

מחלות צמחים

יגאל אלעד, אביב דומברובסקי, שולמית מנוליס-ששון ודוד עזרא

המחלקה לפתולוגיה של צמחים וחקר העשבים, מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, דרך המכבים 68, ראשון לציון

תקציר

פגעי צמחים גורמים נזקים מצטברים רבים לצמחים בתרבות, בבר ובחקלאות. פגעי צמחים מדבקים נגרמים אל ידי אורגניזמים ומיקרואורגניזמים ובהם אוואומיצטים, פטריות עילאיות (Dikarya) שמתחלקות לפטריות שק (Ascomycota) ופטריות בסיסה (Basidiomycota), חיידקים (Bacteria) וחיידקונים (Phytoplasma), ברגונים (Spiroplasma), נגיפים (Viruses) ונגיפונים (Viroides). מחלת צמחים מתרחשת כאשר קיימים במשולב גורם מחלה (פתוגן), צמח רגיש ותנאי סביבה מתאימים. התנאים המשפיעים על התפתחות מחלות כאשר קיימים גורם מחלה וצמח רגיש הינם טמפרטורה, לחות יחסית ורטיבות נוף, רטיבות קרקע, pH של הקרקע, סוג הקרקע (קלה או כבדה וחרסיתית) או מצע הגידול, יסודות הזנה ופטריות הקרקע. במעשה החקלאי, כאשר מגדלים צמחים בצפיפות, על פני שטחים גדולים ולעיתים ללא תחלופת גידולים, מתרבים גורמי המחלות ועשויות להתעצם. כדי לבקר מחלת צמחים יש צורך להכיר את גורם המחלה, מחזור חייו, תגובת הצמח החולה, תנאי הסביבה מעודדי המחלה והתנאים המשפיעים על הישרדות גורם המחלה. תהליכי פתוגנזה והידע על האינטראקציה בין גורם מחלה לצמח משתנים בין מערכות צמח-פתוגן שונות. הן כוללות שרשראות של תהליכים בתאי הפתוגן והצמח ותגובה הדדית ביניהם. תנאי סביבה עשויים להשפיע על הפתוגן בצורה שונה בשלבים שונים של מחזור חייו ומשפיעים גם על רגישות הצמח. בקרת מחלות מנצלת את הגורמים המגבילים את ההדבקה והתפתחות המחלה, נסמכת על עמידות גנטית ומושרית ומנצלת אמצעים תרבותיים (אגרוטכנים) וכימיים. בפרק זה יתוארו בקיצור אספקטים שונים הקשורים למחלות צמחים ובמהלכו יצינו הפרקים בהם ניתנת הרחבה בכל נושא.

אופן הציטוט: אלעד י', דומברובסקי א', מנוליס-ששון ש' ועזרא ד' (2021) **מחלות צמחים**, 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/e51880>



מבוא

פגעי צמחים גורמים נזקים מצטברים רבים לצמחים בתרבות, בבר ובחקלאות. הפגעים נגרמים על ידי גורמים א-ביוטים שאינם מדבקים (non-infectious) או שהינם ביוטיים מדבקים (זיהומי, Infectious). פגעי צמחים מדבקים נגרמים אל ידי אורגניזמים ומיקרואורגניזמים ובהם אוואומיצטים, פטריות עילאיות (Dikarya) שמתחלקות לפטריות שק (Ascomycota), פטריות בסיסה (Basidiomycota) וזיגומיצטים (Zygomycota),

חיידקים (Bacteria) וחיידקונים (Phytoplasma), ברגונים (Spiroplasma), נגיפים (Viruses) ונגיפונים (Viroides). בנוסף, פוגעים בצמחים פרוקי רגליים (חרקים ואקריות), נימיות (Nematodes), חלזונות (Mollusca), מכרסמים, ציפורים, עשבים, צמחים טפילים ועוד, אך אלה אינם נמנים על גורמי מחלות הצמחים ולא יידונו כאן.

על פגעי הצמחים שאינם מדבקים נמנים פגיעות פיזיות ופציעת אברי צמח, עודף או מחסור ביסודות מזון, מחסור, עודף או חוסר איזון באיכות וכמות האור, קרינה חזקה, לחות יחסית לא מתאימה, מחסור או עודף מים, יחס לא מתאים של רטיבות קרקע וחמצן, תגובה חומצית או בסיסית קיצונית של הקרקע ותמיסת הקרקע, טמפרטורה נמוכה או גבוהה, פגיעה מחומרי הדברה או מחומרים אחרים באוויר ובקרקע, גורמים מכניים, ומבנה הקרקע ודחיסותה. השפעה ישירה של גורמים אלה אינה מענינו של פרק זה אבל השפעתם על גורמי המחלה המדבקים הינה חשובה, וההשפעה על מחלות צמחים הינה חלק חשוב מהמחקר הפיטופתולוגי (מדע מחלות הצמחים, Phytopathology).

צמחים הגדלים בסביבה טבעית או כחלק מגידול חקלאי נראים בדרך כלל כבריאים אך לעיתים הצמחים הבודדים או קבוצה של צמחים יסבלו ממחלות הפוגעות בהתפתחותם. מחלת צמחים הינה ליקוי ופגיעה במצבו הנורמלי של צמח אשר מפריעים או משנים את אפיוני גידולו ותפקודו. כל מיני הצמחים, צמחי בר וצמחי תרבות, מושפעים ממחלות במידה מועטה או רבה, כל מין צמחים ורשימת המחלות האופייניות לו ובכל מקרה רק חלקן הן מחלות חשובות ומשפיעות במין צמחים מסוים. התרחשות, שכיחות וחומרה של מחלת צמחים יכולה להשתנות בעונות השנה השונות ובשלבי גידול שונים ותלויה בנוכחות גורם הפגיעה, תנאי המיקרואקלים בהם נמצא הצמח, אפיוני הסובב את הצמח וקיום רקמת צמח רגישה.

אופי הגידול וטיב הזן משפיעים על הופעת המחלה במעשה החקלאי. מינים וזנים של צמחים הינם רגישים או אינם רגישים להתפרצות מחלות בהם ובחלקם פותחה העמידות למניעת נזקים בגידול חקלאי. בסביבה הטבעית ובגידולים חקלאיים מחלות צמחים הינן חלק טבעי ממהלך התפתחותם של צמחים. בסביבה הטבעית לוקחות המחלות חלק ביחסים ובשיווי המשקל שבין פרטים ובין מינים של צמחים אך במעשה החקלאי למחלה לא תהיה חשיבות כל עוד הצמח נמצא בשיווי משקל עם גורם המחלה והמחלה אינה מסבה נזק כלכלי לאיכות היבול וכמותו בעת גידול הצמח, לאחר קטיף או בעונות גידול עוקבות. מחלת צמחים מתקיימת באברי צמח חיים והיא חלק מתהליכי החיים ברקמות ותאי הצמח. נזק ממחלה מתחיל בנזק ברמה התת-תאית ומתפתח לקבוצת תאים ולרקמה שלמה. גורם המחלה נמצא בקשר ישיר עם תאי הצמח; בדרך כלל עם חלקם, אך השפעתו הינה נרחבת יותר מאשר חלקי הרקמה הצמחית איתם הוא נמצא במגע ישיר.

כפועל יוצא, צמח בריא הינו כזה שנמצא בשיווי משקל עם תנאי הסביבה ועם גורמים ביוטיים שבסביבתו הקרובה ובתוכו, ואשר מתקיימים בו תהליכים פיזיולוגיים פנימיים ללא הפרעה בהתאם לצרכיו. צמח יכול להיות בריא במועד מסוים ובמועד אחר יופיעו תהליכי קיומו והתפתחותו והוא יהיה חולה.

נזקי מחלות צמחים ומגפות

כאשר בקבוצה של צמחים השפעת המחלה מתגברת באופן ניכר ומשפיעה על צמחים רבים תוך כדי התגברות בשכיחות ובחומרה, המחלה נמצאת במצב של מגפה (Epidemic = על בני אדם, ובמונח נכון יותר

Enphytotic = על צמחים). בניגוד למגפה, מחלה יכולה להיות אנדמית (Endemic) ונכון יותר Enphytotic עבור צמחים) כאשר המחלה מופיעה ברמה קבועה באותו שטח בכל שנה ובדרך כלל אף אינה מעוררת פעילות כנגדה. מגפה עשויה להשפיע על שעור גבוה באוכלוסיית הצמחים ולאו בשטח נרחב והנזק הנגרם על ידיה עשוי להיות ניכר. התחום המדעי העוסק בהתפתחות מגפות בצמחים הינו האפידמיולוגיה ומחקרים בתחום זה מוצגים בפרקי הספר בנושא. ייתכנו מגפות כאלה כאשר תנאי הסביבה הופכים להיות מתאימים ביותר להתפתחות המחלה, גורם מחלה חדש מגיע לאזור בו לא היה לפני כן, זן הצמחים ורגישותו השתנו. דוגמאות לכך הן מגפות של כשותית הריחן הנגרמת על ידי האומוצט *Peronospora belbahrii* בבזיל (איור 1, Elad et al., 2016), כיב חיידקי הנגרם על ידי *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* בעגבנייה (איור 2, Sharabani et al., 2013), מגפת נימור-פלפל מתון *Pepper mild mottle virus* (PMMoV) (איור 3, Antignus et al., 2008), הפטרייה *Alternaria alternata* גורמת מחלת הנקודות השחורות ברימון (Gat et al., 2012).



איור 1. מגפת כשותית הריחן (*Peronospora belbahrii*) בשדה בזיל בשנת 2011. (תמונה על ידי יגאל אלעד)



איור 2. מגפת כיב חיידקי הנגרם על ידי *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (תמונה על ידי יגאל אלעד)

איור 3. מגפות נגיף בגידול
ירקות: נימור פלפל מתון
Pepper mild mottle virus
(PMMoV) *Tobamovirus*
בחממה באזור הבשור.
תמונות על ידי יגאל אלעד



מחלות צמחים היו חלק מהצמחייה וגידול הצמחים מקדמת דנא. גורמי מחלות צמחים מזוהים במאובני צמחים בני 250 מיליון שנים. בתנ"ך ובכתבי חז"ל מוזכרים שידפון, ירקון, קמחין, נשירה וריקבון שורש או פרי אשר חלקם נובע מגורמים ביוטים (נבו, 1992). מחלות צמחים היו חלק מהתפתחות החקלאות (קטן, 1998). בהיסטוריה האנושית החדשה ידועות מגפות בצמחים שונים אשר הביאו לנזקים חקלאיים ואנושיים רבים, עד כדי נזקים כלכליים חמורים ואפילו רעב המוני ונדידה מסיבית של בני אדם. כימשון בתפוח אדמה (אואומיצט *Phytophthora infestans*) באירופה החל מ-1845, קימחון הגפן (פטרייה, *Uncinula necator*) וכשותית הגפן (אואומיצט, *Plasmopara viticola*) בצרפת ב-1851 ו-1878, חלדון הקפה (פטרייה, *Hemileia vastatrix*) בציילון משנות השבעים של המאה התשע עשרה, מגלת בכותנה ופשתה (שני *Fusarium oxysporum* forma *speciales*), נבילה חיידקית בטבק בתחילת המאה העשרים (*Ralstonia solanacearum*), מחלות כתמי עלים סיגטוגה שחורה (*Mycosphaerella fijiensis*) ונבילת הבננה (מחלת פנמה, *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*) בבננה במרכז אמריקה במאה ה-20, מחלת טריסטזה (התמוטטות פתאומית בהדר, ניקרון ההדר, *Citrus tristeza virus* (CTV) *Closterovirus*) (איור 4, Mawassi et al., 1993) בהדרים הפכה למגיפה בשנות ה-70 של המאה ה-20 בישראל, מגפת קימלון (*Plenodomus tracheiphilus* [syn. *Phoma tracheiphila*]) בעצי לימון הגורמת לתמותת עצים ותוקפת גם בהדרים אחרים הפכה לגורם נזק חשוב (איור 4, Solel and Oren, 1975; Ezra et al., 2007) ועוד. בסוף שנת 2014 זוהה בארץ טובמווירוס חדש *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV) השובר את הגן לעמידות *Tm-2²* הקיים בזני עגבנייה מסחריים, לאחר כשנה המחלה הופצה והתבססה בכל אזורי גידול העגבנייה בארץ (איור 5, Luria et al., 2017). בשנים האחרונות, ToBRFV זוהה גם ביבשות ומדינות רבות בעולם וכיום נחשב לאחד מהנגיפים הבעייתיים ביותר בגידול עגבנייה בעולם.

איור 4. מגפות חמורות בהדרים.

א' טריסטזה (התמוטטות
פתאומית בהדר, ניקרון ההדר,
Citrus tristeza virus (CTV)
Closterovirus) בעץ מהזן אור
מורכב על חושחש.
תמונה על ידי מוניר מואסי



ב' קימלון (*Plenodomus*
tracheiphilus [syn. *Phoma*
tracheiphila) בעצי לימון
הגורמת לתמותת עצים (תמונה
על ידי יגאל אלעד ודוד עזרא)



איור 5. נגיף קמטים
חומים בפרי
העגבנייה *Tomato*
brown rugose fruit
virus (ToBRFV)
Tobamovirus השובר
את העמידות מסוג *Tm-*
² בזני עגבנייה
מסחריים.
תמונות על ידי אביב
דומברובסקי



נזקים בגידולים חקלאיים מתרחשים בכל עת. נזק המביא לרעב של אוכלוסייה, בייחוד בארצות מתפתחות, מתרחש מדי פעם ואף צפוי להתעצם עם שינויי האקלים בעתיד (ראו פרק על שינוי אקלים). בהעדר אמצעי הדברה נאותים עשויים להגיע נזקי מחלות הצמחים ל- 30-50% במהלך הגידול בגידולים חשובים ולכן השפעת מחלות הצמחים הינה רבה באזורים מסוימים. בנוסף, נזקי מחלות לאחר הקטיף, בעת האחסון, המשלוח והשיווק מביאים לאבדן תוצרת רבה בהעדר תנאים מתאימים (ברקאי-גולן, 1997). הנזקים לפני ואחרי קטיף ממחישים את התלות באמצעי הדברת מחלות ואת הצורך בפיתוח כלים להדברה יעילה. בפרק הנוכחי יתוארו מאפיינים כלליים של מחלות צמחים ביוטיות ותחומי מדע הפיטופתולוגיה העוסק במחלות אלה. שם זה (Phytopathology באנגלית) מקורו ביונית ומשמעותו לימוד (logos) הסבל (pathos = מחלה) של הצמח.

גורמי מחלה ביוטיים

גורמי מחלות בצמחים נמצאים בקשר של פתוגנזה עם צמחים. פתוגנזה היא השלב של המחלה בו גורם המחלה או חומרים שהוא מייצר נמצאים בקשר בלתי אמצעי עם רקמה צמחית חיה. תהליכי הפתוגנזה הינם א' אילוח (Inoculation) - הגעה של גורם המחלה לאתר ההדבקה שבו תתבצע החדירה לרקמת הצמח. אתר זה נמצא בפני אברי הנוף או השורש, על פני רקמה לא פצועה, בפצעים, פיוניות, הידטודות, עדשתיות (Lenticels) או פתחים טבעיים אחרים; ב' דגירה (Incubation) - תקופה שבין הגעת הפתוגן לאתר ההדבקה לזמן הופעת סימני המחלה, בתקופה זאת חודר הפתוגן לרקמת הצמח, גדל ומתרבה בה; ג' זיהום (הדבקה = Infection) - הופעת תסמיני המחלה תוך התבססות הפתוגן ברקמה והתפשטותו. היכולת להדביק ולגרום למחלה מבוססת על פקטורים של וירולנטיות ובהם רעלים, אנזימים מפרקי פולימרים שבדופן תאי הצמחים, הורמונים המשפיעים על הגידול התקין של תאי הצמח או פקטורים המופרשים על ידי מערכת ההפרשה מסוג 3 של חיידקים (Type III Secretion System) ומערכות אחרות כגון מערכת מסוג 5 (פרק על גורמי וירולנטיות בחיידקים פתוגנים לצמחים).

פתוגנים יכולים להיות בעלי אופי ביוטרופי, נקרוטרופי או המי-ביוטרופי. ביוטרופים (טפילים בהכרח) נזקקים לרקמת צמח חיה לשם קיום חייהם ורק שלב מוגבל ביותר, כמו נביטת נבגים היכולה להתקיים במים בהעדר הצמח. דוגמות לפתוגנים ביוטרופים הינן פטריות הגורמות למחלות קימחון וחלדון בצמחים שונים, נגיפים, חיידקים וחיידקונים. גורמי מחלה נקרוטרופיים, בחלק ממחזור חייהם, לא נמצאים בקשר עם הצמח החי וניזונים מרקמה מתה ומחומר אורגני כמו חיידקים המפרישים טוקסינים (לדוגמה *Pseudomonas syringae*) או אנזימים פקטוליטיים (מיני *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*), פטריות כגון גורמי עובש אפור (*Botrytis cinerea*), קשיונה גדולה (*Sclerotinia sclerotiorum*), גרב (מיני *Venturia*), מק שורש (*Rhizoctonia solani*) ואוואומיצטים כגון גורמי המקמקת (מיני *Pythium*). פתוגן המיביוטרופ הינו בעל שלב ביוטרופי אך בשלב אחר בכדי להשלים את מחזור חייו ובעיקר בכדי להנביג, הוא "הופך" לנקרוטרופי ומתקיים מרקמת צמח מתה אותה הוא הורג על ידי הפרשת רעלים, אנזימים וחומרים אחרים בדומה לנקרוטרופים. לדוגמה האוואומיצט *Phytophthora infestans* הגורם לכימשון בעגבנייה ותפוח אדמה הינו בעל שלב מוקדם רדום, ביוטרופי ועם התמוטטות רקמת הצמח האוואומיצט מתפתח על חומר צמחי רקוב ומת.

סימני מחלה ותסמינים (סימפטומים)

תיאור מחלה מתבסס על תסמינים (סימפטומים, Symptoms) וסימנים (Signs). סימנים, בדרך כלל ייחודיים למחלה, הינם מבנים שהפתוגן יוצר או שנוצרים תוך אינטראקציה בין הפתוגן והמאחסן, לדוגמא נבגי פטרייה, קורים ונבגים היוצרים עובש כדוגמת עובש אפור (*Botrytis cinerea*) וקורים לבנים בקשיונה גדולה (*Sclerotinia sclerotiorum*), צברי נבגים של חלדונות שונים, נבגים וקורים לבנים של קימחונות שונים, קשיונות פטרייה סביב צמח נגוע (*Sclerotium rolfsii*) זיבת נוזל (Ooze) המכילה חיידקים בחירכון (*Erwinia amylovora*), ריח ברקמה נגועה בריקבון רך חיידקי (*Pectobacterium carotovorum*) (איור 5). תסמינים של מחלה הם המכלול הנראה בצמח כתוצאה ממחלה ובכלל זה הצהבה, התייבשות רקמה, כתמים, נבילה, עפצים, כיבים, גימרון. התסמינים יכולים להיות מקומיים או סיסטמיים ורחוקים מאתר ההדבקה. ביחד עם סימני המחלה נוצר מכלול (סינדרום) המחלה.

את המחלות ניתן לאבחן בדרכים שונות. הגישה החזותית בוחנת את הסימנים והתסמינים לפי מראם ובהתאם לידע מוקדם באשר למחלה בגידול הנבחן. באמצעות מיקרוסקופ ניתן לזהות מיקרואורגניזמים על גבי הצמח או לאחר בידודו וגידולו של גורם הנזק. כדי לבדוד ולאבחן את גורם המחלה יש צורך לערוך מבחנים שונים המתאימים לסוגים השונים של גורמי המחלה (ראו פרק שיטות אבחון מתקדמות למחלות הנגרמות ע"י חיידקים בצמחים). כדי להוכיח את אחריותו של גורם המחלה פועלים לפי עקרונות קוך (Koch's postulates) לפיהם א' מבודדים מיקרואורגניזם מרקמה חולה וכזה שהיה בקשר הדוק עם המחלה בצמח, שומרים בתרבות נקייה ובמידת האפשר מזהים אותו באמצעים קלאסיים, סרולוגיים או מולקולריים; ב' אילוח צמח בריא מאותו מין בתרבות נקייה של גורם המחלה הנבחן ואיתור סימנים ותסמינים של המחלה כפי שנראו במקור בצמח החולה; ג' בידוד מחדש של גורם המחלה מהצמח המודבק וזיהוי כדי לוודא התאמה למיקרואורגניזם שבדוד מהצמח החולה (קטן, 1998).

קבוצות מחוללי מחלות ביוטיים

מחוללי מחלות נמנים על אורגניזמים ומיקרואורגניזמים לפי מאפיינים טקסונומיים (מתואר בהמשך). חלקי הצמח הנתקפים על ידי מחוללי המחלות אף הם מהווים אפיונים לחלוקה של קבוצות מחוללי מחלות. מחלות המועברות בקרקע התוקפות שורשים וחלקי צמח תת קרקעיים נגרמות על ידי מיקרואורגניזמים שהקרקע והשורשים מאכלסים אותם במירב או בכל מחזור חייהם. על מחלות המועברות בקרקע נמנים נגיפים כגון אלו המשתייכים לסוג *Tobamovirus* (טובמווירוסים) *Cucumber green mottle mosaic virus* (CGMMV). אך ידועים גם נגיפים המועברים בקרקע ע"י זואוספורות של פטריות קרקע כדוגמת מחלת העורקים המעובים של החסה המועברת באמצעות מיני אולפדיום (*Olpidium*). המחלה נגרמת כתוצאה מהדבקה בנגיף *Mirafiori lettuce big-vein virus* (MLBVV) ולעיתים כקומפלקס נגיפי בשילוב עם הנגיף *Lettuce big-vein associated virus* (LBVaV) (Opatovsky et al., 2019). כמו כן בקרקע חיידקים *Agrobacterium tumefaciens* או *Streptomyces scabies* ואוומיצטים כגון מיני *Pythium*, ופטריות כגון *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium oxysporum* מיני *Verticillium* והם מושפעים מתנאי הקרקע, מאכלסים את הריזוספירה ותוקפים בדרך כלל את חלקי הצמח התת-אדמתיים.



איור 5. סימנים ותסמינים במחלות צמחים. למעלה מימין לשמאל: חירכון בחנט אגס (*Erwinia amylovora*), סימפטום ריקבון וסימן נוזל זיבה עם חיידקים (Ooze) במרכזו; קימחון הדלועיים (*Podosphaera xanthii*) בעלה מלפפון, סימני קורים ונבגים לבנים וסימפטום הצהבה, הבהרת העלה והלבנה; קשיון רולפס (*Sclerotium rolfsii*) באיריס עם סימפטומי נבילה ותמותה וסימני קשיונות של הפטרייה. למטה מימין לשמאל: סימפטומי ריקבון והצהבה בקשיונה גדולה (*Sclerotinia sclerotiorum*) בעגבנייה וסימני תפטיר לבן וקישיון; סימפטום ריקבון בפרי תות שדה נגוע בעובש אפור (*Botrytis cinerea*) וסימני נבגי הפטרייה; סימפטום הצהבה והתייבשות עלה וסימני חילדון עלי החיטה (*Puccinia triticina*).

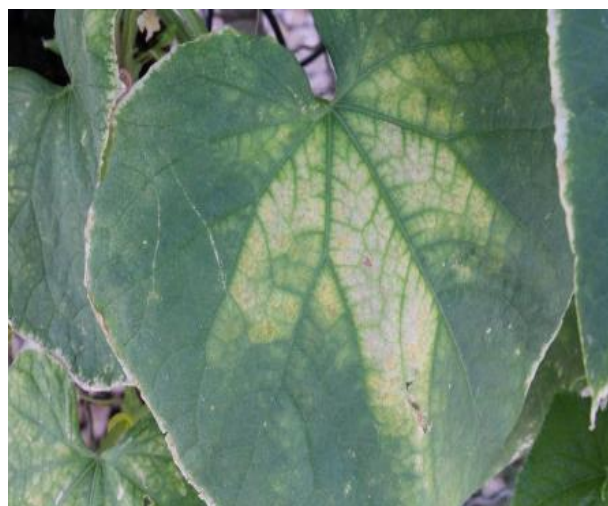
מחלות נוף נגרמות על ידי פתוגנים של חלקי הצמח העל קרקעיים – גבעול, ענפים, עלים, פרחים ופירות. על גורמי המחלה נמנים נגיפים ונגיפונים רבים, חיידקים כגון *Erwinia amylovora*, אוואומיצטים כגון *Phytophthora infestans* ומינים רבים הנמנים על סוגים כגון *Peronospora*, *Pseudoperonospora*, *Bremia* מחוללי הכשותיות, פטריות כגון *B. cinerea*, מחוללי מחלות חילדון, קימחון ועוד. מחלות לאחר קטיף

(אחסון) תוקפות את התוצר החקלאי לאחר שהופרד מהגידול. הן נגרמות בדרך כלל על ידי חיידקים, פטריות ובכללן שמרים ובמקרים רבים מקור המידבק וההדבקה עצמה נובעים בשדה המניב אך מתבטאים רק לאחר קטיף.

נגיפים ונגיפונים – Viruses and viroids

הקטנים בין גורמי מחלות צמחים הינם נגיפים ונגיפונים (לובנשטיין, 1993). החלקיק המדביק נקרא ויריון אשר גדלו בין 20 ל- 400 ננומטר. לנגיפים יש מעטפת מבנית (Capsid) עשויה חלבון ואילו הנגיפונים הינם חסרי חלבון מבני. בהיותם טפילים אובליגטוריים יכולים יצורים אלה להתרבות בתוך תאי הצמחים הפונדקאים ובדרך כלל לכל צמח יש כמה נגיפים ו\או נגיפונים התוקפים אותו וגורמים נזק. דוגמאות לכמה מחלות נגיפיות הן Potato virus Y בתפוח אדמה, Cucumber mosaic virus (CMV) בעגבנייה, פלפל ומיני דלועיים כגון מלפפון מלון ואבטיח, הדורים Citrus tristeza virus (CTV).

סימפטומים של מחלות נגיפיות כוללים שינויי צבע – הצהבה, נינוס, נימור, הבהרת עורקים או הבהרה בין העורקים; עיוותים - עיוות עלים ופרחים, יצירת שושנת עלים (Rosette), הנצה וגידול מוגבר של ענפים (מקובל לקרוא לתופעה זו 'מטאטא מכשפה', העדר התפתחות עלים; תמותה (נקרוזה) – כתמי עלים, כתמים טבעתיים, פסים, נבילה והחלשות הצמח, תמותה פנימית; נינוס – של עלים גבעולים וכלל הצמח (איור 6). צמחים נגועי נגיף עשויים להיות רגישים לגרמי מחלה נוספים (ראו פרק שילוב גרמי מחלה). נגיעות בנגיף עשויה להיות רדומה. מעבר נגיפים והדבקה עשויים להיות במגע, בפצעי צמח, בשורשים פצועים, הרכבה, אבקת צמחים ובזרעים. נגיפים רבים מועברים על ידי פרוקי רגליים. כנימות עלה משמשות כווקטורים נפוצים ולצדם ציקדות, תריפסים, קמחיות וחגבים. לעיתים משמש הווקטור גם כאתר ריבוי לנגיף. מעט נגיפים מועברים בקרקע ולהם לעיתים וקטורים בדמות נימיות ורכיכות.



נגיפי הבהרה והצהבה בדלועיים *Cucurbit chlorotic yellows virus (CCYV)* *Crinivirus*
בעלה מלפפון (שמאל) וגימרון דלועיים צהוב
Cucurbit yellow stunting disorder (CYSDV)
Crinivirus בעלה מלפפון (ימין למעלה) ובמנהרת
מלון.



נגיף כתמי נבילת העגבנייה *Tomato spotted wilt virus (TSWV)* *Tospovirus* בשתילי פלפל (ימין ובשתילי
עגבנייה (שמאל)



נגיף צהבון אמיר העגבנייה *Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) Begomovirus* בעגבנייה ונגיף
נימור-חציל מתון *Eggplant mild mottle virus (EMMV) Cucumovirus* בחציל



נגיף צהבון אמיר הפלפל *Pepper yellow leaf curl virus (PYLCV)*



נגיף מוזאיקת המלפפון *Cucumber mosaic virus (CMV) Cucumovirus* בפלפל



נגיף כתמי נבילת העגבנייה *Tospovirus* (TSWV) *Tomato spotted wilt virus* בפלפל



נגיף נימור-פלפל מתון *Tobamovirus* (PMMoV) *Pepper mild mottle virus*

איור 6. מגוון תסמיני מחלות הנגרמות על ידי נגיפים בגידולי ירק, כמפורט מתחת לתמונות שלעיל. תמונות על ידי יגאל אלעד, אביב דומברובסקי וזיו שפיגלמן

חיידקים, חיידקונים וברגונים - Spiroplasma, Phytoplasma Bacteria

כפי שמתואר בפרק על חיידקים (ראו פרק חיידקים) החיידקים הינם מיקרואורגניזמים פרוקריוטים חד תאיים אשר חומר הגרעין שלהם לא נתון בתוך ממברנה (וולקני, 1985; קריצמן, 1998). חיידקים מתחלקים לשתי קבוצות, Eubacteria ו- Archaeobacteria לפי מבנה דופן התא, הממברנה הציטופלסמטית ואפיונים מטבוליים. פתוגנים של צמחים נמנים על ה Eubacteria אשר כוללים שלוש קבוצות: חיידקים גראם שליליים, חיידקים גראם חיוביים (שונים במבנה הדופן ומגיבים שונה לצביעת גראם) ואורגניזמים דמויי מיקופלסמה (mycoplasma-like organisms (MLOs)), הלא הם חיידקונים (Phytoplasma) וברגונים (Spiroplasma). המיקרואורגניזמים דמויי המיקופלסמה הינם בעלי ממברנה ציטופלסמטית וחסרי דופן תא. הם גורמים בדרך כלל למחלות צמחים שמאופיינות בדעיכת הצמח, אבדן און הגידול ופחיתה ביבול או בהורקה של פרחים והתפתחות צמח לא נורמלית (ראו פרקי חיידקים, וחיידקים שוכני עצה וחיידקים שוכני שיפה).

סוגים של חיידקים פתוגנים כגון *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Xylella* הם מיקרואורגניזמים שתאיהם בצורת מתג ברוחב 0.5-1.0 מיקרומטר ואורך 1.0-3.5 מיקרומטר. בנוסף קיימים מיני *Streptomyces* שהינם חיידקים בעלי מבנה של קורים המפתחים מקלעת קורים ושרשראות נבגים מעוקלות. החיידקים גורמים לנבילה הנובעת מסתימת צינורות הובלה, ריקבון רך, נמק יבש (נקרוזיס) או עפצים. דוגמאות למחלות הנגרמות על ידי חיידקים: ריקבון רך חיידקי בגידולים רבים (*Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*), נבילה חיידקית (*Clavibacter michiganensis*, *Dickeya solani*) ומיני *Pseudomonas*, עפץ חיידקי (*Agrobacterium tumefaciens*, *Pantoea agglomerans*), גרב (מיני *Streptomyces*) וכתמי עלים חיידקיים הנגרמים ע"י חיידקים מקבוצות שונות כמו מיני *Pseudomonas*.

חדירת החיידקים לצמחים הינה דרך פצעים, פתחים טבעיים כגון פיוניות והידטודות, בלוטות מייצרות נקטר וצללקות. הם נפוצים עם טיפות מים, גשם, מועברים בהרכבה, גיזום, על חומר ריבוי ובזרעים ובאמצעות חרקים. לדוגמא, העברת חיידקונים בגזר נעשית על ידי ציקדות ונגרמת מחלת ציהבון. תיאור מפורט על חיידקים גורמי מחלות בצמחים יובא בפרקי מחלות הנגרמות ע"י חיידקים בצמחים בישראל.

אואומיצטים ופטריות

ממלכת הפטריות כוללת אורגניזמים אאוקריוטים ובה נכללים שמרים ופטריות רב תאיות יוצרות קורים. תאי הפטריות כוללים גרעין עטוף בממברנה ובעלי דופן תא, ואין בהן כלורופיל לכן הן הטרוטרופיות. רבות מהפטריות יוצרות נבגים אל-מיניים ולחלקן שלב מיני שבו לנבגים המיניים חשיבות בהדבקת צמחים. קוטר קורי הפטרייה או נבגיה עשוי להיות מיקרונים בודדים ובמקרים רבים ממדי התאים מגיעים לעשרות מיקרונים. פטריות גורמות לכשני שלישי ממחלות הצמחים הביוטיות. חלק מהמחלות הנגרמות על ידי פטריות הינן סוגי חילדון רבים, סוגי קימחון רבים, גחלון, גרב, סוגי פחמון, כתמת, כיבים, עובשים, ריקבון, שורש, גבעול, פרי, גזע פרחים ועלים, נבילה, מללת (Dieback), עפצים באברי צמח שונים ובנבטים וצמחים צעירים - חולי נופל. כל הגידולים נתקפים על ידי פטריות.

הנבגים שנוצרים בגדלים שונים הינם רבים ונישאים בזרמי אוויר, בטיפות מים, בקרקע, עם חלקי צמח ושאריות צמחים נגועים ועם חרקים וציפורים והם אחראים להדבקת צמחים בתנאים מתאימים, אם כי גם קורי פטרייה, קשיונות ותאי הישמרות אחרים אחראים במקרים שונים להדבקה. בעבר נכללו בין הפטריות גם האואומיצטים כפטריות ירודות (קטן וחוב', 1998) אך חלוקה סיסטמתית חדשה הפרידה את האואומיצטים מממלכת הפטריות.

אואומיצטים כוללים כמה מהפתוגנים הקשים ביותר של צמחים. הם גורמים לתמותת נבטים, ריקבון שורש וגזע, כימשון ומחלות עלים ופרי בגידולים שונים. לאואומיצטים יש קורים אם כי אין בהם מחיצות בדרך כלל כך שהקורים הם רבי גרעינים. הגרעינים בדרך כלל דיפלואידים. דופן התאים מורכב מ β -1,3 ו- β -1,6 גלוקנים ולא כיטין המצוי בפטריות. מיני אואומיצטים רבים יוצרים זואוספורות שהן נבגים חסרי דופן שוחים בעלי צמד שוטונים. הזואוספורות נוצרות במבנים הנקראים ספורנגיה. במינים בהם אבדה יכולת יצור

הזאוספורות הספורנגיום משמש כנבג. שלב מיני מתרחש במפגש בין אואוגוניום לאנטרידיום והאואוגוניום המופרה מתפתח לאואוספורה עבת דופן אשר במקרים רבים שורדת זמן רב.

גורמי מחלה הנמנים על האואומיצטים הינם מיני כשותיות רבים התוקפים מיני צמחים שונים וגורמים בדרך כלל פגיעות בעלים. מיני *Pythium* גורמים בעיקר למחלות נבטים ושורש. מיני *Phytophthora* גם הם פתוגנים חשובים ובניהם *P. infestans* גורם הכימשון בתפוח אדמה ועגבנייה הינו מחשובי הפתוגנים בהיסטוריה האנושית ועד היום. מינים נוספים *Phytophthora* גורמים מחלות בעצים ובהם ריקבון רטוב של גזעי עצים, ושורשים וריקבון חום בפירות הדר (איור 7).

מחקרים חדשים מדווחים על חשיבות השילוב בין גורמי מחלה שונים אשר תוצאתה החמרה בחומרת מחלות. לדוגמא, התמוטטויות נרחבות בעלות אופי כתמי כפי שמתרחש במחלות קרקע קיים בחממות מלפפון בצמחים הנגועים בנגיף *Cucumber green mottle mosaic virus* (CGMMV). הצמחים בנוסף לנגיף נגועים גם ב-*Pythium* והנגיעות המשולבת בשני פתוגנים אלו מביאה להחמרת המחלה המתבטאת באפקט סינרגיסטי. שני מיני *Pythium* עיקריים מעורבים, *Pythium spinosum* בתנאי החורף ו-*P. aphanidermatum* בתקופת הקיץ החמה והפתוגן הגורם לריקבון כתר המלפפון, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radices cucumerinum* (Philosoph et al., 2019). כלי מחקר חדשים ישפכו אור על מקרים נוספים של אינטראקציה סינרגיסטית בין גורמי מחלה. בעתיד מחקר מעמיק יחשוף את תופעת החמרת נזקים בגידולים כתוצאה משילוב בין גורמי מחלה ויצביע על צורך בשכלול ושילוב במאמצי הדברה.

תהליכי פתוגנזה

פתוגנזה נלמדה במספר רב של גורמי מחלה אך הידע באשר לדרכי גרימת המחלה על ידי פתוגנים שונים הינו מגוון ומשתנה בהתאם לפתוגן, צמח הפונדקאי, שנות המחקר והאמצעים שהיו מצויים בידי החוקרים באותה עת. תהליך ההדבקה נשלט על ידי מספר גורמים חיצוניים ופנימיים בפתוגן ובצמח ומתבצע תוך כדי אינטראקציה בין גורמים שמפעיל הפתוגן לגורמים המופעלים בצמח. לוקחים חלק באינטראקציה אנזימים מפרקי דופן תאי הצמחים (מיני פקטינאזות וצלולאזות, קוטינאז, ליפאז ופרוטאזות) המופעלים על ידי הפתוגן והצמח, רעלנים המופרשים על ידי הפתוגן, אפקטורים מסוג 3, מערכי הגנה של תאי הצמח ופעולות התמודדות של הפתוגן עם מערכי ההגנה וחומרים מעכבים של הצמח. מעורבים בצמח חלבונים והורמונים צמחיים ומתרחשים תהליכי שיעתוק ושפעול גנים אשר קשורים בתהליכי ביוסינטזה ופירוק של חומרים שונים.

התהליכים בצמח ובפתוגן נשלטים על ידי גנים רבים המפקחים חיובית או שלילית על שלבים שונים בתהליכי הפתוגנזה בפתוגן והתמודדות הרקמה בפונדקאי. מערך ההגנה בצמח מורכב מאמצעים קבועים וקיימים בקוטיקולה, בדפנות תאים ובתוכם ומתהליכים המושרים על ידי הפתוגן ובהם הבססה (אלקליזציה) ופרץ תרכובות חמצן וחנקן פעילות, המתרחשות תוך זמן קצר ממועד זיהוי הפתוגן על ידי הצמח, וכן בתגובות מורכבות וממושכות, הכוללות שינוי של דפוס ביטוי הגנים בצמח, וכתוצאה, שינוי מערך החלבונים והמטבוליטים (ראו פרק תהליכים תאיים בתגובות הגנה בצמחים). אינפורמציה נוספת מופיעה בפרק גורמי וירולנטיות בחיידקים פתוגנים לצמחים.



איור 7. דוגמאות למחלות הנגרמות על ידי אאומיצטים. למעלה מימין כימשון (*Phytophthora infestans*) בעלה תפוח אדמה ופרי עגבנייה (משמאל) תמונות על ידי יגאל אלעד, בשורה אמצעית מימין כשותית הדלועיים (*Pseudoperonospora cubensis*) במלפפון ומשמאל כשותית הגפן (*Plasmopara viticola*), תמונות על ידי יגאל אלעד ובשורה התחתונה מימין ריקבון חום בהדרים על פרי קלמנטינה מזן אור (*Phytophthora nicotianae*), התמונה צולמה על ידי אברהם סדובסקי; ומשמאל עץ לימון בן 10 שנים נגוע ב *Phytophthora citrophthora*, נגיעות הגורמת להפרשת שרף (גומוזיס) ומחלת ריקבון שורש, צולם על ידי עמוס עובדיה בפרדס בכפר בילו.

הישרדות גורמי ריבוי של פתוגנים

הישרדות גורמי ריבוי של מחלות צמחים מושפעת מתנאי המיקרואקלים. ככל שהטמפרטורה תהיה גבוהה יותר כן משך ההישרדות ושעור גורמי הריבוי השורדים יפחתו. גרעון לחץ אדים גבוה יותר (לחות יחסית נמוכה יותר) פוגע ביכולת ההישרדות של גורמי ריבוי. בנוסף, בעת הישרדות בקרקע נתונים גורמי הריבוי של הפתוגנים לפרוק מיקרוביאלי. פתוגנים הנתונים בשאריות צמחים ישרדו זמן רב בהיותם מוגנים על ידי הרקמה הצמחית שמסביבם. בדומה, פתוגנים המועברים בקרקע ישרדו ברגבי אדמה. לגורמי מחלה מסוימים יש אמצעי הישרדות המאפשרים מעבר תנאים קשים ובהם, נבגים עבי דופן, כלמידוספורות, אואוספורות (באואומיצטים) קשיחות שהן צברי תאים דחוסים. חיידקים יכולים להישרד טוב יותר על ידי יצירת ביופילים ויצירת נבגים (ספורות) עמידים. במקרים מסוימים פתוגן משתמש בפונדקאי נוסף בכדי לשרוד תקופה בשנה בה הפונדקאי הראשי שלו לא מאפשר קיום מחזור חיים של הפתוגן כך לדוגמה הפטרייה *Colletotrichum acutatum* התוקפת תות שדה עשוי לחרוף על עשביה (Freeman et al., 2001).

תנאי סביבה המשפיעים על מחלות צמחים

התנאים המשפיעים על התפתחות מחלות כאשר קיימים גורם מחלה וצמח רגיש הינם טמפרטורה, לחות יחסית ורטיבות נוף, רטיבות קרקע, pH של הקרקע, סוג הקרקע (קלה או כבדה וחרסיתית) או מצע הגידול יסודות הזנה ופוריות הקרקע (ראו פרק בקרת מחלות צמחים באמצעים קולטורלים).

לכל פתוגן ומחלה יש תנאי מיקרואקלים להתפתחות ולכל אחד מתנאי הסובב יש טמפרטורות המאפשר את התפתחות הפתוגן והתרחשות המחלה. בכל פתוגן שלבים שונים כגון נביטה, גידול קורים, חדירה לרקמה, התפתחות, התרבות בתוך התא או הרקמה, יצירת אברי ותאי הישמרות, הנבגה, והפצת מדבק, מושפעים יותר על ידי סט של תנאים מסוים ולא על ידי תנאים אחרים. בגורם מחלה אחד, כל שלב עשוי להיות מושפע במידה שונה מאותו גורם סביבתי. לדוגמה, בפטרייה *B. cinerea* מחוללת עובש אפור בגידולי רבים, יצירה, פיזור ונביטה של הנבגים על הרקמה הצמחית נעשים בתנאי טמפרטורה שונים. יצירת הנבגים מתרחשת בטיפת מים ומוגברת על ידי לחות יחסית גבוהה בעוד שחרור ופיזור הנבגים מתרחש בעת השתנות הלחות היחסית מגבוהה לנמוכה. נביטת נבגים דורשת נוכחות טיפת מים בעוד גידול קורי הפטרייה בתוך הרקמה לא מצריך לחות יחסית גבוהה ורטיבות מסביב לרקמת הצמח המודבקת כי בתוך הרקמה מצויים תנאי רטיבות מיטבית. הטמפרטורה המיטבית ליצירת מחלת העובש האפור הינה 15-22 מ"צ וטווח הטמפרטורה הינה 1-25 מ"צ אך טווח ההישרדות הינו רחב יותר.

מחלות צמחים ככלל או שלבים מסוימים במחזור החיים של גורם המחלה מושפעים מלחות יחסית כך שיש כאלה שהינם מוגברי לחות ואחרים שלחות יחסית גבוהה אינה דרושה להם. לדוגמה, כימשון עגבנייה ותפוח אדמה (*P. infestans*) הינה מחלה מוגברת לחות אשר מתעודדת בלחות יחסית גבוהה ודורשת רטיבות לתנועת זואוספורות והדבקה. לעומת זאת הדבקה בקמחונות רבים אמנם מעודדת בלחות יחסית גבוהה אך הנבגים מתים בטיפת מים מחד ומאידך המחלה שורדת במידה רבה על גבי נוף הצמחים בתנאי לחות יחסית נמוכה.

רטיבות קרקע גבוהה או נמוכה עשויה להיות הגורם בהתפתחות מחלות ריקבון שורש. מיני פתוגנים הנמנים על הסוגים *Aphanomyces*, *Pythium*, *Phytophthora* מעודדים ברטיבות קרקע גבוהה. עודף השקיה וריבוי מים בקרקע מפחיתים את זמינות החמצן לשורשים ומעלות את ריכוז הפחמן הדו חמצני בקרקע כך שהשורשים עשויים להפוך לרגישים יותר לאורגניזמים הגורמים לריקבון שורשים. לעומת זאת קישיון הבטטה (*Macrophomina phaseoli*) בגידולים שונים וגרב מצוי בתפוח אדמה (*Streptomyces scabies*) הינם חמורים בתנאי רטיבות קרקע נמוכה כך שהקפדה על רטיבות נאותה יפחיתו את נזקיהן של מחלות קרקע אלה.

תהליכי התגוננות בצמחים אף הם מושפעים מתנאים כגון, טמפרטורה וריכוז יסודות הזנה, תנאים אשר עשויים לקבוע את מידת יכולת ההגנה, הופעת מחלה או חומרת המחלה. לחילופין ייתכנו תנאים שימנעו מחלה בגידולים שונים ואילו באחרים יגרמו נזק. בטמפרטורה נמוכה (>6 מ"צ) נמנע ריקבון בפירות ובירקות שונים. לעומת זאת לא ניתן למנוע מחלות הנגרמות על ידי חיידקים ופטטריות בבזיל מתוק מאחר ובטמפרטורה מתחת ל-11 מ"צ נפגעת הרקמה בעלי הצמח הקטוף. מאחר ותנאים להדבקה והתפתחות מחלה הינם לעיתים גורם הכרחי לקיומן הבקרה שלהם עשויה למנוע את המחלה, כמתואר בהמשך ובפרק הדברה תרבותית. הזנת הצמח משפיעה גם היא על מחלות צמחים (Engelhard, 1989). ריכוז גבוה של חנקן מעודד מחלות מסוימות כגון חירכון (*Erwinia amylovora*) באגס או תפוח, מחלות עובש אפור (*B. cinerea*) וקשיונה גדולה (*S. sclerotiorum*) בגידולים מסוימים, קימחון (*Blumeria graminis*) בחיטה וקמחונות נוספים. לעומת זאת מחלות עשויות להיות חמורות בתנאי ריכוז נמוך של יסודות אשלגן, סידן ומגנזיום (ראו פרק הזנה ומחלות צמחים).

בקרת מחלות צמחים

המצב הנפוץ יותר במערכות צמחים טבעיות הוא העדר מחלה או קיום הצמחים בצד גורמי המחלות. במעשה החקלאי, כאשר מגדלים צמחים בצפיפות, על פני שטחים גדולים ולעיתים ללא תחלופת גידולים, מתרבות המחלות ואף עלולות להתעצם. כדי לבקר מחלת צמחים יש צורך להכיר את גורם המחלה, מחזור חייו, תגובת הצמח החולה, תנאי הסביבה מעודדי המחלה והתנאים המשפיעים על הישרדות גורם המחלה.

בקרת מחלות מתחילה עוד לפני תחילת הגידול, בעת בחירת מין הצמחים, הזן, חומר הריבוי, בעת הכנת השטח ועד אופן הזריעה או השתילה, והאמצעים בשדה המשפיעים על גידול הצמחים והתנהגות גורמי המחלה. בקרת המחלות הינה מאמץ מתמשך במהלך הגידול וממשיך להיות חשוב גם לאחר הקטיף, בעת המשלוח והאחסון. מאחר ובדרך כלל מחלת צמחים אינה מודברת על ידי אמצעי הדברה בודד, בכל שלבי בקרת המחלות יש צורך להפעיל במשולב אמצעים תרבותיים (אגרוטכניים), כימיים וביולוגיים (ראו פרקים בנושא). מאמצי בקרת נזקים מועצמים מאחר ובדרך כלל הגידול נתקף על ידי מחלות, פרוקי רגליים, עשבים ועוד פגעים – כולם ביחד דורשים הדברה משולבת. לצורך התמודדות עם מחלת צמחים ננקטות פעולות כנגד המדבק של גורם המחלה, הרחקת מדבק ומניעת הגעתו לצמח, השמדת גורם המחלה, הגנת הצמח, פיתוח עמידות בצמחים וריפוי הצמח הנגוע.

הימנעות מגורם מחלה חשובה כדי שלא יבוא במגע עם הצמחים וזאת באמצעות השמדת מדבק, הרחקת חומר ריבוי מזוהם, חיטוי חומר הריבוי והפעלת כללי הסגר. כשהפתוגן נמצא בשטח יש צורך בחיטוי הקרקע ובהוספת תוספים לקרקע אשר פועלים נגד הפתוגנים, או באמצעי סניטציה, גיזום חילוף גידולים ('מחזור זרעים') וכיוצא בזה. הגנה ישירה על הצמח מתקבלת באמצעים תרבותיים (ראו פרק) ובקרת הסובב את הצמחים הן לשינוי תנאי המיקרואקלים והן להזנה מתאימה (ראו פרק השפעת שינויי אקלים ופרק הזנה ומחלות צמחים). ניתן לבקר את הווקטורים של המחלות וליישם חומרי הדברה אשר מעכבים או הורגים את גורמי המחלה או משרים את עמידותו (ראו פרק השראת עמידות). בין חומרי ההדברה ומשרני העמידות קיימים חומרים כימיים ותכשירים ביולוגים. מבין חומרי ההדברה יש כאלה אשר לא רק מגנים בפני הדבקה עתידית אלא גם מרפאים את הצמח המודבק. עקב אכילס של הפסטיצידים הכימיים היא השפעתם על אורגניזמים אחרים ופגיעה בסביבה, וכן הנטייה לאובדן יעילות בגלל פיתוח עמידות כלפיהם על ידי חלק מגורמי הפגע. האמצעי היעיל ביותר הוא עמידות של הצמח כנגד הפגע כלפיו בעבר הזנים הקיימים היו רגישים. העמידות הגנטית יכולה להיות מונוגנית, ספציפית ועמידות אופקית, לא ספציפית המבוססת על ריבוי גנים.

עמותה ישראלית למחלות צמחים

מחלות צמחים הן מעניינם של חקלאים, אנשי הגנת הצומח, מדריכים חקלאיים, פקחי הגנת הצמח, אנשי תעשיות חקלאיות וחברות תשומות לחקלאות וחוקרים. העמותה למחלות צמחים בישראל מאגדת את העוסקים ומתעניינים במחלות צמחים. העמותה נוסדה בשנת 1968 ופועלת במגוון צורות לקידום נושאים הקשורים למחלות צמחים בישראל. בין היתר הנהלתה מארגנת כינוסים מדעיים בנושאי מחלות צמחים יישומיים ובסיסיים. באתר העמותה מצויה רשימת שמות עבריים של מחלות צמחים המופיעים בצד שמות המחלות באנגלית ושמות גורמי המחלה (אלעד וחוב'). אלה הם השמות העבריים הרשמיים וגורמי המחלה המזוהים בישראל באמצעים הקיימים.

מובאות

אלעד י', אושר ר', דינור ע', לוי ע', סקוטלסקי י', שפיגל ש' וכסלו מ' מחלות צמחים.

<https://phytopathology.org.il/%D7%9E%D7%97%D7%9C%D7%95%D7%AA-%D7%A6%D7%9E%D7%97%D7%99%D7%9D/>

ברקאי-גולן, ר' (1997) מחלות הפרי והירק הקטופים, התפתחותן והדברתן. הוצאת המחלקה לפרסומים מדעיים, מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן 223 ע'.

וולקני צ' (1985) מחלות חיידקים בצמחים בישראל. מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן ומוסד ויצמן לפרסומים במדע, ירושלים. 380 ע'.

נבו ד' (1992) פגעים בגידולים חקלאיים והדברתם בארץ-ישראל בתקופת המקרא והמשנה. עבודת דוקטוראט, אוניברסיטת בר אילן 390 עמ'.

קטן י' (1998) מחלות ומעורריהן, א' עקרונות היסוד של מחלות צמחים. בספר מחלות צמחים בישראל, הוצאת המחלקה לפרסומים מדעיים, מרכז וולקני, בית דגן, עורכים: רותם י', פלטי י' ובן יפת י', ע' 17-29.

קטן י', קנת ר' וחת א' (1998) מחלות ומעורריהן, ב' מחלות פטריות. בספר מחלות צמחים בישראל, הוצאת המחלקה לפרסומים מדעיים, מרכז וולקני, בית דגן, עורכים: רותם י', פלטי י' ובן יפת י', ע' 31-39.

קריצמן י' (1998) מחלות ומעורריהן, ג' חיידיקים מחוללי מחלות צמחים. בספר מחלות צמחים בישראל, הוצאת המחלקה לפרסומים מדעיים, מרכז וולקני, בית דגן, עורכים: רותם י', פלטי י' ובן יפת י', ע' 17-29.

לובנשטיין ג' (1993) וירולוגיה של צמחים עקרונות ויישום. הוצאת המחלקה לפרסומים מדעיים, מרכז וולקני, בית דגן 234 ע'.

- Antignus Y., Lachman O., Pearlsman M., Maslenin L., and Rosner A. (2008) A new pathotype of Pepper mild mottle virus (PMMoV) overcomes the L4 resistance genotype of pepper cultivars. *Plant Disease* 92: 1033-1037.
- Elad Y., Omer C., Nisan Z., Harari D., Goren H., Adler U., Silverman D. and Biton S. (2016) Passive heat treatment of sweet basil crops suppresses *Peronospora belbahrii* downy mildew. *Annals of applied Biology* 168: 373–389.
- Engelhard A. W. (ed) (1989) Soilborne plant pathogens: Management of Diseases with Macro- and Microelements. APS Press St Paul, Minn, USA.
- Ezra D., Kroitor T. and Sadowsky A. (2007) Molecular characterization of *Phoma tracheiphila*, causal agent of mal secco disease of citrus, in Israel. *European Journal of Plant Pathology* 118: 183- 191.
- Freeman S., Horowitz S. and Sharon A. (2001) Pathogenic and nonpathogenic lifestyles in *Colletotrichum acutatum* from strawberry and other plants. *Phytopathology* 91: 986-992.
- Gat T., Liarzi O., Skovorodnikova Y. and Ezra D. (2012) Characterization of *Alternaria alternata* causing black spot disease of pomegranate in Israel using a molecular marker. *Plant Disease* 96: 1513-1518.
- Luria N., Smith E., Reingold V., Bekelman I., Lapidot M., Levin I., Elad N., Tam Y., Sela N., Abu-Ras A., Ezra N., Haberman A., Yitzhak L. and Dombrovsky A. (2017) A new Israeli Tobamovirus isolate infects tomato plants harboring Tm-22 resistance genes. *PLoS One* 12:e0170429.
- Mawassi M., Gafny R. and Bar-Joseph M. (1993) Nucleotide sequence of the coat protein gene of citrus tristeza virus: Comparison of biologically diverse isolates collected in Israel. *Virus Genes* 7: 265-275.
- Opatovsky, I., Elbaz M., Tsrar (Lahkim) L., Mordechai-Lebiush S. and Dombrovsky A. (2019) First report of Lettuce Big Vein disease caused by *Olpidium* spp., Mirafiori Lettuce Big-Vein Virus, and Lettuce Big-Vein Associated Virus in Israel. *Plant Disease* 2019 103: 779-779.

- Philosoph A., Dombrovsky A., Elad Y., Koren A. and Frenkel O. (2019) Insight into late wilting disease of cucumber demonstrates the complexity of the phenomenon in fluctuating environments. *Plant Disease* 103: 2877-2883
- Sharabani G., Manulis-Sasson S., Borenstein M., Shulhani R., Lofthouse M., Chalupowicz L. and Shtienberg D. (2013) The significance of guttation in the secondary spread of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* in tomato greenhouses. *Plant Pathology* 62: 578-586.
- Solel Z. and Oren, Y. (1975) Outbreak of mal secco disease in Israel on normally tolerant