

**חיטוי ירקות עלה מוכנים לאכילה: שיפור בטיחות מיקרוביולוגית, כושר השתמרות,**

**ערך תזונתי והפחתת זיהום הסביבה**

**Decontamination of ready-to-eat leafy vegetables: improvement of microbiological safety, keeping quality, nutritional value and reducing environmental pollution**

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ופיתוח הכפר

ע"י

וקיטור רודוב המח' לחקר תוצרת חקלאית לאחר הקטיף, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן  
בתיה חורב המח' לחקר תוצרת חקלאית לאחר הקטיף, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן  
יעקב וינוקור המח' לחקר תוצרת חקלאית לאחר הקטיף, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן  
שלמה סלע המח' לחקר איכות מזון ובטיחותו, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן  
אמנון ליכטר המח' לחקר תוצרת חקלאית לאחר הקטיף, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן

Victor Rodov, Postharvest Science of Fresh Produce, ARO, The Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250. E-mail: [vrodov@volcani.agri.gov.il](mailto:vrodov@volcani.agri.gov.il)

Batia Horev, Postharvest Science of Fresh Produce, ARO, The Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250. E-mail: [bhorev@volcani.agri.gov.il](mailto:bhorev@volcani.agri.gov.il)

Yakov Vinokur, Postharvest Science of Fresh Produce, ARO, The Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250. E-mail: [yvinokur@volcani.agri.gov.il](mailto:yvinokur@volcani.agri.gov.il)

Shlomo Sela, Food Quality and Safety, ARO, The Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250. E-mail: [shlomos@volcani.agri.gov.il](mailto:shlomos@volcani.agri.gov.il)

Amnon Lichter, Postharvest Science of Fresh Produce, ARO, The Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250. E-mail: [vtlicht@volcani.agri.gov.il](mailto:vtlicht@volcani.agri.gov.il)

אפריל 2013

אייר תשע"ג

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

**הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: כן/לא מתק את המיותר\***

**\* חתימת החוקר**

**רשימת פרסומים**

Rodov, V., Horev, B., Vinokur, Y., Richard G. (2011). Fresh-cut lettuce surface: where microbiology meets physiology. In: II ISHS Int. Conf. on Quality Management of Fresh Cut Produce, Turin - Italy. Book of Abstracts, p. 47.

Rodov, V., Horev, B., Vinokur, Y., Beno-Mualem, D., Choudhary, R., Makwana, S., Haddock, J., Dogra, N., Kohli, P., and Droby, S. (2013). Antimicrobial and antioxidant activity of phenylpropanoids encapsulated in methylated  $\beta$ -cyclodextrin and in polydiacetylene nanovesicles. In: 5<sup>th</sup> Int. Symp. on Human Health Effects of Fruits and Vegetables, Dharwad, India. Book of Abstracts, p. 18.

## תקציר

הצגת הבעיה. ירקות עלה מוכנים לאכילה היוו מקור זיהום במספר התפרצויות מחלות. על מנת לשפר את בטיחות המזון, נדרשת שיטת חיטוי יעילה אשר לא פוגעת באיכות התוצרת, כושר השתמרותה וערכה התזונתי ולא מזהמת את הסביבה בתוצרי לוואי רעילים. מטרת המחקר הייתה פיתוח שיטה מיטבית לחיטוי ירקות עלה מוכנים לאכילה אשר תשמור על בטיחות מיקרוביולוגית של המוצרים מבלי לפגוע באיכותם, כושר השתמרותם וערכם התזונתי ותפחית זיהום הסביבה בתוצרי לוואי רעילים. מהלך ושיטות עבודה. ביצוע התכנית נפרס לתקופה של שלוש שנים כאשר בשנה א' הדגש הושם על הגדרת המערכת הניסיונית ובחירת גישות מבטיחות להמשך העבודה, בשנה ב' עסקנו בעיקר בחקר השפעת הטיפול על הערך התזונתי של התוצרת (פעילות נוגדי חמצון, תכולת תרכובות פנוליות, קרוטנואידים וחומצה אסקורבית) ועל הרכב חומרי הארומה, ובשנה ג' נחקרו ההיבטים הסביבתיים כמו היווצרות תוצרי לוואי בלתי רצויים במהלך החיטוי. תוצאות עיקריות. א. עלי תרד מהווים אובייקט מתאים לבדיקת יעילות החיטוי עקב נטייתם למטען מיקרוביאלי גבוה, במיוחד בעונה החמה. ב. התכשיר על בסיס כלורית הנתרן החומצי (acidified sodium chlorite, ASC) הראה יעילות מוגברת בהשוואה לטיפול סטנדרטי בהיפוכלורית הנתרן מבלי להשפיע לרעה על איכות התוצרת. ג. הטיפול במי אלקטרוליזה גילה יעילות מוגברת בהשוואה לטיפול בהיפוכלורית הנתרן ברמת כלור פעיל מופחתת. אולם, נדרש שיפור בבקרת מערכת ייצור מי האלקטרוליזה. ד. לאריזת שקית היה יתרון בהשוואה למגשים מבחינת השתמרות ואיכות מיקרוביולוגית של התוצרת הודות להיווצרות אווירה מתואמת מועשרת בפד"ח בתוך השקיות. ה. חיטוי ב-ASC לא פגע באיכות תזונתית של התוצרת ובהרכב מרכיבי הארומה. ו. להבדיל מהטיפול הסטנדרטי בהיפוכלורית הנתרן, חיטוי עלי התרד בכלורית הנתרן החומצי (ASC) לא גרם להיווצרות טריהלומתנים במי השטיפה. מסקנות והמלצות. הטיפול בכלורית הנתרן החומצי הוא שיטת חיטוי מבטיחה לעלי תרד וירקות עלה דומים אשר עולה ביעילותה על הטיפול הסטנדרטי בהיפוכלורית הנתרן מבלי לפגוע בהשתמרות ובאיכות התוצרת, בערכה התזונתי ובלי הצטברות תוצרי לוואי (טריהלומתנים) במי השטיפה.

## מבוא

בשנים האחרונות דווח על מספר התפרצויות מחלות מעיים זיהומיות הקשורות בצריכת ירקות ותבליני עלה טריים מוכנים לאכילה (חסה, תרד, בזיל וכד'). לפחות אחת מההתפרצויות באירופה הייתה קשורה בתוצרת שגדלה בארץ. שיטות הגידול הקיימות לא יכולות להבטיח את ניקיון התוצרת מחיידקים אשר נצמדים לפני שטח העלה ויוצרים שכבת הביופילם. יתרה מזו, מצטברות ראיות לחדירת החיידקים (כולל פתוגנים של בני אדם) לתוך רקמות העלה לפני או אחרי הקטיף. שטיפה וחיטוי התוצרת מהווים אמצעים חשובים לשמירת בטיחות המוצרים. חיטוי ירקות עלה בתעשייה מבוסס היום בעיקר על שימוש בתרכובות כלור פעיל, כגון היפוכלורית הנתרן. לשיטה זאת יש מספר חסרונות. ביניהם, יעילות לא מספקת, במיוחד כנגד החיידקים הנמצאים בתוך רקמת העלה או מוגנים ע"י ביופילם, התפרקות מהירה כתוצאה מאינטראקציה עם חומר אורגאני, והיווצרות תוצרי לוואי מסרטנים (בפרט, טריהלומתנים) אשר מהווים סכנה בריאותית ומזהמים את הסביבה. עקב כך, שימוש בתרכובות הכלור הפעיל נאסר בחלק ממדינות אירופה (גרמניה, הולנד, בלגיה, דנמרק, שוויץ) ובעתיד יחול עליו איסור בכל האיחוד האירופי.

על אמצעי החיטוי האידיאלי להיות יעיל בריכוזים נמוכים ללא גרימת נזק לאיכות התוצרת או לערכה התזונתי. בעשור האחרון הוצאו לשוק אמצעי חיטוי כימיים חלופיים להיפוכלורית, המבוססים על כלור דיאוקסיד, מי חמצן, חומצה פראצטית, אוזון, ועוד. אולם, אף אחד מאמצעי החיטוי הכימיים החלופיים עוד לא הוכיח את עצמו כפתרון אולטימטיבי לטיפול בירקות עלה בתעשייה. על המגבלות שלהם נמנים חוסר יציבות (אוזון), קורסיביות (חומצה פראצטית) ופיטוטוקסיות בריכוזים יעילים כלפי מוצרים מסוימים (כלור דיאוקסיד, מי חמצן). מסמך של משרד הבריאות הישראלי מ-2006 מתיר חיטוי ירקות ופירות מיועדים לעיבוד תעשייתי בתכשירים על בסיס כלור פעיל (חומצה תת-כלורית), חומצה פראצטית, כלורית הנתרן החומצי (acidified sodium chlorite, ASC), ותרכובות של אמוניום רביעוני (QUAT), בתנאי ששומרים על מינון ועל תנאי הטיפול בהתאם להנחיות (1). לאחר מכן הוספו לרשימה חומרים מועטים: נתרן דיכלורואיזוציאנורט (Sodium dichloroisocyanurate) וכמו כן כלור וכלור-דיאוקסיד בפאזה גזית.

יתכן ופתרון הבעיה עשוי להתבסס לא על חומר חיטוי מסוים אחד, אלא על שילוב של מספר חומרים, ו/או על טיפולים פיזיקו-כימיים. לדוגמה, העברת מי ברז בין שתי אלקטרודות של מתקן אלקטרוליזה גורמת להיווצרות כלור פעיל, אוזון ומי חמצן אשר בכללותם מקנים למים אלה (מי אלקטרוליזה ניטראליים) פעילות חיטוי חולפת מבלי לשנות באופן דרסטי את תכונותיהם הפיזיקאליים-כימיות כמו pH. לעומתם, מי אלקטרוליזה חומציים מתקבלים ע"י איסוף מי אנודה בלבד במערכות בעלות ממברנת הפרדה. למרות תכולת כלור פעיל נמוכה יחסית, מי האלקטרוליזה מראים יעילות חיטוי שווה ולעתים אף גבוהה מזאת של תמיסות היפוכלורית בריכוז גבוה יחסית. דווח על עלייה נוספת ביעילות מי האלקטרוליזה כאשר הם משולבים בטיפול המשך בחומרים טבעיים, כגון 0.6% חומצה אצטית. שילוב כזה גרם לירידה של כ-5.5 סדרי גודל בספירת חיידקי ליסטריה על עלי חסה. לאחרונה, דווח על גישה חדשנית לחיטוי ולניקוי מים המכונה חמצון מתקדם (advanced oxidation) המשלבת גורמים מחמצנים שונים כגון מי-חמצן ואור על-סגול (UV). לאחרונה הושגו לראשונה תוצאות מעודדות בקטילת הפתוגנים אשר הוחדרו לתוך העלה. גישות אלו נוסו עד כה רק בקנה-מידה קטן. למגוון חומרי טבע, בפרט מקבוצות של טרפנואידים ותרכובות פנוליות נתגלתה פעילות אנטי-מיקרוביאלית. אולם, הפוטנציאל שלהם כבסיס לפיתוח תכשירי חיטוי ירקות ובפרט ירקות עלה, לא נחקר די. כמו כן, כמעט ואין נתונים על השפעת שיטת חיטוי על הערך התזונתי של ירקות עלה (תכולת ויטמינים, נוגדי חמצון וכד'). קיים חשש כי במינון יתר גורמים מחמצנים עלולים לגרום לירידה ברמת נוגדי החמצון הטבעיים בירק.

הנחת העבודה שלנו בפרויקט זה היא שניתן למצוא או לפתח טיפולי חיטוי לירקות עלה מוכנים לאכילה, שישפרו באופן משמעותי את בטיחותם המיקרוביולוגית מבלי לפגוע בהשתמרותם ובערכם הבריאותי, תוך הפחתת זיהום הסביבה בתוצרי הלוואי הכלור-אורגאניים. הנחת העבודה הזאת מבוססת על תוצאות מעודדות של ניסויים הקדמיים.

לפיכך, מטרת המחקר היה פיתוח שיטה מיטבית לחיטוי ירקות עלה מוכנים לאכילה אשר תשמור על בטיחות מיקרוביולוגית של המוצרים מבלי לפגוע באיכותם, כושר השתמרותם וערכם התזונתי ותפחת זיהום הסביבה בתוצרי לוואי רעילים. ביצוע התכנית נפרס לתקופה של שלוש שנים כאשר בשנה א' הדגש הושם על הגדרת המערכת הניסיונית ובחירת גישות מבטיחות להמשך העבודה, בשנה ב' עסקנו בעיקר בחקר השפעת הטיפולים על הערך התזונתי ועל איכות התוצרת, ובשנה ג' נחקרו ההיבטים הסביבתיים כמו היווצרות תוצרי לוואי בלתי רצויים במהלך החיטוי.

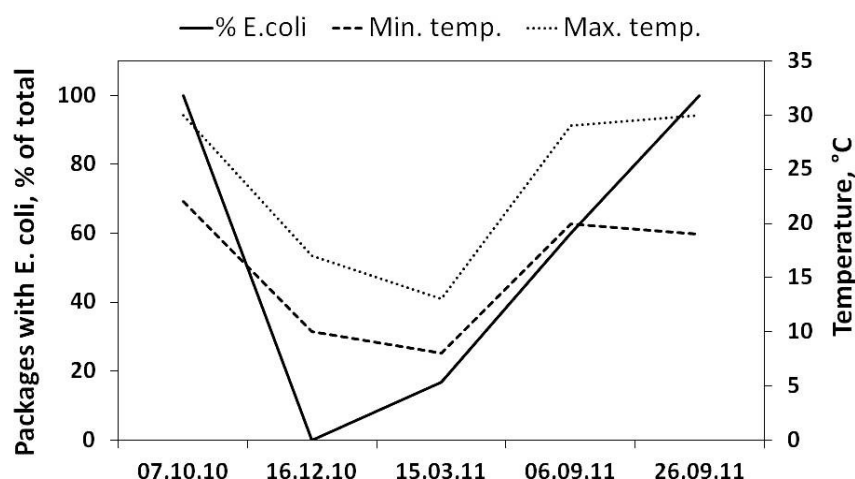
## עיקרי הניסויים

### 1. איכות מיקרוביולוגית של ירקות עלה ויעילות חיטוי התוצרת

בדיקות מיקרוביולוגיות של התוצרת נערכו בהתאם לדרישות התקן הישראלי. ספירה כללית של המיקרואורגניזמים האירוביים נבחנה על קרקע מזון (Plate Count Agar) PCA, ספירת קוליפורמים על קרקע מזון (Violet Red Bile Agar) VRBA בשיטת ה-pour-plate, ספירת א. קולי על קרקע מזון (Tryptone Bile X-Glucuronide) TBX. הערכה ויזואלית של איכות המוצרים נערכה לפי מספר פרמטרים (חומרת הריקבון, הצהבה, השחמה, כמישה, ריח לוואי וכד') בהתאם לסולם דרגות מ-1 (גרוע) עד 5 (מצוין), אם לא צוין אחרת בתיאור הניסוי. הציון המסכם ניתן לפי הציון הנמוך אשר קבלה הדוגמה באחד מפרמטרים.

### איכות מיקרוביולוגית של מוצרים: השפעת העונה

הפרויקט התחיל מבחירת מקור חומר הגלם הצמחי להערכת יעילות החיטוי. לשם כך נבחנה רמת האילוח במדגמים של ירקות עלה ממדפי המרכולים במרכז הארץ. בהתאם לנתונים הקדמיים הבדיקה התרכזה בספירת החיידק א. קולי בעלי תרד. נבחנו דוגמאות של 4 עד 6 יצרנים מרשתות שיווק שונות, אשר כללו עלים שטופים ולא שטופים, ארוזים בשקיות, מגשיות מולחמות ומגשיות לא מולחמות (סוג האריזה הנפוץ). במדגם הראשון שנלקח בעונה חמה (ספטמבר-אוקטובר 2010) החיידק נתגלה בכל הדוגמאות בכמויות חורגות מדרישות התקן. לא נמצאו מגמות ברורות של השפעת שטיפה, סוגי אריזה או יצרנים שונים על רמת האילוח. יחד עם זאת, הממצא אישר כי עלי התרד עשויים להיות אובייקט מתאים לבחינת שיטות החיטוי עקב רמה גבוהה של אילוח טבעי. אולם, במדגם השני אשר נלקח בעונה הקרירה (דצמבר 2010) כלל לא נמצאו חיידקי א. קולי באף מדגם של תרד. במדגם השלישי אשר נלקח באביב (אמצע מרץ 2011) החיידק נתגלה שוב באחד מתוך 6 דוגמאות של יצרנים שונים בכמות גבולית מבחינת דרישות התקן (50 CFU לגרם). בהמשך השנה, המדגמים שנלקחו בעונה החמה (ספטמבר 2011) שוב הראו עלייה בשכיחות המצאות א. קולי באריזות התרד על מדפי המרכולים עד 60 עד 100% (איור 1).



איור 1. שכיחות של אריזות תרד עם נוכחות החיידק א. קולי על מדפי המרכולים בעונות שנה שונות

בחינה השוואתית של תכשירים כימיים מסחריים מסוגים שונים

יעלות תכשירים כימיים שונים נבחנה בסדרת ניסויים עם עלי תרד. נבחנו התכשירים המאושרים על ידי משרד הבריאות לשימוש בארץ, המבוססים על תרכובות אמוניה רבעיונית ("ספורקיל"), חומצה פראצטית ("אוקסוניה P3 אקטיב"), כלוריט הנתרן החומצי / כלורין דיאוקסיד ("מיקוגל") בהשוואה להיפוכלוריט הנתרן ("כלורית"). התכשירים ישמו על ידי טבילה של 2 דקות בתמיסות בריכוזים המקסימאליים המותרים לשימוש בארץ (כלור פעיל ואמוניה רבעיונית 100 ח"מ, חומצה פראצטית 80 ח"מ, כלוריט הנתרן החומצי 1200 ח"מ), עם שטיפה במים לאחר מכן. הערכת רמת זיהום העלים נעשתה על בסיס ספירה כללית של מיקרואורגניזמים אארוביים ועל בסיס ספירת קוליפורמים. לאחר החיטוי העלים נארזו בשקיות פוליאאתילן (עובי 35 מיקרון) או במגשים לא אטומים (clamshell) ואוחסנו למשך כשבוע ימים בתנאי מדף מקורר על מנת לבדוק את השפעת חומרי החיטוי על איכות ועל השתמרות המוצר. טבלאות 1 ו-2 מציגות את השפעת התכשיר "ספורקיל" על מטען החיידקים ועל איכות העלים לאחר האחסון. טבלאות 3 ו-4 מציגות את השפעת התכשירים "אוקסוניה" ו-"מיקוגל" בהשוואה להיפוכלוריט הנתרן (כלור פעיל).

טבלה 1. השפעת החיטוי בתכשיר "ספורקיל" בהשוואה לחיטוי בכלור פעיל (היפוכלוריט הנתרן NaClO) על ספירה כללית של חיידקים (לוג CFU לגרם) על עלי תרד מיד לאחר הטיפול ולאחר 6 ימי אחסון ב-8 מ"צ (תנאי מדף מקורר) באריזות שונות

חומר חיטוי	לפני חיטוי	אחרי אחסון 6 ימים ב-8 מ"צ	
		בשקית	במגש
כלור 100 ח"מ	6.8	5.3	8.4
		5.5	8.9
ספורקיל 100 ח"מ		8.4	8.9

טבלה 2. השפעת חומרי חיטוי ושיטת האריזה על איכות עלי תרד שטופים לאחר 6 ימי אחסון ב-8 מ"צ

חומר חיטוי	אריזה	ריח לוואי	ריקבון	הצהבה	כמישה	ציון כללי
		אין 5-	אין 5-	אין 5-	אין 5-	מצוין 5-
		חזק 1-	חמור 1-	חמורה -	חזקה -	גרוע 1-
כלור 100 ח"מ	שקית	5	3.2	3.5	4.1	3.2
	מגש	4	2	2.9	3.5	2
ספורקיל 100 ח"מ	שקית	4.9	2.7	3.4	4	2.7
	מגש	4.1	1.8	3.2	3.5	1.8

לפי הנתונים המובאים בטבלה 1, לתכשיר "ספורקיל" הייתה פעילות חיטוי דומה לכלור, אך הוא השפיע לרעה על מראה הפרי (טבלה 2). פעילות החומצה הפראצטית ("אוקסוניה") הייתה פחותה מזאת של כלור. מאידך, התכשיר "מיקוגל" גילה פעילות גבוהה מכלור (טבלה 3). למרות הריכוז הגבוה

1200 ח"מ) למיקוגל לא הייתה השפעה פיטוטוקסית והוא שמר היטב על מראה המוצר (טבלה 2). תוצאות המבחן מצביעים על "מיקוגל" כתכשיר מבטיח לחיטוי ירקות עלה. לאריזות שקית היה יתרון ברור בהשוואה למגשים הן מבחינת הפחתת המטען המיקרוביאלי והן מבחינת השמירה על איכות המוצר (טבלה 4). היתרון היה קשור בהיווצרות אווירה מתואמת מועשרת בפחמן דו-חמצני (פד"ח) בתוך השקיות. כך, הרכב האווירה בשקיות הכיל 8-12% חמצן ו-7-11% פד"ח; מאידך האווירה בתוך המגשיות הכילה 17-21% חמצן ו-0-3% פד"ח.

טבלה 3. השפעת החיטוי בתכשירים "אוקסוניה" ו-"מיקוגל" בהשוואה לחיטוי בכלור פעיל (היפוכלורית הנתרן NaClO) על ספירת קוליפורמים (לוג CFU לגרם) על עלי תרד מיד לאחר הטיפול ולאחר 6 ימי אחסון ב-8 מ"צ (תנאי מדף מקורר) באריזות שונות

חומר חיטוי	לפני חיטוי	אחרי אחסון 7 ימים ב-8 מ"צ	
		בשקית	במגש
כלור 100 ח"מ (ביקורת) P3-Oxonia Active 150 0.05% Mycogal 1200 ח"מ	3.8	4.4	4.9
	4.0	5.1	5.3
	3.2	3.8	4.0

טבלה 4. השפעת חומרי חיטוי ושיטת האריזה על איכות עלי תרד שטופים לאחר 7 ימי אחסון ב-8 מ"צ

חומר חיטוי	אריזה	ריח לוואי				
		אין 5- חזק 1-	אין 5- חמור 1-	הצהבה אין 5- חמורה 1-	כמישה אין 5- חזקה 1-	ציון כללי מצוין 5- גרוע 1-
כלור 100 ח"מ (ביקורת)	מגש	5.0	3.3	2.5	4.9	2.5
	שקית	5.0	3.5	3.8	5.0	3.5
P3-Oxonia Active 150 0.05%	מגש	5.0	2.8	3.0	5.0	2.8
	שקית	5.0	2.7	3.3	5.0	2.7
Mycogal 1200 ח"מ	מגש	5.0	2.8	3.4	5.0	2.8
	שקית	5.0	3.5	3.7	5.0	3.5

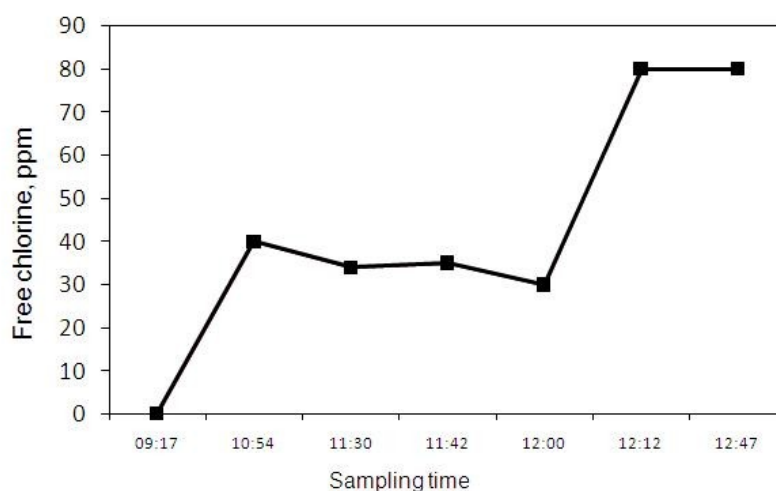
#### בחירת טיפולים פיזיקאליים-כימיים

כושר חיטוי של טיפולים פיזיקאליים-כימיים (חמצון מתקדם, מי אלקטרוליזה) נבחן עם עלי חסה קצוצה. יעילות הטיפול של חמצון מתקדם נבחנה במתקן של חב' AquaPure (פארק התעשייה דלתון) הפועל על בסיס פריקה חשמלית בפולסים קצרים במטח גבוה הגורמים להיווצרות אוזון, אור על-סגול ורדיקאליים חופשיים. המכשיר מיועד לניקוי מים מחומרים אורגאניים. אולם, השיטה לא נמצאה מתאימה לחיטוי ירקות עלה עקב השפעה פיטוטוקסית גבוהה אשר גרמה נזק (השחמות וכד') לרקמות החסה.

לעומת זאת, לטיפול במי אלקטרוליזה ניטראליים המיוצרים במתקן חדש מתוצרת חב' אדמנט (שוויץ) לא הייתה השפעה פיטוטוקסית על חסה קצוצה. הטיפול הראה פעילות מוגברת כנגד חיידקים קוליפורמים (טבלה 5). יש לציין כי התוצאה הושגה עם ריכוז כלור פעיל פחותה מזאת של תמיסת היפוכלורית הנתרן. ייצור הכלור הפעיל היה יציב לאורך זמן (איור 2) אך לאחר הרצה ממושכת נצפתה עלייה חדה בריכוז הכלור אשר לא הגבירה את יעילות הטיפול (התוצאה לא הוצגה). נדרש שיפור בוויסות פעילות המתקן.

טבלה 5. השפעת שטיפה במי אלקטרוליזה על איכות מיקרוביולוגית של חסה קצוצה.

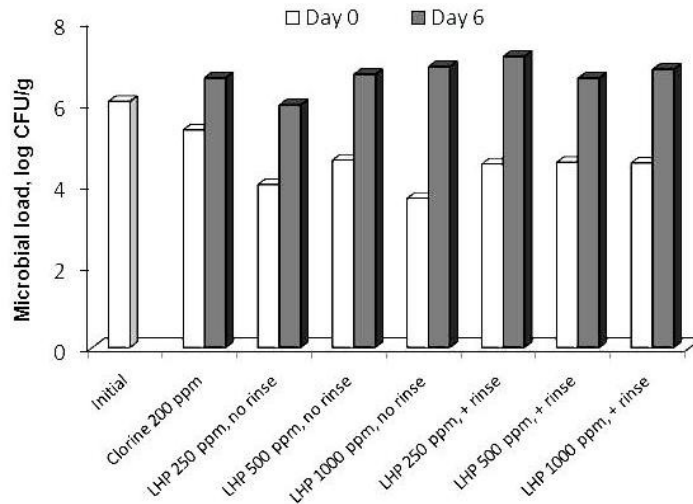
ספירת		טיפול
ספירה כללית	קוליפורמים	
Log CFU/g	Log CFU/g	
5.94± 0.04	3.59±0.31	ללא טיפול
5.14±0.16	3.33±0.39	שטיפה במים
4.15±0.9	2.52±0.24	100 NaClO ח"מ כלור פעיל
4.36±0.20	0.33±0.65	מי אלקטרוליזה 40 ח"מ כלור פעיל



איור 2. היווצרות כלור פעיל במהלך האלקטרוליזה של מים.

#### בחינת חומרי טבע בעלי פעילות אנטי-מיקרוביאלית

התכשיר הניסיוני על בסיס הידרופראוקסידים של לימונן (LHP) הראה כושר קטילה גבוה מיד לאחר הטיפול, עם הורדת ספירת המיקרואורגניזמים ב-2.5-2 סדרי גודל. אולם, היתרון של LHP לעומת הכלור נשמר רק בריכוז נמוך יחסית של 250 ח"מ, בתנאי שהטיפול לא לווה בשטיפה במים (איור 3). בריכוזים גבוהים יחסית (500 ו-1000 ח"מ) הטיפול גרם להופעת סימני נזק לתוצרת (טבלה 6).



איור 3. השפעת הטיפול בהידרופראוקסידים של לימונן (LHP) בריכוזים שונים על ספירה כללית של חיידקים על חסה קצוצה ביום הטיפול וכעבור 6 ימים של אחסון ב-6 מ"צ.

טבלה 6. השפעת הטיפול בהידרופראוקסידים של לימונן (LHP) בריכוזים שונים על איכות חסה קצוצה לאחר 6 ימי אחסון ב-6 מ"צ

מראה	הטמוטטות	השחמה	כמישה	טעם	ריח	ריכוז, הי"מ	חומר חיטוי
5 - 1 כללי	הרקמות 0-3	0-3	0-3	לוואי 0-3	לוואי 0-3		
2.0	0.1	2.0	0	0	0	200	כלור פעיל
2.0	0.4	0.6	0.8	0.5	0.3	250	LHP ללא שטיפה במים
1.8	0.9	1.0	0.8	1.6	0.4	500	LHP ללא שטיפה במים
1.0	2.5	2.2	2.2	לא נטעם	0.5	1000	LHP ללא שטיפה במים
2.3	0	0.5	0.5	0.2	0.1	250	+LHP שטיפה במים
2.0	0.3	0.5	0.5	0.3	0.2	500	+LHP שטיפה במים
1.8	0.3	0.8	0.6	1.0	0.3	1000	+LHP שטיפה במים

בנוסף, נבחנה פעילות של סדרה תרכובות פנוליות כנגד התפתחות של החיידק *E. coli*. בין החומרים שנבחנו, חומצות פנוליות (פרא-קומארית, קפאית, פרולית וסינאפית), כוהלים ואלדהידים פנוליים (synapyl- ו coniferyl-), וחומרים פנוליים טבעיים נוספים, כמו רסוורטרול, הידרוקסיטירוסול וקורקומין. על מנת להגביר את מסיסות החומרים בסביבה מימית, השתמשנו בציקלודקסטרין. מתוך סדרת החומרים הנ"ל, קורקומין הראה פעילות גבוהה ביותר (טבלה 7).

טבלה 7. ריכוזי עיכוב מינימאליים (MIC, ב-mM) של תרכובות פנוליות שונות כנגד החיידק א. קולי

pCoumaric acid	Caffeic acid	Ferulic acid	Sinapic acid	Conifer. alcohol	Sinapyl alcohol	Conifer aldehyde	Sinapyl aldehyde	Resveratrol	Hydroxy tyrosol	Curcumin
>13	13	6.4	12	>13	>13	6.8	>13	10	>13	0.5



כך, ריכוז המעכב המינימאלי (MIC) של קורקומים כנגד א. קולי היה כ-0.5 mM, בהשוואה ל-6.5 עד 13 mM בשאר החומרים. היות וקורקומין הינו מרכיב מזון, יש לו סיכוי להפוך לבסיס של דור חדש בתכשירים אנטימיקרוביאליים. אולם, ניצול הפוטנציאל האנטימיקרוביאלי של קורקומין דורש פיתוח נוסף של פורמולציה ליישומו.

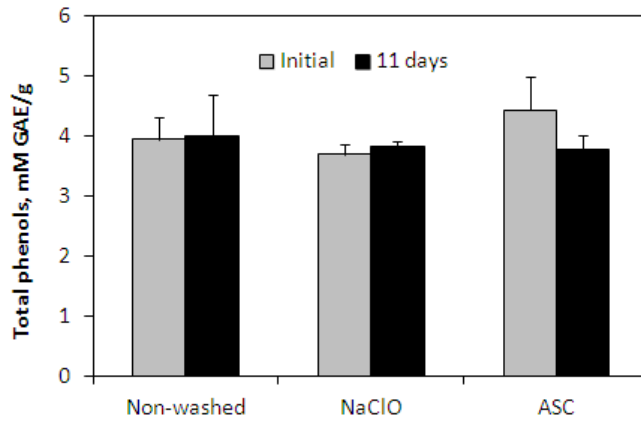
## **2. השפעה על הרכב התוצרת: מרכיבי בריאות וחומרי ארומה**

### השפעת שיטות חיטוי על איכות תזונתית של עלי תרד

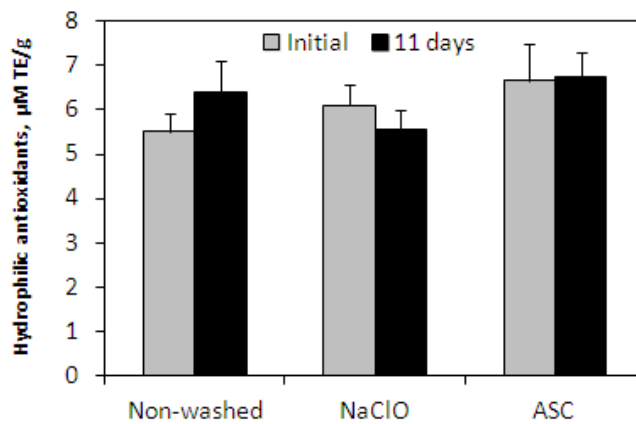
עלי תרד נתקבלו ביום האסיף ישר מהמשק בעין הבשור (צפון-מערב נגב), אוחסנו למשך לילה בקירור (3 מ"צ) במחלקה לאחסון של מינהל המחקר החקלאי, ולמחרת טופלו במעבדת פיילוט של מחלקה לאחסון. הטיפול כלל שטיפה ראשונית במים, חיטוי למשך 2 דקות בתמיסת היפוכלורית הנתרן NaClO (תכשיר "כלורית", זהר דליה) בריכוז 150 ח"מ או בתמיסת כלורית הנתרן החומצי (תכשיר "מיקוגל", עמגל) בריכוז 1200 ח"מ (ריכוז מקסימאלי מותר ע"י משרד הבריאות), עם שטיפה נוספת במים נקיים לאחר החיטוי. עלי הבקורת לא קבלו טיפול החיטוי. העלים יובשו בצנטריפוגה, נארוזו בשקיות פוליפרופילן בעובי 30 מיקרון ללא חירור, 70 גרם לשקית, ואוחסנו למשך 11 יום, כולל 5 ימים בקירור (3 מ"צ) ו-6 ימים של תנאי מדף מקורר (8 מ"צ). דגימות לבדיקת איכות תזונתית נלקחו לפני החיטוי, מיד לאחר החיטוי והייבוש, ולאחר תקופת האחסון. הדגימות יובשו בהקפאה ואוחסנו ב-70- מ"צ עד הבדיקה. הבדיקות כללו בידוד ובדיקת פעילות של נוגדי חמצון מסיסים במים (הידרופיליים) ומסיסים בשומנים (ליפופיליים), בדיקת כלל תרכובות פנוליות, בדיקות תכולת כלל קרוטנואידים וכלורופילים a ו-b ובדיקת תכולת חומצה אסקורבית (ויטמין C).

בדיקת פעילות נוגדי החמצון התבססה על מדידת כושר כיבוי רדיקל-קטיון מלאכותי +ABTS בהשוואה לנוגד חמצון סטנדרטי Trolox (שיטת TEAC) (2). בדיקת תכולת כלל תרכובות פנוליות נערכה בשיטה של פולין-צ'יוקלטו לפי הפרוטוקול של סינגלטון ורוסי. מיצוי של פיגמנטים (כלורופילים וקרוטנואידים) מהעלים נעשה ע"י דימתילפורמאמיד, תכולתם נבדקה בשיטה ספקטאופוטומטרית. מיצוי חומצה אסקורבית נעשה כפי שמתואר בעבודתנו הקודמת (3) ע"י תמיסה מימית המכילה 5% מתנול, 0.05% EDTA ו-0.1 N חומצה ציטרית. תכולת החומצה נבדקה במכשיר HPLC עם קולונה C18 וגלאי PDA ותמיסת חומצה מטא-זרחתית 0.8% כפאזה נעה.

לא נמצאו הבדלים מובהקים בתכולת כלל תרכובות פנוליות בדוגמאות עלי התר אשר טופלו בשיטות שונות (איור 4). אחסון העלים לא גרם לשינויים משמעותיים בתכולת חומרים פנוליים. כמו כן, חיטוי התוצרת לא השפיע באופן מובהק על פעילות נוגדי החמצון המסיסים במים (איור 5) מיד בתום הטיפול. אולם, לאחר האחסון של 11 יום בעלים אשר טופלו בהיפוכלורית הנתרן נצפתה נטייה קלה לירידה ברמת פעילות נוגדי החמצון המסיסים במים. מאידך, הירידה לא נצפתה בעלים אשר טופלו בכלורית הנתרן החומצי (acidified sodium chlorite, ASC) כך שרמת נוגדי החמצון בהם לאחר האחסון הייתה גבוהה באופן מובהק בהשוואה לעלים שטופלו בשיטה מסחרית, אם כי ההבדל לא היה גדול.

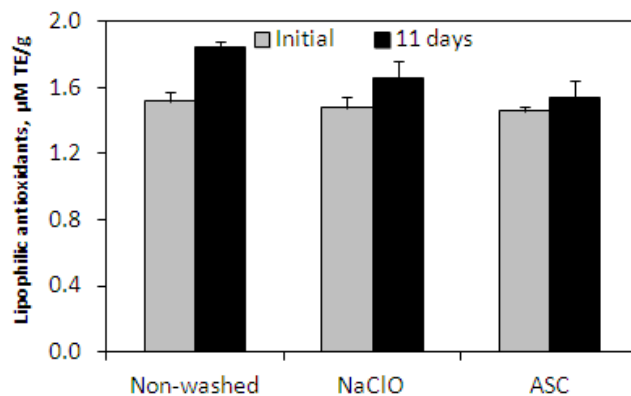


איור 4. השפעת שיטות החיטוי על תכולת כלל תרכובות פנוליות בעלי תרד לפני ואחרי האחסון



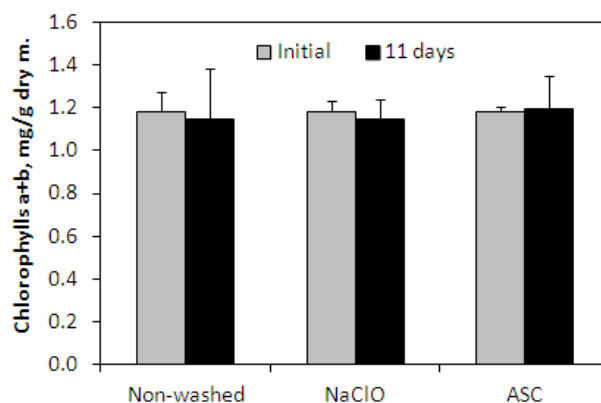
איור 5. השפעת שיטות החיטוי על פעילות נוגדי החמצון המסיסים במים בעלי תרד לפני ואחרי האחסון

לא נצפתה ירידה בפעילות נוגדי החמצון המסיסים בשומנים (ליפופיליים) במהלך האחסון (איור 6). יתרה מזה, בביקורת לאחר האחסון נצפתה עלייה מסוימת ברמת נוגדי החמצון הליפופיליים. טיפולי החיטוי הפחיתו את העלייה הזאת, כך שרמת הפעילות בהם הייתה נמוכה במקצת בהשוואה לעלי הבקורת. אולם, עדיין הטיפול בחומרי החיטוי לא גרם לירידה ברמת פעילות נוגדי החמצון המסיסים בשומנים בהשוואה לעלים טריים מיד לאחר האסיף.

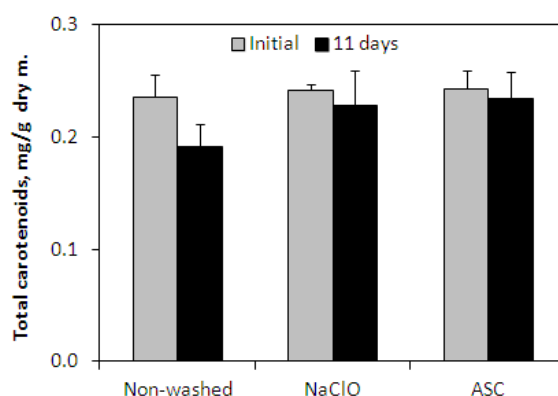


איור 6. השפעת שיטות החיטוי על פעילות נוגדי החמצון המסיסים בשומנים בעלי תרד לפני ואחרי האחסון

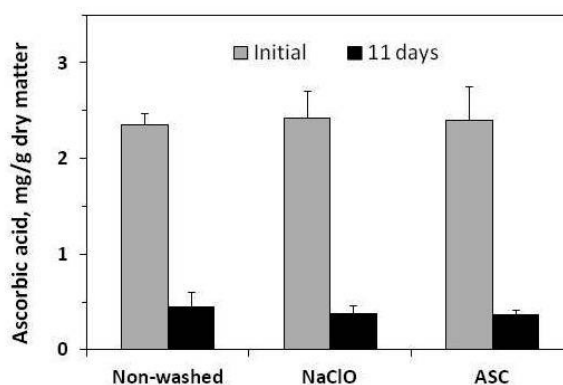
לא נמצאו שינויים בתכולת הכלורופילים בעלים בעקבות הטיפול, לא לפני ולא אחרי האחסון (איור 7). לעומת זאת, תכולת הקרוטנואידים בעלים הלא מטופלים נטה לירידה מסוימת לאחר האחסון. הירידה זאת נמנעה על ידי טיפולי החיטוי (הן בהיפוכלורייט הנתרן והן בכלורייט הנתרן החומצי), כך שרמת הקרוטנואידים בעלים המטופלים לאחר האחסון לא הייתה שונה באופן מובהק מהעלים הטריים לאחר האסיף (איור 8).



איור 7. השפעת שיטות החיטוי על תכולה כללית של כלורופילים a ו-b בעלי תרד לפני ואחרי האחסון



איור 8. השפעת שיטות החיטוי על תכולה כלל קרוטנואידים בעלי תרד לפני ואחרי האחסון



איור 9. השפעת שיטות החיטוי על תכולה חומצה אסקורבית בעלי תרד לפני ואחרי האחסון

חיטוי לא השפיע על רמת החומצה האסקורבית בתרד מיד לאחר הטיפול (איור 9). תכולת הוויטמין ירדה בצורה דרסטית במהלך 11 ימי האחסון, אך ללא קשר למתן הטיפול. גם לאחר האחסון, לא נמצאו הבדלים מובהקים ברמת החומצה האסקורבית בתרד שטופל בתכשירי החיטוי בהשוואה לעלים הלא מחוטאים.

#### השפעת שיטות חיטוי על הרכב חומרי ארומה בעלי מנטה

השפעת החיטוי על מרכיבי הארומה בגידולים עליים נבחנה בעלי מנטה בהם הארומה מהווה פרמטר איכות חשוב במיוחד. נבחרו ענפי מנטה אחידים מבחינה מורפולוגית. הם עברו טיפול דומה לזה שמתואר בפרק הקודם, אך בנוסף לביקורת ללא שטיפה וחיטוי התווספה קבוצת ביקורת נוספת אשר טופלה במים ללא הוספת חומרי חיטוי כלשהם.

בדיקת הארומה נערכה בעזרת המתקן שפותח במעבדתנו ע"י ד"ר יעקב וינוקור. המתקן מאפשר דגימה בתנאים אחידים של חומרים נדיפים אשר נפלטים מתבליני עלה, כמו בזיל (ריחן), מנטה, מרווה וכד'. המתקן כולל תפסן לאגדי הענפים אשר נמצא בתוך כלי זכוכית ומחובר למנוע רוטט אשר מנער את האגד לפרק זמן מבוקר ע"י רכיב אלקטרוני. בניסויים הספציפיים משך הניעור היה 5 שניות. לאחר הניעור, נעשית דגימה של חומרי ארומה באוויר בתוך כלי הזכוכית בשיטת SPME (solid phase micro-extraction) בעזרת סיב פולימרי אשר סופח את חומרי הארומה מהאוויר. כלי ה-SPME הועבר לגז כרומטוגרף לבדיקה. בדיקה וזיהוי מרכיבי הארומה נערכו במערכת Agilent 5975 GC-MS. בגלל המגבלות של מספר דוגמאות ניתנות לבדיקה בסדרת טיפולים אחת, ההשפעות של שני תכשירי החיטוי נבחנה בניסויים נפרדים, כל אחד מול בקורות נפרדות. מרכיב הארומה העיקרי בעלי מנטה זוהה כקרובן. בנוסף לקרובן, נמצאו תרכובות מכילות חמצן נוספות, כמו קרביאול, נאו-דיהידרוקרביאול, די הידרוקרובון, קרביל-אצטט ועוד, ופחמימות מונוטרפניות (לימונן) וססקוויטרפניות (בורבון ועוד). הרכב חומרי הארומה העיקריים והשפעת שטיפה, חיטוי ואחסון על ההרכב הוצגו בטבלאות 8 ו-9.

טבלה 8.

השפעת חיטוי בהיפוכלוריט הנתרן (NaClO) על הרכב מרכיבי הארומה העיקריים של עלי מנטה.

	Initial			After 7 days at 8°C		
	Dry	Water	NaClO	Dry	Water	NaClO
D-Limonene	2.4	4.0	3.5	2.5	3.6	3.4
cis-Carveol	6.5	6.8	7.3	3.4	3.7	5.4
(-)-Carvone	64.9	56.3	56.5	68.1	68.7	65.8
α-Bourbonene	7.5	9.2	9.7	7.1	7.0	7.4
α-Caryophyllene	6.8	8.2	8.6	7.6	9.1	7.1
α-Cubenene	11.9	15.6	14.4	11.3	7.9	10.8

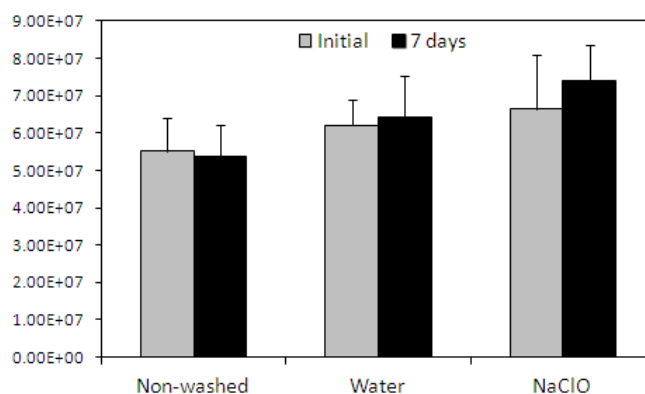
לא נמצאו שינויים משמעותיים בהרכב חומרי הערומה כתוצאה משטיפה, חיטוי או אחסון. מיד לאחר הטיפול, נצפתה ירידה קלה בתכולת הקרובן ועלייה מסוימת בתכולת הפחמימות בארומה של עלי מנטה

שטופים, אך לאחר האחסון אחוז הקרבון בד"כ חזר לרמה של עלים טריים לא שטופים. התופעה נצפתה הן בעלים מטופלים בכלור והן בעלי הביקורת שנשטפו במים בלבד. אולם, בעלים אשר טופלו בכלורית הנתרן החומצי, רמת הקרבון נותרה נמוכה במקצת מהביקורת הלא מטופלת. למרות זאת, היא הייתה ברמה אופיינית לארומה של מנטה, ללא ריחות לוואי. הקרבון בחומר גלם בניסוי השני הייתה גבוהה מזאת של הניסוי הראשון.

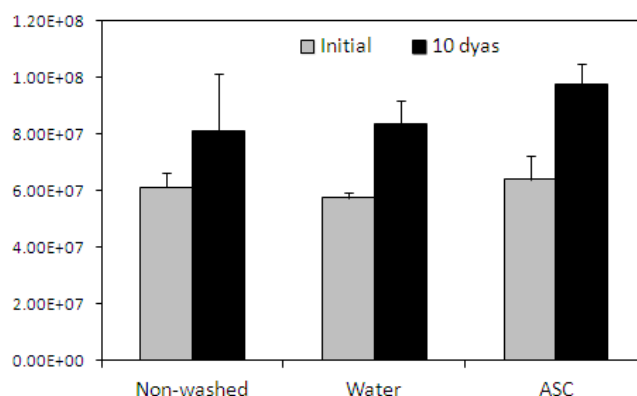
טבלה 9.

השפעת חיטוי בכלורית הנתרן החומצי (ASC) על הרכב מרכיבי הארומה העיקריים של עלי מנטה.

	Initial			After 10 days at 8°C		
	Dry	Water	ASC	Dry	Water	ASC
D-Limonene	1.9	6.2	3.3	1.8	1.9	3.4
cis-Carveol	2.1	1.7	2.2	1.1	1.1	1.6
(-)-Carvone	83.6	75.3	78.3	84.1	83.0	77.0
$\alpha$ -Bourbonene	4.2	4.5	5.2	5.5	4.9	4.4
$\alpha$ -Caryophyllene	3.5	5.3	4.8	3.6	4.1	5.2
$\alpha$ -Cubenene	4.7	6.9	6.1	3.9	5.0	8.4



איור 10. הערכת כמות חומרי הארומה הנפלטים ע"י עלי מנטה: השפעה של היפוכלורית הנתרן (סכום גובה הפיקים של שישה מרכיבים עיקריים אשר הוצגו בטבלאות 1 ו-2)



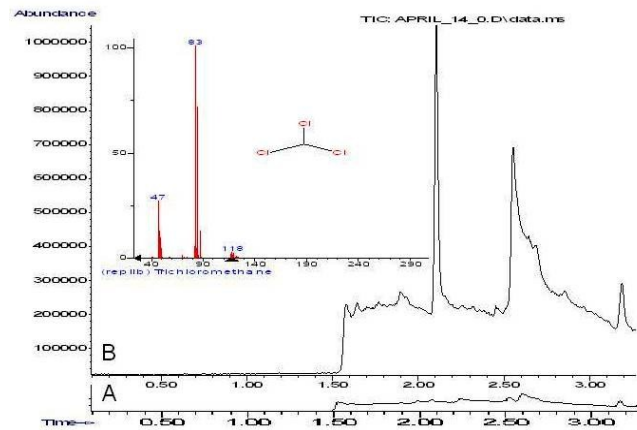
איור 11. הערכת כמות חומרי הארומה הנפלטים ע"י עלי מנטה: השפעה של כלורית הנתרן הנחומצי (סכום גובה הפיקים של שישה מרכיבים עיקריים אשר הוצגו בטבלאות 1 ו-2)

איורים 10 ו-11 מציגים הערכת עוצמת הארומה המבוטאת ככמות חומרי הארומה באוויר לפי תוצאות הכרומטוגרפיה. לפי תוצאות הבדיקה, עלים שטופים נטו לפלוט יותר חומרי ארומה מאשר העלים הלא שטופים, והנטייה הזאת התחזקה לאחר האחסון, במיוחד בעלים אשר טופלו בחומר חיטוי. לפיכך, לעלים מחוטאים בתום האחסון הייתה נטייה לעוצמת הארומה הגבוהה במקצת מהעלים שנשטפו במים או לא נשטפו כלל. אולם, לא תמיד ההבדל היה מובהק מבחינה סטטיסטית.

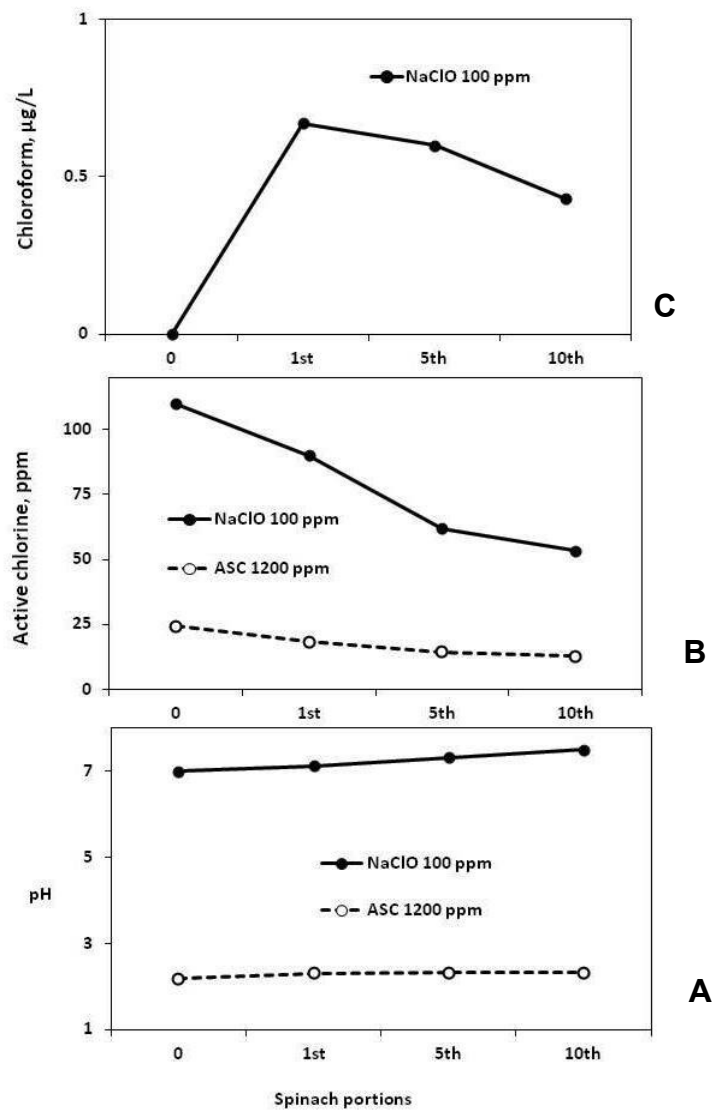
### 3. היבטים סביבתיים: היווצרות תוצרי לוואי של חיטוי (טריהלומתנים)

עלי תרד נשטפו בתמיסות חומרי חיטוי כפי שמתואר לעיל: היפוכלורית הנתרן (תכשיר "כלורית", יצרן: זהר דליה) וכלורית הנתרן החומצי (ASC, תכשיר "מיקוגל", יצרן: עמגל). ריכוזי החומרים הפעילים נלקחו בהתאם להמלצות משרד הבריאות: היפוכלורית הנתרן 100 ח"מ של כלור פעיל, ASC 1200 ח"מ של כלורית הנתרן. עשר מנות של תרד, כל מנה של 50 ג', נשטפו אחת אחרי השנייה ב-1 ליטר של תמיסת חומר חיטוי. דוגמאות מי השטיפה נלקחו (א) לפני תחילת החיטוי, (ב) לאחר חיטוי של מנת עלים אחת, (ג) לאחר חיטוי של 5 מנות עלים, ו-(ד) לאחר חיטוי של 10 מנות עלים. בכל דוגמה של מי השטיפה נבדקו ערכים של pH, תכולת כלור פעיל (בעזרת המכשיר HI 93711, הב' Hanna) ותכולת תוצרי לוואי החיטוי הנדיפים – טריהלומתנים (THM) בפרט כלורופורם. בדיקת THM נעשתה בשיטת SPME (solid phase micro-extraction) בעזרת סיב פולימרי 100-PDMS (100  $\mu\text{m}$ ) אשר ספח את החומרים הנדיפים מהאוויר, בהתאם לשיטה מתוארת בספרות (4). הבדיקה הכמותית נערכה במערכת Agilent 5975 GC-MS מול עקומת הכיול של תמיסת כלורופורם במים.

היווצרות טריהלומתנים ובפרט כלורופורם נתגלתה במי השטיפה לאחר חיטוי התרד בהיפוכלורית הנתרן (איור 12). לעומת זאת, כאשר החיטוי נעשה באמצעות כלורית הנתרן החומצי (ASC) לא נמצאו במי השטיפה כלורופורם או טריהלומתנים אחרים בכמויות ניתנות למדידה.



איור 12 גילוי של כלורופורם במי השטיפה לאחר חיטוי של עלי תרד בתמיסת היפוכלורית הנתרן (B), בהשוואה למים לפני החיטוי (A).



איור 13 שינויים פיזיקו-כימיים במהלך חיטוי עלי התרד בהיפוכלורית הנתרן וכלורית הנתרן החומצי (ASC). A – רמת pH; B – ריכוז כלור פעיל; C – תכולת טריהלומתנים (כלורופורם).

רמת כלור פעיל בתמיסת ההיפוכלורית ירדה בערך למחצית במהלך החיטוי כתוצאה מאינטראקציה של כלור פעיל עם חומר אורגאני (איור 13). יש לציין, כי הירידה בריכוז הכלור הפעיל במהלך חיטוי תרד הייתה פחותה בהשוואה לתהליך דומה עם חסה קצוצה. במקרה של חסה, לקראת סבב החיטוי העשירי נותרו במי השטיפה רק 10-15% מריכוז ההתחלתי של כלור פעיל (הנתונים לא הוצגו), ככל הנראה עקב דליפה מסיבית יותר של חומר אורגאני מהעלים הקצוצים. פירוק הכלור הפעיל בתמיסות היפוכלורית היה מלווה במגמה לעלייה ב-pH ובהיווצרות כלורופורם (איור 13). אולם, ריכוז ה-THM היה נמוך יחסית. לא נצפתה הצטברות של טריהלומתנים במים בכמויות גבוהות, ככל הנראה עקב איזון בין היווצרות והתאדות החומרים. כתוצאה מכך ריכוז הכלורופורם שנמדד במים לאחר 10 סיבובי חיטוי לא עלה על הריכוז אחרי הסיבוב הראשון ואף היה נמוך במקצת עקב הירידה בריכוז הכלור הפעיל במים. תמיסת כלורית הנתרן החומצי (ASC) גם כן הגיבה במידה מסוימת עם הערכה לגילוי כלור פעיל במים. אולם, כמות הכלור הפעיל שנתגלה הייתה נמוכה (איור 13), במיוחד אם להתחשב בריכוז הגבוה של כלורית הנתרן (1200 ח"מ) וכאמור לא הביאה להיווצרות טריהלומתנים. רמת ה-pH בתמיסת ASC נשארה נמוכה במהלך כל תקופת הטיפול.

## דיון ומסקנות

ניתן לסכם את ממצאי הפרויקט במספר מסקנות:

- עלי תרד מגלים נטייה לרמת זיהום גבוהה ולחריגה מדרישות התקן, במיוחד בעונה החמה. לפיכך המוצר הזה מהווה אובייקט מתאים וחשוב לבדיקת יעילות שיטות חיטוי.
- לאחר בדיקת מגוון חומרי חיטוי המותרים לשימוש בארץ, התכשיר על בסיס כלורית הנתרן החומצי (acidified sodium chlorite, ASC) הראה יעילות מוגברת בהשוואה לטיפול סטנדרטי בהיפוכלורית הנתרן, הן מיד לאחר הטיפול והן לאחר אחסון. ההשוואה נעשתה בריכוזים המקסימאליים המותרים ליישום בארץ. הטיפול ב-ASC לא השפעה לרעה על איכות עלי התרד במהלך האחסון.
- הטיפול במי אלקטרוליזה גילה יעילות מוגברת בקטילת קוליפורמים בהשוואה לטיפול סטנדרטי בהיפוכלורית הנתרן, ללא השפעה פיטוטוקסית. בנוסף, התוצאה הושגה ברמת כלור פעיל נמוכה יחסית (40 ח"מ). אולם, נדרש שיפור בקרה של תהליך ייצור מי האלקטרוליזה ע"מ להשיג יציבות בתוצאות.
- חלק מאמצעי החיטוי שנבחנו כמו התכשיר הניסיוני על בסיס הידרופראוקסידים של לימונן (חומר טבעי) והשיטה הפיזיקו-כימית של חמצון מתקדם הראו כושר קטילה גבוה מיד לאחר הטיפול אך גרמו נזק פיטוטוקסי לתוצרת במהלך האחסון.
- לאריזת שקית היה יתרון ברור בהשוואה למגשים, הן מבחינת הפחתת המטען המיקרוביאלי והן מבחינת השמירה על איכות המוצר. היתרון היה קשור בהיווצרות אווירה מתואמת מועשרת בפחמן דו-חמצני (פד"ח) בתוך השקיות.
- לא נמצאו סימנים לירידה באיכות תזונתית של עלי תרד אשר עברו חיטוי בכלורית הנתרן החומצי (ASC) או בהיפוכלורית הנתרן. לתכשירים שנבדקו לא הייתה השפעה שלילית על תכולת כלל תרכובות פנוליות, כלורופילים וקרונאוידים, חומצה אסקורבית (ויטמין C) ופעילות נוגדי החמצון



המסיסים במים או בשומנים. אולם, תכולת החומצה האסקורבית ירדה באופן משמעותי במהלך האחסון, אך הירידה לא נגרמה ע"י החיטוי ונצפתה גם בביקורת הלא מטופלת.

- לא נמצאה השפעה שלילית של טיפולי החיטוי שנבדקו על ההרכב ועל הכמות של חומרי הארומה בתבליני עלי כמו מנטה. יתר על כן, לאחר האחסון נצפתה הנטייה לשיפור מסוים בעוצמת הארומה של החומר המחוטא בהשוואה לביקורת שלא עברה חיטוי. יתכן והתופעה נובעת ממניעת קלקול הארומה המיקרוביאלית.

- להבדיל מהטיפול הסטנדרטי בהיפוכלורית הנתרן, חיטוי עלי התרד בכלורית הנתרן החומצי (ASC) לא גרם להיווצרות טריהלומתנים במי השטיפה. לפיכך, החיטוי ב-ASC היה עדיף מבחינה סביבתית.

לסיכום, המחקר שנערך במסגרת הפרויקט הצביע על טיפול בכלורית הנתרן החומצי כשיטת חיטוי מבטיחה לעלי תרד וירקות עלה דומים אשר עולה ביעילותה על הטיפול הנפוץ היום בכלור פעיל (היפוכלורית הנתרן) מבלי לפגוע בהשתמרות ובאיכות התוצרת, בערכה התזונתי ולא גורמת להצטברות טריהלומתנים כתוצרי לוואי של חיטוי.

## **הבעת תודה**

אנחנו מודים לחברות כימיקלים זהר דליה ועמגל (בפרט מר יואל לנדא) אשר ספקו דוגמאות של תכשירים, לחברות שהעמידו לרשותנו את הציוד הייחודי שלהם: Aqua-Pure, מייטרוניקס, אדמנט (מר צ'ירו זבנלו שווייץ) ולמגדלים וחברות אשר ספקו את החומר הצמחי: חב' שטראוס, חב' ירוק-עד (מר אנטון קלפאוד), המגדלים מר דוד מזרחי (בית חנן) ומר ארז כהן (חבל אשכול). כמו כן, חובתנו הנעימה להודות לעמיתנו מהמכון פרופ' סמיר דרובי, ד"ר דוד קניגסבוך, ריקי פינטו, אבינועם דעוס, גינת רפאל, דניאל צ'לפוביץ', דלילה בנו-מועלם אשר השתתפו או עזרו בביצוע הניסויים בשלבים שונים של הפרויקט.

## **רשימה מלאה של הפרסומים המדעיים**

Rodov, V., Horev, B., Vinokur, Y., Richard G. (2011). Fresh-cut lettuce surface: where microbiology meets physiology. In: II ISHS Int. Conf. on Quality Management of Fresh Cut Produce, Turin - Italy. Book of Abstracts, p. 47.

Rodov, V., Horev, B., Vinokur, Y., Beno-Mualem, D., Choudhary, R., Makwana, S., Haddock, J., Dogra, N., Kohli, P., and Droby, S. (2013). Antimicrobial and antioxidant activity of phenylpropanoids encapsulated in methylated  $\beta$ -cyclodextrin and in polydiacetylene nanovesicles. In: 5<sup>th</sup> Int. Symp. on Human Health Effects of Fruits and Vegetables, Dharwad, India. Book of Abstracts, p. 18.

1. משרד הבריאות (2006). הנחיה -חומרי חיטוי לפרות וירקות המיועדים לעיבוד תעשייתי או לטיפול בבתי אריזה. <http://www.old.health.gov.il/Download/pages/foodAndveg2.pdf>
2. Vinokur, Y., and Rodov, V. (2006). Method for determining total (hydrophilic and lipophilic) radical-scavenging activity in the same sample of fresh produce. *Acta Horticulturae* 709:53-60.
3. Vinokur, Y., Rodov, V., and Horev, B. (2002). Effect of postharvest factors on the content of ascorbic acid in Israeli varieties of strawberries. *Acta Horticulturae* 567(2):763-766.
4. Cho, D.H., Kong, S.H., and Oh, S.G. (2003). Analysis of trihalomethanes in drinking water using headspace-SPME technique with gas chromatography. *Water Research*, 37(2):402-408.

<p><b>מטרות המחקר תוך התייחסות לתכנית העבודה.</b></p> <p><u>מטרת המחקר</u> הייתה פיתוח שיטה מיטבית לחיטוי ירקות עלה מוכנים לאכילה אשר תשמור על בטיחות מיקרוביולוגית של המוצרים מבלי לפגוע באיכותם, כושר השתמרותם וערכם התזונתי ותפחית זיהום הסביבה בתוצרי לוואי רעילים.</p>
<p><b>עיקרי התוצאות</b></p> <p>ביצוע התכנית נפרס לתקופה של שלוש שנים כאשר בשנה א' הדגש הושם על הגדרת המערכת הניסיונית ובחירת גישות מבטיחות להמשך העבודה, בשנה ב' עסקנו בעיקר בחקר השפעת הטיפולים על הערך התזונתי של התוצרת (פעילות נוגדי חמצון, תכולת תרכובות פנוליות, קרוטנואידים וחומצה אסקורבית) ועל הרכב חומרי הארומה, ובשנה ג' נחקרו ההיבטים הסביבתיים כמו היווצרות תוצרי לוואי בלתי רצויים במהלך החיטוי.</p> <p>תוצאות עיקריות של המחקר : א. עלי תרד מהווים אובייקט מתאים לבדיקת יעילות החיטוי עקב נטייתם למטען מיקרוביאלי גבוה, במיוחד בעונה החמה. ב. התכשיר על בסיס כלורית הנתרן החומצי (acidified sodium chlorite, ASC) הראה יעילות מוגברת בהשוואה לטיפול סטנדרטי בהיפוכלורית הנתרן מבלי להשפיע לרעה על איכות התוצרת. ג. הטיפול במי אלקטרוליזה גילה יעילות מוגברת בהשוואה לטיפול בהיפוכלורית הנתרן ברמת כלור פעיל מופחתת. אולם, נדרש שיפור בבקרת מערכת ייצור מי האלקטרוליזה. ד. לאריזת שקית היה יתרון בהשוואה למגשים מבחינת השתמרות ואיכות מיקרוביולוגית של התוצרת הודות להיווצרות אווירה מתואמת בתוך השקיות. ה. ASC לא פגע באיכות תזונתית של התוצרת ובהרכב מרכיבי הארומה, ולא גרם להיווצרות תוצרי לוואי - טריהלומתנים.</p>
<p><b>המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו.</b></p> <p>הטיפול בכלורית הנתרן החומצי הוא שיטת חיטוי מבטיחה לעלי תרד וירקות עלה דומים אשר עולה ביעילותה על הטיפול בהיפוכלורית הנתרן מבלי לפגוע בהשתמרות ובאיכות התוצרת, בערכה התזונתי ובלי הצטברות טריהלומתנים במי השטיפה.</p>
<p><b>הבעיות שנתרו לפתרון /או השינויים שחלו במהלך העבודה.</b></p> <p>בהמשך יש לבחון את יעילות התכשיר עם מגוון רחב של ירקות עלה בתנאי תעשייה.</p>
<p><b>בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח.</b></p> <p>חלק מתוצאות המחקר הוצגו בשני כנסים בינלאומיים ופורסמו בחוברות הכנסים. המאמר בנושא הפרויקט נמצא בשלבי הכנה.</p> <p>Rodov, V., Horev, B., Vinokur, Y., Richard G. (2011). Fresh-cut lettuce surface: where microbiology meets physiology. In: II ISHS Int. Conf. on Quality Management of Fresh Cut Produce, Turin - Italy. Book of Abstracts, p. 47.</p> <p>Rodov, V., Horev, B., Vinokur, Y., Beno-Mualem, D., Choudhary, R., Makwana, S., Haddock, J., Dogra, N., Kohli, P., and Droby, S. (2013). Antimicrobial and antioxidant activity of phenylpropanoids encapsulated in methylated <math>\beta</math>-cyclodextrin and in polydiacetylene nanovesicles. In: 5<sup>th</sup> Int. Symp. on Human Health Effects of Fruits and Vegetables, Dharwad, India. Book of Abstracts, p. 18.</p>
<p><b>פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח (סמן אחת מהאופציות)</b></p> <p>רק בספריות <input type="checkbox"/></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)</p> <p>חסוי – לא לפרסום</p>