

**היבטים אפידמיולוגיים והפחתת נזקי מחלת קימחון העגבנייה  
הנגרמת ע"י הפטרייה  
*Oidium neolycopersici***

**עבודת גמר**

**מוגשת לפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה של האוניברסיטה  
העברית בירושלים  
לשם קבלת תואר "מוסמך למדעי החקלאות"**

**על ידי  
דנה יעקב**

עבודה זו נעשתה בהדרכתם של

ד"ר יגאל אלעד

המחלקה לפתולוגיה של צמחים וחקר העשבים,

מנהל המחקר החקלאי, בית דגן

ופרופ' אברהם שטיינברג

המחלקה למחלות צמחים ומיקרוביולוגיה,

הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, רחובות

עבודה זו מוקדשת באהבה

להורי היקרים- אפרים ורבקה יעקב

## הבעת תודה

כתיבת העבודה הסתיימה, אך גיליתי שניסוח דף זה הינו משימה לא קלה כלל. ההתלבטויות בבחירת המילים רבות, כל מילה חשובה, במיוחד כיון שברצוני לומר **תודה** לאנשים שעזרו, תמכו ועודדו לאורך כל הדרך.

ליגאל אלעד, תודה על הזכות להיות תלמידתך, על ההנחיה, ההכוונה והעצות החכמות שניתנו תמיד עם חיוך. על הסבלנות הרבה, והנכונות לעזור בכל עת.

לאברהם שטיינברג, תודה על העצות המבוססות על ניסיון רב, ההתעניינות וההשקעה במחקר.

לדני שטיינברג על הנכונות לסייע בכל עת.

לדליה רב דוד, תודה על ההקשבה, עזרה אין סופית, דאגה, על עצות מועילות שניתנו במהירות וזאת על סמך ניסיוןך רב השנים ובמיוחד תודה על חברות אמיתית.

למנחם בורנשטיין, תודה על הרעיונות והפתרונות הטכניים, שבזכותם קוצרו ויועלו הניסויים ובמיוחד תודה על העידוד והשיחות המעניינות המבוססות על ניסיוןך והידע הרב שצברת במהלך השנים, ידע שלא ניתן לרכוש באף תמלוג שבעולם.

לחיים וינטל, תודה על הנכונות לסייע בכל עת ועל היחס החם.

לצוות מו"פ דרום בחוות הבשור ובמיוחד לחנה יחזקאל, ליאנה גנות, דוד שמואל ואלי מתן, תודה על הטיפול המסור בניסויי השדה.

ליואל מסיקה וגיא רשף, תודה על המידע השוטף אודות גידול העגבניות והקשיים בו, ועל עצות הרבות במהלך העבודה.

תודה לקרן מדען ראשי של משרד החקלאות, למועצת המחים ולמרכז Safe Crop, הפרובינציה האוטונומית של טרנטו, איטליה על העזרה במימון המחקר, ועל הזכות לפגוש, להכיר ולעבוד עם חברי הארגון: Aude, Federica, Alessandro, Tiziana, Muhammed and Ilaria Pertot

תודה, לכל חברי למעבדה – נדב, עומר, עופר, רועי, בקי, לנה, שולי, אלה, Hema ו Kanak שהפכו את המעבדה למקום שתמיד שמחתי להגיע אליו ולהיות בו.

תודה מיוחדת למשפחתי, שבט יעקב לדורותיו: האחים גורי ורחלי, עדי וירון והאחיינים: רועי, נעם, עידו ועמית ובמיוחד לראשי השבט- הורי האהובים, אפרים ורבקה יעקב, תודה על הדאגה, התמיכה והנתינה האין סופית שמלווה אותי במהלך חיי.

## תוכן העניינים

### עמוד

6	..... תקציר
8	..... מבוא
9	..... סקירת ספרות
17	שיטות וחומרים
17	..... שיטות עבודה כלליות
17	..... אפיון התנאים המעודדים את שלבי המחלה השונים- ניסויי מעבדה
19	..... איתור תנאים להגבלת התפתחות מחלה- ניסויים בתאי צמיחה ובשדה
21	..... בחינת אמצעי הדברה כימית ואחרים כדרך להתמודדות עם המחלה
21	..... שיטות להתמודדות עם קימחון
23	..... בחינת אמצעי הדברה משולבת כדרך להתמודדות עם המחלה
23	..... ניתוחים סטטיסטיים
	<b>תוצאות</b>
24	..... אפיון התנאים המעודדים את שלבי המחלה השונים- ניסויי מעבדה
32	..... איתור תנאים להגבלת התפתחות מחלה- ניסויים בתאי צמיחה ובשדה
37	..... בחינת אמצעים כימיים ומיצויי צמחים כדרך להתמודדות עם המחלה
41	..... בחינת אמצעי הדברה ביולוגים ומנגנון פעילותם כדרך להתמודדות עם המחלה
42	..... בחינת אמצעי הדברה משולבת כדרך להתמודדות עם המחלה
	<b>דיון</b>
47	..... רקע כללי
47	..... אפיון התנאים המעודדים את שלבי המחלה השונים- ניסויי מעבדה
52	..... איתור תנאים להגבלת התפתחות מחלה- ניסויים בתאי צמיחה ובשדה
56	..... חיות נבגים
57	..... בחינת אמצעי הדברה משולבת כדרך להתמודדות עם המחלה
57	..... סיכום
59	..... רשימת ספרות

## תקציר

קימחון העגבנייה נגרם ע"י הפטרייה *Oidium neolycopersici*. פטרייה זו שייכת לתת-מערכת פטריות השק (Ascomycotina), ובתוכה למשפחת הקימחונות (Erysiphaceae). פטרייה זו, כרוב הקימחונות, הינה אקטופרוזיטית והיא אינה חודרת לצמח אלא ניזונה בעיקר על השכבה החיצונית של התאים. טווח הפונדקאים של *O. neolycopersici* כולל כ-60 מינים מ-13 משפחות בוטניות, בעיקר ממשפחת הסולגניים והדלועיים. המחלה זוהתה לראשונה באנגליה בשנות השמונים ולאחר מכן תוארה בכל רחבי אירופה ובמקומות שונים בעולם. הנזק הנגרם ע"י הפטרייה מתבטא בכיסוי תפטיר לבן סבוך בעל נבגים רבים המצוי על גבי העלים, ציר העלה, הפטוטרת, הגבעול ועלי הגביע. כתוצאה מכך נגרמת ירידה ביכולת ההטמעה של הצמח ולעיתים הדבר יכול להביא לירידה באיכות הפרי ולתמותת הצמח, בנגיעות גבוהה.

בשנים האחרונות עלתה שכיחות המחלה והיא מהווה בעיה באזורי גידול העגבניות בארץ ובעולם. האמצעים המקובלים להדברת המחלה הם שימוש נרחב וחוזר בתכשירי הדברה כימיים ופיתוח זנים עמידים או סבילים. מעבר להתפתחות עמידות המחייבת הערכות מיוחדות ופיתוח חוזר ויקר של תכשירים חדשים, גברה המודעות לפגיעה של התכשירים הכימיים בסביבה. הדרישה להפחית את השימוש בהם גוברת, ולעתים מוטלות מגבלות על השימוש בתכשירי הדברה כימיים, במיוחד בגידולי חממה. פיתוח זנים עמידים וסבילים עדיין מוגבל לחלק מהגידולים בלבד, ובמקרים רבים לזנים העמידים יש מגבלות. מגבלות אלה מעלות את הצורך בפיתוח שיטות הדברה חלופיות, כולל שיטות עיבוד ופיתוח חומרי הדברה ידידותיים יותר לסביבה כמו מיצויי שמנים וחומרי טבע אחרים.

המטרה העיקרית של העבודה הייתה לימוד הביולוגיה ותנאי ההדבקה של מחלת הקימחון בעגבנייה ובניית מערך הדברה כוללני המבוסס על שילוב אמצעים לשם בקרת המחלה תוך הפחתת השימוש בתכשירים כימיים. לשם כך אופיינו פרמטרים של מיקרו אקלים, תנאי גידול ואגרנטניקה המעודדים את שלבי המחלה השונים (נביטת נבגים, ייצור אפרסוריום, הנבגה, הישרדות) בעגבנייה, אותרו תנאים המגבילים להתפתחות הקימחון, ונבחנו אמצעי הדברה ידידותיים בצד אמצעים קונבנציונאליים.

בתנאי מעבדה מבוקרים נמצא כי שיעור הנביטה והתארכות נחשון הנביטה הגבוהים ביותר התקבלו ב- $25 \pm 1$  מ"צ, לחות יחסית גבוהה ( $99 \pm 1\%$ ), עוצמת אור נמוכה (חושך) ובעלים המצויים מתחת לפרי. הישרדות הפטרייה על עלי הפונדקאי פחתה במהירות עם הזמן. בהדרגת העלים בתנאי הקיץ התקבל אחוז נביטה נמוך בחודש הראשון ולאחריו לא נצפתה נביטה כלל. לעומת זאת בתנאי הסתיו והחורף נמשך התהליך 4-5 חדשים, בהתאמה. ייצור האפרסוריום המיטבי התקבל ב  $25 \pm 1$  מ"צ לחות יחסית בטווח  $33-99\%$  וב 1750 לוקס. מירב הנבגים נוצרו בלחות יחסית  $70-85\%$ , ועוצמת אור גבוהה (5150 לוקס), בהשוואה ללחות יחסית  $99\%$  ו 480-1750 לוקס. לא נמצא הבדל בייצור הנבגים בשלוש הטמפרטורות שנבדקו ( $16 \pm 1$ ,  $20 \pm 1$ ,  $26 \pm 1$ ) בבדיקת השפעת התפתחות המחלה בתנאים מבוקרים, נמצאה חומרת מחלה גבוהה בתנאי טמפ'  $22-25$  מ"צ, בלחות  $70-85\%$  ובעצמות אור גבוהות, לעומת לחות יחסית גבוהה ( $99 \pm 1\%$ ) ועוצמות אור נמוכות בהן חומרת המחלה היתה נמוכה. בטמפרטורות גבוהות ( $28 \pm 1$  מ"צ) לא נצפתה מחלה כלל.

בעונות סתיו 2005 ואביב 2006 נבדקו מהם התנאים המתאימים להתפתחות המחלה על ידי יצירת תנאי מיקרואקלים שונים במנהרות עבירות בחוות הבשור. נתקבל מתאם חיובי בין רמת המחלה לזמן בו תחום הטמפרטורות היה 15-25 מ"צ, ולחות יחסית 60-90% ומתאם שלילי בטמפרטורות גבוהות ולחות נמוכה.

קיימות מספר שיטות לבקרת המחלה, בין אם באמצעות תכשירים כימיים, תכשירים המבוססים על תמציות צמחים, אמצעים ביולוגיים או שילוב בין השיטות השונות. בבדיקת יעילות תכשירי הדברה כימיים מסחריים וכאלו המבוססים על תמציות צמחים על התפתחות המחלה נמצא כי, תכשירי ההדברה, פרט לסרנייד הפחיתו את המחלה הן בריסוס שבועי והן בריסוס חד פעמי שהתבצע טרם האילוח בפתוגן.

לסיכום, ממצאי העבודה עולה כי תנאי המיקרואקלים משפיעים על מחולל המחלה. שילוב של טמפרטורות גבוהות עם תמציות צמחים יכול להוות אמצעי להפחתת הנגיעות בחממות בקימחון העגבנייה ולתרום לצמצום של השימוש בחומרי הדברה כימיים.

## מבוא

קימחון העגבנייה נגרם ע"י הפטרייה *Oidium neolycopersici*. פטרייה זו שייכת לתת-מערכת פטריות השק (Ascomycotina), ובתוכה למשפחת הקימחונות (Erysiphaceae). פטרייה זו כרוב הקימחונות הינה אקטופרזיטית והיא אינה חודרת לצמח וניזונה בעיקר על השכבה החיצונית של התאים (פלטי, 1988ג). טווח הפונדקאים של *O. neolycopersici* כולל כ-60 מינים שונים מ-13 משפחות בוטניות, בעיקר ממשפחת הסולניים והדלועיים (Whipps et al., 1998). המחלה זוהתה לראשונה באירופה בשנות השמונים, לאחר מכן היא תוארה בכל רחבי אירופה ובמקומות שונים בעולם. הנזק הנגרם ע"י הפטרייה מתבטא בכיסוי תפטיר לבן סבוך בעל נבגים רבים, המפחית מיכולת ההטמעה של הצמח ויכול אף לגרום לירידה באיכות הפרי ולתמותת הצמח, בנגיעות גבוהה. בשנים האחרונות שכיחות המחלה עולה והיא מהווה בעיה באזורי גידול העגבניות בארץ ובעולם. האמצעים המקובלים להדברת המחלה הם שימוש נרחב וחוזר בתכשירי הדברה כימיים ופיתוח זנים עמידים או סבילים, אולם קיימות מס' מגבלות בשימוש בשיטות אלה. מעבר להתפתחות עמידות המחייבת הערכות מיוחדת ופיתוח חוזר ויקר של תכשירים חדשים, גברה המודעות לפגיעה של התכשירים הכימיים בסביבה. הדרישה להפחית את השימוש בהם גוברת, ולעתים מוטלות מגבלות על השימוש בתכשירי הדברה כימיים, במיוחד בגידולי חממה. פיתוח זנים עמידים וסבילים עדיין מוגבל לחלק מהגידולים בלבד, ובמקרים רבים לזנים העמידים יש מגבלות. מגבלות אלה מעלות את הצורך בפיתוח שיטות הדברה חלופיות, כולל שיטות עיבוד ופיתוח חומרי הדברה ידידותיים לסביבה כמו מיצויים צמחיים וחומרי טבע אחרים.

המטרה העיקרית של העבודה הייתה לימוד הביולוגיה ותנאי ההדבקה של מחלת הקימחון בעגבנייה ובניית מערך הדברה כוללני, המבוסס על שילוב אמצעים לשם בקרת מחלה תוך פחיתת שימוש בתכשירים כימיים. המטרות הספציפיות של העבודה הן:

1. אפיון הפרמטרים של מיקרו אקלים, תנאי גידול ואגרנטניקה המעודדים את שלבי המחלה השונים (נביטת נבגים, ייצור אפרסוריום, הנבגה, הישרדות) בעגבנייה.
2. איתור תנאים מגבילים להתפתחות קימחון העגבנייה.
3. בחינת אמצעי הדברה ידידותיים בצד אמצעים קונבנציונאליים.



## סקירת ספרות

### 1. הפונדקאי- עגבנייה (*Solanum lycopersicum*)

העגבנייה (*Solanum lycopersicum* L.) הינה צמח חד שנתי עשבוני ממשפחת הסולניים *Solanaceae*, על משפחה זו נמנים בין השאר תפו"א, הצילים, פלפל ומינים רבים אחרים של צמחי תרבות ובר. מקור צמח העגבנייה באמריקה המרכזית והדרומית, פרו ומקסיקו (זידאן, 2001). בעבר נשתלו העגבניות בבתי צמיחה, בעיקר בנגב המערבי בעונת החורף. גידול זה התאפיין בתקופת ניבה מוגבלת בחודשים דצמבר-מרץ, אך בעקבות פיתוחים טכנולוגיים ושיטות גידול חדישות, התרחב הגידול לשאר אזורי הארץ, וכעת ניתן לגדל עגבניות בבתי צמיחה או בבתי רשת במשך כל השנה, באזורי גידול שונים ובמשך תקופת ניבה ממושכת (זידאן, 2001). כיום, גידול העגבנייה בארץ מתקיים בעיקר בבקעת הירדן, בקעת בית שאן, רמת הנגב, חבל הבשור והערבה. היקף שטח הגידול בשנת 2005 הוערך בכ- 18000 דונם וחלק ממנו (15000 דונם) בחממות ובבתי רשת אשר מהם מיוצרים כ- 455,000 טון עגבניות למאכל ולתעשייה. הפדיון כתוצאה משיווק הפרי בארץ ומייצוא מוערך בכ 693 מליון ש"ח (מידע אישי, אמיר ישי, מועצת הירקות).

לגורמי אקלים השפעה על גידול והנבה של צמחי העגבנייה. הטמפרטורה היא הגורם המרכזי המשפיע על מרבית שלבי התפתחות העגבנייה והיא משפיעה באופן ישיר הן על היבול והן על איכות התוצרת. הטמפרטורה המיטבית לגידול היא 22-26 מ"צ ביום ו 14-17 מ"צ בלילה. הפרעות קיצוניות בפוריות צמחי העגבנייה עלולות להתרחש בטמפרטורות גבוהות ונמוכות, במצבים אלו נעשה לעיתים שימוש בטיפולים מיוחדים כגון ריסוס בחומרי צמיחה או נייעור התפרחות, וזאת כדי לשפר את החנטה ואת התפתחות הפרי (זידאן, 2001). גורם נוסף המשפיע על הצימוח הוא הלחות היחסית. לחות יחסית בתחום 60-80% מטיבה עם הגדילה והתפתחות הצמחים, והדבר מתבטא בצמיחה ובפוריות מיטבית. בלחות גבוהה ונמוכה נגרמת ירידה באיכות היבול וכמותו (זידאן, 2001). צמחי העגבנייה אינם מגיבים לאורך יום (פוטופריודה), אך מחסור קרינה בבתי הצמיחה במהלך החורף גורם להשפעה שלילית על הצמחים ועל מרכיבי היבול.

באזורים רבים נפוצה שיטת הגידול בשני מחזורים לשנה אשר מאפשרת ייבול גבוה באיכות טובה. מועד השתילה מכוון לזמן שבו התנאים האקלימיים מתאימים לפריחה וחנטה. ברוב אזורי הגידול השתילה הסתוית מתקיימת בסוף אוגוסט ובמשך ספטמבר, כך שהקטיפ מתבצע בסוף נובמבר או בתחילת דצמבר ועד חודש יולי. השתילה האביבית מתבצעת במהלך החדשים פברואר-מרץ. ניתן לשתול במשך כל חדשי השנה, אך הדבר מקצר את תקופת ניבה וכמות היבול נמוכה ביחס לזו המתקבלת מהשתילה במועד המיטבי (זידאן, 2001).

מחלות רבות תוקפות את צמח העגבנייה בתקופת גידולו הממושכת, חלקן פוגעות גם בגידולים סולניים אחרים כתפוחי אדמה. בהן – מחלות וירוס; צהבון האמיר (TYLCV) מוזאיקת העגבניות (TMV), המועברות בחלקן על ידי כנימות, מחלות בקטריאליות; כיב בקטריאלי (*Corynebacterium michiganense*), גרב (*Xanthomonas vesicatoria*) ומחלות פטרייתיות ככימשון (*Phytophthora infestans*), עובש אפור (*Botrytis cinerea*) חלפת (*Alternaria solani*) קימחונית (*Leveillula taurica*) וקימחון (*Oidium neolycopersici*) (צורר וחובריה, 1998). המחקר יתמקד בתיאור הקימחונות.

## 2. הפתוגן – קימחונות (Erysiphaceae)

### 2.1 מאפיינים כללים של הקימחונות

משפחת הקימחונות (Erysiphaceae) משתייכת למחלקת פטריות השק (אסקומיציתים). משפחה זו כוללת למעלה מ-500 מינים והיא אחת מקבוצות הפתוגנים המזיקים ביותר, התוקפת למעלה מ-1,500 מיני צמחים. סוגי גידולים רבים נתקפים ע"י הקימחונות וביניהם שעורה, ירקות, פירות ופרחים ונגרמים נזקים כמותיים ואיכותיים המשמעותיים ליבול (פלטי, 1998; Braun *et al.*, 2002).

פטריות הקימחון הן טפילות מוחלטות, שריבוין נעשה בעיקר ע"י נבגים אל-מיניים (conidia). לעתים נעדרת לגמרי הדרגה המינית, ולעיתים היא מופיעה על הפונדקאי בשלב גידול מאוחר. שני הסוגים (Genus) האל-מיניים העיקריים בארץ הם קימחון (*Oidium*) הכולל חמישה סוגים וקימחונית (*Oidiopsis*). הסימן הבולט של הקימחון הוא הכסוי הלבן או אפרפר על פני עלי הצמח הנגוע, שמופיע לעתים גם על פני החלק התחתון של העלה. בקימחונות מופיע בדרך כלל כיסוי דומה על פני חלקו התחתון של העלה, ובצדו העליון נוצרים עפ"י רוב, כתמים צהבהבים, הנשארים ללא מעטה קימחי (פלטי, 1998). באופן כללי הנזק הנגרם לפונדקאים מקימחונות הוא איטי ומתמשך והצמחים הנגועים עשויים להתקיים זמן רב לאחר ההדבקה הראשונה וליצור מספר רב של אירועי הדבקה נוספים. הפגיעה האיטית נובעת הן בשל העובדה שהקימחון אינו חודר לרקמת הצמח והוא מוגבל ע"פ רוב לתאי האפידרמיס, כך שכמות המזון הנצרכת ע"י הפטרייה אינה גבוהה, והן בשל ההנחה שהפטרייה אינה מייצרת חומרים רעילים (פלטי, 1998).

### 2.2 הפתוגן- *Oidium neolycopersici* Kiss

קימחון העגבנייה נגרם ע"י הפטרייה *O. neolycopersici*. מקור המדבק הראשוני מנבגים אל-מיניים, מאחר והשלב המיני לא נמצא. בקצה נחשון הנביטה נוצרת כרית ההצמדה (Appressorium) בדרך כלל מעל מקום חיבורם של שלושה תאי אפידרמיס של העלה וממנה גדל קור ההדבקה ונשלחים מצצים (Haustoria) לשכבת האפידרמיס בלבד, שממנה ניזונה הפטרייה (Kiss *et al.*, 2005; Jones *et al.*, 2000). הנבגים הנוצרים על גבי נושא נבגים (conidiophore) ישר ולא מסועף, הם נבגים אליפסואידים בגודל  $20-46 \times 10-22$  מיקרון, חסרי גופי פיברוזין.

### 3. המחלה- קימחון העגבנייה

מחלת הקימחון נגרמת על ידי הפטרייה *O. neolycopersici* וזהתה לראשונה באנגליה ב-1986 (Fletcher *et al.*, 1988). לאחר מכן תוארה המחלה בכל רחבי אירופה ובמקומות שונים בעולם, כמו קליפורניה (Arredondo *et al.*, 2001; Marois *et al.*, 1996) ויפן (Matsuda *et al.*, 2001). עד לאחרונה הוגדר קימחון העגבנייה כ-*O. lycopersici* (Mieslerova & Lebeda, 1999), אולם אנליזות מולקולאריות ומורפולוגיות של קימחונות מכל העולם העלו שקימחון העגבנייה שנמצא באוסטרליה יוצר נבג בודד על גבי נושא הנבגים. הקימחון שנמצא מחוץ לאוסטרליה יוצר גם הוא נבגים בודדים, אך בלחות גבוהה נוצרים 6-2 נבגים במבנה דמוי שרשרת (Jones *et al.*, 2001) ולכן הקימחון באוסטרליה הוגדר כ-*O. lycopersici* ואילו זה הנפוץ בשאר העולם כ-*O. neolycopersici* (Kiss *et al.*, 2001). מקור *O. neolycopersici* אינו ידוע, יש הטוענים כי הוא היה קיים מקדמת דנא, בשל העובדה שקיימים קוים עמידים לקימחון זה בקרב מיני בר של *Lycopersicum* (Kiss *et al.*, )

(2001), אך הסיבה להתפרצותו המהירה ברחבי העולם בשנים האחרונות אינה ברורה. יתכן שאחראים לכך התנועה של חומר צמחי בין מדינות, יכולת התפוצה הרבה של נבגי הפתוגן ויכולתו להתקיים על מאכסנים רבים (Jones et al., 2000).

טווח הפונדקאים של *O. neolycopersici* כולל כ-60 מינים שונים מ-13 משפחות בוטניות, בעיקר ממשפחת הסולניים (סולנום שחור *Solanum ptycanthum*, תפוא"א *S. tuberosum*, הציל *S. melongena*, טבק *Nicotiana tabacum* ועגבנייה *L. esculentum*) והדלועיים (Whipps et al., 1998; et al., 1999) (LaMondia) אך יתכן שהנושא מורכב בגלל נוכחות פטוטיפים (pathotypes) שונים (Huang et al., 2000; Mieslerova and Lebeda, 1999).

הנזק הנגרם ע"י הפטרייה מתבטא בכיסוי תפטיר לבן סבוך בעל נבגים רבים בעיקר בצד העלה העליון ובמידה פחותה בצד התחתון. כתוצאה מכך פוחתת יכולת ההטמעה של הצמח, נפגעת איכות הפרי ובנגיעות גבוהה אף תמותת הצמח (Whipps et al., 1998). לעיתים טועים באבחון המחלה ונוטים לחשוב שהיא קימחונית הנגרמת על ידי *L. taurica*. בקימחונית, בניגוד לקימחון שאינו חודר לצמח וניזון בעיקר על השכבה החיצונית של התאים (פלטי, 1988; Mieslerova et al., 1999), מתבצעת חדירה דרך האפידרמיס אל החללים הבין תאיים, ולאחר מכן יוצאים קורים חדשים דרך הפיוניות המתפתחים לנושאי נבגים (פלטי, 1998; Green et al., 2002). הבדל חזותי משמעותי בין שתי הפטריות הוא שהקימחון בניגוד לקימחונית עשוי להופיע גם על ציר העלה, הפטוטרט, הגבעול ועלי הגביע (Jones et al., 2000).

מחקרים שונים לא מצאו הבדלים במידת הנזק בזנים שונים של העגבנייה ולא דווח על זן עמיד בקרב הזנים התרבותיים (Bai et al., 2005; Lindhout et al., 1994). עמידות ל *O. neolycopersici* נמצאה בזני עגבנייה מהבר *Lycopersicon* (Mieslerova et al., 2004; Mieslerova et al., 2000; Bai et al., 2005). עמידות זני הבר מתאפיינת בהתפתחות מוגבלת של התפטיר ובמניעת תהליך ההנבגה כך שלא נוצרים נבגים חדשים ואירועי הדבקה נוספים (Lebeda et al., 2002; Lindhout et al., 1994).

### 3.1 אפידמיולוגיה של מחלת קימחון העגבנייה

מחזור חיי הקימחונות כולל מספר שלבים מוגדרים, המושפעים מגורמי סביבה שונים, נביטה גידול והתבססות בעלה; יצירת הנבגים והפצתם; התפתחות מחלה והישרדות קצרת טווח (Homma et al., 1980; Palti, 1988). בסעיפים הבאים יסקר המידע אודות הגורמים השונים המשפיעים על השלבים במחזור התפתחות המחלה. מאחר ומחזורי התפתחות קימחונות בגידולים הרגישים דומים זה לזה ולאור מחסור הידע אודות קימחון העגבנייה, ייסקרו עבודות שעסקו לא רק במין *O. neolycopersici* אלא גם במיני קימחונות אחרים התוקפים פונדקאים שונים.

#### 3.1.1 נביטת נבגים, גידול והתבססות בעלה

תפטיר פטריית קימחון מצמיח נושאי נבגים המתרוממים ונושאים בקצותיהם נבגים, המתפזרים בעיקר ע"י הרוח ולפעמים גם ע"י חרקים. הנבגים צונחים על חלקי הצמח הירוקים, נובטים ובתנאי סביבה מתאימים הם מדביקים בדרך כלל את העלים (פלטי, 1988). משך הנביטה משתנה בין מיני הקימחונות. נבג של *O. neolycopersici* יכול לנבוט 3-5 שעות לאחר מגע עם עלה הצמח. פתוגנים מסדרת הקימחונות הם פתוגנים אקטופרזיטים ובשלב הנביטה הנבג אינו חודר לרקמת הצמח, כך שהוא חשוף לתנאי הסביבה (פלטי, 1988). תנאים מגבילים בשלב זה,

יכולים למנוע את השלמת מחזור החיים של הפתוגן בפונדקאי ובכך למנוע את ההדבקה (Whipps and Budge, 2000).

מחקרים רבים בדקו טווחי טמפרטורת הנביטה בקימחונות שונים. בהשוואה בין 12 קימחונות שונים נמצא כי טווח הטמפרטורות המינימאלי לנביטה הוא בין 0-17 מ"צ, המקסימאלי הוא בין 28-36 מ"צ, והמיטבי הוא בין 11-28 מ"צ (Jarvis *et al.*, 2002). כמו כן נמצא כי הנביטה של מרבית מיני הקימחונות יורדת בצורה חדה בטמפרטורות מעל 30 מ"צ (Jarvis *et al.*, 2002). בקימחונות נמצא כי הטמפרטורה לנביטת הנבגים היא 25 מ"צ. בטמפרטורה גבוהה מ-25 מ"צ שיעור הנביטה והתארכות נחשוני הנביטה ירד, בטמפרטורה העולה על 30 מ"צ רוב הנבגים אינם נובטים כלל (Reuveni *et al.*, 1974).

בבדיקת השפעת הלחות היחסית על תהליך הנביטה בקימחונות נמצא כי שיעור נביטת נבגי קימחונות כמו גם התארכות נחשוני הנביטה, גדל ככול שעולה הלחות היחסית (Caesar and Clerk, 1985a). הלחות המיטבית לנביטת *O. lycopersici* הייתה 95% ובלחות גבוהה יותר שיעור הנביטה פחת. בקימחון הגפן (*Uncinula necator*), הלחות המיטבית לנביטת הפטרייה היא 85% ובלחות גבוהה יותר שכיחות הנבגים הנובטים יורדת (Carroll *et al.*, 2003).

תהליך הנביטה בקימחונות תלוי בעוצמות האור. לדוגמה, שיעור הנביטה בקימחון התות (*S. macularis*) היה מיטבי בחושך (Amsalem *et al.*, 2006), לעומת זאת נביטת הנבגים של *Erysiphe polygoni* ושל *beta* *Erysiphe* הייתה טובה יותר באור (Butt, 1978). נמצא כי שיעור הנביטה ב-*O. neolycoptesici* היה גבוה ביותר בעוצמת קרינה גבוהה (3500 לוקס) לעומת עוצמת אור נמוכה (50 לוקס) (Kashimoto *et al.*, 2003). לאחר 6-8 שעות מתחילת הנביטה בד"כ מעל מקום חיבורם של שלושה תאי אפידרמיס של העלה, נוצר האפרסוריום (Jones *et al.*, 2001), אך לא ידועים התנאים להיווצרותו. האפרסוריום אינו חודר את האפידרמיס של העלה ותפקידו הוא בתאחיזת הנבג על פני העלה. מתוך האפרסוריום נוצר קור הדבקה, ולאחר מכן נשלחים מצצים להזנה על הצמח (Whipps and Budge, 2000).

### 3.1.2 ייצור נושאי נבגים ונבגים

ייצור הנבגים מושפע מטמפרטורות, לחות יחסית, גשמים ועוצמת הקרינה (Byrne *et al.*, 2000). הקימחונות מתפתחים בטווח רחב של טמפרטורות. הטמפרטורות המיטביות לנביטה לרוב המינים הן 15-25 מ"צ, ובדרך כלל דומות לטמפרטורות המיטביות לצמיחת הפונדקאי. באופן כללי, הטמפרטורות בארץ אינן גורם המעכב בדרך כלל את התפתחות הקימחון, ומהוות גורם המשפיע בעיקר על רגישות הפונדקאי (פלטי, 1998א).

לקימחונות השונים רמות משתנות של סבילות ליובש. אמנם רובם יוצרים את הנבגים האל-מיניים בלחות יחסית בינונית או גבוהה, אך בשל הכמות הגדולה של מים בתוך הנבגים תלותם בלחות נמוכה ביחס לפטריות אחרות. נוכחות גשם ומים חופשיים עוזרת בשחרור הנבגים המיניים בחלק מהקימחונות (פלטי, 1998א Jarvis *et al.*, 2002 ;).

ברב הפטריות תהליך הנביטה מתרחש בחושך. הסיבה לכך היא ההשפעה המעכבת של הגלים הכחולים באור הנראה. אולם פתוגנים מסוימים, כגון קימחונות מסוגלים להנביג גם באור (פלטי, 1998א). נבגים של קימחון החלבוב (*Oidium sp.*) הנוצרים באור משוחררים במהרה, בניגוד לאלה הנוצרים בלילה שנמצאים במצב "לא בשל" המשוחררים לאחר חשיפה לאור (Bryne *et al.*, 2000).

### 3.1.3 הפצת הנבגים

נושאי הנבגים של קימחונות נושאים בקצותיהם נבגים אל מיניים ואלה מתפזרים בעיקר ע"י תנועת אוויר ולעיתים ע"י חרקים. הנבגים צונחים על חלקי הצמחים הירוקים, נובטים ובתנאים מתאימים ניזונים על השכבה החיצונית של התאים, ובכך משמשים גידולים הנגועים בקימחונות כמקור מדבק לחלקות שאינן נגועות. שחרור נבגים לאוויר הוא לרוב בעל דפוס מעגלי בקימחונות. עיקר פיזור הנבגים מתקיים בצהרי היום ולעיתים קיים פיזור נוסף, קטן יותר לאחר חשכה. שחרור נבגים לאוויר תלוי בהשפעת מהירות הרוח, הטמפרטורה, קרינת שמש, לחות, גשם, רטיבות עלה ובמיוחד מגרעון לחץ האדים על פני הרקמה, (VPD - Vapour Pressure Deficit) שנגרם כתוצאה משילוב בין הטמפרטורה והלחות היחסית (פלטי, 1998; Jarvis *et al.*, 2002). באופן כללי, שחרור נבגים אווירניים של קימחונות עולה עם מהירות הרוח ועם טמפרטורה מרבית יומית של 19 - 24 מ"צ (Jarvis, 2002). שחרור הנבגים מנושא הנבגים של *O. neolycopersici* לא התקיים במשבי רוח חלשים יחסית (0.1 מ"ל/שנייה) ונדרשה מהירות של 1 מ"ל/שנייה לצורך שחרורם (Oichi *et al.*, 2006). מהירות זו נמוכה יחסית לעומת 2.3 מ"ל/שנייה הדרושים לשחרור נבגי קימחון הגפן (Willoquet *et al.*, 1998).

### 3.1.4 התפתחות מחלה

מגפות הנגרמות ע"י קימחונות מושפעות מאינטראקציה בין הלחות והטמפרטורה. לכל קימחון תנאי סביבה מטיבים לצורך התקדמות המחלה (Whipps *et al.*, 2000). שכיחות המחלה בארץ ובעולם עולה בשנים האחרונות והיא מהווה בעיה באזורי גידול העגבניות. מועד התרחשות ההדבקה העיקרי בגידול עגבניות בחממות הוא בעיקר בסתיו ובאביב, מאחר ותנאי הסביבה בעונות אלו מתאימים להתרחשות ההדבקה. בשטח הפתוח בתנאים דומים, מתקיימת ההדבקה בתקופה מוגבלת יותר. תנאי הסביבה המצויים בחממות ובמיוחד הטמפרטורה והלחות היחסית כנראה, מטיבים עם התפתחות הקימחון.

הופעת הקימחונות בצמחי עגבניות תחת תנאים מבוקרים הייתה מקסימאלית ב 20 מ"צ בעוד שב 30 מ"צ לא נצפתה המחלה כלל (Reuveni and Rotem, 1974). ב *O. lycopersici* נמצא כי טווח הטמפרטורות להופעת המחלה נע בטווח של 10-35 כאשר עוצמת מחלה גבוהה נצפתה בטמפרטורות נמוכות מ 30 מ"צ (Douglas, 2003). קימחון הגפן מתפתח בטווח רחב של טמפרטורות בין 6-32 מ"צ, אך הטמפרטורות המיטביות להתפתחות המחלה היו בין 20-27 מ"צ. בטמפרטורה שמעל 35 מ"צ יש עיכוב משמעותי בהתפתחות המחלה ונמצא כי לאחר חשיפה של 10 שעות ל 36 מ"צ או 3 שעות ב 39 מ"צ מושבות הקימחון נקטלו (Delp *et al.*, 1954).

תנאי לחות מיטביים להתפתחות קימחון התות מצויים בטווח שבין 75-85% בעוד שלחות גבוהה (מעל 95%) נמצאה כמעכבת את התפתחות המחלה (Amsalem *et al.*, 2006) תוצאות דומות התקבלו גם ב *O. lycopersici*, במקרה זה טווח הלחות היה בין 60-80% (Whipps and Budge, 2000), אולם במחקר שנערך על אותו פתוגן בקונטיקט שבארה"ב נטען כי המחלה מתפתחת בלחות גבוהה מ 50% כשהלחות המיטבית הייתה גבוהה מ 90%, ללא נוכחות מים חופשיים (Douglas, 2003). בתנאי הארץ נמצא כי חומרת המחלה בקימחונות הייתה גבוהה יותר באקלים לח מאשר ביבש (Reuveni and Rotem, 1974).

הקימחונות מתפתחים בדרך כלל טוב יותר בתנאי צל לעומת אור ישיר. דוגמה לכך היא שבקימחון הדלועיים, בקישוא, נמצא שרשת הצללה האיצה את הופעת הקימחון והגבירה את חומרת הנגיעות בצמחים בעלי עמידות חלקית ובצמחים רגישים (Leibovich *et al.*, 1996; Jarvis *et al.*, 2002), תופעה דומה נצפתה גם

בקימחון התות (Jarvis *et al.*, 2002). כמו כן נמצא כי בחשיפת עלי תפוח לעוצמות אור גבוהות הפעילות הפוטוסינתטית עלתה, והתפתחות הקימחון עוכבה (Cimanowski *et al.*, 1975). יש לציין כי השפעת האור על הקימחון עצמו אינה קבועה, ונראה כי עיקר ההשפעה היא על עמידות הצמח שיורדת עם ירידת קצב הפוטוסינתזה והתפתחות שלו בתאורה מופחתת. תנאי הצל משפיעים גם על המיקרואקלים על פני העלווה, ונגרמת ירידה בטמפרטורה ועליה בלחות, תנאים המסייעים להתפתחות הקימחון (Jarvis *et al.*, 2002).

התפתחות הקימחון על הפונדקאי תלויה בסוג הצמח ובשלב הפנולוגי שלו, ורגישותו משתנה בחלקי הצמח השונים. ניתן לחלק את הצמחים לשלוש קבוצות שונות מבחינת הרגישות יחסית לשלב הפנולוגי ולחלקי הצמח (פלטי, 1998; Jarvis *et al.*, 2002): א. בצמחים מעוצים רב שנתיים החלקים הצעירים רגישים לקימחון והוא מופיע בהם זמן קצר לאחר היווצרותם. כל עוד יש בצמח לבלוב והיווצרות של רקמה צעירה ורגישה ימשיכו הקימחונות להתפתח בו; ב. בצמחים רב שנתיים לא מעוצים כתות שדה החלקים הרגישים הן הרקמות הירוקות, ועלים בכל הגילאים רגישים למחלה; ג. בפונדקאים עשבוניים חד שנתיים (ירקות, שעורה, פרחים וכד') החלקים הבוגרים הם הרגישים יותר. בגיל צעיר מאוד של הצמח הרגישות למחלה נמוכה מאוד, ובגיל ביניים יתפתח הקימחון רק בתלות בתנאי סביבה נוחים לו ובד"כ גם בתלות בכמות מדבק גבוהה. בצמחים בוגרים וגם ברקמות הבוגרות של צמחים בכלל הרגישות לקימחון גבוהה יותר, כך שהקימחון יוכל להתפתח גם בתנאי סביבה פחות נוחים.

#### 4. הישרדות הפטרייה בין עונות הגידול

השלב המיני (Cleistothecium) של הפטרייה טרם נמצא ומכאן שהפטרייה נפוצה רק באמצעות הנבגים האל-מיניים. הישרדות הפטרייה בין עונות הגידול יכולה להתקיים בצורת תפטיר על עלי הפונדקאי או על פונדקאי ביניים. כיום עם המעבר לחקלאות מודרנית, צמחי העגבנייה גדלים לאורך כל ימות השנה, כך שהפטרייה יכולה להתקיים בשלב האל-מיני על הגידול או על שאריות צמחים בין מחזורי שתילות.

#### 5. שיטות להתמודדות עם קימחון

קיימות מס' שיטות להדברת מחלת הקימחון. השיטה העיקרית היא שימוש בחומרים כימיים. מדיווחים אודות שימוש בחמרי הדברה כימיים באירופה, נמצא כי הכמות הגבוהה ביותר של פונגיצידיים הייתה כנגד מיני קימחונות (Ko *et al.*, 2003; Kiss, 2003). בעקבות העלייה במודעות הצרכנים בשנים האחרונות, לנזקים הנגרמים לסביבה ולאדם בעקבות השימוש בחמרים אלו, נוצר לחץ ציבורי להקטנת השימוש בתכשירים כימיים ובמציאת חלופות שאינן כימיות. קיימות מס' חלופות להדברה הכימית וביניהן, הדברה באמצעות תמציות צמחים, הדברה ביולוגית באמצעות פטריות אנטגוניסטיות, הדברה באמצעים אגרוטכניים הכוללת פעולות תברואה ייחודיות נגד מחלות ושימוש בזנים בעלי עמידות או סבילות לקימחון בעקבות ההסתגלות המהירה של הקימחונות לחמרי הדברה חדשים. אולם עקב יעילות נמוכה ובעיית ההדירות של התכשירים הביולוגיים לעומת הכימיים נעשה שימוש בשיטת הדברה המשולבת (Integrated Pest Management- IPM) המשלבת בין השיטות השונות.

## 5.1 הדברה כימית

בעולם קיימים למעלה מ-30 תכשירים שונים להדברת הקימחון. תכשירי הגפרית כדוגמת, הליוגפרית וסולפולי, הינם תכשירים המשמשים כמדבירים כימיים מוצלחים של קימחון מקדמת דנא. תכשירים אלה בעלי פעילות פרוטקטנטית והם מורשים בשימוש גם בחקלאות האורגנית. יישומם יכול להתבצע בשלוש שיטות: איוד בחלל החממה, איבוק הצמחים בגפרית או ריסוס בתרחיף. יתרון הגדול של תכשירי הגפרית, המאפשר את השימוש בהם לאורך תקופה כה ארוכה, הוא העובדה שלא מתפתחת כנגדם עמידות עם זאת, קיימות מספר בעיות ביישום תכשירים אלו וביניהן, השפעה פיטוטוקסית בתנאי חום ויובש, פעילות נגד אויבים טבעיים של מזיקים כמו אקריות טורפות ובחלק מהם גם קיימות מגבלות שימוש במקביל לתכשירי הדברה אחרים (פלטי, 1998ב).

בשל המגבלות הקיימות בשימוש בגפרית פותחו תכשירים בעלי פעילות סיסטמית. יתרון בולט בשימוש בחמרים אלה הוא ששימוש בהם מתקיים רק לאחר הופעת הסימנים ובמרווחים בין ריסוסים גבוהים יותר (20-30 ימים), כתוצאה מכך כמות וריכוז הריסוסים ירד (Hollomon and Wheeler, 2002). קבוצה זו כוללת מס' רב של תכשירים בניהם, מעכבי ביוסינתזה של ארגוסטרול, סטרובילורנינים, בנזימידאזולים ועוד. עם עליית שכיחות ותדירות המחלה נעשה שימוש תכוף בהדברה כימית, כך שעולה הסבירות להיווצרות עמידות, דוגמה לכך היא קימחון הדלועיים שקצב היווצרות העמידות בו הוא בדרך כלל הגבוה ביותר (במיוחד בחממות), תופעה דומה מתרחשת גם בקימחונות השעורה והגפן (Hollomon and Wheeler, 2002).

חקלאות אינטנסיבית ומונוקולטורה והתפתחות מהירה של עמידות מחייבים שימוש בכמויות ובריכוזים גבוהים יותר של תכשירים וכן שימוש במספר תכשירים בו זמנית או לחילופין. תהליכים אלה שהחלו עוד במהפכה הירוקה של שנות ה-50 במאה הקודמת גרמו ליישום כמויות גדולות של חמרים כימיים הפוגעים בסביבה, ובעקבות כך ללחץ ציבורי חזק לשמירה טובה יותר על איכות הסביבה ע"י הקטנת השימוש בתכשירים כימיים סינתטיים.

## 5.2 הדברה באמצעות חמרים טבעיים

כיום קיימים מס' תכשירים מסחריים המבוססים על חומרי טבע. שמן עץ התה (*Melaleuca alternifolia*) הוא הבסיס למוצרים המסחריים Timor ו-Timorex המשמשים בין השאר להדברת קימחונות בחקלאות אורגנית (Reuveni et al., 2006). שמן מזרעי עץ האזדרכת ההודי (*Azadirachta indica*) הוא הבסיס למוצרי Neem שונים, וכן שמנים של צמחים שונים כמו שמני חמנית, קנולה, שומשום, תירס, בוטנים, זרעי ענבים וסויה (Ko et al., 2003). נמצא כי שימוש בשמן החמניות היה היעיל ביותר בהפחתת קימחון העגבנייה וכי עיקר פעילותו הייתה בעיכוב נביטת הנבגים של *O. neolycopersici* (Ko et al., 2003). מוצר מסחרי נוסף - Milsana, המבוסס על מיצוי מצמח ה- *Reynoutria sachalinensis*, שימוש בתכשיר זה נמצא כיעיל בדיכוי מיני קימחונות ובעקבות כך כמות היבול עלתה. נמצא כי בצמחים המטופלים במילסנה הייתה עלייה משמעותית בהצטברות מרכיבים פנוליים, שתפקידם במערכת ההגנה של הצמח כנגד פתוגנים (Daayf et al., 1995). בנוסף לשמנים נבחנו גם דטרגנטים (Cohen et al., 1996) ומלחים שונים כמו מלחי סידן, מגנזיום ואשלגן (Homma et al., 1981; Achuo et al., 2006 שיעילותם הייתה דומה לזו של הגפרית (Ehret et al., 2002).

### 5.3 הדברה ביולוגית

בשנים האחרונות גבר העניין בהדברת קימחונות באמצעות פטריות אנטגוניסטיות, כחלק מהנטייה העולמית להפחתת השימוש בחמרי הדברה כימיים בחקלאות. מנגנוני הפעולה של פטריות אלו עשויים להיות תחרות על חמרי מזון ומקום, טפילות (Hyperparasitism), ייצור חמרים אנטיביוטיים, השראת עמידות בצמח הפונדקאי, Hypovirulence (גזעים בלתי אלימים של מחוללי מחלה מסוימת, המתחרים בגזעים אלימים) ושינוי בדפוסי הפתוגניות בנוכחות המדביר הביולוגי (אלעד, 1998; Elad *et al.*, 1999a; Whipps, Bélanger *et al.*, 1997). עד כה נמצא כי יעילות התכשירים הביולוגיים נמוכה מזו של הכימיים מאחר ואין ההדברה עקבית לאורך תקופת הגידול. הסיבה לכך היא שתכשירים אלו מבוססים על אורגניזמים חיים, הדורשים תנאים ספציפיים לצורך התפתחותם ופעילותם. התנאים בבתי צמיחה (חום, לחות יחסית גבוהה וחוסר אוורור) הינם תנאים מיטביים להתפתחות המדביר הביולוגי והפתוגן. יתכן וניתן לנסות להתגבר על בעיית יעילות תכשירי ההדברה הביולוגיים ע"י שינוי קל בתנאים (במיוחד בטמפרטורה ובלחות היחסית) באופן שיעודדו יותר את התפתחות המדביר הביולוגי על פני הפתוגן (Paulitz and Bélanger, 2001; Elad *et al.*, 1999).

עד כה נמצאו למעלה מ-40 מינים של מיקרואורגניזמים בעלי פעילות אנטגוניסטית נגד קימחונות וקיימים גם מספר תכשירים מסחריים. מאחר שהקימחונות הינן פטריות ביטורופיות מנגנוני הפעילות המוכרים אינם מבוססים על תחרות, אלא בעיקר על היפרפרזיטיות, אנטיביוזיס ובחלקם הקטן גם השראת עמידות (Eken, Kiss, 2003; 2005). התכשיר המסחרי טריכודקס, מבוסס על נבגי הפטרייה *Trichoderma harzianum* T-39. הפטרייה פוגעת בייצור אנזימים ליטיים המעורבים בתהליך הפתוגנזה של הפתוגן. בנוסף גורמת הפטרייה לעיכוב נביטת נבגי הפתוגן והתארכות נחשוני הנביטה, מונעת את חדירתם לרקמת הצמח ומשרה עמידות בפונדקאי (Elad *et al.*, 1998; 1999a,b; Kiss *et al.*, 2004). פטריות *Ampelomyces* spp. הן מהדוגמאות הבולטות של היפרפרזיטיות בכלל בתוכו תוך כדי פגיעה ביכולת הנביטה של הפתוגן וחיוניותו הכללית. הפטרייה נמצאה יעילה כמדבירה ביולוגית בשדה ובבתי צמיחה, כאשר התנאי ליעילותה הוא שערכי הלחות היחסית יהיו גבוהים מ-80% (Bélanger *et al.*, 1997). תכשיר נוסף נגד קימחון הינו Serenade המבוסס על שילוב של החיידק *Bacillus subtilis* QST713 והפרשותיו בתכשיר. מנגנון פעולתו הינו פרזיטיזם, אנטיביוזיס ועמידות מושרת (Highland, 2000; Jacobsen *et al.*, 2004).

### 5.4 הדברה משולבת

הדברה משולבת (IPM) הינה גישה בממשק בקרה של מזיקים ומחלות המשלבת שיטת גידול עם ניטור קפדני של המזיקים, הפתוגנים ואויביהם הטבעיים בשדה עם אמצעי הדברה שונים. שיטה זו נוחלת הצלחות רבות בעיקר בהדברת מזיקים אך היא אינה מפותחת דיה בהדברת מחלות (Whipps, 1992). בגידול בחממות ניתן לבקר את תנאי הגידול ובכך להוריד את הלחות היחסית, דבר המונע לרב את התפתחות המחלות, מלבד הקימחונות שעלולים להתפתח גם בלחות יחסית נמוכות בשל עיקרון הקומפנסציה (Dik *et al.*, 1999). כיום משלבים תמציות צמחים, כדוגמת נימגארד, טימורקס ומדבירים ביולוגיים: *T. harzianum* ו *A. quisqualis* ועוד, במערך ההדברה המשולבת בגידולי חממה מסחריים, בעיקר במדינות אירופה. שילוב של חמרים אלה גורם לצמצום מספר הטיפולים הכימיים מבלי לפגוע ביעילות ההדברה ואת הסיכון בפיתוח עמידות כלפיהם. כמו כן מופחתת חשיפת הגידול לחמרים כימיים ולשאריות שלהם בתוצרת הנקטפת (אלעד, 1998).



## חומרים ושיטות

### 1. כללי

#### 1.1 גידול צמחי עגבנייה והדבקתם בקימחון

העבודה נערכה על הפטרייה *Oidium neolycopersici*, הגורמת למחלת קימחון העגבנייה. מקור התבדיד מגידול עגבניות בחוות הבשור שבנגב המערבי בשנים 2004-5. צמחי עגבנייה מזן 1402 (הזרע ג'נטיקס, חוות ברורים-שיקמים), בעלי 3-5 עלים אמיתיים מפותחים, הובאו ממשלת חישתיל אשקלון כ 40-50 יום לאחר זריעה. השתילים נשתלו בעציצים בעלי קוטר 12 ס"מ בנפח של כ- 300 סמ"ק, במצע גידול של טוף:כבול ביחס 30:70, בהתאמה. השתילים אוכסנו בחממה נקייה ממחלות ומזיקים, בטמפרטורת יום 22-25 מ"צ וטמפרטורת לילה 15-18 מ"צ. הצמחים הושקו מידי 1-3 ימים, בהתאם לצורך. דישון הצמחים התקיים שבוע לאחר שתילה ב- 5 גרם לליטר מים בדשן 20:20:20 (יחסי N;P;K).

אילוח הצמחים התבצע בשתי שיטות: א' אילוח יבש - אילוח ע"י מגע ישיר בין עלה נגוע בקימחון כאשר גיל האינקולום היה 15-25 ימים מאילוח, לעלה הנקי מסימני המחלה בתנאי מעבדה; ב' אילוח רטוב - יצירת תרחיף נבגים, ע"י טבילת עלי עגבנייה נגועים בקימחון 15-25 ימים מאילוח, במי ברז (Huang Whipps *et al.*, 2000) *et al.*, 2000). לאחר ספירת ריכוז הנבגים בהמוציטומטר, נמהל התרחיף הנבגים ל-  $5 \times 10^4$  נבגים למ"ל. האילוח התבצע 10 דקות מהכנת התרחיף על ידי ריסוס באמצעות מרסס יד, בגודל טיפות קטן ובנפח של כ- 5-10 מ"ל לצמח, בהתאם לגיל הצמח. כל הריסוסים בוצעו על עלים יבשים והצמחים הושארו בחממה עם חלונות פתוחים כדי לאפשר ייבוש מהיר של התרסיס. הריסוס בוצע בגובה של כמטר מעל הצמחים תוך תנועה, במטרה להשיג אילוח אחיד ככל הניתן של הצמחים (Nicot *et al.*, 2002).

#### 1.2 הערכת נגיעות בקימחון

הערכת חומרת הנגיעות של הצמחים המאולחים בוצעה בצורה חזותית. מדד חומרת המחלה מבטא באחוזים את שטח העלים המכוסה בסימני המחלה (Horsfall and Barrat, 1945). הסימן הבולט של הקימחון הוא כסוי הלבן או אפרפר על פני עלי הצמח הנגוע, שמופיע לעתים גם על פני החלק התחתון של העלה. בחלק מהניסויים ערכי הנגיעות במועדים שונים במהלך הניסוי שימשו לחישוב ערכי השטח שמתחת לעקומת התפתחות המחלה (AUDPC - Area Under the Disease Progress Curve), מדד המבטא את חומרת המחלה במהלך הניסוי.

## 2. אפיון התנאים המעודדים את שלבי המחלה השונים

### 2.1 בדיקת שיעור הנביטה, ייצור כרית הדבקה ואורך נחשון נביטה

שנים עשר עלים מנותקים מפרקים 1-2 (אלא אם כן צוין גיל עלים שונה) של עגבנייה מזן 1402 (אלא אם כן צוינו זנים אחרים) נקטפו ביום הניסוי מצמחים בריאים וחסרי סימנים בחממת הגידול, אולחו באילוח יבש (כמתואר בסעיף 1.1) והונחו על גבי צלחות פטרי שבתחתיתן הונח נייר סינון רווי במים ליצירת אווירה לחה (אלא אם כן צוין אחרת). משך ההדגרה היה 24 שעות בניסויי הנביטה ו 36 שעות בייצור כרית ההצמדה- אפרסוריום, בתנאי

טמפרטורה של  $22 \pm 1$  מ"צ ובמשטר תאורה של 12 שעות אור בעוצמה 5150 לוקס ו-12 שעות חושך (אלא אם כן צוין אחרת).

**בדיקת השפעת הטמפרטורה:** עלים מאולחים הודגרו באינקובטור בטמפרטורות שונות בהפרשים של 5 מ"צ בטווח הטמפרטורות שבין 5-35 מ"צ, בלחות יחסית 99% ובמשטר תאורה של 12 שעות אור בעוצמה 5150 לוקס ו-12 שעות חושך.

**בדיקת השפעת הלחות היחסית:** עלים מאולחים הונחו למשך 24/36 שעות בצלחות פטרי (ללא נייר סינון וללא כיסוי) על גבי מעמד מבחנות בתוך תבניות פלסטיק שהכילו בתחתיתן תמיסות רוויות של מלחים בטמפרטורה של  $22 \pm 1$  מ"צ. תבניות הפלסטיק נסגרו בפוליאאתילן שקוף בכדי למנוע התנדפות התמיסות כך שעוצמת האור בניסוי הייתה 4330 לוקס. התמיסות המימיות היו (בסוגריים, הלחות היחסית המתקבלת), NaOH (7%),  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (23%),  $\text{MgCl}_2$  (33%), גלוקוז (55%),  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (65%), NaCl (75%), KCl (85%),  $\text{KNO}_3$  (94%),  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (97%), מים ללא תוספת מלח (99%) (Young, 1967).

**בדיקת השפעת התאורה:** עלים מאולחים הודגרו בטמפרטורה קבועה של  $22 \pm 1$  מ"צ ב-99% לחות יחסית ובמשטר תאורה של 12 שעות אור בארבע עוצמות: העדר אור (עטיפת הצלחות בנייר אלומיניום למניעת חדירת האור) 480, 1750 ו 5150 לוקס. עוצמות האור השונות נתקבלו ע"י הנחת הצלחות במרחק שונה ממקור האור. התאורה במדפים נמדדה בעזרת Digital Tester, דגם (Yu Fing) Y-F-1065, טייוואן).

**בדיקת השפעת מיקום העלה בצמח:** עלי עגבנייה נחלקו בהתאם למיקומם בצמח; עלה תחתון פרק 1-2, אמצעי פרק 3-5, עליון פרק 6-8, מתחת לפרי פרק 4-6 ומתחת לפרח פרק 6-8. עלים מאולחים הודגרו בחדר צמיחה, בטמפרטורה קבועה של  $22 \pm 1$  מ"צ, לחות יחסית 99% ובמשטר של 12 שעות אור בעוצמה 5150 לוקס ו-12 שעות חושך.

**בדיקת השפעת זן צמח העגבנייה:** עלים מאולחים מארבעה זנים מסחריים-1138, 189 ו 662 (הזרע ג'נטיקס) ו 1912 (זרעים גדרה, גדרה), מפרק 1-2 הונחו למשך 24/36 שעות בצלחות פטרי עם נייר סינון לה בטמפרטורה קבועה של  $22 \pm 1$  מ"צ ובמשטר תאורה של 12 שעות אור בעוצמה 5150 לוקס ו-12 שעות חושך.

## 2.2 בדיקת עוצמת ההנבגה

צמחי עגבנייה מזן 1402 שגדלו בחממה במשך שבועיים אולחו אילוח רטוב בפתוגן (כמתואר בסעיף 1.1) והוכנסו לחדר גידול בטמפרטורה של  $22 \pm 1$  מ"צ, משטר תאורה של 12 שעות אור בעוצמה 5150 לוקס ולחות יחסית 70-75% שנמדדה ע"י אוגר נתונים ממוחשב (Hobo H8 Pro Series, Onset Computer Corporation, Miami, USA). שנתלה בגובה הצמחים. במקביל לניסוי, אולחו צמחים שבאמצעותם ניתן היה לצפות במועד הופעת הסימנים. יום לפני הופעת הסימנים (6 ימים מיום האילוח), הצמחים נחלקו לניסויים השונים. מידי שלושה ימים מהופעת הסימנים, נדגמו 5 עלים מפרק 1-2 (סה"כ 2 חזרות). כל עלה נשקל ונמדד לשם חישוב שטחו, על סמך עקומת כיוול שהתבססה על שטחים ומשקלים ידועים של עלי עגבנייה שנוצרה לשם כך, בנוסף הוערך אחוז כיסוי העלה בקימחון. סה"כ השטח הנגוע ביחידות סמ"ר חושב מכפולת אחוז נגיעות העלה, בשטח העלה. תפטר הקימחון על גבי העלים נשטף ע"י הכנסת העלה למבחנה המכילה 1 מ"ל מים מזוקקים וטלטול המבחנה בוורטקס למשך דקה. ריכוז הנבגים נמדד באמצעות המוציטומטר מבעד למיקרוסקופ וחושבה מידת יצור הנבגים ליחידת שטח ביחידות של נבגים / סמ"ר עלה.

**בדיקת השפעת הטמפרטורה:** צמחי עגבנייה הודגרו בטמפרטורות  $16 \pm 1$ ,  $20 \pm 1$  ו  $26 \pm 1$  מ"צ, בלחות יחסית של 70-75% ומשטר תאורה של 12 שעות אור בעוצמה 5150 לוקס.

**בדיקת השפעת הלחות:** צמחי עגבנייה נחלקו לשלוש רמות של לחות יחסית: גבוהה (99%), אמצעית (80-85%) ע"י כיסוי הצמחים בפוליאאתילן, ואמצעית-נמוכה (70-75%) ללא כיסוי. רמת הלחות נמדדה בעזרת אוגר נתונים ממוחשב (Hobo H8) שנתלה בגובה הצמחים. הצמחים גודלו בחדרי צמיחה בטמפרטורה של  $22 \pm 1$  מ"צ ובמשטר תאורה של 12 שעות אור בעוצמה 4330 לוקס בצמחים שכוסו ביריעת פוליאאתילן ו 5150 לוקס בצמחים שלא כוסו ביריעה.

**בדיקת השפעת עוצמת התאורה:** צמחי עגבנייה הודגרו ברמות תאורה 480, 1750 ו 5150 לוקס ע"י הנחתם במרחק שונה ממקור האור (כמתואר בסעיף 2.1).

**בדיקת מיקום העלה:** צמחי עגבנייה הודגרו בטמפרטורות  $24 \pm 1$  ו  $26 \pm 1$  מ"צ ומתוכם נבדקו שני מיקומים שונים של העלים בצמח; תחתון=פרקים 1-2 וביניים=פרקים 3-5. הצמחים גודלו בלחות יחסית 70-75% ובמשטר תאורה של 12 שעות אור בעוצמה 5150 לוקס.

### 3. איתור תנאים להגבלת הדבקה והתפתחות מחלה

#### 3.1 ניסויים בתאי צמיחה

צמחי עגבנייה שגדלו בחממה במשך שבועיים אולחו אילוח רטוב בפתוגן (כמתואר בסעיף 1.1), הוכנסו לחדר גידול ומידי 3-4 ימים התבצעה הערכת נגיעות (כמתואר בסעיף 1.3) במשך 29 יום מאילוח. בניסוי נבדקו שני זנים 1125 ו 1107 המיוצרים ע"י טופ זרעים (כפר ויתקין). ניסוי נוסף כלל 4 זנים מסחריים: 1402, 870 ו 662 ו 1912. כל טיפול כלל 2 חזרות ובכל חזרה נבדקו 5 צמחים.

**בדיקת השפעת הטמפרטורה:** צמחי עגבנייה מהזנים 1125 ו 1107 גודלו בתנאי טמפרטורה של  $18 \pm 1$ ,  $22 \pm 1$  ו  $28 \pm 1$  מ"צ בלחות יחסית של 70-75% ובמשטר תאורה של 12 שעות אור בעוצמה 5150 לוקס. בנוסף, נבדקה מהי הטמפרטורה המיטבית להתפתחות המחלה בצמחי עגבנייה. צמחים מזן 1402 גודלו בתנאי טמפרטורה של  $20 \pm 1$ ,  $22 \pm 1$ ,  $24 \pm 1$  ו  $28 \pm 1$  מ"צ בלחות יחסית של 70-75% ועוצמת האור 5150 לוקס.

**בדיקת השפעת הלחות:** צמחי עגבנייה מהזנים 1125 ו 1107 נחלקו לשלוש רמות של לחות יחסית: (כמתואר בסעיף 2.3).

**בדיקת השפעת עוצמת התאורה:** צמחי עגבנייה מהזנים 1125 ו 1107 הודגרו בשלוש רמות תאורה (כמתואר בסעיף 2.3). הטמפרטורה בתא הייתה  $22 \pm 1$  מ"צ והלחות היחסית 70-75%.

**בדיקת השפעת מיקום העלה:** עלי עגבנייה נחלקו בהתאם למיקומם בצמח; עלה תחתון פרק 1-2, ביניים פרק 3-5. הצמחים גודלו בתנאי טמפרטורה  $22 \pm 1$  מ"צ, לחות יחסית 70-75% ובמשטר של 12 שעות אור בעוצמה 5150 לוקס. הניסויים התבצע על הזנים 1125 ו 1107 ובנוסף על הזנים 1402, 1912, 870 ו 662.

**בדיקת השפעת זן הצמח:** עלים מזנים שונים של צמחי עגבנייה נחלקו בהתאם למיקומם בצמח; עלה תחתון פרק 1-2, ביניים פרק 3-5. הצמחים גודלו בתנאי טמפרטורה של  $22 \pm 1$  מ"צ, בלחות יחסית של 70-75% ובמשטר תאורה של 12 שעות אור בעוצמה 5150 לוקס. הניסוי התבצע על הזנים 1125 ו 1107 ובנוסף על הזנים 1402, 1912, 870 ו 662.

## 3.2. ניסויי שדה במנהרות עבירות

## 3.2.1 שיטות עבודה כלליות

הניסויים בוצעו בחוות הבשור שבנגב המערבי בין השנים 2005-2006 בשמונה מנהרות עבירות שגודל כל אחת מהן  $6 \times 4$  מ'. צמחי עגבנייה מזן 1402 נשתלו באדמת חול/לס בגידול הסתווי ב 15/8/2005 וצמחים מזן 870 נשתלו בשני תאריכים בגידול האביבי (19/2/06 ו-13/3/06), במטרה לבדוק את השפעת גיל הפונדקאי על חומרת המחלה.

הצמחים הושקו, דושנו וטופלו כמקובל באזור, אך לא נתנו ריסוסי הדברה נגד מחלות פרט לשני טיפולים כנגד כימשון באביב שהיו במרחק של שבוע אחד מהשני (הטיפולים היו שילוב של אקרובט BASF, WG, לודויגשאפן, גרמניה ופוליוגולד SC, סינג'נטה, בזל, שווייץ). כל אחת מהמנהרות כללה שלוש שורות כפולות של צמחי עגבנייה, כאשר המרחק בין השתילים באותה השורה היה 40 ס"מ והמרחק בין שורות הצמד היה 50-60 ס"מ. ההבדל בין המבנים נוצר על ידי יצירת שילוב של כיסוי המבנה ו/או הפתחים ברשת 50 מאש ע"י שימוש באחד משני הסוגים, רשת צל או פוליאיתילן ועל ידי יצירת מקור לחות באחד המבנים (טבלה 1). בכדי ליצור רמת מדבק ראשוני דומה במבנים השונים בכל אחד ממחזורי הגידול, הובאו צמחי עגבנייה מאולחים באופן אחיד בקימחון ממרכז וולקני (כמתואר בסעיף 1.1). מיקום הצמחים היה בקצות המנהרה ובמרכז, בכל שורה היו שלושה צמחים, כך שבכל מבנה היו תשעה עציצים מאולחים כמקור מידבק. עם תחילת התפתחות המחלה החלה הערכת חומרתה בעלים מידי שבועיים- שלושה שבועות על ידי הערכת מידת כיסוי העלים באחוזים החל מהצמח השלישי בכל שורה, בשלושה גבהים של צמח (נמוך= קומות 3-4, בינוני= קומות 7-9 וגבוה= קומות 12-14), בשמונה צמחים בכל ערוגה- סה"כ 24 צמחים בכל מבנה. התפתחות המחלה בכל מבנה תוארה בגרפים לפי גבהי העלים בצמח ונערך חישוב חומרת המחלה הממוצעת בכל צמח כמו כן חושב השטח מתחת לכל עקומה (AUDPC) לפי הנוסחה:

$$AUDPC = \sum [(0.5 * T_i) * (D_i)] + [(D_{i+1} - D_i) * (T_i + T_{i+1})]$$

$T_i$ -המועד הראשון בו נצפתה המחלה;  $D_i$ -חומרת המחלה ביום הראשון

**טבלה 1:** מבני הניסויים בעונות סתיו 2005 ואביב 2006 ואפיוניהם

מספר חממה	כסוי חממה	פתחים	קרקע	אפיוני מיקור-אקלים טמפרטורה <sup>1</sup> לחות <sup>2</sup>
Y1	פוליאיתילן	רשת 50 מאש	חשופה	בינונית
Y2	50 מאש	רשת 50 מאש	חשופה	נמוכה
Y3	פוליאיתילן + רשת צל	רשת 50 מאש	חשופה	נמוכה
Y4	פוליאיתילן	רשת 50 מאש	מחופה בפוליאיתילן שקוף	בינונית
Y5	פוליאיתילן	רשת 50 מאש + וילון פוליאיתילן לכיסוי 2/3 הפתח	חשופה	גבוהה
Y6	רשת 50 מאש "אופטינט"	50 מאש "אופטינט"	חשופה	נמוכה
Y7	פוליאיתילן	רשת 50 מאש העלאת לחות באמצעות	חשופה, העלאת לחות באמצעות	בינונית
Y8	פוליאיתילן	רשת 50 מאש	משטחי מים בחממה חשופה	בינונית

<sup>1</sup> טמפרטורה: 15-22 מ"צ (נמוכה), 20-30 מ"צ (בינונית) ו- 25-40 מ"צ (גבוהה).  
<sup>2</sup> לחות יחסית 50-75% (נמוכה), 70-90% (בינונית) ו- 85-100% (גבוהה).

בכל מבנה נוצרו משטרי טמפרטורה ולחות שונים דבר שגרם לחומרת נגיעות שונה במבנים השונים. תנאי אקלים אלו אופיינו, בכדי לזהות מאפייני מיקרואקלים ייחודיים המשפיעים על המחלה. הלחות היחסית והטמפרטורה במבנים השונים נמדדו אחת לשעה במהלך תקופת הניסוי באמצעות אוגרי נתונים אלקטרוניים (Hobo H8). משך הזמן (בשעות) של טמפרטורות ולחיות יחסיות בטווחים נבחרים חושב בכל תקופה שלפני מועד הערכה נתון. המתאם (קורלציה) בין חומרת המחלה ושעות התרחשות התנאים בטווחים השונים חושב. ערכים מובהקים עשויים להעיד על קשר בין הלחות היחסית או הטמפרטורה לחומרת המחלה. נערכו מבחני קורלציות (מתאמים) באמצעות תוכנת Excel לפי הנוסחה:

$$r = \text{Cov}(x,y) / (\sigma_x \cdot \sigma_y) \quad (1 \leq r \leq 1)$$

כאשר  $r < 1$  קיים מתאם חיובי בין חומרת המחלה לטמפרטורה/ לחות יחסית, לעומת זאת מתאם שלילי מתקיים כאשר  $r > -1$ . נבדק הקשר בין ערכי מחלה לבין מספר השעות בטווח טמפרטורות שבין 5-45 מ"צ בתנודות של 5 מ"צ בין כל טווח וגם ב 10-20, 20-30, 15-25 מ"צ, ובטווח לחיות שבין 10-100% במרווחים של 10% בין טווח לטווח.

#### 4. בדיקת הישרדות נבגים

במטרה לבדוק האם שימור המדבק לאורך זמן משפיע על יכולת הנביטה של נבגי *O. neolycopersici*. שנים עשר עלים מאולחים מזן 1402 יובשו בתנאי חממה במשך 7-10 ימים בשלוש עונות שונות: קיץ, סתיו וחורף. תנאי הסביבה בקיץ היו 25-37 מ"צ ועוצמת הלחות היחסית 45-75%, בסתיו 18-27 מ"צ ו 55-80% לחות יחסית ובחורף 10-26 מ"צ ו 57-87% לחות יחסית. לאחר הייבוש, העלים אוחסנו בקופסאות פתוחות במעבדה בתנאי טמפ'  $22 \pm 4$  מ"צ, לחות 45-75% ובמשטר 12 שעות אור בעוצמה 1500-1800 לוקס. חיוניות הנבגים נבדקה מדי חודש ע"י לקיחת עלים בריאים וחסרי סימנים מחממת הגידול ואילוחם באילוח יבש בעלים היבשים (כמתואר בסעיף 1.1). אחוז הנביטה נבדק כמתואר בסעיף 2.1.

#### 5. שיטות להתמודדות עם קימחון

##### 5.1 בחינת אמצעים כימיים ומיצויי צמחים כשיטות להתמודדות עם המחלה

יעילות 11 תכשירים- כימיים ואחרים, (פירוט התכשירים וריכוזם מובא בטבלה 2) המדבירים קימחונות ומורשים לשימוש בחקלאות הקונבנציונאלית (לייכטנר, 2007) נבדקה ע"י ריסוס צמחי עגבנייה בחומרים עד לנגירה. הצמחים נחלקו לשני טיפולים: ריסוס שבועי- מידי שבוע הצמחים רוססו בתכשירים כשהריסוס הראשון היה יום לפני האילוח בפתוגן שהתבצע כמתואר בסעיף 1.1 ולריסוס חד פעמי שבוצע יום לפני אילוח הצמחים בפתוגן. הניסוי בוצע בחממה בקיץ כאשר טווח הטמפרטורות היה 25-37 מ"צ ביום ו 20-25 מ"צ בלילה. כל טיפול כלל 2 חזרות ובכל חזרה נבדקו 5 צמחים. חומרת הנגיעות במחלה הוערכה מידי 3-5 ימים במשך 30 ימים.

**טבלה 2 :** רשימת התכשירים שנבדקו כנגד קימחון העגבנייה בתנאי חממה

שם מסחרי	שם גינרי	תוארית <sup>1</sup>	ריכוז חמר פעיל (%)	מינון ריסוס (%)	סוג התכשיר	חברה מייצרת
הליוגפרית	Sulphur	ת"מ	70	0.25,1	פרוטקטנטי	Actio Pin
סולפולי	Sulphur	ת"נ		1	פרוטקטנטי	Calliope
דומארק	+Sulphur	א"ר	40	0.3	סיסטמי +	Isagro
קומבי	Tetraconazole		1		פרוטקטנטי	
עמיסטר	Azoxystrobin	ת"ר		0.75	סיסטמי	Syngenta AG
EOS	Mineral Oil	ת"ש	99	1	פרוטקטנטי	SK Corporation
נימגארד	Neem Oil	שמן	97	1	פרוטקטנטי	Certis
סרנייד	<i>Bacillus subtilis</i>	ג"ר	10	0.5	פרוטקטנטי	AgraQuest
אופיר	Penconazole	ת"שב	20	0.5	סיסטמי	Syngenta AG
נץ	Cyflufenamid	ת"שב	5	0.2	סיסטמי	Nippon Soda
סיגנום	+ Pyraclostrobin	ג"ר	6.7	0.75	סיסטמי	BASF
	Boscalid		26.7			
נפטון	+Diphenconazol	ת"מ	6	0.1	סיסטמי +	Syngenta AG
	Dinocat		31		פרוטקטנטי	

<sup>1</sup> א"ר - אבקה רטיבה, ג"ר - גרגרים רחופים, ת"נ - תרכיז נוזלי, ת"מ - תרכיז מתחלב, ת"ר - תרכיז רחף, ת"ש - תחליב שמן, ת"שב - תחליב שמן במים.

**5.2 בחינת מיצויי צמחים כאמצעים להתמודדות עם המחלה**

יעילות שלושה תכשירים המבוססים על תמציות צמחים נבדקה בריכוזים שונים כנגד קימחון העגבנייה. התכשירים בניסוי היו טימורקס (1, 2%) טימורקס גולד (0.35, 0.5%) ונימגארד (טבלה 3). בניסוי ראשון בתנאי מעבדה צמחים מזן 1402 רוססו בחומרים אלו עד לנגירה. מספר הריסוסים נחלק לחד שבועי (בהתאם להמלצות היצרן), ולריסוס חד פעמי יום לפני האילוח בפתוגן שהתבצע ע"פ סעיף 1.1. הניסוי בוצע בחדר גידול בסוף הקיץ בטמפרטורה של  $22 \pm 3$  מ"צ. חומרת הנגיעות במחלה הוערכה מידי 3-5 ימים במשך 30 ימים. כל טיפול כלל 2 חזרות ובכל חזרה נבדקו 5 צמחים.

הניסוי השני התבצע בחממה בתנאים חצי מסחריים, בניסוי נבדקה יעילותם של תכשירים ניסיוניים המבוססים על תמציות צמחים וכאלו המורשים לשימוש בחקלאות האורגנית כנגד קימחונות. התכשירים בניסוי היו טימורקס (1, 2%) סופרנו ושילוב של קוצייד ונימגארד. צמחים מזן 1912 רוססו מידי שבוע כאשר סה"כ מס' הריסוסים היה 9. במקרה זה האילוח בפתוגן היה אילוח טבעי כתוצאה מנוכחות הפתוגן באזור. חומרת הנגיעות במחלה הוערכה מידי שבוע - שלושה שבועות במשך 70 ימים.

**טבלה 3:** רשימת התכשירים המבוססים על תמציות צמחים שנבדקו כנגד קימחון העגבנייה בתאי גידול ובשדה

שם מסחרי	חומר פעיל	תוארית <sup>1</sup>	ריכוז חומר פעיל (%)	מינון ריסוס (%)	סוג התכשיר	חברה מייצרת
טמורקס	Tea tree Oil	ת"מ	66	1,2	פרוטקטנטי	Biomor
טמורקס גולד	Tea tree Oil	ת"מ	23.8	0.35, 0.5	פרוטקטנטי	Biomor
סופרנו	Tea tree Oil+	ת"מ	(לא נמסר ע"י החברה)	2	פרוטקטנטי	Biomor
נימגארד+	Sophora Joponica +Neem Oil	שמן	97	1	פרוטקטנטי	Certis
קוצייד	Copper hydroxide <sup>2</sup>	ג"ר	53.8	0.5	פרוטקטנטי	Griffin

<sup>1</sup> ג"ר - גרגרים רחופים, ת"מ - תרכיז מתחלב, <sup>2</sup> ניתן לצורך טיפול כנגד כימשון.

### 5.3.2 בדיקת השפעת תכיפות הריסוסים

צמחי עגבנייה מזן 1402 טופלו עם המדבירים שגודלו על מצע מוצק בצלחת פטרי, בתכיפות של ריסוס אחד מדי שבוע (4 ריסוסים סה"כ) לעומת ריסוס פעמיים בשבוע (7 ריסוסים בסה"כ) כאשר הריסוס הראשון היה שלושה ימים טרם האילוח בפתוגן. הניסויים התבצעו בחממה בתנאי קיץ, בתנאי טמפרטורה 30-35 מ"צ ביום, וטמפ' של כ-20-25 מ"צ בשעות הלילה, והלחות היחסית הייתה גבוהה כתוצאה מרטיבות רבה שנוצרה על רצפת החממה ובסתיו, בו הטמפרטורה המרבית הייתה 25 מ"צ והמזערית כ-15 מ"צ. כל טיפול כלל 2 חזרות ובכל חזרה נבדקו 5 צמחים.

### 5.3.3 שלב התפתחות הקימחון עליו משפיע המדביר

**5.3.3.1 בדיקת נביטה וייצור אפרסוריום** - שנים עשר עלים מנותקים מפרקים 1-2 של עגבנייה מזן 1402 נקטפו ביום הניסוי מצמחים בריאים וחסרי סימנים בחממת הגידול. העלים רוסו בתרחיף המיקרואורגניזמים בריכוז  $10^8$  (ע"פ ערכי העכירות שצוינו לעיל) עד לכיסוי מלא של העלים. שלוש שעות לאחר הריסוס, העלים אולחו באילוח יבש (סעיף 1.1) והונחו על גבי צלחות פטרי שבתחתיתן נייר סינון רווי במים ליצירת אווירה לחה (סעיף 2.1).

**5.3.3.2 נביטה:** צמחי עגבנייה מזן 1402 נחלקו לשני טיפולים ריסוס חד שבועי סה"כ 4 ריסוסים ולריסוס פעמיים בשבוע, סה"כ 7 ריסוסים, כאשר הריסוס הראשון במיקרואורגניזמים היה 3 ימים טרם האילוח בפתוגן. הצמחים אולחו אילוח רטוב בפתוגן (כמתואר בסעיף 1.1) והוכנסו לחדר גידול בטמפרטורה של  $22 \pm 1$  מ"צ, כאשר עוצמת ההנבגה נעשתה כמתואר בסעיף 2.2. כל טיפול כלל 2 חזרות ובכל חזרה נבדקו 5 עלים מפרקים 1-2.

### 5.4 בחינת אמצעי הדברה משולבת כדרך להתמודדות עם המחלה

צמחי עגבנייה מזן 1402 נחלקו למספר טיפולים (טבלה 5) בשתי טמפרטורות  $24 \pm 1$  ו  $26 \pm 1$  מ"צ. הטיפול בתמציות הצמחים התבצע יום לפני האילוח והטיפול במיקרואורגניזמים כלל שני ריסוסים, 3 ימים ו-3 שעות לפני האילוח; או לריסוס יחיד שהתבצע 3 שעות טרם האילוח בפתוגן. הטיפול המשולב של השמר והתכשירים כלל 2 ריסוסים של השמר 3 ימים וביום האילוח וריסוס בריכוז מופחת של התכשיר. הצמחים אולחו אילוח רטוב בפתוגן (כמתואר בסעיף 1.1) והוכנסו לחדר גידול. חומרת הנגיעות במחלה הוערכה באופן חזותי, כמתואר בסעיף 2.2, מידי 3-5 ימים במשך 30 ימים. כל טיפול כלל 2 חזרות ובכל חזרה נבדקו 5 צמחים.

### 6. ניתוחים סטטיסטיים

הנתונים שנאספו בניסויים נותחו בעזרת התוכנות JMP 5 ו-Excel 2000 על פי מתכונת הניסויים. הניתוחים הסטטיסטיים בוצעו ברמת מובהקות של  $P \leq 0.05$ , וכללו ניתוחי שונות (ANOVA) עם משתנה בודד ושני משתנים עם חזרות, חישוב ערכי LSD, בלוקים באקראי, רגרסיה לינארית פשוטה ומסדר שני. בעת הצגת התוצאות מצוינים בכל מקרה המבחנים הסטטיסטיים שבוצעו ורמת המובהקות.

## תוצאות

מטרת העבודה הייתה ללמוד אודות הפטרייה *Oidium neolycopersici* ועל הגורמים הביוטיים והא-ביוטיים המשפיעים על הביולוגיה והאפידמיולוגיה של קימחון העגבנייה. בתחילה נבדקה ההשפעה של גורמים שונים על שלבים בהתפתחות המחלה, על גבי עלי עגבנייה מנותקים במעבדה, לאחר מכן נבדקה השפעת גורמים אלה על חומרת המחלה בצמחים שלמים בתנאים מבוקרים בחדרי גידול ובסוף בשדה.

### 1. אפיון התנאים המעודדים את שלבי המחלה השונים

#### 1.1 נביטת נבגים

נבדקה השפעת גורמים א-ביוטיים: טמפרטורה, לחות יחסית, תאורה ומשך שימור המידבק וגורמים ביוטיים: מיקום העלה בצמח וזן הצמחים על שעור הנביטה והתארכות נחשון הנביטה של נבגי *O. neolycopersici* על גבי עלי עגבנייה.

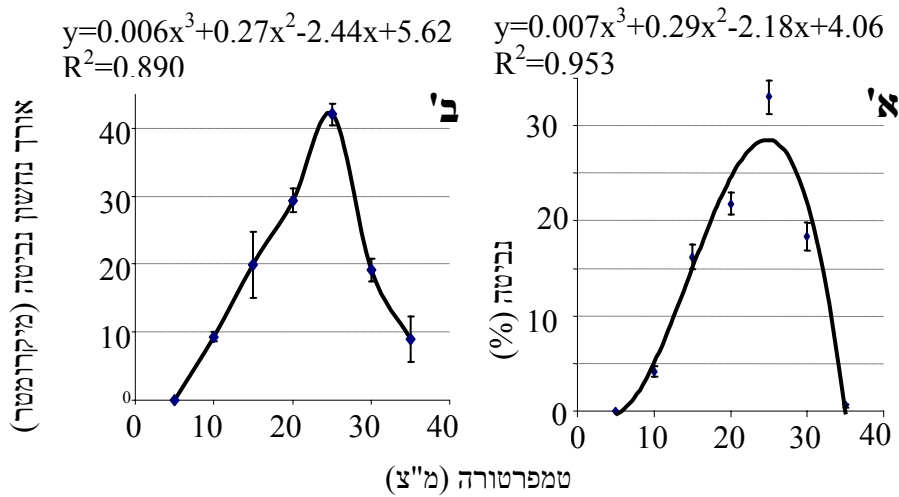


**איור 1:** נבג נובט, בעל נחשון נביטה, של הפטרייה *Oidium neolycopersici*, על גבי עלי עגבנייה מנותקים מזן 1402 לאחר 24 שעות הדגרה ב  $22 \pm 1$  מ"צ,  $99 \pm 1\%$  לחות יחסית ו 5150 לוקס במיקרוסקופ אור (א') וקונפוקאלי (ב').

#### 1.1.1 השפעת הטמפרטורה על נביטה והתארכות נחשון הנביטה

במטרה לבדוק האם הטמפרטורה משפיעה על נביטת נבגי *O. neolycopersici*, עלים מנותקים מזן 1402 אולחו בנבגי הפטרייה והודגרו למשך 24 שעות בטווח טמפרטורות בין 5-35 מ"צ (לחות יחסית  $99 \pm 1\%$  ועוצמת אור 5150 לוקס). לאחר ההדגרה, נבדקה שכיחות הנביטה והתארכות הנחשון. נביטה בשיעור מרבי, עד כדי  $33\%$ , נצפתה בתחום הטמפרטורות שבין 15 ל- 30 מ"צ. בטמפרטורות גבוהות או נמוכות יותר, נצפתה נביטה בשיעור נמוך יותר. הנקודה הקרדינאלית התחתונה, אשר מתחת לערך זה לא יתקיים התהליך, נצפתה בניסוי ב 5 מ"צ והנקודה הקרדינאלית העליונה שמעליה לא תתקיים הנביטה נצפתה ב 35 מ"צ (איור 2א'). אורך נחשון נביטה מרבי התקבל ב- 25 מ"צ מבין הנבגים הנובטים ואורכו הממוצע היה 42 מיקרון (איור 2ב'), בטמפרטורות גבוהות ונמוכות יותר נצפה אורך נחשון קצר יותר.

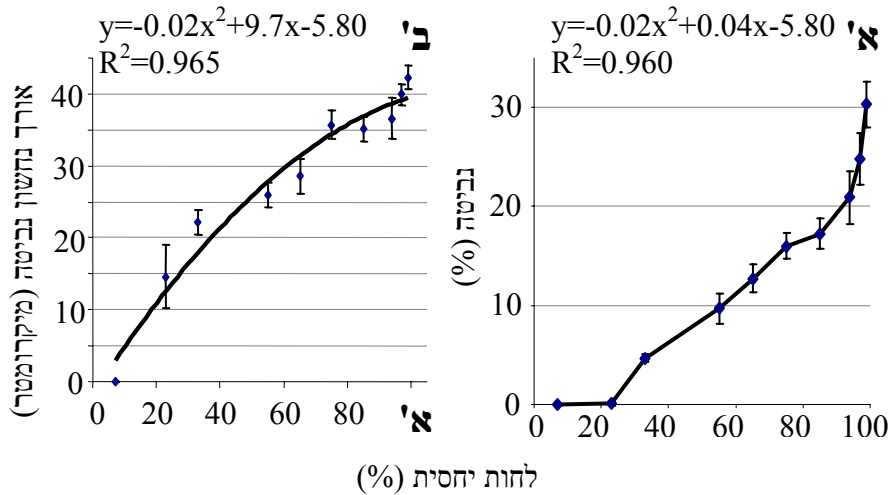




**איור 2:** השפעת הטמפרטורה על שיעור הנביטה (א') והתארכות נחשון הנביטה של *Oidium neolycopersici* מבין הנבגים הנובטים (ב) על גבי עלי עגבנייה מנותקים מזן 1402 לאחר 24 שעות הדגרה ב  $99\pm 1\%$  לחות יחסית ו- 5150 לוקס. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.).

**1.1.2 השפעת הלחות היחסית על נביטה והתארכות נחשון הנביטה**

במטרה לבדוק האם הלחות היחסית משפיעה על נביטת נבגי *O. neolycopersici*, עלים מנותקים מזן 1402 אולחו בנבגי הפטרייה והודגרו למשך 24 שעות בטווח לחויות יחסיות בין  $7-99\%$  ב  $22\pm 1\%$  מ"צ ו- 5150 לוקס. לאחר ההדגרה, נבדקה שכיחות הנביטה והתארכות נחשון הנביטה. נצפתה עלייה מעריכית בשיעור הנביטה עם העלייה באחוזי הלחות היחסית (איור 3א'), כאשר שיעור הנביטה המרבי ( $30\%$ ) התקבל בלחות יחסית גבוהה מאוד  $99\pm 1\%$  ושיעור הנביטה בלחות זאת היה גבוה באופן מובהק ביחס ליתר הלחות שנבדקו. כמו כן ניתן לראות כי ככל שהלחות היחסית עלתה נחשון הנביטה היה ארוך יותר (איור 3ב').

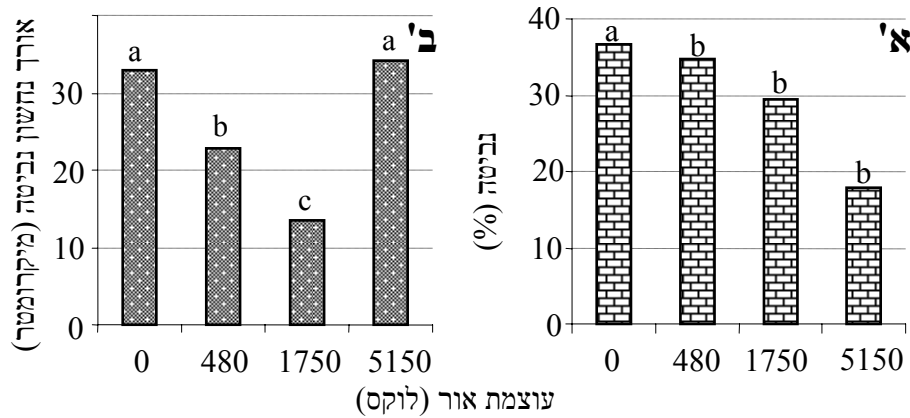


**איור 3:** השפעת הלחות היחסית על שיעור הנביטה (א') והתארכות נחשון הנביטה (ב') של *Oidium neolycopersici* על גבי עלי עגבנייה מנותקים מזן 1402 לאחר 24 שעות הדגרה ב  $22\pm 1\%$  מ"צ וב- 5150 לוקס. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.).

**1.1.3 השפעת עוצמת האור על נביטה והתארכות נחשון הנביטה**

במטרה לבדוק האם עוצמת האור משפיעה על נביטת נבגי *O. neolycopersici*, עלים מנותקים מזן 1402 אולחו בנבגי הפטרייה והודגרו למשך 24 שעות בארבע עוצמות אור (ב  $22\pm 1\%$  מ"צ וב-  $99\pm 1\%$  לחות יחסית). לאחר ההדגרה, נבדקה שכיחות הנביטה והתארכות נחשון הנביטה. אחוז הנביטה הגבוה ביותר ( $36\%$  -כ) התקבל

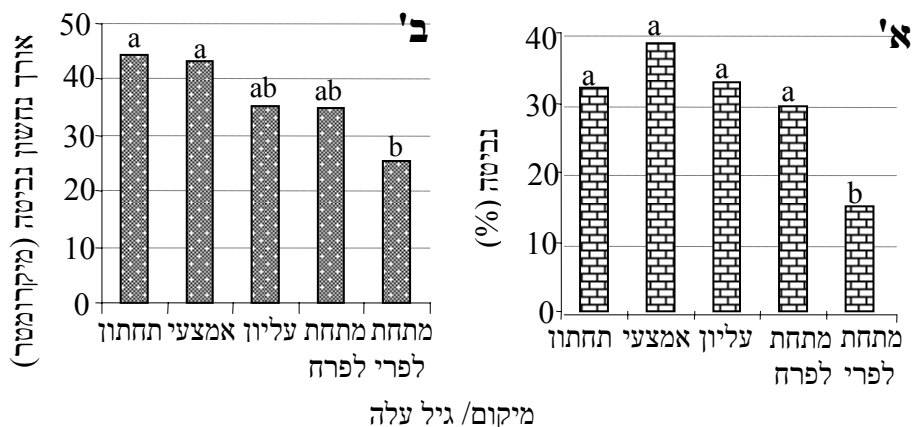
בהדגרת הנבגים בחושך מוחלט (איור 4א') ואילו בעוצמות האור הגבוהות התקבל שיעור נביטה נמוך יותר. בבחינת אורך נחשון הנביטה (איור 4ב') נמצא כי קיים הבדל מובהק בין הנבגים שהודגרו בחושך מוחלט לנבגים שהודגרו בעוצמות אור בינוניות ונמוכות, אך לא היה הבדל מובהק בין הנבגים שהודגרו בחושך לאלו שהודגרו בעוצמת האור הגבוהה.



**איור 4:** השפעת משך התאורה על נביטה (א') והתארכות נחשון הנביטה (ב') של *Oidium neolycopersici* על גבי עלי עגבנייה מנותקים מזן 1402 לאחר 24 שעות הדגרה ב  $22 \pm 1$  מ"צ,  $99 \pm 1\%$  לחות יחסית. האותיות השונות בכל מדד, מעידות על הבדל מובהק בין הטיפולים ( $P \leq 0.05$ ), כנקבע לפי מבחן Tukey HSD.

#### 1.1.4 השפעת מיקום העלה על הנביטה והתארכות נחשון הנביטה

במטרה לבדוק האם מיקום העלה בצמח משפיע על נביטת נבגי *O. neolycopersici*, עלים מנותקים מזן 1402 אולחו בנבגי הפטרייה והודגרו למשך 24 שעות ב  $22 \pm 1$  מ"צ,  $99 \pm 1\%$  לחות יחסית וב- 5150 לוקס. לאחר ההדגרה, נבדקה שכיחות הנביטה והתארכות נחשון הנביטה (איור 5א'). הבדל מובהק נמצא בנביטת בעלים שמתחת לפרי (כ 15%) לעומת האחרים- תחתון, אמצעי, עליון ומתחת לפרח בהם טווח הנביטה היה 29-38%. בבדיקת אורך נחשון הנביטה נמצאה השפעה מובהקת של מיקום העלה על התארכות נחשון הנביטה. נחשון נביטה ארוך יותר היה בעלים התחתונים והאמצעים ו 44 ו 43 מיקרומטר, בהתאמה ואילו בעלים מתחת לפרי אורך נחשון הנביטה היה 25 מיקרומטר בלבד (איור 5ב').



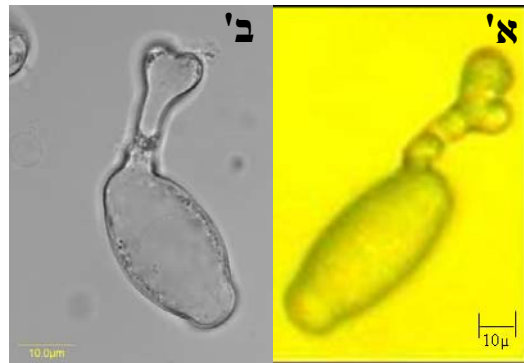
**איור 5:** השפעת מיקום העלה בצמח על שיעור הנביטה (א') והתארכות נחשון הנביטה (ב') של *Oidium neolycopersici* על גבי עלי עגבנייה מנותקים מזן 1402 לאחר 24 שעות הדגרה ב  $22 \pm 1$  מ"צ,  $99 \pm 1\%$  לחות יחסית וב- 5150 לוקס. האותיות שונות בכל מדד, מעידות על הבדל מובהק בין הטיפולים ( $P \leq 0.05$ ) כנקבע לפי מבחן Tukey HSD.

### 1.1.5 השפעת הזן על הנביטה והתארכות נחשון הנביטה

במטרה לבדוק האם זן העגבנייה משפיע על נביטת נבגי *O. neolycopersici* אולחו עלים מנותקים מהזנים 662, 1912, 189 ו- 1138 בנבגי הפטרייה והודגרו למשך 24 שעות ב  $22 \pm 1$  מ"צ,  $99 \pm 1\%$  לחות יחסית וב- 5150 לוקס. לאחר ההדגרה, נבדקה שכיחות הנביטה והתארכות נחשון הנביטה בארבעת הזנים. לא נמצא הבדל מובהק באחוזי הנביטה של הנבגים על גבי העלים מזני העגבנייה הנבדקים וערכי הנביטה היו  $25.31-28\%$ . כמו כן, אורך נחשוני הנביטה היה בין  $22.5-28.8$  מיקרומטר על גבי העלים מהזנים הנבדקים ולא נמצא הבדל בהתארכות נחשון הנביטה.

### 1.2 השפעה על שעור ייצור כרית ההצמדה (אפרסוריום) בנבגים נובטים

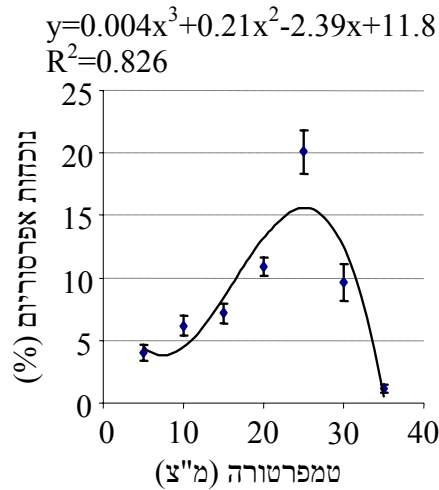
נבדקה השפעת גורמים א-ביוטיים: טמפרטורה, לחות יחסית, תאורה ומשך שימור המידבק וגורמים ביוטיים: מיקום העלה בצמח וזן הצמחים על שעור ייצור כרית ההצמדה (אפרסוריום) של נבגי *O. neolycopersici* על גבי עלי עגבנייה.



**איור 6:** נבג נובט בעל כרית ההצמדה (אפרסוריום) של הפטרייה *Oidium neolycopersici* על גבי עלי עגבנייה מנותקים מזן 1402 לאחר 36 שעות הדגרה ב  $22 \pm 1$  מ"צ,  $99 \pm 1\%$  לחות יחסית וב- 5150 לוקס במיקרוסקופ אור (א') ובמיקרוסקופ קונפוקאלי (ב').

#### 1.2.1 השפעת הטמפרטורה על ייצור כרית ההצמדה

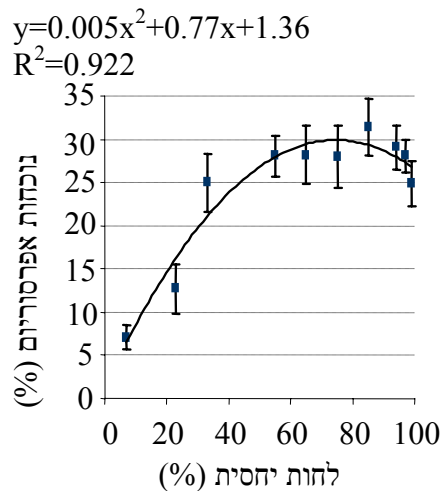
במטרה לבדוק האם הטמפרטורה משפיעה על יצירת כרית ההצמדה של נבגי *O. neolycopersici*, עלים מנותקים מזן 1402 אולחו בנבגי הפטרייה והודגרו למשך 36 שעות בטווח טמפרטורות בין  $5-35$  מ"צ ב  $99 \pm 1\%$  לחות יחסית וב- 5150 לוקס. לאחר ההדגרה, נבדק שיעור ייצור כרית ההצמדה. ייצור מרבי של כרית ההצמדה, עד כדי  $20\%$ , נצפה בתחום הטמפרטורות שבין  $20$  ל-  $30$  מ"צ. בטמפרטורות גבוהות או נמוכות יותר, נצפה בשיעור נמוך יותר, כך שב  $5$  מ"צ שיעור ייצור כרית ההצמדה היה  $4\%$  ו ב  $35$  מ"צ  $1\%$  בלבד (איור 7).



**איור 7:** השפעת הטמפרטורה על שיעור ייצור כרית ההצמדה של *Oidium neolycopersici* על גבי עלי עגבנייה מנותקים מזן 1402 לאחר 36 שעות הדגרה ב  $99\pm 1\%$  לחות יחסית וב- 5150 לוקס. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.).

### 1.2.2 השפעת הלחות היחסית על ייצור כרית ההצמדה

במטרה לבדוק האם הלחות היחסית משפיעה על יצירת כרית ההצמדה של נבגי *O. neolycopersici*, עלים מנותקים מזן 1402 אולחו בנבגי הפטרייה והודגרו למשך 36 שעות בטווח לחויות שבין 7-99%, ב  $22\pm 1$  מ"צ וב- 5150 לוקס. לאחר ההדגרה, נבדקה שיעור ייצור כרית ההצמדה. נצפתה עלייה מעריכית בשיעור ייצור כרית ההצמדה בטווח הלחות הנמוכות (7-55%) אך עם העלייה באחוזי הלחות היחסית (55-99%) לא נצפתה עליה נוספת בשיעור כרית ההצמדה (איור 8) והוא היה גבוה מ- 25%.

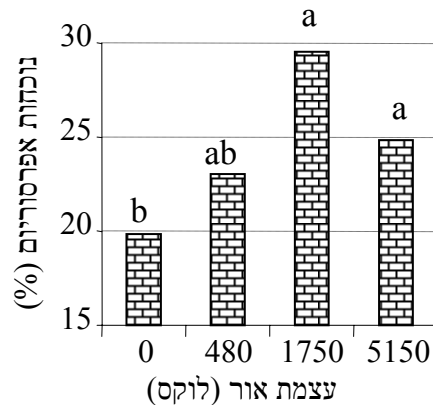


**איור 8:** השפעת הלחות היחסית על שיעור ייצור כרית ההצמדה של *Oidium neolycopersici* על גבי עלי עגבנייה מנותקים מזן 1402 לאחר 36 שעות הדגרה ב  $22\pm 1$  מ"צ וב- 5150 לוקס. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.).

### 1.2.3 השפעת עוצמת התאורה על ייצור כרית ההצמדה

במטרה לבדוק האם עוצמת האור משפיעה על יצירת כרית ההצמדה של נבגי *O. neolycopersici*, עלים מנותקים מזן 1402 אולחו בנבגי הפטרייה והודגרו למשך 36 שעות בארבע עוצמות אור ב  $22\pm 1$  מ"צ וב- 99% לחות יחסית. שיעור ייצור כרית ההצמדה הגבוה ביותר (כ- 30%), התקבל בהדגרת הנבגים בעוצמת אור בינונית

1750 לוקס) והוא היה גבוה באופן מובהק לעומת העלים ששהו בחושך מוחלט (0 לוקס) בהם שיעור ייצור כרית ההצמדה היה כ 20% (איור 9).



**איור 9:** השפעת עוצמת האור על שיעור ייצור כרית ההצמדה של *Oidium neolycopersici* על גבי עלי עגבנייה מנותקים מזן 1402 לאחר 36 שעות הדגרה ב  $22 \pm 1$  מ"צ וב-  $99 \pm 1\%$  לחות יחסית. האותיות השונות בכל מדד, מעידות על הבדל מובהק בין הטיפולים ( $P \leq 0.05$ ), כנקבע לפי מבחן Tukey HSD.

#### 1.2.4 בדיקת השפעת מיקום העלה על ייצור כרית ההצמדה

במטרה לבדוק האם מיקום העלה בצמח וזן הצמח משפיעים על יצירת כרית ההצמדה של נבגי *O. neolycopersici*, עלים מנותקים ממיקום שונה בצמח מארבעה זנים מסחריים: 1402, 662, 1912 ו 870, אולחו בנבגי הפטרייה, למשך 36 שעות ב  $22 \pm 1$  מ"צ,  $99 \pm 1\%$  לחות יחסית וב- 5150 לוקס. בניתוח שונות דו גורמי (טבלה ב5) נמצא כי מיקום העלה השפיע בצורה מובהקת על ייצור כרית ההצמדה. שיעור ייצור כרית ההצמדה בעלים התחתונים והאמצעיים היה 26.8 ו 30.57%, בהתאמה, לעומת העלים הצעירים 14.7% (טבלה א5). לא נצפה הבדל מובהק ביצור כרית ההצמדה בין ארבעת הזנים אך נמצא כי קיימת השפעת גומלין בין שני המשתנים ( $P=0.0175$ ), וכי שיעור האפרסוריום בעלה בוגר מזן 1402 היה גבוה באופן מובהק לעומת עלה עליון מזן 870, ביתר העלים לא נמצא הבדל מובהק.

**טבלה א5:** השפעת מיקום העלה וזן הצמח על ייצור כרית ההצמדה של *Oidium neolycopersici* במשך 36 שעות על גבי עלי עגבנייה מנותקים מזן 1402. (% הופעת אפרסוריום  $\pm$  שגיאת התקן).

זן הצמח	1402	662	1912	870
מיקום עלה				
עלה בוגר	30.6 $\pm$ 3.5	20.1 $\pm$ 2.8	16.3 $\pm$ 3.4	18.4 $\pm$ 4.7
עלה אמצעי	26.8 $\pm$ 4.5	25.0 $\pm$ 4.2	20.6 $\pm$ 3.2	19.7 $\pm$ 2.9
עלה עליון	14.7 $\pm$ 2.9	12.1 $\pm$ 5.1	13.7 $\pm$ 3.0	7.8 $\pm$ 3.2
עלה מתחת לפרח	22.4 $\pm$ 1.9	11.4 $\pm$ 3.0	12.4 $\pm$ 2.7	19.3 $\pm$ 2.3
עלה מתחת לפרי	19.3 $\pm$ 2.3	15.0 $\pm$ 2.7	24.6 $\pm$ 4.6	24.6 $\pm$ 4.6

**טבלה ב5:** ניתוח שונות דו גורמי של השפעת מיקום העלה וזן הצמח על שיעור ייצור כרית ההצמדה *Oidium neolycopersici*.

מיקום העלה	זן	מיקום העלה $\times$ זן
		$P=0.0015$
תחתון	a	
אמצעי	a	
עליון	b	
מתחת לפרח	ab	
מתחת לפרי	ab	
		$P=0.0175$
	לא מובהק	קיימת השפעת גומלין
		$P=0.073$

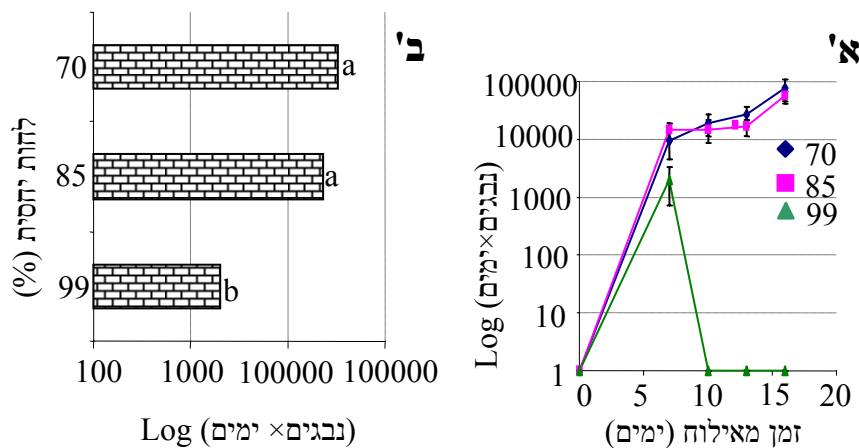
### 1.3 השפעה על כושר ייצור הנבגים

#### 1.3.1 השפעת הטמפרטורה על כושר ייצור הנבגים

במטרה לבדוק אם הטמפרטורה משפיעה על כושר ייצור הנבגים של *O. neolycopersici*, נחלקו צמחים מזן 1402 יום לפני הופעת הסימנים לשלוש טמפרטורות  $16 \pm 1$ ,  $20 \pm 1$  ו  $26 \pm 1$  מ"צ, ב 70-75% לחות יחסית, וב-5150 לוקס. ייצור הנבגים בשלוש הטמפרטורות לא נבדל מבחינה סטטיסטית, ולאחר 16 ימים מהאילוח כמות הנבגים בסמ"ר הייתה בין  $1.25-2.8 \times 10^4$ .

#### 1.3.2 השפעת הלחות היחסית על כושר ייצור הנבגים

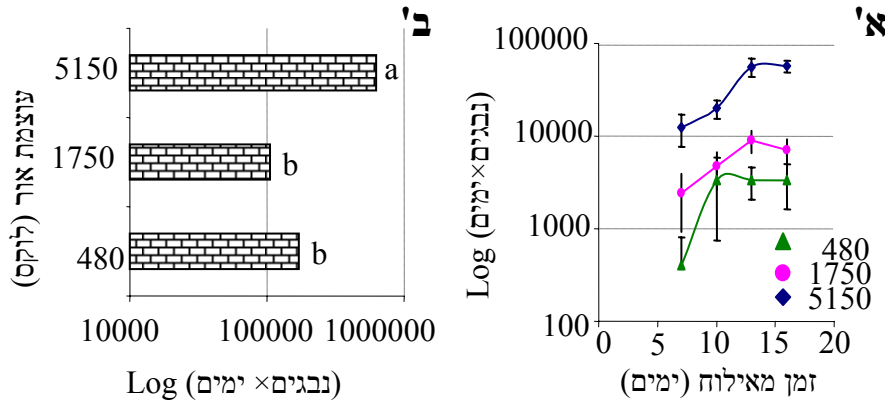
במטרה לבדוק האם הלחות היחסית משפיעה על כושר ייצור הנבגים של *O. neolycopersici*, נחלקו צמחים מזן 1402 יום לפני הופעת הסימנים לשלוש רמות של לחות יחסית, גבוהה (99%) ובינונית (80-85%) ע"י כיסוי הצמחים בפוליאיתילן, ובינונית-נמוכה (70-75%) ללא כיסוי. עוצמת האור בצמחים המכוסים בפוליאיתילן הייתה 4320 לוקס וללא פוליאיתילן 5150 לוקס, והטמפרטורה לאורך הניסוי הייתה  $22 \pm 1$  מ"צ. ייצור הנבגים בשלוש הלחות היחסיות נבדק במשך 16 ימים ונמצא כי החל מהיום השביעי לניסוי (איור 10א') חלה ירידה בכושר ההנבגה בלחות גבוהה (99%), בניגוד לשתי הלחות הנמוכות יותר, בהן נמצאה עלייה בכושר ייצור הנבגים. כושר ההנבגה בצמחים ששהו בלחות יחסית גבוהה היה נמוך באופן מובהק לעומת שתי הלחות הנמוכות יותר, אך לא נמצא הבדל מובהק בין לחויות אלו (איור 10ב').



**איור 10:** השפעת הלחות היחסית על כושר ייצור הנבגים של *Oidium neolycopersici* במשך 16 ימים על גבי צמחי עגבנייה מזן 1402 ב  $22 \pm 1$  מ"צ וב-5150 /4320 לוקס (א'). הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.). השטח שמתחת לעקום ייצור הנבגים (ב'). האותיות השונות בכל מדד, מעידות על הבדל מובהק בין הטיפולים ( $P \leq 0.05$ ), כנקבע לפי מבחן Tukey HSD.

#### 1.3.3 השפעת עוצמת האור על כושר ייצור הנבגים

במטרה לבדוק האם עוצמת האור משפיעה על כושר ייצור הנבגים של *Oidium neolycopersici*, נחלקו צמחים מזן 1402 יום לפני הופעת הסימנים לשלוש רמות תאורה 480, 1750 ו 5150 לוקס ב  $22 \pm 1$  מ"צ ו 70-75% לחות יחסית. ייצור הנבגים בארבעת עוצמות האור נבדק במשך 16 ימים ונמצא כי כושר ייצור הנבגים בעוצמת אור גבוהה היה גבוה באופן מובהק לעומת עוצמת האור האמצעית (1750 לוקס) והנמוכה (480 לוקס) (איור 11ב'), החל מהיום השביעי לתחילת הניסוי (איור 11א').



**איור 11:** השפעת עוצמת האור על כושר ייצור הנבגים של *Oidium neolycopersici* במשך 16 ימים על גבי צמחי עגבנייה מזן 1402 ±1 מ"צ ו 70-75% לחות יחסית (א'). הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.). השטח שמתחת לעקום ייצור הנבגים (ב'). האותיות השונות בכל מדד, מעידות על הבדל מובהק בין הטיפולים (P ≤ 0.05), כנקבע לפי מבחן Tukey HSD.

**1.3.4 השפעת מיקום העלה על כושר ייצור הנבגים**

במטרה לבדוק האם קיימת השפעה של מיקום העלה בצמח על כושר ייצור הנבגים של *O. neolycopersici*, נחלקו הצמחים מזן 1402 יום לפני הופעת הסימנים לשתי טמפרטורות 24±1 ו 26±1 מ"צ ב 70-75% לחות יחסית ו 5150 לוקס. ייצור הנבגים בשתי הטמפרטורות נבדק במשך 24 ימים ונמצא כי בניתוח שונות דו גורמי (טבלה 6ב) הטמפרטורה השפיעה בצורה מובהקת על כושר ייצור הנבגים (יותר נבגים נוצרו בטמפרטורה 24 מ"צ) בעוד מיקום העלים לא השפיע על ההנבגה (טבלה 6א').

**טבלה 6א':** השפעת מיקום העלה על כושר ייצור הנבגים של *Oidium neolycopersici* במשך 16 ימים על גבי צמחי עגבנייה מזן 1402.

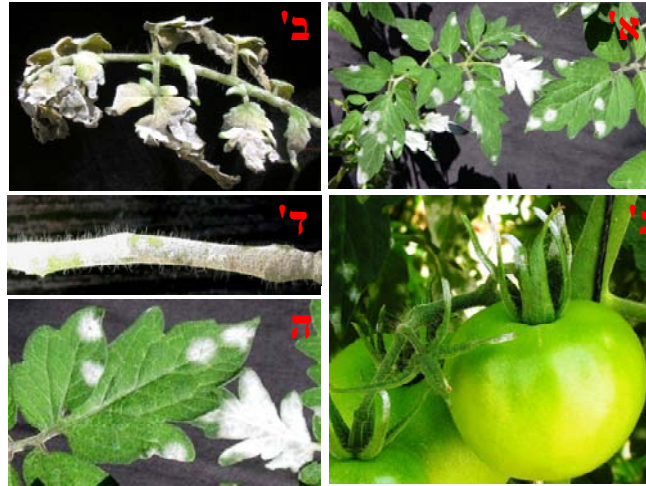
טמפרטורה (מ"צ)				מיקום עלה
26±1		24±1		
ש"ת	נבגים × ימים	ש"ת	נבגים × ימים	
2094	7860	4680	19520	אמצעי
2738	10540	12265	44140	תחתון

**טבלה 6ב':** ניתוח שונות דו גורמי של השפעת מיקום העלה והטמפרטורה על כושר ייצור הנבגים של *Oidium neolycopersici*.

מיקום העלה	טמפרטורה	מיקום העלה × טמפרטורה
P=0.0961	P=0.007	P=0.184
תחתון	24	לא מובהק
אמצעי	26	לא מובהק

## 2. איתור תנאים להגבלת הדבקה והתפתחות מחלה- ניסויים בהדרי גידול

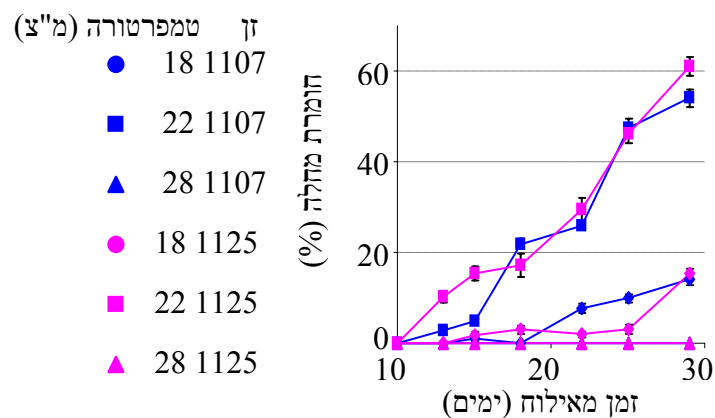
נבדקה השפעת גורמים א-ביוטיים: טמפרטורה, לחות יחסית, תאורה וגורמים ביוטיים: מיקום העלה בצמח וזן הצמחים על התפתחות קימחון העגבנייה בתנאי מעבדה.



איור 12: התפתחות קימחון העגבנייה על עלים (א', ב'-ו-ה), הפטרות (ב'), הגבעול (ד') ועלי הגביע (ג').

### 2.1 השפעת הטמפרטורה על חומרת המחלה

במטרה לבדוק האם הטמפרטורה משפיעה על התפתחות המחלה בצמחי עגבנייה בוצעו שני ניסויים. הראשון, ניסוי דו גורמי הבדוק את התפתחות המחלה בשני זנים 1125 ו 1107 בשלוש טמפרטורות שונות:  $18 \pm 1$ ,  $22 \pm 1$  ו  $28 \pm 1$  מ"צ, ב 70-75% לחות יחסית וב- 5150 לוקס למשך 29 ימים מיום האילוח (איור 13). בנייתוח שונות דו גורמי (טבלה 7ב') נמצא כי הטמפרטורה השפיעה בצורה מובהקת על חומרת המחלה וכי ב  $22 \pm 1$  מ"צ חומרת המחלה הייתה הגבוהה ביותר, אם כי לא נצפה הבדל מובהק בין שני הזנים. הבדלים אלו נמצאו דומים גם בבחינת השטח שמתחת לעקומה, AUDPC (טבלה 7א').



איור 13: התפתחות קימחון העגבנייה *Oidium neolycopersici* במשך 29 ימים על גבי צמחי עגבנייה מזן 1107 ו 1125 בשלוש טמפרטורות:  $18 \pm 1$ ,  $22 \pm 1$  ו  $28 \pm 1$  מ"צ ב 70-75% לחות יחסית וב- 5150 לוקס. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.).



**טבלה 7א':** התפתחות קימחון העגבנייה *Oidium neolycopersici* במשך 29 ימים על גבי צמחי עגבנייה מזן 1107 ו 1125 בשלוש טמפרטורות:  $18 \pm 1$ ,  $22 \pm 1$  ו  $28 \pm 1$  מ"צ.

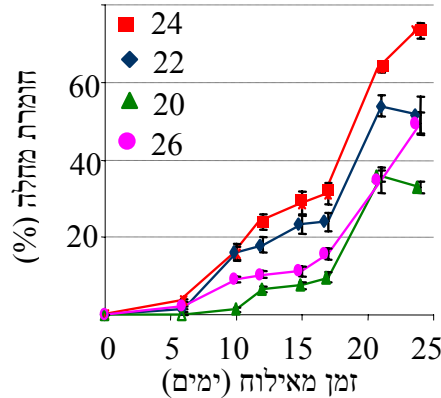
	AUDPC (ימים × אחוז כיסוי עלים)		חומרת מחלה בתום הניסוי (% כיסוי עלים)		טמפרטורה (מ"צ)
	1107	1125	1107	1125	
b	86.0	241.6	b	14.0	18
a	474.7	563.2	a	54.0	22
c	0	0	c	0	28

בכל טור, אותיות שונות מציינות טיפולים השונים זה מזה באופן מובהק ( $P \leq 0.05$ ), על פי מבחן Tukey HSD.

**טבלה 7ב':** ניתוח שונות דו גורמי של השפעת זן הצמחים והטמפרטורה על חומרת מחלת קימחון העגבנייה.

טמפרטורה × זן	זן	טמפרטורה
$P=0.46$	$P=0.09$	$P=0.001$
לא מובהק	לא מובהק	b
		a
		c

מטרת הניסוי השני הייתה לבדוק מהי הטמפרטורה המיטבית להתפתחות המחלה בצמחי עגבנייה. צמחי העגבנייה מזן 1402 בקימחון והודגרו בטמפרטורות  $20 \pm 1$ ,  $22 \pm 1$ ,  $24 \pm 1$  ו  $26 \pm 1$  מ"צ ב 70-75% לחות יחסית וב-5150 לוקס. מידי שלושה ימים במשך 24 ימים נערך מעקב אחר הופעת הסימנים של הקימחון ונתונים אלו שימשו לבניית עקומות התפתחות המחלה בטמפרטורות השונות (איור 14). בטמפרטורה 24 מ"צ, נמצאו ערכי חומרת המחלה הסופית ו - AUDPC הגבוהים ביותר והם נבדלו באופן מובהק מ  $20$ ,  $22$  ו-  $26$  מ"צ (טבלה 8)



**איור 14:** התפתחות קימחון העגבנייה *Oidium neolycopersici* במשך 24 ימים על גבי צמחי עגבנייה מזן 1402 ב  $20 \pm 1$ ,  $22 \pm 1$ ,  $24 \pm 1$  ו  $26 \pm 1$  מ"צ ב 70-75% לחות יחסית וב-5150 לוקס. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.).

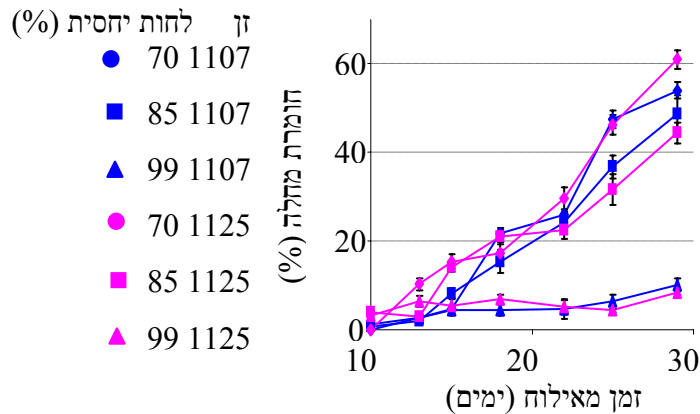
**טבלה 8:** התפתחות קימחון העגבנייה *Oidium neolycopersici* במשך 24 ימים על גבי צמחי עגבנייה מזן 1402 ב  $20 \pm 1$ ,  $22 \pm 1$ ,  $24 \pm 1$  ו  $26 \pm 1$  מ"צ.

AUDPC (ימים × אחוז כיסוי עלים)	חומרת מחלה בתום הניסוי (% כיסוי עלים)	טמפרטורה (מ"צ)
c	242.8	c
b	496.4	b
a	622.3	a
b	512.2	b

בכל טור, אותיות שונות מציינות טיפולים השונים זה מזה באופן מובהק ( $P \leq 0.05$ ), על פי מבחן Tukey HSD.

## 2.2 השפעת הלחות היחסית על חומרת המחלה

במטרה לבדוק האם הלחות היחסית משפיעה על התפתחות המחלה בצמחי עגבנייה התבצע ניסוי דו גורמי בו נצפתה התפתחות המחלה בשני זנים 1107 ו 1125 ובשלוש רמות שונות של לחות יחסית: 70-75%, 80-85% ו 99%, בתנאי טמפרטורה של  $22 \pm 1$  וב- 5150 לוקס, במשך 29 ימים מיום האילוח (איור 15). בנייתו שונות דו גורמי (טבלה 9ב') נמצא כי הלחות היחסית השפיעה בצורה מובהקת על חומרת המחלה וכי ב 99% לחות יחסית חומרת המחלה הייתה נמוכה בצורה מובהקת לעומת שתי הרמות האחרות. לעומת זה לא נצפה הבדל מובהק בין שני הזנים. הבדלים אלו נמצאו דומים גם בבחינת השטח שמתחת לעקומה, ה- AUDPC (טבלה 9א').



**איור 15:** התפתחות קימחון העגבנייה *Oidium neolycopersici* במשך 29 ימים על גבי צמחי עגבנייה מזן 1107 ו 1125 בשלוש לחות שונות: 70, 85, ו 99% ב  $22 \pm 1$  מ"צ וב- 5150 לוקס. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.).

**טבלה 9א':** התפתחות קימחון העגבנייה *Oidium neolycopersici* במשך 24 ימים על גבי צמחי עגבנייה מזן 1107 ו 1125 ב 70, 85, ו 99% לחות יחסית.

AUDPC		חומרת מחלה בתום הניסוי		לחות יחסית	
(ימים $\times$ אחוז כיסוי מחלה)		(כיסוי עלים)		(%)	
1107	1125	1107	1125		
a 490.5	a 563.2	a 54	a 61	70	
a 396	b 420.2	a 48.8	b 44.4	85	
b 99.4	c 126	b 10.2	c 8.4	99	

**טבלה 9ב':** ניתוח שונות דו גורמי של השפעת זן הצמחים והלחות היחסית על חומרת מחלת קימחון העגבנייה.

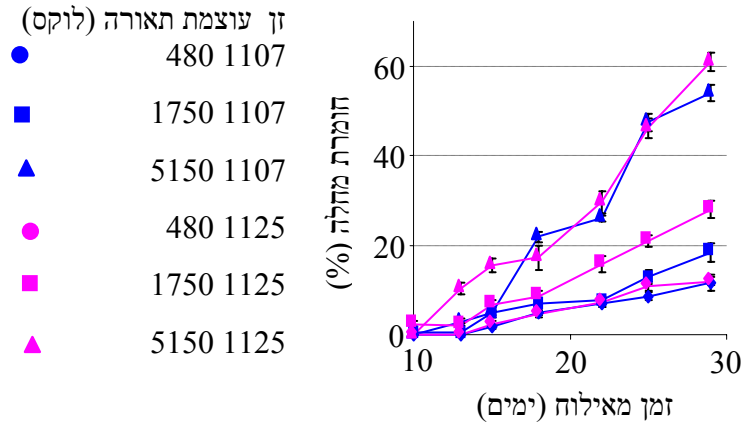
לחות יחסית	זן	עוצמת אור $\times$ זן
$P=0.001$	$P=0.007$	$P=0.36$
a 70	a לא מובהק	לא מובהק
b 85		
c 99		

בכל טור, אותיות שונות מציינות טיפולים השונים זה מזה באופן מובהק ( $P \leq 0.05$ ), על פי מבחן Tukey HSD.

## 3.3 בדיקת השפעת התאורה על חומרת המחלה

במטרה לבדוק האם קיימת השפעה של עוצמת התאורה על התפתחות המחלה בצמחי עגבנייה. התבצע ניסוי דו גורמי הבודק את התפתחות המחלה בשני זנים 1107 ו 1125 ובשלוש רמות של עוצמת תאורה: 480, 1750 ו 5150 לוקס, ב  $22 \pm 1$  מ"צ ב 70-75% לחות יחסית למשך 29 ימים מיום האילוח (איור 16). בנייתו שונות דו

גורמי (טבלה 10ב') נמצא כי עוצמת התאורה השפיעה בצורה מובהקת על חומרת המחלה וכי בעוצמת האור הגבוהה ביותר 5150 לוקס חומרת המחלה הייתה הגבוהה ביותר בצורה מובהקת לעומת שתי הרמות האחרות. כמו כן, בבחינת השטח שמתחת לעקומה (AUDPC) נמצא הבדל מובהק בין שני הזנים, עוצמת המחלה בזן 1125 הייתה גבוהה בצורה מובהקת לעומת 1107. (טבלה 10א').



**איור 16:** התפתחות קימחון העגבנייה *Oidium neolycopersici* במשך 29 ימים על גבי צמחי עגבנייה מזן 1107 ו 1125 ב שלוש עוצמות תאורה: 480, 1750 ו 5150 לוקס בתנאי טמפרטורה של  $22 \pm 1$  וב 70-75% לחות יחסית במשך 29 ימים מאילוח. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.).

**טבלה 10א':** התפתחות קימחון העגבנייה *Oidium neolycopersici* במשך 24 ימים על גבי צמחי עגבנייה מזן 1107 ו 1125 ב שלוש עוצמות תאורה: 480, 1750 ו 5150 לוקס.

AUDPC		חומרת מחלה בתום הניסוי		עוצמת תאורה (לוקס)	
(ימים × אחוז כיסוי עלים)		(% כיסוי עלים)			
	1125	1107	1125		
a	460.5	a	511.7	b	54.0
b	166.1	a	235.9	a	61.0
c	98.8	b	110.0	b	18.4
		a	11.6	b	28.0
				c	12.2
					5150
					1750
					480

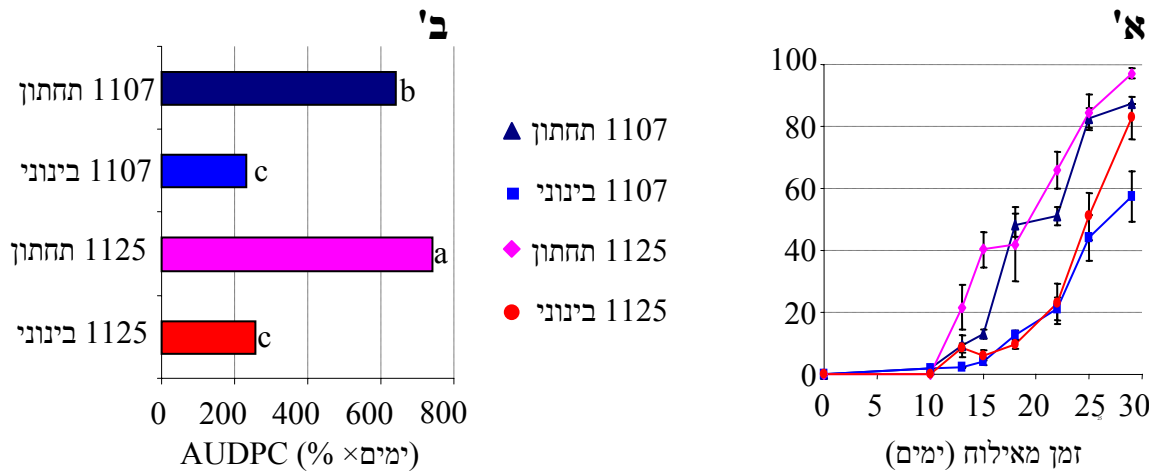
בכל טור, אותיות שונות מציינות טיפולים השונים זה מזה באופן מובהק ( $P \leq 0.05$ ), על פי מבחן Tukey HSD.

**טבלה 10ב':** ניתוח שונות דו גורמי של השפעת זן הצמחים עוצמת התאורה על חומרת מחלת קימחון העגבנייה.

עוצמת אור × זן	זן	עוצמת אור
$P=0.433$	$P=0.038$	$P=0.001$
a	1125	a
b	1107	b
לא מובהק		c
		480
		1750
		5150

### 2.4 בדיקת השפעת גיל עלה על חומרת המחלה

במטרה לבדוק האם מיקום העלה בצמח בזנים השונים משפיע על התפתחות המחלה. התבצע ניסוי דו גורמי הבודק את התפתחות המחלה בשני זנים 1107 ו 1125 ובמיקום שונה; תחתון ואמצעי, בתנאי טמפרטורה של  $22 \pm 1$  מ"צ, 70-75% לחות יחסית וב 5150 לוקס, במשך 29 ימים מיום האילוח (איור 17א'). ההבדלים בחומרת המחלה בגילאים השונים, נבדקו גם על ידי השוואת השטחים שמתחת לעקומת התפתחות מחלה (AUDPC) (איור 17ב'). בנייתוח שונות דו גורמי (טבלה 11) נמצא כי מיקום העלה השפיע בצורה מובהקת על חומרת המחלה וכי בעלה התחתון עוצמת המחלה הייתה גבוהה יותר. כמו כן, נצפה הבדל מובהק בין שני הזנים, חומרת המחלה בזן 1125 הייתה גבוהה בצורה מובהקת לעומת 1107 בעלים התחתונים אך לא באמצעיים.



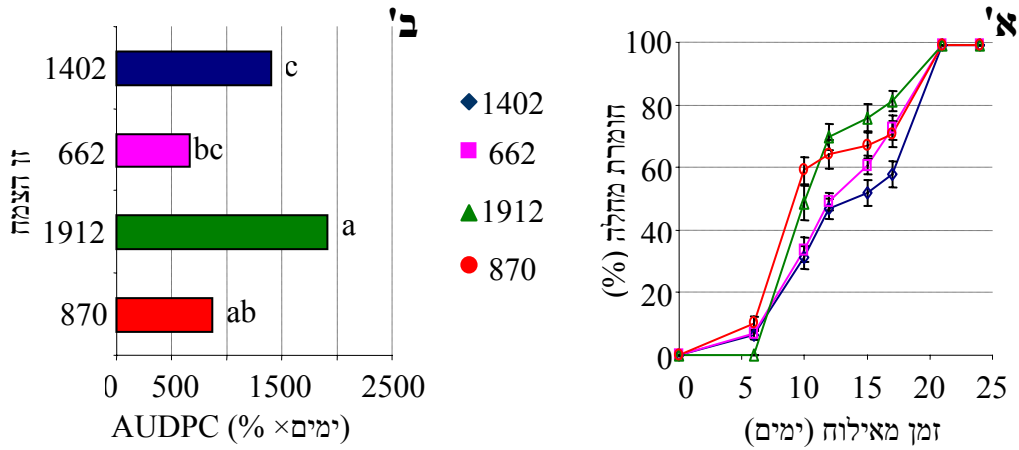
**איור 17:** התפתחות קימחון העגבנייה *Oidium neolycopersici* במשך 29 ימים על גבי צמחי עגבנייה מזן 1107 ו 1125 במיקום עלים שונה בצמח: תחתון ואמצעי בתנאי טמפרטורה של  $22 \pm 1$  מ"צ, 70-75% לחות יחסית וב לוקס 5150 במשך 29 ימים מאילוח. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.). השטח שמתחת לעקום התפתחות המחלה AUDPC (ב'). האותיות השונות בכל מדד, מעידות על הבדל מובהק בין הטיפולים. כנקבע לפי מבחן Tukey HSD ( $P \leq 0.05$ ).

**טבלה 11:** ניתוח שונות דו גורמי של השפעת זן צמחי עגבנייה 1107 ו 1125 וגובה העלה: נמוך, אמצעי על חומרת מחלת קימחון העגבנייה במשך 29 ימים.

גובה עלה × זן	זן	גובה עלה
$P=0.382$	$P=0.156$	$P=0.0001$
לא מובהק	לא מובהק	a
		b
		תחתון
		אמצעי

## 2.5 בדיקת השפעת זן הצמחים על חומרת המחלה

במטרה לבדוק האם קיימת השפעה של הזנים השונים ושל מיקום העלה על התפתחות המחלה בצמחי עגבנייה. התבצע ניסוי דו גורמי הבדוק את התפתחות המחלה בארבעה זנים 1402, 662, 1912, 870 ו 1402 ובמיקום שונה; בוגר ואמצעי, במשך 24 ימים מיום האילוח (איור 18). בניתוח שונות דו גורמי (טבלה 12) נמצא כי מיקום העלה השפיע בצורה מובהקת על חומרת המחלה וכי בעלה התחתון חומרת המחלה הייתה גבוהה יותר, אם כי לא היו הבדלים מובהקים בין הזנים השונים. בעלים האמצעים נצפה הבדל מובהק בין ארבעת הזנים, חומרת המחלה בזן 1912 הייתה גבוהה בצורה מובהקת לעומת 1402, אם כי הבדל זה הוא קטן יחסית לאור חומרת המחלה הגבוהה בסוף הניסוי בכל הזנים (טבלה 12א). כמו כן נצפתה השפעת גומלין בין הזן ומיקום העלה (טבלה 12ב).



**איור 18:** התפתחות מחלת הקימחון *Oidium neolycopersici* בארבעה זנים: 1402, 662, 1912 ו 870 של עגבנייה במשך 24 ימים בעלה האמצעי (א). הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.). השטח שמתחת לעקום התפתחות המחלה AUDPC (ב). האותיות השונות בכל מדד, מעידות על הבדל מובהק בין הטיפול  $P \leq 0.05$ , כנקבע לפי מבחן Tukey HSD.

**טבלה 12א':** התפתחות מחלת הקימחון *Oidium neolycopersici* בעלים בינוניים של ארבעה זנים: 1402, 662 ו1912 ו870 בעגבנייה למשך 24 ימים.

זן	חומרת המחלה הכוללת (% כיסוי עלים)	AUDPC (ימים×% כיסוי)
1402	a 69.5	b 622.3
662	b 70.2	ab 670.2
1912	ab 66.9	a 719.8
870	ab 73.3	ab 684.6

בכל טור, אותיות שונות מציינות טיפולים השונים זה מזה באופן מובהק ( $P \leq 0.05$ ), על פי מבחן Tukey HSD.

**טבלה 12ב':** ניתוח שונות דו גורמי של השפעת זן הצמחים ומיקום העלה על חומרת קימחון העגבנייה.

גובה עלה	זן	גובה עלה × זן
$P=0.0001$	$P=0.0037$	$P=0.0014$
נמוך a	870 a	870 נמוך ab
אמצעי b	1912 a	870 אמצעי d
	662 ab	1912 נמוך a
	1402 b	1912 אמצעי d
		662 נמוך bc
		662 אמצעי d
		1402 נמוך c
		1402 אמצעי d

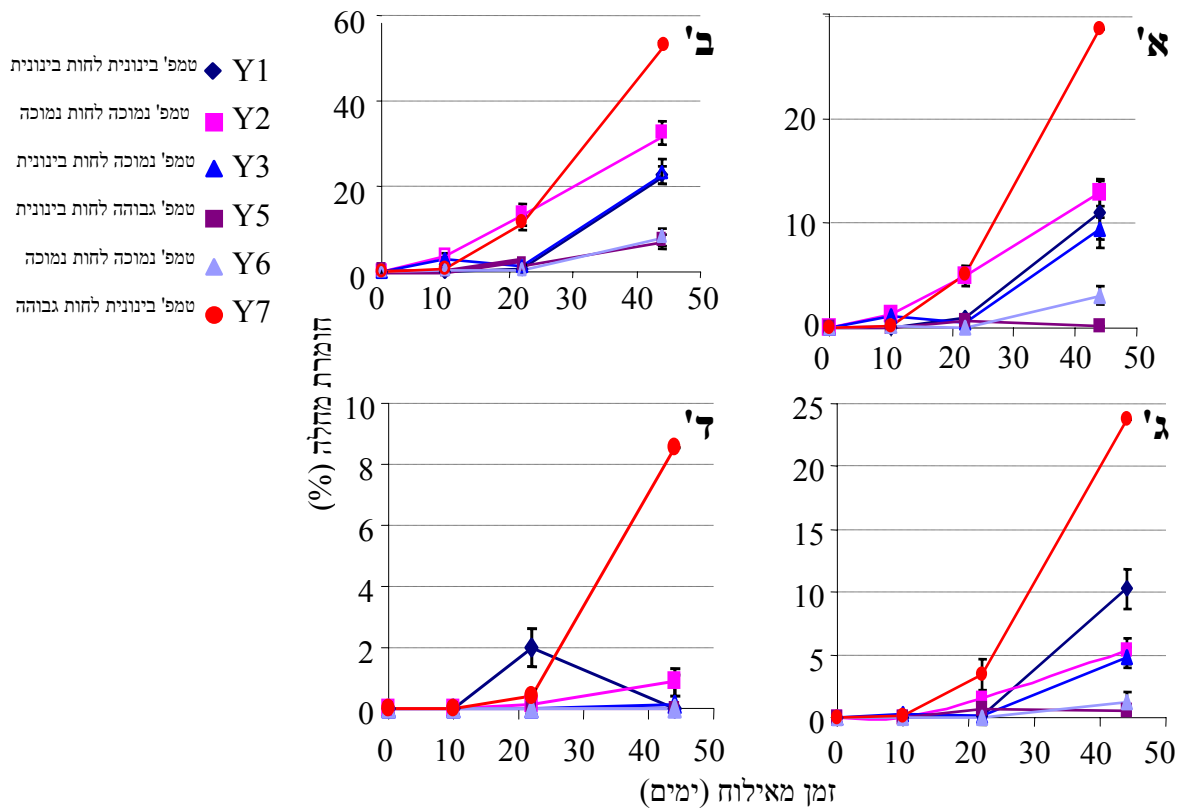
### 3. איתור תנאים להגבלת הדבקה והתפתחות מחלה- ניסויי שדה

#### 3.1 השפעת תנאי מיקרואקלים על חומרת המחלה

במטרה ללמוד על השפעת משטרי טמפרטורה והלחות יחסית על קצב התפתחות המחלה בוצעו שני ניסויי שדה. הניסויים בוצעו בחוות הבשור שבנגב בשמונה מנהרות, כאשר ההבדל בין המבנים נוצר על ידי יצירת שילוב של כיסוי מבנה ו/או פתחים ברשת 50 מאש ע"י שימוש באחד משני הסוגים, רשת צל או פוליאאתילן ועל ידי יצירת מקור לחות באחד המבנים (טבלה 1). בכדי ליצור רמת מדבק ראשוני דומה במבנים השונים בכל אחד ממחזורי הגידול, הובאו צמחי עגבנייה מאולחים באופן אחיד בקימחון ממרכז וולקני. התפתחות המחלה נבדקה במשך 44

ימים מהאילוח בשלושה גבהים; תחתון, בינוני ועליון. ההבדלים בחומרת המחלה, נבדקו גם על ידי השוואת השטחים שמתחת לעקומת התפתחות מחלה (AUDPC).

מחלת הקימחון התפתחה באופן שונה במבני הניסוי בהתאם לכיסוי המבנה, כיסוי הפתח או תוספת הלחות. הסימנים הראשונים של המחלה הופיעו לאחר 10 ימים מהאילוח. בתום הניסוי כעבור 44 ימים מאילוח ניתן לראות הבדלים ברורים בין המבנים (איור 19'א-ד' וטבלה 12) וחומרת המחלה הגיעה עד כדי 52% בעלים התחתונים (איור 19'ב'). חומרת מחלה נמוכה ביותר נמצאה במנהרה עם הטמפרטורה הגבוהה (Y5) בעוד כאשר שררה טמפרטורה בינונית והתבצעה העשרת לחות במנהרה (Y7) נמצאה חומרת מחלה גבוהה יותר. חומרת מחלה בינונית נמצאה במנהרות בעלות טמפרטורות נמוכות-בינוניות ובינוניות (Y1-3). ככלל, חומרת המחלה בעלים העליונים הייתה נמוכה, כנראה בגלל חשיפה קצרה יותר של העלים הצעירים למידבק, וזאת לאור העובדה שהופעתם הייתה מאוחרת יותר במהלך הגידול (איור 19'ד'). במהלך הגידול נתקפו צמחי עגבנייה במבנים Y4 ו Y8 בקימחונות ולכן תוצאות מבנים אלו אינן מובאות באיורים.

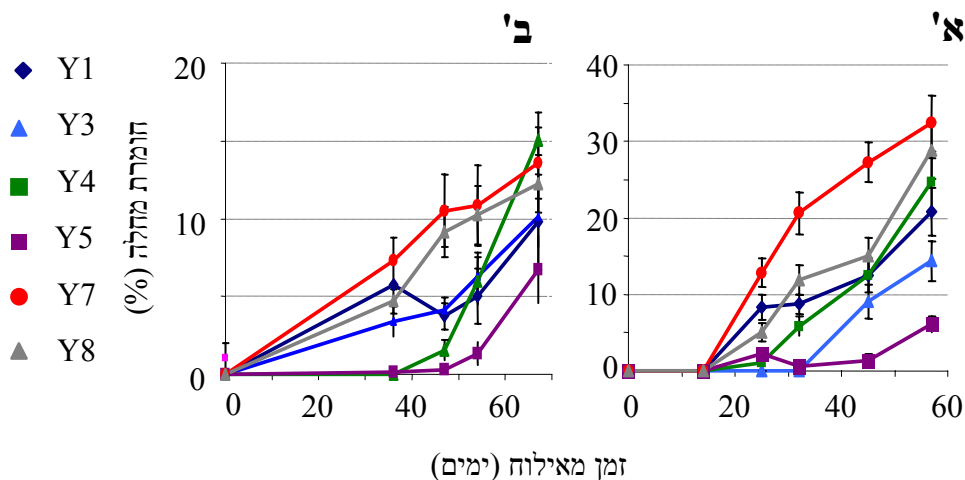


**איור 19:** התפתחות מחלת הקימחון *Oidium neolycopersici* בצמחי עגבנייה מזן 1402 בששת המבנים במשך 44 ימים בשלושה גבהים: תחתון (ב'), בינוני (ג') ועליון (ד') וסיכום (א') הנגיעות לכלל הצמח; צמחים גדלו במבנים Y1-3,5-7 מחופים בשילובים שונים של פוליאטילן ורשתות (טבלה 1) ובהם המיקרו-אקלים היה שונה; הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.).

**טבלה 13:** התפתחות מחלת הקימחון *Oidium neolycopersici* בערכי AUDPC בצמחי עגבנייה מִזן 1402 בששת המבנים במשך 44 ימים בשלושה גבהים: תחתון, בינוני ועליון וכלל המחלה.

חומרת מחלה (AUDPC) (% × ימים ± שגיאת תקן)				
כלל מחלה	מיקום עלים			מיבנה
	גבוה	בינוני	נמוך	
462.0±53.1	28.4±10.3	116.4±17.0	332.9±33.3	Y1
436.1±165.1	20.6±9.8	92.0±12.2	627.8±43.0	Y2
121.1±11.2	2.9±1.5	161.2±26.7	313.4±37.0	Y3
16.4±2.3	0.0±0.0	27.1±7.8	260.3±53.3	Y5
39.3±1.9	0.0±0.0	24.4±3.7	104.2±4.5	Y6
410.8±27.5	176.6±48.5	416.8±61.3	803.6±56.5	Y7

שני ניסויים נוספים התקיימו באביב 2006. בניסויים אלה נבדקה התפתחות המחלה בצמחי עגבנייה אשר נשתלו בשני מועדים כך שנוצרו שני מקבצי מגפות (איור 20 א' ו ב'). גם בגידול האביבי הופעת הסימנים התרחשה כעבור 10 ימים ובהערכת הנגיעות הראשונה, כ 14 ימים מאילוח ניתן לראות הבדל ברמת הנגיעות בין המבנים השונים, בדומה לניסוי השדה הראשון (איור 20 א' וטבלה 13). בדומה, חומרת המחלה הייתה נמוכה ביותר במבנה החם יותר (Y5) ומגפה חזקה התרחשה במבנה בעל טמפרטורה בינונית ולחות גבוהה (Y7) (טבלה 13). התפתחות המחלה, התרחשה בהדרגה מהחלק התחתון כלפי מעלה (איור 20 ב'). חומרת הנגיעות בניסוי האביב השני הייתה פחותה מזו שנצפתה בשתילה הראשונה. במהלך הגידול נתקפו צמחי העגבנייה במבנים Y2 ו- Y6 בכימשון ולכן תוצאות מנהרות אלה אינן מובאות בגרף.



**איור 20:** התפתחות מחלת הקימחון *Oidium neolycopersici* בצמחי עגבנייה מִזן 1912 בששת המבנים במשך 70 ימים בשני מועדי שתילה שונים: מוקדם (א') ומאוחר (ב'). הצמחים גדלו במבנים Y1,3-5,7,8 מחופים בשילובים שונים של פוליאטילן ורשתות (טבלה 1) ובהם המיקרו-אקלים היה שונה; הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.).

**טבלה 14:** השוואת התפתחות מחלת הקימחון *Oidium neolycopersici* בערכי AUDPC בצמחי עגבנייה מזן 870 בשני מועדי שתילה שונים בששת המבנים במשך 44 ימים בגובה בינוני.

מבנה	ניסוי ראשון	ניסוי שני
	שטח מתחת לעקומה (% × ימים ± שגיאת תקן)	
Y1	564.0±76.7	201.9±36.6
Y3	380.0±59.3	182.6±36.2
Y4	528.4±55.6	329.6±34.6
Y5	177.0±26.7	97.0±22.0
Y7	972.4±80.5	377.7±52.2
Y8	716.3±55.1	312.2±32.1

מבנים Y2 ו-Y6 לא נכללים בסיכום בגלל הופעת כימחון חמור.

תנאי המיקרו-אקלים במבנים השונים סוכמו לפי תקופות התרחשות (שבועות) לפני הערכת המחלה בטווחים שונים של לחויות יחסיות וטמפרטורות. המתאם בין חומרת המחלה ושעות התרחשות התנאים בטווחים השונים נבדקו ואלה המובהקים מובאים בטבלאות 14-15. מועד ההתרחשות עשוי להעיד על שלב המחלה המושפע מתנאי הטמפרטורה או הלחות. במעבר שבין שבוע 4 לשבוע אחד שלפני ההערכה של המחלה מתרחשים באופן יחסי ובהדרגה יותר אירועים שלפני הדבקה, פיזור נבגים, נביטתם והדירה לרקמת הצמח, גידול ברקמה ולבסוף הנבגה והופעת סימנים.

לחות יחסית נמוכה מ-40% נמצאה כמעכבת (במתאם שלילי) את קימחון העגבנייה בשבועות 1-4 לפני ההערכה ולחות יחסית 50-60% מעכבת בשבוע 3. בשבועות 2-3 לחות יחסית גבוהה 90-100% מעכבת אף היא מחלה. לחות יחסית 60-90% בשבועות 1-4 נמצאו מעודדות (במתאם חיובי) למחלה וכן 50-60% בשבוע 1 (טבלה 15).

**טבלה 15:** טווחי לחות יחסית שנמצאו במתאם מובהק למחלת קימחון העגבנייה בניסויים במבנים בתקופות (שבועות) לפני מועד הערכות המחלה.

טווח לחות יחסית (%)							מועד התרחשות		
90-100	80-90	70-80	60-70	50-60	40-50	30-40	20-30	10-20	תנאי המיקרו-אקלים
	+0.971		+0.998	+0.940		-0.929			שבוע 1 לפני
	*		**	*		*			
-0.971			+0.941			-0.951		-0.861	שבוע 2
**			*			*		**	
-0.757		+0.919	+0.939	-0.940				-0.810	שבוע 3
*		*	*	*				*	
+0.952	+0.994	+0.953	+0.948			-0.985		-0.752	שבוע 4
*	**	*	*			*		*	

קורלציות מובהקות ברמות \*95%, \*\*99% ו-\*\*\*99.9%; מתאם שלילי = -, מתאם חיובי = +.



**טבלה 16:** טווחי טמפרטורה שנמצאו במתאם מובהק למחלת קימחון העגבנייה בניסויים במבנים בתקופות (שבועות) לפני מועד הערכת המחלה.

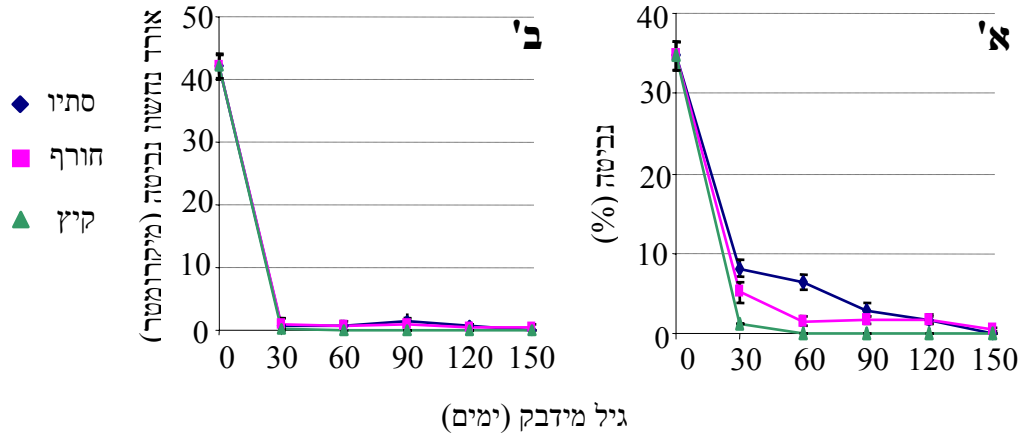
טווח טמפרטורה (מ"צ)										מועד התרחשות תנאי המיקרו-אקלים
20-30	15-25	10-20	35-40	30-35	25-30	20-25	15-20	10-15	5-10	
	+0.958 ***		-0.767 *		+0.952 ***		+0.883 **			שבוע 1 לפני
	+0.946 ***	+0.808 *		+20.93 ***				-0.981 *	-0.968 *	שבוע 2
+0.967 *	+0.992 ***	-0.752 *	-0.857 **		+0.942 ***	+0.976 *	+0.961 *		-0.962 *	שבוע 3
	+0.955 ***		-0.913 **	+0.792 *		+0.957 *	+0.952 *		-0.950 *	שבוע 4

קורלציות מובהקות ברמות \*95%, \*\*99% ו-\*\*\*99.9%; מתאם שלילי -, מתאם חיובי = +.

טמפרטורה 5-15 ו-35-40 מ"צ מעכבות קימחון בכל טווח התקופה שלפני ההערכה. טווח הטמפרטורות מעודד המחלה בכל תקופת המדידה הינו 15-25 מ"צ. נמצאה מתאם חיובי גם בטווחי טמפרטורה שעד 35 מ"צ בחלק מהתקופה (טבלה 16).

#### 4. משך חיות הנבגים בתנאי שימור שונים

במטרה לבדוק האם שימור המדבק לאורך זמן משפיע על יכולת הנביטה של נבגי *O. neolycopersici*. עלים מאולחים מזן 1402 יובשו פאסיבית בתנאי חממה במשך 7-10 ימים לשם חיקוי המתרחש בחממות מסחריות. הניסויים נערכו בשלוש עונות: קיץ, סתיו וחורף. מידי חודש אולחו עלים מנותקים טריים בנבגי הפטרייה שמקורם בעלי המדגם והודגרו למשך 24 שעות ב  $22 \pm 1$  מ"צ,  $99 \pm 1\%$  לחות יחסית וב- 5150 לוקס. לאחר ההדגרה, נבדקה שכיחות הנביטה והתארכות נחשון הנביטה, כשההנחה היא שנבג נובט עשוי להמשיך במחזור חיי הפטרייה ולגרום למחלה. שיעור הנביטה עם תחילת הניסוי, טרם ייבוש העלים היה 37%. לאחר 30 יום שיעור הנביטה פחת באופן לוגריתמי בשלוש העונות, ועם התקדמות הזמן, פחתה הנביטה עד לכדי אפס (איור 21א). כמו כן, חלה ירידה לוגריתמית בהתארכות נחשון נביטה לאחר 30 יום מייבוש, מ- 40 מיקרון בתחילת הניסוי לרמה אפסית בחודשים האחרים (איור 21ב). בייבוש העלים בתנאי חממה בקיץ התקבל אחוז נביטה נמוך בחודש הראשון ולאחריו לא נצפתה נביטה כלל, בעוד שבחדשי הסתיו והחורף התהליך נמשך 4 ו-5 חודשים, בהתאם.



**איור 21:** השפעת משך שימור המידבק בעונות השונות על שיעור הנביטה (א'), והתארכות נחשון הנביטה של *Oidium neolycopersici* (ב') על גבי עלי עגבנייה מנותקים מזון 1402 לאחר 24 שעות הדגרה ב  $22 \pm 1$  מ"צ,  $99 \pm 1\%$  לחות יחסית וב-5150 לוקס. הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן (S.E.).

## 5. בחינת אמצעים כימיים ומיצויי צמחים כשיטות להתמודדות עם המחלה

### 5.1 הדברה כימית

נבדקה יעילותם של תכשירים ניסיוניים וכאלו המורשים לשימוש בחקלאות הקונבנציונאלית כנגד קימחון העגבנייה. צמחים מזון 1402 נחלקו לשני טיפולים, ריסוס חד פעמי וריסוס שבועי (סה"כ 5 ריסוסים), כאשר הריסוס הראשון התבצע יום לפני האילוח בפתוגן. חומרת הנגיעות במחלה הוערכה מידי 3-5 ימים במשך 30 ימים, הנתונים סוכמו כשטח מתחת לעקומת התפתחות המחלה וחומרת המחלה בסוף הניסוי. ביישום שבועי של התכשירים לא נצפתה מחלה כלל, בעוד שבהיקש חומרת המחלה בסוף הניסוי הייתה 72% (תוצאות לא מוצגות). ביישום חד פעמי נצפו הבדלים מובהקים בין הטיפולים לביקורת פרט לריסוס בסרנייד, שחומרת המחלה בו הייתה דומה להיקש (טבלה 17). יעילות ההדברה בריסוס יחיד הייתה גבוהה ונעה בין 18-99.5%. כמו כן ניתן לראות כי קיימים הבדלים מובהקים בין המינונים השונים של החמרים, לדוגמה יישום הליוגפריט בריכוז 1% הפחית את חומרת המחלה 23% בהשוואה לריכוז 0.25%.

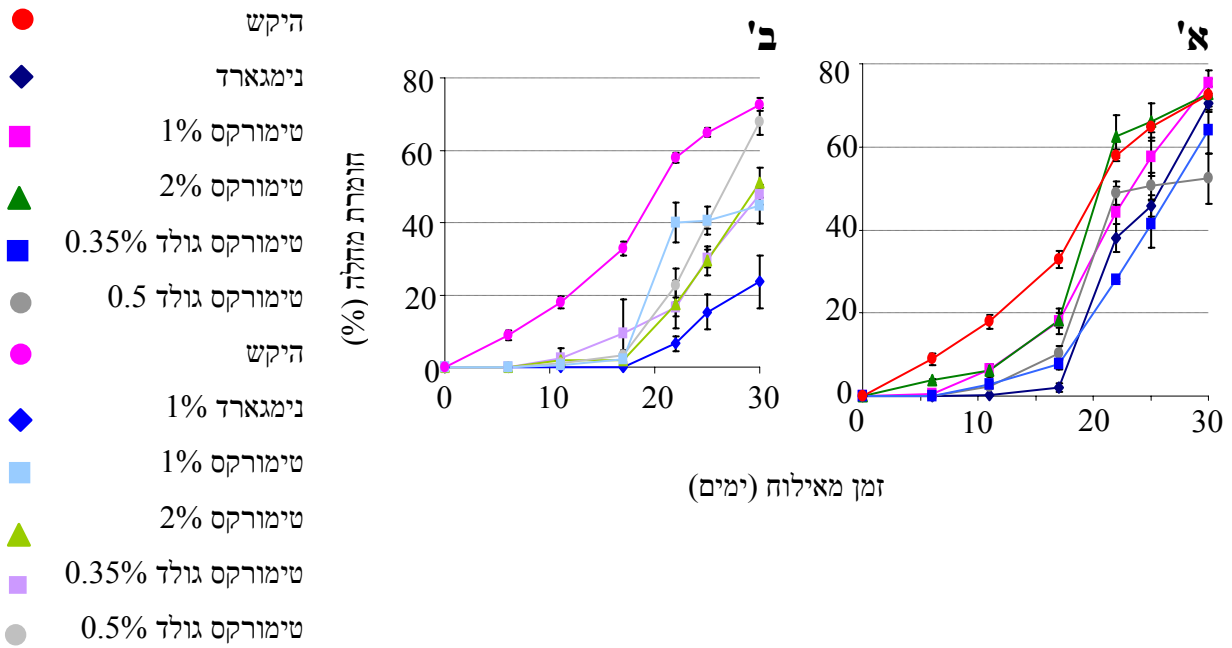
**טבלה 17:** התפתחות מחלת הקימחון *Oidium neolycopersici* בצמחי עגבנייה מזן 1402 לאחר טיפול חד פעמי בתכשירים כימיים ויעילות ההדברה (בערכי AUDPC) בעגבנייה במשך 30 ימים.

טיפול	AUDPC (ימים×% כיסוי)	יעילות הדברה (%)	חומרת מחלה בתום הניסוי (% כיסוי עלים)	יעילות הדברה (%)
היקש	a 1149.3		72.65	a
הליוגפרית 0.25%	b 289.4	73.0	48.30	b
הליוגפרית 1%	d 28.9	98.0	4.2	d
סולפולי	d 25.0	98.0	3.5	d
דומארק קומבי	d 33.1	97.0	5.1	d
עמיסטר	d 10.0	99.5	2.2	d
EOS	d 47.5	95.5	6.5	d
נימגארד	c 144.7	87.0	23.6	c
סרנייד	a 868.2	18.0	68.3	a
אופיר	bc 232.0	78.0	43.5	bc
נץ	c 145.8	87.0	24.1	c
סיגנום	c 101.5	91.0	18.9	c
נפטון	d 20.0	99.0	3.4	d

AUDPC – השטח שמתחת לעקום התפתחות המחלה במשך 30 ימים. בכל טור, אותיות שונות מציינות טיפולים השונים זה מזה באופן מובהק ( $P \leq 0.05$ ), על פי מבחן Tukey HSD.

## 5.2 הדברה באמצעות תמציות צמחים

נבדקה יעילותם של תכשירים המבוססים על תמציות צמחים המורשים לשימוש בחקלאות האורגנית כנגד קימחון העגבנייה. בוצעו שני ניסויים: במעבדה, ובתנאי שדה חצי מסחריים. ניסוי המעבדה: צמחים מזן 1402 נחלקו לשני טיפולים: ריסוס חד פעמי וריסוס שבועי (סה"כ 5 ריסוסים), כאשר הריסוס הראשון התבצע יום לפני האילוח בפתוגן. חומרת הנגיעות במחלה הוערכה מידי 3-5 ימים במשך 30 ימים (איור 22). מתוצאות הניסוי ניתן לראות כי יישום התכשירים הן בריסוס שבועי והן בריסוס חד פעמי הפחית את חומרת המחלה באופן מובהק ביחס לביקורת. כמו כן יישום שבועי של התכשירים גרם לחומרת המחלה נמוכה יותר לעומת יישום חד פעמי ויעילות ההדברה הייתה בטווח בין 55-83% לעומת 15-50%, בהתאמה (טבלה 18). לא נצפו הבדלים מובהקים בין המינונים השונים של החמרים, לדוגמה ביישום טימורקס בריכוז 1% חומרת המחלה הייתה דומה לזו של 2%, אך בריכוז הגבוה (2%) הופיעו צריבות על גבי העלים, תופעה דומה נצפתה גם בטימורקס גולד (0.5%).



**איור 22:** השפעת תמציות צמחים ביישום חד פעמי (א') ושבועי (ב') על התפתחות מחלת קימחון העגבנייה על גבי צמחי עגבנייה מזן 1402 לאחר 30 ימים מאילוח. הקווים האנכיים מייצגים את שגיאת התקן.

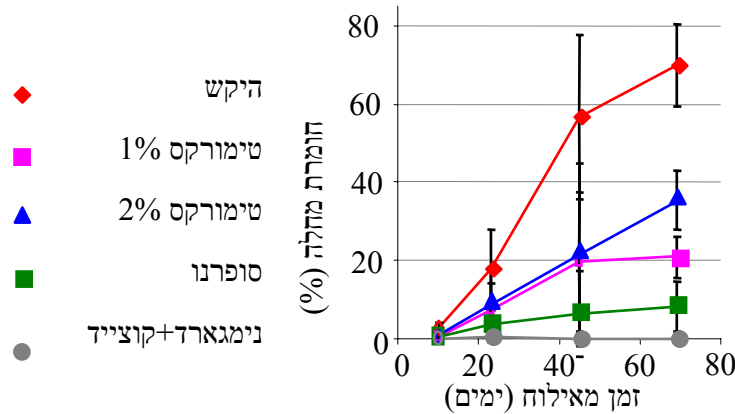
**טבלה 18:** התפתחות מחלת הקימחון *Oidium neolycopersici* בצמחי עגבנייה מזן 1402 לאחר טיפול חד פעמי ושבועי בתמציות צמחים ויעילות ההדברה (בערכי AUDPC) בעגבנייה במשך 30 ימים.

יעילות הדברה (%)	חומרת מחלה בתום הניסוי (% כיסוי עלים)	יעילות הדברה (%)	חומרת מחלה (AUDPC)	טיפול	
	a	72.6	a	היקש	
38.5	abcd	44.6	55	def	1000.1
					449.4
11.8	e	64.0	50	cd	499.2
					446.7
6.3	abc	68.0	55	de	446.7
					604.2
27.8	bcde	52.4	40	def	604.2
					377.7
34.2	de	47.8	62	ef	377.7
-3.8	a	75.4	27	bc	733.5
29.7	cde	51.0	66	f	338.3
-1.3	a	72.7	15	b	845.6
67.5	f	23.6	83	g	167.0
2.7	ab	70.6	46	de	524.2

AUDPC – השטח שמתחת לעקום התפתחות המחלה במשך 30 ימים. בכל טור, אותיות שונות מציינות טיפולים השונים זה מזה באופן מובהק ( $P \leq 0.05$ ), על פי מבחן Tukey HSD.

בניסוי חממה בתנאים חצי מסחריים נבדקה יעילותם של תכשירים ניסיוניים המבוססים על תמציות צמחים וכאלו המורשים לשימוש בחקלאות האורגנית כנגד קימחונות. צמחים מזן 1912 רוססו מידי שבוע בתכשירים (סה"כ 9 ריסוסים). האילוח בפתוגן במקרה זה היה אילוח טבעי כתוצאה מנוכחות הפתוגן באזור. חומרת הנגיעות במחלה הוערכה מידי שבוע-שלושה שבועות במשך 70 ימים (איור 23). מתוצאות הניסוי ניתן לראות כי יישום התכשירים

בריסוס שבועי הוריד את חומרת המחלה באופן מובהק ביחס לביקורת (טבלה 19), פרט לריסוס בטימורקס 2% שחומרת המחלה בו לא הייתה מובהקת ביחס לביקורת. חומרת המחלה הנמוכה ביותר נצפתה בשילוב של נימגארד וקוצייד, שילוב שני חמרים אלו נמצא כיעיל נגד מחלת הכימשון *P. infestans* (שטיינברג, 2005).



**איור 23:** השפעת תמציות צמחים ביישום שבועי בתנאים חצי מסחריים על התפתחות מחלת הקימחון בעגבנייה על גבי צמחים מזן 1912 לאחר 70 ימים מאילוח טבעי. הקווים האנכיים מייצגים את שגיאת התקן.

**טבלה 19:** התפתחות מחלת הקימחון *Oidium neolycopersici* בצמחי עגבנייה מזן 1912 לאחר טיפול שבועי בתמציות צמחים ויעילות ההדברה (בערכי AUDPC) בעגבנייה במשך 70 ימים.

טיפול	חומרת מחלה (AUDPC)	יעילות הדברה (%)
היקש	2482.3	a
טימורקס 1%	836.4	b
טימורקס 2%	1082.3	ab
סופרנו	318.0	c
נימגארד + קוצייד	4.3	d

AUDPC – השטח שמתחת לעקום התפתחות המחלה במשך 70 ימים. בכל טור, אותיות שונות מציינות טיפולים השונים זה מזה באופן מובהק ( $P \leq 0.05$ ), על פי מבחן Tukey HSD.

#### 5.4 בחינת אמצעי הדברה משולבת כדרך להתמודדות עם המחלה

צמחים מזן 1402 נחלקו למספר טיפולים (טבלה 23). חומרת הנגיעות במחלה הוערכה מידי 3-5 ימים במשך 27 ימים. מתוצאות הניסוי ניתן לראות כי כמעט כל הטיפולים הפחיתו את חומרת המחלה הן ב  $24 \pm 1$  מ"צ וב  $26 \pm 1$  מ"צ (טבלה 23) וטווח יעילות ההדברה היה בין 6.9-71.8% ו-22.2-84.5%, בהתאמה. חומרת המחלה ב  $26$  מ"צ הייתה נמוכה באופן מובהק לעומת  $24$  מ"צ (טבלה 23). בריכוזים גבוהים של טימורקס גולד ונימגארד נמצא כי חומרת המחלה הייתה נמוכה יותר, אם כי בריסוס נימגארד במינון הגבוה הייתה גבוהה לעומת הריסוס המופחת (טבלה 25). לא נמצא הבדל מובהק בין ריסוס חד פעמי ביום האילוח לשני ריסוסים הן ב  $24$  מ"צ וב  $26$ , פרט ל Y16 ב  $26$  מ"צ שבשני ריסוסים יעילות ההדברה עלתה מ  $51.2$  ל  $60\%$  (טבלה 24, 25). לא נמצא הבדל מובהק בין יישום משולב של התכשירים במינון מופחת והמיקרואורגניזמים ליישום במינון מופחת אם כי ב Y16 חומרת המחלה ירדה.

**טבלה 23:** השפעת טיפול במיקרואורגניזמים ובתמציות צמחים בשתי טמפרטורות על חומרת מחלת קימחון בעגבנייה ויעילות ההדברה (בערכי AUDPC) בעגבנייה במשך 27 ימים.

26±1		24±1		טיפול
יעילות הדברה (%)	חומרת מחלה (AUDPC)	יעילות הדברה (%)	חומרת מחלה (AUDPC)	
	512.2		a 710.6	היקש
84.5	cd 110.4	49.6	ef 365.6	נימגארד 1%
70.6	h 150.3	71.1	gh 205.4	נימגארד 0.5%
42.8	h 293.0	58.2	fg 297.0	טימורקס גולד 0.5
36.1	h 327.0	48.4	ef 366.4	טימורקס גולד 0.25%

AUDPC – השטח שמתחת לעקום התפתחות המחלה במשך 27 ימים. בכל טור, אותיות שונות מציינות טיפולים השונים זה מזה באופן מובהק ( $P \leq 0.05$ ), על פי מבחן Tukey HSD.

**טבלה 24:** ניתוח שונות דו גורמי של התכשירים המבוססים על תמציות צמחים והטמפרטורה על חומרת מחלת קימחון העגבנייה.

	טמפרטורה × תמציות צמחים	טמפרטורה	תמציות צמחים
	$P=0.0001$	$P=0.0001$	$P=0.0001$
c	נימגארד 1% 24 מ"צ		
f	נימגארד 1% 26 מ"צ		
de	נימגארד 0.5% 24 מ"צ		
ef	נימגארד 0.5% 24 מ"צ		
cd	טימורקס גולד 0.5% 24 מ"צ		
ef	טימורקס גולד 0.5% 26 מ"צ		
c	טימורקס גולד 0.25% 24 מ"צ		
c	טימורקס גולד 0.25% 24 מ"צ		
a	היקש 24 מ"צ		
b	היקש 26 מ"צ		

## דיון ומסקנות

מהלך התפתחות מחלה באוכלוסיית צמחים נקרא מגפה. בתהליך המגפה מעורבות אוכלוסיות הפתוגן - מחולל המחלה, ושל הפונדקאי הנגוע בה. התהליך מושפע מתנאי סביבה ביוטיים וא-ביוטיים, מפעילות האדם, ובייחוד מאלה האגרוטכניות. אפידמיולוגיה הוא מדע העוסק בהתפתחות מגפות וביחסי הגומלין שבין הפתוגן הפונדקאי, הסביבה והאדם. למחקר האפידמיולוגי שני היבטים - בסיסי ויישומי. מטרת המחקר היא להבין, להגדיר ולכמת את העקרונות הקשורים בתהליך המגפה. הבנת העקרונות מאפשרת לפתח גישות מעשיות להדברה מושכלת של מחלות ולצמצום הנזק הנגרם מהתפתחותן.

המידע האפידמיולוגי נאסף בתצפיות, בניסויי שדה ובמעבדה. ניסויי המעבדה נעשים בעיקרם במיתקנים מבוקרים, למשל בחדרי גידול המכוונים למשטרים שונים של תנאי סביבה, כגון טמפרטורה, לחות ומשך תקופת האור (פוטופריודה). בתנאים אלה מבררים את השפעות תנאי הסביבה על הפתוגן ואת תגובת הפונדקאי. אולם ניסויי המעבדה אינם חלופה לניסויים ותצפיות שדה. באלה האחרונים מתארים את אופי המגפה בתנאי סביבה טבעיים. צרוף המידע שמקורו במעבדה עם המידע שנרכש בשדה מאפשר לכמת את חומרת המחלה ואת הנזק הנגרם ליבול (שטיינברג ורתם, 1988).

### אפיון התנאים המעודדים את שלבי המחלה השונים

#### 1. נביטת נבגים והתארכות נחשון נביטה

פתוגנים מסדרת הקימחונות הם פתוגנים אקטופרזיטים ובשלב הנביטה הנבג אינו חודר לרקמת הצמח, כך שהוא חשוף לתנאי הסביבה (פלטי, 1988). תנאים מגבילים בשלב זה, יכולים למנוע את השלמת מחזור החיים של הפתוגן בפונדקאי ובכך למנוע את ההדבקה (Whipps and Budge, 2000), לכן נבדקה השפעת גורמים א-ביוטיים: טמפרטורה, לחות יחסית ותאורה וגורמים ביוטיים: מיקום העלה בצמח וזן הצמחים על שעור הנביטה והתארכות נחשון הנביטה של נבגי *O. neolycopersici* על גבי עלי עגבנייה מנותקים. תהליך הנביטה בקימחון העגבנייה מתרחש 3-5 שעות לאחר האילוח (Jones et al., 2001), אם כי נביטה מקסימאלית נצפתה ב *O. lycopersici* אחרי 24 שעות (Fletcher et al., 1988) לכן הוחלט כי משך ההדגרה בניסויי הנביטה במחקר זה יהיה 24 שעות.

#### 1.1 השפעת הטמפרטורה על הנביטה והתארכות נחשון הנביטה

הקימחונות מתפתחים בטווח רחב של טמפרטורות. הטמפרטורות המיטביות לנביטה לרוב המינים הן 15-25 מ"צ ובדרך כלל דומות לטמפרטורות המיטביות לצמיחת הפונדקאי (פלטי, 1988). מתוצאות הניסוי נמצא כי טווח הנביטה המיטבי לנבגי קימחון העגבנייה היה 15-30 מ"צ וכי הטמפרטורה המיטבית הייתה 25 מ"צ. בטמפרטורות גבוהות או נמוכות יותר, נצפתה נביטה בשיעור נמוך יותר. ממצאים אלו דומים לאלו שנתקבלו בקימחון החלבוב (*Oidium* sp.) (Celio and Hausbeck, 1998), בקימחונית (*L. taurica*) (Patly, 1988; Elad et al., ), בקימחון הגפן (*Uncinula necator*) (Delp, 1954), בקימחון הורד (*Sphaerotheca pannosa* var. *rosae*) (Xu, 1999) וב- (*O. lycopersici*) (Fletcher et al., 1988). הטמפרטורה המיטבית לנביטת הנבגים בקימחונות אלו הייתה 25 מ"צ ובטמפרטורות גבוהות יותר נמצאה ירידה בשיעור הנביטה עד כדי הפסקת התהליך.

המסקנה העיקרית מחלק זה של המחקר היא שחשיפת הנבגים לטמפרטורות הגבוהות מ 30 מ"צ פוגעת בחיוניות הפטרייה בשלב הנביטה ובהתארכות הנחשון (Delp, 1954).

## 1.2 השפעת הלחות היחסית על הנביטה והתארכות נחשון הנביטה

בקימחונות שלא כמו בפטריות אחרות תכולת המים בנבג גבוהה ביותר ותלותם בלחות הסביבה לצורך נביטה נמוכה בהשוואה לפטריות אחרות (פלטי, 1998; Jarvis *et al.*, 2002). נביטת נבגים של *O. lycopersici* יכולה להתרחש בטווח לחות יחסית של 65-100% אך המיטבית הייתה ב 95%, בעוד שב 100% כתוצאה מנוכחות מים חופשיים על גבי הרקמה הצמחית נצפתה ירידה באחוזי הנביטה (Fletcher *et al.*, 1988; Whipps and Budge, 2000). בעבודה הנוכחית נצפתה עלייה מערכית בשיעור הנביטה של נבגי קימחון העגבנייה החל מלחות יחסית של 33%, כאשר שיעור הנביטה המרבי (30%) התקבל בתנאי לחות יחסית גבוהה מאוד - 99% והוא היה גבוה באופן מובהק ביחס ליתר הלחות שנבדקו. תוצאה דומה נצפתה בבחינת התארכות נחשון הנביטה של הנבגים. ממצאים אלו דומים לאלו שנתקבלו בקימחון החלבוב (*Oidium* sp.) (Celio and Hausbeck, 1998), בקימחון התות (*Sphaerotheca macularis*) (Amsalem *et al.*, 2006) ובקימחונית (*L. taurica*) (Fletcher *et al.*, 1988; Palti, 1988; Caesar and Clerk 1985a,b; Elad *et al.*, 2007) וב *O. lycopersici* (1988) בהם הלחות היחסית המיטבית לנביטת נבגים אלו גבוהה מ 95%, ללא נוכחות מים חופשיים על הרקמה, והתארכות נחשון הנביטה הייתה מרבית ב 100% (Kenyon *et al.*, 2002). לעומת זאת שיעור נביטת נבגי קימחון הגפן (*U.necator*) היה מרבי בלחות יחסית של 84-87% ובאחוזים גבוהים יותר של לחות חלה ירידה באחוזי הנביטה (Carroll and Wilcox, 2003).

### 1.1.3 השפעת עוצמת התאורה על הנביטה והתארכות נחשון הנביטה

תהליך הנביטה אורך מס' שעות שבמהלכן חשוף הנבג לעוצמות אור משתנות. מתוצאות הניסוי נמצא כי אחוז הנביטה הגבוה ביותר (כ- 36%), התקבל בהדגרת הנבגים בחושך מוחלט ואילו בעוצמות האור הגבוהות התקבל שיעור נביטה נמוך יותר. תוצאות דומות התקבלו בקימחון התות (*S. macularis*) (Amsalem *et al.*, 2006) לעומת זאת נביטת הנבגים של *E. polygoni* ושל *E. beta* הייתה טובה יותר באור (Butt, 1978). נביטת נבגים של *O. neolycopersici* הייתה טובה יותר באור וככל שעוצמת האור הייתה נמוכה יותר ירד שיעור הנביטה (Kashimoto *et al.*, 2003), אם כי בניסוי זה לא נבדקה הנביטה בתנאי חושך מוחלט. ההסבר אפשרי לתופעה הוא שמקור ההבדלים הוא בתבדידים שונים של קימחון.

### 1.1.4 השפעת מיקום העלה על הנביטה והתארכות נחשון הנביטה

בתהליך יצירת הפרח והפרי, הצמח מפנה את עיקר המוטמעים לעברם וכתוצאה מכך רגישות הרקמות המבצעות פוטוסינתזה עולה (Jarvis *et al.*, 2002). מאחר והקימחון הוא פרזיט אובליגטורי, כלומר הוא משתמש במוטמעים מהצמח לצורך התפתחותו, ייתכן ושינויים אלו ישפיעו על הפתוגן ועל התפתחות המחלה, לכן נבדקה השפעת מיקום העלה על שיעור הנביטה של הנבגים ואורך נחשון נביטה. הבדל מובהק נמצא בנביטת הנבגים על גבי עלים שמתחת לפרי (כ 15% נביטה) לעומת העלים האחרים- בוגר, בינוני, תחתון ומתחת לפרח בהם טווח הנביטה היה 29-38%. תוצאות אלה דומות לממצאים בקימחונית הפלפל (*L. taurica*), בה נמצא כי בשלב יצירת



הפרי, צמחי הפלפל רגישים יותר לפתוגן (Palti, 1988). לא נמצא ידע ספרותי המתאר את השפעת מיקום העלה על התארכות נחשון הנביטה.

המסקנה העיקרית מחלק זה של המחקר היא שבשלבים מסוימים בהתפתחות הצמח, הוא רגיש יותר לנוכחות הפתוגן, ומכאן חשיבות הידע במניעת המחלה אם כי יש לבצע ניסויים נוספים להבנת המנגנון.

### 1.1.5 בדיקת זן הפונדקאי והתארכות נחשון הנביטה

שיטה מקובלת להקטנת השימוש בחמרי ההדברה היא שימוש בזנים בעלי עמידות או סבילות לפתוגן (פלטי, 1988ב). נבדקה השפעת זן העגבנייה על שעור הנביטה והתארכות נחשון הנביטה. לא נמצא הבדל מובהק באחוזי הנביטה בין הזנים המסחריים השונים, ובנוסף לא נמצא הבדל בהתארכות נחשון הנביטה. נראה שבמידה ויש הבדל בחומרת המחלה בזנים שונים, ההבדל אינו נובע מהשפעת הזן על נביטת נבגים. תוצאות אלו תואמות לעובדה שכיום לא ידוע על זן מקומי בעל עמידות לקימחון העגבנייה (זידאן, 2001).

### 1.2 ייצור כרית ההצמדה-אפרסוריום

בקצה נחשון הנביטה נוצרת כרית ההצמדה (אפרסוריום) שתפקידה להיצמד לשטח העלים. כרית ההצמדה נוצרת בד"כ מעל מקום חיבורם של שלושה תאי אפידרמיס של העלה וממנו גדל קור הדבקה החודר לעלה ויוצר האוסטוריה להזנה על תאיו (Jones *et al.*, 2000). זהו שלב נוסף במחזור חיי הפטרייה שאינו חודר לצמח ומשפיע על יכולת ההדבקה של הפתוגן, ולכן נבדקה השפעת גורמים א-ביוטיים: טמפרטורה, לחות יחסית, תאורה וגורמים ביוטיים: מיקום העלה בצמח וזן על גבי עלי עגבנייה מנותקים.

היווצרות כרית ההצמדה הינה ממושכת יותר מיצירת נחשון הנביטה והתארכותו. תהליך יצירת כרית ההצמדה בקימחון העגבנייה מתרחש 6-8 שעות לאחר האילוח (Jones *et al.*, 2001) ייצור מקסימאלי של אפרסוריום ב *O. neolycopersici* התקבל לאחר 24 שעות הדגרה (Kashimoto *et al.*, 2003), אך מאחר ומשך הנביטה בניסוי נקבע על 24 שעות, הוחלט כי משך היווצרות האפרסוריום יהיה ממושך יותר - 36 שעות.

### 1.2.1 בדיקת השפעת הטמפרטורה על ייצור אפרסוריום

הקימחונות מתפתחים בטווח רחב של טמפרטורות, אך לכל שלב במחזור החיים יש את התנאים הספציפיים המיטיבים להיווצרותו. נמצא כי נבגים של קימחונות החלבולב (*Oidium* sp.) תלויים בטמפרטורה לצורך נביטתם, וחשיפתם לטמפרטורות גבוהות מ 30 מ"צ עיכב משמעותית את הנביטה אך לא השפיע על ייצור כרית ההצמדה (Celio and Hausbeck., 1998). בניגוד לכך, במחקר הנוכחי נמצא כי ייצור כרית ההצמדה תלוי בטמפרטורה וכי ייצור מרבי של כרית ההצמדה, עד כדי 20%, נצפה בתחום הטמפרטורות שבין 20 ל- 30 מ"צ. בטמפרטורות גבוהות או נמוכות יותר, נצפה ייצור כריות ההצמדה בשיעור נמוך יותר. תופעה דומה נצפתה בנבגי קימחון המנגו (*Oidium mangiferae*), בהם ייצור האפרסוריום היה בטווח טמפרטורות 10-30 מ"צ כאשר הטמפרטורה המיטבית הייתה ב 25 מ"צ (Verma *et al.*, 1996), וב *E. betae* (Drandarevski, 1978).

### 1.2.2 בדיקת השפעת הלחות היחסית על ייצור אפרסוריום

בבדיקת השפעת הלחות על ייצור כרית ההצמדה של נבגי *O. neolycopersici*, נמצא כי בטווח הלחות הנמוכות (7-33%) הייתה עלייה מעריכית, בעוד עם העלייה באחוזי הלחות היחסית (55-99%) לא נצפה הבדל מובהק בשיעור ייצור כרית ההצמדה והוא היה גבוה מ-25%. בניגוד לכך ב *E. betae*, ייצור האפרסוריום היה גבוה בצורה מובהקת ב-100% לחות יחסית לעומת לחויות נמוכות יותר (Drandarevski, 1978). ייצור מיטבי של כרית הצמדה בקימחון המנגו (*O. mangiferae*) נצפה בלחות יחסית גבוהה (92%) (Verma et al., 1996).

### 1.2.3 בדיקת השפעת עוצמת התאורה על ייצור אפרסוריום

בבדיקת השפעת עוצמת האור על ייצור כרית ההצמדה של נבגי *O. neolycopersici*, נמצא כי אחוז ייצור כרית ההצמדה הגבוה ביותר (כ-30%), התקבל בהדגרת הנבגים בעוצמת אור בינונית (1750 לוקס) והוא היה גבוה באופן מובהק לעומת העלים ששהו בחושך מוחלט בהם שיעור ייצור כרית ההצמדה היה כ-20%. תוצאות דומות נמצאו בקימחון השעורה ובקימחון הסלק *E. betae* בו ייצור האפרסוריום באור היה גבוה באופן מובהק לעומת בעוצמות אור נמוכות ובחושך (Drandarevski, 1978; Jenkyn and Bainbridge., 1978). בניגוד לכך נמצא כי בקימחון הרודודנדרון (*Erysiphe* sp.) שיעור ייצור כרית ההצמדה היה גבוה בחושך לעומת תנאי הארה מתמשכים (Kenyon et al., 2002).

### 1.2.4 בדיקת השפעת מיקום העלה וזן הצמח על ייצור אפרסוריום

בבדיקת השפעת עלים ממיקום שונה בזנים השונים משפיעים על ייצור כרית ההצמדה של נבגי *O. neolycopersici*, נמצא כי ייצור האפרסוריום בעלים התחתונים והבינוניים היה גבוה יותר (16-30%) לעומת העלים הצעירים (7.8-14.7%), אך לא נצפה הבדל מובהק בין הזנים. לא נמצא ידע ספרותי המתאר את השפעת מיקום העלה על ייצור האפרסוריום.

## 1.3 השפעה על כושר ייצור הנבגים

עם המעבר מהשלב הוגסטיבי לשלב הרפרודוקטיבי, (האל-מיני) הפטרייה מתפתחת על פני הצמח ומייצרת נבגים חדשים המופצים במרחב היוצרים אירועי הדבקה נוספים. ייצור ושחרור הנבגים מושפע ממהירות הרוח, גשמים, טמפרטורות, לחות יחסית ועוצמת הקרינה (Byrne et al., 2000) ולכן בניסויים אלו נבדקה השפעת גורמים א-ביוטיים: טמפרטורה, לחות יחסית ותאורה וגורמים ביוטיים: מיקום העלה בצמח על שעור הנביגה ב *O. neolycopersici* על גבי צמחי עגבנייה שלמים.

### 1.3.1 השפעת הטמפרטורה על כושר ייצור הנבגים

הקימחונות מתפתחים בטווח רחב של טמפרטורות. הטמפרטורות המטיבות לנביגה לרוב המינים הן 15-25 מ"צ, ובדרך כלל דומות לטמפרטורות המיטיבות עם צמיחת הפונדקאי (פלטי, 1988א). לא נמצא הבדל מובהק בייצור הנבגים לאורך תקופת הניסוי בין שלושת הטמפרטורות שנבדקו 16, 20 ו-26 מ"צ. בדיקת השפעת הטמפרטורה על חומרת המחלה לא נצפתה מחלה כלל ב-28 מ"צ כך שניתן להסיק שבטמפרטורה הגבוהה מהאופטימום הייתה

ירידה בעוצמת ההנבגה. תוצאות דומות נתקבלו ב *E. polygoni* (Butt, 1978), כמו כן ייצור הנבגים בקימחון השעורה *E. graminis* ב 25 מ"צ היה נמוך ב 75% מהטמפרטורה המיטבית 20 מ"צ (Butt, 1978).

### 1.3.2 השפעת הלחות היחסית על כושר ייצור הנבגים

הקימחונות רגישים לשינויים בלחות היחסית דוגמה לכך, היא שבשעות הבוקר המוקדמות לא מתקיים שחרור נבגים בשל נוכחות מים חפשיים שמקורם בטל על שטח פני העלה. המים פוגעים לעיתים בחיוניות הנבג והם מונעים את שחרור הנבגים מנושא הנבגים ונמנעת הפצתם במרחב (פלטי, 1998; Jarvis *et al.*, 2002). בלילה, הן בשל אחוזי הלחות הגבוהים והן בשל תנועת אוויר חלשה, שחרור הנבגים מועט ועיקר השחרור מתבצע אחר הצהריים בשל תנאי הלחות הנמוכים והרוח החזקה (Schoeman *et al.*, 1995; Matsuda *et al.*, 2006). ואכן במחקר הנוכחי נמצא כי לחות יחסית גבוהה פגעה בכושר ייצור הנבגים, בשתי הלחות הנמוכות יותר (70-75% כמות נבגי קימחון העגבנייה שנוצרה עם הזמן עלתה ולא נצפה הבדל מובהק בין שתי הלחות. תוצאות דומות נצפו בקימחון התות (*S. macularis*) (Amsalem *et al.*, 2006) ובקימחון התפוח (*Podospaera leucotricha*) (Butt, 1978). לעומת זאת נמצא כי תהליך ההנבגה בקימחון השעורה (*E. graminis*) דורש לחות יחסית גבוהה ביותר - 100% (Butt, 1978), ואילו קימחון הסלק *E. betae* זקוק ללחות יחסית נמוכה 30-40% ובלחות גבוהות יתר (>60%) קצב ייצור הנבגים מואט (Drandarevski, 1978).

### 1.3.3 השפעת עוצמת האור על כושר ייצור הנבגים

תהליך הנביגה בחלק מהקימחונות מושפע מעוצמת האור, נבגים של קימחון החלבוב (*Oidium* sp.) הנוצרים באור משוחררים במהרה בניגוד לאלה הנוצרים בלילה שנמצאים במצב "לא בשל" ומשוחררים רק עם חשיפתם לאור (Bryne *et al.*, 2000). בניסוי מעבדה בתנאי הארה פלורוסנטית במשך 12 שעות אור ו 12 שעות חושך, כמות הנבגים של קימחון הטבק (*E. cichoracearum*) הייתה גבוהה באור יותר מזו שבחושך (Cole, 1978). לעומת קימחון הרודודנדרון (*Erysiphe* sp.) בו נוצרו פחות נבגים בעוצמות אור גבוהות (Kenyon *et al.*, 2002). במחקר זה נמצא כי כושר ייצור הנבגים בקימחון העגבנייה בעוצמת אור גבוהה היה גבוה באופן מובהק לעומת עוצמת האור הבינונית (1750 לוקס) והנמוכה (480 לוקס) החל מהיום השביעי לתחילת הניסוי. התוצאות עלולות לנבוע מהשפעה ישירה של התאורה על הפתוגן, או מהשפעה עקיפה, באמצעות השפעה על הצמח, שבעקבותיה חלים שינויים, המשפיעים על רגישותו למחולל המחלה.

### 1.3.4 השפעת מיקום העלה והטמפרטורה על כושר ייצור הנבגים

במטרה לבדוק האם יש הבדל בין עלים בגילאים שונים בייצור הנבגים של *O. neolycopersici*, נחלקו צמחי העגבנייה יום לפני הופעת הסימפטומים לשתי טמפרטורות, 24 ו 26 מ"צ, כאשר עוצמת האור בתאים הייתה 5150 לוקס והלחות היחסית 70-75%. בניתוח שונות זו גורמי נמצא כי הטמפרטורה השפיעה בצורה מובהקת על כושר ייצור הנבגים בעוד מיקום העלים לא השפיע. לא נמצא ידע ספרותי המתאר את השפעת מיקום העלה על כושר ייצור הנבגים.

## 2. תנאים להתפתחות מחלה- ניסויים בתאי גידול

התפתחות הקימחון על הפונדקאי תלויה בסוג הצמח והשלב הפנולוגי שלו, ופגיעתו שונה בחלקי צמח שונים. (פלטי, 1998; Jarvis *et al.*, 2002). בניגוד לפתוגנים של הקרקע, פתוגנים המתפתחים בנוף, כדוגמת קימחונות, חשופים לתנודות של מזג האוויר ומגיבים במהירות על השינויים הסביבתיים למיניהם (Whipps *et al.*, 2000). מזג האוויר משפיע גם על הפונדקאי ועשוי לקבוע את תגובתו לפתוגן (הגברה של עמידות, או להפך, רגישות) ובכך להשפיע על המגפה (שטיינברג ורתם, 1988).

עיקר גידול העגבניות לצריכה פרטית מתקיים בחממות ובבתי רשת בעוד גידול העגבניות לתעשייה מתבצע בשטחים הפתוחים (זידאן, 2001). תנאי הסביבה המצויים בחממות ובמיוחד הטמפרטורה והלחות היחסית מטיבים עם התפתחות הקימחון. בשדה על אף התנאים, שאינם מטיבים עם הפתוגן, מתפתחת המחלה וזאת בגלל תופעת הפיצוי: גורמים המצויים ברמה מיטבית מפצים על נוכחות גורמים אחרים, המצויים ברמה גבולית (שטיינברג ורתם, 1998). בניסויים נבדקה השפעת גורמים א-ביוטיים: טמפרטורה, לחות יחסית ותאורה וגורמים ביוטיים: מיקום העלה וזן הצמח על התפתחות מחלת קימחון העגבנייה בצמחים שלמים.

### 2.1 השפעת הטמפרטורה על חומרת המחלה

הקימחונות מתפתחים בטווח רחב של טמפרטורות ובדרך כלל דומות לטמפרטורות המיטיבות עם צמיחת הפונדקאי. הטמפרטורות בארץ נוחות בדרך כלל, והן מתאימות להתפתחות מרבית הקימחונות (פלטי, 1988). במטרה לבדוק האם הטמפרטורה משפיעה על התפתחות המחלה בצמחי עגבנייה בוצעו שני ניסויים. בניסוי הראשון נמצא כי הטמפרטורה השפיעה בצורה מובהקת על חומרת המחלה וכי ב 22 מ"צ נצפתה חומרת המחלה הגבוהה ביותר לעומת 18 ו 28 מ"צ. מתוצאות הניסוי נמצא כי עקומת התפתחות המחלה בקימחונות אינה ליניארית ונמצא כי חומרת המחלה הייתה נמוכה יותר כאשר הטמפרטורה הייתה מתחת ומעל האופטימום. בניסוי זה נמצא כי בתנאים קבועים של 28 מ"צ לא התפתחה המחלה כלל. הסבר אפשרי לכך הוא שבטמפרטורות גבוהות שיעור הנביטה היה נמוך, יתכן בשל ירידה בחיוניות הנבגים, בנוסף יש לטמפרטורות גבוהות השפעה עקיפה על הצמח הפונדקאי. טמפרטורות גבוהות מיטיבות עם התפתחות הצמח לעומת טמפרטורות נמוכות כך שעמידותו כנגד הפתוגן עולה (Xu, 1999). תוצאות אלו מנוגדות למחקר שנעשה על *O. lycopersici* בו נמצא כי טווח הטמפרטורות להתפתחות המחלה היה בין 10-35 מ"צ (Douglas, 2003). תוצאות דומות התקבלו במחקר שנעשה על *E. polygoni* שהשווה את חומרת המחלה בין שתי טמפרטורות 24 ו 28 מ"צ ומצא כי בטמפרטורה הגבוהה היה עיכוב בהתפתחות המחלה (Butt, 1978).

מטרת הניסוי השני הייתה לבדוק מהי הטמפרטורה המיטבית להתפתחות הקימחון. מתוצאות הניסוי נמצא כי חומרת המחלה הגבוהה ביותר הייתה ב 24 מ"צ, שנבדלה באופן מובהק מ 20, 22 ו- 26 מ"צ. תוצאות אלו דומות לאלו שנצפו בקימחון הורד (*S. pannosa*) בו התפתחות מיטבית של המחלה הייתה בין 22-24 מ"צ ובקימחונות (*L. taurica*) בה חמרת המחלה הייתה גבוהה ב 25 מ"צ ומעל לטמפרטורה זו נצפתה ירידה בחומרת המחלה (Guzman *et al.*, 2003; Palti, 1988).

המסקנה מחלק זה של המחקר היא שהטמפרטורה להתפתחות הפתוגן דומות לאלו של הפונדקאי. תנאי הטמפרטורה המטיבים עם התפתחות העגבנייה נמצאים בטווח 22-26 מ"צ (זידאן, 2001) וכך גם תנאי הטמפרטורה המתאימים להתפתחות קימחון העגבנייה.

## 2.2 השפעת הטמפרטורה על חומרת המחלה

גידול העגבניות מתבצע בתנאי לחות יחסית גבוהה, מידע אודות השפעת הלחות היחסית על התפתחות קימחון בעגבנייה יכול לעזור למגדלים לבקר את המחלה במבנים השונים. נמצא כי לחות יחסית נמוכה (<40%) ולחות יחסית גבוהה (95%) מעכבת את התפתחות *O. lycopersici*, בעוד שלחות בינונית 60-80% מזרזת את התפתחותה (Whipps and Budge, 2000; Lindhout *et al.*, 1994). בניגוד לכך מחקר אחר שנעשה על הפטרייה דיווח כי המחלה התפתחה בלחות גבוהה מ 50% אם כי הלחות המיטבית הייתה 90% (ללא נוכחות מים חפשיים) (Douglas, 2003). במחקר זה נמצא כי חומרת המחלה ב 99% הייתה נמוכה מאוד ולעומתה נמצא כי ב 70-75% חומרת המחלה הייתה גבוהה באופן מובהק לעומת 80-85% ו 99%. תוצאות דומות נתגלו גם בקימחון הגפן (*U. necator*) (Carrol and Wilcox, 2003).

המסקנה מחלק זה של המחקר היא הלחות היחסית להתפתחות הפתוגן דומות לאלו של הפונדקאי. תנאי הלחות היחסית המטיבים עם התפתחות העגבנייה נמצאים בטווח 60-80% מ"צ (זידאן, 2001) וכך גם תנאי הטמפרטורה המתאימים להתפתחות קימחון העגבנייה.

## 2.3 השפעת התאורה על חומרת המחלה

הקימחונות מתפתחים בדרך כלל טוב יותר בתנאי צל לעומת אור ישיר. השפעת האור על הקימחון עצמו אינה קבועה, ונראה כי עיקר ההשפעה היא על עמידות הצמח אשר פוחתת עם ירידת קצב הפוטוסינתזה. תנאי הצל משפיעים גם על המיקרואקלים על פני העלווה, ע"י הורדת הטמפרטורה והעלאת הלחות המסייעים להתפתחות הקימחון (Jarvis *et al.*, 2002). ואכן, נמצא כי רשת הצללה, המפחיתה את עוצמת האור, האיצה את הופעת קימחון הדלועיים בקישוא (*Podosphaera xanthii*) והגבירה את חומרת הנגיעות בצמחים בעלי עמידות חלקית ובצמחים רגישים (Leibovich *et al.*, 1996). לעומת זאת בבדיקת השפעת רשתות הצללה על קימחונית הפלפל (*L. taurica*) נמצא כי רשתות הצללה השונות הפחיתו את חומרת המחלה (מסיקה וחוב, 2001; Elad *et al.*, 2007).

בבדיקת השפעת עוצמת התאורה משפיעה על התפתחות המחלה בצמחי עגבנייה נמצא כי עוצמת התאורה השפיעה בצורה מובהקת על חומרת המחלה וכי בעוצמת האור הגבוהה ביותר (5150 לוקס) חומרת המחלה הייתה הגבוהה ביותר בצורה מובהקת לעומת שתי הרמות האחרות. התוצאות עלולות לנבוע מהשפעה ישירה של התאורה על הפתוגן, או מהשפעה עקיפה, באמצעות השפעה על הצמח, שבעקבותיה חלים שינויים, המשפיעים על רגישותו להדבקה ע"י מחולל המחלה או להתפתחות המחלה.

## 2.4 השפעת גיל עלה על חומרת המחלה

התפתחות הקימחון על הפונדקאי תלויה בסוג הצמח והשלב הפנולוגי שלו, ופגיעתו שונה בחלקי צמח שונים (פלטי, 1998). בפונדקאים עשבוניים חד שנתיים (ירקות, דגניים, פרחים וכד') החלקים הבוגרים הם הרגישים יותר. בגיל צעיר מאד של הצמח הרגישות למחלה נמוכה מאד, בגיל ביניים יתפתח הקימחון רק בתלות בתנאי סביבה נוחים לו ובד"כ הדבר תלוי גם בכמות מדבק גבוהה. בצמחים בוגרים וגם ברקמות הבוגרות של הצמחים הרגישות לקימחון גבוהה יותר, כך שהקימחון יוכל להתפתח גם בתנאי סביבה פחות נוחים (Jarvis *et al.*, 2002). במטרה לבדוק האם ישנם הבדלים בהתפתחות המחלה בעלים ממוקום שונה בצמחי העגבנייה נמצא כי

מיקום העלה השפיע בצורה מובהקת על חומרת המחלה וכי בעלה התחתון עוצמת המחלה הייתה גבוהה יותר. בדומה לכך נמצא כי העלה התחתון והבוגר יותר בארטישוק (*Cynara cardunculus*), רגיש לקימחון בהשוואה לעלה העליון, הצעיר ממנו ולכן חומרת המחלה בו גבוהה מזו של הצעיר (Palti, 1988). המסקנה מחלק זה של המחקר היא שכנראה חומרת המחלה נמוכה יותר בעלים הצעירים בשל זמן חשיפה קצר יותר למדבק.

### 2.5 בדיקת השפעת זן הצמחים ומיקום העלים על חומרת המחלה

שיטה מקובלת להקטנת השימוש בחמרי ההדברה היא שימוש בזנים בעלי עמידות או סבילות לפתוגן (פלטי, 1988g). במטרה לבדוק האם ישנם הבדלים בהתפתחות המחלה בזנים שונים של צמחי עגבנייה התבצע ניסוי דו גורמי הבדוק את התפתחות המחלה במיקום שונה בארבעה זנים 870, 1912, 662 ו 1402. נמצא הבדל מובהק בין ארבעת הזנים, עוצמת המחלה בזן 1912 הייתה גבוהה בצורה מובהקת לעומת 1402, אם כי הבדל זה הוא קטן יחסית לאור עוצמת המחלה הגבוהה בכל הזנים. בניסוי נוסף שהשווה בין חומרת המחלה בשני זנים 1107 ו 1125 נמצא כי חומרת המחלה בזן 1125 הייתה גבוהה בצורה מובהקת לעומת 1107. תוצאה זו תואמת את הידע בשטח כי עד עתה לא קיים זן בעל עמידות מלאה/ חלקית למחלת קימחון העגבנייה (זידאן, 2001; יואל מסיקה, מידע אישי), בניגוד לגידולים כמו תות שדה בהם קיימים הבדלים מובהקים בין הזנים הרגישים לעמידים (Amsalem et al., 2006).

### 3. איתור תנאים להגבלת הדבקה והתפתחות מחלה- ניסויי שדה

#### 3.1 השפעת תנאי מיקרואקלים על חומרת המחלה

מזג האוויר משפיע על הפונדקאי ועשוי לקבוע את תגובתו לפתוגנים (הגברה של עמידות או רגישות) ובכך להשפיע על המגפה. גורמים אקלימיים נמדדים בסוכות מטאורולוגיות סטנדרטיות, אולם לא תמיד נתונים אלה משקפים בהכרח את התנאים המצויים בנוף הצמחים בשדה או בקרבת השורשים. על אלה משפיעים גורמים מיקרואקלימיים הקשורים בצפיפות הצמחים, בגודל הנוף, בכיוון הזריעה, בצפיפות השורשים, בהשקיה וכו'. בין גורמי מזג האוויר המשפיעים על הפתוגן, על הפונדקאי ועל המגפה בולטים גורמי לחות, משקעים, טמפרטורה, קרינה אולטרה-סגולית של השמש והרוח. בניתוח של גורמי מזג אוויר קשה לכמת את ההשפעה של כל גורם בנפרד. אולם דיוק המדידה אינו תמיד הכרחי, כי המגפה מתרחשת גם בתחום רחב של תנאים גבוליים. היכולת להתפתח בתנאים גבוליים נובעת מהעובדה שגורמים רבים, ולא רק אחד בלבד, משפיעים על התפתחותה (שטיינברג ורותם, 1988).

בבדיקת השפעת הטמפרטורה והלחות היחסית על קצב התפתחות מחלת קימחון העגבנייה בוצעו שלושה ניסויי שדה, באביב ובסתיו. בניסויים נמצאה חומרת מחלה גבוהה בתנאי לחות גבוהה (60-90%) ובטמפרטורות בינונית (15-25 מ"צ), מחלה בינונית נמצאה בטמפרטורות נמוכות- בינוניות ובינוניות (5-15 מ"צ) ואילו בטמפרטורות גבוהות (35-40 מ"צ) נצפתה חומרת מחלה נמוכה. תוצאות אלה תואמות את ניסויי המעבדה בהם חומרת מחלה גבוהה הייתה בטמפרטורות 22-24 מ"צ ובלחות בינונית גבוהה 70-85%, בעוד שבתנאי טמפרטורה גבוהה חומרת המחלה הייתה נמוכה. בדומה לכך נמצא כי העלאת טמפרטורות היום במבנה הפחיתה את חומרת המחלה בקימחוניית (*L. taurica*) (Elad et al., 2007).

בהשוואה בין הטמפרטורות המעכבות את המחלה בתנאי מעבדה מבוקרים לשדה ניתן לראות כי בניסויי השדה הטמפרטורות שהיו קשורות בחומרת מחלה נמוכה היו בין 35-40 מ"צ בעוד שבמעבדה הן היו נמוכות יותר (28 מ"צ). ניתן להסביר הבדלים אלו בכך בשדה על אף התנאים, שאינם מטיבים עם הפתוגן, מתפתחת המחלה וזאת בגלל תופעת הפיצוי: גורמים המצויים ברמה מיטבית מפצים על נוכחות גורמים אחרים, המצויים ברמה גבולית (שטיינברג ורתם, 1998). הסבר נוסף להבדלים בין הניסויים, הוא שמדידת הטמפרטורות בשדה נעשתה בגובה הצמח אך לא באופן ישיר על העלה. בטמפרטורות הגבוהות מ 25 מ"צ מתבצע אידוי מרקמות הצמח המוריד את טמפרטורת שטח פני העלה כך שיתכן שהטמפרטורות היו נמוכות יותר בעלה.

חומרת המחלה בעלים העליונים הייתה פחותה ביחס לנמוכים ולאמצעיים, במעבדה ובשדה כנראה בגלל חשיפה קצרה יותר של העלים הצעירים למידבק, שהופיע מאוחר יותר במהלך הגידול (Palti, 1988). כמו כן חומרת המחלה בשתילה השנייה הייתה נמוכה ביחס לראשונה באביב, כנראה בגלל חשיפה קצרה יותר בתקופה שבה הטמפרטורות מתונות יותר.

המסקנה מחלק זה של המחקר היא שמאחר וקימחון העגבנייה היא פטרייה פוליציקלית, כלומר היא יוצרת מס' אירועי הדבקה במקביל, שמירה על תנאי אקלים שאינם מטיבים עם הפטרייה, יכולה לגרום להורדת המדבק לאורך זמן בשל הפגיעה הכוללת ביחידות הריבוי של הפטרייה, או השראת עמידות לפונדקאי.

#### **4. בדיקת משך שימור המידבק על הנביטה והתארכות נחשון הנביטה**

הישרדות הפטרייה בין עונות הגידול יכולה להתקיים בצורת תפטיר על עלי הפונדקאי או על פונדקאי ביניים (Schoeman *et al.*, 1995). כיום עם המעבר לחקלאות מודרנית, צמחי העגבנייה גדלים לאורך כל ימות השנה, כך שהפטרייה יכולה להתקיים על הגידול או על שאריות צמחים בין מחזורי השתילות. תוצאות הבדיקה הראו כי פוטנציאל הנביטה ופוטנציאל התארכות נחשון הנביטה בקרב הנבגים פחת במהירות עם הזמן. בהדגרת העלים בתנאי הקיץ התקבל אחוז נביטה נמוך בחודש הראשון ולאחריו לא נצפתה נביטה כלל, בעוד שבחדשי הסתיו והחורף נמשך התהליך 4-5 חדשים, בהתאם.

המסקנה העיקרית מחלק זה של המחקר היא שלעלה נגוע פוטנציאל הדבקה לאורך תקופה ארוכה במהלך ולאחר סוף הגידול, בעיקר בחודשי האביב והחורף, ומכאן החשיבות בביצוע סניטציה וסילוק איברים נגועים מן החלקה.

#### **5. בחינת אמצעים כימיים ומיצויי צמחים כשיטות להתמודדות עם המחלה**

##### **5.1 הדברה כימית**

תכשירי הגפרית משמשים כמדבירים כימיים מוצלחים של קימחון והם מורשים בשימוש גם בחקלאות האורגנית, אולם קיימות מספר מגבלות בשימוש בגפרית ובעקבות כך פותחו תכשירים בעלי פעילות סיסטמית. עם עליית שכיחות ותדירות המחלה נעשה שימוש תכוף בהדברה כימית, כך שדווחו מס' מקרים בהם נוצרה עמידות לפונגיצייד לדוגמה, קימחון הדלועיים (Hollomon and Wheeler, 2002).

חקלאות אינטנסיבית בשילוב מונוקולטורה והתפתחות מהירה של עמידות מחייבים שימוש בכמויות ובריכוזים גבוהים יותר של תכשירים וכן שימוש במספר תכשירים בו זמנית או לחילופין.

קיימים מס' רב של תכשירים מסחריים היעילים בהפחתת חומרת המחלה בקימחונות. בניסוי נבדקה השפעה של 11 תכשירים כנגד קימחון העגבנייה, ונמצא כי ביישום שבועי של החומרים לא נצפתה המחלה אם כי בכמה מהטיפולים נצפתה תופעת הפיטוטוקסיות הנגרמת במזג אוויר חם ויבש (טמפרטורה מעל 30 מ"צ). ביישום ריסוס אחד בלבד טרם האילוח בפתוגן ירדה חומרת המחלה בעד כדי 97%. הסבר לתופעה הוא שהחומרים הכימיים כדוגמת, גופרית ועמיסטאר פוגעים בתהליך הנביטה, בעוד פונגיצידיים מקבוצת מעכבי הארגוסטרולים פוגעים בהתארכות נחשון הנביטה כדוגמת, דומארק-קומבי ונפטון (ברנד, 2002; אמסלם, 2005) כך שנגרמת פגיעה ישירה בפתוגן.

ריסוס לחלופין של תכשיר הדברה הינה דרך יעילה להדברת מחלות צמחים. שילוב של שני תכשירים עשוי להיות יעיל יותר מריסוס תכשיר אחד לאורך זמן, מאחר ותכשירים שונים פוגעים במנגנונים שונים בפטרייה הפתוגנית ובכך נמנעת התפתחות גזעים עמידים. בשל התפתחות עמידות של קימחונות לתכשירי ההדברה יש לפתח תכשירים ושיטות חדשות להדברת המחלה.

המסקנה מחלק זה של הניסוי היא שיעילות התכשירים כנגד הפתוגן הייתה טובה בתנאי המעבדה, אך יש לבצע ניסויים נוספים הבודקים את השפעת הפונגיצידיים כנגד קימחון העגבנייה בניסויים חצי מסחריים ומסחריים בתנאי אקלים שונים וייתכן כי בעתיד ניתן יהיה ליישם באופן מסחרי.

## 5.2 הדברה באמצעות תמציות צמחים

קיימים מס' תכשירים מסחריים המבוססים על תמציות צמחים כדוגמת, *(Melaleuca alternifolia)* Timorex, נימגארד *(Azadirachta indica)*, מילסנה *(R. sachalinensis)* שנבחנו ונמצא כיעילים בהפחתת חומרת המחלה בקימחונות (Daayf et al., 1995; Reuveni et al., 2006) בניסוי נבדקה השפעה של טימורקס, טימורקס גולד ונימגארד כנגד קימחון העגבנייה, ונמצא כי הם הפחיתו את חומרת המחלה הן בתנאי מעבדה מבוקרים והן בשדה בניסוי חצי מסחרי. תוצאות דומות נתקבלו בשימוש חומרים אלו כנגד קימחונות (*L taurica*) וקימחון הגפן (*U. necator*) (Konstantinidou-Doltsinis, 2006; Reuveni et al., 2006; ) (Sudha and Lakshmanan; 2007;), כמו כן מחקרים מצאו כי יישום תכשיר המילסנה נגד קימחון הבגוניה והמלפפון היה יעיל בדיכוי המחלה בהעלאת היבול בחלקות המטופלות (Herger et al, Daayf et al., 1995) (1990).

בבחינת השלב במחזור החיים עליו משפיעים התכשירים, נמצא כי תכשיר המילסנה, לא השפיע על שיעור הנביטה, אך הוא הפחית משמעותית את כמות המצצים (האוסטוריה) שנוצרו בקימחון המלפפון דבר המעיד לטענת החוקרים שמנגנון הפעולה של מילסנה הוא עמידות מושרית (Daayf et al., 1995; Wurms et al., 1999). בניגוד לכך נמצא כי אופן הפעולה של נימגארד וטימורקס הוא בעיכוב נביטת נבגי הקימחון בקימחון הגפן (*U. necator*) וקימחונות (*L. taurica*) (Sudha and Lakshmanan, 2007; Reuveni et al., 2006) כלומר קיימת פגיעה ישירה בפתוגן.

במהלך הניסוי התבצע ריסוס אחד בלבד טרם האילוח בפתוגן, וכתוצאה מכך חומרת המחלה פחתה עד כדי 50%. הסבר לכך יכול להיות שהחומרים פגעו בנביטה והסבר שני הוא עמידות מושרית. אנליזות ביוכימיות של הצמחים המטופלים במילסנה מצאו עלייה בערכי הכלורופיל, עלייה בפעילות אנזימים ובייצור אתילן (Herger



(and Klingauf, 1990) ועליה משמעותית בהצטברות מרכיבים פנוליים פונגיטוקסים בעלים נגועים שטופלו במילסנה (Daayf et al., 1995) - דבר המעיד על עמידות מושרית.

המסקנה העיקרית מחלק זה של המחקר היא שריסוס שבועי משפר את יעילות ההדברה ואפילו ריסוס אחד הגנתי, שמטרתו למנוע את התפתחות המחלה הפחית את המחלה באופן משמעותי. יעילות השימוש בתמציות הצמחים הייתה דומה להדברה הכימית ולא נמצא הבדל בכמות היבול בין שני הטיפולים בקימחון הגפן (U. necator) ובקימחונית (*L. taurica*) (Reuveni et al., 2006). יש לבצע ניסויים נוספים הבודקים את השפעת מיצויי הצמחים בהשוואה לתכשירים קיימים כנגד קימחון העגבנייה בניסויים מסחריים וייתכן כי בעתיד ניתן יהיה ליישם באופן מלא בחקלאות האורגנית או כחלק ממערך ההדברה המשולבת כחלק מהמאמצים להורדת השימוש בפונגיצידיים.

#### 5.4 בחינת אמצעי הדברה משולבת כדרך להתמודדות עם המחלה

ההדברה המשולבת עשויה לשמש כחלופה להדברה הכימית כאשר היא משלבת בתוכה שימוש בשיטות הדברה שונות (ביולוגית/ אגרוטכנית). מעבר להיבט השיווקי של הניסיון לשכנע מגדלים לעבור ולהשתמש באמצעי הדברה ביולוגיים שהוא חשוב לכשעצמו, יש חשיבות להכרת היעילות של המדביר הביולוגי בהשוואה לאמצעים האחרים כדי לתכנן טוב יותר את שילובם. ההדברה הכימית בדרך כלל פשוטה ואף זולה יותר משיטות ההדברה האחרות, אך כפי שצוין שיקולים של איכות הסביבה והיווצרות עמידות באוכלוסיית הפתוגנים מחייבים לעתים שימוש בשיטות האחרות.

על סמך תוצאות הניסויים הקודמים, בהם נמצא כי טמפרטורות גבוהות מורידות את חומרת המחלה, הוחלט לבדוק שילוב של טמפרטורות גבוהות וטיפולים שונים מיקרואורגניזמים ותואריות שונות של שמן עץ התה והאזדרכת. מתוצאות הניסוי נמצא כי העלאת הטמפרטורה ב 2 מ"צ הפחיתה את חומרת המחלה באופן משמעותי.

יעילות ההדברה של תמציות הצמחים הייתה גבוהה אם כי לא היה הבדל מובהק בין יעילות ההדברה בטמפרטורות השונות פרט לנימגארד. המסקנה מנתון זה היא שכנראה טווח הטמפרטורות בו יושמו התכשירים היה מתאים לפעילותם אם כי בטמפרטורות גבוהות יותר יש חשש להופעת צריבות, לכן נאמר בהוראות היצרן כי אין לרססם בשעות הצהריים. ניתן לראות כי מינונים גבוהים של החומרים הפחיתו את חומרת המחלה אך הם לא נבדלו ברמה מובהקת לעומת ריסוסים במינונים מופחתים.

המסקנה מחלק זה של הניסוי שניתן ליישם בשיטת הדברה מושכלת ובכך להפחית את מספר וריכוז הריסוסים.

#### לסיכום:

עבודה זו בחנה את הביולוגיה ותנאי ההדבקה של מחלת הקימחון בעגבנייה. מתוצאות המחקר נמצא כי קיימים מס' גורמים אביוטיים המשפיעים על שלבים במחזור החיים של קימחון העגבנייה. תוצאות ניסויי השדה הראו כי לחות גבוהה וטמפרטורות גבוהות מעכבות את התפתחות המחלה. בניגוד למחקרו של Whipps שהציע להעלות את הלחות בחממת העגבניות כאמצעי להפחתת המחלה הנגרמת ע"י *O. lycopersici* - דבר היכול לגרום להתפתחות פתוגנים הדורשים לחות גבוהה (לדוגמה, בוטריטיס), מחקר זה מציע להעלות את הטמפרטורה

באמצעות שיטות אגרוטכניות, כדוגמת סגירת הווילונות בחממה במהלך היום, ובכך להפחית את כמות המדבק. יש לציין כי סגירת החממה תגרום להעלאת הלחות, ובכדי למנוע התפתחות פתוגנים יש ליצור אוורור חלקי. לשיטה זו מס' יתרונות, שהבולט ביניהם הוא רגישות פתוגנים נוספים הפוגעים בעגבנייה לטמפרטורות גבוהות (לדוגמה כימשון), אך החיסרון בשיטה זו הוא רגישות שלבים בהתפתחות העגבנייה לטמפרטורות חמות (לדוגמה, חנטה, יצירת הליקופן וכד'), לכן יש לבצע ניסויים נוספים שמטרתם תהיה לבדוק את השפעת הטמפרטורה על הפונדקאי, כך שניתן יהיה להקטין את משך חשיפתו לטמפרטורות הגבוהות.

## רשימת ספרות

- אלעד, י' 1998. הדברה ביולוגית. מתוך: רותם, י', פלטי, י' ובן יפת, י' (עורכים) מחלות צמחים בישראל. ע': 166-157. הוצאת מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן.
- אמסלם, ל' 2005. היבטים אפידמיולוגיים והפחתת נזקי הקימחון בתות שדה הנגרמת על ידי הפטרייה *Sphaerotheca macularis*. עבודת גמר, הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים.
- ברנד, מ' 2002. מחקרים בביולוגיה ובהדברה משולבת של מחלת הקימחונית בפלפל הנגרמת על ידי הפטרייה *Leveillula taurica*. עבודת גמר, הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים.
- זידאן, ע' 2001. גידול עגבניות בבתי צמיחה. הוצאת שה"מ- משרד החקלאות ופיתוח הכפר שירות ההדרכה והמקצוע, האגף לירקות.
- לייכטניר, ל' 2007. קובץ חומרי הדברה להגנת הצומח המורשים בישראל משרד החקלאות ופיתוח הכפר, השירותים להגנת הצומח ולביקורת, המחלקה לתכשירי הדברה, בית דגן.
- מנדלסון, ע' 2006. יעילות של מיקרואורגניזמים בהדברה של קימחון. עבודת גמר, הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים.
- מסיקה, י', אלעד, י', ניצני, י', רב דוד, ד', שטיינברג, א', ברנד, מ', טרגרמן, מ', יחזקאל, ח', שמואל, ד', אהרון, י', סלפוי, א', דיין, א', קורדובה, ל' ופוקס, מ' 2003. השפעת צפיפות וצבע הרשת על התפתחות מחלת הקימחונית בבתי רשת. גן שדה ומשק (חוברת 8) ע' 56-58.
- פלטי, י' 1998א. נביגה. מתוך: רותם, י', פלטי, י' ובן יפת, י' (עורכים) מחלות צמחים בישראל. ע': 45-51. הוצאת מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן.
- פלטי, י', שוהם, ח' ובן-אריה, צ' 1998ב. הדברה באמצעים אגרוטכניים. מתוך: רותם, י', פלטי, י' ובן יפת, י' (עורכים) מחלות צמחים בישראל. ע': 147-156. הוצאת מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן.
- פלטי, י' 1998ג. קימחונות. מתוך: רותם, י', פלטי, י' ובן יפת, י' (עורכים) מחלות צמחים בישראל. ע': 185-197. הוצאת מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן.
- צרור, ל', נחמיאס, א' וקריקון, ח' 1998. מחלות בסולניים. מתוך: רותם, י', פלטי, י' ובן יפת, י' (עורכים) מחלות צמחים בישראל. ע': 353-365. הוצאת מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן.
- שטיינברג, ד' ורותם, י' 1998. פרקים נבחרים באפידמיולוגיה. מתוך: רותם, י', פלטי, י' ובן יפת, י' (עורכים) מחלות צמחים בישראל. ע': 111-127. הוצאת מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן.
- Achuo, E.A., Prinsen, E. and Höfte, M. 2006. Influence of drought, salt stress and abscisic acid on the resistance of tomato to *Botrytis cinerea* and *Oidium neolycopersici*. Plant Pathol. 55: 178-186.
- Amsalem, L., Freeman, S., Rav David, D., Nitzani, Y., Szejnberg, A., Pertot, I. and Elad, Y. 2006. Effect of climatic factors on powdery mildew caused by

- Sphaerptheca macularis* sp. *fragariae* on strawberry. Eur. J. Plant Pathol. 114: 283-292.
- Arredondo, C.R., Davis, R.M., Rizzo, D.M. and Stahmer, R. 1996. First report of powdery mildew of tomato in California caused by an *Oidium* sp. Plant Dis. 80: 1303.
- Bai, Y., Van der Hulst, R., Bonnema, G., Marcel, T.C., Meijer-Dekens, F., Niks, R.E. and Lindhout, P. 2005. Tomato defense to *Oidium neolycopersici*: dominant Ol genes confer isolate dependent resistance via a different mechanism than recessive. MPMI 18: 354-362.
- Bélanger, R.R. and Benyagoub, M. 1997. Challenges and prospects for integrated control of powdery mildews in the greenhouse. Can. J. Plant Pathol. 19: 310-314.
- Braun, U., Cook, R.T.A., Imman, A.J. and Shin, H.D. 2002. The taxonomy of the powdery mildew fungi. In: Bélanger, R., Bushnell, W.R., Dik, A.J. and Carver, T.L.W. (eds.) The Powdery Mildews (pp. 13-55). The American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, USA.
- Butt, D.J. 1978. Epidemiology of powdery mildew. In: Spencer D.M. (ed). The Powdery Mildews (pp. 51-77) Academic Press, N.Y, USA.
- Byrne, J.M., Hausbeck, M.K. and Shaw, B.D. 2000. Factors affecting concentration of airborne conidia of *Oidium* sp. among Poinsettias in a greenhouse. Plant Dis. 84: 1089-1095.
- Caesar, J.C. and Clerk, G.C. 1985a. Germinability of *Leveillula taurica* (powdery mildew) conidia obtained from water-stressed pepper plants. Can. J. Bot. 63: 1681-1684.
- Caesar, J.C. and Clerk, G.C. 1985b. Water stress-induced changes in the morphology of the powdery mildew, *Leveillula taurica* (Lev.) Arn. Phytopathol. Z. 112: 217-221.
- Carroll, J.E. and Wilcox, W.F. 2003. Effect of humidity on the development of grapevine powdery mildew. Phytopathology 93: 1137-1144.
- Celio, G.J. and Hausbeck, M.K. 1998. Conidial germination, infection structure formation, and early colony development of powdery mildew on poinsettia. Phytopathology 88: 105-113.
- Cimanowski, J., Novacki, J. and Milikan, D.F. 1975. Effect of light on the development of powdery mildew on and some physiological and morphological changes in apple leaf tissue. Phytoprotection 56: 96-103.

- Daayf, F., Schmitt, A. and Bélanger, R.R. 1995. The effect of plant extracts of *Reynoutria sachalinensis* on powdery mildew development and leaf physiology of long English cucumber. *Plant Dis.* 79: 577-580.
- Cohen, R., Shtienberg, D. and Edelstein, M. 1996. Suppression of powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) in cucumber by the detergent Zohar LQ-215. *Eur. J. Plant Pathol.* 102: 69-75.
- Cole, J.S. 1978. Powdery mildew of Tobacco. In: Spencer D.M. (ed). *The Powdery Mildews* (pp. 323-344) Academic Press, N.Y, USA.
- Delp, C.J. 1954. Effect of temperature and humidity on grape powdery mildew fungus. *Phytopathology* 44: 615-626.
- Dik, A.J., Verhaar, M.A. and Bélanger, R.R. 1998. Comparison of three biological control agents against cucumber powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) in semi-commercial-scale glasshouse trials. *Eur. J. Plant Pathol.* 104: 413–423.
- Douglas, S.M. 2003. Powdery mildew of tomato. The Connecticut Agricultural Experimental Station. PP037 (11/03R), <http://www.caes.state.ct.us/FactSheetFiles/Plant Pathology/fspp037f.htm>.
- Drandarevski, C.A. 1978. Powdery mildew of beet crop. In: Spencer D.M. (ed). *The Powdery Mildews* (pp. 323-344) Academic Press, N.Y, USA.
- Eken, C. 2005. A review of biological control of rose powdery mildew (*Sphaerotheca pannosa* var. *rosae*) by fungal antagonists. *Acta Hortic.* No. 690: 193-196.
- Elad, Y., Messika, Y., Brand, M., Rav David, D. and Sztejnberg, A. 2007. Effect of microclimate on *Leveillula taurica* powdery mildew of sweet pepper. *Phytopathology* 97: 813-824.
- Elad, Y., Bélanger, R.R. and Köhl, J. 1999a. Biological control of diseases in the phyllosphere. In: Albajes, R., Gullino, M.L., Van Lenteren, J.C. and Elad, Y. (eds.) *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops* (pp. 338-352). Kluwer Academic publishers, Dordrecht, The Netherland.
- Elad, Y. and Kapat, A. 1999b. The role of *Trichoderma harzianum* protease in the biocontrol of *Botrytis cinerea*. *Eur. J. Plant Pathol.* 105: 177-189.
- Elad, Y., Kirshner, B. and Sztejnberg, A. 1998. Management of powdery mildew and gray mold of cucumber by *Trichoderma harzianum* T39 and *Ampelomyces quisqualis* AQ10. *BioControl* 43: 241–251.
- Ehret, D.L., Menzies, J.G., Bogdanoff, C., Utkhede, R.H. and Frey, B. 2002. Foliar application of fertilizer salts inhibit powdery mildew of tomato. *Can. J. Plant. Pathol.* 24: 437-444.

- Fletcher J.T., Smewin, B.J. and Cook, R.T.A. 1988. Tomato powdery mildew. *Plant Pathol.* 37: 594-598.
- Green, J.R., Carver, T.L.W. and Gurr, S.J. 2002. The formation and function of infection and feeding structures. In: Bélanger, R., Bushnell, W.R., Dik, A.J and Carver, T.L.W. (eds.) *The Powdery Mildews* (pp. 66-82). The American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, USA.
- Guzman-Plazola, R.A., Davis, R.M. and Marois, J.J. 2003. Effects of relative humidity and high temperature on spore germination and development of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*). *Crop Prot.* 22: 1157-1168.
- Herger, G. and Klingauf, F. 1990. Control of powdery mildew fungi with extracts of the giant knotweed, *Reynoutria sachalinensis* (polygonaceae). *Meded. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* 55: 1007-1010.
- Highland, H.B. 2000. AgraQuests search for Serenade: The isolation and development of a new biopesticide for plant protection. *Phytopathology* 90: S101(Abst).
- Hollomon, D.W. and Wheeler, I.E. 2002. Controlling powdery mildews with chemistry. In: Bélanger, R., Bushnell, W.R., Dik, A.J and Carver, T.L.W. (eds.) *The Powdery Mildews* (pp. 249-267). The American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, USA.
- Homma, Y., Arimoto, Y. and Misato, T. 1981. Effect of sodium bicarbonate on each growth stage of cucumber powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*) in its life cycle. *J. Pestic. Sci.* 6: 201-209.
- Homma, Y., Arimoto, Y., Takahashi, H., Ishikawa, T., Matsuda, I. and Misato, T. 1980. Studies on pepper powdery mildew. Conidial germination, hyphal elongation and hyphal penetration on pepper leaf. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 46: 140-149.
- Horsfall, J.G. and Barratt, R.W. 1945. AN improved grading system for measuring plant diseases (Abst.). *Phytopathology* 35:655.
- Huang, C., Biesheuvel, J., Lindhout, P. and Niks, R.E. 2000. Host range of *Oidium lycopersici* occurring in the Netherlands. *Eur. J. Plant Pathol.* 106: 465-473.
- Jacobsen, B.J., Zidack, N.K. and Larson, B.J. 2004. The role of Bacillus-based biological control agents in integrated pest management systems. *Phytopathology* 94: 1272-1275.
- Jarvis, W.R., Gubler, W.D. and Grove, G.G. 2002. Epidemiology of powdery mildews in agricultural pathosystems. In: Bélanger, R., Bushnell, W.R., Dik, A.J and Carver, T.L.W. (eds.) *The Powdery Mildews* (pp. 169-199). The American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, USA.

- Jenkyn, J.F. and Bainbridge, A. 1978. Biology and pathology of cereal powdery mildew. In: Spencer D.M. (ed). The Powdery Mildews (pp. 284-312) Academic Press, N.Y, USA.
- Jewett, T.J. and Jarvis, W.R. 2001. Management of the greenhouse microclimate in relation to disease control: a review. *Agronomie* 21: 351-366.
- Jones, H., Whipps, J.M. and Gurr, S.J. 2001. Pathogen profile - The tomato powdery mildew fungus *Oidium neolycopersici*. *Mol. Plant Pathol.* 2: 303-309.
- Jones, H., Whipps, J.M., Thomas, B.J., Caraver, L.W. and Gurr, S.J. 2000. Initial events in the colonization of tomatoes by *Oidium lycopersicon*, a distinct powdery mildew fungus of *Lycopersicon* species. *Can. J. Bot.* 78: 1361-1366.
- Kashimoto, K., Matsuda, Y., Matsutani, K., Sameshima, T., Kakutani, K., Nonmura, T., Okada, K., Kusakari, S., Nataka, K., Takamatsu, S. and Toyoda, H. 2003. Morphological and molecular characterization for a Japanese isolate of tomato powdery mildew *Oidium neolycopersici* and its host range. *J. Gen. Plant Pathol.* 69: 176-185.
- Kenyon, D.M., Dixon, G.R. and Helfer, S. 2002. Effect of relative humidity, light intensity and photoperiod on the colony development of *Erysiphe* sp. on *Rhododendron*. *Plant Pathol.* 51: 103-108.
- Kiss, L., Takamatsu, S. and Cunnington, J.H. 2005. Molecular identification of *Oidium neolycopersici* as a casual agent of the recent tomato mildew epidemics in North America. *Plant Dis.* 89: 491-496.
- Kiss, L., Russell, J.C., Szentiványi, O., Xu, X. and Jeffries, P. 2004. Biology and biocontrol potential of *Ampelomyces* mycoparasites, natural antagonists of powdery mildew fungi. *Bio. Sci. and Tech.* 14: 635-651.
- Kiss, L. 2003. A review of fungal antagonists of powdery mildews and their potential as biocontrol. *Pest Man. Sci.* 59: 475-483.
- Kiss, L., Cook, R.T.A., Saenz, G.S., Cunnington, J.H., Takamatsu, S., Pascoe, I., Bardin, M., Nicot, P.C., Sato, Y. and Rossman, A.Y. 2001. Identification of two powdery mildew fungi, *Oidium neolycopersici* sp. and *O. lycopersici*, infecting tomato in different parts of the world. *Mycol. Res.* 105: 684-697.
- Ko, W.H., Wang, S.Y., Hsieh, T.F. and Ann, P.J. 2003. Effects of sunflower oil on tomato powdery mildew caused by *Oidium neolycopersici*. *J. Phytopathol.* 151: 144-148.
- Konstantinidou-Doltsinis, S., Markellou, A., Kasselaki, A.M., Fanouraki, M.N., Koumaki, C.M., Schmitt, A., Liopa-Tsakalidis, A. and Malathrakis, N.E. 2006.

- Efficacy of Milsana<sup>®</sup>, a formulated plant extract from *Reynoutria sachalinensis*, against powdery mildew of tomato (*Leveillula taurica*). *Biocontrol* 51: 375-392.
- LaMondia, J.A., Smith, V.L. and Douglas, S.M. 1999. Host range of *Oidium lycopersicum* on selected *Solanaceous* species in Connecticut. *Plant Dis.* 83: 341-344.
- Lebeda, A., Mieslerova, B., Luhova, L. and Mlickova, K. 2002. Resistance mechanisms in *Lycopersicon* spp. to tomato powdery mildew (*Oidium neolycopersici*). *Plant Prot. Sci.* 38: 141-144.
- Leibovich, G., Cohen, R. and Paris, H.S. 1996. Shading of plants facilitates selection for powdery mildew resistance in squash. *Euphytica* 90: 289-292.
- Lindhout, P., Gerard, P. and Van der Breek, H. 1994. Screening wild *Lycopersicon* species for resistance to powdery mildew (*Oidium lycopersici*). *Euphytica* 72: 43-49.
- Lindow, E.S. and Brandl, M.T. 2003. Microbiology of the phyllosphere. *App. Environ. Microbiol.* 69: 1875-1888.
- Marois, J.J., Momol, M.T., Kimbrough, J.W., Hochmuth, R.C. and Dankers, W. 2001. First report of powdery mildew on greenhouse tomatoes caused by *Oidium neolycopersici* in Florida. *Plant Dis.* 85: 1292.
- Matsuda, Y., Ikeda, H., Moriura, N., Tanaka, N., Shimizu, K., Oichi, W., Nonomura, T., Kakutani, K., Kusakari, S.I., Higashi, K. and Toyoda H. 2006. A new spore precipitator with polarized dielectric insulators for physical control of tomato powdery mildew. *Phytopathology* 96: 967-974.
- Matsuda, Y., Kashimoto, K., Takikawa, Y., Aikami, R., Nonomura, T. and Toyoda, H. 2001. Occurrence of new powdery mildew on greenhouse tomato cultivars. *J. Gen. Plant Pathol.* 67: 294-298.
- Mieslerova, B., Lebeda, A. and Kennedy, R. 2004. Variation in *Oidium neolycopersici* development on host and non host plant species and their tissue defense responses. *Ann. appl. Biol.* 144: 237-248.
- Mieslerova, B. and Lebeda, A. 1999. Taxonomy, distribution and biology of the tomato powdery mildew (*Oidium lycopersici*). *Z. Pflanzenkrank. Pflanzen.* 106: 140-157.
- Nicot, P.C., Bardin, M. and Dik, A.J. 2002. Basic methods for epidemiological studies of Powdery mildews: Culture and preservation of isolates, production and delivery of inoculum, and disease assessment. In: Bélanger, R., Bushnell, W.R., Dik, A.J and Carver, T.L.W. (eds.) *The Powdery Mildews* (Pp. 83-99). The American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, USA.



- Oichi, W., Matsuda, Y., Nonomura, T., Toyoda, H., Xu, L. and Kusakari, S. 2006. Formation of conidial pseudochains by tomato powdery mildew *Oidium neolycopersici*. Plant Dis. 90: 915-919.
- Palti, J. 1988. The *Leveillula* mildews. Bot. Rev. 54: 423-535.
- Paulitz, T. C. and Bélanger, R.R. 2001. Biological control in greenhouse systems. Ann. Rev. Phytopathol. 39: 103-133.
- Reuveni, M., Neifeld, D., Pipko, G., Malka, B. and Zahavi, T. 2006. Timorex - a novel tea tree based organic formulation developed for the control of grape powdery and downy mildews. In: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Workshop on Grapevine Downy and Powdery Mildew (Pp. 85-86). Instituto Agrario di San Michele All'Adige, Italy.
- Reuveni, R. and Rotem J. 1974. Effect of humidity on epidemiological patterns of the powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) on squash. Phytoparasitica 2: 25-33.
- Schoeman, M.H, Manicom, B.Q. and Wingfield, M.J. 1995. Epidemiology of powdery mildew on mango blossoms. Plant Dis. 79: 524-528.
- Spencer, D.M. 1978. Powdery mildew of strawberries. In: Spencer D.M. (ed). The Powdery Mildews (pp. 355-358) Academic Press, N.Y, USA.
- Sudaha, S., Lakshumana, M.k. and Pardhan, N. 2007. Integrated disease management of powdery mildew (*Leveillula taurica* (Lev.) Arn.) of Chilli (*Capsicum annum* L.). <http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a780400380~db=all>
- Verma, K. S., and Deepraj, K. 1996. Temperature and moisture requirements for conidial germination of *Oidium mangiferae*: the incitant of mango powdery mildew. Plant Dis. Res. 11: 186-188.
- Whipps, J.M. and Budge, S.P. 2000. Effect of humidity on development of tomato powdery mildew (*Oidium lycopersici*) in the glasshouse. 1998. Eur. J. Plant Pathol. 106: 395-397.
- Whipps, J.M., Budge, S. P. and Fenlon, J.S. 1998. Characteristics and host range of tomato powdery mildew. Plant Pathol. 47: 36-48.
- Whipps, J.M. 1992. Status of biological disease control in horticulture. Biocontrol Sci. Technol. 2: 3-24.
- Wilocquet, L.T. and Clerjeaw, M. 1998. An analysis of the effect of environmental factor on conidia dispersal of *Uncinula necator* in vineyards. Plant Pathol. 47: 227-233.

- Wurms, K., Labbe, C., Benhamou, N. and Bélanger, R.R. 1999. Effects of Milsana and benzothiadiazole on the ultrastructure of powdery mildew haustoria on cucumber. *Phytopathology* 89: 728 (Abstr).
- Xu, X.M. 1998. Effect of temperature on the length of the incubation period of the rose powdery mildew (*Sphaerotheca pannosa* var *rosae*). *Eur. J. Plant Pathol.* 105: 13-21.
- Young, J.F. 1967. Humidity control in the laboratory using salt solutions – A Review. *J. Appl. Chem.* 17: 241-244.

## Abstract

Tomato powdery mildew is caused by the obligate pathogenic fungus *Oidium neolycopersici* Kiss (Erysiphaceae). The host range of the pathogen is broad and it is reported to attack over 60 species in 13 plant families, particularly members of the Solanaceae and Cucurbitaceae. The disease was first discovered in 1986 in England, later, this disease was also described in North America and in other countries around the world. *O. neolycopersici* is an ectoparasite. Symptoms of the disease include powdery white lesions on leaf blades which results in a reduction in photosynthesis and, in severe epidemics, similar lesions may also be observed on other organs, i.e., petioles, stems, and sepals, but not on fruits. In severe outbreaks, the lesions coalesce and the disease is debilitating. This disease is common in glasshouse tomatoes worldwide, and its importance on field-grown tomato crops is increasing.

In Israel, *O. neolycopersici* epidemics occur in unheated greenhouses and net houses in the spring, summer, and early autumn. The common methods for tomato powdery mildew control are repeated applications of chemical fungicides. The public attitude and environmental concerns towards the use of pesticides, as well as the ongoing development of powdery mildew strains resistant to different fungicides have reduced the appeal of chemicals. All these constraints have led to the search for alternative methods to disease suppression, such as natural products, cultural practices, and biological control agents.

The objectives of this study were to examine the effects of different biotic and a-biotic factors on different components of the disease cycle (germination, appressoria formation, conidiation and survival) in tomato plants and to determine which environmental conditions may limit the progress of an epidemic and to examine natural products together with common means that are used against the disease.

Under controlled conditions, the highest rates of conidial germination were observed at  $25\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $99\pm 1\%$  RH, and minimal light, and was the lowest on leaves adjacent to fruits as compared with leaves located at other locations. Conidia survived and remained capable of germination for over four months when initially incubated at lower temperatures and higher RH, as compared with their fast decline under more extreme summer shade conditions. Optimal conditions for appressoria formation were  $25\pm 1^\circ\text{C}$ , RH ranging from 33 to 99%, and 1,750 lux light intensity. More conidia were formed at  $20^\circ\text{C}$ , 70 to 85% RH, and 5150 lux light intensity than at 16 and  $26\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $99\pm 1\%$  RH, and 480-1750 lux, respectively. In growth chamber experiments, disease did not develop at  $28\pm 1^\circ\text{C}$ . Within the range of 70 to 99% RH,

disease was less severe under the higher RH than the drier conditions. Disease was also less severe at lower light intensities.

Data collected in three commercial-like greenhouse experiments carried out during the fall of 2005 and the spring of 2006 and involving various climate regimes were used to draw correlations regarding the effects of temperature and RH on the development of epidemics. A positive correlation was observed between disease severity and the length of time that environmental conditions ranged between 15-25°C and 60-90% RH. A negative correlation was observed between higher temperatures and lower RH levels.

Control of the pathogen was tested for chemical fungicides, products based on plant extracts, biological control agents or the combination between these methods. Most All of the commercial control products, except Serenade (i.e, Heliogofrit, Amistar, Signum etc.) and those which are based on plant extracts (Neemgard, Timorex etc.) effectively suppressed the disease, both when applied at weekly intervals or as single spray before the inoculation.

In summary, precise microclimatic conditions that affect the pathogen were identified. Combining high temperatures and low relative humidity in the greenhouse with alternated sprays and friendly compounds is expected to effectively control tomato powdery mildew. This treatment is expected to be associated with reduction in chemical fungicides use.

This research was supported by SafeCrop Center and funded by Fondo per la Ricerca, Autonomous Province of Trento, the Chief Scientist of the Israeli Ministry of Agriculture and the Israeli Board of Vegetable Growers.

This research was supervised by:

Dr. Yigal Elad

Department of Plant Pathology and weed research

ARO, The Volcani Center, Bet-Dagan

and Prop. Abraham Sztjenberg

Department of Plant Pathology and Microbiology,

The Faculty of Agricultural, Food

and Environmental Quality Sciences,

The Hebrew University of Jerusalem, Rehovot, Israel

**Epidemiological aspects and suppression of tomato powdery mildew caused  
by *Oidium neolycopersici***

**Thesis Submitted to**

The Faculty of Agricultural, Food and Environmental Quality Sciences, The Hebrew  
University, Jerusalem

**For the degree of “Master of Science”**

**By  
Dana Jacob**

**December 2007**

**Rehovot**