



שם התכנית: התמודדות עם מחלת ההתייבשות המאוחרת בתירס **החוקרים: ד"ר אופיר דגני, שלומית דור, און רבינוביץ.**

רקע ותיאור הבעיה:

תיאור המחלה. מחלת הנבילה המאוחרת (late wilt) בתירס נפוצה מזה כ- 40 שנה בגליל העליון ובעיקר בעמק החולה. בשנים האחרונות החריפה המחלה והתפשטה לעמק יזרעאל, לבית שאן (2008), לדרום רמת הגולן (2011), ולבית שמש ויבנה שבדרום הארץ (2013). המחלה תוארה לראשונה במצרים ב- 1960 והוגדרה כמחלת התירס החמורה ביותר באזורנו. בהמשך דווחה המחלה גם בארצות נוספות. בשדות מסוימים ובצמחי זנים רגישים עלולה המחלה לפגוע ב- 100% מהצמחים. המחלה מאופיינת בנבילה מהירה יחסית של התירס המתרחשת לרוב בגיל 60-80 יום, מלפני שלב הפריחה ועד הבשלה פיסולוגית. סימני ההתייבשות ראשונים העלולים להופיע 50 יום לאחר הזריעה, מתקדמים מחלקו התחתון של הצמח כלפי מעלה וכוללים הצהבה והתייבשות של העלים, שינוי צבע לצהוב-חום של צרורות ההובלה, ולאחריהם הופעה של פסים אדומים-חומים על הפרקים התחתונים, התייבשות הגבעול התחתון (בעיקר בפרקים), ופגיעה בקלחים. אם נוצרים זרעים, הם מכווצים ובעלי התפתחות מועטה. הזרעים המודבקים עשויים להפיץ את המחלה. בנוסף, גורמת הפטרייה לפגיעה באחוז הנביטה ולהפחתה משמעותית בהתפתחות השורשים של צמחים שגדלו במצע מאולח.

דרכי התמודדות. בעבר נעשו ניסיונות להדביר את הפתוגן בשיטות אגרו-טכניות (דישון מאוזן והצפה), כימיות, ביולוגיות, פיזיקליות (חיטוי סולארי) ובאמצעות תרכובות מצמחים. למרות הפוטנציאל של חלק משיטות אלו, כיום, האמצעי היחיד המיושם בארץ להתמודדות כנגד המחלה הוא שימוש בזני תירס עמידים. יחד עם זאת, במצרים ובספרד נמצאו קווים אלימים של הפתוגן המאיימים גם על קווים אלו. פונדקאים נוספים ל- *H. maydis* דוגמת תורמוס, כותנה, אבטיח וזיפן ירוק, מציגים תסמיני מחלה קלים בלבד. פונדקאים אלו מאפשרים את הישרדות הפתוגן בשדה לאורך זמן גם במידה ונשמר מחזור גידולים.

תוצאות המחקר עד כה. בניסוי שדה (נאות מרדכי, קיץ 2008), נמצא כי הפתוגן מתבסס גם בצמחי תירס בעלי רגישות מופחתת למחלה, בעיכוב של כשבועיים בהשוואה להתפתחותו בזנים רגישים. יתר על כן, הזרעים של זני תירס עמידים עלולים לסייע בהפצת המחלה. לאחרונה פיתחנו שיטה מבוססת Real Time PCR (qPCR) לאיתור הפתוגן. שיטה זו מאפשרת לנו איתור עקבי ורגיש של הפתוגן בשדה גם ברקמות בהן כמות ה-DNA שלו נמוכה מאוד. בשדה, גרם עיטוי זרעים ב- Azoxystrobin (AS) להפחתת כמות ה-DNA של הפתוגן בצמחים ולמניעת התסמינים בקו תירס בעל רגישות מופחתת, אך לא מנע את התייבשות הצמחים הרגישים בסוף העונה. בקיץ 2017 בצענו ניסוי שדה בגידול תירס מתוק, בהדברה כימית משולבת (עיטוי והגמעה) שבו נבחן **טיפול הכולל הגמעה משולשת (כל 15 יום מהזריעה) של התכשיר Difenconazole + AS (AS+DC),** במינון 250 ג' ח.פ. לדונם או תערובות פונגיצידים אחרות, **בשלושה לשתי שורות צמודות** (מרווח שורות של 50 ס"מ במקום 96 ס"מ).



טיפול ההגמעה ב-AS+DC היה המוצלח ביותר והוריד את כמות ה-DNA של הפתוגן בשורש ובגבעול של צמחי הניסוי לרמות אפסיות, הפחית את הופעת התסמינים ב- 41% והעלה את היבול הכללי ואיכותו (ב- 36% ו- 77% בהתאמה), לרמה המקובלת בשדות בריאים. חזרה על הניסוי ב-2018, תוך שימוש באיתור תרמי, תמכה בממצאים אלו. הודות לכך, לראשונה, 60 שנה מאז גילויה של מחלת התירס החמורה ביותר באזורנו, הושג פתרון כלכלי שניתן ליישמו בקנה מידה רחב בשדות למגוון זני תירס רגישים.

מועד התחלה וסיום: 2018

שלב המו"פ: פיתוח

מטרת המחקר – גיבוש פרוטוקול יעיל להתמודדות עם מחלת ההתייבשות המאוחרת בתירס.

מהלך המחקר ושיטות העבודה:

עבודה זו שמה לה למטרה לבחון דרכי יישום חדשות של תכשירים כימיים שהוכחו כיעילים בשדה לשיפור ההתמודדות עם מחלת הנבילה המאוחרת בתירס: יישום בתיחוח ובריסוס של התכשיר AS שהוכח כיעיל בשדה. בנוסף, יושמה כאן לראשונה שיטה לגילוי מוקדם ושיפור ההתמודדות עם מחלת הנבילה המאוחרת בתירס על ידי חישה מרחוק באמצעות איתור תרמי. ניסוי התיחוח והריסוס שבוצע בשדה נגוע בקיבוץ נאות מרדכי הושווה לניסוי שדה נוסף, בקיבוץ עמיר, שבחן את שיטת היישום של חומרים בהגמעה (בטפטפות) שהוכחה קודם לכן כיעילה, ונבחנה כאן במתכונת משופרת.

א. ניסוי שדה בתיחוח וריסוס - נאות מרדכי 2018. הניסוי נזרע בחלקה בעלת היסטוריה של נגיעות במחלת הנבילה המאוחרת בנאות מרדכי. החלקה הושקתה בקונוע. הניסוי בוצע על זן התירס גיובילי, זן מכלוא מתוק רגיש למחלת הנבילה המאוחרת. זרעי זן זה לא עברו עיטוי בחומר הדברה. הניסוי בוצע במתכונת של בלוקים באקראי ב- 10 חזרות. במטרה לעכב את מחלת הנבילה המאוחרת בתירס יישמנו בתיחוח ובריסוס, לפני הזריעה ומהלך הגידול, את התכשיר AS במינונים שונים. סה"כ כלל הניסוי 9 טיפולים * 10 חזרות = 90 חלקות טיפול. יישום AS בריסוס: התכשיר AS רוסס במרסס מכון על בסיסי הגבעולים והוצנע בהשקיה בקונוע, ב- 3 יישומים (13, 29 ו- 45 מהזריעה), בריכוזים המפורטים מעלה. יישום AS בתיחוח: התכשיר AS יושם בערבוב קרקע מכאני לפני הזריעה, בתיחוח לעומק של כ- 10-15 ס"מ. כביקורת שימשו חלקות ללא יישום חומר הדברה. לראשונה יושמה כאן שיטת איתור תרמי, המאפשרת לעקוב אחר שינויים בטמפרטורת העלווה של צמחי תירס. זו משקפת את מוליכות רקמות ההובלה והתפתחות המחלה עוד לפני הופעת התסמינים הגלויים. בניסוי בחנו את השינוי בטמפרטורת נוף הצמחים מקבוצות הניסוי ומהביקורות הלא מאולחות. סרקנו את הצמחים מהאוויר במצלמה תרמית, לאיתור שינויים אלה באמצע היום במהלך הניסוי.

ב. ניסוי שדה בעיטוי זרעים ובהגמעה – עמיר 2018. הניסוי בוצע בסיוע חברת נטפים בחלקה בעלת היסטוריה של נגיעות במחלת הנבילה המאוחרת שנבחנה בשנה שעברה (2017). רוחב החלקה 8 ערוגות - 6 ערוגות ל-6 טיפולי הגמעה שונים ושתי ערוגות שוליים אחת מכל צד - תירס מזן רויאלטי ללא טיפול, ששימשו כחיץ להשפעות כגון רוח, קצה שדה, מזיקים כגון חזירים (כנגד האחרונים בוצע גם גידור). כיוון העיבוד עם כיוון

החלקה. אורך חלקת ניסוי/חזרה - כ- 15-20 מטר ברוחב ערוגה. זריעה במתכונת שתי שורות צמודות במרווח של 50 ס"מ בין זוג שורות על ערוגה. ההנבטה וההשקיה בוצעו בטפטוף. הניסוי בוצע במתכונת של בלוקים באקראי ב- 10 חזרות. בכל טיפול נזרעו 2 שורות צמודות, באורך 20 מטר ובעומד 8 צמחים לשורה. הניסוי בוצע על זן התירס פרלוד. כל זרעי הניסוי עברו עיטוי כימי עם AS+DC, בריכוז תכשיר לזרע של 0.006 סמ"ק, שהוכח ב- 2017 כי אינו רעיל לצמח ואינו גורם לשאריות בקלח. העיטוי לבדו אינו מספיק למנוע את המחלה ונועד לספק הגנה משלימה. במטרה לעכב את מחלת הנבילה המאוחרת, יושמו בהגמעה, דרך מערכת ההשקיה, תכשירי הדברה שונים, במתכונת של שלוחת טפטפת לשתי שורות צמודות, בריכוז 225 סמ"ק לדונם.

תוצאות ומסקנות

א. **ניסוי שדה בתיחוח וריסוס - נאות מרדכי 2018.** הניסוי בוצע בהצלחה על פי המתוכנן, כמתואר מעלה. המחלה התפרצה בשדה בצורה חלשה מאוד. טיפולי התיחוח והריסוס לא פגעו בשיעורי ההצצה, ומכאן שאינם רעילים (פיטוטוקסיים) לצמחים. תסמיני התייבשות מקומיים וקלים יחסית אותרו בחלקי הצמח התחתונים, אך העלווה העליונה הייתה בריאה. מסיבה זו גם לא נצפו הבדלים בין הטיפולים לביקורת בצילום התרמי. הביקורת הלא מטופלת הניבה יבולים של 2.58 טון לדונם, שהינם גבוהים מאוד בהשוואה למקובל בשדות בריאים. הטיפולים הכימיים הניבו שיפור נוסף במדד כמות היבולים (6% בטיפול המוצלח ביותר - 1,250 סמ"ק תיחוח + 750 סמ"ק ריסוס ב-3 מועדים). מדידת איכות היבולים (כמות היבולים מסוג א', עם משקל קלח של 250 גר'), הניבה תוצאות דומות, עם עליה של 4% ביבולים מסוג א' בטיפול המוצלח ביותר.

היות ובניסוי זה לא התפרצו תסמיני מחלת הנבילה המאוחרת, הפוטנציאל הגלום בהדברת המחלה באמצעות תיחוח וריסוס דורש בחינה מעמיקה בניסוי שדה נוסף. רמות ה-DNA של הפתוגן בביקורת הלא מטופלת היו נמוכות פי 1,000 מרמות הפתוגן בביקורת (באותו מועד דיגום בגבעול) בשדה בקיבוץ עמיר באותו הקיץ (2018) שבו כן התפרצה המחלה (כפי שיתואר בהמשך). ממצא זה מרמז על רמות אילוח נמוכות בקרקע בשדה שבנאות מרדכי, שבשנת 2010 היה נגוע בכבדות במחלת הנבילה המאוחרת. שיטת האיתור התרמי כוילה ובוססה בניסוי זה והופקו לקחים שיושמו בניסוי השדה שבוצע בקיבוץ עמיר, כמתואר מטה.

ב. **ניסוי שדה בעיטוי זרעים ובהגמעה - עמיר 2018.** הניסוי בוצע בהצלחה כמתוכנן. לאורך הניסוי, ובמיוחד בחלק הראשון של העונה, נפגעו הצמחים מהתפרצות מחלת ריקבון שנגרמה על ידי *Fusarium verticillioides*. בסוף העונה נפגעו הקלחים ממכרסמים. שני גורמים אלו הובילו להפחת ניכרת בכמות היבולים ואיכותם, אך ההבדלים בין טיפולי ההגמעה לבין הביקורת היו ניכרים מאוד ומשמעותיים מבחינה סטטיסטית. בדיקת ההצצה (יום 15 לגידול) ובדיקות הביומסה של השורש והנצר (יום 30 לגידול), מראות שאין הבדל בין הביקורת לבין טיפולי ההגמעה, ומכאן שהאחרונים לא גרמו לרעילות (פיטוטוקסיות) לצמח. דגימת תמיסות הקרקע בטיפול ההגמעה ב- AS+DC מראה על יעילות בהגמעה



שנייה עד למרחק 14 ס"מ מהטפטפת, וירידה חדה במרחק של 28 ס"מ מהטפטפת. ביום הדיגום השלישי, היעילות שנמדדה בקרקע ירדה במידה ניכרת כבר במרחק 14 ס"מ מהטפטפת. ערכים אלו הושפעו ככל הנראה מטמפרטורת הקרקע. תסמיני התייבשות ראשונים הופיעו, בטיפול הביקורת, בסמוך למועד הפריחה הזכרית (50 יום מהזריעה) והחמירו בהדרגה עד סוף הניסוי (73 יום מהזריעה). הבדל בתסמינים המעיד על הצלחת הטיפולים, בלט בסמוך למפרק הראשון ובסימני התייבשות על הקלחים. הערכת ההתייבשות הכמותית תומכת בהערכה האיכותית. בתום העונה, 59% מצמחי הביקורת היו חולים ויבשים לחלוטין, באחרים אותרו תסמינים ורק 13% מצמחי הביקורת היו נקיים מתסמיני מחלה. הטיפולים DC לבד ו-BC+PS לא היו יעילים, והניבו תוצאות דומות לביקורת. מנגד, הטיפולים שהכילו AS הניבו תוצאות טובות באופן מובהק בהשוואה לביקורת ($P < 0.05$). במיוחד בלט לטובה הטיפול ב-AS+DC, שבו נמדדה ירידה של פי 2 בכמות הצמחים שהיו חולים ויבשים לגמרי, וצמצום ניכר בחומרת התסמינים. האומדן התרמי, שבוצע באמצעות צילום תרמי מרחפן, מציג אף הוא תמונה דומה. השיטה התרמית לאומדן תסמיני המחלה ולהערכת היעילות של טיפולים מונעים נמצאה כמוצלחת ואפקטיבית מאוד. כמות היבולים, כאמור, הייתה נמוכה עקב מפגעים שונים (מחלת פוסריום ומכרסמים) אך משקפת נאמנה את הצלחת הטיפולים. הטיפול המשולב ב-AS+DC היה גם במדד זה המוצלח ביותר. גם הטיפולים AS לבד וטיפול האלטרנציה השיגו תוצאות מובהקות של 92% ו-60% שיפור ביבולים. איכות היבולים מסוג א' בטיפול AS+DC (משקל קלח של מעל 250 גר') עלתה בהתאמה ב-41% ($P < 0.05$). בטיפולים AS לבד ובטיפול האלטרנציה נרשמה עלייה לא-מובהקת בכמות הקלחים מסוג א', ותוספת היבול נבעה בעיקר מתוספת קלחים מסוג ב'.

ניסוי השדה להדברת הגורם למחלת הנבילה המאוחרת בתירס בעיטוי זרעים ובהגמעה בטפטפות, נחל הצלחה עם שיפור ניכר ומובהק סטטיסטית בכל המדדים, בטיפולים שהכילו AS לבד, בתערובת עם DC או באלטרנציה (שלוש הגמעות כשבכל אחת מהן מיושמים חומרי הדברה שונים). הטיפולים המוצלחים הניבו ירידה של כ-100% בכמות תסמיני ההתייבשות ועליה של כ-100% ביבולים, בתוספת שיפור באיכות היבולים בטיפול המוצלח ביותר - AS+DC. הניסוי מבסס היטב את דרך ההתמודדות המוצלחת כנגד מחלת הנבילה המאוחרת בתירס, באמצעות הדברה בטפטפות בשלוחה לשתי שורות צמודות (מרווח שורה של 50 ס"מ במקום המרווח הרגיל של 96.5 ס"מ), ביישום משולש של AS+DC כל 15 יום מהזריעה. טיפול כזה נחשב לכלכלי עקב הפחתת העלויות של פריסת קווי השקיה בכ-50%. יחד עם זאת, תכשיר בודד ובמיוחד התכשיר AS, נתון לסכנה של התפתחות עמידות כנגדו. מכאן היתרון לטיפול האלטרנציה, שיעילותו הוכחה כאן לראשונה כנגד המחלה בארץ. טיפול כזה, המבוסס על חומרים בעלי מגוון פעולה שונה, מפחית באופן משמעותי את הסיכון שבהופעת עמידות לחומר ההדברה בטווח הארוך.

המלצות להמשך: בהמשך ניתן יהיה לבחון בהמשך שילוב חומרים חדשים בדרך הדברה זו, שינויים במועדי ההגמעה, בכמויות החומרים ועוד, לצורך אופטימיזציה של השיטה, אך כבר עכשיו יש ביזנו אמצעי יעיל וישים מבחינה כלכלית כנגד המחלה.