

השפעת ריסוס תכשירי סידן במהלך הגידול על תכולת הסידן בפרי, איכות הפרי, נגיעות בבוטריטיס וחיי המדף של פלפל בבקעת הירדן

תמר אלון, דויד סילברמן, שמשון עומר - שה"מ
זיוה גלעד, זיו קליינמן - מו"פ בקעת הירדן, תחנת צבי
כרמית זיו, פביולה יודלביץ, אלי פליק, שרון אלקלעי-טוביה, דני צ'לופוביץ - המחלקה לחקר תוצרת חקלאית, מכון וולקני, ראשון לציון.

תקציר

מחלת העובש האפור בפלפל הנגרמת ע"י הפטריה *Botrytis cinerea* גורמות לנזק רב בגידול פלפל חורפי בבקעת הירדן. למרות שהאילוח בנבגי הפטריה מתרחש במהלך הגידול, לעיתים לא ניתן לראות סימנים או סמפטומים בשטח והם מתפתחים רק במהלך האחסון והמשלוח לחו"ל וגורמים לנזק משמעותי.

עבודות שנעשו בשנים האחרונות הצביעו על כך שמתן יסודות מיקרו/מאקרו אלמנטים כדוגמת סידן בריסוס עלויות מורידות את הנגיעות במחלה ומפחיתות את חומרתה בשדה. כמו כן, לסידן השפעה ניכרת על מבנה דופן הצמח וממשק הסידן ידוע כמשפיע על הבשלת פירות. בעונה 2017/18 מצאנו כי ריסוס עלויות של סידן בכילאט (Chelal Omnical, BMS Micro-Nutrients) הגביר את ריכוז הסידן בציפת הפרי ובהתאמה את עמידות הפרי לבוטריטיס. השפעת הסידן הייתה מובהקת בתחילת העונה, אולם בהמשך תקופת הגידול לא נמצאה השפעה, עקב ירידה ביעילות קליטת הסידן מהריסוס העלויות. התוצאות שהתקבלו מצביעות על פוטנציאל של ריסוס סידן עלויותיים כחלק מפרוטוקול טיפול במחלת הבוטריטיס במהלך גידול הפלפל בבקעת הירדן, תוך הפחתת השימוש בחומרי הדברה. אולם ישנן עדיין הרבה שאלות פתוחות ביחס לאופן הפעולה של הסידן וכיצד ניתן להגביר את יעילותו עם התקדמות העונה. על כן מטרת הניסוי בעונה הנוכחית היתה בדיקת מספר תכשירי סידן שניתנו בריסוס עלויותי במהלך גידול פלפל בבקעת הירדן על תכולת הסידן בפרי, איכות הפרי, נגיעות, ורגישותו לבוטריטיס במהלך אחסון / הובלה ימית. התוצאות שהתקבלו מצביעות על כך שהטיפול הזה עדיין אינו ישים כיוון שחסרה הבנה בסיסית לגבי מנגנון קליטת הסידן לפרי, ועל כן נדרש מחקר נוסף.

מחלת העובש האפור בפלפל הנגרמת ע"י הפטריה *Botrytis cinerea* גורמות לנזק רב בגידול פלפל חורפי בבקעת הירדן. הפגיעה ניכרת גם בשטחי הגידול וגם בפרי המשווק. נבגי הפטריה מופצים באויר ומוסעים ע"י רוח או מים. בתנאי חום ולחות מתאימים הנבגים נובטים על העלים ו/או הפרי וגורמים לרקבון המלווה בתפטיר והנבגה של הפטריה (Romanazzi & Feliziani, 2014). למרות שהאילוח בנבגי הפטריה מתרחש במהלך הגידול, לעיתים לא ניתן לראות סימנים או סמפטומים בשטח והם מתפתחים רק במהלך האחסון והמשלוח לחו"ל וגורמים לנזק רב. הפרוטוקול המקובל היום למניעת נגיעות בפטריה כולל אוורור שטחי הגידול וריסוס השיח בפונגיצידיים שונים אחת ל-10 ימים. טיפול זה הוא יקר – הן בחומרים והן בשעות עבודה, ואינו פותר את הבעיה באופן מספק.

תוספת יסודות הזנה מקרו/מיקרו שונים מגבירים את יכולת הצמח להתמודד עם מחלות נוף ומשפיעים על רגישות צמחים לגורמי מחלה כדוגמת בוטריטיס (Yermiyahu et al., 2015). במהלך השנים נערכו מספר רב של עבודות שהראו קשר בין הגברת רמת הסידן בצמח לבין היכולת של הצמח להתמודד עם מחלות נוף שונות (Elad et al., 2007). בדר"כ ניתן הטיפוליים ע"י הגברת הדישון הסידני (הדשייה), אולם ריסוס עלוותי של סידן נמצא כיעיל יותר. יישום העלוותי של סידן הוא בעל יתרון ברור היות והוא מכסה את כל נוף הצמח ואינו תלוי בהובלת היסודות בצמח. כמו כן ניתן ליישמו יחד עם טיפולי הגנת צומח אחרים. כך נמצא שתוספת סידן של 0.1 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ g/ml בדישון לפני אילוח בפיטריה הביא לירידה חלקית אך מובהקת בחומרת מחלת הבוטריטיס בליזיאנטוס, בעוד שמתן סידן לאחר האילוח לא השפיע כלל. לעומת זאת סידן שניתן בריסוס עלוותי הביא לירידה ברמת הנגיעות כאשר יושם לפני או אחרי האילוח (Shpialter et al., 2009). כמו כן החדרת סידן כלורי לתפוחים לפני אחסונם נמצאה כיעילה בהפחתת ריקבונות במהלך האחסון (Conway & Sams, 1984; Conway et al., 1991). סידן ידוע כבעל תפקיד חשוב בהולכת הסינגל בתאי צמחים, בנוסף להיותו מרכיב קריטי בדופן התא המבקר את משק המים והפרשת החומרים מפני השטח. לאחרונה נאסף גם מידע משמעותי לגבי תפקיד הסידן בהגברת עמידות הצמח לפתוגנים (Vatsa-Portugal et al., 2017) ובבקרת הבשלת הפירות (Hocking et al., 2016). לסידן יש השפעה ישירה גם על הפיזיולוגיה של הפתוגן *Botrytis cinerea*. סידן מעכב נביטה של נבגי הבוטריטיס וכן את צימוח התפטיר של הפטריה. בנוסף נמצא שסידן משפיע על הפרשת אנזימים מפרקי דופן ע"י הפטריה מעכב את פעילות האנזמים הפקטינוליטיים שהפטריה מפרישה על מנת לפרק את דופן התא הצמחי (Sasanuma & Suzuki, 2016; Wisniewski et al., 1995).

למרות הידע שהצטבר על חשיבות הסידן לבריאות הצמח, קיים פער בהבנה לגבי השפעת ריסוס סידן במהלך הגידול על איכות פרי הפלפל ועמידותו בפני פתוגניים לאחר הקטיף ובמהלך האחסון. בעבודה הקדמית שבוצעה בעונת הגידול 2017-2018 ע"י צוות המחקר במו"פ בקעת הירדן נמצא כי ריסוס עלוותי של סידן בתכשיר (CaO) Chelal Omnical, BMS Micro-Nutrients NV (כילאט של DTPA) הכפיל את רמת הסידן בציפת הפרי, אך לא בקליפה. בהתאם נמצאה עלייה בעמידות הפרי המטופל בתכשיר הסידן להדבקה בבוטריטיס, בדומה לפרי שטופל בהדברה כימית משקית. בנוסף, הפרי המטופל בכילאט הסידן איבד פחות ממשקלו במהלך האחסון. אולם יש לציין כי אפקטיביות הטיפול דעכה במהלך העונה ולמעשה אפקט ריסוס התכשיר היה מובהק רק

בפירות שנקטפו בחודשים דצמבר-פברואר. ריכוז הסידן בפירות מטיפול כילאט הסידן יום לפני ריסוס ויום אחרי הריסוס, בפירות מקטיף באפריל, לא היה שונה – דבר שעשוי להצביע על ירידה באפקטיביות הריסוס להעלאת כמות הסידן בפרי ככול שהעונה מתקדמת. לסיכום, הניסוי ההקדמי הראה כי ניתן להגביר תכולת סידן בפירות פלפל ע"י ריסוס עלוותי בפורמולציית סידן השונה מסידן מינרלי / כלורי. הגברת ריכוז הסידן בציפת הפרי היתה בקורלציה עם ירידה באיבוד משקל הפרי באחסון וירידה ברגישות לרקבונות הניגרמים מבוטריטיס. אולם הבעיה המרכזית שעלתה מהניסוי היתה ירידה ביעילות קליטת הסידן מהתכשיר שיושם בריסוס העלוותי עם התקדמות העונה, כנראה עקב הגדלת שטח הנוף ו/או עלייה בלחות.

על מנת לבחון את פוטנציאל הריסוס בתכשירי סידן כאמצעי להתמודדות עם מחלת העובש האפור בפלפל באחסון הרחבנו את הניסוי כך שיכלול מספר תכשירי סידן (בפורמולציות שונות) וכן בחנו שני זני פלפל: אדום (אפעה) וצהוב (שיר).

מטרות עבודה

בחינת השפעת ריסוסי עלווה עם תכשירים שונים של סידן בצמחי פלפל מזנים שונים על איכות הפרי, חיי המדף שלו ונגיעות הפרי בבוטריטיס באחסון.

מהלך המחקר ושיטות עבודה

מבנה הניסוי

השתילה התבצעה בתחנת הניסיונות צבי (מו"פ בקעת הירדן) בתאריך 7/8/18. שתי מנהרות עבירות כוסו ברשת נגד חרקים 50 מש כבית רשת אחד (שטח כולל 1 דונם) להגברת הלחות (איור 1). בניסוי נבחנו שני זני פלפל: זן אדום (אפעה) וזן צהוב (שיר) אשר נשתלו בשתילת "שורה כפולה" (איור 1). אורך כל ערוגה היה 40 מ'. החל מחודש נובמבר הופעלה מידי לילה מערכת מתזים/מערפלים להגברת לחות. במהלך הגידול התבצע טיפול משקי כנגד מזיקים וקמחונית.



איור 1: מבנה הניסוי – שתי מנהרות עבירות מכוסות רשת 50 מש. שתילה ב"שורה כפולה". הניסוי בחן 5 טיפולים (טבלה 1). כל טיפול ניבדק בחמש חזרות. כל חלקת טיפול היתה באורך 10 מ' (5 מ' אפעה, ו-5 מ' שיר). בין ערוגות הטיפולים נשתלה ערוגת רווח למנוע רחף של הריסוסים. תחילת יישום הטיפולים ב-14/11/18. אחת ל-10 ימים טיפול אחרון ב-4/4/19. סיום קטיפים ב-14/4/19.

- הפרי נישטף במי ברז (כמנהג החקלאים) ואוחסן ב- 7 מ"צ למשך 14 ימים. לאחר זמן האחסון הפירות הועברו לחיי מדף למשך 3 ימים נוספים ב-20 מ"צ (הדמיה של המצב בזמן שיוק). בתום תקופת האחסנה וחיי המדף נבחנו מדדי האיכות הבאים:
- איבוד משקל** נבדק ל-4 עד 6 פירות מארגו (12 פירות לטיפול).
 - מוצקות וגמישות** נמדדו בעזרת מכשיר "מד-לחץ" ל-4 עד 6 פירות מארגו (12 פירות לטיפול).
 - ריקבון** נבחן ויזואלית לכל הפירות.
 - תכולת כלל מוצקים מומסים** (כמ"מ, TSS) נבדקה ל-4 עד 6 פירות מארגו (12 פירות לטיפול) באמצעות מכשיר רפרקטומטר דיגיטלי.
- לכל טיפול נבדקו 2-3 קרטונים עם פרי באיכות ייצוא.

בדיקת רגישות לבוטריטיס בהדבקה מכוונת

פירות מקטיפ אחד בכל חודש הודבקו בצורה מכוונת עם הפטריה בוטריטיס לאחר הקטיפ. 12-15 פירות מכל טיפול נשטפו במים פושרים וסבון ואולחו ע"י ריסוס תרחיף נבגים של הפטריה (תרחיף נבגים טרי מתרבית בת 10-15 יום, בריכוז 10^6 נבגים למ"ל בתוספת KH_2PO_4 50mM ו-2.5% גלוקוז). הביקורת היתה מים בתוספת KH_2PO_4 וגלוקוז אך ללא נבגים. הפירות המאולחים אוחסנו בתא לח בטמפ' של 22 מ"צ עם מחזורי תאורה של 16 שעות למשך כשבוע, בלחות של 95%. התפתחות הרקבון נבדקה מדי יום ונמדדה כעבור 4-6 ימים מההדבקה.

ניתוח סטטיסטי

התוצאות נותחו במבחן Student's tTest ברמת מובהקות של 5% בתוכנת JMP. ערכים עם אותיות זהות אינם נבדלים אחד מהשני באופן מובהק.

תוצאות

השפעת טיפולי הסידן כיסוד הזנה על היבול

במהלך העונה בוצעו 13 קטיפים החל מ-4/11/18 עד 14/4/19. מהזן אפעה נקטפו 9.5 ק"ג/מ"ר ומהזן שיר נקטפו 9.8 ק"ג/מ"ר. לטיפול הסידן לא הייתה כלל השפעה על סה"כ היבול. משקל פרי ממוצע היה כ-217 גר' עבור פירות מזן אפעה וכ-200 גר' עבור פירות מזן שיר. טיפולי הסידן לא השפיעו על משקל הפרי באופן מובהק.

קליטת סידן לפרי

בדיקת סידן לפירות בוצעה בשני מועדים: בקטיפ ראשון בדצמבר ובקטיפ האחרון בינואר. התוצאות מוצגות בטבלה 2. בפירות משני הזנים לא נמצאה השפעה מובהקת של מועד הדיגום על התוצאות ולכן שני המועדים אוחדו. לא נמצא הבדל מובהק בתכולת הסידן בפרי בין הטיפולים השונים אולם כן נמצאה

תכולת סידן גבוהה בקליפת הפרי לעומת הציפה, תוצאה התואמת את תוצאות שנה שעברה. תכולת הסידן בציפת הפרי בזן שיר היתה גבוהה לעומת זן אפעה, אולם ההבדל אינו מובהק.

טבלה 2: תכולת הסידן בפרי

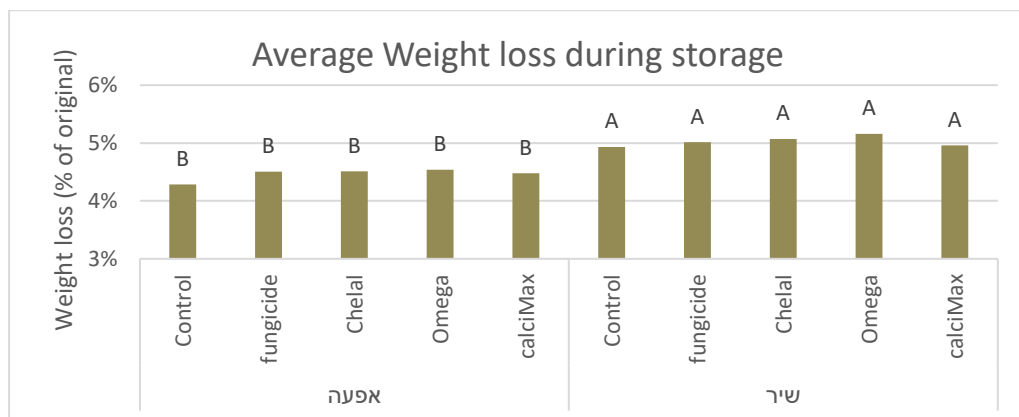
זן פלפל צהוב - שיר		זן פלפל אדום - אפעה		טיפול
% סידן בקליפה	% סידן בציפה	% סידן בקליפה	% סידן בציפה	
0.120±0.012	0.104±0.017	0.112±0.020	0.061±0.015	ביקורת
0.107±0.012	0.066±0.017	0.163±0.019	0.086±0.014	הדברה כימית
0.106±0.012	0.050±0.017	0.116±0.019	0.066±0.014	Chelal Omnical
0.110±0.012	0.064±0.018	0.102±0.020	0.068±0.015	Omega Calcium
0.119±0.012	0.079±0.017	0.116±0.020	0.071±0.014	CalciMax

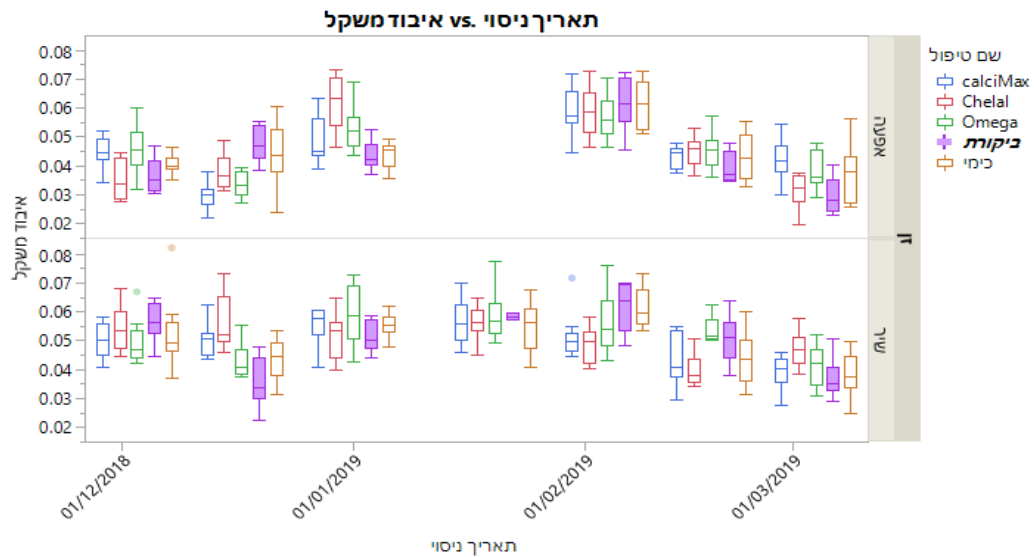
* אין הבדל מובהק בין הדוגמאות.

מדדי איכות בתום האחסון

איבוד משקל

פרי הפלפל מאבד ממשקלו במהלך האחסון עקב איבוד מים ותהליכי נשימה. איבוד המשקל הממוצע היה בין 4-5% ממשקל הפרי המקורי לאחר הקטיף (איור 2 גרף עליון). לא היתה השפעה של הטיפולים על מדד זה אולם פירות הזן שיר איבדו משקל רב יותר במהלך האחסון לעומת פירות של טיפול מזן אפעה. כן נמצא הבדל באיבוד המשקל בין מועדי הקטיף השונים (איור 2 גרף תחתון), אולם בכל אחד מהקטיפים לא נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים לביקורת.

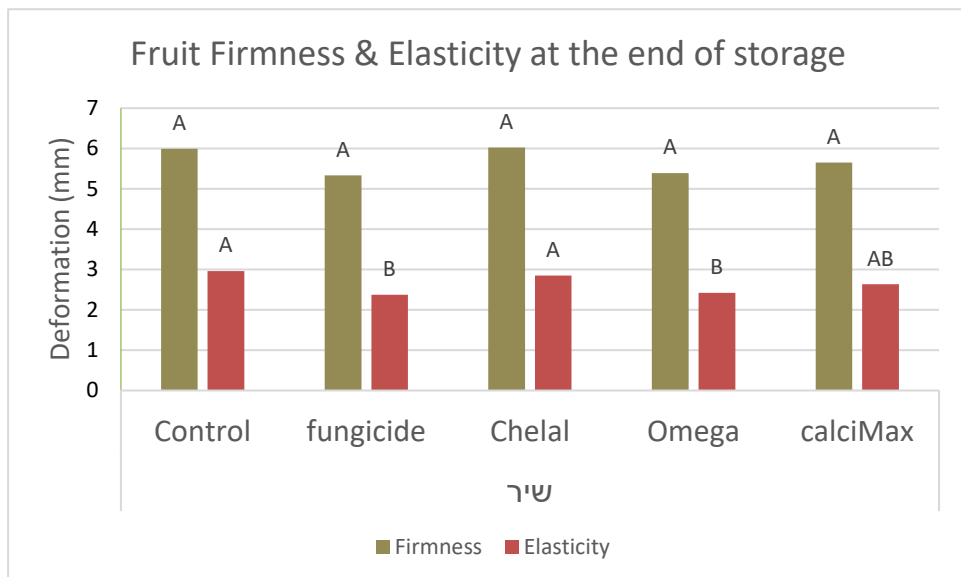
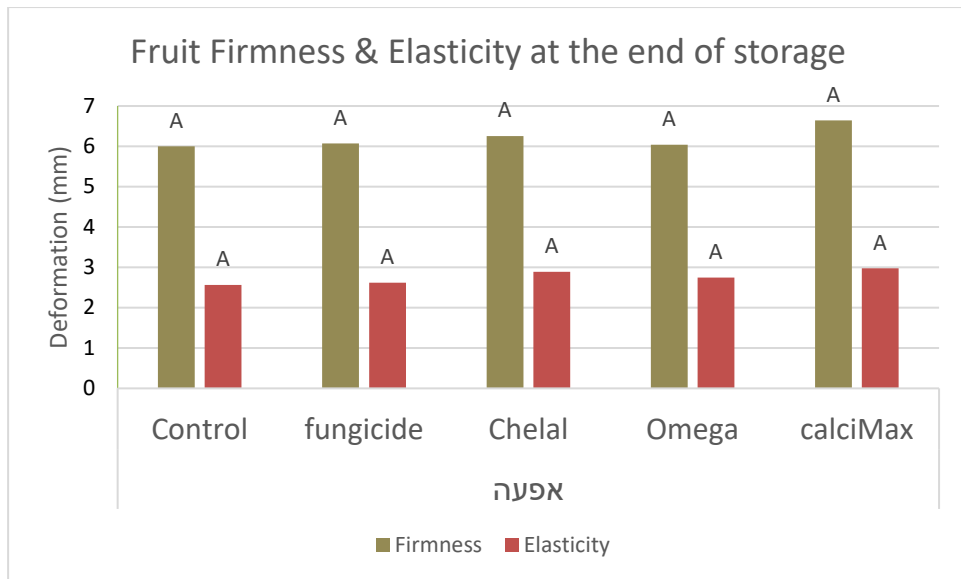




איור 2: איבוד משקל ממוצע של פרי בתום האחסון. גרף עליון: ממוצע לטיפול בזנים השונים. גרף תחתון: התפלגות איבוד המשקל בין הקטיפים / טיפולים / זנים.

מוצקות וגמישות הפרי

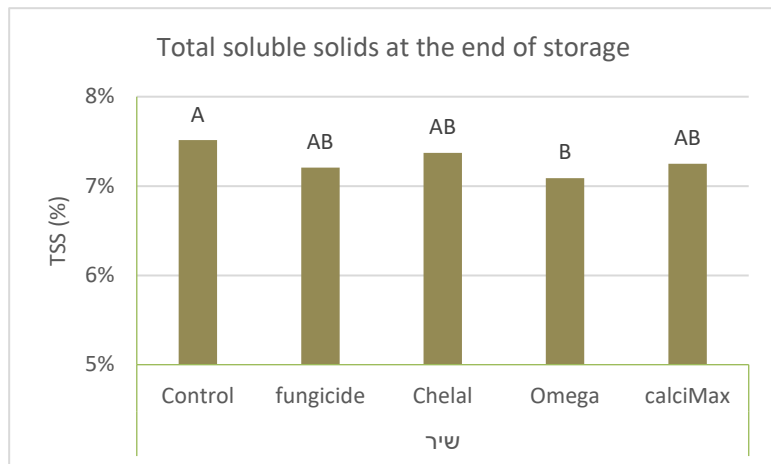
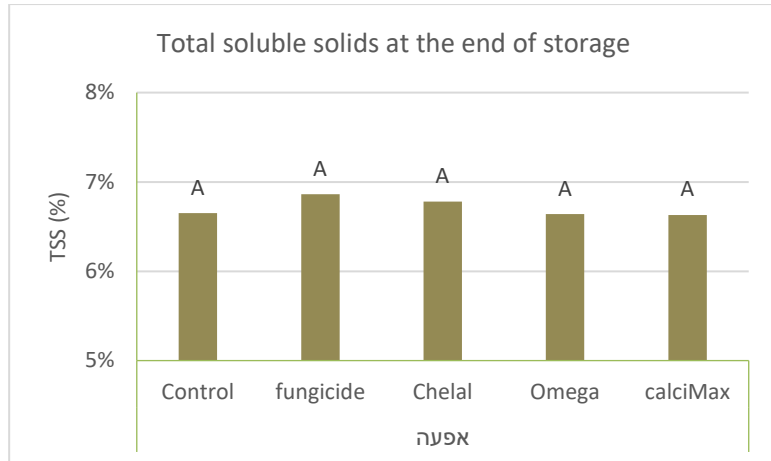
מוצקות וגמישות נמדדות ע"י הפעלת כח על הפרי ומדידת מידת הדפורמציה שחלה בפרי. ככול שמידת הדפורמציה נמוכה יותר הפרי מוצק יותר. מוצקות וגמישות פירות פלפל מזן אפעה, כפי שנמדדה בתום האחסון, לא הושפעו באופן מובהק ע"י הטיפולים השונים, כך גם מוצקות הפירות מזן שיר (איור 3). מאידך טיפול ההדברה הכימית ותכשיר האומגה הגבירו את מידת האלסטיות של פירות מזן שיר.



איור 3: מוצקות וגמישות ממוצעת של פירות מזן אפעה (גרף עליון) ומזן שיר (גרף תחתון) בתום האחסון.

תכולת כלל מוצקים מומסים (כמ"מ, TSS)

תכולת כמ"מ של פירות מזן שיר גבוהה באופן מובהק מפירות הזן אפעה. בזן אפעה לא היה הבדל מובהק בין הטיפולים (איור 4, גרף עליון), לעומת זאת בזן שיר – הטיפול באומגה הביא לירידה מובהקת בכמ"מ הפרי (איור 4, גרף תחתון).



איור 4: כמ"מ ממוצע של של פירות מזן אפעה (גרף עליון) ומזן שיר (גרף תחתון) בתום האחסון. **ריקבון פרי**

בממוצע עונתי, שעור רקבון הפרי באחסון היה גבוה באופן משמעותי בפרי מזן שיר לעומת פרי מהזן אפעה (23% אל מול 12% בהתאמה). בתחילת העונה שעור רקבון הפרי בתום האחסון היה גבוה אולם בהמשך העונה הפך לבעיה שולית (טבלה 3). הטיפול הכימי הקטין באופן משמעותי את שעורי הרקבון בתום האחסון, מאידך טיפולי הסידן כלל לא השפיעו על פרמטר זה ולא נבדלו מהביקורת.

טבלה 3: אחוזי רקבון בפרי מאוחסן לפי זן, טיפול ומועד קטיף

04/03/2019	18/02/2019	04/02/2019	20/01/2019	01/01/2019	17/12/2018	03/12/2018	טיפול	זן
4%	5%	4%		59%	12%	3%	ביקורת	אפעה
2%	4%	3%		32%	10%	7%	כימי	אפעה
2%	9%	7%		46%	3%	4%	Chelal	אפעה
3%	14%	0%		50%	0%	5%	Omega	אפעה
3%	7%	4%		50%	0%	0%	calciMax	אפעה
12%	25%	10%	7%	77%	26%	22%	ביקורת	שיר
8%	5%	10%	5%	42%	19%	7%	כימי	שיר
13%	6%	11%	11%	71%	19%	19%	Chelal	שיר
14%	15%	17%	12%	75%	24%	25%	Omega	שיר
7%	11%	20%	12%	73%	38%	23%	calciMax	שיר

מבחני הדבקה מכוונת

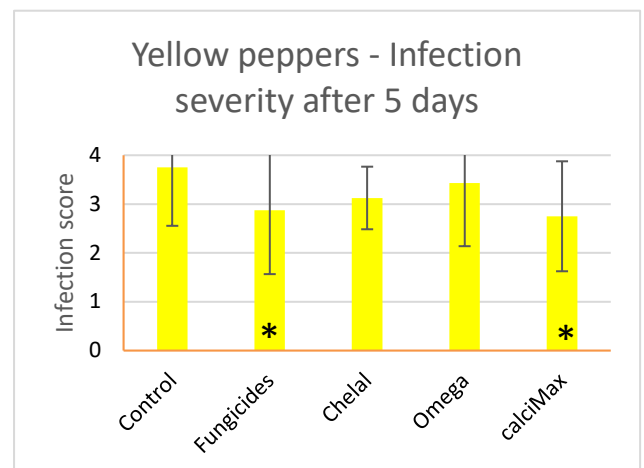
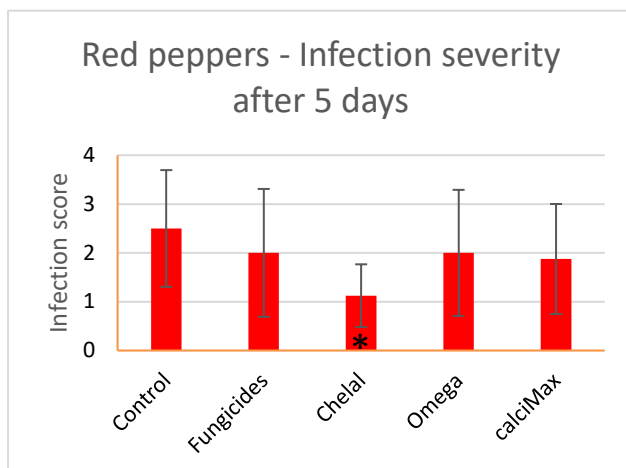
פירות בריאים אולחו בתרחיף נבגי בוטריטיס והודגרו בתא לח (22 מ"צ) למשך 5 ימים. בתום תקופת ההדגרה הפירות נבדקו למדד הנגיעות בפטריה. 0 – אין נגיעות, 1- עד 10% משטח הפרי נגוע, 2- עד 30% משטח הפרי נגוע, 3- עד 50% משטח הפרי נגוע ו-4 נגיעות מעל ל 50% מהשטח. עבור כל שילוב של זן/טיפול נבדקו 9-12 פירות. פירות מהקטיף הראשון הראו הבדל מובהק בין הטיפולים ברגישותם להדבקה מכוונת של בוטריטיס (איור 6)



Control

Chelal

CalciMax



איור 6: נגיעות בבוטריטיס בעיקבות אילוח מכוון של הפירות בנבגי בוטריטיס. * מסמנת הבדל מובהק ביחס לביקורת $p < 0.05$.

בהמשך העונה, כל הטיפולים פרט להדברה הכימית לא נבדלו בכושרם להגביר את עמידות הפרי למחלת העובד האפור.

דיון ומסקנות

בניסוי הנוכחי נבחנה השפעת טיפולי סידן בריסוס על איכות פרי פלפל משני זנים (אפעה ושיר), עם דגש על רגישות הפרי למחלת העובש האפור הנגרמת ע"י בוטריטיס. בעוד שניסוי קודם (בשנה שעברה) הדגים כי ניתן להגביר תכולת סידן בפירות פלפל ע"י ריסוס עלוותי בפורמולציית סידן השונה מסידן מינרלי / כלורי, כל הפורמולציות שנבדקו השנה (כולל זו שהוכיחה עצמה בשנה שעברה) לא הצליחו להעלות את ריכוז הסידן בפרי ובנוסף לא השפיעו על איכות הפרי וכושר אחסונו. העובדה כי לא הצלחנו להשפיע על ריכוז הסידן בפרי, למרות היישום המוגבר של התכשירים השונים, מעידה כי קיים פער ידע ביחס לתנועת סידן בפרי, הן כאשר הוא מיושם בהדשיה (כסידן מינרלי) והן כאשר הוא מיושם בפורמולציות אחרות. בניסוי שבוצע שנה שעברה הגברת ריכוז הסידן בציפת הפרי היתה בקורלציה עם ירידה באיבוד משקל הפרי באחסון וירידה ברגישות לרקבונות הניגרמים מבוטריטיס. אנו מעריכים כי קיים פוטנציאל לריסוס סידני אשר יתרום להגברת איכות פרי הפלפל ועמידותו לבוטריטיס, אולם נדרש מחקר נוסף.

תודות

ברצוני להודות לפרופ' יגאל אלעד מהמחלקה למחלות צמחים ולדרי' אורי ירמיהו ודרי' רן אראל מהמחלקה לקרקע ומים במינהל המחקר החקלאי על הליווי המקצועי של המחקר.

רשימת ספרות

- Conway, W., & Sams, C. (1984). Possible mechanisms by which postharvest calcium treatment reduces decay in apples. *Phytopathology*, 74(2), 208-210 .
- Conway, W., Sams, C., Abbott, J., & Bruton, B. (1991). Postharvest calcium treatment of apple fruit to provide broad-spectrum protection against postharvest pathogens. *Plant Dis*, 75(6), 620-622 .
- Elad, Y., Williamson, B., Tudzynski, P., & Delen, n. (2007). *Botrytis: Biology, Pathology and Control*: Springer.
- Hocking, B., Tyerman, S. D., Burton, R. A., & Gilliam, M. (2016). Fruit Calcium: Transport and Physiology. *Frontiers in Plant Science*, 7(569). doi:10.3389/fpls.2016.00569
- Romanazzi, G., & Feliziani, E. (2014). *Botrytis cinerea* (Gray mold). In Bautista-Banos S (Ed.), *Postharvest decay. Control Strategies* (pp. 383). UK: Elsevier.
- Sasanuma, I., & Suzuki, T. (2016). Effect of calcium on cell-wall degrading enzymes of *Botrytis cinerea*. *Biosci Biotechnol Biochem*, 80(9), 1730-1736. doi:10.1080/09168451.2016.1146064
- Shpialter, L., David, D. R., Dori, I., Yermiah, U., Pivonia, S., Levite, R., & Elad, Y. (2009). Cultural methods and environmental conditions affecting gray mold and its management in lisianthus. *Phytopathology*, 99(5), 557-570. doi:10.1094/phyto-99-5-0557
- Vatsa-Portugal, P., Aziz, A., Rondeau, M., Villaume, S., Morjani, H., Clement, C., & Ait Barka, E. (2017). How *Streptomyces anulatus* Primes Grapevine Defenses to Cope with Gray

- Mold: A Study of the Early Responses of Cell Suspensions. *Front Plant Sci*, 8, 1043. doi:10.3389/fpls.2017.01043
- Wisniewski ,M., Droby, S., Chalutz, E., & Eilam, Y. (1995). Effects of Ca²⁺ and Mg²⁺ on *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum* in vitro and on the biocontrol activity of *Candida oleophila*. *Plant Pathol*, 44(6), 1016-1024. doi:10.1111/j.1365-3059.1995.tb02660.x
- Yermiyahu, U., Israeli, L., David, D. R., Faingold, I., & Elad, Y. (2015). Higher Potassium Concentration in Shoots Reduces Gray Mold in Sweet Basil. *Phytopathology*, 105(8), 1059-1068. doi:10.1094/phyto-09-14-0256-r