

שילוב שיטות הדברה ליצירת אפקט סינרגיסטי בהדברת מחלות אחסון: הדברת ריקבון האשרוש השחור בגזר כמודל

דני אשל - המחלקה לחקר תוצרת חקלאית לאחר קטיף, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני רפאל רגב, שמואל גן-מור - המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי

והתגברות מחלת ריקבון האשרוש השחור באחסון, הנגרמת על-ידי הפטרייה *Thielaviopsis basicola*. יישום של הפונגיציד איפרודיון, לפני אחסון, הראה הפחתה בנגיעות במחלה, אך בשל סמיכות הטיפול למועד השייך דרוש פיתוח של שיטת הדברה ייחודית יותר לאדם ולסביבה.

במחקר הנוכחי נעשה שימוש במחלת ריקבון האשרוש השחור בגזר כמודל לחקר אפקט סינרגיסטי/מעצים אפשרי של שילוב בין גורם פסיקאלי לחומר כימי בעל שאריתיות נמוכה ולמדבור ביולוגי. טכנולוגיה מדייקת של הרבצת קיטור שולבה ביישום מי חמצן מיוצבים ("צונאמי") ו/או תכשיר שמר מסחרי ("שמר"). קיטור צונאמי, כשיושמו ללא שילוב, נמצאו יעילים בהפחתת ריקבון האשרוש השחור, אך גרמו לנזקים פיטוטוקסיים לגזרים המטופלים. יישום של מינון תת קטלני של קיטור ולאחריו מינון תת קטלני של צונאמי או שמר הביא לשיפור סינרגיסטי ביעילות ההדברה ב-80% וב-86% בהתאמה.

אפקט סינרגיסטי נמצא גם ביישום עוקב של טיפולים שאינם ניתנים לשילוב. יישום צונאמי, שטיפה במים ולאחריהם טיפול בשמר הביאו להפחתה של 54% מהסימפטומים. ניסוי זה הראה שניתן ליישם אמצעי הדברה אחד למשך חשיפה קצר, תת קטלני ותת פיטוטוקסי, ולהסירו מהרקמה המטופלת במידת הצורך, כדי לשפר את פעילותו של המדבור הביולוגי המיושם לאחריו. מנגנון האפקט הסינרגיסטי, הנוצר בעקבות שילוב של מינונים תת קטלניים/תת פיטוטוקסיים לאחר אסיף, הינו בעל פוטנציאל גבוה להפחתת השימוש בחומרי הדברה כימיים לאחר קטיף.

ריקבונות, נזקים אסתטיים ולבלוב גורמים להפסדים כלכליים קשים ופוגעים במותג עצמו וביוקרתה של התוצרת החקלאית הישראלית בכלל. חיפוש אינטנסיבי של פתרונות "ייחודיים" לאתגרי אחסון הינו בעל חשיבות רבה להצלחה של גידולים רבים. מחקר זה מציע מודל לבחינת גורמי ההדברה הפוטנציאליים, תוך התמקדות בשאריתיות נמוכה וב"ייחודיות" לאדם ולסביבה. בימים אלה שוקדים המחקרים על תכנון וביצוע ניסויים חצי מסחריים, לבחינת ישימות השיטה בתנאים מסחריים.

ת ק צ י ר

שילוב שיטות הדברה יכול לשפר את יעילותה, להגדיל את טווח הפתוגנים המודברים ולצמצם את האפשרות להתפתחות עמידות, מעבר לביצועים המושגים על-ידי כל שיטה בנפרד. התאמה בין השיטות חיונית להצלחת הטיפול המשולב; לכן, בטיפולים עוקבים, חשוב ששאריות הטיפול הראשון לא יפגעו ביעילות הטיפול הנוסף ואף ישפרו אותו. בשנים האחרונות החלו מגדלי גזר בישראל בהברשת הגזר לפני אחסונו. בעבודה הנוכחית נצפה מתאם בין ביצוע תהליך ההברשה

מבוא

הדברה יעילה של מחלות אחסון היא תנאי הכרחי לשיווק כלכלי ויציב של תוצרת חקלאית. בחלק מהמקרים נעשה שימוש בחומרי הדברה כימיים, שיעילותם חלקית בדרך כלל והם מהווים גורם סיכון לאדם ולסביבה. במטרה לצמצם סיכון זה, נעשה שימוש בין השאר בחומרי הדברה בעלי שאריתיות נמוכה, בשיטות פיסיקאליות, באווירה מבוקרת ובמדברים ביולוגיים. רוב בתי האריזה בישראל מסתמכים על גורם הדברה אחד, המיושם לפני האחסון או במהלכו, כדי לפשט את מערך הטיפול במוצר החקלאי המטופל.

בארץ מגדלים כ-15,000 אלף דונם גזר, בתקופות גידול המפוזרות כמעט על פני כל עונות השנה, כ-50% נזרעים בסתיו, 20% בחורף ו-30% באביב. יש צורך בחיטוי מגורמי מחלה הן בגזר ליצוא, המובל בים, והן בגזר המיועד לאחסון, המהווים יחד בסך-הכל כ-100,000 טונות גזר.

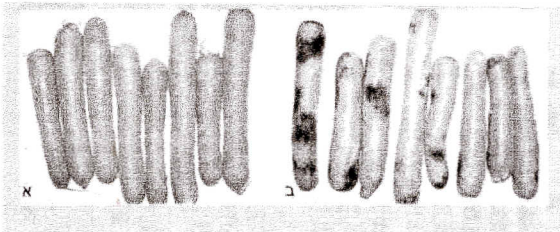
הגורמים העיקריים לפסילות של גזר מיוצא הינם ריקבונות, הנגרמים על-ידי הפטריות *Sclerotinia sclerotiorum*, והחיידיק *Erwinia carotovora* (Korea et al., 2003). התמודדות עם ריקבונות לאחר האסיף כוללת כיום שטיפה של הגזר משאריות אדמה, ולאחר מכן מיון, צינון וחיטוי באיפרודין (בתוצרת שאינה אורגנית). רוב חומרי החיטוי הכימיים אסורים בשימוש באירופה, לפיכך, יש להיערך למציאת תחליפים יעילים, שיוכלו לשמש לטיפול בתוצרת המיועדת ליצוא. בשנים האחרונות החלו ברוב המשקים להבריח גזר במתקן מיוחד, הכוללת "שיוף" של שכבת האפידרמיס החיצונית של האשרוש. הברשה מבוצעת כדי לשפר את האטרקטיביות הוויזואלית של המוצר. בשל הפגיעה המכאנית שנוצרת והאילוח המשני הנובע מאופן פעולת המכונה, התגברו בעיות אחסון מסוימות, ובחלק מהמקרים חלו קיצור של חיי המדף ופגיעה באשרושים. נרשמו מקרים בהם נפגעו עשרות אחוזים מהתוצרת, כתוצאה מהתפתחות ריקבונות עם ההוצאה מאחסון ב-0.5 מ"צ ל"חיי מדף", וכן עלתה חשיבותה של מחלת ריקבון האשרוש השחור, הנגרמת על-ידי הפטרייה *Thielaviopsis basicola*.

גזר הינו מהגידולים המובילים בישראל בשנים האחרונות, ושטחי הגידול נמצאים במגמת גידול מתמשכת. ריקבונות, נזקים אסתטיים ולבליב גורמים להפסדים כלכליים קשים ופוגעים במותג עצמו וביוקרתה של התוצרת החקלאית הישראלית בכלל. חיפוש אינטנסיבי של פתרונות "ידידותיים" לאתגרי אחסון, כפי שמוצע להלן, הינו בעל חשיבות רבה להצלחה של גידולים רבים.

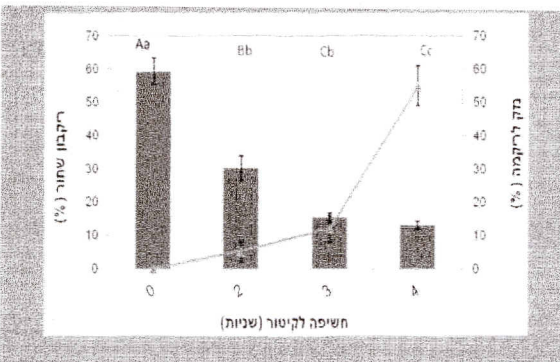
שיטות וחומרים

החומר הצמחי: הניסויים בוצעו בגזר (*Daucus carota L.*) מהזנים דורדון (Dordogne) וניירובי (Nairobi), שגודלו בעמק בית שאן ובשרון. הגזר נאסף בחורף (ינואר) באביב (אפריל) ובקיץ (יולי). נשטף במים והוברש במיכון מסחרי. לאחר ההכרשה צוננו הגזרים בבריכה מסחרית ונארוזו בשקיות של 12 ק"ג ב-20 מ"צ למשך 12 שעות, כדי לדמות שבירה של שרשרת קירור.

תמונה מס' 1: השפעת הברשת גזר לפני אחסונו על נגיעות במחלת ריקבון האשרוש השחור. גזר מהזן דורדון נארוז בשקיות שיווק קמעוניות ואוחסן במשך 30 ימים ב-0.5 מ"צ ולאחר מכן למשך 8 ימים ב-20 מ"צ. (א) גזר ללא הברשה; (ב) גזר מוברש.



איור מס' 1: השפעת משך חשיפת גזר לקיטור על התפתחות ריקבון האשרוש השחור ונזקים לרקמה. גזר מהזן דורדון נארוז בשקיות שיווק קמעוניות ואוחסן למשך 30 ימים ב-0.5 מ"צ ולאחר מכן למשך 8 ימים ב-20 מ"צ. התפתחות סימפטומים אופייניים לריקבון האשרוש השחור (עמודות) ונזקים פיטוטוקסיים לרקמה (עקומה) הוערכו ויזואלית. כל טיפול הכיל 15 חזרות - 10 גזרים בחזרה. אותיות שונות, גדולות וקטנות מייצגות הבדל מובהק ($P \leq 0.05$) כאשר להתפתחות הריקבון או הנזק בהתאמה.



מערכת הקיטור: מערכת, שתוכננה ופותחה על-ידי המחברים, שימשה להרבצת קיטור באופן אחיד על פני הגזר (רגב וחוברין, 2009). המערכת בנויה ממסוע גלילים שעליו מותקנות פומיות, כשהטמפרטורה אליה מגיע שטח הפנים של הגזר מתועדת ב"זמן אמת" על-ידי מצלמה תרמית, המותקנת על גבי המסוע. במהלך הניסויים נחשפו הגזרים לקיטור במשך 2, 3 ו-4 שניות בלחץ של 4 בר.

טיפול הריסוס: ריסוס הגזר בוצע על גבי שולחנות רשת, כדימיו למסוע מסחרי. הגזרים רוססו במים (טיפול היקש), במי חמצן מיוצבים (צונאמי, אקולאב), איפרודין (0.5 גרם לליטר) או ב-2 גרמים לליטר שמר - תכשיר מסחרי המכוסס על תבדיד השמר *Metschnikowia fructicola* (אגרוג'ין, קבוצת מינרב, אשדוד). **אריזה ואחסון:** לאחר הטיפולים אוחסנו הגזרים בשקיות שיווק



ומצמצמת את התופעה. מטרת ההברשה היא שיפור מראה הגזר והמגדלים והמשווקים אינם מעוניינים לוותר על התהליך. בעבודות קודמות נעשה שימוש בקיטור (בהרבעה פחות מדויקת) ובמי חמצן מיוצבים. להדברת מחלות לאחר קטיף (Forney et al., 1999; Afek et al., 1991). הדברת מחלות גזר מוברש. בו מוסרת שכבת האפידרמיס החיצונית, מציבה אתגר מורכב בשל רגישות מוגברת של הרקמה לנזקים פיטוטוקסיים. ואכן, גם הקיטור וגם מי החמצן יצרו נזקים לרקמה במינון שהיה דרוש להדברת המחלה. יצירת עקומות הדברה לעומת נזק, כפי שהן מוצגות בעבודה זאת. יכולה לשמש לבחירת המינון המקסימאלי, בו ניתן ליישם גורם הדברה. שילוב גורמי הדברה במינון תת קטלני נמצא בעבודות קודמות יעיל בהדברת מחלות קרקע (Eshel et al., 2000). גורמי מחלה, ששרדו את גורם ההדברה הראשון, נמצאו פגיעים יותר לגורם ההדברה העוקב, שבמקרים מסוימים היה מדביר ביולוגי (Freeman and Katan, 1988; Eshel et al., 1999; Fravel and Lewis, 2004).

במחקר הנוכחי, שילוב של מינונים תת קטלניים של קיטור או צונאמי עם טיפול עוקב בשמר, לפני אחסון, הגבירו את יעילות ההדברה באופן סינרגיסטי. כלומר טוב יותר מכל טיפול המבוצע לבד ואף מסלום חיבורם. יעילות ההדברה נמצאה גבוהה למרות תנאי החמרה בהם השתמשנו, שאינם נהוגים במסחר (שברית שרשרת קירור וחיי מדף ארוכים). במחקר זה אף הוצג אפקט סינרגיסטי בשילוב עוקב של טיפולים שאינם מתאימים זה לזה, כגון מי חמצן--שטיפה במים וריסוס בשמר. שילוב כזה ניתן לבצע לאורך מסוע מסחרי. הוכח לעיל, שגם לאחר שטיפת הגורם הראשון. נשמרת עדיין השפעתו המעצימה על יעילות גורם ההדברה העוקב.

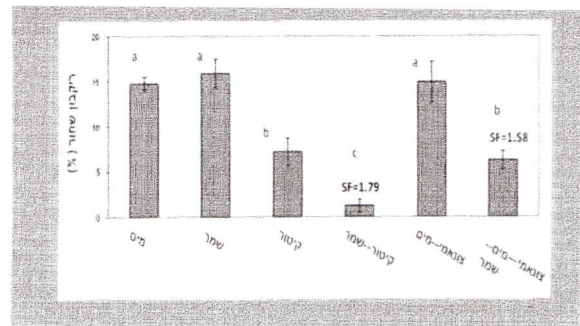
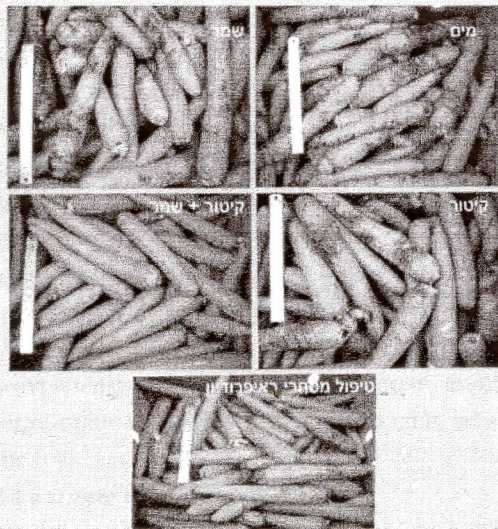
ולאחריו ריסוס צונאמי (0.5 מ"ל לליטר) הראה פעילות סינרגיסטית חלשה ($SF = 1.1$) והפחתה של כ-80% בסימפטומים הנגרמים על-ידי המחלה (איור 3). שילוב טיפולים במינונים תת-פיטוטוקסיים לא הביא לנזק כלשהו לרקמת הגזר המטופל. ריסוס הגזרים בשמר לפני אחסונם לא השפיע על התפתחות ריקבון האשרוש השחור במהלך הסימולציה לחיי מדף, אחרי האחסון בקירור. לעומת זאת, ריסוס השמר לאחר טיפול של 3 שניות בקיטור הביא לאפקט סינרגיסטי ($SF = 1.79$) ולהפחתה של 86% בסימפטומים של המחלה (איור 4 ותמונה 2). אפקט סינרגיסטי מובהק, אך חלש יותר ($SF = 1.58$), התקבל על-ידי שילוב חטיפה קצרה לצונאמי במינון של 1 מ"ל לליטר, שטיפת הגזר במים (לאחר שלושים שניות) וריסוס בשמר (איור 4). יעילות ההדברה בשילוב זה של הטיפולים הגיעה ל-54%. שני מעקבות הטיפולים (קיטור--שמר וצונאמי--שמר) הפחיתו את הופעת הסימפטומים של ריקבון האשרוש השחור באופן יעיל יותר מהטיפול המסחרי המקובל בתכשירי איפורדיון וגרמו לנזק פיטוטוקסי שולי ביותר.

דיון

אילוח גזר בפטרייה *T. basicola*, הגורמת לריקבון האשרוש השחור, מקורו ככל הנראה בשדה, בעוד שהפצת גורם המחלה ואילוח משני מתרחשים בבית האריזה (Weber and Tribe, 2004). בעבודה הנוכחית נמצא, שהברשת הגזר מגבירה באורח דרמטי את הופעת הסימפטומים האופייניים. בעוד שהימנעות מהברשה מעלימה את התופעה כמעט לחלוטין. לעומת זאת, באשר לגורמי ריקבון רך/מימי, נמצא בתוצאות ראשוניות (שאינן מוצגות) שההברשה

איור מס' 4: הדברה סינרגיסטית של ריקבון האשרוש השחור בגזר על-ידי שילוב שיטות הדברה. גזר מהזן דורדון טופל ב-2 גר לליטר שמר או 3 שניות קיטור או 1 מ"ל לליטר צונאמי במשך 30 שניות ושטיפה במים (צונאמי - מים) או בשילובים המצוינים בתרשים. הגזר נארז בשקיות שיווק קמעוניות ואוחסן למשך 30 ימים ב-0.5 מ"צ ולאחר מכן למשך 8 ימים ב-20 מ"צ. התפתחות סימפטומים אופייניים לריקבון האשרוש השחור הוערכה ויזואלית. כל טיפול הכיל 15 חזרות כשבכל אחת 10 גזרים. אותיות שונות מייצגות הבדל מובהק ($P \leq 0.05$). הערך SF מייצג אפקט סינרגיסטי המושג על-ידי שילוב טיפולי הדברה. $SF > 1$ מצביע על אפקט סינרגיסטי ($P \leq 0.05$).

תמונה מס' 2: השפעת השילוב של מינונים תת קטלניים של קיטור ושמר על הדברת ריקבון האשרוש השחור (נתוני הניסוי מופיעים בכותרת של איור 4).



בחירת ה"שחקנים" לקבלת אפקט סינרגיסטי/מעצים לשם הדברה הינה מורכבת. שכן ברוב המקרים המדווחים בספרות התקבלה השפעה תוספתית בלבד (Ben-Noon et al., 2003). מחקר זה מציע אודל לבחינת גורמי ההדברה הפוטנציאליים תוך התמקדות בשאריות נמוכה וב"ידידותיות" לאדם ולסביבה. שילוב של קיטור מדויק ושומר יכול לשמש לטיפול בתוצרת אורגנית. בימים אלה שוקדים המחקרים על תכנון וביצוע ניסויים חצי מסחריים לבחינת ישימות השיטה בתנאים מסחריים.

תודות

לפרופ' דני שטיינברג על היעוץ באשר לאופן ניתוח התוצאות. למועצת הצמחים - ענף ירקות על מימון חלק מהניסויים. ליוסי קנר ו"גזר שלוחות" על תרומת גזר לניסויים ועל שיתוף-פעולה לבבי ופורה.

רשימת ספרות

- רגב ר., גן-מור ש., גליק י., לוי א., אורנשטיין ז., ואשל ד., 2009. פיתוח מערכת להרבצת קיטור וחימום אחיד של שטח הפנים בגזר. כטיפול מחטא לאחר האסיף. ניר ותלם 15: 34-37.
- Afek, U., Orenstein, J., Nuriel, E. 1999. Steam treatment to prevent carrot decay during storage. *Crop Protection* 18, 639-642.
- Ben-Noon, E., Shtienberg, D., Shlevin, E., Dinooor, A. 2003. Joint action of disease control measures: A case study of *Alternaria* Leaf Blight of carrot. *Phytopathology* 93, 1320-1328.
- Eshel, D., Gamiel, A., Katan, J., Grinstein, A. 1999. Evaluation of soil fumigants on soilborne fungal pathogens in a controlled-environment system and in soil. *Crop Protection* 18, 437-443.
- Eshel, D., Gamiel, A., Grinstein, A., Di Primo, P., Katan, J. 2000. Combined soil treatments and sequence of application in improving the control of soilborne pathogens. *Phytopathology* 90, 751-757.
- Forney, C.F., Rij, R.E., Denis-Arrue, R., Smilanick, J.L. 1991. Vapor phase hydrogen peroxide inhibits postharvest decay of table grapes. *HortScience* 26, 1512-1514.
- Fravel, D.R., Lewis, J.A. 2004. Effect of label and sublabel rates of metam sodium in combination with *Trichoderma hamatum*, *T. harzianum*, *T. virens*, *T. viride* on survival and growth of *Rhizoctonia solani*. *Phytoparasitica* 32, 111-118.
- Freeman, S., Katan, J. 1988. Weakening effect on propagules of *Fusarium* by sublethal heating. *Phytopathology* 78, 1656-1661.
- Kosman, E., Cohen, Y. 1996. Procedures for calculating and differentiating synergism and antagonism in action of fungicide mixtures. *Phytopathology* 86, 1263-1272.
- Levy, Y., Benderly, M., Cohen, Y., Gisi, U., Bassand, D. 1986. The joint action of fungicides in mixtures: comparison of two methods for synergy calculation. *EPPO Bulletin* 16, 651-657.
- Weber, R.W.S., Tribe, H.T. 2004. Moulds that should be better known: *Thielaviopsis basicola* and *T. thielavioides*, two ubiquitous moulds on carrots sold in shops. *Mycologist* 18, 6-10.