

מקרופומינה בכותנה – הדגמת תהליכי מחקר באינטראקציה בין פתוגן, צמח וסביבה

רוני כהן ומיטל אלקבץ

המחלקה לפתולוגיה של צמחים וחקר עשבים, מרכז מחקר נווה יער

תקציר

הפטרייה *Macrophomina phaseolina* גורמת למחלת קישיון הבטטה (ריקבון הפחם, Charcoal rot) בכחמש מאות פונדקאים ממשפחות בוטניות שונות כולל בכותנה. בעבר התבסס גידול הכותנה בעיקר על כותנה מטיפוס אקאלה השייכת לסוג *Gossypium hirsutum* וגידול מצומצם יותר של כותנה מטיפוס פימה השייך לסוג *G. barbadense*. לאחרונה, בשל שיקולים כלכליים, חלה ירידה בשטחי הגידול של הכותנה מטיפוס אקאלה העמיד חלקית למקרופומינה, לעומת עליה בגידולי זני הפימה הרגישים למחלה. במאמר זה מודגם מחקר שמטרתו למצוא כיצד ניתן להפחית את נזקי המחלה. הדבקת צמחים הביאה לאכלוס ביתר של השורשים בגורם המחלה אבל לא התקבלה הגברת מחלה בעקבות הדבקה זאת. נראה שהצמחים מגיעים לאיזון צמח-פטרייה והופעת המחלה תלויה בשינוי תנאי גידול הגורמים לצמח להיכנס לעקה. הדברה כימית אינה יעילה ואינה הכרחית. חומרי ההדברה משפיעים אמנם על כמות הפטרייה בצמח אך גורמים לפחיתה במחלה רק בחלק קטן מהמקרים. הקדמת ההשקיה והקפדת יתר על מניעת עקת יובש במיוחד בתחילת הגידול, נמצאה כגורם משמעותי בהפחתת המחלה. לקראת המשך המחקר יש צורך בשיפור משמעותי של האמצעים להערכה מדויקת של המחלה בצמח והפיזור בשדה בכל שלבי הגידול, שיפור במדידת היבול בחלקות קטנות ובירור הקשר בין המחלה ליבול.

אופן הציטוט: כהן ר' ואלקבץ מ' (2021) מקרופומינה בכותנה – הדגמת תהליכי מחקר באינטראקציה בין פתוגן, צמח וסביבה.
 בספר **תובנות חדשות במחלות צמחים**, בעריכת אלעד י', דומברובסקי א', מנוליס-ששון ש' ועזרא ד',
 הוצאת המחלקה לפתולוגיה של צמחים וחקר העשבים. <https://volcaniarchive.agri.gov.il/skn/tu/e51916>



מבוא

הפטרייה *Macrophomina phaseolina* גורמת למחלת קישיון הבטטה (ריקבון הפחם, Charcoal rot) בכחמש מאות פונדקאים ממשפחות בוטניות שונות (Su et al., 2001). רוב גידולי הקיץ הגדלים בישראל; תירס, סורגום, אבטיח, מלון, אפונה, חמצה, שעועית, חמנית, ושומשום רגישים למחלה (Cohen et al., 2016). גידולים בעלי מחזור ארוך כמו תות שדה וצמחים רב שנתיים כמו פרח שעווה, שקד ואקליפטוס דווחו גם הם כמי שנתקפו במחלה. על שורשי צמחים מתים מתפתחים במהירות מיקרו-קישיונות (micro-scelortia) של הפטרייה המהוות אברי השתמרות בקרקע (Meyer et al., 1974). הקישיון נובט בקרבת שורש של צמח רגיש וחודר אל השורש בעזרת אנזימים המפרקים את דופן התא אך דרך פצעים ופתחים טבעיים (Mayek et al., 2001). תפטיר הפטרייה גדל דרך הקורטקס וחודר לצינורות הובלת המים. הנבילה נגרמת כתוצאה מנקרזזה של השורש והגבעול התחתון וגם מחסימה של צינורות הובלת המים (Kaur et al., 2012). דרך נוספת בה הפטרייה גורמת לתמותה הוא יצירת טוקסינים. חומרים אלו מסיסים במים, נעים עם זרם הטרנספירציה ומרעילים את כל חלקי הצמח (Islam et al., 2012).

הפטרייה מקרופומינה מוכרת בעולם כגורמת מחלת נבילה גם בכותנה. המחלה דווחה בארה"ב, פקיסטן ומצרים (Mahmoud et al., 2006). גידול הכותנה בישראל משתנה במשך השנים כתלות במצב המים הזמינים, איכות הסיבים הנדרשים בשוק העולמי (זנים) והמחירים אותם ניתן לקבל בשווקים אלו. בין השינויים הבולטים שקרו במשך הכותנה בישראל ניתן לראות את הירידה בשטחי הגידול של טיפוס האקאלה (עמיד חלקית למקרופומינה) לעומת עליה בגידול זני הפימה הרגישים למחלה. יחד עם העלייה בהיקפי גידול זני הפימה עלתה גם שכיחות הנזקים הנגרמים מגורמי מחלות קרקע. משורשי צמחים נובלים וגם מצמחים בריאים מבודדות פטריות מסוגים שונים. הפטרייה הבולטת בתדירות הגילוי היא *M. phaseolina*. בשנים האחרונות ובמיוחד בעונת הגידול 2016 נמדדו טמפרטורות גבוהות, עדות (אולי) להתחממות הגלובלית ולקשר בעליה במחלה. לפטרייה מחוללת המחלה מנגוני תוקפנות שונים (Bellaloui, 2012). הפטרייה ידועה כאוהדת חום וכזאת הגורמת לנזקים לצמחים המצויים בעקה. השפעת פתוגנים שוכני קרקע על הצמחים תלויה גם באינטראקציה עם גורמים ביוטיים וסביבתיים כמו הגידול הקודם, סוג הקרקע, הטמפרטורה השוררת בשדה ונגיעות הצמחים בגורמי מחלה נוספים.

בדיון מקדים למחקר, במטרה לברר כיצד ניתן להפחית את נזקי המחלה בכותנה עלו הכיוונים הבאים:

- הדברה כימית: עיטוי זרעים וזילוף פונגיצידיים בפס הזריעה והגמעה בפונגיצידיים במהלך עונת הגידול.
 - אגרוטכניקה: מחזור זרעים להפחתת כמות המידבק בקרקע, הפחתת גורמי עקה, שינויים בממשק ההשקיה, ושימוש בצמחי כיסוי.
 - טיפוח לעמידות: איתור קווי זן הכותנה פימה סבילים למחלה ושימוש במכלוא בין מיני.
 - חקלאות מדייקת: הערכת מחלה בשדה והקשר בין מחלה ליבול.
- במאמר מתוארים מהלך המחקר בכותנה בין השנים 2016-2019 והתובנות שהוטמעו אצל החקלאים כדי להפחית את נזקי המחלה.

הוכחת גורם המחלה והדברה כימית של המחלה

השלמת מבחן קור להוכחת אחריות המקרופומינה למחלת הנבילה ותסמיני המחלה בשדה

כדי להוכיח את אחריות המקרופומינה למחלה נערכו מספר ניסויים: זרעי כותנה נזרעו בעציצים בקרקע מאולחת ברסק תפטיר וקשיונות הפטרייה. אחוז הנביטה, איכות הנבטים וגובה הנבטים היו נמוכים בהשוואה לנבטים שגדלו בקרקע הביקורת ללא הפטרייה. צמחי כותנה בגיל 40 יום מזריעה הודבקו בשני שדות בעמק החולה ע"י הגמעה של רסק פטרייה לצמחים. סימפטומים ברורים של נבילה נצפו עשרה ימים לאחר ההדבקה. באותם שדות, צמחים הודבקו גם בעזרת קיסמי שיניים מאולחים. אזור ההדבקה נמצא מאוכלס בפטרייה אבל הצמחים לא חלו. בניסויי שדה בעמק חפר ובעמק יזרעאל בהם הדבקו זרעים בפס הזריעה או צמחים צעירים ע"י הגמעה של רסק פטרייה, מצאנו אכלוס משמעותי של שורשי הצמחים אבל לא הצלחנו לגרום למחלה.

נראה שהאילוח בפטרייה מצליח ולא מהווה גורם מגביל אבל הופעת תסמינים מתרחשת רק בחלק מהמקרים ותלויה במידה רבה בתנאי הסביבה. תסמיני המחלה בהדבקה טבעית, מופיעים בדרך כלל בסמוך לפריחה. כאשר בתחילה עלי הצמח מצהיבים (איור 1 א') תופעה הנגרמת כנראה מרעלנים (טוקסינים) המופרשים ע"י הפטרייה ונעים אל אברי הצמח העליונים ע"י זרם המים. מאוחר יותר נצפית נבילה של הצמח שנשאר זקוף (איור 1 ב'). תסמין אופייני נוסף הוא החמה של צורות הצינורות הנובעת מפעילות של הרעלנים ותגובת הנגד של הצמח (איור 1 ג'). מאוחר יותר כאשר השורשים הדקים מתחילים להירקב ניתן לראות כמות רבה של קשיונות מתחת לקליפת השורש (איור 1 ד').

הדברה כימית – הפחתת כמות הפטרייה בשורשים

מספר חומרי הדברה, בעיקר מקבוצת הסטרובילורנים, נמצאו יעילים בעיכוב גידול מקרפומינה בתרבות. הפונגיצידיים אזוקסיסירובין (עמיסטר), פירקלוסורובין+בוסקליד (סיגנום) ואחרים נבחנו במספר ניסויי שדה. יישום חומרי ההדברה נבחן בשדה בשיטות ומועדי יישום שונים. עיטוי זרעים נמצא יעיל למשך 12 ימים מזריעה. לאחר מכן השפעת החומר פגה כתוצאה ממיהול במי ההשקיה, פירוק של החומר או גדילת השורשים מעבר לאזור בו נמצא הפונגיצידי. זילוף לפס הזריעה או יישום חומר ההדברה במהלך הגידול נמצא יעיל והפחית את כמות הפטרייה בשורשים (איור 2).



ב



א



ד

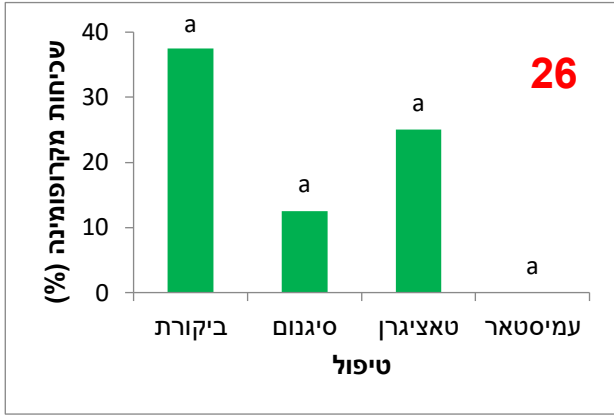


ג

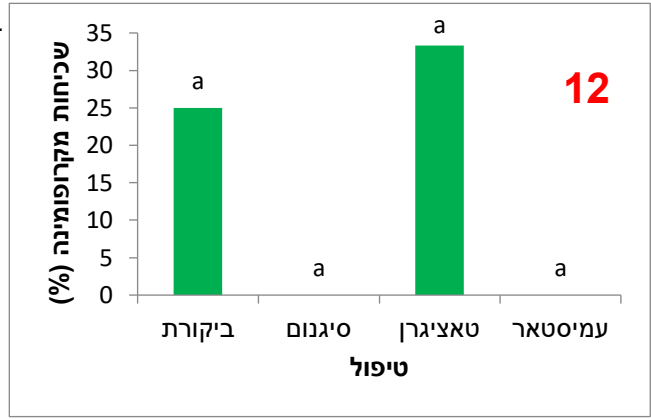
איור 1. תסמינים של קשיון הבטטה בכותנה: א' הצהבת עלים, ראשונים של המחלה, ב' נבילה של כל הצמח שנשאר זקוף, ג' החמה של צורות הצינורות בגבעול, ד' קשיונות תחת קליפת השורש.

בחינת יעילות הדברה כימית על שכיחות המחלה בשדה

חומרי ההדברה ספורטק, וולום, פרוליין סיגנום ועמיסטר שנמצאו יעילים בניסויי מעבדה יושמו לצמחי כותנה בניסוי שדה בקיבוץ חפץ חיים. החומרים יושמו דרך מערכת הטפטוף שלוש פעמים; 33, 60 ו 90 יום לאחר הזריעה. הפחתה משמעותית של שכיחות המחלה (הערכה של אחוז הצמחים החולים) נצפתה רק בטיפול העמיסטר (איור 3). הניסוי נקטף ולא נמצאו הבדלים ביבול בין הטיפולים. הקשר בין כמות הפטרייה בצמח, הופעת המחלה, רמת המחלה והיבול לא ברור וצריך להיבדק בניסויים בעתיד.

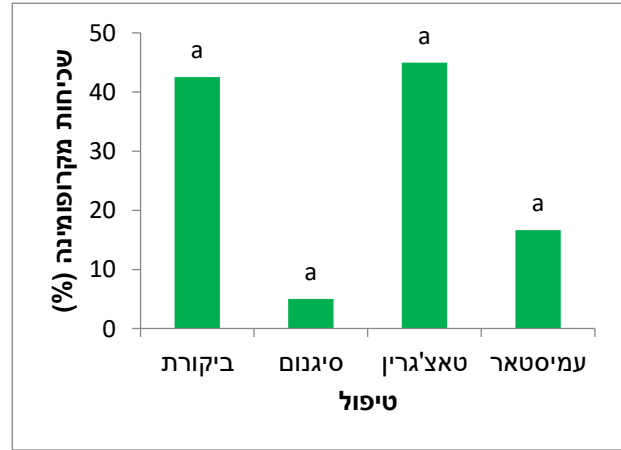


ב



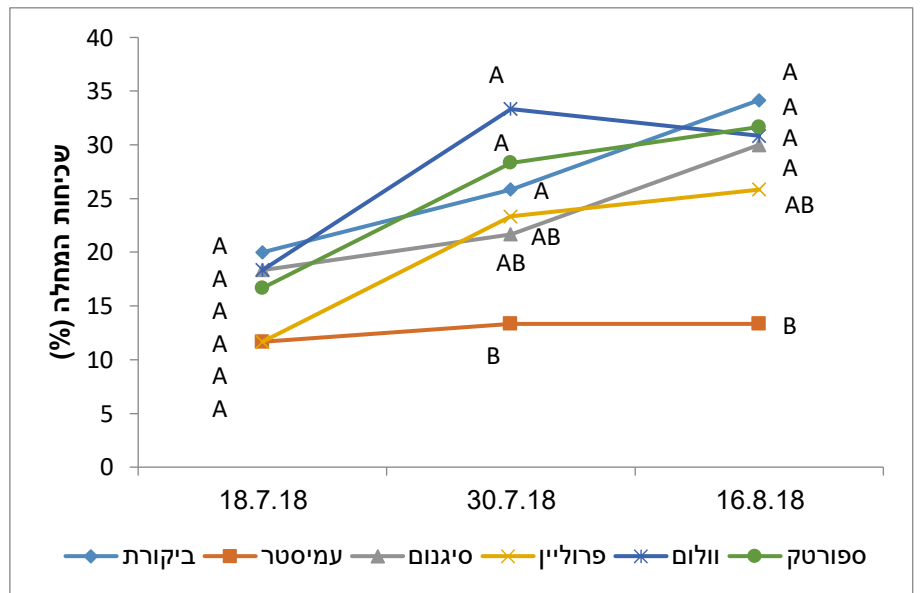
א

איור 2. שכיחות המצאות מקרופומינה בשורשי צמחי כותנה. א' אכלוס שורשים 12 יום לאחר זריעה וזילוף הפונגיצידי לפס הזריעה. ב' אכלוס שורשים 26 יום לאחר זריעה וזילוף. ג' אכלוס שורשים 60 יום לאחר זריעה וזילוף. יישום נוסף של הפונגיצידים ניתן 32 יום מזריעה באמצעות מערכת הטפטוף.



ג

איור 3. שכיחות מחלה (אחוז צמחים חולים) בניסוי ההדברה בחפץ חיים. השדה נזרע ב 10.3.2018. ניתנו שלושה טפולים, 33, 60 ו 90 יום מזריעה. הנגיעות הוערכה במהלך החודשים יולי ואוגוסט 2018.



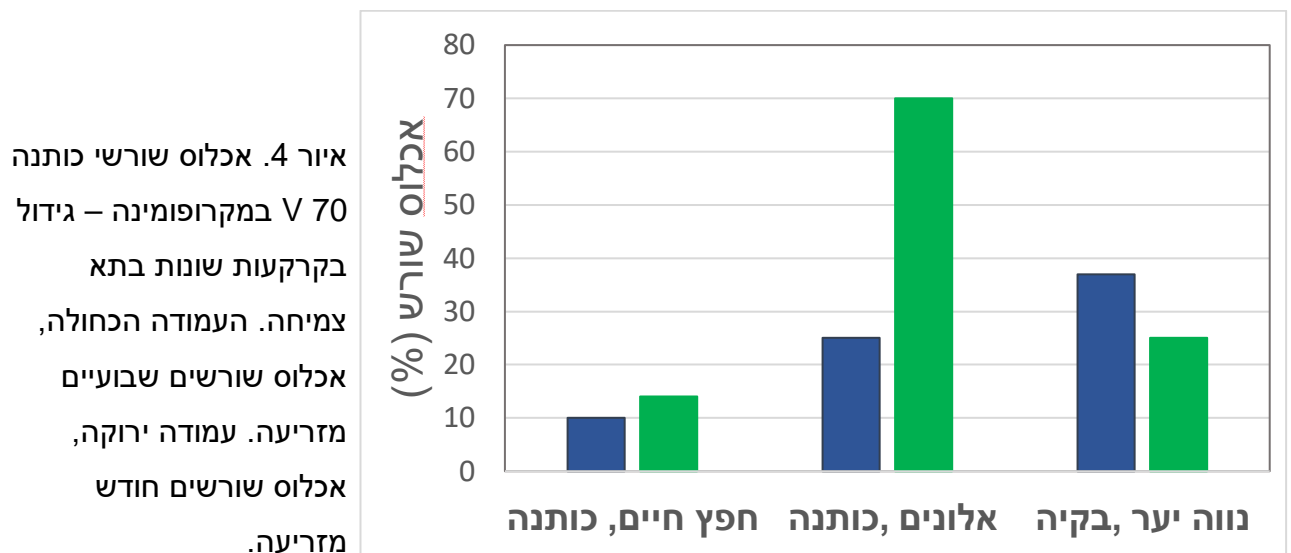
אגרוטכניקה וממשק השקיה

כמות המידבק בקרקע, הקשר למחלה והרלוונטיות של ניסויי עציצים

מקובל לחשוב שקיים קשר הדוק בין רמת המידבק לרמת המחלה. בניסוי הכותנה נראה שהקשר קיים במקרים מסוימים אבל הוא לא בהכרח קשר הדוק וברור שקיימים גורמים נוספים שיקבעו את רמת התחלואה. בניסוי עציצים בו הדבקנו קווי כותנה מטיפוס פימה של חברת "זרעי ישראל" הצלחנו לגרום למחלה. בנבטים נמצאו דרגות נגיעות שלא תאמו למידע על רגישות קווי טיפוח אלו בשדה. גידול הכותנה הוא תהליך של כחצי שנה המתחיל באביב המוקדם

ומסתיים בסתיו. בעונת גידול ארוכה הצמח נחשף לתנאי קרקע וסביבה משתנים וברור שכמות המידבק היא מדד חשוב אך לא יחידי שיקבע את הופעת המחלה ואת חומרתה.

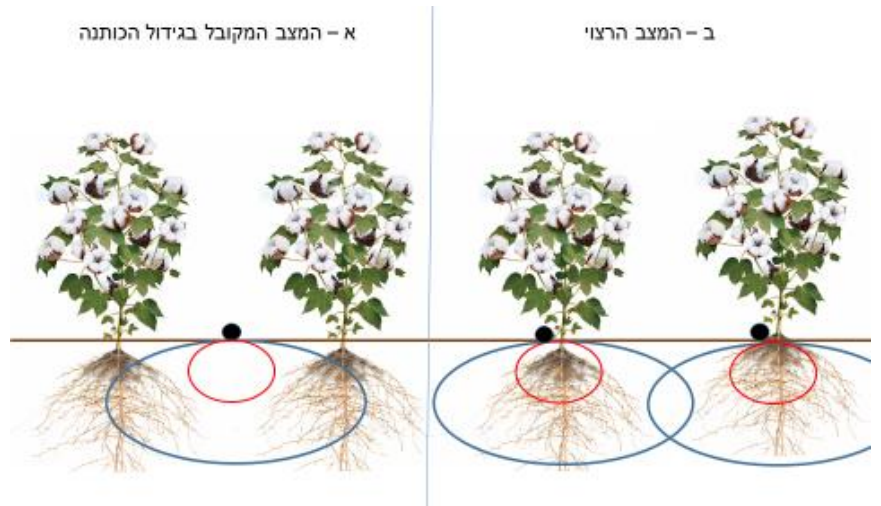
הקשר בין רמת המידבק או פוטנציאל ההדבקה בקרקעות שונות נבדק. דגמנו קרקע משלושה אתרים לאחר סיום הגידול: שדה כותנה בקיבוץ אלונים שלא נצפתה בו מחלה, שדה בקיה בנווה יער ושדה כותנה בקיבוץ חפץ חיים שנצפתה בהם רמת מחלה גבוהה מאד. הקרקע שימשה לניסוי עציצים. זרענו בעציצים עם הקרקעות השונות זרעי כותנה מהזן V 70 ובדקנו את רמת אכלוס השורשים שבועיים וחודש לאחר הזריעה (איור 4). נמצא שדווקא בקרקע חפץ חיים בה נצפתה רמת המחלה הגבוהה ביותר היה אכלוס שורשי הנבטים הנמוך ביותר ואילו בשדה באלונים בה גדלה כותנה רגישה שלא חלתה נצפתה רמת אילוח או פוטנציאל הדבקה גבוה ביותר.



השקיה – פיזור המים והשפעה על רמת התחלואה

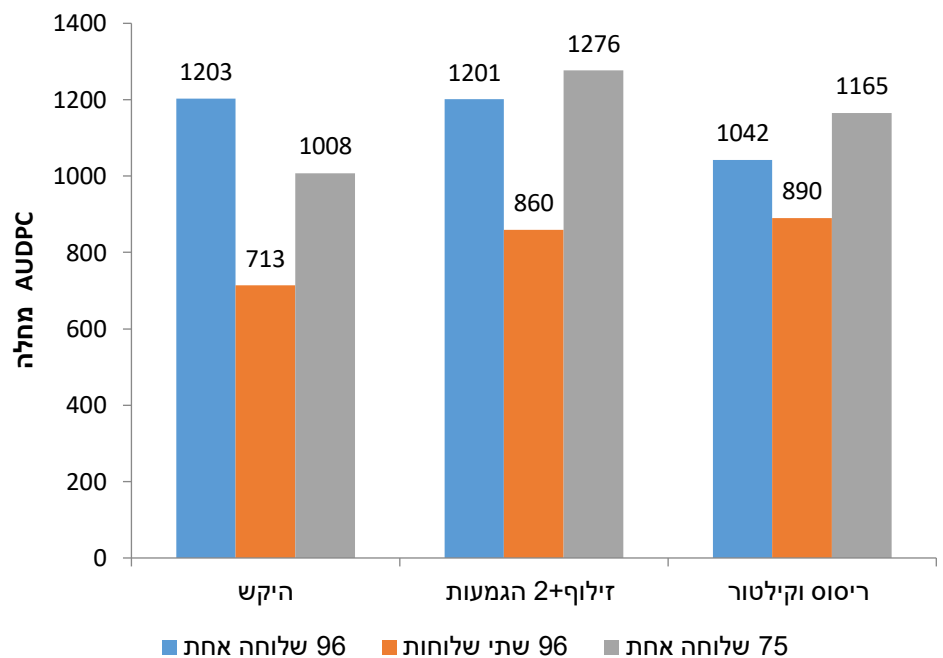
בשדות הכותנה מניחים את קווי הטפטוף במרכז הערוגה בין שתי שורות צמחים (איור 5 א – המצב הקיים) לעומת הנחה של שלוחות הטפטוף ליד כל שורת צמחים כמקובל בגידול ירקות (איור 5 ב – המצב הרצוי). הצבת קווי הטפטוף בין שורות הצמחים נובעת בעיקר מטעמי חסכון בצידוד ההשקיה. השקיה כזאת, כאשר הטפטפת אינה נמצאת בסמיכות לצוואר השורש, אינה אופטימאלית. קיים בזבז של מים המשקים גם את הקרקע שבין השורות. השקיה כזאת יכולה לגרום לעקה כאשר רק צד אחד של מערכת השורשים מושקה והצד השני חשוף להסתדקויות של הקרקע ולחימום יתר. ואכן, בניסוי בחפץ חיים בו ניסינו את שתי שיטות ההשקיה נמדדה טמפרטורה של 27 מ"צ בצד המושקה לעומת 32 מ"צ בצד הלא מושקה של השורש. המסיסות במים של חומרי הדברה המיושמים דרך הטפטוף נמוכה מאד בדרך כלל ולעיתיים הם נספחים בחוזקה לקרקע. כאשר מיישמים חומרי הדברה שמסיסותם נמוכה דרך מערכת הטפטוף, יש סיכוי גבוה לחוסר יעילות או אף בזבז כסף. ברוב המקרים חומר ההדברה אינו מגיע לשורשים או רק חלק קטן ממנו מגיע ליעדו.

איור 5. השקיית כותנה: א. המצב המקובל – פרישת קווי הטפטוף באמצע הערוגה בין שתי שורות צמחים. ב – המצב הרצוי. הצבת שלוחת טפטוף ליד כל שורת צמחים. קו כחול – פיזור סכמתי של המים. קו אדום – פיזור סכמתי של חומרי הדברה.



בניסוי בחפץ חיים בדקנו שילוב של טיפולי הדברה יחד עם טיפולי השקיה. ערכי המחלה הנמוכים ביותר נמצאו בחלקות שהושקו בשתי שלוחות לערוגה (איור 5 ב – המצב הרצוי ואיור 6), ללא קשר לטיפולי ההדברה. בניסוי נמצא שהשקיה בשתי שלוחות יכולה להפחית את אחוז הצמחים החולים וזאת כנראה ע"י יצירת תנאי גידול מיטביים והפחתת תנאי עקה.

איור 6. השפעת מרווחי שלוחות השקיה ויישומי הפונגיצידי עמיסטר דרך מערכת הטפטוף. חומרת מחלה מבוטאת בערכי שטח מתחת לעקום התפתחות המחלה (AUDPC).



צמחי כיסוי – תצפית צנן חורפי

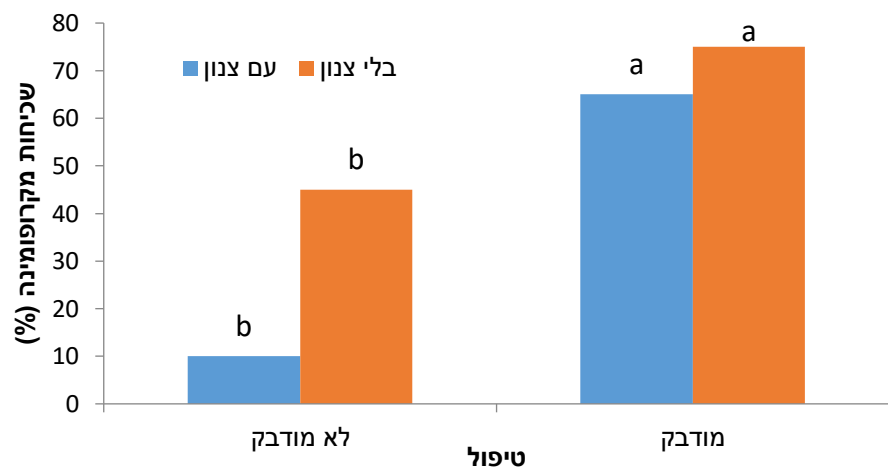
לצמחי כיסוי, בעיקר צמחים ממשפחת המצליבים, פוטנציאל להפחית מחלות. צמחים אלו הגדלים בחורף לפני עונת הגידול מכילים חומרי טבע היכולים להיות רעילים ולהפחית את אוכלוסיית הפתוגנים בקרקע. צנן חורפי נזרע בחוות עכו בחורף 2017-8. הצנן הומת בעזרת קוטל עשבים ותוחח לקרקע. בתצפית היו ארבעה טיפולים: מצע גידול-כרב), צנן עם ובלי הדבקה במקרופומינה וכרב ללא צנן עם ובלי הדבקה במקרופומינה. כרב צנן חורפי וההדבקה במקרופומינה גרמו לעיכוב בצימוח הכותנה. העיכוב השתחרר במהלך הגידול. בסוף הגידול, צמחי הכותנה שגדלו על ערוגות הצנן היו ירוקים יותר, כנראה כתוצאה מחנקן שהשתחרר משאריות צמחי

הצנן שהוצנעו לקרקע. ההדבקה הגדילה את אכלוס הפטרייה בשורשי הכותנה. אכלוס השורשים בקרקע הביקורת ללא הדבקה היה 45%. בצמחי הכותנה שגדלו על קרקע ביקורת והודבקו גדל האכלוס ל 75% ובצמחי כותנה שגדלו על כרב צנן והודבקו ירד האכלוס ל 65%. אכלוס השורשים של צמחי כותנה שגדלו על כרב צנן ללא הדבקה היה 10% בלבד. הפטרייה בצמחים המודבקים גרמה לעיכוב בהתפתחות אך לא גרמה להגברת המחלה. כרב הצנן הפחית גם את אכלוס הצמחים במקרופומינה וגם את מספר הצמחים החולים. תוצאות התצפית היו מרשימות. ראינו עיכוב צימוח (ללא מחלה של ממש) גם ע"י ההדבקה וגם ע"י שאריות הצנן. אכלוס השורשים הושפע מההדבקה וגם משאריות הצנן ובסוף הניסוי ראינו גם פחיתה של 75% בתחלואה. בקיץ 2019 חזרנו על ניסוי כרב הצנן בצורה מפורטת. לצערנו לא נצפו הבדלים בין הטיפולים.



א

איור 7. א' שתי שורות מימין קרקע ללא צנן. שתי שורות משמאל כרב צנן חרפי. שורות פנימיות מודבקות במקרופומינה. בכרב הצנן חלו 3 ו 4 צמחים מתוך 100 במודבק ובלא מודבק בהתאמה ובקרקע ללא הצנן 10 ו 12 צמחים במודבק ובלא מודבק בהתאמה. ב' אכלוס שורשים (%) בטיפולי הקרקע וההדבקה בניסוי.



ב

הפחתת נזקי המחלה ע"י אגרוטכניקה והשקיה מוקפדת

בעונת הכותנה של 2018 חקלאי גד"ש קבוצת יבנה החליטו לשנות את האגרוטכניקה המקובלת ולהקפיד על הפחתת עקות והשקיה נאותה. בדרך כלל מנסים לזרוע בקרקע רטובה (זריעה ברטוב), כאשר מסתמכים על גשמים שיוורדים בסוף החורף. זריעה כזאת יכולה להיות בעייתית ולגרום לנביטה לא אחידה. בעונת הגידול 2018 כל החלקות ביבנה הונבטו בטפטוף למניעת נביטה והצצה לקויות. בדרך כלל ההשקיה הראשונה ניתנת לקראת הפריחה. ביבנה ההשקיה הייתה נדיבה והוקדמה כדי לבנות צמח חסון. כנימות עש וכנימות עלה הודברו בקפדנות כדי להפחית עקות ביוטיות. השקיה מרובה יכולה להיות חרב פיפיות ולגרום לעיתים לצימוח מוגבר על חשבון יצירת פרחים והלקטים. מגדלי כותנה מיישמים לעיתים מווסתי צמיחה כדי לעצור את הצימוח. חומרים אלו יכולים לגרום עקה ופחיתה ביבול והשימוש בהם

שנוי במחלוקת. ביבנה החליטו להיזהר מהשקיה עודפת ולא ליישם את חומרי הנינוס. אכן, ממשק הגידול מנע מחלה וחלקות הכותנה הניבו יבול גבוה (איור 8).

טיפוח לעמידות

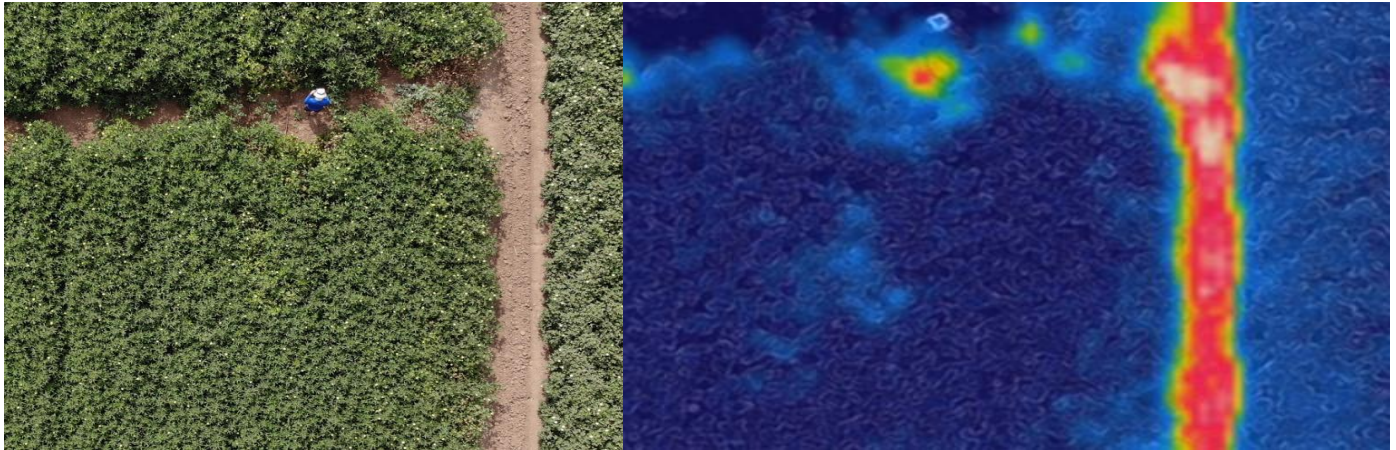
בעבר התבסס גידול הכותנה בעיקר על כותנה מטיפוס אקאלה השייכת לסוג *Gossypium hirsutum* וגידול מצומצם יותר של כותנה מטיפוס פימה השייך לסוג *G. barbadense*. יבול האקאלה גבוה ביחס לפימה אבל הוא בעל סיב קצר הפודה מחיר נמוך יחסית בשוק העולמי. הכותנה מטיפוס פימה בעלת סיב ארוך ואיכותי וכדאית יותר לגידול. דא עקה שכותנת הפימה רגישה למקרופומינה בעוד האקאלה עמידה יותר. כדי לשלב בין יבול גבוה, איכות טובה ועמידות יצרו בחברת "הזרע" את המכלוא הבין-מיני הנקרא אקאלפי (אקאלה+פימה). אכן, המכלוא כובש שטחים אצל מגדלי הכותנה החוששים מנזקי המחלה. יחד עם זאת, שיפור או פתרון בעיית המקרופומינה יטה את הכף שוב לכיוון הפימה הפודה מחיר טוב יותר. חברת זרעי ישראל המטפחת כותנה מטיפוס פימה שוקדת לאחרונה על פיתוח זנים חדשים שישלבו יבול גבוה ואיכותי יחד עם עמידות משופרת לתנאי עקה ולמקרופומינה וטיפוסים חדשים ישוחררו למבחנים בקנה מידה משקי כבר בעונת 2020.



איור 8. מימין כותנה בריאה באוגוסט 2018 לעומת רמת מחלה גבוהה באוגוסט 2017.

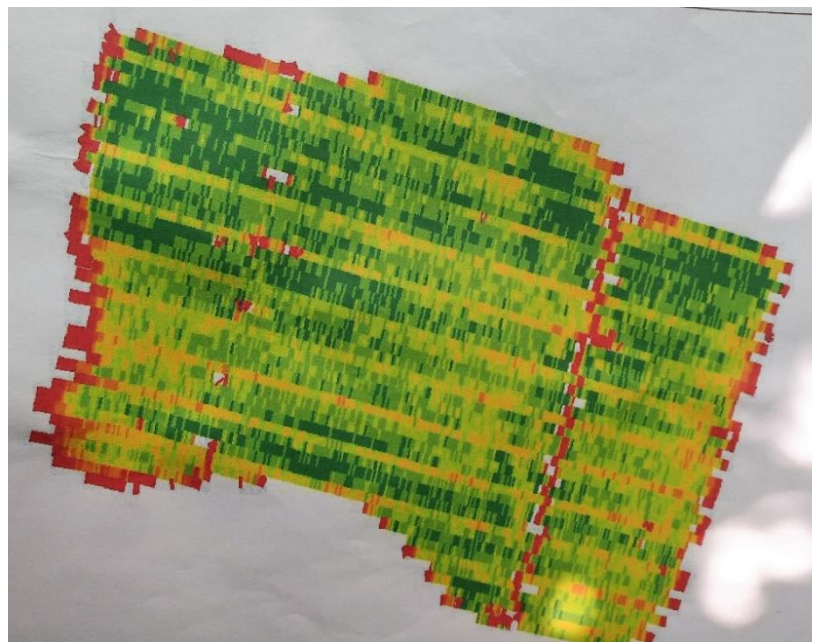
נגיעות, יבול והקשר בניהם

הערכת רמת המחלה היא תנאי הכרחי במערכת מחקרית. נבילת צמחי כותנה המיוחסת למקרופומינה יכולה להיגרם גם ע"י גורמים אחרים ולא דווקא רק ע"י מקרופומינה. החמה של צורות הצינורות מקובלת כתסמין אופייני אך למיטב ידיעתנו תסמין זה לא הוכח כקשור בהכרח רק למחלה זו. גם הערכת הנגיעות ופיזור בשדה בעיתי משהו. בניגוד לירקות שקומתם נמוכה והמחלה ברורה וניתנת להערכה מדויקת, שדה הכותנה גבוה. לקראת הפריחה הנוף נסגר ולא ניתן להיכנס לחלקה ולהעריך את מספר הצמחים החולים ואת פיזורם בשדה. עם התקדמות השימוש ברחפנים נעשו מספר ניסיונות להעריך נגיעות במקרופומינה בעזרת צילום רגיל או צילום תרמי (איור 9). מתוצאות ראשוניות ניתן לראות שצילומים כאלו אכן מסוגלים להראות צמחים חולים אך יש צורך להמשיך את המחקר כדי לדייק את הצילום ולהסיק מסקנות ראויות.



איור 9. ניסיונות להערכת נגיעות ע"י צילום מרחפן, שדה כותנה בקדמה. משמאל צילום רגיל ומימין צילום תרמי. בשני הצילומים ניתן לראות כתם של נגיעות ראשונית במקרופמינה.

קטיף הכותנה הינו מכני. בישראל קיימת רק קטפת ניסיונות אחת השייכת לחברת זרעי ישראל. בחלק מהניסויים שלנו נעשה שימוש בקטפת זו. לתפעול הקטפת יש צורך במפעיל ובקבוצת פועלים לשקילה ידנית ורישום של יבול הכותן. בנוסף לכך, הקטפת אינה זמינה תמיד ומחיר תפעולה גבוה. בקטפות הכותנה החדשות יש אפשרות לקבל מפת יבולים מכוונת GPS (איור 10). גם כאן יש צורך במחקר נוסף בשיתוף חוקרי הנדסה חקלאית וחקלאות מדייקת כדי לחבר את תוצאות הערכת הנגיעות בעזרת צילומי האוויר במהלך העונה למפות היבולים.



איור 10. מפת יבול מקושרת לנתוני GPS. קטפות הכותנה החדשות יכולות ליצור מפת יבולים.

סיכום

הדבקת הצמחים והופעת מחלה – ניתן כמעט תמיד להדביק ביעילות. נמצא יתר אכלוס של הצמחים בגורם המחלה לאחר ההדבקה. יחד עם זאת כמעט ולא רואים הגברת מחלה בעקבות הדבקה. נראה שהצמחים מגיעים לאיזון צמח-פטרייה והופעת המחלה תלויה בשינוי תנאי גידול הגורמים לצמח להיכנס לעקה.

הדברה כימית – חומרי ההדברה משפיעים על כמות הפטרייה בצמח סמוך ליישום. מאוחר יותר כאשר הצמח גדל והשורש מעמיק, יתכן וחומרי ההדברה לא מגיעים לכל נפח השורשים. בניסוי ההדברה בחפץ חיים נצפה יתרון מסוים והשפעה ארוכת טווח לפונגיצידי עמיסטר (על מופע המחלה) לעומת חומרי הדברה אחרים. יחד עם זאת נראה שהדברה כימית אינה הכרחית.

אגרוטכניקה והשקיה – גורם משמעותי ביותר המשפיע על תחלואת הצמחים. הקפדה על השקיה נאותה במיוחד לפני הפריחה נמצאה כגורם משמעותי בהפחתת המחלה (ראו גם פרק הדברה אגרוטכנית).

הערכת נגיעות והקשר ליבול – יש צורך בשיפור משמעותי של האמצעים להערכה מדויקת של המחלה, מדידת היבול בחלקות קטנות ובירור הקשר בין המחלה ליבול.

המחקר נערך במשך ארבע שנים במטרה לספק לחקלאים רקע להבנת האינטראקציה בין גורם המחלה לתנאי הגידול (סביבה) וכלים להפחית את המחלה ואת נזקה. המסקנות העולות מהמחקר מצביעות על קשר הדוק בין ממשק הגידול ובעיקר, ממשק ההשקיה על הופעת המחלה ועל חומרתה. יש עדיין צורך להמשיך ולחקור את הקשר שבין מופע המחלה, חומרתה ותפוצתה בשדה על היבול ועל איכותו. השקיית הכותנה בשנים האחרונות מתבססת בעיקר על מים מושבים. הקשר בין איכות המים לעקות היכולות להיגרם ממים המכילים חומרים רעילים והקשר האפשרי לתחלואת הצמחים לא נחקר כלל. בעקבות הופעת המחלה גובר המאמץ אצל חברות הזרעים למצוא זנים עמידים יותר לעקות סביבתיות שישתלבו בממשק אינטגרטיבי שמטרתו להשיג כותנה בריאה ויבולים גבוהים.

תודות

במהלך המחקר זכינו לשיתוף פעולה פורה מאנשים רבים וטובים. אנשי מועצת הכותנה, מדרכי שה"מ בעבר ובהווה, אנשי חברות הכימיקלים אגן, מכתשים ולידור, חברות הזרעים הזרע וזרעי ישראל וחברת נטפים. הניסויים לא יכלו להתבצע ללא העזרה של צוותי גד"ש חפר, קבוצת יבנה, אלונים, עין חרוד איחוד, גן שמואל, בית השיטה, גד"ש העמק ותחנת הניסויים עדן שבעמק המעיינות. יבואו כולם על הברכה.

מקורות

- Cohen R., Elkabetz M. and Edelstein M. (2016) Variation in the responses of melon and watermelon to *Macrophomina phaseolina*. *Crop Protection* 85: 46-51.
- Bellaloui N., Mengistu A., Zobiolo L. H. S. and Shier W. T. (2012) Resistance to toxin-mediated fungal infection: role of lignins, isoflavones, other seed phenolics, sugars, and boron in the mechanism of resistance to charcoal rot disease in soybean. *Toxin Reviews* 31: 16–26
- Islam S., Haque Md. S., Islam M. M., Emdad E. M. et al. (2012) Tools to kill: Genome of one of the most destructive plant pathogenic fungi *Macrophomina phaseolina*. *BMC Genomics* 13: 493.
- Kaur S., Dhillon G. S., Brar S. K., Vallad G. E., Chand R. and Chauhan V. B. (2012) Emerging phytopathogen *Macrophomina phaseolina*: Biology, economic importance and current diagnostic trends. *Critical Reviews in Microbiology* 38: 136–151.

- Mahmoud Y. A., Aly A. A., Omar M. R. and Ismail A. W. 2006. Variation in sensitivity among some isolates of *Macrophomina phaseolina* from cotton roots to flutolanil fungicides. *Myctobiology* 34: 98-103.
- Mayek Pérez N., López Castañeda C., López Salinas E., Cumpián Gutiérrez J. and Acosta Gallegos J. A. (2001) Resistance to *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. in common bean under field conditions in Mexico. *Agrociencia* 35: 649–661.
- Meyer W. A., Sinclair J. B. and Khare M. N. (1974) Factors affecting charcoal rot of soybean seedlings. *Phytopathology* 64: 845–849.
- Mihail J. D. (1989) *Macrophomina phaseolina*: Spatio-temporal dynamics of inoculum and of disease in a highly susceptible crop. *Ecology and Epidemiology* 79: 848.
- Su G., Suh S. O., Schneider R. W. and Russin, J. S. (2001) Host specialization in the charcoal rot fungus, *Macrophomina phaseolina*. *Phytopathology* 91: 120-126.