

23



77



מועצת הצמחים  
ענף הירקות



משרד החקלאות ופיתוח הכפר  
שירות ההדרכה והמקצוע  
אגף הירקות

# סיכום מחקרים וניסויי שדה בתפוחי אדמה 2015/2016



---

כנס שנתי  
מכון וולקני  
23.02.17

## **החברת מוקדשת לזכרו של יוסי ארזי**

### **סיכום המחקרים וניסויי שדה בתפוז"א לשנת 2016**

כמידי שנה, מסורת ארוכת שנים היא, שאנו נפגשים לדווח בפני ציבור המגדלים חוקרים ומדריכים את סיכום תוצאות המחקרים בענף תפוחי אדמה. בשנה האחרונה נפרדנו מיוסי ארזי ז"ל, שליווה את הענף שנים רבות, ונוכחותו חסרה לכולנו. כל המחקרים וניסויי השדה עברו את עינו הבוחנת של יוסי, שידע לפרטי פרטים, את חשיבותם ופוטנציאל תרומתם למגדלים ולענף בכלל.

יוסי אינו אתנו אבל דמותו בכל מקום בו מתקיימים דיונים מקצועיים בכל הועדות של הענף.

**מיזם חוס"ן: מחקר ופיתוח לייצור חומר ריבוי איכותי דו עונתי של תפוחי אדמה בישראל 1**

דני אשל -המכון לטכנולוגיה ואחסון, מינהל המחקר החקלאי;  
עמית גל-און - המחלקה למחלות צמחים וחקר עשבים מינהל המחקר החקלאי;

**מחלת הכימשון בישראל בעונות סתיו-אביב 2015-2016 22**

יגאל כהן, אסתי שמבה, אבגניה רובין, מריאנה גלפרין  
אוניברסיטת בר-אילן;

**ממשק השקיה בתפו"א בהתבסס על מדד CWSI המחולץ מצילום תרמי 31**

מורן סגולי, משה ברונר, מייקל לופקהאוס; מו"פ דרום  
יפית כהן רונית רוד ויקטור אלחנתי, אשר לוי, רומן בריקמן  
המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי בית דגן;  
אלון בן-גל; מנהל המחקר החקלאי, גילת;  
נפתלי לזרוביץ; המכונים לחקר המדבר, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב;  
אורן בוכשטב; יישובי חבל מעון;  
אברהם זילברמן (ג'ון), ציון דר; משרד החקלאות, שרות ההדרכה והמקצוע;

**השפעת חנקן וכלוריד על יבול ואיכות תפו"א-ניסוי במכלים עם מים דלי מלחים 40**

בארי קנר, דניאל קורצמן, גפן רונן אלירז, שושנה סוריאנו, עדו ניצן ואשר בר-טל)  
המכון לקרקע ומים מנהל המחקר החקלאי;

**שנת המחקר: דוח מסכם למיזם 2014-2016**

**התוצאות מוקדשות לזכרו של יוסי ארזי יוזם המיזם ושותף למחקר**

**מיזם חוס"ן: מחקר ופיתוח לייצור חומר ריבוי איכותי דו עונתי של תפוחי אדמה בישראל**

**Research & development for production of high quality of potato seed-tubers for both seasons in Israel**

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות כמיזם חוס"ן

ע"י:

עמית גל-און - המחלקה למחלות צמחים וחקר עשבים מינהל המחקר החקלאי

דני אשל - המכון לטכנולוגיה ואחסון, מינהל המחקר החקלאי

Amit Gal-On, Department of Plant Pathology and weed research ARO, Volcani Center, P.O.B. 6 Bet Dagan 50250. Email: [amitg@volcani.agri.gov.il](mailto:amitg@volcani.agri.gov.il)

Dani Eshel, Department of Postharvest Science, ARO, P.O.B. 6 Bet Dagan 50250. Email: [dani@volcani.agri.gov.il](mailto:dani@volcani.agri.gov.il)

**הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.**

**הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא**

## 1.תקציר

**הצגת הבעיה:** מדי שנה נגרמים למגדלי תפוחי האדמה נזקים משמעותיים מיבוא וגידול של מחומר ריבוי נגוע בגורמי מחלה המסכן את הגידול. כיום אין לחקלאים פתרונות לגידול חומר ריבוי איכותי בארץ ומניעת הפצה של וירוסים בשטחי הגידול.

**מטרות המחקר:** פיתוח תשתיות ידע אשר יאפשרו לגדל בארץ חומר ריבוי לשתי עונות הגידול באיכות גבוהה יותר מהאיכות כיום ובעלויות סבירות.

**שיטות העבודה:** א. פיתוח פרוטוקול אחסון פקעות הזריעה ע"י: (א1) אפיון השפעתם של זנים, מרחב ומועד השתילה; (א2) אפיון קצב התקדמות של הגיל הפיזיולוגי באחסון והשפעתו על פוטנציאל היבול של פקעת הזריעה; (א3) חקר מנגנון איבוד השלטון הקודקודי בפקעת. ב. פיתוח פרוטוקול להגנה בפני פגעים כללי: (ב1) פיתוח שיטות חדישות לזיהוי של וירוסים בפקעות זריעה טרם שתילתם בחלקות מסחריות; (ב2) בנית פרוטוקול להתמודדות עם הפחתת הנזק של וירוסים בגידול זרעים. ג. פיתוח עמידות ל-PVY באמצעות מערכת של עריכה גנטית: יישום מערכת CRISPR/Cas9 ליצירת קווי תפוח"א עמידים ל-PVY.

**תוצאות עיקריות:** בשנתיים ראשונות של תיעוד השתנות הטמפרטורה בקרקע, נמצא שהטמפרטורה הממוצעת שנמדדה בקרקע במצפה רמון ( $\sim 20^{\circ}\text{C}$ ), מקבילה בערכיה לזו שנמדדה עד אפריל בסעד וברמת נגב. ההבדלים בין האזורים לצד הנהגה של שלושה מועדי שתילה בכל אזור יצרו מגוון של ערכי חשיפה לימי-מעלה במהלך התפתחות פקעת הזריעה. נמצא שאורך התרדמה האנדוגני, מספר הגבעולים, היבול והתפלגות הגודל שלו אינם מושפעים מהחשיפה לכמות שונה של ימי מעלה. בניסויי הרכבה שנעשו על פקעות מאוחסנות, נמצא שהסיגנל להסתעפות מקורו בפרנכימה של הפקעת והוא מסוגל לנוע לגבעול המורכב ולשנות את תכונותיו. נמצאה עליה דרמטית בכמותם של סוכרים פשוטים בפרנכימה של הפקעת בעקבות טיפולים המשרים הסתעפות וריבוי גבעולים.

בשלושת שנות המחקר אופיינה רמה מאד נמוכה של הווירוס PVY (0-1%) בחלקות הניסוי בסעד, אשלים ומצפה רמון שלא אפשרה פיתוח מערכת חיזוי. בפקעות הבת של הניסוי שאוחסנו ונזרעו שמונה חודשים לאחר מכן אופיינה נגיעות נמוכה, באביב 2015 ו-2016, של 5% עד 13% בהתאמה. בשטחי הגידול המסחריים, אופיין זן התעשייה VR808 כמאוד רגיש להדבקה ב-PVY, המהווה פוטנציאל למקור מידבק בשטח המסחרי. במחקר לפיתוח עמידות ל-PVY בוצעו טרנספורמציות בזן דזירה ובודדו קווים מוטנטים לגנים *elF4E1* ו-*elF4E2*. נמצא שפגיעה בגן *elF4E2* האטה במעט את קצב התרבות הווירוס.

**מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות:** בכל שלושת שנות המיזם נבחנו בהצלחה מיקרו-פקעות כחומר ריבוי התחלתי פוטנציאלי, חופשי ממחלות. הובלט הפוטנציאל של מישור הרוחות כאזור מבודד לגידול פקעות זריעה בלבד. שינוי מועדי גידול- פברואר נמצא כחודש אופטימאלי לזריעות אביב. אחסון ב- 2 מ"צ- יעיל מאוד במניעת הנצה- עד 8 חודשים, תוך שמירה על חיוניות הפקעות ופוטנציאל היבול הכללי. אחסון ממושך בקור מוביל לריבוי פקעות קטנות יותר. טיפול באוקסין טרום זריעה- מפחית גבעולים (מודל אביב-אביב). תוצאות ראשונות מצביעות על

כך שמודל אביב-סתיו-אביב עם אחסון ב- 14 מ"צ בין העונות אפשרי וכלכלי. תוצאות המחקר מעידות שהפרדה שטחים בין גידול תפוז"א לזרעים לגידול מסחרי לשוק הוא פתרון יעיל ופשוט להפחתת הנזק של PVY בשדה.

## 2. מבוא

גידול תפוז"א הוא מהחשובים בגידולי הירקות בארץ. הגידול נפרס בשתי עונות גידול סתיו ואביב. היקף שטחי הגידול השנתי הוא כ-150,000 דונם, המניבים כ-650,000 טון. מקור חומר הריבוי לעונת האביב ממערב אירופה- הולנד, סקוטלנד, צרפת, גרמניה ודנמרק. לעונת הסתיו נעשה שימוש בחומר ריבוי מקומי שמקורו במזרע האביב. כמות חומר הריבוי לעונת הסתיו כ-25,000 טון ולעונת האביב כ-30,000 טון. פרוטוקול הגידול ליעודים השונים (שוק מקומי, תעשייה, ייצוא וזרעים) דומה ואין הפרדה בשדות המיועדים להכנת חומר ריבוי לעונת הסתיו הן בדרכי הממשק של הגידול והן במרחב הגידול.

**הבעיה:** מדי שנה נגרמים למגדלי תפוזי האדמה נזקים משמעותיים מחומר הריבוי נגוע בגורמי מחלה המשמש אותם בשתי עונות הגידול. נזקים אלו בסופו של תהליך מבוטאים באובדן הכנסה למגדלים. חומר הריבוי המיובא נושא בתוכו וע"ג הקליפה נגעים קשים להדברה. האפשרות של אחסון חומר הריבוי המיוצר באביב לעונת האביב הבאה אינו נלקח בחשבון בשל שני קשיים עיקריים: האחד הוא מחסור בידע באשר לאופן בו ניתן לאחסן פקעות זריעה, שמקורן בגידול האביב, מבלי לגרום להן להגיע למצב פיסילוגי, המתבטא בבלבול מסועף הגורם ליבול של פקעות קטנות שאינן מסחריות (Eshel and Teper, 2012). הקושי השני הוא שבמהלך גידול בארץ של חומר הריבוי, יש עליה באילוח בוירוסים, וכמו גם, זיהום קרקעות וחומר צמחי בנגעים שמקורם בחומר הריבוי המקורי.

**הסכנות:** פגיעה ישירה - בכמות היבול ובאיכות התוצרת ליעדים השונים. פגיעה עקיפה - אילוח השדות בנגעים שוכני קרקע קיימים וחדשים. פגעים אלו עשויים לפגוע בגידול עתידי של תפוז"א כמו גם בגידולים אחרים.

**הבעייתיות בגידול זרעים בתנאי הארץ:** (א) המתקה של חומר הריבוי, באחסון ממושך בקור, גורמת לריבוי גבעולים בשלב ההנצה; (ב) קיימת חפיפה בזמן ובמרחב של גידול סתיו ואביב הגורמת להגברה של האילוח במחלות ווירוסים. מכאן שהאתגר העיקרי נסוב סביב שני מוקדים: עיכוב תהליך ההמתקה בפקעת הזריעה המאוחסנת וצמצום האילוח בוירוסים ומחלות שונות.

## 3. מטרות המחקר

**מטרת המחקר:** פיתוח תשתיות ידע אשר יאפשרו לגדל בארץ חומר ריבוי לשתי עונות הגידול באיכות גבוהה יותר מהאיכות כיום ובעלויות סבירות.

**מטרות ספציפיות של המיזם:**

א. פיתוח פרוטוקול אחסון פקעות הזריעה, בוצע על ידי קבוצת המחקר הפיזיולוגי וכלל:

א1. אפיון השפעת תנאי האקלים במהלך התפתחות פקעת הזריעה על ביצועיה העתידיים א2. פיתוח שיטות לבקרת ושליטה על קצב ההנצה של פקעות זריעה באחסון ממושך; א2. פיתוח טיפולים טרום זריעה לשיפור מועד ומופע הבלבול הראשוני של הפקעות בשדה.

ב. פיתוח פרוטוקול להגנה בפני וירוסים **בוצע על ידי קבוצת המחקר הפיטופתולוגי** וכלל: ב1) פיתוח שיטות חדישות לזיהוי של וירוסים בפקעות זריעה טרם שתילתם בחלקות מסחריות; ב2) בנית פרוטוקול להתמודדות עם הפחתת הנזק של וירוסים בגידול זרעים; ב3) פיתוח צמחים עמידים ל-PVY באמצעות עריכה גנטית.

#### 4. פירוט עיקרי הניסויים

4.1 אפיון השפעתם של זנים, מרחב ומועד השתילה על ביצועיה העתידיים של פקעת הזריעה: **חלקות- בשנתיים הראשונות של המיזם (2014-2015)** הגידול הניסיוני מוקם בשלושה אזורי גידול: בסעד שבמערב הנגב (גובה פני הים) במו"פ הר הנגב באשלים (כ-300 מטרים מעל פני הים) ובמישור הרוחות שבמצפה רימון (כ-880 מטרים מעל פני הים) (איור 1). חומר ריבוי, נקי ממחלות, נרכש ממקורות שונים באירופה, נשתל בשלושה מועדים שונים, ינואר פברואר ומרץ, בכל חלקה ונאסף בהתאם בשלושה מועדים שונים המייצגים חשיפה לטמפרטורות שונות ומכאן לצבירת ימי-מעלה בכמות שונה (איור 2).

**זנים** – מקובל בסיפורת שתדרמה בתפו"א מושפעת ממרכיב גנטי, הקובע בעיקר את אורך השלב הקרוי "תדרמה עמוקה" (endo or deep dormancy) ומרכיב סביבתי המשפיע בעיקר על השלב המאוחר יותר של "התדרמה הקלה" (eco or shallow dormancy). כך שאחד הגורמים העיקריים המאפשרים הנצה ולבלבול בהתאמה למועד הזריעה הוא שימוש בזנים המתאימים. במחקר זה נבחנו, בהמלצת הועדה המקצועית, הזנים: דזירה, וניקולא, כזני בוחן כיוון שהם מייצגים תדרמה ארוכה וקצרה, בהתאמה, והם רגישים לוירוס PVY. בשנת המחקר השנייה והשלישית שולב זן מסחרי מוביל נוסף, סיפרא.

**מועדי זריעה** - בספרות ובפרקטיקה החקלאית מקובל להניח שחשיפת הגידול לטמפרטורות גבוהות גורמת לקיצור תקופת התדרמה של הפקעות הנאספות ומאוחסנות. ההנחה הראשונית הייתה שהטמפרטורות הגבוהות השוררות בנגב הצפוני בעונת ייצור פקעות הזריעה (גידול אביבי), מהוות, ככל הנראה, גורם משמעותי בקיצור תקופת התדרמה באחסון וריבוי הסתעפות גבעולים בעת הבלבול. הנחנו שאחד הצעדים היעילים ביותר לשיפור איכותם של פקעות הזריעה נעוץ "בהתחמקות" על ידי שינוי מועד ומרחב השתילה של פקעות-האם. באופן זה ניתן יהיה, באזור גידול ו"חלון זמן" מתאים לחקות את תנאי האקלים של האזורים באירופה בהם מגדלים פקעות זריעה לאחסון ממושך. על כן בוצעה בשנה הראשונה, השוואה של שלושה מועדי זריעה (דצמבר, ינואר ופברואר) של הזנים ניקולה ודזירה. בשנה השנייה והשלישית, כיוון שהסתבר שבמהלך דצמבר-ינואר, בשל הטמפרטורה הנמוכה, לא מתרחש גידול כלשהו של גבעולי הפקעות, בחרנו להגדיל את המרווחים בין הזריעות ולזרוע בסוף ינואר, סוף פברואר וסוף מרץ. במהלך

הגידול בוצעה מדידה רציפה של הטמפרטורה (באוויר ובעומק הגדודית; איור 2). פקעות-הבת נאספו בשלושה מועדים, עם הגעתן לגודל מתאים (45-55 מ"מ), ועברו תהליך של ייצוב קליפה בשדה, הגלדה במשך 10 ימים ב- 14 מ"צ ואחסון עוקב בקירור (2 מ"צ).

**4.2) אפיון השתנות פיזיולוגית באחסון והשפעתה על פוטנציאל היבול של פקעת הזריעה:** לאחר האסיף הפקעות אוחסנו בחדר מסחרי ב"אבשלום" בטמפ. של 2 מ"צ ובמקביל בחדר אחסון ניסיוני בבית דגן. נבחן קצב התעוררות הפקעות והשמירה על שלטון קודקודי על ידי הוצאת דגימות, מידי כחודש, למבחני לבלוב באינקובטור של 14 מ"צ עד לשלב בו 100% מהפקעות הנצו אחרי העברתן לאיקובציה במשך שבועיים ב- 14 מ"צ. בתום האחסון נזרעו שוב הטיפולים השונים בחלקת ניסוי במו"פ רמת נגב לבחינת הצצה, שלטון קודקודי בשדה, היבול והתפלגות הגודל של הפקעות הנוצרות.

**4.3) חקר מנגנון איבוד השלטון הקודקודי בפקעת:** עבודות קודמות של קבוצתו של אשל ואחרים, הצביעו על כך שלא ניתן לעכב משמעותית את ההתעוררות מתרדמה ואיבוד השלטון הקודקודי באחסון ממושך בקור (עד ל-2 מ"צ). אחסון בקור אף גרם להגברת הסתעפות הגבעולים, עם הבלבול (Teper-Bamnolker et al., 2012). מכאן שמצאנו מקום לחקור את התהליכים המובילים לריבוי גבעולים הצומחים מהפקעת בתום אחסון ממושך בקור. זאת, בשלב ראשון, על ידי אפיון מקור הסיגנל להסתעפות באמצעות ניסויי הרכבת גבעולים של פקעות צעירות (שאינם מסתעפים) על פקעות מבוגרות (מסתעפות) או צעירות.

**4.4) פיתוח טיפולים טרום זריעה לשיפור מועד ומופע הבלבול הראשוני של הפקעות בשדה:** ישנן עדויות בסיפרות באשר ליכולתו של ההורמון אוקסין (NAA), להשפיע על מופע הבלבול של פקעות תפוז"א. בכדי לבדוק זאת טבלנו פקעות תפוז"א, שאוחסנו כ- 6 חודשים, ב- NAA (Sigma) למשך 30 דקות, לפני שתילתן בעציצים. לאחר ההצצה נבדקה הקורלציה בין מספר הגבעולים למינון ה- NAA שיושם. לאחר הצלחת ניסוי זה יושמה בהצלחה גם פורמולציה מסחרית של 40% NAA. בינואר 2016, אף נשתלו פקעות מטופלות בארבעה מינונים שונים של אוקסין במו"פ רמת נגב במבנה של בלוקים באקראי.

**4.5) אפיון מולקולרי וסרולוגי של הווירוס PVY:** ריצוף גנום הווירוס (נעשה בשיתוף עם מעבדתו של דר. גאבה) לתבדידי PVY בתקופת המיזם הראה שהתבדיד הדומיננטי בשדה הוא PVY-NTN שהחליף את התבדידים PVY-N ו-PVY-Oi שאופיינו בעבר ע"י דר. רוזנר. כמו כן, נמצא שרמת הווירוס המצטברת בעלים היא גבוהה ומאפשרת את זיהוי של הווירוס באמינות רבה בעלווה לאורך כל הגידול, גם מספר ימים לפני הפלת הנוף. משום כך, אימצנו במיזם את בדיקת ה-ELISA כשיטה אמינה לזיהוי הווירוס. בנוסף פיתחנו שיטה חצי תעשייתית לכתישה והתענה של הדוגמאות לפלטות של 96 דוגמאות שמאפשרת בדיקה של מאות דוגמאות ביום.

**4.6) עקב אחר רמת הנגיעות ב-PVY בשטחי הגידול השונים:** האחת הדרכים להתמודדות עם אפידמיות של וירוסים חולפים non-persistence, כמו PVY, היא התחמקות גאוגרפית ממקורות מדבק. לצורך כך במיזם הנוכחי נבחרו שלושה אזורי גידול הממוקמים בריחוק שונה ממקור מדבק שדות מסחריים. א. מישור



הרוחות המרוחק כ- 100 ק"מ ממקורות מדבק. ב. מו"פ רמת נגב כ- 15 ק"מ דרומית משדות של רביבים ו- ג. סעד, הממוקם באזור גידול מסחרי לזרעים בלבד ובמרחק של ק"מ בודדים מאזור גידול תפוז"א למאכל. בשנתיים הראשונות בחנו את השפעת של הריחוק הגאוגרפי (סעד, מישור הרוחות ומצפה רמון) על שכיחות הנגיעות ב-PVY ואוכלוסיית הווקטור, ע"י ספירת כנימות עלה על צמחי תפוז"א. פקעות הבת שגודלו באביב 2015 נבחנו לנגיעות ב-PVY בשתילתן החוזרת באביב 2016. כמו כן, נבחנה הנגיעות של הזן VR808 במרחב ובתרומתו למדבק בשדה.

**4.7 פיתוח עמידות ל- PVY באמצעות עריכה גנומית לפגיעה בגנים רצסיביים לעמידות *elf4E1-2*:** וירוסים מקבוצת ה- potyvirus שאליהם משתייך ה- PVY כפרזיטים אובליגטוריים זקוקים למרכיבים שונים של הצמח למחזור חייהם. הגן *elf4E* אופיין כגן רצסיבי הכרחי להתרבות הווירוס ופגיעה בגן זה בצמחים שונים הראתה עמידות בפני וירוסים שונים מקבוצה זו. פותחה מערכת של יצירת מוטציות מכוונות בתפוז"א בגן *elf4E* באמצעות CRISPR/Cas9. נבנו תבנית גנית המותאמת לחיתוך של שני הגנים *elf4E1* ו- *elf4E2* של תפוז"א ויוצרו צמחונים מוטנטיים פגועים ונבחנה העמידות בחלק מהקווים.

## **5. תוצאות המחקר:**

**5.1 מועד ומרחב השתילה גורם לצבירה שונה של ימי מעלה בפקעת הזריעה המתפתחת- טמפרטורת הקרקע:** במדידות השנים 2014 ו- 2015 הטמפרטורה הממוצעת הנמוכה ביותר, בעומק הגדודית, בין החודשים פברואר עד יוני הייתה במצפה רמון. טמפרטורה זו הייתה נמוכה ביותר מ-  $2^{\circ}\text{C}$  מהטמפרטורה הממוצעת ברמת-נגב ובכ-  $4^{\circ}\text{C}$  מהטמפרטורה הממוצעת בסעד. ההבדל בולט בעיקר בחודשים מאי-יוני בהם הטמפרטורה הממוצעת שנמדדה בקרקע במצפה רמון ( $18-20^{\circ}\text{C}$ ), מקבילה בערכיה לזו שנמדדה עד אפריל בסעד וברמת נגב (איור 2). גורם נוסף שנמצא שונה בין האזורים במשך שנתיים מדידות היא המשרעת (amplitude) שנמדדה בכל יממה ומשקפת את השתנות הטמפ. בין יום ללילה, שהלכה והצטמצמה במהלך הגידול בסעד, מערכים ממוצעים של  $6.4^{\circ}\text{C}$  בתחילת פברואר ועד  $2.7^{\circ}\text{C}$  בלבד בסוף יוני לעומת הצטמצמות מ-  $11.3^{\circ}\text{C}$  ל-  $8.7^{\circ}\text{C}$  ברמת נגב ולהצטמצמות מ-  $9.3^{\circ}\text{C}$  ל-  $4.6^{\circ}\text{C}$  במצפה רמון (איור 2).

בשתי השנים ובשלושת אזורי הגידול שנמדדו (0, 300 ו- 880 מטר מעל פני הים) אורך הגידול, כפי שנמדד משלב יצירת פקעות הבת ועד האסיף, היה בכל שלשת האזורים בין 52 ל- 78 ימים ב- 2014 ו 43-75 ימים ב- 2015. פקעות הבת צברו 780-1250 ימי מעלה במהלך התפתחותן ב- 2014 ו- 780-1000 ימי מעלה ב- 2015. כצפוי, נמצאה קורלציה בין משך התפתחות פקעת הבת לצבירת ימי-מעלה (איור 3).

**5.2 צבירת ימי-מעלה בשדה אינה משפיעה על אורך התרדמה האנדוגנית- כארבעה-עשר ימים לאחר קטילת הנוף הפקעות נאספו והועברו לאינקובציה בטמפ' של  $14^{\circ}\text{C}$  (הטמפ' האופטימלית ללבלוב). באופן זה ניתן היה למדוד את אורך התרדמה האנדוגנית, כשהשפעת תנאי האינקובציה על מועד הלבול מצומצמת למינימום. הקורלציה בין העלייה בחשיפה לימי-מעלה, במהלך התפתחות הפקעת, למשך ימי האינקובציה**

הדרושים עד להנצה של 70% מהפקעות לאחר אסיף, נמצאה נמוכה ולא מובהקת. כלומר, גם בזן דזירה וגם בזן ניקולה החשיפה לימי-מעלה בשדה לא השפיעה על אורך התרדמה (איור 4). מועד השתילה או אזור הגידול לא השפיעו על אורך התרדמה, שנקבע בעיקר על ידי הזן: דזירה, 60-130 יום וניקולה 40-80 יום לאחר קטילת הנוף (איור 4).

**5.3 צבירת ימי מעלה בשדה אינה משפיעה על מספר הגבעולים או היבול בזריעה חוזרת- בשנת המחקר השנייה והשלישית נזרעה תוצרת המיזם (משלושת האזורים שגודלו בשלושה מועדים שונים) בשדות מסחריים בסתיו (סוף ספטמבר) ובאביב (סוף ינואר) באורים, עין השלושה, נירים ובמו"פ רמת נגב. הזריעה, באומד של 4 פקעות למטר, בוצעה באביב בהשוואה לזרעי יבוא, שהגיעו לארץ בדצמבר מאירופה.**

כחודש לאחר ההצצה, עם תחילת היווצרות פקעות הבת, נספרו הגבעולים שצמחו מכל פקעת על ידי עקירת 10 פקעות בכל חזרה (סה"כ 40 פקעות לטיפול). נמצא שלצבירת ימי-מעלה במהלך התפתחותה של פקעת הבת בשדה, לא הייתה השפעה מובהקת על מספר הגבעולים בזריעה חוזרת. מה שבלט מאוד, בעיקר בשתילת 2014, הייתה השפעת מועד השתילה החוזרת, כלומר משך האחסון. פקעות מאותה אצווה שנשתלו בסתיו הצמיחו 2-4 גבעולים בעוד שפקעות שנשתלו באביב הצמיחו 4-7 גבעולים (איור 5).

לצבירת ימי-מעלה במהלך התפתחות פקעות הזריעה לא נמצאה גם השפעה על היבול הכללי שהתקבל משתילתן החוזרת (איור 6). כך נמצא שפקעות שנחשפו לכ-750 ימי-מעלה בשדה הניבו, בשתילה חוזרת, יבול דומה לפקעות שנחשפו לכ-1300 ימי מעלה, במהלך התפתחותן. עדיין האחסון בתנאים דומים ולמשך זמן דומה ככל הנראה הם שקבעו את מספר הגבעולים, ומכאן הסיבה ליבול הדומה.

**5.4 קיימת קורלציה גבוהה בין משך האחסון למספר הגבעולים בשתילה העוקבת- כאמור, גם בזן דזירה וגם בניקולא, נמצאה קורלציה בין משך האחסון למספר הגבעולים הצומחים מפקעת הזריעה בשדה, בשתילה שלאחר האחסון (איור 7). מספר הגבעולים המאפשר הגעה לגודל פקעות בת מסחריות, הוא ברוב הזנים 3-4. נראה שמעבר לכ-200 ימי אחסון בקור, גם בניקולא וגם בדזירה, מספר הגבעולים המתקבל הוא מעל ל-4 (איור 7). למרות שבאחסון בטמפ' של 2-3 מ"צ לא נצפתה הנצה באחסון, עדיין נראה שישנם תהליכים בפרנכימת הפקעת המובילים לעלייה במספר הגבעולים בשתילה העוקבת.**

**5.5 משך האחסון משפיע על התפלגות הגודל של הפקעות הנוצרות בשתילה העוקבת- על ידי יצירת "מדרגות" מדידה של ימי מעלה ( $GDD = 700-850, 850-1000, 1000-1200$ ) וכן "מדרגות" מדידה למשך אחסון ( $130-170, 170-220, 220-270$  ימי אחסון), יכולנו לנתח את השפעת מדדים אלו על התפלגות הגודל של הפקעות הנאספות. נמצא שהשפעת ימי המעלה המצטברים הייתה שולית ובעצם לא נמצא הבדל מהותי בין 700 ל-1200 ימי מעלה (איור 8). לעומת זאת, למשך האחסון הייתה השפעה בולטת על התפלגות גודל הפקעות; בעוד שבאחסון קצר של 130-170 ימים, הפקעות היו גדולות יחסית ורובן נמצאו בקוטר של 55-65 מ"מ, הרי שבאחסון ארוך יותר של 170-220 ו-220-270 ימים קוטר הפקעות הממוצע נטה לתחום שבין 45-55 מ"מ ואף 35-45 מ"מ, בהתאמה.**

5.6) **חקר מנגנון איבוד השלטון הקודקודי בפקעת** - בשנת המחקר הראשונה נמצא שעל ידי חימום פקעות ל- 33 מ"צ במשך שבועיים באינקובטור, ניתן להשרות התעוררות מוקדמת והסתעפות. חימום הפקעות לאחר ההנצה, גרם להסתעפות משנית של הגבעולים שצמחו (דו"ח שנה א'). ניצנים קודקודיים שצמחו לגבעולים בעלי לפחות שלושה פרקים (נקודות פוטנציאליות להסתעפות) נותקו מהפקעת עם או ללא הבסיס הפרנכימטי שלהם. מפתיע היה לגלות שרק גבעולים שחוממו עם בסיסם הפרנכימטי, הסתעפו (דו"ח שנה א'), דבר המרמז על כך שמקור הסיגנל להסתעפות בפרנכימה. פותחה שיטת הרכבה לגבעולים אטיולנטים הצומחים מהפקעת בתנאים של חשיכה מוחלטת. הרכבה של גבעול שלא חומם על פקעת או גליל פרנכימה שחוממו גרמה להסתעפות הרכב (דו"ח שנה א'). תוצאה זאת חיזקה את ההנחה שאכן הסיגנל להסתעפות מקורו בפרנכימה של הפקעת והוא מסוגל לנוע לגבעול מורכב ולשנות את תכונותיו.

בשנת המחקר השנייה בחרנו לבחון את התנועה הסיסטמית של הסיגנל להסתעפות הגבעול, גם בפקעות בהן ההסתעפות נגרמה על ידי התבגרות פיסילוגית באחסון בקור. גבעולים אטיולנטים צעירים הורכבו על גבי פקעות שאוחסנו בקור זמן קצר או ממושך, מפתיע היה לגלות שהרכבה על פקעת שאוחסנה מעל 200 ימים הובילה להסתעפותם תוך מספר ימים (דו"ח שנה ב'). הרכבה של גבעול מפקעת שאוחסנה זמן ממושך, הצפוי להסתעף, על גבי פקעת דומה לה במשך האחסון, אכן הובילה להסתעפותו, אך כשהורכב על פקעת שאוחסנה שבועות בודדים, התנהג כמו גבעול צעיר ולא הסתעף (דו"ח שנה ב'). מדידות סוכרים שנעשו בפרנכימה ובגבעולים המורכבים לא הוציעו על תנועה של סוכר (סוכרוז, גלוקוז או פרוקטוז) מהפרנכימה לגבעול המסתעף אך בהחלט על שינוי דרמטי בתכולת הסוכרים בפרנכימה בעקבות טיפולי חימום או קירור (איורים 9 ו-10). כטיפול יישומי אפשרי לבקרת מספר הגבעולים בחנו חשיפה של פקעות מבוגרות שהחלו הנצה באחסון, טרום שתילה, למינונים שונים של NAA (אוקסין). טיפולים אלו שולבו אם אינקובציה של העציצים בחושך לעומת חשיפה לאור, ב- 20 מ"צ. התופעה שבלטה היא שפקעות שנבטו וגבעוליהם נחשפו לאור (בחממה מבוקרת) הצמיחו מספר מועט יותר של גבעולים בעיקר בטיפולים בהם שולב אוקסין (דו"ח שנה ב'). הטיפול באוקסין גרם למיעוט גבעולים ולבלימת עוצמת הצימוח ההתחלתית האופיינית לפקעות מבוגרות (דו"ח שנה ב'). צמצום מספר הגבעולים גרם כצפוי להקטנת מספר הפקעות ולעליה בגודלן, באופן דומה להתנהגותן של פקעות זריעה צעירות (דו"ח שנה ב'). ניסוי שדה נרחב שבוצע בשנת המחקר השלישית עם מינונים שונים של אוקסין, במו"פ רמת נגב, גרם במפתיע לוריאביליות גדולה בתגובת הצמחים (התוצאות אינן מוצגות). הדבר מצביע על מחקר נוסף הדרוש באשר לאופן יישום האוקסין והמינונים הדרושים בשדה.

5.7) **האפידמיולוגיה של PVY בחלקות הניסוי** - בדיקות נגיעות ב-PVY של חלקות הניסוי בגידול אביב (חומר ריבוי מיובא) וסתיו נעשו ביחד עם ספירת כנימות עלה בכל שלושת אזורי הגידול (סעד, מו"פ רמת נגב ומישור הרוחות). פיתחנו שיטה יעילה והדירה שבה נכתשות הדוגמאות ביום האיסוף באמצעות מולטי-גריןדר ומיד לאחר מכן לאחר השקעה מוטענות הדוגמאות בדרך חצי תעשייתית לפלטות ELISA. השיטה אופיינה כרגישה ואמינה והראנו שקימת חשיבות להחלפת הבדיקה ממועד האיסוף עד ההטענה לפלטת ה-ELISA.

במקביל אימתנו את התוצאות שלנו בשיטות מולקולאריות של Real-Time-RT-PCR. זרעי חומר הריבוי שיובא מחו"ל למיזם נמצאו נקיים מ-PVY (0%). התוצאות מראות שרמת הנגיעות היא קרובה ל-0% ולמעשה לא הייתה הפצה של הווירוס PVY משדות שכנים. וזאת למרות נוכחות של כנימות עלה מכונפות ונימפות בשדה בכל חלקות הניסוי. ראוי לציין, שחלקת הניסוי של המיזם בסעד מוקמה במרכז גידול הזרעים של סעד כ-1500 דונם. בבדיקות מדגמיות שביצענו בשטח מסחרי זה, נמצאה נגיעות מאד נמוכה (עד-1%) של ווירוס. התוצאות בחלקות בסעד מעידות שחומר הריבוי המיובא מחו"ל הוא נקי מווירוסים וגם מקורות המדבק הנמצאים במרחק ק"מ בודדים אינו מהווה מקור להפצת הווירוס. הנחת המחקר הייתה שאין מקורות מידבק סביב לחלקות הניסוי, ולכן לא נמצאה נגיעות בחלקות (טבלה 1 תוצאות שנה שנייה 2015).

**5.8 בדיקת נגיעות של פקעות הבת שגודלו במיזם בשלושת אזורי הגידול- בזנים דזירה וניקולא לא נמצאה נגיעות ואילו בזן סיפרה אופיינה נגיעות של כ-5% ו-2% בסעד ומשור הרוחות, בהתאמה (איור 11).** בבדיקת פקעות הבת נעשתה בשתי עונות: בעונת 2014 נזרעו הפקעות בסתיו 2014 (אורים) ובאביב 2015 (נירים ועין השלושה) (איור 11). בניסויים אלו אופיינה נגיעות נמוכה בעת הצצה (עד 3%) שגדלה במעט (4.6%) בבדיקת הפקעות באיסוף בעין השלושה בלבד (איור 11). בזריעת פקעות הניסוי בינואר 2016 במו"פ רמת נגב, של פקעות שאוחסנו כ-8 חודשים בקירור (יוני 2015 עד פברואר 2016) אופיינה נגיעות נמוכה בעת הנביטה 3% (טבלה 2) שגדלה 17% בעת האיסוף. הנגיעות בעת האיסוף מופתה בעיקרה לזן סיפרה ופיזור נגיעות גבוה אופיין בשורות קצה שגבלו בחלקה (עשרות מטרים) עם נגיעות יחסית גבוהה (על פי תצפיות).

**5.9 אפיון נגיעות חריגה ב-PVY-** במסגרת המיזם הצלחנו לאפיין בשדות מסחריים זן תעשייה VR808 שהראה רגישות מאד גבוהה לנגיעות ב-PVY. קיים חשש שהזן VR808 מהווה מקור מידבק עיקרי של השדות המסחריים בנגב המערבי. תצפיות אלו צריכות להיבדק. לא ברורה רגישותו החריגה של הזן, יתכן בגלל גוון עלים צהבהב שמושך כנימות עלה. בניסוי אפידמיולוגי מבוקר עם זן זה, אופיינה התפשטות מהירה של הווירוס בשדה גם ללא נוכחות גבוהה של כנימות עלה (איור 15). יחד אם זאת הנגיעות ב-PVY בזן זה לא הפחיתה את היבול. בנוסף הוכחנו פעם נוספת במיזם שסדקים בפקעות אינם קשורים לנגיעות בווירוס.

**5.10 פיתוח עמידות לוירוס PVY בדרך של עריכה גנומית באמצעות CRISPR/Cas9-** נבנו תבניות גניות לפגיעה בגן *elF4E1* באתר אחד ובשני אתרים (איור 12). כמו כן, נבנתה תבנית גנית לפגיעה בשני הגנים *elF4E1* ו-*elF4E2* בו זמנית (איור 13). שימוש בשתי התבניות הביא ליצירת מוטציות בקווי דזירה שונים (איור 12, 13). במספר קווים כמו קו 24 וקו 49 אופיינו מוטציות במספר גמטות של אותו הגן בדומה לתוצאות שקיבלנו במלפפון והתפרסמו לאחרונה (Chandrasekaran et al., 2016). בקו 24 (איור 12) ובקווים 6-13 (איור 13) נראה שהצלחנו לפגוע בכל ארבעת הגמטות (המקטע המוגבר אינו נחתך) של הגן *elF4E2*. מספר קווים נבחרים (17, 12, 24) עברו ריבוי וגטיבי ובמבחני עמידות נמצא שפגיעה בגן *elF4E2* האטה במעט את קצב התרבות הווירוס (איור 14). אנו מניחים ששילוב מוטציות בשני הגנים *elF4E1+2* עשוי להשרות עמידות. לאור זאת נשלים את יצירת קווים מוטנטים לגן *elF4E1* במחקרי המשך עתידים.

## **6. דיון וסיכום**

מדידת השתנות הטמפרטורה בעומק הקרקע, במקום בו מתפתחות פקעות הבת, מצביעה אכן על שוני בין החלקות שנבחרו בערכים, משרעת וקצב התחממות הקרקע במהלך עונות הגידול והשנים בהם התבצעו ניסויי המיזם. קיים קושי להשוות את תכונות הפקעות שנוצרו רק על בסיס הטמפרטורה כיוון שקיים מגוון רחב של משתנים בין החלקות (כגון: סוג הקרקע, קרינה, סוג ההשקיה וכו'). עדיין ההתחממות האיטית של הקרקע במצפה רמון, מצביעה על האפשרות לגדל שם בשלבים מאוחרים יותר שיהיו מקבילים לכחודשיים קודם בסעד (אזור גידול משקי). ניסויי החימום של הפקעות והגבעולים בתנאי מעבדה, שבוצעו בשנת המחקר הראשונה, הצביעו על השפעתה הדרמתית של עקת חום על אורך התרדמה, על מספר הגבעולים הנוצרים מכל פקעת ועל הסתעפותם המשנית. אלא שלא נצפתה השפעה של צבירת ימי-מעלה בשדה על אורך התרדמה האנדוגנית, מספר הגבעולים המציצים, היבול והתפלגותו בגידול העוקב. זריעה בסוף מרץ, כצפוי הביאה לחשיפה לטמפרטורות גבוהות מידי להתפתחות הפקעת והדבר ניכר בנתוני היבול, עדיין לא הייתה לה השפעה מובהקת על היבול העתידי של פקעת הזריעה. ממדידותינו שבמהלך עונת הגידול ואף בשוליה, בשלוש שנים עוקבות, הסתבר שבעומק הקרקע, מקום בו מתפתחות פקעות הבת, לא מתרחשת חשיפה לטמפ. קיצונית (מעל 25 מ"צ) לאורך זמן. מכאן שככל הנראה לא חל מעבר על סף קריטי המשרה קיצור תרדמה או הסתעפות (כפי שניתן לבצע באינקובטור).

האחסון של פקעות הזריעה בקירור של 2-3 מ"צ הסתבר כמוצלח ביותר ביכולתו לשמר את הפקעות ללא לבלוב וללא התפרצות מחלות מחודש יוני ועד סוף ינואר. עדיין העלות הגבוהה של מהלך זה לצד האיבוד, היחסית מהיר, של השלטון הקודקודי ברוב הטיפולים מחייב בחינה מחדש של מהלך זה. בהתאם לקביעה זאת, בשנה השלישית למחקר בחנו מודלים אפשריים: האחד, גידול זרעים "אביב-אביב" בו מאטים את קצב התקדמות של הגיל פיזיולוגי, על ידי קיצור תהליכי ייצוב קליפה והגלדה, אחסון ב- 2 מ"צ, וטיפולים באוקסין, טרום זריעה, ליצירת 3-4 גבעולים מניבים, דבר שהנחנו שיבטיח גודל פקעות-בת מסחרי. המודל השני שניבחן היה: "סתיו-אביב" בו במהלך חודש נובמבר אספנו פקעות מזנים שונים שנזרעו בתחילת ספטמבר. הפקעות אוחסנו ב- 14 מ"צ וחלקן קיבלו טיפולי חום לצורך עידוד הנצה מוקדמת. כל הטיפולים נזרעו במו"פ רמת נגב בתחילת חודש פברואר (שנמצא אופטימאלי ליצור יבול אביבי). נמצא שקיים קושי רב להתגבר על תהליכי המתקת הפרנכימה המתרחשים במהלך האחסון, דבר שמעודד הסתעפות עם ההנצה. לעומת זאת מודל אביב-סתיו-אביב-סתיו נמצא אפשרי, חסכוני באנרגיה ובעל פוטנציאל לייצור פקעות גדולות המועדפות על השוק המקומי בארץ.

ניקיון חומר הריבוי ממחלות הוא אחד מיעדי המחקר להצלחת המיזם. חומר הריבוי שיובא מחו"ל נמצא נקי מ-PVY בכל שלושת עונות הגידול. אחת המטרות של המיזם הייתה להפחית את הנזק של נגיעות ב-PVY בזריעה האביבית בכדי ליצר זרעים נקיים מוורוס לעונת הסתיו. הנחה המחקר הייתה שהפרדה גאוגרפית

ממקור מדבק תצמצם את ההדבקה. במחקר הנוכחי הראנו נגיעות מאד נמוכה ב-PVY בגידול אביבי בשלושת אזורי הגידול. חשוב לציין שהנחת המחקר הייתה שאזור סעד המצוי מסמיכות לאזורי הגידול המסחריים צפוי להינגע לאורך הגידול האביבי. במחקר הנוכחי הראנו:

- א. התפשטות הווירוס אינה תלויה בהפרדה הגאוגרפית (סעד, אשלים ומצפה רמון).
- ב. ישנה חשיבות רבה לגידול חומר הריבוי לזרעים בנפרד מגידול פקעות לשיווק מסחרי. במיזם עקבנו אחר מרחב סעד שהוא אזור גידול לזרעים בלבד ולמרות קרבתו לשדות מסחריים (ק"מ בודדים) לא אופיינה התפשטות של הווירוס במרחב זה.
- ג. אנו ממליצים למגדלי תפוז"א לבצע תכנון מקדים של שטחים לגידול מסחרי ולזרעים, כך שגידול לזרעים יבוצע בנפרד מגידול מסחרי עפ"י מודל סעד.
- ד. הגורם המגביל את הפצת הווירוס הוא האינקולום ההתחלתי ולא כנימות עלה הנמצאות בכל אזורי הגידול. לכן, אין צורך לבחון שיטות הגנה כנגד כנימות עלה, כמו רשתות למיניהם, חיפויי קרקע ושימוש בחומרי הדברה.
- ה. חשוב להתייחס לזן VR808 כמקור משיכה לכנימות עלה הנדבק במהירות בווירוס ומהווה אינקולום להפצת הווירוס לשדות שכנים.
- ו. פיתוח לעמידות לוירוס PVY באמצעות עריכה גנומית, נמצא בשלבים מתקדמים. הראנו את היכולת לפגוע בארבע גמטות ויש צורך להמשיך את הפיתוח בדרך של יצרת קווים מוטנטים לשני הגנים  $eIF4E1+2$ .

#### **סכום:**

המיזם שילב שתי קבוצות מחקר קבוצת המחקר של דר' דני אשל שעוסקת במחקר לפיתוח תשתיות ידע אשר יאפשרו לגדל בארץ חומר ריבוי לשתי עונות הגידול. וקבוצת המחקר של דר' עמית גל-און שעוסקת בלימוד דרכים בהפחתת הנזק של PVY. מחצית מתקציב המיזם הושקע בעלויות הגידול אשר נערכו בשלושת אזורי הגידול, שכללו: קניית חומר ריבוי איכותי, הכנת שטחים זריעה, גידול, איסוף, הובלה, אחסון מסחרי של התוצרת וזריעה חוזרת של חלק מהתוצרת. ראינו חשיבות גדולה לגידול בשלושת אזורי הגידול, דבר שאפשר לנו לזרוע ולאסוף גם במועדים קיצוניים וליצור משרעת של חשיפה למות שונה של ימי-מעלה. כמו כן למרות העלות הגבוהה יחסית, חשוב היה לנו להתנהל בכמויות חצי מסחריות, באופן שיהיה קרוב ככל האפשר לפרקטיקה המשקית ויאפשר יישום מידי של התובנות שיתקבלו מהניסויים השונים. שתי קבוצות המחקר פעלו בשילוב והתוצאות שהתקבלו הם בהתאם לתוכנית המחקר שאושרה.

#### **7. רשימת פרסומים שנבעו מביצוע המחקר – עדיין אין פרסומים**

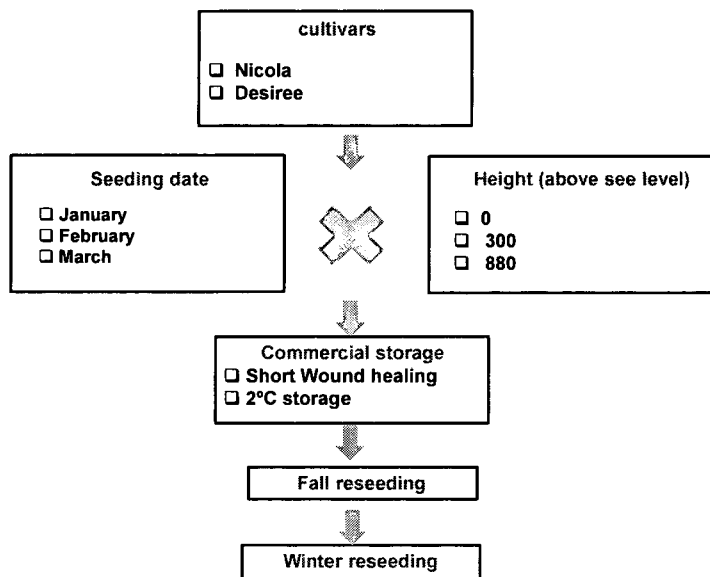
**Eshel D.**, Teper-Bamnolker P. (2012) Can loss of apical dominance in potato tuber serve as a marker of physiological age? *Plant Signaling & Behavior*, **7**, 1158-1162

Teper-Bamnolker P., Buskila Y., Lopesco Y., Ben-Dor S., Saad I., Holdengreber V., Belausov E. d., Zemach H., Ori N., Lers A., **Eshel D.** (2012) Release of apical dominance in potato tuber is accompanied by programmed cell death in the apical bud meristem. *Plant Physiol*, **158**, 2053-2067.

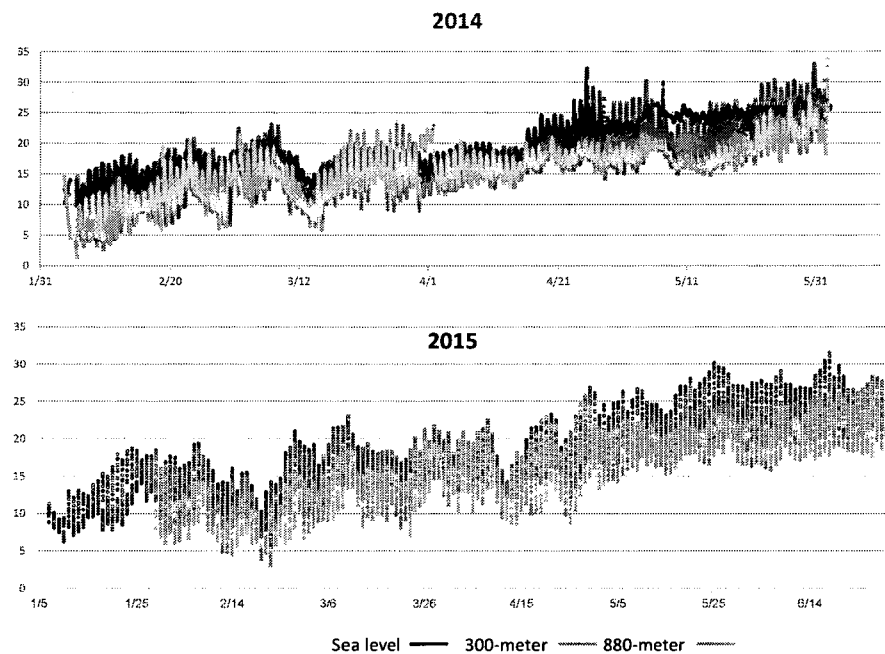
Chandrasekaran, J., Brumin, M., Wolf, D., Leibman, D., Klap, C., Pearlsman, M., Sherman, A., Arazi, T., and **Gal-On, A.** (2016). Development of broad virus resistance in non-transgenic cucumber using CRISPR/Cas9 technology. *Mol. Plant Pathol.* In press

תוצאות המחקר הוצגו פורסמו בשנת 2016 ו-2017 בחוברת הכנס השנתי לדיווח תוצאות מחקרים וניסויי שדה בתפוחי אדמה

## טבלאות ואיורים:

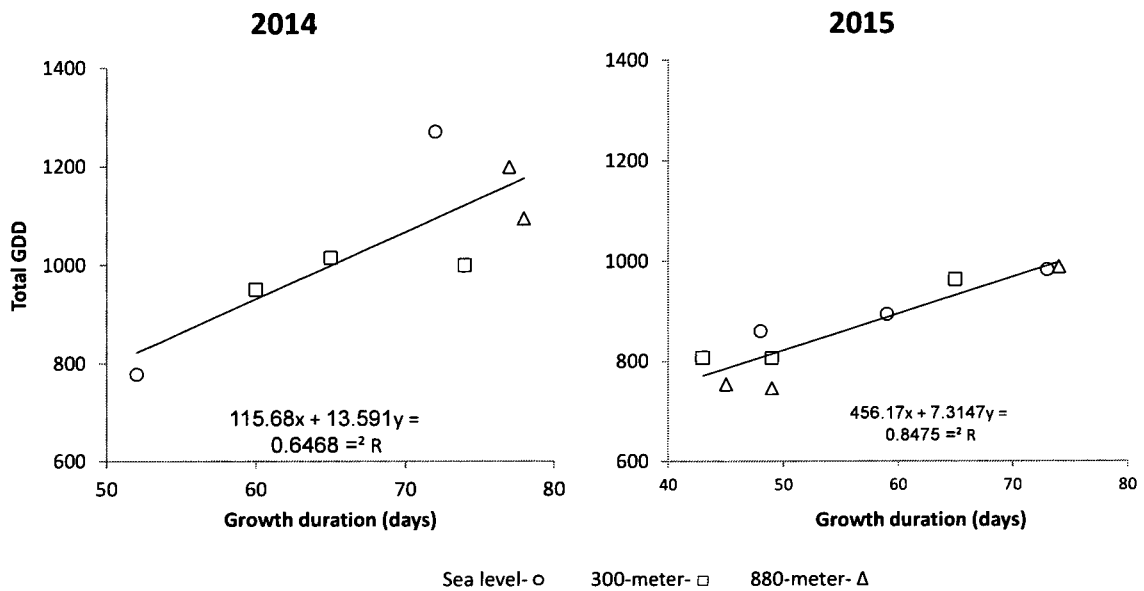


איור 1: תרשים המתאר את מבנה ניסויי השדה במיזם

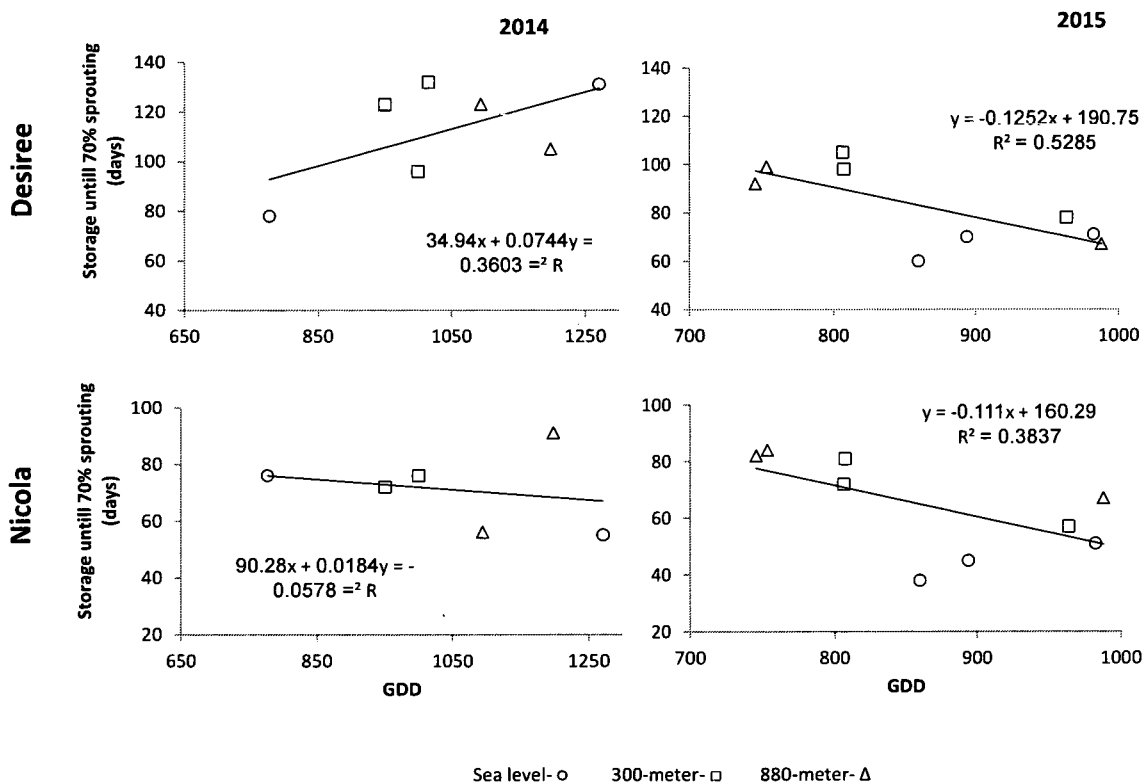


איור 2: השתנות הטמפרטורה בעומק הגדודית, מקום בו מתפתחות פקעות הבת. מוצגת מדידה בשלושה אזורים גובה פני הים (סעד), 300 מטר (רמת נגב) ו-880 מטר (מצפה רמון).

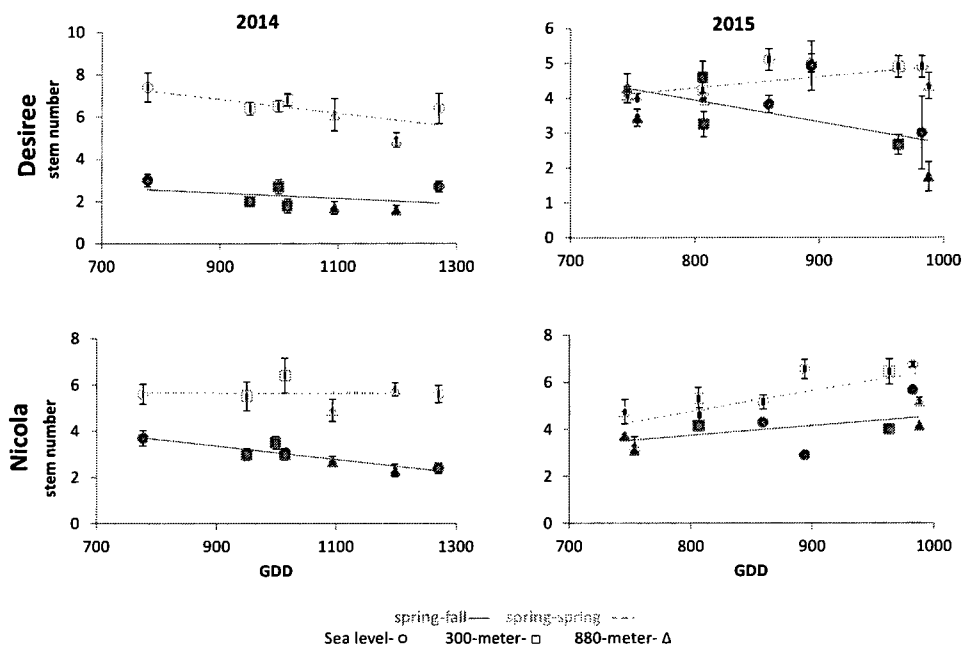




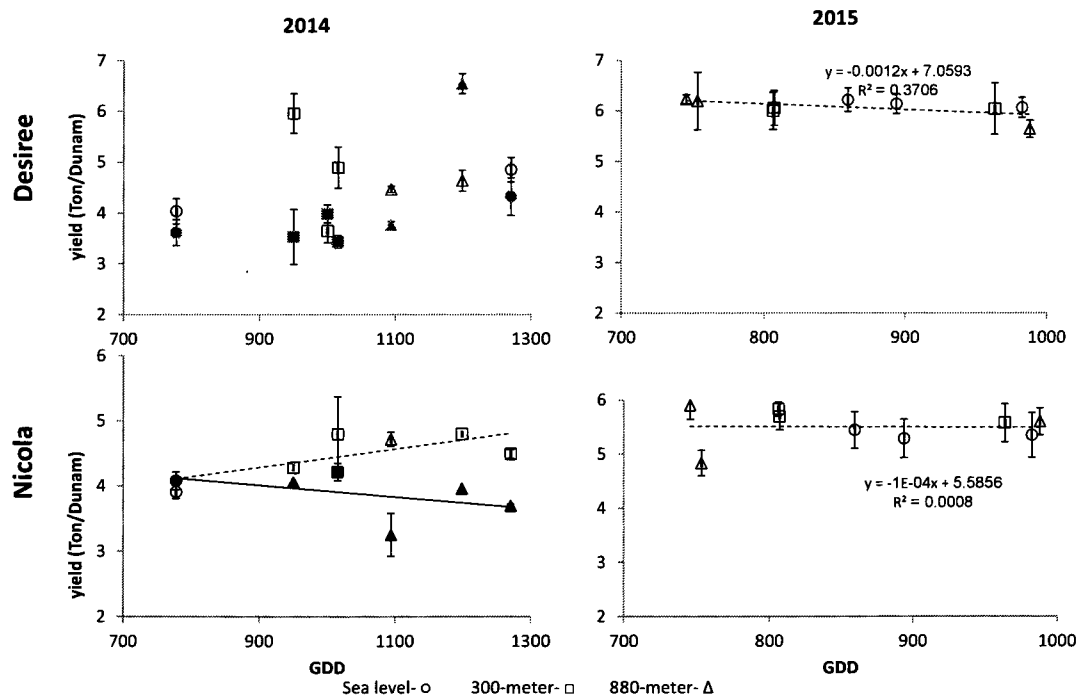
איור 3: התארכות משך הגידול גורמת לצבירת ימי מעלה (GDD). נמדד בגידול בשלושה אזורים בגבהים 0 (סעד), 300 (רמת נגב) ו-880 מטר מעל פני הים (מצפה רמון).



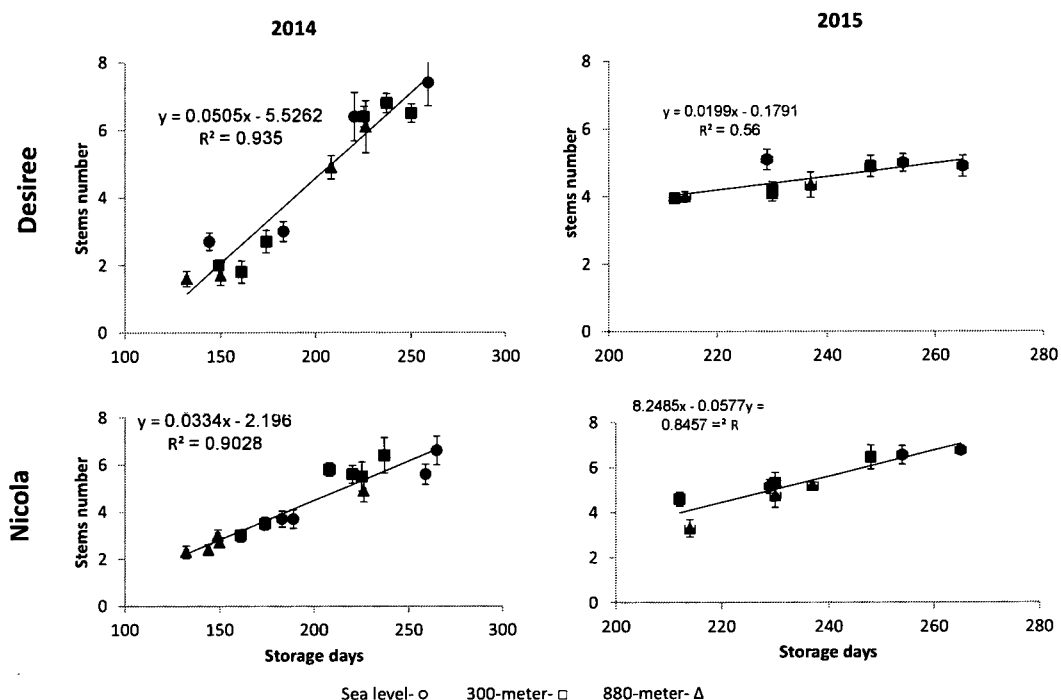
איור 4: החשיפה לימי מעלה (GDD) בשדה, אינה משפיעה על אורך התרדמה האנדוגנית. נספרו מספר הימים הדרושים ל-70% מהפקעות לעבור הנצה.



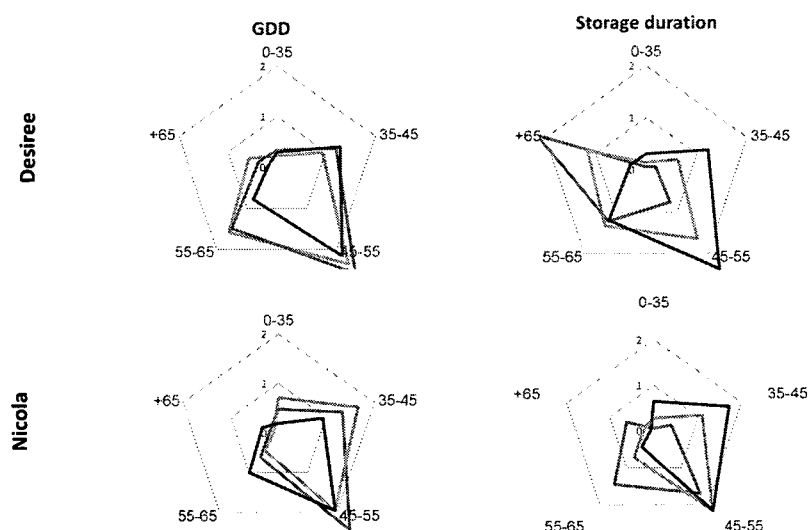
איור 5: החשיפה לימי מעלה (GDD) בשדה, אינה משפיעה על מספר הגבעולים בגידול העוקב. נספרו מספר הגבעולים בעשרה צמחים לחזרה, ארבע חזרות לטיפול, לכל צמח בנפרד, כחודש לאחר ההצצה בשדה.



איור 6: החשיפה לימי מעלה (GDD) בשדה, אינה משפיעה על היבול בגידול העוקב. נשקלו ארבעה מדגמים של 2 מטר ערוגה לכל טיפול, עם ההגעה של כלל השדה לקוטר פקעות ממוצע של 45-55 מ"מ.

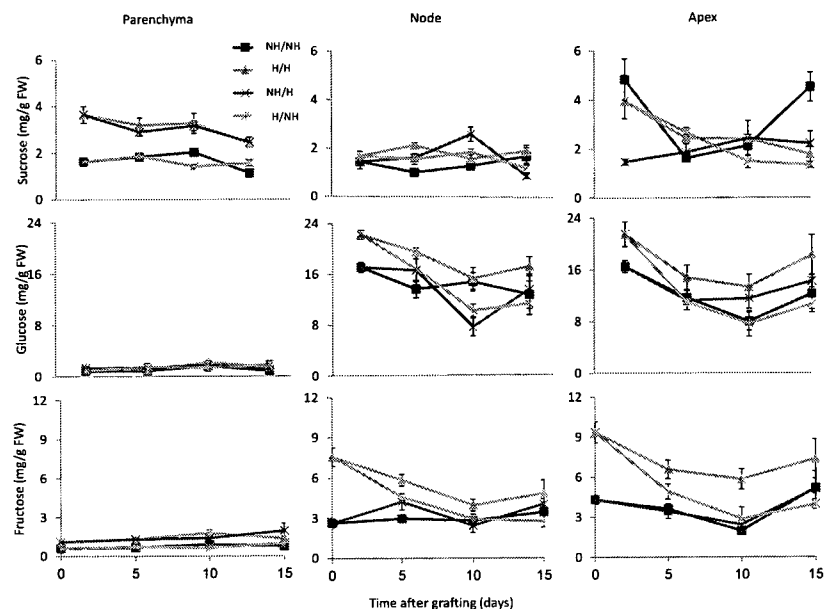


איור 7: משך אחסון מתארך מעלה את מספר הגבעולים לצמח בגידול העוקב. הפקעות אוחסנו ב- 2-3 מ"צ בחדר אחסון מסחרי ב"אבשלום". לאחר השתילה, נספרו מספר הגבעולים בעשרה צמחים לחזרה, ארבע חזרות לטיפול, לכל צמח בנפרד, כחודש לאחר ההצצה בשדה.

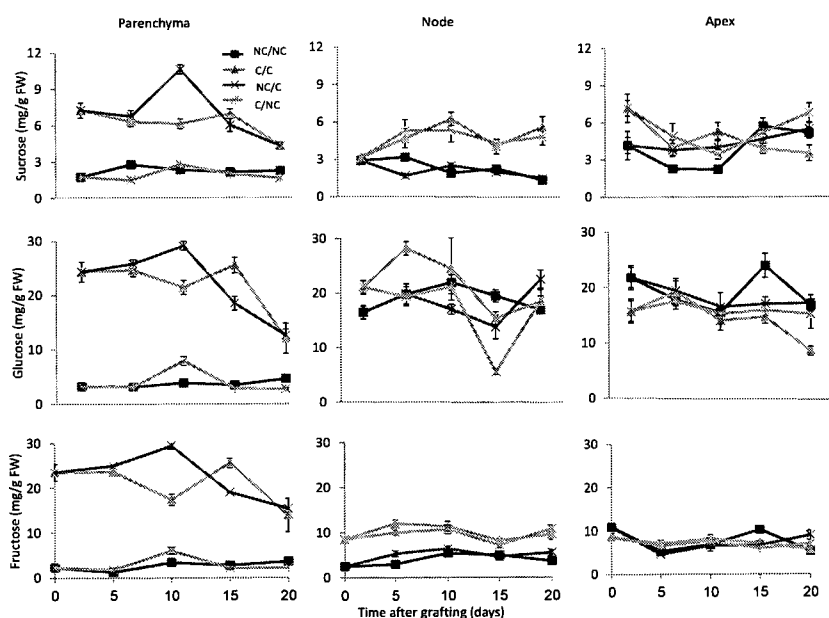


איור 8: בעוד שלחשיפה לימי מעלה אין השפעה מובהקת על התפלגות הגודל של הייבול, משך אחסון מתארך גורם ליבול בעל קוטר פקעות ממוצע קטן יותר. מדידה של ימי מעלה (GDD): ירוק= 700-850 ימים, כחול= 850-1000 ימים ואדום= 1000-1200 ימים; מדידת משך אחסון (storage duration): כחול= 130-170 ימי אחסון, ירוק= 170-220 ימי אחסון ואדום= 220-270 ימי אחסון. הפקעות אוחסנו ב- 2-3 מ"צ בחדר אחסון מסחרי ב"אבשלום". יבול של 2 מטר

ערוגה, בארבע חזרות, מוין על פי קוטר באמצעות מכונה ייעודית, לגדלים: 34-45, 45-55, 55-65 ו-65 מ"מ.



איור 9: תכולת סוכרים פשוטים בגבעולים שהורכבו על פקעות מחוממות. גבעולים מפקעות שאוחסנו ב- 14 מ"צ והראו שלטון קודקודי הורכבו על פקעות מחוממות (33 מ"צ למשך 21 ימים) וכך גם האפשרות ההפוכה בשתי קומבינציות שנקראו רוכב לא מחומם על כנה מחוממת (NH/H) ורוכב מחומם על כנה לא מחוממת (H/H). שתי קומבינציות נוספות רוכב מחומם על כנה מחוממת (H/H) ורוכב לא מחומם על כנה לא מחוממת (NH/NH) שימשו כביקורות. הפקעות המורכבות אוחסנו ב- 14 מ"צ למשך 15 ימים. המדידות בוצעו מהפרנכימה (Parenchyma), פרק בגבעול הרוכב (Node) והמריסטמה הקודקודית של הרוכב (Apex).



איור 10: תכולת סוכרים פשוטים בגבעולים שהורכבו על פקעות מקוררות. גבעולים מפקעות שאוחסנו ב- 14 מ"צ (NC) והראו שלטון קודקודי הורכבו על פקעות מקוררות (3 מ"צ למשך 45

ימים) וכך גם האפשרות ההפוכה בשתי קומבינציות שנקראו לא מקורר על מקורר (NC/C) ורוכב מקורר על כנה לא מקוררת (C/NC). שתי קומבינציות נוספות רוכב מקורר על כנה מקוררת (C/C) ורוכב לא מקורר על כנה לא מקוררת (NC/NC) שימשו כביקורות. הפקעות המורכבות אוחסנו ב- 14 מ"צ למשך 15 ימים. המדידות בוצעו מהפרנכימה (Parenchyma), פרק בגבעול הרוכב (Node) והמריסטמה הקודקודית של הרוכב (Apex).

**טבלה 1:** רמת הנגיעות ב-PVY בשטחי הגידול סעד, רמת נגב ומישור הרוחות (נבדקים/נגועים). (מועדי דגימות: מועד 1 עד 30 יום מנביטה, מועד 2 עד 60 יום מועד 3 לקראת כיסוח)

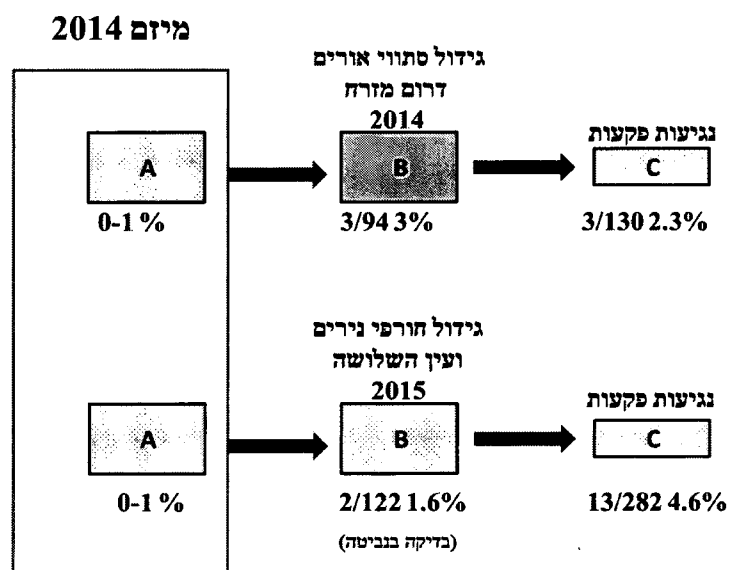
2.3.15			27.1.15			1.1.15			סעד- מועדי זריעה
סיפרה	דזירה	ניקול ה	סיפר ה	דזיר ה	ניקול ה	סיפרה	דזיר ה	ניקול ה	הזן
0/33			0/50			0/54	0/7 2	0/69	מועד I
0/94						0/50	0/5 2	0/43	מועד II
0/74			0/66			0/83			מועד III
			אין נגיעות			אין נגיעות			סה"כ נגיעות

26.3.15		2.3.15		27.1.15		מו"פ רמת נגב	
דזירה	ניקולה	דזירה	ניקולה	מיקרו+ מיני	דזירה	ניקולה	הזן
		1/46		0/30	0/49	0/30	מועד I
0/32				0/28	0/50		מועד II
0/108		0/32		0/66	0/31	0/42	מועד III

26.3.15			2.3.15			1.2.15			מצפה רמון מועדי זריעה
דזירה	ניקולה		סיפר ה	דזיר ה	ניקול ה	סיפרה	דזיר ה	ניקול ה	הזן
						0/22	0/2 0	0/22	מועד I
						0/50			מועד II
0/156			0/88			0/42			מועד III

**טבלה 2:** בדיקת נגיעות ב- PVY של הפקעות שגודלו באביב 2015 בשלושת אזורי הגידול ונזרעו באביב 2016 (בדיקה ב-ELISA בעת הצצה).

מקור הפקעות	ניקולה	דזירה	סיפרה
סעד	0/120	0/120	6/120
מו"פ רמת נגב	0/120	0/120	0/120
מישור הרוחות	0/120	0/120	2/120

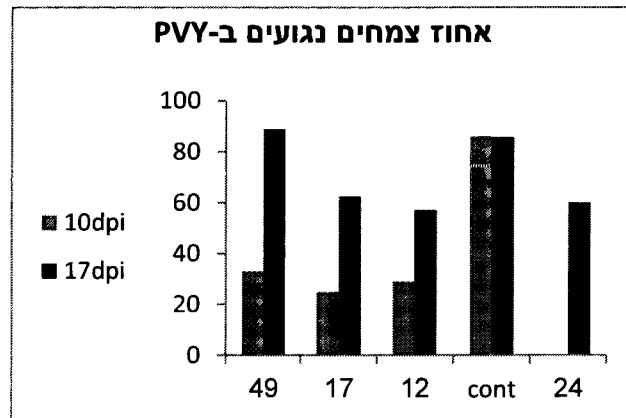


**איור 11.** בדיקת נגיעות ב-PVY של פקעות המיזם שגודלו בסתיו ובאביב. פקעות שגודלו במיזם בעונת 2014 נבחנו לנגיעות בוירוס בזריעה בסתיו באורים ובזריעה באביב בגירים ועין השלושה. הנגיעות נבחנו בעת הנביטה (B) ובגמר הגידול (C) נבחנו הנגיעות לאחר הנבטת הפקעות.



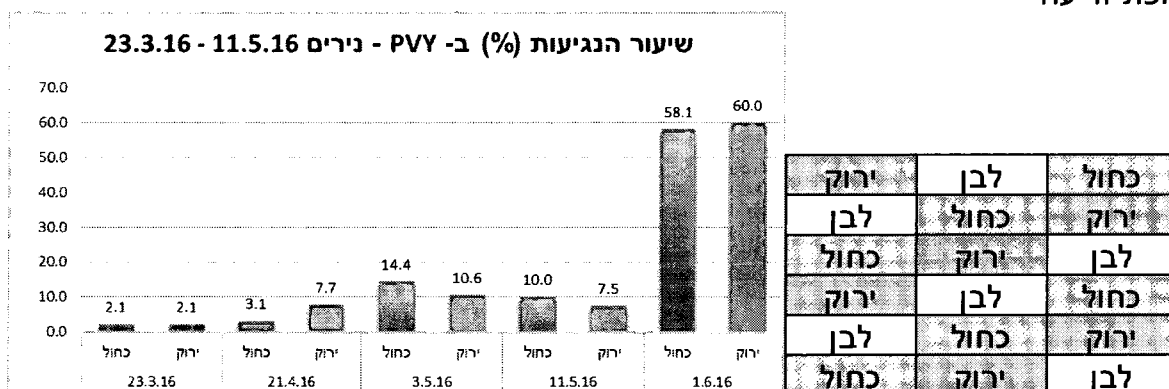
sizes (nt) are marked on the right side of the sequence.

איור 14: בדיקת נגיעות ל-PVY של קווים מוטנטים הומוזיגוטים לגן *elF4E2*. 8 צמחים מכל קוו (24,12,17,49) הודבקו מכנית בתבדיד השדה PVY-NTN ולאחר 10 ו-17 ימים נבדקה הנגיעות. ליורוס.



איור 15: קצב התפשטות PVY בשדה בעונת האביב. מפת זריעה מציינת ניסוי בלוקים באקראי (גודל בלוק: 27 מ', רוחב-16 מ' (8 ערוגות) בלוק לבן קו VR808 נגוע (80%) שנזרע כמקור אינוקולום. בלוקים כחול וירוק זרעים של הזן VR808 שיובאו מחול נקיים מ-PVY.

מפת זריעה





## מחלת הכימיון בישראל בעונות סתיו-אביב 2015-2016

יגאל כהן, אסתי שמבה, אבגניה רובין, מריאנה גלפרין  
אוניברסיטת בר-אילן

23.02.2017

הכנס השנתי לסיכום תוצאות מחקריים וניסויי שדה בתפ"א 2015-2016

### תקציר

החל מ 15 בנובמבר 2015 ועד אפריל 2016 נאספו 188 תבדידים של כימיון. התבדידים אופיינו לתכונות פנוטיפיות וגנוטיפיות. התכונות הפנוטיפיות שנבדקו הינן: עמידות למפנוקסם MFX, זוויגיות ותוקפנות. התכונות הגנוטיפיות נבדקו באמצעות 12 סמני SSR. התוצאות הראו שתבדידי נובמבר היו עמידים או בעלי עמידות ביניים ובהמשך העונה הופיעו גם תבדידים רגישים. לקראת סוף עונת האביב, במרץ 2016 כ-49% מהתבדידים היו עמידים, כ-17% בעלי עמידות ביניים ו-34% רגישים. מספר גורמי האלימות הלך ועלה עם התקדמות העונה מ 4.8 גורמי אלימות בממוצע לתבדיד עד 6.9 גורמי אלימות לתבדיד. הזוויג ששלט באוכלוסייה לאורך שתי העונות היה A1. מבחני SSR הראו שינוי בארץ שלושה גנוטיפים עיקריים. בתחילת העונה שלטו הגנוטיפים A1\_23 ו-like-us7. בדצמבר 2015 הופיע לראשונה הגנוטיפ A2\_13 ושיעורו באוכלוסייה הלך ועלה עד שבסוף מרץ שיעורו באוכלוסייה הגיע ל 64%. לא נמצא קשר בין התכונות הפנוטיפיות והגנוטיפיות. הוכח שפקעות זריעה "בריאות" מעונה קודמת עלולות לשמש כמוקד ראשוני להתפתחות המחלה בעונה העוקבת. התוצאות מעידות על שונות רבה באוכלוסיית הכימיון בארצנו. זו יכולה לנבוע ממוטציות המופיעות מלחץ סלקציה, הגירה מאירופה, ו/או מרקומבינציות המתרחשות ע"י רבייה מינית ויצירת אווספורות המקננות בקרקע.

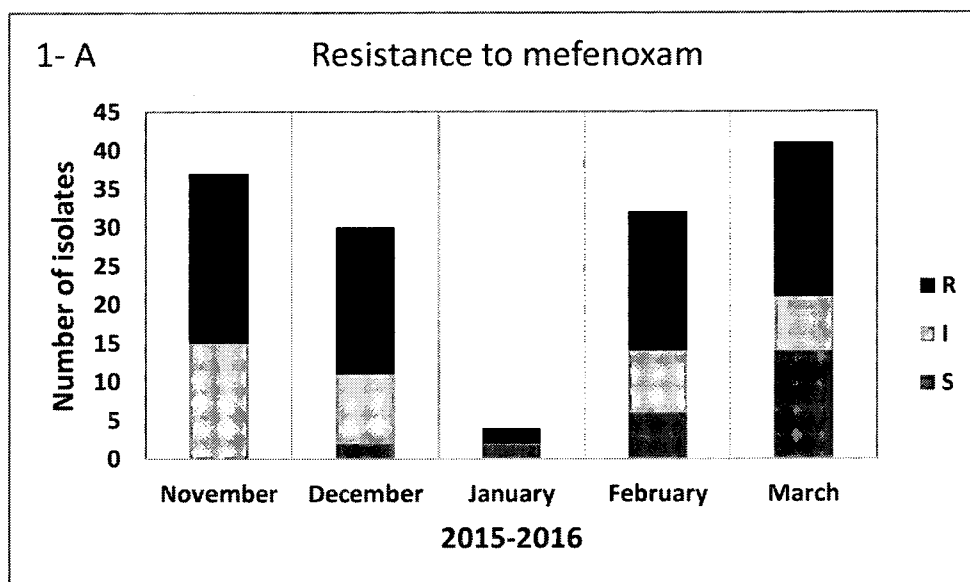
## תוצאות

טבלה מספר 1 (א'-ד') מציגה את תכונותיהם של 188 תבדידים שנאספו החל מ 15 בנובמבר 2015 עד 20 לאפריל 2016. הטבלה מראה את תאריך האיסוף, מקום האיסוף, זן תפו"א שממנו נאספה הדוגמה, העמידות ל MFX, זוויגיות, הגזע (virulence factor), מספר גורמי האלימות, והגנוטיפ.

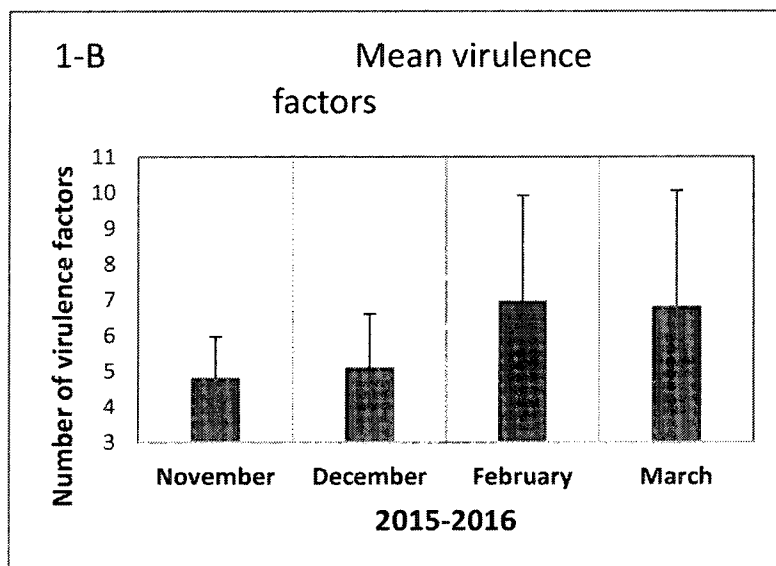
העמידות ל MFX נחלקת ל- 3 טיפוסים עיקריים: עמידים (R), בעלי עמידות ביניים (I), ורגישים (S). הזוויגיות נחלקת לשני טיפוסים A1 ו- A2. התוקפנות מוצגת כסדרה של ספרות מ 1-11, כשכל ספרה מייצגת את הגן לעמידות בזן דיפרנציאלי של תפו"א שעליו התבדיד יכול להנביג.

הטבלה נחלקת ל-4 חלקים ע"פ החודשיים שבהם נאספו התבדידים מן הטבע. התוצאות של טבלה 1 מסוכמות בצירור 1 (A-D).

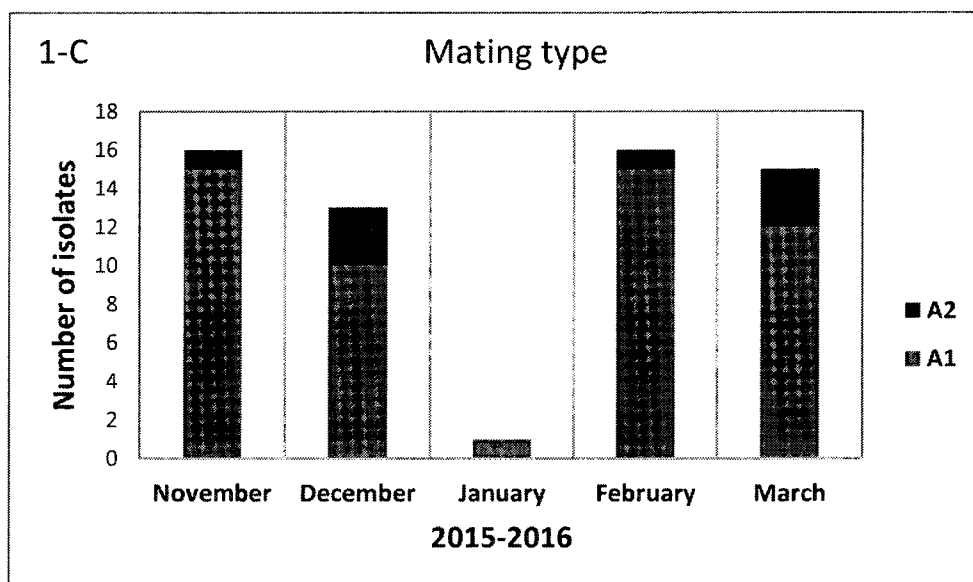
צירור A 1- מציג את התפלגות האוכלוסייה לעמידות ל MFX. בנובמבר האוכלוסייה הייתה מורכבת מתבדידים עמידים ורגישים ביחס של 1:1 בערך. בדצמבר הופיעו מעט תבדידים רגישים ומינואר עד מרץ מספר התבדידים הרגישים הלך ועלה. בסוף מרץ האוכלוסייה הייתה מורכבת מ-34% תבדידים רגישים, 17% תבדידים בעלי עמידות ביניים, ו-49% תבדידים עמידים.



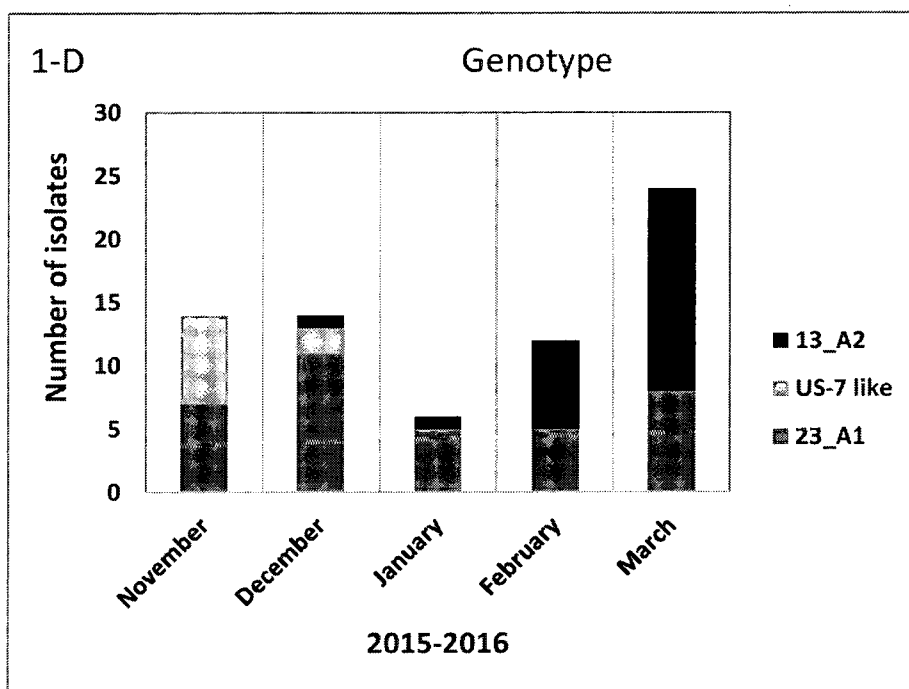
ציור B-1 מראה שמספר גורמי האלימות הממוצע לתבדיד הלך ועלה עם העונה. מספרם הממוצע היה 4.8, 5.1, 6.97, ו 6.82 בממוצע, לתבדידים שנאספו בנובמבר, דצמבר, פברואר ומרץ, בהתאמה.



ציור C-1 מראה שהרוב המכריע של התבדידים במהלך העונה היו מטיפוס A1. בחודש מרץ, 80% מהתבדידים היו A1 ו-20% היו A2.



ציור D-1 מציג לראשונה את האופי הגנוטיפי של התבדידים שנאספו בארץ בעונת 2015-2016. התוצאות הראו שבארץ קיימים 3 גנוטיפים בלבד של מחולל המחלה, והם: 23\_A1, us7-like ו-13\_A2. בתחילת העונה, בנובמבר, נמצאו רק שני גנוטיפים 23\_A1 ו-us7-like. בדצמבר הופיע לראשונה הגנוטיפ 13\_A2. שיעורו של הגנוטיפ 13\_A2 הלך ועלה תוך היעלמותו של הגנוטיפ us7-like. בסוף העונה, האוכלוסייה הייתה מורכבת מ-67% 13\_A2 ו-33% 23\_A1.



בינואר 2017 נצפתה לראשונה הופעה של כימשון מפקעות גוועות. מתוך 500 פקעות של הזן ניקולה שנזרעו בבר אילן בנובמבר 2016, הופיעו בינואר 2017 - 5 צמחים גוועים בכימשון במופע המעיד על הדבקה מן הקרקע. הצמחים נעקרו והפתוגן אובחן בתוך הפקעות על אף שהפקעות היו בריאות כלפי חוץ.

## דיון

התוצאות מראות שהעמידות לכימסון עדיין שולטת באוכלוסייה. בניגוד לעבר, תבדידים רגישים ל MFX הופיעו לקראת סוף העונה ולא בתחילתה. האוכלוסייה נשלטה ע"י הזויג A1 בניגוד לשנים קודמות שבהן נצפתה שליטה של הזויג A2. במהלך העונה חלה עלייה מתמדת בתוקפנות של הפתוגן. לראשונה אנו מדווחים על קיומם של 3 גנוטיפים של הפתוגן בארץ, ובניהם A2\_13 הידוע בתוקפנותו הרבה בבריטניה. לא ברור האם A2\_13 בארצנו הוא מהגר מאירופה או גנוטיפ מקומי. תבדידי A2\_13 בבריטניה הינם מזויג A2 ועמידים ל MFX בעוד שבארץ הם יכולים להיות עמידים, רגישים או בעלי עמידות ביניים ומזויג A1. הממצאים מצביעים על פולימורפיות רבה של הפתוגן בארץ. פולימורפיות זו יכולה לנבוע ממוטציות המופיעות מלחץ סלקציה, הגירה מאירופה, ו/או מרקומבינציות המתרחשות ע"י רבייה מינית ויצירת אווספורות המקננות בקרקע.

## תודות

אנו מודים לאורי זיג מיח"ם על עזרתו הרבה באיסוף התבדידים, וכן לפרופ' דייוויד קוק שאפשר לנו לעשות את האפיון הגנוטיפי במעבדתו.

**טבלה 1 א'-ד':**

טבלה 1-א: תכונות התבדילים שנאספו בחודש נובמבר 2015

Isolate	Date	Location	Cultivar	MFX	Mating	Virulence	Factors	Genotype
00001	15.11.2015	edot ruham	58	I	A1	1479	4	us7-like
00002	16.11.2015	tal or	havat tikva	R		1479	4	
00003		nirim	46 mizrah g	R	A1	1479	4	23_A1
00004		patish	?	I	A1	13479	5	us7-like
00005	22.11.2015	ora	144	I	A1	13479	5	
00006		shachen	nir yizhak		A1	3479 10 11	7	
00007	23.11.2015	nirim	93	I	A1	134679	6	23_A1
00008		maha-ego	?	I		13479	5	23_A1
00009		lev ha negev		R	A1	134679	6	
00010		halutza	936	R	sterile	13479	5	
00011	25.11.2015	magen	zrah b - dar	I	A1	1479	4	
00012	29.11.2015	shachen	2009	R	sterile	1479	4	23_A1
00013		ora	120	R	A1	1479	4	us7-like
00014		ora	patish	R		1479	4	
00015		ora	162	I	sterile	1479	4	us7-like
00016		ora	144	I	sterile	1479	4	us7-like
00017		shehrur	z 3	I		1479	4	23_A1
00018		magen	g darom	R	sterile	12479	5	us7-like
00019		magen	shetah h	R	A1	1479	4	
00020		magen	shetah h	R	A1	1479	4	
00021		magen	zrah b - dar	I/R	sterile	1479	4	
00022		halutza	novlat zafor	I		1479	4	
00023		halutza	tel fara			ni		23_A1
00024		halutza	nitza darom	R		1479	4	
00025		halutza	novlat zafor	R		147	3	
00026		halutza	tel fara	I		1479	4	
00027	30.11.2015	halutza	8	I/R	A1	1479	4	us7-like
00028		halutza	104	I		1479	4	
00029		halutza	112	R	sterile	13479 11	6	
00031		halutza	923	I/R	A2	1479	4	
00032		halutza	936	I		1479	4	
00033		halutza	953	R		1479	4	
00034		shehem	shehem	I/R	A1	134679 11	7	
00035		halutza	811	R	A1	134679 11	7	23_A1
00036		nirim	94 אובסידיה	I/R		13479 11	6	
00037		ego	4045	R		13479 11	6	
00038		ego benei nezago meshulas		I		13479 11	6	
00039		ego	phova mezrah			ni		
00040		ego	phova marav			134679 11	7	
00041		ego	shlomit	I	A1	13479	5	
00042	29.11.2015	ego	zeelim	I/R		123479 11	7	

טבלה 1-ב': תכונות התבדידים שנאספו בחודש דצמבר 2015

Isolate	Date	Location	Cultivar	MFX	Mating	Virulence	Factors	Genotype
00043	13.12.2015	shehrur	z holit	I/R	A2	134679 11	7	
00044		shehrur	z holit	I	sterile	346789 11	8	
00045		shehrur	v holit	R		13479 11	7	
00046		shehrur	magen b	IR		13479	5	
00047		shehrur	z holit	I/R		13479 11	6	
00048		shehrur	yb holit	I/R	A1	1479 11	5	
00049		shehrur	l-9	I/R		149 10 11	5	23_A1
00050		shehrur	magen b	I		147	3	
00051		halutza	143	I		4	1	
00052		nirim	104	R	A1	134679 11	7	
20053		yesha siton	tomato fruit	R	A1	13479	5	us7-like
00054		ego	mesek zon	R		134789 11	7	23_A1
00055		ego	nir izhak	I	A1	1479	4	
00056		ego	maha 3	I/R	A1	13479	5	
00057		ego	magar 3	I		13479	5	
00058		ora	120	I		13479	5	
00059	15.12.2015	yesha siton	rozana	R		1479	4	
00060	20.12.2015	BIU NH 9	tomato	R		13479 11	6	us7-like
00061		nirim	volare	S	A1	134789	6	
00062		nirim	brooke	R		13479	5	23_A1
00063		halutza	mozart	R	A2	134678	6	
00064		halutza	vivaldi	S		3479	4	
00065		halutza	brooke			479	3	
00066		halutza	neeta			7	1	
00067		halutza	rosanna	I	A2	1479	4	
00068		nir oz	mith's come	I/R	A1	13479	5	
00069		nir oz	brooke	I	A1	13479	5	23_A1
00070	27.12.2015			I/R		13479	5	23_A1
00071				I	sterile	13479 11	6	
00072		shehrur		I/R	sterile	134679	6	23_A1
00073		nahal oz				13479	5	23_A1
00074		haluza			sterile	ni		23_A1
00075		haluza		R	A1	13479	5	23_A1
00076		haluza		I/R	A1	13479	5	23_A1
00077	28.12.2015	ein ha 3		I/R		134789	6	23_A1
00078		ora				134679	6	
00079		haluza		R		134679	6	13_A2

טבלה 1-ג': תכונות התבדילים שנאספו בחודשים ינואר ופברואר 2016

00080	15.1.2016	BIU ham 1	tomato	S		13479 11	6	13_A2
00081	17.1.2016	nir oz		S		12346789 10 11	10	
00082		nir oz	anabel	I/R		1234567910 11	10	
00083		magen	mix	I/R	A1	13479	5	
00084	8.2.2016	magen						
00085		shehrur	sifra	I/R	sterile	13479	5	23_A1
00086		shehrur	mozart	I/R	A1	1234567910 11	10	
00087		magen	exquiza	S/I	sterile	1349	4	23_A1
00088	14.2.2016	ora	alfa	R	A1	13479	5	23_A1
00089		ora	?	I	A1	139	3	23_A1
00090		nirim	nikola	R	A1	0, zh		
00091		shehrur	vivaldi					
00092		shehrur	sharlot					
00093		halutza	rata					
00094		nir oz	sharlot	R	A1	1347	4	
00095	21.2.2016	magen	nicola	I		123456789 10 11	11	
00096		magen	allians+georgina	ni				
00097		magen	winston	I	A1	47	2	
00098		ein ha shelosha	maris peer	I	A1	13479	5	13_A2
00099		urim	alpha	S	A2	123491011	7	
00100	22.2.2016	shikma	allians	S		123456789 10 11	11	13_A2
00101		shikma	regina	I	A1	123456789 10 11	11	23_A1
00102		shikma	gunda	I	A1	13479	5	13_A2
00103		shikma	regina	R	A1	12367910 11	8	13_A2
00104		shikma	allians	S		1234679 10 11	9	
00105	23.2.2016	halutza	bickine	I	A1	13479	5	13_A2
00106		halutza	nicola	I/R		13479	5	
00107	28.2.2016	shehrur	sharlot	R		12345679 10 11	10	
00108		ein ha shelosha	nicola					
00109		ein ha shelosha		R	A2	12345679 10 11	10	
00110		ein ha shelosha		I/R		12345679 10 11	10	
00111		ein ha shelosha		I/R	A1	13479	5	13_A2
00112		magen	nicola	S				
00113		halutza	anabel	I/R	A1	1345 10 11	6	
00114	29.2.2016	nirim	nicola	R	A1	123467910 11	9	13_A2
00115		nirim	allianse	R		234567910 11	9	
00116		nirim	nicola	S		4698 11	5	
00117		nirim	sifra	I	A1	123567910 11	10	
00118		nirim	jamson	R	A1	13479	5	
00119		nirim	nicola			5	1	
00120		nirim	santana	I		4 10 11	3	
00121		nirim	nicola	I/R		1234567910 11	10	
00122		nirim	nicola	R		12345679 10 11	10	



טבלה 1-ד': תכונות התבדידים שנאספו בחודש מרץ - אפריל 2016

00123	1.3.2016	nirim	neeta					
00124		nirim	jamson					
00125		nirim	memphis/rosanna					23_A1
00126		nirim	jazzy	I/R		2347911	6	13_A2
00127		nirim	exquiza	S	A1	0	1	
00128		nirim	maris peer	R		1234910 11	7	
00129	6.3.2016	magen	nicola	R		123456789 10	10	
00130		magen	mix	R		14910 11	5	
00131		nir oz	3		A1			
00132		nir oz	25 west	I/R				13_A2
00133		nir oz	23	I	A1	1347 11	5	13_A2
00134		nir oz	17	I/R	A1	1234567 10 11	10	23_A1
00135		nir oz	2 darom	R		12347910 11	8	
00136		ein ha shelosha	31	I/R		12345678910 11	11	13_A2
00137		ein ha shelosha	86		A1			23_A1
00138		ein ha shelosha	42	S				13_A2
00139		ein ha shelosha	asaf 3	S		25 10	3	
00140		ein ha shelosha	86		A2	12345679 10 11	10	13_A2
00141		ein ha shelosha	asaf 1	S		123479 10 11	8	
00142		ein ha shelosha	asaf 2		A2	12345679 10	9	13_A2
00143		ora	358	I/R		134568910 11	10	13_A2
00144		ora	326	R	A1	1234679 10 11	10	
00145		ora	127	I		12345678910 11	11	
00146		ora	175	R	A1	37	2	
00147		shehrur	pardes			0	1	
00148		shehrur	hava d	I/R	A2	3	1	
00149		halutza	beeri					
00150		halutza	804					
00151		halutza	804	S/I		1234679 10 11	9	
00152		halutza	804					
00153		halutza	izram	R		1234567910 11	10	
00154	7.3.2016	tomato	mop darom	R	A1	13479 10	6	
00155	6.3.2016	nirim	mizrah b				7	
00156		nirim	hazi ha e	R		1247910 11	7	13_A2
00157		nirim	darom g	R		1234567910 11	10	
00158		nirim	mizrah b	I/R		1234679	7	23_A1
00159		nirim	mizrah a		A1	1234567 9 10 11	10	
00160		nirim	105					
00161		nirim	mizrah a					
00162		nirim	mizrah b	S/I				13_A2
00163		nirim	105			1234567 9 10 11	10	13_A2
00164		nirim	hazi ha e	R		1234567910 11	10	23_A1
00165		nirim	mizrah a					
00166		nirim	subsidia a	R		123479 10 11	8	23_A1
00167		nirim	subsidia a	R		1234567910 11	9	13_A2
00168	15.3.2016			I		123479	6	
00169					A1			
00170								
00171	14.3.2016	nahal oz	sifra	I		6	1	
00172	22.3.2016	halutza	vr 808					
00173	27.3.2016	magen	sifra	S		123467 10 11	8	23_A1
00174		magen	winston	S		37	2	
00175		magen	brooke+colibri	S	A1	23456791011	8	13_A2
00176		nirim	brooke	S		12359	5	
00177		nirim	sifra					
00178		ora	?					
00179		nirim	panamera	S		12345679 10 11	10	
00180		ein ha shelosha	?	S		23	2	
00181		ein ha shelosha	?	S		1397	4	13_A2
00182		ora	?	S		0	1	13_A2
00183		ora	volare	I	A1	12345679 11	8	23_A1
00184		talmi eliahu	tomato	I		13479	5	13_A2
00185		nahal oz	rodeo	S		1234567 10 11	9	
00186	3.4.2016	halutza	nicola					
00187		halutza	ditta					
00188	20.4.2016	Beeri	potato	S	A2			

ממשק השקיה בתפוז"א בהתבסס על מדד CWSI המחולץ מצילום תרמי  
מורן סגולי, משה ברונר, מייקל לופקהאוס; מו"פ דרום  
יפית כהן רוגית רוד ויקטור אלחנתי, אשר לוי, רומן בריקמן; המכון להנדסה חקלאית,  
מנהל המחקר החקלאי, בית דגן  
אלון בן-גל; מנהל המחקר החקלאי, גילת  
נפתלי לזרוביץ; המכונים לחקר המדבר, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב  
אורן בוכשטב; יישובי חבל מעון  
אברהם זילברמן (ג'ון), ציון דר; משרד החקלאות, שרות ההדרכה והמקצוע.

### תקציר

**הצגת הבעיה:** השימוש במדידות טמפרטורת הצמחייה לאיתור עקת מים מאפשרת כיום למפות את התפרושת המרחבית של מצב המים בגידול בקנה מידה של תת-חלקה, שדה ואף בקנה מידה אזורי בעזרת צילומים תרמיים. רוב המחקרים שעושים שימוש בצילום תרמי ומדד העקה CWSI מתרכזים בהערכת מצב המים ומיפוי השונות המרחבית ולא בהכוונת השקיה. אותם מחקרים העוסקים בהכוונת השקיה לפי ערכי מדד CWSI מכוונים לתעשיות היין וגידולי כותנה. מחקרים בודדים עוסקים בהכוונת השקיה בגידולים אחרים. באותם מחקרים שעוסקים בתפוז"א ישנה התייחסות לערכי סף להכוונת השקיה אך הם (1) מבוססים על נתונים נקודתיים ממכשירים בודדים שאמורים לייצג את כלל שטח הגידול; (2) אין התייחסות לשונות המרחבית; (3) אין ביטוי לדינאמיקה העונתית (שלבי גידול ומטאורולוגיה, ימי שרב וכד').

**מטרת המחקר:** לבחון את היכולת לכוון את ההשקיה בתפוז"א על-פי מדד העקה המופק מצילומים תרמיים: (א) מציאת קבוע החזר ביחידות של מדד העקה; (ב) להעריך את יעילות השימוש במדד להכוונת השקיה בהשוואה לגישה המיושמת כיום.

**תוצאות:** נערך הניסוי בחוות הבשור במו"פ דרום בחלקות הכוללות מערך ליזמטרים. מערך הניסויים יושם באמצעות השקיה בטפטוף בעונת האביב של גידול תפוז"א מזן דזירה. שטחי הניסוי חולקו לשתיים: (1) השקיה רגילה שהתבססה על החלטת המגדל כפי שהיא נעשית היום (Crop Water Requirements (CWR) ו- (2) וההשקיה שהתבססה על קביעת ההחזר הדרוש באמצעות המדד התרמי CWSI. בחלקות שיועדו להשקיה על בסיס מדד CWSI (הקבוצה השנייה) יושמה עקה מתונה לאחר שהגידול הגיע לשלב של סגירת שורות. העקה התבססה וההשקיה בהמשך נעשתה תוך קביעת ההחזר על בסיס מדד ה-CWSI בקבוצת הטיפול שיועדה לכך.

בכל אחד משלבי התיקון, בהשוואה עם מצב המים שנתקבל בחלקות הביקורת בהשקיה קבועה (רגילה וגרעונית), מצב המים השתנה והעיד על שינוי צפוי: ערכי ה-CWSI ירדו והיו נמוכים מאלו של ההשקיה הגרעונית ודומים לערכים שנתקבלו בהשקיה רגילה. יחד עם זאת באופן כללי ערכי המדד העידו על עקה בשלבים שונים של הגידול, גם בחלקות שקיבלו השקיה רגילה.

## מבוא

חקלאות מדייקת היא גישה של עיבוד חלקות גידול תוך כדי מתן מענה לשלוש שאלות בסיסיות איתן מתמודדים החקלאים במהלך עונת הגידול: מה צריך לתת (דשן ו/או השקיה ו/או הדברה), מתי (בהתאם לשלבי גידול ו/או רמת פגיעת מזיקים ומחלות) ואיפה (חלקות ותתי-חלקות). כדי לתת מענה לשאלות אלו, ולהגיב לצרכים דינאמיים של הגידול בשלבים השונים, יש לנטר את מצב הגידול באופן שוטף ולבחון את השונות המרחבית והעתית בשדה במהלך כל עונות הגידול. עיקרון זה מציג דרך טובה יותר למגדלים ולסביבה מכיוון שחלוקת המשאבים האופטימאלית בזמן ובמרחב מובילים לירידה בעלויות (ו/או עליה ברווחיות) ולירידה בהשפעות השליליות שלהם על הסביבה (Alchanatis and Cohen, 2011). המעבר של החקלאות המדייקת מתפיסה תיאורטית לשיטה יישומית תלוי לא רק ביכולת המיפוי של השונות בשדה, אלא גם בהגדרה מתאימה של הפעולות אותן יש לבצע באזורי הממשק לניהול הגידול. כלומר יש "לתרגם" את השונות המרחבית לכדי מכלול פעולות מעשיות בעלות משמעות לחקלאי המגדל, התגובות למידע המגיע מן החיישנים בשטח. כיום נמצא לא מעט מערכות מיפוי ושרותים מסחריים המאפשרים ניטור שונות במרחב הגידולים. חלק ניכר מהן מתועל לצרכים של הכוונת דיגומי קרקע וצומח ובמקרים רבים מציגות מידע לא ישים למגדל. זאת מאחר ומוצגים נתוני מדידה גולמיים או אינדקסים למיניהם (לדוגמא ביומסה צמחית ו-LAI) בעוד שהחקלאי נדרש להתמודד עם המשמעות. המערכות מאפשרות הצגת שונות מרחבית ועיתית אך לרוב אינן מאפשרות זיהוי של הגורמים. גם כאשר מדובר במערכות תומכות החלטה המצביעות על אפשרויות סבירות יותר כמקור לשונות המרחבית ו/או העיתית שנתקבלה מנתוני מערכות המיפוי, לרוב ההמלצות לחקלאי לא יכללו ביטוי כמותי ליישום. השימוש בטמפרטורת הצמחיה כאמצעי להערכת מצב המים בגידול אינו חדש. המעבר לחישה מרחוק והערכת עקת יובש באמצעות צילום תרמי הוא שלב מתבקש בדרך לניהול השקיה בתבסס על מדד תרמי, ה-CWSI (Maes & Steppe, 2012). הצילום מאפשר כיסוי נרחב וצימצום זמן איסוף נתונים ועבודה בחלון זמן רלוונטי במהלך היום; והינו משמעותי ביותר בדרך להשלמת היעד של הכוונת השקיה באמצעות מדד תרמי. זאת מאחר והקשר בין מצב המים בגידול למוליכות פיוניות ודיות, מגביל את איסוף נתונים לצורך הערכת מצב המים לכשעתיים שבהן הדינאמיקה היומית מינימאלית ומתקבלת יציבות יחסית בערכי המדדים. מחקרים מהשנים האחרונות הראו כי צילומים תרמיים מאפשרים למפות את השונות במצב המים בגידולים באמצעות צילומים תרמיים מוטסים כמו כותנה, חיטה, ובמטעי גפן וזית (Cohen et al., 2012, Alchanatis et al., 2010; Zuares et al., 2015). מחקרים נוספים הראו כי מדד ה-CWSI מאפשר הבחנה בין גידולי תפוז שהושקו ברמות שונות (Rud et al., 2014). בנוסף ניתן להצביע על ערכי סף המבטאים מצב גידול תקין של תפוז בשלבים שונים במהלך העונה (Rud et al., 2013); בעוד שבמחקרים מוקדמים יותר (Erdem et al. 2005, Shae et al. 1999) אין התייחסות לדינאמיקה העונתית וההתאמה הספציפית של דרישות המים בכל שלב לאורך עונת הגידול ו/או כתגובה לאירועים מטאורולוגיים ספציפיים כגון ימי שרב.

## מטרות המחקר

לבחון את היכולת לכוון את ההשקיה בתפוז"א על-פי מדד העקה המופק מצילומים תרמיים.

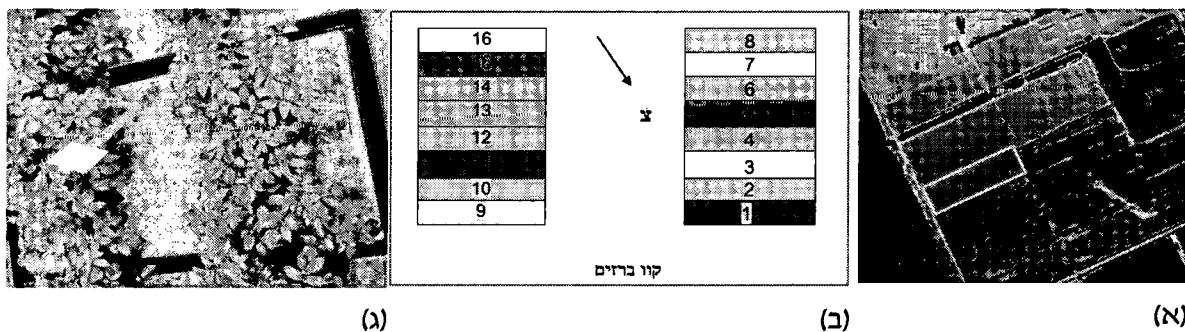
מטרות משנה:

לבחון את יעילות השימוש במדד התרמי להכוונת השקיה בהשוואה לגישה המיושמת כיום.

## 3. פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות עיקריות

### • מערך הניסוי

הוקם מערך ניסוי בחוות הבשור שכלל 4 טיפולים  $4 \times 4$  חזרות, לפי המפורט באיור 1. כל טיפול היה בגודל של 20 מ'  $\times$  24 מ'. מערך זה כלל גם ליזמטר אחד, 2 מ"ר, בכל אחד מהטיפולים. ההשקיה בחלקות נעשתה בהמטרה. הדישון נעשה דרך מערכת ההשקיה (באופן שגרתי כמות גבוהה). עד לשלב של סגירת שורות ההשקיה נעשתה באופן אחיד. 16 יומים לפני תחילת המדידות החל תהליך יישום עקה מתונה, 70% מהכמות הרגילה, באותם טיפולים שיועדו לכך. כמות המים הרגילה נקבעה באמצעות מדדים שנלקחו מנתוני הליזמטרים והיא ייצגה את כמות המים הדרושה לגידול בכל שלב ובהתחשב בתנאים המטאורולוגיים ששררו באותה עת.

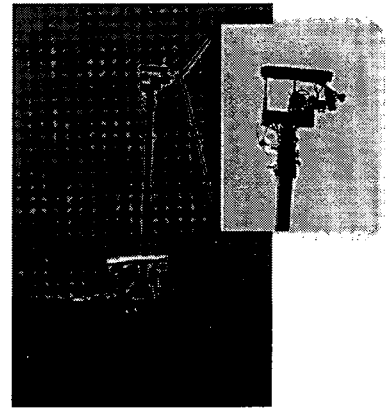


**איור 1. חלקות הניסוי בשנה ב':** תיאור כללי (א), מערך הטיפולי השקיה (ב); כחול – 100% כל העונה, לבן – 70% כל העונה, ירוק – 70% התחליתי עם תיקון בהמשך כל יומיים, כתום – 70% התחליתי עם תיקון בהמשך כל 4 או 3 ימים. בחזרה בה מוצב הליזמטר בטיפולים השונים, מודגש המספר על רקע צהוב. (ג) דוגמה לאחד מהליזמטרים שנקבעו כחלק מרצף משורת הגידול באחת מהחזרות שבכל טיפול.

מועד הצילומים תוכנן בסינכרון עם מועדי ההשקיה. הצילומים נעשו בדרך כלל לאחר יומיים עד ארבעה ממועד ההשקיה הקודם, בצהרי יום ההשקיה הבא (ברזים נפתחו בלילה). כלומר, מיד לאחר הצילומים, נעשה ניתוח נתונים וחושב ערך מדד cwsI ממוצע לארבע חזרות בכל טיפול. בהתאם לערך זה נתקבלה ההחלטה האם לתקן את ההשקיה ובכמה.

### • אמצעי מדידה וניתוח נתונים

בוצעו צילומים תרמיים קרקעיים מתורן כפי שמוצג באיור 2. בוצעו צילומים גם מפלטפורמה מוטסת באמצעות רחפן. הצילומים עברו עיבוד (כמתואר באיור 3) ושימשו לחילוץ טמפרטורת העלווה וחישוב מדד עקת המים. הצילומים הקרקעיים נעשו באמצעות מצלמת FLIR A655sc מגובה של 12 מ'. הצילומים האוויריים נעשו באותה מצלמה מגובה של כ- 200 מ'.



איור 2. צילום תרמי: פלטפורמה קרקעית התורן

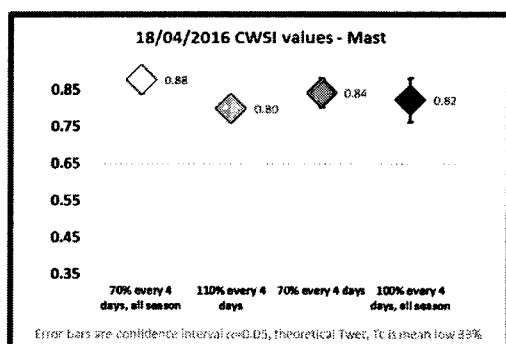
חילוץ טמפי העלווה (Tc) נעשה בהתבסס על הצילום התרמי ונתוני מטאורולוגיה בשעת הצילום. בשלב ראשון מאותרים פיקסלים המיוחסים לצמחיה. מתוך כלל הפיקסלים אלו חושב הממוצע של 33% הערכים הנמוכים. בהמשך חושבו ערכי מדד עקת המים (CWSI) לפי הנוסחה הבאה (Idso et al, 1998):

$$CWSI = (Tc - Twet) / (Tdry - Twet)$$

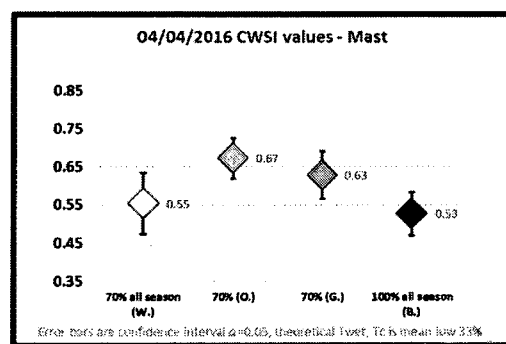
כאשר, Tc הוא טמפי העלווה שחולץ מהתמונה עבור כל חזרה בכל אחד מן הטיפולים. Tdry הטמפי המקסימאלי, נקבע אפרית על סמך מחקרים קודמים כטמפי האויר +7 מעלות ו-Twet טמפי המינימום, הוא ערך תיאורתי המחושב בהתבסס על נתונים מטאורולוגיים ומשוואות מאזני אנרגיה המבטאות את האינטראקציה בין צמח לקרינת השמש. במקביל לצילומים נמדדו ערכי מוליכות פיוניות, נאספו נתוני מז"א ונתוני הליזמטרים.

#### • איתור קבוע החזר מתאים

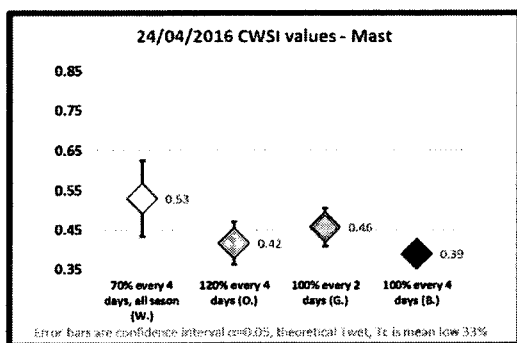
לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים, לפי מדידות מוליכות פיוניות. לפי המדד התרמי cwsI נמצאו הבדלים לא מובהקים (למעט מקרים בודדים), אך התקבלה מגמה המעידה על שיפור במצב המים כתוצאה מתיקון ההשקיה. איור 3 מציג את ערכי המדד התרמי cwsI בכל אחד מתאריכי המדידה בשנה השניה.



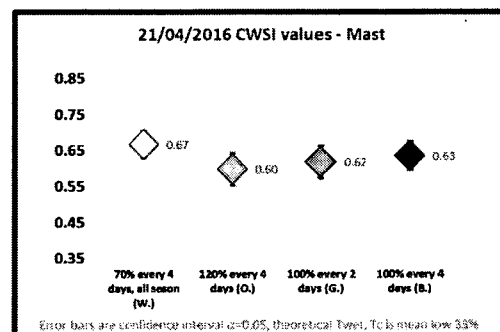
(ב)



(א)



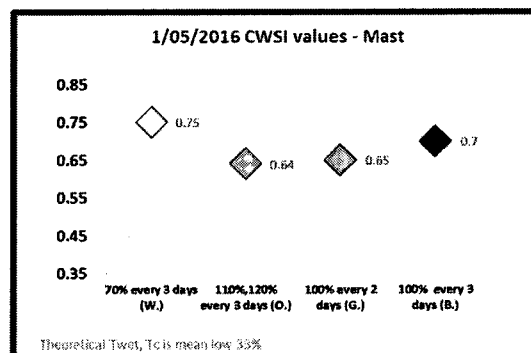
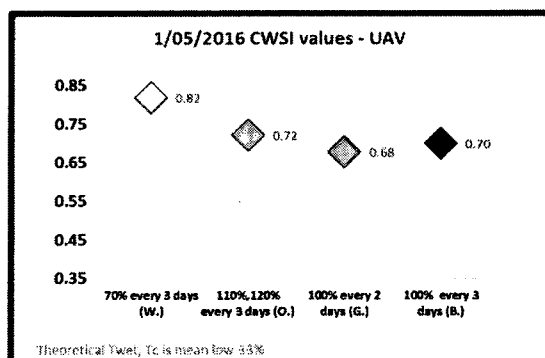
(ד)



(ג)

(ו)

(ה)



**איור 3. ערכי מדד עקת המים ששימשו לתיקון ההשקיה:** המצב ההתחלתי לאחר השמת עקה מתונה שלושה מהטיפולים כמפורט באיור 1, מצב המים כפי שנתקבל מערכי CWSI לאחר תיקוני ההשקיה שנעשו במהלך העונה, איורים (ב) עד (ה) ומצב המים כפי שנתקבל מצילום אווירי בתאריך האחרון. תיקוני ההשקיה ממצב התחלתי ועד לסוף העונה בוצעו בהתבסס על נתוני צילום תרמי קרקעי. איור (ו) מציג את מצב המים כפי שנתקבל בהתבסס על צילום אווירי מרחפן. כמות המים המצויינת בכל טיפול מתייחסת להשקיה האחרונה שנעשתה לפני הצילום. הערכים הם ממוצע לטיפול למעט בחשוואה בין צילמי קרקע לצילומים מהרחפן בהם הערך מתבסס על חזרה אחת בכל טיפול.

מהשוואה בין המועדים השונים נראה כי תיקון ההשקיה בטיפולים היעודיים שיפר את מצב המים כפי שהוא בא לידי ביטוי באמצעות מדד CWSI. הערכים בשני טיפולים אלו ממועד התיקון הראשון ב- 8 לאפריל, היה נמוך מזה של טיפול 70% שניתן קבוע לאורל כל העונה ללא כל תיקון. בנוסף ערכים אלו דמו לאלו שנתקבלו בטיפול ההשקיה הרגילה. מגמה זו נשמרה לאורך כל העונה החל ממועד הצילום השני, עם הבדלים מובהקים בין טיפולי 70% בכל העונה וטיפולי: 70% מתוקן במועד 18 ו- 21 לאפריל; ו- 100% השקיה בכל העונה במועד 24 לאפריל, 77, 80, 83 יום לאחר השתילה. יחד עם זאת חשוב לציין שערכי מדד העקה שנתקבלו ב- 77 ו- 80 יום לאחר הזריעה היו גבוהים מהצפוי בשלב זה של הגידול. על פי מחקרים קודמים בגידולי תפוז "דזירה", בשלב זה ערכי מדד עקה המבטאים העדר עקה נעים סביב הערך 0.4, בעוד שכאן נתקבלו ערכים גבוהים מאוד, 0.8-0.84 ב- 77 יום לאחר הזריעה ו- 0.6-0.62 ב- 80 יום לאחר הזריעה. רק במועד המאוחר יותר, 83 יום לאחר הזריעה נתקבלו ערכים נמוכים של 0.42-0.46, שמבטאים העדר עקה, כלומר תיקון ההשקיה הביא לשיפור המצב במלאו, בהתבסס על ערכי המדד התרמי. מגמה זו באה לידי ביטוי גם במועד האחרון, 90 יום לאחר שתילה, למרות שערכי המדד באופן כללי עלו ביחס למועד הקודם לו. עליה בערכי מדד ה- CWSI היא צפויה ותאמת את מה שנתקבל במחקרים קודמים. בשלב נתקבלו ערכים של 0.64-0.65 בטיפולים שקיבלו תיקון ותוספת מים. לא נמצא הדל משמעותי בין תיקון מים ל 110% כל 3, 4 ימים

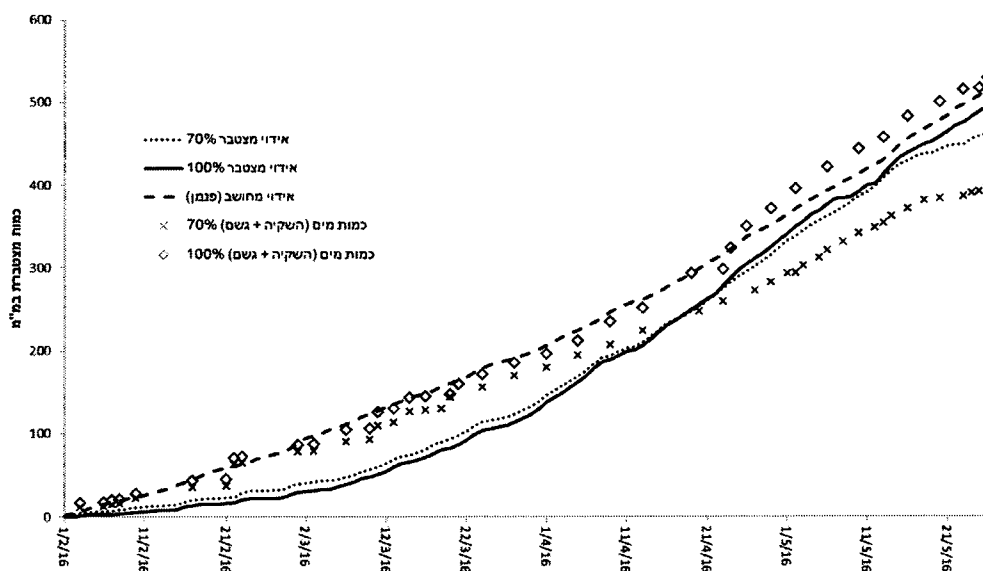
לבין 100% כל ימים. חשוב לציין שטיפול 100% בכל אורך העונה (בכחול) הציג ערכים גבוהים (למעט ה- 24 לאפריל) וככל הנראה מצב המים באופן כללי העיד על עקה מתונה עד חמורה. בנוסף לצילומים קרקעיים, במועד האחרון נעשה צילום אוירי מרחפן במקביל לצילום הקרקעי מהתורן. מהשוואה בין תוצאות אלו (איורים 3 ו-4) לא נמצא הבדל פרט לכך שהערכים בצילום מהרחפן גבוהים במעט מאלו שמהצילום הקרקעי.

#### • **בירור פרק הזמן הדרוש להתאוששות הגידול ממצב עקה מתונה**

תיקון ההשקיה הביא לשינוי ושיפור ערכי מדד העקה מיד לאחר התיקון הראשון. מועד הצילום בו נתקבלה תוצאה זו היה כשבועיים לאחר יישום התיקון והגדלת ההשקיה ל- 110% כל 4 ימים (איור 4ב). בהמשך מגמת השיפור התגברה במקביל לירידה כללית בערכי ה-CWSI. פרק הזמן הארוך יחסית ממועד השמת תיקון ההשקיה (תוספת במים) ועד לצילום שבחן השפעה זו, בנוסף למצב הכללי המעיד על עקה בכל הטיפולים תוך כדי שמירה על הפרש דומה של כ- 0.8 (בין 70% ללא תיקון לזה שעם תיקון) בערכי CWSI, מחייב חזרה על בדיקה זו בעתיד. לכאורה מתקבל כאן שיפור תוך פרק זמן משמעותי בגידול, לכל היותר שבועיים. אך ערכי המדד המשופרים מבטאים ברור מצב של העדר עקה רק במועד אחד (24 לאפריל), ובמרומו במועד האחרון. בהתחשב בכך שבאופן כללי נראה היה כי הגידול סובל מעקה, גם בהשקיה הרגילה (100%), הרי שזוהי תוצאה טובה.

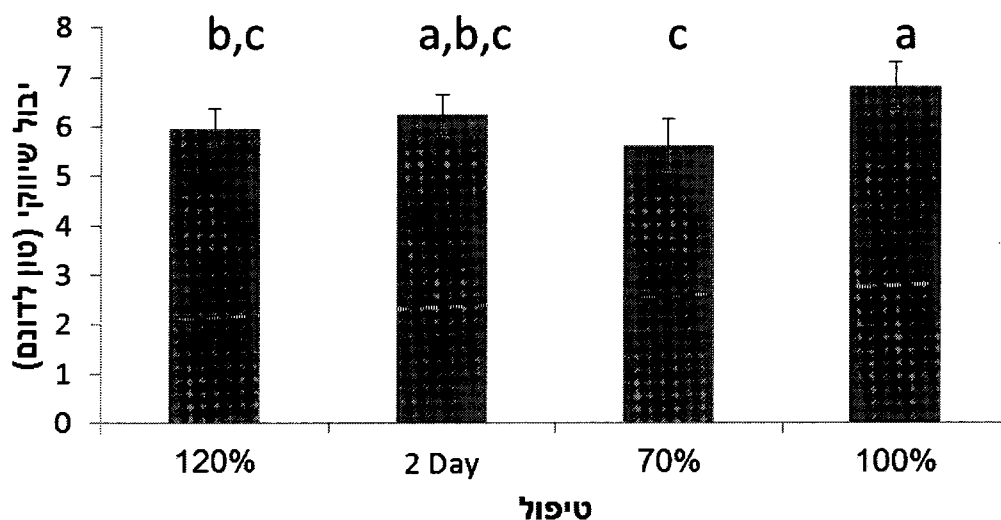
#### • **יבול**

כמות ההשקיה והאידיוי מהחלקות הליזימטרים מוצגים באיור 4.



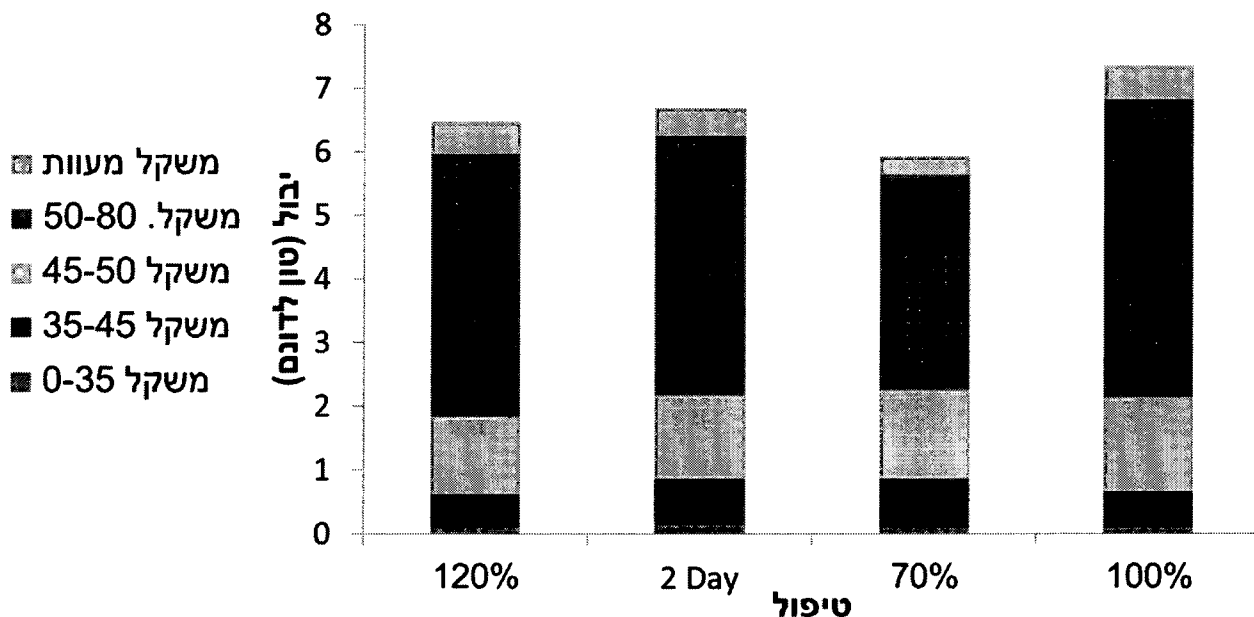
**איור 4.** כמות המצטברת של ההשקיה והאידיוי מטיפול הביקורת (100%) וטיפול העקה (70%). אידיוי מחושב של משרד החקלאות מוצג להשוואה.

בטיפול המישקי (100%) היה יבול שיווקי הכי גבוהה ואילו הטיפול עקה (70%) היה עם היבול הכי נמוך (איור 5). טיפולי התיקון היו ביניהם.



איור 5. יבול השיווקי בסוף העונה לפי טיפולי ההשקיה

היה הבדל מובהק בתפ"א גדולים (50-80) בין הטיפולים (איור 6) כאשר בטיפול המישקי (100%) היה יבול תפ"א גדולים הכי גבוהה ואילו הטיפול עקה (70%) היה עם היבול הכי נמוך. טיפולי התיקון היו ביניהם.

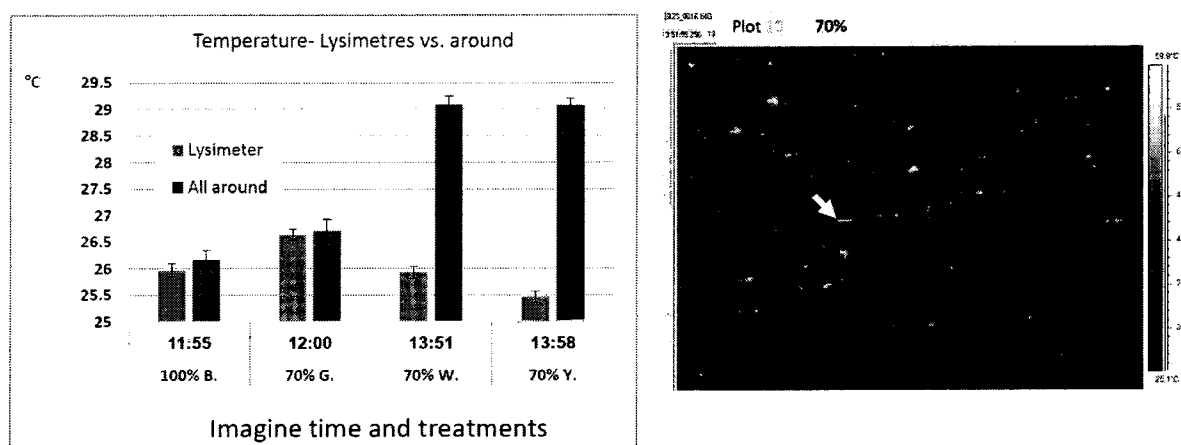


איור 6. התפלגות גודל תפ"א לפי טיפולי ההשקיה.



## דיון

ביחס ליעד הראשון, תיקון ההשקיה בהתבסס על המדד התרמי CWSI הביא לשיפור בערך המדד בסדר גודל של 0.8 יחידות. שיפור זה התקבל בתוספת מים של 10%-20% למנה הרגילה שנקבעה להשקיה. מנת המים הרגילה, ה-100%, נקבעה בהסתמך על נתוני הליזמטרים. מניתוח הצילומים בהם נעשתה השוואה בין טמפ' עלווה של הליזמטרים ושאר השורות הסמוכות נמצא נעשה שיט הבדל. ערכי טמפ' העלווה בליזמטרים נמוכה יותר (איור 6). אי-לכך, יתכן שמנות המים שסופקו בפועל לכלל חלקות הטיפול היו נמוכות מן הדרוש ויתכן שזהו ההסבר לעקה הכללית עליה מעידים ערכי מדד CWSI.



**איור 6. השוואה בין טמפ' עלווה, ליזמטרים ושאר החלקה: דוגמה לצילום של אחד הליזמטרים. החץ מצביע על מיקום הליזמטר (א); וההשוואה בין ממוצעי טמפ' ליזמטר והחלקה, בטיפולים השונים.**

ביחס ליעד השני, בירור פרק הזמן הדרוש להתאוששות הינו לא יותר מאשר שבועיים. כדי לבחון האם פרק זמן זה מספק יש לבדוק את מדדי היבול. אם השיפור אכן תרם לשמירה כמות ואיכות היבול, הרי שכדאי לבחון פרקי זמן קצרים יותר מועדים שונים בשלב זה של הגידול. ככל שפרק הזמן קצר יותר, הנזק ליבול צפוי לקטון ויאפשר גמישות מעט יותר במצבי התאוששות לאחר תקלה בהשקיה או ימי שרב.

ביחס ליעד השליש של שמירה על כמות ואיכות היבול יש להמתין עד לאיסוף היבול.

## ספרות מצוטטת (ביבליוגרפיה)

- Alchanatis V., Cohen, Y., Cohen, S., Moller, M., Sprinstin, M., Meron, M., Tsipris, J., Saranga, Y. & Sela, E. (2010). Evaluation of different approaches for estimating and mapping water crop status variability in cotton with thermal imaging. Precision Agriculture, 11(1): 27-41.
- Alchanatis V., Cohen Y. (2011). Spectral and Spatial Methods for Hyperspectral Image Analysis for estimation of Biophysical and Biochemical Properties of Agricultural

- Crops. In: *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*. Eds. Thenkabail, P., Lyon, J. G., and Huete, A. Taylor and Francis. Pages: 289-308. CRC-Press, NY, USA.
- Cohen, Y., Alchanatis, V., Prigojin, A., Levi, A., Soroker, V., Cohen, Y. (2012). Use of aerial thermal imaging to estimate water status of palm trees. *Precision Agriculture*, 13(1): 123-140.
- Cohen, S., Cohen, Y., Levi, O. and Alchanatis, V. (2013). Combining spectral and spatial information from aerial hyperspectral images for delineating homogenous management zones. *Biosystems Engineering* – 114(4): 435-443.
- Rud R., Y. Cohen, V. Alchanatis, Z. Dar, A. Levi, R. Brikman, C. Shenderoy, B. Heuer, T. Markovits, D. Mulla, C. Rosen (2013). The potential of CWSI based on thermal imagery for in-season irrigation management in potato fields, proceedings, ECPA in Lleida, Catalonia, Spain, July 7-11.
- Rud R., Y. Cohen, V. Alchanatis, A. Levi, R. Brikman, C. Shenderoy, B. Heuer, T. Markovits, Z. Dar, C. Rosen, D. Mulla, T. Nigon (2014). Crop water stress index derived from multi-year ground and aerial thermal images as an indicator of potato water status. *Precision Agriculture*, 15(3): 273-289.

## השפעת חנקן וכלוריד על יבול ואיכות תפוז"א

### ניסוי במכלים עם מים דלי מלחים

בארי קנר, דניאל קורצמן, גפן רונן אלירז, שושנה סוריאנו, עדו ניצן ואשר בר-טל)-מנהל המחקר החקלאי המכון לקרקע ומים

#### הערה חשובה:

התוצאות האלה עדיין ראשוניות (עד להגשת התזה) והן חלק מעבודת המוסמך של בארי קנר

הרציונל של הניסוי מתבסס על ההשערות הבאות על השפעות השקיה במים דלי מלחים: א) התחרות של הכלוריד עם החנקן על הקליטה קטנה ככל שריכוז הכלוריד נמוך יותר ולכן קליטת החנקן יעילה יותר. ב) בהשקיה במים דלי מלחים קליטת המים על ידי הצמח יעילה יותר ולכן השטיפה מתחת לבית השורשים קטנה יותר. על בסיס השערות אלו אנו מניחים שניתן לצמצם את שטפי החנקן למי התהום במעבר להשקיה במים דלי מלחים על ידי הפחתת ריכוז החנקן במי ההשקיה וצמצום הדליפה מתחת לבית השורשים. מטרת המחקר הראשית היא למזער את שטפי החנקן מתחת לבית השורשים תוך השגת היעדר החקלאי של יבול מיטבי. כדי להשיג מטרה זו ועל בסיס השערות המחקר המטרות הייחודיות של הניסוי הן: 1. לקבוע רמות דישון חנקני מיטבי לגידולים הנבדקים בהתאם לרמת מליחות מי ההשקיה ו-2. להעריך באופן כמותי את שטפי החנקן מתחת לבית השורשים תחת השקיה ברמות שונות של מליחות (כולן בתחום המים השפירים) וכתלות ברמת הדישון החנקני בגידול תירס ותפוז"א.

### חומרים ושיטות

מערכת הניסויים במכלים במים דלי מלחים: בשלב ראשון הוקמה מערכת ניסויית שתוכל לבחון בצורה טובה את השערות המחקר ולעמוד במטרות המחקר. כלומר תאפשר גידול צמחים והבאתם ליבול מיטבי ועם זאת תאפשר שליטה וניטור של מאזני המים והמומסים. על כן הוקמה מערכת גידול במכלים שניתן לבצע בה ניסוי עם 24 טיפולים ב 4 חזרות.

#### 1. הצבת מערכת הגידול (ינואר – יולי 2015)

בשטח מכון וולקני הוצבו 96 מכלי גידול על 24 שולחנות (איור 1-1 איור 2), כל מכל בנפח של 60 ליטר כאשר שטח פני המכל הוא 907 סמ"ר ועומק הקרקע במכל הוא  $52 \pm 3$  ס"מ. המכלים מולאו בחול גס (2.8 מ"מ מקס' 15%, 2.4 מ"מ מקס' 40%, 2 מ"מ מינ' 30%, 1 מ"מ מקס' 20% קטן מ-1.4 מ"מ, על פי היצרן). לתחתית של כל מכל גידול חובר נקז באורך 60 ס"מ ובקוטר 2 צול אשר מולא בצמר סלעים. מידות הנקז ומילואו בצמר סלעים נעשו לפי (Ben-Gal and Shani, 2002) בכדי למנוע רוויה בתחתית המכל ולאפשר זרימת מים רציפה. מתחת לכל נקז הוצב מכל לאיסוף הנקז (96 מכלי נקז) שנפחו נקבע על ידי שקילה ידנית של מכלי הנקז אחת לכמה ימים (בהנחה שצפיפות המים קבועה 1 גרם/סמ"ק). להשלמת מאזן המים נמדדה תרומת הגשם למאזן על ידי מד גשם. ההשקיה נעשת על ידי תמיסות סופיות מ-24 מכלי תמיסות (אחד לכל טיפול) בנפח 200 ליטר (איור 2). מכלי התמיסות הוזנו במים מותפלים משני מכלי אגירה בנפח כולל של 5 מטר קוב. המים מותפלים על ידי מכשיר התפלה (TROS160LPH, חברת טריטמנט ישראל) לרמת מוליכות חשמלית

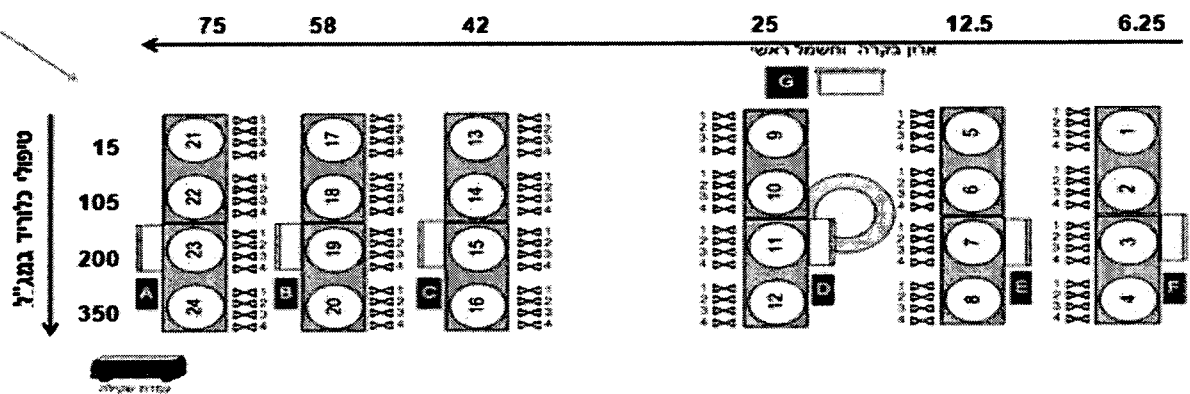
$EC=0.005ds/m$ . לאחר שהמכלים מלאים במים מוסיפים להם מלחים ודשנים שנושקלו במעבדה, לכל מכל בהתאמה לטיפול שלו.



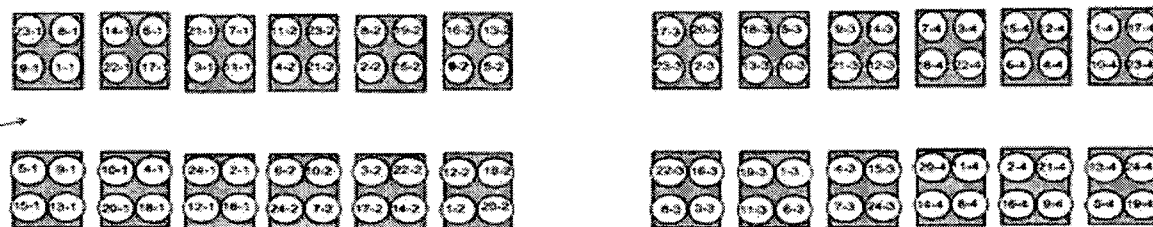
איור 1: מערכת המכלים בשטח מכון וולקני. א. המערכת הניסויית בשלב ההקמה; ב. המערכת הניסויית בשלב הגידול. מכלי התמיסות מחופים ברשת צל.

כיוון הצילום תמונה 1

טיפול חנקן במג"ל



כיוון הצילום



איור 2: תרשים של המערכת הניסויית, בחלק העליון של התרשים ניתן לראות את מכלי התמיסה, בחלק התחתון השולחנות ומכלי הגידול, החצים השחורים מתייחסים לרמות של הטיפולים השונים המיושמים במכלי התמיסות, כאשר רמות טיפולי החנקן עולות מימין לשמאל ורמות טיפולי הכלוריד עולות מלמעלה למטה. מכלי הגידול מסומנים ע"י: מספר טיפול (1-24) – מספר חזרה (1-4).

לכל מכל תמיסה משאבת שילוח ו-4 צינורות לחזרות השונות של אותו טיפול (איור 2). ההשקיה נעשית בטור, כלומר החזרות של כל טיפול מושקות אחת אחרי השנייה וסדר ההשקיה בין החזרות משתנה באקראי בין ההשקיות. ההשקיה בטור מאפשרת מדידת נפח מים של 4 חזרות בעזרת מד זרימה אחד. מד הזרימה (PFA0045) ששימש לניסוי, יודע למדוד ספיקה של 6-120 ליטר/שעה בשיאה של 1%, כאשר אנו משקים בספיקה של 8 ליטר/שעה. כל מערכת ההשקיה נשלטת ע"י מחשב ובסוף כל השקיה מתקבל דו"ח ממוני המים.

המערכת נבנתה ע"י חברת Crystal Vision מקבוצת סמר שבערבה בשיתוף צוות המחקר של ניסוי זה במימון מנהל המחקר החקלאי כחלק מהשתתפות המנהל במימון תשתיות ע"פ הסכם המחקר של מרכז המצוינות הזה.

## **2. תיאור הניסויים בשנה השנייה למחקר**

### **3. עונה הראשונה – תפוח אדמה (ינואר – מאי 2016)**

בעונת הגידול הראשונה של השנה השנייה למחקר גודל תפוח אדמה מהזן "סיפרה" ובוצע ניסוי דו גורמי עם 6 רמות חנקן ו-4 רמות מליחות, סך הכול 24 טיפולים עם 4 חזרות לכל טיפול במבנה של בלוקים, כלומר בכול בלוק חזרה אחת לכל טיפול, כאשר הטיפולים בכל בלוק באקראי. רמות החנקן הן: 80, 60, 40, 30, 20, 10 מ"גל של חנקן כאמון חנקתי ורמות המליחות (לפי ריכוז הכלוריד) הן: 15, 105, 200, 350 mg/l I מ"גל כלוריד. ערכי המוליכות החשמלית של התמיסות היו בקרוב: 0.7, 1.0, 1.6, 2.6 ds/m ברמת החנקן הנמוכה ו- 0.90, 1.28, 1.85, 2.83 ברמת החנקן הגבוהה ביותר. כול הטיפולים קבלו את שאר יסודות ההזנה באופן שווה למעט גופרית שהשתנתה בין הטיפולים כדי לשמור על ריכוזי כלוריד וחנקן קבועים (אך נמנע מצב של מחסור בגופרית), ונתרן שמתווסף יחד עם הכלוריד במלח NaCl. ריכוז מלח זה שווה בכל טיפולי החנקן בעלי רמת מליחות שווה. ההשקיות במהלך העונה נקבעות לפי 20% נקז בטיפול המיטבי מבחינת דישון גבוה ביותר ומליחות נמוכה ביותר, על מנת למנוע מצב של המלחת הקרקע.

פקעות תפוחי האדמה נזרעו במיכלי הגידול ב- 15.1.2016. מספר ימים לפני הזריעה ניתן דישון יסוד אחיד בכל המכלים של חנקן, זרחן ואשלגן במנה של 5, 1.2 ו- 5 ק"ג לדונם יסוד צרוף בהתאמה (2.86, 0.69 ו- 2.86 גרם למיכל, בהתאמה). למחרת הזריעה יושמו הטיפולים השונים. תמיסות ההשקיה הוכנו בשיטת תמיסות סופיות כלומר מראש המלחים והדשנים לכל טיפול ובשטח הם הוספו למכלי התמיסות עם נפח מים מותפלים של 200 ליטר.

דיגומים בניסוי תפוח האדמה: ב 23 מרץ 2016, נדגמו עלים דיאגנוסטיים (העלה המפותח הצעיר ביותר) מכל הצמחים בכל חזרה לבדיקות של היסודות חנקן, זרחן ואשלגן. בסוף הניסוי ב- 31 למאי 2016, כ- ארבעה וחצי חודשים מהזריעה נאספו 3 הצמחים מכל חזרה לקביעת המשקל הרטוב והיבש של הנוף ושל הפקעות, למיון הפקעות לפי גודל ולעוותים בפקעות (בובות) ולקביעת ריכוזי היסודות חנקן, זרחן ואשלגן בנוף ובפקעות.

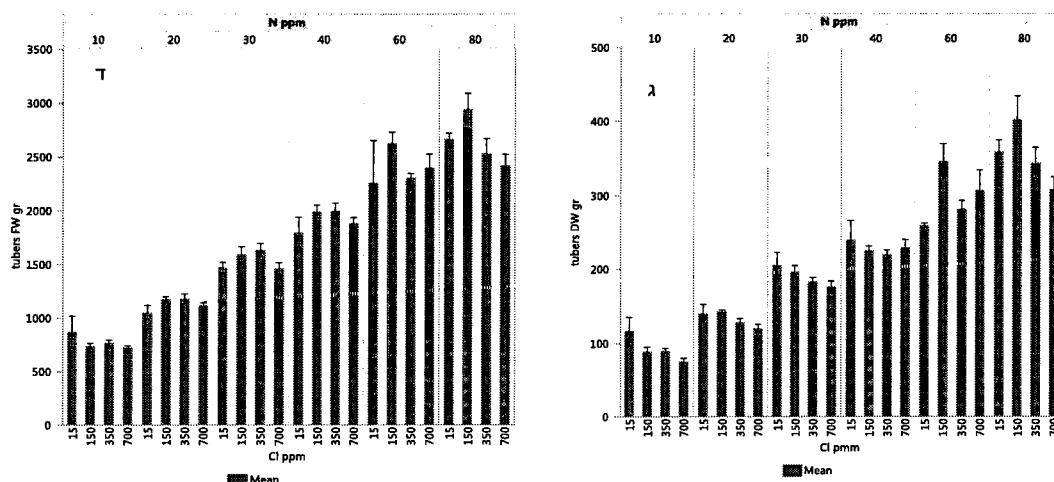
במהלך הניסוי בוצעו הניטורים הבאים:

1. דיגום של תמיסות ההשקיה במהלך העונה למדידת אניונים באניון כרומטוגרף ( Dionex ICS 1600).
  2. פעם בשבוע נשקלו מכלי הנקז ונלקחות מהם דגימות מים לאנליזה של כלוריד וחנקן באוטואנלייזר (autoanalyzer QuickChem 8000/8500) ומדידת pH EC.
  3. דוחות יומיים של נפחי ההשקיות בפועל על ידי מערכת הבקרה הממוחשבת של ההשקיה.
  4. טמפרטורה נמדדה בעומקים שונים בכמה מכלי גידול מייצגים שאוספים נתונים לאוגרנתונים כל כמה דקות (Hobo Data Logger). בנוסף בחלק מהמכלים נמדדו EC גושי, טמפ' ותכולת רטיבות נפחית בקרקע על ידי חיישנים מסוג (Decagon 5TE) ואוגר נתונים מתאים.
  5. בכל חלקי הצמחים שנדגמו נקבעו המשקל הטרי והמשקל היבש לאחר ייבוש בתנור מאוורר בטמפרטורה של 65 מ"צ. הדוגמאות היבשות נטחנו ומתוכן נלקח תת מדגם למיצוי מימי ביחס של 1:10 לבדיקת ריכוזי כלוריד וחנקן באוטואנלייזר וכן אכול בחומצה גופריתנית לבדיקת חנקן, וזרחן באוטואנלייזר ונתרן ואשלגן בפוטומטר להבה.
  6. במהלך הגידול נעשתה מדידה של מדדי פוטוסינטיזה וטרנספירציה בעלים בכל החזרות בעזרת מכשיר Licore.
  7. בכל טיפולי המליחות של טיפול החנקן 42 מג"ל חנקן חנקתי הותקנה מצלמת שורשים (מיני ריזוטרון) ונעשו מספר צילומים לאורך העונה (לאחר 20, 36, 63 ו- 70 ימים משתילה) למעקב אחרי התפתחות השורשים (מערכת מיני ריזוטרון נרכשה במימון המנהל כחלק מהתכנית).
- איסוף נתונים אלו אפשר לחשב את שטפי המים והמומסים וכמו כן למצוא את היבול המרבי בכל רמת מליחות. בניית המודל המתוכנן של זרימת מומסים יתבסס על נתונים אלו תוך שימוש בתוכנת Hydrus1D (Šimůnek et al., 2009) לצורך מתן הערכות כמותיות של שטפי חנקן וכיול המודל.

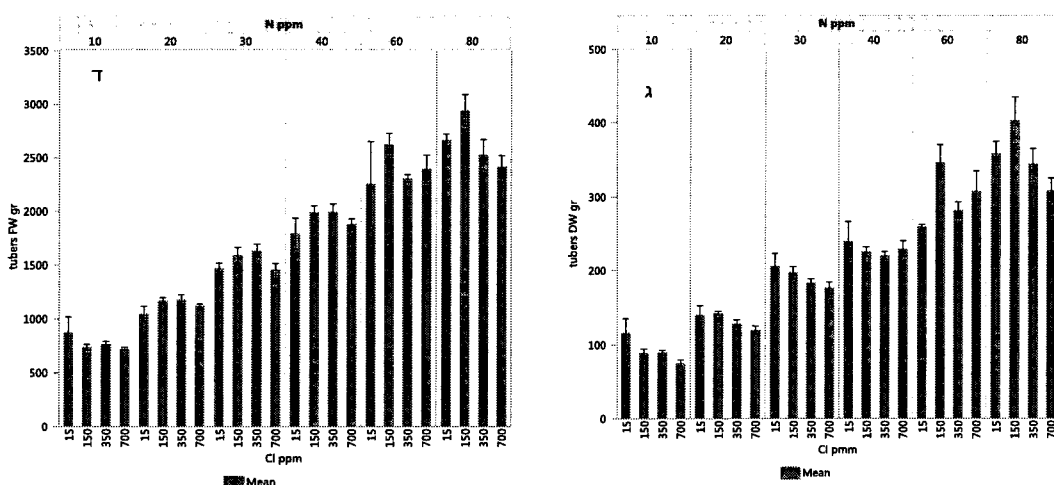
## **תוצאות**

### **תפוח אדמה**

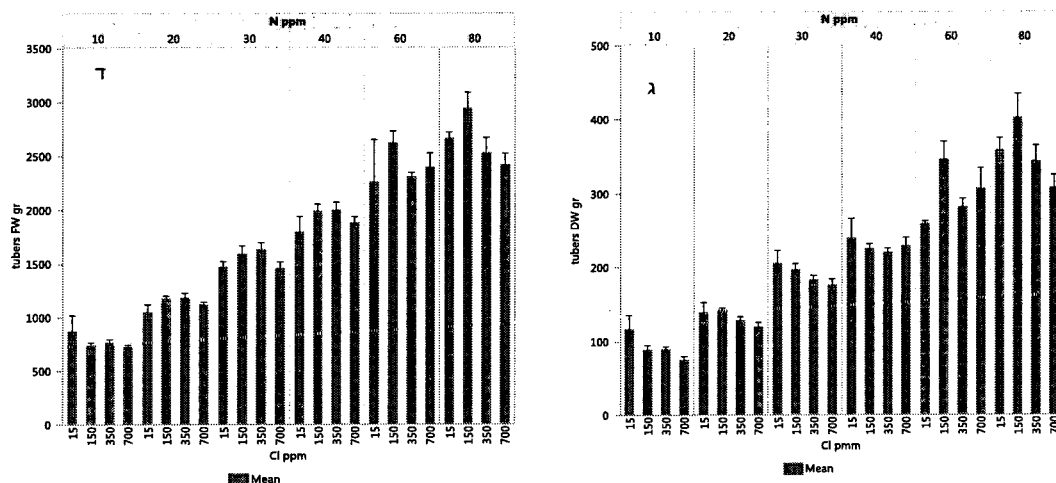
כצפוי כמות החנקן בנקז עלתה משמעותית ובאופן מובהק עם העלייה בריכוז החנקן בתמיסת ההשקיה )



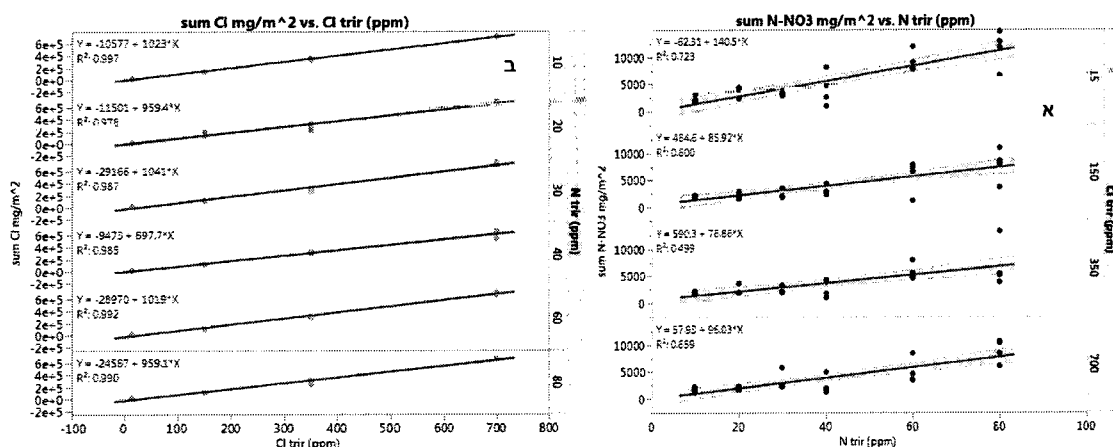
א וטבלה 1), אך לריכוז הכלוריד בתמיסת ההשקיה לא הייתה השפעה משמעותית למרות שהתקבלה השפעה מובהקת (איור 3 וטבלה 1), בהתאמה לתוצאות בשנה הקודמת בתירס. החלק היחסי של החנקן בנקז מהחנקן המוסף היה כ- 30% בריכוז החנקן הנמוך ביותר, 26% בריכוז 20 מ"ג/ל ובתחום 21.5-23.1% בשאר הטיפולים, תוצאה שמבטאת יעילות נמוכה יחסית של החנקן בטיפולי החנקן הנמוכים ויעילות דומה בשאר הטיפולים. היעילות הנמוכה בטיפולי החנקן הנמוכים נובעת מהחלק היחסי הגבוה של הדישון החנקני בבסיס בטיפולים אלו (62%-ו 47% בטיפולים 10 ו-20 מ"ג/ל, בהתאמה) לעומת החלק הנמוך בטיפולי החנקן הגבוהים (24.6%-ו 19.9% בטיפולים 60 ו-80 מ"ג/ל, בהתאמה). ידוע שדישון בבסיס בדרך כלל פחות יעיל מאשר פיצול מנת הדשן לאורך הגדול כפי שנעשה בדישון דרך תמיסת ההשקיה ובמיוחד בניסוי הנוכחי שבו ההשקיה הייתה שווה בכל הטיפולים ולכן בעודף גדול יותר בטיפולי החנקן הנמוכים שבהם ייצור הביומסה והטרנספירציה היו נמוכים יותר ולכן השטיפה של הדשן שניתן ביסוד הייתה גבוהה יותר. כמות הכלוריד בנקז עלתה באופן לינארי עם העלייה בריכוז הכלוריד בתמיסת ההשקיה )



ב וטבלה 1), ואילו השפעת החנקן הייתה קטנה למרות שנמצאה מובהקת (



ב וטבלה 1). בכל רמות החנקן שיפוע התלות היה בתחום צר של 897 ל- 1041 כאשר ההבדל העיקרי היה בנקודת החיתוך בין - (9473 - ל- 29168 – בטיפולים 40 ו- 30 מ"ג חנקן/ל) ללא שינוי במגמה קבועה עם ריכוז החנקן בתמיסת ההשקיה.



איור 3: (א) כמות החנקן המצטברת בנקז ממכלי הגידול כתלות בריכוז החנקן בתמיסת ההשקיה (מג"ל, בציר ה-X התחתון) וטיפולי הכלוריד (4 ריכוזים ((מג"ל) לכל רמת חנקן, בציר ה-Y מצד שמאל) ו- (ב) כמות הכלוריד המצטברת בנקז ממכלי הגידול כתלות בריכוז הכלוריד בתמיסת ההשקיה (מג"ל, בציר ה-X התחתון) וטיפולי החנקן (6 ריכוזים ((מג"ל) לכל רמת כלוריד, בציר ה-Y מצד שמאל). ניסוי מכלים, בית-דגן, ינואר - מאי 2016.

טבלה 1. ניתוח שונות להשפעות ריכוזי החנקן, הכלוריד, הבלוק והשפעות הגומלין ביניהם על כמויות החנקן והכלוריד המצטברות בנקז, ניסוי תפוא"א מכלים, בית-דגן, ינואר 2016 עד 31 מאי 2016.

משתנה	חנקן	כלוריד
	Probability>F	
חנקן	<0.0001	0.0145
כלוריד	0.0162	<0.0001

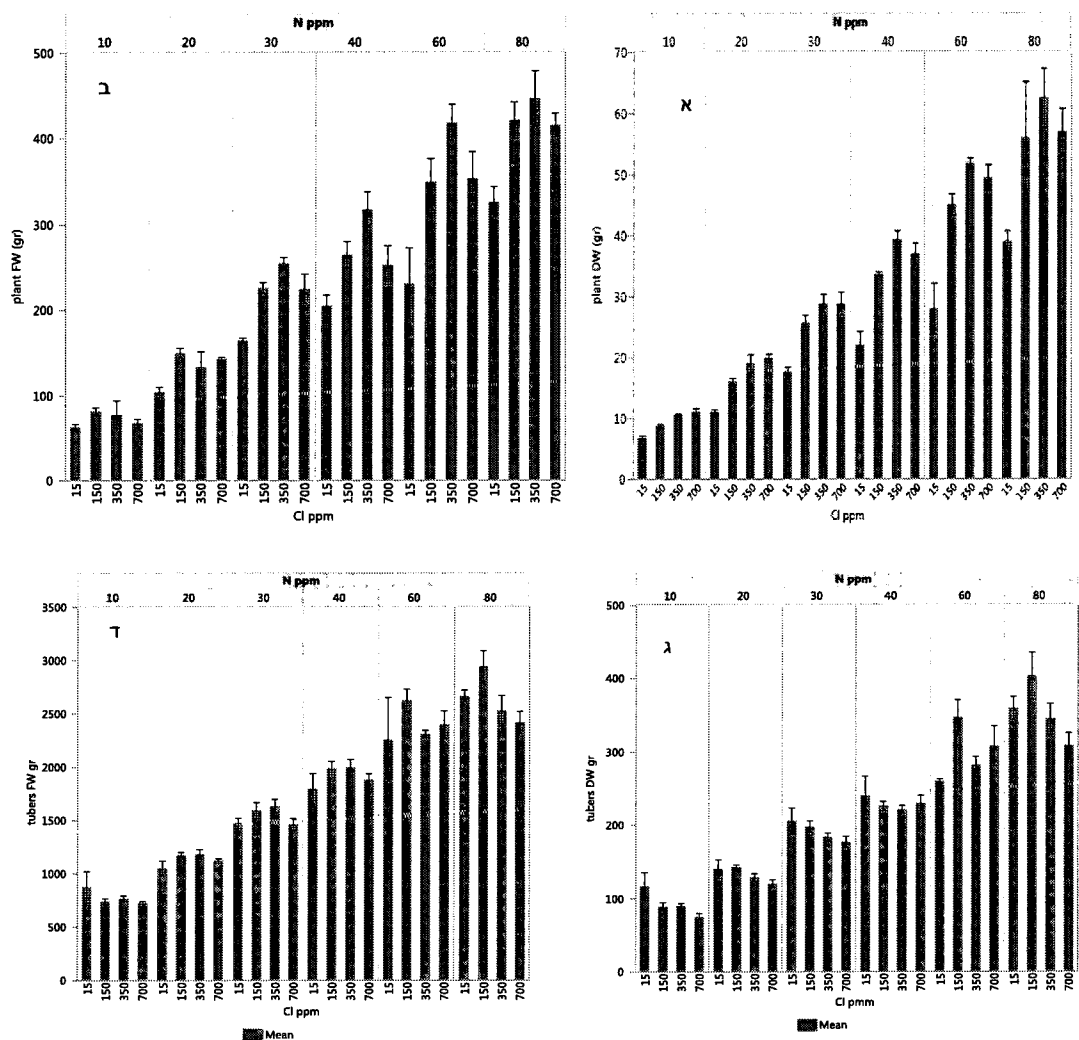


בלוק	0.0144	0.4764
חנקן X כלוריד	0.1440	0.3998
חנקן X בלוק	0.0057	0.4155
כלוריד X בלוק	0.3533	0.1848

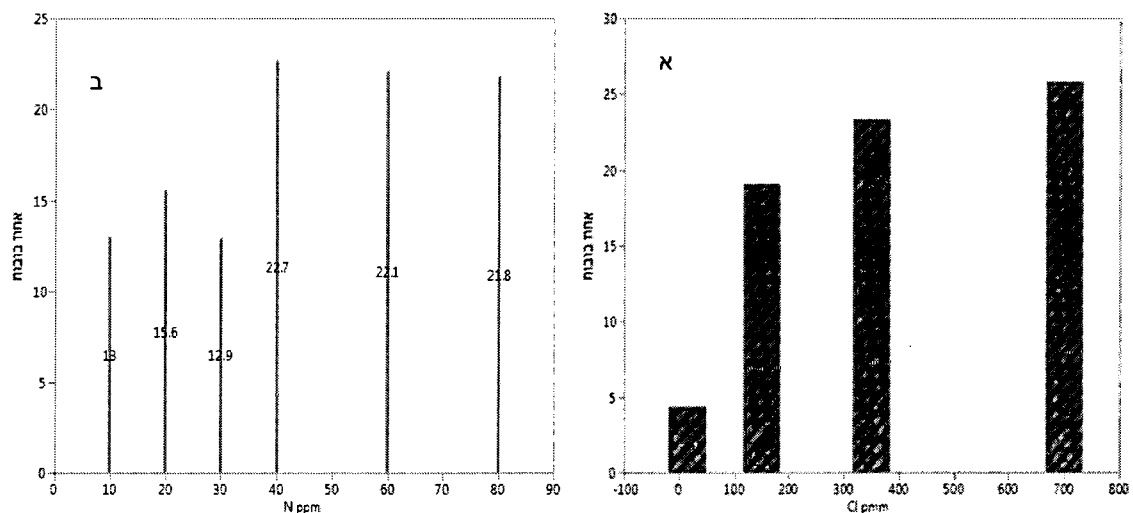
המשקל הטרי והיבש של הפקעות גדולים פי כמה משל הנוף (איור 4 ו-4ג). ייצור הביומסה, נוף ופקעות חומר טרי ויבש, עלה עם העלייה בריכוז החנקן מ- 10 ל- 80 מ"ג/ל, כאשר התגובה החיובית נמשכת בכל טווח ריכוזי החנקן הנלמד ובכל רמות הכלוריד (איור 4ג, טבלה 1). בניגוד לניסוי הקודם בתירס, לא קבלנו ריכוז אופטימלי של חנקן שמעליו לא הייתה תגובה חיובית להמשך עליה בריכוז החנקן. עליה בריכוז הכלוריד מעל 15 מ"ג/ל בכל רמות החנקן גרמה לירידה במשקל היבש של פקעות תפוא בעוד שבמשקל היבש של הנוף התקבלה תופעה הפוכה של עליה משמעותית במשקל עם עליה בריכוז הכלוריד מ-15 ל- 150 מ"ג/ל בכל רמות החנקן, כאשר ברמות החנקן הנמוכות, 10-30 מ"ג/ל, התגובה החיובית לכלוריד המשיכה מ- 150 עד 700 מ"ג/ל (איור 4). התגובה של המשקל הטרי של הנוף לריכוז הכלוריד מתוארת על ידי עקום אופטימום שבו שיא המשקל התקבל בתחום 150-300 מ"ג (איור 4ב) ליטר. המשקל הטרי של הפקעות ברמת חנקן נמוכה (10 מ"ג/ל) ירד עם העליה בריכוז הכלוריד ואילו ברמות החנקן הגבוהות (60 ו- 80 מ"ג/ל) התגובה של המשקל הטרי של פקעות לריכוז הכלוריד מתוארת על ידי עקום אופטימום כשהשיא בריכוז כלוריד 150 מ"ג/ל (איור 4 ד). ככל שריכוז הכלוריד בתמיסת ההשקיה היה גבוה מ- 15 מ"ג/ל ועד 700 מ"ג/ל עלה אחוז הפקעות עם עוותי בובות, כאשר ההבדל המשמעותי ביותר הוא בין 15 מ"ג/ל ל- 150 מ"ג/ל. גם עליה בריכוז החנקן מעל 30 מ"ג/ל העלתה את תופעת הבובות, כאשר בתחום 10 עד 30 מ"ג/ל לא היה הבדל בין הטיפולים וגם בין 40 ל- 80 מ"ג/ל לא היה הבדל בין הטיפולים.

טבלה 2. ניתוח שונות להשפעות ריכוזי החנקן, הכלוריד, הבלוק והשפעות הגומלין על ייצור הביומסה (טרי ויבש) של פקעות תפוא, ניסוי מכלים, בית-דגן, 31 מאי 2016.

משתנה	פקעות טרי	פקעות יבש
	Probability>F	
חנקן	<0.0001	<0.0001
כלוריד	0.327	0.009
בלוק	0.487	0.573
חנקן X כלוריד	0.261	0.380
חנקן X בלוק	0.397	0.586
כלוריד X בלוק	0.894	0.276

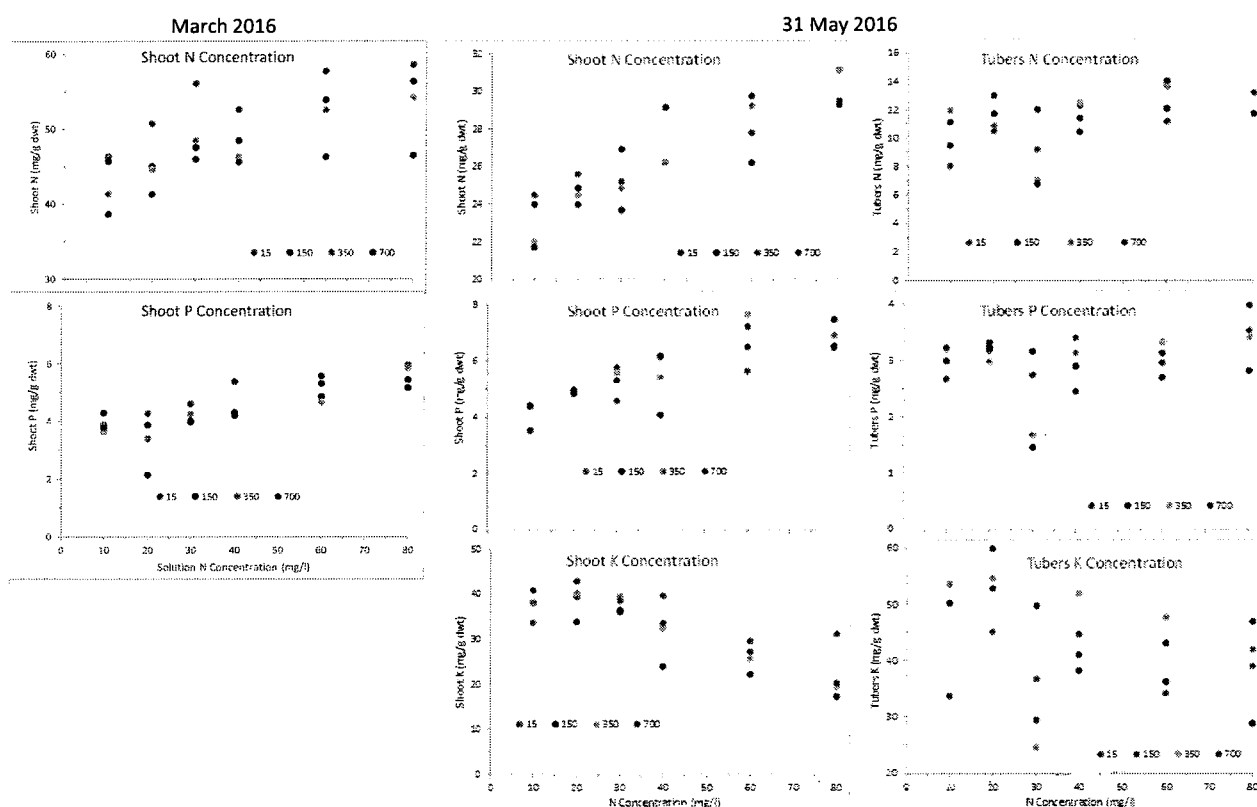


איור 4: ייצור ביומסה בצמחי תפוז"א כתלות בטיפול הכלוריד (4 ריכוזים ((מג"ל) לכל רמת חנקן, בציר ה-X (התחתון) וטיפול החנקן (ריכוז חנקן בתמיסת ההשקיה (מג"ל), בציר ה-X העליון), א) נוף יבש, (ב) נוף טרי, ג) פקעות יבש ו-ד) פקעות טרי. ניסוי מכלים, בית-דגן, 31 מאי 2016.



איור 5. השפעת ריכוזי הכלוריד (א) והחנקן (ב) בתמיסת ההשקיה על היווצרות "בובות" (עוות פקעות לפקעות משניות). ניסוי מכלים, בית-דגן, 31 מאי 2016.

ריכוז החנקן בעלים דיאגנוסטיים (העלים המפותחים הצעירים ביותר) במרץ 2016 הושפע באופן מובהק מריכוזי החנקן והכלוריד בתמיסת ההשקיה (איור 6 וטבלה 3). ריכוז החנקן בעלים עלה ככל שעלה ריכוזו בתמיסת ההשקיה ולעומת זאת ככל שריכוז הכלוריד בתמיסת ההשקיה עלה ריכוז החנקן בעלים ירד. ריכוז הזרחן בעלים הדיאגנוסטיים גם כן עלה באופן מובהק עם העליה בריכוז החנקן בתמיסה אך לא הושפע מריכוז הכלוריד בתמיסה. בתום הניסוי ב- 31 מאי 2016, נעשו אנליזות של היסודות חנקן וזרחן ואשלגן בפקעות ובנוף, כאשר הנוף כלל עלים בשלבי התפתחות שונים וגבעולים. ריכוזי היסודות חנקן וזרחן בנוף וריכוזי החנקן, הזרחן והאשלגן בפקעות לא הושפעו באופן מובהק או במגמה קבועה מריכוז הכלוריד בתמיסת ההשקיה (איור 6 וטבלה 3). נמצאה השפעת גומלין מובהקת של החנקן והכלוריד בתמיסת ההשקיה על ריכוז האשלגן בנוף שהתבטאה בהבדלים בשיפוע של הקשר בין ריכוז האשלגן בנוף לריכוז החנקן בתמיסה, אך המגמה הייתה דומה בכל רמות הכלוריד. כצפוי ריכוז החנקן בנוף עלה עם עליית ריכוז החנקן בתמיסת ההשקיה כאשר העלייה בנוף היא באופן ליניארי מ- 23 מ"ג עד כ- 30 מ"ג (ממוצע לכול טיפולי הכלוריד) (איור 6). גם בפקעות הייתה עליה ליניארית בריכוז החנקן אבל בתחום עוד יותר צר מ- 10 עד 13 מ"ג (ממוצע לכול טיפולי הכלוריד). ריכוז הזרחן בנוף גם כן עלה עם ריכוז החנקן בתמיסת ההשקיה בתחום צר של כ- 4 עד 6 מ"ג (ממוצע לכול טיפולי הכלוריד) ואילו ריכוז הזרחן בפקעות היה בתחום צר של 1.95 עד 3.50 מ"ג ללא תלות בטיפול. ריכוז האשלגן בנוף ירד באופן ליניארי עם עליית ריכוז החנקן בתמיסת ההשקיה מ- 38 עד כ- 20 מ"ג (ממוצע לכול טיפולי הכלוריד) וגם בפקעות התקבלה תגובה דומה בתחום של כ- 50 עד כ- 35 מ"ג (ממוצע לכול טיפולי הכלוריד).

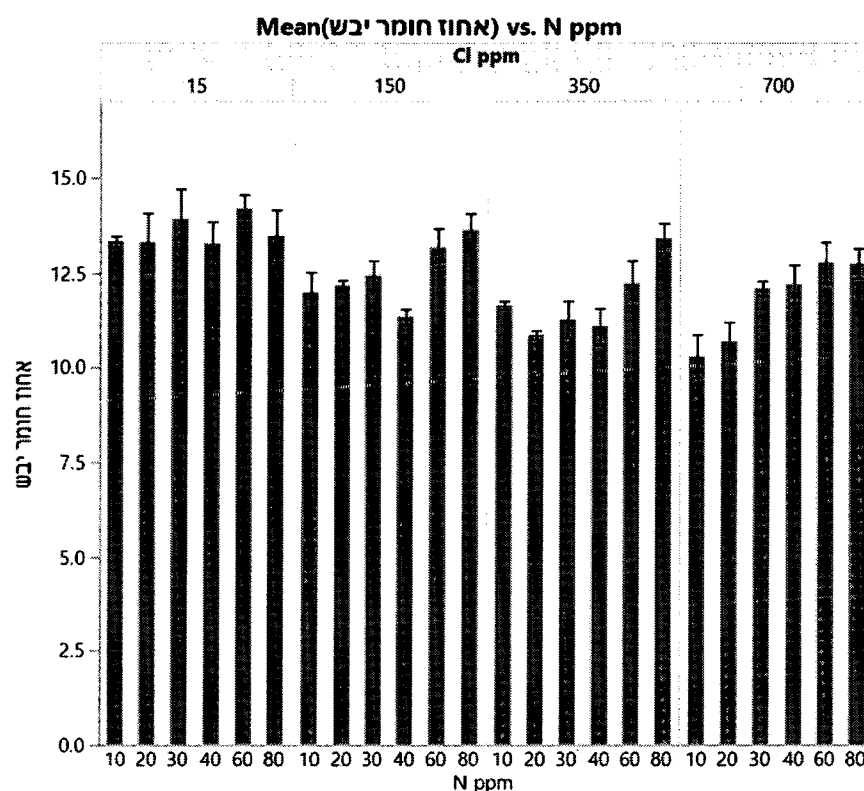


איור 6. ריכוזי יסודות ההזנה הראשיים, חנקן, זרחן ואשלגן בפקעות (מימין) ובנוף (משמאל) תפוחי האדמה במרץ 2016 (שמאל) ובסוף הניסוי במאי 2016, כתלות בריכוז החנקן בתמיסת ההשקיה ובהשפעת ריכוז הכלוריד בתמיסת ההשקיה.

טבלה 3. ניתוח שונות להשפעות ריכוזי החנקן, הכלוריד, הבלוק והשפעות הגומלין על ריכוזי החנקן, זרחן ואשלגן בנוף ובפקעות תפ"א, ניסוי מכלים, בית-דגן, 31 מאי 2016.

משתנה	עלה דיאגנוסטי מרץ 2016		נוף 31 במאי 2016			פקעות 31 במאי 2016		
	חנקן	זרחן	חנקן	זרחן	אשלגן	חנקן	זרחן	אשלגן
	Probability>F							
חנקן	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.349	0.001
כלוריד	<0.0001	0.117	0.819	0.898	0.673	0.053	0.397	0.057
בלוק	0.372	0.935	0.516	0.523	0.336	0.472	0.620	0.569
חנקן X כלוריד	0.298	0.451	0.297	0.151	0.003	0.143	0.888	0.590
חנקן X בלוק	0.800	0.946	0.895	0.443	0.936	0.293	0.472	0.837
כלוריד X בלוק	0.793	0.988	0.396	0.380	0.196	0.843	0.601	0.717

תכולת החומר היבש בפקעות תפ"א קטנה ככל שרמת הכלוריד בתמיסת ההשקיה עלתה (איור 7). בשלושת ריכוזי הכלוריד הגבוהים נמצאה עליה בתכולת החומר היבש בפקעות עם הגדלת ריכוז החנקן בתמיסת ההשקיה (איור 7).



איור 7. תכולת חומר יבש בפקעות תפוחי האדמה כתלות בריכוז החנקן בתמיסת ההשקיה (ריכוז חנקן בתמיסת ההשקיה (מג"ל), בציר ה-X התחתון) ובטיפול הכלוריד (4 ריכוזים (מג"ל) לכל רמת חנקן, בציר ה-X העליון). ניסוי מכלים, בית-דגן, 31 מאי 2016.

מדדי הפוטוסינטיזה וטרנספירציה בעלים הושפעו בעיקר מריכוז הכלוריד בתמיסת ההשקיה ואילו ריכוז החנקן בתמיסת ההשקיה השפיע רק על חלק מבין המדדים (טבלה 4). קצב הפוטוסינטיזה ליחידת עלה ויעילות השימוש במים פחתו ככל שריכוז הכלוריד בתמיסה היה גבוה יותר, ללא תלות בריכוז החנקן. מדדי פלורוסנציה ( $F_0'$ ,  $F_m'$  ו- $F_v'$ ) גדלו ככל שריכוז החנקן היה גבוה יותר ופחתו ככל שריכוז הכלוריד היה גבוה יותר. עצמת מדדי הבליעה המאפיינים כלורופיל a, כלורופיל כללי וקרוטנואידים עלו עם העליה בריכוז החנקן בתמיסת ההשקיה וגם עם ריכוז הכלוריד בתמיסת ההשקיה.

טבלה 4. מדדי פוטוסינטיזה, טרנספירציה ומוליכות פיוניות שנמדדו בעלי תפ"א כתלות בריכוזי החנקן והכלוריד בתמיסת ההשקיה. ניסוי מכלים, בית-דגן, מאי 2016.

Variable		Photosyn.	Stomatal Conduct.	Transp	WUE	F0'	Fm'	Fv'	Chlorophyll				carotenoids
									a	b	total	a/b	
N mg l <sup>-1</sup>													
10		17.0	0.19	2.46	8.31	544	1211	667	0.174	3.45	0.45	0.102	0.346
20		16.3	0.18	2.21	8.44	566	1238	654	0.264	3.69	0.77	0.173	0.593
30		16.0	0.18	2.19	8.45	576	1284	708	0.324	3.53	0.97	0.215	0.753
40		16.3	0.20	2.59	7.29	584	1284	701	0.328	3.23	1.04	0.241	0.797
60		16.9	0.20	2.47	7.92	603	1387	800	0.348	3.30	1.06	0.245	0.817
80		18.8	0.17	2.12	9.62	625	1430	786	0.432	3.19	1.40	0.329	1.074
Cl mg l <sup>-1</sup>													
15		19.8	0.19	2.37	9.50	608	1478	850	0.24	0.07	0.31	3.59	0.13
150		16.9	0.19	2.35	8.55	581	1275	688	0.87	0.26	1.12	3.34	0.36
350		15.5	0.16	2.09	8.12	566	1220	665	0.90	0.27	1.17	3.30	0.37
700		15.4	0.20	2.55	7.19	576	1250	674	0.91	0.27	1.18	3.37	0.38
	DF	Probability>F											
N	1	0.0761	0.698	0.639	0.445	<.0001	<.0001	0.0004	<.0001	<.0001	<.0001	0.0021	<.0001
Cl	1	0.0002	0.762	0.502	0.033	0.0215	<.0001	0.0003	<.0001	<.0001	<.0001	0.1489	<.0001
Block	3	0.6173	0.098	0.099	0.055	0.723	0.663	0.7754	0.4264	0.6143	0.4690	0.0010	0.4894
N*Cl	1	0.3783	0.833	0.424	0.235	<.0001	0.042	0.1639	0.7967	0.8604	0.8107	0.0099	0.8165
N*Block	3	0.9950	0.679	0.729	0.411	0.980	0.769	0.5324	0.1951	0.2730	0.2121	0.5780	0.1761
CL*Block	3	0.9700	0.373	0.250	0.274	0.480	0.407	0.2863	0.8352	0.8357	0.8349	0.0327	0.8678

## דין

Massa et al. (2009) ו-Abbaspour et al. (2014) בחרו על מחקרים קודמים שמצאו שינוי תחרות בין הכלוריד לחנקן בקליטתם לצמח (ציפנו לקבל ירידה בכמות החנקן בנקז עם הירידה בריכוז הכלוריד). בגדול תפ"א לריכוז הכלוריד בתמיסת ההשקיה לא הייתה השפעה משמעותית על כמות החנקן בנקז למרות שמבחינה סטטיסטית ההשפעה הייתה מובהקת אך לא בהתאם להשערת המחקר, דווקא ברמת הכלוריד הנמוכה השיפוע של הקשר בין החנקן בנקז לריכוז החנקן היה גבוה יותר. בנוסף, יעילות הדישון החנקני הנמוכה ביותר הייתה דווקא ברמת החנקן הנמוכה ביותר. הסיבה לכך היא שהחלק היחסי של החנקן בדשן היסוד מכלל החנקן המוסף הלך וירד עם העלייה בריכוז החנקן בתמיסת ההשקיה, (62%-ו-47% בטיפולים 10 ו-20 מ"ג/ל, לעומת 24.6%-ו-19.9% בטיפולים 60 ו-80 מ"ג/ל). כתוצאה מכך החלק היחסי של החנקן בנקז מהחנקן המוסף היה כ-30% בריכוז החנקן הנמוך ביותר, 26% בריכוז 20 מ"ג/ל ובתחום 21.5-23.1% בשאר הטיפולים, תוצאה שמבטאת יעילות נמוכה יחסית של החנקן בטיפולי החנקן הנמוכים ויעילות דומה בשאר הטיפולים. ידוע שדישון בבסיס בדרך כלל פחות יעיל מאשר פיצול מנת הדשן לאורך הגדול כפי שנעשה בדישון דרך תמיסת ההשקיה ובמיוחד בניסוי הנוכחי שבו ההשקיה הייתה שווה בכל

הטיפולים ולכן בעודף גדול יותר בטיפול החנקן הנמוכים שבהם ייצור הביומסה והטרנספירציה היו נמוכים יותר ולכן השטיפה של הדשן שניתן ביסוד הייתה גבוהה יותר. לא מצאנו השפעת גומלין מובהקת של חנקן וכלוריד בתמיסה בייצור ביומסה בגדול תפ"א. טווח ריכוזי החנקן שנבחן היה צר מדי ולא קבלנו תחום ריכוזים ללא תגובה בייצור נוף ו\או פקעות. היה קשר בין ריכוז חנקן בצמחי תפ"א לבין ריכוזו בתמיסה, אך לא מצאנו השפעת גומלין של החנקן והכלוריד בתמיסה. במהלך גדול תפ"א מצאנו שריכוז החנקן בעלים הדיאגנוסטים פחת עם העלייה בריכוז הכלוריד בתמיסת ההשקיה, מדד שמצביע על אפשרות להשפעת ריכוז הכלוריד בתמיסת ההשקיה על ההזנה בחנקן. לאור תוצאות הניסויים הללו נחזור על הניסוי בתפ"א עם טווח ריכוזי חנקן גדול יותר כך שעקום התגובה יכלול ערך אופטימום וחלק ללא תגובה. מבחינת משטר ההשקיה נתאים את המנה כך שגם ברמות החנקן הנמוכות לא יתקבל עודף נקז גבוה שמעוות את ההשוואה ביעילות השטיפה וביעילות קליטת החנקן.