מחלות צמחים ממשפחת הדלועיים וטיפוח לעמידות

רוני כהן

המחלקה לפתולוגיה של צמחים וחקר עשבים, המחקר החקלאי, מרכז מחקר נווה יער

תקציר

אבטיח, מלון, קישוא ודלעת (דלועיים, *Cucurbitaceae*),מהווים חלק חשוב בחקלאות הישראלית ובתזונת האדם. צמחים אלו גדלים כמעט בכל עונות השנה, חלקם בשטחים פתוחים וחלקם כגידולים חסויים במנהרות נמוכות או בבתי צמיחה ובתי רשת. הצמחים חשופים למגוון מחלות חיידקיות, נגיפיות וכאלו הנגרמות ע"י פטריות ואואומיצטים. תגובת הצמחים למחלות מושפעת במידה רבה מתנאי הגידול ותנאי הסביבה השוררים במשך עונת הגידול. מגוון זה יכול לגרום לתגובה שונה בעונות השונות לאותם גורמי מחלה. במאמר נסקור את התגובה של דלועיים שונים לארבע מחלות פטרייתיות המועברות בקרקע: המגלת (*Fusarium oxysporum* בצורות מתמחות (forma speciales) ייחודיות הגורמות לנבילה במלון ובאבטיח ולריקבון כתר הדלועיים (*F. oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*). מחלת קשיון הבטטה (*Macrophomiba phaseolina*) וההתמוטטות הפתאומית בדלועיים (*Monosporascus cannonballus*), ושתי מחלות עלים, קימחון הדלועיים הנגרמת על ידי פטרייה (*Podosphaera xanthii*) וכשותית הדלועיים הנגרמת על ידי אואומיצט (*Psudoperonospora cubensis*). מחלות הנגרמות ע"י חיידקים ונגיפים יתוארו בפרקים אחרים.

אופן הציטוט: כהן ר' (2021) **מחלות צמחים ממשפחת הדלועיים וטיפוח לעמידות.**
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/e51922

מבוא

בפרק זה תתואר האינטראקציה בין צמחים ממשפחת הדלועיים לשש מחלות צמחים חשובות; ארבע מחלות נישאות קרקע ושתי מחלות עלים:

- מגלת המלון, מחלת נבילה וסקולרית הנגרמת ע"י הפטרייה *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* (*Fom*)
- מגלת האבטיח, מחלת נבילה וסקולרית הנגרמת ע"י הפטרייה *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (*Fon*)
- רקבון הכתר של המלפפון והמלון הנגרמת ע"י הפטרייה *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* (*Forc*)
- מחלת קשיון הבטטה (ריקבון פחם) הנגרמת ע"י הפטרייה *Macrophomina phaseolina*

- מחלת ההתמוטטות הפתאומית של מלונים ואבטיחים הנגרמת ע"י הפטרייה *Monosporascus cannonballus*, הפוגעת בשורש ובצוואר השורש וגורמת נבילה
- קימחון הדלועיים (מחלת עלים) הנגרמת ע"י הפטרייה *Podosphaera xanthii*.
- כשותית הדלועיים (מחלת עלים) הנגרמת ע"י האואומיצט *Psudoperonospora cubensis*

הקניית עמידות היא הדרך היעילה, הבטוחה והידידותית ביותר לסביבה ומהווה נדבך חשוב במארג ההדברה המשולבת של מחלות הצמחים. הגנטיקה השולטת על מופע המחלה וחומרתה אינה חזות הכל, הכרת הפתוגנים, תהליכי הפתוגנזה ולימוד האינטראקציה בין הצמחים לסביבה ולגורמי המחלה יחד עם לימוד הורשת עמידות, יכולה להתוות דרך ולייעל את תהליכי הטיפוח לעמידות ואת השימוש המושכל בזנים העמידים. ברוב המקרים, רמת העמידות למחלות מושפעת מתנאי הסביבה בהם שרוי הצמח. למשל, עוצמת התאורה והטמפרטורות בהם גדל הצמח יכולות להשפיע על רמת התחלואה של צמחי מלון בקימחון ובמגלת (Burger et al., 2003), לטמפרטורה השפעה מכרעת בביטוי העמידות לכשותית במלון ועומס פרי משפיע דרמטית על שיעור הנבילה בצמחים נגועים בפטרייה *Monosporascus cannonballus* (Cohen et al., 2000).

<u>תגובת זני מלון ואבטיח למגלת (פוזריום הנבילה)</u>

מחלת המגלת של המלון והאבטיח נגרמת ע"י הפטריות *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* ו f. sp. niveum בהתאמה. הפטריות שוכנות בקרקע ומסוגלות לתקוף את הצמחים בכל גיל. לרוב הצמחים נתקפים ומתים עוד לפני חנטת הפירות. הצמחים נובלים כתוצאה של חסימה פיזית של צינורות הובלת המים יחד עם פעילות של אנזימים פקטוליטיים וטוקסינים המופרשים ע"י הפטרייה._הדברה כימית של פוזריום הנבילה ע"י מתן קוטלי פטריות לקרקע לרוב אינה יעילה כנראה בגלל המיקום של הפטרייה בצינורות הקסילם והקושי של הגעת חומרי ההדברה אליה. לעומת זאת, חומרי הדברה נמצאו יעילים בהדברת ריקבון כתר הדלועיים כנראה בגלל מיקום הפטרייה ברקמות החיצוניות של הצמח (בן יפת וחוב', 1998).

<u>מגלת המלון</u> - לפטרייה שוכנת הקרקע *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* ארבעה גזעים פיזיולגיים, 0,1,2 ו-1.2 הנבדלים בכושרם לגרום מחלה בזני מלון שונים (Rabinowitch and Cohen, 2012). ישנם זני מלון העמידים לכל ארבעת הגזעים של הפתוגן. במלון קיימים לפחות שני טיפוסי עמידות גנטית: עמידות מונוגנית (גן יחיד) ועמידות פוליגנית (רבת גנים) (monogenic and polygenic resistances). העמידות לגזעים 0 ו-1 נשלטת ע"י הגן Fom 2 והעמידות לגזעים 0 ו - 2 נשלטת ע"י הגן Fom 1. גנים אלו הינם דומיננטיים ומקנים עמידות יציבה הבאה לידי ביטוי בגילי הצמח השונים וכמעט שאינה מושפעת ע"י שינוי ברמת המידבק ותנאי סביבה משתנים. לעומת זאת, העמידות הפוליגנית (Perchepied and Pitrat, 2004) לגזע 1.2 של הפתוגן פחות יציבה ומושפעת מתנאי הסביבה.

נראה שעמידות או רגישות שונה, שאינה מוגדרת גנטית, קימת גם בזני מלון שאין בהם את הגנים לעמידות והם מוגדרים רגישים. זנים אלו יכולים להגיב באופן שונה לריכוזי מידבק או תנאי סביבה בהם יגודלו לאחר ההדבקה מוצגת בטבלה 1 (Burger et al., 2003).

הטיפוח לעמידות למגלת קל יחסית לעומת הטיפוח לעמידויות אחרות בעיקר בגלל שהגנים לעמידות הם דומיננטים וניתן לברור בקלות יחסית את הצמחים העמידים והרגישים בהדבקה כבר בשלב הנבט (איור 1). לכן חברות הזרעים דורשות מהמטפחים עמידות לשלושת גזעי הפטרייה 0, 1 ו-2. אכן, רוב זני המלון המשוחררים לשוק עמידים למחלה זו. חלק קטן מהזנים עמיד ברמות שונות לגזע 1.2 הנשלט ע"י קבוצת גנים רצסיביים (Herman and Perl-Treves, 2007).

טבלה 1. תדירות מחלה בזני מלון וקווי טיפוח שהודבקו במגלת המלון (*Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*) גזע 1

שם הזן – קו טיפוח	תיאור העמידות	צמחים מתים (%)
נוי עמיד		96 a
נוי יזרעאל		27 de
קרימקה	רגיש – אין גנים לעמידות	57 bc
עין דור		92 a
אשכולית העמקים		43 cd
אננס יוקנעם		82 a
ערבה		24 de
וונדרטה		65 b
דולצ'ה	עמיד לגזע 2 , רגיש לגזע 1	60 b
FM 025		54 bc
FM 018		32 de
FM 004		36 de
FM 023		26 de
FM 014		34 de
FM 024		26 de
דובלון		70 b
חמד		19 e

ערכי שכיחות מחלה המלווים באותה אות אינם נבדלים סטטיסטית ביניהם.

הטבלה על פי Burger et al., 2003.


איור 1. הדבקה בפטרייה *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*. מימין נבילה אופיינית של צמח מלון בעקבות הדבקה טבעית בפטרייה ומשמאל הדבקה מלאכותית של נבטי מלון בפטרייה לצורך ברירת צמחים עמידים מתוך אוכלוסיית טיפוח מתפצלת.

<u>מגלת האבטיח</u> - שלושה גזעים של הפטרייה *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* הגורמת למחלת מגלת האבטיח תוארו בספרות. גם כאן, ההבדלים בין הגזעים מבוססים על התגובה להדבקה של זני אבטיח דיפרנציאלים. גזעים 0 ו-1 תוארו בארה"ב וגזע 2 תואר לראשונה ע"י דוד נצר בישראל (Netzer et al., 1977). גזע זה נמצא מאוחר יותר גם בארה"ב. עמידות חלקית לגזעים 0 ו-1 קיימת בזני אבטיח אמריקאים אבל עמידות לגזע 2 היותר אגרסיבי לא קיימת בזני אבטיח מסחריים (Rabinowitch and Cohen, 2012). מגלת האבטיח המופיעה כגורם עיקרי כמעט ולא מוכרת בישראל. התמוטטויות באבטיח נגרמות במקרים רבים ע"י קומפלקס של מחלות. מגלת האבטיח כגורם יחיד בעל סימפטומים אופייניים נצפית לעיתים באבטיח "מללי" לזרעים הגדל בתנאי בעל או השקיה חלקית.

<u>רקבון כתר הדלועיים במלון ומלפפון</u>

מחלת ריקבון הכתר במלפפון ובמלון נגרמת ע"י הפטרייה *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis cucumerinum* (*F.o.r.c*). המחלה חדשה יחסית, היא הוגדרה לראשונה בכרתים (Vakalounakis, 1996) ודווחה בשנת 2000 במערב קנדה (Punja and Parker, 2000). סמפטומי מחלה ראשונים נצפים בדרך כלל כחודש לאחר שתילת המלפפונים. לאחר ההדבקה בפטרייה נוצר סדק בגבעול ובהמשך מתפתח ריקבון בצוואר השורש ובגבעול התחתון באזור הרקוב נוצרות כמויות גדולות של נבגים בצבע ורוד- כתום המתפזרים בקרקע ובאוויר. המחלה מתבטאת יותר בתנאי טמפרטורה מתונה ומופיעה בעיקר בסתיו ובאביב. הופעת הריקבון מלווה בהחמה של צרורות ההובלה, אובדן טורגור, הצהבה ולבסוף התמוטטות הצמח. ריקבון חיצוני, נביגה חיצונית והפצת הנבגים באוויר, מבדילה פטרייה זו מצורות מתמחות אחרות (f. sp.) של פטריות פוזריום אחרות הפתוגניות לדלועים, בהן הפגיעה היא בעיקר בצינורות הובלת המים. במחלה זו אין נקרוזה חיצונית

והנבגים אינם מופצים באוויר. ההפצה האווירנית של הנבגים מאפשרת לפטרייה ליצור מקורות אילוח מתחדשים במהלך העונה, ולשרוד על מבנה החממה ולאלח מחדש קרקעות ואת חלל החממה לאחר חיטוי.

הפטרייה מסוגלת לחדור לצמח דרך השורשים וגם דרך פצע בגבעול. ממצא זה ממחיש את חשיבות ההפצה האווירנית של נבגי הפטרייה, באמצעותה היא מסוגלת לאלח מחדש חממות מחוטאות ולאכלס צמחים גם דרך הנוף (Cohen et al., 2015). בסקירת חומר גנטי נמצאו קווי מלון עמידים ורגישים לפטרייה היכולים לשמש בסיס לטיפוח לעמידות או ככנות עמידות. במחקר גנטי נמצא שהעמידות בקווי מלון מסוימים נשלטת ע"י שני גנים, אחד דומיננטי והשני רצסיבי (Elkabetz et al., 2016). נראה שממצא זה נכון לקוי טיפוח מסוימים ומנגנון עמידות נוסף, כללי יותר, הוא בעל אופי כמותי.

בניסויי הרכבה (ראו פרק הרכבות דלועיים בישראל) נמצא שכנות מלון עמידות מסוגלות להשרות עמידות חלקית למחלה ברוכב שאולח ע"י פציעת הגבעול ללא אינטראקציה של הפטרייה עם הכנה. מבעד למקרוסקופ נמצא שבצמחי מלון רגישים המשמשים ככנה הפטרייה חודרת דרך החלל הבין תאי של רקמת הפרנכימה למערכת העצה, ודרכה מתפשטת לשאר חלקי הצמח. אולם, בצמחי מלון עמידים שמשמשים ככנה חדירת הפטרייה למערכת העצה נמנעת ונוכחות הפטרייה מוגבלת לאזור האילוח (Cohen et al., 2015). בדיקת נוכחות של טוקסינים המיוצרים ע"י הפטרייה נעשתה ע"י מבחן ביולוגי על עלים ונבטי מלון. נמצא כי הפטרייה מייצרת חומצה פוזרית ונגזרות של חומצה פוזרית הידועות כבעלות פעילות טוקסית, אולם גם צמחי המלון העמידים לפטרייה הראו רגישות לטוקסינים אלה (אורגיל, 2014).

בשנים האחרונות רוב המלפפונים הגדלים בישראל בין אוקטובר לאפריל מורכבים על כנות דלעת (ראו פרק הרכבות דלועיים בישראל). השימוש בצמחים מורכבים גרם לירידה דרמטית בהופעת המחלה ולמעשה מגדלי המלפפונים בישראל רואים בה פגע חמור שהיה וחלף ואינו מהווה יותר איום של ממש. יחד עם זאת, חשוב להכיר את המחלה. ישנם מקרים שמחלות שנעלמו חוזרות בעקבות שינויים באגרוטכניקה, החלפת זנים ושינויים סביבתיים.

<u>קשיון הבטטה במלון ובאבטיח</u>

מחלת קשיון הבטטה (רקבון הפחם, Charcoal rot) הנגרמת ע"י הפטרייה *Macrophomina phaseolina* היא מחלה רב-פונדקאית התוקפת כחמש מאות מיני צמחים השייכים למשפחות בוטניות שונות הכוללות צמחים עשבוניים ועצים. בישראל גורמת המחלה לנזקים קשים במגוון רחב של גידולי שדה כמו כותנה (ראו פרק מקרופומינה בכותנה), חמנית, תירס וחמצה. קשיון הבטטה התגלה לפני מספר שנים גם בזנים שונים של תות שדה במשתלות ובשדות מניבים באזורים שונים בישראל *M. phaseolina* גורמת לנזקים בעיקר בגידולי קיץ החשופים לעקות יובש וחום. הנזק המשמעותי ביותר בין גידולי הירקות בישראל נגרם לאבטיח ולמלון (איור 2). המחלה גרמה, בשנות השבעים של המאה שעברה, להפסקה כמעט מוחלטת של גידול מלון בנגב המערבי והיא אחד הגורמים העיקריים לשימוש באבטיחים ומלונים מורכבים (ראו פרק הרכבות דלועיים בישראל) ברוב שטחי המשתל ישראל.

איור 2. הדבקה מלאכותית של צמח מלון בפטרייה *Macrophomina phaseolina* בשיטת הקיסם המאולח. מימין חתך אורך בגבעול. למעלה נקודת הדקירה למטה, הצטברות של קשיונות שחורים של הפטרייה (סמפטום ריקבון פחם). שמאל החמה של קליפת הגבעול, סימפטומים חיצוניים אופייניים של הדבקה ב *M. phaseolina*.

M. phaseoloina יוצרת בצמחי מלון סימפטומים אופייניים של ריקבון על צוואר השורש ויצירה מהירה של קשיונות שחורים ברקמת הפרנכימה של לב הגבעול (איור 2, Cohen et al., 2016). לעומת זאת צמחי אבטיח הנגועים בפטרייה נובלים ללא סימפטומים ייחודיים על הגבעול וגם כמעט ולא נוצרים קשיונות בגבעול הנגוע במחלה (Cohen et al 2016), השפעת הפתוגן על הצמחים וגרימת מחלה תלויה במידה רבה גם בגורמים סביבתיים כמו הגידול הקודם, סוג הקרקע, הטמפרטורה השוררת בשדה ונגיעות הצמחים בגורמי מחלה נוספים. אכן, נזקי המחלה נצפים בעיקר בזריעות ושתילות מאוחרות כאשר הצמחים נחשפים לטמפרטורות קרקע ואוויר גבוהות ובשדות בהם השקיה לקויה וחושפת את הצמחים לעקות יובש (Cohen et al. 2012).

במחלות צמחים רבות ובכלל זה במחלת קשיון הבטטה ידוע שהפטרייה גורמת לנזק ע"י פעילות משולבת של רעלנים הגורמים להרעלת פעילויות ביולוגיות של הצמח ואנזימים שונים המפרקים את רקמות הצמח. במאמר סקירה שפורסם לאחרונה מרוכז הידע העדכני של האינטראקציה בין *M. phaseolina* לצמחים שונים ותפקידי האנזימים והטוקסינים של הפטרייה בפתוגנזה (Islam et al., 2012). תגובת צמחים עמידים ורגישים לטוקסינים המופרשים על ידי פטריות פתוגניות יכולה להוות לעיתים סמן אמין לעמידות כאשר הטוקסינים מהווים גורם פתוגני ראשוני. טכניקה זו זכתה להצלחה במקרים מסוימים אך לא הייתה עקבית במיני צמחים אחרים. גם במערכת ה – *Macrophomina* קיימת אי הסכמה בספרות בדבר חשיבות הטוקסינים ליצירת סמפטומטי המחלה. ישנם מקרים בהם נמצאו טוקסינים שהפטרייה יצרה בתרבית אך אלו לא גרמו לסמפטומים ומקרים אחרים בהם נטען שטוקסינים יכולים לשמש ככלי לסלקציה של צמחים לעמידות או לרגישות. הידע בדבר מנגנוני העמידות למחלה דל אף הוא. לאחרונה התפרסמה עבודה של חוקרים ספרדים שתיעדו שונות בעמידות מלונים למחלה אך לא הוצע מנגנון גנטי המסביר את הורשת העמידות (Ambrósio et al., 2015).

לימוד הפתוגנזה של הפטרייה והעמידות למחלה דורש הדבקת צמחים צעירים. לאחרונה הצלחנו לכייל מערכת הדבקה בעזרת קיסמי עץ מאולחים שיכולה להוות כלי עזר משמעותי בקידום המחקר (איור 3).

<u>נבילה פתאומית בדלועיים (*Monosporascus cannonballus*)</u>

סמפטומי הנבילה של צמחי מלון מבוגרים הנגרמת ע"י הפטרייה *M. cannonballus* מופיעים לקראת הקטיף כאשר הצמח עמוס בפרי. סמפטומי המחלה אינם מובהקים. לפיכך המחלה נקראת במקומות מסוימים נבילה פתאומית - Sudden wilt (Cohen et al., 2000) ובמקומות אחרים Root rot and vine decline (Martyn and Miller, 1996). *M. cannonballus* מסוגלת לחדור לשורשים של דלועיים שונים אך סימפטומטי נבילה משמעותיים מוכרים רק במלון ואבטיח. המחלה מוכרת באזורים חמים וצחיחים כמו דרום ארה"ב, דרום ספרד, צפון אפריקה, סעודיה, פקיסטן והודו. בישראל המחלה מוכרת בערבה וגרמה בעבר לנזקים קשים (Cohen et al., 2000).

איור 3. הערכת נגיעות של קווי טיפוח בניסוי חממה. אינדקס מחלה של צמחי מלון מודבקים ב *Macrophomina* בשיטת קיסם השיניים, 0 – צמח עמיד, 5 – צמח מת.

עמידות יציבה לנבילה פתאומית אינה מוכרת. כמו במחלות אחרות קיים טווח תגובה וניתן למצוא זנים או קווי טיפוח העמידים מעט יותר מהאחרים. לתנאי סביבה השוררים במהלך הגידול השפעה רבה על חומרת המחלה. מופע המחלה חמור יותר בגידול סתווי בו טמפרטורות הקרקע והאוויר גבוהות לעומת התפתחות איטית ומתונה בגידול של מלוני אביב. חיטוי קרקע עם מתיל-ברומיד היה במשך שנים רבות הדרך היחידה והיעילה להתמודדות עם המחלה. חקלאי הערבה השקיעו כסף ועבודה רבה בהכנת השטח לחיטוי, פרישת יריעות פלסטיק והזרמת מתיל-ברומיד כטיפול שיגרתי לפני שתילה. הטיפול במתיל-ברומיד מזיק לסביבה ולפיכך הוצא משימוש בשנת 2005 ואינו זמין יותר. טיפול בפונגיצידים המיושמים בהשקיה דרך מערכת הטפטוף מספר פעמים במהלך הגידול פותח בערבה (Cohen et al., 2000; Pivonia et al., 2010, איור 4). טיפול זה שווה ביעילותו למתיל-ברומיד ויעיל יותר מחיטויי קרקע חלופיים. מחיר הטיפול נמוך משמעותית מחיטויי קרקע אלטרנטיביים. אכן, טיפול בחומרי הדברה נעשה טיפול שבשגרה אצל מגדלי המלונים והעלים כמעט לחלוטין את המחלה שהיוותה איום חמור על מגדלי המלונים. הרכבת מלונים ואבטיחים על כנות דלעת עמידות לפטרייה מהווה חלופה נוספת (ראו פרק הרכבות דלועיים בישראל). השימוש בצמחים מורכבים מתאים לתנאים מסוימים, בעיקר למלוני אביב ובשאר העונות נעשה שימוש נרחב בהדברה כימית (Pivonia et al., 2010).

איור 4. מחלת התמוטטות פתאומית במלון. משמאל צמחים מתים. מימין, צמחים בריאים שטופלו בפונגיציד azoxystrobin. הצילום באדיבות ד"ר שמעון פיבוניה, מו"פ ערבה תיכונה וצפונית.

<u>קימחון הדלועיים</u>

קימחון הדלועיים יכול להיגרם ע"י שתי פטריות *Golovinomyces chiciracearum* ו – *Podosphaera xanthii*. הפטרייה *P. xanthii* הינה חשובה ונפוצה יותר והיא הגורם לקימחון הדלועיים בישראל. *G. chicoracearum* נפוצה יותר בארצות מרכז אירופה בתנאי קיץ גשום ומתון (Jahn et al., 2002). למחלת מאפיינים ייחודיים. סמפטומי המחלה נראים ככתמים לבנים של תפטיר ונבגים על עלים (כהן, 1998, איור 5) בניגוד לפתוגנים אחרים, הפטרייה גורמת לנזק רק לרקמת האפידרמיס ואינה חודרת למזופיל העלה. נביטת

נבגי הקימחון ייחודית ונבדלת מרוב הפטריות הפתוגניות. נבגי הפטרייה מכילים מים ויכולים לנבוט בלחות חיצונית לא גבוהה. נבגי הפטרייה נפוצים באוויר. מחזור החיים של הפטרייה מנביטה וחדירה לאפידרמיס ועד לנביגה ושחרור נבגים הוא כשבוע ימים בתנאים מיטביים. בצמחי מלון, סימפטומים ראשונים של המחלה מתגלים בדרך כלל בצד התחתון של עלים מבוגרים כנראה בגלל שצל וטמפרטורות מתונות תורמות להתפתחות הפטרייה. נזקים כלכליים של מחלת הקימחון מוכרים במלון, מלפפון, אבטיח, קישוא ודלעת (Jahn et al., 2002, Sitterly, 1979).

זן המלון הראשון העמיד לקימחון PMR 50 שוחרר לראשונה בארה"ב בשנת 1932. שש שנים לאחר מכן נמצא בדרום קליפורניה קימחון על המלונים העמידים. הגזע החדש של הפתוגן נקרא אז גזע 2 (race 2). גזע חדש של הפתוגן הוכרז. בכך נפתח המרוץ בין הפתוגן למטפחי המלון. זנים עמידים משוחררים ולאחר זמן מה מגיעים גזעים חדשים של הפתוגן המתגברים על עמידות זו. זיהוי גזעי הקימחון מושג באמצעות הדבקה של סידרת זנים בעלי עמידויות שונות (זנים דיפרנציאלים). מספר גזעי הקימחון, (השונות הגנטית), גדול ותלוי לפיכך במספר זני המלון הדיפרנציאלים ובמגוון העמידויות הגנטיות שהם מכילים. מספר גזעי המלון לא ידוע ומוערך בעשרות (Lebeda et al., 2016). לקראת רישום זנים חדשים, חברות הזרעים בודקות במבחנים רשמיים במעבדות המוסמכות לכך, את העמידות למספר מצומצם של גזעים, בדרך כלל גזעים 1, 2 ,3 ו- 3.5, כאשר ברור לכל שזאת היא בדיקה חלקית בלבד לצורך אחריות משפטית למקרים של תביעה מצד חקלאים. ברור גם שכדאי שטיפוח לעמידות יעשה בארץ היעד. מלון שטופח לעמידות בישראל למשל, לא יהיה בהכרח עמיד בארץ אחרת או בעונת גידול אחרת.

איור 5. קימחון הדלועיים בעלה מלפפון.

כמו במחלות צמחים אחרות, התפתחות המחלה תלויה בגורמים ביוטיים וא-ביוטיים רבים, כך שלימוד האפידמיולוגיה, ההדברה והגנטיקה אינם פשוטים ויש צורך להקפיד על תנאי סביבה הדירים כדי להשיג תוצאות אמינות. בגידול מלונים במנהרות עבירות בערבה למשל, הקימחון מפסיק להתפתח כאשר

הטמפרטורות עולות לקראת בוא הקיץ. במחקר אפידמיולוגי שנערך בנווה יער מצאנו שכאשר הדבקנו קישואים עמידים, רגישים ואת הורי המכלואים, ההורה העמיד וההורה הרגיש הגיבו אחרת בתנאי תאורה שונים. המכלוא וההורה העמיד היו חופשיים מקימחון בתאורה הטבעית אבל פיתחו סימני מחלה כשגדלו תחת רשת צל (Leibovich et al., 1996, איור 6).

חקלאים משתמשים לעיתים ברשת צל או ריסוס בסיד להורדת טמפרטורה בחודשי הקיץ. פעולה אגרוטכנית זו עלולה להיות חרב פיפיות. חוסר תשומת לב והכרה לקויה של הגידול והמחלות התוקפות אותו יכולה לגרום לתחלואה ניכרת כאשר משתמשים בחוסר זהירות ברשת צל. מאידך, גידול תחת רשת צל המחמיר את המחלה, יכול לשמש כלי יעיל אצל מטפחי דלועיים לברירה מחמירה של צמחים עמידים מתוך אוכלוסיות מתפצלות.

איור 6. תגובת אוכלוסיית טיפוח זהות של קישואים לקימחון הדלועיים בתנאי תאורה משתנים. בתמונה הימנית, נגיעות כבדה של חלק מהקווים בגידול תחת רשת צל. בתמונה השמאלית, אותה אוכלוסייה של קווי קישוא חופשית ממחלה בגידול בשטח פתוח.

<u>כשותית הדלועיים</u>

כשותית הדלועיים הנגרמת ע"י האואומיצט (דמוי-פטרייה) *Pseudoperonospora cubensis* מהווה איום חמור על דלועיים שונים הגדלים באזורים קרירים ולחים (כהן, 1998). נגרמת נקרוזה בצבע צהוב-חום בעלי מלפפון ומלון עד כדי קמילה של כל הנוף (איור 7). האואומיצט יוצר בצד התחתון של העלה מנבגים המכילים חי-נבגים (zoospores) המשתחררים מהמנבג ויכולים להדביק ביעילות רבה צמחים אחרים בתנאי קור, רטיבות ולחות יחסית גבוהה.

לגורם המחלה חמישה טיפוסי פתוגנזה (Pathotypes) בעלי כושר לגרום מחלה לסוגי דלועיים שונים (Thomas et al., 1987, טבלה 2). פתוטייפ 1 ו 2 נמצאו ביפן. באירופה ובארצות הברית נפוצים טיפוסים 4 ו 5. טיפוס 3, התוקף רק מלון ומלפפון, נפוץ בישראל. בקיץ 2002 נמצא בישראל טיפוס כשותית חדש שתקף דלעת (*Cucurbita pepo*) והוגדר כטיפוס 5. לשאלות בדבר מקור הטיפוס החדש, היקף תפוצתו והאם הוא כאן כדי להישאר אין כרגע תשובה.

במלון נמצאו מספר מקורות עמידות ששימשו למחקר העמידות ולטיפוח (Cohen et al., 1985; Thomas et al., 1988). ברוב המקרים הגנים מקנים עמידות חלקית. העמידות תלויה לעיתים בתנאי סביבה. בקו PI 124111F למשל, העמידות היא תלוית טמפרטורה. העמידות במיטבה בטווח טמפרטורות של 21-25 מ"צ ופוחתת משמעותית כאשר הצמחים גדלים בטווח של 12-15 מ"צ (Balas et al., 1993). הטיפוח לעמידות נעשה בעיקר ע"י סילוק של פרטים או קווים רגישים במיוחד והעלאת רמת העמידות הכללית. מלפפוני שדה ותיקים דוגמת הזן בית אלפא רגישים מאד לעומת זני מלפפון חדשים בעלי רמת עמידות גבוהה יותר. גם זני מלון ותיקים כמו ה"אננס יוקנעם" המקורי מאד רגישים לעומת זני מלון חדשים הגדלים בקיץ הישראלי כמעט ללא מחלה. יחד עם זאת, יש לשים לב להתפתחות סמפטומטי מחלה בשדה ולהגיב בהתאם. הדברת המחלה ע"י שימוש בזנים עמידים בלבד אינה אפשרית בדרך כלל, יש צורך לשלב זנים עמידים חלקית עם טיפולי הדברה כימית בעיקר כאשר מגדלים צמחים בחממות בתנאי סביבה המעודדים התפתחות מחלה.

איור 7. כשותית הדלועיים במלפפון הגדל בחממה מכוסה פוליאתילן. צדו העליון (ימין למעלה) והתחתון (שמאל למעלה) של עלה ומראה כללי של צמחי מלפפון (למטה). צילומים על ידי יגאל אלעד.

טיפוח לעמידות

הטיפוח לעמידות לצורך הפחתת נזקי מחלות היא הגישה היעילה והידידותית ביותר לסביבה. רוב זני התרבות הוותיקים היו רגישים למחלות. ותיקי החקלאים זוכרים שאי אפשר היה לסיים עונת גידול של מלפפוני שדה מטיפוס בית אלפא ללא קמילה מסיבית שנגרמה ע"י מחלת כשותית הדלועיים. הטיפוח לעמידות התחיל בשנות הארבעים והחמישים של המאה שעברה (Sitterly, 1979). הטיפוח התבסס על הכלאות של מיני בר עמידים בקווים תרבותיים ודחיקת התכונות השליליות של זן הבר ע"י הכלאות מחזירות להורה הרגיש, בעל התכונות ההורטיקולטוריות הרצויות.

הטיפוח כיום מתבסס בחלקו על שימוש בזנים קיימים, "פתיחת הזן" ע"י הכלאה עצמית וחיפוש של תכונות חדשות או כאלו שיתאימו לדרישות המטפח. הגישה לטיפוח לעמידות תלויה בגישה של המטפח. מטפח בעל אוריינטציה פיטופתולוגית ידגיש את העמידות בעוד הורטיקולטוריסט יסתכל בעיקר על תכונות הפרי והטיפוח לעמידות יעשה בעיקר ע"י סילוק הפרטים או קווי הטיפוח הרגישים.

טבלה 2. מיון טיפוסי הדבקה (Pathotype) של האואומיצט *Pseudoperonospora cubensis* על סמך ניסויי הדבקה שנערכו ביפן, ארה"ב וישראל

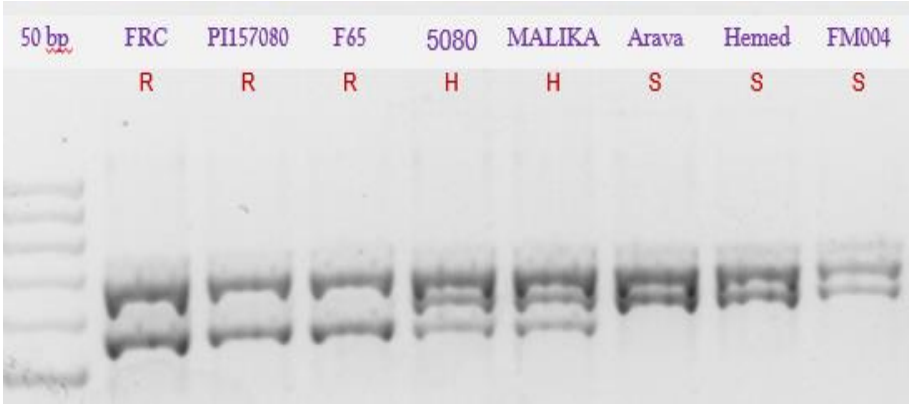
		תבדיד ומדינה				
	צמח פונדקאי	C 1	C 2	M1, M2	C	T
		יפן		יפן, ישראל	ארה"ב	
מלפפון	*Cucumis sativus*	+	+	+	+	+
מלון	*Cucumis melo* var. *reticulatus*	+	+	+	+	+
מלון	*Cucumis melo* var. *conomon*	-	+	+	+	+
מלון	*Cucumis melo* var. *acidulus*	-	-	+	+	+
אבטיח	*Citrulus lanatus*	-	-	-	+	+
דלעת	*Cucurbita* spp.	-	-	-	-	+
	(Pathotype) טיפוס הדבקה:	1	2	3	4	5

על פי Thomas et al. (1987).

תכנית הטיפוח תלויה גם באופן ההורשה של העמידות למחלה. במחלות מועברות בקרקע דוגמת מחלת קשיון הבטטה (*Macrophomina phaseolina*) או ההתמוטטות פתאומית במלון (*Monosporascus cannonbaius*), העמידות בהורים ה"עמידים" בדרך כלל חלקית וההורשה של מחלות אלו כמו גם מחלות פטריתיות אחרות של הדלועיים (למעט פוזריום הנבילה) היא פוליגנית, כך שמציאת צמחים עמידים לאחר הכלאה של הורה רגיש בהורה עמיד היא כמעט תמיד בלתי מספקת. יתרה מכך, ביטוי הגנים לעמידות מושפעים מהרקע הגנטי של זן התרבות וביטוי העמידות אינו זהה בזנים בעלי רקע גנטי שונה. לתנאי הסביבה השוררים בסביבת הצמח ולעונת הגידול השפעה דרמטית על תגובת הצמחים לגורם המחלה. יתכן מאד מצב

שזן שטופח למשל בישראל ונמצא עמיד יתנהג אחרת במקום אחר בעולם בו שוררים תנאי הסביבה שונים או שתבדדי הפתוגן שונים במידה זו או אחרת מאלו הנמצאים בישראל.

יוצא מכלל זה הוא הטיפוח לעמידות נגד מחלת פוזריום הנבילה של המלון (Rabinowitch and Cohen, 2012). העמידות למחלה זו מיוחדת בגלל מספר גורמים: העמידות מורשת ע"י גנים דומיננטיים - לרוב, מופע המחלה הוא ברור: צמח חולה או בריא. תגובת הנבטים הצעירים המודבקים בגורם המחלה מייצגת נאמנה את ההתנהגות של הצמח הבוגר - נבט בריא יהיה גם צמח בריא. האפשרות לברירת צמחים עמידים היא קלה יחסית ונעשית ע"י הדבקות של נבטים בחממה או ע"י סמנים מולקולריים לעמידות לגזעים מסוימים הנמצאים במעבדת המטפח (איור 8). לפיכך, יש דרישה מחברות הזרעים לטפח זנים עמידים לשני גזעי הפוזריום ולהצהיר על כך בתווית. מבחינה חקלאית, העמידות המוצהרת לפוזריום אולי פחות חשובה כי מחלת הפוזריום היא רק אחת ממחלות המועברות בקרקע וכמעט אף פעם לא מופיעה כמחלה בודדת בשדה אלא בתוך קומפלקס של מחלות. יחד עם זאת, האפשרות להצהיר על עמידות משמשת במקרים רבים כמקדם מכירות.



איור 8. סמן מולקולרי לברירת צמחים עמידים ורגישים למחלת פוזריום הנבילה של המלון הנגרמת ע"י הפטרייה *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* (race 1)
S–רגיש, H–עמיד הטרוזיגוט, R–עמיד הומוזיגוט.

האפשרות להצהיר על עמידות על גבי התווית מכתיבה גם דרישה מחברות זרעים להצהיר על עמידות לגזעים מסוימים של קימחון הדלועיים (Lebeda et al., 2016). בעבר המטפח היה מצהיר על עמידות או עמידות חלקית למחלה. כיום נדרש המטפח להצהיר על עמידות לגזעים מסוימים של הפתוגן. גם במקרה הזה, מספר הגזעים הקיימים בטבע וההשפעה של תנאי הסביבה על מופע אפשרי של המחלה עושה דרישה זו לפחות נכונה ופחות מעשית אבל האפשרות המעבדתית לבדוק מכתיבה את הדרישה הזאת, שוב, כמקדם מכירות והגנה מפני תביעות משפטיות של החקלאים.

מקורות

אורגיל ג' (2014) פוזריום ריקבון הכתר במלפפון ומלון: לימוד הביולוגיה של המחלה והתמודדות עמה ע"י צמחים מורכבים. עבודת-גמר, מוגשת לפקולטה לחקלאות, מזון ואיכות הסביבה ע"ש רוברט ה. סמית האוניברסיטה העברית בירושלים לשם קבלת תואר 'מוסמך למדעי החקלאות'.

בן יפת י', מנוליס ש' ופלטי י' (1998) פוזריום (מגלת) (*Fusarium* spp.), מתוך רותם י', פלטי י' ובן יפת י' (ע') מחלות צמחים בישראל, הוצאת מרכז וולקני, בית דגן, ע' 283-292.

כהן י' (1998) מחלות בדלועיים, מתוך רותם י', פלטי י' ובן יפת י' (ע') מחלות צמחים בישראל, הוצאת מרכז וולקני, בית דגן, ע' 365-374.

Ambrósio M. M. Q., Dantas, C. A., Martinez-Perez E., Alexis C., Medeiros A. C., Nunes G. H. S. and Pico M. B. (2015) Screening a variable germplasm collection of *Cucumis melo* L. for seedling resistance to *Macrophomina phaseolina*. Euphytica 206: 287–300.

Balas M., Cohen Y. and Bar Joseph M. (1993) Temperature-dependent resistance to downy mildew in muskmelon: Structural response. Physiological and Molecular Plant Pathology 43: 11-20.

Burger Y., Katzir N., Tzuri G., Portnoy V., Saar U., Shriber S., Perl-Treves R. and Cohen R. (2003) Variation in the response of melon genotype to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* race 1 as determined by inoculation tests and by molecular markers. Plant Pathology 52: 204-211.

Cohen R., Omari N., Porat A. and Edelstein M. (2012) Managment of *Macrophomina phaseolina* in melons using grafting or fungicide soil application: Pathological, horticultural and economical aspects. Crop Protection 35: 58-63.

Cohen R., Pivonia S., Burger Y., Edelstein M., Gamliel A. and Katan J. (2000) Toward integrated management of Monosporascus wilt of melons in Israel. Plant Disease 84: 496-505.

Cohen R., Elkabetz M. and Edelstein M. (2016) Variation in the responses of melon and watermelon to *Macrophomina phaseolina*. Crop Protection 85: 46-51.

Cohen R., Orgil G., Burger Y., Saar U., Elkabetz M., Tadmor Y., Edelstien M., Belausov E., Maymon M., Freeman S. and Yarden O. (2015) Differences in the responses of melon accessions to Fusarium crown rot and their colonization by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis cucumerinum*. Plant Pathology 64: 655-663.

Cohen Y., Cohen S., Eyal H. and Thomas C. E. (1985) Inheritance of resistance to downy mildew in Cucumis melo PI 124111. Cucurbit Genetics Cooperative Report 8: 36–38.

Elkabetz M., Paris H. S., Burger Y., Hanan A. and Cohen R. (2016) Two genes for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *radices cucumerinum* in melon (*Cucumis melo*, Cucurbitaceae). Scientia Horticulturae 201: 57–60.

Herman R. and Perl-Treves R. (2007) Characterization and inheritance of new source of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* race 1.2 in *Cucumis melo*. Plant Disease 91: 1180-1186.

Islam M. S., Haque M. S., Islam M. M., Emdad E. M., Abdul Halim A., Hosen, Q. M., Hossain M. Z., Ahmed B., Rahim S., Rahman M. S., Alam M. M., Hou S., Wan X., Saito J. A.,

and Alam A. (2012) Tools to kill: Genome of one of the most destructive plant pathogenic fungi *Macrophomina phaseolina*. BMC Genomics 13: 493.

Jahn M., Munger H. M. and McCreight J. D. (2002) Breeding cucurbit crops for powdery mildew resistance. In: Belanger R. R., Bushnell W. R., Dik A. J. and Carver T. L. W. (eds.), The Powdery Mildews, A Comprehensive Treatise. APS Press, St. Paul, MN. pp. 239-248.

Lebeda A., Kristkova E., Sedláková B., McCreight J. D. and Coffey M. D. (2016) Cucurbit powdery mildews: Methodology for objective determination and denomination of races. European Journal of Plant Pathology 144: 399-410.

Leibovich G., Cohen R. and Paris H. S. (1996) Shading of plants facilitates selection for powdery mildew resistance in squash. Euphytica 90: 289-292.

Martyn R. D. and Miller M. E. (1996) Monosporascus root rot and vine decline, an emerging disease of melons worldwide. Plant Disease 80: 716-725.

Netzer D., Niego and Galun E. (1977) A dominant gene conferring resistance to Fusarium wilt in cucumber. Phytopathology 67: 525-527.

Perchepied L. and Pitrat M. (2004) Polygenic inheritance of partial resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* race 1.2 in melon. Phytopathology 94: 1331-1336.

Pivonia S., Gerstl Z., Maduel A., Levita R. and Cohen R. (2010) Management of Monosporascus sudden wilt of melon by soil application of fungicides. European Journal of Plant Pathology 128: 201-209.

Punja Z. K. and Parker M. (2000) Development of Fusarium root and stem rot, a new disease on greenhouse cucumber in British Columbia caused by *Fusarium oxysporum* f . sp. *radicis-cucumerinum*. Canadian Journal of Plant Pathology 22: 349–363.

Rabinowitch H. D. and Cohen R. (2012) Chapter 9. Genetics and breeding for resistance and grafting for protection against *Fusarium oxysporum* wilts. In: Gullino M. L., Katan J. and Garibaldi A. (eds), Fusarium Wilts of Greenhouse Vegetable and Ornamental Crops, APS Press, St. Paul Minnesota USA.

Thomas C. E., Inaba T. and Cohen S. (1987) Physiological specialization in *Pseudoperonospora cubensis*. Phytopathology 77: 1621-1624.

Sitterly W. R. (1979) Powdery mildew of Cucurbits. In: Spencer D. M. (ed.), The Powdery Mildews. Academic Press, New York, pp. 359-379.

Vakalounakis D. J. (1996) Root and stem of cucumber caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis cucumerinum* f. sp. nov. Plant Disease 80: 313–316.