

נזקי קליפה שמקורם מהתפרקות עדשתיות בתפוחים מאוחסנים – אטיולוגיה ומניעה
The etiology and prevention of lenticels breakdown in stored apples
מוגש לקרן המדען ראשי במשרד החקלאות

חיה פרידמן- Haya Friedman - המחלקה לחקר תוצרת חקלאית לאחר הקטיף, מנהל המחקר החקלאי.
hayafr@volcani.agri.gov.il
דני גמרסני- Dan Gamarsni - מו"פ צפון, מי"גל, מעבדה לאחסון danny.gamrasni@gmail.com
בטינה קוכאנק- Betina Kochanek - המחלקה לחקר תוצרת חקלאית לאחר הקטיף, מנהל המחקר החקלאי.
רות בן אריה- Ruth ben Arie - מו"פ צפון, מי"גל, מעבדה לאחסון ruth.benarie@gmail.com
שול נשיץ- Shaul Naschitz - בית אריזה –בראשית shaul.fruitlab@gmail.com

א. תקציר

הצגת הבעיה: התפרקות עדשתיות במהלך האחסון גורמת להופעת שקעים חומים בעיקר על פני תפוחי "סטארקינג" ו"גאלה", אך בעיה זו אינה חוזרת על עצמה כל שנה. מטרות המחקר: ללמוד מהם הגורמים לפני הקטיף ובמהלך האחסון המגבירים את התופעה; להבין את תהליך התמוטטות העדשתיות בקליפה של תפוח מאוחסן; להעריך את הסיכוי להופעת פגעי העדשתיות בקליפה; להפחית את שיעורי הנזק. שיטות עבודה: בתום 4-5 חודשי אחסון באוויר רגיל בחנו את רמת שבירת העדשתיות בעיקר בשני זנים "סטארקינג" ו"גאלה", ובשנה האחרונה הרחבנו את הבדיקה לזנים נוספים. ביססנו את השיטה לגילוי עדשתיות פתוחות באמצעות SO₂, ובדקנו באמצעות מיקרוסקופ אלקטרוני ופלורסנטי את העדשתיות לפני ובמהלך האחסון. במטרה להשרות את הנזק ערכנו מגוון ניסויים לשינוי מאזן המים בפרי או להגברת ההתייבשות, ובשנתיים האחרונות התרכזנו בעיקר בהשפעת סידן על פתיחת העדשתיות, כיוון שנמצאה אינדיקציה לכך שטבילה בסידן גורמת לעליה באחוז העדשתיות הפתוחות, ובהתאמה להתפתחות נזק שבירת עדשתיות בזן "סטארקינג" ו"גאלה". תוצאות עיקריות: בדיקה באמצעות SO₂ אמינה לגילוי עדשתיות פתוחות, וקיים מתאם גבוה בין הפתיחה של העדשתיות בתחילת האחסון לבין התפרקותן לאחר האחסון. טיפול בסידן במטע ו/או לאחר קטיף הגביר את שבירת העדשתיות לאחר אחסון הן בשני הזנים המובילים והן בחמישה זנים נוספים. בשנות הניסוי הראשונות מצאנו שסידן הגביר את פתיחת העדשתיות מיד לאחר הקטיף, אך בשנה האחרונה התופעה לא חזרה, על אף שנמצאו נזקים בתום האחסון. יתכן והסיבה לכך היא שבשנים קודמות (2014, 2015) הטמפרטורה היתה גבוהה יותר מאשר בשנה האחרונה. להפתעתנו, טבילה בסידן לא תרמה במניעת גומה מרה בפרי המאוחסן, המטרה שלשמה נערך הריסוס או הטבילה בתכשירי הסידן. מסקנות והמלצות: יתכן והאפקט השלילי של סידן המתבטא בשקיעת עדשתיות בא על רקע של חשיפה לטמפרטורה גבוהה. יתכן וגם הריסוסים של סידן במטע במיוחד בימים חמים כפי שמצאנו ב 2015 גורמים להגברת נזקי עדשתיות. מצאנו שהסידן גורם להקטנת עובי הקוטיקולה ולעיתים גם לניתוקה מהפרי באיזור העדשתית, וכנראה בדרך זו להגברת התפרקותה. יש צורך לבחון אם תוספת הסידן במטע על ידי ריסוס, במיוחד בתנאי טמפרטורה גבוהה, מתאימה למטעים בישראל, בהם טמפרטורת האוויר עלולה להגיע ליותר מ 35 מ"צ.

מעריכים מומלצים לבדיקת הדו"ח

1. דר' סוזן לוריא
2. דר' נעם אלקן
3. פרופ' דב פרוסקי

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא
חתימת החוקר: _____ תאריך: 1 במאי 2017

1.	שם ההצעה	1
2.	מבוא	2
3.	פירוט עיקרי ניסויים	3
4.	דיון	7
5.	סיכום עם שאלות מנחות	10

ב. מבוא, רקע מדעי קצר ומטרות המחקר לתקופת הדו"ח:

נגע של מופע נקודות כהות זעירות ו/או שקעים חומים שטחיים, שאינם חודרים לציפת הפרי, ומקורם כנראה בהתפרקות עדשתיות במהלך האחסון, הולך ומתפשט בשנים האחרונות בתפוחים מאוחסנים. עליה בהופעת פגמי התפרקות העדשתיות בעיקר ב"סטארקינג" וב"גלה" בעשור האחרון מרמזת על שינוי בממשק הגידול ו/או בתנאים אקלימיים. הנגע הזה לא נראה עם הקטיפ, אלא רק לאחר אחסון וגורם הפסדים ניכרים לנוטעים, בכך שהוא מוריד את סיווג הפרי, ואף עלול לפסול אותו לשיווק. מטרות המחקר כפי שרשומות בתוכנית המחקר הן: 1. ללמוד מהם הגורמים במהלך האחסון המגבירים את התופעה; 2. להבין את תהליך התמוטטות העדשתיות בקליפה של תפוח מאוחסן; 3. ללמוד מהם הגורמים לפני הקטיפ המשפיעים על התופעה; 4. להעריך את הסיכוי להופעת פגעי העדשתיות בקליפה; 5. להפחית את שיעורי הנזק.

הנחת העבודה שלנו הייתה ששבירת עדשתיות נגרמת כתוצאה מתמוטת הרקמה באיזור העדשתיות. התמוטת עלולה להיגרם מעקת יובש כתוצאה מטמפרטורה גבוהה או לחות נמוכה במהלך הגידול. אך להפתעתנו, הממצאים שלנו בשנה הראשונה לא תמכו בהנחה זו; חשיפת תפוחים מזן "סטארקינג" (2013) לאחר הקטיפ לטמפרטורה של 40 מ"צ לזמנים קצרים (1, 2 ו-4 שעות) או הסרת הקוטיקולה באמצעות אצטון לא הגבירה את שבירת העדשתיות. (הקצנת התנאים ב- 2014: טמפרטורה יותר גבוהה או משכי חשיפה ארוכים יותר גרמה לנזקים לתפוח). כמו כן, השקיית חסר (2014) לא הגבירה את היווצרות העדשתיות, אך בתפוחים שנלקחו משולי העץ היו יותר עדשתיות פגועות בהשוואה לאלה שנלקחו מתוך העץ. לפיכך בתום שנת הניסוי הראשונה, האינדיקציה לכך שיובש הוא הגורם לשבירת העדשתיות היתה שולית ביותר (כי חשיפה לחום בשולי העץ יכולה לגרום גם לשינויים נוספים בפרי כמו גם בקוטיקטולה). לעומת זאת, טבילת התפוחים בסידן מיד לאחר הקטיפ הגבירה את התופעה של שבירת עדשתיות. בשתי שנות ניסוי מצאנו שטבילת תפוחי "סטארקינג" (שנתיים) ו"גאלה" (שנה אחת) בתמיסות סידן (קלציום כלוריד או קלציום ניטראט) מיד לאחר הקטיפ ובטרם האחסון, השרו נזקי שקיעת עדשתיות שהתפתחו במהלך האחסון. באמצעות שיטה שפיתחנו מצאנו שהסידן גרם לכך שיש יותר עדשתיות פתוחות בתחילת האחסון. השיטה מתבססת על חשיפה לאדי SO₂, הגורמים נזק לאיזורים החשופים לאוויר. הצענו שהשיטה של זיהוי העדשתיות הפתוחות יכולה לשמש ככלי להערכה של נזק העדשתיות העלול להתפתח לאחר אחסון (Singh et al 2016; PBT 121:165-170). כדי להבין את אופן הפעולה של הסידן ביצענו בדיקות באמצעות מיקרוסקופ פלורסנטי ו/או אלקטרוני סורק ומצאנו שהסידן גרם ל"שחיקה" של שטח הפנים של הקוטיקולה

ול"קריעה" שלה (Singh et al 2017, in preparation). אופן הפעולה של סידן עדיין לא ברור. ההשפעה השלילית של סידן נבחנה רק בשני זנים, ולכן בשנה האחרונה החלטנו לבחון את כלליות התופעה. נבחנה השפעת הטבילה על שבירת עדשתיות בשישה זני תפוח ובמקביל נבדקה השפעתה של הטבילה בתכשירי הסידן גם על גומה מרה (נזק אחסון נוסף).

ג. פירוט עיקרי הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו:

דו"ח זה מהווה המשך ישיר לשני הדו"חות שכבר פורסמו ולכן הניסויים והתוצאות מסוכמים בקצרה במבוא ובדין. לפרטים נוספים יש לעיין בדוחות קודמים. כדי לבחון את כלליות התופעה, הניסויים בעונה הנוכחית בוצעו על הזנים "זנתן", "סטארקינג", "אורליאנס", "זהוב", "פינק ליידי" ו"גרני סמית" (טבלה 1). הטיפולים שניתנו היו:

1. טבילה במים בלבד
2. טבילה בקלציום כלוריד $0.18M CaCl_2$
3. טבילה במלח אשלגן $0.18M KCl$
4. טבילה בקלציום ניטראט $0.18M CaNO_3$

1. השפעת טבילה בתכשירים השונים על שבירת עדשתיות בשישה זני תפוח

בשיא עונת הקטיפה או לאחריה נאספו מבית הקירור או מהמטע תפוחים מכל אחד מהזנים ל-12 תיבות פרי (כ-40-50 פירות לתיבה) (כמפורט בטבלה 1). בנוסף נדגמו 30 פירות נוספים להערכת מצב הבשלת הפרי בקטיפה. הפרי הועבר מיד למעבדה לאחסון וחולק ל-4 קבוצות בנות 3 תיבות (תיבה=חזרה) שנטבלו כמפורט לעיל. תיבות הפרי יובשו למשך לילה במהלך קירורן לכ- $0^{\circ}C$ ואוחסנו ללא עטיפה בתנאי אוויר אטמוספרי למשך כ-4 או 5 חודשים (טבלה 1). מצב ההבשלה הוערך ביום הקטיפה על פי בדיקת קשיות ב-3 חזרות בנות 10 פירות באמצעות מד קשיות (Fruit texture analyzer), ולאחר מכן פירות אלו נחצו, חתך הפרי נטבל בתמיסת יוד ומידת פירוק העמילן הוערכה אוטומטית בסקלה שבין 1-10 באמצעות מכשיר ה-Amilon (Isolcell).

בתום האחסון הוערכה איכותו של כל פרי, ופירות רקובים נרשמו ונזרקו. יתר הפגמים דורגו על פי סדר החשיבות הבא: נזקי עדשתיות, גומה מרה (תמונה 1), הבשלת יתר ונזקים אחרים. בכל פרי בו נמצא נזק של שקיעת עדשתיות דורגה חומרת הנזק על פי מספר העדשתיות הפגועות כלהלן: נקי- ללא כל פגם, קל-1-3; בינוני-4-10; קשה-11+. בדומה לכך, דורגו גם מקרי גומה מרה. חושב הערך המשוקלל של הנזקים של שבירת עדשתיות או גומה מרה בשילוב של חומרת הנזק (0-4) עם שעורי הפרי הפגוע (%) על פי הנוסחה הבאה:

$$Damage (weighted \%) = [\% light * 1 + \% medium * 2 + \% severe * 4] / 4$$

הפרי הועבר לחיי מדף ב- $20^{\circ}C$ עם לחות יחסית של כ-65% ולאחר שבוע נערך המיון לאיכות בשנית וב-10 פירות מכל חזרה נבדקה הקשיות.

ניתוח סטטיסטי- השפעת הטיפולים על הפרמטרים השונים נבדקה במבחני שונות חד-כיווניים ומבחני פוסט-הוק (Duncan). ההבדלים בין ההוצאה לבין חיי המדף נבדקו במבחני t.



תמונה 1: נזקי גומה מרה (תמונה מימין) החודרים לציפת הפרי ושקיעת עדשתיות (שמאל), המופיעים כנזק שטחי שאינו חודר לציפת הפרי.

מצב הבשלה בקטיף- התפוחים נבדלו במצב הבשלתם בקטיף בהסתמך בעיקר על רמת העמילן בפרי (טבלה 1). גם המדד של הקשיות יכול לרמז על דרגת ההבשלה אך, כנראה מדד זה תלוי גם בתכונות כל זן. תפוחי ה"גרני סמית", "פינק לידי" ו"סטארקינג" היו הקשים ביותר ביום הקטיף ואילו תפוחי הזן "יונתן" הרכים מכולם. בהתאמה, מדד פירוק העמילן היה המתקדם ביותר בתפוחי ה"יונתן" ובמידה הפחותה ביותר בתפוחי ה"סטארקינג" וה"גרני סמית". בתפוחי ה"פינק לידי" למרות שהעמילן פורק במידה רבה הקשיות היתה גבוהה. רמת עמילן נמוכה בזן זה נובעת כנראה מהמתנת המגדלים לקבלת צבע אדום בקליפה במידה מספקת.

טבלה 1: קשיות ופירוק העמילן עבור זני התפוח ביום הקטיף.

זן התפוחים	תאריך הקטיף	קשיות (לב"כ)	מידת פירוק העמילן (0-10)	משך האחסון (חודשים)
יונתן	27.8.16	14.5±0.3 C	8.5±0.3 A	5
סטארקינג	7.9.16	16.2±0.2 AB	4.4±0.4 D	5
אורליאנס	1.9.16	16±0.4 B	6.3±0.6 B	5
זהוב	7.9.16	15.8±0.2 B	6.4±0.2 B	5
פינק לידי	9.11.16	16.4±0.2 AB	8.8±0.2 A	4
גרני סמית	5.10.16	16.7±0.2 A	5.3±0.3 C	4

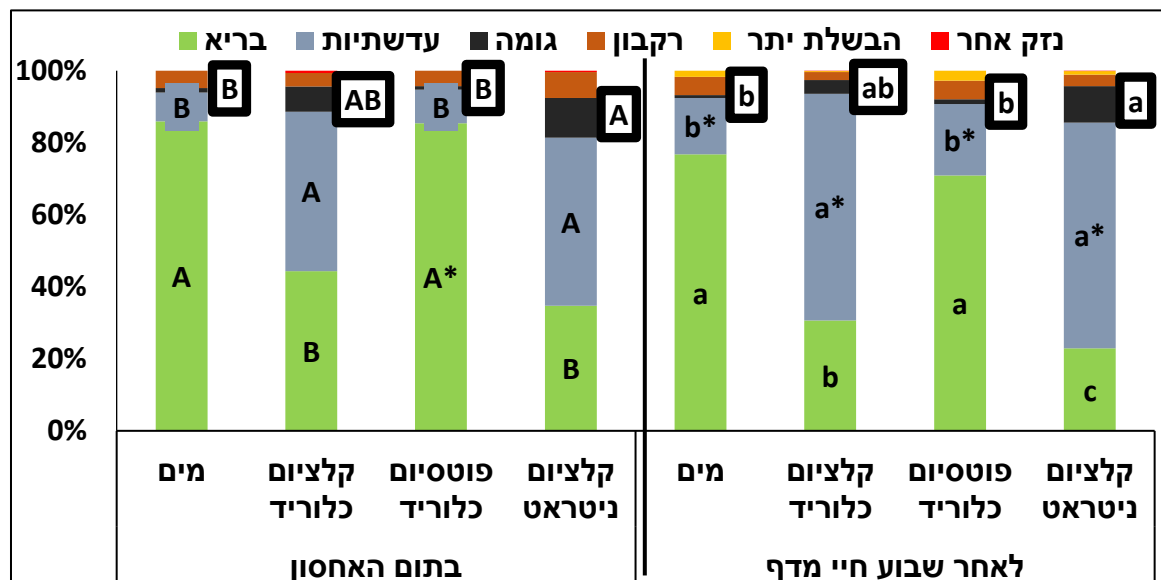
A-D- להבדל מובהק במדד הנבדק בין הזנים ($p < 0.05$).

התפלגות הפגמים בתום האחסון- בתום כ-4 או 5 חודשי אחסון, הפירות הוצאו מקירור ונבחנו איכותם החיצונית בדגש על נזקי קליפה. נערכו ממוצעים להתפלגות הנזקים של הזנים השונים מכיוון שהטיפולים השפיעו באופן דומה על איכות התפוחים השונים:

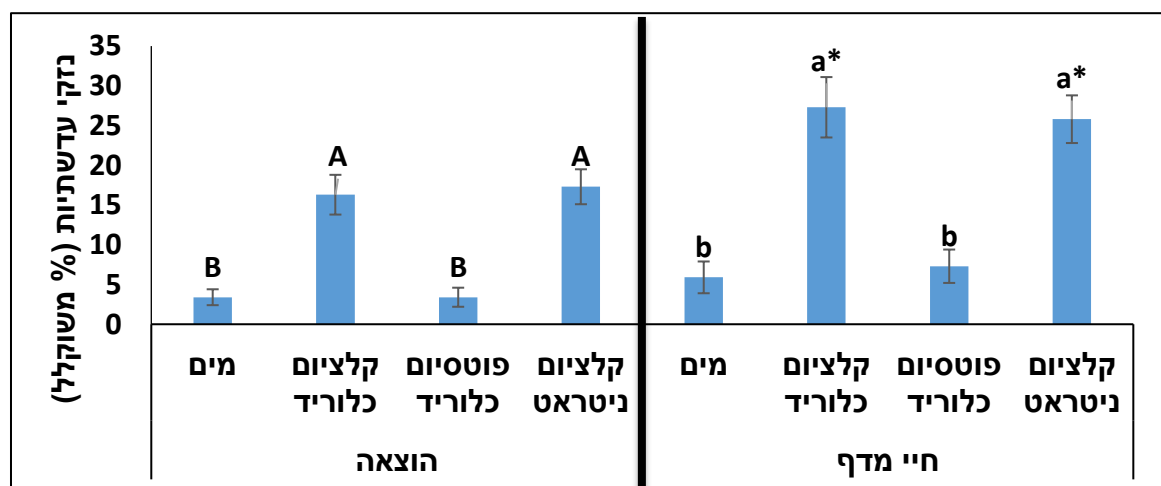
נזקי שקיעת עדשתיות- נמצאו בשיעורים הגבוהים ביותר בטיפולי הסידן (כלוריד או ניטראט) ובמידה פחותה במובהק בתפוחי הביקורת ובאלו שנטבלו בפוטסיום כלוריד (איור 1). נזק זה החמיר במובהק בחיי מדף בכל הטיפולים. פירוט הנזק בזנים השונים מתואר בטבלה 2.

גומה מרה- התפוחים שנטבלו בקלציום ניטראט סבלו מגומה במידה הרבה ביותר, ובמובהק מתפוחי הביקורת ומאלו שנטבלו באשלגן כלוריד, בעוד שבתפוחים שנטבלו בסידן כלוריד חומרת הגומה לא נבדלה מיתר הטיפולים (איור 1).

רקבונות, הבשלת יתר ונזקים אחרים- לא הושפעו מהטבילה ולא החמירו בחיי מדף (איור 1). לא הוצגו אותיות לסימון הקבוצות בנזקים האחרים כי ההבדלים לא היו משמעותיים).



איור 1: התפלגות פגמי האיכות של כלל זני התפוחים בהשפעת טיפולי טבילה שונים בתום האחסון ולאחר שבוע חיי מדף ב-20°C. a-c/A-B. להבדל מובהק בשיעור הפגם בהוצאה מאחסון או לאחר חיי מדף ($p < 0.05$). * לערך הגבוה עבור אותו הפגם מבין מועדי הבדיקה באותו הטיפול ($p < 0.05$). האותיות המופיעות במסגרת בכל אחד מהטיפולים מתייחסים לנזק גומה. הזנים השונים ששימשו לאנליזה הזו מופיעים בטבלה 2.



איור 2: אחוז נזקי עדשתיות משוקלל (ממוצע $\pm$ ש.ת.) בהשפעת טיפולי טבילה שונים טרם האחסון. התוצאות הם ממוצע של כל הזנים המופיעים בטבלה 2. נזקי העדשתיות נקבעו תום האחסון ולאחר שבוע חיי מדף ב-20°C. a-b/A-B. להבדל מובהק בשיעור הפגם בהוצאה מאחסון או לאחר חיי מדף ($p < 0.05$). * לערך הגבוה מבין מועדי הבדיקה באותו הטיפול ($p < 0.05$).

אחוזי שבירת עדשתיות (משוקלל) - משיקלול של חומרת הנזק ושיעורי הפרי הפגוע נמצא שבטיפול הסידן נמצאו שיעורי נזק גבוהים במובהק מהביקורת ומאשר בפרי שטופל בפוטסיום כלוריד (איור 2). רק בטיפול הסידן החמיר הנזק במובהק במהלך חיי מדף.

הבדלים ברגישות תפוחים מזנים שונים לשבירת עדשתיות - תפוחים מהזן "יונתן" היו הרגישים ביותר להתפתחות גומה גם ללא טיפול בסידן. תפוחי הזן הזהוב היו הרגישים ביותר לנזק בטבילה מתכשירי הסידן בהשפעת האחסון ובדומה להם גם תפוחי ה"סטרקינג" שנטבלו בקלציום ניטרט (טבלה 2). לאחר שבוע

בחיי מדף החמיר הנזק בתפוחים מכל הזנים ונשמרה המגמה לפיה אותם זנים היו הרגישים ביותר לנזק. ראוי לציין שבזני התפוחים "גרני סמית" ו"פינק ליידי" שיעורי הנזק היו פחותים יחסית ליתר הזנים (3.2% - בממוצע לעומת כ-13.5% בממוצע של כל הטיפולים – טבלה 2). בשנים קודמות בתפוחי "סטארקינג" וב"גאלה" הנזק הגיע אף ל 45% (טבלה 3).

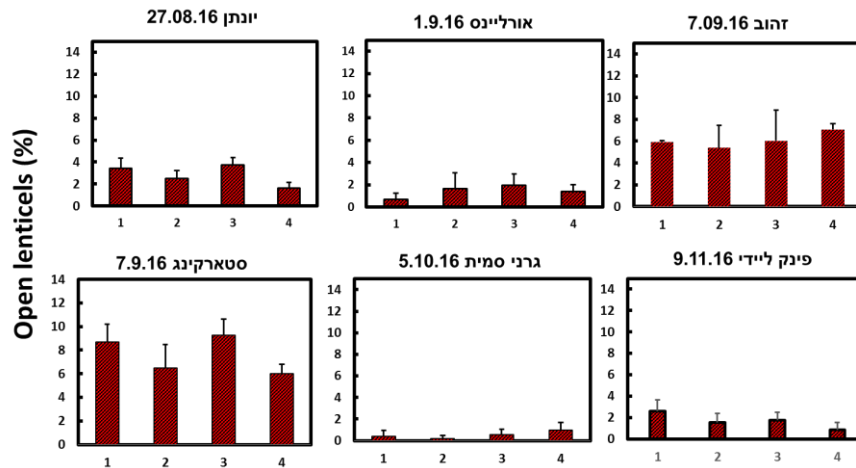
טבלה 2: אחוז שבירת עדשתיות (משוקלל) בזני התפוח בהשפעת טיפולי הטבילה בתום אחסון ולאחר חיי

+ שבוע חיי מדף ב-20°C				הוצאה מאחסון				זן
קלציום ניטרט	פוטסיום כלוריד	קלציום כלוריד	מים	קלציום ניטרט	פוטסיום כלוריד	קלציום כלוריד	מים	
30.6±1.8 b	24.6±4.4 a	34.3±2.4 b	22.2±6.5 a	15.6±2.2 b	14.1±2.8 a	20.7±1.8 b	12.4±1.7a	יונתן
38.5±2 a	2.7±0.6 b	38±0.7 ab	3.8±1.1 b	28.5±0.7 a	0.6±0.3 b	18.6±1.5 b	2.7±1.1 b	סטארקינג
19.3±4.3 c	2.7±1.3 b	30.9±4.9 b	4±1.1 b	17.5±0.4 b	1.3±0.2 b	16.9±4.9 b	2.1±0.6 b	אורליאנס
41.5±2.5 a	8.9±1.1 b	46.1±4.7 a	3.3±0.5 b	27.9±2.2 a	2.7±0.3 b	31.9±4.8 a	2.8±0.3 b	זהוב
16±0.8 cd	2.6±1 b	6.9±1.2 c	1.8±0.9 b	6.7±0.4 c	0.4±0.4 b	3.7±0.6 c	0.2±0.2 b	פינק ליידי
9±0.6 d	2.1±0.5 b	7.3±1 c	0.4±0.2 b	7.3±0.1 c	1.3±0.7 b	5.9±1.5 c	0.2±0.2 b	גרני סמית
25.8±3a	7.3±2.1b	27.3±3.8a	5.9±2b	17.3±2.2A	3.4±1.2B	16.3±2.5A	3.4±1B	כללי

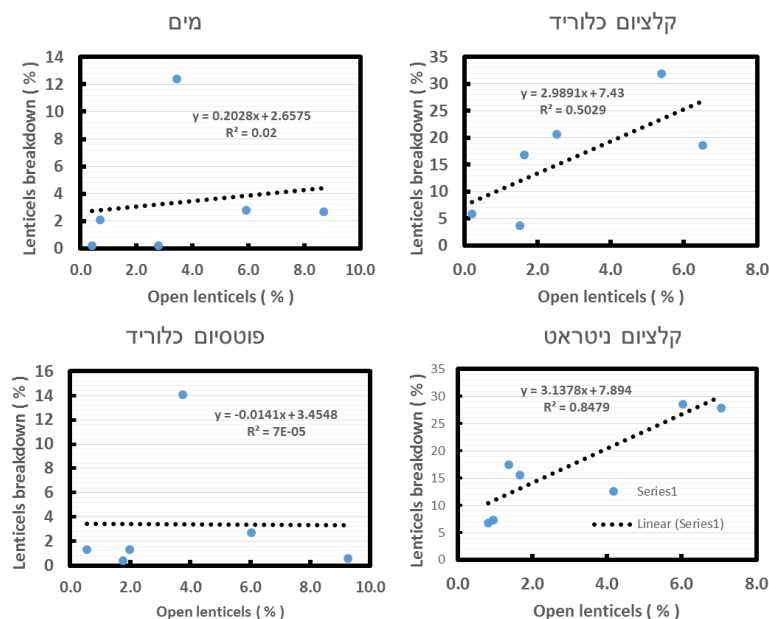
a-d- להבדל מובהק בשיעור הפגם בין הזנים בהוצאה מאחסון או לאחר חיי מדף ($p < 0.05$).

2. השפעת סידן שניתן לאחר הקטיף על פתיחת העדשתיות בזנים השונים של תפוחים

אחת ההשערות לשבירת עדשתיות היא שהחשיפה שלהן לאוויר גורמת לעקת יובש המובילה לתמותת תאים. בשנים קודמות פיתחנו שיטה לזיהוי עדשתיות פתוחות וקבענו את מידת הפתיחה בקטיף באמצעות חשיפה לאווירה המכילה אידי SO_2 . אדי סולפט חודרים דרך פתחים ברקמה וגורמים לנזק שניתן לראותו בעין לא מזוינת, והשיטה פורסמה (Singh et al 2016; PBT 121:165-170). התפוחים מהזנים המצוינים לעיל שנטבלו בתמיסות השונות הועברו למכון וולקני, נחשפו לאדי סולפט, ולאחר יום נספרו העדשתיות הפתוחות מסך כל העדשתיות (איור 3). נראה שבזן "סטארקינג" רמת העדשתיות הפתוחות היא הגבוהה ביותר ומגיעה לכ- 8%. לעומת זאת בזן "גרני סמית" כמעט ולא היו עדשתיות פתוחות. תוצאה זו מתאימה לממצא שהזן "גרני סמית" הוא הזן העמיד ביותר להיווצרות התופעה של שבירת עדשתיות (טבלה 2). גם בזן ה"זהוב" נמצאה רמה די גבוהה של עדשתיות פתוחות (כ 6%) וגם בזן זה היתה רמה בינונית של שבירת עדשתיות (טבלה 2). איור 4 מתאר את המתאם בין עדשתיות פתוחות לבין התפתחות נזק של שבירת עדשתיות לאחר אחסון עבור כל אחד מהטיפולים. עבור טיפולי הסידן נמצא מתאם גבוה וחיובי בין פתיחת העדשתיות סמוך לקטיף לבין שבירת העדשתיות כפי שנמדדה לאחר אחסון של 4-5 חודשים באוויר רגיל. החריג לכלל זה הוא הזן "יונתן" בו נמצאה רק רמה בינונית של פתיחה כ- 3.5%, אך זן זה נמצא הרגיש ביותר לשבירת עדשתיות. עובדה המלמדת על כך שכנראה יש גורמים נוספים מלבד הפתיחה של העדשתיות המשפיעים על השבירה, אולי מצב הבשלתו המתקדם (דרגת עמילן גבוהה המצביעה על פירוק מוחלט של העמילן- טבלה 1).



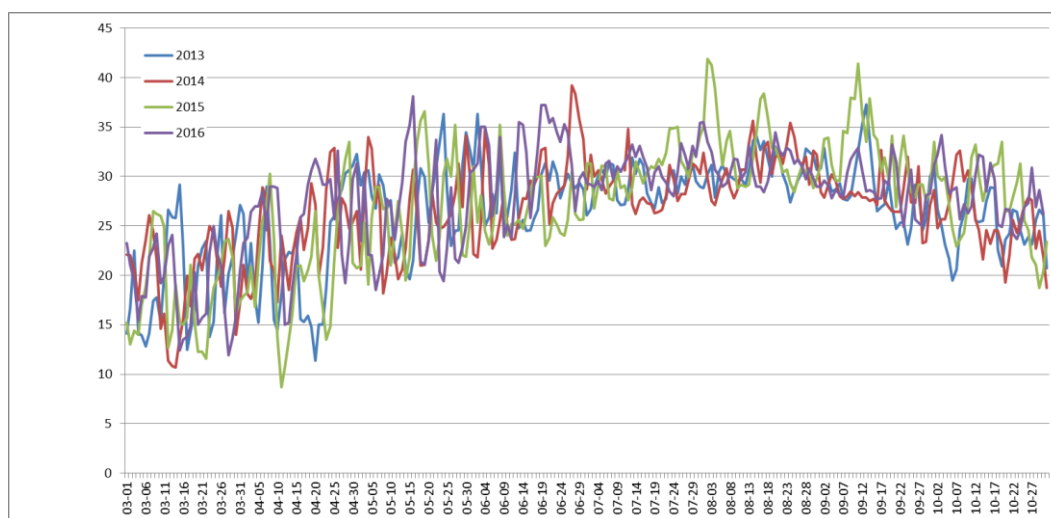
איור 3: אחוז העדשתיות הפתוחות בזנים ובטיפולים השונים. העדשתיות עבור כל טיפול נספרו תחת זכוכית מגדלת בשלושה תפוחים בשתי יחידות שטח של 2X2 ס"מ. העדשתיות הפתוחות נקבעו באמצעות אידי סולפט לפי Singh et al 2016. עבור הזנים "יונתן", "אורלאנס" ו"גרני סמית" רמת העדשתיות הפתוחות נקבעה 5 ימים לאחר טיפול ואחסון ב 1 מ"צ. עבור "סטארקינג" ו"זהוב" הבדיקה בוצעה אחרי 26 ימים ועבור "פינק לידי" אחרי 11 יום ב-1 מ"צ. הטיפולים היו: 1. טבילה במים בלבד, 2. CaCl_2 , 3. KCl , 4. CaNO_3 . התאריכים המופיעים ליד שם הזן מציינים את מועדי הקטיפה.



איור 4: מתאם בין רמת העדשתיות הפתוחות לבין רמת שבירת העדשתיות לאחר אחסון בתפוחים מהטיפולים השונים. תוצאות הממוצעים של איור 3 וטבלה 2 עבור כל זני התפוחים נלקחו לצורך בחינת המתאם.

בשנה הנוכחית לא מצאנו שטבילה בסידן הגבירה את הפתיחה של העדשתיות, גם לא בזן "סטארקינג", כפי

שנמצא בשתי שנים קודמות. בשנים קודמות ההגברה היתה עד ל- 8%, ובשנה הנוכחית גם ללא סידן הרמה היתה גבוהה. יתכן וזו הסיבה לכך שלא הצלחנו לחזור על התוצאות של שנים קודמות. יתר על כן, דיווחנו על כך שנמצאה ירידה ברמת העדשתיות הפתוחות לאחר חודשיים של אחסון (Singh et al 2016; PBT 121:165-170), ובניסוי הנוכחי הבדיקה בזן "סטארקינג" בוצעה כחודש (26 יום לאחר הקטיפ) לאחר הקטיפ. יתכן ומועד הבדיקה המאוחר שבוצע בתפוחי "סטארקינג" השנה גרם לכך שההבדלים בין הטיפולים נעלמו. עוד ראוי לציין שיתכן שבעוד שבשנים קודמות רמת הנזק של שבירת עדשתיות הגיעה לכדי 25-40% בשנה האחרונה הנזק הגיע רק לכדי 15% (טבלה 3), לאחר טיפולי סידן. יתכן וברמה של פתיחת עדשתיות כל כך נמוכה, גודל המדגם לספירת עדשתיות פתוחות לא היה מספיק כדי להבחין בהבדלים בין הטיפולים. יחד עם זאת, דווקא ב"סטארקינג" ראינו בשנה האחרונה רמה די גבוהה של פתיחת עדשתיות עם וללא סידן. בשנה האחרונה 2016 לא היו אירועי טמפרטורה מעל ל 35 מ"צ סמוך למועד הקטיפ, כפי שנמצאו בשנים 2014 ו- 2015 (איור 5). יתכן שהטמפרטורה הגבוהה בשנים הקודמות גרמה לסגירת העדשתיות, אך בנוכחות סידן הסגירה של העדשתיות באמצעות מנגנון לא ידוע. לא התאפשרה. יתכן והצירוף של חום ועדשתיות פתוחות הוא הגורם העיקרי לנזק.



איור 5: תנודות הטמפרטורה במהלך גדילת פרי התפוח והבשלתו בארבע שנים עוקבות. מוצגת טמפרטורת המקסימום באיזור חוות מתתיהו המייצג את הגליל העליון.

שנה	זן	אחוז שבירת עדשתיות משוקלל (סידן כלורי)	אחוז פתיחת עדשתיות
2014	סטארקינג	44	4.7
2015	גאלה	22	1.5
2015	סטארקינג		7.5
2016	סטארקינג	18.6	6

טבלה 3: סיכום שבירת עדשתיות לאחר 4-5 חודשי אחסון ואחוז עדשתיות פתוחות בתחילת האחסון. אחוז העדשתיות הפוחות נקבע באמצעות אידי סולפט. מצוינים הממוצעים לפי תוצאות הדוחות הקודמים.

ג.3. בחינת האפשרות להשתמש בפלורסנסיה שמקורה מהעדשתיות כדי לזהות עדשתיות פתוחות

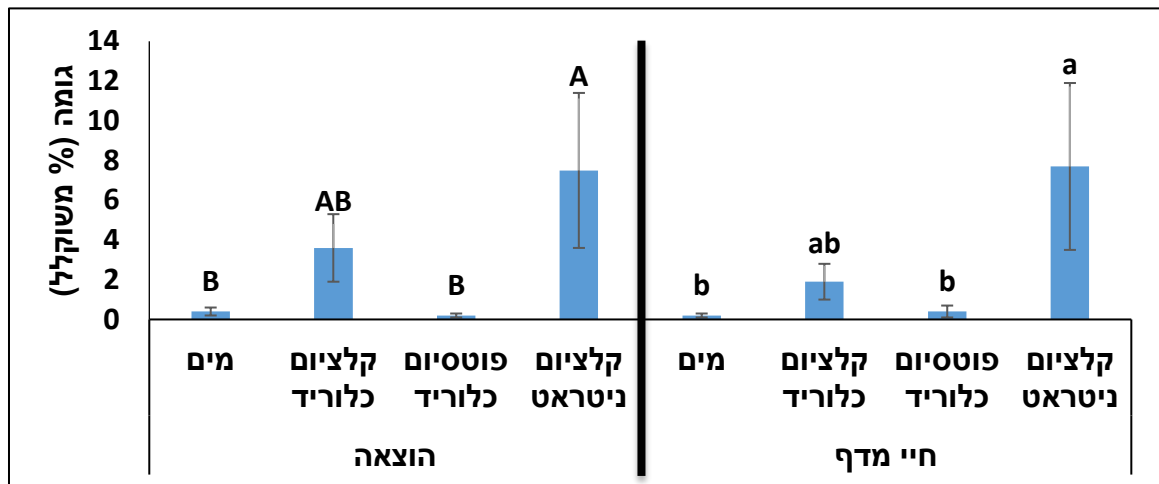
בשנה קודמת מצאנו שניתן לראות את העדשתיות באמצעות פלורסנסיה (עירור ב 480 נ"מ פליטה בתחום ה GFP- באמצעות מכשיר ה IVIS). חלק מהעדשתיות היו זוהרות והעלינו את ההשערה שיתכן והעדשתיות הזוהרות פתוחות לאוויר החופשי. הנחנו שהגישה של מדידה פלורסנטית יכולה להחליף את מדידת הפתיחה של העדשתיות באמצעות אידי SO_2 . בחנו על אותם תפוחים במקום מוגדר את מספר העדשתיות בעלי פלורסנסיה זוהרת ואח"כ באמצעות אדי ה SO_2 את מידת הפתיחה (הבדיקה בוצעה ב "פינק ליידי"). רמת העדשתיות הזוהרות היתה תמיד יותר גבוהה מזו של רמת העדשתיות הפתוחות לאוויר (שנקבעה באמצעות אידי סולפט). לכן סביר להניח שהעדשתיות הזוהרות אינן חשופות לאוויר. כדי לבחון אם רמת העדשתיות הזוהרות נמצאת במתאם להתפתחות שבירת העדשתיות בחנו את רמת העדשתיות הזוהרות עבור הזנים הקיצוניים "יונתן" ו"גרני סמית" בטיפולים השונים. רמת העדשתיות הזוהרות הגיעה ל 40% בזן "גרני סמית" ורק ל 15% בזן "יונתן", ותוצאה זו לא היתה בהתאמה לרמת העדשתיות הפתוחות או לרמת נזק העדשתיות לאחר אחסון. כמו כן, לא נמצא שרמת העדשתיות הזוהרות השתנתה עבור שני הזנים הללו כתוצאה מטיפול הסיידן. רמה גבוהה של זהירה בתפוחי "גרני סמית" מקורה כנראה מרמת כלורופיל גבוהה יותר. בשלב זה המסקנה שלנו היא שאבחון עדשתיות זוהרות לא יכול לעזור לניבוי של תופעה כלשהיא. יתכן וסריקת הפלורסנסיה בתחום אורכי הגל עשוי להניב תוצאות אחרות.

ג.4. השפעת סידן שניתן לאחר הקטיפה על התפתחות הגומה המרה בתפוחים מהזנים השונים

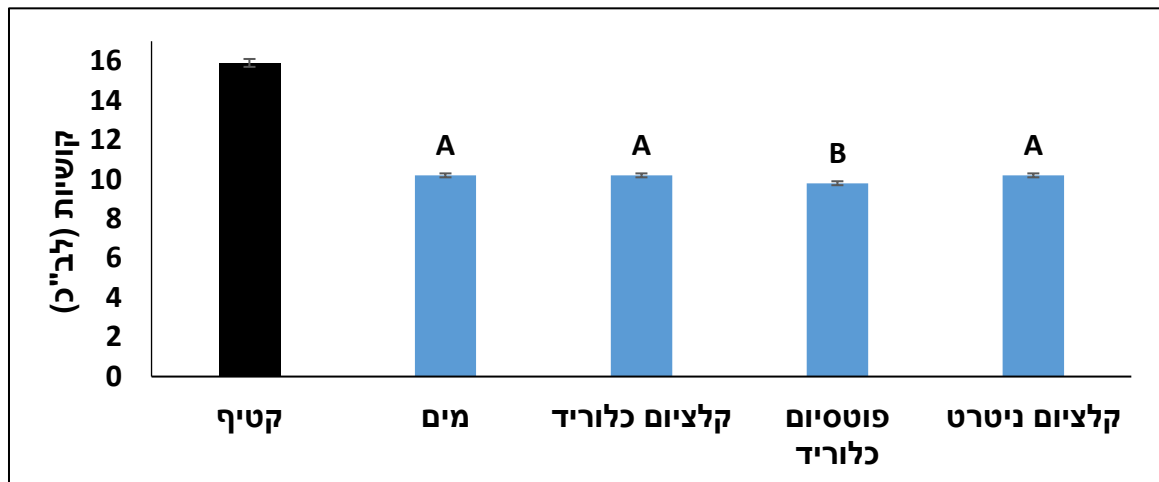
למרות שהגומה המרה לא היתה חלק מהמחקר הנוכחי, החלטנו לבדוק גם את שכיחותה, כי ידוע מהספרות ומהפרקטיקה המקובלת במטעי תפוחים בעולם שתוספת סידן נחוצה להקטנת התופעה. הגומה המרה נבחנה בניסוי שתואר לעיל.

אחוזי גומה מרה (משוקלל) – אחוזי גומה מרה הגבוהים ביותר נמצאו בתפוחים שנטבלו בקלציום ניטראט וכמעט שלא נמצאה גומה בתפוחים שנטבלו במים או בפוטסיום כלוריד (איור 6). בתפוחים שנטבלו בקלציום כלוריד נמצא הנזק בחומרה בינונית יחסית ליתר הטיפולים. טבילת תפוחים בקלציום כלוריד אמורה לצמצם את נזקי גומה מרה ולכן מפתיע שבתפוחים שנטבלו בתמיסה זו חומרת הנזק היתה גבוהה יחסית לתפוחי הביקורת. ראוי לציין שנזקי הגומה המרה בזן "אורליאנס" היו חמורים במיוחד יחסית ליתר הזנים (נתונים לא מוצגים). מעניין שדווקא ב"יונתן" בו נמצאו אחוז העדשתיות הפגומות הגבוה ביותר לא נמצאה כלל גומה מרה בכל הטיפולים. בכל זאת, לא נמצא מתאם שלילי בין התפתחות גומה מרה לבין התפרקות עדשתיות עבור כל התפוחים.

קשיות התפוחים – התפוחים מכל הזנים התרככו בכ-5 ליברות כוח (איור 6), אולם אלו שנטבלו בפוטסיום כלוריד התרככו במידה הרבה ביותר ומוצג האיור המסכם את התוצאות של כל התפוחים. יתכן והסיבה לכך היא התמרה של יוני סידן ביוני אשלגן בדופן התא.



איור 6: אחוזי נזקי גומה משוקלל (ממוצע $\pm$ ש.ת.) בהשפעת טיפולי טבילה שונים בתום האחסון ולאחר שבוע חיי מדף ב-20°C. a-b/A-B - להבדל מובהק בשיעור הפגם בהוצאה מאחסון או לאחר חיי מדף ($p < 0.05$). לא היו הבדלים בין מועדי הבדיקה בתוך הטיפולים השונים. הבדיקה היא ממוצע של כל זני התפוחים כפי שמופיעים בטבלה 2.



איור 7: קושיות התפוחים (ממוצע $\pm$ ש.ת.) בקטיף ולאחר 5 חודשי אחסון בקירור + שבוע חיי מדף ב-20°C. A-B - להבדל מובהק בתום חיי מדף ($p < 0.05$). הבדיקות הם ממוצע של כל זני התפוחים כפי שמופיעים בטבלה 2.

ד. דיון

באחסון תפוחים קיימות שתי תופעות פיסיולוגיות עיקריות המקטינות את איכות התפוח או לעיתים גם גורמות לפסילותו: שבירת עדשתיות וגומה מרה (תמונה 1). התופעה של שבירת עדשתיות חמורה במיוחד בזני "סטארקינג" ומתרחשת גם בתפוחי "גאלה". מטרת המחקר הנוכחי הייתה להבין את הגורמים לתופעה של שבירת עדשתיות שהתגברה בשנים האחרונות, ובהתבסס על כך, למצוא דרכים למניעתה. משום שהתופעה קיימת בעיקר לאחר אחסון ממושך, הנחת העבודה הראשונית שלנו בהצעת המחקר הייתה "שהטרנספירציה המוגברת דרך הסדקים והעדשתיות בעקבות עליה קיצונית בטמפרטורה, גורמת לעקת יובש אשר מחמירה במהלך האחסון כתוצאה מחשיפה לקור וליובש. הן עקת היובש והן עקת הקור עלולים להוביל ליצירת רדיקלים חופשיים המובילים לתמותת תאים, בד בבד עם סינתזה של פולימרים פוליפנוליים כהים המעניקים את הצבע הכהה לעדשתיות.

בשנה קודם להתחלת הפרויקט ובשנה הראשונה של הפרויקט בחנו את ההנחה הזו במספר דרכים: א. נבדקה ההשפעה של חשיפת התפוח לטמפרטורה גבוהה וליובש על התפתחות העדשתיות- טמפרטורה גבוהה עלולה להגביר את התייבשות העדשתיות ולגרום להחממתן; ב. נבדקה ההשפעה של תנאי השקיית חסר לעומת השקייה רגילה - חסר מים עלול לגרום להתייבשות העדשתיות על פני התפוח; ג. נבדקה ההשפעה של המיקום על העץ (החלק החיצוני לעומת החלק הפנימי)- תפוחים החשופים לאוויר עלולים להיות רגישים להתפתחות עדשתיות. א. טיפולי החשיפה לטמפרטורה גבוהה או ללחות נמוכה, כמו גם טיפולי אצטון להסרת הקוטיקולה לאחר הקטיף, לא הגבירו את התפרקות העדשתיות במשך ארבעה חודשי אחסון. יתר על כן, בשנת הניסוי (2013) רמת נזקי שבירת העדשתיות היתה אפסית, ויתכן כי לא ניתן היה להשפיע באמצעות חימום לאחר הקטיף (או באמצעות אצטון) על פתיחת העדשתיות. כדאי לשים לב לכך שבשנה זו אירועי הטמפרטורה הגבוהה מ 35 מ"צ היו כבר לאחר הקטיף ולכן הפרי במהלך גידולו לא נחשף לטמפרטורות מעל ל 35 מ"צ. כאשר חזרנו על הניסוי בשנה נוספת (2014) על ידי החמרת התנאים, התפוחים לא החזיקו מעמד, ולאחר 4 חודשי אחסון לא נותרו פירות ראויים לבדיקה. ב. טיפולי ההשקייה בחסר לא שינו את מופע שבירת העדשתיות, למרות שהם הקטינו את רמת הרדיקלים החופשיים ברקמה. ג. רמת העדשתיות הפגועות בתפוחים מהחלק החיצוני של העץ הייתה גבוהה באופן משמעותי מרמת העדשתיות שהופיעו בתפוחים שמקורם מתוך העץ. במקביל מצאנו, שרמת הרדיקלים החופשיים בתפוחים שמקורם מהחלק החיצוני של העץ הייתה יותר גבוהה מזו שהתקבלה בתפוחים מהחלק הפנימי של העץ. משום שמדידת הרדיקלים החופשיים בוצעה על כל הפרי, לא ברור אם זה היה המצב באיזור העדשתיות הפגועות. תוצאות ניסוי זה תומכת במסקנה שחשיפה לחום של הפרי כפי שנמצא בתפוחים מהחלק החשוף לקרינה של העץ עשויה להגביר את שבירת העדשתיות. יתכן ויש הבדלים בקוטיקולה שנוצרת בתוך העץ ומחוץ העץ.

משום שהתופעה של שבירת עדשתיות אינה מתרחשת כל שנה, כדי לאפשר טיפול בבעיה החלטנו להשרותה ולטבול את התפוחים הרגישים "סטארקינג" ו"גאלה", באשלגן וכביקורת בסידן, כי אשלגן ידוע כמינרל המקטין את איכות התפוח (Ferguson and Watkins 1989). להפתעתנו, דווקא הטבילה בסידן הגבירה את שבירת העדשתיות לאחר אחסון של כשישה חודשים. את הטיפול בסידן ביצענו שנתיים (2014, 2015) בזן "סטארקינג" ושנה אחת (2015) בזן "גאלה" ובכל הניסויים מצאנו שטבילה בסידן (סידן כלורי או סידן חנקתי) הגבירה את שבירת העדשתיות. יתר על כן, בזן "סטארקינג" מצאנו שריסוס במטע (2015) הגביר גם הוא את התפרקות העדשתיות. בשנה האחרונה נבחנו כלליות התופעה במגוון זני תפוח ובהם גם זנים שאינם נחשבים כרגישים לפגם זה. הטבילה בתכשירי הסידן הגבירה את שבירת העדשתיות בכל הזנים ("יונתן", "אורליאנס", "זהוב", "סטארקינג", "ליידי פינק" ו"גרני סמית") (איורים 1,2). כלומר, נזקי שבירת עדשתיות כתוצאה מטבילה בתכשירי סידן היא תופעה כללית שעלולה להתפתח בזני תפוח שונים, אם יימצאו התנאים המתאימים לכך. יתכן כי הזנים "פינק ליידי" ו"גרני סמית" פחות רגישים לנזק משום שרמת הפתיחה של העדשתיות בהם מאוד נמוכה מלכתחילה (איור 3). אנחנו אמנם מציגים מתאם בין רמת השבירה של העדשתיות לאחר אחסון וטמפרטורה גבוהה במהלך הגידול, אך ההיפותיזה העולה ממתאם זה לא נבחנה באופן ישיר. שבירת עדשתיות קיימת גם במדינת וושינגטון וגם בתפוחי גאלה וגם

שם הטמפרטורות יכולות להיות גבוהות מ 30 מ"צ בחודשי הקיץ ואולי ריבוי הריסוסים בסידן הוא הגורם להחמרת הבעיה (Kalcis Lee -מידע פרטי)

לפי הספרות, ריסוס בסידן במטע וגם טבילה או הפעלת לחץ בתוך תמיסת סידן לאחר הקטיפ, גורמים לשיפור איכות התפוח שמתבטאת הן בקשיות יותר גבוהה והן בהקטנת הגומה המרה (Ferguson and Watkins 1989). מעניין לציין שריסוסים במטע באמצעות קלציום ניטראט משמשים לצמצום מקרים של גומה מרה, אולם בניסוי שערכנו הם דווקא החמירו מקרי הגומה במובהק יחסית למרבית הטיפולים (תוצאות לא מוצגות).

כדי להבין מה הסיבה לכך שסידן מגביר שבירת עדשתיות, בחנו את מידת הפתיחה של העדשתיות מיד לאחר הקטיפ ומצאנו שבתפוחים המטופלים בסידן יש יותר עדשתיות חשופות לאוויר. מעבודתנו ניתן ללמוד שסידן לא מונע את ההיווצרות של סוברין או קלוס (לפחות לא בשלב שבו בוצעה הבדיקה – חודש לאחר האחסון) יתכן שסידן דווקא מגביר היווצרות סוברין בהשוואה לעדשתיות שבטיפול הביקורת. לעומת זאת, מצאנו שהקוטיקולה ושכבת השעווה מעליה הרבה יותר דקים בתפוחים מטופלי סידן בהשוואה לטיפול הביקורת. כמו כן נראה שהסידן הקטין את שכבת השעווה שנמצאת על שטח הפנים של התפוח. הקוטיקולה הדקה יותר כתוצאה מטיפול הסידן, כנראה גורמת לקריעתה מעל פני התפוח ולכן מתקבלות יותר עדשתיות חשופות לאוויר, בהן התאים משחירים. עדות לכך שלקוטיקולה כנראה תפקיד חשוב במניעתן של שבירת העדשתיות מקורה מעבודה שבוצעה במדינת וושינגטון. שבירת עדשתיות היא תופעה מאוד נפוצה בעיקר במדינת וושינגטון בארה"ב. נמצא שרמת העדשתיות קטנה על ידי ריסוס בחומרים ליפופיליים (Curry et al 2008).

סרקנו את הספרות המקצועית לפני ולפנים ורק בעבודה אחת שבוצעה ב 1976 (Sharpless and Johnson) נמצא שטבילה בסידן עלולה להגביר את שבירת העדשתיות לאחר אחסון. לא נמצאו עבודות הבוחנות את השפעת הסידן על מבנה הקוטיקולה והשעווה, למרות שיש מספר רב של עבודות הבוחנות את ההשפעה של הקוטיקולה על חדירת סידן לתוך הרקמה.

במחקר זה ביססנו שיטה להעריך מהי רמת העדשתיות הפתוחות לאוויר באמצעות חשיפה לאדי SO_2 , ונמצא מתאם בין רמת הפתיחה לבין שבירת עדשתיות (איור 4) (Singh et al 2016). גם אם בשנה האחרונה, למרות שלא מצאנו שסידן מגביר את הפתיחה של העדשתיות, בכל זאת, נמצא מתאם בין פתיחת עדשתיות לבין שבירתן כאשר נלקחים בחשבון כלל זני התפוחים (איור 4). יתכן וניתן יהיה להשתמש בשיטה הזו באופן מסחרי בבתי אריזה כדי להעריך את מידת הסיכון להתפתחות הנזק באחסון. בעבודה שבוצעה במדינת וושינגטון הם פיתחו שיטה של טבילה בטריתון והשארת הפרי בטמפרטורת החדר כדי לחזות את התופעה של התפרקות העדשתיות

באחסון- <https://www.yumpu.com/en/document/view/37098104/gala-apples-to-lenticel-breakdown-disorder-postharvest> - ונראה לנו שהשיטה של SO_2 הרבה יותר פרקטית בגלל שניתן לקבל את התשובה תוך זמן קצר יותר.

אין בידינו עדיין דרך למניעת נזקי שבירת העדשתיות, אך יתכן ויש להימנע מריסוס בסידן בעיקר בזמנים הקרובים לקטיפ הפרי ובסמוך לימים בהם הטמפרטורה גבוהה. לאור ממצאי הדו"ח יש לשוב ולבחון את

התועלת שבריסוסי סידן במטעי התפוחים בישראל. בשנה האחרונה הגשנו תוכנית BARD שתאפשר לנו לברר את הפרקטיקה הזו ביתר עומק וכמו כן לבחון את ההשפעה של הסידן והחום על הקוטיקולה.

ה. פרסומים מדעיים

1. Singh V, et al (2016) PBT 121:165-170
2. Singh V, et al (2017) in preparation

ו. ביבליוגרפיה

1. Curry, E.A., Torres, C., Neubauer, L. (2008) Preharvest lipophilic coatings reduce lenticel breakdown disorder in 'Gala' apples. HortTechnology, 18: 690-696.
2. Ferguson, I. B. and C. B. Watkins (1989). Bitter Pit in Apple Fruit. Horticultural Reviews, John Wiley & Sons, Inc.pp: 289-355
3. Sharpless, R.O. and Johnson, D.S. (1976) Postharvest chemical treatments for the control of storage disorders in apple. Annals Appl Biol 83: 157-167
4. Singh, V., Gamrasni, D., Ben-Arie R., Naschitz, S., Friedman, H. (2016) Identification of open lenticels in apples after harvest in relation to lenticel breakdown development during storage. Postharvest Biology & Technology, 121:165-170

1. מטרות המחקר תוך התייחסות לתכנית העבודה.
א. ללמוד מהם הגורמים במהלך האחסון ולפני הקטיף המגבירים את התופעה.
ב. להבין את תהליך התמוטטות העדשתיות בקליפה של תפוח מאוחסן.
ג. להעריך את הסיכוי להופעת פגעי העדשתיות בקליפה לאחר האחסון ולהציע דרכים לצמצום הנזק.
ד. תוכנית העבודה לא כללה את בחינת השפעת הסידן על התפרקות העדשתיות, אך לאור הממצאים החד משמעיים בשנים הראשונות, החלטנו לכלול את המטרה הזו בתוכנית העבודה.
ה. בחינת ההשערה שסידן עלול לגרום להתפרקות עדשתיות במספר זני תפוח ולא רק בזנים "סטארקינג" ו"גאלה", הידועים כרגישים להתפתחות גומה
2. אילו מטרות המחקר הושגו בעבודת המחקר הנוכחית
א. הניסויים שביצענו הצביעו על כך שחשיפה לחום בתחילת האחסון או הספקת מים מצומצמת לפני הקטיף לא הגבירה את הנזק.
ב. ביצענו הסתכלות מיקרוסקופית (מיקרוסקופ, קונפוקלי, אור ואלקטרוני) על העדשתיות וזיהינו מתחת לקוטיקולה על פני התאים הצטברות של סוברין (צביעה בברברין) וקלוס (צביעה באנילין בלו). מצאנו ששבירת העדשתיות מקורה מחשיפתן לאוויר כתוצאה מ"קריעת" הקוטיקולה.
ג. בשנים 2014, 2015 רמת העדשתיות הניזוקות הייתה גבוהה במיוחד ובשנים אלו התפוחים היו חשופים לטמפרטורה גבוהה מ 35 מ"צ. ריסוס בסידן בתנאים אלה מונע את הסגירה ומגביר את הנזק.
ד. אנחנו יכולים להעריך את הנזק קודם להתפתחותו ויש לנו הצעה איך להימנע מהנזק.
3. עיקרי התוצאות
א. חשיפה ללחות נמוכה (חוץ העץ) גורמת להגברת שבירת העדשתיות בהשוואה לתוך העץ.
ב. טיפול לאחר הקטיף באמצעות טבילה בסידן בזנים שונים של תפוחים או ריסוס בשטח של מטעי "סטארקינג" גרם להתפתחות נזק העדשתיות לאחר אחסון.
ג. בשתי שנות מחקר הטבילה בסידן לאחר הקטיף הגבירה גם את הפתיחה של העדשתיות. בשנה האחרונה (2016) היתה רמה גבוהה של פתיחה, אך הנזק שהתפתח היה נמוך יותר משנים קודמות (2014, 2015).
ד. בתפוחים שנטבלו בסידן (2014, 2015) היו יותר עדשתיות ללא קוטיקולה המכסה אותן והטיפול בסידן גרם להקטנת שכבת הקוטיקולה.
ה. חשיפה לאידי סולפט מאפשרת לזהות עדשתיות חשופות לאוויר בשלב הקטיף.
ו. יש מתאם בין העדשתיות הפתוחות לבין התפתחות נזקים של שבירת עדשתיות בעיקר כאשר רמת הנזק של שבירת עדשתיות גבוהה (מעל ל 25% עדשתיות משוכלל).
ז. טיפולי הסידן לאחר הקטיף לא הקטינו את הנזק של גומה מרה שבדרך כלל מרוסס כדי למנוע זאת.
4. המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר
א. סידן מגביר את הפתיחה של העדשתיות ואת הנזק של שבירת עדשתיות לאחר האחסון, הוא מקטין את עובי הקוטיקולה ועל ידי כך גורם לקריעתה. המנגנון של דרך פעולתו לא ברור עדיין.
ב. רמת הפתיחה של העדשתיות שונה בזני תפוחים שונים וקיים מתאם בין הפתיחה לבין התפרקות עדשתיות לאחר אחסון.
ג. חשיפה לטמפרטורה גבוהה במהלך התפתחות התפוח תורמת כנראה להתפתחות התופעה של שבירת העדשתיות שיכולה להתעצם על ידי טיפולי סידן במטע או על ידי טבילה בסידן לאחר הקטיף.
ד. יש לבחון מחדש את כדאיות הטיפול בריסוס של סידן במטע. יתכן שעל רקע טמפרטורות גבוהות טיפולי הסידן לא יעילים גם במניעת הגומה המרה והם גורמים להגברת הנזק של התפרקות עדשתיות.
5. בעיות שנותרו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה (טכנולוגיים, שיווקיים, ואחרים)
א. יש צורך לבחון את פתיחת העדשתיות במהלך התפתחות הפרי ומהו העיתוי לריסוס סידן במטע.
ב. יש צורך לבחון את ההשפעה של הטמפרטורה והלחות במטע על הקוטיקולה והקשר בין האקלים לבין ההשפעה של סידן.
ג. יש לבדוק אם ההשפעה של סידן על השעווה היא תוצאה של פירוק מכני של השעווה או תוצאה של דיכוי ביטוי גנים הקשורים לייצור השעווה
הפצת הידע: ראה פרסומים לעיל עדיין לא דיווחנו על התוצאות בכינוסים. ממליצה לפרסם את הדו"ח ללא הגבלה

