

**שימוש בכנות להגנת זני פלפל רגישים מפני Pepper mild mottle virus
(PMMV)**

י. אנטיגנוס¹, ע. לכמן¹, מ. פרלסמן¹, ס. דוברינין², ח. יחזקאל³, א. קורן⁴

המחלקה למחלות צמחים, היחידה לוירולוגיה, מנהל המחקר החקלאי¹; שה"מ, משרד החקלאות²; מו"פ

דרום³; משתלות חישתיל⁴

**Rootstocks Resistant to Pepper Mild Mottle Virus (PMMV) for the
Protection of Susceptible Pepper Cultivars from Infection**
Y. Antignus, O. Lachman, M. Pearlsman, S. Dobrinin, H. Yehezkel, A. Koren

April 2010

אפריל 2010

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים

התימת החוקר : _____

תקציר

1. **הצגת הבעיה :** חלק מזני האיכות של פלפל, חסרי עמידות כנגד PMMV ועל כן קיים צורך למצוא פיתרונות שיאפשרו גידול זנים כאלו בקרקעות המאולחות במידבק ויראלי.
2. **מטרות המחקר :** מחקר יישומי האמור להוביל למציאת כנות פלפל בעלות עמידות מירבית ל-PMMV, אשר ימנעו הדבקה ממידבק הנמצא בקרקע או על פני הזרעים והיו בעלות מתאם רצוי עם הרוכב, באופן שתושג הגנה מפני הוירוס ולא תיפגע איכות הפרי וכמותו.
3. **שיטות ומהלך העבודה :** הרכבת השילובים השונים של כנות ורוכבים נעשתה במשתלות חישתיל, הדבקה שרשי הכנות נעשתה ע"י טבילתן במידבק ויראלי נקי בעל ריכוז ידוע. הדבקה הצמחים והתפשטות הוירוס לחלקי הצמח המורכב נבדקה בעזרת ELISA עם אנטיסרום ספציפי ל-PMMV.
4. **תוצאות עיקריות :**
קוי פלפל איזוגניים בלתי מורכבים הנושאים את הגן L^4 לעמידות כנגד PMMV במצב הומוזיגוטי והטרוזיגוטי הודבקו דרך מערכת השורשים עם מידבק של PMMV. נבחנה יכולתו של הוירוס לעבור ממערכת השורש אל הנוף בטמפ' של 25°C בהשוואה לטמפ' של 35°C . נמצא כי בשתי הטמפרטורות מצליח הוירוס לשבור את העמידות ההומוזיגוטית וההטרוזיגוטית, לעבור אל הנוף ולהתרבות בו ללא יצירת תגובה נקרוטית בעלים כפי שקורה כאשר גנוטיפים אלו מודבקים מכנית על העלים. בניסוי שדה שנערך בחממה ניסויית הורכב הזן הרגיש מזורקה על כנות בעלות עמידות הומוזיגוטית והטרוזיגוטית. בתנאים בהם נערך ניסוי זה התמוטטו הצמחים המורכבים על הכנות העמידות כתוצאה מנקרוזה סיסטמית שהופיעה בכנה העמידה. בחממה מסחרית בה הייתה הקרקע מאולחת ב-PMMV באופן טבעי נשתלו צמחים מורכבים של הזן הרגיש רמירו על כנות מזנים מסחריים שהיו בעלות עמידות הטרוזיגוטית לויורוס. נימצא כי כנות אלו הגנו באופן יעיל מפני הדבקה מהקרקע. נראה שתפקוד הצמחים בשילובים השונים שנבחנו בניסוי זה לא ניפגע והם הניבו יכולים נורמטיביים.
5. **מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות :**
הביטוי של העמידות ההיפרסנסיטיבית עשוי לנוע בין דרגות עמידות שונות : מרמת עמידות גבוהה ביותר שאינה מאפשרת פלישה סיסטמית לצמח ועד למצב של נקרוזה סיסטמית במערכת ההובלה המסתיימת בהתמוטטות הצמח וכל זאת בהתאם לתנאי הסביבה, כמות המידבק ותבדיד הוירוס. על בסיס הנתונים שהתקבלו ממערך הניסויים של הפרויקט, ניתן לקבוע כי התלות ההדוקה בין ביטוי תקין של העמידות לבין גורמים סביבתיים כגון טמפ', ורמת המידבק בקרקע, מונעת למעשה את השימוש המעשי בכנות פלפל בעלות עמידות היפרסנסיטיבית. השימוש בכנות כנגד PMMV יתאפשר לשימוש מקור עמידות המבוסס על מכניזם שונה מזה המאפיין עמידות מסוג HR. קיים סיכוי גבוה שהשימוש בכנות טרנסגניות יספק פיתרון יעיל בהכשר זה. השימוש בכנות עמידות הוא פיתרון מהיר ויעיל לצורך התמודדות עם מחלות הנישאות בקרקע וכדאי שיושקע מאמץ מו"פי בפיתוח כנה מרובת עמידות שתתן פיתרון כנגד מחלות הקרקע העיקריות של פלפל.

מבוא ותאור הבעיה

וירוס הנימור המתון של הפלפל *Pepper mild mottle virus (PMMV)*, שייך לסוג *Tobamovirus* נימצא לראשונה באיטליה (Wetter et al., 1984) וכיום נפוץ בעולם כולו ומצטיין כמו וירוסים אחרים מקבוצה זו בתכונות של שרידות גבוהה, יכולת לעבור בזרעים ובמצע הגידול. קימים גזעים שונים של וירוס זה שעברו קו-אבולוציה עם הגידול בעקבות החדרת עמידות גנטית לזני הפלפל. רמת העמידות המתקדמת ביותר מוקנית ע"י הגן L4 הנותן עמידות כנגד מרבית גזעי הוירוס. PMMV על מגוון גזעיו פוגע קשות בפרי הפלפל, גורם לו עיוותים, יוצר גבשושיות והופעת מוזאיקה על פני הפרי, תופעות הפוסלות אותו לשיווק. יכולתו של הוירוס לעבור בזרעים, בקרקע ובמגע מכני עם הנוף מאפשרים התפשטותו המהירה וגרימת נזקים בהיקף מאוד משמעותי. גזע הוירוס PMMV p_{1,2,3} הנפוץ היום בישראל, מחייב שימוש בזנים עמידים הנושאים את הגן לעמידות L4, אך מספרם של אלו מצומצם יחסית והם אינם מציעים מגוון מספיק רחב של איכויות הורטיקולטוריות, מצב המחייב מגדלים להשתמש בזנים רגישים (הזן רמירו או זנים דמויי רמירו למשל). תרבות הגידול של פלפל בישראל מבוססת על מונו קולטורה, המגבירה את הסיכוי להתפשטות מחלות הנישאות בקרקע ובכלל זה גם PMMV. בחלקות בהן מופיעה המחלה נוצר אילוח מסיבי של הקרקע כתוצאה מקיומן של שאריות שרשים ווירוס חפשי, מצב היוצר איום על הגידול הבא. חיטוי בפורמלין מצמצם במידת מה את כמות המידבק בקרקע אך חומר זה רעיל במיוחד וגם אינו קוטל ביעילות מספיקה וירוס הנישא בשאריות עלים ושרשים או נימצא בקרקע בנוכחות חומר אורגני. לאחרונה פיתחנו שיטת שתילה לתוך תוך חוצץ הנותנת הגנה טובה מפני הדבקה דרך הקרקע, אך אינה פותרת מצבים בהם מגיע המידבק באמצעות זרעים מאולחים אשר מקליפתם נישטף הוירוס אל בית השורשים של השתיל ומדביקו.

מחקר זה מכוון לבחון שימוש בכנות הנושאות את הגן לעמידות L4 כנגד הגזעים הנפוצים של PMMV ובאופן זה לחסום באופן יעיל את שני מסלולי ההתפשטות העיקריים של הוירוס: מעבר בזרעים מאולחים ומעבר דרך הקרקע.

הומרים ושיטות

1. בחינת העמידות של קוים איזוגניים הנושאים את הגן L^4 במינון שונה כנגד PMMV (ניסוי בחממה ובית רשת)

הקוים האיזוגניים הבאים התקבלו מדור' יוני אלקינד, הפקולטה לחקלאות ברחובות :

R6-750-b (L^4L^+) , R6-751-b (L^4L^4) , R6-759 (L^+L^+)

שלושת גנוטיפים אלו שימשו ככנות לזן רמירו הרגיש לוירוס. הרכבת הצמחים נערכה במשתלות חישתיל.

חמישה צמחים מורכבים מכל גנוטיפ הודבקו לאחר שליפתם מהמגש ע"י טבילת מערכת השרשים בתמיסת PMMV_{p123} מנוקה בריכוזים של $50\mu\text{g}$ \ מ"ל ו- $100\mu\text{g}$ \ מ"ל. חמישה צמחים מכל גנוטיפ הודבקו לאחר שליפתם מהמגש, ע"י טבילת מערכת השרשים ב תמיסת PMMV מנוקה בריכוז 100 μg \ מ"ל. ההדבקה נערכה בתאריך 12-09-07. כדי להבטיח רמת הדבקה טובה נחתך הקצה הדיסטאלי של קונוס השרשים לפני טבילתו בתמיסת המידבק.

לאחר הדבקתם נשתלו הצמחים בעציץ פלסטיק בקוטר 20 ס"מ שהוחזקו בבית צמיחה מוגן מחרקים בטמפ. של $18-26^{\circ}\text{C}$ כדי לבחון את עמידות הכנות לוירוס. לצורך בדיקת ההדבקה, נדגמו קודקודי הצמיחה של כל אחד מהצמחים ע"י הסרת 0.1gr רקמת עלה, ריסוקה ב-1 מ"ל בופר כתישה ובדיקה ב-ELISA. נערכו שלוש בדיקות בפרקי זמן של חודש, לאחר מועד ההדבקה.

ניסוי נוסף עם צמחים מאותו ה batch נערך בבית רשת. בניסוי זה נבחנו 7 צמחים מכל גנוטיפ. הצמחים הודבקו באותו האופן כמתואר לעיל אלא שריכוז המידבק היה $500\mu\text{g}$ \ מ"ל. לאחר ההדבקה נשתלו הצמחים בדליי פלסטיק של 10 ליטר ע"ג מצע טוף. המעקב אחר הדבקת הצמחים התבצע כמתואר לעיל.

2. בחינת השפעת הטמפרטורה על העמידות של קוים איזוגניים הנושאים מינון שונה של הגן

לעמידות L^4 כנגד PMMV (ניסוי בפיטורון)

הקוים האיזוגניים הבאים התקבלו מדור' יוני אלקינד, הפקולטה לחקלאות ברחובות :

R6-750-b (L^4L^+) , R6-751-b (L^4L^4) , R6-759 (L^+L^+)

שלוש קבוצות צמחים בלתי מורכבים בגיל שבעה עלים אמיתיים, המייצגות את הגנוטיפים הנ"ל הודבקו דרך מערכות השורשים שלהן. לצורך ההדבקה נחתך השליש התחתון של גוש השורשים בכל עציץ וחלקו התחתון של הגוש ניטבל בתמיסת מידבק מנוקה של PMMV בריכוז של $100\mu\text{g}/\text{ml}$, אח"כ הוחזר הצמח לעציץ. כל אחת מהקבוצות חולקה לשתי תת קבוצות (4 צמחים בכ"א) שכ"א מהן שהתה בטמפרטורה שונה. תנאי הניסוי בפיטורון היו כדלקמן :

חדר 1: טמפרטורת יום 25°C (6:00-18:45), טמפרטורת לילה 18°C (18:45-6:00) ו-65% לחות.

השקיה פעמיים ביום (8:00, 16:00) למשך 5 דקות כל אחת, במים מדושנים המכילים 20cc/10L

"שפר 1" (דשנים וחומרים כימיים, קרית אתא, ישראל).

חדר 2: טמפרטורת יום (6:00-18:45) 35°C , טמפרטורת לילה (18:45-6:00) 26°C ו-65% לחות השקיייה שלוש פעמים ביום (8:00, 13:00, 18:00) למשך 7 דקות כל אחת, במים מדושנים המכילים 20cc/10L "שפר 1".

כשלושה שבועות לאחר ההדבקה נדגמו עלים מקודקוד הצמחים של כ"א מהגנוטיפים בשתי הטמפרטורות ונערכה אליזה כדי לבחון אפשרות של מעבר הוירוס ממערכת השורשים המודבקת אל חלקו העליון של הנוף.

3. ניסוי שדה לבחינת כשר ההגנה של כנות נושאות עמידות כנגד PMMV על רוכב רגיש לוירוס (ניסוי חוות הבשור).

הניסוי נערך בחוות הבשור. הרוכב הרגיש שניבחן בניסוי היה מהזן מזורקה (Rijk Zwaan) בעל הגנוטיפ L^+L^+ הידוע ברגישותו הגבוהה ל- PMMV. שתי הכנות הנושאות עמידות כנגד PMMV שנבחנו בניסוי היו M/1080 (קו הומוזיגוטי עמיד בעל גנוטיפ L^4L^4 התקבל מאילן פארן המח' לגנטיקה, מכון וולקני) והזן העמיד M\G [Blocky Red 6522-N] המשווק ע"י חב' גרין בעל הגנוטיפ L^4L^+ .

במסגרת הניסוי נבחנו השילובים הבאים של כנה-רוכב : מזורקה על מזורקה, מזורקה בלתי מורכב, מזורקה על Blocky Red , מזורקה על M\1080. ההרכבות בוצעו במשתלות חישתיל. הניסוי נערך בשתי מיני חממות בגודל של 250 מ"ר כ"א. בכל מבנה היו 6 ערוגות, ארבע מהן שימשו את הניסוי ושתיים שמשו כשוליים. במבנה אחד נבחנו הכנות הנ"ל לאחר שהודבקו דרך מערכת השורשים ע"י קיטומה וטבילתה במידבק ויראלי מנוקה ($100\mu\text{g/ml}$) לפני השתילה בקרקע. הדבקה חוזרת של הצמחים נערכה בחלקה המודבקת כשלושה שבועות לאחר ההדבקה (08-09-03), ע"י החדרת להב של סכין יפני לבית השורשים כדי לפוצעו והזרקת 10 מ"ל תמיסת מידבק ויראלי בריכוז $300\mu\text{g/ml}$ לאזור המטופל בסכין. במבנה שכן נבחנו אותם השילובים של רוכב/כנה ללא הדבקה במטרה לבחון את השפעת הכנה על התפתחות הרוכב, איכות היבול וכמותו.

הצבת הניסוי בכ"א מהחממות נעשתה עפ"י תכנית של ריבוע לטיני. כל אחד מהשילובים של רוכב/כנה הופיע בארבעה בלוקים ובארבע חזרות. כל חזרה כללה ערוגה באורך 4.5 מ' שהכילה 22 צמחים בשתי שורות השתולים במרווח של 40 ס"מ. תאריך השתילה היה ב-08-08-11. הצמחים הודלו בשיטה הספרדית. משטר הדישונים והגנת הצומח בחלקות הניסוי היה זהה למקובל בחלקות מסחריות.

4. ניסוי שדה בחממה מסחרית לבחינת שילובי רוכב/כנה (ניסוי חצבה)

הניסוי נערך במושב חצבה, בערבה התיכונה, בחממה מסחרית, בה גודל לאורך 8 שנים רצופות פלפל מהזן רמירו שהוא חסר עמידות כנגד PMMV. רמת הנגיעות בוירוס הגיעה בסוף עונת הגידול בחממה זו לרמה של קרוב ל-100%.

בניסוי נבחנו יכולתם של זני פלפל מסחריים, הטרוזיגוטיים לגן L4 לשמש ככנות שיגנו על רוכבים שמקורם בזני פלפל חסרי עמידות לוירוס. הזנים אשר שימשו ליצור הכנות היו : פיילוט, ורגסה, 7177. הרוכבים הרגישים שנבחנו על כל אחת מהכנות היו : סמבה, מדונה ורמירו. ההרכבות בוצעו במשתלות חישתיל. תאריך השתילה היה 06-12-22. כל שילוב של כנה/רוכב נישתל בשתי שורות שכללו סה"כ

160 צמחים לשילוב. המרווח בין השתילים היה כ-60 ס"מ. כל שילוב + ביקורת רמירו בלתי מורכב, ניבחן בשני אופנים : 1. שתילה ישירה לתוך הקרקע. 2. שתילה לתוך 'תווך חוצץ' (גומה בקרקע שמולאה עם טוף). המעקב אחר התפתחות המחלה נערך לאורך שלושה חודשים ממועד השתילה. המחלה אובחנה על בסיס סימני מחלה ואישור נוסף ע"י זיהוי ב-ELISA .

תוצאות

1. שימוש בכנות שמקורן בקוים איזוגניים הנושאים את הגן L4 להגנה על רוכב רגיש (ניסוי

מעבדה)

התוצאות המוצגות להלן בטבלה 1 מראות כי בשני ריכוזי המידבק שנבחנו, הביאה הדבקת צמחי פלפל דרך מערכת השורשים להתפשטות סיסטמית של הוירוס ממערכת השרשים של הכנה הרגישה (R6-759), אל נוף הזן ששימש כרוכב [רמירו (L^+L^+)]. טבלה 2 מוכיחה כי הכנה (R6-750-b) בעלת העמידות ההטרוזיגוטית (L^4L^+) לא הצליחה אף היא להגן על הרוכב הרגיש מהזן רמירו מפני הדבקה סיסטמית דרך מערכת השורשים. לעומת זאת הכנה שהייתה בעלת עמידות הומוזיגוטית (L^4L^4) אפשרה הגנה על הרוכב הרגיש מהזן רמירו גם ברמות המידבק הגבוהות בהן השתמשנו (טבלה 3). תוצאה זו אושרה בניסוי נוסף שנערך בדליים בתנאי בית רשת (לא מוצג).

טבלה 1 : בחינת כשר ההגנה של כנת פלפל רגישה (L^+L^+) על רוכב רגיש (רמירו) מפני הדבקה דרך מערכת השורשים, עם שני ריכוזי מידבק של PMMVp_{1,2,3}

| ELISA Value | | | |
|-------------|----------|----------|----------|
| ממוצע | דוגמה ב' | דוגמה א' | הגנוטיפ |
| 50µg/ml | | | $L+L+$ |
| 0.828 | 0.806 | 0.850 | 1 |
| 0.996 | 0.819 | 1.173 | 2 |
| 0.994 | 1.158 | 0.830 | 3 |
| 0.906 | 0.812 | 1.001 | 4 |
| 0.623 | 0.634 | 0.612 | 5 |
| 100µg/ml | | | $L+L+$ |
| 1.361 | 1.287 | 1.436 | 1 |
| 0.737 | 0.625 | 0.850 | 2 |
| 1.024 | 0.760 | 1.288 | 3 |
| 0.487 | 0.523 | 0.452 | 4 |
| 0.693 | 0.755 | 0.631 | 5 |
| 0.701 | 0.748 | 0.655 | Healthy |
| 1.47 | 1.548 | 1.409 | Infected |

טבלה 2 : בחינת כשר ההגנה של כנת פלפל בעלת עמידות הטרוזיגוטית (L^4/L^+) על רוכב רגיש (רמירו) מפני הדבקה דרך מערכת השורשים, עם שני ריכוזי מידבק של $PMMV_{p1,2,3}$.

| ELISA Value | | | |
|-----------------|----------|----------|-----------------|
| ממוצע | דוגמה ב' | דוגמה א' | הגנוטיפ |
| 50µg/ml | | | L4L+ |
| 0.14 | 0.115 | 0.168 | 1 |
| 1.255 | 0.650 | 1.860 | 2 |
| 1.141 | 1.218 | 1.065 | 3 |
| 1.071 | 1.018 | 1.125 | 4 |
| 0.996 | 0.986 | 1.007 | 5 |
| 100µg/ml | | | L4L+ |
| 0.687 | 0.890 | 0.485 | 1 |
| 0.118 | 0.133 | 0.103 | 2 |
| 0.931 | 0.862 | 1.001 | 3 |
| 0.758 | 0.753 | 0.764 | 4 |
| 0.576 | 0.548 | 0.604 | 5 |
| 0.102 | 0.094 | 0.111 | Healthy |
| 1.47 | 1.548 | 1.409 | Infected |

טבלה 3 : בחינת כשר ההגנה של כנת פלפל בעלת עמידות הומוזגוטית (L^4/L^4) בהדבקה דרך מערכת השורשים עם שני ריכוזי מידבק של $PMMV_{p1,2,3}$

| ELISA Value | | | |
|-----------------|----------|----------|-----------------|
| ממוצע | דוגמה ב' | דוגמה א' | הגנוטיפ |
| 50µg/ml | | | L4L4 |
| 0.135 | 0.127 | 0.144 | 1 |
| 0.104 | 0.085 | 0.123 | 2 |
| 0.104 | 0.123 | 0.085 | 3 |
| 0.037 | 0.060 | 0.014 | 4 |
| 0.059 | 0.095 | 0.024 | 5 |
| 100µg/ml | | | L4L4 |
| 0.100 | 0.108 | 0.093 | 1 |
| 0.100 | 0.098 | 0.097 | 2 |
| 0.144 | 0.112 | 0.177 | 3 |
| 0.125 | 0.111 | 0.139 | 4 |
| 0.156 | 0.171 | 0.142 | 5 |
| 0.102 | 0.094 | 0.111 | Healthy |
| 1.47 | 1.548 | 1.409 | Infected |

3. בחינת השפעת הטמפרטורה על העמידות של קוי פלפל איזוגניים הנושאים אללים של הגן

לעמידות (L^4) במינון שונה (ניסוי פיטורון).

נבחנו שלושה גנוטיפים של צמחי פלפל איזוגניים בלתי מורכבים הנושאים את האלל L^4 לעמידות כנגד גזע הוירוס PMMV P₁₂₃ : א. הומוזיגוט עמיד (R6-751b) ב. הטרוזיגוט עמיד (R6-750-b) ג. והומוזיגוט רצסיבי רגיש (R6-759) .

הצמחים של שלושת הגנוטיפים חולקו לשתי קבוצות כשאחת הוחזקה בפיטורון בטמפרטורה של 25°C ואילו השנייה שהתה במתקן בטמפרטורה של 35°C (ראה שיטות וחומרים). כחודש לאחר ההדבקה נלקחו דגימות עלים מקודקודי הצמחים כדי לבחון את יכולת הוירוס לפלוש ממערכת השורשים אל הנוף. התוצאות מוצגות בטבלה 4. כמצופה הרגישות להדבקה היתה גבוהה ביותר בצמחים ההומוזיגוטים הרצסיביים ($L+L+$) הרגישים לוירוס. צמחים אלו נדבקו בשתי הטמפרטורות וטיטר הוירוס בעלים היה גבוה כפי שהדבר בא לביטוי בערכי אליזה גבוהים. בניסוי זה נמצא כי הגנוטיפ בעל העמידות ההומוזיגוטית ($L4L4$) שהודבק דרך מערכת השורשים בטמפרטורה של 25° הצליח לפלוש ולהדביק את הצמחים הנבדקים באופן סיסטמי והצליח להגיע ממערכת השורשים אל קודקוד הצמח (טבלה 4).

למרות חדירת הוירוס לנוף הצמחים העמידים הנושאים את האלל L^4 לא הופיעה בעלי הצמחים תגובה של יצירת local lesions נקרוטיים בדומה לתגובה המתקבלת כאשר עלי גנוטיפים עמידים מודבקים מכנית .

טבלה 4 : בדיקת העמידות של קוי פלפל איזוגניים הנושאים את האלל L^4 המקנה עמידות כנגד PMMV ומודבקים דרך מערכת השרשים (בדיקה בתנאים מבוקרים בפייטורון).

| נ ג י ע ו ת | 25°C | | | | נ ג י ע ו ת | 35°C | | | |
|----------------------------|-------------|----------|----------|-----------|----------------------------|-------------|----------|----------|-----------|
| | ערכי אליזה* | | | | | ערכי אליזה* | | | |
| | ממוצע | דוגמה ב' | דוגמה א' | הגנוטיפ | | ממוצע | דוגמה ב' | דוגמה א' | הגנוטיפ |
| 6/6 | 1.412 | 1.024 | 1.800 | $L^+ L^+$ | 5/6 | 1.567 | 1.690 | 1.445 | $L^+ L^+$ |
| | 1.661 | 1.584 | 1.738 | $L^+ L^+$ | | 0.709 | 0.649 | 0.770 | $L^+ L^+$ |
| | 0.153 | 0.161 | 0.156 | $L^+ L^+$ | | 0.006 | 0.050 | 0.074 | $L^+ L^+$ |
| | 0.420 | 0.480 | 0.360 | $L^+ L^+$ | | 0.140 | 0.109 | 0.172 | $L^+ L^+$ |
| | 1.835 | 1.886 | 1.785 | $L^+ L^+$ | | 0.668 | 0.657 | 0.679 | $L^+ L^+$ |
| | 0.202 | 0.258 | 0.147 | $L^+ L^+$ | | 1.054 | 1.009 | 1.099 | $L^+ L^+$ |
| 4/4 | 0.591 | 0.612 | 0.570 | L^4/L^4 | 1/4 | 0.05 | 0.030 | 0.067 | L^4/L^4 |
| | 0.364 | 0.597 | 0.131 | L^4/L^4 | | 0.15 | 0.148 | 0.152 | L^4/L^4 |
| | 0.115 | 0.121 | 0.110 | L^4/L^4 | | 0.04 | 0.044 | 0.040 | L^4/L^4 |
| | 0.113 | 0.119 | 0.107 | L^4/L^4 | | 0.015 | 0.206 | 0.001 | L^4/L^4 |
| 5/5 | 0.172 | 0.171 | 0.174 | L^4/L^+ | 3/5 | 0.104 | 0.152 | 0.056 | L^4/L^+ |
| | 1.353 | 1.320 | 1.386 | L^4/L^+ | | 1.375 | 1.290 | 1.459 | L^4/L^+ |
| | 1.650 | 1.600 | 1.706 | L^4/L^+ | | 0.092 | 0.110 | 0.074 | L^4/L^+ |
| | 0.309 | 0.230 | 0.389 | L^4/L^+ | | 0.149 | 0.181 | 0.117 | L^4/L^+ |
| | 0.475 | 0.410 | 0.541 | L^4/L^+ | | - | - | - | L^4/L^+ |
| | | | | | | 0.036 | 0.042 | 0.030 | |

* רמת הרקע הבלתי ספציפי הממוצעת (שלוש דגימות) שהתקבלה בבדיקת מוהל מצמחים בריאים היתה

0.03 OD₄₀₅

כדי לבחון האם ערכי האליזה החיוביים שהתקבלו בגנוטיפים ההומוזיגוטים וההטרוזיגוטים הנושאים את האלל L^4 מיצגים נוכחות וירוס אינפקטיבי ברקמה, נדגמו עלים קודקודיים של צמחים מגנוטיפים אלו. העלים רוסקו בכופר והודבקו על צמחי בוחן (*Nicotiana benthamiana*) הרגישים לוירוס.

הנתונים המופיעים בטבלה 5 מעידים על נוכחות וירוס אינפקטיבי בקודקודי צמחים בעלי גנוטיפ הטרוזיגוטי והומוזיגוטי לאלל L^4 , שהודבקו דרך מערכת השרשים.

טבלה 5 : בדיקת כשר החדירה של PMMV דרך מערכת השורשים של קוים איזוגניים הומוזיגוטים והטרוזיגוטים לאלל L4, בטמפרטורות שונות..

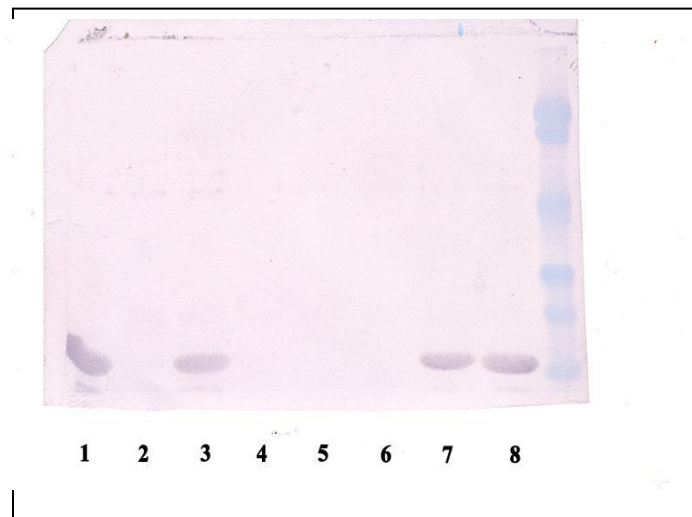
| מס צמח | גנוטיפ | טמפרטורה | *ELISA | אינפקטיביות |
|--------|--------------------------------|-----------------|--------|-------------|
| 8 | L ⁴ /L ⁴ | 35 ⁰ | 0.15 | + |
| 10 | L ⁴ /L ⁴ | 35 ⁰ | 0.103 | - |
| 11 | L ⁴ /L ⁺ | 35 ⁰ | 0.104 | + |
| 12 | L ⁴ /L ⁺ | 35 ⁰ | 1.375 | + |
| 15 | L ⁴ /L ⁺ | 35 ⁰ | 0.149 | - |
| 17 | L ⁴ /L ⁴ | 25 ⁰ | 0.591 | + |
| 18 | L ⁴ /L ⁴ | 25 ⁰ | 0.364 | - |
| 19 | L ⁴ /L ⁴ | 25 ⁰ | 0.115 | + |
| 20 | L ⁴ /L ⁴ | 25 ⁰ | 0.113 | - |
| 21 | L ⁴ /L ⁺ | 25 ⁰ | 0.172 | + |
| 23 | L ⁴ /L ⁺ | 25 ⁰ | 1.650 | + |

*קריאת הרקע הבלתי ספציפי הממוצע היתה 0.07 OD₄₀₅.

זהות הוירוס נבחנה גם בדרך נוספת : נלקחה מכ"א מצמחי הפלפל הנ"ל דגימה של כשני גרם עלים ומהם הוכן תכשיר ויראלי מנוקה. התכשיר ניבדק ב-EM ובנוסף הוא הורץ על ג'ל של אקרילאמיד לזיהוי חלבון המעטפת היראלי עפ"י גדלו והתגובה הסרולוגית שהוא נותן עם אנטיסרום ספציפי כנגד PMMV. נלקחו דגימות של 3 מיקרוליטר מכ"א מהתכשירים המנוקים ואלה הורצו על ג'ל של אקרילאמיד לזיהוי נוכחות של חלבון המעטפת היראלי.

הופעת בנדים המיצגים את חלבון המעטפת של PMMV מצביעה על נוכחות חלקיקים ויראליים בחלק מהתכשירים המנוקים. הוירוס זוהה ב- Westren blot ע"י שימוש באנטי סרום ספציפי ל-PMMV. התוצאות המוצגות באיור 2 מאשרות כי אכן הבנדים המופיעים בתמונה 1 מיצגים את חלבון המעטפת של PMMV.

תמונה 1 : זיהוי סרולוגי של חלבון המעטפת היראלי של PMMV בעזרת Western blot של תכשירי וירוס שהופקו מקוים איזוגניים והטרוזיגוטים לאלל L⁴ שהודבקו בוירוס דרך מערכת השורשים.



4. ניסוי שדה לבחינת כשר ההגנה של כנות עמידות כנגד PMMV על רוכב רגיש לוירוס (חוות הבשור)

הניסוי נערך במתכונת המתוארת בשיטות וחומרים. בבדיקה שנערכה כחודש לאחר ההזדבקה החוזרת התגלתה התמוטטות כללית של השילובים הכוללים רוכב רגיש (מזורקה) מורכב על כ"א משתי הכנות בעלות עמידות הומוזיגוטית והטרוזיגוטית בהתאמה (1080, 6522) (טבלה 6, תמונה 4, תמונה 5). ההתמוטטות כללה הופעה של נקרוזה בגבעול הכנה (תמונה 8) והתנוונות מערכת השורשים (תמונה 7). לא נמצאה התמוטטות של צמחים מורכבים בהם הורכב הזן הרגיש מזורקה על מזורקה (תמונה 3) או במקרה של צמחי מזורקה בלתי מורכבים (לא מוצג). כל הצמחים בשני הטיפולים האחרונים נדבקו סיסטמית והראו סימני מוזאיקה אופייניים ל-PMMV. בבית הגידול בו גדלו שילובי רוכב/כנה ללא הדבקה בוירוס, היתה התפתחות הצמחים נורמלית ולא התגלו תופעות של התמוטטות (לא מוצג).

טבלה 6 : שיעור ההתמוטטות של צמחי פלפל מורכבים הכוללים שילוב של רוכב רגיש על כנות עמידות ורגישות ל-PMMV לאחר הדבקה מלאכותית של מערכת השורשים (ניסוי שדה)

| % | סה"כ | שיעור ההתמוטטות | | | | השילוב |
|----|------|-----------------|---------|---------|---------|---------------|
| | | Block 4 | Block 3 | Block 2 | Block 1 | |
| 0 | 0 | 0/22 | 0/22 | 0/22 | 0/22 | מזורקה\מזורקה |
| 0 | 0 | 0/22 | 0/22 | 0/22 | 0/22 | מזורקה |
| 75 | 66 | 19/22 | 21/22 | 15/22 | 11/22 | 1080\מזורקה |
| 64 | 56 | 22/22 | 19/22 | 12/22 | 3/22 | מזורקה\6522 |

עלים שנדגמו מקודקודי הרוכבים של צמחים שהתמוטטו רוסקו בכופר והודבקו מכנית לצמחי בוחן (*Nicotiana glutinosa*). בכל המקרים היו תוצאות ההדבקה חיוביות ושמשו הוכחה לנוכחות PMMV אינפקטיבי ברוכבים הנבדקים. בבדיקות נוספות הופקו תכשירים ויראליים מנוקים מהעלים הנדגמים ונוכחות ויריונים שנמצאו בתכשירים אלו מוצגת בתמונה 8 ומהוה הוכחה נוספת ליכולתו של הוירוס לפלוש מהכנה העמידה אל הרוכב הרגיש.

5. ניסוי שדה בחממה מסחרית לבחינת שילובי רוכב\כנה כהגנה מפני הדבקת PMMV מהקרקע

הנתונים המוצגים בטבלה 7 מראים באופן חד משמעי כי כל הכנות שנשאו את הגן לעמידות L4 (גנוטיפ הטרוזיגוטי), סיפקו הגנה יעילה לרוכבים הרגישים (סמבה, רמירו, מדונה) כנגד מידבק ויראלי המצוי בקרקע ב"אופן טבעי". לעומת זאת 40 יום לאחר השתילה היו 18% מצמחי הזן הרגיש רמירו שלא הורכב, נגועים ב-PMMV. בניסוי זה ניבחן גם השילוב של שימוש בכנה עמידה ותווך חוצץ להגנה מפני מידבק ויראלי שהיה בקרקע החממה בה נערך הניסוי השימוש ב'תווך חוצץ' הביא להפחתה משמעותית בנגיעות צמחי הזן הרגיש רמירו והורידה את הנגיעות בצמחי הביקורת הבלתי מורכבים לשעור של 1.9% בלבד (לא מוצג).

טבלה 7 : בחינת שילובים שונים של כנה/רוכב לבחינת כשר ההגנה מפני מידבק ויראלי של PMMV המצוי בקרקע

| Combination | Infection incidence |
|-------------------|---------------------|
| Un-grafted Ramiro | 29/160 |
| Ramiro/Pilot | 0/160 |
| Ramiro/Vergasa | 0/160 |
| Ramiro/7177 | 0/160 |

תמונה 2: צמחי הזן רמירו הרגיש ל-PMMV מורכבים על כנת פלפל עמיד לוירוס (ניסוי בחממה מסחרי ת, בחצבה).



תמונה 3 : הדבקה סיב של רוכב רגיש (מזורקה, $L^+ L^+$) על כנה רגיש (מזורקה). ההדבקה במקרה הזה גורמת להופעת מוזאיקה אך אינה גורמת להתמוטטות.



תמונה 4 : התמוטטות צמחי פלפל מורכבים בשילוב של רוכב רגיש (מזורקה) על כנה בעלת עמידות הומוזיגוטית (L^4/L^4) לאחר הדבקה מלאכותית מהקרקע



תמונה 5 : תגובה נקרוטית בגבעול כנה בעלת עמידות הטרזיגוטית (L^4/L^+) כנגד PMMV גורמת להתמוטטות הצמח



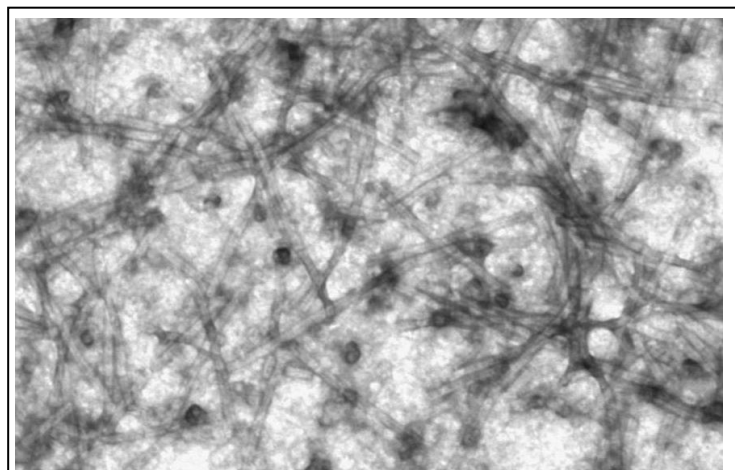
תמונה 6 : תגובה נקרוטית בגבעול כנה בעלת עמידות כנגד PMMV, שהודבקה דרך מערכת השורשים. הנקרוזה במערכת ההובלה גורמת להתמוטטות הצמח.



תמונה 7: התנוונות מערכת השורשים של כנות בעלות עמידות ל-PMMV שהודבקו באופן מלאכותי מהקרקע



תמונה 8 : חלקיקי PMMV שהופקו מעלי רוכב רגיש מורכב על כנה עמידה ל- PMMV שהודבקה דרך מערכת השורשים.



דיון :

עמידות פלפל ל-PMMV נשלטת ע"י ארבעה אללים שונים של הגן L המסומנים LI-LA. מחקרים אשר נעשו בעבר הראו כי חלבון המעטפת הויראלי הנוצר ברקמה בכמויות גדולות משמש כ-elicitor (avirulence gene) המפעיל את מערכת ההגנה של הצמח ע"י התקשרות לתוצר הגן לעמידות (L) של הצמח. מכניזם הגנה זה המוגדר כ'עמידות היפרסנסיטיבית' (HR) מלווה ביצירת נקפים נקרוטיים (LL) (Culver, and Dawson, 1989). במוקדי ההדבקה (במוקדי החדירה מצליח הוירוס לעבור מספר מחזורי שכפול, אך בשלב מוקדם התפשטותו נעצרת. בשלב מאוחר יותר נושרים העלים המודבקים והצמח מתחמק מהדבקה בוירוס. עמידות מסוג זה ניתן לתאר כתחרות בין מהירות השיכפול של הגנום הויראלי ומהירות תנועתו ברקמות הצמח, לבין המהירות בה פועלת תגובת ההגנה של הצמח המכוונת לעצור את התפשטות הוירוס. למרות העובדה שברוב המקרים ההדבקה הראשונית מתחוללת דרך הקרקע, מבצעות חברות הזרעים סלקציה לעמידות, ע"י הדבקת הנוף, כשאין ודאות שרמת הביטוי של העמידות ברקמת העלה זהה לזו של מערכת השורשים. אחת ממטרות עבודה זו היה לבחון שאלה זו. תגובתו הפנוטיפית של צמח נושא עמידות היפרסנסיטיבית לאינפקציה ויראלית מותנה ביחסי הגומלין בין פרמטרים שונים כגון : טיב הזון, מינון האללים לעמידות (gene dosage), גזע הוירוס, ותנאי הסביבה כמו טמפרטורה, עצמת האור והלחות (Colmer et al., 2000). 'dosage effect', מתאר את השפעת מינון האללים של הגן לעמידות על רמת העמידות. מניחים כי בצמחים הטרוזיגוטיים, הורשת העמידות אינה לגמרי דומיננטית וכתוצאה מכך נגרמת ירידה בעוצמתה (Boukema, Jensen, and Hofman, 1980). ממצאי העבודה המוצגים בטבלה 2 אכן תומכים בהיפותזה זו ומראים באופן ברור כי כנת פלפל הנושאת עמידות כנגד PMMV במצב הטרוזיגוטי (L^4/L^+) אינה עמידה לרמות מידבק ויראלי גבוהות (50-100 $\mu\text{g/ml}$) בתנאים של הדבקה דרך מערכת השורשים. ברמות מידבק כאלה מצליח הוירוס להתרבות בשורשי הכנה ולנוע באופן סיסטמי אל נוף הרוכב הרגיש (רמירו) כפי שקורה הדבר בהרכבת רוכב רגיש על כנה רגישה בעלת הגנוטיפ $L+L+$ (טבלה 1). לעומת זאת בכנה הנושאת את הגן לעמידות במצב הומוזיגוטי (L^4/L^4) נמצאה עמידות לרמת המידבק הגבוהה אשר שימשה בניסוי. כנה בעלת גנוטיפ כזה לא אפשרה לוירוס לעבור באופן סיסטמי אל נוף הרוכב הרגיש (טבלה 3). תוצאות אלו נתמכות בתוצאות שהתקבלו עם אותם שילובים בניסוי שנערך בדליים בתנאי בית רשת (לא מוצג). לעומת זאת בניסוי שנערך בשלב מאוחר יותר עם אותם קוים בתנאים מבוקרים בפיטוטרון, הדבקת מערכת השורשים גרמה לשבירת העמידות גם בכנה בעלת גנוטיפ עם עמידות הומוזיגוטית דומיננטית (L^4L^4) (טבלה 4).

בניסוי שדה שנערך בבשור בחממה ניסויית אותגרו כנות אחרות בעלות גנוטיפים עמידים L^4L^4 ו- L^4/L^+ בהדבקה מלאכותית מהקרקע לאחר שהורכב עליהם רוכב רגיש (מזורקה). ממצאי ניסוי זה מראים על יכולת הפלישה של הוירוס לרקמות הצמח דרך מערכת השורשים תוך השראת תגובה היפרסנסיטיבית חזקה בכנה העמידה הגורמת להתמוטטות הצמחים (תמונות 4 ו-5). התמוטטות זו בשילובים של רוכב רגיש על כנה עמידה מוסברת ביכולתו של הוירוס לחזור אל מערכת השורשים

ומשם אל השיפה ולנוע דרכה אל הרוכב הרגיש. ברוכב הרגיש שבו אין שום עכבות להתרבות הוירוס מתרחשת סינתזה מוגברת של הוירוס (תמונה 8). הסעה של וירוס בריכוז גבוה עם זרם המוטמעים אל הכנה העמידה, גורם לתגובה היפרסנסיטיבית חזקה במערכת ההובלה שלה (תמונה 6) והנקרוזה הנוצרת גורמת להתמוטטות הצמחים (תמונה 4, תמונה 5).

בניסוי נוסף שנערך בחממה מסחרית שמצע הגידול בה היה מאולח ב-PMMV באופן טבעי, נבחנו שילובים שונים של רוכב רגיש (רמירו) עם כנות בעלות עמידות הטרזוגוטית שמקורן בזנים מסחריים. התוצאות שהתקבלו הראו על יכולתן של הכנות הנבדקות להגן היטב על הרוכב הרגיש מפני הדבקה מהקרקע (טבלה 7).

הסתירות לכאורה בין התוצאות אשר התקבלו בניסויים השונים לגבי כשרו של הוירוס לחזור למערכת השורשים של הכנה העמידה ואשר תוארו לעיל, ניתנות להסבר על בסיס האינפורמציה ממחקרים שנעשו לצורך הבנת מנגנון העמידות ההיפרסנסיטיבית (HR). עפ"י מחקרים אלו העמידות ההיפרסנסיטיבית מתקיימת בדרגות שונות שבין רמת עמידות גבוהה ביותר שאינה מאפשרת פלישה סיסטמית לצמח ועד למצב של נקרוזה סיסטמית במערכת ההובלה המסתיימת בהתמוטטות הצמח. קימים גם דיווחים המצביעים על חשיבות הרקע הגנטי כגורם המשפיע על ביטוי הגן לעמידות (Walkey et al., 1985), אך השימוש שעשינו בקוים האיזוגניים מאפשר לנו לקבוע כי במודל בו עבדנו ההבדלים בעמידות הופיעו על רקע גנטי זהה. הטמפרטורה היא אחד הגורמים הקובעים את רמת העמידות המתקבלת. כך למשל העמידות מטיפוס HR המוקנית לטבק ע"י ה-N-gene נשברת בטמפרטורה של למעלה מ-28°C וכתוצאה מכך מתרחשת התפשטות סיסטמית של הוירוס. החזרת הצמחים לטמפרטורה של מתחת ל-28°C גורמת לתגובה נקרוטית בכל הרקמות אליהן התפשט הוירוס. החזרת הצמחים לטמפרטורה של מתחת ל-28°C (Kassanis, 1952, Pilowski et al., 1981, אנטיגנוס וחובריו, 1996). אפקט זה מודגם היטב בניסוי השדה שנערך בבשור. כמויות המידבק הגבוהות אשר שימשו להדבקת מערכת השורשים בניסוי זה בשילוב של טמפרטורות יום גבוהות וטמפרטורות לילה נמוכות הביאו לקריסת הצמחים (תמונות 4, 5, 6) כפי שנמצא בעבר במערכות אחרות. לעומת זאת בניסוי שנערך בחממה מסחרית בערבה הצליחו הכנות העמידות להגן על הרוכב הרגיש כנראה עקב משטר טמפרטורות מתון שהושג בעזרת מערכת בקרת אקלים שהופעלה בחממה זו (טבלה 7, תמונה 2).

על בסיס הנתונים שהתקבלו ממערך הניסויים של הפרויקט, ניתן לקבוע כי התלות ההדוקה בין ביטוי תקין של העמידות לבין גורמים סביבתיים, מונע למעשה את השימוש בכנות פלפל בעלות עמידות היפרסנסיטיבית לצורך הגנת זני פלפל רגישים ל-PMMV. עד כה לא נמצאה עמידות כנגד PMMV שאינה עמידות היפרסנסיטיבית. יש להניח שהשימוש בכנות כנגד PMMV יהיה ישים לכשימצא מקור עמידות המבוסס על מכניזם שונה מזה של עמידויות מסוג HR. קיים סיכוי רב שהשימוש בכנות טרנסגניות יספק פיתרון יעיל בהכשר זה. השימוש בכנות עמידות הוא פיתרון מהיר ויעיל לצורך התמודדות עם מחלות הנישאות בקרקע וכדאי שיושקע מאמץ מו"פי בפיתוח כנה מרובת עמידויות שתתן פיתרון כנגד מחלות הקרקע העיקריות של פלפל.

References :

- אנטיגנוס, י. מ. פרלסמן, ע. לכמן, ש. כהן. 1996. שבירת העמידות בפלפל ע"י וירוס המוזאיקה של העגבניה. השדה י' 67-69.
- Boukema, I. W., Jensen, K., Hofman, K., 1980. Strains of TMV and genes for resistance in *Capsicum*. Eucarpia *Capsicum* Working Group , Synopses of the IVth Meeting, Wageningen, 14-16 October, 1980, p44-48.
- Culver, J. N., and Dawson, W.O. 1989. Tobacco mosaic virus coat protein: An elicitor of the hypersensitive reaction but not required for the development of mosaic symptoms in *Nicotiana sylvestris*. *Virology* 173:755-758.\
- Collmer, C. W., Marston, M. F., Taylor, J. C., Jahn. M. 2000. The *I* gene of bean : a dosage-dependent allele conferring extreme resistance, or spreading vascular necrosis in response to the potyvirus bean common mosaic virus. *MPMI* 13, 1266-1270.
- Dardick, C. D., Taraporewala, Z., Lu, B., and Colver, J. N. 1999. Comparison of tobamovirus coat protein structural features that affect elicitor activity in pepper, eggplant, and tobacco. *MPMI* 12, 247-251.
- Dawson, W. O. 1999. Tobacco mosaic virus virulence and avirulence. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 354, 645-651.
- Kassanis, B. 1952. Some effects of high tempratureon the susceptibility of plants to infection with viruses. *Annals of Applied Biology* 39, 358-369.
- Pilowski, M., Frankel, R., and Cohen, S.1981. Studies on the variable reaction at high temperature of F1 hybrid tomato plants resistant to tobacco mosaic virus.
- Walkey, D. G. A., Ward, C. M., Phelps, K. 1985. Studies on lettuce mosaic virus resistance in commercial lettuce cultivars. *Pl. Pathol.* 34 : 545-551.
- Wetter, C., Conti, M., Altchuh, D., Tabillion, R., and van Regenmortel, M. H. V. (1984). Pepper mild mottle virus a tobamovirus infecting pepper cultivars in Sicily. *Phytopathology* 74, 405-410.

סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתכנית העבודה

מחקר יישומי האמור להוביל למציאת כנות פלפל בעלות עמידות מירבית ל-PMMV, אשר ימנעו הדבקה ממידבק הנמצא בקרקע או על פני הזרעים ויהיו בעלות מתאם רצוי עם הרוכב, באופן שתושג הגנה מפני הוירוס ולא תיפגע איכות הפרי וכמותו.

עקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה שאליה מתייחס הדו"ח

קוי פלפל איזוגניים בלתי מורכבים הנושאים את הגן L^4 לעמידות כנגד PMMV במצב הומוזיגוטי והטרוזיגוטי הודבקו דרך מערכת השורשים עם מידבק של PMMV. נבחנה יכולתו של הוירוס לעבור ממערכת השורש אל הנוף בטמפ' של 25°C בהשוואה לטמפ' של 35°C . נמצא כי בשתי הטמפרטורות מצליח הוירוס לשבור את העמידות ההומוזיגוטית וההטרוזיגוטית, לעבור אל הנוף ולהתרבות בו ללא יצירת תגובה נקרוטית בעלים כפי שקורה כאשר גנוטיפים אלו מודבקים מכנית על העלים. בניסוי שדה שנערך בחממת ניסוי הורכב הזן הרגיש מזורקה על כנות בעלות עמידות הומוזיגוטית והטרוזיגוטית. בתנאי ניסוי זה התמוטטו הצמחים המורכבים על הכנות העמידות כתוצאה מנקרוזה סיסטמית שהופיעה בכנה העמידה. בחממה מסחרית בה הייתה הקרקע מאולחת ב-PMMV באופן טבעי נשתלו צמחים מורכבים של הזן הרגיש רמירו על כנות מזנים מסחריים שהיו בעלות עמידות הטרוזיגוטית לוירוס. נימצא כי כנות אלו הגנו באופן יעיל מפני הדבקה מהקרקע. נראה שתפקוד הצמחים בשילובים השונים שנבחנו בניסוי זה לא ניפגע והם הניבו יבולים נורמטיביים.

המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי ישום המחקר והמשכו

על בסיס הנתונים שהתקבלו ממערך הניסויים של הפרויקט, ניתן לקבוע כי התלות ההדוקה בין ביטוי תקין של העמידות היפרסנסיטיבית המוקנית ע"י האלל L לבין גורמים סביבתיים כגון טמפ', ורמת המידבק בקרקע, מונע למעשה את השימוש בעמידות מסוג זה לצורך הגנת זני פלפל רגישים ל-PMMV. עד כה לא נמצאה עמידות כנגד PMMV שאינה עמידות היפרסנסיטיבית. יש להניח שהשימוש בכנות כנגד PMMV יתאפשר לכשימצא מקור עמידות המבוסס על מכניזם שונה מזה של עמידות מסוג HR. הבעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים שחלו במהלך העבודה (טכנולוגיים שיווקיים ואחרים);

התייחסות המחקר אליהם

קיים סיכוי רב שהשימוש בכנות טרנסגניות יספק פיתרון יעיל שיאפשר את השימוש בכנות עמידות להגנה מפני PMMV. יש לחפש מקורות עמידות שאינם מבוססים על עמידות היפרסנסיטיבית (HR) ו/או ליצר כנה טרנסגנית דבר הניתן להשגה בקלות יחסית. השימוש בכנות יכול להוות פיתרון מהיר ויעיל לצורך התמודדות עם מחלות הנישאות בקרקע וכדאי שיושקע מאמץ מו"פי בפיתוח כנה מרובת עמידויות שתתן פיתרון כנגד מחלות הקרקע העיקריות של פלפל.

האם הוחל כבר בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח

טרם הוחל בהפצת הידע.

