

דו"ח לתוכנית מחקר מספר 17-1830-132 (20-15-0042)

שנת המחקר השנייה מתוך שלוש שנים

חקר הדינמיקה של התפשטות פגעים בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית

Studying the spatial and temporal dynamics of pests in agricultural areas

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ופיתוח הכפר

ע"י

דני שטיינברג המחלקה לפתולוגיה של צמחים, מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון
ליאור בלנק המחלקה לפתולוגיה של צמחים, מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון
יפית כהן הנדסת מערכות חישה, מידע ומיכון, מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון
עומר פרנקל המחלקה לפתולוגיה של צמחים, מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון
אלי הררי המחלקה לאנטומולוגיה, מינהל המחקר החקלאי, ראשון לציון
יגאל כהן הפקולטה למדעי החיים, אוניברסיטת בר אילן, רמת גן
אורי זיג יישובי חבל מעון
רקפת שרון מו"פ צפון
מרים זילברשטיין מו"פ צפון
יואב גזית מועצת הצמחים, ראשון לציון
שמוליק עובדיה יקבי כרמל מזרחי
עופר מנדלסון אוניברסיטת תל אביב

Dani Shtienberg, ARO, the Volcani Center, Reshon LeZion. E-mail: danish@volcani.agri.gov.il

Lior Blank, ARO, the Volcani Center, Reshon LeZion. E-mail: liorb@volcani.agri.gov.il

Yafit Cohen, ARO, the Volcani Center, Reshon LeZion. E-mail: yafitush@volcani.agri.gov.il

Omer Frenkel, ARO, the Volcani Center, Reshon LeZion. E-mail: omerf@volcani.agri.gov.il

Ali Harari, ARO, the Volcani Center, Reshon LeZion. E-mail: aharari@volcani.agri.gov.il

Yigal Cohen, Bar Ilan University. E-mail: yigal.cohen1@gmail.com

Uri zig, Yaham. E-mail: uriz@yaham.co.il

Rakefet Sharon, MOP Zaforn. E-mail: rakefetsh@gmail.com

Miriam zilberstein, MOP Zafon, miriams@migal.org.il

Yoav Gazit, Plant council. E-mail: yoav@jaffa.co.il

Shmuel Ovadia: Carmei Mizrahi. E-mail: shmova@zahav.net.il

Ofer Mendelson, Tel Aviv University. E-mail: pelican1@netvision.net.il

תקציר

הצגת הבעיה. ההתפתחות של פגעים בגידולים חקלאיים בזמן ובמרחב הוא תהליך דינאמי מורכב. למרות ההתקדמות במחקר בנושא שהתרחשה בשנים האחרונות הידע לגבי ההשפעות של הגורמים השונים על ההטרוגניות המרחבית-עתית של פגעים נותרה מוגבלת. **מטרות המחקר.** להגדיר עקרונות כלליים לגבי הגורמים המשפיעים על התפשטות פגעים במרחב ובזמן לצורך הוספת ממד מרחבי-עתי למערכות תומכות החלטה מרחביות. **שיטות העבודה.** המחקר מתמקד בארבעה פגעי מודל חשובים: *Phytophthora infestans*; *Erysiphe necator* **קימחון**, *Lobesia botrana* **עש האשכול**, *Ceratitis capitata* (זפ"ת) **תוצאות עיקריות.** נתונים היסטוריים של התפתחות ארבעת פגעי המודל שנאספו בשנים האחרונות נותחו בשיטת האקו-אינפורמטיקה וממצאי הניתוח הצביעו בחלק מהמקרים על דפוס פיזור מרחבי של הפגעים. בנוסף, בצענו ניסויים "יחודיים" (כימחון, עש אשכול, זפ"ת), אספנו נתונים אודות הפיזור המרחבי והעיתי של הפגעים (כימחון, קימחון, עש אשכול, זפ"ת), והשתמשנו בכלי ניטור חדש שפיתחנו (קימחון) לחקר הפיזור המרחבי. **מסקנות.** התחלנו לצבור עדויות שפגעים בעלי אופי שונה נפוצים במידה שונה במרחב.

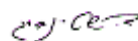
מעריכים מומלצים לבדיקת הדו"ח המדעי

1. פרופ' יגאל אלעד
2. פרופ' אברהם גמליאל
3. דר' דוד בן יקיר

הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים. הניסויים לא מהווים המלצות לחקלאים.

תאריך: 20 בפברואר, 2018



חתימת החוקר:

תוכן העניינים

עמוד

...	מבוא
...	מטרות המחקר
...	עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר
...	דיון
...	פרסומים מדעיים
...	פטנטים
...	הרצאות וימי עיון
...	תוספת למיזמים
...	סיכום עם שאלות מנחות
...	נספח לדו"ח של שנת המיזם השנייה
....	תקציר מנהלים
...	פרק 1: חקר הדינמיקה של התפשטות פגעים בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית - מבוא דני שטיינברג
....	פרק 2: תפוצת זבוב הפירות הים תיכוני במרחב: ניתוח ההשפעה של שימושי קרקע באמצעות אקואינפומטיקה וביצוע ניסויים ייעודיים יפית כהן, הלנה קרסנוב, איתן גולדשטיין, ליאור בלנק, יואב גזית, מרים זילברשטיין, עופר מנדלסון
...	פרק 3: הדינמיקה של התפשטות עש האשכול בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית רקפת שרון, יפית כהן, הלנה קרסנוב, איתן גולדשטיין, אלי הררי, אלמוג אברהם, מאור תומר
...	פרק 4. השפעות התכסית, שימושי הקרקע והתנאים הסביבתיים על תפוצת פגעים בגפן דודו חקוקי וליאור בלנק
....	פרק 5. פיתוח כלים לניטור מרחבי של קימחון הגפן עומר פרנקל, ליאור גור, דניאל רוקנשטיין, דור אזול, ליאור בלנק, שמוליק עובדיה
....	פרק 6. פיזור עיתי ומרחבי של מחלת הכימשון בישראל יגאל כהן, אסתי שמבה, אבגניה רובין ומריאנה גלפרין
...	פרק 7. הטרוגניות מרחבית של מחלת הכימשון בחלקה ליאור בלנק, דני שטיינברג, יגאל כהן, אסתי שמבה, אבגניה רובין ומריאנה גלפרין
....	פרק 8. השפעת שימושי קרקע על תפוצת כימשון ליאור בלנק

מבוא

ההתפתחות של פגעים בגידולים חקלאיים בזמן ובמרחב הוא תהליך דינאמי מורכב. גורמים רבים, וקשרי הגומלין שביניהם, משפיעים על התפתחות אוכלוסיית הפגעים בזמן ובמרחב. בכלל זה גורמים א-ביוטיים (כמו טמפרטורה ומשך הרטיבות) וגורמים ביוטיים (כמו רגישות הפונדקאי ווקטורים המעבירים ווירוסים). על ההפצה במרחב משפיעים גם גורמים גיאוגרפיים שונים, ההטרוגניות הנופית, והפיזור ומידת הקישוריות (connectivity) של הפונדקאי במרחב. למרות ההתקדמות במחקר בנושא שהתרחשה בשנים האחרונות הידע לגבי ההשפעות של הגורמים השונים על ההטרוגניות המרחבית-עתית של פגעים נותרה מוגבלת. גם האדם, המבצע מניפולציות במערכת החקלאית ובמערכת הטבעית הסמוכה לה משפיע. המערכת הביולוגית הכוללת מורכבת עוד יותר מפני שקיים מעבר של פגעים מהמערכת החקלאית למערכת הטבעית הסמוכה, ובחזרה. מכאן עולה שחקר התהליכים המשפיעים על התפתחות פגעים בזמן ובמרחב מהווה אתגר לעוסקים בנושא.

בשנים האחרונות, עם התפתחות הטכנולוגיות לאיסוף ושיתוף נתונים ופיתוח מערכות מידע גיאוגרפיות (ממ"ג) משוכללות וכלים סטטיסטיים חדשניים לניתוח נתונים, ובכלל זה נתונים מרחביים, נעשה במחקר החקלאי שימוש בגישה שקבלה את הכינוי 'אקואינפורמטיקה'. על פי גישה זו מנותחים נתוני תצפיות רבים שנאספו במערכת החקלאית ובמערכת הטבעית הסמוכה לה (ובכלל זה נתונים גיאוגרפיים). הניתוח מאפשר לאפיין את הגורמים המשפיעים על התפתחות הפגעים ולהגיע לתובנות לגבי הדינאמיקה של התפתחות הפגעים בזמן ובמרחב ב"עולם האמיתי". שיטה זו יעילה במיוחד לביחנת השערות בנוגע לתנועה של פגעים בתוך המרחב החקלאי וממנו למרחב הטבעי.

שטחים חקלאיים מאופיינים בדרך כלל בפיזור אקראי של חלקות בגדלים שונים הכוללים (לרוב) מספר גידולים. בגלל הבעייתיות של חקר המערכת הכוללת, ממשק ההדברה של פגעים מתבסס כיום על מידע שנאסף ברמת החלקה הבודדת וזה הבסיס לשיטת ה'הדברה המשולבת' (IPM או ICM). ממשק הדברה מתואם (מסונכרן) בכל חלקות הגידול באזור המכונה 'ממשק הדברה אזורי' (Area-Wide ICM) מאפשר להתמודד עם הפגעים טוב יותר מאשר ממשק הדברה המתבצע ברמת החלקה הבודדת. ממשק הדברה אזורי חיוני במיוחד במקרים בהם הפגעים מופצים למרחק או שהם רב-פונדקאים ובאזורים בהם עונת הגידול של הפונדקאים הרגישים ארוכה ומאפשרת לפגעים לעבור מגידול אחד למשנהו. יישום העקרונות של ממשק הדברה אזורי מחייב מידע וידע על הדינאמיקה של הפגעים בסביבה החקלאית ובסביבה הטבעית הסמוכה לה. מיזם זה עוסק בחקר הגורמים המשפיעים על הדינאמיקה של פגעים בזמן ובמרחב; הכוונה היא להגיע לתובנות כלליות לגבי הגורמים המשפיעים על

הדינמיקה המרחבית-עיתית של פגעים שיאפשרו לאמוד את התועלת שתושג מפיתוח ושימוש בעקרונות של ממשק הדברה אזורי.

המיזם מתמקד בארבעה פגעים שיש להם חשיבות רבה במעשה החקלאי. הפגעים שנבחרו שונים זה מזה במאפיינים שונים והם משמשים כפגעי מודל במחקר. הפגעים הם: האומויצט *Phytophthora infestans* המחולל את מחלת הכימסון בתפוחי אדמה ובעגבניות; הפטרייה *Erysiphe necator* המחוללת את מחלת הקימחון בגפן, עש האשכול *Lobesia botrana* המתקיים על יותר מ- 200 מיני צמחים, וזבוב הפירות הים תיכוני (זפי"ת) *Ceratitis capitata* התוקף למעלה מ- 250 פונדקאים.

מטרות המחקר

היעד של המיזם הוא להגדיר עקרונות כלליים לגבי הגורמים המשפיעים על התפשטות פגעים במרחב ובזמן לצורך הוספת ממד מרחבי-עתי למערכות תומכות החלטה מרחביות. הוספת הממד המרחבי-עתי תאפשר להפחית את הסיכון של התבססות פגעים ולצמצם את הנזק שהם גורמים.

המטרות הספציפיות של המיזם הם: 1. יישום עקרונות האקווינפורמטיקה והניתוח המרחבי לחקר הגורמים המשפיעים על התפשטות פגעי המודל בזמן ובמרחב; 2. חקר הגורמים המשפיעים על התפתחות פגעי המודל בזמן ובמרחב בשיטות "קלאסיות" להשלמת פערי ידע והוספת הממד המרחבי-העתי לתהליכי קבלת החלטות המבוצעים לשם בקרה של פגעי המודל; 3. בחינת המתודולוגיות והגדרת עקרונות כלליים לפיתוח ממשקי הדברה משולבת אזורית.

עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר

במיזם זה שותפים 13 חוקרים שצוותו לארבעה צוותי מחקר המתמקדים בארבעה פגעי המודל. צוות מחקר נוסף (חמישי) עוסק בניתוח הרב-גורמי של הנתונים המרחביים שעולים מהמחקרים של צוותי המחקר האחרים. בשנת המיזם השנייה המשכנו לנתח עבור כל אחד מפגעי המודל נתונים היסטוריים שנאספו במשך שנים רבות ונשמרו בארכיונים של החוקרים השותפים במיזם. נתונים אלה נותחו בחתכים שונים בעבר אבל לא בהיבט של הפיזור המרחבי של הפגעים. בנוסף לניתוח הנתונים ההיסטוריים, בצענו בשנת המיזם השנייה תצפיות, מעקבים וניסויים ייעודיים בהם אספנו מידע אודות הפיזור המרחבי של פגעי המודל. מאחר ולא היו בנמצא כלים יעילים למעקב אחר גנוטיפים של הפטרייה *E. necator*, המחוללת את מחלת קימחון הגפן, פיתחנו בשנת המיזם הראשונה כלי שיאפשר לעקוב אחר הפיזור המרחבי של אוכלוסיות פתוגן זה. בשנת המיזם הנוכחית השתמשנו בכלי שפיתחנו כדי לבחון את הפיזור המרחבי של הפטרייה בכרמי גפן יין. עקב מגבלת ההיקף של דו"ח זה לא ניתן לפרט

את כל ממצאי המחקרים שבצענו. לכן יוצגו כאן רק עיקרי הממצאים של כל אחד מצוותי המחקר. הדו"חות המפורטים של הצוותים צורפו לדו"ח זה כנספח והם נמצאים בהמשך.

תפוצת זבוב הפירות הים תיכוני במרחב: ניתוח ההשפעה של שימושי קרקע באמצעות אקואינפורמטיקה וביצוע ניסויים ייעודיים [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 2 בנספח].

זבוב הפירות הים תיכוני (זפי"ת) תוקף למעלה מ- 250 מינים של פירות ביניהם כל מיני ההדרים. הנקבה הבוגרת מסוגלת לשרוד כמה חודשים בשטח ולהטיל במהלך חייה כמה מאות ביצים. ניטור הזבוב השגור ביותר, מבוצע בעיקר באמצעות מלכודות טרימדלור שמושכת זכרים בלבד. בניסויים שבוצעו בארץ ובעולם נחקרו נושאים שונים הקשורים לשרידות ולאופי הפיזור של זבובים מעוקרים במרחב ביחס לאילול של זבובי הבר אולם לא הייתה התייחסות לתנועה של הזבוב בין ובתוך פונדקאים.

בשנה השניה של המחקר כימתנו את ההשפעה של הגורמים המקומיים והמרחביים על לכידות הזפי"ת בחלקות פרדסים בגישת האקואינפורמטיקה. מערך הנתונים הרחב כלל שכבות של גידולים, פרדסים וישובים וכן נתוני ניטור רב-שנתיים של בוגרים באמצעות מלכודות טרימדלור. הנתונים התקבלו מהמכון להדברה ביולוגית, ממו"פ צפון ומהמרכז למיפוי ישראל. נבחרו 13 משתנים להם יכולה להיות השפעה על הזפי"ת במהלך העונה (נבדקו 3 עונות רצופות). תרומתם של המשתנים נבדקה ע"י רגרסיה רב משתנית מסוג generalized linear model (GLM). תוצאות ניתוח אקואינפורמטיקה מראות שאוכלוסיית הזפי"ת בסתיו ובתחילת האביב מושפעת גם מהגורמים המרחביים וגם המקומיים. מתוך המשתנים שנבדקו, משתנה אחד מקומי ו- 5 משתנים מרחביים היו בעלי ההשפעה הכי חשובה בשתי התקופות. הממצאים העיקריים מהעבודה זו הראו: קירבה לישובים היתה בקשר חיובי על לכידות בחלקות; במהלך הפיק הסתיו, אוכלוסיית הזפי"ת בחלקה עולה ככל ששטח הנשירים (במרחק עד 300 מטר) גדל; נמצא קשר שונה בין גובה טופוגרפי ולכידות בסתיו ובאביב; אוכלוסיות זפי"ת קטנות יותר נמצאו בחלקות גדולות עם יחס היקף לשטח קטן יותר וחלקות בתוך גושים גדולים. התוצאות חזרו על עצמן במשך שלוש עונות. תוצאות אלו מחזקות את ההשערה כי הזפי"ת מושפע מגורמים שנמצאים מחוץ לחלקה.

בעקבות תוצאות ניתוח אקואינפורמטיקה משנה שעברה בו נמצא קשר בין לכידות בהדרים ושטח אגסים, ביצענו שלושה ניסויים ייעודיים בהם התמקדנו בלימוד המעבר של הזפי"ת בין חלקות חקלאיות: (א) בין חלקות של אותו הפונדקאי; (ב) בין חלקות של פונדקאים שונים. נבחרו חלקות צמודות של אגס והדרים, מתאימות בגודלן ובצורתן ברמת הגולן (אליעד, גבעת יואב וכנף) ובגליל העליון (מחניים וראש פינה). בכל חלקה פוזרו 3 שקיות עם 2.5 ליטר גלמים מעוקרים של זכרים של זבוב הפירות הים תיכוני. הפיזור הראשון התבצע ב- 19.4.17; השני, בו הייתה תוספת מלכודות במטע שכן של פונדקאי שלישי (נקטרינה או אבוקדו) התבצע ב- 16.8.17; והשלישי התבצע ב- 8.11.17. בכל הניסויים פוזרו זבובים מסומנים בצהוב במטעי אגס וזבובים מסומנים בוורוד בפרדסי ההדרים. בנקודת הפיזור נפתחו שתי

הדפנות הנגדיות של שקית אחת עם זבובים ואחר כך השקית נתלתה על העץ הקרוב כדי לאפשר לזבובים לצאת ממנה בחופשיות. באזורי הפיזור נתלו מלכודות ללכידת הזבובים. המלכודות נבדקו יום או יומיים אחרי התלייה באמצעות בינוקולר מצויד בתאורה שחורה. כל הזבובים המסומנים נספרו ונרשמו לפי צבעם. זבובים ללא צבע נרשמו כזבובי בר.

מתוצאות הניסויים עולה שהזבובים המעוקרים עוברים, בצורה דו-כיוונית, בין המטעים: זבובים שפוזרו במטע האגס (צהובים) נלכדו בכל הפרדסים הסמוכים לזבובים שפוזרו בפרדס (ורודים) נלכדו בכל מטעי האגס הסמוכים. מכיוון שהשונות בין האתרים הייתה גדולה, לא ניתן לומר באופן חד-משמעי שהזבובים שהונחו במטעי האגס מעדיפים בסתיו לעבור להדרים בעקבות ההבשלה של ההדרים. עם זאת, ניתן לומר, כי הזבובים לא נשארים בהכרח במקומם וחלקם מתעופפים למטעים הסמוכים. למרות שאין ממצא חד-משמעי של מעבר, ישנו ממצא המראה כי כאשר יש זבובים באגסים בתקופה זו, הם לאו דוקא יישארו באגסים אלא חלקם יעברו להדרים והם עשויים להפוך תוספת אילוח על האילוח הקיים. מכאן, שממצאי הניתוח האקואיפורמטי מהשנה שעברה מתיישבים בצורה מספקת עם הניסוי הייעודי.

הדינמיקה של התפשטות עש האשכול בזמן ובמרחב בסביבה החקלאית [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 3 בנספח].

עש האשכול הוא מזיק פרי רב-פונדקאים, לדוגמא: גפן, רימון, אפרסק, שזיף, אגס, תפוח ועוד. מטרת העבודה בשנת המחקר השניה הייתה להמשיך לבחון אם אוכלוסיות עש האשכול נעות בין פונדקאים שונים. לצורך זה, הוצגו שתי היפותזות: על פי היפותזה הראשונה הנקבה המזווגת עוקבת אחר נדיפים שמקורם בפונדקאים השונים ומטילה במועדפים עליה, בשלבים הפנולוגיים המתאימים. על פי ההיפותזה השנייה, הנקבה מעדיפה להטיל בפונדקאים בהם היא החלה את חייה כזחל. על פי ההיפותזה השניה אוכלוסיית המזיק תישאר יציבה בתוך החלקה והמעבר בין פונדקאים יהיה מזערי. לניתוח דגמי פיזור בין ובתוך מטעים נערך ניסוי ב-4 צמדים של כרם ורימון ו-4 צמדים של כרם ונקטרינה. גודל כל צמד 20-40 דונם. בכל צמד נוטרה נוכחות זכרים באמצעות מלכודות בחודשים מרץ-דצמבר בתדירות של פעמיים בחודש. בנוסף, בוצע ניטור נגיעות של ביצים וזחלים בפירות, כמדד לתפוצת הנקבות והעדפת אתר הטלה. ניטור הנגיעות נעשה ב-100 עצים בפיזור אחיד בכל מטע (סה"כ 800 עצים, כאשר 4 פירות/אשכולות נוטרו בכל עץ), מספר פעמים לאורך העונה. נבחרו אתרים בהם יש פונדקאים שהתפתחותם הפנולוגית חופפת לזו של הכרם, מקדימה את הכרם או מאוחרת לכרם. לאור התוצאות משנת המחקר הראשונה, הוחלט בשנת המחקר השניה (2017) להתמקד באזור מושבות השומרון, בצמדים של כרם-מטע רימון. לארבעת הצמדים במושבות השומרון נוספו שני צמדים

מתוך מטרה ליצור שלישיית צמדים בהם הכרם נבצר לפני הרימון ושלישית צמדים בהם הכרם נבצר מאוחר.

מליכידת הזכרים במלכודות עולה כי זכרי העשים קיימים בשטח עוד בטרם בצבוץ העלים בכרם וגם לאחר הבציר והקטיפה. רמת הזכרים הנלכדים במלכודות דומה בחלקות הכרם והרימון למרות שרמת הנגיעות שונה בין החלקות ומכך עולה כי אין להסיק מנוכחות הזכרים על רמת הנגיעות בחלקה. בשתי שנות הניסוי, על פי רמת הפירות הנגועים (נוכחות ביצים ו/או זחלים ו/או חדירה), נראה כי קיימת אוכלוסייה של נקבות העש ברימון בלא תלות ברמת האוכלוסייה של הנקבות בכרם; בכרם רמת הנגיעות עולה עד לבציר. כאשר הכרם נבצר מוקדם נראית עליה בנגיעות ברימון גם בחלקה ללא בלבול וגם בחלקה בה יושם בלבול בכרם בלבד. לא נראתה עליה בנגיעות בכרם כאשר הרימון נקטף מוקדם. ממצאים אלה מחזקים את ההשערה כי האוכלוסיות מתפתחות בתוך החלקה בלא מעבר בין חלקות. יתכן גם שברימון לא מתקיימת אוכלוסייה עצמאית והאוכלוסייה הנמוכה ברימון הינה תוצאה של מעבר אקראי של נקבות בודדות.

בוצע ניסיון לאשש את תוצאות הניסוי תוך שימוש בגישת האקואינפורמטיקה, אך עקב מיעוט נתונים (לא מספיק כרמים מנוטרים ולא מספיק חלקות רימונים מנוטרות לאורך העונה) לא התקבלו תוצאות מחלק זה של המחקר.

השפעת התכסית, שימושי הקרקע והתנאים הסביבתיים על תפוצת קימחון ועש אשכול בגפן יין
[ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 4 בנספח].

בחלק זה של המיזם ניסינו לכמת את ההשפעה של הנוף והתכסית על התפתחות של עש האשכול *Lobesia botrana* וקימחון הגפן (*Uncinula necator*) בכרמים גפן יין באזורים שונים בארץ. ככל הידוע לנו מהספרות, לא נערך בארץ מחקר שעסק באפידמיולוגיה המרחבית של פגעים אלו בגפן. לשם כך נעשתה דיגיטציה של 148 חלקות של יקבי כרמל ושל כרמים נוספים. הדיגיטציה בוצעה בתוכנת ArcMap 10.5 (ESRI) על צילומי אוויר (Orthophotos) ברזולוציה גבוהה (0.25 m^2) שצולמו ב-2014. נתונים לגבי זן הגפן, המגדל, מספר ריסוסים וגיל החלקה התקבלו מבסיס הנתונים של יקבי כרמל (או מהמגדלים). שכבת סוג הקרקע התקבלה ממשרד החקלאות. מיפוי כיסוי קרקע מסביב לכל חלקה התבצע באמצעות תצלומי אוויר. כדי לבחון אם שימושי הקרקע השונים משפיעים על חומרת המחלה/מזיק ואת הטווח שבו מתקיימת ההשפעה הרבה ביותר, נבחנו הקשר בין אוכלוסיית הפגעים בחלקות לשימושי הקרקע במרחקים הולכים וגדלים באותו האזור. סביב החלקות הוגדרו מספר טבעות (Buffers) במרחקים של 300, 600 ו-900 מטרים ונבחנו הקשר בין כיסוי הקרקע בכל טבעת

לאוכלוסיית הפגע בחלקות. התכסית אופיינה באמצעות שלושה אינדקסים: Shannon's diversity index (SHDI), Mean nearest neighbor distance (MNN), Mean proximity index (MPI) (Patch Analyst 3.1) המקובלים בניתוח וכימות מבנה נופי. כיסוי הקרקע שמופץ חולק ל-7 קטגוריות: כרמים, שטחים פתוחים, גר"ש, מטעים נשירים, פרדסים, אזורים בנויים ויערות. באמצעות שכבה DEM (Digital Elevation Model) חישובנו גובה ומפנה עבור כל חלקה. בנוסף לנתונים אלה השתמשנו בנתוני טמפרטורה ולחות שנמדדו בעשר תחנות מטרולוגיות של השרות המטאורולוגי (<http://www.ims.gov.il/ims>) שנמצאו בסמיכות לכרמים הנחקרים. הנתונים עברו אינטרפולציה מרחבית בכדי לכמת את ערכם עבור כל חלקה על ידי IDW - ArcMap. תרומת המשתנים הבלתי תלויים נבדקה באמצעות Generalized Linear Mixed-Effects Models מחבילת Lme4 בסביבת R. המודלים השונים הושושו באמצעות קריטריון מידע Akaike (AIC). מידת החשיבות של כל משתנה נקבעה על פי החלק היחסי של השונות המוסברת של כל משתנה מהשונות הכללית. האנליזה בוצעה באמצעות חבילה Hier.Pert ויושמה ב-R.

מבין המשתנים שנבחנו, ההשפעות של זן הגפן, מספר הריסוסים, המפנה והלחות היחסית היו מובהקים עבור שני הפגעים. התרומה של משתני האקלים והטופוגרפיה הייתה קטנה (3.6-8.4%) ולא הושפעה מהסקלה המרחבית. השונות המוסברת על ידי משתני הנוף והמשתנים המקומיים השתנתה בין הסקלות המרחביות עבור שני הפגעים. החלק של השונות שהוסבר על ידי משתני הנוף היה מירבי בסקלה של 600 מטרים ונמוך ביותר ב-900 מטרים. התברר שעש האשכול מושפע מכיסוי הקרקע בסביבת הכרם. כאשר יש חלקות נשירים בסמיכות לכרמי גפן, וככל ששכיחות המטעים גדולה יותר, כך הייתה נגיעות בכרמים בעש האשכול גבוהה יותר. כצפוי, קשר זה היה לא מובהק עבור קימחון הגפן. קימחון הגפן היא פטריה המופצת באופן פסיבי במרחב ומושפעת מתנאים אקלימיים ומהרוח ושימושי הקרקע בסביבת הכרם משפיעים פחות על הפצת המחלה לעומת עש האשכול שהוא מזיק בעל יכולת תנועה אקטיבית במרחב ובעל מספר רב של פונדקאים. לעש האשכול למעלה מ-200 פונדקאים ידועים, רבים מהם מטעים נשירים. ככל הנראה זה ההסבר החיובי שנמצא ברגרסיה מרובת המשתנים והקשר השלילי והמובהק שמצאנו לחלקות נשירים. בנוסף לכך, נמצא מתאם שלילי לשטח כרמים בסקלה מרחבית קטנה עבור נגיעות בעש האשכול. יתכן וההבדל בין אזורים עם כרמים רבים לעומת אזורים עם מעט כרמים מעיד על ההבדלים בין אזורים שמונהלים על ידי מגדלים שגפנים הם הגידול העיקרי שלהם (ולהם הצלחה רבה יותר בהפחתת אוכלוסיית העש) לבין אזורים שבהם גידול גפנים הוא אחד ממגוון גידולים. לשטחים בנויים נמצא קשר חיובי לנגיעות בעש האשכול ולקימחון בסקלות המרחביות הגדולות. רוב הישובים באזור המחקר הם כפריים ויתכן שקיימים פונדקאים של המזיק שאינם מטופלים בתוך הישובים כך שהם מהווים מקור למזיק. מניתוח הנתונים עלה שהנגיעות בשני הפגעים הושפעה במידה

רבה על ידי זן הגפן הנטוע בחלקה ומספר הריסוסים שיושמו. ממצא זה היה צפוי מאחר וידוע שקיימים הבדלים משמעותיים ברגישות של זני גפן שונים לשני הפגעים. בנוסף נמצא ששטחי גד"ש נמצאו במשפיעים על הנגיעות בקימחון הגפן. יתכן והיות ואלו שטחים ללא כיסוי צומח גבוה, הם מאפשרים מעבר של ספורות בין חלקות.

פיתוח כלים לניטור מרחבי של קימחון הגפן [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 5 בנספח].

היעד המרכזי של המחקר הנוכחי הוא תיעוד דפוס ההפצה של הפטרייה *E. necator* בין ובתוך חלקות גידול. לימוד ההפצה במרחב של הפטרייה הביטורופית *Erysiphe necator* מהווה אתגר גדול עקב שונות גנטית נמוכה, מספר סמנים גנטיים זמינים מוגבל והקושי להפיק ולשמר כמות גדולה של תבדידי קמחון אשר אינם גדלים בצלחות פטרי. במהלך השנה הראשונה של המיזם פיתחנו שיטה מהירה לדיגום הכוללת סט סמנים אמין המאפשר זיהוי פולימורפיזם רחב ככל האפשר. השיטה מבוססת על העובדה כי בישראל קיימות שתי אוכלוסיות של *E. necator*, הראשונה זהה לאוכלוסיה האירופאית הקרויה טיפוס B והשנייה נראית מתצפיות ראשונות כייחודית לישראל, שונה מטיפוס A האירופאית. הגן CYP51 (sterol 14 α -demethylase) הינו בעל תפקיד מכריע בעמידות פטריות כנגד פונגיצידיים מקבוצת הטריאזולים מעכבי ארגוסטרול (DMI) ובאירופה ידועה מוטציה נקודתית בעמדה 495 של הגן בה מוחלף קודון A בקודון T הגורם למוטציה בחומצה אמינו בעמדה 136 ולהחלפת אלנין בפניל אלנין. מוטציה זאת הגורמת לעמידות כנגד חומר ההדברה. במסגרת המחקר הוחלט להתרכז בגן הנ"ל ולרצף בנוסף גם סמן SSR נטרלי הידוע מתוצאות שנה א' כמכיל מוטציות נוספות שיספקו טיפוסים גנטיים (האפלוטיפים) לזיהוי טיפוסים גנטיים במרחב. בשנת המיזם השנייה בחנו את השימוש בכלים הגנטיים שפיתחנו לזיהוי הדינמיקה של הגנוטיפים במהלך העונה ככלי ללימוד ההפצה בין ובתוך חלקות.

שני כרמים נבחרו באזור עמק אילון: (1) כרם מבוא חורון בו ישנם ארבעה זני ענבים: קריניאן, פטיט סירה, שרדונה וריזלינג; (2) כרם כרמל בו ישנם שלושה זנים, קריניאן, מוסקט וקברנה סוביניון. בכל אחד מהזנים נבחרו שתי שורות באורך 20 מטרים שלא רוססו כלל מתחילת העונה למעט חלקת הקריניאן במבוא חורון בה נדגמו ארבעה בלוקים של טיפולי ביקורות לא מרוססות בנות עשרה מטרים, (סה"כ ארבע חזרות). מועדי האיסוף הסתמכו על דיווחים של צוות בודקים בראשות ד"ר שמוליק עובדיה. העלים מכל חלקה נלקחו בשקיות ניילון אטימות למעבדה. מכל זן ובכל מועד נלקחו בין 10-15 דוגמאות עלים. הפקת ה DNA בוצעה על פי הפרוטוקול שנמצא יעיל ביותר בסוף שנה א', קרי דסקיות עלה באמצעות מבחנת אפנדורף והוכנסו ל Lysis buffer של הקיט המסחרי MasterPure Yeast והוקפאו ל-20 ימים

ב -80°C . המשך ההפקה בוצע לפי הפרוטוקול המסחרי של הקיט. בסך הכל בוצעו ניסיונות הפקה על כ 300 דוגמאות משלושת המועדים.

הקטע המקודד של הגן *CYP51* הוגבר בעזרת סט של שני פרימרים, *ENCYP 89F* ו- *ENCYP 856R*. תוצרי הגנים נוקו בעזרת קיט *ZYMO* ונשלחו להרצפה גנטית בחברת *MacroGen*. הרצפים הושוו בעזרת תוכנת *BioEdit* עבור מקטע ריצוף בן 770 בסיסים הכולל מוטציה בעמדה 495 בין הבסיסים A ו- T גורמת לשינוי בחומצת האמינו אלנין בפניל אלנין ולעמידות מוגברת כנגד טריאזולים. בנוסף כולל התוצר מוטציה בעמדה 608 בה C מתחלף ב- T המבדילה בין שני טיפוסים גנטיים האופייניים לישראל: הראשון זהה לטיפוס B וטיפוס נוסף ייחודי הקרוי 'ישראלי'. בנוסף רוצף סמן *SSR* *EnMS3* בעזרת פריימרים *EnSSR3F* ו- *EnSSR3* והרצפים הושוו למציאת אתרים פולימורפים נוספים ברצפי ה- DNA בעזרת תוכנת *Bioedit*. התוצר כלל אזור חוזרני של הרצף CTG, ויוצר האפלוטיפים שונים שנקראים על סמך מספר החזרות של הרצף במקטע כלומר האפלוטיפ 4, 7, 8 ו- האפלוטיפ 9.

כל התבדידים בכרמים נמצאו שייכים לטיפוס גנטי B במשך כל העונה. שכיחות התבדידים העמידים לטריאזולים היוו בחלקות מסוימות עד 33% מהתבדידים בתחילת העונה אך שכיחותם ירדה ל- 0% בסוף העונה בכל החלקות. בבחינת הסמן הנטרלי *EnMS3* הייתה השונות ההאפלוטיפית בתחילת העונה גבוהה יותר מאשר בסוף העונה כשבחלקות הריזלינג והשרדונה השתלט על האוכלוסיה האפלוטיפ 9. לעומת זאת בחלקות מזן הקריניאן נשמר מגוון האפלוטיפים רחב יותר. ההשתלטות של ההאפלוטיפ 9 על חלקות הריזלינג והשרדונה, ושמירת מגוון האפלוטיפים בחלקות הקריניאן בשני כרמים, יכולה לרמוז על כי לזן קריניאן יש חשיבות בקביעת ההפלוטיפים. לא ניתן לקבוע באם מדובר בהפצה מחלקה קרובה או שהייתה השתנות של ההאפלוטיפים בתוך החלקה במהלך העונה. לשם כך אנו מתכננים לחזור למיקום המדויק של הדגימות גם בשנה הבאה ולבדוק מה הרכב ההפלוטיפים בתחילת עונת 2018. אם יישמר בחלקות אותו הרכב גנטי כמו בסוף שנת 2017 אזי הדבר יכול להעיד על הפצה מקומית מוגבלת. אם יהיה מבנה ההפלוטיפים דומה לאוכלוסיה בתחילת שנת 2017, סביר יותר להניח כי קיימת הפצת אסקוספורות מגוונות גנטית בתחילת העונה שעוברת סלקציה בהשפעת זני הגפנים במהלך עונת הגידול.

פיזור עיתי ומרחבי של מחלת הכימשון בישראל [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 6 בנספח].

מטרת העבודה הייתה לעקוב אחר הדינמיות הפולימורפית של *Phytophthora infestans* ב - 2017, ובאמצעות עבודה פנוטיפית וגנוטיפית לעקוב אחרי השינויים שחלו ב 2017 לעומת 2016. העבודה יצאה נשכרת מהזמינות של תבדידים רבים במעבדה שנאספו במהלך 30 השנים האחרונות משדות תפוז"א ועגבנייה בארץ. הזמינות של התבדידים הוותיקים והתבדידים החדשים שאספנו במהלך שנת 2016/17 בארץ אפשרו לעשות עבודה פנוטיפית וגנוטיפית מקיפה ובכך לעקוב אחרי השינויים שחלו במהלך השנים האחרונות. אפיון פנוטיפי וגנוטיפי של תבדידי *P. infestans* בארץ כלל בדיקות של הפרמטרים הבאים: בדיקת עמידות לפונגיציד מפמוקסם (MFX), בדיקת גורמי אלימות (Virulence factors) לתפוז"א ואפיון גנוטיפי מולקולארי ע"י שימוש בסמני SSR.

במהלך 2017 נאספו על ידי אורי זיג 43 תבדידים בנגב המערבי. הראשונים הגיעו מאד מאוחר לעונה, באמצע מרץ 2017 והאחרונים בתחילת מאי 2017. שמונה תבדידים היו רגישים למטמוקסם, 17 בעלי עמידות בינים I - 3 היו עמידים למפנוקסם. כל התבדידים הראו גנוטיפ 23A1 מלבד אחד שהיה 13A2. הגנוטיפ us-7 like היה שכיח ב 2016- נעלם. המספר הממוצע של גורמי אלימות לתבדיד היה 4.80 ± 1.47 . הצרוף השכיח היה 13479.

מחלקה אורגנית בנירים נאספו עוד 84 תבדידים; 38 באפריל ו - 46 נוספים במאי 2017. נמצא הבדל גדול בין תכונות התבדידים שנאספו באפריל ובין התבדידים נאספו במאי. רוב התבדידים שנאספו באפריל היו בעלי עמידות בינים ורק אחד היה רגיש למפנוקסם. 10 תבדידים הראו גנוטיפ 23A1 ו - 14 תבדידים הראו גנוטיפ 13A2. הגנוטיפ us-7 like היה שכיח ב 2016- נעלם. תמונה שונה לגמרי התקבלה בתבדידים שנאספו לאחר כחודש, במאי 2017. רובם המכריע היו עמידים למפנוקסם; מספר התבדידים שהראו גנוטיפ 13A2 ירד ל - 10 (לעומת 38 באפריל) והמספר הממוצע של גורמי אלימות לתבדיד עלה באופן חד מ - 5.8 ל - 8.7. ממצאים אלה מבטאים את השונות הקיימת באוכלוסיית הכימסון בישראל ואת ההשתנות המהירה המתרחשת בפרקי זמן קצרים. הם מעלים סימן שאלה לגבי האפשרות להשתמש בתכונות פנוטיפיות או גנוטיפיות של התפוגן ככלי ללימוד הפצתו במרחב.

בין השנים 2011 ו - 2015 הכימסון הופיע לראשונה בין 28 באוקטובר ו - 17 בנובמבר, כל שנה. ההופעה המאד מאוחרת של הכימסון בעונת הסתיו 2016/17 נחקרה לעומק מתוך כוונה ללמוד את הגורמים האחראים להתפרצותה. קיימים מספר מקורות מידבק ראשוני אפשריים של גורם המחלה בישראל: פקעות זרעיה נגועות; צמחי ספיח נגועים; פונדקאים אחרים כמו עגבניה, פטוניה, ויתניה משכרת; אאוספורות שוכנות קרקע ומנבגים המגיעים ממערב לגבול עם הרוח. כדי לבחון מי מהם התקיים בעונת הסתיו 2016/17 העמדנו לבחינה את השאלות הבאות: 1. האם פקעות הזרעיה היו בריאות? 2. האם תנאי הסביבה היו מתאימים להדבקה ולהתפשטות המחלה?

כדי לענות על שאלה 1 זרענו בדצמבר 2016 בקמפוס אוניברסיטת בר-אילן 500 פקעות יבוא מהולנד שקיבלנו מאורי זיג מ"חמ. בתאריך 11.1.2017 גילינו 6 צמחים נגועים. פקעות האם הוצאו מן הקרקע אך לא הראו סימני מחלה. ברם, לאחר פריסתם לפרוסות והדגרתם בתא לח, הופיעה נביגה שופעת של פטריית הכימשון. זו פעם ראשונה בהיסטורית הכמשון בארץ שהמחלה נמצאה בפקעות חסרות סימנים. למדנו אם כן שחומר הזריעה לא היה חפשי מן המחלה.

כדי לענות על שאלה 2 ניתחנו את התנאים האקלימיים ששררו בסתו 2016 לעומת שנים קודמות. מצאנו שהחודשים אוקטובר, נובמבר ודצמבר 2016 היו שחונים בהשוואה לשנים קודמות בהם ירדו בחודשים אילה גשמים. ניסוי מעבדה הראו שהתנאים האופטימלים להדבקה של תפוז"א בכמשון הם 6 שעות של הרטבת עלים בטמפרטורה של 10-20 מעלות צלסיוס. השתמשנו בתנאים אלה ובחנו באם התקיימו אירועי הדבקה בסתיו 2016/17. התברר, שבעונה זו היו 60% פחות אירועי הדבקה לעומת העונה הקודמת. בדיקות נוספות הראו שקיץ 2016 לא היה חם יותר מקיצים קודמים, עובדה המעידה שצמחי הספיח לא נקטלו. עוד מצאנו שסתו 2016/17 לא היה קר משנים קודמות ולפיכך לא היה עיכוב בהתפשטות המחלה בנוף, אילו הייתה מתרחשת הדבקה. גם נתוני הקרינה בסתיו זה לא חרגו מן הרגיל ולפיכך קטילת הנבגים עי קרינת אולטרה סגול לא היתה הסיבה לאיחור בהופעת המחלה. המסקנה העולה מכל האמור לעיל היא שהסתיו השחון של שנת 2016/17 היה הגורם לאי התפתחות המחלה ולהופעתה המאוחרת.

הטרוגניות מרחבית של מחלת הכימשון ברמת החלקה [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 7 בנספח].

מחלת הכימשון, הנגרמת על ידי האאומיצט *Phytophthora infestans*, היא אחת מהמחלות החשובות בתפוחי אדמה ובעגבניות בארץ ובעולם. קיים מידע רב לגבי השינויים באוכלוסיות *P. infestans* עם הזמן, אבל אין מידע לגבי השינויים המתקיימים בתוך חלקה. בעבודה זו אנו מתמקדים בפיזור המרחבי של כימשון ברמת החלקה. [בעבודה זו, אנו מתמקדים בפיזור בזמן ובמרחב של *P. infestans* ברמת החלקה. לשם כך אופיינה התגובה של כל התבדידים לתכשיר ההדברה מפנוקסם (רגיש עמיד או תגובת ביניים) ופרופיל הוירולנטיות שלהם (איזה גנים לעמידות כל אחד מהתבדידים מסוגל לתקוף). מטרת המחקר הנוכחי היא לזהות ולכמת את הדפוס המרחבי של *P. infestans* בקנה מידה של החלקה.

הנתונים נאספו בחלקה אורגנית מסחרית של קיבוץ נירים באפריל ובמאי 2017. בוצעו ארבעה חתכים לאורך החלקה ונדגמו עלים נגועים כל 12 מטרים (אם נמצא בנקודה צמחים נגועים בכימשון). העלים

הועברו למעבדה של פרופ' יגאל כוהן לאיפיון. במעבדה, הורדו נבגים של *P. infestans* מהעלים הנגועים שהתקבלו מהשדה אל תוך מים מזוקקים קרים. הנבגים שימשו לאילוח עלי עגבנייה מנותקים שטופלו בתכשיר מפנוקסם (MFX). 6 טיפות של 10 מיקרוליטר תרחיף נבגים הונחו על כל עלה. העלים הושמו בצלחות שהודגרו בתא ערפל ב 18 מעלות במשך לילה ואחר כך ב 20 מעלות תחת פוטופריודה של 12 שעות. כעבור 5 ימים נקראה עוצמת הספורולציה של מחולל הכימסון ע"ג העלים הנגועים, ואופיינה תגובת התבדדים לתכשיר ההדברה.

בנוסף נקבע פרופיל האלימות של התבדדים, כלהלן: סדרה של 11 זנים תפ"א דיפרנציאליים (סדרת Black) שכל אחד מהם נושא גן אחר לעמידות כנגד כימסון שימשה לקביעת גורמי האלימות (Race structure) של כל אחד מתבדידי השדה שהגיעו למעבדה. הזנים הדיפרנציאליים גודלו בעצצים והורבו מתרבויות רקמה שהגיעו במקור מחברת Syngenta בשווייץ. הצמחים גודלו בעצצים בחממה. עלה אחד מכל זן נותק והונח במגשית 20X20 ס"מ ע"ג נייר סינון לח כשצידו התחתון כלפי מעלה. העלה השניים עשר היה עלה של הזן הרגיש ZH. העלים אולחו בתרחיף של תבדידי השדה, סט עלים דיפרנציאליים אחד לכל תבדיד שדה. העלים הודגרו כמו במבחן הקודם וכעבור שבוע נבחנה הספורולציה של הפתוגן ע"ג העלים. ה - Race structure נקבע ע"פ הגנים לעמידות שעליהם הצליח התבדיד להתגבר, דהיינו להנביג. כך למשל תבדיד שהנביג ע"ג זנים הנושאים את הגנים לעמידות 1,3,4,7,9 נחשב לתבדיד הנושא את גורמי האלימות 1,3,4,7,9.

פרופיל הוירולנטיות נקבע עבור 37 דגימות ופרופיל העמידות למפנוקסם נקבע עבור 35 דגימות. באפריל 2017 80% מהדגימות סווגו כבעלי עמידות ביניים ובמאי 61% מהדגימות סווגו כעמידות לתכשיר ההדברה. המספר הממוצע של הגנים לעמידות היה גבוהה באופן מובהק במאי מאשר באפריל והתפלגות הגנים לעמידות היתה שונה בין שני מועדי הדגימה. מניתוח התוצאות עולה שקיימת הטרוגניות רבה בפרופיל הוירולנטיות וברגישות למפנוקסם בין תבדידים שנדגמו במרחב, ובזמן - מחלקה אחת של תפוחי אדמה. מכך עולה שלא ניתן להשתמש במאפייני הוירולנטיות או העמידות כסמנים המאפשרים לבחון את הפיזור של גורם המחלה במרחב.

השפעת שימושי הקרקע והתנאים הסביבתיים על תפוצת כימסון [ממצאי חלק זה פורטו בהרחבה בפרק מספר 8 בנספח].

הבחנה במרכיבים המרחביים בנוף (סוגי כיסוי קרקע ותכסית שונים, סוגי צמחייה, טופוגרפיה, ועוד) מאפשרת הערכה לאיכות בית הגידול והגורמים המשפיעים על מגוון המינים והתנועה שלהם במרחב. להרכב הצמחייה יש חשיבות רבה במספר היבטים. לדוגמה, לצפיפות הפונדקאים ואיכותם יש השפעה על האפידמיולוגיה של הפתוגן והיכולת להשפיע על התפוצה שלו. בנוסף, לקישוריות של בתי גידול

שונים בפסיפס המרחבי בנוף יש השפעה על יכולת התנועה וההפצה של מינים שונים. לשימושי קרקע יכולים אף להוות מחסומים פיזיים להפצה. צמחים בשטחי בר יכולים גם לשמש כפונדקאים חלופיים לפתוגנים שבדרך כלל נמצאים בגידולים חקלאיים בעונות ובשנים בהם התנאים לא מאפשרים את קיום הפתוגנים בחלקות החקלאיות. במחקר הנוכחי בחנו את השפעת הנוף והתכנית על מחלת הכימשון. תוצאות הבדיקה יאפשרו להשוות את מערכת המודל של הכימשון, שהוא פתוגן הנע באופן פסיבי במרחב ולו מגוון מוגבל של פונדקאים, למערכות המודל האחרות שבמיזם.

אזור המחקר כלל 141 חלקות של תפוחי אדמה באזור הנגב במערב. גודלו של האזור הוא כ- 20×35 ק"מ (500 קמ"ר). באזור זה מספר רב של שדות תפוחי אדמה לצד גידולי שדה אחרים. האקלים של האזור הוא צחיח למחצה, והמשקעים השנתיים הממוצעים הם 250 מ"מ. בעונה מבוצע ניטור אינטנסיבי וכל חלקה נבדקת פעמיים בשבוע לתסמינים של כימשון. נתוני הניטור במחקר זה נאספו בעונות חורף ואביב 2015-16.

שכבה של מיקום החלקות סופקה על ידי יח"מ. לגבי כל חלקה ידוע אם זוהה בה כימשון. מפה של כיסוי הקרקע סופקה על ידי משרד החקלאות. כיסוי קרקע מסביב לכל חלקה אומת באמצעות תצלומי אוויר (Orthophotos). כדי לבחון אם שימושי הקרקע השונים משפיעים על הופעת מחלת הכימשון, נבחן הקשר בין נוכחות המחלה בחלקות לשימושי הקרקע במרחקים הולכים וגדלים באותו האזור. החלקות נמצאו במרכז של מספר טבעות (Buffers) במרחקים הולכים וגדלים. הקשר לכיסוי הקרקע נבחן בטווחים הבאים מקצה החלקה: 300, 600 ו-900 מטרים. כיסוי הקרקע שמופו נחלקים ל-4 קטגוריות: שטחים פתוחים ומיוערים, שטחי גידול, שטחי מטעים ופרדסים ואזורים בנויים. הקשר בין נוכחות המחלה לכיסוי הקרקע נבחנה באמצעות ניתוח מרובה משתנים (GLM) בינומי.

כיסוי הקרקע העיקרי באזור הוא שטח פתוח המהווה 38% מהאזור. כיסוי הקרקע השני בהיקפו הוא שדות מעובדים (24%). מטעים מהווים 18% מהשטח ושטחים בנויים 20%. ב-61 מהחלקות זוהה כימשון וב-80 חלקות לא זוהה כימשון. עבור כל כיסוי הקרקע שנבחנו בכל אחד משלושת המרחקים לא נמצא קשר מובהק לנוכחות המחלה. לא נמצאה השפעה של שימושי הקרקע על נגיעות בכימשון. אואומיצט זה מופץ באופן פסיבי במרחב ומושפע מתנאים אקלימיים ומהרוח ושימושי הקרקע שנבחנו בעבודה זו לא משפיעים, ככל הנראה, על הפצת המחלה. מסקנה זו תואמת את הידע הביולוגי הקיים בקשר לגורמים המשפיעים על התפחות גורם המחלה והפצתו במרחב.

דין

בשנת המיזם השנייה המשכנו לנתח את הנתונים ההיסטוריים שנאספו במשך שנים רבות עבור כל פגעי המודל ובנוסף ניתחנו נתונים שנאספו בשנה הראשונה והשנייה של המיזם.

לגבי של האואומיצט *P. infestans*, חזרנו ומצאנו שונות פנוטיפית וגנטית גדולה של אוכלוסיות הפתוגן המשתנה תדירות במהלך השנים (בין עונות גידול), ואפילו בפרקי זמן קצרים של כמה שבועות בודדים (במהלך עונת גידול אחת). גם בשנה זו, כמו בשנת המיזם הראשונה התברר שקיימת שונות משמעותית באוכלוסיית הפתוגן אפילו בחלקה בודדת אחת. אם כך הדבר, הרי לא ניתן להשתמש בכלי אפיון פנוטיפיים או גנוטיפיים לחקר ההפצה של פתוגן זה במרחב, ברמת האזור. בשנת המיזם הראשונה פיתחנו (בפעם הראשונה בעולם - למיטב ידיעתנו) מודל לתיאור ההפצה המרחבית של הפתוגן ברמת האזור המתבסס על המועד בו זוהתה המחלה לראשונה בחלקות הגידול. המודל אומת באמצעות סט של נתונים בלתי תלויים שנאספו במשך מספר שנים, חלקם בשנה הראשונה של המיזם. מאחר והמודל מתבסס על עצם הופעת תסמיני המחלה בחלקות הגידול בלי תלות באפיון של האוכלוסייה, הוא יכול לשמש ככלי לתיעוד ולחיזוי הפיזור המרחבי של הפתוגן. בזמן כתיבת דו"ח זה נאספים נתונים נוספים מהאיזור שישמשו לאימות נוסף של המודל.

ניתוח הנתונים ההיסטוריים של קימחון הגפן עליהם דיווחנו בשנה הקודמת העלה ממצא מעניין, לא צפוי. מניתוח הנתונים עולה לכאורה שהפטרייה המחוללת את המחלה *E. necator* לא נפוצה במרחב מחלקת גפן נגועה אחת לשנייה. בשנת המיזם השנייה השתמשנו באותו סט של נתונים הסטוריים לכימות השפעה של הנוף והתכסית באזור הכרם על התפתחות המחלה. בעיקרון, לא מצאנו השפעה כזו. ממצא זה היה צפוי מאחר והפטרייה *E. necator* היא חד-פונדקאית (תוקפת רק את הגפנים) והיא מופצת באופן פסיבי במרחב. כדי לבחון באם המחלה מופצת מכרם נגוע אחד לכרמים הסמוכים פיתחנו בשנת המיזם הראשונה כלים מולקולאריים שיאפשרו לבחון שאלה זו. השתמשנו בכלים שפיתחנו ואפיינו, מבחינה פנוטיפית, את אוכלוסיית הקימחון בשני כרמי גפן יין שבכל אחד מהם היו תתי חלקות עם 3-4 זנים שונים. גם במערכת פתוגן-פונדקאי זו, כמו במערכת הכימחון-תפוז"א נמצאה שונות פנוטיפית יחידות הדגימה (כרמים ותתי חלקות) והיה שינוי באיפיון הגנוטיפי של התבדילים לאורך העונה. אנו זקוקים לבחינה נוספת בתחילת העונה הבאה כדי לקבוע באם ניתן להשתמש בכלי האיפיון הגנוטיפיים בהם השתמשנו לתיעוד ולמעקב אחר ההפצה של גורם המחלה הזמן ובמרחב.

מניתוח הנתונים ההיסטוריים התברר שעש האשכול מושפע מכיסוי הקרקע בסביבת הכרם. כאשר יש חלקות נשירים בסמיכות לכרמי גפן, וככל ששכיחות המטעים גדולה יותר, כך הייתה נגיעות בכרמים בעש האשכול גבוהה יותר. בנוסף נמצא שהמצאות שטחים בנויים משפיעה על הנגיעות במזיק. לעש

האשכול למעלה מ-200 פונדקאים ידועים, רבים מהם מטעים נשירים. רוב הישובים באזור המחקר הם כפריים ויתכן שקיימים פונדקאים של המזיק שאינם מטופלים בתוך הישובים כך שהם מהווים מקור למזיק. ככל הנראה זה ההסבר לקשר שמצאנו בין חלקות נשירים ושטחים בנויים לנגיעות במזיק. בניסויים יעודיים שבצענו שבהם נבחנו הדימניקה של גודל אוכלוסיית המזיק לאורך זמן בחלקות כרם ובחלקות רימון או נקטרינה סמוכות. ממצאי הניסויים הצביעו על האפשרות שמרבית אוכלוסיות המזיק מתפתחות בתוך החלקה בלא מעבר בין חלקות. ממצא זה אינו סותר, בהכרח, את התובנה שעלתה מהניתוח של הנתונים ההסטוריים מפני שיתכן שהחלק העיקרי של אוכלוסיות המזיק המתפתח בחלקות הגידול (כרם, רימון או נקטרינה) אינו נפוץ במרחב והוא מוגבל לחלקה בה התפתח. אבל, יתכן שחלק קטן מהאוכלוסייה המתפתחת בחלקת גידול אחת מופץ במרחב. אם כך הדבר, יש להפצה המרחבית של פגע זה חשיבות רק ליצירת המוקדים החדשים בחלקות הסמוכות ולא להגירה משמעותית של האוכלוסייה. שאלה זו תיבחן בשנת המיזם השלישית.

זבוב הפירות הים תיכוני (זפי"ת) הוא מזיק רק פונדקאי התוקף למעלה מ-250 מינים של פירות, ביניהם כל מיני ההדרים והוא נפוץ בצורה אקטיבית במרחב. בשנת המיזם הראשונה הראינו שזפי"ת נפוץ במרחב מחלקה אחת לשנייה ואף הצבענו על דגם מסוים של הפיזור שהשתנה בהתאם לעונת השנה ולמצב הפנולוגי של הפונדקאים שלו. מתוצאות הבדיקות והניסויים שבצענו השנה עלה שהזבובים עוברים, בצורה דו-כיוונית, בין מטעים: זבובים שפוזרו במטעי אגס נלכדו בכל הפרדסים הסמוכים וזבובים שפוזרו בפרדסים נלכדו בכל מטעי האגס הסמוכים. לא ניתן לומר באופן חד-משמעי שהזבובים שהונחו במטעי האגס מעדיפים בסתיו לעבור להדרים בעקבות ההבשלה של ההדרים. עם זאת, ניתן לומר, כי הזבובים לא נשארים בהכרח במקומם וחלקם מתעופפים למטעים הסמוכים.

מיזם זה מתמקד בחקר הגורמים המשפיעים על הפצת פגעים במרחב ובזמן. המחקר שאנו מבצעים יקדם כמובן את הידע הנוגע לפגעי המזיק הנחקרים אבל הכוונה היא שהמחקר בפגעי המזיק יאפשר להגיע לתובנות כלליות לגבי הגורמים המשפיעים על הדימניקה המרחבית-עיתית של פגעים בכלל. מסיבה זו בחרנו ארבעה פגעים השונים זה מזה באפיונים הביולוגיים שלהם. ממצאי שתי שנות המחקר הראשונות עולה הקושי להשתמש באיפיון פנוטיפי וגנוטיפי של אוכלוסיות הפתוגנים ככלי לתייעוד ההפצה המרחבית שלהם. זאת מאחר וקיימת שונות גדולה, אינהרנטית, באוכלוסיות הפתוגנים. שונות זו מחייבת שימוש בכלים אחרים לתייעוד ולחיזוי ההפצה המרחבית. למרות קושי זה, נראה שקיימים הבדלים ברורים בדגם הפיזור המרחבי של הפגעים הנחקרים. בזירות הראויה (בגלל שהממצאים אינם מאומתים עדיין) ניתן להגדיר שישנם פגעים שמידת ההפצה שלהם במרחב היא מוגבלת (יתכן שזה

המצב עם קימחון הגפן ועם עש אשכול). חשיבות ההפצה המרחבית של פגעים אלה היא ביצירת מקורות המידבק הראשוני בחלקות הסמוכות לחלקה ממנה נפוצו. לגבי פגעים מקבוצה זו השימוש במידע מרחבי לא ישפר את בקרתם וההחלטות להדברה צריכות להסתמך רק על מידע שנאסף ברמת החלקה הבודדת שכלול את האיתור של ההדבקות הראשוניות. ישנם פגעים (כמו כימסון בתפוחי אדמה) המופצים פסיבית בדרך האוויר למרחקים שלגביהם ראוי וכדאי לפתח מודלים להפצה מרחבית ברמת האזור המבוססים על נתוני מזג האוויר השוררים. המודלים יכולים לשפר את ההדברה ולחסוך ריסוסים, מפני שהפיזור המרחבי של הפתוגן הוא כיווני והוא מותנה בכיוון של הרוחות השכיחות באזור. ישנם פגעים אחרים (כמו זפי"ת) המופצים במרחב שהפצתם אינה פסיבית ואינה אקראית והיא תלויה בגורמים ביוטיים כמו הזמינות של הפונדקאים שלהם ומצבם הפנולוגי. למרות שלא הצלחנו עדיין לאפיין את הגורמים המשפיעים על ההפצה, במידה וניתן יהיה לעשות זאת זה יאפשר לפתח מודלים אזוריים להפצה מרחבית המבוססים על נתונים ביוטיים ולא על נתונים א—ביוטיים כמו במקרה של הפתוגנים שצוין למעלה.

פרסומים מדעיים

- Blank, L. Trends in spatial epidemiology research. Submitted to *Cogent Food & Agriculture*
- Firester, B., Shtienberg, D. and Blank, L. Modeling the spatio - temporal dynamics of *Phytophthora infestans* at a regional scale. Submitted to *Plant Pathology*
- Goldshtein, E., Y. Cohen, A. Hetzroni, Y. Gazit, D. Timar, L. Rosenfeld, Y. Grinshpon, A. Hoffman, and A. Mizrach. 2017. Development of an automatic monitoring trap for Mediterranean Fruit Fly (*Ceratitis Capitata*) to optimize control applications frequency. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139:115-125.
- Krasnov, H., Cohen, Y., Goldshtein, E., Mendelsohn, O., Silberstein, M., Gazit, Y. and Blank, L. The effect of local and landscape variables on the Mediterranean fruit fly distribution in citrus orchards adopting the eco-informatics approach. Submitted to *Journal of Pest Science*

פטנטים.

לא הוגשו פטנטים שנבעו ממחקר זה

הרצאות ימי עיון:

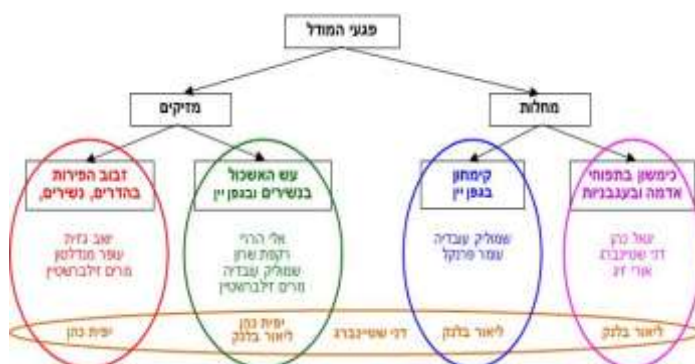
- Blank L., Firester B. and Shtienberg D. 2017. Spatiotemporal model of *Phytophthora infestans* dynamics at a regional scale using empirical data. 38th annual meeting of the Israeli Phytopathological Society. Volcani center, Bet Dagan, Israel.
- Chakuki D., Krasnov H. and Blank L. 2017. Local and landscape effects on European grapevine moth and grape powdery mildew in vineyards. 12th EFPP (European Foundation for Plant Pathology) conference. Dunkerque, France.

- Chakuki D. and Blank L. 2017. Spatial analysis of the impact of landscape and environmental conditions on the distribution of pest and pathogen infestation in the vineyards. 38th annual meeting of the Israeli Phytopathological Society. Volcani center, Bet Dagan, Israel.
- Firester B., Shtienberg D. and Blank L. 2017 Spatio-temporal model of *Phytophthora infestans* dynamics at a Regional Scale using empirical data. 16th EuroBlight workshop. Aarhus, Denmark.
- Krasnov H. , Goldstein E., Mendelsohn O. Gazit Y., Silberstein M., Cohen Y and Blank L. 2017. The influence of local and spatial factors on the distribution of the Mediterranean fruit fly in citrus orchards on a national scale. Israeli Society for Agricultural Engineering annual meeting. Volcani Center, Bet Dagan, Israel.
- Krasnov H, Goldshtein E., Y. Cohen and Blank L. 2017. Using Eco-Informatics approach for studying spatio-temporal dynamics of pests in an agricultural environment. 38th annual meeting of the Israeli Phytopathological Society. Volcani center, Bet Dagan, Israel.

תוספת למיזמים

כיצד שילוב התוצאות של קבוצות המחקר מקרב את המיזם לקראת מימוש יעדיו

המיזם מתמקד בארבעה פגעי מודל שיש להם חשיבות רבה במעשה החקלאי. הוקמו ארבעה צוותי מחקר ('צוותי פגעי המודל') שמשימתם היא להגיע לתובנות לגבי הגורמים המשפיעים על הדינמיקה המרחבית-עיתית של פגעי המודל. כדי שאפשר יהיה להגיע לתובנות כלליות הוקם צוות חמישי הכולל מומחים בתחום הניתוח הרב-גורמי המרחבי שתפקידו לתכלל את הממצאים שיעלו במסגרת המחקרים של צוותי פגעי המודל. לכל אחד מצוותי פגעי המודל הצטרף חוקר מהצוות החמישי המלווה אותם. באיור 1 מוצגת המתכונת של המיזם.



איור 1. מבנה מיזם חוס"ן אפידמיולוגיה מרחבית. המיזם כולל ארבע צוותי מחקר שיתמקדו בפגעי מודל: בסגול – צוות הכימסון, בכחול – צוות הקיטחון, בירוק – צוות עש האשכול ובאדום – צוות זבוב הפירות הים תיכוני. בנוסף, יהיה צוות שיעסוק בתחום הניתוח הרב-גורמי המרחבי (מסומן בתרשים בצבע כתום) שיתכלל את ממצאי ארבעת צוותי הפגעים.

כל החוקרים השותפים במיזם נפגשו מספר פעמים במשך השנה לדיונים כלליים. צוותי פגעי המודל קיימו פגישות נוספות – על פי הצורך. הקשר בין החוקרים של צוותי המודל לחוקרי הצוות החמישי היו הדוקים והנתונים שנאספו על ידי צוותי פגעי המודל נותחו במשותף עם החוקרים מצוות הניתוח הרב-גורמי. מתכונת זו עבדה בצורה מצוינת (לדעת החוקרים השותפים במיזם) והיא הובילה להסקת מסקנות והיפותזות שלא ניתן היה להגיע אליהם במידה והעבודה הייתה מתבצעת על ידי כל צוות בנפרד.

סיכום המחקרים שבוצעו

קבוצת מחקר	מטרות המחקר בשנה הנוכחית	מסקנות ולקחים	סטיות ושינויים	מטרות לשנה הבאה
כימשון	איסוף נתונים היסטוריים ניטור הפיזור המרחבי פיתוח מודל להפצה מרחבית	קיימת שונות באוכלוסייה בזמן בוצע בחלקה אורגנית פותח מודל ואומת	בוצע כמתוכנן בוצע כמתוכנן בוצע כמתוכנן	ניתוח השונות במרחב אימות המודל עם סט נתונים נוסף
קימחון	ניתוח נתונים היסטוריים שימוש בכלי לניטור שפותח	נראה שאין השפעה למרחב על הקימחון יתכן שהכלי מאפשר לעקוב אחר הפצת הפתוגן במרחב	בוצע כמתוכנן בוצע כמתוכנן	נושא זה לא יכלל בשנה הבאה נמשיך להשתמש בכלי שפותח בכדי לאפיין את ההפצה
עש אשכול	איסוף נתונים היסטוריים ניטור הפיזור המרחבי	יש הפצה מרחבית ההפצה מרחבית, אם קיימת, מוגבלת	בוצע כמתוכנן בוצע כמתוכנן	נמשיך לבחון את הממצאים שעלו בשנה זו
זפי"ת	איסוף נתונים היסטוריים ניטור הפיזור המרחבי	יש הפצה מרחבית קיימת הפצה מרחבית מוכוונת	בוצע כמתוכנן בוצע כמתוכנן	ננסה לאפיין את הגורמים המשפיעים על ההפצה המרחבית
ניתוח מרחבי	ניתוח הנתונים ההיסטוריים פיתוח מודל פיזור מרחבי	הנתונים נאספו ונותחו פותח מודל לכימשון	בוצע כמתוכנן בוצע כמתוכנן	תכלול של ממצאי כל המחקרים הכלולים במיזם

סיכום עם שאלות מנחות לדו"ח מחקר מס': 132-1736

הניסויים שנעשו תוך השוואה לתוכנית העבודה:

צוותי המחקר עמדו במשימות שהגדירו לעצמם בתוכנית העבודה באופן מלא. כל צוותי המחקר אספו את הנתונים ההיסטוריים ובצעו ניסויים יעודיים לבחינת ההיפותזות שהועלו בשנת המיזם הראשונה. וצוות הניתוח התחיל כבר לנתח אותם ואף העלה היפותזות חדשות. כל הבדיקות, התצפיות והניסויים המתוכננים בוצעו בפועל – ובהצלחה.

עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח:

סיום ניתוח הנתונים ההיסטוריים שנאספו; ביצוע ניסויים ותצפיות לבחינת דגם הפיזור המרחבי של ארבעת פגעי המודל: כימסון, קמחון עש אשכול וזפי"ת; שימוש בשיטת הניטור שפותחה עבור קימחון הגפן.

כיצד הושגו מטרות המחקר בתקופת הדו"ח:

כל המטרות המתוכננות הושגו. המודל שכבר פותח לחיזוי ההפצה המרחבית של כימסון ברמת האזור היה אמור להיות מפותח בשנת המיזם השלישית!

מה התבצע מתוך טבלת המשימות ואבני הדרך:

הכל (ויותר מכך).

מסקנות מדעיות והשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו בעתיד:

קיימים הבדלים בפיזור המרחבי של פגעים שונים; התחשבות בדגם הפיזור המרחבי בקבלת החלטות להדברה משולבת אזורית עשויה להיות רלוונטית עבור חלק מהפגעים אך לא לאחרים. ניתן יהיה לאפיין את הבדלים בין הפגעים ולהחליט מראש את מי מהם כדאי, ואת מי לא, לשלב במערכת הדברה משולבת אזורית.

הבעיות שנתקו לפיתרון ושינויים שחלו בעבוד ומה אמורה להיות ההתייחסות בהמשך:

יש להמשיך ולבחון את ההיפותזות שעלו עבור פגעי המודל בתצפיות ובניסויים יעודיים ולתכלל את הממצאים כדי להגיע למסקנות לגבי אפשרות השילוב של פגעים במערכות מידע מרחביות.

פירסומים בכתב:

- Blank, L. Trends in spatial epidemiology research. Submitted to *Cogent Food & Agriculture*
- Firester, B., Shtienberg, D. and Blank, L. Modeling the spatio - temporal dynamics of *Phytophthora infestans* at a regional scale. Submitted to *Plant Pathology*
- Goldshtein, E., Y. Cohen, A. Hetzroni, Y. Gazit, D. Timar, L. Rosenfeld, Y. Grinshpon, A. Hoffman, and A. Mizrach. 2017. Development of an automatic monitoring trap for Mediterranean Fruit Fly (*Ceratitis Capitata*) to optimize control applications frequency. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139:115-125.
- Krasnov, H., Cohen, Y., Goldshtein, E., Mendelsohn, O., Silberstein, M., Gazit, Y. and Blank, L. The effect of local and landscape variables on the Mediterranean fruit fly distribution in citrus orchards adopting the eco-informatics approach. Submitted to *Journal of Pest Science*

פטנטים:

לא הוגשו פטנטים שנבעו ממחקר זה

הרצאות וימי עיון:

- Blank L., Firester B. and Shtienberg D. 2017. Spatiotemporal model of *Phytophthora infestans* dynamics at a regional scale using empirical data. 38th annual meeting of the Israeli Phytopathological Society. Volcani center, Bet Dagan, Israel.
- Chakuki D., Krasnov H. and Blank L. 2017. Local and landscape effects on European grapevine moth and grape powdery mildew in vineyards. 12th EFPP (European Foundation for Plant Pathology) conference. Dunkerque, France.
- Chakuki D. and Blank L. 2017. Spatial analysis of the impact of landscape and environmental conditions on the distribution of pest and pathogen infestation in the vineyards. 38th annual meeting of the Israeli Phytopathological Society. Volcani center, Bet Dagan, Israel.
- Firester B., Shtienberg D. and Blank L. 2017 Spatio-temporal model of *Phytophthora infestans* dynamics at a Regional Scale using empirical data. 16th EuroBlight workshop. Aarhus, Denmark.
- Krasnov H. , Goldstein E., Mendelsohn O. Gazit Y., Silberstein M., Cohen Y and Blank L. 2017. The influence of local and spatial factors on the distribution of the Mediterranean fruit fly in citrus orchards on a national scale. Israeli Society for Agricultural Engineering annual meeting. Volcani Center, Bet Dagan, Israel.
- Krasnov H, Goldshtein E., Y. Cohen and Blank L. 2017. Using Eco-Informatics approach for studying spatio-temporal dynamics of pests in an agricultural environment. 38th annual meeting of the Israeli Phytopathological Society. Volcani center, Bet Dagan, Israel.

פרסום הדו"ח: ללא הגבלה.