

השפעת עקת מים וטמפרטורה על התפרצות מקרופומינה בגידולי כותנה

רגישים – סיכום עונת 2023.

חגי רענן, מנהל המחקר החקלאי, המחלקה למחלות צמחים, מרכז מחקר גילת.

נועם עמיר, מגדלי הדרום.

יונתן עימנואל – שה"מ

תקציר

בשנים האחרונות ישנה עליה בנזקים הנגרמים מהתפרצותה מחלת רקבון הפחם (Charcoal rot) הגורמת לנבילה בכותנה ונגרמת ע"י הפטרייה *Macrophomina phaseolina* לה רגישים יותר זני הפימה שהיקף גידולם עולה. הדבקת הצמחים בפטרייה לא בהכרח גורמת להופעת תסמיני מחלה, והופעת המחלה תלויה בשינוי תנאי הסביבה כדוגמת טמפרטורה וזמינות מים הגורמים לצמח להיכנס לעקה. עם זאת עדיין לא ברור לחלוטין מה בדיוק גורם להתפרצות. ניסויי שדה קודמים הראו הפחתה של המחלה בעזרת השקיה נאותה. עם זאת מאחר והשקיה מוגברת יכולה גם לגרום לצימוח מוגבר על חשבון יצירת פרחים והלקטים יש צורך לדייק את ממשק ההשקיה כדי לאזן בין הגורמים.

חקלאים רבים נוטים "לזרוע ברטוב" על מנת לחסוך במים. פרקטיקה זו המנצלת את המים שנאגרו בקרקע במהלך עונת הגשמים מחייבת זריעה בטמפרטורות קרקע נמוכות יותר ולעיתים מחייבת העמקת הזריעה במספר סנטימטרים. בעקבות כך העלנו השערה שהזריעה ברטוב מחלישה את הצמחים ומגבירה את רגישותם להתקפה ע"י מקרופומינה.

במחקר זה אנו בוחנים את הקשר תנאי עקה בתחילת בשלבי הנביטה הראשוניים להדבקה והתפרצות סימני מחלת ריקבון הפחם. התוצאות שהושגו בשנתיים אלה זו מצביעות על כך שדווקא טמפרטורה נמוכה בשלבי הגידול הראשוניים הגורמת לנביטה ארוכה יותר מגבירה את רגישות הצמחים להתפרצות ריקבון הפחם. ייתכן שזריעה מוקדמת ברטוב אינה פרקטיקה מייטבית וגורמת להתפרות המחלה. עם זאת מחקר נוסף דרוש על מנת לבסס טענה זו.

מבוא

Macrophomina phaseolina הינה פטרייה שוכנת קרקע הגורמת לריקבון הפחם, (Charcoal rot) במגוון רחב מאוד של צמחים ממשפחות בוטניות שונות ובכללם רוב גידולי הקיץ הגדלים בישראל; תירס, סורגום, אבטיח, מלון, אפונה, חמצה, שעועית, חמנית, ושומשום (Cohen et al., 2020; Su et al., 2001). המיקרו-קשיונות (*microscelortia*) של הפטרייה המהווים את מקור ההדבקה העיקרי, עמידים מאוד לתנאי הסביבה ויכולים לשרוד בקרקע שנים רבות. אל אף המאמץ הרב המושקע בעולם, הדברת הפטרייה נותרה אתגר משמעותי (Marquez et al., 2021).

הפטרייה *M. phaseolina* מוכרת בעולם כגורמת מחלת נבילה גם בכותנה, אולם רגישותם של זני הכותנה השונים למחלה משתנה. בעקבות העלייה במחירי הכותנה בעולם חלה עליה גדולה בגידול הכותנה בארץ לאחר שנים של ירידה מתמשכת בגידול זה. בשנתיים האחרונות גודלו בארץ כ-80 אלף דונם כותנה, רובם מהזן פימה הרגיש למחלה. במקביל לעליה בהיקף גידול זני הפימה בישראל, חלה גם עליה בנזקים הנגרמים מהתפרצות מחלת ריקבון הפחם בכותנה. (Cohen & Elkabetz, 2021).

הדבקת הצמחים בפטרייה לא גורמת בהכרח להופעת תסמיני מחלה, והופעת המחלה תלויה קשורה עם תנאי עקה שונים. עקות חום ויובש ידועות כגורמות להתפרצות של מחלה זו ולכן הועלתה ההשערה שהעלייה בנזקים כתוצאה מהתפרצות המחלה קשורה לשנויי האקלים בשנים האחרונות (de Sousa Linhares et al., 2020; Pandey & Basandrai, 2021). יתכן שנויי האקלים בשנים האחרונות הכוללים גלי חום קיצוניים בקיץ כמו גם גלי קור לא אופייניים בעונת המעבר (כדוגמת מרץ 2022) הם הגורמים לעליה בנזקים גם בענף הכותנה בארץ. לאור הנזקים הנגרמים למגדלים, הכריז ענף הכותנה על בעיה זו כבעיה מרכזית בענף.

ניסויי שדה קודמים הראו הפחתה של המחלה בעזרת השקיה נאותה. עם זאת מאחר והשקיה מוגברת יכולה גם לגרום לצימוח מוגבר על חשבון יצירת פרחים והלקטים יש צורך לדייק את ממשק ההשקיה כדי לאזן בין הגורמים.

על מנת לחסוך את הצורך בהשקיה בשלבי הגידול הראשונים חקלאים רבים נוטים "לזרוע ברטוב". פרקטיקה זו המנצלת את המים שנאגרו בקרקע במהלך עונת הגשמים מחייבת את הקדמת מועד הזריעה במספר שבועות ולכן הזריעה נעשית בטמפרטורות קרקע נמוכות יותר. בנוסף לעיתים הדבר מצריך את העמקת הזריעה במספר סנטימטרים. הטמפרטורות הנמוכות והעמקת הזריעה גורמים למשך נביטה ארוך יותר. בעקבות כך העלנו השערה שהזריעה ברטוב מחלישה את הצמחים ומגבירה את רגישותם להתקפה ע"י מקרופומינה.

למחקר זה שני יעדים עיקריים:

1. בחינת השפעת מועד ועומק הזריעה על עוצמת ההדבקה והתפרצות מקרופומינה בשדה.
2. בחינת הקשר בין תנאי עקה בשלבי הגידול הראשונים להדבקה והתפרצות סימני מחלת ריקבון הפחם בתנאים מבוקרים.

שיטות

בחינת השפעת מועד ועומק זריעה על עוצמת ההדבקה במקרופומינה בשדה.

במהלך עונת 2023 בוצעו ניסויי שדה בגד"ש קבוצת יבנה. בניסויים אילו בחנו את השפעת מועד הזריעה ועומק הזריעה על ההדבקה בפטרייה, הופעת הסימטומים של המחלה והיבול.

מועד ראשון נזרע באמצע מרץ (13.3.23) ומועד שני היה בסוף החודש (27.3.23) בכל מועד נזרעו שש שיטות בעומק זריעה של 3-4 ס"מ. בשני המועדים לא ניתנה תוספת השקיה בשלב הזריעה.

עומק זריעה: במועד הזריעה המוקדם נזרעה כותנה בשני עומקים, 3 ס"מ ו 5 ס"מ. שש שיטות נזרעו בכל עומק.

במהלך עונה עקבנו אחר הנביטה וההתפתחות של הצמחים, רמת נגיעות הצמחים, תסמיני המחלה והיבול בסיום העונה. הערכת הנגיעות התבצעה 3 חודשים אחרי הזריעה. ההערכה התבצעה בשני טרנסקטים לרוחב השדה. ניתנה הערכת אחוז כיסוי הצמחים הנגועים. במקביל נדגמו 50 צמחים מהזריעה המוקדמת ו50 צמחים מהזריעה המאוחרת לצורך בדיקת נגיעות במקרופומינה בשורשים. היבול בסוף העונה נמדד ישירות בעת הקטיף ע"י הקטפת ונאסף בגליליות נפרדות להשוואה.

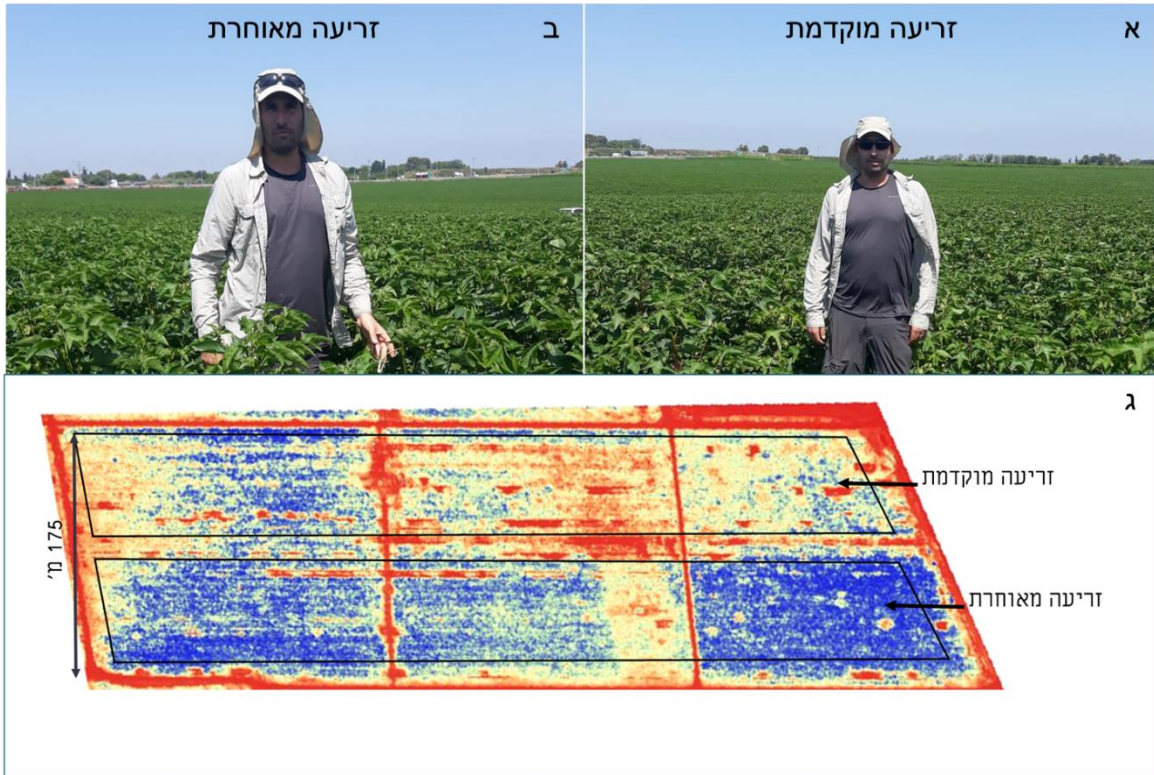
בחינת השפעת הטמפרטורה בהנבטה בתא צמיחה על עוצמת ההזבקה במקרופומינה, התסמינים בשורש וההשפעה על המשך הגידול בחממה.

בתא הצמיחה דימינו מועדי זריעה שונים ע"י טמפרטורת של 18 או 25 מעלות. בכל ניסוי נזרעו 30 עציצים מאולחים ו 30 כביקורת. גידלנו מקרופמינה של צלחות pda למשך שבוע ימים. לאחר שבוע הצלחות נטחנו בעזרת בלנדר והחומר הטחון נמהל במים סטריליים. יום למחרת הזריעה בעציצים אולחו העציצים ב 50 מ"ל של התמהיל. העציצים גודל למשך חודש בטמפרטורה הרצויה במחזור אור/חושך של 12 שעות. לאחר חודש 10 מכל טיפול צמחים נמדדו, נשקלו ונבחנו ויזואלית לזיהוי סימני מחלה. עשרים העציצים הנותרים הועברו לבית רשת להמשך הגידול. לאחר כ4 חודשים הניסוי פורק. אורך הצמחים נמדד, הצמחים נשקלו ונבחנו ויזואלית לזיהוי סימני מחלה. בנוסף ספרנו את מספר הפרחים וההלקטים בכל צמח.

תוצאות

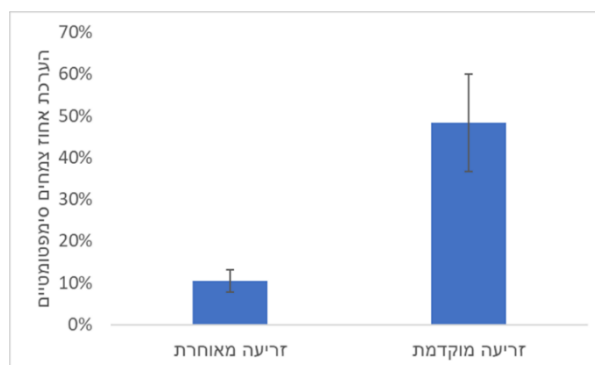
השפעת מועד ועומק הזריעה על הופעת סימני מחלה ונגיעות במקרופומינה בשדה.

במהלך עונת 2023 בוצעו שני ניסויי שדה בגד"ש קבוצת יבנה. בניסויים אילו בחנו את השפעת מועד הזריעה ועומק הזריעה על הופעת הסימפטומים של המחלה ונגיעות הצמחים במקרופומינה בסוף העונה. בחינת השפעת מועדי הזריעה התבצעה ע"י זריעה בשני מועדים בהפרש של שבועיים בין הזריעות. הזריעה הראשונה התבצעה ב13 למרץ והשניה ב27 למרץ. בהתאם לכך זמן ההצצה של הזרעים היה יותר ארוך בזריעה המוקדמת, 17 ימים לעומת 10 ימים בזריעה המאוחרת. גם חודשיים ואף שלושה חודשים לאחר הזריעה המוקדמת ניתן היה לראות את ההבדלים בצימוח בין הזריעה המוקדמת והמאוחרת (תמונה 1 א, ב). כארבעה חודשים לאחר הזריעה צילמנו את השדה בעזרת רחפן תרמי. ניתן לראות באופן ברור את ההבדל במדד הצימוח NDVI בין השיטות שנזרעו באמצע מרץ לאילו שנזרעו בסוף מרץ (תמונה 1 ג).



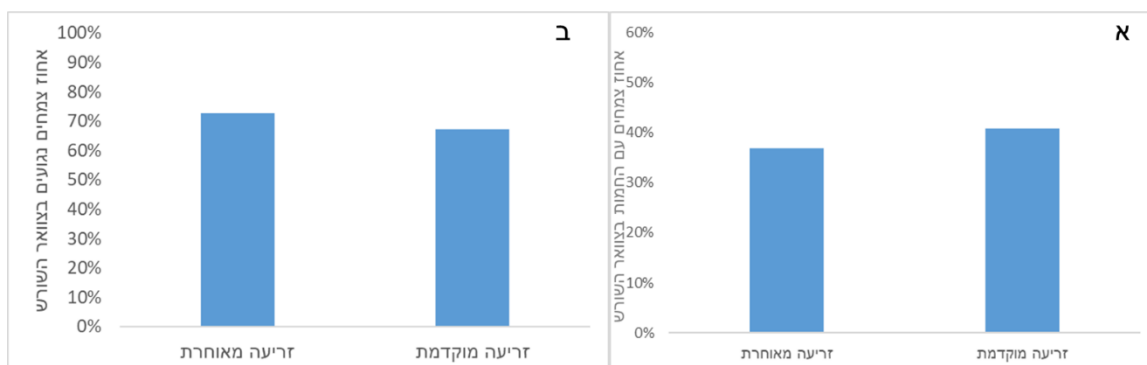
תמונה 1: צימוח מעוקב זריעה המוקדמת לעומת הזריעה המאוחרת. א, ב - תמונות מניסוי מועדי הזריעה השונים שלושה חודשים לאחר הזריעה (צולם ב-22.6.23). ג-מדד הצימוח NDVI שהתקבל מצילום רחפן תרמי כארבעה חודשים לאחר הזריעה (22.7.23).

הופעת הסימפטומים של מקרופמינה בשדה נבדקה ב-4 ליולי. על אף שנצפו מעט פחות סימפטומים בזריעה הרדודה, עומק הזריעה לא השפיע בצורה מובהקת על הסימפטומים. בזריעה העמוקה ממוצע הצמחים הנגועים עמד על $63\% \pm 10\%$ וברדודה על $48\% \pm 12\%$. בעוד שלעומק הזריעה לא הייתה השפעה משמעותית על חומרת הסימפטומים בסוף העונה, נצפתה השפעה מובהקת של תאריך הזריעה על חומרת הסימפטומים בהמשך העונה כאשר בזריעה המאוחרת רק $10\% \pm 3\%$. מהצמחים הראו סימפטומים לעומת $48\% \pm 12\%$ בזריעה המוקדמת (ההשוואה היא לזריעה הרדודה מאחר ובזריעה המאוחרת עומק הזריעה היה זהה לזריעה הרדודה, 3 ס"מ).



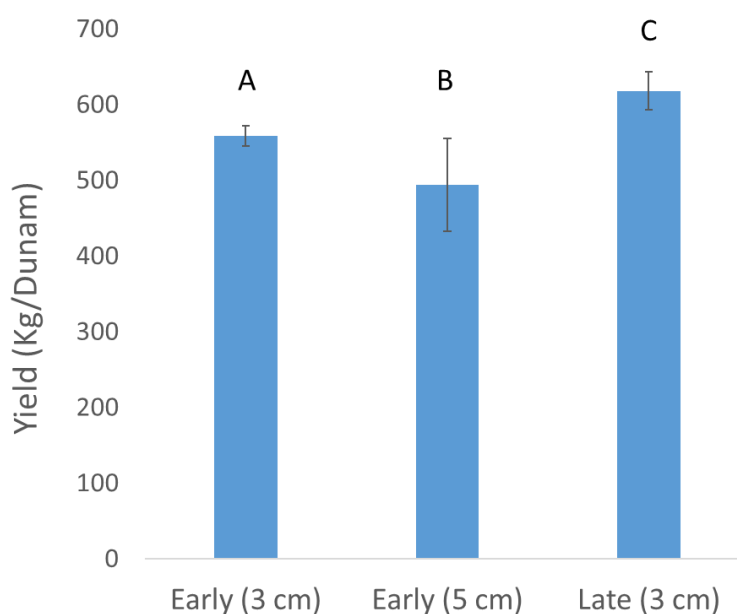
גרף 1: תסמיני המחלה במועדי הזריעה השונים. הגרף המציג את אחוז הצמחים הסימפטומטיים בשני המועדים. סטיית תקן מופיעה בגרף.

בנוסף לאחוז הצמחים הסימפוטומטיים בדקנו גם את אחוז הצמחים שהראו החמות בצוואר השורש ואת אחוז הצמחים הנגועים בפטרייה. באופן מפתיע הסתבר שאין הבדל ברמת הנגיעות של הצמחים בין המועדים השונים. יותר מכך אף הסתבר שהחמות בצוואר השורש מייצגות יותר את הנגיעות בצוואר השורש מאשר את הסימפומים העלוותיים. חשוב לציין שהבדיקות נעשו בשני מועדים שונים (בדיקת נגיעות 1.623 ובדיקת החמות ב18.7.23)



גרף 2: החמות ונגיעות במקרופומינה בצוואר השורש במועדי הזריעה השונים. א. אחוז הצמחים שהראו החמות בצוואר השורש. ב. אחוז הצמחים הנגועים בפטרייה בצוואר השורש.

היבול שהתקבל מהזריעה המאוחרת היה הגבוה ביותר ועמד על 618 ± 25 ק"ג לדונם לעומת 559 ± 13 ק"ג לדונם בזריעה המוקדמת הרדודה. היבול של הזריעה המוקדמת העמוקה יותר היה אף נמוך יותר ועמד על 494 ± 61 ק"ג לדונם. ההבדלים בין הקבוצות השונות מובהקים סטטיסטית ($P < 0.01$) בין תאריכי זריעה שונים, $P < 0.05$ בין עומקי הזריעה השונים).



גרף 3: יבול הכותנה במועדי הזריעה ועומקי הזריעה השונים. סטיות תקן מופיעות בגרף.

בחינת השפעת הנבטה בטמפרטורת שונות בתא צמיחה על ההדבקה והסימפטומים של מקרופומינה.

על מנת לבחון כיצד משפיעה הטמפרטורה על רגישות צמחי כותנה למקרופומינה זרענו כותנה בעציצים מאולחים במקורופומינה. הכותנה הונבטה וגודלה למשך חודש בתאי צמיחה בטמפרטורה קבועה של 18°C או 25°C . לאחר חודש עשרה צמחים מכל טיפול נלקחו להמשך גידול בבית רשת והשאר פורקו ע"מ לבחון האם ניתן לזהות הבדלים בנקרוזות בצוואר השורש. לאחר חודש בתנאים השונים ניתן היה לראות הבדל משמעותי בין הצמחים שהונבטו ב 18°C בנוכחות הפטריה לבין אילו שהונבטו ב 25°C (תמונה 2). אף על פי כן, בשני הניסויים שבוצעו, לאורך המשך העונה לא ניתן היה לזהות סימטומים של מקרופומינה עד לפרוק הניסוי. בסוף הניסוי לא היה כל הבדל באורך או במשקל הצמחים שהונבטו בטמפרטורות השונות או הבדלים בין עציצים מאולחים לשאינם מאולחים.



תמונה 2: סימפטומים של מקרופומינה בצוואר השורש של נבטים שהונבטו בטמפרטורות שונות.

דיון ומסקנות

בשנים האחרונות נצפית עליה בנזקים הנגרמים מהתפרצותה של מחלת רקבון הפחם (Charcoal rot) הנגרמת ע"י הפטרייה *Macrophomina phaseolina* בגידול כותנה מזני הפימה הרגישים שהיקף גידולם עולה. עם זאת, הסיבה לעליה המדווחת בשכיחות וחומרת המחלה בישראל אינה ברורה. הדבקת הצמחים בפטרייה לא בהכרח גורמת להופעת תסמיני מחלה, לעיתים קרובות הפטרייה נשארת במצב לטנטי בצמח ואינה גורמת נזק. הסברה הרווחת כיום שטמפרטורות גבוהות ועקת מים הגורמים לעקה בצמח מעודדים את התפרצות המחלה. מספר ניסויי שדה שנערכו בין היתר בעונת הגידול 2018 בחפץ חיים ובגד"ש עציון ב2019 הראו שהפחתת עקת ובייחוד השקיה נאותה מפחיתם את המחלה. עם זאת מאחר והשקיה מוגברת יכולה גם לגרום לצימוח מוגבר על חשבון יצירת פרחים והלקטים יש צורך לדייק את ממשק ההשקיה כדי לאזן בין הגורמים. בנוסף, ניסויים אילו לא הגדירו מהם שלבי הגידול בהם תוספת ההשקיה חשובה להפחתת המחלה. חשוב גם לציין שהשקיה מוגברת מורידה באופן משמעותי את טמפרטורת הקרקע ולכן ייתכן שהשפעתה עקיפה.

על מנת לחסוך את הצורך בהשקיה בשלבי הגידול הראשונים חקלאים רבים נוטים "לזרוע ברטוב". פרקטיקה זו המנצלת את המים שנאגרו בקרקע במהלך עונת הגשמים מחייבת את הקדמת מועד הזריעה במספר שבועות ולכן הזריעה נעשית בטמפרטורות קרקע נמוכות יותר. בנוסף לעיתים הדבר מצריך את העמקת הזריעה במספר סנטימטרים. בניסוי השדה שביצענו בשנתיים האחרונות ראינו הבדלים מובהקים בין מועדי הזריעה השונים במשך הנביטה, התפתחות הצמחים ורמת ההתפרצות של המקרופומינה בשדה. הבדלים אלו התבטאו בסופו של דבר בהבדלים ניכרים מאוד ביכול שהגיעו בשנת 2023 לכ"ג 60 ק"ג לדונם. בחודשי הגידול הראשונים ניתן היה להבחין שדווקא הצמחים שנזרעו מוקדם יותר היו קטנים יותר וגידולם התעכב. ההבדל ברמת תסמיני המחלה בין מועדי הזריעה היה חד מאוד כאשר בשישיות שנזרעו בזריעה המאוחרת ממוצע הצמחים החולים היה כ-10% לעומת ממוצע של 50% בשישיות שנזרעו מוקדם. בנוסף למועדי הזריעה השונים בחנו גם את השפעת עומק הזריעה. הנחת המחקר הייתה שהעמקת הזריעה תגביר את העקה על הנבטים ותגרום ליותר מחלה. על אף שראינו מעט יותר סימני מחלה בזריעות העמוקות ההבדלים לא היו מובהקים סטטיסטית. עם זאת, היה הפרש ניכר ומובהק סטטיסטית של כ-65 ק"ג לדונם בין הזריעה הרדודה לעמוקה.

גם השוואת סימני המחלה בצמחי כותנה מאוחלחים שהונבטו בתנאים קרים ובתנאים אופטימליים הראה שעקת קור במהלך הנביטה גורמת להופעת תסמינים חמורים יותר של מקרופומינה בשורש. עם זאת, כאשר העברנו צמחים אילו לבית רשת להמשך גידול לא נראו סימני המחלה האופייניים בהמשך העונה. בנוסף לא נצפו הבדלים בגול הצמחים. תוצאות אלו מראות שייתכן שבהינתן תנאים אופטימליים בהמשך העונה, צמחי הכותנה יוכלו להתגבר על הפטרייה גם אם התנאים הראשוניים אינם אופטימליים.

תוצאה מעניינת נוספת שהתקבלה היא חוסר ההתאמה בין אחוז הצמחים הנגועים לבין עוצמת התסמינים בטיפולים השונים. לדוגמא בעוד שבעונת 2023 ראינו אחוז צמחים נגועים זהה בזריעה המוקדמת ובזריעה

המאוחרת (כ-70%) עוצמת התסמינים הייתה שונה מאוד. בעוד שבזריעה המוקדמת אובחנו כ-50% מהצמחים כסימפטומטיים רק 10% מהצמחים בזריעה המאוחרת הראו סימפטומים. במאמר שפורסם לאחרונה על חימצה, הראו החוקרים שכאשר חושפים נבטים לתנאי עקה מצליחה הפטרייה לחדור ולהתבסס עמוק יותר מאשר בתנאים מיטביים. בעוד בתנאים הרגילים לא הצליחה הפטרייה לחדור מעבר לאפידרמיס, בתנאי עקה חדרה הפטרייה לתוך האנדודרמיס ולצרורות ההובלה (Irulappan et al., 2022). ייתכן שגם בכותנה תנאי עקה בשלבים הראשונים של הגידול מאפשרים את התבססות הפטרייה באזור צרורות ההובלה ואילו בתנאים מיטביים החדירה של הפטרייה היא שטחית בלבד. כתוצאה מכך הפטרייה שהתבססה באופן משמעותי בצמח תוכל לגדול ולהשפיע על הצמח השלם בהמשך העונה ואילו ההדבקה השטחית אינה מאפשרת לפטרייה להתבסס בהמשך.

מסיכום התוצאות שהושגו בשנת 2023 נראה שזריעה מוקדמת המאפשרת "זריעה ברטוב" חושפת את הצמחים לתנאי נביטה קרים יותר ולא אופטימלים, מאריכה את משך הנביטה וגורמת לצמחי הכותנה להיות רגישים יותר להתפתחות סימפטומים בהמשך העונה. מחקר נוסף על מנת לבסס את ההיפותזה ולהבין את המנגנונים בהם תנאי עקה בשלב הנביטה גורמים נזק בהמשך העונה.

בביליוגרפיה

Cohen, R., & Elkabetz, M. (2021). מקור ופומינה בכותנה - הדגמת תהליכי מחקר באינטראקציה בין

פתוגן, צמח וסביבה. 1–11.

Cohen, R., Elkabetz, M., Paris, H. S., Gur, A., Dai, N., Rabinovitz, O., & Freeman, S. (2020). *Occurrence of Macrophomina phaseolina in Israel: Challenges for Disease Management and Crop Germplasm Enhancement*. 1–11.

de Sousa Linhares, C. M., Ambrósio, M. M. Q., Castro, G., Torres, S. B., Esteras, C., de Sousa Nunes, G. H., & Picó, B. (2020). Effect of temperature on disease severity of charcoal rot of melons caused by *Macrophomina phaseolina*: implications for selection of resistance sources. *European Journal of Plant Pathology*, 158(2), 431–441. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02083-w>

Irulappan, V., Kandpal, M., Saini, K., Rai, A., Ranjan, A., Sinharoy, S., & Senthil-Kumar, M. (2022). Drought Stress Exacerbates Fungal Colonization and Endodermal Invasion and Dampens Defense Responses to Increase Dry Root Rot in Chickpea. *Molecular Plant-Microbe Interactions®*, 35(7), 583–591. <https://doi.org/10.1094/MPMI-07-21-0195-FI>

Marquez, N., Giachero, M. L., Declerck, S., & Ducasse, D. A. (2021). *Macrophomina phaseolina*: General Characteristics of Pathogenicity and Methods of Control.

Frontiers in Plant Science, 12(April). <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.634397>

Pandey, A. K., & Basandrai, A. K. (2021). Will *Macrophomina phaseolina* spread in legumes due to climate change? A critical review of current knowledge. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(1), 9–18. <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00374-2>

Su, G., Suh, S. O., Schneider, R. W., & Russin, J. S. (2001). Host specialization in the charcoal rot fungus, *Macrophomina phaseolina*. *Phytopathology*, 91(2), 120–126. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2001.91.2.120>