

השפעות מעכב פעולת האתילן 1-MCP על שיפור האיכות והארכת כושר האחסון של פירות לא-קלימקטריים

Effects of the ethylene action inhibitor 1-MCP on improving quality and extension of
postharvest storage life of non-climacteric fruit

מוגש לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות

ע"י

רון פורת - המחלקה לחקר תוצרת חקלאית אחר הקטיפה, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן
רות בן-אריה – החברה למחקר ופיתוח קיחור ואיסום פירות ק"ש בע"מ
אמנון ליכטר - המחלקה לחקר תוצרת חקלאית אחר הקטיפה, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן
חיה פרידמן - המחלקה לחקר תוצרת חקלאית אחר הקטיפה, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן
אמנון לרס - המחלקה לחקר תוצרת חקלאית אחר הקטיפה, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן
דן גמרסני - החברה למחקר ופיתוח קיחור ואיסום פירות ק"ש בע"מ

Ron Porat, Dept. of Postharvest Science, ARO, P.O. Box 6, Bet Dagan 50250. E-mail:
rporat@volcani.agri.gov.il

Ruth Ben Arie, Fruit Storage Research Laboratory, Kiryat Shmona 10200. E-mail:
Ruth@lab-path.co.il.

Amnon Lichter, Dept. of Postharvest Science, ARO, P.O. Box 6, Bet Dagan 50250. E-mail:
vtlicht@volcani.agri.gov.il.

Haya Friedman, Dept. of Postharvest Science, ARO, P.O. Box 6, Bet Dagan 50250. E-mail:
hayafr@volcani.agri.gov.il.

Amnon Lers, Dept. of Postharvest Science, ARO, P.O. Box 6, Bet Dagan 50250. E-mail:
alers@volcani.agri.gov.il.

Dan Gamrasni, Fruit Storage Research Laboratory, Kiryat Shmona 10200. E-mail:
dang@migal.org.il.

תקציר

השימוש במעכב פעולת האתילן 1-methylcyclopropene (1-MCP) מיושם באופן מסחרי בעשרות מדינות בעולם לצורך שימור האיכות והארכת משך האחסון של **פירות קלימקטריים** שונים, ובעיקרם תפוח, אגס, קיווי ואפרסמון. בעבודה זו, בחנו את השפעת השימוש ב-1-MCP על האיכות וכשר ההשתמחות של **פירות לא-קלימקטריים** שונים, ובכללם פירות רימון, ענבים, דובדבן, צבר, שסק, ליצי ופיטאיה. בשנתיים הראשונות של המחקר זיהינו מספר השפעות מועילות של 1-MCP מבחינת שמירת איכותם של פירות לא-קלימקטריים שונים, בעיקר מבחינת עיכוב תהליכי הזדקנות, כגון החמות שזרה בענבים והצהבת קשקשים בפיטאיה; מניעת התפתחות פגמים פיזיולוגיים, כגון צרבון ברימון והשחמת בית הגלעין בשסק; עיכוב שבירת צבע בצבר ושסק, שמירת הטעם והאיכות הפנימית בשסק ורימון, ועיכוב התפתחות רקבונות בצבר.

בשנה השלישית והמסכמת של המחקר התמקדנו בבחינת השפעות הישום המסחרי של 1-MCP על שמירת האיכות וכשר האחסון של פירות רימון, שסק, צבר וענבים. מבחינת השפעות חשיפה ל-1-MCP על איכות פירות רימון מזן 'ונדרפול' – נמצא שהוספת שקיקי 1-MCP (סמרטפרש in box) לשקיות אווירה מתואמת במיכלי דולב שימרה את הטעם והערך התזונתי של הפרי, הפחיתה נזקי צרבון והגבירה את אחוז הפרי הראוי לשיווק לאחר אחסון ממושך של 3.5 חודשים ב-7 מ"צ. עם זאת, הישום של 1-MCP לא השפיע על איכות הפרי אשר אוחסן באוויר מבוקר באווירה דלת חמצן. מבחינת השפעות 1-MCP על איכות פירות שסק – נמצא שהטיפול האט את קצב הנשימה, הפחית באופן מובהק השחמות בית הגלעין והגביר את אחוז הפרי הראוי לשיווק לאחר אחסון ממושך של 42 ימים ב-0 מ"צ ושבוע ח"י מדף בשני זנים 'עכו'-ו- 'אברי'. כמו כן, 1-MCP עיכב שבירת צבע ופירוק חומצה בזן 'עכו' והפחית אובדן משקל בזן 'אברי'. מבחינת השפעות 1-MCP על איכות פירות צבר – ניסוי מעבדה ובחינה יישומית של יישום 1-MCP באוהל נייד הראו כי הטיפול הפחית בכמחצית את שיעור התפתחות הרקבונות לאחר זמני אחסון שונים ב-7 מ"צ.

על מנת ללמוד אודות המנגנונים המולקולריים המעורבים בתגובות פירות לא-קלימקטריים לחשיפה ל-1-MCP, ערכנו אנאליזות RNA Seq בדגימות של קליפת פירות צבר, ונמצא כי החשיפה ל-1-MCP מיתנה את הירידה הניכרת ברמות ביטוי גנים לאחר הקטיפה אשר זוהתה בפירות הביקורת, בעיקר בקבוצות גנים המעורבים בתגובה לעקות, שיעתוק RNA, העברת סיגנלים ותגובה תאית. כמו כן, נמצא כי פירות שטופלו ב-1-MCP היו בעלי רמת ביטוי גבוהה יותר של גנים המעורבים בהגנה מפני פתוגנים ורמת ביטוי מופחתת של גנים המעורבים בפירוק כלורופיל והצהבת הפרי.

בסיכום, תוצאות המחקר מראות כי חשיפה ל-1-MCP משפרת את כושר ההשתמחות של פירות לא-קלימקטריים שונים בהיבטים ספציפיים, בעיקר מבחינת שמירת הטעם ומניעת נזק צרבון ברימון; שמירת האיכות הפנימית ומניעת החמות גלעין בשסק; עיכוב שבירת צבע והפחתת רקבונות בצבר; וכן עיכוב מסוים של החמות שיזרה בענבים.

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: פן/לא

_____ תאריך:

_____ חתימת החוקר:

רשימת פרסומים והרצאות שנבעו מתוצאות המחקר:

Li, L., Kaplunov, T., Zutahy, Y., Daus, A., Porat, R., Lichter, A. (2015). The effects of 1-methylcyclopropene and ethylene on postharvest rachis browning in table Grapes. *Postharvest Biol. Technol.* 107: 16-22.

Li L., Lichter, A., Chalupowicza, D., Gamrasnib, D., Goldbergh, T., Nerya, O., Ben-Arie, R., Porat, R. (2016). Effects of the ethylene-action inhibitor 1-methylcyclopropene on postharvest quality of non-climacteric fruit crops. *Postharvest Biol. Technol.* 111: 322-329.

Li, L., Kashash, Y., Goldenberg, L., Sabag, A., Doron-Faigenboim, A., Porat, R. (2017). Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest storage performance and the transcriptome of cactus pear fruit. *Int. J. Food Sci Technol.* (in press).

מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי

1. פרופ' אלי פליק, מכון וולקני (efallik@volcani.agri.gov.il)

2. דר יורם פוקס, מכון וולקני (vtyfuchs@volcani.agri.gov.il)

3. יצחק קוסטו, שה"מ (itzhak.kosto@gmail.com)

מבוא

החומר 1-methylcyclopropene (1-MCP) הינו מעכב פעולה יעיל ביותר של ההורמון אתילן, ובעקבות זאת פותח תכשיר מסחרי הנקרא SmartFresh™, המאפשר לשימוש בתוצרת חקלאית טרייה, ומיושם בעשרות מדינות בעולם לצורך שימור האיכות והארכת משך האחסון של פירות קלימקטריים שונים (פירות בהם חלה עלייה בקצב הנשימה וייצור ההורמון אתילן במהלך ההבשלה). אם זאת, קיים רק מעט ידע אודות ההשפעות האפשריות של 1-MCP על האיכות וכשר ההשתמחות של פירות לא קלימקטריים שונים, בהם לא חלה עלייה בקצב הנשימה וייצור ההורמון אתילן במהלך ההבשלה. מבחינה זאת, ראוי לציין כי למרות שבפירות לא קלימקטריים לא חלה עלייה מובהקת ברמות הייצור של ההורמון אתילן במהלך ההבשלה, הרי שחשיפה לאתילן חיצוני עשויה להשפיע על מדדי איכות שונים כגון עמידות הפרי לעקות ביוטיות ואביוטיות והשתמחות רקמות ספציפיות במהלך האחסון.

השערת המחקר שלנו היא שהרמות הנמוכות והקונסטיטוטיות של ייצור אתילן על ידי פירות לא-קלימקטריים עשויות להשפיע על בקרת תהליכי נשימה, הבשלה, הזדקנות ועמידות לעקות, ולכן חשיפת הפרי למעכב פעולת האתילן 1-MCP עשויה להאט ולבקר תהליכים אלה.

מטרות המחקר

מטרת המחקר הכללית הייתה לבחון את ההשפעות של חשיפה ל-1-MCP על האיכות וכשר ההשתמחות של פירות לא-קלימקטריים שונים, ובכללם פירות רימון, ענבים, דובדבן, צבר, שסק, ליצי' ופיטאיה .

כמו כן, רצינו לחקור את מנגנוני הפעולה האפשריים באמצעותם 1-MCP עשוי להשפיע על כשר האחסון של פירות לא-קלימקטריים, ובכלל זה בחינת השפעתו על פרופיל ביטוי גנים, בקרת נשימה וייצור אתילן.

פירוט עיקרי תוצאות הניסויים

מהלך המחקר

רשימות הניסויים שנערכו במהלך המחקר הנוכחי מוצגות בטבלאות א'-ג'.

בשנת המחקר הראשונה בחנו מגוון רחב של פירות לא-קלימקטריים, ובכללם רימון, ענבים, דובדבן, צבר, ליצי', שסק, ופיטאיה (טבלה א').

בשנת המחקר השנייה חזרנו על הבדיקות במיני הפירות בהם נתקבלו השפעות חיוביות כלשהן לטיפול ב-1-MCP, ובכללם רימון, שסק, דובדבן וצבר (טבלה ב').

בשנת המחקר השלישית ערכנו ניסויים יישומיים במיני הפירות הלא-קלימקטריים בהם קיבלנו את ההשפעות המועילות ביותר, ובכללם רימון, שסק וצבר (טבלה ג').

טבלה א': פירוט הניסויים שנערכו בשנת המחקר הראשונה (2014).

פרי	זן	תאריך	אתר
רימון	עמק	11.8.14	בית דגן
	ונדרפול	22.10.14	בית דגן
	ונדרפול	11.10.14	קריית שמונה
ענבים	מיסטרי	6.7.14	בית דגן
	תומפסון	13.8.14	בית דגן
	3003	14.9.14	בית דגן
דובדבן	בינג	1.6.14	קריית שמונה
	סוויט הרט	22.5.14	בית דגן
צבר	עופר	9.9.14	בית דגן
ליצי'	מאוריציס	20.7.14	קריית שמונה
שסק	אברי	23.4.14	קריית שמונה
פיטאיה	בילו, ונוס	3.11.14	בית דגן
	בילו	25.12.14	בית דגן

טבלה ב': פירוט הניסויים שנערכו בשנת המחקר השנייה (2015).

פרי	זן	תאריך	אתר
רימון	ונדרפול	3.11.15	בית דגן
	ונדרפול	27.10.15	קריית שמונה
שסק	ענו	19.4.15	קריית שמונה
דובדבן	בינג	7.6.15	קריית שמונה
צבר	עופר	14.1.15	בית דגן
	עופר	30.6.15	בית דגן
	עופר	16.7.15	בית דגן

טבלה ג': פירוט הניסויים שנערכו בשנת המחקר השלישית (2016).

פרי	זן	תאריך	אתר
רימון	ונדרפול	3.11.16	בית דגן
	ונדרפול	18.10.16	קריית שמונה
שסק	ענו	5.4.16	קריית שמונה
	אברי	19.4.16	קריית שמונה
ענבים	סקלרטה	13.11.16	בית דגן
צבר	עופר	20.12.16	בית דגן

בהמשך הדו"ח נסקור את עיקרי התוצאות שנתקבלו בניסויים המסכמים שנערכו בשנה השלישית של ביצוע המחקר.

1. השפעות יישום שקיקי 1-MCP (סמרטפרש in box) על איכות פירות רימון 'ונדרפול' לאחר אחסון ממושך בשקיות מיכל דולב

מהלך הבדיקה: הניסוי נערך ב- 3.11.16 עם פרי שנקטף כשבועיים קודם לכן (ב- 21.10.16) בחלקה מסחרית בנר עוז. הניסוי כלל שני מיכלי דולב עם שקיות רבע מיכל דולב, כאשר כל מיכל שימש כטיפול נפרד (איור 1):

- 1) ביקורת (פרי בשקיות רבע מיכל דולב ללא 1-MCP)
- 2) 1-MCP (הוספת שני שקיקי 1-MCP לכל שקית רבע מיכל דולב)



איור 1: פירות רימון בשקיות רבע מיכל דולב עם או ללא שקיקי 1-MCP (סמרטפרש in box).

משך האחסון - הפרי נבדק ב- 20.2.17 לאחר 3.5 חודשי אחסון בטמפרטורה של 7 מ"צ. **בדיקות איכות פרי:** מראה (צילום), תכולת כמ"מ וחומצה במיץ, רמת פעילות נוגדת חמצון כללית, הערכת טעם, תכולת אתנול במיץ, צבע, הופעת רקבונות ופגמי קליפה, וחישוב אחוז פרי ראוי לשיווק. כמו כן, נבדקו רמות הגזים בשקיות.

תוצאות

מראה הפרי

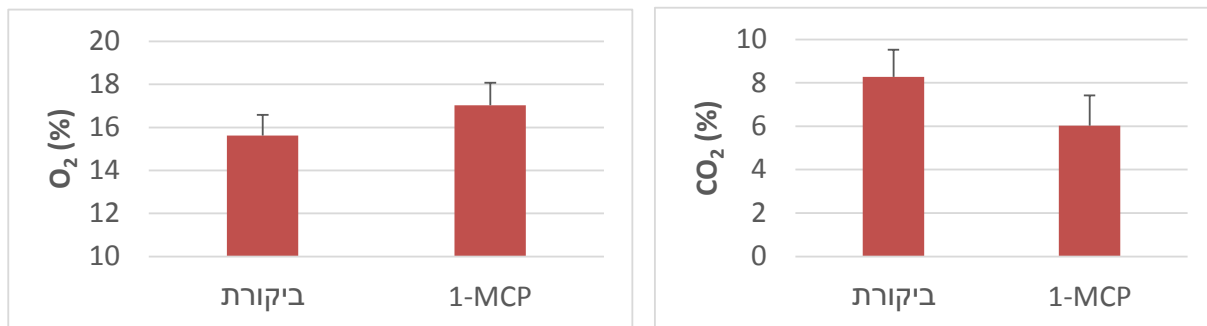
לאחר 3.5 חודשי אחסון ב- 7 מ"צ התרשמו שהפרי בשקיות עם ה- 1-MCP sachets נראה מעט יותר טרי ורענן בהשוואה לפירות הביקורת, וכן צבע הגרגרים היה אדום ולא אדום-יין, צבע המעיד על הבשלת יתר (איור 2).

רמות גזים בשקיות

בדיקות רמות גזים בשקיות רבע מיכל דולב הראו שרמת החמצן הייתה מעט גבוהה יותר (17.0% לעומת 15.6%) ורמת הפחמן הדו-חמצני הייתה מעט נמוכה יותר (6.0% לעומת 8.3%) בשקיות שנחשפו ל- 1-MCP בהשוואה לפירות הביקורת (איור 3). ממצאים אלה מעידים על כך שהטיפול ב- 1-MCP עיכב את נשימת הפרי.



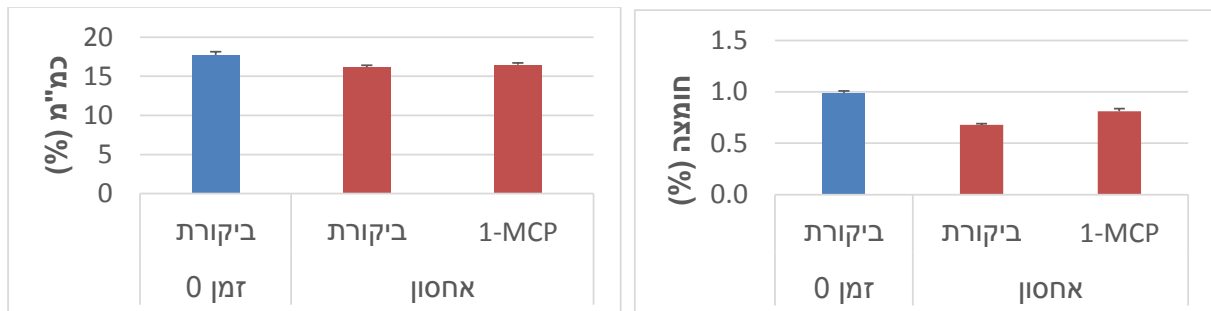
איור 2: מראה פירות רימון 'ונדרפול' לאחר 3.5 חודשי אחסון בשקיות רבע מיכל דולב עם או ללא חוספת 1-MCP sachets.



איור 3: רמות חמצן ופחמן דו-חמצני בשקיות רבע מיכל דולב עם או ללא 1-MCP sachets. התוצאות הינן ממוצעים $\pm$ ש.ת. של 4 שקיות.

תכולת כמ"מ וחומצה במיץ

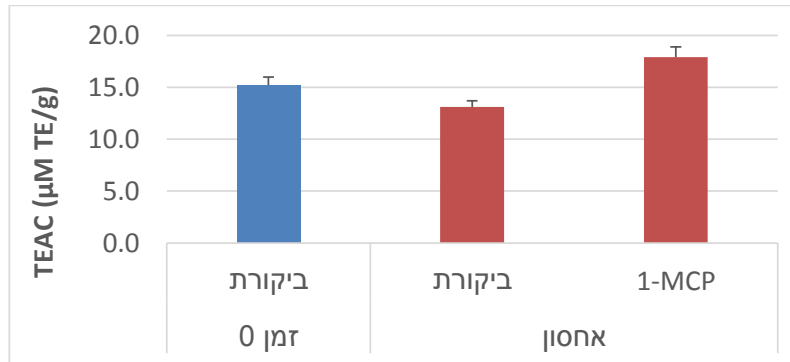
לאחר אחסון ממושך נצפתה ירידה קלה בתכולת הכמ"מ במיץ מ-17.7% בתחילת הניסוי ל-16.2% לאחר 3.5 חודשי אחסון. ניכרת יותר בתכולת החומצה מ-1.0% בתחילת הניסוי עד ל-0.68% בפירות הביקורת ו-0.81% בפירות שטופלו ב-1-MCP (איור 4). תוצאות אלה מראות שהטיפול ב-1-MCP שמר על האיכות הפנימית של הפרי והקטין את הירידה בתכולת החומצה במהלך האחסון.



איור 4: תכולת כמ"מ וחומצה במיץ בתחילת הניסוי ולאחר 3.5 חודשים אחסון ב-7 מ"צ עם או ללא 1-MCP sachets. התוצאות הינן ממוצעים $\pm$ ש.ת. של 3 חזרות.

פעילות נוגדת חמצון כללית

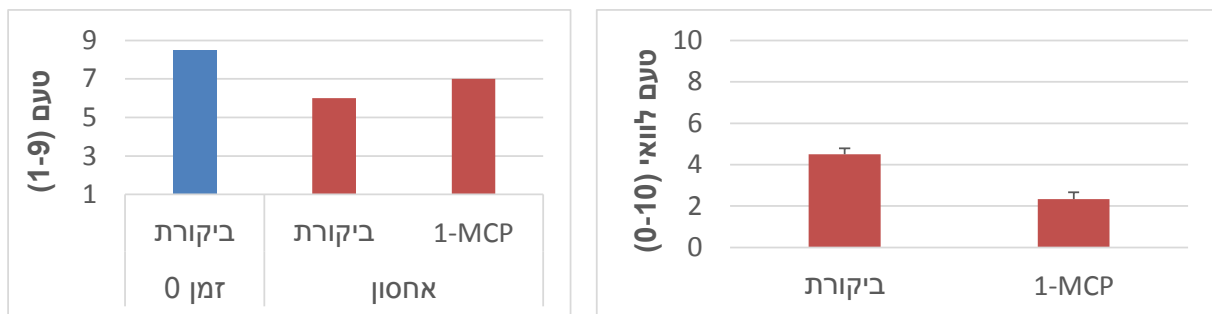
בדיקת פעילות נוגדת חמצון כללית במיץ הראתה כי בפירות הביקורת חלה ירידה מעטה ברמת הפעילות האנטיאוקסידטיבית הכללית מ-15 יחידות טרלוקס (אנאלוג של ויטמין E) ל-13.1 יחידות בלבד, בעוד רמת הפעילות נוגדת החמצון הכללית אף עלתה בפירות המטופלים ב-1-MCP (איור 5). ממצאים אלה מעידים שהטיפול ב-1-MCP שמר על האיכות הפנימית והערך התזונתי של הפרי.



איור 5: פעילות נוגדת חמצון כללית בתחילת הניסוי ולאחר 3.5 חודשים אחסון ב-7 מ"צ עם או ללא מתן 1-MCP sachets. התוצאות הינן ממוצעים $\pm$ ש.ת. של 3 חזרות.

טעם וטעם לוואי

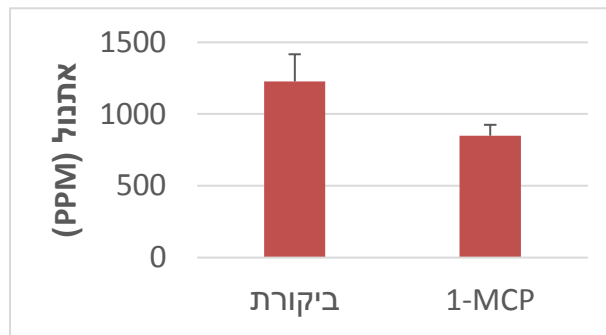
תוצאות הבדיקה הראו כי ציון התקבלות הטעם היה גבוה מאוד בתחילת הניסוי (ציון טעם = 8.5) אך ירד מעט לאחר האחסון הממושך לציונים של 6.0 ו-7.0 בפירות הביקורת ובפירות המטופלים ב-1-MCP, בהתאמה (איור 6). כמו כן, בפירות המטופלים ב-1-MCP היו פחות טעמי לוואי (איור 6). בסה"כ, הטיפול ב-1-MCP מיתן את הפגיעה בטעם הפרי המהלך האחסון הממושך.



איור 6: מבחני טעימה של פירות רימון 'ונדרפול' בתחילת הניסוי ולאחר 3.5 חודשים אחסון ב-7 מ"צ עם או ללא 1-MCP sachets. האיור משמאל מציג את ציון התקבלות הטעם, והאיור מימין מציג את ציון חישת טעמי הלוואי. התוצאות הינן ממוצעים $\pm$ ש.ת. של 5 טעמים מאומנים.

תכולת אתנול במיץ

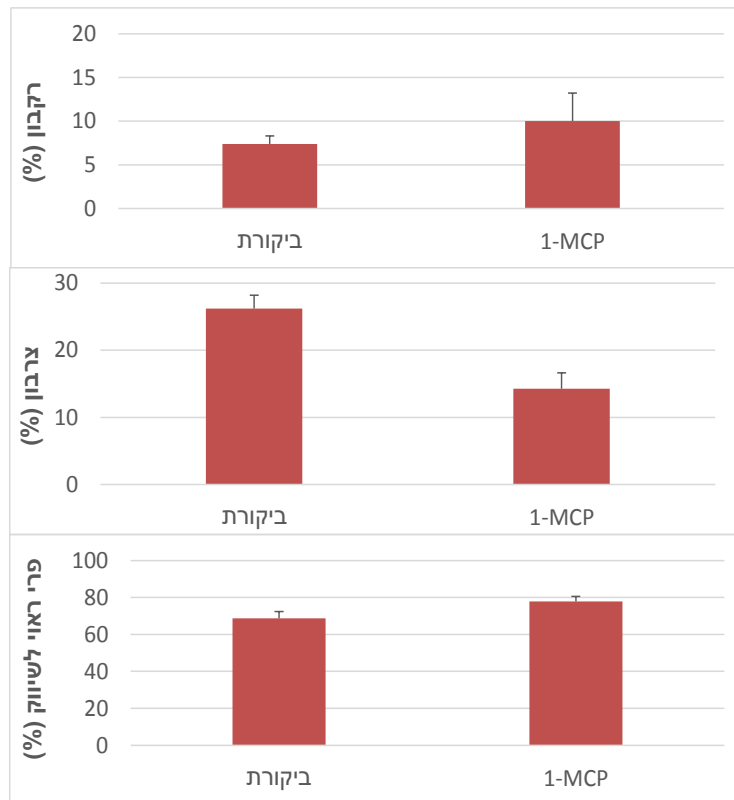
מקובל להניח שהפגיעה בטעם הפרי לאחר הקטיפ נובעת, לפחות בחלקה, מעידוד תהליכי תסיסה כוהלית והצטברות אתנול במיץ. בבדיקה הנכחית נמצא שתכולת האתנול במיץ של הפירות המטופלים ב-1-MCP הייתה נמוכה יותר בהשוואה לפירות הביקורת – רק 848 ח"מ בהשוואה ל-1,227 ח"מ, בהתאמה (איור 7).



איור 7: תכולת אתנול במיץ של פירות רימון 'ונדרפול' לאחר 3.5 חודשים אחסון ב- 7 מ"צ עם או ללא מתן 1-MCP sachets. התוצאות הן ממוצעים $\pm$ ש.ת. של 3 חזרות.

שיעור רקבון וצרבון

תוצאות הבדיקה מראות שהטיפול ב- 1-MCP הגביר מעט את שיעור הרקבון מ- 7.4% בפיחת הביקורת ל- 10.0% בפיחת המטופלים, אך הפחית בכמחצית את שיעור הצרבון מ- 26.2% בפיחת הביקורת ל- 14.2% בלבד בפיחת המטופלים ב- 1-MCP (איור 8). עיקר הרקבון נגרם מבטריטיס, בעיקר רקבון צד שהתפתח על פצעים/סדקים על פני קליפת הפרי. סה"כ הטיפול ב- 1-MCP הגביר את שיעור הפרי הראוי לשיווק (ללא סימני רקבון או צרבון) מ- 69% בטיפול הביקורת ל- 78% (איור 8).



איור 8: שיעור רקבון, צרבון וסה"כ פרי ראוי לשיווק לאחר 3.5 חודשי אחסון ב- 7 מ"צ עם או ללא 1-MCP sachets. התוצאות הן ממוצעים $\pm$ ש.ת. של 4 שקיות רבע מיכל דלב.

סיכום ומסקנות

הוספת שקיקי 1-MCP רבע מיכל דולב סייע בשמירת איכות פירות רימון 'ונדרפול' לאחר אחסון ממושך של 3.5 חודשים ב-7 מ"צ.

הטיפול ב-1-MCP עיכב את קצב נשימת הפרי, דבר שבא לידי ביטוי ברמות חמצן גבוהות יותר ורמות פחמן דו-חמצני נמוכות יותר באווירה הפנימית של שקיות האחסון.

כמו כן, הטיפול ב-1-MCP שימר את האיכות הפנימית של הפרי, דבר שבא לידי ביטוי בשימור רמות גבוהות יותר של חומצה במיץ, ערך תזונתי גבוה יותר, ציון התקבלות טעם גבוה יותר, והפחתת רמות האתנול במיץ.

לבסוף, הטיפול ב-1-MCP הפחית במחצית את שיעור הצרבון, וכך הגדיל את שיעור הפרי הראוי לשיווק. אם זאת, בניסוי הנכחי נצא שהטיפול ב-1-MCP הגביר מעט את שיעור הרקבון.

2. השפעות 1-MCP על האיכות וכושר האחסון של זני השסק 'עכו' ו-'אברי'

מהלך הבדיקה: פירות שסק מזן 'עכו' נקטפו ממטע סמוך לקיבוץ גנסר ב-5 באפריל 2016 ופירות שסק מזן 'אברי' נקטפו ממטע במושב בת שלמה ב-19 באפריל 2016. במעבדה לקירור בקרית שמונה נדגמו לניסוי פירות תקינים בגודל אחיד ע"פ חמש חזרות, 10 פירות בכל חזרה עבור הטיפולים הבאים: 1-MCP (1ppm), אתילן (100ppm) ובקורת ללא טיפול. בתום החשיפה לטיפולים השונים שנמשכה 18 שעות ב-20°C, נעטפו הפירות בשקיות LDPE, והועברו הן למעקב ב-20°C והן לאחסון ב-0°C למשך 28 ימים ו-42 ימים. בדיקות איכות הפרי נערכו במועדי ההוצאה מהאחסון ולאחר ארבעה ושבעה ימים בחי" מדף. בכל מועד נמדדה איכותו החיצונית והפנימית של הפרי, איבוד משקל במהלך האחסון; קצב יצור פחמן דו-חמצני ואתילן, צבע הקליפה והמיץ, קשיות הציפה; ותכולת כמ"מ וחומצה במיץ סחוט.

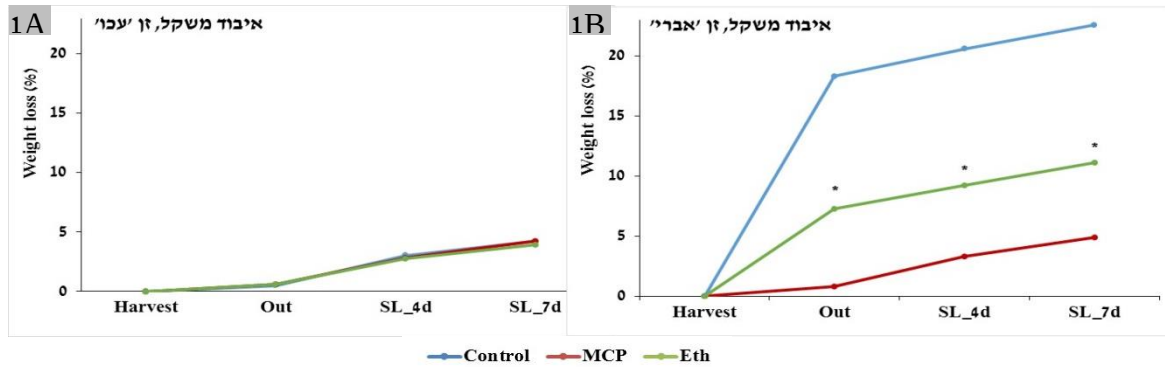
תוצאות

איבוד משקל:

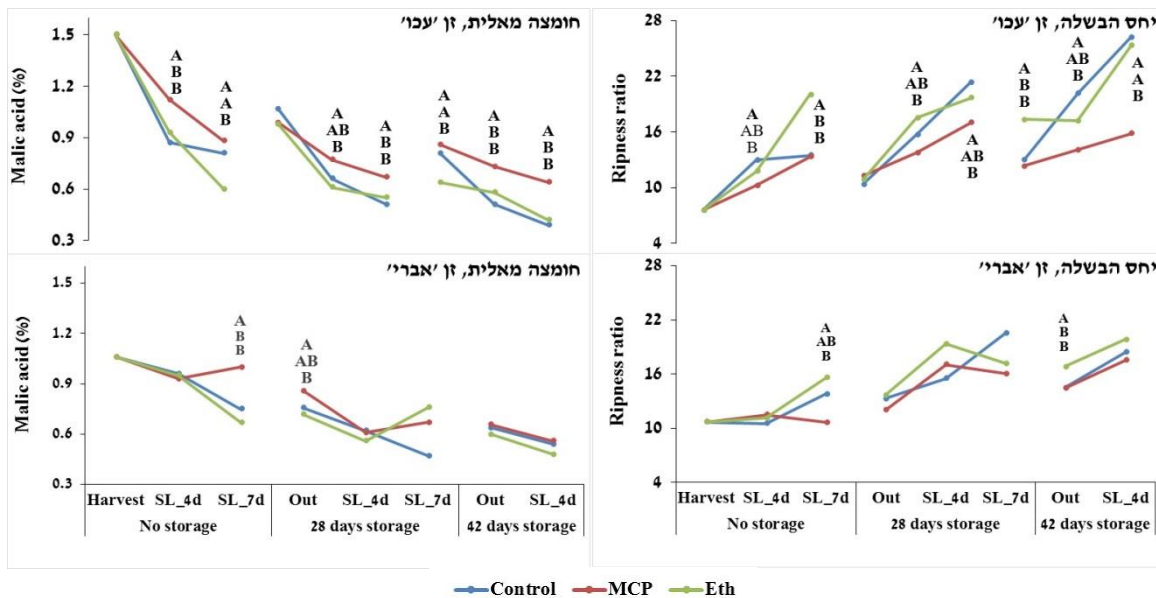
במועד ההוצאה מהאחסון (לאחר 28 ימים) אבדו פירות הזן 'עכו' פחות מ-1% ממשקלם, ללא הבדל בין הטיפולים ובמהלך חי" המדף אבדו כ-5% ממשקלם (איור 1A). לעומת זאת, איבוד המשקל בפירות הזן 'אברי' לאחר 28 ימים באחסון הגיע לכ-18% בטיפול הביקורת ו-7% בטיפול האתילן. חשיפה ל-1-MCP עיכבה את איבוד המשקל ביחס לטיפולים אלו ואיבוד המשקל היה 1% בלבד (איור 1B). במהלך חי"-מדף איבוד הפירות עוד כ-3% ממשקלם ונשמר הפער בין הטיפולים.

תכולת חומצה ויחס ההבשלה:

בכל מועדי הבדיקות בזן 'עכו' נמצא שבפירות שנחשפו ל-1-MCP נשמרה תכולה גבוהה של חומצה מאלית ביחס לטיפולים האחרים (איור 2). בהתאם לכך, יחס ההבשלה בכל מועדי הבדיקה היה נמוך יותר בטיפול ה-1-MCP (איור 2). בזן 'אברי' לא נמצאו הבדלים בין הטיפולים בשיעור החומצה המאלית וביחס ההבשלה (איור 2).



איור 1: איבוד משקל של פירות שסק מהזנים 'עכו' (3A) ו-'אבר' (3B) לאחר 28 ימים באחסון ולאחר ארבעה ושבעה ימים בחיי מדף. * מצוין הבדל מובהק ($p < 0.05$) בין טיפול האתילן לטיפול ה-MCP-1.



איור 2: שיעור החומצה המאלית ויחס ההבשלה בזני השסק 'עכו' ו-'אבר' בקטיפ ולאחר 28 ו-42 ימים בקירור וארבעה ושבעה ימים בחיי מדף. אותיות שונות מציינות הבדל מובהק ($p < 0.05$) בין הטיפולים.

מראה וצבע הפרי:

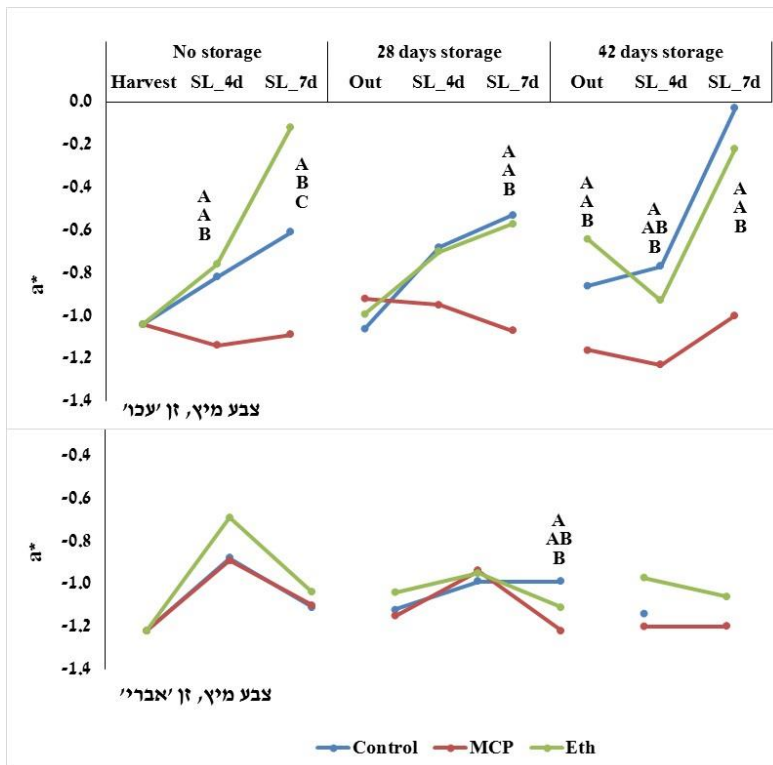
צבע הקליפה של הפירות שטופלו ב-1-MCP היה צהוב בהיר בהשוואה לפירות הביקורת ובעיקר לפירות שטופלו באתילן אשר צבעם היה צהוב/כתום (איור 3). כלומר, הטיפול ב-1-MCP עיכב שבירת צבע.

צבע המיץ:

בבדיקת ערוץ a^* של מיץ הפרי נמצא שמיץ מפרי של טיפול ה-1-MCP, בעיקר בזן 'עכו', היה בגוון צהוב בהיר יותר ביחס לטיפול האתילן ולטיפול הביקורת (איור 4).



איור 3: מראה וצבע פירות זני השסק 'עכו' ו- 'אברי' בקטיף ולאחר 42 ימים בקירור וארבעה ימים בחיי מדף.



איור 4: צבע המיץ (ערוץ a^*) של זני השסק 'עכו' ו- 'אברי' בקטיף ולאחר 28 ו-42 ימים בקירור וארבעה ושבעה ימים בחיי מדף. אותיות שונות מציינות הבדל מובהק (p < 0.05) בין הטיפולים.

איכות פנימית:

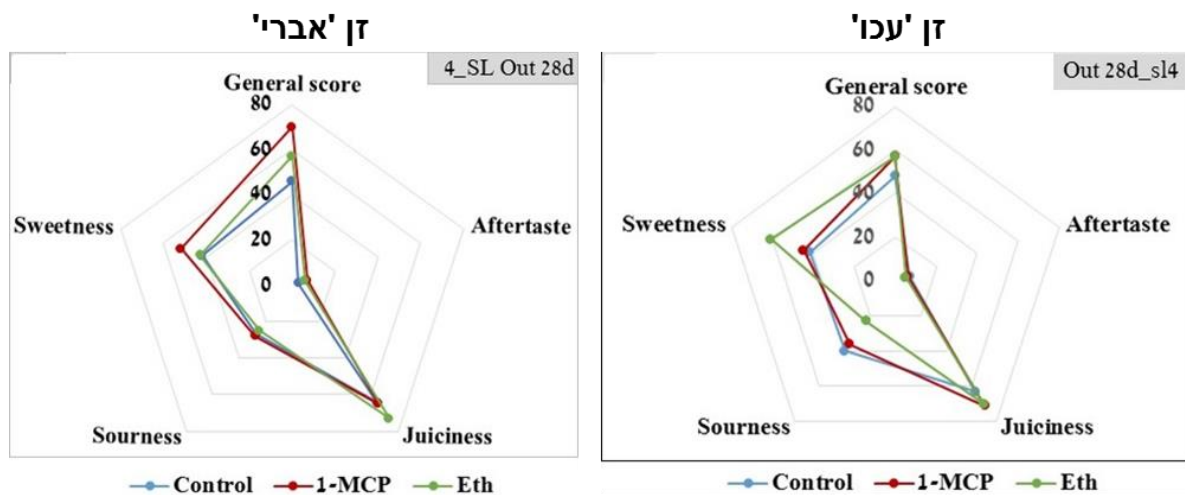
בזן 'עכו' ובזן 'אברי' לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים במדדי האיכות הפנימית אך ניכרת המגמות הבאות: (1) אחוזי ההשחמה הנמוכים ביותר התקבלו בטיפול 1-MCP, הן במועד ההוצאה לאחר 42 ימים והן לאחר שבעה ימים בחיי-מדף; (2) בזן אברי, לאחר 42 ימים, נראה ש-1-MCP הפחית את אחוזי ההשחמה הפנימית אך הגביר את רגישות הפרי לרקבנות פנימיים (טבלה א').

טבלה א': אחוזי ריקבון פנימי, ציפה בריאה והשחמה פנימית ± ש.ת. בזני השסק 'עכו'- 'אבר' לאחר 42 ימים באחסון ושבעה ימים בחי' מדף.

חיי-מדף 7 ימים			הוצאה 42 ימים			
השחמה (% משוקלל)	ציפה בריאה (%)	ריקבון פנימי (%)	השחמה (% משוקלל)	ציפה בריאה (%)	ריקבון פנימי (%)	
23.9±4.1	52.8±5.0	2.0±2.0	29.5±9.5	46.0±13.6	4.0±2.4	בקורת
19.3±4.0	57.0±10.7	0.0	19.5±2.7	48.0±5.8	0.0	MCP
24.0±2.3	34.5±8.7	10.0±7.3	31.3±5.3	27.1±9.0	0.0	אתילן
13.7±6.7	62.7±19.8	0.0	1.0±1.0	96.0±4.0	0.0	בקורת
4.8±1.2	68.5±12.4	12.5±9.7	0.0	96.0±4.0	4.0±4.0	MCP
18.2±5.9	47.9±11.0	0.0	1.0±1.0	96.0±4.0	0.0	אתילן

טעם הפרי:

טעם הפרי נבחן ע"י צות טועמים מאומן במעבדה לקירור בקריית שמונה בזמן הקטיף ולאחר חודש אחסון ב-0 מ"צו-4 ימים בחי" מדף ב-20 מ"צ. בזן 'עסו' לא נמצאה השפעה משמעותית לטיפול ב-1-MCP על התקבלות טעם הפרי, אך חשיפה לאתילן הגבירה את חישת המתיקות והפחיתה את חישת החמיצות (איור 5). בזן 'אברי' נמצא שהטיפול ב-1-MCP שיפר את התקבלות טעם הפרי וציון הטעם הכללי (General score) היה גבוה יותר מאשר בפיחות הביקורת ומהפיחות שנחשפו לאתילן (איור 5).



איור 5: תוצאות מבחני טעימה של פירות זני השסק 'עכו'- 'אברי' בקטיף ולאחר 28 ימים בקירור וארבעה ימים בחי' מדף.

סיכום ומסקנות

פירות זני השסק 'עכו'-ו- 'אברי' הגיבו לטיפול ה-1-MCP במספר מדדים שונים.

פירות שטופלו ב-1-MCP היו בעלי תכולת חומצה גבוהה יותר ויחס הבשלה נמוך יותר, וכן שמרו על גוון בהיר יותר של צבע הקליפה וצבע המיץ. בזן 'אברי', פירות מטופלים ב-1-MCP איבדו פחות ממשקלם ונפחות ניזוקו מהשחמה פנימית. הטיפול ב-1-MCP התאפיין, בשני הזנים, באחוזי פרי לשיווק גבוהים יותר ובהאטה בקצב הנשימה.

3. השפעות 1-MCP על האיכות וכושר האחסון של פירות צבר

מהלך הבדיקה: בארבע בדיקות שנערכו במהלך השנתיים הראשונות של המחקר פירות צבר מזן 'עופר' נחשפו ל-1-MCP בריכוז 1 ח"מ במיכלים אטומים או נחשפו לשקיקי 1-MCP בשקיות אווירה מתואמת (סמרטפרש in box). בשנה השלישית של המחקר נבחן יישום מעשי של הטיפול ב-1-MCP בבית האריזה של יורם עין גדי במושב יבול בנגב באמצעות חשיפה לתכשיר בצורה גזית בריכוז 900 ח"ב באוהל אטום למשך 24 שעות (איור 1). היישום המסחרי של 1-MCP בצע ע"י טכנאי של חברת רימי בע"מ, שהינה המשווקת הבלעדית של התכשיר בישראל. חלק מהטיפולים בבדיקה זו נטבלו ע"י המגדל בתמיסה מימית של תכשיר ההדברה פלינט בריכוז 0.01%.

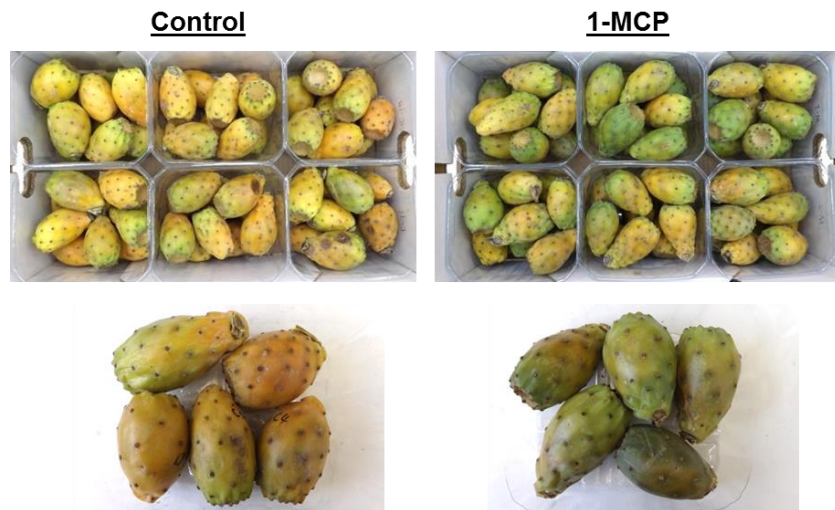


איור 1: חשיפת פירות צבר ל-1-MCP באוהל נייד.

משך האחסון: בניסויים שנערכו בשנתיים הראשונות איכות הפרי נבדקה לאחר 3 שבועות אחסון ב-7 מ"צו-5 ימים בחיי מדף ב-21 מ"צ, ואילו בניסוי היישומי בשנה השלישית איכות הפרי נבדקה לאחר חודש וחודשיים אחסון ב-7 מ"צ. **בדיקות איכות פרי:** כללו מראה, צבע, תכולת כמ"מ וחומצה, מוצקות, טעם, והתפתחות רקבונות וכתמי חלודה.

סיכום ניסויים בשנים א' ו- ב'

בדיקות אלו נערכו ב- 9.9.14, 14.1.15, 30.6.15 ו- 16.7.16, ובכולם נמצא שחשיפה ל-1-MCP עיכבה את שבירת צבע הקליפה הן ביישום בצורה גזית (איור 2) והן ביישום באמצעות שקיקי 1-MCP (סמרטפרש in box) (איור 3).

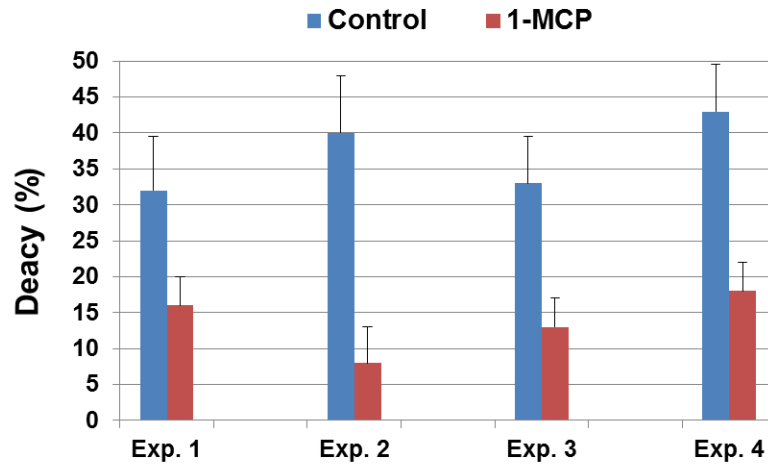


איור 2: השפעת חשיפה ל-1-MCP בריכוז 1 ח"מ בצורה גזית על מראה פירות צבר לאחר 3 שבועות אחסון ב-7 מ"צ + 5 ימים ב-20 מ"צ.



איור 3: השפעת חשיפה ל-1-MCP באמצעות פדים לשחרור איטי (סמרטפרש box in) בשקיות אוויר מתואמת על מראה פירות צבר לאחר 3 שבועות אחסון ב-7 מ"צ + 5 ימים ב-20 מ"צ.

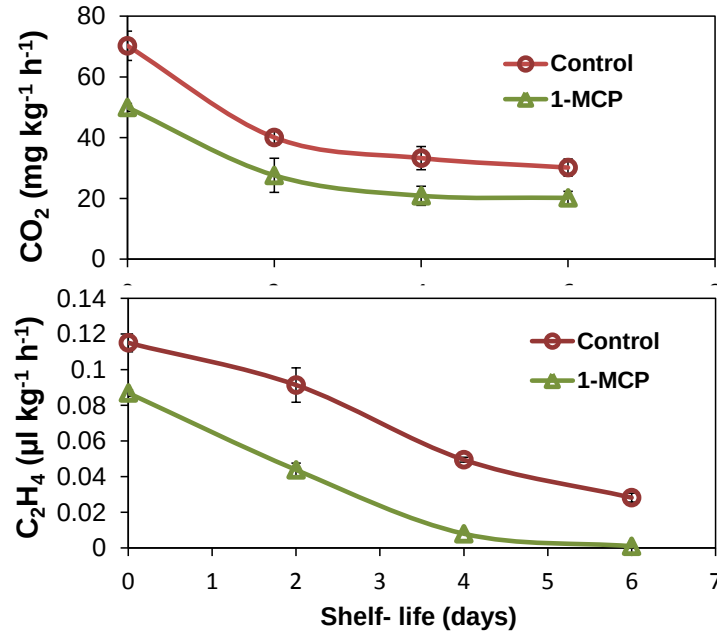
בנוסף לעיכוב שבירת צבע הפרי, הממצא הבולט בארבעת הבדיקות הללו הוא שחשיפה ל-1-MCP הפחיתה את שיעור התפתחות הרקבנות לאחר האחסון בשיעורים ניכרים שבין 50-75% בהשוואה לפירות ביקורת לא מטופלים (איור 4).



איור 4: השפעת חשיפה ל-1-MCP בריכוז 1 ח"מ על התפתחות רקבונות בפירות צבר. הבדיקות נערכו לאחר 3 שבועות אחסון ב-7 מ"צ ו-5 ימים ב-20 מ"צ. התוצאות הינן ממוצעים $\pm$ ש.ת. של 4 תיבות.

מלבד השפעות 1-MCP על צבע הקליפה ושיעור התפתחות רקבונות, התנשיר לא השפיע על מדדי איכות פנימיים, ובכללם תכולת כמ"מ וחומצה במיץ, אובדן משקל, מוצקות וטעם (תוצאות לא מובאות).

מבחינת מנגנון הפעולה של 1-MCP בעיטוב שבירת הצבעומניעת רקבון, מצאנו בזאת כי הטיפול האט את קצב הנשימה וייצור אתילן, ולכן האט את הפעילות המטבולית בפרי לאחר הקטיפה (איור 5).

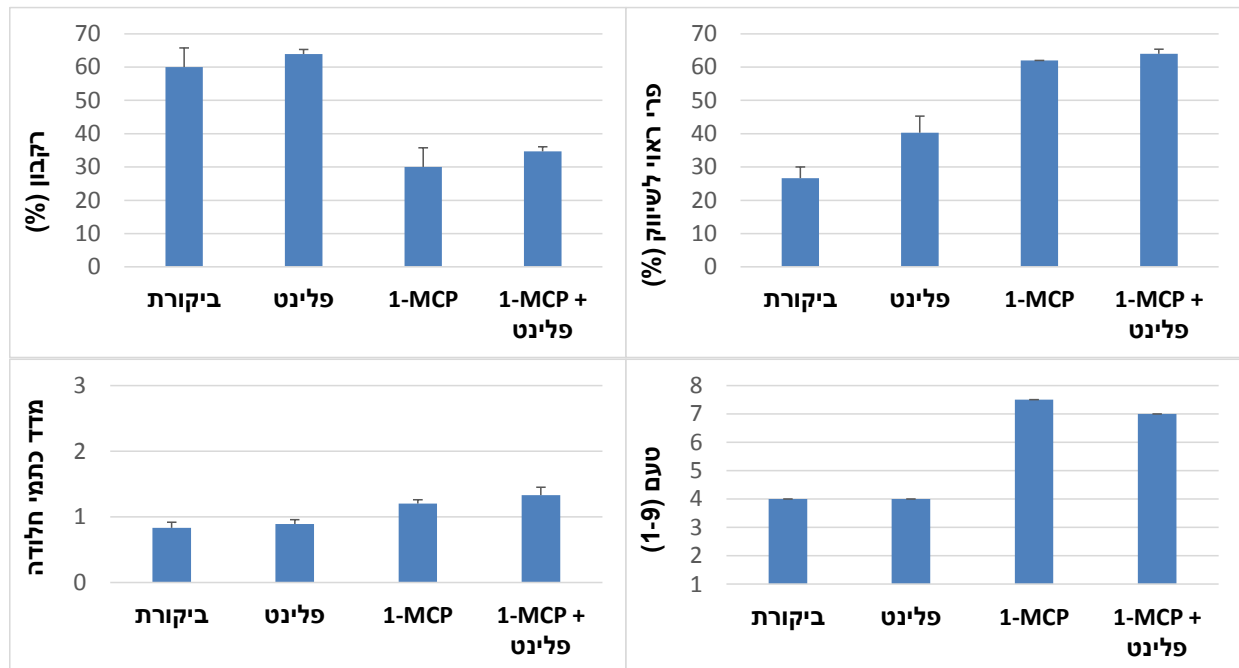


איור 5: השפעת חשיפה ל-1-MCP בריכוז 1 ח"מ על קצב הנשימה וייצור אתילן בפירות צבר. התוצאות הינן ממוצעים $\pm$ ש.ת. של 5 חזרות.

סיכום ניסוי יישום מסחרי בשנה ג'

בדיקה 1 – לאחר חודש אחסון ב- 7 מ"צ

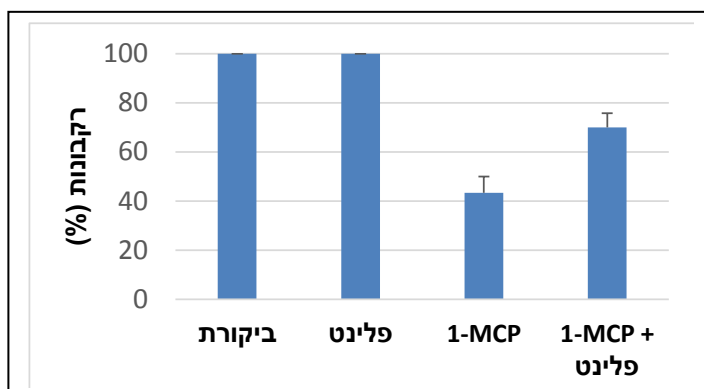
חשיפה ל- 1-MCP הפחיתה את שיעור התפתחות הרקבנות מרמה גבוהה של 60-64% בפירות הביקורת לרמה נמוכה בהרבה של 30-35% בפירות המטופלים (איור 6). לעומת זאת, הטיפול ב- 1-MCP הגביר מעט את עוצמת הנזק כתוצאה מכתמי חלודה (איור 6). בסה"כ, החשיפה ל- 1-MCP העלתה את אחוז הפרי הראוי לשיווק מ- 27% בטיפול הביקורת ו- 40% בטיפול הטבילה בתכשיר ההדברה פלינט לרמות גבוהות יותר של 62-64% (איור 6). לבסוף, הטיפול ב- 1-MCP גם שיפר מאוד את ציון התקבלות טעם הפרי (איור 6). ראוי לציין שהטבילה בפלינט לא הפחיתה את שיעור הרקבנות, וזאת אולי כיוון שהוא ניתן בתמיסה מימית ולא בדוג כמומלץ ע"י היצרן.



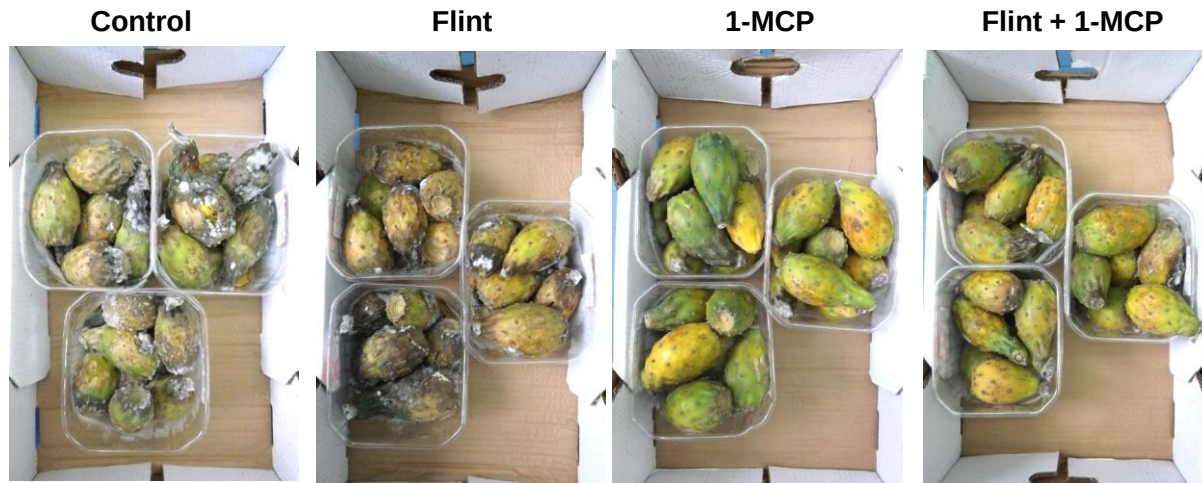
איור 6: השפעת חשיפה ל- 1-MCP בריכוז 0.9 ח"מ על התפתחות רקבנות, כתמי חלודה, אחוז פרי ראוי לשיווק וטעם של פירות צבר בניסוי יישום מסחרי. הבדיקות נערכו לאחר חודש אחסון ב- 7 מ"צ. התוצאות הינן ממוצעים $\pm$ ש.ת. של 3 תיבות.

בדיקה 2 – לאחר חודשיים אחסון ב- 7 מ"צ

לאחר חודשיים אחסון זיהינו 100% רקבון בפירות הביקורת אשר לא טופלו ב- 1-MCP, לעומת רק 43% רקבון בפירות שטופלו עם 1-MCP ו- 68% בפירות שטופלו בפלינט ו- 1-MCP (איורים 7-8).



איור 7: שיעורי התפתחות רקבנות לאחר חודשיים אחסון ב- 7 מ"צ.



איור 8: מראה הפרי מניסוי היישום המסחרי לאחר חודשיים אחסון ב-7 מ"צ.

השפעות 1-MCP על פרופיל ביטוי גנים בקליפת פירות צבר

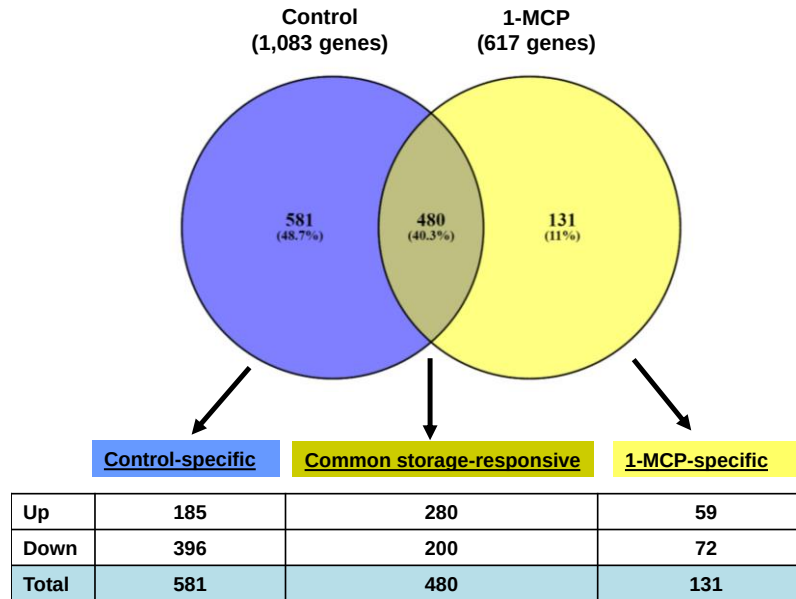
אנליזות RNA Seq של פירות צבר נערכו ביחידת הגנומיקה במכון וייצמן וכללו 3 טיפולים: (1) זמן אפס, (2) שבועיים אחסון, ו- (3) חשיפה ל-1-MCP + שבועיים אחסון. סה"כ רוצפו 69,799 תעתיקים המשוכים ל- 52,048 גנים שונים.

סה"כ זוהו 5,813 תעתיקים אשר התבטאו באופן דיפרנציאלי בטיפולים השונים, ובכלל זה 3,795 גנים שהתבטאו באופן דיפרנציאלי בטיפול הביקורת (1,445 גנים שביטויים עלה ו-2,350 גנים שביטויים ירד) ו-2,018 תעתיקים שהתבטאו באופן דיפרנציאלי לאחר חשיפה ל-1-MCP (1,129 גנים שביטויים עלה ו-889 גנים שביטויים ירד) (טבלה א'). ניתן לראות בבירור כי הטיפול ב-1-MCP מיתן את הירידה בפרופיל ביטוי גנים במהלך האחסון (טבלה א').

טבלה א': תעתיקים שהתבטאו באופן דיפרנציאלי בפירות הביקורת ובפירות המטופלים ב-1-MCP בהשוואה לזמן 0 (ביטוי גבוה או נמוך לפחות פי 4 ו- $p \leq 0.05$).

Pair-wise comparison	Transcripts differentially expressed at $q \leq 0.05$ and induced or repressed by at least 4 folds		
	Up-regulated	Down-regulated	Total
Control / Time zero	1,445 (38%)	2,350 (62%)	3,795
1-MCP / Time zero	1,129 (56%)	889 (44%)	2,018

כיוון שתעתיקים רבים הראו דמיון ביניהם השווינו את הרצפים לגנום של ארבידופסיס, וכך זיהינו 581 גנים שהתבטאו ספציפית בפירות הביקורת ורק 131 גנים שהתבטאו ספציפית לאחר הטיפול ב-1-MCP וכן 480 גנים שהתבטאו באופן דומה לאחר שבועיים אחסון בשני הטיפולים (איור 9). גם באנליזה זו ניתן לראות כי הטיפול ב-1-MCP מיתן באופן ניכר את השינויים בפרופיל ביטוי הגנים במהלך האחסון (איור 9).



איור 9: דיאגרמת Venn המדגימה את הביטוי הדיפרנציאלי של גנים בפירות הביקורת ובפירות המטופלים ב-1-MCP (ביטוי גבוה או נמוך לפחות פי 4 ו- $p \leq 0.05$).

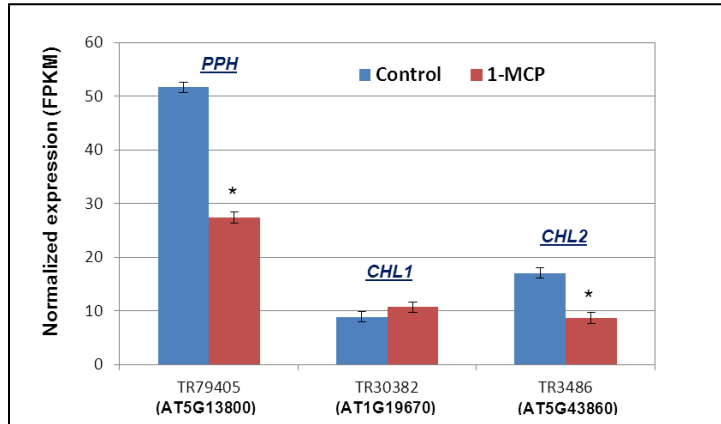
מיון הגנים לפי קבוצת תפקודיות (functional categorization) הראה כי עיקר ההבדלים ברמות ביטוי גנים בעקבות החשיפה ל-1-MCP היו במיתון השינויים בביטוי גנים המעורבים בעקות (בעיקר עקות ביוטיות), RNA (בעיקר בקרת שעתוק), העברת סיגנלים (בעיקר רצפטור קינאזות) ובקרה תאית (בעיקר ארגון התא) (טבלה ב').

טבלה ב': קבוצת גנים עיקריות שביטויים ירד באופן ספציפי בפירות הביקורת לעומת הטיפול ב-1-MCP.

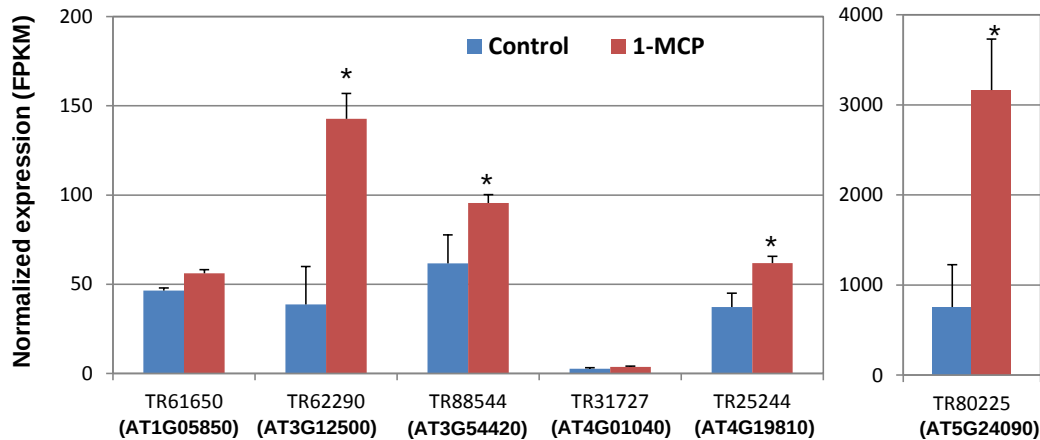
Bin	Functional categorization	1-MCP		Control		Common	
		Up	Down	Up	Down	Up	Down
20	stress	26	14	28	53	19	13
20.1	stress.biotic	10	9	8	37	5	37
27	RNA	22	29	25	79	15	27
27.3	regulation of transcription	22	26	25	72	15	72
30	signalling	5	17	7	62	3	14
30.2	receptor kinases	4	6	5	36	2	36
31	cell	6	3	13	19	5	3
31.1	cell.organisation	1	3	5	15	1	15

על מנת לבחון את המנגנונים המולקולאריים המעורבים בעיטוב שבירת צבע הקליפה והגברת העמידות לפתוגנים בעקבות החשיפה ל-1-MCP בחנו את רמות הביטוי של גנים המעורבים בפיחוק כלוחפיל (chlorophyllase ו-pheophytinase), וכן את רמות הביטוי של גנים המקדדים לכיטיןזות המקדדים

לאנזימים אנטי פטרייתיים. התוצאות מראות שהטיפול ב-1-MCP עיכב את הביטוי של גנים המעורבים בפירוק כלורופיל (איור 10) והגביר את הביטוי של גנים אנטי פטרייתיים (איור 11) וזאת בהשוואה לפירות הביקורת שלא טופלו ב-1-MCP.



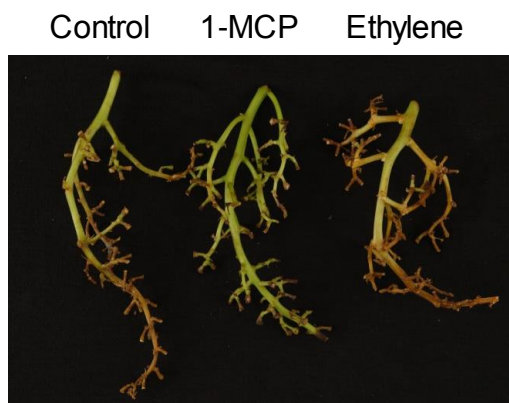
איור 10: השפעת חשיפה ל-1-MCP על ביטוי גנים המעורבים בפירוק כלורופיל. * מצוין מובהקות ברמה של $p \leq 0.05$.



איור 11: השפעת חשיפה ל-1-MCP על ביטוי גנים המקודדים לכיטנאזות (אנזימים אנטי פטרייתיים). * מצוין מובהקות ברמה של $p \leq 0.05$.

4. השפעות 1-MCP על איכות וכושר האחסון של ענבים

בניסויים שערכנו בשנת המחקר הראשונה מצאנו שחשיפה ל-1-MCP עיכבה תהליכי נשימה וייצור אתילן בשזרות מנותקות, ועיכבה נזק החמות שיזרה (איור 1).



איור 1: השפעות אתילן ו-1-MCP על החמות שיזרה בענבים. התמונה צולמה אחרי 7 ימים אחסון ב-20 מ"צ.

בבדיקה שערכנו בשנה השלישית בזן 'סקלחטה' בחנו את אפשרות היישום המסחרי של שקיקי 1-MCP בארגזי פרי עטופים ביריעת פלסטיק (סמרטפרש box in) (איור 2).



איור 2: ניסוי יישום שקיקי 1-MCP לענבים.

תוצאות הבדיקה הראו כי מתן שקיקי 1-MCP עיכבו במעט את החמות השיזרה לאחר 3 ו- 6 שבועות אחסון ב- 0 מ"צ ויומיים מספים ב- 21 מ"צ (איורים 3-4).

Control



1-MCP



איור 3: השפעת יישום שקיקי 1-MCP על החמות שיזרה בענבים מזן 'סקלחטה'. התמונות צולמו לאחר 3 שבועות ב- 0 מ"צ ויומיים ב- 21 מ"צ.

ביקורת



אתנול



1-MCP + אתנול



איור 4: מראה 'סקלחטה' לאחר 6 שבועות באחסון בקירור ויומיים בחי' מדף.

עוצמת החמות השיזרות נמדדה באמצעות מדדי אוטו-פלורסצנציה במכשיר מולטיפלקס (טבלה א').
מדדים אלו מצביעים על השפעה מובהקת של הטיפול למחת שלא מדובר בהשפעה שנראית בעלת ערך
מסחרי במדדי התרשמות סובייקטיביים. כמו כן, אחוז הריקבנות בטיפול ה-1-MCP היה נמוך יותר אך
התוצאות לא היו מובהקות.

טבלה א': השפעת 1-MCP על החמת שיזרות בענבי סקרלוטה לאחר 6 שבועות באחסון בקור ו-3 ימים
בחיי מדף. הטיפול ניתן ב-13.11.16 על פרי שעבר שטיפה באתנול במערך מסחרי. הבדיקות נערכו ב-
28.12.16.

SFR_R		FLAV		FER_RG		ANTH_RB	
0.593	A	0.533	A	2.087	A	0.164	A
0.599	A	0.520	A	1.918	B	0.129	B

מדדי FER_RG ו-ANTH_RB מייצגים את החמת השיזרות (Bahar et al., in preparation). מדד FLAV מייצג את רמת
הפלבונואידים ברקמה ומדד SFR_R את רמת הכלורופיל.

דיון ומסקנות

במחקר הנכחי זיהינו מספר השפעות מועילות של 1-MCP על שמירת האיכות ושיפור כושר האחסון של פירות לא-קלימקטריים שונים, ובכללם עיכוב תהליכי הזדקנות, כגון החמות שזרה בענבים; מניעת התפתחות פגמים פיזיולוגיים, כגון צרבון הקליפה ברימון והשחמת בית הגלעין בשסק; עיכוב שבירת צבע בצבר ושסק, שמירת הטעם והאיכות הפנימית בשסק ורימון, ועיכוב התפתחות רקבונות בצבר.

לעומת זאת, לא זיהינו השפעות מועילות ועקביות של 1-MCP בפירות ליצי, דובדבן ופיטאיה. במקרים מסוימים אמנם מצאנו שחשיפה ל-1-MCP הפחיתה נזק גומה בדובדבן והצהבת קשקשים בפיטאיה, אך ממצאים אלו לא חזרו על עצמם באופן תדיר.

אי לכך, אנו מסיקים שההשפעות המועילות והעקביות ביותר של 1-MCP על האיכות וכושר האחסון של פירות לא-קלימקטריים נוגעים לפירות רימון, שסק, צבר וענבים.

במחקרים קודמים בפירות רימון דווח ש-1-MCP עיכב צרבון ברימון מזן 'ונדרפול' (Defilippi et al. 2006) והחמות קליפה ברימון מזן 'Dahongpao' (Zhang et al. 2008). יתרה מכך, הוצע ש-1-MCP עיכב החמות קליפה באמצעות עיכוב פעילות האנזים פוליפנול אוקסידאז (PPO) (Zhang et al. 2008).

במחקרים קודמים בפירות שסק דווח ש-1-MCP הפחית החמות פנימיות (internal browning) באמצעות עיכוב פעילות האנזימים ליפוקסיגנאז (LOX) ו-PPO (Cai et al. 2006). מבחינת האיכות הפנימית של פירות שסק, דווח ש-1-MCP עיכב באופן מובהק את הירידה ברמות הכמ"מ והחומצה במהלך האחסון (Zheng et al. 2010; Liguori et al. 2014).

במחקרים קודמים בפירות ענבים דווח שחשיפה ל-1-MCP עיכבה את הייצור של אתילן בזן 'Aleatico' (Bellincontro et al. 2006). כמו כן, דווח ש-1-MCP עיכב נשירת פירות בזן 'Isabel' (Silva et al., 2013). לא ידוע לנו על עבודות קודמות מבחינת השפעות 1-MCP על פירות צבר.

אין לנו הסבר ברור מדוע 1-MCP הגביר רקבונות ברימון והפחית בצבר, אולם גם בספרות המדעית ישנם עדויות סותרות לגבי השפעות התכשיר על התפתחות רקבונות בסוגי פירות שונים (Jiang et al. 2001).

המסקנות העיקריות מכלל המחקר ומהבדיקות היישומיות שנערכו בשנה השלישית הן:

רימון – חשיפה ל-1-MCP מפחיתה נזקי צרבון, ומאטה את קצב הנשימה ובעקבות זאת מסייעת בהארכת משך האחסון ושימור איכות הפרי. באופן יישומי, מצאנו כי ניתן ליישם את הטיפול ב-1-MCP ברימון הן כחשיפה חד פעמית לפני האחסון הממושך בקור והן בצורת הוספת שקיקי 1-MCP (סמרטפרש in box) בשקיות מיכל דולב. לעומת זאת, לטיפול ב-1-MCP לא נמצא יתרון במהלך אחסון באווירה מבוקרת בחמצן נמוך. באופן מעשי, יישום השימוש ב-1-MCP יכול לסייע בשימור איכות הפרי במהלך אחסון ממושך.

שסק – חשיפה ל-1-MCP מסייעת בשימור איכות הפרי במהלך אחסון ממושך, וזאת מבחינת שימור רמת החומצה, הפחתת החמות פנימיות, עלייה בכמות הפרי הראוי לשיווק, ובמקרים מסוימים עיכוב

נשימה והבשלה והקטנת אובדן משקל. יישום השימוש ב-1-MCP עשוי לסייע בהארכת משך האחסון לצורך יסודות מלאים והארכת עונת השיווק.

צבר - חשיפה ל-1-MCP עיכבה את ההשתנות צבע הפרי והפחיתה התפתחות רקבונות. בעיקר חשוב לציין את השפעת הטיפול ב-1-MCP על עיכוב התפתחות רקבונות, תופעה שחזרה על עצמה גם בניסויים מעבדתיים וגם בניסוי יישום מסחרי. יישום השימוש ב-1-MCP עשוי להקטין פחתים, לאפשר אחסון ביניים לצורך יסודות מלאים, ואולי אף לאפשר את קידום הייצוא של פירות צבר במשלוחים ימיים.

ענבים - חשיפה ל-1-MCP מסייעת בעיכוב החמות שיזרה. אם זאת, ראוי לציין כי החמות שיזרה מושפעות מגורמים שונים ובכללם טמפרטורת האחסון, איבוד מים, תגובה לאתילן ועוד, ולכן 1-MCP יעיל באופן חלקי בלבד וזאת בהתאם ליתר תנאי האחסון של הפרי.

רשימת ספרות מצוטטת

- Bellincontro, A., Fardelli, A., Santis, E., Botondi, R., Mencarelli, F., 2006. Postharvest ethylene and 1-MCP treatments both affect phenols, anthocyanins, and aromatic quality of Aleatico grapes and wine. *Aust. J. Grape Wine Res.* 12, 141-149.
- Cai C., Chen, K., Xu, W., Zhang, W., Li, X., Ferguson, I.B., 2006. Effect of 1-MCP on postharvest quality of loquat fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 40, 155-162.
- Defilippi, B.G., Whitaker, B.D., Hess-Pierce, B.M., Kader, A.A., 2006. Development and control of scald on Wonderful pomegranates during long-term storage. *Postharvest Biol. Technol.* 41, 234-243.
- Jiang, Y., Joyce, D.C., Terry, L.A., 2001. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. *Postharvest Biol. Technol.* 23, 227-232.
- Liguori, G.M., Farina, V., Sortino, G., Mazzaglia, A., Inglese, P., 2014. Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest quality of white- and yellow-flesh loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) fruit. *Fruits* 69, 363-370.
- Silva, R.S., Silva, S.M., Rocha, A., Dantas, R.L., Schunemann, A.P.P., Pereira, W.E., 2013. Influence of 1-MCP on berry drop and quality of 'Isabel' grape. *Acta Hort.* 2012, 509-513.
- Zhang, L.H., Zhang, Y.H., Li, L.L., Li, Y.X., 2008. Effect of 1-MCP on peel browning of pomegranates. *Acta Hort.* 774, 275-281.
- Zheng, Y.H., Cao, S.F., Ma, S.J., Yang, Z.F., Li, N., 2010. Effects of 1-methylcyclopropene on internal browning and quality in cold-stored loquat fruit. *Acta Hort.* 857, 489-492.

פירוט מלא של הפרסומים המדעיים

תוצאות המחקר הנכחי פורסמו בעיתונות המדעית הבינלאומית כדלקמן:

- Li, L., Kaplunov, T., Zutahy, Y., Daus, A., Porat, R., Lichter, A. (2015).
The effects of 1-methylcyclopropene and ethylene on postharvest rachis browning in table Grapes.
Postharvest Biol. Technol. 107: 16-22.
- Li L., Lichter, A., Chalupowicza, D., Gamrasnib, D., Goldbergb, T., Nerya, O., Ben-Arie, R., Porat, R. (2016)
Effects of the ethylene-action inhibitor 1-methylcyclopropene on postharvest quality of non-climacteric fruit crops
Postharvest Biol. Technol. 111: 322-329.
- Li, L., Kashash, Y., Goldenberg, L., Sabag, A., Doron-Faigenboim, A., Porat, R. (2017).
Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest storage performance and the transcriptome of cactus pear fruit.
Int. J. Food Sci Technol. 52: 1801–1809.

סיכום עם שאלות מנחות (מס' מחקר: 16-0514-430)

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
המחקר בצע לפי לוח הזמנים המתוכנן בהצעת המחקר.
עיקרי התוצאות.
התוצאות העיקריות של המחקר הן שהטיפול ב- 1-MCP מסייע בשמירת איכותם של מספר פירות לא-קלימקטריים שונים לאחר הקטיף, ובכלל זה הפחתת צרבון ושימור הטעם ברימון, הפחתת החמות פנימיות ושימור הטעם בשסק, עיכוב שבירת צבע והפחתת רקבונות בצבר, ועיכוב מסוים של החמות שיזרה בענבים.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח?
המסקנות המדעיות הן ש- 1-MCP משפיע על היבטי איכות וכשר השתמרות שונים גם בפירות לא-קלימקטריים, ולכן ניתן להיעזר בו לצרכים שונים. מטרות המחקר לתקופת הדו"ח הושגו במלואם.
הבעיות שנותרו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים); התייחסות המשך המחקר לגביהן.
עדיין נותר לבחון את מידת התועלת המעשית ביישום השימוש ב- 1-MCP בסוגי הפירות השונים (רימון, שסק, צבר וענבים), ואת אופן היישום המיטבי בכל גידול.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי
הידע שנצבר במחקר עד כה פורסם בשלושה מאמרים בעיתונות המדעית המבוקרת: Li, L., Kaplunov, T., Zutahy, Y., Daus, A., Porat, R., Lichter, A. (2015). The effects of 1-methylcyclopropene and ethylene on postharvest rachis browning in table Grapes. <i>Postharvest Biol. Technol.</i> 107: 16-22. Li L., Lichter, A., Chalupowicza, D., Gamrasnib, D., Goldbergb, T., Nerya, O., Ben-Arie, R., Porat, R. (2016). Effects of the ethylene-action inhibitor 1-methylcyclopropene on postharvest quality of non-climacteric fruit crops. <i>Postharvest Biol. Technol.</i> 111: 322-329. Li, L., Kashash, Y., Goldenberg, L., Sabag, A., Doron-Faigenboim, A., Porat, R. (2017). Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest storage performance and the transcriptome of cactus pear fruit. <i>Int. J. Food Sci Technol.</i> (in press). כמו כן, ממצאי המחקר ימסרו בע"פ בהרצאה בחודש מאי הקרוב בכנס מפעילי בתי קיור.
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
✓ ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט) ● חסוי – לא לפרסום
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? - לא

נספח:

השפעת יישום התכשיר סמרטפרש על איכות רימוני וונדרפול מאוחסנים באוויר מבוקר

מדען ראשי - שנה שלישית

מבוא

זו שנה שלישית בתכנית מדען לבחינת השפעת התכשיר סמרטפרש על רימוני וונדרפול. במסגרת המחקר נבחנה השפעת יישומו של התכשיר על איכות הרימון המאוחסן בשילוב של קירור הדרגתי ל- 12°C במשך שבוע בטרם האחסון, לצמצום נזקי צינה. האחסון של רימונים בתנאי אוויר מבוקר מאפשרים את הארכת משך האחסון של הפרי לארבעה ואף חמישה חודשים, אולם בשלב זה נפגמים מראה הגרגר וטעמו. מטרתו הראשונית של הניסוי היתה לבחון את השפעתו של יישום התכשיר 1-MCP בקנה מידה מסחרי, אולם עקב בעיות של שאריות חומרי הדברה בפרי בעונה זו מגדלי הפרי נמנעו מלטפל בתכשיר באופן מסחרי ולכן נאלצנו לבחון את השפעת התכשיר בטיפול בקני"מ מעבדתי.

מטרת הניסוי: לבחון את השפעת הטיפול ב-1-MCP על רימוני וונדרפול שאוחסנו באוויר מבוקר ובמשטרי קירור שונים

חומרים ושיטות

קטיף וטיפולים: רימונים מהזן וונדרפול שנקטפו בתאריך 18.10.16 במטעי מצובה נטבלו בתכשיר סקולר 0.2% בבית אריזה 'הר קור' ולאחר מכן קוררו במשך לילה ל- 7°C . למחרת (19.10.16) נאספו 12 פירות לכל אחת מ-16 תיבות הפרי ואלו הועברו למעבדה לאחסון למסדרון בכ- 20°C מע"צ. בדיקות קטיף נערכו בשש חזרות בנות חמישה פירות (טבלה 1). למחרת נערך הטיפול ב-1-MCP 0.9 ח"מ ב-Bin trail בכ- 20°C למשך כ-24 שעות. פרי הבקורת נשמר במסדרון במקביל לטיפול בתכשיר ובסיום הטיפול (21.10.16) כל הפרי קורר במסדרון ל- 7°C . לאחר 48 שעות (23.10.16) נעטף הפרי בשקית LDPE מחוררת בארבעה חורי מאקרו לשמירה על תנאי לחות גבוהים והפרי אוחסן באוויר מבוקר מסחרי ($2\%\text{O}_2$, $5\%\text{CO}_2$).

הטיפולים בניסוי זה היו כלהלן:

1. קירור ל- 7°C .
2. קירור ל- 12°C ולאחר שבוע קירור ל- 7°C .
3. טיפול ב-1-MCP + קירור ל- 7°C .
4. טיפול ב-1-MCP + קירור ל- 12°C ולאחר שבוע קירור ל- 7°C .

בדיקות בתום אחסון ובחיי מדף: בתום כארבעה חודשי אחסון נבדקה איכותו החיצונית של הפרי. פירות רקובים נרשמו והפרי נזרק. בנוסף נרשמו פירות עם צרבון שדורג לפי חומרתו (ללא צרבון-0; עד 25% משטח הקליפה-1; 25-50% משטח הקליפה-2; $>50\%$ משטח הקליפה-4). הפרי הועבר עטוף לשמירה על תנאי לחות גבוהים במהלך שבוע חיי מדף ב- 20°C ובשנית נבחנה איכותו החיצונית. כל הפירות נחצו לבחינת איכותם הפנימית שכללה: הערכה של צבע הגרגר (סקלה 1-גרגר לבן...5-גרגר אדום מאוד), מידת השחמת המחיצות הלבנות שדורגה חומרתן (באותה הסקלה כמו לצרבון). תערובת מיץ הוכנה בכל חזרה באמצעות סחיטה ידנית של מחצית מכל אחד מהפירות ובמיץ הסחוט נבחנו: תכולת הכ.מ.מ., החומצה הציטרית וה-pH. כמו כן, נדגמו חמישה מ"ל מיץ לבדיקת תכולת אתנול ואצטאלדהיד באמצעות גז כרומטוגרף FID. לבדיקה של איבוד משקל נשקלו עשרה פירות מסומנים ביום הקטיף, בהוצאה מאחסון ולאחר שבוע חיי מדף.

אנליזה סטטיסטית- השפעת שני הגורמים: טיפול ב-MCP-1 (עם או ללא) ואופן הקירור (מיידית או הדרגתית) על האיכות החיצונית והפנימית של הפרי, על תכולת הכ.מ.מ., חומצה ו- pH ועל ריכוזי אתנול ואצטאלדהיד במיץ נבדקה במבחן שונות דו-גורמי (two-way ANOVA). ההבדלים באיבוד המשקל בין ארבעת תנאי הניסוי נבדקו במבחן שונות חד-גורמי (one-way ANOVA) ומבחן פוסט-הוק (דנקן).

תוצאות

מצב הבשלה בקטיף: ביום הקטיף נמצאה ברימונים תכולת הכ.מ.מ. של כ- 17% ותכולת החומצה הציטרית היתה כ-1.11%. הקליפה היתה אדומה ברובה (כ-84% כיסוי אדום) וכן הגרגר שצבר אנטוציאנינים וקיבל ציון של 4.6 (בסקלה של 1- גרגר לבן....5- גרגר אדום כהה). ממצאים אלו מצביעים על כך שהרימונים נקטפו כשהבשלתם הגיעה לשלב הראוי לכך.

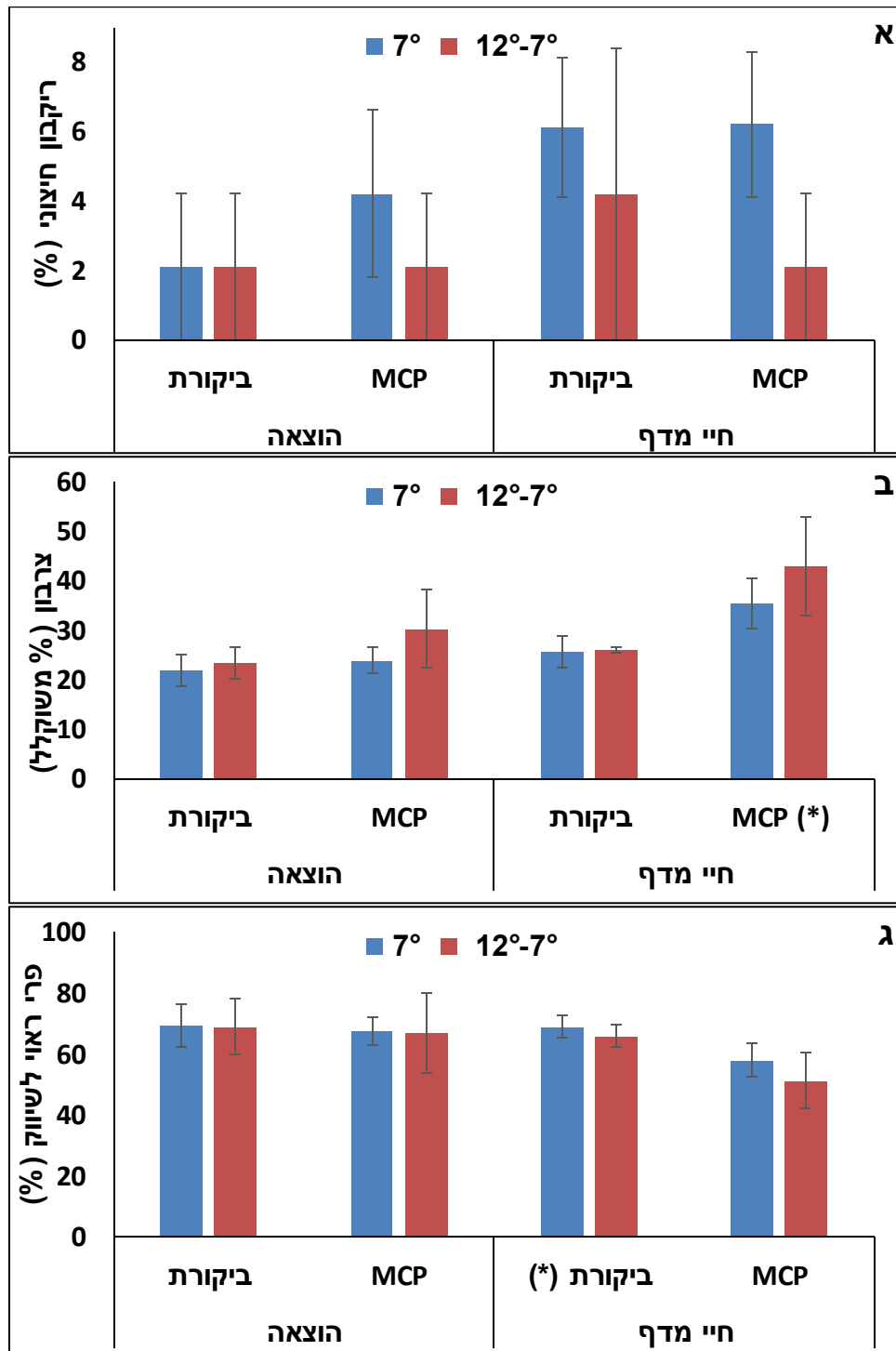
בבחינת ההשפעות המרכזיות של הגורמים שנבדקו בניסוי, הטיפול ב-MCP-1 (עם או ללא טיפול) ואופן הקירור (קירור מיידית ל-7°C או השהייה למשך שבוע ב-12°C לפני הקירור ל-7°C) נמצא שאופן הקירור הוא הגורם בעל ההשפעה הרבה יותר. לפיכך הניתוח הסטטיסטי והצגת הנתונים נערכה תוך שמירה על אופן הקירור כגורם המרכזי והטיפול ב-MCP-1 כגורם משני.

איכותו החיצונית של הפרי:

רקבונות- אחוזי הפרי הרקוב היו נמוכים בתום האחסון (כ-2%-4%) ופירות נוספים נרקבו בשיעורים נמוכים במהלך שבוע חיי מדף ב-20°C. (איור 1א). נראתה מגמה לא מובהקת לפיה יש עיכוב מסוים ברקבון הפרי שקורר הדרגתית (7°C-12°C).

צרבון (% משוקלל)- ברימונים שטופלו ב-MCP-1 החמיר הצרבון במהלך חיי מדף במובהק יחסית לפרי הבקורת (ללא MCP-1), ואילו אופן הקירור לא השפיע על חומרת נזק זה (איור 1ב).

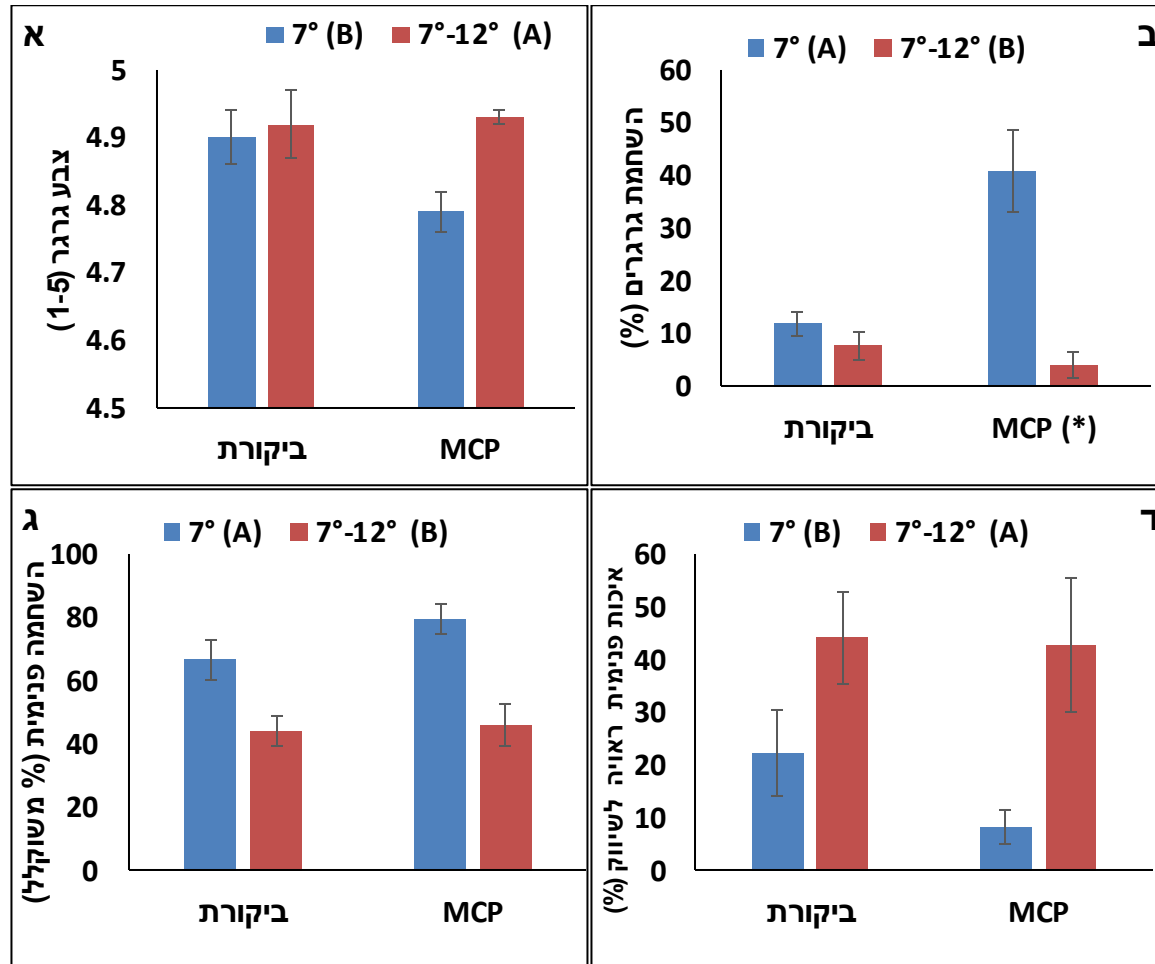
הפרי הראוי לשיווק (%)- בחישוב של הפרי הראוי לשיווק נכללו פירות שנפגעו מצרבון בחומרה קלה ושיעוריו עמדו על כ-70% בתום האחסון ללא השפעה מובהקת לאחד מהגורמים הנבדקים (איור 1ג). לאחר שבוע חיי מדף ב-20°C אחוז הפרי הראוי לשיווק, בפרי הבקורת (שלא טופל ב-MCP-1), נמצא בשיעורים גבוהים במובהק מהפרי המטופל וללא השפעה של אופן הקירור. הסיבה לכך היא אחוזים גבוהים של צרבון שפגעו במסחריותו של הפרי שטופל ב-MCP-1 וראוי לציין שתוצאה זו מנוגדת להשפעות מיטיבות של ה-MCP-1 במניעת הצרבון שהתקבלו בניסויים שנערכו בשנים קודמות, אם כי ההשפעה המשמעותית ביותר היתה בפרי שאוחסן בתנאי אוויר רגיל ולא באוויר מבוקר כמו בניסוי זה.



איור 1: א. אחוז הפירות הרקובים, ב. אחוז הפרי הנגוע בצרבון (משוקלל), ג. אחוזי הפרי הראוי לשיווק בהשפעת אופן הקירור (מיידי ל-7°C או הדרגתי עם השהייה לשבוע ב-12°C) ברימוני וונדרפול עם או ללא טיפול ב-MCP-1 בתום אחסון בקירור ולאחר שבוע נוסף ב-20°C. כל עמודה מייצגת ממוצע $\pm$ ש.ת. של 4 חזרות.

* ערך גבוה באופן מובהק (בקורת מול MCP-1) באותו מועד בדיקה ($p < 0.05$).

איכותו הפנימית של הפרי: לקירור ההדרגתי נמצאה השפעה מובהקת מיטיבה על איכותו הפנימית של הפרי שהתבטאה במספר פרמטרים: הגרגר של פרי זה נשמר עם גוון אדום במובהק (איור 2א) ובו היו פחות גרגרים (איור 2ב). השחמת המחיצות הבהירות MCP-1 ובמובהק בפרי שטופל ב- שהשחמו יחסית לפרי שקורר מיידית עוכבה משמעותית בקירור ההדרגתי (איור 2ג) ולכך היתה השפעה מובהקת על אחוזי הפרי עם איכות פנימית הראויה לשיווק (איור 2ד). על פי ממצאים אלו לקירור ההדרגתי היתה השפעה מובהקת ומיטיבה על איכותו הפנימית של הפרי, הן מבחינת הגרגר והן מבחינת המחיצות הבהירות.



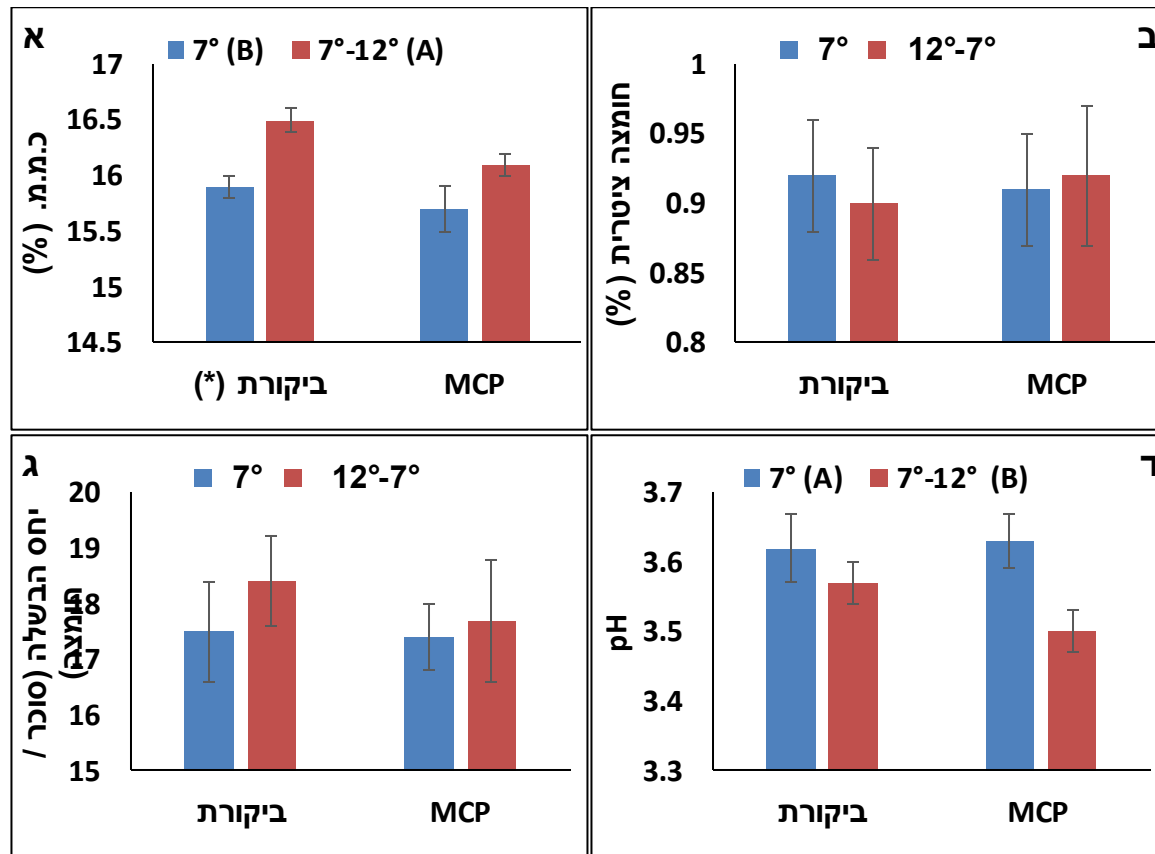
איור 2: א. צבע הגרגר (1-5), ב. אחוזי הפרי עם השחמת גרגרים ג. אחוז הפרי עם השחמה פנימית (משוקלל) ד. אחוזי הפרי עם הציפה הראויה לשיווק, בהשפעת אופן הקירור (מיידית ל-7°C או הדרגתי עם שהייה לשבוע ב-12°C) ברימוני וונדרפול עם או ללא טיפול ב-MCP-1 לאחר שבוע ב-20°C שלאחר האחסון בקירור. כל עמודה מייצגת ממוצע ± ש.ת. של 4 חזרות.

A-B - הבדל מובהק בין פרי שקורר מיידית ל-7°C או הדרגתית עם שהייה לשבוע ב-12°C ($p < 0.05$).

* ערך גבוה באופן מובהק (בקורת מול MCP-1) באותו מועד בדיקה ($p < 0.05$).

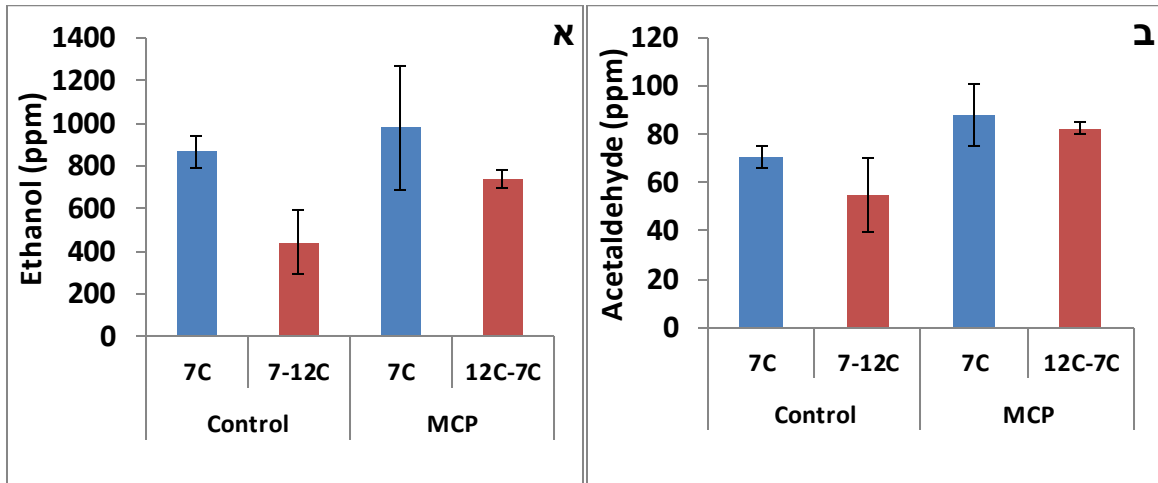
תכונות המיץ הסחוט: לקירור ההדרגתי נמצאה השפעה מובהקת על תכולת הכ.מ.מ. שהיתה גבוהה במובהק יחסית לפרי שקורר מיידית וזו היתה גבוהה במובהק בפרי הבקורת (איור 3א). לא נמצאו השפעות מובהקות או

מגמתיות של אופן הקירור או הטיפול ב-1-MCP על תכולת החומצה הציטרית (איור 3ב) או על יחס ההבשלה (איור 3ג), מלבד רמת ה-pH שהיתה נמוכה במובהק בפרי שקורר הדרגתית (איור 3ד).



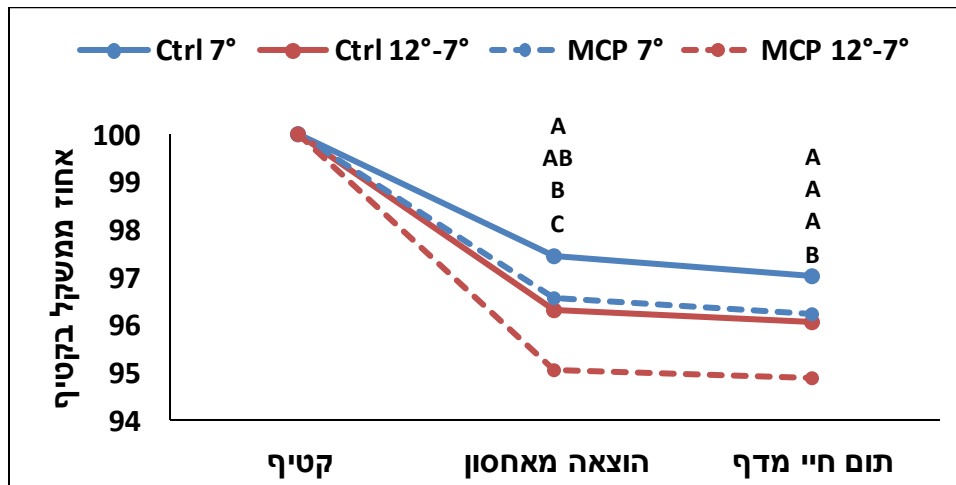
איור 3: א. תכולת הכ.מ.מ. (%), ב. החומצה הציטרית (%), ג. יחס ההבשלה (כ.מ.מ. / חומצה ציטרית) ד. pH בשפעת אופן הקירור (מייד ל-7°C או הדרגתי עם שהייה לשבוע ב-12°C) ברימוני וונדרפול עם או ללא טיפול ב-1-MCP לאחר שבוע ב-20°C שלאחר האחסון בקירור. A-B - הבדל מובהק בין פרי שקורר מיידית ל-7°C או הדרגתית עם שהייה לשבוע ב-12°C ($p < 0.05$). * להבדל מובהק בין פרי הבקורת למטופל ב-1-MCP ($p < 0.05$).

נדיפים במיץ הפרי- במהלך שהייתו של הפרי באחסון באוויר מבוקר הצטברו האתנול והאצטאלדהיד כתוצאה מהתנאים האנארוביים שזוהו גם לאחר שבוע חיי מדף וללא הבדלים מובהקים בהשפעת הטיפולים או משטר הקירור (איור 4). אולם, ניתן להבחין במגמה לפיה ריכוז נדיפים אלו גבוה במעט בפרי שקורר מיידית ל-7°C (איור 4א, 4ב), ואילו בפרי שטופל ב-1-MCP היתה רמה גבוהה במעט של אצטאלדהיד (איור 4ב).



איור 4: ריכוזי האתנול והאצטאלדהיד במיץ שנשחט מהרימונים בתום האחסון בקירור ושבוע נוסף בחיי מדף ב- 20°C . כל עמודה מייצגת ממוצע $\pm$ ש.ת. של 4 חזרות. לא נמצאו הבדלים מובהקים ($p < 0.05$) בין הטיפולים.

איבוד המשקל- הרימונים שקוררו מיידית ל- 7°C איבדו פחות ממשקלם לעומת אלו שקוררו הדרגתית ונראה שהטיפול ב-MCP-1 עודד את איבוד המשקל ובמובהק ברימונים שקוררו הדרגתית (איור 5).



איור 5: האחוז המשקלי של רימוני וונדרפול בתום האחסון וכן לאחר שבוע ב- 20°C ממשקלם בקטיף בהשפעת אופן הקירור (מיידית ל- 7°C או הדרגתי עם השהייה לשבוע ב- 12°C) עם או ללא טיפול ב-MCP-1. A-C - להבדל מובהק בין שילובי משטרי הקירור והטיפול ב-MCP-1 ($p < 0.05$).

דיון וסיכום

היתרונות של אחסון רימונים באוויר מבוקר הוא האטת הזדקנות הפרי ובמיוחד צמצום נזק צרבון הקליפה שפוגם במראה הפרי ואלו מאפשרים את הארכת משך השיווק של הפרי עד ל-5 חודשים בהשוואה לפרי מאוויר אטמוספרי שמאוחסן לחודשיים בלבד. אולם, באוויר מבוקר איכותו של הגרגר נפגמת, הן במראה והן בטעם, עקב התנאים של החמצן הנמוך והפחמן דו חמצני הגבוה ולכן בניסוי זה נבחנה השפעת הטיפול ב-1-MCP בשילוב של משטרי קירור שונים, קירור מיידי או הדרגתי, על איכותם של רימוני וונדרפול שאוחסנו בתנאי אוויר מבוקר.

הגורם המרכזי בהשפעתו על איכות הפרי היה הקירור ההדרגתי ובמיוחד על איכותו הפנימית. השפעה זו התבטאה במספר פרמטרים בהם שמירה על גרגר עם גוון אדום, עיכוב בהשחמת הגרגרים, הפחתה בהשחמת המחיצות הבהירות וכתוצאה מכך נמצאו אחוזי פרי עם איכות פנימית הראויה לשיווק. לעומת זאת, לטיפול ב-1-MCP כמעט ולא נמצאה ולעיתים אף פגם באיכות הפרי כגון: הגברת צרבון, השחמת הגרגר ואיבוד המשקל. בניסוי הנוכחי נמצאה השפעה דומה של הטיפול ב-1-MCP לזו שנמצאה בניסוי שנערך בשנה שעברה לפיה בפרי המטופל ב-1-MCP שאוחסן באוויר מבוקר גברה הרגישות לצרבון ובהתאמה היתה הפחתה של אחוזי הפרי הראוי לשיווק. מאידך, לא נמצאה התאמה בין השנים בהגברת הרגישות לפגמי איכות פנימית. בניסויים שנערכו בשנים קודמות בתנאי אוויר רגיל ולא בתנאי אוויר מבוקר כבניסוי זה, הטיפול ב-1-MCP דווקא היטיב עם איכות הרימונים באופן שבא לידי ביטוי בעיכוב הצרבון והפחתת הרגישות לרקבונות. השנה, הושגה התקדמות בכך שקירור הדרגתי הצליח לשפר את איכותו הפנימית של הפרי, אף אם הפרי טופל ב-1-MCP.

לסיכום, באמצעות קירור הדרגתי ניתן לשפר את איכותו של הרימון שמאוחסן בתנאי אוויר מבוקר וללא השפעה מיטיבה של הטיפול ב-1-MCP (שלעיתים אף הזיקה) וזאת בשונה מאשר באחסון באוויר רגיל.

תודות:

גיוני מגדל הרימון- מצובה.

לרביב ישראלי, יעקב ממון ועמרי מייסטר מביא"ר הרקור.

יוסי שטרן- רימי להגנה"צ.