מחלות תפוח-אדמה בישראל

לאה צרור

המחלקה לפתולוגיה של צמחים וחקר העשבים, מנהל המחקר החקלאי, המכון להגנת הצומח, מרכז מחקר גילת

תקציר

פתוגנים, הכוללים פטריות, אואומיצטים, חיידקים, נגיפים ופרוטוזואה, גורמים למחלות שונות בתפוח-אדמה (תפוא"ד) ומובילים לנזקים כלכליים כבדים. הנזקים, המתבטאים כפחיתת יבול ו/או פגיעה באיכות של פקעות זריעה ופקעות למאכל ולתעשייה, משפיעים ברמה הגלובלית על כל שרשרת ייצור תפוא״ד. יתרה מכך, מאחר שחלק מהפתוגנים הינם שוכני קרקע (עם טווח פונדקאים רחב), יש צורך בנקיטת אמצעים דרסטיים, יקרים ולעיתים אף סותרים את הכללים בחקלאות בת קיימא, להקטנת האילוח. בפרק זה מתוארות מחלות חשובות בתפוא״ד בתנאי הגידול בישראל, תוך ציון הביולוגיה של הפתוגן, האפידמיולוגיה של המחלה והאמצעים להתמודדות עם המחלה ולצמצום הנזקים. בעידן של שינויי אקלים וההתחממות הגלובלית, ההתמודדות עם מחלות חדשות, או עם מחלות מוכרות המתפרצות מחדש, מהווה אתגר לקהילה המדעית. ככל שהיבטים שונים של המחלות ייחקרו באמצעות כלים מתקדמים, כך יהיה ניתן להגיע לפתרונות יעילים יותר להדברת המחלות ולהפחתת הנזקים הכלכליים.

אופן הציטוט: צרור ל' (2021) **מחלות תפוח-אדמה בישראל**.
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/e57737

מבוא

תפוח-אדמה בישראל

ייצור תפוחי אדמה (תפוא״ד) בישראל קשור באופן ישיר לייצור באירופה מכמה סיבות: הזנים אירופאים, פקעות הזריעה (להלן ייקראו ׳זרעים׳, הגם שאינם זרעים אמיתיים אלא פקעות המשמשות לריבוי וגטטיבי) מיובאות מאירופה (הולנד, צרפת, גרמניה וסקוטלנד), ובחורף יש יצוא של תוצרת טרייה מזנים נדרשים

באירופה. הגידול בארץ המרוכז באזור הנגב המערבי ובצפון הנגב, נעשה בשתי עונות עיקריות בהיקף של כ- 75,000 דונם בכל עונה: עונת האביב - זריעות דצמבר-פברואר, שימוש בזרעי יבוא (כ- 25-30,000 טון) ועונת סתיו-חורף - זריעות ספטמבר-נובמבר, שימוש בזרעים מקומיים שגודלו באביב (כ- 35,000 טון). לדוגמה, היקף הייצור בעונת 2018/19 הגיע לכ- 590 אלף טון (280 אלף לשיווק טרי בשוק מקומי, 75,000 לשיווק לתעשייה, 210,000 טון ליצוא, 25,000 טון לייצור זרעים לסתיו) (ארליך, 2019).

למרות שמיובאות רק אצוות מאושרות ע״י השירותים להגנת הצומח ולביקורת בהתאם לדרישות הפיטוסניטריות של מדינת ישראל, זרעי היבוא (שהם בד״כ דור שישי-שביעי או גבוה מכך) המגיעים לארץ בכל שנה מהווים מקור נגיעות במחוללי המחלות השונים אשר נישאים על פני הפקעת, עדשתיות, סדקים ופצעים, או בצרורות ההובלה של הפקעת, באופן גלוי לעין או בסמוי (Tsror et al., 1999a; Tsror et al., 2012). נזקים כבדים עלולים להיגרם כתוצאה מהתפתחות מחלות ישירות במהלך עונת האביב, ובנוסף, בגלל מעבר גורמי המחלה גם לפקעות בת המשמשות לזריעה בעונת הסתיו-חורף, נגרם נזק גם בגידול החורפי. יתרה מכך, חלק ניכר מהפתוגנים הנישאים בזרעים הינם גם שוכני קרקע ולכן עלול להיגרם אילוח קרקעות המהווה בעיה גם בטווח הארוך, לא רק בתפוא״ד, אלא אף בגידולים נוספים הרגישים לחלק מהפתוגנים (לדוגמה, דוררת באבוקדו).

<u>מחלות תפוח-אדמה</u>

המחלות החשובות בתפוא״ד בישראל נגרמות ע״י מגוון רחב של מיקרואורגניזמים ביניהם: נגיפים, חיידקים, פטריות, אואומיצטים, ואף פרוטוזואה. מאחר והריבוי הינו וגטטיבי, גורמי מחלה רבים נישאים בזרעים (על פניהם או בתוכם באופן סמוי) וחלקם הינם גם שוכני קרקע. המחלות השונות עלולות לפגוע בגידול ולגרום לפחיתה משמעותית ביבול ו/או באיכות הפקעות המשווקות. המחלות השונות עלולות להסב אובדני יבול ונזקים כלכליים ניכרים. המחלות גורמות לפגיעה בגידול כבר בשלב השדה אך חלקן גורמות להפחתת איכות התוצרת מאחר והן מתגברות ביתר שאת באחסון ושינוע של התוצרת. מחלות תפוא״ד כוללות מחלות נוף (לדוגמה כימשון וחלפת) בהן המחלה תוקפת את החלקים העל-אדמתיים של הצמח עם תסמינים כגון הצהבות עלים, נקרוזות עלים פטוטרות וגבעולים, ונבילה. כל אלה, פוגעים בהתפתחותו התקינה של הצמח ומקטינים את פוטנציאל היבול הסופי. אולם כתוצאה ממשקעים ו/או השקיה, נבגים ו/או תפטיר הנשטפים לקרקע עלולים להדביק את הפקעות ולגרום לנזק ישיר לאיכות הפקעות ולמשקלן.

חלק מהמחלות מתפתחות באופן מיטבי בעת אחסון הפקעות בתנאים של לחות מרובה וטמפרטורה נמוכה יחסית. גם מחלות אלה תחילתן במהלך גידול הצמח בשדה ולעיתים נראים תסמינים כבר בשלב האסיף. מחלות אחסון כוללות ריקבון (לח או יבש) ופגמים ׳קוסמטיים׳ בקליפת הפקעות, לדוגמה מקמקת (פיתיום), כתמי כסף, ריקבון יבש (פוזריום). המחלות הקוסמטיות (Blemish diseases) של תפוא״ד פוגעות בעיקר באיכות הפקעות המשווקות והן כוללות ונימור שחור (ריזוקטוניה), כתמי כסף, ניקוד שחור

(קולטוטריכום), גרב מצוי וגרב אבקתי. מאז שהחלו לשטוף את הפקעות לפני שיווקן כל הפגעים הקוסמטיים על הקליפה מתגלים מתחת לשאריות הקרקע, ובשל דרישת הצרכנים לפקעות חלקות ללא פגמים עלתה חשיבותן של מחלות אלה ונדרשים פתרונות וגישות שונות על מנת למזער נזקים. מחלות שוכנות קרקע תוקפות את החלקים התת-אדמתיים של הצמח [שורשים, סטולונים (שלוחות שבקצותיהן מתפתחות פקעות הבת), גבעול תת-אדמתי ופקעות] והן עלולות לפגוע ישירות בפקעות אך גם בתפקוד הצמח עקב חדירה לשורשים ו/או אף לצרורות ההובלה של הצמח, לדוגמה, הפתוגנים הפטרייתיים ורטיציליום וקולטוטריכום.

להיווצרות מחלה ׳מוצלחת׳ נדרשים שלושה גורמים עיקריים – פונדקאי רגיש, פתוגן יעיל ותנאי סביבה המעודדים את התפתחות המחלה. באופן כללי, התמודדות עם מחלות נישאות בזרעים או בחומר ריבוי ובקרקע מחייבת שילוב של גישות הדברה שונות, תוך התחשבות בגורמים ביוטיים וא-ביוטיים המשפיעים על המחלה, וכך גם בתפוא״ד. הגישה העיקרית מתבסס על שימוש בזנים עמידים/סבילים למחלות, אולם בפועל מגדלים גם זנים רגישים בגלל ביקוש גבוה בשווקים השונים. הדרך היעילה והזולה להתמודד עם מחלות שוכנות קרקע המועברות בזרעים היא ע"י שימוש בחומר ריבוי נקי ממחלות. ניתן לעשות זאת ע"י בחירת אצוות זרעי יבוא נקיות ככל שניתן לעונת האביב וייצור זרעים מקומיים באיכות גבוהה לסתיו-חורף. אולם, בד״כ חומר הריבוי נגוע, ואז טיפולים מתאימים עשויים להפחית את פוטנציאל המחלה במהלך העונה, ואת בעיית אילוח הקרקעות. גישות נוספות בהתמודדות עם המחלות כוללות שימוש בקרקע נקיה מפתוגנים, גידול תפוא״ד במחזור ׳זרעים׳ של 4-5 שנים, הימנעות מגידולים רגישים למחלות עיקריות/חשובות מבחינה כלכלית, השקיה ודישון אופטימליים להימנעות מעקות א-ביוטיות, זריעה בתנאים מיטביים ומניעת מים עומדים, סניטציה במהלך הגידול, אחסון ושינוע של תוצרת, לדוגמה, כלי עיבוד, מכלי אחסון, מי שטיפה של תוצרת טרייה וכו׳, אחסון מיטבי בטמפ׳ מתאימות עם אוורור למניעת היווצרות התעבות מים על הפקעות. בממשק של הדברה כימית, נדרשים שילובים במיכל הריסוס ו/או יישום לחילופין של פונגיצידים מקבוצות פעולה שונות (סיסטמיים ופעילי מגע) בכדי להקטין את הסיכוי/סיכון של היווצרות גזעים עמידים של הפתוגן. בנוסף, הדברה מיטבית של עשבייה המקטינה את שכיחותם של פונדקאי משנה וכן הדברת מזיקים המקטינה את הפצתם של פתוגנים ו/או פגיעות בעלים או בשורשים המאפשרים חדירה קלה ואינטנסיבית של פתוגנים לצמח.

מחלות הנגרמות ע״י פטריות

<u>מק שורש ונימור שחור (ריזוקטוניה) Black scurf, Rhizoctonia stem canker</u>

גורם המחלה: *Rhizoctonia solani*

הפטרייה *R. solani* שהינה שוכנת קרקע ורב פונדקאית, גורמת למחלות חולי נופל ואחרות בגידולים רבים תוך גרימת נזקים כלכליים משמעותיים, ברמה גלובלית (Powelson and Rowe, 2008; Banville and Carling, 2001). בתפוא"ד, תסמיני מחלה הנגרמים על ידי ריזוקטוניה מתבטאים בשתי פאזות של הגידול, בחלקים התת- והעל-אדמתיים; הדבקה בשלב התפתחות הצמח גורמת לכיבים בגבעול (stem canker) והדבקה של פקעות גורמת ליצירת קשיונות על גבי הקליפה (black scurf) (תמונה 1) (Tsror and Warshavsky, 2006; Tsror, 2010a; Powelson and Rowe, 2008;). הנזק העיקרי הנגרם במחלה הוא פגיעה באיכות היבול, כשהבולט בהם הוא קשיונות שחורים לא רגולריים בגדלים שונים על פני הקליפה אשר אינם נשטפים במים. בנגיעות קשה אף מתפתחים סדקים, עיוותים (׳בובות׳) ושקעים יבשים בפקעות. כאשר הנגיעות מתבטאת כבר בשלבים מוקדמים של התפתחות הצמח עלולות להופיע נקרוזות בקצות הנבטים לפני הצצה, הגורמות לעומד לקוי. הכיבים בבסיס הגבעול הינם בצבע חום כהה והם עלולים לגרום לחיגור הגבעול והתמוטטות הצמח. כיבים עלולים להיווצר גם בסטולונים ובשורשים, וכך לפגוע בתפקודם ולהקטין את היבול (מספר פקעות ו/או משקלן).

סימפטומים המופיעים בחלק העל-אדמתי כוללים שינויי צבע העלים (הצהבות ו/או צבע סגול), במיוחד באמירי הצמח, הופעת פקעיות בחיק גבעולים, וננסות הצמח. הנזק עלול להיות גם כמותי ולא רק איכותי (פקעות נגועות בקשיונות שחורים), עד כדי פחיתת יבול של 30%. בנגיעות קשה מופיע בבסיס הגבעול תפטיר ורדרד בהיר שהוא השלב המיני של הפטרייה, *Thanathephorus cucumeris*. הנזק ממחלות הריזוקטוניה חמור יותר בטמפ׳ נמוכות וברטיבות קרקע גבוהה משום האטה בקצב ההצצה ועיכוב התפתחות גבעולים וסטולונים. המחלה בד״כ אינה מושפעת מתנאי האחסון ולכן אינה מוגדרת כמחלת אחסון, אולם ישנם דיווחים על התפתחות מועטה של תסמיני וסימני המחלה באחסון בטמפ׳ של 10-15 מ״צ בלחות גבוהה.

תמונה 1: קשיונות אופייניים של ריזוקטוניה על גבי הקליפה (ימין ומרכז), וסדקי גידול (שמאל)

בפטרייה ריזוקטוניה קיימים מספר טיפוסים המוגדרים על פי יכולת איחוי תפטיר בין תבדידים שונים, המקטלגת אותם לקבוצות אנסטומוזיס (anastomosis group - AG) שונות. מוכרות כיום 13 קבוצות AG, כשהקבוצה AG-3 היא השכיחה ביותר בתפוא"ד. ישנה חשיבות רבה לקבוצת ה- AG מהיבט אפידמיולוגי ויעילות ההדברה תלויה בקבוצת האנסטומוזיס (Sharon et al., 2006; Tsror, 2010a). הפטרייה כאמור הינה שוכנת קרקע אך נישאת גם בזרעי תפוא״ד, כאשר לשני מקורות אילוח אלה חשיבות רבה בהתפתחות המחלה על גבי הפקעות (Tsror et al., 2005a; Brierley at al, 2016), אך החשיבות היחסית של כל גורם מידבק מושפעת מגורמים אחרים כגון טמפ׳ הקרקע, גיל פיסיולוגי של הזרעים, משך הזמן להצצה וכו׳.

ממשק הדברה כולל את האמצעים הכלליים הקשורים בהתמודדות עם מחלות שוכנות קרקע ונישאות בזרעים (פקעות זריעה). הדברה ביולוגית באמצעות קומפוסט ומיקרואוגניזמים מדבירים ביולוגיים כגון טריכודרמה ותבדידי ריזוקטוניה היפווירולנטיים (בעלי אלימות נמוכה) (Miller and Hopkins, 2008; Tsror et al., 2001a; Tsror 2010a) ובנוסף, יישום פונגיצידים לזרעים ו/או לקרקע, שמניב תוצאות יעילות מאד בהדברה. יישום התכשירים אפשרי ע"י טיפול זרעים לפני שתילה, אך הדרך המקובלת ביותר היא ריסוס קרקע בפס הזריעה. חשוב לציין כי חומרת הנגיעות בקשיונות על גבי הפקעות מתגברת בפרק הזמן שבין הקמלת הנוף לאסיף, כנראה בגלל השינויים הפיסיולוגיים בפקעות כתוצאה מהשמדת הנוף, ובנוסף, שחרור חומרים נדיפים מפקעות, שורשים וסטולונים המתפרקים בקרקע. לכן, קיצור משך השהיית הפקעות בקרקע לאחר השמדת הנוף עשוי להקטין משמעותית את היקף הנזק.

<u>כתמי כסף Silver scurf</u>

גורם המחלה: *Helminthosporium solani*

מחלת כתמי הכסף הנגרמת ע״י הפטרייה *H. solani* אינה גורמת לפחיתת יבולים בעת האסיף, אולם פוגעת קשה באיכות הפקעות (Errampalli et al., 2001; Gudmestad, 2008). המחלה מתפתחת ביתר שאת במהלך האחסון ופקעות נגועות עלולות להצטמק ולאבד ממשקלן. מאחר וכיום נהוגה שטיפה של פקעות טרם שיווקן, בעיית כתמי הכסף משמעותית יותר, בדומה למחלות קוסמטיות אחרות, ובעקבות הדרישות לאיכות גבוהה יותר ומודעות גוברת של הצרכנים הנזק הכלכלי משמעותי. הנזק הנגרם ע"י הפטרייה מתבטא בהופעת כתמים עגולים לא-רגולריים בצבע אפור-כסוף על פני הפקעת, עד לכיסוי שטח רחב של הפקעת (תמונה 2) (Tsror and Warshavsky, 2006).

בתנאי אחסון חלה הפצה של הנבגים בחלל ופקעות נגועות עלולות להדביק ביעילות פקעות שכנות. ׳כתמי הכסף׳ מהווים נקודות תורפה דרכם מתרחש איבוד לחות, ואכן במהלך אחסון ממושך מאבדות הפקעות את מוצקותן, הן מצטמקות וכתוצאה מכך ישנו פחת גדול במשקל. בזנים שהפקעות שלהם בצבע אדום חל שינוי צבע באזור הנגוע והנזק בולט יותר. מקור המדבק העיקרי הוא נבגי הפטרייה הנישאים בזרעים. הפטרייה חודרת בד״כ דרך העדשתיות של הפקעת ופוגעת בקליפה ללא חדירה לעומק. הפגיעה העיקרית

היא במראה הקוסמטי של הפקעת מלבד הצטמקות באחסון ארוך או לקוי. הדבקת הפקעות נעשית לפני האסיף בתנאים של לחות גבוהה שהינה תנאי הכרחי להתפתחות המחלה. ככל שהפקעת נמצאת בקרקע זמן רב יותר התסמינים מתגברים. המחלה מתעצמת באחסון בתנאים של לחות גבוהה בהם נוצרת התעבות של מים על גבי הפקעות המעודדת את התפתחות הפטרייה.

תמונה 2: כתמי כסף אופייניים בזנים בעלי קליפה אדומה ולבנה (ימין ומרכז); פקעת מצומקת והנבגה בקצוות הכתמים (שמאל)

מחלת כתמי הכסף מתפתחת בטמפ׳ של 8-10 מ״צ, ובצורה פחותה בטמפ׳ נמוכות מ- 5 מ״צ. הגלדה (dry curing) של הקליפה בפקעות המיועדות לאחסון ב- 15 מ"צ עשויה להפחית את התבטאות המחלה באופן ניכר. מקור המידבק העיקרי הוא נבגי הפטרייה הנישאים על גבי פקעות הזריעה, שכן כושר הישרדות הפטרייה בקרקע על גבי שאריות צמחים מוגבל ביותר וניתן לקיצור. בעת שתילה של פקעות זריעה נגועות בקרקע בתנאי לחות וטמפ׳ מתאימים, נבגי הפטרייה מתפתחים בשוליים של ׳כתמי הכסף׳ על הפקעת ומשתחררים לקרקע במהלך הגידול, וכך חלה הדבקה של פקעות הבת. משום שהזרעים מהווים את מקור הנגיעות, הממשק להדברת המחלה מתמקד בעיקר בטיפולים מתאימים המיושמים בזרעים (לדוגמה, ריסוס בנפח נמוך של תכשירים שונים) (Tsror and Peretz, 2002, 2004b).

בעבר הזרעים טופלו בתכשירים מקבוצת תיאבנדזולים, אך מרבית תבדידי הפטרייה כיום עמידים לתכשיר. לכן, למניעת היווצרות גזעים עמידים של הפטרייה לתכשירים בעלי מנגנוני הדברה ספציפיים, יש לנקוט בשילוב תכשירים הפועלים במנגנוני הדברה שונים. בין הזנים ישנה רגישות שונה, אך בד״כ זנים בעלי קליפה אדומה רגישים יותר או שתסמיני המחלה בהם בולטים יותר בהשוואה לזנים בעלי קליפה בהירה. כאמור, המחלה מוגדרת כמחלת אחסון ולכן תנאים מיטביים באחסון, כגון אוורור נאות, טמפ׳ נמוכות, הכנסת

הפקעות כשהן במצב הגלדה מלאה, וחיטוי מתקני האחסון (החדרים ומכלי האחסון השונים), עשויים למנוע או להקטין במידה רבה את התפתחות המחלה (Rowe and Powelson, 2008).

ניקוד שחור (קולטוטריכום) Black dot

גורם המחלה: *Colletotrichum coccodes*

מחלה זו נחשבה במשך זמן רב כמחלה מתונה התוקפת בעיקר צמחים חלשים ללא פגיעה ביבול. בנוסף, הפטרייה קולטוטריכום הייתה מעורבת בסינדרום התמותה המוקדמת של תפוא״ד (Potato Early Dying) הנגרמת ע״י מספר פתוגנים כשהעיקרי בהם הוא *Verticillium dahliae* מחולל הדוררת (Rowe and Powelson, 2008). אך כיום, לאור דיווחים רבים (צפון אמריקה, אירופה, דרום אפריקה וישראל), ברור כי המחלה שכיחה במרבית אזורי הגידול והיא פוגעת וגורמת לנזקים כלכליים ניכרים בתפוא״ד (Johnson et al., 2018; Tsror et al., 1999b; Tsror and Warshavsky, 2006).

הפטרייה *C. coccodes* תוקפת שורשים, סטולונים, גבעולים ועלים מוקדם יחסית בעונת הגידול. המחלה פוגעת באיכות הפקעות ועלולה אף לגרום פחיתת יבול, בייחוד בתנאי עקה. בישראל ובמדינות נוספות דווח על פחיתת יבול של עד 30% בזנים רגישים גם בנוכחות קולטוטריכום בלבד ללא פתוגנים אחרים (Tsror et al., 1999b; Tsror and Johnson, 2000; Johnson et al., 2018). הסימפטומים של המחלה כוללים כתמים חומים על העלים, על פטוטרות ועל הגבעולים, הצהבת עלים, נבילה ותמותה מוקדמת של הצמחים. תופעות הנבילה והתמותה המוקדמת של צמחים בשדה דומות לתסמינים הנגרמים ע״י מחלת הדוררת. על גבי הפקעות נראים כתמים בצבע חום-אפור מלווים בקשיונות שחורים של הפטרייה. סימני המחלה בפקעות דומים ביותר לסימני מחלת כתמי הכסף (תמונה 3).

תמונה 3: תסמיני קולטוטריכום על הפקעות; קשיונות קטנות המופיעות על הכתמים האפורים

לעיתים עלולים להיווצר בפקעות גם תסמינים הדומים לחלפת (כתמים שקועים יבשים) (Glais and Andrivon, 2004). בנוסף, על פני הפקעות, בגבעולים תת-אדמתיים, בסטולונים ובשורשים מופיעים קשיונות, שהם גופים ברי-קיימא באמצעותם שורדת הפטרייה בקרקע במשך שנים רבות (תמונה 4).

תמונה 4: קשיונות של קולטוטריכום בגבעולים יבשים (קש) של תפוא״ד

הפטרייה קולטוטריכום מועברת ומופצת ביעילות רבה על ידי פקעות זריעה (על פני הפקעות ואף בצורה סמויה בתוך צרורות ההובלה) (Johnson et al., 2018; Tsror et al., 1999a,b). בנוסף לכך, במהלך הגידול, הפטרייה מופצת גם באוויר באמצעות נבגים, בדומה למחלות נוף כגון חלפת או כימשון. הדבקות בפטרייה מתרחשות מוקדם יחסית בעונה, ללא יצירת תסמינים, אלא רק כאשר הצמח נחשף למצב עקה או עם תחילת הזדקנותו. לעיתים, התסמינים המתפתחים בנוף אינם ספציפיים וניתן לטעות באבחון בגלל הדמיון לתסמיני דוררת, הזדקנות טבעית או מחסורי חנקן.

הפטרייה אינה מועברת מפקעת לפקעת באחסון, אך הדבקות סמויות הופכות לסימפטומטיות והכתמים מתרחבים עד לכיסוי נרחב של פני הפקעת. גבעולים יבשים הנשארים בחלקה עלולים להשפיע על מחזורי הגידול הבאים של תפוא"ד באותן חלקות. השפעת המחלה על יבול בתפוא״ד אינה עקבית, ומרמזת על אינטראקציה בין הפתוגן לבין גורמים ביוטיים וא-ביוטיים (Johnson at al., 2018; Tsror and Hazanovsky, 2001c; Brierley at al., 2015; Nitzan and Tsror, 2003; Tsror, 2004a). בין הגורמים לכך: שונות באוכלוסיית הפתוגן, שונות הפונדקאי (זני תפוא״ד, בכירות הזן), תנאי סביבה ומשך הגידול, יישום תכשירי הדברה, תנאי אחסון, יחסי גומלין עם פתוגנים נוספים (כגון ורטיציליום וספונגוספורה) וכו׳. בארץ, המחלה חמורה יותר בעונת סתיו-חורף (טמפ׳ גבוהות יחסית), בהשוואה לאביב, באדמות חול קלות ועניות בחומר אורגני (בדומה לחומרת מחלת הדוררת). צמחים ממשפחת הסולניים (כולל עשבי בר) הינם פונדקאים למחלה.

שונות באוכלוסיית הפתוגן: השלב המיני של הפטרייה אינו מוכר, אך ישנם מספר טיפוסים באוכלוסייה המוגדרים ומאופיינים כקבוצות התאם וגטטיבי (Vegetative Compatibility Groups) VCG, תבדידים השייכים לאותה קבוצה יכולים באמצעות איחוי קורים לבצע שחלוף של חומר גנטי. לתבדידים השייכים לאותה קבוצה ישנן תכונות דומות כגון אלימות כלפי הפונדקאי. בפטרייה קולטוטריכום מוכרות תת-אוכלוסיות מאירופה וישראל, צפון אמריקה, אוסטרליה ודרום אפריקה. בתת-אוכלוסייה אירופה-ישראל מוכרות 8 קבוצות VCGs, כאשר לתבדידים מקבוצות 5 ו- 6 אגרסיביות רבה ביותר לתפוא"ד ולקבוצה 1 נמוכה ביותר (Nitzan et al., 2002; Shcolnick et al., 2007). בתת-אוכלוסייה של צפון אמריקה ישנן 7 קבוצות שונות מתת-אוכלוסייה אירופה-ישראל, בתת-אוכלוסייה של תבדידים מאוסטרליה 6 קבוצות התאם ואילו בתת-אוכלוסייה של תבדידים מדרום אפריקה לא ניתן היה למיין לקבוצות מכיוון שיצירת המוטנטים בתהליך הגדרת הקבוצות לא היה יעיל (Nitzan et al., 2006; Ben-Daniel et al., 2010). בין תת-אוכלוסיות מהיבשות השונות ישנן אינטראקציות מועטות העשויות לנבוע ממסחר בזרעים במידה מוגבלת.

שונות תת-אוכלוסיית הקולטוטריכום מהיבשות השונות נבחנה גם בשיטה מולקולרית amplified fragment length polymorphism (AFLP) (Alananbeh et al., 2014). הממצאים מאנליזה זו מצביעים כי האוכלוסייה העולמית של קולטוטריכום מהווה בעצם אוכלוסייה אחת רחבה עם 5 קבוצות עיקריות וכנראה מאותו מקור, אך הבידוד הגיאוגרפי של היבשות גרם כנראה לתת-צברים (VCG/AFLPs) ייחודיים.

הפטרייה תוקפת את הצמח באמצעות אנזימים שונים ביניהם פקטאט ליאז האחראי על פירוק דופן התא; תבדידים אגרסיביים הפרישו את האנזים מוקדם יותר. מוטנטים פגועים בגן ליצירת האנזים איבדו את הפתוגניות שלהם באופן חלקי (Ben-Daniel et al., 2012).

בממשק ההדברה של מחלה זו יש להתחשב בכל מקורות הנגיעות האפשריים בדומה למחלות אחרות המועברות בזרעים ובקרקע (Johnson et al., 2018; Tsror et al., 1999b). בניסויי שדה בהם נבחנה השפעת פונגיצידים המיושמים בפקעות זריעה ו\או בריסוס פס הזריעה על הפחתת קולטוטריכום בתפוא"ד, נמצאו מספר תכשירים יעילים בהפחתת הפטרייה על פקעות הבת ו\או בשאריות הצמחים הנותרים בשדה לאחר האסיף (המהווים את מקור המידבק למחזורי הגידול הבאים). חיטוי קרקע במתאם סודיום אינו יעיל (Tsror and Johnson, 2000; Johnson et al., 2018).

<u>דוררת Verticillium wilt</u>

גורם המחלה: *Verticillium dahliae*

דוררת הנגרמת ע"י הפטרייה שוכנת הקרקע *Verticillium dahlia*, הינה אחת המחלות העיקריות בתפוא"ד בישראל ובאזורי גידול אחרים בעולם (לדוגמה, מערב ארה"ב). מין נוסף של הפטרייה, *V. albo-atrum*, אופייני לאקלים ממוזג (טמפ' עד 21 מ"צ) ואינו מייצר קשיונות לא אובחן מעולם בישראל. הפטרייה תוקפת צמחים רבים, מעל 200 מינים, ביניהם גידולים חקלאיים רבים הכוללים מלבד תפוא"ד גם אגוזי אדמה,

עגבניות, חצילים, מלונים, פלפלים, תות שדה, זיתים, אבוקדו, מנגו, נקטרינה, וגם צמחי בר שונים. הפטרייה שורדת בקרקע ובשאריות צמחים שנים רבות אף ללא פונדקאי באמצעות קשיוניות (micro sclerotia) הנוצרים על גבי השורשים וצוואר השורש של הצמח הנגוע בסוף תקופת גידולו. בנוכחות פונדקאי מתאים קורים הנובטים מהקשיונות חודרים לשורשים הצעירים, לקורטקס ולצינורות העצה שם נוצרים נבגים המוסעים באמצעות המים עד לאמירים (Powelson and Rowe, 1993; Rowe and Powelson, 2002; Tsror and Warshavsky, 2006).

הפטרייה ורטיציליום היא הגורם העיקרי לסינדרום ההזדקנות המוקדמת בתפוא"ד (Potato Early Dying; Powelson and Rowe, 1993). תסמיני המחלה כוללים: הצהבת עלים בצורה אופיינית חד צדדית (unilateral) בעלעלים או ענפים, והתייבשותם במהלך העונה, החמה בצרורות ההובלה בבסיס הצמח ובפקעות, ננסות, נבילה ותמותה מוקדמת של הצמח (תמונות 5, 6).

תמונה 5: הצהבות עלים בצורה חד צדדית (שמאל) נבילה, הזדקנות מוקדמת ותמותה של צמחים בשדה (ימין)

המחלה גורמת לפחיתה של עד כמחצית מהיבול בזנים רגישים (בעיקר ירידה בגודל הפקעות ולא במספרן) והיא מושפעת מאינטראקציות ביוטיות וא-ביוטיות (Dung and Johnson, 2012; Johnson and Dung, 2010). בסינדרום PED לוקחים חלק אורגניזמים נוספים כגון נמטודות חופשיות (*Pratylenchus penetrans*), פטריות (כגון קולטוטריכום), פרוטוזואה כגון (*Spongospora*) וחיידקים (*Pectobacterium*). המחלה מושפעת מגורמים א-ביוטיים שונים כגון עקות חום (טמפ׳ ושיעור גבוה של דיות, evapotranspiration), היא חמורה יותר בעונת הסתיו-חורף, רטיבות קרקע גבוהה, ובהשקיה מרובה.

תמונה 6: החמה בצרורות הובלה של הפקעת (ימין) והגבעול (מרכז); קשיוניות על קש תפוא״ד (שמאל)

גורמים נוספים המשפיעים הם תכונות הקרקע (המחלה בעייתית יותר באדמות חוליות); מליחות מים ו/או קרקע, השפעת מליחות על דוררת נלמדה בעקבות התפרצות המחלה במטעי זיתים ברמת נגב (השקיה במים מליחים), המחלה התפרצה מוקדם יותר ובאופן חמור בזנים שונים (Levin et al., 2003). המחלה מתגברת ומושפעת גם ע"י רמת אילוח הקרקע, היסטוריית מחזור הגידולים, מקורות הנגיעות, עונת זריעה, טיפולים כימיים טרום זריעה וטיפולים פוטנציאליים במהלך העונה (Tsror et al., 1999b; Tsror et al., 2000a, 2005; Powelson and Rowe, 1993 Tsror and Hazanovsky, 2001a; Bubici et al., 2019; Larkin et al., 2011).

הפטרייה ורטיציליום מפרישה אנזימים מפרקי דופן ופיטוטוקסינים שונים המעורבים בהופעת תסמיני המחלה; גליקופרוטאין המופרש מהפטרייה פוגע בתפקוד ממברנות צמחיות ומפריע ליצירת שורשים משניים. כתוצאה מכך נפגעת קליטת המינרלים מהקרקע ומתפתחת כלורוזה בצמח הנגוע. בעקבות הפגיעה במערכת העצה ובקליטת המינרלים נכנס הצמח למצב של עקה והפעלה של מערכות הגנה כגון יצירת טילוזות בצינורות העצה בשורש ובחלקו התחתון של הגבעול בכדי למנוע את מעבר הפטרייה. הצטברות גדולה של הטילוזות אכן יכולה למנוע מעבר של הפטרייה בצינורות העצה, אך טילוזות אלו גם חוסמות את מעבר המים בעצה עד להופעת תסמיני נבילה (Johnson and Dung, 2010). בנוסף, חל שינוי במאזן ההורמונאלי של הצמח: ריכוז הציטוקינין יורד וכתוצאה מכך נגרמת ננסות של הצמח. במקביל, חלה עלייה בסינתזת חומצה אבסיסית (ABA) ואתילן הגורמים להאצת הזדקנות הצמח ולנשירה מוקדמת של עלים. כמו כן, חלה ירידה ברמת הפוטוסינתזה והדיות. בעקבות תהליכים אלו מואצת נבילת הצמח ותמותת רקמות ובסופו של דבר תמותת הצמח.

הפטרייה ורטיציליום שייכת לתת המערכה Deuteromycotina בה השלב המיני אינו מוכר. לפטרייה נושא נבגים רב תאי המפוצל בצורת דורים סביב ציר מרכזי (ומכאן שם המחלה "דוררת") ובקצהו נבגים חד תאיים במאסה ג'לטינית. למרות הטווח הרחב של פונדקאים, ישנה התאמה של טיפוסים מסוימים המראים אגרסיביות רבה כנגד פונדקאים ספציפיים. תבדידים של הפתוגן ניתנים לחלוקה למספר קבוצות התאם וגטטיבי, כאשר בקבוצות השונות קיימים תבדידים בעלי תכונות דומות כולל האדפטציה לפונדקאים מסוימים (Joaquim and Rowe, 1991; Klosterman et al., 2009; Tsror et al., 2001b). בארץ קבוצת ההתאם העיקרית בתפוא"ד הינה VCG 4B; מוכרים גם תבדידים מקבוצה 2 (A, B) התוקפים בנוסף לתפוא"ד גם גידולים אחרים כגון עגבנייה, פלפל וכו'. במערב ארה"ב הקבוצה הדומיננטית היא VCG 4A; קבוצות התאם שונות באזורי גידול תפוא"ד שונים בעולם קשורים כנראה במסחר ושינוע של פקעות זריעה.

במחקר שנעשה לאחרונה באמצעות טכנולוגיה של genotyping-by-sequencing (GBS), נמצא כי תבדידים מעשבי בר וגידולי תרבות שנאספו מחלקות עם היסטוריית דוררת בתפוא"ד היו זהים גנטית לתבדידים שמקורם מתפוא"ד, לכן, עשבי בר א-סימפטומטיים וגידולי תרבות במחזור הגידולים עלולים להוות 'מחסן' לאוכלוסיית הפטרייה מקבוצת ההתאם הדומיננטית בתפוא"ד VCG 4B, הפתוגניים לגידולים רבים. כל התבדידים ממאכסנים א-סימפטומטיים (בעיקר עשבי בר) היו מקבוצת התאם 4B בדומה לתבדידים מתפוא"ד ללא הבדלים גנטיים ביניהם, ואילו קבוצות VCG 2A, 2B, 4A נמצאו רק במאכסנים סימפטומטיים (Bautista-Jalon et al., 2021).

הפטרייה מופצת כאמור באמצעות פקעות זריעה (Tsror et al., 1999a), קרקע נגועה המוסעת ברוח, זבל בע"ח, כלי עיבוד חקלאיים, ומי נגר ומכאן נגזר גם ממשק ההדברה. הגישות במניעת המחלה או הקטנת הנזק כוללות: שימוש בזנים סבילים, אך לעיתים החקלאים מגדלים גם זנים רגישים לאור דרישות השוק; שימוש בחומר ריבוי נקי הינו אמצעי חשוב במיוחד במניעה של הפצת המחלה ואילוח הקרקע, שכן המחלה הנגרמת ישירות רק ממקור נגיעות זה אינה חמורה, מכיוון שנדרש זמן ארוך להתבססות הפטרייה בקרקע וקיום מספר מחזורי גידול לקבלת ריכוז מידבק גבוה ואפקטיבי כאשר מידת הנגיעות בקרקע מושפעת במידה רבה גם ממחזור הגידולים בחלקה נתונה; סניטציה (כולל הדברת עשביה), וכן תנאי גידול אופטימליים (בעיקר הימנעות מהשקיה ודישון עודפים).

חיטוי קרקע טרום זריעה אפשרי בשיטות שונות כגון חיטוי סולארי, תוספים אורגניים, מדבירים ביולוגיים והצנעת זבל ירוק (בעיקר ממשפ' המצליבים), אולם באופן מעשי השיטה העיקרית הינה חיטוי קרקע באמצעות מתאם סודיום (אדיגן) ביישום דרך מערכת ההשקיה או בהזרקה לקרקע, שיטה יעילה המפחיתה את רמת הדוררת בצורה מספקת עם יבולים גבוהים (Tsror et al., 2005b). בשנים האחרונות נצפה חוסר עקביות ביעילות החיטוי הקשור כנראה בתופעה של פירוק ביולוגי מואץ של התכשיר בחלקות חקלאיות ע"י מיקרואורגניזמים בקרקע במיוחד לאחר יישומים חוזרים. לאחרונה דווח על ניסיון להפחית את המחלה בתפוא"ד (ובארטישוק באיטליה) באמצעות יישום פונגיצידים. בניסויי בעציצים התקבלה יעילות גבוהה אולם

בניסויי שדה התוצאות לא היו טובות דיין בכדי להצדיק שימוש מסחרי ונדרש המשך מחקר למציאת פרוטוקול ליישום יעיל יותר (Bubici et al., 2019).

חלפת Early blight

גורם המחלה: *Alternaria solani*

מחלת החלפת נחשבת כמחלת הזדקנות המתחילה בעלים המבוגרים וגורמת לכתמים נקרוטיים כהים בעלי עיגולים חד-מרכזיים (קונצנטריים) אופייניים (Rotem 1994; Van der Waals et al., 2001; Jindo et al., 2021; Tsror and Warshavsky, 2006). בהדבקת פקעות מופיעים על הקליפה כתמים עגולים כהים שקועים ויבשים (תמונה 7).

תמונה 7: כתם קונצנטרי אופייני לחלפת על העלה (שמאל); ריקבון יבש שקוע בפקעת (ימין)

חלפת גורמת לפחיתת יבול כתוצאה מתמותה מוקדמת של הנוף ובנוסף, התפתחות הריקבון היבש על הפקעות גורמת לפגיעה באיכותן ולשיווקן. המחלה הינה פוליציקלית, הדבקה ראשונית מתבצעת באמצעות נבגים המופצים באמצעות רוח, מים או חרקים עם חדירה ישירה לעלים או דרך פצעים שטחיים באפידרמיס. הדבקות משניות גורמות להתפתחות והתגברות תסמיני המחלה עד ליצירת אפידמיה. המחלה מתגברת מאד בעת סופות חול או בעקבות הזנת מזיקים הפוצעים אף הם את פני העלים. אילוח הפקעות חל במהלך האסיף במגע ישיר בין עלים נגועים לבין פקעות. המחלה מתפתחת בטווח רחב של טמפרטורות 10-35 מ״צ עם אופטימום של 20-30 מ״צ. הנבגים דמויי אלה עם מקור אופייני ארוך, בעלי דופן עבה בצבע חום בגלל תכולת מלנין המקנה לנבגים כושר הישרדות בשיירי צמחים בקרקע. ההנבגה החלה בעיקר אחרי השקיה או אחרי לילה עם רטיבות גבוהה מושפעת מקרינת השמש וניתן לראות את העיגולים הקונצנטריים בתגובה לחשיפה לשמש (Stevenson 1993).

מין אחר של הסוג אלטרנריה, *A. alternata*, גורם לתופעת הכתמים החומים (Brown spot) הדומים למחסורי מנגן או פגיעת אוזון. המחלה הנגרמת על ידי *A. alternata* נקראת חלפת מנקדת. בניגוד למין *A. solani* התוקף בעיקר עלים מבוגרים, *A. alternata* תוקפת גם צמחים צעירים וגורמת ליצירת כתמים חומים

ללא עיגולים חד-מרכזיים בעלים (בהתחלה בצד התחתון של העלה). הפטרייה אינה יכולה לחדור ישירות לעלה אלא רק דרך פצעים או פתחים טבעיים. טווח טמפ׳ של מין זה הוא 10-40 מ״צ עם אופטימום של 20-30 מ״צ. גם בהדבקה במין זה עלולה לחול הדבקת פקעות ועם תסמיני מחלה הדומים לאלה הנגרמים בחלפת.

ממשק הדברה כולל שימוש בזנים סבילים, בד״כ זנים בכירים הינם רגישים יותר למחלה. הימנעות מהשקיה בשעות חמות לאחר סופות חול והימנעות מאסיף של פקעות שקליפתן אינה יציבה. תכשירי הדברה פרוטקנטיים מגנים או מדבירים את המחלה בשדה. בנגיעות חמורה נעשה שימוש בתכשירים סיסטמיים ייעודיים בעלי יעילות רבה (Van der Waals et al., 2001; Jindo et al., 2021).

<u>ריקבון יבש (פוזריום) Fusarium dry rot</u>

גורם המחלה: מיני פוזריום; *Fusarium* spp.

המחלה נגרמת ע״י קומפלקס של מיני פוזריום, ביניהם: *Fusarium avenaceum, F. culmorum, F. coeruleum (*syn*. F. solani* var*. coeruleum), F. sambucinum (*syn*. F. sulphureum), F. roseum F. oxysporum.*

המחלה מוגדרת כמחלת אחסון מאחר והיא פוגעת בפקעות בעיקר במהלך האחסון. התסמין האופייני הינו ריקבון יבש וקשה בצבע חום-שחור, בעוצמות שונות, לעיתים בצורת טבעות קונצנטריות סביב רקמה מתייבשת. הקליפה שוקעת ובחלל הנגע נראה לעתים תפטיר לבן של הפטרייה (תמונה 8). מתחת לאזור הטבעות הקונצנטריות ניתן להבחין ברקמה נקרוטית בצבע חום. בנוכחות חיידקים פקטוליטיים החודרים באזורים נגועים, עלול הריקבון להפוך במהירות לריקבון רך ולגרום לפירוק מוחלט של הפקעת (Wharton, 2007; Gudmestad, 2008; Rowe and Powelson, 2008; Tsror and Warshavsky, 2006).

הפטרייה הנישאת בזרעים ואף שוכנת קרקע, תוקפת בעיקר פקעות פגועות (שנפצעו במהלך האסיף, המיון, הובלה והאחסון). הפגיעה העיקרית כאמור היא בעיקר באיכות הפקעות המאוחסנות. המחלה מתפתחת בטמפ׳ של 15-25 מ״צ בלחות גבוהה, אך עלולה להתפתח גם בטמפ׳ נמוכות יותר. פקעות רקובות מצטמקות והופכות למומיות תוך אובדן 6-60% מהפקעות. הפתוגן חודר לפקעת דרך פצעים ופגיעות מכניות המתרחשות בעיקר בעת האסיף, ולכן, המחלה מתבטאת מאוחר יותר באחסון. מפקעות זריעה נגועות מתפתחים גבעולים דקים מועטים, העומד לקוי ולכן עלול להיגרם אובדן יבול כבר בשלב השדה.

ממשק ההדברה כולל שימוש בזנים סבילים, הימנעות מפגיעות מכניות בפקעות במהלך האסיף, המיון והשיווק, עם הגלדה מיטבית של הקליפה והימנעות משימוש במכלי אחסון ובציוד מאולחים. בנוסף, ישנם תכשירים כימיים מורשים לחיטוי פקעות לפני האחסון ולפני זריעה, אך חלק מהמינים עמידים לחלק מהפונגיצידים (Slack, 1993; Rowe and Powelson, 2008).

תמונה 8: ריקבון יבש הנגרם ע״י פוזריום (ימין ומרכז); תפטיר לבן של הפטרייה מופיע באזור הנגוע (שמאל)

מחלות הנגרמות ע״י אואומיצטים

<u>כימשון Late Blight</u>

גורם המחלה: *Phytophthora infestans*

כימשון הינה המחלה המוכרת והמשפיעה ביותר בתפוא״ד. בשנים 1846-1849 התחולל הרעב הגדול באירלנד (Great Irish Famine) שנגרם כתוצאה מהתפרצות מחלה זו שהביאה להשמדה של יבולי תפוא״ד, לתמותה של כמיליון איש ולהגירה של שני מיליון איש לצפון אמריקה (Fry 2008; Rowe and Powelson, 2008; Erwin and Ribeiro, 1996; Stevenson 1993; Vleeshouwers et al., 2011). גם כיום, למרות התקדמות רבה בתחום פיתוח פונגיצידים, זנים עמידים ומערכות לחיזוי התפרצות המחלה, כימשון נחשבת עדיין למחלה קשה מאחר ואין אמצעים יעילים לנטרול מוחלט שלה בהתפרצות בשדה. למעשה מניעת המחלה היא המפתח להתמודדות עמה.

המחלה גורמת לפחיתה רבה ביבול, בעיקר אם ההדבקה התרחשה בשלבי הגידול הראשונים וגם איכות הפקעות עלולה להיפגע. פקעות נגועות ברמה נמוכה או באופן סמוי עלולות להירקב באופן מוחלט במהלך האחסון או במהלך שינוע בתובלה ימית. כאמור, בנגיעות קשה המחלה עלולה לגרום להשמדה מוחלטת של כל היבול. תסמיני המחלה: כתמים כלורוטיים ונקרוטיים בעלים, בגבעולים ובפטוטרות, המוקפים בהילה אפורה של תפטיר לבן הנושא מנבגים (Tsror and Warshavsky, 2006). בנגיעות גבוהה ובתנאים מעודדי מחלה (בעיקר לחות גבוהה) הנוף מושמד תוך מספר ימים (תמונות 9, 10). הפתוגן הנשטף לקרקע מגיע לפקעות וגורם לכתמים חומים יבשים המתפתחים במהירות רבה לריקבון מוחלט (תמונה 11).

תמונה 9: כתמים חומים כהים בעלים (ימין); כתם אפרפר בצדו התחתון של העלה עם הנבגה (שמאל).

תמונה 10: גבעולים נגועים בכימשון

התפרצות המחלה תלויה בנוכחות מידבק ראשוני והתקדמותה תלויה בתנאי מזג האוויר. הדבקה ראשונית של הצמחים עלולה להתרחש כבר משלב ההצצה. תנאי ההדבקה הם כ- 4 שעות של מים חופשיים על פני הצמח בטמפרטורות קרירות של 12-22 מ״צ. הדבקת הפקעות מתרחשת באמצעות חי-נבגים (zoospores) החודרים לקרקע עם המים או במגע ישיר בין עלים וגבעולים נגועים לבין הפקעות. בארץ, ההופעה הראשונה של המחלה נצפית בד״כ בסוף אוקטובר תחילת נובמבר. והיא דועכת במאי.

האואומיצט *P. infestans* נחשב לפתוגן עם יכולת אבולוציונית גבוהה (high evolutionary potential) שכן הצלחתו של האואומיצט ההרסני אינה רק הודות לאלימותו הרבה אלא גם הודות ליכולתו ל׳הסתגל׳ במהירות ולתקוף צמחים עמידים (Vleeshouwers et al., 2011; Fry et al., 2009). הרכב אוכלוסיית הפתוגן בישראל נלמד במשך 36 שנים (1983-2019) (Cohen et al., 2020) ונבדקו מספר גורמים, ביניהם:

רגישות תבדידים לפונגיצידים מקבוצת phenylamide, זוויג (mating type), גזע וגנוטיפ. המבנה הפנוטיפי והגנוטיפי של תבדידים מתפוא״ד השתנו באופן ניכר משנה לשנה, מעונה לעונה, במהלך העונה, ואף בתוך החלקה במהלך העונה.

השתנות תכופה בהרכב האוכלוסייה חלה בעיקר בגלל אינטרודוקציה שנתית של תבדידי פיטופטורה מאירופה (באמצעות זרעי יבוא נגועים בכימשון גלוי או סמוי) וכתוצאה מתהליכי סלקציה fitness-driven. יכולת המעבר של הפתוגן בין העונות בארץ על גבי פקעות, צמחי ספיח או צמחי בר סולניים (כגון ויטניה משכרת ופטוניה); כושר הישרדות ותחרות בין התבדידים האנדמיים לתבדידים המיובאים, הקשור בעיקר בשינויים החלים מעונה לעונה ובמהלך העונה (Cohen et al., 2020). הפתוגן שורד בקרקע באמצעות אואוספורות או על ספיח תפוא״ד ופונדקאים אחרים ממשפ׳ הסולניים כגון עגבנייה וצמחי בר ממשפ׳ הסולניים.

תמונה 11: כתמים חומים -בגוון חלודה בתוך הפקעות הנגועות בכימשון (ימין); תפטיר מתפתח בפקעת נגועה חתוכה (שמאל)

מניעת המחלה מספר היבטים חשובים. הפתוגן עלול לשרוד בפקעות נגועות הנותרות בקרקע לאחר האסיף או בערימות של פקעות פסולות בגלל נגיעות במחלה. לכן, יש לאסוף את כל הפקעות במחזור הגידול הקודם ולבער צמחי ספיח בחלקה, להשמיד או לסלק מצבורים של פקעות נגועות. כמו כן, להימנע משימוש בזרעים נגועים באופן סמוי. התפשטות המחלה לאחר הופעת מוקד מחלה ראשוני בשדה תלויה מאד בתנאי מזג האוויר, טמפ׳ מעל 10 מ״צ ולחות יחסית מעל 95% ולכן נדרשים פיקוח ומעקב בשדה, ריסוסי מניעה והתאמת משטר ריסוסים לתחזיות התפשטות המחלה על פי תנאי מזג האוויר.

התמודדות עם הכימשון מחייבת גישה אינטגרטיבית הכוללת שילוב של אמצעים שונים. קיימים זנים עמידים למחלה (זהו למעשה האמצעי העיקרי בו נוקטים בסקטור האורגני), אלא שהעמידות עלולה להישבר

מהר יחסית עם הופעת גזעים פיסיולוגיים חדשים של הפתוגן. בנוסף, שימוש בזרעים חופשיים מהפתוגן, סניטציה הכוללת ביעור צמחי ספיח ופונדקאים אחרים הנמצאים בשדה, השקיה בלילה למניעת היווצרות תנאים מיטביים להדבקה, עיבודי קרקע ללא חריצים למניעת הדבקה של פקעות, אחסון בתנאים מיטביים עם אוורור וזרימת אויר חופשית והוצאת פקעות נגועות מהאחסון למניעת הדבקה של פקעות שכנות. האמצעי המקובל להדברת המחלה הינו ריסוס בפונגיצידים מונעים או סיסטמיים. בד"כ, מניעת המחלה מתאפשרת ע"י משטר ריסוסים בתכשירי הדברה בעלי תחום פעולה רחב ועצירת המחלה באמצעות תכשירים סיסטמיים המיושמים רק בעת הצורך ובד"כ בשילוב של תכשיר עם רכיב בעל טווח פעולה רחב להקטנת הסיכוי להיווצרות גזעים עמידים.

<u>ריקבון ורוד Pink Rot</u>

גורם המחלה *Phytophthora erythroseptica*

ריקבון ורוד נגרם ע"י אואומיצט ממין אחר של פיטופטורה (Erwin and Ribeiro, 1996; Rowe and Nielsen, 1981;). המחלה אובחנה בישראל ב- 14-2013 אך כנראה הייתה מצויה כבר קודם לכן ללא גרימת נזק ולכן לא אובחנה. המחלה הופיעה רק בנגב המערבי בעונת החורף. הפתוגן תוקף חלקים תת-אדמתיים של הצמח. לעיתים חל עיכוב בהתפתחות הצמחים, התעבות בבסיס הגבעול התת-אדמתי עם החמה-השחרה בצרורות ההובלה. פקעות עלולות להירקב ללא תסמינים בנוף. התסמין האופייני של ריקבון ורוד בפקעות שגם מקנה לה את שמה הינו ריקבון פנימי נטול ריח עם הפרשת נוזל (ooze). בעת חיתוך הפקעות האזור הנגוע משנה את צבעו מאפור בהיר לוורוד-סלמון ומאוחר יותר לצבע חום כהה-שחור (תמונה 12). עם הזמן הפקעת נרקבת לחלוטין (Gudmestad, 2008; Miller and Scheider, 2003).

תמונה 12: הופעת צבע ורוד (סלמון) בפקעות חתוכות הנגועות בריקבון ורוד

המחלה עלולה לגרום לפגיעה ביבול ברמות שונות ואף לפגיעה באיכות הפקעות (Wharton and Kirk, 2009). הפתוגן מועבר בזרעים באופן סמוי והוא אף שורד בקרקע באמצעות אואוספורות. לכן, אחד האמצעים במניעת המחלה הינו שימוש בזרעים חופשיים מגורם המחלה והימנעות משימוש בחלקות בעלות היסטוריה של ריקבון ורוד בעבר. אוורור מאולץ בתנאים יבשים וקירור מהיר של הפקעות עשוי להגביל את התפתחות המחלה באחסון. בהתמודדות עם ריקבון ורוד נעשה שימוש בפונגיצידים המפחיתים כימשון או פיתיום (Wicks et al., 2000), אך ביעילות מוגבלת. בנוסף, יישום חומצה פוספיטית נמצא יעיל בהפחתת המחלה (Al-Mughrabi et al., 2007).

<u>מקמקת (פיתיום) ריקבון לח Potato Leak</u>

גורם המחלה *Pythium* spp.

מקמקת הנגרמת על-ידי האואומיצט *Pythium ultimum* (Powelson and Rowe, 2008), הינה מחלה בעייתית בעיקר באזור הנגב בזריעות המוקדמות של ספטמבר (טמפרטורות גבוהות יחסית) עם אסיף בינואר-פברואר (טמפרטורות נמוכות יחסית). המחלה מאופיינת בכתמים חומים-שחורים על הפקעת, המתחילים באזור הסטולון ועלולים להתפשט על פני כל הפקעת (תמונה 13) (Tsror and Warshavsky, 2006) .

תמונה 13: תסמיני מקמקת (פיתיום) בפקעות נגועות בדרגות שונות

המחלה גורמת לפגיעה קשה באיכות הפקעות בגלל הפגיעה במראה הקוסמטי והיווצרות ריקבון לח, המתפתחים בשלב מתקדם כאשר חיידקים פקטוליטיים מתרבים בפקעות. תסמיני המחלה נראים בדרך כלל רק לאחר שריפת נוף, והם מתגברים במהלך הזמן. הפקעות הנגועות אינן ניתנות למיון, שכן בזמן האסיף הפקעות מכוסות בקרקע המסתירה את מרבית הכתמים, וכתוצאה מכך נגרם נזק כלכלי קשה לגידול. מקור הנגיעות הינו מידבק הפתוגן השורד בקרקע באמצעות אואוספורות. ההדבקה מתרחשת כנראה דרך

עדשתיות פתוחות ודרך פצעים בתנאי רטיבות. עיקר ההדבקה מתרחשת בשלהי הגידול, ומתגברת במיוחד באסיף ובמיון בגלל פגיעות מכניות המעודדות את חדירת הפתוגן לפקעות (Salas and Secor, 2001). אוכלוסיות הפתוגן בקרקע תוקפות גם פונדקאים נוספים רבים כגון גזר, אגוזי אדמה, אפונה וכו׳.

ממשק ההדברה כולל שימוש בזנים שרגישותם פחותה (Hollingshead et al., 2020), מניעת פגעים מכניים באסיף ובמיון ואוורור נאות באחסון. חיטוי קרקע במתאם סודיום יעיל ומפחית את רמת המידבק, אלא שבחלקות עם פירוק מואץ הוא אינו אפקטיבי. הדברה כימית באמצעות תכשירי הדברה סיסטמיים היעילים כנגד כימשון, יעילים גם בהפחתת פיתיום. יישום מטלקסיל בפס הזריעה לפני או בריסוסי נוף במהלך עונת הגידול או שילוב של שתי השיטות הפחית באופן מובהק את שיעור הנגיעות בפקעות (צרור וחוב׳ 2018, 2019, Tsror et al., 2021a). הטיפולים היעילים ביותר היו ריסוס נוף במועד סמוך להקמלת הנוף (כ- 3 שבועות לפני אסיף) או במועד הזריעה כטיפול קרקע בפס הזריעה.

מחלות הנגרמות ע״י פרוטוזואה

<u>גרב אבקתי Powdery scab</u>

גורם המחלה: *Spongospora subterraneae* subsp. *subterraneae*

הפתוגן הינו מיקרואורגניזם אאוקריוטי מסדרת ה- Plasmodiophoraceae ממלכת הפרוטוזואה. לפתוגן צורת חיים טפילית מוחלטת, הוא מתקיים ומשלים את מחזור החיים רק בתוך תא צמחי חי (Merz and Falloon, 2009; Merz, 2008).

הגרב האבקתי בתפוא״ד עלול לגרום לנזק כלכלי כבד בעיקר כתוצאה מפגיעה קשה באיכות הפקעות, עד כדי פסילתן לשיווק. דיווחים מניו-זילנד ואוסטרליה מצביעים גם על פחיתה משמעותית ביבול כתוצאה מפגיעה במערכת השורשים, אך בישראל ובמערב ארה״ב לא תועדה הקטנה ביבולים (Falloon et al., 2016; Johnson and Cummings, 2015; Tsror et al., 2019a, 2020c). המחלה זוהתה לראשונה בגרמניה ב-1841. מקורה ככל הנראה מהאנדים ובעקבות התרחבות המסחר בפקעות תפוא״ד היא התפשטה ברחבי העולם.

תסמיני המחלה האופייניים העיקריים מופיעים על הפקעות בצורת פצעים כהים (בקוטר של 2-20 מ"מ) הפורצים את קליפת הפקעת כלפי חוץ (תמונה 14) והם יכולים לכסות חלקים ניכרים מפני הפקעות ולגרום לפגיעה קשה באיכותן. ברמות נגיעות גבוהות נוצרים בפקעת גם עיוותים וגידולי משנה (Tsror and Warshavsky, 2006). הפצעים (הדומים לעתים לפצעי הגרב המצוי) מכילים אבקה כהה של צברי נבגי-קיימא (Sporosori) ובכל אחד כ- 700 נבגים; מכאן נגזר שם המחלה ״גרב אבקתי״. בנוסף על התסמינים בפקעות מופיעים עפצים על גבי השורשים והסטולונים וגם הם מכילים את נבגי הקיימא אשר באמצעותם

שורד הפתוגן בקרקע למשך כ-20 שנים (תמונה 15). גופי-הקיימא שורדים גם מעבר במערכת העיכול של בע"ח (Balendres et al., 2017).

תמונה 14: תסמינים של גרב אבקתי על פקעות מזנים שונים (3 תמונות עליונות); המופע ה׳סרטני׳ של המחלה, פקעות מעוותות עם גידולי משנה (תמונות תחתונות, ימין ומרכז); פקעות עם תסמינים אופייניים בשש רמות נגיעות (תמונה תחתונה מימין)

תמונה 15: עפצים הנגרמים ע״י מחולל הגרב האבקתי בשורשים (ימין) ובסטולונים (שמאל)

גרב אבקתי מתפתח בתנאים מתאימים (פונדקאי, טמפרטורה ולחות), רק בתגובה להפרשות אקסודאטים מהצמחים הפונדקאים (Balendres et al., 2016a). כאשר מכל נבג נובטת זואוספורה (חי-נבג) ראשונית בעלת שוטונים (primary zoospore), המתפתחת לפלסמודיום ראשוני, לאחר מכן לזואוספורנגיום, בו מתפתחות זואוספורות משניות (secondary zoospore), אף הן בעלות כושר תנועה, החודרות לשורשים, לסטולונים ולפקעות (Balendres et al., 2016b). הדבקות משניות יכולות להישנות ולחזור על עצמן באותה עונה בהתאם לתנאי הסביבה ולכן המחלה הינה פוליציקלית, דהיינו די בריכוז מידבק נמוך בכדי לגרום למחלה חמורה (Brierley et al., 2013). תנאי הסביבה כאמור הינם הגורם המכריע בהתפתחות המחלה, בהתבסס על נוכחות מידבק, טמפרטורה (שחרור זואוספורות - 5-25 מ"צ, הדבקת פקעות - 11-14 מ"צ, יצירת עפצים - 17-20 מ"צ), לחות גבוהה ונוכחות מים חופשיים, חוסר אוורור/ניקוז הקרקע (ריכוז חמצן נמוך). גם מחזורים של הרטבה וייבוש (כפי שנהוג במשטר השקיה לסירוגין) מעודדים את התפתחות המחלה, ומשום כך גם בקרקע חולית עלולים להתפתח תנאים מתאימים להתבטאות המחלה (Van der Graaf et al., 2007).

בארץ, המחלה מופיעה הן באביב והן בחורף במידה ומתקיימים התנאים הנדרשים להתפתחותה. הפתוגן מועבר ומופץ ביעילות באמצעות פקעות זריעה (בעיקר יבוא מסקוטלנד ומגרמניה), רוחות, סופות חול, כלי עיבוד וכן בזבל (שורד מעבר במערכת עיכול של בעלי-חיים). כל אלה מקשים מאוד על ההתמודדות עם הפתוגן. חשוב לציין שמקור הנגיעות המשמעותי יותר להתבטאות מחלה בפקעות הינו נגיעות בקרקע ואילו לנגיעות בפקעות הזריעה תפקיד חשוב בהפצת המחלה ובאילוח קרקעות. אולם, כאשר נגיעות הזרעים גבוהה והתנאים מתאימים להתפתחות מחלה, עלולה להתרחש הדבקה והופעת תסמינים בפקעות הבת ובשורשים, תוך הסבת נזק כלכלי ליבול. הפתוגן מוכר גם כווקטור של נגיף ה- MOP TOP , הגורם לסדקים בפקעת. בישראל, תסמיני הנגיף לא נצפו עד כה. במחקר שנעשה לאחרונה, נמצא כי מחולל הגרב האבקתי מופץ באמצעות רוח וסופות חול וכך חלקות בתולות או חלקות מחוטאות מתאלחות. הפתוגן אובחן במלכודות נבגים שהוצבו בחלקות בור בסמוך לחלקות בעלות היסטוריה של גרב אבקתי וכן בדגימות קרקע שנאספו בחלקות הבור (Tsror et al., 2020a).

טווח הפונדקאים של הפתוגן מצומצם כולל צמחי תרבות, החשוב ביניהם עגבנייה וכן עשבי בר ממשפ׳ הסולניים וממשפחות נוספות. במחקר שנעשה לאחרונה ארץ, נאספו עשבי בר וצמחי ספיח של גידולי התרבות, הנותרים מעונות גידול קודמות בשטח וכן מחלקות עם הסטוריית גרב אבקתי וחלקם נמצאו חיוביים לפתוגן ללא כל תסמינים נראים לעין. הרגישות של המינים הללו אושרה גם בהדבקות מלאכותיות. כמו כן נאספו גידולי תרבות שונים הגדלים במחזור עם תפוא״ד ונמצא כי צמחי חיטה היו חיוביים. בצמחים נבדקה נוכחות עפצים בשורשים (אשר לא נמצאו באף אחד מהמינים במהלך המחקר), ונוכחות הפתוגן בתאי השורש נבדקה ברמה המיקרוסקופית וברמה המולקולרית (באמצעות אנליזת qPCR). נמצא כי 16 מיני בר מ-8 משפחות וחיטה תרבותית ממשפחת הדגניים היו נגועים בפתוגן באופן סמוי. בין מיני הבר נמצאו: סולנום שחור וסולנום זיתני (סולניים); דגנין מצוי, חפורית קטנה ויבלית מצויה (דגניים) ; טוריים מצויים, כרוב החוף

ומנתור מצוי (מצליבים); ירבוז לבן (ירבוזיים); כף אווז האשפות, כף אווז הגינות ומלחית הבורית (סלקיים); אספסת מצויה וקדד מדברי (קטניות); כנפון זהוב (מורכבים) וקוטב מצוי (זוגניים). בהדבקות מלאכותיות נמצאו חיוביים לפתוגן 13 מיני בר מ-8 משפחות, ו-12 גידולי תרבות מ-5 משפחות. המינים הם: סולנום שחור (סולניים); זיפן מצוי, חפורית מוזרה וחפורית קטנה (דגניים); חרדל השדה ,חרדל/כרוב שחור וטוריים מצויים (מצליבים); ירבוז לבן וירבוז מופשל (ירבוזיים); כף אווז האשפות (סלקיים); חלמית מצויה (חלמיתיים); אמיתה גדולה (סוככיים); חרצית השדות (מורכבים) ו- עגבנייה (סולניים); חיטה תרבותית (זנים: "גליל", "יובל", "דורום, "C9 שיבולת שועל "פאיה 4", שעורה "מענית", "נוגה" (דגניים); צנונית (מצליבים); בצל ירוק (שושניים); אגוזי אדמה ואספסת (קטניות) (Tsror et al., 2020b).

ממשק ההדברה של גרב אבקתי מורכב ומתבסס על מספר גישות ואמצעים (Falloon, 2008). הוא כולל שימוש בזרעים נקיים, אך יש לציין כי עלולה להיות גם נגיעות סמויה שאינה מנוטרת; שימוש בקרקע נקיה מהפתוגן, ובדיקה מעבדתית מבוססת PCR לנוכחות הפתוגן בקרקע (Brierley et al., 2009); זנים סבילים - אין בנמצא כיום זנים מסחריים עמידים למחלה, ובניסויי שדה בחלקות נגועות ובניסויים עם הדבקה מלאכותית שנערכו בארץ נמצאה שונות רבה ברגישות הזנים המקובלים (Tsror et al., 2021c; Falloon, 2009); מניפולציה מלאכותית בתנאים ובייחוד בטמפרטורה - הכוונת מועד הזריעה בחורף לאוקטובר במקום נובמבר והלאה, עשויה להקטין את הסיכוי להדבקה בפתוגן והתפתחות המחלה, משום שהטמפרטורות אינן נמוכות דיין (Tsror et al., 2021c); כמו כן, כיסוי הנוף ברשת אגריל בפאזה הראשונה של הגידול (שבוע אחרי זריעה עד גמר יצירת פקעות 70-60 יום לאחר זריעה) משפיע על הטמפרטורה, העולה במספר מעלות כך שהמחלה מעוכבת התפתחות (Tsror et al., 2020c).

הדברה כימית כוללת טיפולי קרקע שונים: חיטוי קרקע בתכשירים מחטאי קרקע טרום שתילה, מתאם-סודיום ביישום דרך המים במערכת השקיה וכלורופיקרין בהזרקה לקרקע מלווה בכיסוי פלסטיק (, צרור וחוב׳ 2012, 2014, 2016, 2019 ,Tsror et al., 2019a). כלורופיקרין נמצא יעיל בהפחתת המחלה בפקעות הבת ובהפחתת יצירת העפצים בשורשים אלא שמסיבות שונות לא קודם הרישוי של התכשיר בישראל, בעוד שבארה״ב הוא אמצעי מקובל אך בהידוק קרקע ולא כיסוי בפלסטיק לאחר היישום. מתאם סודיום נמצא אף הוא יעיל בהפחתת גרב אבקתי אלא שבמינונים גבוהים יותר מאשר נהוג ליישם להדברת מחלת הדוררת. רמת הפתוגן בקרקע בעקבות חיטויי הקרקע עם שני התכשירים הופחתה במידה משמעותית ומובהקת. אולם, בסוף עונת הגידול, אוכלוסיית הפתוגן עלתה שוב לרמות המידבק ההתחלתיות (לפני החיטוי), ומכאן ניתן להסיק כי יעילותם מוגבלת לעונת גידול אחת בלבד. בעבר, מתיל ברומיד נמצא יעיל בהדברת המחלה אך נאסר השימוש בו. בנוסף, גם טיפולי קרקע בפונגיצידים, ביישום לקרקע בפס או לרוחב הערוגה ותיחוח, בעיקר מבוססי fluazinam הראו יעילות רבה בהפחתת המחלה והנזק (Tsror et al., 2019a, 2020c).

מחלות הנגרמות ע״י חיידקים

<u>רגל שחורה וריקבון רך של פקעות וגבעולים Blackleg and soft rot diseases</u>

גורמי המחלה: *Pectobacterium* spp.; *Dickeya* spp.

החיידקים מהסוגים *Dickeya* ו-*Pectobacterium* ממשפחת *Pectobacteriaceae* (בעבר נקראו חיידקי ארוויניה -*Erwinia*) גורמים למחלות בגידולים רבים בנוסף לתפוא״ד הכוללים ירקות, גידולי שדה, צמחי נוי ועצי פרי שונים (גזר, כרוב, סלרי, פלפל, אורז, תירס, נץ חלב, יקינטון, דליה, חרצית, מנגו ועוד). התסמינים במגוון פונדקאים הינם בעיקר ריקבון רך של גבעולים ופקעות, הצהבות עלים ותמותת צמחים. המחלות הנגרמות ע״י חיידקים פקטוליטיים פוגעות באופן ניכר בגידול תפוא״ד בעולם בכלל ובישראל בפרט, תוך גרימת נזקים חמורים בשדה ובתוצרת מאוחסנת.

התסמינים האופייניים של מחלות הרגל השחורה וריקבון רך בתפוא״ד כוללים ריקבון שחור של בסיס הגבעול (׳רגל שחורה׳), ושל הגבעולים העליונים, הנגרמים בעיקר ע״י הסוג *Pectobacterium* (תמונה 16) ונבילה איטית של צמחים הנגרמת בעיקר ע״י הסוג *Dickeya* (תמונה 17) (Tsror and Warshavsky, 2006). בנוסף, שני הסוגים גורמים גם לריקבון רך (soft rot) של הפקעות העלול להתחיל בשדה ולהקטין באופן משמעותי את ההצצה, ולהתגבר בזמן אסיף, שינוע ובאחסון. תסמיני המחלה והנזקים לגידול נגרמים על פי רוב ע״י קומפלקס של מינים משני הסוגים הנ״ל, וזאת באמצעות אנזימים פקטוליטיים המפרקים את הדפנות ואת למלות הביניים של תאי הצמח.

התפוצה הגבוהה קשורה בעיקרה במסחר הגלובלי בחומר ריבוי וגטטיבי נגוע כגון פקעות תפוא״ד לזריעה ופקעות או בצלים של צמחי נוי. חלק מחיידקים אלה הינם וסקולאריים, המתבססים בצרורות העצה ומתפשטים בצמח באופן סיסטמי וגורמים לנבילה של הצמח. רטיבות/לחות גבוהה (בקרקע, בנוף ועל פני הפקעות) גורמת לתנאים אנאירוביים מקומיים ואוורור לקוי (ריכוז נמוך של חמצן) המעודדים את התפתחות החיידקים. החיידקים אינם שורדים בקרקע אך יכולים לעבור מצמח לצמח בנוכחות מים חופשיים ולהתקיים לתקופה קצרה כספרופיטים. בנוסף לחומר ריבוי נגוע הם מופצים גם באמצעות שאריות צמחים, מי השקיה, גשם, אירוסול, מיכון חקלאי, פונדקאים אלטרנטיביים ובאמצעות עשבי בר המהווים פונדקאי ביניים (Tsror et al., 2009; 2010b; 2019b).

תמונה 16: תסמינים הנגרמים על ידי *Pectobacterium*. הצהבת עלים (תמונה עליונה), ריקבון שחור בבסיס הגבעול (ימין) וריקבון רך בפקעות (שמאל)

תמונה 17: תסמינים הנגרמים ע״י *Dickeya solani*. נבילה (ימין למעלה), התייבשות עלים (שמאל למעלה), החמה בצרורות הובלה (שמאל למטה) וריקבון פקעות (מרכז וימין למטה).

בסוג *Pectobacterium* מוכרים כיום 12 מינים: *P. aroidearum*, *P. atrosepticum*, *P. betavasculorum*, *P. brasiliense*, *P. cacticida*, *P. carotovorum*, *P. odoriferum*, *P. parmentieri*, *P. peruviense*, *P. polaris, P. punjabense P. wasabiae* - שמונה ממינים אלו נמצאו בתפוא״ד, כשהעיקריים הגורמים נזק כבד הם *P. brasiliense*, *P. carotovorum*, *P. parmentieri* ו- *P. atrosepticum*. בסוג *Dickeya* מוכרים 6 מינים: *D. aquatica*, *D. chrysanthemi*, *D. dadantii*, *D. dianthicola*, *D. fangzhongdai*, *D. paradisiaca*, *D. solani*, and *D. zeae* - רק שניים מהם נמצאו בתפוא״ד, ושניהם גורמים לנזק כבד – *D. solani* ו- *D. dianthicola*. לחיידקי *Pectobacterium* טווח פונדקאים רחב ושליש מהם הינם פונדקאים גם של הסוג *Dickeya* (Charkowski et al., 2020; Toth et al., 2011).

לתנאי הסביבה השפעה גדולה על התפרצות המחלות. לדוגמה, *P. parmentieri* ו- *P. atrosepticum* לא יתפתחו בטמפרטורות מעל 33 מ״צ, ואילו *P. brasiliense*, *P. carotovorum* ו- *D. solani* יתפתחו בטמפ׳ גבוהות יותר (עד 39 מ״צ). ייצור פקעות זריעה מתבסס על שימוש בצמחונים חופשיים מהפתוגנים להפקת פקעיות (mini-tubers). אולם, עם הגידול בשדה מתפתחות אוכלוסיות החיידקים הפקטוליטיים וככל שמספר הדורות בשדה גבוה יותר, כך עולה שיעור הנגיעות (בד״כ סמויה) בפקעות הזריעה. התפשטות אינטנסיבית של החיידקים הפקטוליטיים מתרחשת בעיקר באסיף, אז מועברים החיידקים מגבעולים ופקעות נגועות לפקעות נקיות. החיידקים נמצאים בצרורות ההובלה בצד הסטולון ובעדשתיות על פני הפקעת. הנגיעות הסמויה היא הבעייתית מאחר ולא נראים לעין כל תסמיני מחלה.

בארץ, מינים שונים של *Pectobacterium* פוגעים בירקות ובצמחי נוי; המינים העיקריים כיום הפוגעים בתפוא״ד הם *Dickeya solani* (Ds) ו-(Pbr) *Pectobacterium brasiliense*. ייצור תפוא״ד בארץ קשור באופן ישיר לגידול תפוא״ד באירופה מאחר ישראל מייבאת בכל שנה כ- 25-30,000 טון פקעות זריעה לעונת האביב. מקור הנגיעות בחיידקים הפקטוליטיים הוא בפקעות הזריעה המיובאות הנגועות באופן סמוי (Tsror et al., 2012). הנזק הכבד נגרם כתוצאה מהתפתחות המחלות במהלך עונת האביב, ובנוסף, משום העברת החיידקים גם לפקעות בת המשמשות לזריעה בעונת הסתיו-חורף, נגרם נזק גם בגידול החורפי. המאפיין את החיידקים הפקטוליטיים הללו הוא התאמה לטמפרטורות גבוהות יחסית. ההתחממות הגלובלית עשויה להסביר את ההתפרצות שחלה באירופה ועל אחת כמה וכמה בישראל. התבטאות מחלה בשדה מקורה בפקעות זריעה נגועות, אך בתנאי סביבה שאינם מעודדים (טמפ׳ ולחות) המחלה נשארת סמויה.

החיידק Ds, הינו מין חדש שהתגלה ב- 2005 (Tsror et al., 2009, 2013; צרור וחוב׳ 2008 , 2011, 2012, 2013) ומשום האלימות שלו בטמפ׳ גבוהות יחסית וטווח הפונדקאים הרחב שלו (הכולל לדוגמה עגבנייה, גזר, צנונית, תירס ומגוון צמחי נוי), הוא מוגדר כחיידק הסגר בישראל, עם אפס סבילות לאינטרודוקציה שלו בפקעות זריעה של תפוא״ד. מקור החיידק בבצלי יקינטון בהולנד, הועבר לתפוא״ד והופץ באמצעות פקעות זריעה בכל אירופה והגיע גם לישראל. תבדידי חיידקים שבודדו מצמחים בארץ, הגם שהינם זהים מבחינה מולקולרית לתבדידים אירופיים, אלימים יותר. Ds היה המין הדומיננטי בתפוא״ד באירופה ובישראל עד 2013 ומאז נמצא במגמת ירידה. לעומת זאת, החיידק Pbr שהתפשט באירופה גם כן באמצעות פקעות זריעה נגועות באופן סמוי, נמצא במגמת עלייה ניכרת והוא הדומיננטי כיום. בנוסף גם המין *P. parmentieri* שהתגלה לראשונה בישראל בשנת 2020 נמצא במגמת עלייה (Tsror et al., 2020d). סף הנגיעות בחיידקי *Pectobacterium* הינו 0.5% תסמיני רגל שחורה. לאוכלוסיית חיידקי Pbr שונות רבה והם מצויים כאמור בגידולים רבים אחרים (Tsror et al., 2021b).

ממשק ההדברה של החיידקים הפקטוליטיים להפחתת נזקים מתבסס בעיקר על שימוש בפקעות זריעה חופשיות מהחיידק, המושג ע״י ניטור חומר ריבוי. בשנים האחרונות פותחו פרוטוקולים לניטור נגיעות סמויה בפקעות זריעה המבוססים על הדגרת החומר הצמחי במצע העשרה ואנליזות מולקולריות (PCR, RT-PCR)

תוך שימוש בתחלים (פריימרים) ופרובים ספציפיים לכל מין חיידק. בנוסף, נעשים מאמצים רבים ע״י חברות הזרעים ומוסדות מחקר שונים בעולם בכיוון של טיפוח זנים עמידים למחלות הרגל השחורה, אולם עד כה טרם פותחו זנים מסחריים עמידים. כמו כן, אין בנמצא טיפולים כימיים יעילים מלבד ריסוסי נוף בתכשירי נחושת העשויים להפחית מעט את ריקבון הגבעולים. באופן כללי, ממשק אופטימלי להפחתת הנגיעות (מלבד שימוש בפקעות זריעה נקיות) כוללים סניטציה בכל מערכי הגידול, אסיף ושינוע של תוצרת (כלי מיכון, מערכי מיון, חדרי אחסון) ותנאי אחסון מיטביים (לחות גבוהה, טמפ' נמוכה, אוורור).

<u>גרב מצוי וגרב עמוק Common Scab; Deep pitted scab</u>

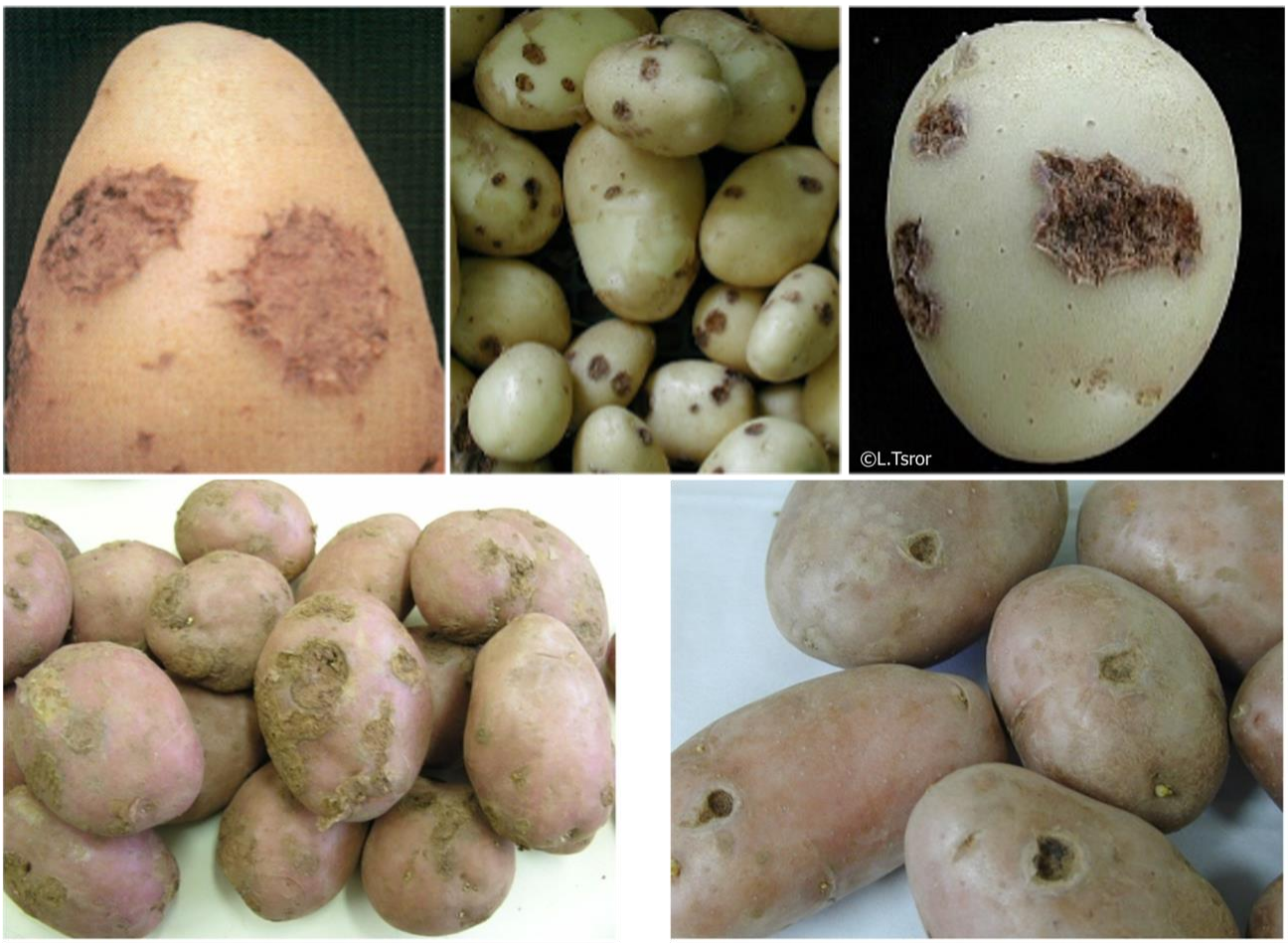
גורמי המחלה: *Streptomyces* spp.

מחלת הגרב המצוי בתפוא״ד נגרמת ע״י חיידקים גרם חיוביים בעלי תפטיר חוטי השורדים בקרקע באמצעות ספורות למשך זמן רב (מעל 12 שנים). יש לציין כי מתוך אוכלוסיות חיידקי הסטרפטומיצטים בקרקע רק חלק קטן הם פתוגניים לצמחים בעוד שהשאר מועילים (ייצור אנטיביוטיקה, הדברה ביולוגית של פתוגנים וכו׳).

מחלות הגרב למיניהן גורמות לפגיעה קשה באיכות הפקעות (המיועדות לשווק כתוצרת טרייה ולתעשייה, ופקעות זריעה) ללא הפחתה ביבול. בנוסף לכך, מאחר והפתוגן שורד בקרקע למשך זמן רב, עלול להיגרם נזק לטווח הארוך בגלל אילוח קרקעות אשר לעיתים גורר פסילת חלקות לעיבוד.

תסמיני המחלה כוללים מגוון מופעים של כיבים על הפקעות, שטוחים, עמוקים, בולטים על פני הקליפה כיבלות, דמויי רשת וכו׳ (תמונה 18) (Tsror and Warshavsky, 2006). גרב מצוי כולל מופע של פצעים שטחיים על פני הפקעת, בקוטר 5-8 מ״מ בצבע חום ומופע ׳רשת׳ בו קליפת הפצע מורמת מעלה 1-2 מ״מ או שקועה קלות. גרב עמוק מתבטא בכיבים בעומק שעלול להגיע ל- 15 מ״מ. הכיבים הינם בלתי רגולריים ומלווים בסדקים בקצות הפצע. יצירת הכיבים מתחילה כ- 50 יום לאחר הזריעה, והם מתרחבים ומעמיקים עם התפתחות הפקעת. המחלה אינה מוגדרת כמחלת אחסון מאחר ואין המשך התפתחות הכיבים במהלך האחסון ובד״כ גם אין הדבקות משנה הגורמות לריקבון.

במחקר שנעשה לאחרונה נמצא כי המינים העיקריים בארץ כוללים את *S. scabiei, S. stelliscabie S. europaeiscabiei, S. turgidiscabiei* (מנוליס-ששון ש. וצרור ל., מידע שטרם פורסם). מינים אלה נפוצים באירופה וכנראה שהם חודרים ומתבססים בארץ באמצעות זרעי היבוא המגיעים לארץ בכל שנה. ליצירת תסמיני המחלה האופייניים נדרש הטוקסין thaxtomin, גורם הפתוגניות העיקרי המוכר במחלות הגרב (Loria et al., 2006). למחוללי הגרב בתפוא״ד יש טווח פונדקאים רחב, הכולל גם צנוניות, סלק, גזר, בטטה, אגוזי אדמה, ועוד גידולי שורש. מיני החיידקים הגורמים למחלת הגרב העמוק בתפוא״ד פוגעים קשות באגוזי אדמה, וגורמים למחלת היבללת בגידול זה. החיידקים מסוגלים לשרוד בקרקע מעל 12 שנים גם ללא נוכחות פונדקאי. העברה והפצת הגרב נעשית בעיקר באמצעות זרעי תפוא״ד, ובנוסף גם באמצעות כלי עיבוד, רוחות וסופות חול, נגר מי השקיה וכו׳.



תמונה 18: תסמיני גרב מצוי/עמוק הנגרמים ע״י חיידקי *Streptomyces*

שכיחות המחלה בישראל גבוהה במיוחד בנגב המערבי בו מגדלים במחזורי גידול אינטנסיביים תפוא"ד, אגוזי אדמה וצנוניות בקרקעות חוליות העניות מאד בחומר אורגני ולכן, כנראה מעודדות את המחלה. ממשק ההדברה של המחלה כולל שימוש בזנים סבילים למחלה, שימוש בזרעים נקיים מהמחלה, מחזור גידולים עם גידולים שאינם רגישים למחלה, הקטנת pH הקרקע והגדלה של רטיבות הקרקע, אולם אמצעי זה אינו יעיל כנגד הגרב העמוק אלא רק כנגד המינים הגורמים לגרב המצוי. חיטוי קרקע באמצעות פורמלין נחשב ליעיל, הגם שהינו בעייתי מהיבטים של בטיחות ונזק סביבתי ולכן מותר ליישום רק בחלקות הרחוקות ממקום יישוב. בנוסף לכך, בחלקות נגועות בהן נעשו חיטויים רבים בפורמלין הטיפול אינו יעיל, בגלל פירוק מיקרוביאלי מואץ. טרם נמצא תכשיר כימי יעיל לחיטוי זרעים, אמצעי שאמור לספק פתרון מיטבי ע״י עצם מניעת אילוח הקרקעות. לאחרונה, פותחה שיטה המבוססת על qPCR המאפשרת לגלות קרקעות הנגועות בסטרפטומיצטים פתוגניים ולהימנע משימוש בחלקות הנגועות (מנוליס-ששון וצרור, שטרם פורסם).

ריקבון חום ונבילה חיידקית Brown Rot, Bacterial Wilt

גורם המחלה: *Ralstonia solanacearum*

המחלה הינה מחלת הסגר, הרסנית ומזיקה בכל העולם, עם מספר גזעים התוקפים מעל 50 משפחות בוטניות. היא אינה קיימת בישראל ונעשים מאמצים רבים להבטיח שהפתוגן לא יחדור לארץ באמצעות אצוות זריעה נגועות. המחלה גורמת לנזקים משמעותיים ליבול, בעיקר באזורי גידול חמים. התסמינים בנוף כוללים נבילה (דומה לעקת מים), נינוס, והצהבת העלים וכן הופעת צבע חום בצנורות ההובלה. לעתים הנבילה עלולה להופיע בתחילה רק בחלק אחד של הצמח, ומאוחר יותר להתפתח בכל הצמח (Tsror and Warshavsky, 2006). בתנאי גידול חמים המחלה מתפתחת במהירות עד לתמותת הצמח. התסמינים בפקעות כוללים החמה בצרורות ההובלה של הפקעת, המתפתחת לריקבון מלווה בהפרשות בצבע קרם שהן מאסה חיידקית (ooze). ההפרשות עלולות להופיע גם בעיניים (תמונה 19).

תמונה 19: פקעת נגועה בריקבון חום

כאמור, בכל אזורי גידול תפוא״ד יש אפס סבילות למחלה בזרעים ובפקעות למאכל ולתעשייה, כולל בישראל. המחלה עלולה להוביל להשמדה של אצוות, ולמגבלות חמורות בייצור תפוא"ד באזורים נגועים ובסביבתם ואף ביצוא למדינות אחרות נקיות מהמחלה. החיידק מזהם מקורות מים המשמשים להשקיה. עלויות הניטור של המחלה והכחדתה בשדות נגועים גבוהות ביותר. מאחר והחיידק עלול להגיע בזרעי יבוא ולמרות התקנות המחמירות ואישור אצוות נקיות בלבד (על פי בדיקת מעבדה בארץ המוצא) השירותים להגנת הצומח ולביקורת מחייבים בדיקת האצוות המגיעות לארץ ורק כאשר האצוות הוגדרו כחופשיות מהחיידק בבדיקות מעבדה ניתן להשתמש בהן לגידול האביבי.

מקור הנגיעות העיקרי הוא פקעות זריעה נגועות באופן סמוי, המתרחשת בעיקר בטמפרטורות נמוכות. באופן זה מחולל המחלה עלול לשרוד באחסון, ובשינוע למרחקים ארוכים. בתנאים מתאימים של טמפרטורות גבוהות ולחות מרובה המחלה מתפתחת במהירות. החיידק שורד בקרקע (בעיקר בשיירי צמחים) ובצמחים

פונדקאים רבים, כולל עשבים. הפצת המחלה מתרחשת בעיקר ע"י העברת פקעות זריעה. אולם החיידק מועבר גם באמצעות תנועת בני אדם וכלי עיבוד, ומקורות מים מזוהמים המשמשים להשקיה. נוכחות נמטודות עפצים עלולה להגביר את שיעור ועוצמת המחלה.

אין כל אמצעי כימי יעיל להדברת המחלה. ממשק הדברה המתבסס בעיקר על גילוי מוקדם של המחלה בחומר הריבוי עשוי למנוע ולהפחית את הפצתה והתבססותה של המחלה. במידה והתגלתה המחלה בשדה נתון, אסור לגדל בו לפחות שנתיים כל גידול אחר רגיש לחיידק.

מחלות הנגרמות ע״י נגיפים (מחלות ויראליות)

<u>נגיף התקפלות עלי תפוח אדמה (Potato leaf roll virus (PLRV</u>

תסמיני המחלה העיקריים הינם התקפלות העלים כלפי מעלה המתחילה בעלים העליונים ונמשכת גם בעלים התחתונים, הצהבת העלים, העלעלים נעשים נוקשים וננסות כללית של הצמח (תמונה 20). בפקעות לעיתים מופיעים כתמים נקרוטיים, העלולים להחמיר במהלך האחסון. המחלה גורמת לפחיתת יבול ולפסילה של פקעות זריעה נגועות. בשילוב עם מחלות ויראליות אחרות כגון PVY הנזק הרסני (Tsror and Warshavsky, 2006).

המחלה מועברת באמצעות פקעות נגועות ומופצת ע״י כנימות עלה הניזונות ממוהל התאים. העברת הנגיף הינה מתמדת (persistent), הכנימה מודבקת לאחר תקופה לטנטית הנדרשת למעבר הנגיף במערכת העיכול ולאחר מכן בבלוטות (salivary glands). הנגיף אינו מועבר במגע או באמצעים מכניים. ממשק ההדברה מתבסס על שימוש בפקעות זריעה נקיות, ביעור של צמחים נגועים בשדה, והדברה יעילה של הכנימות. מספר זנים מוכרים כסבילים למחלה.

תמונה 20: צמח נגוע בנגיף התקפלות עלי תפוח אדמה <u>PLRV</u>

נגיף תפוח אדמה X (PVX) Potato virus X

התסמינים האופייניים של PVX כוללים הצהבות עלים בין העורקים, עלעלים קטנים, מוזאיקה בעלים, וכתמים נקרוטיים בפקעות (תמונה 21) (Tsror and Warshavsky, 2006). המחלה גורמת לפחיתת יבול ולפגיעה באיכות הפקעות. פקעות זריעה נגועות ייפסלו לשימוש.

הנגיף מועבר בפקעות זריעה ומופץ במגע בין צמחים ובין שורשים, מגע באמצעים מכניים, בע״ח, אדם, וכו׳. ממשק ההדברה של PVX מסתמך על שימוש בפקעות זריעה נקיות, ביעור צמחים נגועים והימנעות או הגבלה בתנועה בשדה נגוע, שטיפה או חיטוי של כלי עיבוד.

תמונה 21: נגיעות צמחים בנגיף תפוא״ד X – הצהבות עלים בין העורקים (שמאל ומרכז), כתמים נקרוטיים בעלים (ימין)

נגיף תפוח אדמה Y (PVY) Potato virus Y

תסמינים אופייניים של PVY כוללים מפרקי גבעול קצרים, כתמים נקרוטיים נקודתיים בעלים, עיוותים ונימור בעלים צעירים, נשירת עלים, נבילה ותמותה מוקדמת של הצמח. בפקעות מופיעים סדקים בעוצמות משתנות (תמונה 22). PVY הינו הנגיף הנפוץ ביותר בתפוא״ד בכל אזורי הגידול והוא עלול לגרום לנזק משמעותי ביבול ולפגיעה באיכות הפקעות. כמו כן פקעות זריעה נגועות נפסלות לשימוש. הנגיף מועבר ע״י פקעות זריעה ומופץ באמצעות כנימות אך גם במגע בין צמחים (Tsror and Warshavsky, 2006).

שימוש בחומר ריבוי נקי וביעור צמחים נגועים בשדה הינם האמצעים העיקריים להפחתת המחלה. בנוסף, להדברה יעילה של אוכלוסיות הכנימות תרומה גדולה במניעה והפחתת נגיעות והנזקים הפוטנציאליים.

תמונה 22: תסמיני נגיעות בנגיף תפוא״ד Y – סדקים בפקעות (מרכז וימין), צמח מעוכב (שמאל)

<u>כתמים נקרוטיים בפקעות תפוח אדמה Potato Tuber Necrotic Ringspot</u>

נגיף Potato Virus Y^{NTN} (PVY^{NTN})

התסמינים הטיפוסיים של המחלה מופיעים בפקעות, כתמים נקרוטיים בצבע חום מוקפים בהילה בצבע כהה יותר. לעיתים הרקמה הנקרוטית מתייבשת ונסדקת, אך הנזק מוגבל לשכבת הפרידרם (תמונה 23). תבדיד ה- PVY^{NTN} גורם למוזאיקה בעלים בדומה לתסמינים הנגרמים ע״י גזעים אחרים של PVY. (Tsror and Warshavsky, 2006) הנגיף מועבר אף הוא באמצעות פקעות זריעה ומופץ ע״י כנימות. המחלה נפוצה יותר באזורים חמים. ממשק ההדברה דומה לממשק הננקט כנגד נגיפים דומים.

תמונה 23: תסמיני נגיף תפוא״ד Y^{NTN} בפקעות

סיכום

בפרק זה תוארו המחלות העיקריות המאפיינות את ייצור תפוא״ד בארץ הנגרמות ע"י מגוון רחב של מיקרואורגניזמים. בחלקן יש פגיעה בחלקים על-אדמתיים, הצהבת עלים, נבילה, תמותת עלים ובחלקן פגיעה בחלקים תת-אדמתיים, ריקבון יבש, לח, או נגעים בפקעות המפחיתים את איכות התוצרת, ופגיעה במערכת השורשים. הבנה וחקר האפידמיולוגיה של המחלות השונות יחד עם פיתוח שיטות אבחון מתקדמות המאפשרות ניטור כמותי של פתוגנים בחומר ריבוי ו/או בקרקע, מובילים לפיתוח ויישום של גישות הדברה אינטגרטיביות. הפתוגנים מקורם בחומר הריבוי, בקרקע (כולל קרקע המוסעת ברוח או במים), שאריות צמחים, עשבי בר המשמשים כפונדקאים חלופיים, מיכון ותשתיות אחסון. ההתמודדות עם מחלות ויראליות ובקטריאליות מתבססת בעיקר על גילוי מוקדם של נגיעות והימנעות משימוש בחומר ריבוי נגוע. בהתמודדות עם מחלות פטריתיות ואלה הנגרמות ע״י אואומיצטים, מלבד מניעה ע״י שימוש בחומר ריבוי ובקרקע נקיה, נכללים אמצעי הדברה שונים.

מקורות

ארליך, נ. (2019) גידול תפוחי אדמה בישראל בעונת 19/2018: נתונים וכמויות. שדה וירק מס' 327 יולי-אוגוסט 2019 ע' 58-63.

צרור, ל., לביוש, ש., ארליך, א., חזנובסקי, מ., זיג, א., ורשבסקי, ש., טרופנוב, ו. (2008) ארוויניה קריזנטמי בתפוחי אדמה. שדה וירק. 5: 51-53.

צרור, ל., ארליך, א., חזנובסקי, מ., בן-דניאל, ב.ח., לביוש, ש., זיג, א. (2011) זיהוי נגיעות סמויה ב-*Dickeya* spp. בפקעות זריעה של תפוחי-אדמה באמצעות אנליזה מולקולארית והקשר למופע המחלה בשדה. שדה וירק 37-40 :235.

צרור, ל., לביוש, ש., ארליך, א., בן-דניאל, ב.ח., חזנובסקי, מ., אהרון. מ., זיג, א. (2012) פיתוח שיטה לבדיקת *Dickeya solani* בפקעות זריעה של תפוחי-אדמה והקשר עם מופע המחלה בשדה. שדה וירק 43-45 :247.

צרור, ל., ארליך, א., לביוש, ש., חזנובסקי, מ., אהרון. מ., בינפלד, י., ולנסקי, מ., גרשבסקי, א., מהרשק, ג., זיג, א., קפלן, ח. (2012) הדברת גרב אבקי בתפוחי-אדמה. שדה וירק 47-50 :247.

צרור, ל., לביוש, ש., ארליך, א., חזנובסקי, מ., טבריזוב, ק., אהרון, מ., זיג, א. (2013) אבחון דיקיאה בפקעות להבטחת חומר ריבוי נקי. שדה וירק 259: 38-40.

צרור, ל., רוזנברג, א., לביוש, ש., ארליך, א., חזנובסקי, מ., אהרון, מ., זיג, א., בינפלד, י., ולנסקי, מ., גרשבסקי, א., מהרשק, ג., שגב, ג. (2014) הדברה של מחלת הגרב האבקי בתפוח-אדמה. שדה וירק מס' 271 אוגוסט 2014 עמוד 39-44.

צרור, ל., לביוש, ש., ארליך, א., חזנובסקי, מ., טבריזוב, ק, גלילוב, א., שפירא, ר., גבר, ל. (2016) ממשק להדברת גרב אבקי בתפוח אדמה: מהנעשה בעונת המחקר 16/2015, שדה וירק מס' 295 | אוגוסט 2016 ע' 45-50.

צרור, ל., לביוש, ש., ארליך, א., חזנובסקי, מ., מהרשק, ג., שגב, ג., זיג, א. (2018) הדברת פיתיום בתפוחי אדמה - ניסוי סתיו-חורף 18/2017. שדה וירק מס' 319 | אוגוסט 2018 עמוד 56-60.

צרור, ל., ארליך, א., חזנובסקי, מ., שגב, ג., מהרשק, ג., זיג, א. (2019) הדברת מחלת הפיתיום בעונת סתיו-חורף 19/2018 שדה וירק מס' 327 | יולי-אוגוסט 2019 עמוד 66-70

צרור, ל., לביוש, ש., ארליך, א., חזנובסקי, מ., וולוז'ני, א., לביא, ע., זיג, א., שטרן, א. (2019) הדברת גרב אבקי בתפוח אדמה. שדה וירק מס' 327 | יולי-אוגוסט 2019 עמוד 70-76.

Al-Mughrabi, K. I., Peters, R. D., Platt, H., Moreau, G., Vikram, A., Poirier, R., MacDonald, I. (2007) In-furrow applications of metalaxyl and phosphite for control of pink rot (*Phytophthora erythroseptica*) of potato in New Brunswick, Canada. Plant Disease 91: 1305-1309.

Alananbeh, K. M., Tsror (Lahkim), L., Gudmestad, N. C. (2014) Genetic diversity of a global population of *Colletotrichum coccodes* using amplified fragment length polymorphism markers. American Journal of Potato Research 91: 75-87.

Balendres, M. A., Nichols, D. S., Tegg, R. S., Wilson, C. R. (2016a) Metabolomes of potato root exudates: compounds that stimulate resting spore germination of the soil-borne pathogen *Spongospora subterranea*. Journal of Agriculture and Food Chemistry 64: 7466–7474.

Balendres, M. A., Tegg, R. S., Wilson, C. R. (2016b) Key events in pathogenesis of *Spongospora* diseases in potato: a review. Australasian Plant Pathology 45**:** 229–240.

Balendres, M. A., Tegg, R. S., Wilson, C. R. (2017) Resting spore dormancy and infectivity characteristics of the potato powdery scab pathogen *Spongospora subterranea*. Journal of Phytopathology 165: 323–330.

Banville, G. B., Carling D. E. (2001) Rhizoctonia canker and black scurf. In: Compendium of Potato Diseases. Stevenson, W. R., Loria, R., Franc, G., Weingartner, D. P. (eds) St. Paul, MN, APS Press, pp 36-37.

Bautista-Jalon, L. S., Frenkel, O., Tsror, L., Malcolm, G. M., Gugino, B., Lebiush, S., Hazanovsky, M., Milgroom, M. G., Jiménez-Gasco, M. del M. (2021) Genetic

differentiation of *Verticillium dahliae* populations recovered from symptomatic and asymptomatic host. Phytopathology 111: 149-159.

Ben-Daniel, B., Bar-Zvi, D., Tsror (Lahkim), L. (2012) Pectate lyase affects pathogenicity in natural isolates *of Colletotrichum coccodes* and in *pelA* gene-disrupted and over expressing mutant lines. Molecular Plant Pathology 13: 187-197.

Ben-Daniel B., Bar-Zvi, D., Johnson, D., Harding, R., Hazanovsky, M., Tsror (Lahkim), L. (2010) Vegetative compatibility groups in *Colletotrichum coccodes* subpopulations from Australia and genetic links with subpopulations from Europe/Israel and North America. Phytopathology 100: 271-278.

Brierley, J. L., Hilton, A. J., Wale, S. J., Woodhall, J. W., Lees, A. K. (2016) The relative importance of seed- and soil-borne inoculum of *Rhizoctonia solani* AG-3 in causing black scurf on potato. Potato Research 59: 181-193.

Brierley, J. L., Hilton, A. J. Wale, S. J., Peters, J. C., Gladders, P., Bradshaw, N. J., Ritchie, F., MacKenzie, K., Lees, A. K. (2015) Factors affecting the development and control of black dot on potato tubers. Plant Pathology 64: 167-177.

Brierley, J. L., Stewart, J. A., Lees, A. K. (2009) Quantifying potato pathogen DNA in soil. Applied Soil Ecology 41: 234-238.

Brierley, J. L., Sullivan, L., Wale, S. J., Hilton, A. J., Kiezebrink, D. T., Lees, A. K. (2013) Relationship between *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* soil inoculum level, host resistance and powdery scab on potato tubers in the field. Plant Pathology 62: 413–420.

Bubici, G., Marsico, A. D., Gaber, L., Tsror (Lahkim), L. (2019) Evaluation of thiophanate-methyl in controlling Verticillium wilt of potato and artichoke. Crop Protection 119: 1-8.

Cohen, Y., Rubin, A. E., Galperin, M., Shamaba, E., Zig, U., Cooke, D. E. L. (2020) Migration and selection enforced multiple phenotypic and genotypic changes in the population of *Phytophthora infestans* in Israel during the last 36-Year period. Preprints 2020010321 (doi: 10.20944/preprints202001.0321.v1).

Dung, J. K. S., Johnson, D. A. (2012) Roles of infected seed tubers and soilborne inoculum on Verticillium wilt of ‘Russet Burbank’ potato. Plant Disease 96: 379-383.

Erwin, D. C., Ribeiro, O. K. (1996) Phytophthora Diseases Worldwide. St. Paul, MN: American Phytopathological Society (APS) Press.

Errampalli, D., Saunders, J. D., Holley, J. D. (2001) Emergence of silver scurf (*Helminthosporium solani*) as an economically important disease of potato. Plant Pathology 50: 141-153.

Falloon, R. E. (2009) Control of powdery scab of potato, towards integrated disease management. American Journal of Potato Research 85: 253–260.

Falloon, R. E., Merz, U., Butler, R., Curtin, D., Lister, R., Thomas, S. (2016) Root infection of potato by *Spongospora subterranea*: Knowledge review and evidence for decreased plant productivity. Plant Pathology 65: 422–434.

Fry, W. **(**2008) *Phytophthora infestans*: the plant (and *R* gene) destroyer. Molecular Plant Pathology 9: 385–402.

Fry, W.**,** Grünwald, N.**,** Cooke, D.**,** McLeod, A.**,** Forbes, G.**,** Cao, K**. (**2009) Population genetics and population diversity of *Phytophthora infestans*. In: Oomycete Genetics and Genomics: Diversity, Interactions, and Research Tools, eds. K. Lamour, S. Kamoun, pp. 139–64. Hoboken, NJ, Wiley-Blackwell.

Glais, I., Andrivon, D. (2004) Deep sunken lesions – an atypical symptom on potato tubers caused by *Colletotrichum coccodes* during storage. Plant Pathology 53: 254.

Gudmestad, N. C. (2008) Potato health from sprouting to harvest. In D.A. Johnson (Ed.), Potato Health Management (2nd ed.) (pp. 67–77). St. Paul, MN: American Phytopathological Society (APS) Press.

Hollingshead, A. K., Olsen, N. L., Thornton, M., Miller, J., Schisler, D. A., Siliniger, P. J. (2020) Potato cultivar susceptibility to Pythium leak as influenced by harvest and early storage temperatures. American Journal of Potato Research 97: 393-403.

Jindo, K., Evenhuis A., Kempenaar C., et al. (2021) Holistic pest management against early blight disease towards sustainable agriculture. Pest Management Science 2021; 1-10.

Joaquim, T. R., Rowe, R. C. (1991) Vegetative compatibility and virulence of strains of *Verticillium dahliae* from soil and potato plants. Phytopathology 81: 552–558.

Johnson, D. A., Dung, J. K. S. (2010) Verticillium wilt of potato – the pathogen, disease and management. Canadian Journal of Plant Pathology 32: 58-67.

Johnson, D. A., Geary, B., Tsror (Lahkim), L. (2018) Review: Potato Black Dot – The Elusive Pathogen, Disease Development and Management. American Journal of Potato Research 95: 340-350.

Johnson, D. A., Cummings, T. F. (2015) Effect of powdery scab root galls on yield of potato. Plant Disease 99: 1396-1403.

Klosterman, S. J., Atallah, Z. K., Vallad, G. E., Subbarao, K. V. (2009) Diversity, pathogenicity; and management of *Verticillium* Species. Annual Review of Phytopathology 47: 39–62. doi: 10.1146/annurev-phyto-080508-081748.

Larkin, R. P., Honeycutt, C. W., Olanya, O. M. (2011) Management of Verticillium wilt of potato with disease-suppressive green manures and as affected by previous cropping history. Plant Disease 95: 568-576.

Levin, A. G., Lavee, S., Tsror, L. (2003) Epidemiology of *Verticillium dahliae* on olive (cv. Picual) and its effect on yield under saline conditions. Plant Pathology 52: 212-218.

Merz, U. (2008) Powdery scab of potato – occurrence, life cycle and epidemiology. American Journal of Potato Research 85: 241-246.

Merz, U., Falloon, R. E. (2009) Review: powdery scab of potato - increased knowledge of pathogen biology and disease epidemiology for effective disease management. Potato Research 52: 17–37.

Miller, J. S., T. D. M., Schneider, A. T. (2003) Managing pink rot of potato. in: Idaho Potato Conference.

Miller, J. S., Hopkins B. G. (2008) Checklist of a holistic potato health management plan. Potato Health Management, 2nd ed. D. A. Johnson, ed. American Phytopathological Society, St. Paul. MN.

Nitzan, N., Tsror (Lahkim), L., Johnson, D. A. (2006) Vegetative compatibility groups and aggressiveness of North American isolates of *Colletotrichum coccodes*, the causal agent of potato black dot. Plant Disease 90: 1287-1292.

Nitzan, N., Tsror (Lahkim), L. (2003) Effect of temperature and pH on in vitro growth of *Colletotrichum coccodes* isolates. American Potato Journal 80: 95-99.

Nitzan, N., Hazanovsky, M., Tal, M., Tsror (Lahkim), L. (2002) Vegetative compatibility groups in *Colletotrichum coccodes*, the causal agent of black dot on potato. Phytopathology 92: 827-832.

Powelson, M. L., Rowe, R. C. (1993) Biology and management of early dying of potatoes. Annual Review of Phytopathology 31: 111–126.

Powelson, M. L., Rowe, R. C. (2008) Managing diseases caused by seedborne and soilborne fungi and fungus-like pathogens. Chapter 19. In: Potato Health Management, 2nd Edition, ed. D. A. Johnson, pp. 183–195. St. Paul, Minn, American Pathological Society Press.

Rotem, J. (1994) The genus Alternaria: biology, epidemiology and pathogenicity. St. Paul, Minn, American Pathological Society Press.

Rowe, R. C., Nielsen, L. W. (1981) Pink Rot. American Phytopathological Society, St. Paul, Minn.

Rowe, R. C., Powelson, M. L. (2002) Potato early dying: Management challenges in a changing production environment. Plant Disease 86: 1184–1190.

Rowe, R. C., Powelson, M. L. (2008) Potato health management: A holistic approach. In: D. A. Johnson (Ed.), Potato health management (2nd ed.) (pp. 1–5). St. Paul, MN: American Phytopathological Society (APS) Press.

Salas, B., Secor, G. A. (2001) Leak. In: Compendium of Potato Diseases, 2nd Edition, ed. W.R. Stevenson, R. Loria, G. D. Franc, D. P. W, 30-31. St. Paul: American Phytopahological society.

Sharon, M., Kuninaga, S., Hyakumachi, M., Sneh, B. (2006) The advancing identification and classification of *Rhizoctonia* spp. using molecular and biotechnological methods compared with the classical anastomosis grouping. Mycoscience 47: 299-316.

Shcolnick, S., Dinoor, A., Tsror (Lahkim), L. (2007) Additional vegetative compatibility groups in *Colletotrichum coccodes* subpopulations from Europe and Israel. Plant Disease 91: 805-808.

Stevenson, W. R. (1993) Management of early blight and late blight. Pages 141 -147. In: Potato Health Management. Rowe, R.C. (ed), APS Press, St. Paul, MN.

Toth, I. K., Van Der Wolf, J. M., Saddler, G., Lojkowska, E., Hélias, V., Pirhonen, M., Tsror (Lahkim), L., Elphinstone, J. G. (2011) Review: *Dickeya* species: An emerging problem for potato production in Europe. Plant Pathology 60: 385-399.

Tsror (Lahkim), L., Erlich, O., Hazanovsky, M. (1999b) The effect of *Colletotrichum coccodes* (Wallr.) on potato yield, tuber quality and stem colonization during spring and autumn. Plant Disease 83: 566-568.

Tsror (Lahkim), L., Warshavsky, S. (Eds) (2006) Compendium of Potato Diseases and Pests

in Israel (Hebrew and English editions). Israel Vegetable Grower Organization, Tel-Aviv, pp.87.

Tsror (Lahkim), L. Shapira, R., Erlich, O., Hazanovsky, M., Lebiush, S. (2020b) Characterization of weeds and rotational crops as alternative hosts of *Spongospora subterranea*, the causal agent of powdery scab in Israel. Plant Pathology 69: 294–301.

Tsror (Lahkim), L., Ben-Daniel, B., Chalupowicz, L., Van der Wolf, J., Lebiush, S. Erlich, O., Dror, O., Barel, V., Nijhuis, E., Manulis-Sasson, S. (2013) Characterization of *Dickeya* strains isolated from potato grown under hot-climate conditions. Plant Pathology 62: 1097–1105.

Tsror (Lahkim), L, Barak, R., Sneh, B. (2001a) Biological control of black scurf on potato under organic management. Crop Protection 20: 145-150.

Tsror (Lahkim), L., Erlich, O., Hazanovsky, M., Mordechi-Lebiush, S., Sivan, S. (2001b) Aggressiveness of *Verticillium dahliae* isolates from different vegetative compatibility groups to potato and tomato. Plant Pathology 50: 477-482.

Tsror (Lahkim), L., Lebiush, S., Hazanovky, M., Erlich, O. (2020c) Control of potato powdery scab caused by *Spongospora subterranea* by foliage cover and soil application of chemicals under field conditions with naturally infested soil. Plant Pathology 69: 1070-1082.

Tsror (Lahkim), L., Erlich, O., Hazanovsky, M., Lebiush, S. (2019a) Control of potato powdery scab (*Spongospora subterranea*) in Israel with chloropicrin, metam sodium or fluazinam. Crop Protection 124: 104836. DOI: 10.1016/j.cropro.2019.05.030

Tsror (Lahkim), L, Peretz-Alon, I. (2005a) The influence of the inoculum source of *Rhizoctonia solani* on development of black scurf on potato. Journal of Phytopathology 153: 240-244.

Tsror (Lahkim), L., Lebiush, S., Erlich, O., Galilov, I., Chalupowicz, L., Reuven, M., Dror, O., Manulis-Sasson, S. (2019b) First report of latent infection of *Malva nicaeensis* caused by *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliense* in Israel. New Disease Reports 39: 4.

Tsror (Lahkim), L., Erlich, O., Hazanovsky, M., Ben Daniel, B., Zig, U., Lebiush, S. (2012) Detection of *Dickeya* spp. latent infection in potato seed tubers using PCR or ELISA and

correlation with disease incidence in commercial field crops under hot-climate conditions. Plant Pathology 61: 161-168.

Tsror (Lahkim), L., Lebiush, S., Erlich, O., Ben-Daniel, B., Van der Wolf, J. (2010b) First report of latent infection of *Cyperus rotundus* caused by a biovar 3 *Dickeya* sp. (Syn. *Erwinia chrysanthemi*) in Israel. New Disease Reports 22, 14.

Tsror (Lahkim). L., Lebiush, S., Erlich, O., Blank, L. (2020a) Aerial dispersal of *Spongospora subterranea* sp. f. *subterranea*, the causal agent of potato powdery scab. European Journal of Plant Pathology 158: 391-401.

Tsror (Lahkim), L. (2004a) Effect of light duration on severity of black dot caused by *Colletotrichum coccodes* on potato. Plant Pathology 53: 288-293.

Tsror (Lahkim), L. (2010a) Review: Biology, epidemiology, and management of *Rhizoctonia solani* on potato. Journal of Phytopathology 158: 649–658.

Tsror (Lahkim), L., Hazanovsky, M. (2001c) Effect of co-inoculation by *Verticillium dahliae* and *Colletotrichum coccodes* on disease symptoms and fungal colonization in four potato cultivars. Plant Pathology 50: 483-488.

Tsror (Lahkim), L., Peretz-Alon, I. (2002) Reduction of silver scurf on potatoes by pre- and post-storage treatment of seed tubers with imazalil. American Journal of Potato Research 79: 33-37.

Tsror (Lahkim), L., Peretz-Alon, I. (2004b) Control of silver scurf on potato by dusting or spraying seed tubers with fungicides before planting. American Journal of Potato Research 81: 291-294.

Tsror (Lahkim), L., Aharon, M., Erlich, O. (1999a) A survey of bacterial and fungal seedborne diseases in imported and domestic potato seed tubers. Phytoparasitica 27: 215-226.

Tsror (Lahkim), L., Johnson, D. A. (2000b) *Colletotrichum coccodes* on potato. Pages 362-373 In: *Colletotrichum*: Host Specificity, Pathology, and Host-Pathogen Interaction. D. Prusky, S. Freeman, M. B. Dickman, eds. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.

Tsror (Lahkim), L., Erlich, O., Hazanovsky, M. (1999b) The effect of *Colletotrichum coccodes* (Wallr.) on potato yield, tuber quality and stem colonization during spring and autumn. Plant Disease 83: 566-568.

Tsror (Lahkim), L., Erlich, Lebiush, Galilov, I., Hazanovsky, M., Chalupowicz, L., Reuven, M., Dror, O., Manulis-Sasson, S. (2020d) First report of *Pectobacterium parmentieri* one of the causal agents of potato blackleg and tuber soft rot diseases in Israel. Plant Disease 104: 2288. PDN. https://doi.org/10.1094/PDIS-02-20-0226-PDN

Tsror (Lahkim), L., Erlich, O., Hazanovsky, M. et al. (2021a) Fungicide field treatments to control potato leak caused by *Pythium ultimum*. American Journal of Potato Research 98: 115–121.

Tsror (Lahkim), L., Erlich, O., Lebiush, S., Hazanovsky, M., Zig, U., Slawiak, M., Grabe, G., Van der Wolf, J. M., Van de Haar, J. J. (2009) Assessment of recent outbreaks of *Dickeya* sp. (syn. *Erwinia chrysanthemi*) slow wilt in potato crops in Israel. European Journal Plant Pathology 123: 311-320.

Tsror (Lahkim), L., Hélias, V., Mordechai-Lebiush, S., Erlich, O., Hazanovsky, M., Chalupowicz, L. et al. (2021b) Characterization of *Pectobacterium brasiliense* strains from potato and vegetables in Israel. Plant Pathology 70: 2179-2187.

Tsror (Lahkim), L., Lebiush, S., Hazanovsky, M. Marshak, G., Segev, G., Zig, U. (2021c) Effect of planting date and potato cultivar on powdery scab caused by *Spongospora subterranea*. Phytoparasitica 49: 1007–1012.

Tsror (Lahkim), L., Shlevin, E., Peretz-Alon, I. (2005b) Efficacy of metam sodium for controlling *Verticillium dahliae* prior to potato production in sandy soils. American Journal of Potato Research 82: 419-423.

Tsror, L., Erlich, O., Peretz-Alon, I., Cahlon, Y., Hadar, A., Cohen, Y., Klein, L. (2000a) Control of *Verticillium dahliae* prior to potato production by soil fumigation with chloropicrin. Acta Horticulture 532: 201-204.

Van de Graaf, P., Wale, S. J., Lees, A. K. (2007) Factors affecting the incidence and severity of *Spongospora subterranea* infection and galling in potato roots. Plant Pathology 56: 1005–1013.

Van der Waals J. E, Korsten L., Aveling T. A. S. (2001) A review of early blight of potatoes. African Plant Protection 7: 91–102.

Vleeshouwers, V. G. A. A., Raffaele, S., Vossen, J. H., Champouret, N., Oliva, R., Segretin, M. E., Rietman, H., Cano, L. M., Lokossou, A., Kessel, G., Pel, M. A., Kamoun, S. (2011)

Understanding and exploiting late blight resistance in the age of effectors. Annual Review of Phytopathology 49: 507-531.

Wharton, P., Kirk, W. (2007) *Fusarium* dry rot. http://www.potatodiseases.org/dryrot.html

Wharton, P., Kirk, W. (2009) Michigan potato diseases. Pink Rot. 2016. http://www.potatodiseases.org/lateblight/pinkrot.html

Wicks, T. J., Davoren, C. W., Hall, B. H. (2000) Fungicidal control of *Phytophthora erythroseptica*: The cause of pink rot on potato. American Journal of Potato Research 77: 233–240.