

**משרד החקלאות - דו"ח מתוקן לתוכניות מחקר
קרן המדען ראשי**

קוד זיהוי	א. נושא המחקר (בעברית)
14 - 0907 - 261	פיסיולוגיה של תופעת חסטי חום בפלפל ומציאת דרכים להתמודדות

ג. כללי			
מוסד מחקר של החוקר הראשי			
מרכז מחקר גילת, מנהל המחקר החקלאי			
סוג הדו"ח		תאריכים	
מסכם	תקופת המחקר עבורה מוגש הדו"ח	תאריך משלוח הדו"ח למקורות המימון	
		סיום	התחלה
	שנה / חודש	שנה / חודש	שנה / חודש
		04 / 2015	05 / 2012

ב. צוות החוקרים		
שם פרטי	שם משפחה	שם חוקר ראשי
חגי	יסעור	יסעור
חוקרים משניים		
1	אלון יחזקאל	חנה
2	כהן	שבתאי
3	בית-ינאי	אלי
4	פליק	אלי
5	יונתן	אלקינד
6		
7		

ד. מקורות מימון עבורם מיועד הדו"ח		
שם מקור המימון	קוד מקור מימון	סכום שאושר למחקר בשנת תיקצוב הדו"ח בשקלים
קרן המדען הראשי	025482	150,000

ה. תקציר שים לב - על התקציר להיכתב בעברית לפי סעיף ה' שבהנחיות לכתיבת דיווחים

הצגת הבעיה: הבטחת קיימותו ועמידו של ענף הפלפל עומד בפני פגיעה ברווחיות הגידול עקב תחרות שוק בשווקי העולם, על מנת לצמצם פגיעה ברווחיות החקלאי יש למצוא דרכים להגברת היבול ושיפור איכותו. התפתחותו הוגטיבית, הפריחה, ההנבה, ואיכות הפרי של צמח הפלפל מושפעים מאד מתנאי הטמפרטורה, קרינה ועומס הפרי על הצמח. גידול במהלך עונת הקיץ בחבל הבשור בתחילת העונה ובסופה בערבה מלווה בטמפרטורות גבוהות במהלך התפתחות הפרי וגורמת להופעת חסטי חום, אשר פוסלים פירות אלו ליצוא. בנוסף, טמפרטורות גבוהות במהלך התפתחות הפירות פוגעים באיכותו על ידי הקטנת חיי המדף ואופן השתמרותו לאחר הקטיף, בעיה זו מחריפה כאשר הפרי נשלח בספינות לאירופה. המטרה רחוקת הטווח של המחקר היא למצוא כלים שיאפשרו גידול פלפל איכותי בעונת הקיץ בחבל הבשור ובאזורי גידול אחרים.

מטרות העבודה: היפותזת עבודה היא שטמפרטורות גבוהות גורמות לנזקי חמצון בציפת פרי הפלפל וישנה שונות גנטית ברגישות לתופעה זו. בנוסף, טמפרטורות גבוהות משנות את ההרכב התזונתי של פרי הפלפל. המטרה רחוקת הטווח של המחקר היא למצוא כלים שיאפשרו גידול פלפל איכותי בעונת הקיץ בחבל הבשור, המטרות הייחודיות הינן: (א) בחינת רגישות זנים שונים לטמפרטורה גבוהה (ב) לימוד הפיסיולוגיה של תופעת חסטי החום בפלפל (ג) לימוד השפעת החום על איכות הפרי ועל אורך חיי המדף שלו (ד) בחינת השפעת החום ונזקי חום על ההרכב התזונתי של הפלפל (ה) בחינת פתרונות אגרוטכניים להתמודדות עם התופעה.

שיטות העבודה: בחינת רגישות זנים לתופעת חסטי חום על ידי גידול בסוגי מבנים שונים (50 מ"ש, פלסטיק) בבית רשת נגד חרקים בגילת, בחממות מו"פ ערבה בכיכר סדום ובתנאים מבוקרים בתאי צמיחה בגילת ובמו"פ רמת הנגב. בקווים נבחרים שהראו עמידות ורגישות לתופעת חסטי החום בטמפרטורה גבוהה בוצע אפיון הגורמים הפיזיולוגיים והביוכימיים האחראיים לתופעה זו. במהלך המחקר נבחנו השפעת הטמפרטורה ותופעת נזקי החום על איכות הפרי ואורך חיי המדף שלו. בנוסף נבחנו השפעת עקת החום על הרכב וכמות המרכיבים האנטיאוקסידנטים בפרי הפלפל ועל מרכיבים נוספים המשפיעים על ערכו התזונתי. לאור הבנת המנגונים האחראים על תופעת חסטי החום נעשה ניסיון לבחינת פתרונות אגרוטכניים שינסו לצמצם נזקי חום אלו.

תוצאות עיקריות ומסקנות: תוצאות מחקר זה מצביעות על שונות ברמת ברגישות של זנים שונים לתופעת חסטי החום. שונות זו עשויה לנבוע מתכולה שונה של נוגדי החמצון בפרי בשלבי ההבשלה השונים. העשרת מי ההשקיה במנגן שניתן כקורטיץ מנגן גרמה לעליה בתכולת המנגן בפרי ובעלים. תוספת המנגן גרמה לצמצום מובהק של תופעת חסטי החום בעיקר בזנים בעלי סבילות כלשהי לתופעה, השפעה זו הייתה תלויה זן, אזור גידול ועונה. השפעת משך החשיפה לטמפרטורות גבוהות על רמת הנגיעות בחסטי חום הראתה שפרי שנחשף לכששבעיים לטמפרטורת של 35/26 מ"צ לילה/יום יראה נגיעות בחסטים, נגיעות זו הולכת וגוברת עם עליה במשך החשיפה לטמפרטורת גבוהות ועוצמתה תלויה ברגישות הזן. לטמפרטורת הלילה השפעה

דרמטית על עוצמת הנזק, ככל שטמפרטורת הלילה נמוכה יותר רמת הנזק פוחתת בצורה לינארית. הזנים השונים הגיבו שונה לתוספת מנגן בעונות הגידול השונות בגילת ובמו"פ דרום, ובתנאי גידול שונים (רשת לעומת פלסטיק), דבר המצביע על אינטרקציה חזקה עם תנאי הסביבה.

שימוש בצביעות שונות ובחינה באמצעות מיקרוסקופ מצביעה שהנזק מתרחש בציפת הפרי מתחת לקליפה והינו תוצאה של נזקי חימצון בתאים אלו, עליה בחמצן הפעיל מתרחשת כנראה בפרוקסיזומים (נושא זה נמצא בבדיקה) וגורמת לתהליכי תמותת תאים בהם אפשר לראות שינוי בסידור הכרומופלסטים ושינויים שונים. גידול בכיכר סדום בשתי עונות לא הראה השפעה של תוספת מנגן למי ההשקיה על רמת הנגיעות בחטטי חום, חוסר תגובה זו יכול לנבוע מההבדלים במועד ושלב התפתחות הצמח, הופעת חטטים בכיכר סדום מתרחשת בסוף העונה כאשר הצמחים בוגרים. בנוסף יכול להיות שהרכב המים השונה משפיע על יעילות פעילות המנגן.

חיי מדף: אחסנה מחמירה את התפתחות חטטי החום, בעיקר בתחילת העונה. עם התקדמות העונה לקראת הסתיו, חומרת החטטים פוחתת. גידול תחת רשת עם תוספת מנגן הפחיתה את הרגישות לנזקי חום, אך לא בגידול תחת פלסטיק. גם במקרה זה איכות הפלפל הושפעה מהרקע הגנטי ורגישות הזן לחטטי חום.

מחקר נוסף דרוש על מנת לנסות ולהבין את התפקיד בהם מיקרואלמנטים כדוגמאת מנגן משמשים במערכות נוגדות חימצון בצמחים ואת המנגנונים בהם זני פלפל מתמודדים עם עקות כגון עקות חום.

לסיכום למרות שנמצא שמנגן עשוי לסייע בצמצום נזקי החום בתלות בזן ובעונת הגידול, יש להימנע משימוש בזנים רגישים באזורים ו/או תקופות גידול רגישים לחטטים.

1. אישורים

הנני מאשר שקראתי את ההנחיות להגשת דיווחים לקרן המדען הראשי והדו"ח המצ"ב מוגש לפיהן

10/1/2016					
תאריך (שנה) (חודש) (יום)	רשות המחקר	אמרכלות (רשות המחקר)	מנהל המכון (פקולטה)	מנהל המחלקה	חוקר ראשי

פיסיולוגיה של תופעת חטטי חום בפלפל ומציאת דרכים להתמודדות

Physiology and management of pale spots in sweet bell pepper

מוגש לקרן המדען הראשי
ע"י

מח' לחקר ירקות, מרכז מחקר גילת	חגי יסעור
מו"פ דרום	חנה יחזקאל אלון
מו"פ דרום	שבתאי כהן
אוניברסיטת בן-גוריון	אלי בית-ינאי
מחלקה לאחסון, מנהל המחקר החקלאי	אלי פליק
הפקולטה לחקלאות ברחובות	יונתן אלקינד

Hagai Yasuor, Vegetable Research Dep., Gilat Research Center, ARO, M.P. Negev, 85280,

E-MAIL: hagai@agri.gov.il

Yonatan Elkind, The Institute of Plant Sciences and Genetics in Agriculture, Faculty of Agriculture, Food and Environment, The Hebrew University of Jerusalem, E-MAIL:

yonatan.elkind@mail.huji.ac.il

Hana Alon, Negev R&D Network, E-MAIL: hana@mopdarom.org.il

Shabtai Cohen, Negev R&D Network, E-MAIL: sab@inter.net.il

Elie Beit-Yannai, Clinical Biochemistry and Pharmacology Department, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel, E-MAIL: bye@bgu.ac.il

Elazar Fallik, Post Harvest Dep., Volcani Center, ARO, E-MAIL: efallik@agri.gov.il

תקציר

הצגת הבעיה: הבטחת קיימותו ועתידו של ענף הפלפל עומד בפני פגיעה ברווחיות הגידול עקב תחרות שוק בשווקי העולם, על מנת לצמצם פגיעה ברווחיות החקלאי יש למצוא דרכים להגברת היבול. התפתחותו הוגטיבית, הפריחה, ההנבה, ואיכות הפרי של צמח הפלפל מושפעים מאד מתנאי הטמפרטורה, קרינה ועומס הפרי על הצמח. גידול במהלך עונת הקיץ בחבל הבשור מלווה בטמפרטורות גבוהות במהלך התפתחות הפרי וגורמת להופעת חטטי חום, אשר פוסלים פירות אלו ליצוא. בנוסף, טמפרטורות גבוהות במהלך התפתחות הפירות פוגעים באיכותו על ידי הקטנת חיי המדף ואופן השתמרותו לאחר הקטיף. המטרה רחוקת הטווח של המחקר היא למצוא כלים שיאפשרו גידול פלפל איכותי בעונת הקיץ בחבל הבשור.

מטרות העבודה: היפותזת עבודה היא שטמפרטורות גבוהות גורמות לנזקי חמצון בציפת פרי הפלפל וישנה שונות גנטית ברגישות לתופעה זו. בנוסף, טמפרטורות גבוהות משנות את ההרכב התזונתי של פרי הפלפל. המטרה רחוקת הטווח של המחקר היא למצוא כלים שיאפשרו גידול פלפל איכותי בעונת הקיץ בחבל הבשור, המטרות הייחודיות הינן: (א) בחינת רגישות זנים שונים לטמפרטורה גבוהה (ב) לימוד הפיסיולוגיה של תופעת חטטי החום בפלפל (ג) לימוד השפעת החום על איכות הפרי ועל אורך חיי המדף שלו (ד) בחינת

השפעת החום ונזקי חום על ההרכב התזונתי של הפלפל, ה) בחינת פתרונות אגרוטכניים להתמודדות עם התופעה.

שיטות העבודה: בחינת רגישות זנים לתופעת חטטי חום על ידי גידול בסוגי מבנים שונים (50 מ"ש, פלסטיק) בבית רשת נגד חרקים בגילת ובתנאים מבוקרים בתאי צמיחה. בקווים נבחרים שיראו עמידות ורגישות לתופעת חטטי החום בטמפרטורה גבוהה יבוצע אפיון הגורמים הפיזיולוגיים והביוכימיים האחראיים לתופעה זו. במהלך המחקר תבחן השפעת הטמפרטורה ותופעת נזקי החום על איכות הפרי ואורך חיי המדף שלו. בנוסף תבחן השפעת עקת החום על הרכב וכמות המרכיבים האנטיאוקסידנטים בפרי הפלפל ועל מרכיבים נוספים המשפיעים על ערכו התזונתי. לאחר הבנת המנגנונים האחראים על תופעת חטטי החום ננסה לבחון פתרונות אגרוטכניים שינסו להתמודד עם תופעה זו.

תוצאות עיקריות ומסקנות: **הצגת הבעיה:** הבטחת קיימותו ועמידתו של ענף הפלפל עומד בפני פגיעה ברווחיות הגידול עקב תחרות שוק בשוקי העולם, על מנת לצמצם פגיעה ברווחיות החקלאי יש למצוא דרכים להגברת היבול ושיפור איכותו. התפתחותו הוגטיבית, הפריחה, ההנבה, ואיכות הפרי של צמח הפלפל מושפעים מאד מתנאי הטמפרטורה, קרינה ועומס הפרי על הצמח. גידול במהלך עונת הקיץ בחבל הבשור בתחילת העונה ובסופה בערבה מלווה בטמפרטורות גבוהות במהלך התפתחות הפרי וגורמת להופעת חטטי חום, אשר פוסלים פירות אלו ליצוא. בנוסף, טמפרטורות גבוהות במהלך התפתחות הפירות פוגעים באיכותו על ידי הקטנת חיי המדף ואופן השתמרותו לאחר הקטיף, בעיה זו מחריפה כאשר הפרי נשלח בספינות לאירופה. המטרה רחוקת הטווח של המחקר היא למצוא כלים שיאפשרו גידול פלפל איכותי בעונת הקיץ בחבל הבשור ובאזורי גידול אחרים.

מטרות העבודה: **היפותזת עבודה** היא שטמפרטורות גבוהות גורמות לנזקי חמצון בציפת פרי הפלפל וישנה שונות גנטית ברגישות לתופעה זו. בנוסף, טמפרטורות גבוהות משנות את ההרכב התזונתי של פרי הפלפל. המטרה רחוקת הטווח של המחקר היא למצוא כלים שיאפשרו גידול פלפל איכותי בעונת הקיץ בחבל הבשור, **המטרות הייחודיות הינן:** **א)** בחינת רגישות זנים שונים לטמפרטורה גבוהה **ב)** לימוד הפיסיולוגיה של תופעת חטטי החום (פלפל ג) לימוד השפעת החום על איכות הפרי ועל אורך חיי המדף שלו **ד)** בחינת השפעת החום ונזקי חום על ההרכב התזונתי של הפלפל **ה)** בחינת פתרונות אגרוטכניים להתמודדות עם התופעה.

שיטות העבודה: בחינת רגישות זנים לתופעת חטטי חום על ידי גידול בסוגי מבנים שונים (50 מ"ש, פלסטיק) בבית רשת נגד חרקים בגילת, בחממות מו"פ ערבה בכיכר סדום ובתנאים מבוקרים בתאי צמיחה בגילת ובמו"פ רמת הנגב. בקווים נבחרים שהראו עמידות ורגישות לתופעת חטטי החום בטמפרטורה גבוהה בוצע אפיון הגורמים הפיזיולוגיים והביוכימיים האחראיים לתופעה זו. במהלך המחקר נבחנה השפעת הטמפרטורה ותופעת נזקי החום על איכות הפרי ואורך חיי המדף שלו. בנוסף נבחנה השפעת עקת החום על הרכב וכמות המרכיבים האנטיאוקסידנטים בפרי הפלפל ועל מרכיבים נוספים המשפיעים על ערכו התזונתי. לאור הבנת המנגנונים האחראים על תופעת חטטי החום נעשה ניסיון לבחינת פתרונות אגרוטכניים שינסו לצמצם נזקי חום אלו.

תוצאות עיקריות ומסקנות: תוצאות מחקר זה מצביעות על שונות ברמת ברגישות של זנים שונים לתופעת חטטי החום. שונות זו עשויה לנבוע מתכולה שונה של נוגדי החמצון בפרי בשלבי ההבשלה השונים. העשרת מי ההשקיה במנגן שניתן כקורטין מנגן גרמה לעליה בתכולת המנגן בפרי ובעלים. תוספת המנגן גרמה לצמצום מובהק של תופעת חטטי החום בעיקר בזנים בעלי סבילות כלשהי לתופעה, השפעה זו הייתה תלויה זן, אזור גידול ועונה. השפעת משך החשיפה לטמפרטורות גבוהות על רמת הנגיעות בחטטי חום הראתה שפרי שנחשף לכששבעיים לטמפרטורת של 35/26 מ"צ לילה/יום יראה נגיעות בחטטים, נגיעות זו

הולכת וגוברת עם עליה במשך החשיפה לטמפרטורת גבוהות ועוצמתה תלויה ברגישות הזן. לטמפרטורת הלילה השפעה דרמטית על עוצמת הנזק, ככל שטמפרטורת הלילה נמוכה יותר רמת הנזק פוחתת בצורה לינארית. הזנים השונים הגיבו שונה לתוספת מנגן בעונות הגידול השונות בגילת ובמו"פ דרום, ובתנאי גידול שונים (רשת לעומת פלסטיק), דבר המצביע על אינטרקציה חזקה עם תנאי הסביבה.

שימוש בצביעות שונות ובחינה באמצעות מיקרוסקופ מצביעה שהנזק מתרחש בציפת הפרי מתחת לקליפה והינו תוצאה של נזקי חימצון בתאים אלו, עליה בחמצן הפעיל מתרחשת כנראה בפרוקסיזומים (נושא זה נמצא בבדיקה) וגורמת לתהליכי תמותת תאים בהם אפשר לראות שינו בסידור הכרומופלסטים ושינויים שונים. גידול בכיכר סדום בשתי עונות לא הראה השפעה של תוספת מנגן למי ההשקיה על רמת הנגיעות בחטטי חום, חוסר תגובה זו יכול לנבוע מההבדלים במועד ושלב התפתחות הצמח, הופעת חטטים בכיכר סדום מתרחשת בסוף העונה כאשר הצמחים בוגרים. בנוסף יכול להיות שהרכב המים השונה משפיע על יעילות פעילות המנגן.

חיי מדף: אחסנה מחמירה את התפתחות חטטי החום, בעיקר בתחילת העונה. עם התקדמות העונה לקראת הסתיו, חומרת החטטים פוחתת. גידול תחת רשת עם תוספת מנגן הפחיתה את הרגישות לנזקי חום, אך לא בגידול תחת פלסטיק. גם במקרה זה איכות הפלפל הושפעה מהרקע הגנטי ורגישות הזן לחטטי חום.

מחקר נוסף דרוש על מנת לנסות ולהבין את התפקיד בהם מיקרואלמנטים כדוגמאת מנגן משמשים במערכות נוגדות חימצון בצמחים ואת המנגנונים בהם זני פלפל מתמודדים עם עקות כגון עקות חום. **לסיכום למרות שנמצא שמנגן עשוי לסייע בצמצום נזקי החום בתלות בזן ובעונת הגידול, יש להימנע משימוש בזנים רגישים באזורים ו/או תקופות גידול רגישים לחטטים.**

**הצהרת החוקר הראשי:
הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים
הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא**

חתימת החוקר תאריך 10/1/2016

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר:

Yasuor, H., Firer, M. and Beit-Yannai, E. (2015). Protective structures and manganese amendments effects on antioxidant activity in pepper fruit. *Scientia Horticulturae* 185:211-218

מבוא: היקף שטח גידול הפלפל בישראל עומד כיום על כ- 30,000 דונם. למרות המשבר הכלכלי בשנים האחרונות נמשך גידול בהיקף הייצור באזורי הגידול השונים. ענף הפלפל עומד בפני פגיעה ברווחיות הגידול עקב תחרות בשוקי העולם, על מנת לצמצם פגיעה ברווחיות החקלאי יש למצוא דרכים להגדלת היבול. אחת הדרכים להגדלת היבול הינה הארכת עונת הגידול. גידול פלפל בעונת הקיץ בבתי רשת בחבל הבשור ובתחילת הגידול ובסופו באזורי גידול אחרים (ערבה, רמת נגב ובקעת הירדן) מלווה בחשיפה מוגברת לטמפרטורות גבוהות המביאה ליצירת פירות קטנים (פחות מ – 150 גרם לפרי) ולהופעת נזקי חום בפירות, חסטי חום (איור 1) ושחור פיתם (Silber et al., 2009). הפירות הקטנים ונזקי החום פוגעים באיכות הפרי ופוסלים אותו לייצוא. כמו כן, מצמצמים נזקי חום אלו את אורך חיי המדף כתוצאה מהתרככות מהירה של הפרי בהשוואה לפירות ללא נזקי חום. חסטי החום בפלפל הם כנראה תוצאה של נזקי חימצון, ניסויים קודמים הראו בצורה ישירה שתוספת מנגן בהגמעה למצע פרלייט צמצמה את התופעה ובצורה עקיפה מתן מנגן לפרי בשלב התפתחות מוקדם העלה את רמת האנזימים האנטיאוקסידנטים וצמצמה את רמת הרדיקלים החופשיים בפרי לאחר חשיפתו לטמפרטורות גבוהות (Silber et al., 2009). בניסויי המקדמי הראינו שניתן על ידי תוספת מנגן בהדשייה (1.5 מ"ג לליטר) להעלות את רמת המנגן בעלי הפלפל במהלך עונת הגידול. פרי הפלפל מאדה מעט מים ולכן אינו מצטנן כמו עלי הצמח, עובדה זו גורמת להתחממות יתר של הפירות בכדי $5-10^{\circ}\text{C}$ בהשוואה לטמפרטורת העלים והאוויר במבנה. צינון פלפל בבתי צמיחה בחבל הבשור ובאזורי גידול אחרים אינו אפשרי בגלל עלויות גבוהות ובעיות של הגנת הצומח. תופעת החסטים מתחילה בתמותת תאים בודדים בציפת הפרי, בשלב זה קשה עד בלתי אפשרי לזהות נזקים אלו, בשלב מתקדם של התופעה מתחילה התמוטטות הרקמה וניתן להבחין בצלקות שקעים על פני קליפת הפרי (איור 1). כמו כן ישנה התפשטות של התופעה לכל חלקי הפרי. תופעת חסטי החום אינה אופיינית רק לאזור הבשור ומהווה בעיה חמורה בתחילת העונה ובסיומה בערבה המהווה את אזור גידול הפלפל העיקרי. בשנים האחרונות נפסלו משלוחים שלמים של פירות בנמל היעד (הולנד ורוסיה) לאחר שהגיעו ברמת נגיעות גבוהה של חסטים (מו"פ ערבה תיכונה, התקשרות אישית). במבחני הזנים שנערכו במו"פ דרום ובניסויים בתנאים מבוקרים הראו שקימת שונות גנטית בין הזנים בעוצמת הופעת חסטי החום, תגובת זנים אלו נמצאה בהתאמה לצבירת כלל החומרים נוגדי החמצון בציפת הפרי. חשיבות ביצוע המחקר היא שתוצאות מחקר זה יאפשרו אפיון תופעה שלדעתנו מהווה חסם עיקרי בהארכת עונת גידול הפלפל בערבה ומהווה גורם הפוגע באיכות הפרי ובאורך חיי המדף בגידול הקיצי בבשור וישמשו לפיתוח כלים אגרוטכניים וטיפוחים לפתרון בעיה זו.

מטרות המחקר: המטרה רחוקת הטווח של המחקר היא למצוא כלים שיאפשרו גידול פלפל איכותי בעונת הקיץ בחבל הבשור, המטרות הייחודיות הינן: (א) בחינת רגישות זנים שונים לטמפרטורה גבוהה, (ב) לימוד הפיסיולוגיה של תופעת חסטי החום בפלפל (ג) לימוד השפעת החום על איכות הפרי ועל אורך חיי המדף שלו, (ד) בחינת השפעת החום ונזקי חום על ההרכב התזונתי של הפלפל, (ה) בחינת פתרונות אגרוטכניים להתמודדות עם התופעה.

פירוט עיקרי הניסויים

במהלך המחקר נשתלו 3 זנים בשני מבנים במו"פ דרום, האחד- מבנה מכוסה פלסטיק והשני מכוסה רשת 50 מ"ש על מנת לגרום להבדלי טמפרטורה במהלך התפתחות הפירות. הזנים שנשתלו הם 7199, 7227 ורומאנס (זן בקורת מקומי), זנים אלו נמצאו בעלי שונות ברגישות לתופעת חסטי החום והראו רגישות, סבילות וסבילות גבוהה לתופעה בהתאמה. בנוסף על מנת לראות אם ניתן על ידי טיפול אגרוטכני לצמצם את רמת הנגיעות בחסטי חום בצענו ניסוי של העשרת מי ההשקיה במנגן (קורטין מנגן) לרמה של 2.5 ח"מ בהשוואה ל 0.3 ח"מ במתן דשן לא מעושר במנגן. במקביל לניסויים במו"פ דרום נשתל ניסוי בבית הרשת

במרכז מחקר גילת ניסוי באותם זנים בעלי רגישות שונה לחטטים, בניסוי זה נבחנו 6 רמות שונות של מנגן שניתן כקורטין מנגן ונבחנה גם אינטרקציה עם מליחות וזאת על מנת ולראות האם צמחי הפלפל רגישים יותר ו/או מגיבים פחות לטיפול המנגן בנוכחות מלח במי ההשקיה. בנוסף התבצעו ניסויים בתנאים מבוקרים על מנת לקבוע את השפעת משך החשיפה לטמפרטורת גבוהות $32/26^{\circ}\text{C}$ על עוצמת התופעה, ניסויים אלו בוצעו בזן הרגיש. בנוסף נבחנה טמפרטורת הלילה על עוצמת הנגיעות בשני זנים מהזנים הנבחנים. בניסוי בגילת נבחנה תכולת כלל נוגדי החימצון במהלך הבשלת הפרי ונערך מעקב אחרי הופעת חטטי חום. על מנת לנסות ולהבין האם חטטי החום הם תוצאה של נזקי חימצון וזאת על ידי אנליזה של קבוצות חמצן פעיל בציפת הפרי ועל ידי טיפול במנגן שעשוי לצמצם את נזקי החימצון על ידי העלת רמת אנזימים המעורבים בתהליכי פירוק של קבוצות חמצן פעיל. על מנת לבחון את השפעת תוספת המנגן על תופעת חטטי החום בגידול הסתווי, נשתלו ניסויים בתחנת זהר (מו"פ ערבה תיכונה וצפונית) ובו נבחנה תוספת של 4 רמות מנגן שונות (0, 2.5, 5, 10 ח"מ) ניסויים זה נערכו על מנת לבחון בתנאים חצי מסחריים את השפעת המנגן על תופעת חטטי החום בתחילת האביב בערבה ברקע של מי השקיה עשירים במלחים.

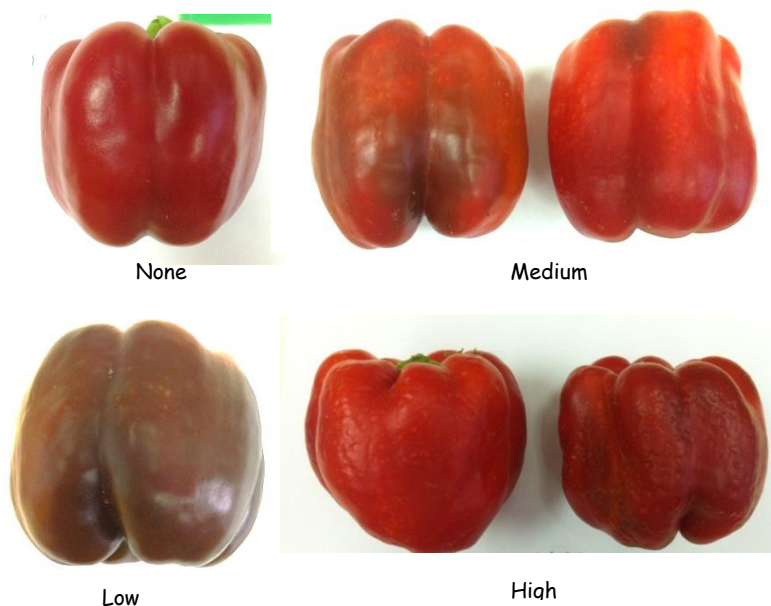
תוצאות:

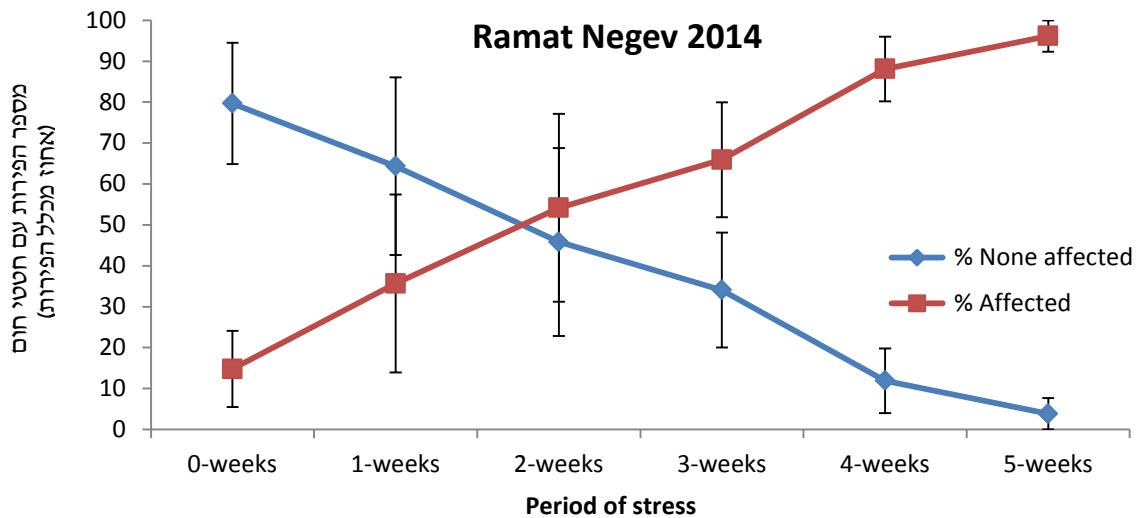
עקב בעיות בטחון (מבצע "צוק איתן") במהלך עונת הגידול האחרונה שמנעו הגעה לחממות הגידול במהלך התפתחות והבשלת הפרי בוצעו אנליזות מצומצמות מהניסוי העיקרי במו"פ דרום וכללו בעיקר בחינה של חיי מדף במעבדה של אלי פליק במחלקה לאחסון, מכון וולקני.

בחינת משך החשיפה לטמפרטורת גבוהות על תופעת החטטים, מו"פ רמת נגב

הניסויים בתנאים מבוקרים הראו שלמשך החשיפה לטמפרטורות גבוהות השפעת מכרעת על עוצמת הנגיעות בחטטי החום (איור 1). כאשר צמחי הפלפל נחשפו לטמפרטורת יום/לילה גבוהה ($32/26^{\circ}\text{C}$), רמת הנגיעות עלתה ככל שמשך החשיפה לטמפרטורת אלו עלה, בחשיפה לתקופה של מתחת לשבועיים רמת הנגיעות היתה שווה לזו של צמחי הביקורת (איור 2). הבחינה בוצעה בזן הביקורת הרגיש וזאת על מנת להבטיח נגיעות בחטטי חום, זנים עמידים יותר עשויים להגיב בדינמיקה שונה לזו של הזן הרגיש.

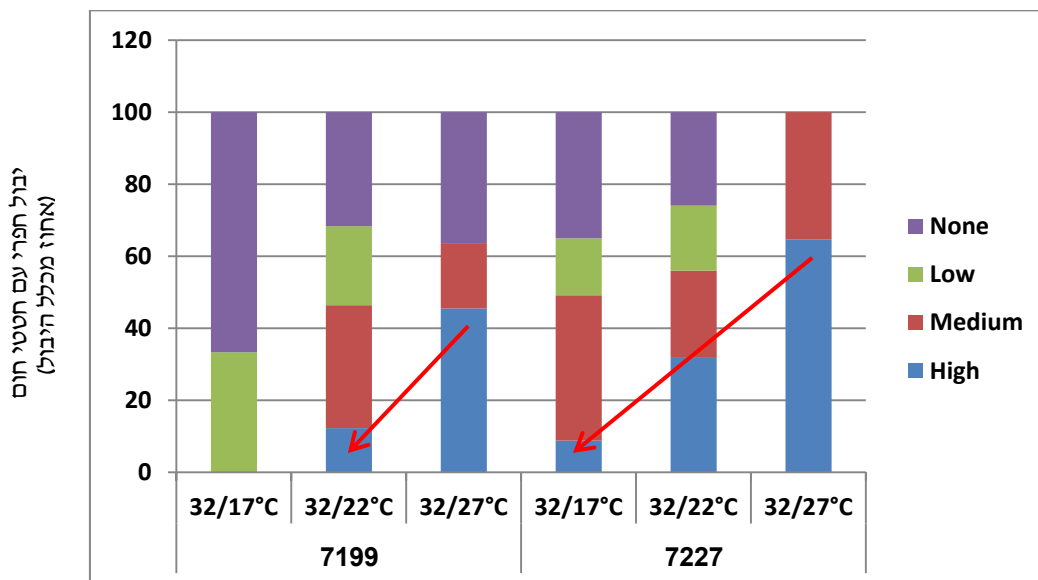
איור 1: תמונה מייצגת של פירות פלפל ברמות הנגיעות השונות. פירות ללא חטטים (None) מרמה נמוכה (Low) מספר בודד של חטטים, בינונית (Medium) כאשר כ 50% מהפרי מראה נגיעות ועדין לא החלה התמוטטות של הרקמה וגבוהה (High) כאשר מרבית הפרי מכוסה בחטטים ובדרך כלל יש התמוטטות של רקמת הציפה





איור 2: השפעת משך החשיפה לטמפרטורת גבוהות על רמת הנגיעות בחטטי חום בזן 7227 רגיש לחטטים. נתונים מוצגים כאחוזים מכלל הפירות שנקטפו כאשר רמות הנגיעות בחטטים נקבעו פירות ללא חטטים (None affected) ופירות עם חטטים מכל רמות הנגיעות (איור 1) (Affected). הצמחים התפתחו בתנאים מיטביים עד שהפירות הגיעו לשלב ירוק בשל ואז הועברו לטמפרטורה גבוהה $32/26^{\circ}\text{C}$ (לילה/יום) ל 0, 1, 2, 3 ו 5 שבועות.

בחינת השפעת טמפרטורת הלילה על תופעת החטטים, חדרי גידול, מרכז מחקר גילת
 הניסויים בתנאים מבוקרים הראו שלטמפרטורת הלילה תפקיד מרכזי הקובע את עוצמת הנגיעות בחטטי החום (איור 3). כאשר צמחי הפלפל נחשפו לטמפרטורת יום קבועה (32°C) ירידה בטמפרטורת הלילה הפחיתה משמעותי את רמת הנגיעות בחטטים (איור 3).



איור 3: השפעת טמפרטורת הלילה בזנים בעלי רגישות שונה על עוצמת הנגיעות בחטטים (7227 רגיש, 7199 עמיד). רמת נגיעות מפירות ללא חטטים (None) ועד פירות עם נגיעות גבוהה (High) (פירות עם נגיעות מהרמות השונות מוצגת באיור 1). הצמחים התפתחו בתנאים מיטביים עד שהפירות הגיעו לשלב ירוק בשל ואז הועברו לשלושת משטרי הטמפרטורה ($32/27^{\circ}\text{C}$, $32/22^{\circ}\text{C}$, $32/17^{\circ}\text{C}$ לילה/יום).



איור 4: דוגמה לפירות שהתפתחו בטמפרטורת יום קבועה 32 מ"צ וטמפרטורת לילה שונות 27 מ"צ (פאנל עליון) ו 17 מ"צ (פאנל תחתון). הפירות נקטפו מהניסוי שמוצג באיור 3. ניתן לראות בבירור שפירות שהתפתחו בטמפרטורת לילה נמוכה הראו רמת נגיעות גבוהה יותר אם בכלל בהשוואה לפירות שהתפתחו בטמפרטורת לילה גבוהה.

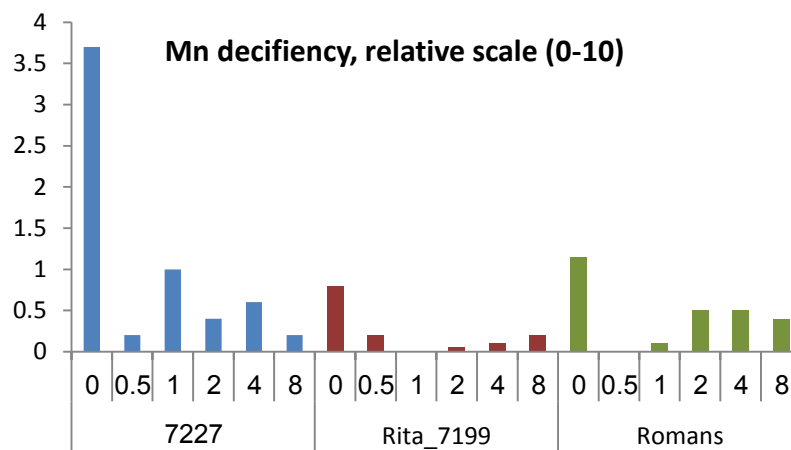
ניסויי בחינת העשרה במנגן על תופעת חטטי החום, גילת:

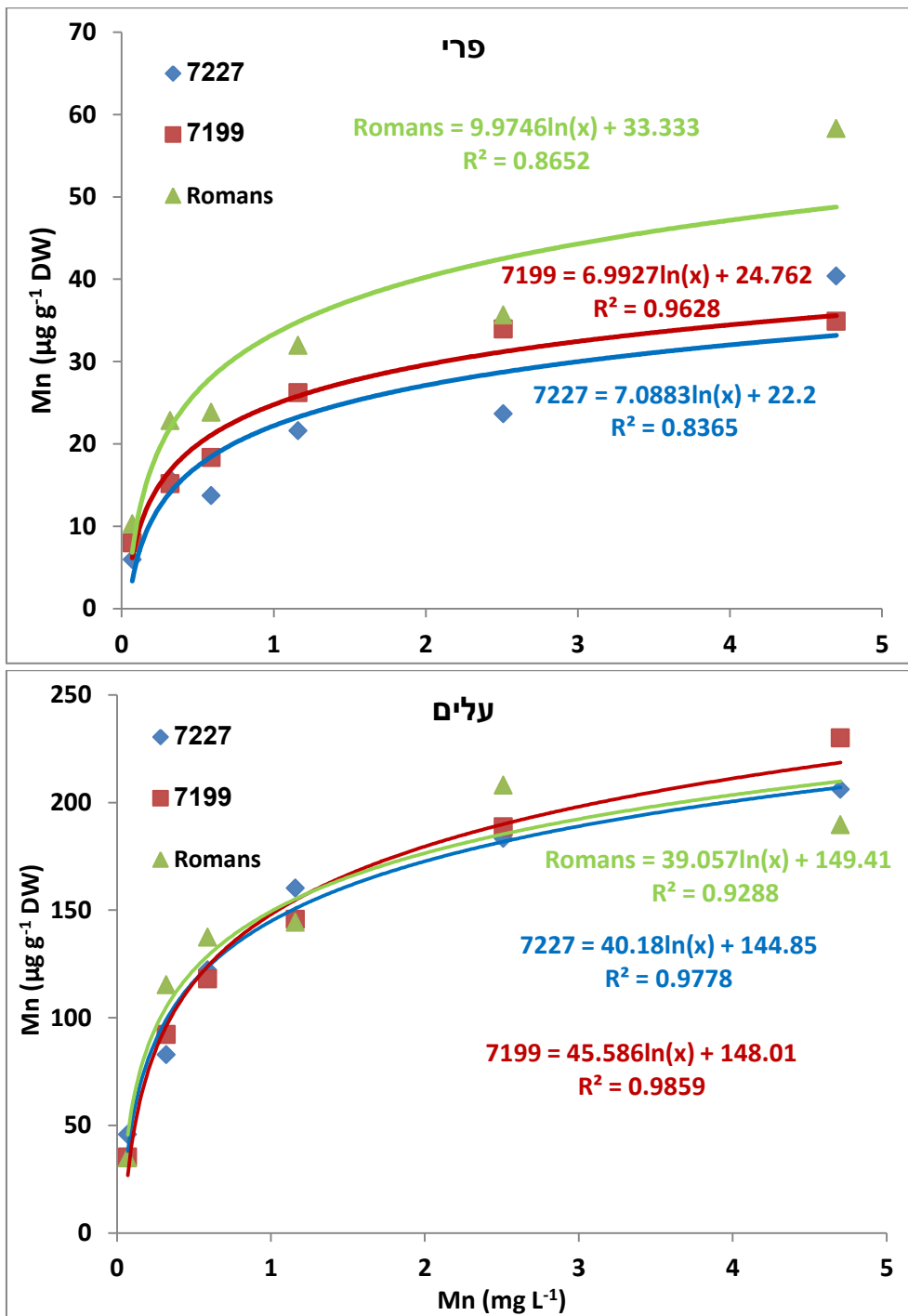
בניסוי בגידול במצעים מנותקים (מצע פרלייט) במרכזו מחקר גילת איפשר לנו להרחיב את משרעת הטיפולים של רמות המנגן ולהגיע אף למצב קיצוני של מחסור במנגן (איור 5) נמצא שלמרות שאובחנה שונות בקליטת המנגן בפירות בזנים השונים, כל הזנים הראו עליה ברמת המנגן בפרי ובעלים (איור 6). מנגן שניתן בהגמעה דרך מערכת ההשקיה מהשלב בו היו ניצני פריחה על צמחי הפלפל ועד סיום הניסוי צמצם את רמת הנגיעות בחטטי החום בזנים הסבילים לחטטים (7199 ורומאנס) אך לא בזן הרגיש (7227) (איור 7). חשוב לציין שבעונת 2014 תוספת המנגן השפיעה ברמה מופחתת על רמת הנגיעות בחטטי החום בהשוואה לעונת 2013. בנוסף נראה שרמת הנזק היתה גבוהה יותר בשנה זו בהשוואה לעונת 2013. שלושת הזנים שנבחנו על ידנו הראו שונות גבוהה ברמת הרגישות לחטטי חום, כאשר הזן רומאנס מראה את הסבילות הגבוהה ביותר לתופעת חטטי החום, הזן 7199 (ריטה) מראה סבילות בינונית והזן 7227 הראה את הרגישות הגבוהה ביותר. (איור 7).

השקיה בריכוזים עולים של מנגן השפיעה על קליטת האבץ בפרי בכל הזנים הנבחנים (איור 8). ריכוז המנגן במי ההשקיה לא השפיע בצורה מובהקת על ריכוז הברזל והמגנזיום בפרי (נתונים לא מוצגים). בניגוד לקליטת האבץ על ידי הפרי, השפעת ריכוז המנגן על קליטת האבץ בעלים הייתה לא מובהקת (נתונים לא

מוצגים). בעונת 2014 שילבנו טיפולים שונים של אבץ, האבץ השפיע על קליטת המנגן בעלים אך לא נמצאה השפעה על הנגיעות בחטטי חום (נתונים לא מוצגים).

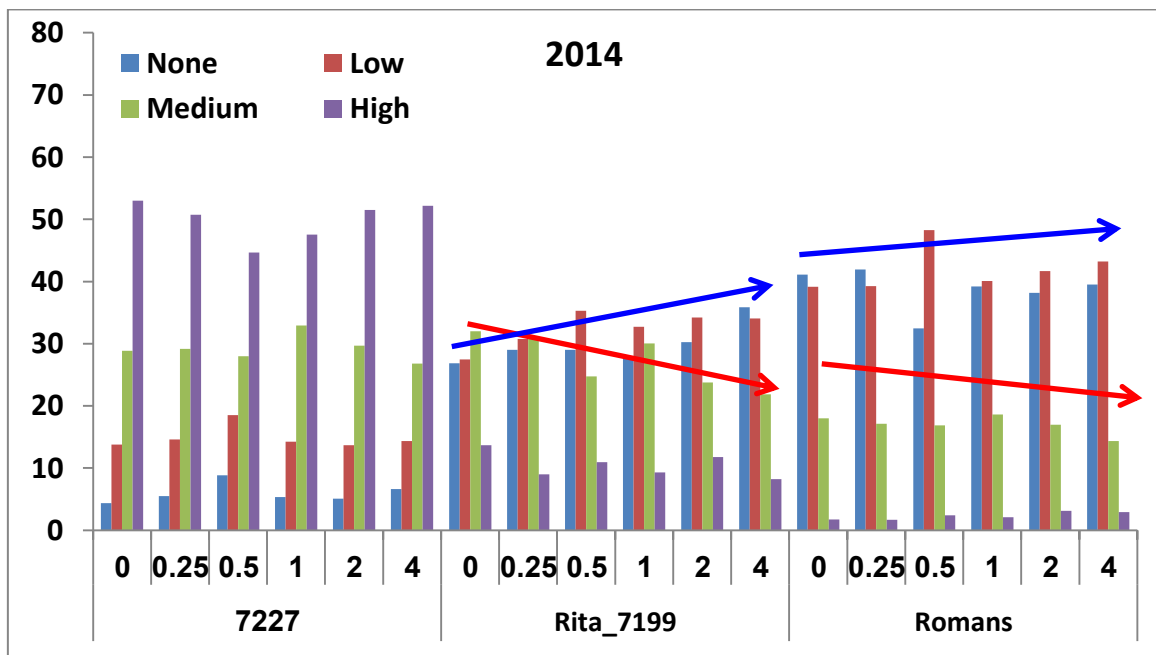
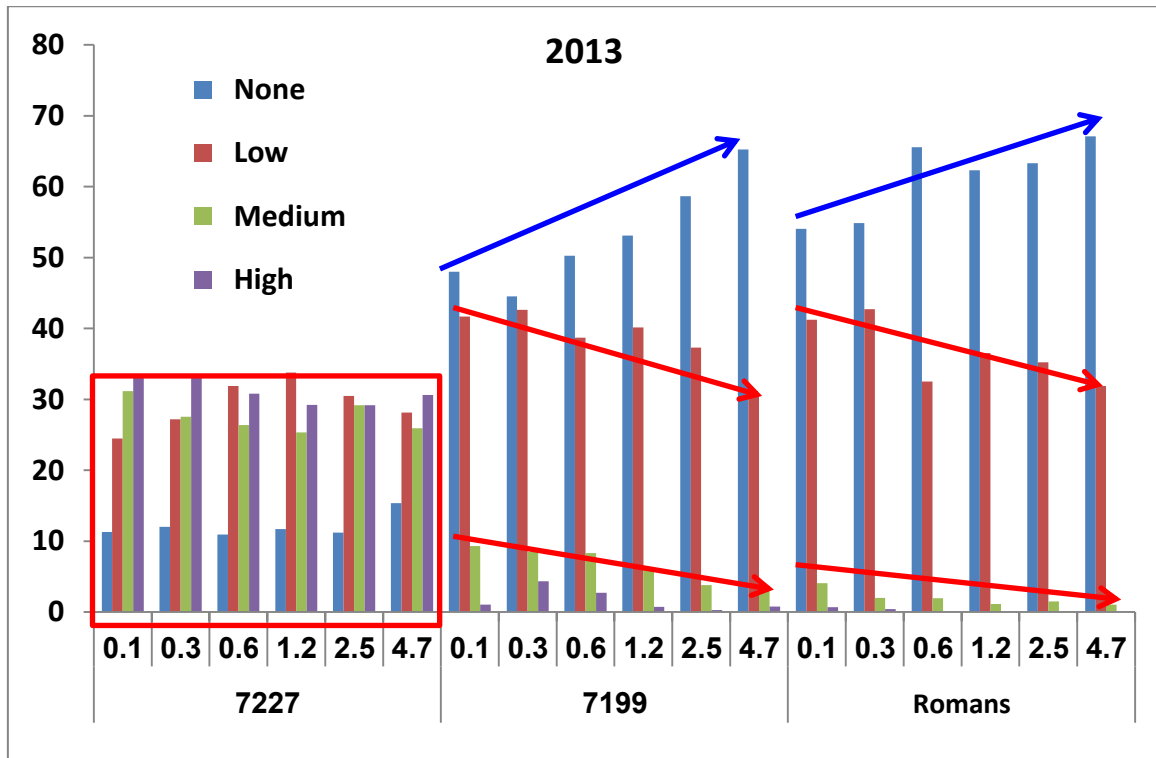
איור 5: עלים עם סימני מחסור במנגן (מימין), והערכה ויזואלית של סימני המחסור (סקלה יחסית 0-ללא סימני מחסור- 10 סימני מחסור חמורים) בזנים ובטיפולי המנגן השונים ניסוי מנגן בית רשת גילת 2015.





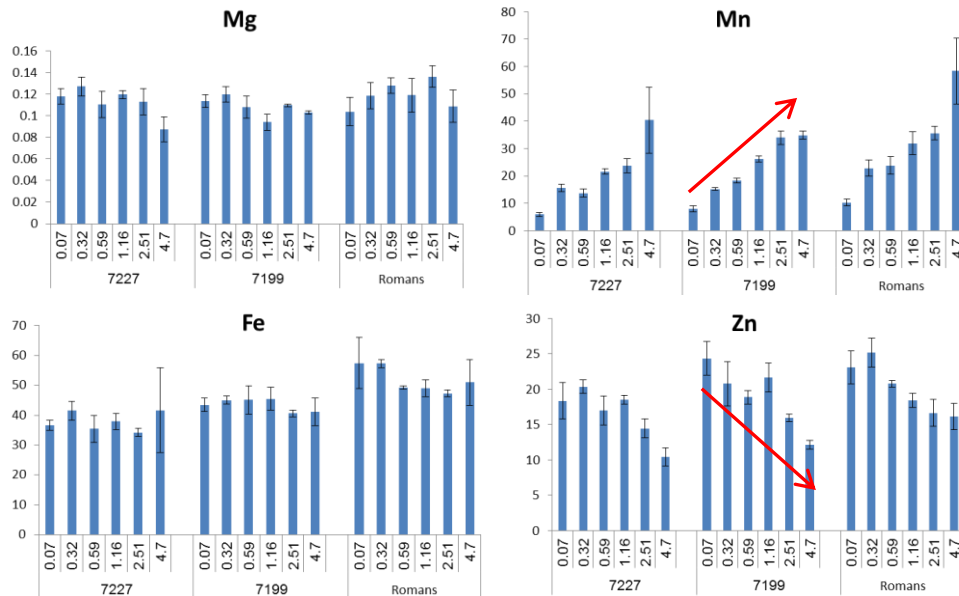
איור 6: תכולת מנגן בעלים (למטה) ופירות (למעלה) בצמחי פלפל מזנים שונים שגדלו ברמות שונות של מנגן בתמיסת ההשקיה, בית הרשת גילת. המנגן ניתן כקורטין מנגן.

מספר הפירות עם חטאי חום
(אחוז מכלל הפירות)



ריכוז המנגן במי ההשקיה (ח"מ)
זן

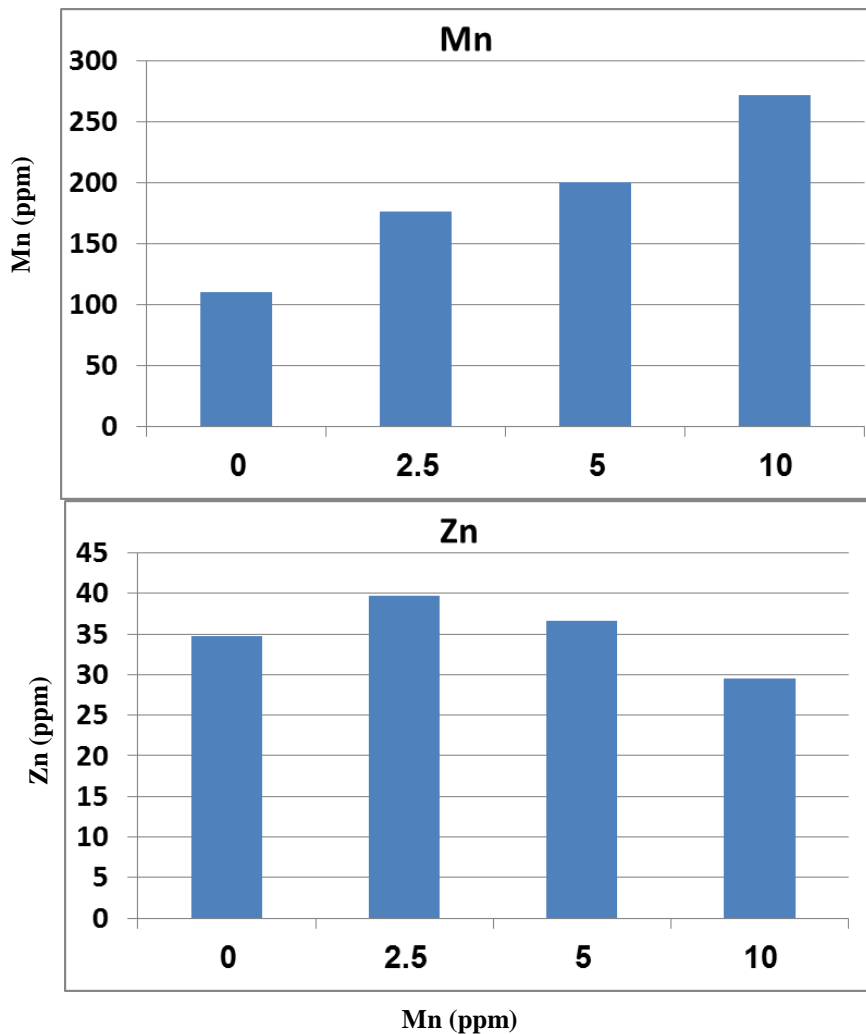
איור 7: השפעת ריכוז המנגן על רמת הנגיעות בחטאי החום בזנים שונים בעלי רגישות שונה לחטאי חום. נתונים מוצגים כאחוזים מכלל הפירות שנקטפו כאשר רמות הנגיעות בחטאים נקבעו פירות ללא חטאים (None) מרמה נמוכה (Low) מספר בודד של חטאים, בינונית (Medium) כאשר כ 50% מהפרי מראה נגיעות ועדין לא החלה התמוטטות של הרקמה וגבוהה (High) כאשר מרבית הפרי מכוסה בחטאים ובדרך כלל יש התמוטטות של רקמת הציפה. המנגן ניתן כקורטין מנגן. חצים כחולים מצביעים על עליה באחוז הפירות עם נגיעות נמוכה או ללא נגיעות כלל, חצים אדומים מצביעים על ירידה ברמת הפירות עם נגיעות בינונית וגבוהה.



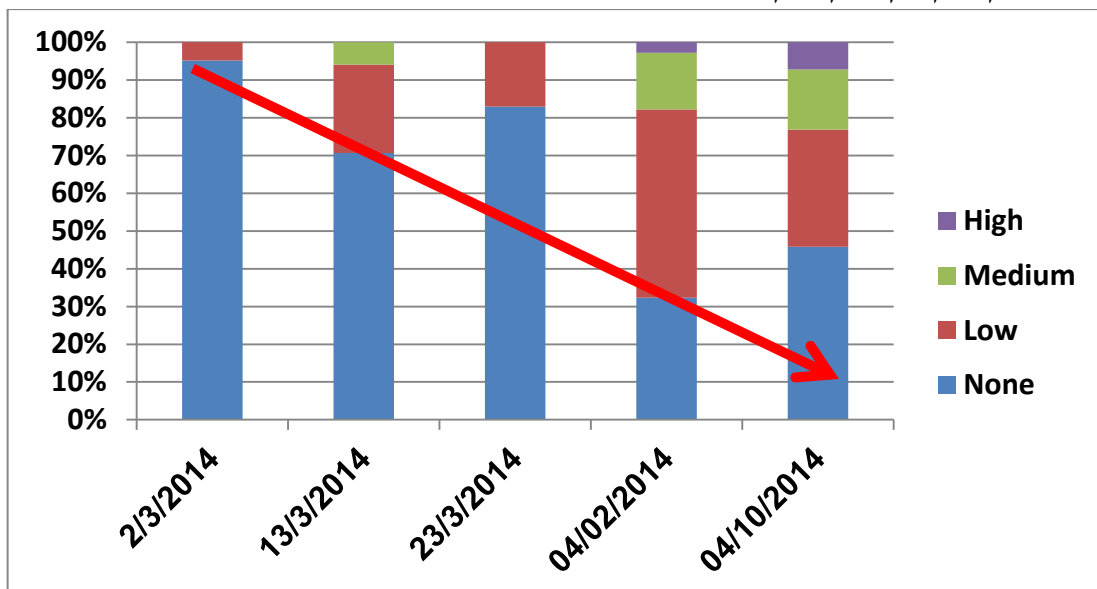
איור 8: השפעת ריכוז המנגן במי ההשקיה על תכולת מיקרו אלמנטים בפירות פלפל (שלב אדום בשל) בזנים בעלי רגישות שונה לחטטי חום. המנגן ניתן כקורטין מנגן. מגנזיום (Mg), מנגן (Mn), אבץ (Zn) וברזל (Fe). לקליטת המנגן בפרי הייתה השפעה על ירידה בתכולת האבץ (חצים). לא נמצאה השפעה מובהקת על תכולת ברזל ומגנזיום. הנתונים מוצגים כ"מ"מ לאבץ, ברזל ומנגן ובאחוזים למגנזיום.

ניסויי בחינת העשרה במנגן על תופעת חטטי החום בכיכר סדום מו"פ ערבה צפונית:

בניסויים אלו ניתנו רמות גבוהות יותר של מנגן כקורטין מנגן בהשוואה לרמה שניתנה בניסוי בגילת וזאת על מנת להתגבר על בעיית קליטה בגלל איכות המים הנמוכה באזור. בשנת הניסוי השניה באזור זה נשתל הזן אימפריו אשר הראה סבילות חלקית לתופעה (בתצפית שנערכה בערבה בעונת הגידול הקודמת) ורמת המנגן אף הגיעה לכ 20 ח"מ פי 5 מהריכוז הגבוה שניתן ברקע מים מותפלים במרכז מחקר גילת. איכות המים לא השפיע על קליטת המנגן (איור 8) וריכוזו בעלים היה דומה לזה שנמצא בניסוי במצע מנותק בגילת (איור 6). בניגוד לירידה שנמצאה בריכוז האבץ בניסוי בגילת (איור 8), עליה בריכוז המנגן במי ההשקיה בניסוי בתחנת זהר לא גרם לירידה בקליטת האבץ (איור 9). למרות הקליטה הטובה של המנגן על ידי הצמחים לא הייתה השפעה כלשהי על רמת הנגיעות בחטטי חום כפי שנמצא בניסוי בגילת (איור 7) הסיבות לכך עשויות לנבוע משינויים בפרופיל החשיפה לטמפרטורה לאורך עונת הגידול. שלא כמו בגידול הקייצי בגידול הסתווי בכיכר חטטי החום מופיעים בצמחים בוגרים בפירות שהתפתחו במשך זמן על הצמח בטמפרטורות נמוכות ואז נחשפים לטמפרטורות גבוהות עם עלית הטמפרטורה באביב (נתונים לא מוצגים). חשוב לראות את הירידה החדה באיכות הפרי עקב תופעת חטטי החום עם הכניסה לקטיפי האביב (איור 10), לצערנו לא נראה שתוספת מנגן למי ההשקיה משפיעה על התופעה בתנאי הגידול באזור זה. מחקר נוסף דרוש על מנת לבחון גורמים אחרים שעשויים להשפיע על התופעה באזור זה בתנאי הגידול הייחודיים שלו, יכול להיות שריסוס עלותי יגביר את הקליטה תוך מניעת השפעת קליטת יונים מהקרקע, למרות שבדיקת תכולת המנגן בעלים לא מראה על בעיה בקליטת המנגן בעלים והערכים הנמדדים מראים רמה דומה לאלו שנמצאו בעלי פלפל שגדלו במצע מנותק במרכז מחקר גילת בגידול קייצי (איור 6).



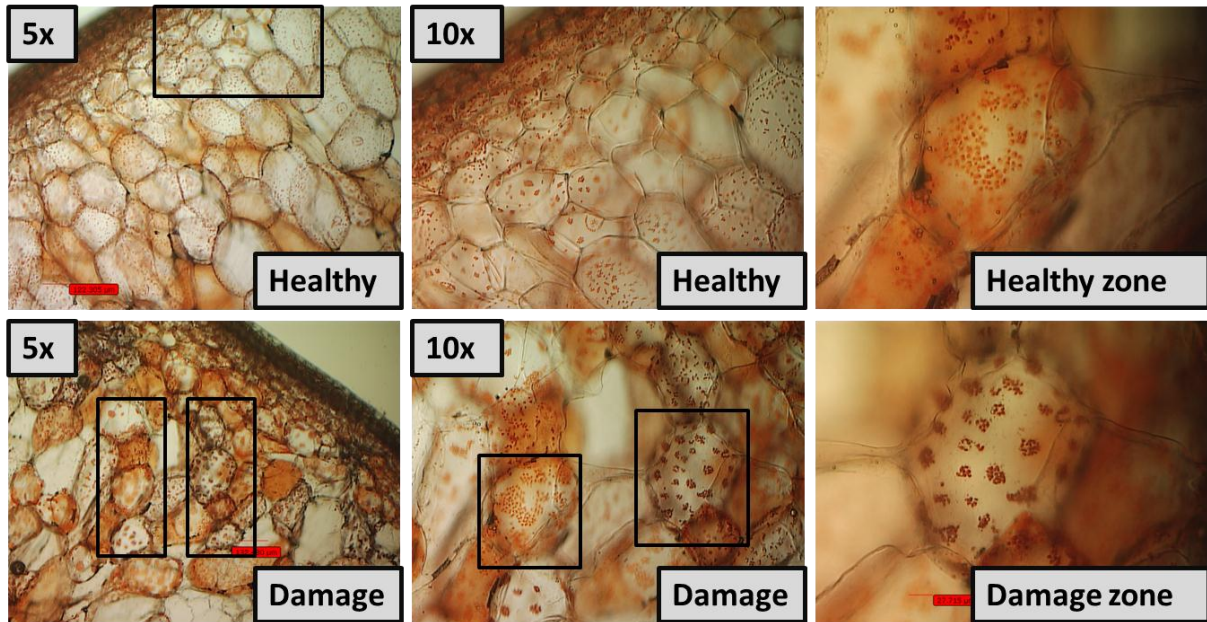
איור 9: השפעת ריכוז המנגן במי ההשקיה על תכולת המנגן (למעלה) והאבץ בעלי פלפל מהזן סובק, תחנת זהר. המנגן ניתן כקורטין מנגן.



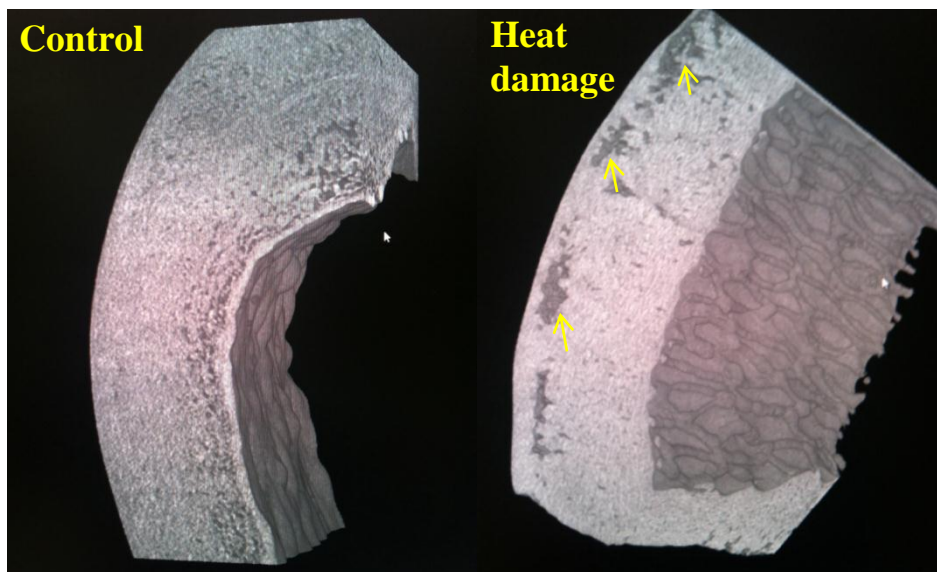
איור 10: רמת הנגיעות בחטטי החום בזן סובק. נתונים מוצגים כאחוזים מכלל הפירות שנקטפו כאשר רמות הנגיעות בחטטים נקבעו פירות ללא חטטים (None) מרמה נמוכה (Low) מספר בודד של חטטים, בינונית (Medium) כאשר כ 50% מהפרי מראה נגיעות ועדין לא החלה התמוטטות של הרקמה וגבוהה (High) כאשר מרבית הפרי מכוסה בחטטים ובדרך כלל יש התמוטטות של רקמת הציפה.

אנטומיה של חטטי חום ואפיון מעורבות נזקי חימצון:

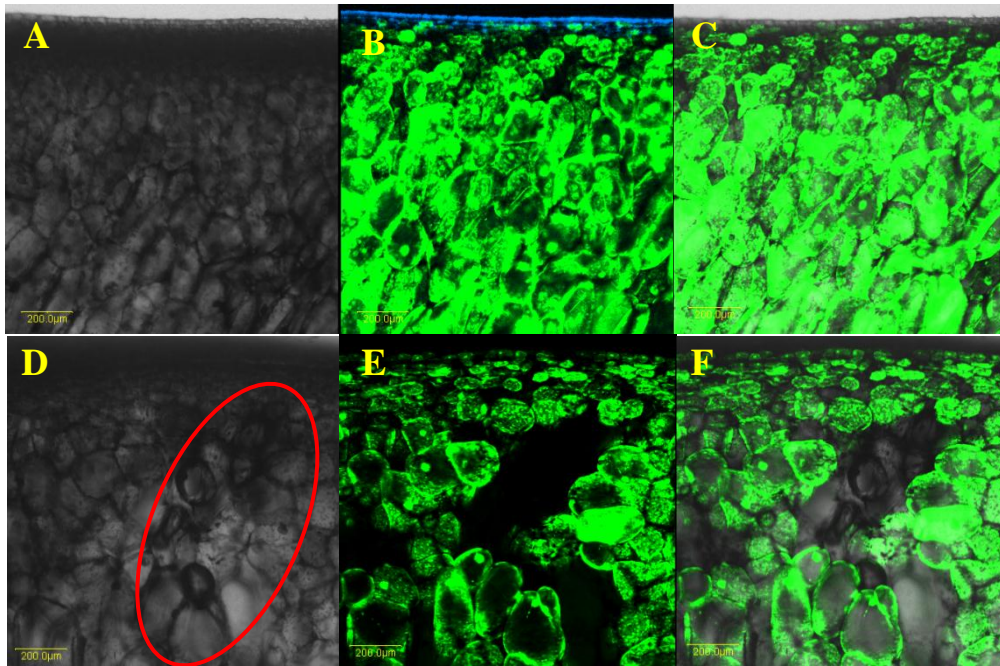
חתך חיי וצביעה ב 0.25% trypan blue מצביעה על בסידור הכרומופלסטים בתאי הציפה, חומר זה מצביע על פגיעה בממברנות אשר מאפשרת כניסה של וצביעה של מרכיבי התא (איור 11). שימוש במיקרו CT מצביע שהנזק מתרחש בתאי הציפה מתחת לשכבות התאים שמרכיבים את קליפת הפרי ולא בקליפה עצמה (איור 12). שימוש בצבענים פלורסנטים מצביעים שבאזור החטטים ישנה הצטברות של רדיקאליים של חמצן פעיל הגורמים לתמותת התאים (איורים 13 ו 14).



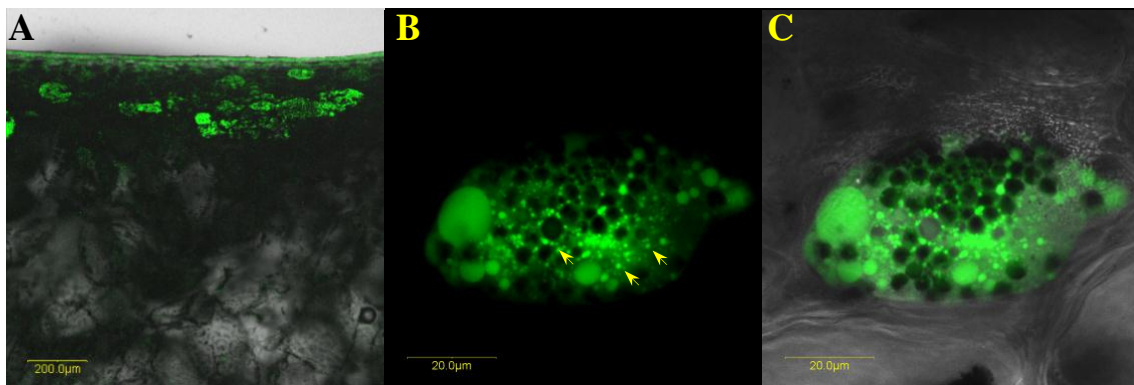
איור 11: תאי ציפת פרי לפל לאחר חשיפה לטמפרטורת גבוהות. למטה תאים בריאים בהם נראים כרומופלסטים בגוון כתום מפוזרים בתוך כל התא (Healthy zone), בניגוד תאים פגועים מאזור נגוע בחטטים (פאנל תחתון), כמו כן ישנה צביעה רבה יותר של 0.25% trypan blue בתאים מפרי נגוע בחטטים. הכרומופלסטים משנים את גוונם ועוברים תהליכי אגריגציה (Damage zone).



איור 12: שימוש בהדמיית מיקרו CT לאפיון חטטי חום (חצים) בציפת הפרי מהזן דאליאס (7227).



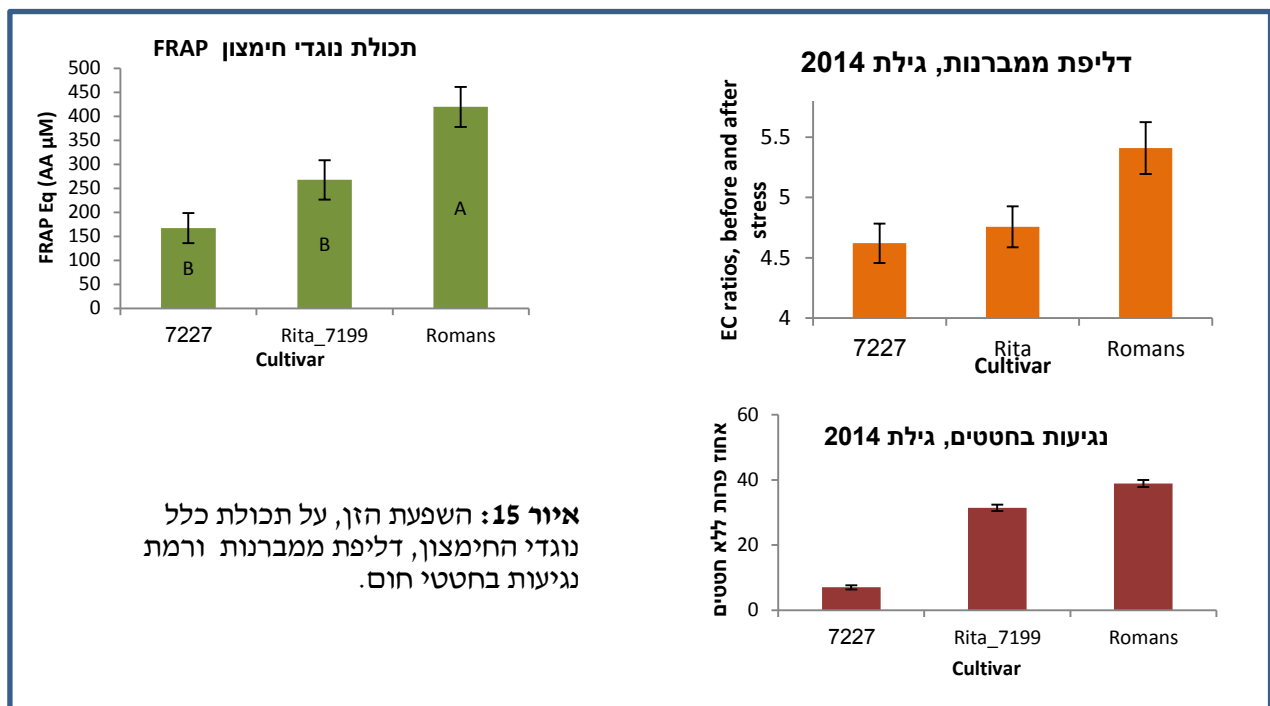
איור 13: תאי ציפת פלפל בשלב שבירת הצבע מאזור נגוע בחטטי חום. התאים נצבעו ב-FDA צביעה זו מצביעה על תאים חיוניים בהם יש פלורסנציה ותאים מתים ללא פלורסנציה. האנליזה בוצעה באמצעות מיקרוסקופ קונפוקלי (מכון וולקני). הפאנל העליון מראה רקמה בריאה ללא חטטי חום (A-C). פאנל תחתון מראה רקמה עם חטטי חום (D-F). אזור החטטים מסומן באליפסה אדומה (D) וניתן לראות שאכן תאים אלו לא חיוניים על פי הצביעה וההחזר הפלורסנטי. משמאל (A, D) תמונות ערוץ אור, במרכז (B, E) תמונה ערוץ פלורסנטי לאחר עירור באורך גל של 495 ננומטר ומימין (C, F) תמונה מאוחדת של שני הערוצים. הצביעה הכחולה ב תמונה B מצביעה על אוטופלורסנציה של קליפת הפרי בערוץ האולטרא סגול. החתכים בוצעו בזן דאליאס (7227).



איור 14: תאי ציפת פלפל בשלב אדום בשל מאזור נגוע בחטטי חום. התאים נצבעו ב-DCF אשר בנוכחות מי חמצן (H_2O_2) גורם להופעת פלורסנציה. האנליזה בוצעה באמצעות מיקרוסקופ קונפוקלי (מכון וולקני). חתך רוחב של ציפת הפרי כולל הקליפה, האזור הנגוע זוהר מפלורסנציה ירוקה (A), תמונה פלורסנטית של תא אחד באזור הנגוע בתמונה זו יתן לראות את אברוני התא כאשר האברונים הקטנים העגולים בעלי הפלורסנציה החזקה נראים כפרקסיזומים (חצים) (B), תמונה מאוחדת עם תמונת האור של אזור זה על מנת להמחיש את גבולות התאים (C). החתכים בוצעו בזן דאליאס (7227).

שונוות ברמת הרגישות לתופעת חטטי החום בזנים שונים

תוצאות המחקרים מצביעות שיש קשר בין רמת הרגישות לתופעת חטטי החום לבין מרכיבים ביוכימיים ופיזיולוגיים שונים. כבר בשלב הירוק זנים סבילים מראים תכולת נוגדי חימצון גבוהה יותר בהשוואה לזנים סבילים פחות ואו רגישים (איור 15). בדומה, בזנים סבילים נמצאה פחות דליפת אלקטרוליטים מתאי הציפה (דליפת ממברנות, איור 15). שני פרמטרים אלו נמצא ביחס ישיר לרגישות הזן לחטטי חום (נגיעות בחטטים, איור 15). בניסויים השונים לא מצאנו השפעה מובהקת של טיפולי המנגן על הממצאים הללו. למרות זאת נראה שזנים סבילים קולטים יותר מנגן בפירות (איור 6) ומראים סימני מחסור פחותים ברמות מנגן נמוכות בהשוואה לזנים רגישים (איור 5). ניסויים ראשוניים שבוצעו על מעורבות אנזימים השותפים במערכות פירוק רדיקליים חופשיים של חמצן מצביעים על האפשרות שהזנים הסבילים מגיבים בעליה בפעילות ה *Superoxide dismutase (SOD)* עם עליה בתכולת המנגן בפרי אך התוצאות לא היו חד משמעיות כך שאנחנו כרגע מבצעים אנליזות אלו שוב (תוצאות לא מוצגות).



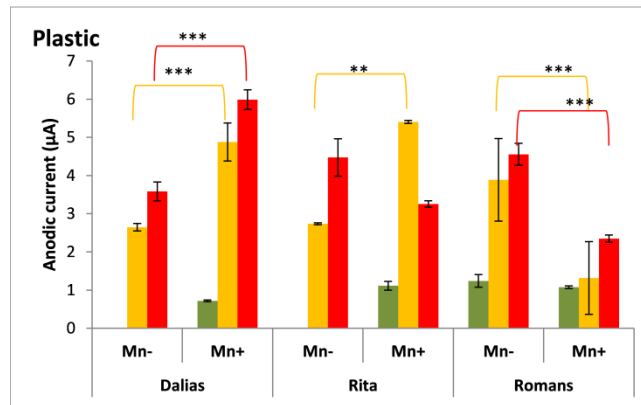
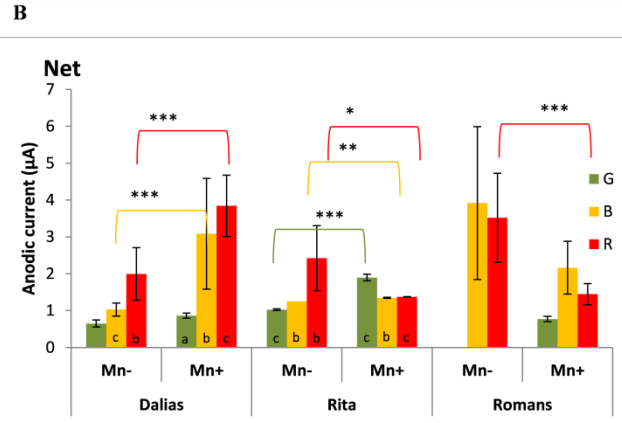
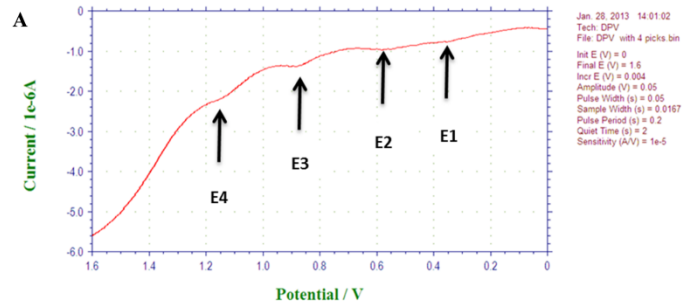
השפעת הזן, סוג במבנה ותוספת הזנה במנגן על מרכיבים תזונתיים/בריאותיים בפלפל

בעונת הגידול הראשונה בוצע ניסוי בתנאים חצי מסחריים במו"פ דרום שבחן את השפעת תנאי הגידול (מבנה מכוסה רשת נגד חרקים 50 מ"ש או מכוסה בפלסטיק), השפעת הזן (כאשר נבחרו זנים בעלי רגישות שונה לחטטי חום) ותוספת מנגן למי ההשקיה על נגיעות בחטטי חום ועל תכולת כלל נוגדי החמצון הכימיים בציפת הפרי המהלך הבשלתו (איור 16), תוצאות ניסוי זה מפורטות במאמר שפורסם על ידינו, (Yasuor et al., 2015). בנוסף בחנו באותה מערכת גידול גם את תכולת הפוליפנולים כמרכיב ספציפי במערכת נוגדי החמצון. בעונת גידול 2013 לא נמצאה השפעה של טיפולי המנגן על תכולת כלל נוגדי החמצון כפי שנקבע בשיטות ספקטרליות ואלקטרוכימיות שונות (תוצאות לא מוצגות).

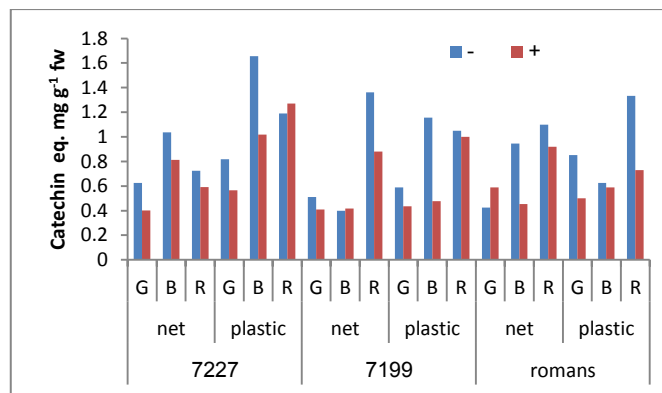
תכולת פוליפנולים: על מנת לבחון את השפעת המערכת הניסויית על גורמים תזונתיים/בריאותיים בפרי הפלפל ביצענו בדיקת לתכולת הפוליפנולים במיצוי מימי של הפרי בשלבי הבשלה שונים של הפרי (איור 17). התוצאות מראות השפעה מובהקת של שלב ההבשלה, סוג הכיסוי וטיפול המנגן על תכולת הפוליפנולים ברמת מובהקות קטנה מ $P=0.05$. כאשר בדרך כלל התפתחות פלפל תחת פלסטיק גרמה

לעליה בתכולת הפוליפנולים, בניגוד לזה טיפולי המנגן הורידו את תכולת הפוליפנולים בפרי. נמצאה עליה בתכולת הפוליפנולים עם הבשלת הפרי. הזנים לא הגיבו לתנאי הגידול בצורה אחידה.

איור 16: השפעת הזן, סוג המבנה, שלב ההבשלה ותגבור במנגן (Mn-,Mn+) על תכולת נוגדי החמצון כפי שנקבע בשיטה אלקטרוכימית DPV. A. דוגמא לגרף מיצג של הבדיקה האלקטרוכימית, הפיקים השונים (E1-E4) מציינים קבוצות כימיות שונות בעלות פוטנציאל חיזור שונה; B. תוצאות אנליזה של נוגדי החמצון בפרי בשלב הבשלה שונים כאשר הצמחים גדלו עזמה תחת רשת (Net) ותחת פלסטיק (Plastic); שלבי ההבשלה ירוק בשל (G), שבירת צבע (B) ואדום (R). הזן 7227 (Dalias), הזן 7199 (Rita), הזן 7227 (Dalias). ניתן לראות שתכולת נוגדי החימצון היתה גבוה יותר בפירות שהתפתחות תחת פלסטיק (Plastic) בהשוואה לפירות שהתפתחו תחת רשת (Net). בנוסף ניתן לראות שתכולה הושפעה משלב ההבשלה, הרקע הגנטי של הזן ומטיפולי המנגן. חשוב לציין שגורמים אלו השפיעו באופן שונה על הזנים השונים. מידע נוסף ותוצאות אנליזות אחרות ניתן למצוא במאמר שפורסם Yasuor et al., 2015. אותיות המובהקות מצביעות על הבדלים סטטיסטים בין סוגי המבנה בכל שלב הבשלה, כוכביות מובהקות מצביעות על הבדלים מובהקים של טיפולי המנגן בכל שלב הבשלה. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.



איור 17: השפעת הזן, סוג המבנה, שלב ההבשלה ותגבור במנגן (+, -) על תכולת פוליפנולים בפרי הפלפל. שלבי ההבשלה ירוק בשל (G), שבירת צבע (B) ואדום (R).



בניסויים משלימים לניסויים במו"פ דרום נבחנה השפעת טמפרטורת הגידול (פלסטיק מול רשת) במנהרות במו"פ רמת הנגב על תכולת המרכיבים התזונתיים של פרי הפלפל, בניסויים אלו נמצאה עליה בתכולת ויטמין C, פנולים ונוגדי חימצון כאשר הפירות התפתחו בתנאי טמפרטורה גבוהה (פלסטיק) (ראה דו"ח שנתי 2012).

השפעת אחסנה ממושכת על התפתחות חטטי חום בפלפל לאחר הקטיף

שרון אלקלעי-טוביה, יוסי ביבס, יעקב פרצלן ואלי פליק
המחלקה לאחסון, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני

מטרת הניסוי:

בחינת השפעת אחסנה ממושכת על איכות פלפל והתפתחות חטטי חום על קליפת הפרי לאחר הקטיף.

שיטות וחומרים:

נקטפו פירות באיכות סבירה (עם מעט חטטים בחלק מהטיפולים) וללא ריקבון. הפירות הקטופים הובאו למחלקה לאחסון הרכב מקורר מיד לאחר הקטיף. הפירות נשטפו בהתאם להמלצות (55 מ"צ למשך כ-15 שניות) ואוחסנו ב-7 מ"צ למשך כשבועיים + 3 ימים נוספים ב-20 מ"צ. בתום תקופת האחסנה וחיי המדף נבדקו מדדי האיכות הבאים:

א. איבוד משקל נבדק על ידי שקילת 10 פירות מכל טיפול לפני אחסנתם ובתום תקופת האחסנה וחיי מדף; איבוד המשקל בוטא כאחוז ממשקל התחלתי.

ב. מוצקות הפרי נמדדה ידנית על פי סולם של 1 עד 5, כאשר 1 = פרי רך מאוד; 2 = פרי רך; 3 = פרי גמיש; 4 = פרי מוצק; 5 = פרי מוצק מאוד. הבדיקה נעשה ל-10 פירות – מיד לאחר הקטיף ובתום תקופת האחסנה וחיי המדף.

ג. אחוזי ריקבון - פרי נחשב כרקוב כאשר תפטיר הופיע על קליפת הפרי או העוקץ. אחוזי הריקבון חושב מכלל הפירות בטיפול/חזרה.

ד. כלל מוצקים מומסים (כ.מ.מ), נבדקו ל-6 פירות על ידי סחיטת מיץ הקליפה על גבי רפרקטומטר והתוצאות בוטאו באחוזים.

ה. חטטים (נזקי חום) - עוצמת החטטים וכיסויים על גבי הפרי הוגדרו על פי סולם של 0 עד 4, כאשר 0 = ללא חטטים; 2 = כ-25% חטטים; 4 = כל הפרי מכוסה חטטים.

ו. מדד הופעה כללית נמדד על פי סולם של 1 עד 5, כאשר 1 = פרי פגום, מצומק, רקוב ומכוסה בחטטים; 3 = איכות סבירה; 5 = איכות מעולה.

כל טיפול כלל 2 קרטונים של כ-6 ק"ג/קרטון. נערכו 2 קטיפים, מאמצע אוגוסט ואמצע ספטמבר 2014. נערך ניתוח סטטיסטי חד כיווני למדד ההופעה וחטטים בתוכנת JMP ברמה של 5%.

טבלה 1: השפעת הזן, סוג המבנה ותוספת מנגן למי ההשקיה על איכות הפרי לאחר 14 ימים ב-7 מ"צ + 3 ימים ב-20 מ"צ. ממוצע לשני קרטונים. קטיף ב-14.8.18. ריכוז המנגן בטיפול המנגן היה ללא תוספת מנגן (0.3 ח"מ) ועם תוספת מנגן (2.5 ח"מ).

זן	מבנה	דישון	איבוד משקל (%)	מוצקות (5-1)	כ.מ.מ. (%)	ריקבון (%)	הצטמקות (%)	הופעה (5-1)
7199	פלסטיק	ללא מנגן	2.8	2.6	6.7	14.6	23.5	1.8 אב
7199	פלסטיק	עם מנגן	2.6	2.5	7.2	17.2	0.0	2.2 א
7199	רשת	ללא מנגן	2.6	2.5	7.0	24.9	1.7	2.0 א
7199	רשת	עם מנגן	4.1	2.4	6.5	18.3	3.3	1.9 אב
7227	פלסטיק	ללא מנגן	3.0	2.4	5.7	14.3	3.7	1.7 ב
7227	פלסטיק	עם מנגן	2.9	2.4	6.1	14.6	0.0	1.6 בג
7227	רשת	ללא מנגן	4.0	2.4	5.3	20.4	6.7	1.6 בג
7227	רשת	עם מנגן	3.2	2.4	6.1	24.9	0.0	1.7 ב
רומנס	פלסטיק	ללא מנגן	3.4	2.2	5.5	37.1	62.9	1.6 בג
רומנס	פלסטיק	עם מנגן	3.3	2.2	5.9	20.1	39.9	1.8 אב
רומנס	רשת	ללא מנגן	3.9	2.3	5.4	29.2	37.0	1.6 בג
רומנס	רשת	עם מנגן	4.8	2.2	5.6	26.7	50.8	1.5 ג

טבלה 2: אינדקס החטטים מיד לאחר הקטיף ובתום תקופת האחסנה וחיי מדף, טיפולי המנגן מפורטים בכותרת טבלה 1.

זן	מבנה	דישון	זמן 0	לאחר חיי מדף
7199	פלסטיק	ללא מנגן	0.74	0.84 ג
7199	פלסטיק	עם מנגן	0.54	0.60 גד
7199	רשת	ללא מנגן	0.42	0.45 ג
7199	רשת	עם מנגן	0.63	0.75 גד
7227	פלסטיק	ללא מנגן	1.83	2.38 א
7227	פלסטיק	עם מנגן	2.33	2.85 א
7227	רשת	ללא מנגן	1.97	2.32 א
7227	רשת	עם מנגן	1.81	1.85 ב
רומנס	פלסטיק	ללא מנגן	0.35	0.45 ז
רומנס	פלסטיק	עם מנגן	0.89	1.00 ג
רומנס	רשת	ללא מנגן	0.58	1.05 ג
רומנס	רשת	עם מנגן	0.40	0.89 ג

מסקנות מהקטיף הראשון:

קיימים הבדלים בין הזנים. הזן 7199 נמצא פחות רגיש לחטטי חום בהשוואה ל-7227, שנמצא הרגיש ביותר לחטטי חום (טבלה 2) לכן מדד ההופעה שלו הייתה גובהה יותר (טבלה 1). נמצא כי חטטי החום

החמירו במהלך האחסנה (טבלה 2). הרגישות לחטטים עולה במבנה פלסטיק. לא נמצא כי מנגן משפיע, לחיוב או שלילה על רגישות הפרי לנזקי חום, אם כי מנגן בבית רשת הקטין נזקי חום בחלק מהזנים. הזן רומנס סבל מהצטמקויות ואחוז ריקבון יחסית גבוה (טבלה 1).

טבלה 3: איכות הפרי לאחר 14 ימים ב-7 מ"צ + 3 ימים ב-20 מ"צ. ממוצע לשני קרטונים. קטיף ב-21.9.14. טיפולי המנגן מפורטים בכותרת טבלה 1.

הופעה (5-1)	הצטמקות (%)	ריקבון (%)	כ.מ.מ. (%)	מוצקות (5-1)	איבוד משקל (%)	דישון	מבנה	זן
א 2.7	0.0	0.0	6.9	2.5	2.5	ללא מנגן	פלסטיק	7199
א 2.6	2.3	2.3	6.4	2.4	2.2	עם מנגן	פלסטיק	7199
א 2.5	1.3	2.9	6.4	2.5	2.6	ללא מנגן	רשת	7199
אב 2.4	0.0	7.1	6.1	2.4	3.1	עם מנגן	רשת	7199
ב 1.8	0.0	10.8	6.1	2.3	2.9	ללא מנגן	פלסטיק	7227
ב 1.9	0.0	6.7	6.0	2.2	2.9	עם מנגן	פלסטיק	7227
ג 1.5	1.2	20.8	6.5	2.4	3.7	ללא מנגן	רשת	7227
ב 1.8	3.4	18.0	6.1	2.4	2.4	עם מנגן	רשת	7227
א 2.5	1.9	3.1	5.4	2.4	3.4	ללא מנגן	פלסטיק	רומנס
אב 2.4	6.3	3.1	5.3	2.3	3.0	עם מנגן	פלסטיק	רומנס
אב 2.4	4.6	4.4	5.3	2.4	3.6	ללא מנגן	רשת	רומנס
ב 2.2	11.0	8.2	5.3	2.4	2.8	עם מנגן	רשת	רומנס

טבלה 4: אינדקס החטטים מיד לאחר הקטיף ובתום תקופת האחסנה וחיי מדף, טיפולי המנגן מפורטים בכותרת טבלה 1.

זן	מבנה	דישון	זמן 0	לאחר חיי מדף
7199	פלסטיק	ללא מנגן	0.15	0.29 ג
7199	פלסטיק	עם מנגן	0.44	0.49 ג
7199	רשת	ללא מנגן	0.24	0.29 ג
7199	רשת	עם מנגן	0.04	0.18 ג
7227	פלסטיק	ללא מנגן	1.18	1.76 א
7227	פלסטיק	עם מנגן	1.63	2.11 א
7227	רשת	ללא מנגן	1.98	2.12 א
7227	רשת	עם מנגן	0.66	0.79 ב
רומנס	פלסטיק	ללא מנגן	0.09	0.16 ג
רומנס	פלסטיק	עם מנגן	0.03	0.03 ג
רומנס	רשת	ללא מנגן	0.09	0.25 ג
רומנס	רשת	עם מנגן	0.03	0.03 ג

מסקנות מקטיף שני :

הזן 7227 הנמצא פחות איכותי משני הזנים האחרים ומדד הופעתו הייתה נמוכה משמעותית בחלק מהטיפולים, בהשוואה לזן 7199 ורומנס (טבלה 3). רמת החטטים בזן 7227 הייתה גובהה באופן מובהק, בהשוואה לשני הזנים האחרים (טבלה 4). ישנה החמרה בהתפתחות החטטים לאחר אחסנה ממושכת, אם כי ההחמרה הייתה פחות משמעותית, בהשוואה לחטטי החום בקטיף הראשון (טבלאות 4 ו-2). הזן רומנס נמצא עם אינדקס חטטים נמוך, בהשוואה לשני הזנים האחרים, אך עם יותר הצטמקויות (טבלה 3). לא נמצאו הבדלים מהותיים בחומרת החטטים בטיפולים עם או ללא מנגן (טבלה 4), אבל, מנגן בבית רשת הקטין את החטטים.

מסקנות משני הקטיפים :

אחסנה מחמירה את התפתחות חטטי החום, בעיקר בתחילת העונה. עם התקדמות העונה לקראת הסתיו, חומרת החטטים פוחתת. רגישות הזנים שונה לנזקי חום, כאשר הזן 7227 היה רגיש ביותר, בהשוואה לשני הזנים האחרים. רגישות הזן רומנס לנזקי חום יורדת עם התקדמות העונה (התאמת זנים?). שילוב של גידול ברשת עם מנגן מפחית את הרגישות לנזקי חום, אך לא בגידול בפלסטיק. אך הדבר מותנה זן.

סיכום ומסקנות:

טמפרטורות גבוהות גורמות לירידה באיכות פרי הפלפל, בעיקר בגלל עליית הנגיעות בחטטי חום בציפת הפרי. תנאי הגידול, סוג המבנה, עונת הגידול ו/או איזור הגידול משפיעים על חומרת הנגיעות בחטטי החום. תוצאות מחקר זה מצביעות על השפעה מכרעת של רגישות על רמת הנגיעות בחטטי החום. שונות זו עשויה לנבוע משונות בתכולת נוגדי החמצון בפרי בשלבי ההבשלה השונים ו/או ביכולת הזן להתמודד עם נזקי החום באמצעות מנגנונים אחרים כגון פעילות אנזימתית של אנזימים המעורבים במערכות פירוק של קבוצות חמצן פעיל (Silber et al., 2009), נושא זה נמצא כרגע בבחינה במעבדתנו במחקר המשך של מחקר זה. העשרת מי ההשקיה במנגן שניתן כקורטין מנגן גרמה לעליה בתכולת המנגן בפרי. בזנים הסבילים (7199 ורומנס) לחטטים נמצאה פחותה ברמת הנגיעות בחטטים ככל שעלה ריכוז המנגן במי ההשקיה. לעומת זאת גם ריכוז גבוה של מנגן לא הצליח להפחית את רמת הנגיעות בחטטים בזן הרגיש (דאליאס, 7227). תגובת צמחי פלפל לתוספת מנגן ככלי לצמצום נזקי חום נבחנה בעבר במצעים מנותקים (Silber et al., 2009), החידוש במחקר זה היה: א. בחינת העשרה במנגן בניסויים רב שנתיים, ב. בחינת העשרה במנגן במערכות קרקעיות ולא רק במצע מנותק, ג. בחינת האינטרקציה בין תנאי הגידול, תוספת מנגן ורקע גנטי שונה על הופעת נזקי חום האופן בו משפיע המנגן על צמצום נזקי החום עדין לא ברור דיו ונדרשים ניסויים נוספים על מנת לקבוע את האופן בו מנגן משפיעה על תגובת הצמח לנזקי החום. חשוב לציין שיון המנגן עצמו משמש כנוגד חימצון, בעיקר על ידי פירוק רדיקלים של פרוקסיל (Coassin et al., 1992; Sziráki et al., 1995). כיום אנחנו מבצעים המשך ניסויים שלא ממומנים על ידי קרן זו על מנת לקבוע את המנגנונים המולקולריים והביוכימיים הקשורים לתופעת חטטי החום ואת האופן בו מנגן עשוי להשפיע עליהם. שימוש בטכניקות אנטומיות שונות ושימוש במיקרוסקופיה קונפוקלית מראים שחשיפה לחום משפיעה על סידור הכרומופלסטים בתאי הציפה של הפרי, כמו כן אנחנו מראים שנוזקי חום אלו הם תוצאה של נזקי חמצון בתאי ציפת הפרי. נזקי חום כדוגמת חטטי חום מהווים בעיה קשה כאשר פירות אלו מיוצאים במשלוחים ימיים ממושכים. תוצאות האחסון וחיי המדף מצביעות שתופעת החטטים מחמירה לאחר האחסון ומהלך סימולציה של משלוח התוצרת במשלוח ימי. חשוב לציין שפירות אלו נפסלים להמשך

שיווק בנמל היעד ומוחזרים לשולח. מחקר נוסף דרוש על מנת לבחון אם אפשר לצמצם את התגברות התופעה במהלך האחסון והמשלוח.

הכלים שמצויים כיום להתמודדות עם תופעת נזקי החום הם: ברמה גנטית (בחירת זנים סבילים/עמידים) וברמה האגרוטכנית (שיפור ההזנה במיקרואלמנטים, או שימוש במערכות צינון בעיקר בלילה). שימוש ברשתות צל ועל ידי כך הפחתת עומסי החום במבני הגידול לא נמצאה כיעילה לצמצום תופעת חטטי החום (ליאור אברהם שה"מ, התקשרות אישית). הראנו במחקר זה ובהתבסס על מחקרים קודמים שתגבור במיקרואלמנטים כדוגמת מנגן עשויה לשפר את יכולתו מלהתמודד עם תופעת חטטי החום על ידי השפעה או שינוי של היכולת של הצמח להתגונן כנגד נזקי חמצון ועל ידי כך לשפר את איכותו. לצערנו תגובה זו הייתה תלויה ברגישות הזן, ותנאי הגידול (עונה ואזור גידול), לכן יש שצורך לבחינה וביצוע אופטימיזציה של תגבור במיקרואלמנטים כדוגמת מנגן על פי רגישות הזן ותנאי הגידול. מסיבה זו קשה לנו לצאת בהמלצות גורפות ליישומים כאלו, בכל מקרה בתנאי הגידול שנבחנו לא נגרם נזק לגידול גם ברמות מנגן של עד 20 ח"מ.

מחקר נוסף דרוש על מנת לנסות ולהבין את התפקיד בהם מיקרואלמנטים כדוגמת מנגן משמשים במערכות נוגדות חימצון בצמחים ואת המנגנונים בהם זני פלפל מתמודדים עם עקות כגון עקות חום.

לסיכום למרות שנמצא שמנגן עשוי לסייע בצמצום נזקי החום בתלות בזן ובעונת הגידול, יש להימנע משימוש בזנים רגישים באזורים ו/או תקופות גידול רגישים לחטטים.

רשימת ספרות:

- Coassin M, Ursini F, Bindoli A, 1992. Antioxidant effect of manganese. Archives of biochemistry and biophysics 299, 330-333.
- Møller IM, Jensen PE, Hansson A, 2007. Oxidative modifications to cellular components in Plants. Annu. Rev. Plant Biol. 58:459–81
- Silber A, Bar-Tal A, Levkovitch I, Bruner M, Yehezkel H, Shmuel D, Cohen S, Matan E, Karni L, Aktas H, Turhan E, Aloni B, 2009. Manganese nutrition of pepper (*Capsicum annuum* L.): Growth, Mn uptake and fruit disorder incidence. Scientia Horticulturae 123:197-203.
- Sziráki I, Rauhala P, Chiueh CC, 1995. Novel protective effect of manganese against ferrous citrate-induced lipid peroxidation and nigrostriatal neurodegeneration in vivo. Brain research 698, 285-287.
- Yasuor H, Firer M, Beit-Yannai E, (2015). Protective structures and manganese amendments effects on antioxidant activity in pepper fruit. Scientia Horticulturae 185:211-218.

סיכום עם שאלות מנחות

נא להתייחס לכל השאלות בקצרה ולעניין, ב-3 עד 4 שורות לכל שאלה (לא תובא בחשבון חריגה מגבולות המסגרת המודפסת).
שיתוף הפעולה שלך יסייע לתהליך ההערכה של תוצאות המחקר.
הערה: נא לציין הפנייה לדו"ח אם נכללו בו נקודות נוספות לאלה שבסיכום.

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
א) בחינת רגישות זנים שונים לטמפרטורה גבוהה
ב) לימוד הפיסיולוגיה של תופעת חטטי החום בפלפל
ג) לימוד השפעת החום על איכות הפרי ועל אורך חיי המדף שלו
ד) בחינת השפעת החום ונזקי חום על ההרכב התזונתי של הפלפל
ה) בחינת פתרונות אגרוטכניים להתמודדות עם התופעה.
עיקרי התוצאות.
תוצאות מחקר זה מצביעות על שונות ברמת רגישות של זנים שונים לתופעת חטטי החום. שונות זו עשויה לנבוע מתכולת שונה של נוגדי החמצון בפרי בשלבי ההבשלה השונים. העשרת מי ההשקיה במנגן שניתן כקורטין מנגן גרמה לעליה בתכולת המנגן בפרי ובעלים. תוספת המנגן גרמה לצמצום מובהק של תופעת חטטי החום בעיקר בזנים בעלי סבילות כלשהי לתופעה. השפעת משך החשיפה לטמפרטורות גבוהות על רמת הנגיעות בחטטי חום הראתה שפרי שנחשף לכששבעיים לטמפרטורת של 35/26 מ"צ לילה/יום יראה נגיעות בחטטים, נגיעות זו הולכת וגוברת עם עליה במשך החשיפה לטמפרטורת גבוהות. לטמפרטורת הלילה השפעה דרמטית על עוצמת הנזק, ככל שטמפרטורת הלילה נמוכה יותר רמת הנזק פוחתת בצורה לינארית. הזנים השונים הגיבו שונה לתוספת מנגן בעונות הגידול השונות בגילת, דבר המצביע על אינטרקציה חזקה עם תנאי הסביבה. שימוש בצביעות שונות ובחינה באמצעות מיקרוסקופ מצביעה שהנזק מתרחש בציפת הפרי מתחת לקליפה והינו תוצאה של נזקי חימצון בתאים אלו, עליה בחמצן הפעיל מתרחשת כנראה בפרוקסיזומים (אנחנו עדין בודקים זאת) וגורת לתהליכי תמותת תאים בהם אפשר לראות שינו בסידור הכרומופלסטים ושינויים שונים. גידול בכיכר סדום בשתי עונות לא נמצא השפעה של מתן מנגן במי ההשקיה על רמת הנגיעות בחטטי חום, חוסר תגובה זו יכול לנבוע מההבדלים במועד ושלב התפתחות הצמח, הופעת חטטים בכיכר סדום מתרחשת בסוף העונה כאשר הצמחים בוגרים. בנוסף יכול להיות שהרכב המים השונה משפיע על יעילות המנגן. תוצאות האחסון וחיי המדף מצביעות שתופעת החטטים מחמירה לאחר האחסון ומהלך סימולציה של משלוח התוצרת במשלוח ימי. השפעה זו נראית בעיקר בתחילת העונה. עם התקדמות העונה לקראת הסתיו, חומרת החטטים פוחתת. גידול תחת רשת עם תוספת מנגן הפחיתה את הרגישות לנזקי חום, אך לא בגידול תחת פלסטיק. גם במקרה זה איכות הפלפל הושפעה מהרקע הגנטי ורגישות הזן לחטטי חום.
מסקנות מדעיות והשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח?
ניתן על ידי שימוש בזנים בעלי רגישות נמוכה לנזקי חום לצמצם את רמת הנגיעות בחטטי חום ועל ידי כך לשפר את איכות המוצר ואת אורך חיי המדף שלו, גידול פלפל בתנאים חמים גרם לעליה בתכולת החומרים נוגדי החימצון דבר שיכול אולי לשמש ככלי לשיפור התוצרת ו/או ככלי להבנת מנגנונים בתחום של פיזיולוגיה של גידולי ירקות בתנאי עקה. יש להימנע משימוש בזנים רגישים באזורים ו/או תקופות גידול רגישים לחטטים.
בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך
הבנת האופן בו אם בכלל המנגן משפיע על תגובת הצמח לנזקי החום, הבנת המנגנונים הביוכימיים והאנזימטיים המקנים עמידות/סבילות לזנים עמידים. מחקר נוסף דרוש גם על מנת לבחון אם אפשר לצמצם את התגברות התופעה במהלך האחסון והמשלוח.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי;
Yasuor, H., Firer, M. and Beit-Yannai, E. (2015). Protective structures and manganese amendments effects on antioxidant activity in pepper fruit. <i>Scientia Horticulturae</i> 185:211-218
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
<ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט) X
<חסוי – לא לפרסום: יש לצרף אישור ומידע ממוסד המחקר
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? *

*יש לענות על שאלה זו רק בדו"ח שנה ראשונה במחקר שאושר לשנתיים, או בדו"ח שנה שניה במחקר שאושר לשלוש שנים