

דו"ח מסכם לתכנית מחקר מספר 20-10-0054 (2770579)

שנת המחקר: 3 מתוך 3 שנים

מחלת הרשת בשעורה, בעיה ישנה בגידול מתחדש: איתור עמידות והחדרתה אל זנים מסחריים

**Identification of resistance to Barley Net Blotch in Israel: genetic dissection
and utilization in breeding**

דו"ח שנתי לשנת 2018 (שנה ג) מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

רואי בן-דוד, חוקר ראשי, טיפוח תבואות חורף, (roib@volcani.agri.gov.il).

חנן סלע, חוקר שותף, מחקר דגניים, (hans@post.tau.ac.il).

איל פרידמן, חוקר שותף, פוריות היבול, (fridmane@agri.gov.il).

אריה הראל, חוקר שותף, עקות ביטיות, (harelarik@gmail.com).

עוזי נפתליהו, אגרונומיה והדרכה חקלאית, (uzinaf@gmail.com).

עידן ריצ'קר, אגרונומיה והדרכה חקלאית, (idanrich@gmail.com).

אהרן בללו, טכנאי, מספוא, (aharonb@volcani.agri.gov.il).

תקציר מדעי של הצעת המחקר:

השעורה (*Hordeum Vulgare* L.) הנה גידול הגרעינים הרביעי בחשיבותו בעולם עם יצור שנתי של 140 מיליון טון. בארץ, השעורה הוא גידול פלחה מרכזי המשתרע על יותר מ- 70,000 דונם רובם הגדול בנגב, עם שטחי גידול הולכים ועולים במשק היהודי והבדואי. מחלת הרשת (Net blotch) הנה המחלה השכיחה והחמורה מכל מחלות העלים בשעורה בישראל. הנחת היסוד שלנו היא שבאמצעות מחקר גנטי וטיפוחי ניתן יהיה לצמצם את נזקי היבול בשעורה הנגרמים עקב נגיעות במחלת הרשת. המטרה ארוכת הטווח של המחקר היא לזהות גנים לעמידות בשעורה מפני מחלת הרשת ולהבטיח עמידות ברת קיימא של הגידול כנגד הפתוגן ע"י החדרתם לזני שעורה מסחריים. יעדי המחקר הנם: אפיון ראשוני של תבדידי פתוגן מישראל, הקמת מערכת לאילוח מבוקר בתנאי מעבדה ובתנאי שדה, סריקה של חומר גנטי מגוון של שעורה בשדה (למשל, שעורת הבולבוסין המוזכרת בספרות כמקור מבטיח לעמידות) ומיפוי גנטי של גנים לעמידות. המיפוי הגנטי יתבסס על אפיון לעמידות שדה ויעשה ע"י ניתוח תאחיזה/QTL של אוכלוסיות מיפוי המבוססות על קווי שעורת התבור ממקורות שונים בעולם (HEB-NAM). זיהוי גנים לעמידות וסמני SNP האחוזים להם יאפשרו: א. בניתוח האסוציאציה- אתור קווי שעורת הבולבוסין המכילים גנים לעמידות שיעברו אינטרוגרסיה עם זנים

ישראלים (נגה ומענית), ב. בניתוח התאחיזה- תכנון סמנים גנטיים עבור מקטעי דנ"א המכילים גנים\QTLs. אלו ישמשו לסלקציית תלויות סמנים במהלך הטיפוח. שיטות אלו יקצרו משמעותית את הזמן הדרוש להשגת קווים מסחריים יציבים המכילים את העמידות הנדרשת. המטרה היא ליצור תשתית גנטית למטרת קדם-טיפוח של זני שעורה עתירי יבול ועמידים למחלת הרשת. אלו עשויים לתרום באופן ישיר לצמצום נזקי המחלה ולהעלאת היבול והפחתת עלות התשומות ע"י צמצום השימוש בקוטלי פטריות. בטווח הארוך פיתוח הזנים יאפשר יתר גמישות בתכנון מחזור הגידולים ובטווח הארוך יאפשר את מימוש הפוטנציאל של גידול השעורה בארץ בהיבטים של יבול והיקף שטחי הגידול.

מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי:

ד"ר עומר פרנקל, מנהל המחקר החקלאי

פרופ' עמוס דינור, אונ' עברית

ד"ר און רבינוביץ, שה"מ

הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

29-05-19

תאריך:



חתימת החוקר

מבוא

מחלת הרשת בשעורה בישראל. השעורה (*Hordeum Vulgare* L) הנה גידול הגרעינים הרביעי בחשיבותו בעולם עם יצור שנתי של 140 מיליון טון. בארץ, מגודלת שעורה אביבית כתבואת חורף ומהווה גידול פלחה מרכזי המשתרע על יותר מ- 70,000 דונם רובם הגדול בנגב, עם שטחי גידול הולכים ועולים במשק היהודי והבדואי. עיקר המזרע מורכב משני זנים: זן דו-טורי, נגה המשמש בעיקר לגרעינים וזן שש-טורי, מענית המשמש לשחת ותחמיץ. בחקלאות המסורתית שהייתה נהוגה בארץ ע"י הפלחים הערבים לפני קום המדינה היוותה השעורה גידול שדה מרכזי. בראשית שנות ה- 50 היקף שטחי השעורה בארץ הגיע ל- 800 אלף דונם ובתהליך הדרגתי הוחלף הגידול ע"י חיטה. אחת הסיבות לנטישת גידול השעורה היא הפגיעה הקשה של מחלת הרשת בשנות ה- 50 של המאה הקודמת. מחלת הרשת (Net blotch, NB) תוארה בעבר כמחלה השכיחה והחמורה מכל מחלות העלים בשעורה בישראל (קנת 1960) וגם ברחבי העולם (Liu et al. 2011). המעבר ההדרגתי לעיבוד

משמר המשאיר שאריות קש רבות בשדה, רגישות זני העלית המודרניים של שעורה ותנאי סביבה הם מן הגורמים המובילים שהביאו להחרפת נזקי המחלה (הערכת נזקי יבול של 10-40% (Liu et al. 2011).

למחלת הרשת בשעורה מיוחסת חשיבות כלכלית ראשונה במעלה ברוב הארצות של גידול זה ובאוסטרליה למשל, נמדדה העלות השנתית של טיפולים במחלה בכ- 246 מיליון דולר (Liu et al., 2011; Murray and Brennan, 2010). המחלה נגרמת על ידי הפטריה הנקרוטרופית, *Pyrenophora teres f. teres* (Ascomycota Phylum) (Ptt), אשר תוקפת בעיקר את העלים (בנוסף לזרעים, והגבעולים) בהם היא גורמת למופע של כתמים בגוון חום בהיר ובהם פסי אורך ורוחב כמו רשת ומכאן שם המחלה. אבחון הסימפטומים של מחלת הרשת אינו תמיד קל וניתן בנקל לטעות באבחון המחלה עם מחלת הכתמים (Spot blotch) ו"מחלת המשבצות" (קנת 1960). שעורה (כגון: שעורה תרבותית, שעורת התבור ושעורת העכבר) נחשבת לפונדקאי העיקרי של פתוגן זה, אולם הפטרייה תוקפת לפחות עוד תשעה מיני דגניים (Poaceae), וביכולתה לאלח בתנאים מלאכותיים עוד כ- 30 מיני Gramineous (Liu et al., 2011). מקור המדבק העיקרי של המחלה הוא שאריות קש נגוע מהגידול הקודם על גביו מתפתחים בסוף עונת הגידול גופי פרי מיניים (Pseudothecia) בתוכם מתקיים השלב המיני (דינור 2000). הדבקה משמעותית יותר נגרמת עם הרטבת הקש הגורמת ליצירת נבגים אל מינים (conida) מקורי הפטרייה שמדביקים את השעורה במחזורי קצרים של כשבוע.

מטרות המחקר: הנחת היסוד של המחקר היא שבאמצעות מחקר גנטי וטיפוחי ניתן יהיה לצמצם את נזקי היבול בשעורה הנגרמים עקב נגיעות במחלת הרשת. המטרה ארוכת הטווח של המחקר היא למפות גנים לעמידות בשעורה מפני מחלת הרשת ולהבטיח עמידות ברת קיימא של הגידול כנגד הפתוגן. להשגת המטרה נקבעו יעדי המחקר הבאים:

(1) אפיון ראשוני אוכלוסיית הפתוגן בישראל והקמת מערכת לאילוח מבוקר בתבדידים של מחלת הרשת בתנאי מעבדה ובתנאי שדה.

(2) איתור מקורות עמידות למחלת הרשת: סריקה של חומר גנטי מגוון (אוכלוסיות מיפוי ואוספים גנטיים) של שעורה לעמידות בפני מחלת הרשת בתנאי שדה ובתנאים מבוקרים.

(3) איתור אתרים על פני הגנום המקנים עמידות למחלת הרשת. מיפוי גנטי של העמידות למחלת הרשת יבוצע ע"י מיפוי תאחיזה (אוכלוסיית HEB NAM).

(4) פיתוח חומר קדם טיפוחי בכיוון של עמידות מוגברת למחלת הרשת. החדרת העמידות שאותרה בסריקות באמצעות הכלאות אל זני עלית ישראלים תוך שימוש בסמנים גנטיים ויצירת קווי קדם טיפוח עמידים למחלת הרשת. החדרת הגנים לקווים המסחריים תיעשה

בשיתוף עם JKI (גרמניה, ראה מכתב מצורף) בשיטות של הכפלת כרומוזומים ויצירת קווי double haploid (DH) על ידי תרביות רקמה של אבקנים. שיטות אלו יקצרו משמעותית את הזמן הדרוש להשגת קווים מסחריים יציבים המכילים את העמידות הנדרשת.

סיכום עיקרי הניסויים והתוצאות לפי סדר היעדים\מטרות:

1. אפיון ראשוני אוכלוסיית הפתוגן בישראל והקמת מערכת לאילוח מבוקר

בתבדידים של מחלת הרשת בתנאי מעבדה ובתנאי שדה.

במהלך שלוש שנות המחקר הושלם ונבנה אוסף התבדידים מלא על בסיס דיגום מקיף של דוגמאות עלים נגועות ממרחב התפוצה של השעורה התרבותית ושעורת הבר בארץ (איור 1 ו-2). רוב הממצאים של חלק זה הוצגו בדוחות קודמים. בדו"ח המסכם בחרנו לשלב ממצאים נוספים שמטרתם להשלים את תמונת המחקר המלאה.

נאספו דוגמאות של עלי שעורה נגועים מאוכלוסיות בר ומשדות חקלאים. הדיגומים בשטח כללו ארבעה מיני שעורה, זני תרבות ושלושה מיני בר: שעורת התבור, שעורת העכבר ושעורת הבולבוסין. נמצא כי, המחלה חולשת על פני אזורי הגידול המרכזיים של השעורה התרבותית בארץ כמו גם באזורים שבהם רק מיני הבר גדלים. ככלל, כמעט ולא אותרו תסמיני מחלה על צמחי שעורת הבולבוסין שניתן לשייכם למחלת הרשת. לעומת זאת על סמך שכיחות דוגמאות העלים הנגועות בתסמינים שעורת העכבר ושעורת התבור מהווים פונדקאי משמעותי למחלה באזורנו. סימנים למחלה ניתן היה למצוא ברוב המקומות שבהם סיירנו.

התבדידים שבודדו השתייכו לאחד משני גזעי הפטריה המתקיימים במקביל: *P. teres f. maculate (Ptm)* שסימניה על עלה השעורה בצורת כתמים עגולים וכהים ו- *P. (Ptt)* *teres f. teres*. ההפרדה וזיהוי הגזעים בוצע על סמך תסמיני המחלה הנראים על עלים מנותקים ועל סמך רצף הגן *MAT1* והשוואתו (באמצעות BLASTN) למאגר הנתונים NCBI (איור 2). כאשר נתקבלה סתירה בין שני מקורות אלו, סיווג התבדיד נעשה על סמך התסמין האופייני לכל גזע ומפורט בספרות (Lu et al., 2013). כאשר תסמיני המחלה אינם היו ברורים, סיווג התבדיד נעשה על סמך רצף הגן (בכל התבדידים, ווידוא לרמת ה-Species נעשה גם באמצעות הריצוף של *MAT1*).

הממצא המעניין בהקשר זה הוא שהאוסף שנדגם בשטח ע"פ תסמינים של מחלת הרשת (מחולל המחלה *Ptt*) הראה בסוף תהליך הבידוד והריבוי ייצוג כמעט מאוזן של התבדידים לשני הגזעים *Ptt* ו- *Ptm*. בחינת תבדידי הפטרייה מגזע *ppt* ומ-*Ptm* הראה כי תבדידי ה-*Ptm* היו אגרסיביים יותר באופן מובהק (איור 3) ללא קשר לזן השעורה עליה הוא נבחן כפי שמתבטא בממוצע גבוה יותר של שיפוע קצב ההתקדמות הפטרייה על עלים מנותקים. כמו

כן, בניתוחי שונות חד כיווניים לא נמצא קשר בין המיקום הגיאוגרפי של אתר איסוף הדוגמה לבין זהות גזע התבדיד או לכל פרמטר גאוגרפי אחר שנבדק (גובה אתר האיסוף מעל פני הים, קווי אורך ורוחב).

ניתוח השוואתי של רצפי הגן MAT 1-1-1: תוצאות הריצוף והאנליזה הפילוגנטית הראו כי את כלל התבדידים, ניתן לקבץ לשבע קבוצות עיקריות כשארבע מתוכן משויכות לצורה האידיומורפית MAT1-1-1 ושלוש מתוכן לצורה MAT1-2-1 (איור 2), הרף הסטטיסטי של האנליזה שמעליו התייחסנו כמהימן הוא 0.67 (posterior probabilities), העץ נבנה בשיטה הבייסיאנית). בבחינת הקשר של החלוקה שהתקבלה לקבוצות האידיומורפית אל מול מאפיינים שונים של התבדידים כגון: גובה, קו אורך, קו רוחב, ווירולנטיות ואגרסיביות וגזע הפטרייה לא נמצא קשר ישיר לאף אחד מן הפרמטרים.

ממצא מעניין נוסף הינו בבחינת קצב התקדמות התבדידים בעוצמות אור משתנות, נושא שיש אליו התייחסות מועטה יחסית בספרות המדעית. מצאנו כי יש יחס הפוך בין עוצמות האור לקצב התקדמות הן הספרופיטי והן הנקרוטופי על פני עלי מנותקים. קצב זה התבטא בהעלאת תפסיר מרובה ובקצב התקדמות הנקרוזה ללא קשר לזן השעורה (איור 4) ובתלות שלילית לעוצמת האור. ניתן לשער שמגמה זו קשורה באדפטציה של הפתוגן לתנאי השדה בשלב הוגטטיבי של הצימוח. בשלב זה מעט קרינה חודרת את כיסוי העלווה והסביבה הופכת ללחה וחשוכה יחסית. אוסף התבדידים המייצג שבחרנו מראה גידול מיטבי בתנאים אלו.

2. איתור מקורות עמידות למחלת הרשת: סריקה של חומר גנטי מגוון (אוכלוסיות מיפוי ואוספים גנטיים) של שעורה לעמידות בפני מחלת הרשת בתנאי שדה ובתנאים מבוקרים.

חלק זה דווח בהרחבה בדו"חות שנה ראשונה ושניה. אנו נפרט בתמצות כאן את עיקרי הממצאים:

א. סריקת קווי תרבות. קווים כגון SYMKO, 477, ו-Barque היו מהקווים העמידים ביותר בשתי העונות (2015-2017). בנוסף, תוצאות השנה השניה, הראו כי חומרת המחלה הייתה גבוהה באופן מובהק ביחס לעונה הראשונה 2015/16 (דו"ח שנה שניה). מכיוון שחולל מחלת הרשת שורד בקרקע ובשרידי המאחסן ויכול להגביר את המדבק בעונה הבאה ין הדבר מפתיע ואם את מדגים את היכולת לבצע סריקה לקווים עמידים תחת תנאי אפידמיה כבדים. בשתי העונות אותרו בשדה קווים עמידים. בשתי העונות זני השעורה הישראליים "נגה" ו"מענית" נמצאו כבעלי פרופיל רגישות גבוה. בהמשך הוכלאו הזנים נוגה ומענית עם מספר קווים עמידים ליצירת בסיס לקווי טיפוח עתידיים (ראה טבלה 2).

ב. **אוסף של קווי שעות בולבוסין** נזרעו בשדה 61 אוכלוסיות של שעות הבולבוסין שנאספו מרחבי הארץ (איור א1). כל אוכלוסייה יוצגה ע"י שתי חזרות בשדה hill plots (ראה דו"ח שנה ראשונה) כל חזרה הורכבה מ-20 צמחים שנזרעו במעגל. קווי הבולבוסין הציגו את הסבילות הגבוהה ביותר לאילוח במחלת הרשת וזאת בהשוואה ליתר קווי הפונדקאי שנבחנו במשתלה. זרעים ופקעות ריבוי מהאוכלוסיות הנבחרות נשלחו לשותפינו ב-JKI גרמניה וזאת במטרה לנסות ולהכליא אותם עם קווי שעות תרבותית ליצירת קווי אינטרוגרסיה של שעות אביבית. קווי אינטרוגרסיה של שעות חורפית (עם קווי שעות בולבוסין עמידים מהעולם) נשלחו ונבחנו בשדה בבית דגן בעונת 2016-17 אך לא הראו עמידות בולטת (איור 5), ובנוסף עקב אפילותם הקיצונית הראו התאמה אגרוטכנית נמוכה. לצערנו קשיים טכניים במהלך ההכלאות ובעיות בריאות לא צפויות בצוות המחקר הגרמני נטרלו את עבודתו של הצוות הגרמני למשך תקופה ארוכה ועדין לא קבלנו את קווי האינטרוגרסיה האביביים.

ג. **אוכלוסיית ה- NAM-HEB**

בעונה 2015/16 נבדקו קווי הורי הבר של אוכלוסיית ה- HEB-NAM אוכלוסיית מיפוי רב הורית בעלת הורה תרבותי משותף, על מנת ולבחור מספר משפחות שיבדקו בעונה 2016/17. על סמך תוצאות קווי הורי ה- HEB-NAM נבחרו שלוש משפחות ממשפחת ה- HEB NAM (משפחות 13, 16 ו- 23 המכילות 35, 58 ו-39 פריטים למשפחה, בהתאמה) שאפיינו בעונת 2016-17 לאחר אילוח במחלת הרשת הן בשלב הצמח הצעיר (צמחונים בתנאים מבוקרים) והן בשלב הצמח הבוגר (בשדה). כל פרט באוכלוסיית המיפוי נבחן בשלוש חזרות. בכל התצפיות שביצענו המדדים שנבדקו הם Average ordinate (AO) ו- Reaction type (RT) על בסיס סולם TEKAUZ. בשנת המחקר השלישית איפיינו את שלושת המשפחות המתפצלות באילוח מבוקר בשלב הצמח הצעיר (עלה שני פרוש). האפיון הפנוטיפי בוצע באופן דומה למתואר לעיל ובנוסף ביצענו צילום של כל צמחון לאחר האילוח. תמונות הצמחונים נלקחו במועד אחד בלבד, לאחר התבססות המחלה על הצמחונים, תוך שימוש במצלמת DSLR. עיבוד התמונה נעשה באמצעות התוכנה "גפן" שנכתבה במכון להנדסה חקלאית במכון וולקני (איור 8).

3. **איתור אתרים על פני הגנום המקנים עמידות למחלת הרשת. מיפוי גנטי של העמידות למחלת הרשת יבוצע ע"י מיפוי תאחיזה (אוכלוסיית HEB NAM).**

נתוני תוצאות הסריקה בשדה (AO ו-RT) מהסעיף הקודם (2-ג) הוצלבו עם המידע הגנטי של כל פרט נבחן ואותר מתאם גנטי מובהק. האנליזה הגנטית בוצעה בעזרת תוכנת

TASSEL. על סמך נתוני ה-AO נמצאה אסוציאציה גנטית לשונות בתכונת העמידות לכרומוזומים 4H, 5H ו-6H (טבלה 1 ואיור 6). חומרת המחלה ע"פ ה-RT הוצלבה בכמה מועדים: נתוני חומרת המחלה ב- 9.1.17, 6.3.17 וממוצע ערכי ה-RT שהתקבלו במשך העונה כולה. ניתן לראות (איור 6) כי האסוציאציה הגנטית לעמידות למחלה נמצאת באזורים שונים על פני הגנום ביחס לתאריכי הבדיקה השונים. הסמנים הושוו לנתונים מהספרות הרלוונטית (טבלה 1) ונראה כי ישנו לפחות אחד בגנום שזוהו לראשונה במיפוי כמבקרים את התמודדות הצמח עם מחלת הרשת. המיפוי הגנטי איתר אזורים בגנום המבקרים את העמידות למחלת הרשת, חלקם תועדו בספרות ולפחות אחד על כרומוזום 7H מהם **זוהה לראשונה במחקר זה**. ברוב המקרים נתרמה העמידות מהורה הבר (שעורת התבור). נתון זה לא תואם לספרות שם מדווחת שעורת התבור כמין רגיש למחלת הרשת באופן גורף (קנת 1960). יתכן והעובדה שמקורם הגיאוגרפי של הורי הבר של אוכלוסיית המיפוי הינו מחוץ לישראל יכול להסביר את העמידות שאותרה בשעורת התבור. נתוני האילוח בשלב הצמח הצעיר מופו אף הם גנטית (איור 7). גם נתונים אלו בדומה למיפוי של אפיון RT בשלבי צימוח שונים מצביע על כך שבשלבם התפתחותיים ופנולוגיים שונים, ישנם אזורים גנומים שונים המעורבים ביחסי הגומלין של הפתוגן/פונדקאי. מכאן, במלאכת הטיפוח יהיה נכון לסרוק ולעקוב אחר קווי טיפוח לכל אורך העונה ולא לפסול שימוש בקווים המראים עמידות בשלב ספציפי במהלך העונה. עיבוד נתוני התמונה עדין לא הסתיים ואנו עוסקים בימים אלו בסיכום הנתונים לצרכי כתיבת מאמר מדעי מסכם. אנו רואים חשיבות גדולה בבחינת כלי זה של אפיון מצולם וקבלת מדד נגיעות "אובייקטיבי". במידה ונצליח להוכיח אמיתות והדירות של הכלי המטרה היא להעזר בו למיפוי גנטי בעתיד ואף לסריקות של חומר קדם טיפוח מאולח.

(4) פיתוח חומר קדם טיפוחי בכיוון של עמידות מוגברת למחלת הרשת.

פיתוח קווי שעורה בעלי עמידות למחלת הרשת הוא למעשה השלב המסכם של הפרויקט והוא מתבסס על הישגי המחקר וממצאיו כפי שפורטו לעיל. מערכת אילוח בשלב הצמח הצעיר שהוקמה במעבדה מאפשרת לסרוק כמות גדולה של קווים או באמצעות אילוח "טבעי" בשדה או באמצעות סט התבדידים המייצג שנבחר (על סמך שונות גנטית ובירולנטיות) מתוך האוסף (ראה דו"ח שנה 2).

דורות מתפצלים דור F_3 של הכלאה בין זן שעורה מסחרי רגיש (נגה או מענית) וזן תרבותי עמיד נסרקו תחת תנאי אילוח בשלב הצמחונים. פרטים שהראו סבילות למחלת הרשת ימשיכו ריבוי מואץ (Single seed descent) לקבל קווי מיוצב. נציין רק שקווי השעורה העמידה אותה בחרנו להכליא הראו ביצועים אגרוטכנים סבירים ומעלה בשדה ומכאן שאנו צופים שהחומר הקדם טיפוחי יהיה קו רלוונטי לא רק מבחינת הסבילות למחלה אלא גם

מבחינת הפוטנציאל הטיפוחי שלו. כמובן שתמיד שמורה לנו האופציה לבצע הכלאה מחזירה עם הזן הישראלי (נגה או מענית).

במקביל בוצעו הכלאות בין קוו HEB-NAM 74_23 המכיל את QRL לעמידות עם הזן נגה (טבלה 1). התמקדנו באתרים SCRI_RS_231205, SCRI_RS_148330 ו- BOPA1_4389_551 על הכרומוזומים 4H, 5H ו- 6H בהתאמה. דור F₂ של קווים אלו נסרק ונמצא תחת ולידציה ראשונה באילוח מבוקר (איור 9) עם תבדיד בוחן ווירולנטי. הממצאים יאפשרו לאתר מספר קווים בעלי נגיעות נמוכה יחסית איתם נמשיך לדורות מתקדמים יותר.

סיכום ומסקנות:

מטרות עבודה זו, היו הקמת התשתית הנדרשת לצורך חקר מחלת הרשת בשעורה, בכלל זה יצירת אוסף התבדידים של מחולל מחלת הרשת, אפיונם הפנוטיפי והגנטי ואיתור וזיהוי עמידות בפונדקאי, בבר ובתרבות. עקב התנופה בהיקפי גידול השעורה בישראל ומיקומה הגאוגרפי ביחס למרכז הביות של השעורה (הלמ"ס, 2016, Abbo et al., 2007), ישנו ערך מוסף לביצוע העבודה דווקא בישראל ובעת הזאת.

למטרת בניית אוסף התבדידים נאספו מעל 100 דוגמאות של עלי שעורה ממגוון פונדקאים בבר ובתרבות מרחבי הארץ, המראות סימפטומים של מחלה הרשת. מאותן דוגמאות, בודדו 27 תבדידים מאזורים אקו-גיאוגרפיים שונים ומפונדקאים שונים. היקף האוסף קטן יחסית בהשוואה לאוספי פתוגן דומים (Frenkel et al. 2008, Ben-David et al. 2016) שנאספו בישראל המימצאים מצביעים על היותו אוסף מייצג ומגוון הן פנוטיפית והן גנטית (Ronen et al. 2019).

תוצאות בחינת קצב התקדמות התבדידים על עלים מנותקים הצביעו על הבדלים מובהקים בקצב התקדמות בין 27 התבדידים ללא קשר למין הפונדקאי או למקור הגיאוגרפי של הדוגמה. עם זאת, ניתן היה לראות כי התבדידים שמקורם בפונדקאי מהבר, היו בעלי שונות גבוהה בקצב הצמיחה בהשוואה לתבדידים שבודדו מהשעורה התרבותית (חלקם היו אלימים מאוד וחלקם התקדמו על פני השעורה באופן איטי מאוד). בבדיקת הקשר בין קצב ההתקדמות על עלים מנותקים לגזע התבדיד נמצא כי *Ptm* בעל קצב התקדמות מהיר באופן מובהק מתבדידי ה- *ptt*. כמו כן, נמצא קשר שלילי מובהק בין עוצמת האור (לוקס) אליה נחשף התבדיד לבין קצב התקדמותו. בחינת קצב התקדמות התבדידים על מצע ספרופיטי הראתה גם כן הבדל מובהק בין תבדידים. תוצאות אלו נמצאו בהתאמה למחקרים קודמים ב- *Colletotrichum graminicola* בתירס וב- *Botrytis cinerea* tomato and strawberry בעגבניה ותות שדה (Hammerschmidt and Nicholson 1977; Canessa et al. 2013) בהם נמצא קשר שלילי בין עוצמת האור וגידול הפתוגן. גם במקרה זה, לא נמצא מתאם בין

מין הפונדקאי ממנו נאספה הדוגמה והמיקום הגאוגרפי שממנו נאספה הדוגמה לקצב ההתקדמות של התבדידים על המצע. בבחינת מקדם המתאם בין התקדמות התבדידים על עלים מנותקים של זני שעורה תרבותית לבין התקדמותם על מצע ספרופיטי התקבל מתאם חיובי גבוה, אך לא מספיק לשם חיזוי התנהגות התבדיד על מצע חי בעזרת קצב הגידול הספרופיטי (מתאם שני המשתנים: $0.405 < r < 0.507$ כאשר חלק מן הזנים הראו מתאם גבוה יותר לקצב הספרופיטי וחלקם נמוך). אנליזה פילוגנטית של התבדידים הדגימה קיבוץ לשש קבוצות באמצעות הגן MAT1-1-1 ולשלוש קבוצות באמצעות MAT1-2-1. אולם, לא אותר קיבוץ מובהק של התבדידים לפי מיקומם הגאוגרפי, מין הפונדקאי, או אפילו גזעי התבדידים. כצפוי לגן ה-MAT אין תאחיזה או מתאם לשונות סביבתית שנאמדה בניסוי ולשונות או לשונות בוורולנטיות. בעבודה זו ראינו כי ל-*Ptm* ייצוג מכובד באוכלוסיית הפתוגן מה שמחייב, מבחינה טיפוחית, לשים דגש גם עליו, במידה וישנם הבדלים ביחסי הגומלין בינו לבין הפונדקאי בהשוואה ל-*Ptt*. העובדה שתבדידי ה-*Ptm* הראו וורולנטיות גבוהה באופן מובהק בהשוואה לתבדידי *Ptt* מחזקת ומדגישה מסקנה זו. גרסה מורחבת של התוצאות והדיון העוסקים באפיון התבדידים המוזכרות בחלקן בדו"ח זה הוגשו כמאמר ל-European journal of phytopathology (Ronen et al., 2019).

תוצאות מבחן השדה בשתי העונות הראו כי השעורה התרבותית מגוונת בתגובתה לאילוח וברמת העמידות אל מול מחלת הרשת (טווח ה-AO בעונות 2015/16 ו-2016/17: 11.82-24.5 ו-12.5-39.2 בהתאמה). מספר קווי זני תרבות הראו סבילות מבוטחת למחלת הרשת והוכלאו עם זני התרבות הישראליים נגה ומענית ליצירת קווי הכלאה מתפצלים והמשך טיפוח. שעורת הבולבוסין שנבדקה בעונה 2015/16 הראתה עמידות כמעט ללא יוצא מן הכלל. מספר אוכלוסיות שהראו את העמידות הגבוהה ביותר נשלחו למעבדה בגרמניה לצורך יצירת קווי אינטרוגרסיה (בשיטות מתקדמות) עמידים על רקע של שעורה התרבותית. בהשוואת מיני השעורה שנבדקה בשדה (שעורות התבור, הבולבוסין והתרבותית) נמצאו הבדלים מובהקים ברגישות המינים, כאשר שעורת התבור הייתה הרגישה ביותר, מעט אחריה השעורה התרבותית ולבסוף שעורת הבולבוסין. מדרג זה תואם את מה שנמצא במחקרים קודמים (קנת, 1960) בהשוואת הקווים שנזרעו בשתי העונות נמצאו הבדלים מובהקים בין עונת 2015/16 לעונה 2016/17 כאשר האחרונה, הראתה שיעורי מחלה גבוהים מעונה 2015/16. בבדיקת חוזק המתאם בין מדדי חומרת המחלה במועדים בודדים (RT, אחוז כיסוי ו-AO) נמצא כי בין המדדים ישנו קשר חיובי מובהק כמעט בין כל המועדים ($P(r) < 0.01$). עם זאת, ראוי לציון כי ערכי המתאם בין אחוז הכיסוי בין מועדי הבחינה של 30-60 ימים מיום זריעה נותנים את מידת המתאם הטובה ביותר.

בתוך משפחות ה-HEB NAM שנבדקו בשדה (בעונה 2016/17) תועדה שונות גבוהה בעוצמת המחלה. להבדיל, בין המשפחות עצמן לא נצפו הבדלים משמעותיים בשונות או

בממוצע ה-AO שבין צאצאי המשפחה (ממוצע AO של 32.3, 32.9 ו-30.2 למשפחות 13, 16 ו-23 בהתאמה). נתוני תוצאות הסריקה בשדה (AO ו-RT) הוצלו עם המידע הגנטי של כל פרט נבחן ואותר מתאם גנטי מובהק. על סמך נתוני ה-AO נמצא אסוציאציה גנטית לשונות בתכונות העמידות לכרומוזומים 4H, 5H ו-H6. חומרת המחלה ע"פ ה-RT הוצלבה בכמה מועדים: נתוני חומרת המחלה ב-09/01/2017, 06/03/2017 ואת ממוצע ערכי ה-RT שהתקבלו במשך העונה כולה. נראה כי האסוציאציה הגנטית של העמידות למחלה התמפתה

הביקוש לזני שעורה עמידים למחלת הרשת בישראל עלה בשנים האחרונות בשל עלייה בהיקף הגידול ובשל פגיעות של המחלה בחלק מן השדות. השונות שנצפתה באוכלוסיית הפתוגן מעידה על כך שחקר הפתוגן ובחינת השונות שבתוך אוכלוסיית הפתוגן הוא שלב הכרחי בדרך ליצירת זן עם עמידות ברת קיימא (שאיננה נשברת על נקלה), כמו גם ניסיון מתמשך לאיתור עמידויות באוכלוסיית הפונדקאי. נראה כי מיני הבר הגדלים בסמוך ובתוך חלק משדות השעורה התרבותית (כמין בר ולעיתים כעשב שוטה) עשויים להוות מקור מדבק אפשרי לאילוח השדות. מצב כזה עשוי להגביל את יעילות מחזור הזרעים ככלי לצמצום האפידמיה בשדות הסמוכים וכתוצאה מכך, להקשות על ניהול המחלה בשדות צמודים למיני בר בעזרת מחזורי זרעים (על אף חשיבותו הרבה במניעת אפידמיה). לפיכך, הדרך הטובה ביותר לטיפול במחלה היא בעזרת טיפוח לזנים עמידים לאוכלוסיית התבדידים שבאזורנו. החומר הקדם טיפוחי שפותח במחקר זה יהוו בסיס לתוכנית טיפוח של זנים עמידים למחלת הרשת בישראל. שתי פלטפורמות לאילוח בתנאים מבוקרים שהוקמו בפרויקט כמו גם השימור ארוך הטווח של אוסף התבדידים שאופיין יסיעו ככלי עזר חשוב בתהליכי הסלקציה במהלך הטיפוח העתידי.

לאזורים שונים על פני הגנום בתאריכי בדיקה שונים. הסמנים הושוו לנתונים מהספרות הרלוונטית ונראה כי ישנו לפחות אזור אחד בגנום שזוהה לראשונה במחקר זה כאזור המבקר את התמודדות הצמח עם מחלת הרשת. כמו כן, בכל האתרים בגנום שזוהו, האלל התורם לעמידות הגיע מהורה הבר (על אף רגישותה הכללית של שעורת התבור). אפיון הנגיעות בשלב הצמח הצעיר שבוצעה באופן בלתי תלוי (שנה שלישית) הראתה התאמה נמוכה לאילוח בשנה השנייה בשדה (איור 7). ממצא זה מחזק את המיפוי של נתוני ה-RT ואת התלות בין רמת הסבילות המתקבלת ושלבי ההתפתחות של הפונדקאי. גם הדינאמיות של

טבלה 1. סיכום תוצאות מבחני זיקה ותאחיזה לרגישות למחלת הרשת והשוואה לספרות

שם הסמן (נתונים מהספרות ¹)	כרומוזום	מיקום שיא (CM)	LOD Score	הציון הפנוטיפי	מקור ההורה התורם ²	R ²
SCRI_RS_148330 ⁺	4H	103.9	6.32	AO	13,16, <u>23</u>	0.202
SCRI_RS_231205 ⁺	6H	66.1	4.9	AO	16, <u>23</u>	0.27
BOPA1_4389_551 ⁺	5H	70.1	4.3	AO	13,16, <u>23</u>	0.144
BOPA1_4154_364 ⁺	5H	44.2	4.3	TEKAUZ 1/17	BARKE	0.15
SCRI_RS_213799 ⁺	2H	7.4	4.05	TEKAUZ 1/17	13,16	0.19
SCRI_RS_170388 ⁺	4H	102.6	4.8	TEKAUZ 3/17	13,16, <u>23</u>	0.16
BOPA2_12_10362 ⁻	7H	99.8	3.9	TEKAUZ 3/17	16	0.28

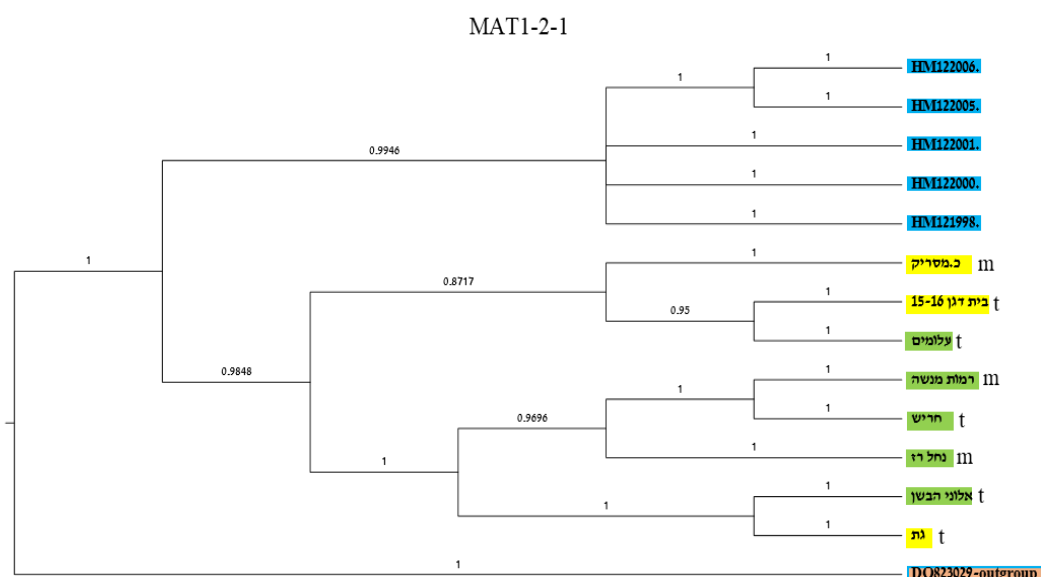
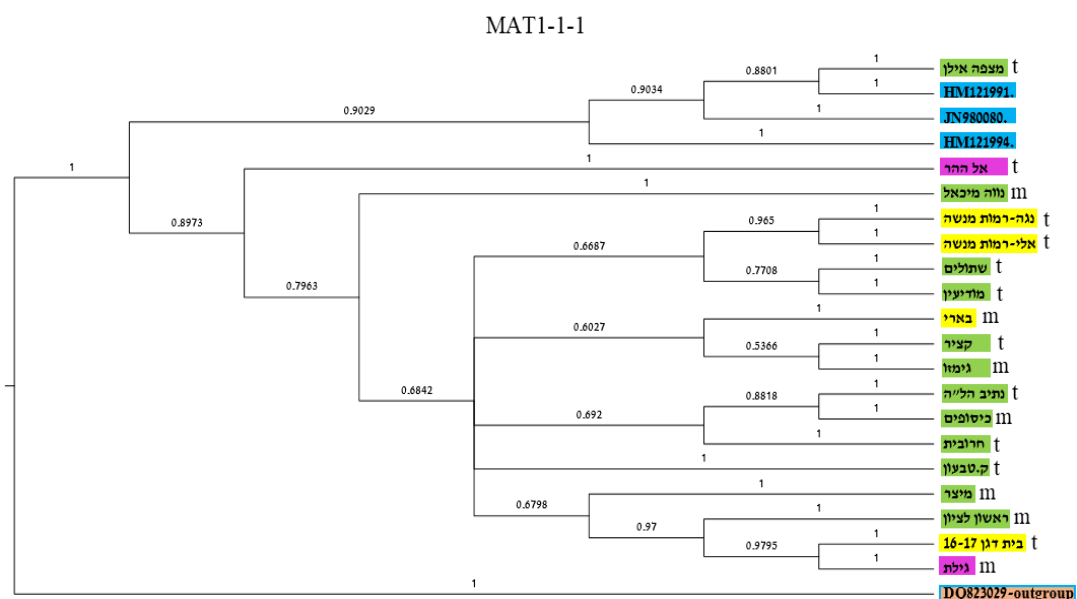
¹ נתוני הספרות נלקחו מעבודת מיפוי גנטי לפתוגן זה באותה האוכלוסייה (Vatter et al., 2017) הסימנים + ו- מייצגים סמן שנמצא בתאחיזה לתכונת העמידות וסמן שלא, בהתאמה. ² המספרים מציינים את תת משפחה של HEB NAM שנקבעת לפי ההורה התורם. **למשפחה שנוצרה מהורה הבר 23 יש 4 סמנים** (על כרומוזומים 4H, 5H, 6H) בתאחיזה גבוהה לעמידות כנגד שעורה.

טבלה 2. מידע על הכלאות שבוצעו בין קווים עמידים למחלת הרשת וזני שעורה ישראלי. באדום מסומנות ההכלאות עם קו מאוכלוסיית ה-HEB-NAM.

קו עמיד	הורה B	השלב הדורי בו נמצאת ההכלאה
HEB <u>23_74</u>	נגה	F2
HEB <u>23_74</u>	מענית	F1
477	נגה	F2
Barque	נגה	F1
Symko	נגה	F1
Israel 264	נגה	F1
473	מענית	F3
591	מענית	F3
583	מענית	F3
SA	נגה	F3
SA	מענית	F3

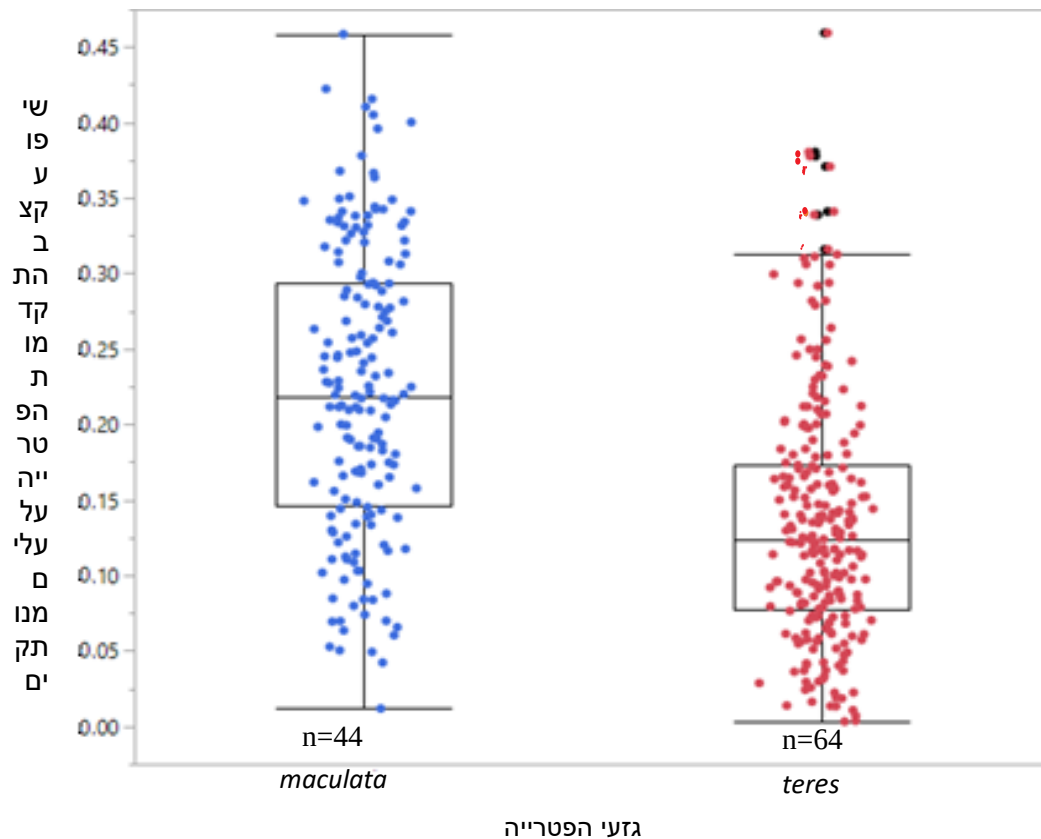


איור 1. מפת תפוצת מחלת הרשת בישראל על פי חלוקה למיני הפונדקאי. ש. מייצגת את קיצור המילה שעורה/שעורת.

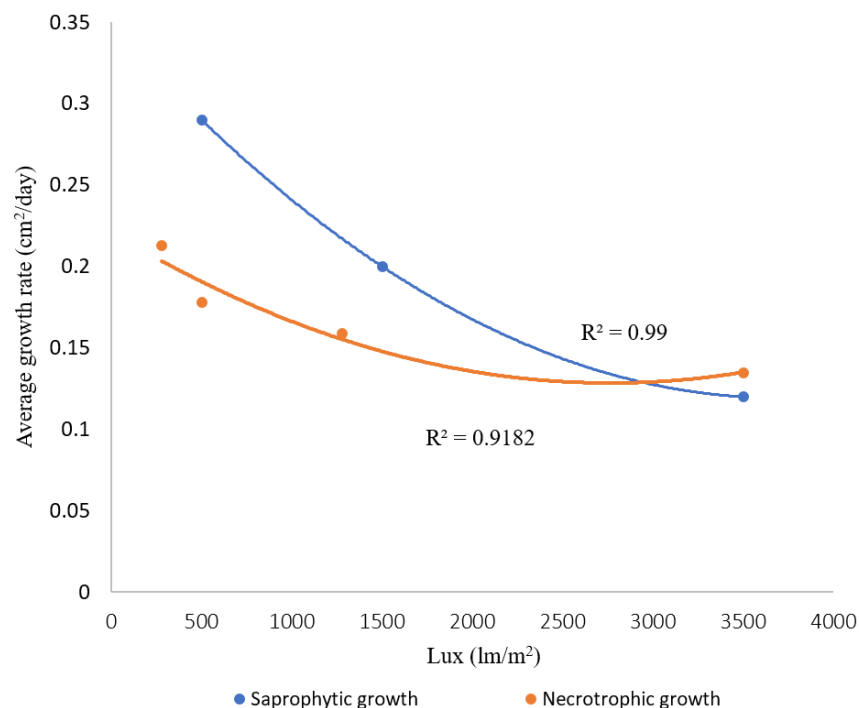


09

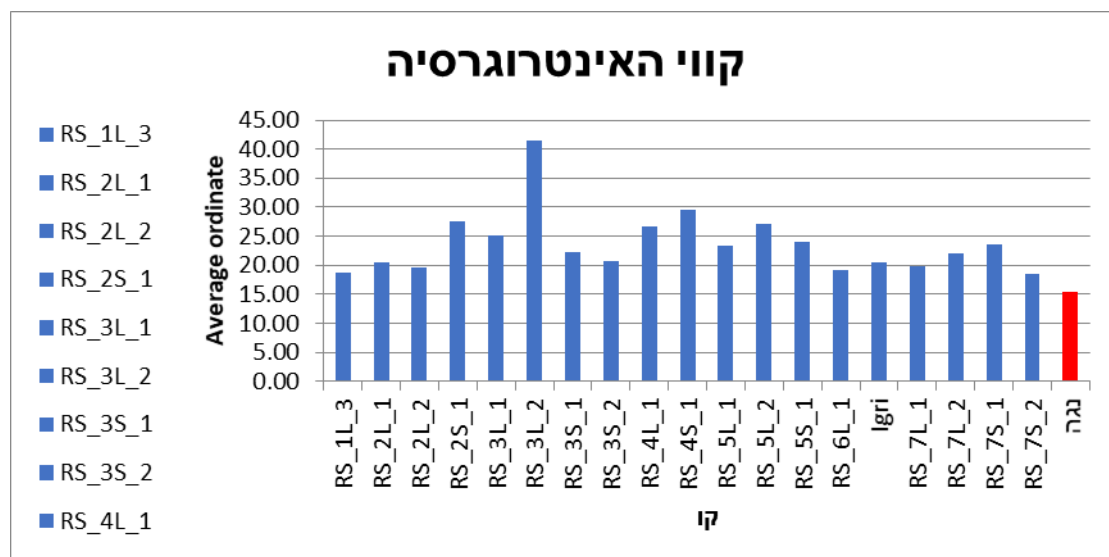
איור 2. עץ פילוגנטי המציג את מידת קרבת התבדילים אחד אל רעהו על בסיס **Mating type gene**. העץ נבנה בשיטה הבייסיאנית כאשר המספרים על ענפי העץ מציגים את מובהקות אותו ענף. הצבעים: ירוק, צהוב, סגול, כחול וחום מייצגים בהתאמה את הקבוצות: שעורת התבור, שעורה תרבותית, שעורת העכבר, תבדילים ממאגר NCBI (שבודדו משעורה תרבותית) וקבוצות חוץ למין הפטרייה (*P. graminea*). האותיות t ו- u מייצגות את הגזע שאליו התבדיל משתייך, t ו- maculata בהתאמה. הצבעים: ירוק, צהוב, סגול, כחול וחום מייצגים בהתאמה את הקבוצות: שעורת התבור, שעורה תרבותית, שעורת העכבר, תבדילים ממאגר NCBI (שבודדו משעורה תרבותית) וקבוצות חוץ למין הפטרייה (*P. graminea*).



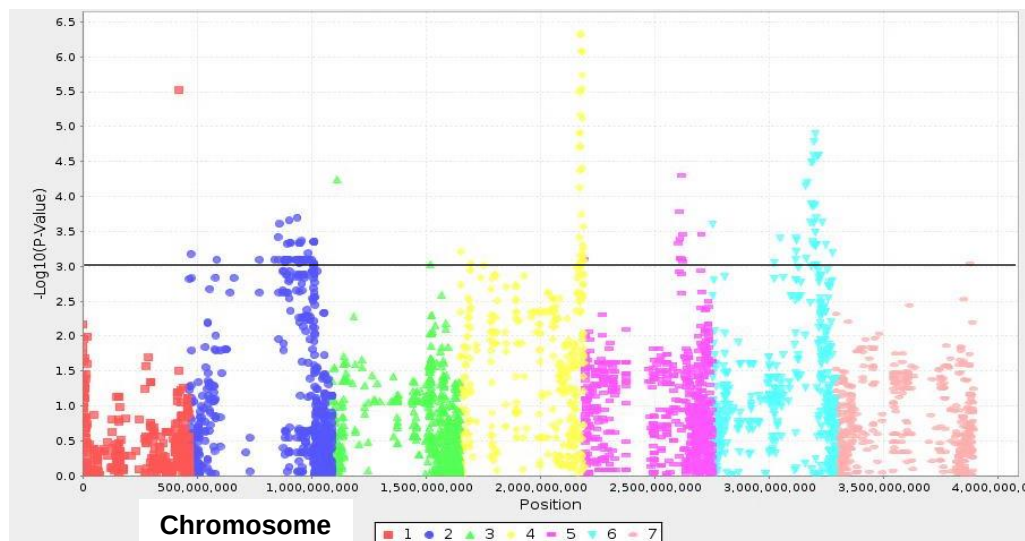
איור 3. השוואת התפלגות קצב התקדמות הפטרייה על עלים מנותקים בין גזעי הפטרייה. מספר התבדילים (n) מכל גזע מוצג בתחתית הקופסה. ההבדלים בין התבדילים נבחנו במבחן t-student ונמצאו מובהקים ($P < 0.01$).



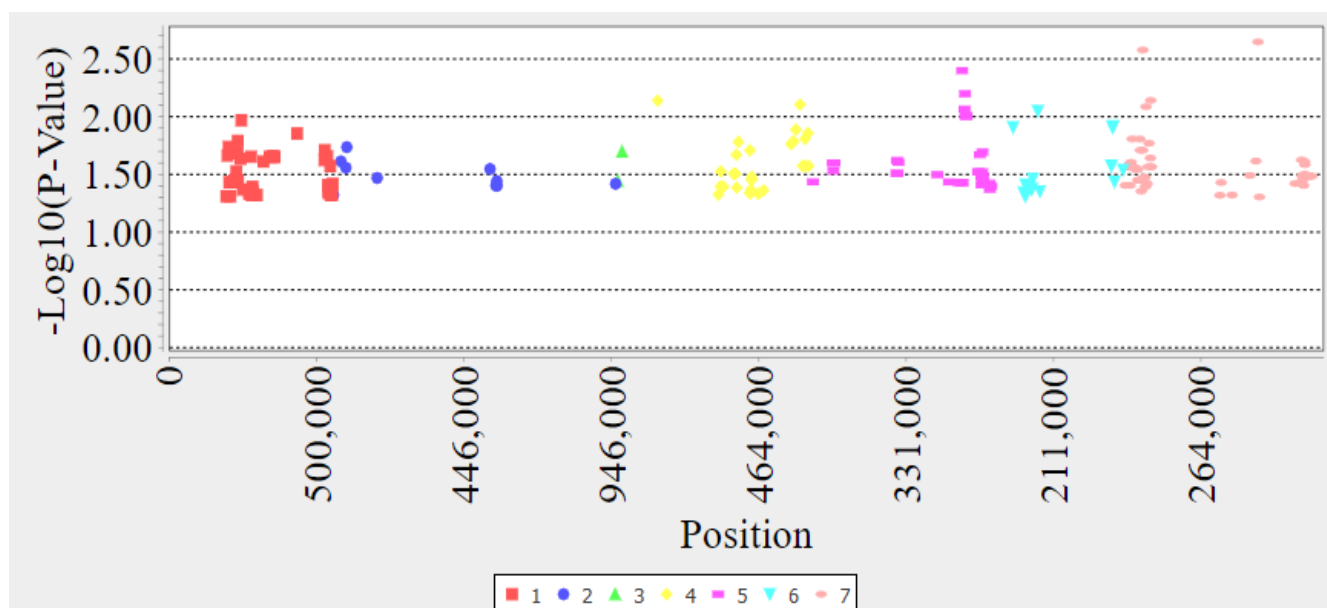
איור 4. מתאם בין עוצמת אור (Lux) וממוצע קצב הגידול הספרופיטי והנקרוטרופי (ס"מ²/ליום) של 27 תבדילים של מחלת הרשת על ארבעה זני שעורה (נגה, מענית, שגיב ובאראקה). גרסיה מובהקת אותרה הן לקצב הגידול הספרופיטי ($P(F) < 0.0018$) והן בקצב הגידול הנקרוטרופי ($P(F) < 0.0001$).



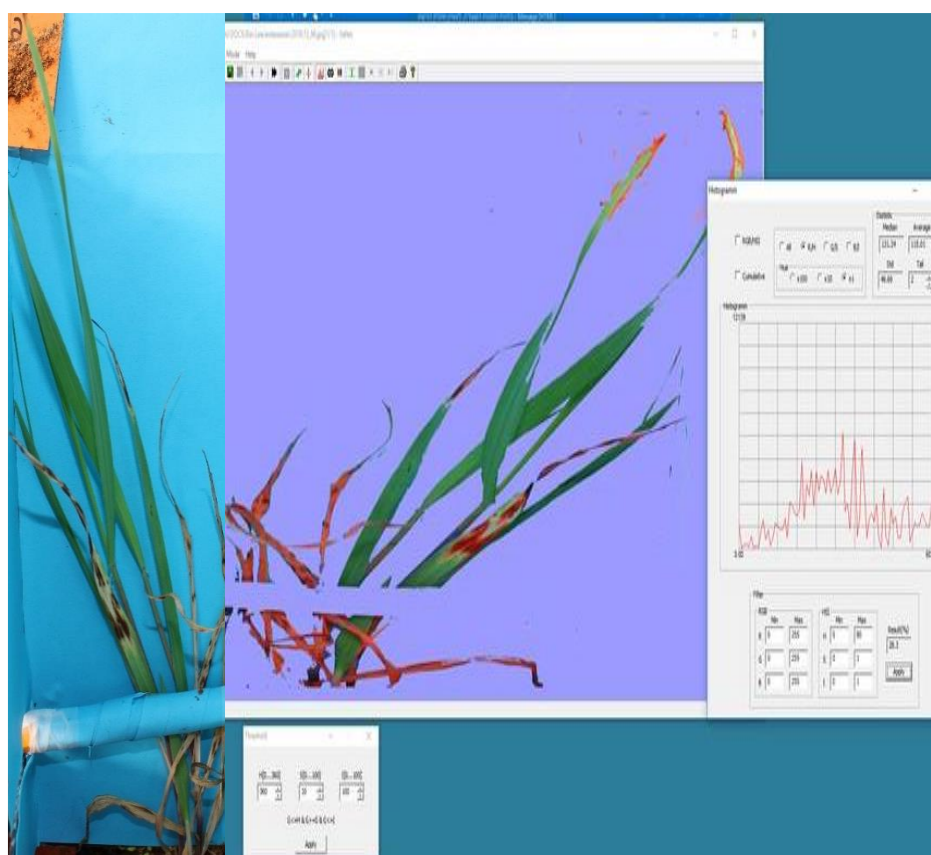
איור 5. נתוני נגיעות במחלת הרשת (AO) של קווי אינטרוגרסיה של שעורת הבולבוסין על רקע של שעורה חורפית (עונת 2017-18). זן הביקות נגה באדום.



איור 6. גרף מסוג "מנהטן" עבור עמידות למחלת הרשת (עמידות נמדדה לפי AUDPC). הצבעים השונים בגרף מייצגים את שבעת הכרומוזומים בשעורה, ציר ה-x מייצג את מיקום הסמן ביחס לגנום, ציר ה-y מייצג את מובהקות הסמן לתכונת העמידות (מיוצג כ- $-\log(p)$). הקו החוצה את הגרף מייצג את ערך הסף הסטטיסטי $p < 0.001$. נערך תיקון להשוואות מרובות (עקב מספר הפרטים הגדול) ע"י חישוב של 1000 פרמוטציות).



איור 7. גרף מסוג "מנהטן" עבור עמידות למחלת הרשת בשלב הצמח הצעיר (ע"פ ה-AO). הצבעים השונים בגרף מייצגים את שבעת הכרומוזומים בשעורה, ציר ה-x מייצג את מיקום הסמן ביחס לגנום, ציר ה-y מייצג את מובהקות הסמן לתכונת העמידות (מיוצג כ- $-\log(p)$).



איור 8. סריקה דיגיטלית של עמידות למחלת הרשת. בחינת אוכלוסיית המיפוי HEB-NAM בשלב הצמח הצעיר בתגובה לאילוח במחלת הרשת בעזרת חישוב אחוז כיסוי המחלה ע"י תוכנת עיבוד תמונה גפן.



איור 9. אילוח מבוקר בשלב הצמחונים. של קווי F₂ מתפצלים של הכלאה HEB 23_74 X נגה ע"י התבדיד הווירולנטי H.V-TE-GA.

פרסומים מדעיים שנהנו ממימון תכנית המחקר:

במהלך השנה האחרונה עבד על הפרויקט משה רונן מהנדס מחקר במכון וולקני.

רשימת ספרות:

- דינור עמוס, 2000. בתוך: רותם י., פלטי י., בן יפת י. (1998), מחלות צמחים בישראל, הוצאת מינהל המחקר החקלאי המחלקה לפרסומים מדעים מרכז וולקני, בית דגן התשנ"ח.
- קנת ראובן, 1960. אספקטים על הטקסונומיה, הביולוגיה והאפידימולוגיה של הגורם למחלת הרשת (בשעורה DRECHSLERA TERES DRECHSL. (DRECHSLERA TERES, (SACC.) SHOEMAKER) האוניברסיטה העברית
- Ben-David, R., Parks, R., Dinor, A., Kosman, E., Wicker, T., Keller, B., & Cowger, C. (2016). Differentiation Among *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* Isolates Originating from Wild Versus Domesticated Triticum Species in Israel. *Phytopathology*, 106(8), 861–870. doi:10.1094/phyto-07-15-0177-r
- Campbell, G. F., Lucas, J. A., & Crous, P. W. (2002). Evidence of recombination between net-and spot-type populations of *Pyrenophora teres* as determined by RAPD analysis. *Mycological Research*, 106(05), 602-608.
- Canessa, P., Schumacher, J., Hevia, M. A., Tudzynski, P., & Larrondo, L. F. (2013). Assessing the Effects of Light on Differentiation and Virulence of

- the Plant Pathogen *Botrytis cinerea*: Characterization of the White Collar Complex. PLoS ONE, 8(12). doi:10.1371/journal.pone.0084223
- Frenkel, O., Sherman, A., Abbo, S., & Shtienberg, D. (2008). Different Ecological Affinities and Aggressiveness Patterns Among *Didymella rabiei* Isolates from Sympatric Domesticated Chickpea and Wild *Cicer judaicum*. *Phytopathology*, 98(5), 600–608. doi:10.1094/phyto-98-5-0600
- Hammerschmidt, R. (1977). Resistance of Maize to Anthracnose: Effect of Light Intensity on Lesion Development. *Phytopathology*, 77(2), 247. doi:10.1094/phyto-67-247
- Liu Z, Ellwood SR, Oliver RP, Friesen TL (2011) *Pyrenophora teres*: profile of an increasingly damaging barley pathogen. *Mol Plant Pathol*. 12: 1-19
- Rau, D., Brown, A. H., Brubaker, C. L., Attene, G., Balmas, V., Saba, E., & Papa, R. (2003). Population genetic structure of *Pyrenophora teres* Drechs. the causal agent of net blotch in Sardinian landraces of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 106(5), 947-959.
- Vatter, T., Maurer, A., Kopahnke, D., Perovic, D., Ordon, F., & Pillen, K. (2017). A nested association mapping population identifies multiple small effect QTL conferring resistance against net blotch (*Pyrenophora teres* f. *teres*) in wild barley. *PloS one*, 12(10), e0186803.

פרסומים שנבעו מהמחקר:

רוני משה 2018 . מחלת הרשת בשעורה-אפיון הפתוגן *Pyrenophora teres* f. *teres* ואיתור עמידות במיני שעורה בבר ובתרבות. עבודת מוסמך, אוניברסיטת בר-אילן.

- Ronen, M., Harel, A., Sela, H., Fridman, E., Moreau, A., Harosh, A. and Ben-David, R. (2017). Barley Net Blotch in Israel - characterization of the pathogen population and identification of host resistance. Abstracts of presentations at the 38st Congress of the Israeli Phytopathological Society. *Phytoparasitica* 45: 262
- Ronen, M., Harel, A., Sela, H., Fridman, E., Perl-Treves, R., Moreau, A. and Ben-David, R. (2017). Identification and genetic mapping of Net Blotch resistance genes quantitative resistant loci (QRLs) in in Barely in seedlings and adult plant stage. Abstracts of presentations at the 40st Congress of the Israeli Phytopathological Society. *Phytoparasitica* 45: 262
- Ronen, MS., Sela, H., Fridman, E., Perl-Treves R., Kopahnke D., Nashef, KT., Ben-David, R. and Harel A (2019) .Characterization of the Barley Net Blotch

Pathosystem at the center of origin of host and pathogen. Eur J Plant Pathol (submitted)
 Ronen, M., Harel, A., Sela, H., Fridman, E., Perl-Treves, R., Moreau, A. and Ben-David, R. (2019). Identification and genetic mapping of Net Blotch resistance genes quantitative resistant loci (QRLs) in in Barely in seedlings and adult plant stage. Molecular breeding (in preparation)

סיכום עם שאלות מנחות

אנא פרט מהם הניסויים שנעשו תוך השוואה לתכנית העבודה המתוכננת והתאמתם למטרות המחקר כפי שהופיעו בהצעה המקיפה
הוקם הושלם ואופיין אוסף מגוון של תבדידי הפתוגן. האוסף נשמר לטווח ארוך לצרכי מחקר וטיפול עתידיים.
הושלמה סריקת השדה של קווי תרבות, קווי הבולבוסין וקווי אוכלוסיות HEB NAM.
בוצע אפיון פנוטיפי וגנטי של באוכלוסיות HEB NAM. הושלם המיפוי הגנטי כולל זיהוי אתרים בגנום המבקרים את תגובת צמח השעורה לאילוח במחלת הרשת.
בוצעו הכלאות של קווים עמידים (זני שעורה עמידים מהאוסף וקווי HEB NAM למטרות קדם טיפוח של זני שעורה סבילים למחלת הרשת בישראל.
מהם עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח?
אוסף התבדידים אוסן בשימור טווח ארוך לזמינות ושימוש במחקר עתידי.
בוצעה חזרה מלאה על האפיון הפנוטיפי של שלוש אוכלוסיות HEB NAM בתנאים מבוקרים בשלב הצמחונים.
הושלם המיפוי הגנטי של שלוש אוכלוסיות HEB NAM
בוצע בחינה ראשונית של אפיון הנגיעות במחלת הרשת באמצעות צילום ועיבוד תמונה
בוצעו הכלאות של הזנים המסחריים נגה ומענית עם קווי שעורה עמידים
נותחו וסוכם הנתונים לכדי שני מאמרים מדעיים (אחד הוגש, אחד בהכנה) ותקציר ב- Phytoparasitica
בעקבות הניסויים שנעשו, אנא פרט והסבר כיצד הושגו מטרות המחקר בתקופת הדו"ח או חלק מהן
האפיון הגנטי והפנוטיפי של האוסף הושלם. האפיון היה מעמיק וכלל הן לימוד על הרכב אוכלוסיית הפתוגן והן לימוד והבנה עמוקים לגבי האפדמיה של מחלת הרשת בתנאי ישראל. התברר שמחלת הרשת נגרמת ע"י קומפלקס של שני פתוגנים שתורמים לאפידמיה בבר ובתרבות. הדומיננטיות של תבדידי ה-Ptt הנה ממצא חדש שלא דווח בספרות. השונות בוורילנטיות של התבדידי ובכלל זה תבדידי ה-Ptt תהווה נדבך חשוב בהמשך המחקר והניסיון לטפח זני שעורה עמידים למחלת הרשת.
מערכת הסריקה בשדה ובמעבדה איפשרה לנו לאתר חומר גנטי עמיד ולבצע מיפוי גנטי על האוכלוסיה המתפצלת HEB NAM
המיפוי הגנטי איפשר ללמוד על הבקרה הגנטית של התכונה. בקרה זו כצפוי פוליגנית והנה ספציפית לתנאי גידול שונים של הפונדקאי ותלויה מאד גם בתבדידי הפתוגן או ה"תערובת" שנבחרת לאילוח.
הכלאות שעורה תרבותית בארץ כולל שימוש בקווים העמידים מאוכלוסית ה- HEB NAM מקדם את פיתוח חומר קדם טיפוחי עם עמידות למחלת הרשת
בהתאם להצעה המקיפה, ציין מה התבצע מתוך טבלת המשימות ואבני דרך, כולל אבני דרך כמותיות (סעיפים IV-VI) ומהם הקריטריונים שפורטו בהצעה המקיפה כבוחן להצלחת המחקר אכן הושגו
קדם הצעה (2015): איסוף תבדידי מחלת הרשת מישראל, איסוף קווי בר של שעורת הבולבוסין וסריקה ראשונה לעמידות, סריקה ראשונית של אוסף קווי שעורה אביבית. אפיון פנוטיפי בשדה של עמידות למחלת הרשת. בוצע כמתוכנן

שנה א' (2016): סריקה לעמידות שדה כנגד מחלת הרשת: (1) אוסף נבחר של קווי שעורה תרבותית אביבית, (2) אוסף קווי שעורת הבולבוסין מן הבר ו- (3). סריקה של הורי אוכלוסיות ה- HEB NAM. הקמת מערכת מבוקרת לאילוח בתבדידי מחלת הרשת. בוצע כמתוכנן
שנה ב' (2017): הקווים שנמצאו עמידים בשנה הראשונה ישולבו במערך ההכלאות (שת"פ עם JKI גרמניה, ראה מכתב מצורף) ובמקביל יבחנו במעבדה לעמידות בתנאים מבוקרים. עשר אוכלוסיות HEB NAM נבחרות יכללו בניסוי שדה. בוצע כמתוכנן. בחרנו להתמקד ב- 3 משפחות HEB NAM (ולא ב-10) עקב הרגישות הגבוהה של חלק מקווי ה- HEB NAM הנבחנו ועקב הצורך לבצע חזרות טכניות בשדה (על חשבון מספר הקווים המאופיינים).
שנה ג' (2018): חזרה על ניסוי שדה של אוכלוסיות HEB NAM, וסיום אנליזת המיפוי הגנטי בשתי סביבות. סריקת עמידות שדה של קווי אינטרוגרסיה של שעורת הבולבוסין על רקע נגה/מענית. המשך הכלאות של קווים עמידים עם זנים ישראלים ובחינת העמידות של קווי טיפוח מתקדמים בתנאים מבוקרים. בוצע כמתוכנן. מלבד הנושא של סריקת קווי האינטרוגרסיה של ש. הבולבוסין מגרמניה. עקב בעיות שפורטו בדו"ח נסרקו רק קווי אינטרוגרסיה על רקע של שעורה חורפית ולא נמצאו מתאימים (הן מבחינה אגרוטכנית/פנולוגית והן מבחינת רגישותם לפתוגן המקומי). שני קווי אינטרוגרסיה על רקע של שעורה אביבית ישראלית (נגה/מענית) יוצרו אך עדין לא התקבלו מהשותף הגרמני ב- JKI.
מהן המסקנות המדעיות ומהן ההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו בעתיד?
הפתוגן בארץ הוא למעשה תערובת של שני גזעים שתורמים שניהם לפתוגנזה.
עמידות קווי הבולבוסין תואמת את הספרות ומדגישה את חשיבות הכלאות עם שעורה תרבותית (שת"פ מיפוי אוכלוסיית ה- HEB NAM הן במהלך הגידול בשדה והן באופן מבוקר בשלב הצמחונים אפשר לאתר אזורים בגנום השעורה שמבקרים את התגובה לפתוגן. נמצאה התאמה לאזורים בגנום שזוהו כקשורים לעמידות במחקרים בספרות העולמית. אם זאת אותרו אזורים חדשים עליהם מידע מקדים. למדנו כי מחלת הרשת הינה דינאמית בזמן ובמרחב ולכן אילוח בשלבי גידול שונים (אפילו בתוך אותו שדה ואותה עונת גידול) עשוי להשפיע על המיפוי הגנטי וזיהוי האזורים הגנומיים המעורבים באינטראקציה בין הפונדקאי והפתוגן.
האילוח בשדה הוכיח עצמו ככלי יעיל וטוב. הודגמה העליה באפידמיה עקב אי הקפדה על מחזור זרעים. נמצא קשר בין התפתחות המחלה ותנאי זהו דיווח ראשוני בספרות העולמית על קשר כזה והוא תורם להבנתנו את הדינאמיות של מחלת הרשת בשדות החקלאי הישראלי..
קווי קדם טיפוח ראשונים עברו אוולואציה ומקודמים לדור מיוצב כדי לשמש להמשך טיפוח של קווי שעורה עמידים.
מהן הבעיות שנותרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה ומה אמורה להיות ההתייחסות בהמשך?
המשך ריבוי קווי ההכלאות ובחינתם החוזרת בתנאי שדה בעונה הבאה.
סיום המיפוי הגנטי שלמדד כיסוי העלווה באמצעות צילום ותוכנת גפן. פרסום ממצאי המיפוי הגנטי במאמר מדעי
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - <u>ציטט</u> ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי; פטנטים - יש לציין שם ומס' פטנט; הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.
מפורט בדו"ח
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
◀ ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
◀
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן*
הוגשה תוכנית המשך ע"י אריה הראל ורואי בן-דוד

