



**הוועידה ה- 45 של העמותה הישראלית למחלות צמחים**

**חוברת תקצירים**

**יום שני, 16 בפברואר 2026**

**אולם כהן, מכון וולקני**



הועידה ה- 45 של העמותה הישראלית למחלות צמחים

יום שני, 16 פברואר, 2026

אולם כהן, מכון וולקני

קישור להרשמה

<https://www.eventer.co.il/968rf>

**08:30-09:00 – התכנסות**

09:00-09:10 – דברי פתיחה

09:10-10:00 – פרופ' משה ענבר (אוני' חיפה), הרצאת אורח: כנימות יוצרות עפצים על אלות בישראל

**מושב א – יובל לחיטוי הסולרי (מושב לכבודו של פרופ' יעקב קטן; יו"ר, אברהם גמליאל)**

10:00-10:15 – אברהם גמליאל (מכון וולקני): החיטוי הסולרי – קווים לדמותו אחרי יובל שנים

10:15-10:30 – יורם כחלון (גדות אגרו): חיטוי סולרי בשילוב אמצעים כימיים להגברת היעילות בהדברת פגעי קרקע

10:30-10:45 – עודד כהן (מכון שמיר): חיטוי סולרי והתמודדות עם צמחים פולשים במרחב הפתוח

10:45-11:00 – סבטלנה דוברינין (שה"מ): חיטוי סולרי בשירות החקלאים

**11:00-11:30 – הפסקת קפה והצגת פוסטרים**

**מושב ב – עמידות ויחסי גומלין צמח-פתוגן (יו"ר סיגל בראון מיארה)**

11:30-11:50 – יעקב גוטליב (שה"מ), הרצאה מוזמנת: התמודדות עם תופעת הניון ברוסקוס בעזרת גידול במצעים מבודדים.

11:50-12:05 – זיו שפיגלמן (מכון וולקני): השראת עמידות כנגד TSWV ותרופס בצמחי לפל

12:05-12:15 – פטריסיה בוקי (מכון וולקני): פיתוח מערכת שורשים ביומימטית תלת-ממדית לחקר ובידוד פרמטרים של השורש המשפיעים על התנהגות נמטודות יוצרות עפצים – לפתרון ירוק וידידותי

12:15-12:25 – מאיה שמגר (מכון וולקני): זיהוי ואיפיון אורטו-טוספו וירוס חדש בישראל ולימוד השפעתו על גידולי עגבניות וצמחי נוי

12:25-12:35 – רבקה שולמית המר (אוני' בר-אילן): מיפוי QTL ופיתוח סמנים לעמידות נגד כשותית הדלועיים בשני קווי בר עמידים של מלפפון PI-197088 ו-PI-330628

12:35-12:45 – דורון טפר (מכון וולקני): מציאת מקורות חדשים לעמידות כנגד מחלת הכיב החיידקי בעגבנייה

12:45-12:55 – אליענה שמחה-סילברמן (אוני' בר-אילן): אימות תפקידם של גנים לעמידות כנגד ZYMV בצמחי מלון

12:55-13:05 – אילנה קוזמינסקי (מכון וולקני): השפעתו של נגיף צהבון האמיר של העגבנייה על תגובות למצבי עקה ברשתית התוך-פלזמית בכנימת עש הטבק

**13:05-14:15 – הפסקת צהרים והצגת פוסטרים**

**14:15-14:35 – כינוס אסיפה: בחירת חברי ועד, תקציב עמותה, שונות.**

**מושב ג – הדברה והתמודדות עם מחלות (יו"ר סבטלנה דוברינין)**

- 14:35-14:55 – **תרצה זהבי** (שה"מ), הרצאה מוזמנת: ענבים ואגרוטכניקה להפחתת מחלות – שילוב מנצח
- 14:55-15:10 – **אסף חן** (מיגל, אונ' קריית שמונה בהקמה): זיהוי עיוות תפוחות במנגו באמצעות למידה עמוקה וחישה מרחוק לייעול תהליכי סניטציה
- 15:10-15:20 – **נדב שמילה** (מכון וולקני): איפיון גורמי רקב לאחר הקטיף בגזר באחסון ארוך-טווח ופיתוח שיטות להדברה בת-קיימא
- 15:20-15:30 – **רביד ביליה** (אונ' עברית): פוטנציאל השימוש בבקטריופאג'ים כמדבירים ביולוגים כנגד החיידק הפיטופתוגני *Paracidovorax citrulli*
- 15:30-15:40 – **אלון שומרון** (מכון וולקני): מיקרו-חלקיקי ווטרית כנשאים מתכלים לשחרור מבוקר של פפטידים אנטי-פטריותיים
- 15:40-15:50 – **הדס מרימצ'יק** (אדמה בע"מ): הכנסת קוטל פטריות חדשני לשוק: מסע הפיתוח ותובנות מרכזיות מ- *Gilboa™*
- 15:50-16:00 – **אופיר דגני** (מיגל, אונ' קריית שמונה בהקמה): פורמולות חרסית-Azoxystrobin להגנה ידידותית לסביבה כנגד מחלת הנבילה המאוחרת בתירס

**16:00-16:20 – הפסקת קפה**

**מושב ד – הדברה והתמודדות עם מחלות (יו"ר אופיר בהר)**

- 16:20-16:30 – **ליאור גור** (מכון שמיר למחקר): טכנולוגיה פשוטה – יישומיות גבוהה: תרגום מחקר לפתרונות בהגנת הצומח במטע ובכרם
- 16:30-16:40 – **סולאף פרחאת** (מיגל, אונ' קריית שמונה בהקמה): עיכוב קשיון רולפסי (*Athelia rolfsii*) בעגבניות לתעשייה באמצעות הפרשות זבוב החייל השחור: מהמעבדה – לשדה

**Flash talks באנגלית (יו"ר אופיר בהר)**

- 16:40-16:45 – **Samuel Nomo** (מכון וולקני): Exploring a green alga isolated from the Negev desert for sustainable biological control of soil-borne diseases
- 16:45-16:50 – **Yitayih Kassie** (מכון וולקני): The Effect of Water and Temperature Stress on the Outbreak of Charcoal Rot (*Macrophomina Phaseolina*) in Sensitive Cotton Variety
- 16:50-16:55 – **Denberu Kebede** (מכון וולקני): Premature Field Collapse in Spring Potatoes: Field Assessment and Fungicide Efficacy Screening in the Western Negev, Israel
- 16:55-17:00 – **Alkesh Hada** (מכון וולקני): MAP-1 Family Effectors MjMAP19 and MjMAP40 Drive Parasitism and Immune Suppression in *Meloidogyne javanica*
- 17:00-17:05 – **Khadijah Ayarnah** (מכון וולקני): Quantifying Latent Infection Dynamics of Postharvest Fungi Using Biosensor-Derived Disease Metrics and RT-LAMP

## 17:05-17:20 – חלוקת מלגות וסיכום הועידה

### פוסטרים

**עדן קופר** (פקולטה לחקלאות) – חיזוק עמידות צמחים כנגד *Botrytis cinerea* : השפעת *Rhodotorula toruloides* ואליסיטורים חדשניים המבוססים על גרפן אוקסיד

**דנה מייליך** (מכון וולקני) – פוטנציאל אנטי-פטרייתי של פוליפנולים מגפת ענבים בשליטה לאחר הקטיף של *Botrytis cinerea*

**רימא גנאים** (מיגל, אונ' קריית שמונה בהקמה) – הדברה ביולוגית של ריקבון עוגת הבצל באמצעות מיני טריכודרמה

**שולמית המר** (אונ' בר-אילן) – מלפפוני בית אלפא עמידים לכשותית הדלועיים

**סיון מדינה** (מכון וולקני) – אפיון רשת קשרי הגומלין בין חלבוני הצמח לחלבוני התנועה של נגיפי טובמו

**Samuel Nomo** (Volcani Institute, Gilat) – Exploring a green alga isolated from the Negev desert for sustainable biological control of soil-borne diseases

**Prabin Dangi** (Volcani Institute) – Characterizing the Immune Response Induced in *Nicotiana* species by *Clavibacter* Serine Proteases

**Yao Xiao** (Volcani Institute) – Transcriptomic and functional analyses reveal JA-dependent immune responses to the *Clavibacter* effector ChpG in eggplant

**Claire Njeri Njagi** (Volcani Institute) – Contribution of Jasmonic Acid Signaling to ChpG-Induced Hypersensitive Response in Eggplant

**Jency Louis** (Volcani Institute, Gilat) – Environmental and molecular insights into *Pectobacterium brasiliense*, *dickeya solani*, and soft rot resistance in potato seed tubers

**Alkesh Hada** (Volcani Institute) – MAP-1 Family Effectors MjMAP19 and MjMAP40 Drive Parasitism and Immune Suppression in *Meloidogyne javanica*

**Denberu Kebede** (Volcani Institute, Gilat) – Premature Field Collapse in Spring Potatoes: Field Assessment and Fungicide Efficacy Screening in the Western Negev, Israel

**Yitayih Kassie** (Volcani Institute, Gilat) – The Effect of Water and Temperature Stress on the Outbreak of Charcoal Rot (*Macrophomina Phaseolina*) in Sensitive Cotton Variety

**Khadijah Ayarnah** (Volcani Institute) – Quantifying Latent Infection Dynamics of Postharvest Fungi Using Biosensor-Derived Disease Metrics and RT-LAMP



## השראת עמידות כנגד TSWV ותריפס בצמחי פלפל

דוד קורבנוב<sup>1,2</sup>, מאי אברהם<sup>1,2</sup>, ריטש מישרה<sup>1</sup>, חגית האק<sup>1</sup>, יגאל אלעד<sup>1</sup>, מיה בר<sup>3</sup>, רועי כספי<sup>4</sup>, יואל מסיקה<sup>5</sup>, וזיו שפיגלמן<sup>1</sup>

<sup>4</sup> המחלקה לפתולוגיה של צמחים וחקר עשבים, המכון להגנת הצומח, מכון וולקני;

<sup>2</sup> הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית;

<sup>3</sup> המחלקה למדעי החיים, אוניברסיטת בן גוריון;

<sup>4</sup> המחלקה לאנטומולוגיה, המכון להגנת הצומח, מכון וולקני;

<sup>5</sup> חוקר הגנת הצומח, מו"פ דרום

נגיף כתמי הנבילה של העגבנייה (Tomato spotted wilt virus, TSWV) הינו גורם מחלה עיקרי בגידול הפלפל בישראל. נגיף זה שבר את העמידות הגנטית ל-TSWV בצמחי פלפל ועמידות זו למעשה אינה אפקטיבית. העברת הנגיף מתבצעת ע"י מיני תריפסים שונים, אך אלו פיתחו עמידויות כנגד חומרי ההדברה וכיום עשה שימוש נרחב באויבים טבעיים להדברתם. לפיכך, יש צורך בפתרונות חדשים וידידותיים לסביבה לבלימה של TSWV ולהפחתת השימוש בחומרי הדברה כנגד התריפס. אחת הדרכים להפחתת נזקי גורמי מחלה בצמחים היא באמצעות שימוש במשרנים (Inducers) כימיים או ביולוגיים המגבירים את היכולת ההגנתית של הצמח. בחינה של חמישה משרני עמידות העלתה כי התכשיר Actigard המבוסס על משרן העמידות S-acibenzolar הוא אפקטיבי ביותר כנגד המחלה. ASM הפחית בצורה משמעותית הן את סימני המחלה, והן את רמות הנגיף ברקמות המרוחקות ממקום ההדבקה. בחינת מנגנון ההגנה העלתה כי ASM מגביל את התנועה הסיסטמית של הנגיף באמצעות סינתזה של הפוליסכריד קאלוז (callose) החוסם מסלולי תנועה בין תאיים. בנוסף, טיפול ב-ASM גרם לירידה במשיכת תריפס קליפורני לצמח, בשרידות התריפס, ולפחיתה ביכולתו לרכוש את הנגיף מצמחים מודבקים. תוצאות אלו אומתו בניסויי שדה ניסויי שדה במתחם הקרנטינה של מו"פ דרום, בהם בוצע מעקב אחר סימני המחלה ואיכות הפרי לאורך כל עונת השיווק. בניסויים אלו נראתה פחיתה משמעותית ברמות הנגיף ובסימני המחלה בעלים ובפירות של צמחים המודבקים ב-TSWV. על בסיס תוצאות מחקר זה, יישום תכשירים מבוססי ASM הינו יעיל להגנה של צמחי פלפל מפני TSWV בגידולים מסחריים. עם זאת, יש לציין כי נדרשים ניסויים נוספים בכדי לדייק את היישום האופטימלי על מנת למנוע תופעות לוואי של התכשיר כגון עיכוב התפתחות ונשירת פרחים.



## פיתוח מערכת שורשים ביומימטית תלת־ממדית לחקר ובידוד פרמטרים של השורש המשפיעים על התנהגות נמטודות יוצרות עפצים – לפתרון ירוק וידידותי

פטריסיה בוקי<sup>1</sup>, נטליה סיציוב שמעוני<sup>1</sup>, מיכל אמרני<sup>2,3</sup>, מאיה קליימן<sup>2</sup>, נועה לכמן-סנש<sup>4</sup>, טלי סייאס<sup>2</sup>, ניקול גורובסקי<sup>4</sup> וסיגל בראון מיארה<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> המחלקה לאנטומולוגיה והיחידות לנמטולוגיה וכימיה, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני, ראשון לציון, <sup>2</sup>המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני, <sup>3</sup>הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה, אוניברסיטה העברית בירושלים, רחבת. <sup>4</sup>הפקולטה להנדסה, אוניברסיטת תל-אביב תל אביב

פיתוח מערכת שורשים ביומימטית תלת־ממדית מציעה גישה חדשנית לחקר ובידוד פרמטרים מרכזיים של השורש המשפיעים על התנהגות נמטודות יוצרות עפצים (RKN; Root-Knot Nematodes; *Meloidogyne spp.*). נמטודות אלו נמנות עם הפתוגנים הקרקעיים ההרסניים ביותר בחקלאות העולמית, וגורמות לאובדני יכול משמעותיים במגוון רחב של מערכות גידול, לרבות עצי פרי, גידולי ירקות וצמחים בעלי חשיבות כלכלית גבוהה. הבנת האינטראקציות בין נמטודות לשורשי הצמח הינה חיונית לפיתוח אסטרטגיות הדברה יעילות ובנות־קיימא. במחקר משותף לשלוש קבוצות מחקר אנו מפתחות, על סמך הידע של כל אחת מהקבוצות, אב טיפוס למלכודת פיזיקלית לנמטודות טפילות לצמחים כאמצעי יעיל להפחתת המידבק לו נחשף השתיל במהלך השתילה.

לשם התמודדות עם אתגר זה, פיתחנו פלטפורמה סינתטית באמצעות שילוב של גישות ייצור ביומימטיות שונות, ובהן יציקה בממס ליצירת סרטים, הדפסה תלת־ממדית וטכניקות אמולסיה מבוססות קפסולות. באמצעות שילובים של פוליסכרידים טבעיים יוצרו סרטים יציבים המדמים את הרכב דופן התא של השורש. נמטודות יוצרות עפצים הצליחו לחדור למבנים ביומימטיים אלו, דבר המעיד על הרלוונטיות הביולוגית של המערכת ועל התאמתה לחקר שלבי האינטראקציה הראשוניים בין הנמטודה לשורש.

על מנת להבין את המנגנונים העומדים בבסיס חדירת הנמטודות לפילמים, השתמשנו בגלוקוז כמעכב של האנזים צלולאז. טיפול זה הפחית את חדירת הנמטודות דרך המערכת הביומימטית, ומצביע על תפקיד מרכזי של אנזימים מפרקי דופן התא (CWDEs) (Cell Wall-Degrading Enzymes) בתהליך החדירה של הנמטודות למטריצה הסינתטית המדמה שורש. תוצאות אלו ביחד עם שילוב חומרי משיכה תורמים לפיתוח המלכודת כאמצעי ידידותי להתמודדות כנגד נמטודות.

בסיכומו של דבר, פלטפורמה ביומימטית זו מהווה כלי חדשני לזיהוי תכונות שורש הקשורות לעמידות או לרגישות להדבקה בנמטודות. על בסיס תובנות אלו, אנו מתקדמים כיום לעבר פיתוח פתרון יישומי וידידותי.



## זיהוי ואיפיון אורטו-טוספו וירוס חדש בישראל ולימוד השפעתו על גידולי עגבניות וצמחי נוי.

מאיה שמגר<sup>1,2</sup>, נטע מור<sup>3</sup> תמר להב<sup>3</sup>, סיגל פרלסון<sup>4</sup>, לידן פלאח<sup>3</sup>, עודד לכמן<sup>1</sup>, אלישבע סמית<sup>1</sup>, דיאנה ליבמן<sup>1</sup> ואביב דומברובסקי<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המחלקה למחלות צמחים וחקר עשבים, מכון וולקני; <sup>2</sup>הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית, רחובות; <sup>3</sup>שרות ההדרכה והמקצוע (שה"מ), משרד החקלאות; <sup>4</sup>סיגל פתרונות מתקדמים להגנת הצומח

בחודש פברואר 2024 זוהו תסמיני מחלה חריגים בגידול עגבניות חממה באזור עמק חפר. תסמיני המחלה כללו הצהבה וסלסול של העלים בליווי כתמים/טבעות נקרוטיות בחלק מהצמחים נצפה מופע של נבילה. תסמיני המחלה בפירות כללו עיוות של הפירות, צלקות ועיכוב התפתחותי. תסמיני המחלה היו דומים לאלו הנגרמים מנגיף כתמי הנבילה של העגבנייה (tomato spotted wilt virus (TSWV). בדיקה של דוגמאות עלים ופירות RT-PCR ו-ELISA שללה נוכחות של TSWV ונגיפים נוספים כדוגמת (potato virus Y (PVY, cucumber mosaic virus (CMV), הטובמווירוס (pepino mosaic virus (PepMV). במטרה לאתר את גורם המחלה, נאספו דוגמאות עלים מצמחים סימפטומטיים שנדגמו מ-4 חממות עגבנייה של מגדלים שונים. RNA ויראלי הופק מדוגמאות העלים והפירות ורוצף ב-Illumina HiSeq, ניתוח ביואינופורמטי של תוצרי הריצוף המתקדם אפשרו את הזיהוי של שלושת הסגמנטים המרכיבים את הגנום של מין חדש של אורטו-טוספו וירוס בישראל. בשנים 2024-2025 התבצע מעקב אחר הפצת הנגיף בחממות עגבנייה ולימוד טווח הפונדקאים של הנגיף באמצעות שימוש בשיטות אבחון שונות: (i). שימוש בנוגדן ספציפי כנגד הנגיף אפשר זיהוי של הנגיף בדוגמאות צמחים בשיטת ELISA ו-Western blot. (ii). בהתבסס על רצף הגנום של הנגיף החדש תוכננו פרימרים ספציפיים לזיהוי מולקולארי של גנום הנגיף באמצעות הגברה ב-RT-PCR. מתוצאות שהתקבלו עד כה, אנו למדים כי לנגיף טווח פונדקאים רחב גם בקרב צמחי נוי: רקפת הראו תסמינים של עיוות פרחים, הצהבות ומוזאיקה ע"ג העלים, גזניה- עיוות ומוזאיקה ע"ג העלים. בספרות דווח כי הווקטור להפצת הנגיף-תריפס הפרחים המערבי *Frankliniella occidentalis* ותריפס הטבק *Thrips tabaci*. המשך לימוד של טווח הפונדקאים בצמחי נוי, בגידולי ירקות נוספים ובצמחיית הבר על מנת לגבש דרכי פעולה אפשריים לצמצום נזקי המחלה.



## ופיתוח סמנים לעמידות נגד כשותית הדלועיים בשני קווי בר עמידים של QTL מיפוי PI-330628 ו-PI-197088 מלפפון

רבקה שולמית המר ויגאל כהן

הפקולטה למדעי החיים, אוניברסיטת בר אילן.

מלפפון הוא ירק בעל חשיבות כלכלית עולמית. תהליך ביותו הוביל לצמצום המגוון הגנטי ולפגיעותו במחלות. מחלת גורמת לנזקים כבדים למלפפון *Pseudoperonospora cubensis* כשותית הדלועיים, הנגרמת על ידי האוואמיצט . כדי PI-330628 ו-PI-197088 התרבותי. במחקר זה אפיינו את העמידות הגנטית לכשותית בשני קווי בר עמידים . SMR ,PI-197088 X SMR ,PI-197088 X SMR האחראים לעמידות יצרנו שתי אוכלוסיות מיפוי בהכלאה עם הזן הרגיש QTLs לזהות את ה . רמת העמידות נבדקה בכל צמח במעבדה (בעלים מנותקים שהודבקו ו-PI-330628 X SMR F2 ו-SMR F2 בתבדידים מארה"ב, יפן וסין) ובשדה (צמחים בוגרים שהודבקו בתערובת תבדידים ישראליים). נמצאו שני אזורים ( על כרומוזום 4 ועל כרומוזום 5 שהראו קשר חזק ומובהק לעמידות בשתי אוכלוסיות QTLs גנומיים מרכזיים ) על כרומוזום 5 השפיע על העמידות בכל מועדי ההערכה בצמחים בוגרים בשתי האוכלוסיות. QTL המיפוי. ה- נוספים לעמידות על כרומוזומים 1, 2 ו-6, שלא נמצאו QTLs נמצאו PI-330628 X SMR F2 באוכלוסיית נוסף זוהה בכרומוזום 3 QTL באוכלוסייה השנייה. כלומר, חלק מן הגנים לעמידות לכשותית שונים בשני הקווים. המרכזיים בכרומוזומים 4 ו-5 אישר את תרומתם QTLs בשתי האוכלוסיות. ניתוח של סמנים גנטיים המייצגים את ה- לעמידות. צמחים שירשו את האלל של הסמן מההורה העמיד היו יותר עמידים באופן מובהק מצמחים שירשו את האלל מההורה הרגיש. צמחים שירשו את אללי העמידות מכרומוזום 4 וגם מכרומוזום 5 היו בעלי העמידות הגבוהה ביותר. הסמנים הגנטיים שאותרו יאפשרו טיפוח מהיר של זני מלפפון בעלי עמידות למחלה.



## מציאת מקורות חדשים לעמידות כנגד מחלת הכיב החיידקי בעגבנייה

שטרופה ריי<sup>1</sup>, נועה סלע<sup>2</sup>, יאו שאו<sup>1,3</sup>, דורון טפר<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המחלקה למחלות צמחים וחקר עשבים, מינהל המחקר החקלאי – מכון וולקני

<sup>2</sup>היחידה לביואינפורמטיקה, מינהל המחקר החקלאי – מכון וולקני

<sup>3</sup>המחלקה למחלות צמחים ומיקרוביולוגיה, הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית בירושלים

מחלת הכיב החיידקי, הנגרמת על ידי החיידק *Clavibacter michiganensis* (Cm), היא אחת המחלות החשובות ביותר בגידולי עגבנייה ברחבי העולם. במחקר זה נערכה סריקה של קווי עגבניות ממוצא *Solanum pimpinellifolium* ו *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* במטרה לזהות מקורות גנטיים חדשים לעמידות למחלה. מתוך 120 קווים שנבדקו, נמצאו שני קווים (30 ו-62) שהפגינו סבילות גבוהה, וקו יחיד (27) שהראה עמידות מוחלטת. אפיון יכולת החיידק לגדול באופן מקומי וסיסטמי הראה כי בשלושת הקווים הללו נצפתה ירידה משמעותית בכמות חיידקי ה-Cm בהשוואה לקו הרגיש MoneyMaker (MM). ממצא זה מצביע על כך שהפחתת חומרת המחלה נובעת ככל הנראה מהגבלת גדילת החיידק או תנועתו בקווים העמידים. מעקב אחר הפעלת תגובת ההגנה בקווים העמידים הצביע על עלייה ברמות התעתיקים של *PR1*, *PR2* ו *PR5* בעת הדבקה, בהשוואה ל-MM, דבר המרמז על הפעלה מוגברת של תגובת ההגנה. עם זאת, תגובת הגנה סלקטיבית מסוג hypersensitive response (HR) לא נצפתה באף אחד מהקווים. לצורך בחינת דגם ההורשה של העמידות, נערכו הכלאות בין הקווים העמידים לבין הקווים הרגישים MM ו M82, והתפלגות העמידות נבחנה בצאצאי המכלואים ובהכלאות עצמיות שלהם. תוצאות אנליזה זו הראו כי העמידות בקו 27 מציגה דגם הורשה דומיננטי, עם יחס התפלגות מקורב ל-1:3, מה שמעיד כי היא ככל הנראה נשלטת בעיקר על ידי לוקוס בודד. לעומת זאת, העמידות בקווים האחרים נמהלה ולא הציגה דגם התפלגות ברור. במחקר זה זוהו קווי עגבניות המפגינים עמידות או סבילות ל-Cm, אשר עשויים לשמש להשבחה עתידית.



## אימות תפקידם של גנים לעמידות כנגד ZYMV בצמחי מלון

אליענה שמחה-סילברמן, נסטסיה אדלר-ברקה, ד"ר עמליה בר-זיו ופרופ' רפאל פרל-טרבס  
הפקולטה למדעי החיים, אוניברסיטת בר-אילן, רמת גן

הוירוס Zucchini Yellow Mosaic Virus (ZYMV) גורם להפסדים חמורים ביבול דלועיים ברחבי העולם. במלון (*Cucumis melo*) קיימת עמידות מונוגנית בלוקוס *Zym* על כרומוזום 2, שמקורה בן המלון העמיד PI414723. במעבדתנו מופו בלוקוס זה שני גנים קנדידטים בעלי מבנה CNL (Coiled-coil Nucleotide-binding Leucine-) (rich repeat), המאפיין גנים ידועים לעמידות. בין הקנדידטים 88% זהות בנוקלאוטידים, ובסמיכות גן שלישי המקודד לפקטור שעתוק ממשפחת NAC. זן עמיד זה הוכלא עם הזן המסחרי *Charéntais* לקבלת קווים איזוגנים: *Charéntais ZymR* ו-*Charéntais ZymS*. כדי להוכיח את תפקיד הגנים הללו בהקניית עמידות, נבנו ארבעה וקטורי CRISPR/cas9 להשבתה: מוטגנוזה לכל גן CNL בנפרד, לשניהם ביחד ואחד לפקטור השיעתוק NAC. התמרת מקטעי עלה מהזן העמיד *Charéntais ZymR* בקונסטרקט "Both" המשבית בבת אחת את שני הגנים מסוג CNL הניבה שלושה צמחים טרסגנים-מוטנטים, המכונים *Ab4*, *Ab5*, *Ab6*. הצמחים נשאו מוטציות בארבעת אתרי המטרה שתוכננו. עד כה בוצעו שלושה ניסויי הדבקה על צאצאי קו *Ab5*, לצד צמחי ביקורת עמידים (*ZymR*) ורגישים (*ZymS*) לוירוס. במהלך כשישה שבועות של סקירת המחלה, התפשטות הוירוס בצמחים המוטנטים הייתה דומה לזו של הצמחים הרגישים. הדבר מוכיח שאחד משני המועמדים, או שניהם ביחד, אכן מתפקדים כגנים לעמידות נגד ZYMV. ניסויים נוספים בוקטורי ה-CRISPR שהכנתי יוכלו לזהות מי הגן הקריטי מבין השניים. בנוסף, נבדקו אינטראקציות ישירות בין שני חלבוני העמידות הצמחיים לבין החלבונים הויראליים, באמצעות ביטוי חולף בצמחי *Nicotiana benthamiana* ובשיטת Yeast Two-Hybrid. בשתי השיטות לא זוהתה אינטראקציה ישירה בין החלבונים, ונדרש מחקר נוסף על מנגנון ההיכרות בין חלבון העמידות לבין הוירוס.

## השפעתו של נגיף צהבון האמיר של העגבנייה על תגובות למצבי עקה ברשתית

### התוך-פלזמית בכנימת עש הטבק



אילנה קוזמינסקי<sup>1,2\*</sup> ומוראד גאנם<sup>1</sup>

<sup>1</sup> המחלקה לאנטומולוגיה, מכון וולקני, ראשון לציון;

<sup>2</sup> המחלקה לאגרואקולוגיה ובריאות הצמח, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים,

רחובות

נגיף צהבון אמיר של העגבנייה (TYLCV - Tomato yellow leaf curl virus), השייך למשפחת ה-Begomovirus, ומועבר על ידי כנימת עש הטבק (*Bemisia tabaci*), מהווה איום משמעותי על גידולי העגבנייה ברחבי העולם. אף שמנגנוני הרכישה וההעברה של הנגיף נחקרו בהרחבה, המנגנונים המולקולריים העומדים בבסיס התגובה החיסונית של הכנימה לנוכחות הנגיף, שיכולים להשפיע ישירות על תהליך ההעברה, אינם ברורים. הרשתית התוך-פלזמית (ER) מהווה אברון מרכזי בתא שבו מתבצעת הפעלה של תגובות עקה תאיות ובהן אוטופגיה (אכילה עצמית) ואפופטוזה (מוות תאי מתוכנן), בעת הדבקה נגיפית. מסיבה זו, מסלולי העקה הקשורים לרשתית התוך-פלזמית מהווים יעד חשוב לבחינת אינטראקציות נגיף-ווקטור. המחקר בוחן את תגובות העקה של הרשתית התוך-פלזמית בכנימות במהלך הדבקה בנגיף צהבון האמיר של העגבנייה תוך התמקדות בחלבוני מסלול התגובה לחלבונים בלתי-מקופלים (Unfolded Protein Response - UPR). רמות הביטוי של חלבוני ה-IRE1a, PERK ו-ATF6 נבחנו באמצעות qRT-PCR, וזיהוי מיקומם של החלבונים הללו בכנימות נעשה באמצעות שיטת Immunolocalization, בה משתמשים בנוגדנים וצבענים ספציפיים. תוצאות הניסויים מצביעות על עלייה משמעותית בביטוי חלבוני חישת העקה בכנימות כתגובה לרכישת הנגיף. מבין החלבונים IRE1a הראה את רמת השינוי הגבוהה ביותר, דבר המרמז על תפקיד מרכזי בתגובת הכנימה לנגיף. ניסויי עיכוב החלבון IRE1a המתבצעים כעת בוחנים האם עיכוב IRE1a משפיע על הצטברות הנגיף, העברתו או כיצד יושפעו תהליכים בהמשך מסלול העקה כגון אפופטוזה או אוטופגיה. הממצאים במחקר מצביעים על מעורבות אפשרית של מצבי עקה ברשתית התוך-פלזמית ושל מסלול התגובה UPR בתגובת החיסון של כנימת עש הטבק לנגיף צהבון אמיר של העגבנייה. תובנות אלו מעמיקות את ההבנה של האינטראקציות בין הנגיף לווקטור ועשויות לסייע בפיתוח גישות עתידיות לשיבוש העברת נגיף צהבון האמיר של העגבנייה ושל נגיפים אחרים המועברים בצורה דומה על ידי וקטורים אחרים במערכות חקלאיות שונות.

## זיהוי עיוות תפרחות במנגו באמצעות למידה עמוקה וחישה מרחוק ליעול תהליכי סניטציה



<sup>1,2</sup> אסף חן, <sup>1</sup> יותם נגר, <sup>2,3</sup> מרי דפני-ילין, <sup>3</sup> סולאף פרחאת, <sup>3</sup> ושרה חדד  
<sup>1</sup> המעבדה לאגרו-גיאו-אינפורמטיקה, מיגל – מכון למחקר מדעי יישומי בגליל, קרית  
שמונה; <sup>2</sup> תל-חי, אוניברסיטה בהקמה, תל-חי; <sup>3</sup> המעבדה למחלות צמחים, מו"פ צפון,  
מיגל - מכון למחקר מדעי יישומי בגליל, קרית שמונה

עיוות התפרחות במנגו, הנגרם על-ידי הפתוגן *Fusarium mangiferae*, מהווה אתגר מרכזי בגידול מנגו בישראל ובעולם, עקב פגיעה משמעותית ביבול ובכדאיות הכלכלית של המטעים. נבגי הפטרייה חודרים לרקמות הצמח דרך חפי הפקע, גורמים לעלייה בייצור אנטוציאנינים ולהתפתחות תפרחות וצימוח ווגטיבי מעוותים. תפרחות אלו הן לרוב זכריות ועקרות, אינן חונטות פרי, ועלולות לגרום לאובדן יכול של עד 50% במטעים נגועים. בנוסף, הן משמשות מקור הדבקה לעונות הבאות. ההתמודדות כיום מתבססת על שילוב של פונגיצידיים וסניטציה ידנית יקרה, שעלותה עשויה להגיע לכ-2000 ש"ח לדונם, אך יעילותה מוגבלת. מטרת המחקר היא פיתוח כלי לניטור ולזיהוי אוטומטי של עיוות התפרחות, באמצעות שילוב חישה מרחוק ואלגוריתמים של למידת מכונה, במטרה לשפר את תזמון ודיוק פעולות הסניטציה, ובהמשך לאפשר אוטומציה ורובוטיזציה של התהליך. לצורך כך נבחנו שיטות שונות לאיסוף תצלומי RGB : צילומי רחפן בשיא פריחה (2022), צילומים קרקעיים בתקריב בזן קיט בשיא פריחה (2023), וצילומים קרקעיים בזנים נוספים (לילי וקנט) בשלבים פנולוגיים שונים (-2024 5). פותחו מודלים מבוססי רשתות עצביות עמוקות מסוג UNET והוערכו מדדי דיוק, רגישות וספציפיות. התוצאות הראו כי צילומי רחפן ברזולוציה של 1.1–1.3 מ"מ לפיקסל אינם מספקים לזיהוי מהימן, בעוד שצילומים קרקעיים ברזולוציה גבוהה (0.2–0.6 מ"מ לפיקסל) אפשרו זיהוי מדויק של עיוות התפרחות בזן קיט בשיא פריחה, עם Average Precision של עד 94% ו-F1-score של עד 0.89. ביצועי המודלים היו טובים יותר כאשר האימון והבדיקה בוצעו על אותו זן ובאותו שלב פנולוגי. מחקר עתידי יתמקד בשיפור ההכללה של המודלים, בזיהוי מוקדם לפני שיא הפריחה, ובהתאמתם לעבודה מבצעית משולבת רובוט מצילומי רחפן.



## איפיון גורמי רקב לאחר הקטיף בגזר באחסון ארוך-טווח ופיתוח שיטות

### להדברה בת-קיימא

נדב שמילה<sup>1,2</sup>, גינת רפאל<sup>1</sup>, נדב ניצן<sup>3</sup> וכרמית זיו<sup>1</sup>

<sup>1</sup> המחלקה לחקר תוצרת חקלאית, מרכז המנהל החקלאי, מכון וולקני, ראשל"צ;

<sup>2</sup> המחלקה לאגרוואקולוגיה ובריאות הצמח, הפקולטה למדעי החקלאות מזון וסביבה ע"ש

רוברט ה. סמית<sup>1</sup>, האוניברסיטה העברית ירושלים, רחובות;

<sup>3</sup> מרכז מחקר ופיתוח חקלאי – מו"פ עמק המעיינות.

התכשיר רובראל (ח"פ: איפרודיון) הוצא מרישוי לשימוש במערך הטבילה של גזר לפני אחסון ארוך טווח (0-2 מ"צ למשך 6-10 חודשים) בשלהי 2020. כתחליף אושר התכשיר סקולר (ח"פ: פלודיאוקסוניל). מטרת המחקר הייתה למפות ולאפיין את האטיולוגיה של גורמי הרקב בגזר מאוחסן ולפתח ממשק הדברה משולב ובר-קיימא לשימור כשירות הפלודיאוקסוניל והפחתת ההסתברות להתפתחות עמידות נגדו. בשנים 2022-2024 נדגמו גזרים נגועים לאחר איחסון מבתי-אריזה מסחריים בישראל, ובדדו 101 תבדידי פטריות שונות. זיהוי גנטי למין בוצע בשיטות מולקולריות מקובלות. מבחן קוך לפתוגניות לגזר בוצע ב-5 ו-16 מ"צ. התבדידים האלימים לגזר הגיעו מהמינים *Botrytis cinerea* (עובש אפור; 10 תבדידים), ו- *Sclerotinia sclerotiorum* (קשיונה גדולה; 11 תבדידים). נמצאה סינרגיה בין יעילות הפלודיאוקסוניל לטמפרטורת האיחסון הנמוכה. מתוך תבדידי הקשיונה הגדולה זוהה תבדיד עמיד ושלושה תבדידים סבילים. התבדיד העמיד היה רגיש לעקות אוסמוטיות ולא צבר גליצרול בנוכחות פלודיאוקסוניל. לעומתו, התבדידים הרגיש והסביל צברו גליצרול בתפסיר והיו רגישים פחות לעקה אוסמוטית. שילובים של פלודיאוקסוניל עם תכשירי מלחים אי-אורגניים, המאושרים לשימוש במזון: כילאט סידן (CaDTPA) ואמוניום ביקרבונט  $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$ , נבחנו כטיפולי טבילה פוטנציאליים. נמצא כי שילוב של כילאט סידן עם חצי מריכוז התוית המסחרי של פלודיאוקסוניל עיכב את גדילת כל התבדידים שנבחנו, כולל את תבדיד הקשיונה הגדולה העמיד. תוצאות המחקר נכנסות עתה לשלב בחינה מסחרי לפיתוח ממשק הדברה בר-קיימא וצמצום הפחת הנובע מריקבונות פטרייתיים בגזר המאוחסן.



פוטנציאל השימוש בבקטריופאג'ים כמדבירים ביולוגים כנגד החיידק הפיטופתוגני

## *Paracidovorax citrulli*

רביד ביליה ושאול בורדמן

המחלקה למחלות צמחים ומיקרוביולוגיה, המכון למדעי הסביבה, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים.

*Paracidovorax citrulli* הוא הגורם למחלת הכתם הגדול בדלועיים (bacterial fruit blotch, BFB). המחלה גורמת לפגיעה משמעותית בגידולי דלועים בעולם, ובעיקר באבטיח ומלון. כיום, הדרך העיקרית לניהול המחלה היא שימוש בבקטריוצידים כימיים המבוססים על נחושת. שימוש בחומרים אלה מזיק לסביבה ועלול להביא להופעה של זני *P. citrulli* עמידים לתכשירי נחושת. על מנת להתמודד עם בעיה זו יש לפתח גישות חדשניות המבוססות על אמצעים ידידותיים לסביבה. מחקרים רבים זיהו את פוטנציאל השימוש בבקטריופאג'ים (פאג'ים) כמדבירים ביולוגיים להתמודדות עם מחלות בקטריאליות של צמחים. מטרת המחקר שלנו היא לבודד פאג'ים בעלי כושר הדבקה על *P. citrulli* ולאפיין תבדידים שמראים פוטנציאל לשימוש כמדבירים ביולוגיים כנגד גורם המחלה. בידדנו שישה פאג'ים בעלי כושר הדבקה כנגד הזן M6 של *P. citrulli*. הפאג'ים אופיינו ביכולת הריבוי שלהם, בניתוח טווח פונדקאים ובאפיון גנטי. התוצאות מראות כי לפאג'ים שבודדו קיים כושר הדבקה כנגד מיני *Paracidovorax* פתוגנים לצמחים. למרבה ההפתעה, הגנומים של שני פאג'ים שרוצפו נמצאו בהתאמה מלאה לפרופאג'ים הנוכחים בגנום של זנים שונים של *P. citrulli*, ביניהם הזן AAC00-1. בניסוי המשך מצאנו כי תסנין של תרבית הזן AAC00-1 גרם ליצירת פלאקים בזן M6 בעוד שתסנין של M6 לא הוביל ליצירת פלאקים בזן AAC00-1. בנוסף, נמצא כי אחד הפאג'ים (P4) מסוגל להשתלב בכרומוזום של M6 וליצור זן ליזוגני בעל סבילות להדבקה מפאג'ים, ככל הנראה באמצעות מנגנון של חסימת הדבקה חוזרת. ממצאים אלו מדגימים כי פרופאג'ים בזנים עמידים של *P. citrulli* עשויים להשתחרר ולהדביק זנים רגישים. בהמשך המחקר נבודד ונאפיין פאג'ים נוספים ונבחן את יחסי הגומלין בין פאג' לפונדקאי. פאג'ים נבחרים ייבחנו בהמשך בתנאי חממה להערכת פוטנציאל הפחתת נזקי מחלת הכתם הגדול בדלועים.



## מיקרו־חלקיקי ווטריט כנשאים מתכלים לשחרור מבוקר של פפטידים אנטי־

### פטרייטיים

אלון שומרון<sup>1,2</sup>, מוחמד עטרש<sup>3,4</sup>, מרים עאמר<sup>3</sup>, עלי דרובי<sup>3,4</sup>, פאבל גינצבורג<sup>4</sup>, האני ברהום<sup>3,4\*</sup>,  
נעם אלקן<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>המחלקה לחקר התוצרת החקלאית, מכון וולקני, ת"ד 1515968, דרך המכבים, ראשון לציון 7528809, ישראל. <sup>2</sup>הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות 76100, ישראל. <sup>3</sup>מרכז המחקר והפיתוח האזורי המשולש, כפר קרע 3007500, ישראל. <sup>4</sup> המחלקה לאלקטרוניקה פיזיקלית, אוניברסיטת תל אביב, רמת אביב, תל אביב 69978, ישראל.

זיהומים פטרייטיים לאחר הקטיף גורמים לאובדן משמעותי של תוצרת חקלאית ומובילים להסתמכות מתמשכת על קוטלי פטריות כימיים. במחקר זה מוצגת מערכת מתכלה לשחרור פפטידים אנטי־פטרייטיים, המבוססת על מיקרו־חלקיקי סידן פחמתי (קלציט) מסוג ווטריט, לייצוב ולשחרור מבוקר של הפפטיד NCR13\_PFV2 לעיכוב גדילתה של הפטרייה *Alternaria alternata*. חלקיקי הווטריט סונתזו עם או ללא מודיפיקציה פולימרית באמצעות דקסטרוסולפט נתרני (DSS), פוליסטירן סולפונט (PSS) או  $\beta$ -ציקלודקסטרוסרין ( $\beta$ -CD). אפיון מורפולוגי באמצעות מיקרוסקופ אלקטרוני סורק (SEM) אישר מבני-פני-שטח ייחודיים בעלי יציבות שונה של החלקיקים כתלות בסוג הציפוי הפולימרי. ניסויי טעינה ושחרור של הפפטיד הראו כי חלקיקים מצופי DSS ו-PSS הציגו יעילות טעינה גבוהה ופרופילי שחרור ממושכים, כאשר DSS שמר על שחרור הפפטיד למשך למעלה משבוע. הפעילות האנטי־פטרייטית נבחנה באמצעות מבחני עיכוב גדילה של *A. alternata* בתנאי pH של 5.5 ו-7.0. חלקיקי DSS ו-PSS המכילים פפטיד הובילו לדיכוי מובהק של גדילת הפטרייה בהשוואה לביקורות. הדמיה ע"י מיקרוסקופ קונפוקלי ומדידות באמצעות פינצטות אופטיות הצביעו על היצמדות חזקה בין חלקיקים מצופי פולימר לבין קורי הפטרייה, התומכת במנגנון של הצטברות באתר המטרה ושחרור מושהה וממוקד של הפפטיד. בהשוואה לפפטיד חופשי, האנקפסולציה של הפפטיד בחלקיקי הווטריט תרמה ליציבות משופרת ולפעילות ביולוגית ממושכת. בנוסף, ניסוי אחסון לאחר הקטיף שנערך על 300 פירות פלפל מזן "פפריטו" הראה כי ציפוי בפורמולציות DSS ו-PSS טעונות פפטיד הוביל לעיכוב של 66.5% ו-77% בריקבון, בהתאמה, בהשוואה לביקורות. ממצאים אלה מדגימים כי מיקרו־חלקיקי ווטריט מהווים פלטפורמה יעילה, מתכלה ובעלת פוטנציאל יישומי להגנה ושחרור מושהה של פפטידים אנטי־פטרייטיים בהגנה על התוצרת החקלאית לאחר הקטיף. בעוד ש DSS הציג פרופיל שחרור ממושך במיוחד, PSS תרם להיצמדות חזקה לקור הפטרייתי, תוצאה שמצביעה על מנגנונים משלימים שניתן לשלב בעיצוב עתידי של נשאים מתקדמים. פלטפורמה זו מציעה חלופה בת־קיימא לקוטלי פטריות סינתטיים ותואמת גישות חקלאיות ידידותיות לסביבה.



**הכנסת קוטל פטריות חדשני לשוק: מסע הפיתוח ותובנות מרכזיות מ-**

**Gilboa™**

הדס מרימצ'יק, לימור פורטי ודורין פופ

אדמה בע"מ, איירפורט סיטי

פיתוח קוטל פטריות חדש עם מנגנון פעולה ייחודי נותר אחד התהליכים המורכבים והעתירי משאבים ביותר בהגנת הצומח. חברת אדמה מקדמת את Gilboa™, מולקולה חדשנית המבוססת על עיכוב חומצות גרעין של הפתוגן (קבוצה 32 ע"פ FRAC), שנועדה לספק פתרון חדש לניהול מגוון רחב של מחלות, כולל מחלת הספטוריה בחיטה. פיתוח Gilboa™ דרש הקמת מסלול סינתזה יציב למולקולה, לצד פיתוחי פורמולציות ייחודיות המגנות על החומר הפעיל ומבטיחות שימוש אופטימלי של המולקולה מהלך ולאחר הריסוס, תוך התחשבות ברגולציה של הגנת הצומח.

במהלך ניסויים רבים Gilboa™ סיפק הגנה עקבית לצמחים שנבחנו, גם תחת תנאי גידול מגוונים, מה שהוביל לשיפור בביצועי הגידול. מחקרים נוספים העריכו את התאמתו לתוכניות ניהול הדברה משולב של מחלות, את התנהגותו הסביבתית ואת הפוטנציאל שלו להפחתת לחץ עמידות בזכות מנגנון הפעולה הייחודי שלו, התומך בהדברה אמינה של ספטוריה ומחלות נוספות ומסייע להבטחת יכולת ורווחיות החקלאי- ציפיות מרכזיות מצד מגדלים ויועצים.

בסך הכול, מסע הפיתוח של Gilboa™ ממחיש את המאמץ הרב-ממדי הנדרש להבאת מנגנון פעולה חדש לשוק ומדגיש את חשיבות התיאום הרב-תחומי, ההתמדה והגמישות בעת בניית בפתרונות חדשניים לחקלאות העולמית.



## פורמולות חרסית-Azoxystrobin להגנה ידידותית לסביבה כנגד מחלת הנבילה המאוחרת בתירס

אופיר דגני<sup>1,2</sup>, אריאל חזד<sup>1,2</sup>, אלחנן דימנט<sup>1,2</sup>, פלג הדרי<sup>1,2</sup>, עדן אטדגי<sup>1,2</sup>, וג'ורא ריטבו<sup>2</sup>

<sup>1</sup> מיגל - מכון למחקר מדעי בגליל, קריית שמונה, <sup>2</sup> תל-חי – אוניברסיטת קריית שמונה בהקמה, תל-חי

מחלת הנבילה המאוחרת הנגרמת על-ידי הפטרייה *Magnaporthe oryzae* מהווה איום משמעותי על ייצור התירס באזורנו ובארצות נוספות. חשיבותה העולמית גוברת עקב שינויי האקלים המגבירים את תפוצת הפתוגן ושכיחותו. המחקר הנוכחי משתלב במאמץ להרחיב את דרכי ההתמודדות עם המחלה, מעבר לשימוש בזנים עמידים שעלולים לאבד את חסינותם בגידול ממושך באזור נגוע. כאן נבחנה גישה חדשנית המבוססת על שחרור איטי של Azoxystrobin (Az) מנשאי חרסית. ניסוי בחדר גידול הראה כי בשלב הסמוי של המחלה, לאחר 40 יום, טיפול המבוסס על ספירוליט-Az העלה את משקל הנצר ב-61%, אף שרמות הנגיעות, שנמדדו ב-qPCR, נותרו גבוהות. בניסויי עציצים לאורך עונה מלאה, התקבלו יתרונות משמעותיים ביישום פורמולות ספירוליט-Az ובנטוניט-Az ישירות לגומת הזריעה. כעבור 42 יום מהזריעה, טיפולים אלה שיפרו את הישרדות הצמחים (191%-ו-64% בהתאמה) ואת ההתפתחות הפנולוגית (175%-ו-67% בהתאמה) בהשוואה לביקורת הלא מוגנת, לצד הפחתה משמעותית של 95% בנגיעות בשורשים. בקציר (יום 78), בלט הטיפול בבנטוניט-Az שהעלה את מסת הנצר ב-128% ואת יכולת הקלחים ב-135%. טיפול זה הפחית את חומרת תסמיני הנצר ב-42%, ואת רמות הפתוגן בשורשים לערכים אפסיים. במקביל, טיפול משולב של ספירוליט-Az ועיטוי זרעים ביולוגי מבוסס טריכודרמה, היה יעיל ביותר, עם עלייה של כ-100% במשקל הנצר ביחס לביקורת הנגועה ומניעה כמעט מוחלטת של הנגיעות בשורש ( $p < 0.05$ ). ממצאים אלו מדגימים את הפוטנציאל של יישום פורמולות החרסית-Az לצמצום נזקי מחלת הנבילה המאוחרת. השיטה יעילה, חסכונית, ידידותית לסביבה עקב יישום נקודתי וצמצום הצורך ביישומים חוזרים, ניתנת להתאמה למגוון ממשקים חקלאיים, ועשויה להשתלב עם הדברה ביולוגית ולהגן על הצמחים ממחלות קרקע נוספות.



## טכנולוגיה פשוטה – יישומיות גבוהה: תרגום מחקר לפתרונות בהגנת הצומח במטע ובכרם

ליאור גור<sup>1,2</sup>, משה ראובני<sup>1</sup>, שמואל עובדיה<sup>3</sup>, כרמית סופר-ארד<sup>4</sup>, אביטל כיטוב<sup>4</sup>,  
זיו חריט<sup>5</sup>, אלון משולם<sup>1</sup>, יוני קינרייך<sup>1</sup>, ירדן ספיריה<sup>1</sup>, וטל קרבץ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> מכון שמיר למחקר, אוניברסיטת חיפה, קצרין; <sup>2</sup> המכון לאבולוציה, אוניברסיטת חיפה, חיפה; <sup>3</sup> ש.ח.פ.  
בע"מ, כרמי יוסף; <sup>4</sup> ש"מ, משרד החקלאות ובטחון המזון; <sup>5</sup> נטפים ישראל, מגל

החקלאות המודרנית מתקדמת לעבר שימוש בטכנולוגיות מתקדמות (high-tech), אולם רבות מהן דורשות שנים ארוכות של פיתוח, ניסוי ויישום. בשנים האחרונות אנו בוחנים טכנולוגיות פשוטות (low-tech), הניתנות לשילוב מהיר בממשקי ההדברה, תוך שיפור היעילות, הפחתת העומס הסביבתי וצמצום הסיכון להתפתחות עמידות. טכנולוגיות אלו זולות לייצור, פיתוח וניסויין מהירים ופשוטים יותר, והטמעתן במטע ובכרם אפשרית בפרקי זמן קצרים. נבחנו שלוש טכנולוגיות הכוללות ריסוס מי-אוזון, יישום אוויר חם באמצעות מפוח חום, ויישום חומרי הדברה באמצעות ממטירונים נייחים. הניסויים בוצעו בשנים 2017-2025 בכרמי יין, ומטעי מנגו כנגד קימחון, ובמטעי תפוח כנגד קימחון, גרב וריקבון פרי. ריסוס מי-אוזון בכרם אחת לשבוע או שבועיים, הפחית את חומרת ושכיחות הקימחון על האשכולות בכ 85-100% בהשוואה לביקורת, בדומה לריסוס כימי, ואף הגביר בגרמים ייצור תרכובות פנוליות אנטי-פטריות התורמות לאיכות היין. במטעי תפוח הפחיתו מי-אוזון את שכיחות וחומרת הקימחון ב 50-78% ו 60-85%, בהתאמה. יישום אוויר חם בממטירורה של 180°-230° לא פגע בגפנים, או בעצי התפוח והמנגו. טיפול ב 180° הפחית את שכיחות וחומרת קימחון התפוח ב 50-70%, ואת חומרת קימחון המנגו ב 90%. שילוב יישום חום או מי-אוזון עם מספר מופחת של ריסוס קוטלי פטריות הפחית את שכיחות הקימחון ב 60-90% ואת חומרתו ב 85-90%, בדומה או יעיל יותר מהטיפול המשקי שכלל מספר ריסוסים רב יותר. הדברת מחלות באמצעות המטרה בממטירונים נייחים (7-10 דקות, כל 7-14 ימים), הייתה יעילה במטעי תפוח והפחיתה את שכיחות וחומרת הקימחון והגרב ב 90-100%, ואת רקבונות פיטם הפרי ב 70-80%, והייתה דומה או יעילה יותר מריסוס במרסס מפוח משקי. שילוב טכנולוגיות אלו בממשק ההדברה יאפשר הפחתת שימוש בחומרים כימיים, צמצום סיכון לעמידות והוזלת עלויות, תוך שמירה על יעילות ההדברה. שלוש הטכנולוגיות שנבחנו מוכנות ליישום מסחרי, וחלקן כבר מיושמות במטעים ובכרמים.



## עיכוב קשיון רולפסי (*Athelia rolfsii*) בעגבניות לתעשייה באמצעות

הפרשות זבוב החייל השחור: מהמעבדה - לשדה.

סולאף פרחאת<sup>1</sup>, אסף גרבר<sup>1</sup>, איתי אופוטובסקי<sup>2</sup>, ליאורה שאלתיאל הרפז<sup>1</sup>, אריק

פלבסקי<sup>3</sup>, ענדי יונס-לוי<sup>2</sup>, איתי שרון<sup>2</sup>, מרי דפני-יילין<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>מו"פ צפון – מיג"ל, תל-חי אוניברסיטה בהקמה, ישראל, <sup>2</sup> אוניברסיטת תל-חי בהקמה, ישראל, <sup>3</sup> אמריטוס, נווה יער, מכון וולקני, ישראל. \* merydy@migal.org.il

פטריית הקרקע *Athelia rolfsii* היא פתוגן נקרוטרופי בעל טווח פונדקאים רחב, הגורם לריקבון צוואר השורש והפירות בגידולי קיץ שונים בניהם עגבניות לתעשייה. ההתמודדות עם המחלה מתבססת בעיקר על תכשירי הדברה כימיים, אשר קיימת מגמה לצמצום השימוש בהם, דבר המדגיש את הצורך בפיתוח חלופות ביולוגיות בנות-קיימא. רימות זבוב החייל השחור (*Hermetia illucens*) משמשות כמקור חלבון לתעשיית הדגים ולפרוק פסולת חקלאית. בתום תהליך הפרוק מתקבלות שאריות המכונות פראס (Frass) העשיר בחומר אורגני ובמיקרואורגניזמים. מטרת מחקר זה הינה לבחון את השפעת סוגים שונים של פראס על עיכוב *A. rolfsii* ולהעריך את תרומת המיקרוביום של הפראס לפעילות האנטי-פתוגנית. שיטות ותוצאות: מיצויי פראס (המתבססים בעיקר על הזנה של פסולת תפוחים ושאריות מתעשיית הבירה) שאינם סטריליים גרמו לעיכוב מובהק של גדילת תפטיר *A. rolfsii* במעבדה על מצע, PDA ( $p < 0.05$ ) בעוד שמיצויים סטריליים לא הראו עיכוב. מבין החיידקים שבודדו זוהה *Pseudomonas sp.* כחיידק בעל פעילות מעכבת מובהקת, אשר הפחית את קצב התפשטות התפטיר בכ- 50% בניסויי עציצים נצפתה הפחתה בהתקדמות המחלה בעגבניות לתעשייה עם עלייה של 30-60% במשקל הצמח ועלייה של כ- 40% בכיסוי הנוף בצמחים מודבקים שטופלו בפראס. גם בניסויי השדה, בו הדבקו שתילים צעירים, הדגימו מתאם חיובי מובהק בין ריכוז הפראס לבין גובה הצמח ומספר מפרקים ( $R^2 \approx 0.98$ ) לצד ירידה מובהקת בשיעור התמותה בהשוואה בין כל טיפולי הפראס לביקורת ( $p < 0.01$ ). ממצאי המחקר מצביעים על כך שפראס של זבוב החייל השחור מהווה אמצעי ביולוגי יעיל לדיכוי מחלות קרקע, המבוסס בעיקר על פעילות מיקרוביאלית, עם פוטנציאל יישומי במסגרת ניהול משולב ובר-קיימא של גידולים חקלאיים. דגימות קרקע נלקחו לטובת אפיון פרופיל המיקרוביום של הקרקע הסופרסיבית בהשוואה לקרקעות שאינן מטופלות.



## חקר אצה ירוקה שבודדה ממדבר הנגב לצורך בקרה ביולוגית בת- קיימא של מחלות הנישאות בקרקע

סמואל ד. נומו<sup>1,2,3</sup>, עומר פרנקל<sup>2</sup>, אינה חוזין גולדברג<sup>3</sup>, וחגי רענן<sup>1</sup>

<sup>1</sup>פתולוגיה של צמחים, מכון וולקני, מרכז מחקר גילת; <sup>2</sup>פתולוגיה של צמחים, מכון וולקני, בית דגן ;  
<sup>3</sup>המכון לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, ישראל

שימוש במדבירים ביולוגיים (BCAs) הינה גישה מבטיחה להפחתת השימוש בחומרי הדברה כימיים במסגרת חקלאות בת-קיימא. יחד עם זאת, האינטראקציות המורכבות בין מדבירים ביולוגיים לבין תנאי הסביבה, ביוטים ואביוטים מציבות אתגרים משמעותיים בפיתוח פתרונות יעילים והדירים. שילוב של מדביר ביולוגי עמיד יחד עם הבנה מעמיקה של השפעת גורמים סביבתיים על פעילותו האנטי-פטרייתית עשוי להגביר את הסיכוי ליישום מוצלח בשטח. אצה ירוקה שבודדה מקרום קרקע ביולוגי מדברי, הראתה עמידות יוצאת דופן בתנאי סביבה קיצוניים. ממצאים ראשוניים הצביעו על כך שאצה זו מעכבת באופן משמעותי את הצמיחה, החיוניות וייצור המלנין של מספר פטריות פתוגניות. מתוכן *solani, Rhizoctonia* נבחרה כפטריית מודל בשל רגישותה הגבוהה לפעילות האצה. התוצאות מראות כי גורמים אביוטיים שונים, לרבות מליחות, ריכוז מקור פחמן, אור וטמפרטורה, משפיעים על הפעילות האנטי-פטרייתית של האצה. ראוי לציין כי הוספת NaCl 0.1M למצע הגידול משפרת באופן ניכר את הפעילות האנטי-פטרייתית ומדכאת צמיחה וייצור מלנין של הריזוקטוניה. בהתבסס על ממצאים אלה, המחקר מאשש את יכולתה של האצה הירוקה לעכב את הפעילות הפתוגנית של *solani* R. בצמחים. במקביל, אנו פועלים לזהות את מגנוני הפעולה של התרכובות האנטי-פטרייתיות כולל בידוד ואפיון של התרכובות האנטי-פטרייתיות הפעילה. תוצאות מחקר זה יתרמו לפיתוח ויישום של פתרונות חדשים וברי קיימא לניהול פטריות פתוגניות שוכנות קרקע.



## השפעת עקת מים וטמפרטורה על התפרצות מקרופומינה

### בגידולי כותנה רגישים

איתי קסיי<sup>1,4</sup> יונתן עמנואל<sup>2</sup>, נועם עמיר<sup>3</sup> וחגי רענן<sup>1</sup>

<sup>1</sup>פתולוגיה של צמחים, מרכז מחקר גילת, מכון וולקני; <sup>2</sup>ש"מ, משרד החקלאות; <sup>3</sup>מגדלי הדרום; <sup>4</sup>המכון לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושוטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב,

אובדן יכול הכותנה העולמי, כתוצאה מגורמים ביוטים, כגון פתוגנים, נאמד כיום בכמעט 30%, כאשר השפעה זו הולכת וגדלה עם שינויי האקלים. בשנים האחרונות ישנה עליה בנוקים הנגרמים מהתפרצותה של מחלת רקבון הפחם (Charcoal rot) הנגרמת ע"י הפטרייה *Macrophomina phaseolina* בגידולי כותנה מזני הפימה שלהם רגישות גבוהה יותר והיקף גידולם עולה. אולם, הסיבה לעליה בשכיחות וחומרת המחלה המדווחת בישראל אינה ברורה. הפטרייה יכולה להדביק את הצמח באופן א-סימפטומטי, כאשר ביטוי המחלה תלוי במידה רבה בעקות סביבתיות כגון תנודות בטמפרטורה וזמינות מים. למקרופמינה יש עמידות גבוהה יחסית לשינויים בטמפרטורה וכמות הגשמים אך ידוע כי ישנה השפעה לזריעה בטמפרטורה קרה על התפשטות המחלה בהמשך העונה. מחקרים קודמים הראו כי השקיה נאותה מפחיתה את שכיחות ההדבקה, אך השקיית יתר מעודדת צמיחה וגטיביט על פני יצירת פרחים והלקטים וצריך למצוא את האיזון בין שניהם. חקלאים נוהגים לעיתים קרובות לזרוע בקרקע לחה על מנת לנצל את מי גשמים שנאגרו, דבר המצריך לרוב זריעה מוקדמת, בטמפרטורת קרקע נמוכה יותר והטמנה עמוקה יותר של הזרעים. על מנת לבחון את ההשפעה של זריעה מוקדמת, בטמפרטורה קרה יותר, על התפתחות מחלת רקבון הפחם בכותנה, נערכו ניסויי שדה במשך 3 שנים. בניסויים אלו ראינו כי טמפרטורת קרקע נמוכה, במהלך הגידול המוקדם מאריכה את זמן הנביטה ומגבירה את רגישות הצמח לפתוגן. בנוסף, הזריעה המוקדמת החלישה את הצמחים והובילה לרגישות מוגברת לפתוגן ולירידה ביכולת תוצאות אלו מצביעות על כך שזריעה מוקדמת, כאשר הקרקע לחה, לאחר גשמים ובטמפרטורות נמוכות אינה אופטימלית וגורמת לצמחים להיות רגישים יותר להתפתחות המחלה בהמשך העונה. עם זאת, נתונים אלו אינם מספקים מסקנות חד-משמעיות והתחלנו מחקר שמטרתו להבין את האינטראקציות המולקולריות בין הפונדקאי, הפתוגן ועקת הקור במהלך שלבי ההתפתחות המוקדמים.

## התמוטטות מוקדמת של שדות תפוחי אדמה בעונת האביב בנגב המערבי:



### הערכת חומרה ובחינת יעילות קוטלי פטריות

דנברו קבדה<sup>1,2</sup>, שמעון רחמילביץ<sup>2</sup> וחגי רענן<sup>1</sup>

<sup>1</sup>פתולוגיה של צמחים, מרכז מחקר גילת, מכון וולקני; <sup>2</sup>המכון לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושייך, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, ישראל

בשנים האחרונות, ייצור תפוחי האדמה במערב הנגב מושפע יותר ויותר מתופעה של התמוטטות שדות מוקדמת, במהלך שלבי הגידול המאוחרים בעונת האביב. התופעה מתחילה בכתמים נקרטיים על העלים, הדומים לסימפטומים שנגרמים ע"י הפתוגן *Alternaria alternata* ובהמשך היא מאופיינת בקריסה מהירה של הגידול. קוטלי פטריות נפוצים אינם מועילים להתמודדות עם התופעה. כיוון שמדובר בתופעה חדשה יחסית, נדרשת הערכה ובחינה מעמיקה של שדות הגידול ובחינת יעילותם של קוטלי פטריות שונים, על מנת לצמצם את השפעתה. מחקר זה נועד לבחון את התפוצה המרחבית והעונתית של התמוטטות השדה ולזהות קוטלי פטריות יעילים להתמודדות עם התופעה. לשם כך, נוטרו שדות תפוחי אדמה מדי שבוע במהלך עונות הגידול 2024/25 (19 חורף, 21 אביב). תפוצת המחלה הוערכה באמצעות סקר בשילוב עם נתוני חישה מרחוק בזמן אמת. בנוסף, מבחר קוטלי פטריות נבחנו במעבדה ובשדה. תופעת התמוטטות השדות התרחשה בעונת האביב בלבד והשפיעה על כ-45% מהשדות וגרמה לירידה משמעותית ומבוהקת ביבול. ראינו כי קיימת שונות ברגישות בין זני תפוחי אדמה שונים, כאשר הזן סלטיאן היה הרגיש ביותר. במדד NDVI רואים מתאם שלילי עם רמת ההדבקה העלוותית ( $r = -0.639, p < 0.0001$ ) דבר המשקף את נבילתו המהירה של נוף הצמח בעקבות התפשטות המחלה. על אף ש *A. alternata*-היה הפתוגן שבוודד בתדירות הגבוהה ביותר מצמחים חולים, הדבקה מלאכותית ע"י פתוגן זה לא הובילה לשחזור של התמוטטות מלאה של הצמח, כפי שראינו בשדה. קוטלי פטריות נפוצים הראו יעילות נמוכה בהדברה של המחלה אך מספר קוטלי פטריות הראו תוצאות מבטיחות. ממצאים אלו מדגישים את הצורך בהחלפת תכשירים ישנים ובהמשך חקירת הגורמים להתמוטטות המהירה של שדות תפוחי אדמה בנגב המערבי, בעונת האביב.



אפקטורים ממשפחת MAP-1, MjMAP19 ומ- MjMAP40 מניעים

טפילות ודיכוי היסוני ב-*Meloidogyne javanica*

אלקש הדא<sup>1</sup>, אניל קומאר<sup>1</sup>, פטריסיה בוקי<sup>1</sup>, נטליה סיצ'יוב שמעוני<sup>1</sup>,

אדוארד בלאוסוב<sup>2</sup> וסיגל בראון-מיארה<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המחלקה לאנטומולוגיה והיחידות לנמטולוגיה וכימיה, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני, ראשון לציון  
ישראל

<sup>2</sup>המחלקה למדעי הצמח, יחידת מיקרוסקופיה קונפוקלית, מנהל המחקר החקלאי – מכון וולקני ישראל

### תקציר

נמטודות יוצרות עפצים (RKNs) מסוג *Meloidogyne* spp. נחשבות אחד מפגעי הקרקע הקשים ביותר להדברה. נמטודות אלו משתמשים בחלבונים אפקטורים אשר מופרשים מהנמטודה ופועלים לשינוי הפיזיולוגיה והמטבולומיה של פונדקאי, שינוי שיביא לכדי דיכוי מערכות הגנה צמחיות. משפחת החלבונים (MAP-1) *Meloidogyne avirulent protein-1* נקשרה לאינטראקציות מוקדמות בין הפונדקאי לנמטודה הטפילה, אולם תפקידם של חלבונים במשפחה זו עדיין לוט בערפל. במחקר זה אנו מתארים את האיפיון של שני אפקטורים השייכים למשפחת ה MAP-1 מ-*Meloidogyne javanica*, MjMAP19 ומ- MjMAP40 אשר זוהו בטרנסקריפטומים של זחלי J2 טרום-טפיליים (ppJ2) שהושרו על ידי אוקסיליפינים. היברידזציה *In situ* (FISH) מיקמה את שני הטרנסקריפטים באברוני החישה הקרויים amphids בקידמת הראש, ותומכת בתפקידם באינטראקציה המוקדמת הדרושה לקיום האינטראקציה. אנליזת qRT-PCR הראתה ששני הגנים הושרו בעוצמה בשלב ppJ2 אולם זו עוקבת בירידה חדה בביטוי עם תחילת הטפילות, כאשר *MjMap40* מציג ירידה חדה יותר באופן מובהק. סימון מיקום *in planta* באמצעות סמנים של אורגנולות התא, הראה כי שני האפקטורים מכוונים לרשתית האנדופלזמתית ולגופיפ גולג'י. ביטוי זמני ב-*Nicotiana benthamiana* הראה כי MjMAP19 ומ- MjMAP40 מעכבים את האינטראקציה בין Gpa2/RBP-1 המשתתפים בהולכת סיגל המובילה למוות תאי מתוכנן ודליפת יונים, ובכך מדגימים את יכולתם לדכא תגובת הגנה תאית. ביטוי-יתר במערכת של hairy roots של עגבנייה הגביר יצירת עפצים וכושר ריבוי של הנמטודה, ואישש את תפקידם כגורמי וירולנטיות. לעומת זאת, השתקת הגנים באמצעות *in vitro* RNAi פגעה באופן מובהק בזיהוי פונדקאי ובכושר החדירה לשורש, והוכיחה את תפקידם החיוני בשלבי ההדבקה המוקדמים. למרות חפיפה תפקודית, שני האפקטורים מציגים מאפייני בקרה שונים MjMAP19: שומר על ביטוי ופעילות בטמפרטורות גבוהות, בעוד ש-MjMAP40 אינו מגיב לטמפ' עולה, מציג ירידה חדה יותר בביטוי וסימנים לשחיקה תפקודית, דבר המרמז על מסלולי אבולוציה שונים. מכאן, נראה כי MjMAP19 ומ- MjMAP40 הינם אפקטורים וירולנטיים המופרשים מגופי החישה, ה amphids, ומעורבים בדיכוי עמידות, קידום השראת תאי הזנה, תוך אימוץ מאפיינים נבדלים אשר יתרונם נראה בסביבות חיים משתנות.



## כימות פטריות רדומות בתוצרת חקלאית לאחר הקטיף באמצעות ביוסנסור RT-LAMP

קדיג'ה אריאנה<sup>1,2</sup>, נועם אלקן<sup>1</sup>, יבגני ילצוב<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המחלקה לחקר התוצרת החקלאית, מכון וולקני, דרך המכבים, ראשון לציון 7505101, ישראל.

<sup>2</sup> הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות 76100, ישראל.

פתוגנים פטרייתיים לאחר הקטיף מהווים גורם מרכזי לריקבון בתוצרת טרייה, ומובילים להפסדים כלכליים משמעותיים ברחבי העולם. אתגר מרכזי בניהול מחלות לאחר הקטיף הוא יכולתן של פטריות לבסס הדבקות רדומות (סמויות) וא-סימפטומטיות בפירות ובירקות, לפני התקדמותן לריקבון נראה לעין. לפיכך, זיהוי מוקדם של הדבקות רדומות אלו חיוני לקבלת החלטות מושכלות לצמצום אובדן תוצרת חקלאית לאחר הקטיף. במחקר זה נעשה שימוש במסגרת מחקרית הנתמכת על ידי ביוסנסור, לצורך אפיון התקדמות המחלה ודינמיקת ההדבקה הרדומה בפירות שנגרמו על ידי *Botrytis cinerea* ו-*Penicillium expansum*, *Alternaria alternata*. התפתחות המחלה נוטרה באמצעות עקומות של מדד חומרת המחלה ושכיחות הריקבון שאפשרו זיהוי של סיום שלב התרדמה ושלבי השיא של התפתחות הריקבון. השפעת עומס האינוקולום הפטרייתי על קצב התקדמות הריקבון כומתה. אימות מולקולרי של הדבקות רדומות בוצע באמצעות reverse transcription loop-mediated isothermal amplification (RT-LAMP) לזיהוי נוכחות פטריות רדומות לפני הופעת סימפטומים נראים לעין. קשרים ליניאריים חזקים ( $R^2 = 0.99, 0.928, 0.947$ ) נצפו בין ריכוזי האינוקולום של *A. Alternata*, *P. expansum* ו-*B. cinerea* בהתאמה, לבין ערכי ה-AUDPC והאותות שהתקבלו מ-RT-LAMP לאחר הקטיף של פירות העגבנייה. ממצאים אלו מדגימים את יכולתו של הביוסנסור לזהות ולכמת באופן חצי-כמותי הדבקות פטרייתיות רדומות. גישה משולבת זו מספקת כלי חזק לזיהוי מוקדם של הדבקות פטרייתיות רדומות זמן רב לפני הופעת הריקבון לאחר הקטיף, ותומכת באסטרטגיות ניהול פרואקטיביות לצמצום פחתים ולשיפור קבלת החלטות לאחר הקטיף.



## חיזוק עמידות צמחים כנגד *Botrytis cinerea* : השפעת *Rhodotorula toruloides* ואליסיטורים חדשניים המבוססים על גרפן אוקסיד

עדן קופר ומגי לוי

המחלקה למחלות צמחים ומיקרוביולוגיה, הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה ע"ש רוברט ה.סמית,  
האוניברסיטה העברית בירושלים

*Botrytis cinerea* היא פטרייה פתוגנית הגורמת לנזקי יבול משמעותיים במגוון רחב של גידולים חקלאיים ובשלבי התפתחות שונים של הצמח. ההתמודדות עם המחלה מבוססת בעיקר על קוטלי פטריות כימיים, אשר שימוש מתמשך בהם מלווה בהשלכות סביבתיות ובהתפתחות אוכלוסיות עמידות. במחקר זה נבחנות גישות חדשות להתמודדות והדברת הפתוגן המבוססות בעיקר על שפעול מנגנוני ההגנה בצמח הן באמצעות השמר *Rhodotorula toruloides*, או באמצעות אליסיטורים מבוססי פיטוהורמונים הקשורים לננו חלקיקי גרפן אוקסיד (GO). בניסוי מעבדה הודגמה יכולת עיכוב חזקה של *B. cinerea* בעקבות חשיפה להפרשות של *R. toruloides*, עם עיכוב מלא של גדילת הפתוגן בשלבים מוקדמים של האינקובציה ושימור עיכוב משמעותי לאורך זמן. ממצאים אלו מצביעים על פוטנציאל של אנטיביוזיס כמנגנון פעולה נגד הפתוגן. מנגנוני פעולה נוספים באמצעותם פועלת *R. toruloides* כנגד *B. cinerea* כגון תחרות ועידוד מערכת ההגנה הצמחית נבחנים.

גישה אחרת להתמודדות עם *B. cinerea* היא באמצעות אליסיטורים מבוססי פיטוהורמונים (אוקסין וקינטין) הקשורים לננו חלקיקי גרפן אוקסיד. בניסויים על צמחי עגבנייה הגדלים בתנאי חממה כיילנו פרוטוקול יישום המבוסס על עיטוי זרעים ומצאנו טווחי ריכוזים שאינם פוגעים בהתפתחות הצמח. הטיפול ב-Kinetin+GO הוביל להופעת שינוי פנוטיפי מתון בצורת העלים, המעיד על השפעה פיזיולוגית מתמשכת, אשר נבחנת כעת בניסויי גידול ארוכי טווח. כמו כן נבחנה השפעת הטיפולים עם האליסיטורים השונים על התפתחות *B. cinerea* על צמחי עגבנייה. ממצאים ממחקר זה יובילו לחלופה יישומית להדברה הכימית הקיימת, ומבססים תשתית לפיתוח גישות מבוססות משרנים או מיקרואורגניזמים להפחתת מחלות פטרייתיות בצמחים. הבנה מעמיקה של מנגנוני הפעולה המעורבים צפויה לתרום ליישום מושכל של גישות אלו במערכות חקלאיות שונות.



## פוטנציאל אנטי-פטרייתי של פוליפנולים מגפת ענבים בשליטה לאחר

### הקטיפה של *Botrytis cinerea*

דנה מייליך<sup>1,2</sup>, פנקג' צ'אודרי<sup>1,2</sup>, איתי מעוז, נועם אלקן<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>המחלקה למדעי התוצרת חקלאי לאחר קטיפה, ארגון מחקר חקלאי, מרכז וולקני, בית דגן;  
<sup>2</sup>פקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית', האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות

הפסדים לאחר הקטיפה מהווים למעלה מ-40% מייצור הפירות והירקות העולמי, כאשר ריקבון פטרייתי אחד מהגורמים המרכזיים לכך. נכון להיום, קוטלי פטריות סינתטיים נותרים שיטת ההדברה היעילה ביותר; עם זאת, השימוש הנרחב בהם מהווה סיכון לבריאות האדם, למיקרואורגניזמים מועילים, לבטיחות המזון ולקיימות סביבתית, תוך תרומה גם להתפתחות זני פטריות עמידים. לכן, קיים צורך דחוף בחלופות ירוקות יותר. תרכובות פנוליות, בעלות תכונות נוגדות חמצון, אנטי-מיקרוביאליות ואנטי-פטרייתיות הן חלק בלתי נפרד מהגנת הצמח והן המקור למסלול הפנילפרופנואיד. גפת ענבים- תוצר לוואי מוצק של תעשיית היין, המורכב מחרצנים, קליפות וחלקי גבעולים, מכילה עד 70% מתכולת הפנולים של ענבים ומייצרת מיליוני טונות של פסולת מדי שנה ברחבי העולם. ניצול יעיל של משאב זה, שאינו מנוצל דיו, עשוי לצמצם משמעותית את כמות הפסולת וגם לספק חומרים אנטי-פטרייתיים טבעיים. ממצאים ראשוניים מצביעים על כך שפנולים גפת ענבים מעכבים את *Botrytis cinerea*, עם השפעות קוטלי פטריות תלויות ריכוז (<math>0.6 \text{ מ"ג/מ"ל}</math>) ופטרייתיות (<math>0.2 \text{ מ"ג/מ"ל}</math>), לצד שינויים פיזיולוגיים פטרייתיים. מחקר זה בוחן שלוש שאלות עיקריות: (1) האם ניתן לגרום למסלול הפנילפרופנואיד בגפת ענבים כדי לשפר את ייצור הפנולים? (2) האם הידרוליזה של פלבנואידים מגבירה את הפעילות האנטי-פטרייתית? (3) האם תרכובות גפת ענבים מסוימות מקדמות בשוגג צמיחת פטריות? לצורך כך, נעשה שימוש בבדיקות מולקולריות, ביוכימיות ומבחני הדבקה כדי להעריך ביטוי גנים, פעילות אנזימים, פרופיל פלבנואידים ויעילות תמצית בשליטה על צמיחת פטריות וריקבון תוצרת טרייה. המחקר מדגיש את הפוטנציאל של גפת ענבים כחלופה ביו-אקטיבית בת קיימא לקוטלי פטריות סינתטיים.



## הדברה ביולוגית של ריקבון עוגת הבצל באמצעות מיני טריכודרמה

**רימא גנאים<sup>1,2</sup>, שאהד גנאים<sup>1,2</sup>, אלחנן דימנט<sup>1</sup> ואופיר דגני<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> מיגל – מכון למחקר מדעי בגליל, קריית שמונה, <sup>2</sup> תל-חי – אוניברסיטת קריית שמונה  
בהקמה, תל-חי

מחלת ריקבון עוגת הבצל, הנגרמת על ידי מיני *Fusarium*, מהווה איום גלובלי על גידול הבצל, כאשר נזקים מתרחשים לאורך כל מחזור הגידול. המחקר הנוכחי בחן ממשק מבוסס מיני טריכודרמה כנגד הפתוגנים עיקריים הגורמים למחלה בישראל, בסדרת ניסויים מהמעבדה לתנאי שדה. במבחני עימות בצלחות מצע, 10 מתוך 15 קווי הטריכודרמה שנבחנו הציגו פעילות מעכבת חזקה כנגד ארבעת מיני ה-*Fusarium* העיקריים הגורמים למחלה. מבין המדבירים היעילים ביותר (*T. asperellum* (P1), *T. longibrachiatum* (T7407) ו-*T. beinertii* (T14707) הראו יכולת דיכוי משמעותית ועקבית כנגד הפתוגנים, הן באמצעות מטבוליטים מופרשים והן באמצעות תרכובות נדיפות. שלא כמו מיני טריכודרמה אחרים, שלושת אלה גרמו להשפעה מתונה על נביטת הזרעים וההתפתחות הראשונית של הנבט. מבחני פתוגניות בזרעים חשפו רגישות משתנה למחלה, כאשר הזן הצהוב אורלנדו היה רגיש יותר מהזן האדום מאדים, ו-*Neocosmospora falciformis* התגלה כפתוגן האגרסיבי ביותר. ניסוי עציצים בשטח פתוח לאורך עונה מלאה, הראה כי עיטוי זרעים עם מיני טריכודרמה נבחרים, שיפר משמעותית את הצמיחה כבר באמצע העונה. בהשפעת הטיפולים הביולוגיים המשקל הרטוב של הצמחים גדל ב- 54-131% בהשוואה לקבוצת הביקורת הלא מטופלת, יחד עם שיפור במדדי צמיחה אחרים. בסוף העונה, הטיפול ב-*T. asperellum* הניב את הביצועים הטובים ביותר. טיפול זה העלה משמעותית את משקל הנבטים (28-119%) והבצל (15-157%) תחת עקת המחלה. שיפור גדילה זה לווה בהפחתה של עד 36% בתסמיני העלווה ודיכוי של 59% בנגיעות בפתוגן (במעקב מבוסס qPCR). מחקר זה מדגים את ההבטחה של טיפולי זרעים מבוססי טריכודרמה כאסטרטגיה יעילה ובת קיימא להתמודדות עם מחלת ריקבון עוגת הבצל.

## אפיון רשת קשרי הגומלין בין חלבוני הצמח לחלבוני התנועה של נגיפי טובמו



סיון מדינה<sup>1,2</sup>, פרופ' שמואל וולף<sup>2</sup> וד"ר זיו שפיגלמן<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המחלקה למחלות צמחים וחקר עשבים, המכון להגנת הצומח, מרכז וולקני, בית דגן;

<sup>2</sup>החוג למדעי הצמח בחקלאות, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית,

האוניברסיטה העברית בירושלים

מחלות הנגרמות על ידי נגיפים צמחיים מהסוג טובמווירוס (*Tobamovirus*) פוגעות במגוון גידולים בעלי חשיבות חקלאית, בעיקר בגידולי ירקות. הנגיף *Tomato Brown Rugose Fruit Virus (ToBRFV)*, שהתגלה בשנת 2015, התפשט במהירות ברחבי העולם תוך גרימת נזק משמעותי ליבול ולאיכות הפרי. הדבקה נגיפית מוצלחת בצמחים כוללת תנועה בין-תאית, המתבצעת באמצעות חלבוני תנועה נגיפיים המקיימים אינטראקציות עם גורמים תאיים ומאפשרים מעבר דרך תעלות בין-תאיות (*plasmodesmata*). השערת המחקר היא שחלבון התנועה משמש כצומת של אינטראקציות חלבון-חלבון, אשר מבקרות הן את התנועה הבין-תאית של הנגיף והן את תגובות ההגנה של הצמח. באמצעות שילוב של כלים ביוכימיים ומולקולריים אנו מאפיינים את מערך אינטראקציות החלבון-חלבון המבקרות את תנועת הנגיף מתא לתא בצמח ובזיהוי על-ידי מערכת ההגנה של הצמח. בניסוי co-immunoprecipitation, זוהו מספר חלבונים הנקשרים לחלבוני תנועה פעילים, אך לא נקשרים לחלבוני תנועה מוטנטים חסרי יכולת תנועה. אחד מהחלבונים שזוהו הינו חלבון Annexin, חלבון תלוי סידן הקושר פוספוליפידים ומשתתף בתהליכי תעבורת ממברנות, ארגון השלד התוך-תאי ומעבר אותות הגנה, אשר מבקר שלילית את התנועה מתא לתא. האינטראקציה בין חלבון התנועה ל-Annexin אומתה באמצעות ניסויי קו-לוקליזציה משולבים עם FLIM-FRET. ביטוי ביתר של חלבון ה-Annexin בעלי *Nicotiana benthamiana* גרם לעיכוב בתנועת הנגיף המסומן TMV-GFP, ממצא המבסס את תפקידו בבקרה שלילית על תנועת הנגיף. ניסויי מיקום תוך תאי הראו כי חלבון ה-Annexin ממוקם בקשרים בין ממברנת התא לממברנות כלורופלסט, ועשוי לשמש כמעבר סיגנל הגנה בין שני האברונים. תוצאות אלו מעלות את ההשערה כי חלבוני התנועה נקשרים ל-Annexin על מנת לחסום את פעולתו כבקר שלילי של תנועה בין תאית, ובכך לאפשר את מעבר הנגיף מתא לתא.



## איפיון סלקטיביות תגובת ההגנה המופעלת ע"י סריין פרוטאזות מהחיידק

### *Nicotiana* בצמחי *Clavibacter*

פרבין דנגי<sup>1,2</sup>, ראז' קומר ורמה<sup>2</sup>, דורון טפר<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המחלקה למחלות צמחים וחקר עשבים, מינהל המחקר החקלאי – מכון וולקני

<sup>2</sup>המחלקה למחלות צמחים ומיקרוביולוגיה, הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית בירושלים

חיידקים מהסוג *Clavibacter* גורמים לנזקים משמעותיים למגוון רחב של גידולים חקלאיים. סריין פרוטאזות מופרשות ממשפחת Chp/Pat-1 הכרחיות לאלימות של מיני *Clavibacter* בסולניים. מעבר לתפקידן באלימות, פרוטאזות ספציפיות ממשפחת Chp/Pat-1 מפעילות תגובת hypersensitive response (HR) בצמחי סולניים עמידים, דבר המצביע על כך שחלבונים אלו עשויים גם להגביל את הפתוגן באמצעות הפעלת תגובת הגנה. כדי לבחון זאת, השתמשנו במערכת המבוססת על *Escherichia coli* לסריקה של 02 פרוטאזות שונות ממשפחת Chp/Pat-1 לצורך בחינת הפעלת HR ב-11 מיני סולניים מחמישה סוגים. מן הסריקה עלה כי שלוש פרוטאזות בלבד הפעילו HR באופן סלקטיבי: מין היה חציל- *Clavibacter sepedonicus*. מ Chp7 ו- *Clavibacter michiganensis* (Cm) Pat-1 ו ChpG ה *Solanum* היחיד שבו זוהתה תגובת HR, שהופעה באופן בלעדי על-ידי ChpG. לעומת זאת, במיני *Nicotiana* נצפתה תגובה סלקטיבית ומגוונת יותר: ChpG הפעיל HR ב *N. glutinosa* וב *N. sylvestris*, בעוד ש Pat-1 ו *N. benthamiana* כלל הופעל לא, HR זאת לעומת *N. sylvestris*. וב *N. tabacum* ב HR הפעילו Chp7 השונות במוטנטים של Cm שאינם מקודדים ל *chpG* ו *pat-1*. בנוסף, מבחני אלימות שנערכו באמצעות תבדידי Cm שונים בצמחי *Nicotiana* הראו סלקטיביות ברגישות לחיידק: *N. tabacum* ו *N. glauca* היו עמידים לכלל התבדידים ללא תלות בהרכב פרוטאזות, בעוד שלהרכב הפרוטאזות הייתה תרומה דיפרנציאלית לאלימות התבדידים ב *N. rustica* ו *N. glutinosa*. תוצאות אלו מדגימות כי הכרה דיפרנציאלית של פרוטאזות Chp/Pat-1 מהווה גורם מרכזי בהפעלת תגובת החיסון ובהגדרת טווח המאכסנים של *Clavibacter* בצמחי *Nicotiana*.



## איפיון מולקולרי של תגובת ההגנה המושרת על-ידי האפקטור ChpG מ

### *Clavibacter* בחציל

יאו שאו<sup>1,2</sup>, שאול בורדמן<sup>2</sup>, דורון טפר<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המחלקה למחלות צמחים וחקר עשבים, מינהל המחקר החקלאי – מכון וולקני

<sup>2</sup>המחלקה למחלות צמחים ומיקרוביולוגיה, הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית בירושלים

עמידות צמחים לפתוגנים מתבססת על זיהוי של אפקטורים מופרשים המוביל להפעלת תגובות הגנה. האפקטור ChpG המהווה פרוטאז המופרש על-ידי פתוגן העגבנייה (*Clavibacter michiganensis* (Cm), משמש כפקטור לקביעת טווח המאחסנים של החיידק, המעורר תגובת hypersensitive response (HR) ומגביל את יכולת האכלוס שלו בחציל. מטרת המחקר היא לאפיין את המנגנונים המולקולריים המתווכים את זיהוי ChpG ואת הפעלת תגובת ההגנה הנלווית לזיהויו. ניתוח השוואתי של ביטוי גנים בעלי חציל שאולחו עם זן בר של Cm לעומת אילוח עם Cm  $\Delta$ chpG ע"י RNA-seq זיהה 5,144 גנים ייחודיים לתגובה ל-ChpG כ-12 שעות לאחר האילוח. אנליזת העשרה זיהתה מסלולים הקשורים לתגובת הגנה ומטבוליזם של  $\alpha$ -linolenic acid וירידה בגנים הקשורים לפוטוסינתזה. במקביל נצפה עלייה משמעותית בביטוי גנים המעורבים בסינטזה של הורמוני ההגנה חומצה סליצילית (SA), חומצה ג'סמונית (JA) ואתילן. עלייה זו אומתה ע"י כימות של הורמונים אלו בעלי חציל בעת אילוח ע"י Cm. כדי לבחון האם גנים או מסלולים המופעלים ע"י ChpG משתתפים במסלול הכרתו בחציל ערכנו ניסויי השתקה מתווכת וירוס (VIGS) לסריקת גנים המעורבים בהפעלת HR המתווך ע"י ChpG. נמצא שהשתקה של *SmCOII* המהווה הרצפטור של JA ו *SmLOB* המקודד לחלבון ממשפחת ה LBD הפחיתה באופן משמעותי את עוצמת ה-HR. עיכוב מסלול ה-JA באמצעות DIECA פגם אף הוא בתגובה ל ChpG, דבר המאושש את חשיבות JA לזיהוי. בנוסף, ביטוי חולף של *SmLOB benthamiana* גרם למוות תאי, מה שמצביע על תפקידו כרגולטור חיובי של HR. ממצאים אלו מראים שתגובת ההגנה בחציל המופעלת ע"י ChpG מתווכת ע"י מסלול ה-JA וזיהו את *SmLOB* כרגולטור המתווך את יצירת ה-HR בעת זיהוי האפקטור.



## תפקיד איתות חומצה ג'סמונית בהפעלת תגובת ה hypersensitive response עליידי ChpG בחציל

קלייר נג'רי נג'ג'י<sup>1,2</sup>, יאו שאו<sup>1,2</sup>, דורון טפר<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המחלקה למחלות צמחים וחקר עשבים, מינהל המחקר החקלאי – מכון וולקני

<sup>2</sup>המחלקה למחלות צמחים ומיקרוביולוגיה, הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית בירושלים

החיידק הגראם-חיובי *Clavibacter michiganensis* (Cm) הגורם למחלת הכיב החיידקי מפריש חלבונים לטווח הבין תאי המסייעים לאלימות בצמח. זיהוי של אחד מחלבונים אלו, ChpG, המהווה סרין פרוטאז מופרש, בחציל מקנה עמידות כנגד החיידק ע"י הפעלת תגובת הגנה מתווכת (HR) hypersensitive response. מסלולי האיתות המולקולריים המתווכים את תגובת הגנה זו טרם הובהרו במלואם. במחקר זה נבחנה החשיבות של חומצה ג'סמונית (JA) להפעלת תגובת ההגנה המופעלת ע"י ChpG בחציל ע"י שימוש בהשתקת גנים מתווכת-וירוס (Virus-Induced Gene Silencing, VIGS). ההומולוגים בחציל לגנים *AOC* (משתתף בביוסינתזה של JA), *COII* (הרצפטור של JA) ו *MYC2* (מפעיל שנתוק תלוי JA) הושתקו ע"י מערכת ה-TRV. יעילות ההשתקה אומתה ע"י RT-qPCR, שהראתה ירידה של 50-80% ברמת התעתיקים של כל אחד מהגנים וע"י פנוטיפ ההלבנה שנצפה בצמחי ביקורת שהושתקו ב-*PDS*. לשם הערכת הפעלת תגובת ההגנה, חיידקי Cm הוזרקו לצמחים המושתקים והתגובה הוערכה באופן איכותי ע"י הערכה ויזואלית של ה-HR וכימות זליגת יונים. צמחים שהושתקו ב-*COII* הפגינו ירידה משמעותית בעוצמת ה-HR לאחר הזרקה של Cm בהשוואה לצמחי הביקורת שטופלו ב-TRV:GFP. לעומת זאת, לא נצפה הבדל משמעותי בין צמחי הביקורת לצמחים שהושתקו ב-*AOC* או ב-*MYC2*. תוצאות אלו מצביעות על כך שהפעלת תגובת ההגנה ע"י ChpG מתווכת ע"י הרצפטור ל JA, *COII*, ומבססות מערכת ניסויית למחקר תגובת ההגנה המופעלת ע"י Cm בחציל.



## השפעת גורמים סביבתיים ומולקולריים על עמידותפקעות תפוחי אדמה לחיידקים הפקטולטיביים *Pectobacterium brasiliense*, *Dickeya solani*

קלאודין ג'נסי לואיס ג'ון ג'וסף<sup>1,2</sup> דיקלה אקשטיין<sup>1</sup> אוסנת גילאור<sup>2</sup> וחגי רענן<sup>1</sup>

<sup>1</sup>פתולוגיה של צמחים, מרכז מחקר גילת, מכון וולקני ; <sup>2</sup>המכון לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, ישראל

רגל שחורה וריקבון רך הינן מחלות הנגרמות ע"י חיידקים פקטינוליטיים מהסוגים *Pectobacterium* ו- *Dickeya* חיידקים אלו גורמים לנזק חמור במערכת האקולוגית החקלאית ועיקר הנזק הוא לגידול תפוחי אדמה. התפרצות המחלה היא פתאומית כאשר ישנו מעבר בין שלב בו החיידק רדום לשלב אלים וכתוצאה מכך נגרם נזק חמור וירידה משמעותית ביבול. מאחר וההדבקה היא סמויה, קשה לאבחן פקעות נגועות וליישם הדברה יעילה בזמן. תנאי סביבה ובפרט טמפרטורה משפיעים מאוד על התבטאות המחלה. עם זאת, התנאים המדויקים המובילים למעבר לשלב הפעיל טרם הוגדרו באופן ברור. במחקר שלנו אנו רוצים להבין את ההשפעת הטמפרטורה והשינויים בטמפרטורה על כל אחד מהגורמים בנפרד, הפקעות והחיידקים ולאחר מכן על האינטראקציה בניהם. לשם כך ערכנו השוואה בין קצב גידול החיידקים בטמפרטורות שונות ובחנו את ההשפעה של טיפול מקדים בחום על התפתחות המחלה בפקעות. טיפול מקדים בחום (33°C) טרם ההדבקה בחיידקים, התבצע ב-4 זנים שונים של תפוחי אדמה: טייסון, נייטה, VR808 וסמיט קומט. באופן מפתיע ראינו כי טיפול זה שיפר את העמידות של פקעות מזן סמיט קומט לחיידק. המשכנו לבדוק את ההשפעה על סמיט קומט בטמפרטורות שונות ובמשך זמן שונה. התוצאות מראות כי יתכן ותגובת החיידקים וכן שינויים בפקעות כתוצאה מהטיפול המקדים, משפיעות על התפתחות המחלה. תוצאות אלו עשויות לסייע בפיתוח אסטרטגיות יעילות להדברת המחלה. לצורך הבנה מעמיקה של המנגנונים שבאמצעותם הטמפרטורה משפיעה על התפתחות המחלה, יבוצעו בהמשך אנליזות מולקולריות בפקעות שעברו טיפול בחום.