

דו"ח מסכם סופי שנה ג לתוכנית מחקר מספר 132182616
השפעת ביו-פחם בבית השורשים על מחלות צמחים במשתלה ובשטח המניב

The effect of biochar applications on plant pathogens during the nurseries stage

מוגש ל קרן המדען הראשי, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
ע"י

עומר פרנקל פתולוגיה של צמחים ומדעי העשבים, מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי
omerf@volcani.agri.gov.il

אלן גרבר כימיה של הקרקע, הזנת הצומח, ומיקרוביולוגיה, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה,
מנהל המחקר החקלאי.

יגאל אלעד פתולוגיה של צמחים וחקר העשבים, מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי

אמנון קורן משתלות חישתיל

Omer Frenkel Plant Pathology and Weed Research, The Volcani Center, ARO
omerf@volcani.agri.gov.il

Yigal Elad Plant Pathology and Weed Research, The Volcani Center, ARO

Ellen Graber

Soil Chemistry, Plant Nutrition and Soil Microbiology, Institute of Soil,
Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, ARO,

Amnon Koren Hishtil nurseries

תקציר

1. **הצגת הבעיה:** השפעת ביו-פחם במצע השתילה על התפתחות מחלות צמחים הנגרמות על ידי פתוגנים שוכני קרקע ונוף במהלך הגידול במשתלה ואחרי השתילה בשטח המניב.

מטרות המחקר: מטרות המחקר הספציפיות הן א) פיתוח אמצעי יישום של ביו-פחם מסוגים שונים במצעי הגידול של משתלות כנגד מחלות קרקע ונוף בשתילי עגבנייה ומלפפון; ב) בדיקת משך ההשפעה של שתילים המוטענים בביו פחם בחממה; ג) שיפור יעילות הביו פחם כנגד מחלות בשילוב עם טיפולי שטיפה ומדכאי מחלה נוספים.

2. שיטות עבודה:

3. מחקר כלל ניסויי אילוח בתנאים מבוקרים בחממה ובמעבדה. הניסויים בחנו השפעת סוגי ביו-פחם שונים, קרי משבבי אקליפטוס; פסולת צמחי חממה; ובשלב השני בביו-פחם אשר מיוצר מכפות תמרים ומשבבי עץ אורן וקסוות אורז שיוצרו במכשיר בעל פוטנציאל מסחרי בקנה מידה רחב יותר. הביו-פחמים יושמו בריכוזים בין 0 ל-3% במצע כנגד מקמקת (פתיום), ועובש אפור בעלים. בהמשך נבחנו דרכי יישום ביו-פחם באופן ישיר במצע, בגוש השתילה וללא מגע ישיר עם השורש על התפתחות המחלות.

3. **תוצאות עיקריות:** נמצאו הבדלים ביעילות סוגי ביו-פחם שונים כשבי-פחם ממקור שבבי אקליפטוס ואורן היו יעילים יותר מ ביו-פחם שיוצר מכפות תמרים וקסוות אורז. סוגי ביו-פחם היעילים שעברו שפעול והרטבה בת מספר שבועות הפחיתו את חומרת המחלות בריכוזים של עד 3%. הביו-פחם בגוש השתילה הפחית באופן מובהק את חומרת מחלת העובש האפור גם 65 ימים אחרי השתילה. גוש השתילה המכיל ביו-פחם הפחית את חומרת מחלת המקמקת גם 21 ימים אחרי יישום הביו-פחם בגוש בטווח טמפרטורות של 20-30 מ"צ.

4. **מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות:** יש חשיבות גדולה לסוג הביו-פחם בו משתמשים במצע השתילה. יש חשיבות לשפעול הביו-פחם לפני יישומו במצע הגידול. יישום ביו-פחם בריכוז של 1% בגוש השתילה מספק נדבך הגנה גם בהמשך הגידול בשטח המניב, דבר המאפשר ליישם כמויות מצומצמות של ביו-פחם לקרקע ללא הצטברות.

מעריכים מומחים לבדיקת הדו"ח המדעי: (1 פרופ' גיורא קריצמן; 2 פרופסור יפת בן יפת; 3 פרופ' יעקב קטן
הצהרת החוקר הראשי

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.
הניסויים מהווים המלצות לחקלאיים: לא

חתימת החוקר _____ תאריך: _____ 30.5.19 _____

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר

Jaiswal, A. K., Graber, E. R., Elad, Y., and Frenkel, O. (2019). Biochar as a management tool for soilborne diseases affecting early stage nursery seedling production. *Crop Protection* 120: 34-42.

Jaiswal, A. K., Frenkel, O., Tsechansky, L., Elad, Y. and Ellen R. Graber (2018). Immobilization and deactivation of pathogenic enzymes and toxic metabolites by biochar: A possible mechanism involved in soilborne disease suppression." *Soil Biology and Biochemistry* 121: 59-66.

Jaiswal, A. K., Elad, Y., Cytryn, E. Graber, E. R. and Omer Frenkel (2018). "Activating biochar by manipulating the bacterial and fungal microbiome through pre-conditioning." *New Phytologist* 219: 363-379.

Jaiswal, AK., Elad, Y., Paudel, I., Graber, ER. Cytrin, E., and Frenkel, O. (2017). Linking the belowground microbial composition, diversity and activity to soilborne disease suppression and growth promotion of tomato amended with biochar. *Scientific Reports* 7. doi:10.1038/srep44382

Jaiswal, AK., Elad, Y., Graber, E. R., Cytrin, E. and Frenkel, O. (2016). Effect of biochar on pre-emergence damping-off in nursery growth media and its influence on microbial community structure. *IOBC/WPRS Bulletin* 117: 149-153.

תוכן עניינים

2.....	תקציר
3.....	הצרת החוקר הראשי
3.....	רשימת פרסומים
3.....	תוכן עניינים
4.....	מבוא
4.....	מטרות המחקר
4.....	פירוט עיקרי הניסויים
4.....	שיטות עבודה
8.....	תוצאות הניסויים
18.....	דיון
20.....	מאמרים הנובעים מהמחקר

1. מבוא ותיאור הבעיה: ביו-פחם הינו אחד מתוצרי הפירוליזה, פירוק תרמי בהעדר חמצן, של פסולת ממקורות חקלאיים ועירוניים. פירוליזה מייצרת תוצרי אנרגיה בשלושת מצבי הצבירה; התוצר המוצק הינו ביו-פחם. אמנם ביו-פחם יכול לשמש בעצמו כמקור אנרגיה אך קיימת גם הצעה התופסת תאוצה - להטמינו בקרקע. לרעיון זה משמעות רבה מהיבט סביבתי וחקלאי כאחד. ביו-פחם שורד בקרקע למשך מאות עד אלפי שנים ולכן הפחמן שמתקבע בו לא חוזר לאטמוספירה. תמריץ נוסף לשימוש בביו-פחם הוא יכולתו לשפר את פוריות הקרקע והעלאת היבול. עקב היותו נושא חדש, רק מעט ידוע על הפוטנציאל הטמון בביו-פחם בחקלאות המודרנית. על כן, ובגלל משך הישרדותו ארוך הטווח, יש חשיבות גדולה ליישום מושכל וזהיר תוך לימוד המנגנונים והאינטראקציות בין הביו-פחם לגורמים א-ביוטיים אך לא פחות מכך עם גורמים ביוטיים וביניהם מחוללי מחלות צמחים. כיום ידוע כי יישום ביו-פחם בריכוזים נמוכים בקרקע מפחית נגיעות מחלות קרקע ונוף בתנאי מעבדה ושהמנגנונים העיקריים כוללים השראת עמידות ושינויים בהרכב אוכלוסיות המיקרואורגניזמים הנמצאים בקרקע. בבסיס המחקר עומד הרעיון כי הוספת ביו-פחם בריכוז נמוך למצע הגידול הינה בעלת פוטנציאל לשימוש **כנדבך** בהדברה כנגד מחלות צמחים, לדעתנו, חובה לבצע יישומים ראשוניים במערכות בהן ניתן לשלוט על כמויות ואופן הוספת הביו-פחם ולבצע שינויים הפיכים. עקב כך אנו מציעים את פיתוח השימוש בביו-פחם כתוסף בזמן הגידול במשתלה כמערכת היישום הראשונה בה ניתן להגיע בזמן הקצר מבין המערכות החקלאיות ליישום בתנאים מסחריים.

היפותזות המחקר הן: (א) יישום ביו-פחם בריכוזים נמוכים בשלב המשתלה יכול להוות נדבך משמעותי בהגנה בפני פתוגנים שוכני קרקע ונוף; (ב) הביו-פחם כתוסף למצע במשתלות יכול לספק הגנה עבור השתילים גם לתקופה הרגישה במעבר אל החלקה המניבה ולשפר את גידול השתילים; (ג) שילוב ביו-פחם בריכוזים נמוכים עם אמצעי אגרוטכנים יכול לשפר ההדברה של מחלות קרקע ונוף בחממות.

2. מטרת המחקר: מטרת המחקר ארוכת הטווח היא הטמעת יישום ביו-פחם כתוסף להפחתת נזקי מחלות צמחים בשלב המשתלה כחלק מפרוטוקול הגידול המסחרי. המטרות הספציפיות הן: (1) פיתוח אמצעי יישום של ביו-פחם מסוגים שונים במצע הגידול של משתלות כנגד מחלות קרקע ונוף; (2) בדיקת משך ההשפעה של הטענת שתילים בביו-פחם בשלב המשתלה כנגד מחלות קרקע ונוף אחרי השתילה בחממה. (3) שיפור יעילות הביו-פחם כנגד מחלות בשילוב עם אמצעים אגרוטכנים ומדכאי מחלה נוספים.

3. פירוט עיקרי הניסויים

3.1 שיטות עבודה

3.1.1 פירוליזה: מעבודות מחקר קודמות אנו יודעים כי לחומר המוצא ממנו מוכן הביו-פחם השפעה גדולה על יעילותו כנגד מחלות צמחים והחשיבות של סריקה מספר סוגים של ביו-פחם בשלב הראשון היא גדולה. לשם כך מערכות הפירוליזה ייצרה ארבעה סוגי ביו-פחם הראשונים מיוצרים במערכת אשר ממוקמת במכון וולקני אצל ד"ר בני לב מהמכון להנדסה חקלאית. הביו-פחם הראשון הינו עשיר בליגינין, הוכן מפסולת שבבי אקליפטוס ויוצר בטמפרטורת הכנה של 600 מ"צ (יקראו מעתה EUC). הביו-פחם השני הינו עשיר בצלולוז והוכן

מפסולת חממה מאזור חצבה בטמפרטורת הכנה של 350 מ"צ (יקראו מעתה GHW). שני סוגי ביו-פחם אלו מהווים עבורנו מודל במשך שנות המחקר רבות וחלק מהניסויים בוצעו בעזרתם ובייחוד הניסויים אשר באו לפתח שיטות אגרוטכניות ולבדוק בעיות מדעיות מורכבות. בנוסף, מתוך מחשבה שכדי להגיע לשימוש מסחרי יש להסתמך על מערכות גדולות היכולות לספק כמויות ביו-פחם גדולות ולספק פתרון גם לפסולת קשת סילוק, יוצר ביו-פחם במערכת חצי מסחרית המתבססת על פסולת גזם כפות תמרים, המערכת פועלת טמפרטורה של 650 מ"צ (יקרא גם Palm) ושימשה בחלק מטווח הניסויים להתכנות מסחרית. מערכת נוספת חצי מסחרית ייצרה ביו-פחם בטמפרטורה 700 מ"צ מגזם של עצי אורן על ידי חברת Good energy (יקרא גם Pine). בנוסף כחלק מהסריקה נבדקה גם פעילות של ביו-פחם מסחרי נוסף אשר עשוי מחומר גלם של קסוות אורז ונרכש באוסטריה ויקרא גם F1.

3.1.2 השפעת ביו-פחם ממקורות מסחריים כולל גזם אורן, קסוות אורז וכפות תמרים במצע השתילה על התפתחות מחלות קרקע ועלוה בשתילים.

מכיוון שמטרת המחקר היא ליישם את הביו-פחם כתוצר מסחרי וכחלק מפרוטוקול גידול במשתלות בארץ, בחנו לעומק את התכנות השימוש בביו-פחם המיוצרים במכשיר בעל נפח ייצור גדול. בוצעו ניסויים הכוללים הוספת ביו-פחם במגשי השתילה כנגד הפתוגן שוכן הקרקע *Pythium aphanidermatum*. ביו-פחם משני מקורות: אורן ו-F1 עורבבו עם מצע גידול מבוסס כבול המשמש במשתלות מסחריות. כל אחד מסוגי הביו-פחם נבדק בריכוזים עולים של 0, 0.5, 1 ו-3% ביו-פחם (% משקלי). נבטי המלפפון מזן מני (זרעים בן שחר) נשתלו במגשים מסחריים וגודלו במשך 6 ימים והועברו לתא גידול מבוקר טמפרטורה ב 26°C תחת משטר תאורה 12:12 לפני שנשתלו במצע שתילה בו עורבב 0.3% תפטיר פתיום. אחוז התמותה של השתילים (4 צמחים בעציץ ו-4 עציצים לטיפול) נבדק במשך 14 יום והניסוי נערך פעמים. ניסוי נוסף במתכונת דומה נערך בעזרת ביו-פחם מגזם כפות תמרים בריכוזים של 0, 0.5, 1, ו-3%. גם ניסוי זה נערך פעמים.

בד בבד נבחנו שלושת סוגי הביו-פחם כנגד פתוגן עלווה (*Botrytis cinerea*) מחולל מחלת עובש אפור. הניסוי הנ"ל כלל את שלושה סוגי ביו-פחם (F1, Pine, Palm) בריכוז 1% משקלי ובוצע במגש שתילי עגבנייה מזן בריגייד אשר גודל 34 ימים מזריעה באופן מסחרי. העלים הצעירים של צמח עגבנייה שמשו להדבקה בעזרת טיפות המכילות את נבגי הפתוגן. בכל טיפול הודבקו 4 צמחים וחושב עקום התפתחות כתם המחלה על גבי העלעלים עם הזמן.

3.1.3 פיתוח שיטות להגברת היעילות של ביו-פחם במצעי השתילה: השפעת שפעול ביו-פחם ממקורות

שונים על התפתחות מחלות שוכנות קרקע במלפפון: ביו-פחם משני מקורות, אקליפטוס (EUC), ומפסולת חממה (GHW) עורבבו עם מצע גידול מבוסס כבול המשמש במשתלות מסחריות. בניסויים ראשוניים נמצא כי פתיום הינו פתוגן קשה ביותר לדיכוי בעזרת ביו-פחם וכי דרוש שלב של שפעול המצע עם הביו-פחם, לכן כחלק

מיצירת הפרוטוקול המחמיר ביותר, הורטב מצע הגידול עם הביו-פחם בעזרת טיפולי השקיה יומיים בתוספת דשן 737 (60 ח"מ חנקן) במשך 15 ימים (השקיה פעם 60-70 מ"ל מי השקיה לכל 1.5 ליטר של מצע. לעומת מצע גידול עם ביו-פחם ללא שטיפה. כל אחד מסוגי הביו-פחם נבדק בריכוזים עולים של 0, 0.5, 1 ו 3% ביו-פחם) (משקלי). כאמור הפתוגן המרכזי שנבחן במערכת היה *Pythium*. נבטי המלפפון מזן פרובה נשתלו במגשים מסחריים וגודלו במשך 6 ימים והועברו לתא גידול מבוקר טמפרטורה ב-26°C ותאורה 12:12 לפני שנשתלו במצע שתילה בו מעורבב 0.3% תפטיר פתיום. המחלה הוערכה מידי יומיים במשך 14-21 ימים אחרי האילוח וחושבו מדדי המחלה. ביום ה-21 נלקחו דגימות למדדים פיזיולוגים כולל כלורופיל וקרטנואידים וכן מדדי גידול כולל גובה הצמחים ומשקל יבש. התוצאות נותחו במבחני ניתוח שונות בעזרת תוכנת JMP12.

בסט ניסויים נוסף נבדקה השפעת יישום ביו-פחם משופעל במדיום שתילה על התפתחות המחלות בשלב הטרומ הצצה, בסט ניסויים זה אולח מצע הגידול בפתיום 0.35% וזרעי מלפפון מהזן פרובה נשתלו מצע הגידול, הביו-פחמים EUC ו GHW במגשים שופעלו במשך 15 ימים. כמו כן, הוכנו מגשים עם ביו-פחם לא משופעל לשם השוואה. המגשים הושקו עד רוויה פעם ביום ואחוז השתילים המציצים ששרדו עד יום 10 אחרי הזריעה שימשו לחישוב מדדי המחלה.

בשנים ב' ו ג בוצעו סט ניסויים נוסף ומתקדם הכולל את בחינת השפעת הטמפרטורה וזמן האקטיבציה של הביו-פחם אורן 1% במגשי השתילה כנגד *P. aphanidermatum*, זאת במטרה לבדוק האם יש חשיבות לתנאים בהם מיוצרים מגשי השתילה משופעלים במשתלות ומה משך ה'זיכרון' של הביו-פחם בגושי השתילה כנגד הפתיום. מגשי שתילה מולאו במצע שתילה מסחרי עם או ללא ביו-פחם אורן 1% אך עדין ללא שתילים. המגשים חולקו לתאי גידול שונים בטמפרטורות 20, 25 ו 30 מ"צ. והועמדו לפרקי זמן של 0, 7, 14, ו-21 ימים לפני השתילה. ביום השתילה הועברו כל המגשים לטמפרטורה של 25 מ"צ (כדי למנוע הבדלים בגיל הפיזיולוגי של השתילים המשפיעים על חומרת ההדבקה בפתיום) וגודלו עד הגיעם לגיל פיזיולוגי של עלה אמיתי אחד (7 ימים אחרי הזריעה). בשלב זה אולחו עציצי 3 ליטר בפתיום 0.3% ולתוך כל עציץ הועברו ארבעה שתילים עם גוש השתילה. במשך שלושה שבועות נבדקו אחוז הצמחים המתים (שחושבו מתוך נתוני ארבעה עציצים וארבעה צמחים בכל עציץ) ושימשו לחישוב עקום התפתחות המחלה. הניסוי נערך פעמים ונותח במתכונת של ניסוי תלת גורמי (יישום ביו-פחם, משך שטיפה, טמפרטורת אקטיבציה כגורמים ראשיים).

3.1.4 בדיקת השפעת היישום הישיר של הביו-פחם לאזור השורש או מצע השתילה

אחת המטרות המרכזיות בהצעת המחקר היא להקטין למינימום ההכרחי את השינויים שיידרשו מהמשתלות לבצע בפרוטוקול הגידול שלהם ואת כמויות הביו-פחם המוספת למצע. במטרה לבדוק האם יש השפעה ישירה של ביו-פחם בזמן המגע הישיר עם השורש בתוך גוש השתילה, נערך ניסוי הכולל גידול זרעי מלפפון במגשי שתילה בהם הביו-פחם נמצא ישירות בגוש השתילה מול טיפולים בהם הביו-פחם נמצא דווקא במצע המקיף את גוש השתילה אך לא בגוש עצמו. הניסוי נערך בעציצי 1 ליטר ב 5 חזרות וכללו את הטיפולים הבאים א) ביו-פחם בגוש השתילה; ב) ביו-פחם במצע השתילה; ג) ביו-פחם בגוש השתילה ובמצע השתילה; ד) ללא ביו-פחם בגוש

ובמצע. השתילים גדלו במשך ששה ימים מגיל זריעה ונשתלו בעציצים אשר אולחו בפיתום. אחוז הצמחים המתים הוערך כעבור שבוע נוסף. הניסוי נערך עם ביו-פחם אורן בריכוז 1%. ניסוי נוסף נערך עם ביו-פחם דקל 1%.

3.1.5 בדיקת משך ההשפעה של הטענת שתילים בביו-פחם בשלב המשתלה כנגד מחלות נוף וקרקה

המופיעות אחרי השתילה. אחת המטרות המרכזיות ביישום ביו-פחם בשלב המשתלות היא לבדוק את יכולתו לספק ערך הגנה מוסף לשתילים כאשר הם עוברים לשטח המסחרי באמצעות גוש השתילה בלבד. במטרה לבדוק מה משך ה'זיכרון' וההגנה של הביו-פחם בוצע סט ניסויים בצמחי עגבנייה מזן בריגייד כנגד העובש האפור. צמחי עגבנייה גודלו במשתלה מסחרית עם ביו-פחם EUC בגוש השתילה בריכוז 1% אל מול טיפול בקורת של מגש ללא ביו-פחם בגוש. הצמחים נלקחו מהמשתלה ובגיל 23 יום מזריעה נשתלו בעציצי 3 ליטר במצע גידול טוף:כבול (70:30) כאשר מקור הביו-פחם היחיד נמצא בגוש השתילה המקורי. בימים 23, 37, 51, 65, 86 ו 93 אחרי הזריעה נלקחו ארבעה צמחי עגבנייה ללא ביו-פחם וארבעה צמחים עם ביו-פחם ואולחו בתבדיד בעובש אפור בתנאים מבוקרים בתא לח ב 22 מ"צ. שטח הכתם חושב במשך 14 ימים ועקום התפתחות הכתם חושב כערכי AUDPC. הניסוי נערך פעמים.

בסט ניסויים נוסף ניסונו לבצע תהליך דומה לזה שבסעיף 3.1.5 במטרה לחשב את משך ה'זיכרון' של גוש הביו-פחם אחרי השתילה בגיל מתקדם והאם הוא יתורגם לעמידות כנגד מחלות קרקע. צמחי מלפפון נשתלו במגש שתילה עם ביו-פחם EUC 1% ובמגש בקורת ללא ביו-פחם. שתילים נלקחו מתוך המגש אחרי 14 יום והועברו בשלב הראשון לעציצי 1 ליטר במצע שתילה ללא ביו-פחם נוסף. צמחים אלו שמשו להעברה נוספת כעבור יום, שבוע ושבועיים לעציצים מאולחים בפיתום. בניסוי זה, למרות שהצמחים אולחו בפתוגן לא חלה התמוטטות עקב הקושי להדביק צמחי מלפפון מבוגרים בפיתום.

ניסויים לשילוב ביו-פחם עם חומרים מדכאי מחלות נוספים:

בשטח מסחרי במושב אחיטוב. שלושה מגשי שתילה עם מלפפון מזן סנייאל נשתלו במצע משתלה עם ביו-פחם אורן 1% המגשים גודלו במשתלה ביחד עם מגשים מסחריים ובתנאים זהים. כעבור 24 ימים נשתלו השתילים (שהפחם נמצא בגוש השתילה בלבד) בחלקה מסחרית במושב אחיטוב במתכונת של ששה בלוקים באקראי שבכל טיפול בכל בלוק בניסוי 17 צמחים. טיפול הביו-פחם הושווה לטיפול בקורת ללא כל חומר הדברה וטיפול מסחרי מקובל ברידומיל. בנוסף נכללו בניסוי טיפול הכולל את תכשיר ההדברה הביולוגי AGF161 הכולל טריכודרמה וטיפול משולב הכולל ביו-פחם אורן 1% ו AGF161. בנוסף בחודש פברואר 2019 הועמדו שני גמלוני תצפית בחלקות מסחריות במושב אחיטוב הכוללים גמלון שלם אשר נשתל עם ביו-פחם Pine 1% בשטח מלפפון מהזן סנייאל ובחלקת עגבניות מהזן איקרום. השטחים רוסו באופן מסחרי כמו שאר הגמלוני המסחריים.

ניסוי שמטרתו לבדוק את השפעת שילוב של ביו-פחם עם וללא חומרי הדברה על מחלת הפיתום, הועמד ניסוי עם אילוח מלאכותי בחודש דצמבר 2018 בחממה במכון וולקני. אדמת שתילה אולחה בפיתום בריכוז 0.3% במסגרת

הטיפולים הבאים: פתיום ללא טיפול נוסף, ביו-פחם אורן 1%, רידומיל 0.02 סמ"ק לצמח, וטיפול משולב של רידומיל 0.02 סמ"ק לצמח + ביו-פחם אורן 1%. המחלה הוערכה למשך 40 ימים וחומרת המחלה הוערכה פעמים בשבוע. בנוסף בסוף הניסוי נמדד גובה הצמחים מבסיס עד קודקוד.

3.2 תוצאות עיקריות

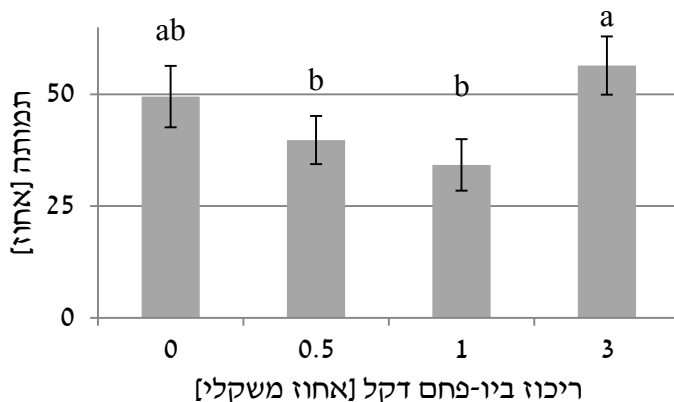
3.2.1 השפעת ביו-פחם ממקורות מסחריים כולל גזם אורן, קסוות אורז וכפות תמרים במצע השתילה על

התפתחות מחלות קרקע עלווה בשתילים

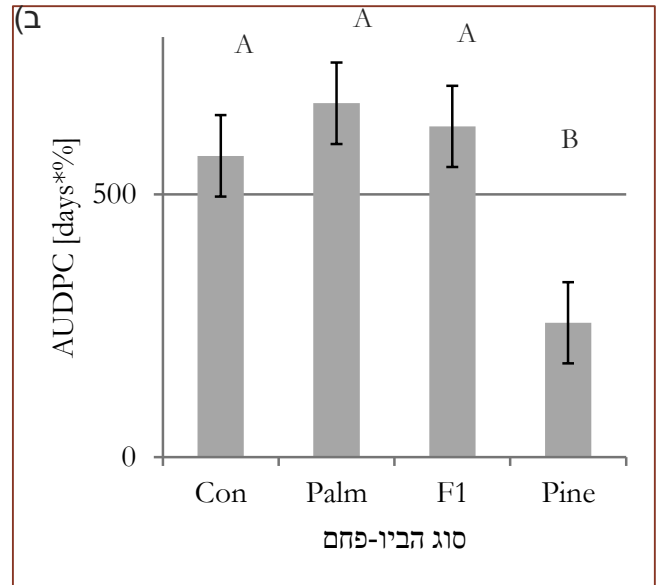
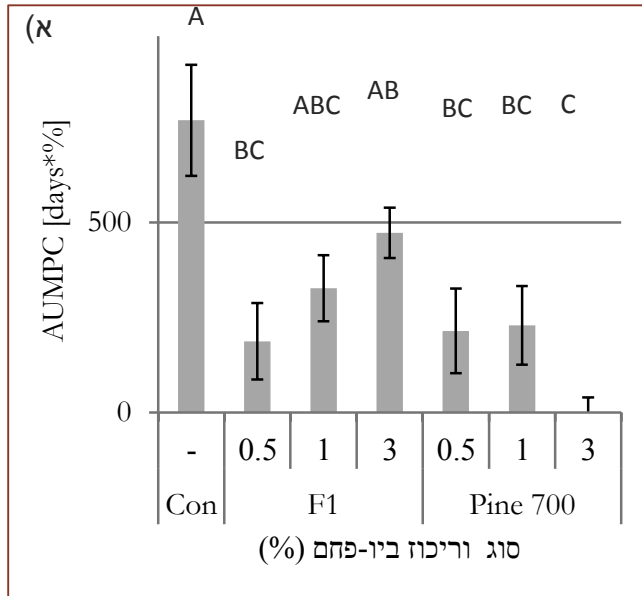
במטרה לבדוק את השפעת ביו-פחם כפות תמרים בייצור חצי מסחרי, כחלק מפתרון לפסולות חקלאיות והספקת כמויות גדולות של חומר גלם, בוצעו ניסויים בביו-פחם כפות תמרים על מחלת המקמקת (פתיום) במגשים שעברו שפעול בן 15 יום, תוצאות הניסויים בביו-פחם זה היו פחות יעילות מאשר הביו-פחמים EUC ו GHW (שנבדקו בעבר 2010, Elad et al, 2015, 2014; Jaiswal et al.,) והתאפיין בעקום בצורת U אשר לא הפחית את חומרת המקמקת באופן מובהק סטטיסטית, עם שונות גדולה בניסוי ועליה בחומרת המחלה בריכוז 3% בהשוואה ל 1% (איור 1).

שני סוגי ביו-פחם (אורן ו F1) נבדקו בריכוזים עולים של 0.5, 1, 3% כנגד פתיום. שני סוגי הביו-פחם הפחיתו את המחלה הנגרמת על ידי פתיום. עם זאת, בעוד ביו-פחם F1 הראה תצורה של עקום U ורק ריכוז של 0.5% היה נמוך במובהק מהביקורת, ביו-פחם אורן הפחית במובהק את חומרת מחלת הפתיום בכל שלושת הריכוזים כולל בטיפול העלאת ריכוז הביו-פחם ל 3%. למרות היעילות שהושגה ביישום 3% הוחלט לנקוט בזהירות מונעת ולהמשיך להשתמש בריכוז של 1% בהמשך הניסויים (איור 2א).

בניסויים שנערכו כנגד עובש אפור (בוטריטיס) נבדקו שלושה סוגי ביו-פחם - אורן, כפות תמרים וקסוות אורז כולם בריכוז 1%. גם כאן היה ביו-פחם ממקור אורן היעיל ביותר והיה הביו-פחם היחיד שהפחית את המחלה במובהק בהשוואה לביקורת (איור 2ב).



איור 1. השפעת ריכוז ביו-פחם דקל על מחלת המקמקת (פתיום) במלפפון. הערכים מייצגים איחוד של תוצאות שני ניסויי חזרה. בכל ריכוז ביו-פחם. קווים אנכים מייצגים שגיאת תקן. ערכים בכל עמודה המלווים $P \leq 0.05$ באות זהה אינם שונים זה מזה ברמת מובהקות Tukey-Kramer (HSD) לפי מבחן ניתוח שונות.



איור 2. השפעת סוגי הביז-פחם ממקור קסוות אורז (F1), כפות תמרים (Palm) וגזם אורן (Pine) על תמותת הצמחיים מפתיום בצמחי מלפפון (איור 1א) או מעובש אפור בצמחי עגבנייה (איור 1ב). ערכי המחלה מבוטאים כערכי מתחת לעקום התפתחות המחלה (AUDPC) או תחת עקום התפתחות התמותה (AUMPC). אותיות שונות מסמלות טיפולים אשר נבדלים זה מזה במבחן Tukey HSD test ($\alpha=0.05$)

3.2.2 פיתוח שיטות להגברת היעילות של ביז-פחם במצעי השתילה:

3.2.2.1 השפעת שפעול ביז-פחם ממקורות שונים על התפתחות מחלות שוכנות קרקע במלפפון השפעת

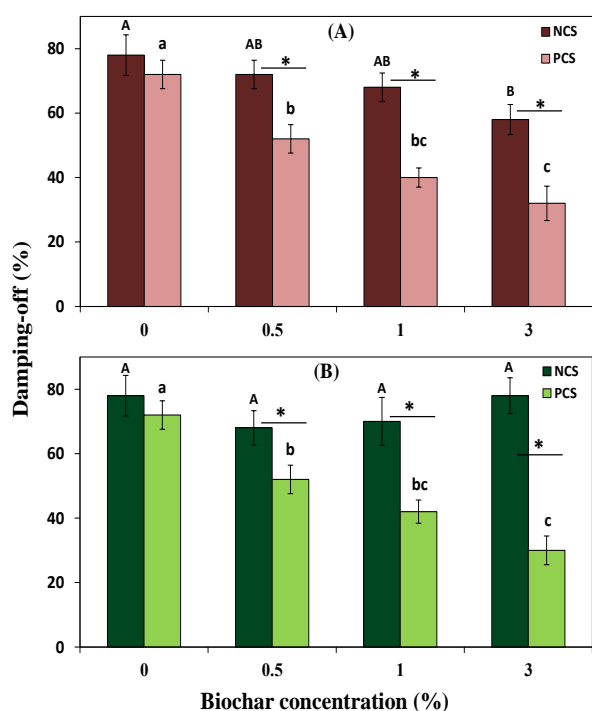
שפעול ביז-פחם ממקורות שונים במגשי השתילה על התפתחות מחלת הפתיום

השפעת ביז-פחם משופעל בעזרת שטיפות מוקדמות נבדקה על מחלת המקמקת והתוצאות מוצגות באיור 3. התמוטטויות של שתילים מהמחלה החלו יומיים אחרי האילוח והמשיכו עד 7 ימים אחרי אילוח. ללא שטיפות מוקדמות הייתה השפעת הביז-פחם מוגבלת ביותר ולא נצפו הבדלים בין טיפולי הביז-פחם והביקורת למעט יישומי ביז-פחם EUC בריכוז 3% בהם חלה ירידה של 24% בחומרת המחלה בהשוואה לטיפול הביקורת (איור 3A). לעומת זאת, במצעים שעברו שפעול ביז-פחם בעזרת שטיפות של 15 ימים לפני השתילה, חלה ירידה חדה בחומרת המחלה בשני סוגי ביז-פחם בכל הריכוזים הנבדקים. ההפחתה הגדולה ביותר במחלה הייתה בשני הביז-פחמים בריכוז 3% (56-58% הפחתה בשכיחות המחלה, (איור 3B,3A). בניתוח תלת גורמי של סוג הביז-פחם, ריכוז הביז-פחם והשפעת השפעול היו גורמי הריכוז ($P<0.001$), השפעול ($P=0.02$) והאינטראקציה ביניהם ($P=0.03$) מובהקים.

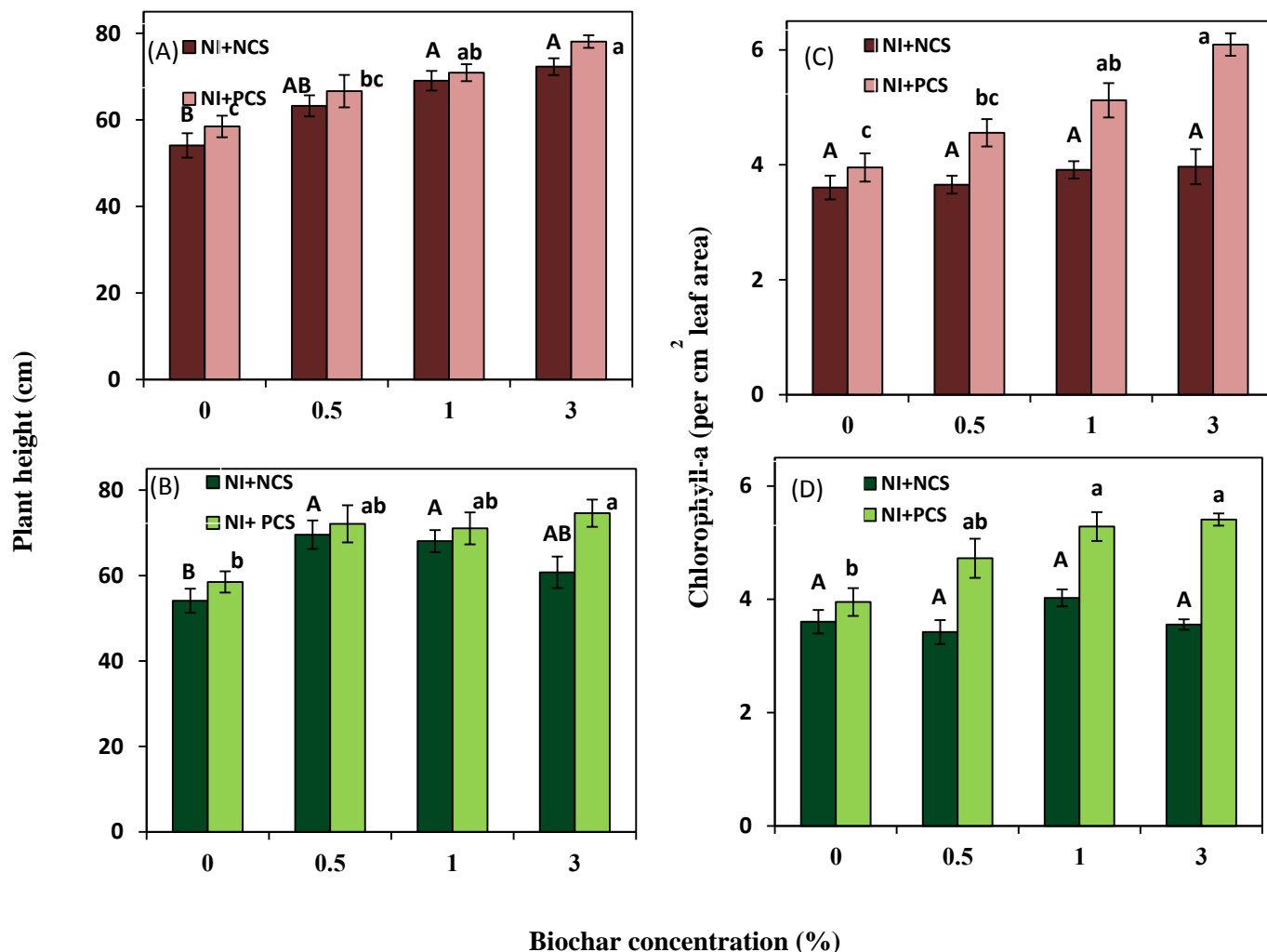
בנוסף יישום ביז-פחם במצע משתלה הראה מגמה חיובית גם במדדי גידול צמח כגון גובה הצמח, בצמחים שגודלו במשך 21 ימים ונמצא כי יישום ביז-פחם העלה את גובה הצמח בכ-30%, במקרה זה לא תועדה תוספתיות הנובעת בשפעול מוקדם של הביז-פחם (איור 4A,4B). עם זאת, שפעול הביז-פחם התבטא בעלייה מובהקת

בריכוז הכלורופיל a בהשוואה לטיפול הביקורת המאולחת ללא ביו-פחם ובהשוואה לשתילים שלא גודלו בביו-פחם (איור 4C, 4D). שיפור במדדים פיזיולוגים נוספים, כולל תכולת קרטנואידים וכלורופיל b הראו מגמות דומות לכלורופיל a.

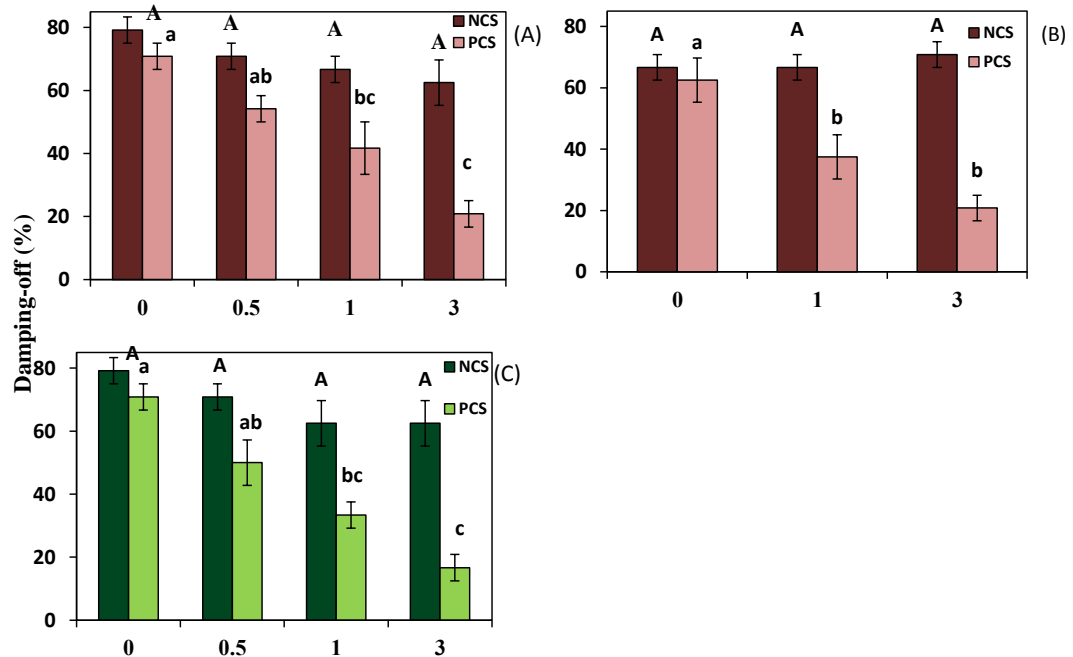
בשורת ניסויים שבוצעה במגשי שתילה משופעלים שבדקו את השפעת הפתיום בשלב הטרומ הצצה (הרגיש עוד יותר למחלת המקמקת) התקבלו מגמות דומות, ביו-פחם ללא שפעול לא השפיע על שכיחות החולי הנופל, אך שפעול הביו-פחם במשך שבועיים לפני הזריעה הפחית את חומרת המחלה בשני סוגי הביו-פחם ביותר מ 70% (איור 5A, 5B). בנוסף לא נמצא הבדל במידת הפחתת המחלה בין מגשים ששופעלו למשך 7 ימים לאלו ששופעלו במשך 15 ימים (איור 5B).



איור 3. השפעת יישום ביו-פחם EUC (איור 1A) ו-GHW (איור 1B) בריכוזים עולים (0, 0.5, 1, 3%) על שכיחות השתילים המתמוטטים. בכל איור, עמודות כהות מייצגות טיפולים אשר לא עברו שפעול בהשקיה בת 15 ימים (NCS) ועמודות בהירות מייצגות טיפולים שהביו-פחם שופעל בהשקיה בת 15 ימים (PCS). אותיות גדולות מציינות הבדלים מובהקים במבחן HSD ($\alpha=0.05$) בין ריכוזים שונים של טיפולי NCS ואותיות קטנות מציינות הבדלים מובהקים בין ריכוזים שונים של טיפולי PCS. כוכבית מציינת הבדלים מובהקים בין טיפולים משופעלים ולא משופעלים באותו ריכוז יישום.



איור 4. השפעת יישום ביו-פחם EUC (איור 2A, 2C) וGHW (איור 2B, 2D) בריכוזים עולים (0, 0.5, 1, 3%) על גובה צמחי המלפפון (C,A) ועבור ריכוז כלורופיל a (D, B). בכל איור, עמודות כהות מייצגות טיפולים אשר לא עברו שפעול בהשקיה בת 15 ימים (NCS) ועמודות בהירות מייצגות טיפולים שהביו-פחם שופעל בהשקיה בת 15 ימים (PCS). אותיות גדולות מציינות הבדלים מובהקים במבחן HSD ($\alpha=0.05$) בין ריכוזים שונים של טיפולי ה-NCS ואותיות קטנות מציינות הבדלים מובהקים בין ריכוזים שונים של טיפולי ה-PCS.



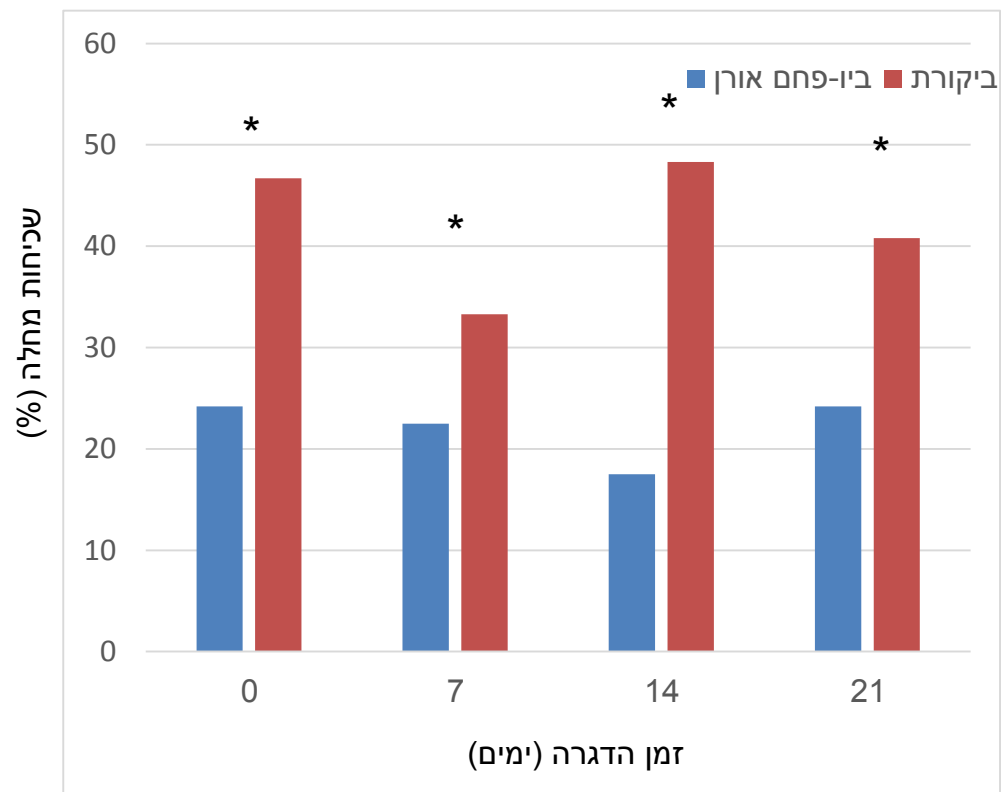
איור 5. השפעת יישום ביו-פחם EUC עם ולא שפעול במשך 15 ימים (איור 1A) ושבעה ימים (איור 1B) ויישום ביו-פחם GHW עם ולא שפעול במשך 15 ימים (איור 1C) בריכוזים עולים (0, 0.5, 1, 3%) על שכיחות המחלה עם אילוח בשלב הטרומ הצצה. בכל איור, עמודות כהות מייצגות טיפולים אשר לא עברו שפעול בהשקיה בת 15 ימים (NCS) ועמודות בהירות מייצגות טיפולים שהביו-פחם ששופעל בהשקיה בת 15 ימים (PCS). אותיות גדולות מציינות הבדלים מובהקים במבחן HSD ($\alpha=0.05$) בין ריכוזים של טיפולי ה NCS ואותיות קטנות מציינות הבדלים מובהקים בין ריכוזים של טיפולי ה PCS.

3.2.2.2 בדיקת משך ההשפעה של הטענת שתילים בביו-פחם בשלב המשתלה כנגד מחלות קרקע המופיעות אחרי השתילה.

אחרי שהראנו בסעיף הקודם כי שטיפה מקדימה משפרת את יעילות הביו-פחם EUC ו GHW כנגד מחלת הפתיום אחרי שטיפה כבת שבועיים. נבדקה האפשרות להשתמש בביו-פחם בעל הפוטנציאל המסחרי אורן וניסיון לבחון האם ניתן לצמצם את משך זמן השטיפה המקדימה למשל בעזרת שינוי טמפרטורת ההדגרה ועדין להפחית את חומרת מחלת הפתיום. מחלת הפתיום החלה להתפתח במגשי השתילה 24 שעות אחרי האילוח. בניתוח תלת גורמי עולה כי הגורם המובהק היחיד היה יישום או אי יישום הביו-פחם ולא הייתה השפעה במקרה של הביו-פחם אורן על משך האקטיביציה או טמפרטורת האקטיביציה (טבלה 1). יישום ביו-פחם Pine הפחית את חומרת מחלת הפתיום באופן מובהק בכל אחד מהזמנים בהם עמדו המגשים ולאורך טווח הטמפרטורה של 20-30 מ"צ (איור 6). דבר המעיד כי ביו-פחם Pine הינו ביו-פחם בעל פוטנציאל להפחתת פתיום בטווח התנאים המתרחשים בתנאי גידול מסחריים.

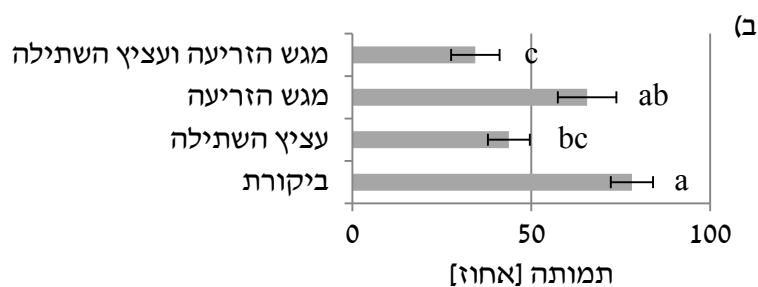
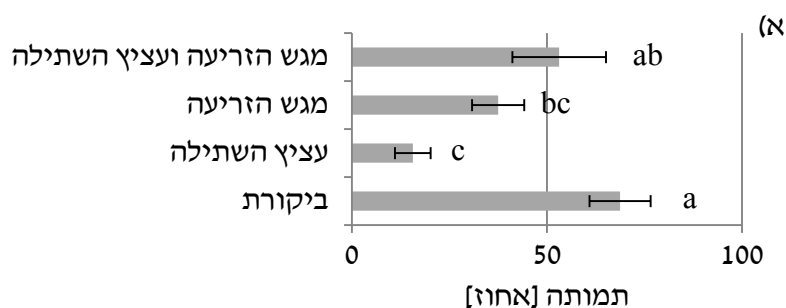
טבלה 1: טבלת ANOVA של ניסויי השפעת הזמן והטמפרטורות על יעילות הביו-פחם כנגד מחלת הפתיום

Prob > F	F Ratio	Sum of Squares	DF	Nparm	Source
0.1646	1.8200	0.5140419	2	2	טמפרטורה
0.5688	0.6741	0.2855788	3	3	זמן
0.4609	0.9491	0.8041900	6	6	טמפרטורה*זמן
0.001*	32.1050	4.5338495	1	1	ביו-פחם
0.3898	0.9464	0.2673018	2	2	טמפרטורה*ביו-פחם
0.1138	2.0088	0.8510249	3	3	ביו-פחם*זמן
0.7484	0.5770	0.4889110	6	6	טמפרטורה*ביו-פחם*זמן
0.3114	1.2012	0.6785353	4	4	בלוק
0.1788	1.8200	0.2570209	1	1	ניסוי



איור 6. השפעת יישום ביו-פחם שעבר שפעול למשך 0,7,14 ו-21 ימים אחרי הזריעה כנגד מחלת הפתיום בצמחי מלפפון מזן מני. נתונים בכל אחד מהזמנים משווים בין צמחים אשר נזרעו בביו-פחם אל מול זריעה במצע ללא ביו-פחם. כל עמודה כוללת בתוכה איחוד של שלוש טמפרטורות (20, 25, 30 מ"צ). מכיוון שגורם הטמפרטורה לא היה מובהק סטטיסטית במודל ה ANOVA, אוחדו בכל עמודת זמן הדגרה נתוני כל הטמפרטורות. כוכבית מציינת הבדלים סטטיסטיים מובהקים בכל מועד בין צמחים עם וללא ביו-פחם.

3.2.2.3 השפעת יישום הביו-פחם בגוש השתילה בהשוואה למצע המקיף את הגוש: אופן הגידול במשתלה מסחרית נעשה במגשי זריעה בעוד שהניסויים שקבעו את סוג הביו-פחם עד כה כללו יישום במצע הגידול הממלא את עציצי השתילה. נערך ניסוי שמטרתו לבחון את ההבדל בין אופן היישום כנגד חומרת המחלה. בנייתוח שונות חד-גורמי קיימת השפעה מובהקת למועד/מיקום היישום של הביו-פחם. בתוצאות קיימים הבדלים בין השפעת ביו-פחם דקל וביו-פחם אורן. ביו-פחם דקל הפחית את המחלה ב-45% וכאשר יושם בעציץ השתילה או במגש הזריעה בהתאמה. אך הפחתה זו הושפעה לרעה כאשר ביו-פחם דקל יושם בשניהם (איור 7א). לעומת זאת, בביו-פחם אורן המגמה שונה וקיימת הפחתה של 43-56 אחוז ביישום משולב ובעציץ בלבד. הפחתה זו צומצמה מאד כאשר ביו-פחם אורן יושם רק במגש השתילה (איור 7 ב).

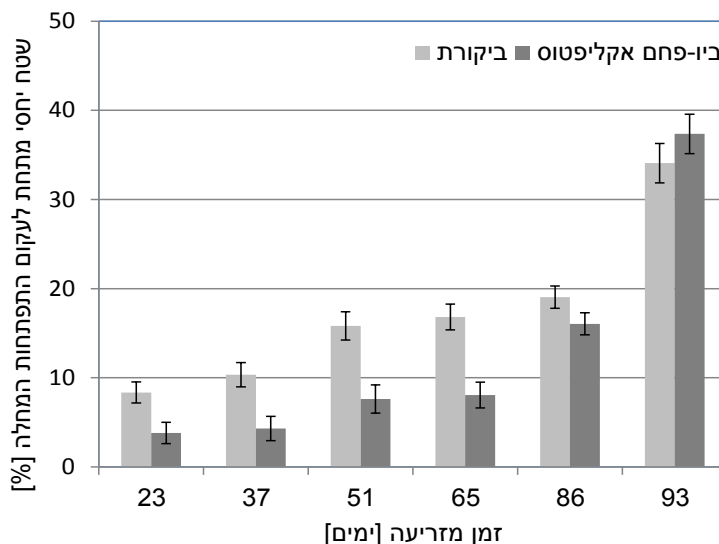


איור 7. השפעת יישום ביו-פחם בצורה ישירה ועקיפה על מחלת המקמקת במלפפון. ביו-פחם יושם בשלבי גידול שונים (עם הזריעה, עם השתילה ובמשך כל שלבי הגידול) של מלפפון להדברת מחלת המקמקת. אותיות בעברית מייצגות את סוג הביו-פחם: א' ביו-פחם דקל וב' ביו-פחם אורן. קווים שחורים מייצגים שגיאת תקן. ערכים בכל עמודה המלווים באות זהה אינם שונים זה מזה ברמת מובהקות $P \leq 0.05$ לפי מבחן ניתוח שונות Tukey-Kramer.

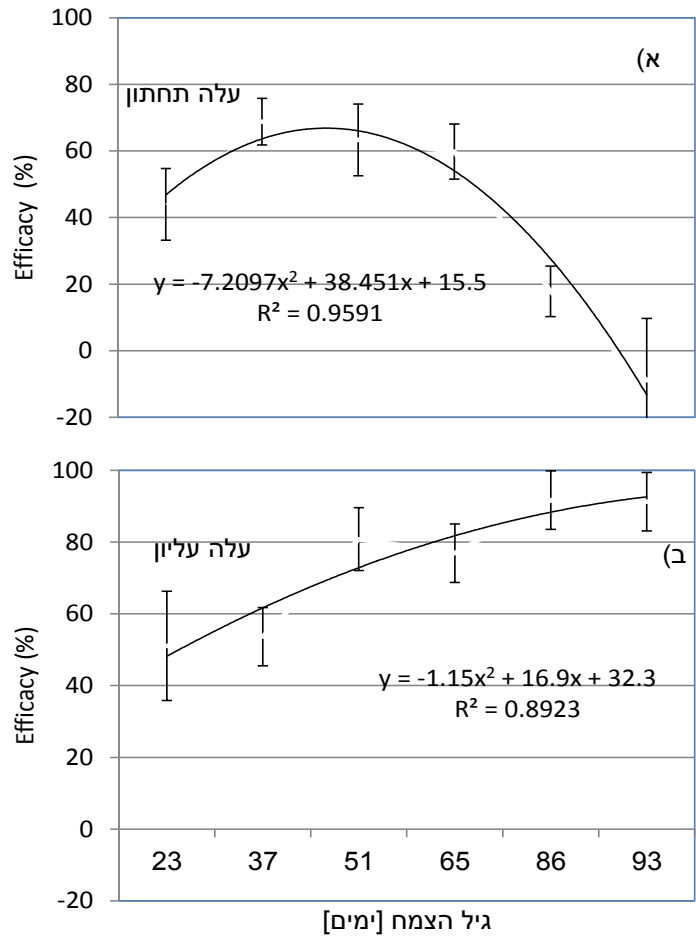
3.2.3 השפעת ה ביו-פחם בגושי השתילה בשטח המניב

3.2.3.1 בדיקת משך ההשפעה של הטענת שתילים בביו-פחם בשלב המשתלה כנגד מחלות נוף המופיעות אחרי השתילה. ניסויים בצמחים שלמים אשר נשתלו עם וללא ביו-פחם בגוש השתילה אל תוך מצע מנותק הראו כי נוכחות ביו-פחם בגוש השתילה בלבד גרמה להפחתה מובהקת בחומרת מחלת הבוטריטיס בעלים התחתונים במשך 86 הימים הראשונים מהזריעה (שהם 63 ימים אחרי מועד ההעטקה), (איור 8). המדדים התבטאו גם

בהשוואה של שטח הכתם וגם בחישוב מדד ה control efficacy אשר מראה כי ההפחתה המקסימלית מתרחשת 51 ימים אחרי הזריעה (27 יום לאחר ההעתקה) בעלים התחתונים והרגישים יותר (איור 9א). השפעת ביו-פחם על הפחתת חומרת המחלה נצפתה גם בעלים העליונים של צמח העגבנייה למרות שחומרת המחלה הייתה נמוכה בעלים אלו לאורך כל משך הניסוי (איור 9ב)



איור 8. השפעת משך הזמן מזריעה על הפחתת מחלת העובש האפור בצמחי עגבנייה מזן בריגייד. צמחי עגבנייה גודלו במגשי שתילה עם או בלי ביו-פחם Pine 1% עד לגיל 23 ימים מזריעה אז הועברו לעציצים גדולים עם מצע שתילה שביו-פחם נותר בגוש השתילה בלבד. הצמחים אולחו בתבדיד בוטריטיס בימים 23,37,51,65,86 ו-93 והתפתחות המחלה תועדה בצמחים עם וללא הביו-פחם. לחישוב השטח היחסי מתחת לעקום המחלה (RAUDPC). קווים אנכיים מסמלים את שגיאת התקן.



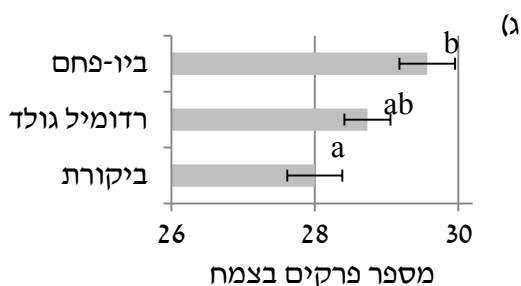
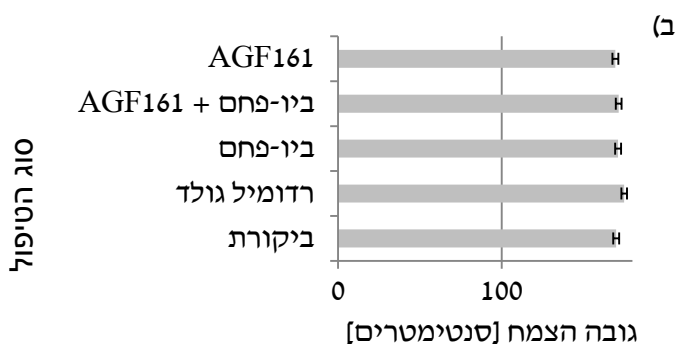
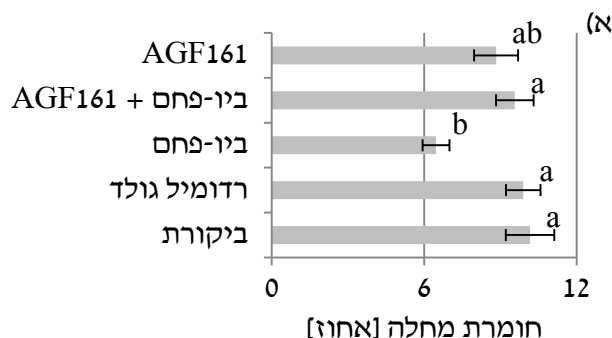
חח

איור 9 חישובי ה control efficacy של הביו-פחם בגוש השתילה בזמנים שונים אחרי הזריעה. צמחי המלפפון גודלו במגשי שתילה עם וללא ביו-פחם. ביום ה-23 הועברו הצמחים לעציצים גדולים שהביו-פחם נותר רק בגוש. בכל אחד מהמועדים אולחו העלים הצעירים והמבוגרים של ארבעה צמחים מכל טיפול בטיפות עם נבגי בוטריטיס. ערכי ה Control efficacy חושבו עבור העלים התחתונים (א3) והעלים העליונים (ב3). קווים אנכיים מסמלים את שגיאת התקן.

3.2.3.2 ניסויי שטח מניב בשילוב עם אמצעי הדברה נוספים

ניסוי השטח בוצע באחיטוב עם מלפפון ונשתל בחלקה בעלת היסטוריית נגיעות במקמקת. בחלקה בוצעו טיפולים עם חומרים נוספים: רידומיל גולד (טיפול כימי רגיל) ו-AGF161 (תכשיר ביולוגי המכיל טריכודרמה). לאחר 58 יום משתילה, נעקרה החלקה והניסוי הסתיים מבלי שהייתה התמוטטות משמעותיות ממקמקת (סה"כ 3 צמחים התמוטטו בביקורת ו- 3 בטיפול רידומיל). עם זאת, הוערכה נגיעות של קימחון אשר התפתח באופן טבעי בחלקה ונבדקו מדדי התפתחות צמח. בניתוח השונוות חד-גורמי, ביו-פחם אורן הפחית את חומרת מחלת קימחון הדלועיים ב-57 אחוז בהשוואה לטיפול הביקורת והיה הנמוך ביותר מכלל הטיפולים (איור 10 א). כמו כן טיפול הביו-פחם העלה את מספר הפרקים בצמח ב-1.4 בממוצע, אך לא הושפע גובה הצמח (איור 10 ב ו10 ג). חומרת המחלה לא הופחתה כאשר היה טיפול משולב של ביו-פחם ו-AGF161.

במהלך עונת 2019 הועמדו שני תצפיות בזן איקרים בעגבנייה ובזן סניאל במלפפון של שתילים עם פלאגים ו ביו-פחם מסוג אורן בחלקות מסחריות אשר טופלו כמו שאר החלקה המסחרית. לא נצפו כלל התמוטטויות של צמחים צעירים ובוגרים ולא ניתן היה להסיק על יעילות הטיפול ב ביו-פחם על מחלות הקרקע.



איור 10. תוצאות ניסויי שטח במושב אחיטוב. אותיות בעברית מייצגות את המדד הנבדק: א' חומרת מחלת הקימחון, ב' גובה הצמח וג' מספר פרקים. קוו פנימי בכל עמודה מייצג את שגיאת תקן. האותיות באנגלית מייצגות איחוד של טיפול השטיפה המקדימה. ערכים בכל עמודה המלווים באות זהה אינם שונים זה מזה ברמת מובהקות $P \leq 0.05$ לפי מבחן ניתוח שונות Tukey-Kramer (HSD).

השפעת שילוב ביו-פחם עם חומרי הדברה כנגד פתיום

בניסוי בדל"י 10 ליטר שנערך בחממה במכון וולקני הפחית ביו-פחם אורן את חומרת מחלת הפתיום ב-25% בהשוואה לבקורת (37.5% ו 50% שכיחות תמותה, בהתאמה) אך השפעה זאת הייתה נמוכה בהשוואה לרידומיל או לשילוב של ביו-פחם ורידומיל בהם הייתה חומרת המחלה 0%. בהשוואת הגובה הממוצע של הטיפולים, היה גובה הצמחים שטופלו במשולב בביו-פחם ורידומיל הגבוה ביותר 84+5.1 ס"מ אך לא במובהק בהשוואה לטיפול הרידומיל לבדו (73.5+4.6). שני הטיפולים הללו היו גבוהים במובהק מהצמחים בטיפול הביו-פחם (50.9+8.5) או הביקורת המאולחת ללא טיפול הדברה (32.8+7.4).

4. דיון

היבטים שונים של יישומי ביו-פחם לשיפור בריאות הצמח נחקרים במהלך השנים האחרונות והשפעתם על מחלות צמחים הולכת ונחשפת. בעוד שמחקרים קודמים התמקדו בניסיון להוכיח את יעילות הביו-פחם כנגד הפתוגנים ובלבדוק מה הם המנגנונים המעורבים, הצעת המחקר הנוכחית מתמקדת בניסיון להתאים את השימוש בביו-פחם במערכות חקלאיות אמיתיות ומתמקדת בשלב במשתלה. אכן, שלב המשתלות מהווה מגרש נוח ליישום הביו-פחם. מדובר במערכות מהירות אשר בניגוד לגישה המעודדת יישום בתנאי שדה, ה ביו-פחם לא מצטבר במשתלות או מייצר אפקטים ארוכות טווח. אם זאת חשוב לזכור כי דרושים שלושה תנאים הכרחיים להצלחת יישום הביו-פחם במשתלות, א) תועלת מצטברת לאנשי המשתלות או לחקלאי אשר תעודד אותו לרכוש את המוצר למשל עמידות טובה יותר כנגד מחלות או יצוא שתיל חזק יותר, ב) תוספת מחיר שולית למוצר הסופי (וג) התערבות ושינויים מינימליים בפרוטוקולים של הגידול בזמן הכנסת הביו-פחם למערכת המשתלות. מתוצאות המחקר במשתלות למדנו שלביו-פחם יש פוטנציאל להפחתת מחלת העובש האפור בעגבנייה במגוון רחב של סוגי ביו-פחם וגם כנגד מחלת המקמקת (פתיום) בשתילי מלפפון בשלב המשתלה עצמו.

ממצא משמעותי נוסף הוא חשיבות סוג הביו-פחם בהפחתת המחלה ועל יציבות המערכת, בנקודת זמן זאת, ניתן לומר שביו-פחם ממקור עצי קרי אקליפטוס וגזם אורן עשירי ליגנין הראו פוטנציאל טוב יותר מאשר ביו-פחם עשירי צלולוז או כאלו בעלי ממליחות גבוהה כמו ביו-פחם מכפות תמרים ופסולת חממה. מבין שני הביו-פחמים עשירי הלגנין מאורן ואקליפטוס אנו נוטים להשתמש דווקא בביו-פחם אקליפטוס מהסיבה שהשפעתו נובעת מאינטראקציה עקיפה עם הצמח באופן מתון יותר כנראה דרך שינוי המיקרוביום. ביו-פחם אורן הינו אגרסיבי יותר וכולל גם פעילות ישירה כנגד פתוגנים אך כימיקלים אלו משפיעים גם על הצמח וייתכן שעל אורגניזם מועילים (היפותזה שיש לבדוק בעתיד). בד בבד ראינו ניסויים בו בתחילת הניסוי ביו-פחם גורם לתמותה ורק לאחר מספר ימים חלה היפוך מגמה הכולל התייצבות והגברת היעילות כנגד מחלות. על כן עדיף בעינינו לפעול לשימוש ביו-פחם המתון יותר מסוג אקליפטוס. בנוסף עולה מהניסויים שביו-פחם אורן מפחית את מחלת המקמקת במגוון רחב של תנאים. בשנה שעברה הראנו שביו-פחם עשירי צלולוז כגון פסולת חממה וקסוות אורז מחייב שטיפה ארוכה כדי להפחית את מחלת הפתיום. לעומת זאת ביו-פחם אורן ואקליפטוס יעילים בטווח רחב של טמפרטורות ובזמני שפעול שונים. זהו יתרון גדול לביו-פחם ככיוון שמשתלות כגוף מסחרי איננו מעוניין בחומרים אשר משנים את זמני הייצור ובוודאי לא כאלו המושפעים באופן חד מתנאי הסביבה. מציאת ביו-פחם המועיל בצורה דומה בטווח תנאים רחב משרתת את המטרה היטב. במסגרת ניסויי שנה ב ו ג, השקענו את מירב המאמץ בלכמת את משך הזמן הפוטנציאלי שבו גוש הביו-פחם שמגיע עם השתיל מספק הגנה כנגד המחלות בשלב בו השתיל יוצא אל השטח המניב, ולהתמקד בסוגי ביו-פחם אשר מפחיתים מחלות למשך התקופה הארוכה ביותר ואשר משפיעים באופן חיובי לרוחב טווח הרחב ביותר של תנאי סביבה.

מתוצאות הניסויים עולים מספר ממצאים, הראשון: ביו-פחם בגוש השתילה מפחית את חומרת העובש האפור גם כחודשיים אחרי השתילה בהשוואה למצע ללא ביו-פחם, אלו ממצאים חשובים, מטרתנו בשלב זה היא

להסתפק ביישום ביו-פחם במינימום הנדרש בגוש השתילה עצמו ולא ליישם ביו-פחם בשטח, גם כזהירות מונעת וגם כהפחתת עלויות. העובדה כי הגוש הינו בעל השפעה חיובית חודשים לאחר השתילה מהווה יתרון בעל פוטנציאל כלכלי ביישום במשתלות. אופן הפעולה בה משפיע הביו-פחם כנגד מחלת העובש האפור אשר אין ביניהם מגע פיזי היא כנראה מערב מנגנון העמידות המושרית. מנגנון זה יכול לנבוע מחומרים הקיימים בביו-פחם המשרים עמידות אך גם בהתבססות מיקרואורגניזמים מועילים בקרקע השורדים בגוש השתילה. זהו אפיק מעניין אשר משמש וישמש בעתיד בהמשך שיפור יעילות הביו-פחם בשילוב עם אמצעי הדברה ביולוגים ומשרני עמידות. במסגרת הניסויים שערכנו הראה הביו-פחם בגוש השתילה יכולת הפחתה של נזקי קימחון בניסויי שטח במלפפון והגדלה של מספר המפרקים. לצערנו בניסויים לבדיקת ההשפעה על מקמקת ומחלות קרקע אחרות לא התפתחה מחלה משמעותית בניסויים הללו אך בכל המקרים ביו-פחם לא השפיע לרעה על מדדי הצמח וחומרת המחלות (ולעיתים תרם לשיפור אך באופן לא מובהק סטטיסטית). במקרה של השילוב עם רידומיל חלה עלייה במדדי הצמח בכ 20%. חשוב להמשיך ולבדוק שילובים אלו בהמשך וחשוב כמובן לציין כי הביו-פחם מספק נדבך נוסף בהגנה אך איננו יכול לבטל שימוש בחומרי הדברה.

לסיכום: אלו המסקנות החשובות מהמחקר

(א) מבין הביו-פחמים שנבדקו יש להיזהר מאלו עם תכולת מלח גבוהה ועדיף להשתמש בביו-פחמים ממקור עצי.
(ב) שילוב של שטיפה מקדימה ושפעול הביו-פחם מועיל ברוב סוגי הביו-פחם, בייחוד באלו שהמנגנון העיקרי שלהם מערב שינוי אוכלוסיות מיקרואורגניזמים, אך גם במקרה בו יש פעילות ישירה כנגד הפתוגן כגון ביו-פחם אורן. השפעול מומלץ אך ניתן לקצרו לשבוע עד שבועיים.

(ג) יש לנסות לצמצם את כמות הביו-פחם למינימום האפשרי, לכן יישומו בפלאג השתילה הוא מועדף בשלב הזה בגידולי ירקות עונתיים. יישום בגוש השתילה הפחית מחלות נוף והשפיע על מדדי הצמח גם חודשיים אחרי השתילה ומעניקים בתוספת עלות קטנה ערך מוסף לשתילים הנמכרים.

(ד) יש להמשיך ולשפר את השילוב של הביו-פחם בכמות המצומצמת עם חומרי הדברה ומעודדי צימוח, כי כאמור ביו-פחם לבדו איננו חומר הדברה יעיל מספיק אלא נדבך במערכת ההגנה.

5. פרסומים הנובעים מהמחקר

- Jaiswal, A. K., Graber, E. R., Elad, Y., and Frenkel, O. (2019). Biochar as a management tool for soilborne diseases affecting early stage nursery seedling production. *Crop Protection* 120: 34-42
- Jaiswal, A. K., Frenkel, O., Tsechansky, L., Elad, Y. and Ellen R. Graber (2018). Immobilization and deactivation of pathogenic enzymes and toxic metabolites by biochar: A possible mechanism involved in soilborne disease suppression." *Soil Biology and Biochemistry* 121: 59-66.
- Jaiswal, A. K., Elad, Y., Cytryn, E. Graber, E. R. and Omer Frenkel (2018). "Activating biochar by manipulating the bacterial and fungal microbiome through pre-conditioning." *New Phytologist* 219: 363-379.
- Jaiswal, AK., Elad, Y., Paudel, I., Graber, ER. Cytrin, E., and Frenkel, O. (2017). Linking the belowground microbial composition, diversity and activity to soilborne disease suppression and growth promotion of tomato amended with biochar. *Scientific Reports* 7. Doi:10.1038/srep44382
- Jaiswal, AK., Elad, Y., Graber, ER., Cytrin, E. And Frenkel, O. (2016). Effect of biochar on pre-emergence damping-off in nursery growth media and its influence on microbial community structure. *IOBC/WPRS Bulletin* 117: 149-153.

כנסים

הרצאה בכנס של האגודה הישראלית למחלות צמחים, בית דגן 2017

XIV Meeting of the Working Group Biological control of fungal and bacterial plant pathogens Biocontrol and Microbial Ecology, 2016, Berlin (IOBC),

2nd Global Soil Biodiversity congress, 15-19 November 2017 Nanjing, China.

תודות

תודות לאנשי משתלת חישתיל על שיתוף הפעולה והעזרה
לאייל ביגר ממיזם Good energy על אספקת ביופחם
לנדב זיו וקיבוץ קליה על אספקת הביופחם
לנטע מור משה"ם על העזרה בניסויים
לחקלאי אחיטוב על האפשרות לערוך ניסויים
לבני לב, מנחם בורנשטיין, דליה רב דוד ולודמילה צ'חנסקי ממנהל המחקר החקלאי בית דגן על העזרה בניסויים
לתלמידי המחקר אמית קומר גיסוואל, טל סמוכה ואיתי קרן