

בקרת מחלות צמחים באמצעים קולטורליים

יגאל אלעד

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

תקציר

אמצעים קולטורליים (תרבותיים, אגרוטכניים) הינם אלה הננקטים לצרכים חקלאיים ושאנם בהכרח קשורים ישירות להגנת הצומח אך משפיעים על בריאות הגידול, או כאלה שבאופן ישיר מיועדים להגנת הצומח ואינם כוללים יישום אמצעי הדברה כימיים או ביולוגיים. את הפעולות מבצעים בשדה או בסביבה המשפיעה על השדה בין עונות הגידול, לפני זריעה או שתילה, במהלך הגידול ואף לאחר הוצאת התוצר מהשדה. האמצעים נסמכים על פעולות עיבוד ואחזקה של הקרקע, חומר הריבוי, הצמחים והעשבים בחלקת הגידול, השקיה והזנה. תוצאתם הפחתה בכמות המדבק ובפוטנציאל גרימת מחלות, מניעת מחלות, דחייתן או הפחתת חומרתן. מבין האמצעים יש כאלה שהינם יעילים למספר עונות גידול ואילו אחרים השפעתם זמנית וקצרת טווח. בפרק זה מתוארים האמצעים כפי שננקטו משחר הגידול החקלאי, בחקלאות מודרנית במחצית המאה העשרים בישראל, בחקלאות בעולם לפני ובמהלך הגידול בשדה הפתוח ובגידולי חממה.

אופן הציטוט: אלעד י' (2021) בקרת מחלות צמחים באמצעים קולטורליים. 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/e51961>



מבוא

מחלות צמחים מסיבות נזק רב לצמחי תרבות ולגידולים חקלאיים. מאז שתורבתו צמחים הקדישו המגדלים מאמצים להתמודדות עם פגעים ובכלל זה עם גורמי מחלה שונים. בסקירה על הדברה קולטורלית בראי ההיסטוריה מציין Haward (1996) שיטות קדומות מתחילת הציביליזציה החקלאית ובהן שריפה, חילופי גידולים, עיבוד וניהול קרקע ומיקום חלקת השדה. עיקר האמצעים המשמשים לבקרת מחלות, גם בעידן בו מתקיים שימוש רב בתכשירי הדברה כימיים, הינם קולטורליים. מתוך ניסיון רב שנים במסגרת המעשה החקלאי, ננקטות שיטות שונות להימנעות ממחלות אשר אינן כוללות שימוש בחומרים רעילים ואשר מפחיתות נזקי מחלות, דוחות את הופעתן או מביאות את הנזק אל מתחת לסף כלכלי.

נבו (1992), במחקרו על פגעים בגידולים חקלאיים, מזהה שיטות הדברה בתקופת המקרא והמשנה את השיטות של מחזור זרעים והימנעות משתילה תכופה של גידולים דומים שנה אחר שנה, הימנעות מעודפי מים הגורמים לריקבון שורשים ובעקבות זאת נשירת עלים, הסרת עפצים שנוצרים על ידי חיידקים (סניטציה) והפחתת רטיבות נוף ובכלל זה טללים להפחתת מחלות מוגברות-לחות (התלויות בלחות מרובה).

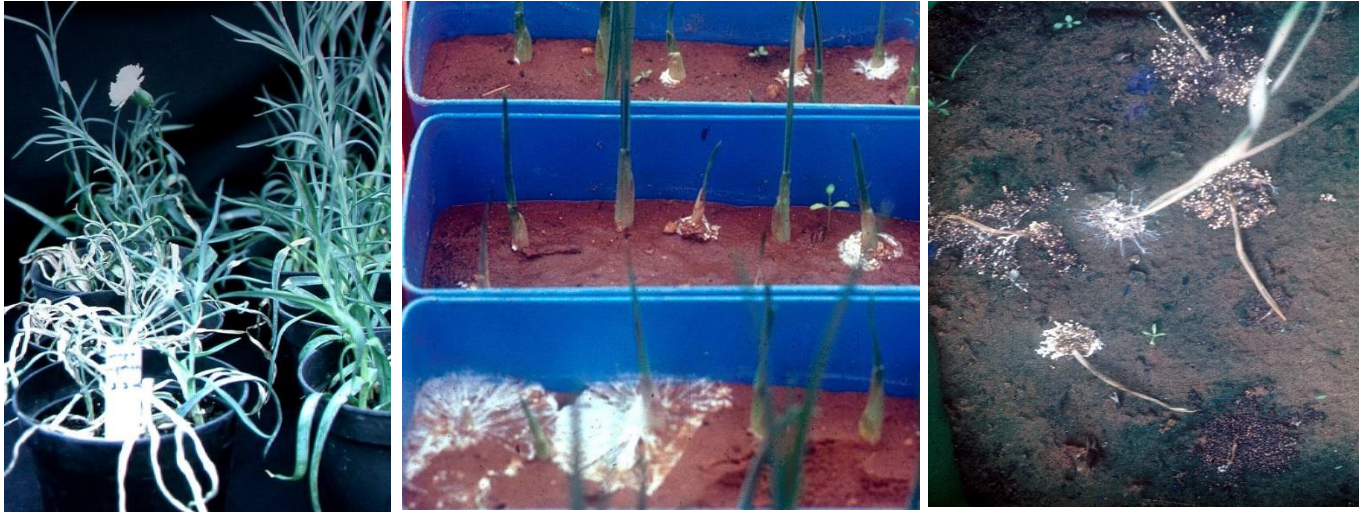
בפרק זה יסקרו שיטות הדברה תרבותית (= קולטורלית, =אגרוטכנית). אמצעים אלה כוללים פעולות שאינן יישום אמצעי הדברה כימיים או ביולוגים וזאת בין עונות הגידול, לפני זריעה או שתילה, במהלך הגידול ועם התוצר לאחר הוצאתו מהשדה. האמצעים נסמכים על פעולות עיבוד ואחזקה של הקרקע, חומר הריבוי, הצמחים האמצעים הפיזיים שסביבם והעשבים, השקיה והזנה וכל זאת בשדה ובסביבתו הקרובה והרחוקה. האמצעים התרבותיים הינם אלה שנקטים לצרכים אגרונומיים שבמקורם אינם בהכרח קשורים ישירות להגנת הצומח או כאלה שבאופן ישיר מיועדים להגנת הצומח כגון סניטציה של חומר צמחי נגוע. בפרק זה מתוארים האמצעים כפי שהתבטאו בחקלאות מודרנית מקדימה במחצית המאה העשרים בישראל, בחקלאות בעולם לפני ובמהלך הגידול ובגידולי חממה.

אמצעים קולטורליים בחקלאות המתחדשת בישראל

בספר של יפה (חבר בקבוצות הראשונים בדגניה, ממייסדי נהלל, ויזם ומנהל ראשון של תנובה) בו מתוארים גידולים רבים מתחילת המאה ה-20 הוצע לנהוג "הגנה מקדמת" ומופיעות הנחיות טיפול למניעת מחלות ובכללן סניטציה והסרת חלקי צמח נגועים ועקירת צמחים נגועים בגורמי מחלה, שריפה של חומר צמחי נגוע, הפסקת השקיה בייחוד באדמה כבדה וקלטור יסודי, עידור ועיבוד יסודי, ייבוש שרשי גזר לפני אחסונם ומחזור זרעים ("...טעם חשוב מאד לחלוף הזרעים הוא להגן על הצמחים מחלקות במחלות, מאחר שלכל משפחת צמחים מחלותיה המיוחדות לה, העוברות ממין למין במשפחה אחת, אך ברבן אין עוברות ממשפחה אחת למשפחה אחרת...") (יפה 1921).

פלטי (1948) מהמחלקה לפתולוגיה בתחנה לחקר החקלאות, רחובות, הציע דרכים להימנעות ממחלות המועברות בקרקע (איור 1) ובכללן אלה הנגרמות על ידי אקטינומיצטים ומיני *Botrytis*, *Fusarium*, *Macrophomina*, *Plasmodiophora*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, *Sclerotium*, *Verticillium*. פלטי סיכם את האמצעים: א' מחזור זרעים המתחשב בגורמי המחלה המצויים בשדה, בעונות בהן הם מסבים נזק וברגישות צמחי התרבות להם; המחזור יכול לכלול ייבוש הקרקע למשך עונה כדי להפחית למשל מדבק של *Rhizoctonia solani* ולזרז התפתחות של חיידקים המתחרים בפטריות המזיקות; ב' חריש עמוק להצנעת מדבק ובעיקר קשיונות; ג' "אמצעים היגייניים" למניעת מעבר מדבק מחלקה לחלקה, שימוש בחומר ריבוי נקי, הימנעות בהזנת בעלי חיים בחומר צמחי נגוע מפני שגורמי הריבוי של מחלות צמחים שורדים במעבר במעי שלהם, שימוש בחומר צמחי בריא להכנת קומפוסט, עקירת צמחים נגועים וצמחים בריאים מסביבם וחיטוי כלי עבודה; ד' זיבול וסידוד; ה' השקיה נכונה והימנעות מעודפי מים בכל החלקה או באזורים מסוימים, מניעת הרטבה של צוואר השורש,

המטרה עדינה למניעת התזה של חלקיקי קרקע עם מדבק לצמחים; ו' ביעור עשבים הנפגעים בעצמם בגורמי המחלות ועיבוד קרקע אך בצורה שלא יפגעו שורשים; ז' (חסר במקור); ח' חיטוי קרקע (הדברה כימית); ט' זנים עמידים; י' חלקות מיוחדות לגידולים רגישים; י"א טופוגרפיה וסוג הקרקע.



איור 1. דוגמאות למחלות המועברות בקרקע. קשיונות של קשיון רולפס (*Sclerotium rolfsii*) וצמחי איריס נגועים בפתוגן זה (ימין למעלה ובאמצע), מגלת בציפורן (*Fusarium oxysporum*, שמאל למעלה) וקשיונה גדולה (*Sclerotinia sclerotiorum*) בגבעול פלפל (קשיון ותפטיר) וקשיון שממנו נבטו אפוטציות (גופי פרי) של הפטרייה בשדה גזר (למטה מימין ובאמצע).



חורין וחוב' (1954) הציעו שיטות אגרוטכניות להתמודדות עם מחלות בגן הירק. א' הרחקת חלקות של אותו מין זו מזו ובייחוד כאלה שאין בנות אותו גיל; שתילת החלקות המוקדמות בחלק המזרחי של הגן באזורים בהם הרוח השולטת היא מערבית; ב' טיפולי חום עדינים לחומר צמחי כגון בצלצולים; ג' הימנעות מהמטרה בגידולים הנתקפים על ידי מחלות מוגברות-לחות; ד' השקיה בזמן שיש טל על גבי הצמחים או לכל המאוחר מוקדם בבוקר וסיום ההשקיה כשרוח מייבשת את הנוף; ה' אוורור הצמחים על ידי מניעת צפיפות, ריווח ביניהם ושתילת שורות עם כיוון הרוח השולטת; ו' שתילה על גבי גדודיות לניקוז עודפי המים; ז' חיפוי קרקע; ח' מחזור זרעים, ביעור עשבים וחריש עמוק; ט' תברואה ומחזור זרעים.

בדומה, פרץ ופאפו (1961) הזכירו את השימוש בזרעים, פקעות ושתילים בריאים, סניטציה והיגיינה של השדה כולל כלי עבודה, השמדת עשבים, השקיה וזיבול, אך הוסיפו גם את התאמת הצמחים לשטח, תנאי הקרקע והאקלים השוררים באזור, שימוש בכנות מתאימות לתנאים וכנות עמידות וזאת בצד טיפולי מניעה כימיים. סיכום רחב של אמצעים תרבותיים לבקרת מחלות בהיבט רחב נעשה על ידי Palti (1981) בספר המסכם לא רק ידע מישראל אלא גם יישומים הנוהגים בחקלאות ברחבי העולם המתפתח והמפותח ובפרק בספר מחלות צמחים בישראל (פלטי וחוב', 1998).

אמצעים קולטורלים לפני ובמהלך הגידול

על אמצעים שתוארו לעיל אפשר להוסיף אמצעים נוספים המפורטים כאן:

- אתר השדה צריך להיות מאותר במחשבה תחילה כך שמבחינת תנאי אקלים יתאים לגידול מיטבי של הצמחים אך לא מתאים למחלות החשובות של הגידול. מיקום השדה באזור נמוך יחסית לסביבתו כרוך במיקרואקלים קר וטלול יותר מהאזורים הגבוהים יותר. מקום גבוה עשוי להיות מאוורר יותר משדה נמוך ובהתאם גם רטיבות הנוף רבה יותר ומחלות מוגברות-לחות יתעצמו.
- עמידות הגידול למחלות – ככלל רוב הצמחים הינם חסינים (immunity) לגורמי מחלות ולמעשה רק מיעוטם רגישים ובהם מתבטא הנזק בחקלאות. עמידות (resistance) הינה תכונה טבעית או כזאת המוקנית לזנים מסוימים של גידול כנגד מחלה והיא הדרך המועדפת להתמודדות עם מחלות צמחים. סבילות (tolerance) מתייחסת לזנים נגועים, נושאי סימני מחלה בדומה לזן רגיל - רגיש, אך הם נושאי פרי ובעלי יכולת גידול כאילו לא נפגעו במחלה.
- בנוסף לשימוש בזנים עמידים לגידול אפשר להשתמש בהם גם ככנות עמידות בייחוד למחלות המועברות בקרקע (ראו פרק הרכבות). חשוב להשתמש בעמידות בכל מקרה שהיא זמינה ובעיקר במקרים בהם הפתוגן נוכח בקרקע.
- עומק זריעה ושתילה, בדרך כלל שטחיים, למניעת חולי נופל ומחלות קרקע כגון מק שורש ומקמקת וזאת לצמצום חשיפת הנבט לגורמי הריבוי של המחלה בעת הצצתו או התבססות השתיל באדמה.
- במסגרת מחזור זרעים, נמצא שגידול והצנעת צמחים ממיני משפחת המצליבים ואחרים עשויים לפעול כנגד מדבק המצוי בקרקע (Klein et al., 2011). לדוגמא, ריקבון כתל הדלועיים (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radices-cucumerinum*) ומדבק של הפטרייה הפחתה על ידי שאריות בן חרדל (רוקולה (*Diplotaxis tenuifolia*), טרגון (*Artemisia dracunculus*), מרווה (*Salvia officinalis*) וברוקולי (*Brassica oleracea* var. *italica*).
- הצפת השטח דווחה במקרים שונים כיעילה בהפחתת מדבק של פטריות וחיידקים הסובלים מתנאי המחסור בחמצן, הצטברות פחמן דו חמצני או פעילות מיקרוביאלית (Bruehl, 1987; Katan, 2010).

- בתחום הסניטציה הנזכרת לעיל, בחלקות בהן ממוחזרים המים יש צורך לטפל במים בסינון, חיטוי ובכלל זה חיטוי פיזי (קרינה אולטרה סגולה), למניעת מעבר חיידקים הומניים וחיידקים גורמי מחלות צמחים, גורמי ריבוי של אואומיצטים וכל גורמי ריבוי הנישאים במים.
- גידול מעורב של צמחים נהוג במקומות שונים בעולם. זריעה לחילופין (שורות שונות בשדה, רצועות זריעה רחבות) עם זנים בעלי רגישות שונה ועמידות ובעלי רקע גנטי שונה או אפילו מינים שונים, עוזרת למנוע התעצמות של מגפות בהשוואה לזריעה של זן אחיד בחלקה שלמה.
- השמדת חומר צמחי נגוע, חלקי צמח או צמחים חולים שנעקרו וכן עשבים, חשובה להפחתת המדבק בשדה ובסביבתו, אך שריפה שהייתה מותרת בעבר אינה מותרת היום אלא במקרים מיוחדים. צמחי ספיח שמקורם בגידול קודם עלולים לגרום להדבקה מוקדמת בגורמי מחלה ויש צורך להרחיקם. דוגמא חשובה להרחקת פונדקאי ביניים באה מצרפת במאה ה-17. הרשויות בצרפת הכירו בעובדה ששיחי ברברי בקרבת שדות דגנים היו קשורים להופעת חילדון בדגניים והורו בחוק על השמדת השיחים (Katan, 2010).
- סריקת החלקה לעיתים מזומנות ואיתור מוקדם של צמחים נגועים ("פיקוח") מאפשרים התמודדות עם מגפות בעודן באבן.
- זיהוי נכון של גורמי מחלות. הזיהוי המדויק, ככל שיהיה מוקדם יותר בשלבי התפתחות המגפה, יועיל יותר להתמודדות עם המחלה ולמניעת נזקים (ראו פרקי אבחון מחלות צמחים).
- כנזכר לעיל, מועד, קצב, כמות ושיטת השקיה באופן שתימנע תוספת רטיבות על פני הצמחים ועידוד פתוגנים מוגברי-לחות או מחלות התוקפות את צוואר השורש הינם אמצעים חשובים למניעת התפשטות מגפות. לכך תורמת רבות השקיה בטפטוף. אם כי הרטבת הנוף במידה רבה יכולה לפעול כנגד נבגי קימחון שאינם שורדים זמן רב במים חופשיים – כאמור אמצעי זה יעודד מחלות מוגברות-לחות ולכן שכרו יצא בהפסדו.
- שימוש בהזנה מדויקת של הצמח ביסודות הקשורים בהפחתת רגישות הצמח לגורמי מחלה מסוימים יכול להפחית נגיעות במערכות צמח – פתוגן שונות, כנסקר בפרק הזנת צמחים ומחלות.
- פעילות כנגד וקטורים של גורמי מחלות ימנעו התבססות מחלות נגיפיות, נגיפונים (וירואידים) וחיידקונים (פיטופלסמה) (ראו פרקי מחלות המועברות על ידי ווקטורים חרקיים).
- טיפולים פיזיקליים, טיפולי חום לחומר ריבוי – בעבר היה נהוג לטפל בחיטה, שעורה ושיבולת שועל באמצעות מים חמים למניעת פחמון. בדומה היה שימוש באנרגיית השמש לאותה מטרה – זרעים הוספגו מים במשך 4-5 שעות ולאחר מכן יובשו בשמש. טיפול באוויר חם או במים חמים (לעיל) בחומר צמחי יועד כנגד נגיפים בחומר צמחי.
- חיטוי סולרי של הקרקע נחקר רבות ומיושם בישראל. חיפוי הקרקע הרטובה בפוליאיתילן למשך תקופה באביב או בקיץ גורם לתמותה של גורמי מחלה, התפתחות מיקרואורגניזמים מועילים ושינוי שיווי המשקל לטובתם ועידוד הדברה ביולוגית בגידולים שונים המגודלים לאחר החיטוי (Gamliel and Katan, 2009). חיטוי סולרי גורם אפילו

להשראת עמידות סיסטמית בגידול הנשתל לאחר הטיפול (Okon Levy et al., 2015) כפי שהודגם בקימחון ועובש אפור במלפפון ועגבנייה (ראו פרק השראת עמידות בצמחים כנגד פתוגנים).

- טיפול בקיטור הינו אמצעי פיזיקלי המיושם, בגלל עלותו הרבה, במצעי גידול וחלקות מוגבלות בגודלן. תוצאת טיפול זה לפני השתילה או הזריעה הינה קטל של גורמי מחלה רבים וזרעי עשבים מסוימים אך עלותו רבה (Dabbene et al., 2003).

- נמצא שמיצוי קומפוסט המיושמים בגידול מפחיתים מחלות שונות (Elad and Shtienberg, 1994; Weltzien and Ketterer, 1986). תמציות קומפוסט מכילות מיקרואורגניזמים, יסודות הזנה וחומרים שונים אשר להם חלק בפעילות ההדברה אך אמצעי הדברה זה אינו הדיר בהרכבו ולכן תוצאות יישומו משתנות. מבין המחלות שהודברו היו כאלה הנגרמות על ידי מיני פוזריום וכן כיב חיידקי בעגבנייה (Yogev et al., 2009) ונמצא שמנגנון חשוב לו ניתן לייחס את ההדברה הינו השראת עמידות (Yogev et al., 2010).

- רגולציה – חוקים ורשות ציבורית או ממשלתית המונעים כניסת חומר צמחי נגוע, גורמי מחלה או מוצרים וחפצים מזהמים הינם כלי חשוב בהתמודדות עם התבססות פגעים חדשים באזורים ומדינות שלא היו בהם לפני כן. הסיכון לכניסת פגעים חדשים גדל עם התגברות הגלובליזציה בתחום המסחר בתוצרת חקלאית וקרנטינה הינה כלי חשוב למניעת הנזק הפוטנציאלי.

הדברה תרבותית בגידולי חממה

עצמת האור המגיעה לצמחים עשויה להשפיע על חומרת מחלה. נמצא שהצללה של דלעת מחמירה את קימחון הדלועיים (*Podosphaera xanthii*) בעלי גידול זה בעוד חשיפה יתרה לשמש מפחיתה את חומרת הקימחון (Leibovich et al., 1996). בניגוד לכך, הצללה הפחיתה קמחונית (*Leveillula taurica*) בפלפל. בשני המקרים יש לשקול גם את השפעת עצמת הקרינה על ההנבה; בפלפל הצללה מפחיתה גם את כמות היבול (Elad et al., 2007).

איכות האור אף היא משפיעה על חומרת מחלות. סינון אור בתחום האולטרא סגול ו/או בתחום האדום רחוק הפחית קשיונה גדולה בכמה גידולים על ידי הפחתת נביטת אפוטציות (גופי פרי) מקשיונות והפחית מחלות צמחים אחרות (Sasaki et al., 1985). סינון B-UV על ידי יריעת פוליאתילן הפחית עובש אפור ועובש עלים (*Cladosporium fulvum*) בעגבנייה, קשיונה גדולה וקימחון במלפפון (Elad, 1977) והנבגה של הפטרייה בוטריטיס (Reuveni et al., 1987). מאוחר יותר נמצא שפעילות יריעה מסננת אור הינה משמעותית יותר בהדברת כשותית הדלועיים (*Pseudoperonospora cubensis*) (אלעד יגאל, ידע אישי). נמצא גם שסינון האור מפחית מזיקים ומחלות נגיפיות המועברות על ידם (Antignus et al., 1996) אך גם השפיע באופן שלילי על האוריינטציה של חרקים מועילים בחממה. מעניין לציין שפעילות סינון האור המוזכרת לעיל כנגד עובש אפור התרחשה למרות שחלק מאוכלוסיית הפטרייה *B. cinerea* אינה מושפעת מאיכות האור לצורך הנבגה. הפעולה

כנגד עובש אפור וככל הנראה נגד *P. cubensis* שאינו מושפע מאיכות האור אף הוא הינה באמצעות הגברת עמידות הצמח למחלות (Elad, 1996).

השקיה ואופוטרינספירציה בתוך החממה וגשם מחוץ לחממה תורמות להעלאת הלחות בחממה ולהיתכנות רטיבות על פני חלקי צמח רגישים למחלות. נוף רטוב כתוצאה מהשקיה נמצא נגוע יותר בעובש אפור (Trolinger and Strider, 1984). הגבלת מועדי ההשקיה ביום הפחיתה נגיעות גבעולי עגבנייה במחלה זאת בחממה (Dik and Wubben, 2004). בתנאי הגידול האינטנסיבי ניתן להניח כי המדבק של גורמי מחלה כגון *S. sclerotiorum*, *B. cinerea* ו-*Peronospora belbahrii* (כשותית הריחן) אינו גורם מגביל בחממות גידול בזיל מתוק בעונות סתיו, חורף ואביב. תנאי המיקרו-אקלים במבנים מעודדים או מגבילים את עוצמת המגפות הנגרמות על ידי גורמי מחלה אלה. בסקרים נמצא שתנאים גיאוגרפיים ומקומיים, אשר מפחיתים אוורור ותנועת אוויר במבנים, כגון מיקום המבנה, כיוונו וגובהו, מעודדים את הופעת המחלות במבנים. כמובן, העדר חימום ויבוש אקטיבי מעודד הופעת מחלה, וזאת ללא קשר לגיל הגידול בעוד פעולות אוורור וחימום באוויר יבש קשורות ברמות מחלה נמוכות במבנים (אלעד וחוב' 2013 א-ב; Omer and Elad, 2016; Elad et al., 2014b, 2015).

חימום אקטיבי מאפשר בקרת מחלות עלים (Hausbeck et al., 1996; Dik & Wubben 2004) על ידי ייבוש הנוף והפחתת הלחות היחסית (Elad and Shteinberg, 1995). הפחתת הלחות היחסית עשויה למנוע מחלות עלים מוגברות-לחות כגון אלה הנגרמות על ידי בוטריטיס, קשיונה גדולה, מיני כשותית וחיידקים (Elad and Shteinberg, 1995; Elad, 1999; Elad et al., 2015). חימום מיבש את אוויר החממה ומביא לתנועת האוויר במבנה ולייבושו וליבוש נוף הצמחים, אך חישובי עלות-תועלת עם תוספת יבול והפחתת מחלות מראה שהפעולה הזאת אינה כדאית כלכלית ולכן בדרך כלל אין שימוש בחימום אקטיבי בישראל.

אוורור נאות של נוף הגידול גורם אף הוא לפחיתה של הלחות בחממה ושל התקופה בה מכוסים חלקי צמח בשכבת מים. ניתן להגביר את אוורור הגידול על ידי הגדלת הפתחים בצדי החממה, הצבת החממה בהתאם לכיווני הרוחות הנפוצות ובאתרים מוגבהים יחסית לסביבה, שינוי רשתות הצד (הסרה או שינוי צפיפות), החלפת אוויר פעילה באמצעות מאווררים וכן סחרור אוויר המוזכר בהמשך. כל הפעולות האלה לא רק מפחיתות את לחות האוויר אלא עשויות לתרום להעלאת טמפרטורת הנוף יחסית לסביבתו ולהפחתת משך ומידת הרטיבות על אברי צמח רגישים (Legard et al., 2000; Trolinger and Strider, 1984).

סחרור אוויר בחממה תורם להעלאת טמפרטורת הנוף יחסית לסביבתו ולהפחתת משך ומידת הרטיבות על פני אברי צמח רגישים (Legard et al. 2000; Trolinger and Strider, 1984) וזאת למרות שהלחות היחסית בחממה אינה פוחתת. סחרור אוויר הפחית את חומרת כשותית הריחן (*P. belbahrii*) בבזיל (Omer and Elad, 2016) (איור 2). סחרור אוויר ידוע כמעכב הנבגת גרמי מחלות עלים מוגברות-לחות בגידולים חקלאיים שונים. הודגם בתנאים מבוקרים כיצד רוח מהירות של למעלה מ-0.1 מ/ש הפחיתה את הנבגת גורם הכשותית (*Bremia lactucae*) בחסה ומעל 0.5 מנעה אותה לחלוטין על ידי הפחתת הרטיבות פני העלה מתחת לסף ההנבגה. כשהאוויר עומד ללא סחרור כלל מספר הנבגים לעלה עלה לינארית בתחום 81-100% לחות יחסית (Su et al., 2016).

2004). תוצאות דומות נמצאו בכימסון (*Phytophthora infestans*) (שאף היא מחלה מוגברת-לחות) בצמחי תפוח-אדמה (Harrison 1992).

אמצעי נוסף להפחתת לחות בחממה הוא חיפוי קרקע על ידי יריעות פוליאטילן. שימוש בשיטה זו נמצא בעבר תורם להפחתת מחלת העובש האפור (Elad, 2000; Shpialter et al., 2009) ולאחר מכן להפחתת כימסון (*P. infestans*) בעגבנייה (Shteinberg et al. 2004; Cohen et al. 2006). הממצא העיקרי שעלה הוא שחיפוי קרקע בפוליאטילן שצדו התחתון שחור וצדו העליון כסוף השפיע בצורה משמעותית על התפתחות מחלות נוף (קימחון, עובש אפור ועובש עלים): בעוד שבחממות עם קרקע חשופה התפתחו מגיפות קשות עד כדי השמדה מוחלטת של צמחי העגבנייה (איור 3).

א

ב



איור 2. מסחרר אויר בחממה בתחנת ניסויים עדן של מו"פ עמק המעינות (א' משמאל למעלה) למניעת כשותית הריחן בבזיל (ב' עלה בזיל נגוע ב *Peronospora belbahrii*, גורם כשותית הריחן. בנוסף, הערוגות נשתלו בצפיפות מקובלת ובצפיפות מופחתת של צמחים.

בחממות עם חיפוי קרקע המחלות התפתחו מאוחר יותר וחומרת המחלה הייתה נמוכה יותר. בחממות עם חיפוי קרקע משך הרטיבות של העלים במהלך הלילה היה קצר יותר מאשר בחממות עם קרקע חשופה. החיפוי בפוליאטילן גורם לעליה של טמפרטורות הקרקע במשך היום. כתוצאה מכך שטף החום שנפלט מהקרקע בחממות עם חיפוי קרקע משנה את טמפרטורת הצמחים במשך הלילה ובכך את נקודת הטל. עקב כך נדחה המועד בו מתעבים מים על העלווה, משך הזמן בו העלווה רטובה מתקצר ונמנעת התפתחות מחלות מעודדות-לחות. בבזיל נמצא הנוף הקטוף פחות רגיש להתפתחות ריקבון בעקבות חיפוי קרקע בפוליאטילן בהשוואה לנוף מחלקות חשופות (Elad et al., 2014b, 2015). חיפוי קרקע הפחית גם את כשותית הריחן (Omer and Elad, 2016).

ללא הבדל בין צבעי הפוליאתילן ששימש לחיפוי וכמו במקרים אחרים תרם גם בתוספת יבול בגלל חימום בית השורשים ושטף החום לנוף. בנוסף, יריעת פוליאתילן על קרקע גידול ליזינטוס יצרה חיץ בין עלים שבדרך כלל נוגעים בקרקע הרטובה ומנע את הרטבתם הישירה והינגעותם בעובש אפור (Shpialter et al., 2009). בניסויים בתחנות בעמק המעיינות ובכיכר סדום, הושפעו המחלות מצפיפות שתילת הבזיל; בצפיפות שתילה מופחתת לכדי מחצית מהמקובל (15-16 גושים/מ"ר) הפחיתה משמעותית את עובש אפור, קשיונה גדולה וכשותית הריחן מאשר בצפיפות שתילה המקובלת (30-32 גושים/מ"ר). יבול הבזיל הושפע מצפיפות השתילה בעיקר בקציר הראשון, אך בבזיל מבוצעים מספר קצירי ענפים וכלל היבול הנקצר לא נגרע. ברמת מחלה גבוהה אפילו הוגבר היבול בשתילה מדוללת. לאחר קציר נמצאה עמידות לעובש אפור וקשיונה גדולה בענפים שמקורם בשתילה המרווחת. ריווח השתילה גרם להפחתת נגיעות בחלקות, בגלל אוורור נאות של נוף הצמחים ואפילו נמצאה הפחתת רגישות הנוף ודחיית ההדבקה למועד מאוחר בעונת הגידול (אלעד וחוב' 2013 א, ב). שינויים במתכונת השתילה ועיצוב הנוף לפחיתה בצפיפות משפיעים על המיקרואקלים בתוך נוף הצמח ואת סיכויי המגע שבין הצמחים, לכן דווח שבחלקות צפופות הייתה נגיעות מוגברת (Legard et al., 2000; Trolinger and Strider, 1984).



איור 3. חיפוי מצע על ידי יריעות פוליאתילן בחממה בתחנת עדן של מו"פ עמק המעיינות. התמונה צולמה לאחר שתילה בסתיו והביא לבקרת מחלות נוף במהלך החורף. משמאל: גבעול בזיל נגוע בעובש אפור (*Botrytis cinerea*, למעלה) וקשיונה גדולה (*Sclerotinia sclerotiorum*, למטה).

חימום פאסיבי על ידי כיסוי החממה בפוליאטילן הינה שיטה מקובלת בעונות קרות. בניסויים אשר בחנו שיטות בקרת אקלים להפחתת מחלות מוגברות-לחות וקמחונות בחממות פלפל, עגבנייה ובזיל, העלאת טמפרטורה ביום על ידי סגירת צידי החממה הביאה להפחתה משמעותית בקמחונית הפלפל (*L. taurica*) ובקימחון העגבנייה (*Oidium neolycopersici*) ובשלוש מחלות נוף של בזיל. לעומת זאת חומרת מחלה גבוהה נצפתה בחממות מאווררות אשר התאפיינו בממשקי גידול רגילים הכוללים אוורור במהלך היום. חימום פאסיבי של מנהרות עבירות לגידול בזיל במהלך החורף מביא לעליה ביבול (Shapiro et al., 2014). טווח הטמפ' במהלך היום בתוך המנהרה עשוי לעלות ב-7-20 מ"צ מעל הטמפרטורות השוררות מחוץ למנהרה. בחממות בזיל מכוסות פוליאטילן אשר נשארו סגורות למשך 6 שעות כל יום הטמפרטורה הגיעה ל-42 מ"צ בתקופת החורף, שכיחות מחלת העובש האפור פחתה משמעותית ויבול הבזיל עלה (Elad et al., 2014b). באופן מפתיע בתנאים אשר שררו במנהרות העבירות, העלייה בטמפרטורת האוויר לא הביאה לעליה דומה בטמפרטורת העלים. בהתחשב בכך שהעלים אכלסו ב *P. belbahrii* (גורמת כשותית), ניתן לשער כי השפעת החום הגבוה בחממה המסחרית על כשותית הבזיל אינו נובע מהשפעה ישירה של הטמפרטורה על גורם המחלה, אלא על ידי השראת עמידות בצמח הפונדקאי (Elad et al., 2016).

כדי לאמת זאת, הפרדת החלק המחומם של הצמח והאיברים המודבקים כפי שנעשתה על ידנו בניסויי עציצים, אפשרה הבנה של השפעת החימום על הפונדקאי. חשיפת השורשים לטמפרטורות גבוהות הדומות לאלו הנפוצות בחממות הניסוי, הביאה לדיכוי מחלות נוף (כשותית הריחון, עובש אפור וקשיונה גדולה) בבזיל ועובש אפור בנוף עגבנייה. כלומר כל הפתוגנים הודבקו בנוף והנוף לא נחשף לטמפרטורות הגבוהות אלא רק בית השורשים של הצמחים. כמו כן, השפעת החימום נצפתה גם שבוע-שבועיים לאחר שהצמחים הועברו מטיפול חשיפת בית השורשים לטמפרטורות גבוהות לממשק חימום מיטבי להתפתחות כשותית הבזיל (טמפרטורות נמוכות יותר). חימום בית השורשים השרה עמידות להתפתחות המחלה (Elad et al., 2014a, 2016). זוהי דוגמא להשראת עמידות באמצעים פיזיקליים אשר נראה כי הינה מתרחשת בחימום הקרקע על ידי חיפוי עם יריעת פוליאטילן (פרק השראת עמידות בצמחים כנגד פתוגנים).

Aharoni et al. (2010) הדגימו כיצד חימום האוויר לאחר קציר ל-38 מ"צ למשך שמונה שעות בסביבת צמחי בזיל שנקצרו אחה"צ או בערב, הפחית משמעותית את רגישות הצמחים לפגעי קור ולריקבון הנגרם על ידי הפטרייה *B. cinerea* (איור 4) והחיידק *Erwinia carotovora*, ואפשרו אחסון של זני בזיל מסוימים בתשע מ"צ, טמפרטורה אשר בדרך כלל גורמת לנזקים משמעותיים לעלי הבזיל הקטוף. בנוסף, חימום צמחי בזיל בחממה יומיים-שלושה לפני קציר העלים כמעט לחלוטין את תופעת כתם שחור שנגרם על ידי פתוגנים שונים (בעיקר *Alternaria* spp.); הטיפול כלל חימום ל-42 מ"צ למספר שעות על ידי סגירת החממה (Kenigsbuch et al., 2010). (2010) Chang et al. (2005) הראו כי צמחי בזיל אשר גודלו בטמפרטורה של 25 מ"צ למשך שבועיים היו גבוהים יותר, בעלי חומר אורגני יבש רב יותר ושטח עלים גדול יותר בהשוואה לצמחים אשר גודלו בטמפרטורות אחרות. בנוסף, סך השמנים הנדיפים בעלים טריים בצמחים אשר גודלו בטמפרטורות של 25-30 מ"צ למשך שבועיים היה

גבוה פי שלושה מאשר בצמחים אשר גודלו בטמפרטורה של 15 מ"צ. טמפרטורה גבוהה משפיעה גם על הרכב השמנים הנדיפים. תנאי גידול חמים יותר (25 מ"צ) הביאו להצטברות של שמן הציפורן (Euganol) (Chang et al., 2005) אשר לו תכונות אנטי-מיקרוביאליות (Dhara and Tripathi, 2013) ונמצא משרה עמידות בצמחי עגבנייה (Wang and Fan, 2014).



איור 4. נגיעות ענפי בזיל קטופים בעובש אפור (*Botrytis cinerea*).

סיכום

תרומת ההדברה הקולטורלית למניעת מחלות ובקרתן הינה חשובה ובעלת פוטנציאל רב להפחתת נזקים בגידולים חקלאיים ובצמחייה בכלל. נראה שיש צורך להכיר על בורין את מערכות הצמח-פונדקאי המטופלות ואת התנאים המעודדים את המחלות כדי להביא לבקרה יעילה של הפגעים. תנאים אלה עשויים להשתנות בין אזורים ובין גידולים. האמצעים התרבותיים דורשים תחכום לצורך יישומם ועשויים להיות מורכבים ודורשי סבלנות, אבל ההישענות עליהם עוזרת להימנע מיישום אמצעים יחידניים כמו תכשירי הדברה. שילוב אמצעים תרבותיים לפני ובמהלך הגידול מבטיח הצלחה רבה יותר בהתמודדות עם מחלה ומאפשר הזדקקות פחותה לחמרי הדברה כימיים. חשוב לנצל את הפוטנציאל שבאמצעים אלה בתקופה בה היצע האמצעים הכימיים מצטמצם בגלל מגבלות שימוש או כאשר אוכלוסיות עמידות של פתוגנים מתפתחות כנגד חמרי הדברה כימיים והמגדלים נזקקים לחלופות הדברה מועילות.

מקורות

אלעד י', ישראלי ל', פוגל מ', רב דוד ד', סילברמן ד', ביטון ש', דוברינין ס', חדד י', יצחק ש', דקו צ', גלעד ז', מאיר א', הררי ד', פיבניה ש', לויטה ר', מדואל ע', צעירי א', הראל ד', יחזקאל ח', אסקירה א' ואדלר א' (2013)

חוס"ן בזיל: הדברת עובש אפור (בוטריטיס) בזיל מתוק (ריחן) באמצעים תרבותיים (אגרוטכניים). שדה וירק 2013: 40-48.

אלעד י', ישראלי ל', פוגל מ', רב דוד ד', סילברמן ד', ביטון ש', דוברינן ס', חדד י', יצחק ש', דקו צ', גלעד ז', מאיר א', הררי ד', פיבניה ש', לויטה ר', מדואל ע', צעירי א', הראל ד', יחזקאל ח', אסקירה א', ואדלר א' (2013) מיזם חוס"ן בזיל: קשיונה גדולה (סקלרטיניה) בריחן (בזיל) והדברתה באמצעים אגרוטכניים ופונגיצידיים. שדה וירק 2013: 36-43.

חורין מ', פלטי י' ומלר ש' (1954) מחלות בירקות. ע' י' מ' מרגלית, הוצאת ספרית-השדה, תל אביב, 75 עמ'. יפה א' ל' (1921) מקצועות החקלאות, ספר ראשון: גדול ירקות כרך ב: מקצועות החקלאות. הוצאת האריאל, תל אביב, 230 עמ'.

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

פלטי י' (1948) פגעי השורש בגידולי שדה וגן. הוצאת ספריית השדה, תל אביב, 87 עמ'.

פלטי י', שוהם ח' ובן-אריה צ' (1998) הדברה באמצעים אגרוטכניים. בספר מחלות צמחים בישראל, הוצאת המחלקה לפרסומים מדעיים, מרכז וולקני, בית דגן, עורכים: רותם י', פלטי י' ובן יפת י', ע' 157-166.

פרץ י' ופאפו ש' (1961) מחלות ומזיקים בצומח. ענברי, י' (עורך), הוצאת המשק החקלאי, תל אביב 215 עמ'. Aharoni N., Kenigsbuch D., Chalupowicz D., Faura-Mlinski M., Aharon Z., Maurer D., Ovadia A., and Lers A. (2010) Reducing chilling injury and decay in stored sweet basil. Israel Journal of Plant Sciences 58: 167–181.

Antignus Y., Cohen S., Mor N., Messika Y. and Lapidot, M. (1996) The effects of UV-blocking greenhouse covers on insects and insect-borne virus diseases. Plasticulture 112: 15-20.

Bruehl G.W. (1987) Soil-Borne Plant Pathogens. MacMillan, New York, NY, USA.

Chang X. M., Alderson P. G. and Wright C. J. (2005) Effect of temperature integration on the growth and volatile oil content of basil (*Ocimum basilicum* L.). The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 80: 593–598.

Cohen S., Ziv G., Elad Y., Grava A. and Shtienberg D. (2006) Influence of polyethylene mulch on night microclimate, dew point and *Phytophthora infestans* infection in non-heated tomato greenhouses in southern Israel. Acta Horticulturae No. 718: 277-282.

Dabbene F., Gay P. and Tortia C. (2003) Modeling and control of steam soil disinfestation processes. Biosystems Engineering, 84: 247–256, doi:10.1016/S1537-5110(02)00276-3

Dhara L. and Tripathi A. (2013) Antimicrobial activity of eugenol and cinnamaldehyde against extended spectrum beta lactamase producing Enterobacteriaceae by *in vitro* and molecular docking analysis. European Journal of Integrative Medicine 5: 527–536.

Dik A. J. and Wubben J. P. (2004) Epidemiology of *Botrytis cinerea* diseases in greenhouses. In: Elad Y., Williamson B., Tudzinzy B. and Dellen N., eds., *Botrytis: Biology, Pathology and Control*. Kluwers Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 319-333.

Elad Y. (1997) Effect of filtration of solar light on the production of conidia by field isolates of *Botrytis cinerea* and on several diseases of greenhouse crops. Crop Protection 16: 635-642. DOI: 10.1016/S0261-2194(97)00046-X

Elad Y. (1999) Plant diseases in greenhouses. In: Stanhill G. and Enoch H.Z., eds., *The Greenhouse Ecosystem*, Elsevier, the Netherlands, pp. 191-210.

- Elad Y. (2000) Changes in disease epidemics on greenhouse grown crops. *Acta Horticulturae* No. 534: 213-220. DOI: 10.17660/ActaHortic.2000.534.24
- Elad Y., Fogel M., Rav David D., Messika Y., Jacob D., Silverman D., Shapiro D., Adler U., Esquira I., Yitzhak S., Deko T., Harary D., Maduel A. and Pressman E. (2014) Daytime solar heat treatment for the suppression of foliar plant pathogens in polyethylene-covered greenhouses. *Acta Horticulturae* No. 1015: 89-94. DOI:10.17660/ActaHortic.2014.1015.9
- Elad Y., Fogel M., Silverman D., Biton S., Yitzhak S., Harari D. and Adler U. (2015) White mould of sweet basil: Conditions influencing its development in greenhouses and cultural measures for disease management. *Plant Pathology* 64: 951-960. DOI: 10.1111/ppa.12317
- Elad Y., Israeli L., Fogel M., Rav David D., Kenigsbuch D., Chalupowicz D., Maurer D., Lichter A., Silverman D., Biton S., Yitzhak S., Harari D., Maduel A., Pivonia S. and Adler U. (2014b) Conditions influencing the development of sweet basil grey mould and cultural measures for disease management. *Crop Protection* 64: 67-77. DOI: 10.1016/j.cropro.2014.06.006
- Elad Y., Messika Y., Brand M., Rav David D. and Szejnberg A. (2007) Effect of colored shade nets on pepper powdery mildew (*Leveillula taurica*). *Phytoparasitica* 35: 285-299. DOI: 10.1007/BF02981163
- 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. DOI: 10.1111/aab.12269
- Elad Y. and Shtienberg D. (1994) Effect of compost water extracts on grey mould (*Botrytis cinerea*). *Crop Protection* 13:109-114. DOI: 10.1016/0261-2194(94)90160-0
- Elad Y. and Shtienberg D. (1995) *Botrytis cinerea* in greenhouse vegetables; chemical, cultural, physiological and biological controls and their integration. *Integrated Pest Management Reviews* 1: 15-29. DOI: 10.1007/BF00140331
- Gamliel J. and Katan J. (2009) Control of plant disease through soil solarization. In: Walters D., ed., *Disease Control in Crops*, Wiley-Blackwell, Singapore, pp. 166-220.
- Harrison J. G. (1992) Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage—a review. *Plant Pathology* 41: 384–416.
- Hausbeck M. K, Pennypacker S. P. and Stevenson R. E. (1996) The use of forced heated air to manage botrytis stem blight of geranium stock plants in a commercial greenhouse. *Plant Disease* 80: 940–943.
- Howard R. J. (1996) Cultural control of plant diseases: A historical perspective, *Canadian Journal of Plant Pathology* 18: 145-150. DOI: 10.1080/07060669609500639
- Katan J. (2010) Cultural approaches for disease management: Present status and future perspectives. *Journal of Plant Pathology* 92: S4.7-S4.
- Kenigsbuch D., Chalupowicz D., Aharon Z., Maurer D., Ovadia A. and Aharoni N. (2010) Preharvest solar heat treatment for summer basil (*Ocimum basilicum*) affects decay during shipment and shelf life. *Acta Horticulturae* No. 880: 161–166.
- Klein E., Katan J. and Gamliel A. (2011) Soil suppressiveness to Fusarium disease following organic amendments and solarization. *Plant Disease* 95: 1116-1123.

- Legard D. E. (2000) Effects of plant spacing and cultivar on incidence of *Botrytis* fruit rot in annual strawberry. *Plant Disease* 84: 531-538.
- Leibovich G., Cohen R. and Paris H. S. (1996) Shading of plants facilitates selection for powdery mildew resistance in squash. *Euphytica* 90: 289-292.
- Okon Levy N., Meller Harel Y., Haile Z. M., Elad Y., Rav-David E., Jurkevitch E. and Katan J. (2015) Induced resistance to foliar diseases by soil solarization and *Trichoderma harzianum*. *Plant Pathology* 64: 365–374. DOI: 10.1111/ppa.12255
- Omer C. and Elad Y. (2016) Integrated management of downy mildew caused by *Peronospora belbahrii* with focus on cultural techniques. *Phytoparasitica* 44: 72 (abstract).
- Palti J. (1981) *Cultural Practices and Infections Crop Diseases*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Reuveni R., Raviv M. and Bar R. (1989) Sporulation of *Botrytis cinerea* as affected by photo-selective polyethylene sheets and filters. *Annals of applied Biology* 115: 417-424.
- Sasaki T., Honda Y., Umekawa M. and Nemoto M. (1985) Control of certain diseases of greenhouse vegetables with ultra- violet-absorbing vinyl film. *Plant Disease* 69: 530-533.
- Shapiro D., Deko T., Itshak I., Silverman D., Sacks M., Adler U., Esquira I. and Stiglitz Y. (2014) An innovative way for heating greenhouses using solar energy during the winter for summer crop production. *Acta Horticulturae* No. 1015: 37-44.
- Shpialter L., Rav David D., Dori I., Yermiyahu U., Pivonia S., Levite R. and Elad Y. (2009) Cultural methods and environmental conditions affecting gray mold and its management in lisianthus. *Phytopathology* 99: 557-570. DOI: 10.1094/PHYTO-99-5-0557
- Shtienberg D., Elad Y., Bornstein M., Ziv G., Grava A. and Cohen S. (2010) Polyethylene mulch modifies greenhouse microclimate and reduces infection of *Phytophthora infestans* in tomato and *Pseudoperonospora cubensis* in cucumber. *Phytopathology* 100: 97-104.
- Su H., Van Bruggen A. H. C., Subbarao K. V. and Scherm H. (2004) Sporulation of *Bremia lactucae* affected by temperature, relative humidity, and wind in controlled conditions. *Phytopathology* 94: 396–401.
- Trolinger J. C. and Strider D. L. (1984) *Botrytis* blight of *Exacum affine* and its control. *Phytopathology* 74: 1181-1188.
- Wang C. and Fan Y. (2014) Eugenol enhances the resistance of tomato against tomato yellow leaf curl virus. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94: 677–682.
- Weltzien H. C. and Ketterer, N (1986) Control of downy mildew, *Plasmopara viticola* (de Bary) Berlese et de Toni, on grapevine leaves through water extracts from composted organic wastes. *Journal of Phytopathology* 116: 186-188.
- Yogev A., Raviv M., Hadar Y., Cohen R. and Katan J. (2006) Characterization of composts suppressive towards *Fusarium* pathogens and diseases. *European Journal of Plant Pathology* 116: 267-278.
- Yogev A., Raviv M., Hadar Y., Cohen R., Wolf S., Gil L. and Katan J. (2010) Induced resistance as a component of compost suppressiveness. *Biological Control* 54: 46-51.

Yogev A., Raviv M., Kritzman G., Hadar Y., Cohen R. and Katan J. (2009). Suppression of bacterial canker of tomato by compost. *Crop Protection* 28: 93-103.