, בדומה לחיוניות האבקה, הביו-פחם EUC-350 לא שיפר בצורה מובהקת את החנטה וייצור הפירות (איור 2).

בדומה לגידול בתנאים רגילים הביו-פחם (EUC-350) לא השפיע על הצימוח הווגטיבי של העגבנייה לאחר חשיפה לטמפרטורה נמוכה או טמפרטורה נמוכה ובעקבותיה עקת חום (איור 3). הטמפרטורה הנמוכה גרמה לפגיעה קשה בחנטת הפירות אך חשיפה לעקת טמפרטורה גבוהה בתנאי גידול אלו גרמה לעליה מובהקת בחנטה ולשיפור היבול (איור 3). נראה שלצמחים שגדלו בנוכחות הביו-פחם היה יתרון והם נתנו יותר יבול לאחר החשיפה לחום. הסבר אפשרי הוא שהביו-פחם בשילוב עם טיפול גרם לאינדוקציה (אתחול = "priming") כלשהי שגרמה להתפתחות תקינה וצבירת יבול לאחר החשיפה לחום.



איור 2. השפעת עקת טמפרטורה על צימוח וגטיבי ויבול פירות בעגבנייה שגדלה בנוכחות וללא ביו-פחם במצע הגידול. עקת חום נגרמה על ידי חשיפה לטמפרטורות 34/28 מ"צ לילה/יום למשך שבוע (HT).



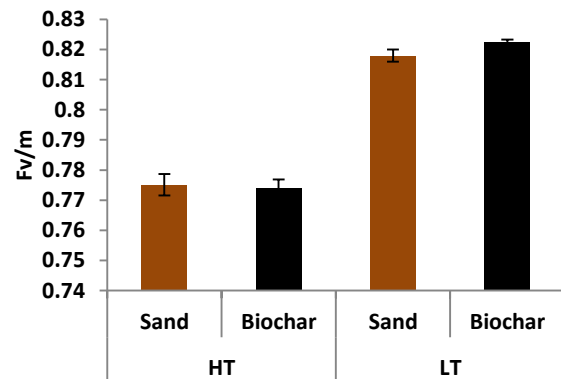
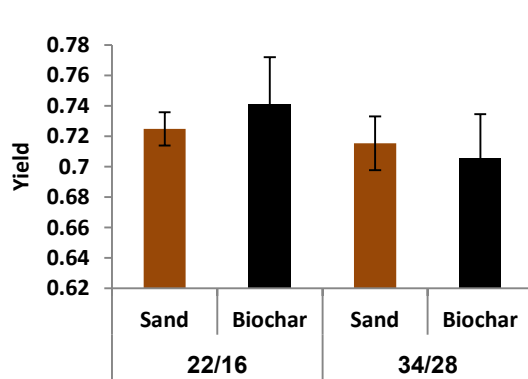
איור 3. השפעת עקת טמפרטורה בגידול צמחי עגבנייה בטמפרטורה נמוכה (טמפרטורת לילה של 10°C, על צימוח וגטיבי ויבול פירות בעגבנייה שגדלה בנוכחות וללא ביו-פחם במצע הגידול. עקת חום נגרמה על ידי חשיפה לטמפרטורות 34/28 מ"צ לילה/יום למשך שבוע (HT) לאחר עקת הטמפרטורה הנמוכה. תמונה מייצגת של אופי הצימוח מוצגת באיור 4.

* מציינת הבדל מובהק ($P \leq 0.05$) של השפעת הביו-פחם (EUC-350) לאחר חשיפה לטמפרטורת גבוהות למשך שבוע בהשוואה לצמחי עגבנייה שגדלו בחול ללא תוספת ביו-פחם.

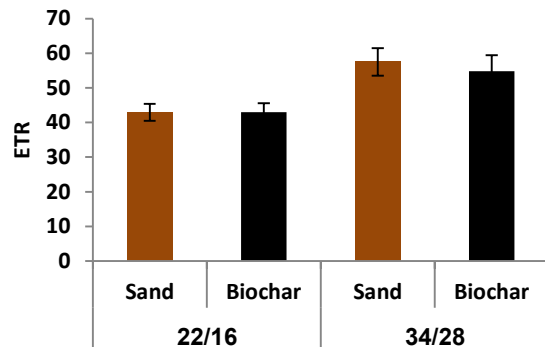
תוספת ביו-פחם לחול כמצע לגידול עגבניות לא השפיעה על פעילות הפוטוסינתטית של צמחי העגבנייה ולא שינתה את הפעילות גם כאשר הצמחים גדלו בתנאי עקה. העדר הבדל זה יכול להסביר את חוסר ההשפעה על אופי הצימוח כפי שנמצא במערכת ניסויית זו. תוצאות דומות נמצאו על ידי חוקרים מקבוצת מחקר זו כאשר נבחנה תגובת עגבנייה לריכוזים שונים של ביו-פחם זה (EUC-350), בדיקה זו נערכה כחלק מתוכנית מדען אחרת. במחקר זה לא נמצאה השפעה של EUC-350 על אופי הצימוח, תכולת כלורופיל ופרופיל מטבולי של העלים. ממצא זה הינו בסתירה למה שנמצא על ידי חלק מהחוקרים בקבוצת מחקר זו בניסויים מוקדמים כאשר נבחנה השפעת תוספת ביו-פחם מסוג אחר על צימוח צמחי עגבנייה ופלפל (Graber et al., 2010). הבדלים אלו יכולים לנבוע מהזנים השונים שגודלו ו/או מסוג ואיכות הביו-פחם שנבחנה, כפי שנמצא שלסוג ואיכות הביו-פחם ישנה השפעה מכרעת על גורמים ביוטיים שונים.



איור 4. השפעת טמפרטורה נמוכה על צימוח צמחי עגבנייה בנוכחות ביו-פחם (EUC-350) (עציץ שחור) במצע השתילה בהשוואה לחול (עציץ חום). מימין אופי הצימוח לאחר חשיפה לטמפרטורה גבוהה למשך שבוע. מצמחים אלו נלקחו הנתונים המוצגים באיור 3.

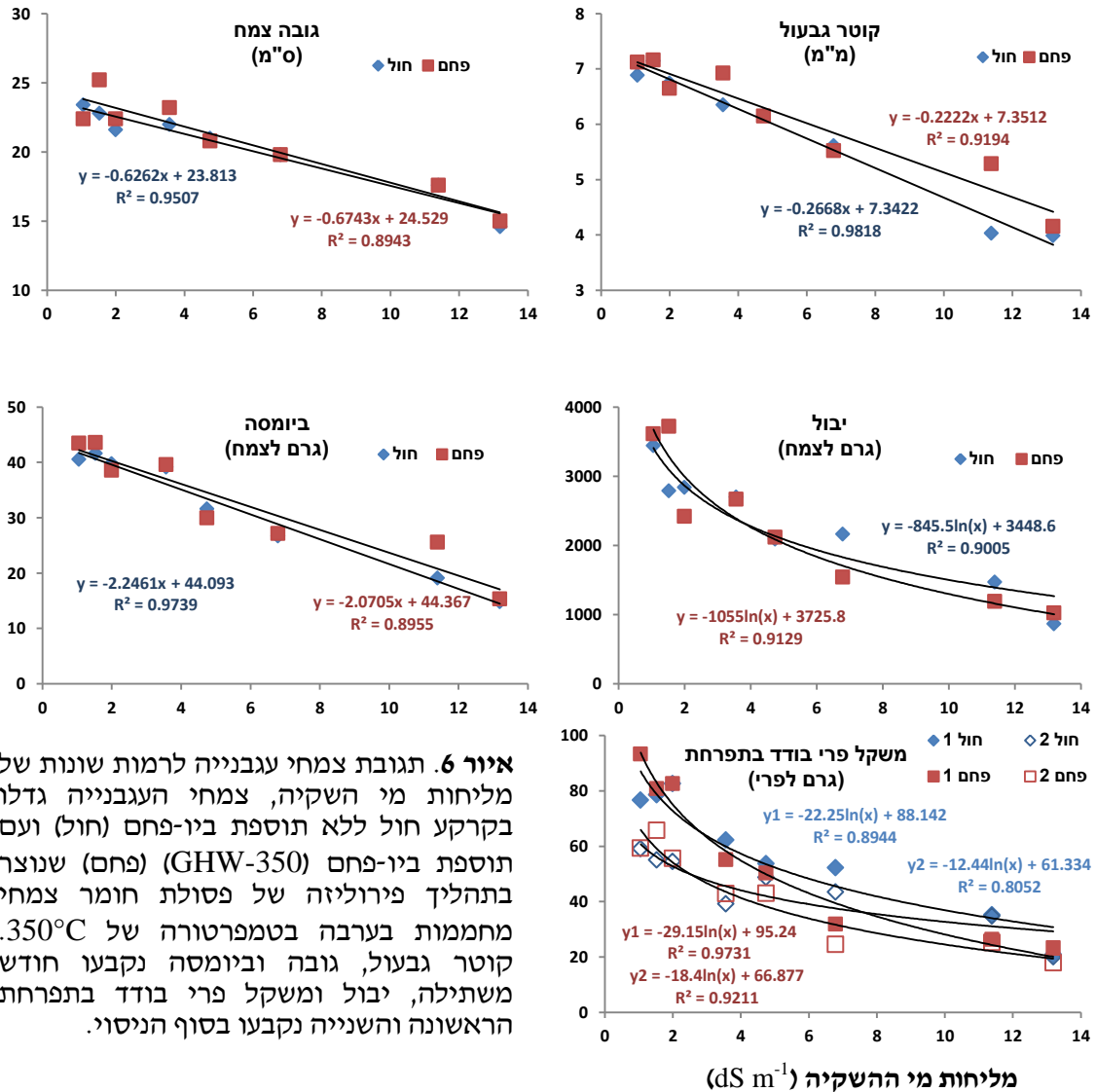


איור 5. השפעת עקת טמפרטורה על פעילות הפוטוסינתטית של עלי עגבנייה מוחשכים (Fv/m) מצמחים שגדלו בנוכחות וללא ביו-פחם (EUC-350) במצע הגידול עקת חום נגרמה על ידי חשיפה ל 34/28°C מ"צ למשך שבוע (HT). לא נמצאה גם השפעה של הפחם על פעילות פוטוסינתטית כפי שנקבעה באנליזות של עלים חשופים לאור קצב מעבר אלקטרונים (ETR) ויעילות פוטוסינתטית (Yield).



השפעת ביו-פחם על תגובה למליחות

לביו-פחם שנבדק (GHW-350) לא הייתה השפעה על התגובה למליחות הן מבחינת השפעה על הצימוח הוגטטיבי והן על מרכיבי היבול (איור 6).



איור 6. תגובת צמחי עגבנייה לרמות שונות של מליחות מי השקיה, צמחי העגבנייה גדלו בקרקע חול ללא תוספת ביו-פחם (חול) ועם תוספת ביו-פחם (GHW-350) (פחם) שנוצר בתהליך פיירוליזה של פסולת חומר צמחי מחממות בערבה בטמפרטורה של 350°C . קוטר גבעול, גובה וביומסה נקבעו חודש משתילה, יבול ומשקל פרי בודד בתפוחת הראשונה והשנייה נקבעו בסוף הניסוי.

טבלה 1. השפעת ביו-פחם (0.5% GHW-450) על איכות פרי לפלל, תחנת ניסויים יאיר, מו"פ ערבה תיכונה וצפונית, עונת 2011-12.

תאריך בדיקה	טיפול	גודל פרי (גרם)	משקל זרעים (גרם לפרי)	עובי דופן (מ"מ)	TSS	סוכרוז (mg/dL)	pH	חומציות חומצה ציטרית (מילימולר)
14.12	ביו-פחם	158.8	1.6	5.7	8.2	4764	5.3	13.0
	ביקורת	143.2	1.9	5.6	8.1	5168	5.3	12.1
7.2	ביו-פחם	226.6	3.9	6.5	8.6	2628	4.9	15.3
	ביקורת	225.5	4.2	6.1	8.5	3068	4.8	13.3

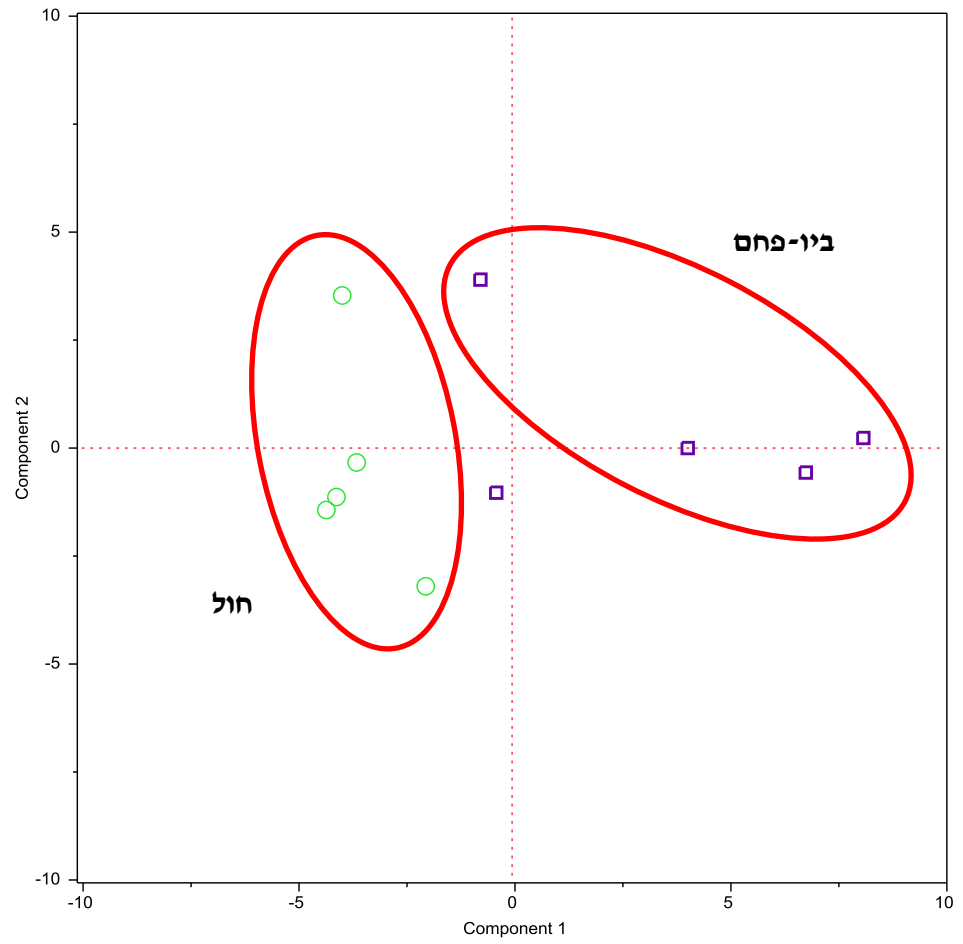
העשרת קרקע בביו-פחם (0.5% GHW-450) בתנאים חצי מסחריים בתחנת הניסויים יאיר (מו"פ ערבה תיכונה וצפונית) בהשקיה במים מליחים (EC 2.7) לא השפיעה על איכות הפרי (טבלאות 1 ו 2). בעונת 2011-12 לא נמצאה השפעה של הביו-פחם על היבול, בניגוד לזה בעונת 2012-13 נמצא שהעשרת הקרקע בביו-פחם גרמה לתוספת יבול מסוימת (נתונים לא מוצגים).

טבלה 2. השפעת ביו-פחם מביומסה טמפרטורת שונות על איכות פרי פלפל, תחנת ניסויים יאיר, מו"פ ערבה תיכונה וצפונית, עונת 2012-13

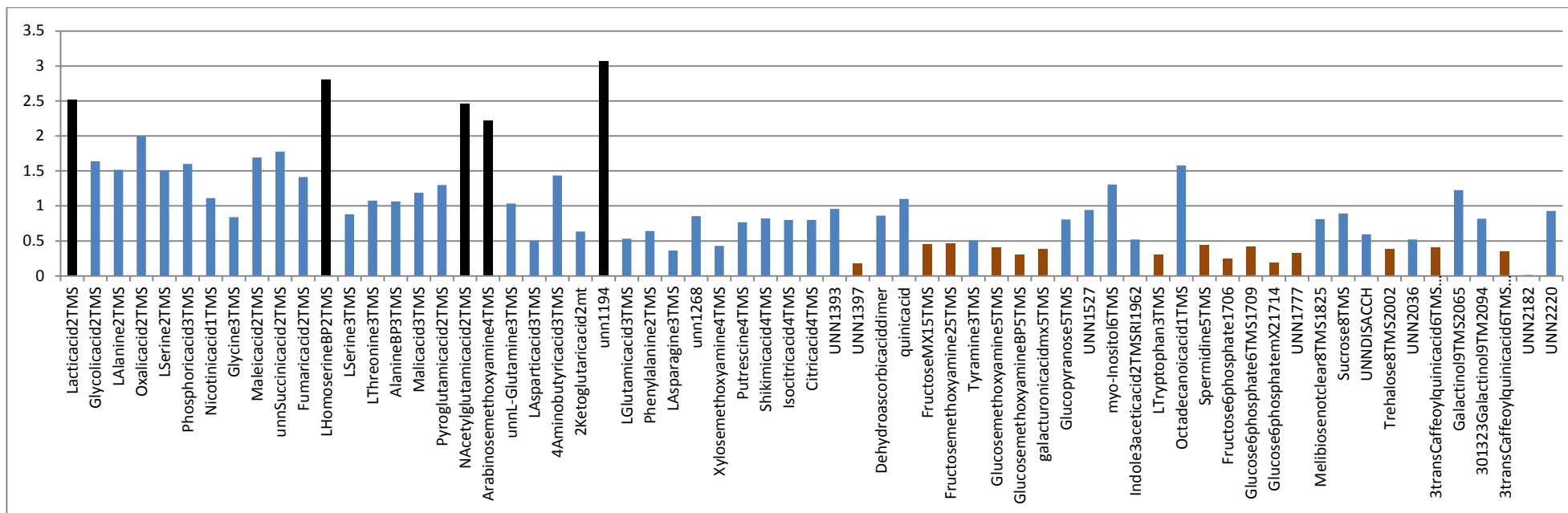
סוג הפחם	טמפרטורת פירוליזה	ריכוז פחם (%)	גודל פרי (גרם)	משקל זרעים (גרם לפרי)	מספר זרעים לפרי	עובי דופן (מ"מ)	TSS	סוכרוז (mg/dL)	pH	חומציות חומצה ציטרית (מילימולר)
בקורת	--	--	219	2.56	219	6.17	8.66	5356	4.9	15.7
אקליפטוס	350	1	205	2.22	188	5.86	8.40	5806	5.0	15.1
פסולת חממה	350	1	214	2.82	235	5.82	8.74	6060	4.8	15.6
פסולת חממה	450	0.5 שנתיים	216	2.45	205	5.97	8.66	5404	4.8	16.3
פסולת חממה	450	1	219	2.23	182	6.19	8.17	5880	4.8	15.3

השפעת ביו-פחם על פרופיל מטבולי

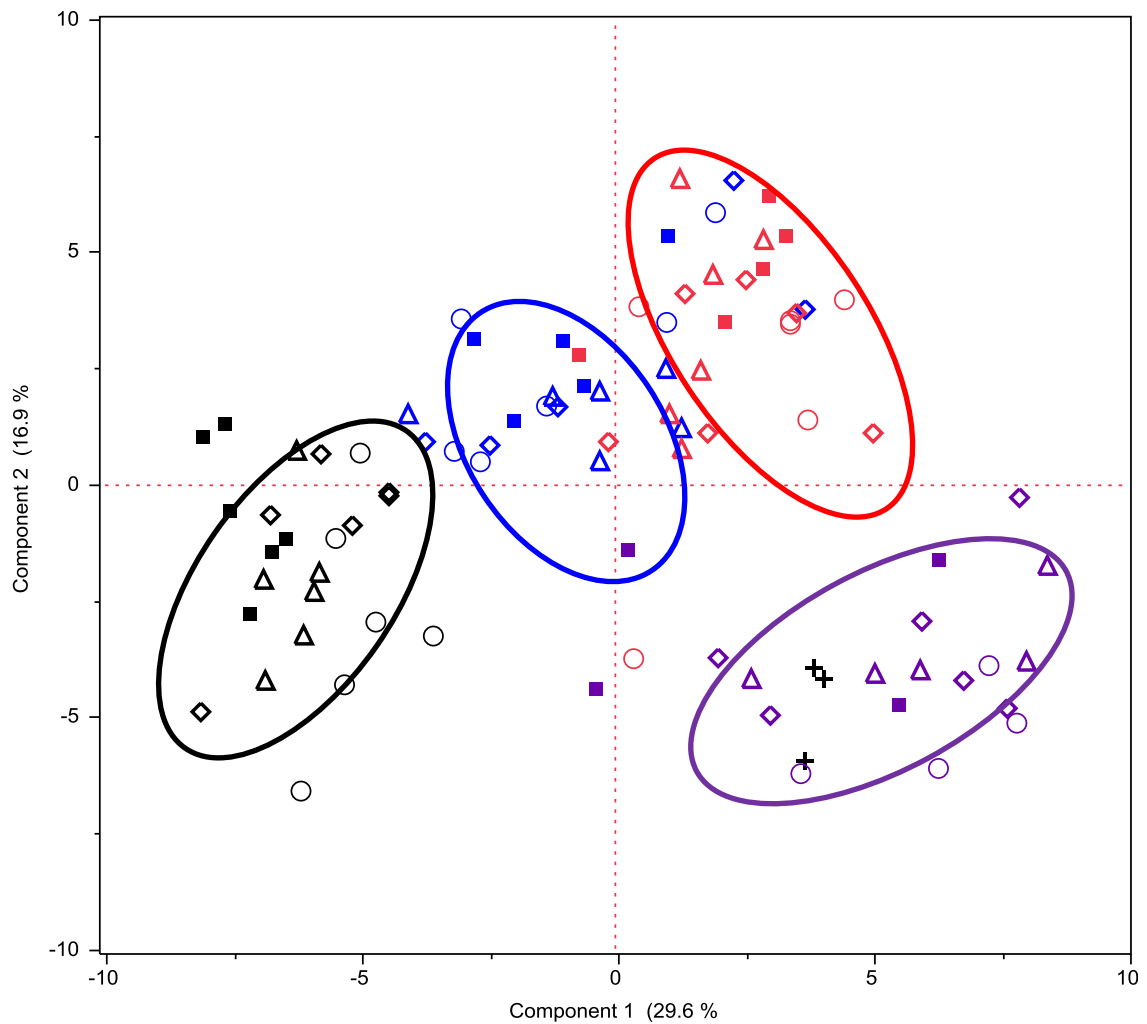
בנוסף למצוין למעלה נמצא שלהעשרה בביו-פחם לא הייתה השפעה דרמטית על פרופיל מטבולי של צמחי עגבנייה חממה למאכל. נמצא שהפרופיל המטבולי של צמחי עגבנייה שצמחו עם וללא ביו-פחם (GHW-450) במצע הגידול היה שונה בצורה מובהקת במספר בודד של חומרים (איור 9). בין החומרים שהראו רמת ביטוי גבוהה יותר בעלי עגבניה שגדלה במצע עם ביו-פחם ניתן למצוא את החומרים הבאים (Lactic acid, L-Homoserine, N-Acetyl glutamic acid, Arabinose methoxamine, Unknown שיש חומרים להם ביטוי גדול יותר בעלי עגבניה שגדלו ללא ביו-פחם במצע בהשוואה לגידול עם ביו-פחם (כל החומרים שהיחס המוצג באיור 8 נמוך מ 0.5). מטבוליט לא מזוהה הגיע אפיל לרמות של פי 80 בגידול במצע ללא ביו-פחם בהשוואה לעם ביו-פחם. על מנת לנסות להבין טוב יותר איך העשרה בביו-פחם משפיעה על הפרופיל המטבולי, אפיון הפרופיל נבחן עם וללא העשרת מצע הגידול בביו-פחם במועדים שונים לאחר שתילה במצעים השונים (0, 3, 6, 9, ו 12 שבועות לאחר שתילה) ובריכוזי ביו-פחם (EUC-350) שונים במצע הגידול (0, 0.5, 1 ו 3 אחוז משקלי). בניסוי זה נמצא שלא הייתה השפעה לביו-פחם על הפרופיל המטבולי, בניגוד לזה גיל הצמח השפיע מאוד על הפרופיל (איור 9). חוסר השפעה זו בולט בניתוח ה PCA כאשר טיפולי הפחם לא מופרדים מהביקורת של אותו שלב התפתחותי.



איור 7. אנליזת PCA של מטבוליים ראשוניים ומשניים מאנליזת GCMS של עלי עגבנייה שגדלו בנוכחות וללא ביו-פחם.



איור 8. פרופיל מטבולי מעלי עגבנייה שהתפתחו ללא ובנכחות ביו-פחם במצע השתילה. אפשר לראות שינוי ביטוי גבוה של מספר מטבוליטים בצמחים שהתפתחו בנוכחות פחם, הבדלים אלו זה הינו הגורם העיקרי להפרדה בין הטיפולים כפי שמוצגת באנליזה ה PCA באיור 7. הנתונים מוצגים כיחס בין רמת הביטוי בצמחים שגדלו בנוכחות פחם לצמחים ללא פחם של כל מטבוליט, רמת הביטוי היא ביחס לסטנדרט הפנימי ולא ביטוי אבסולוטי. מטבוליטים שמראים יחס ביטוי גבוה מפי שטים לטובת הפחם מסומנים בשחור בעוד מטבוליטים שהראו רמת ביטוי גבוהה בעלים שגדלו ללא פחם מסומנים בחום.



איור 9. אנליזת PCA של מטבוליים ראשוניים ומשניים מאנליזת GCMS של עלי עגבנייה שגדלו בנוכחות וללא ביו-פחם (EUC-350) במועדים שונים לאחר שתילה במצעים השונים (0, 3, 6, 9, ו 12 שבועות לאחר שתילה) ובריכוזי ביו-פחם שונים במצע הגידול (0, 0.5, 1 ו 3 אחוז משקלי). הצבעים השונים מציינים את זמן משתילה, 3 (שחור); 6 (כחול); 9 (אדום) ו 12 (סגול) שבועות. ריכוזי הפחם השונים מצוינים על ידי צורות שונות, ללא פחם (מרובע מלא), 0.5% (מעויף), 1% (משולש) ו 3% (עיגול). פרופיל מטבולי ביום השתילה מסומן בסימן פלוס שחור (+).

דיון:

לא נמצאה השפעה משמעותית של ביו-פחם על גידול פלפל בתנאי מליחות. השפעה של ביו-פחם על התגובה של צמחי עגבנייה לעקת החום ולגידול בטמפרטורה נמוכה הייתה מורכבת: בתנאי גידול רגילים עם עקת חום של שבוע, ובתנאי גידול בטמפרטורת לילה נמוכה, לא נצפתה השפעה של ביו-פחם על גידול או על יבול. בתנאי גידול טמפרטורת לילה נמוכה ועקת חום של שבוע, כן נמצאה השפעה חיובית ומשמעותית של ביו-פחם על יבול. יתכן כי בנוכחות ביו-פחם ועקת הקור, התרחשה תופעה של "priming" שעוזר לצמח להתגבר על עקה החום. תופעה זו מצדיקה בחינה בהמשך.

במחקר זה נעשה שימוש בביו-פחם ממקור צמחי אחד, בטמפרטורת הכנה אחת (350°C) ובריכוז אחד ונבדקה השפעתו על עקות הטמפרטורה וביו-פחם מסוג אחר על התגובה למליחות. ידוע לנו מתוצאות מחקרים אחרים שביו-פחם ממקורות אחרים (לדוגמא פסולת חממה) משפיע על גידול צמחי עגבנייה ופלפל. אכן, מצאנו שיבול פירות העגבנייה שופר בעקבות גידול על ביו-פחם שמקורו באיקליפטוס בצמחים שנחשפו לטמפרטורת נמוכות (עגבניית תעשייה אשר רגישה לטמפרטורת אלו). כמו כן כאשר בוחנים את הפרופילים המטבולים של שני סוגי הפחם נראה שלפסולת החממה הייתה השפעה על הפרופיל המטבולי בעוד לשבבי האקליפטוס לא הייתה השפעה.

תוכנית זו אושרה כתוכנית לבדיקת ההיתכנות שביו-פחם ישרה עמידות כנגד עקות א-ביוטיות כדומה לזו שנמצא כנגד גורמי מחלה ביוטיים. על מנת לאפשר הבנה נכונה יותר של ההיתכנות יש לבצע ניסויים נוספים בסוגי ביו-פחם נוספים ובריכוזי ביו-פחם שונים.

רשימת ספרות:

גרבר, א. והדס, א., 2009. פירוליזה של פסולות אורגניות לייצור אנרגיה, טיוב קרקע וקיבוע פחמן. ניר ותלם, 20(12): 10-20.

Elad, Y., Rav David, D., MellerHarel, 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(9): 913-921.

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

Bowler, C. and Fluhr, R., 2000. The role of calcium and activated oxygens as signals for controlling cross-tolerance. *Trends in Plant Science*, 5: 241-246.

