

החברה למחקר ופיתוח קירור ואיסום פירות ק"ש בע"מ  
קרית שמונה  
טל. 04-6817421, 04-6940208 פקס. 04-6940113  
www.fruitlab.co.il  
e-mail: fruitlab@netvision.net.il

**השפעת הוספת לחות לחדרי אחסון באוויר מבוקר בעזרת ערפול "יבש" על כושר השתמרות  
תפוחים מזן דלישס זהוב**

רות בן-אריה, אוהד נריה וליאת עזאני – החברה למו"פ קירור ואיסום פירות

טל וולף וקרן סולימן – "קירור גליל"

רקע

קצב התכלות תוצרת חקלאית טרייה מוכתב בראש ובראשונה על-ידי קצב נשימת התוצרת וקצב איבוד המים (טרנספירציה), המואצים ברגע הינתקות הפרי או הירק מצמח האם. האמצעי היעיל ביותר להאטת שני התהליכים הללו הוא הורדת טמפרטורת הסביבה, וככל שהיא מבוצעת מהר יותר, כך ייטב. הורדת טמפרטורה מהירה משפיעה במיוחד על קצב הנשימה בעוד שקצב הטרנספירציה מושפע בעיקר משיטת הורדת הטמפרטורה. השיטה היעילה ביותר להורדת הטמפרטורה היא ההידרוקולינג (הורדת טמפרטורה על-ידי טבילה במי קרח), והיא גם הטובה ביותר בהפחתת הטרנספירציה. אך שיטה זו יקרה בצריכת אנרגיה ואינה מתאימה לסוגי תוצרת רבים, שהרטבתם פוגמת באיכותם הוויזואלית. לפיכך, שיטת הקירור המהיר הנפוצה ביותר הינה קירור באוויר מאולץ, בו מוזרם אוויר בטמפרטורה נמוכה מטמפרטורת היעד, תחת לחץ גבוה ובמהירות רבה, דרך כלי הקיבול של התוצרת. משך הקירור המהיר תלוי במספר גורמים, כגון ההפרש בין הטמפרטורה ההתחלתית לטמפרטורת היעד, סוג התוצרת, סוג האריזה וקצב זרימת האוויר. מבחינת הטרנספירציה, ישנם שני תהליכים מנוגדים לכאורה: מחד האטת קצב איבוד המים בגין הורדת הטמפרטורה, המאטה את קצב התהליכים הביו-פיזיקאליים בתוצרת, ומאידך, הגברתו בגין תנועת האוויר המרחיקה את אדי המים הנפלטים מהתוצרת ומגבירה את הפרש לחצי האדים בין התוצרת וסביבתה. הפרש הזה קובע את קצב איבוד המים של התוצרת לא רק בעת הקירור המהיר של הפרי, אלא לכל אורך האחסון ועל כן קיימת חשיבות רבה בשמירת לחות יחסית של 95-97% בחדרי האחסון. שמירת לחות יחסית ברמה זו הינה קשה מבחינת טכנולוגיית הקירור, במיוחד בטמפרטורה סביב 0°C, כאשר המים קופאים. במרבית חדרי האחסון המסחריים הלחות היחסית השוררת היא בתחום 85-90%, במקרה הטוב, ועל כן נהוג לעטוף מוצרים רגישים לאבדן מים בעטיפות פלסטיות. לדוגמה זני

תפוח מסוימים, אגסים, פירות קיווי, ענבים, שזיפים ורימונים. ישנם גם פירות שמדנגים אותם כדי להקטין את הפסד המים – פירות הדר, מנגו ועוד.

קיימות בעולם שיטות שונות להעלאת הלחות היחסית באוויר. העיקריות הן הרטבה והמטרה, התזה וריסוס, אירוסול וקיטור. ההבדל הבולט ביותר בין כל השיטות הוא בגודל הטיפות הנוצרות ובהתפלגות הסטטיסטית של גודלן. ככלל, ככל שגודל הטיפות קטן יותר, עלית הלחות מהירה יותר ויעילה יותר. כמו – כן, ככל שטיפות המים אחידות יותר בגדלן, משתפרת ההרחפה ולא נוצרת הרטבה. זמן ההתנדפות של הטיפה הוא פונקציה של היחס בין שטח הפנים שלה לנפחה ולזמן הריחוף. לדוגמא, טיפה בגודל 100 מיקרון – זמן הריחוף שלה הוא זמן הנפילה לקרקע וטיפה של 1 מיקרון מרחפת עד להתנדפותה. איכות הטיפה, גודלה, יעילות המערכת – חסרונותיה ויתרונותיה הטכניים ותכונות ענן הערפל נגזרות ישירות מעקרון הפעולה. לכל יישום מתאימה שיטה שונה. למשל, לשטחים פתוחים עדיף פיזור טיפות גדולות יותר – בהמטרה או בריסוס, ואילו לנפחים סגורים, עדיף להשתמש באירוסול או בקיטור. בשנים האחרונות פותחו בארץ מערפלים, המספקים ערפל בגודל טיפות קטן מאוד, המבוססים על שני עקרונות שונים.

לפי עקרון אחד, שבירת הטיפות נעשית בשיטה מכאנית, למשל בעזרת דיסק המסתובב במהירות ודחיסת טיפות המים דרך נחיר (דיזה) בקוטר קטן. לעקרון הנחיר קיימות שתי תת – קבוצות:

- 1 – ניפוץ על ידי לחץ נוזל גבוה.

- 2 – ניפוץ על ידי ערבוב אוויר דחוס בלחץ גבוה ומים במעבר וונטורי.

השיטה הראשונה דורשת משאבה ייחודית ללחצים של מעל ל – 100 אטמוספרות על מנת להשיג טיפה קטנה ויציבה והיא מתאימה למערכות גדולות ביותר, אשר מינימום הספיקה שלהן הוא מספר גלונים לדקה. למערכות אלו דרושים מים בדרגת ניקיון גבוהה ואין יכולת הוספת חומרים כימיים למים. השיטה הפשוטה יותר היא ערבוב אוויר ומים במעבר וונטורי (תת קבוצה 2 לעיל). לחץ האוויר הגבוה שואב כמויות קטנות של מים ומערבב אותן בנפחי אוויר גדולים. גודל הטיפות בשיטה זו מתחת ל – 10 מיקרון, אך מעל ל – 5 מיקרון. אחת הבעיות של שיטה זו היא נוכחות אדי שמן ולכן למערכת נחיר אוויר – מים דרוש מדחס המייצר אוויר דחוס וללא שמן בהספק הנדרש, ולא מדחס בוכנה או בורג.

לפי עקרון שני, ריסוק הטיפות נעשה בעזרת גלים אולטרה – סוניים. המערפל האולטרסוני יוצר אירוסול המכיל טיפה איכותית ויעילה בזכות גודלה הקטן – בסביבת  $1 \mu$ . אחידות הטיפות גדולה ויעילותן ביצירת לחות יחסית נובעת מהתנדפותן המהירה בשל שטח הפנים הגדול שלהן יחסית למשקל. הטיפה הזעירה מיוצרת ביעילות של 93% על ידי גלי קול, ממחולל אלקטרוני בעל יציבות גדולה ביותר ורק הטיפות

המתאימות יוצאות לחלל המטופל (מתוך עלון טכני של חברת "עננים ירוקים"). תכונותיה הפיסיקליות של הטיפה גורמות לענן האירוסול לרחף באוויר ולהתנהג בדומה לגז באופן החדירה והגעה אל תוך סביבת המוצרים. מכאן חדירותו הגבוהה של האירוסול האולטרסוני ויכולתו לייצר לחות יחסית הומוגנית במרחב בחדרי קירור גדולים. השיטה מאפשרת גם פיזור חומרי חיטוי והדברת הנכלאים בתוך הטיפות, ללא שינוי כימי. תכונה נוספת של המערפל האולטרסוני היא שזרם האוויר המספק אותו הוא בנפח גדול ומהירות נמוכה. שני גורמים אלה מונעים מצב בו אנרגיה קינטית, שמקורה בלחץ אוויר גבוה, גורם להתנגשות בין הטיפות, שבירת מתח הפנים ביניהן וכתוצאה מכך הרטבה.

בארץ, חברות אופטיגייד בע"מ וא.ר.ן - פיתוח ויעוץ בחקלאות בע"מ מייצרות מערפל מהסוג המכאני וחברות אס מיקרו-דרופ 'טק', אלקטרו - תרם בע"מ ועננים ירוקים בע"מ מייצרות מערפלים אולטרסוניים. הדעה הרווחת, המבוססת על הגיון פיזיקאלי היא, שלחות יחסית בחדרי קירור נקבעת על פי הפרשי הטמפרטורה בכניסה וביציאה של גז הקירור ביחידת המעבה, ושלא ניתן להעלות את הלחות היחסית ע"י הוספת מים לאוויר, כשטמפרטורת החדר היא  $0^{\circ}\text{C}$  או פחות, מאחר שהאוויר בטמפ' זו מסוגל להכיל רק כמות קטנה מאוד של אדי מים ומים בצורת נוזל קופאים. אולם תצפיות שונות, שנערכו במעבדה לקירור, מעידות על אפשרות העלאת הלחות היחסית בחדרי אחסון ב- $0^{\circ}\text{C}$ , שהתבטאה בהקטנת ההפסד במשקל של פירות תפוח, אגס וליצי, שנחשפו ל"ערפל יבש", שנוצר ממערפלים אולטרא-סוניים..

בספרות המקצועית של השנים האחרונות לא מצאנו מחקרים בהם נעשה ניסיון להגביר את הלחות היחסית בחדרי קירור באמצעות הוספת מים בדרך כלשהי, אולם נערך ניסוי לשמור על איכות תוצרת טרייה בתצוגה קמעונאית מקוררת ע"י שימוש בערפל אולטרסוני.

מטרת הניסוי המתואר להלן הייתה לבדוק את יעילותו של מערפל אולטרסוני מתוצרת אס מיקרו-דרופ 'טק', שהותקן בחדר אחסון מסחרי של תפוח באוויר מבוקר בבית הקירור "גליל קירור". לטענת היצרן (צביקה לוי), הייחוד של מכשיר זה הוא בשיטת הנידוף, המתאימה במיוחד ליישום הטכנולוגיה בחדרי אוויר מבוקר אטומים.

## חומרים ושיטות

הניסוי נערך בתפוחים מזן דלישס זהוב, שהגיעו לבית הקירור 'קירור גליל', באמצע הקטיף המסחרי. בוצע ניסוי דו-גורמי, כשהגורם הראשי היה שיטת קבלת רמת הלחות היחסית הרצויה והגורם

המשני היה עטיפת מיכלי הפרי למניעת הפסד מים מהפרי. עבור הגורם ראשי הוקדשו שני חדרי קירור מסחריים בתנאים הבאים:

א. חדר קירור קונבנציונאלי על בסיס נוזל קירור אמוניה, בו הותקן מתקן ערפול אולטרסוני מתוצרת חברת 'tec' S-Micro-drop (צביקה לוי). התנאים בחדר היו: טמפרטורה  $+1^{\circ}\text{C}$ , הרכב אוויר  $1.5\%\text{O}_2 + 2.0\%\text{CO}_2$ , לחות יחסית 94-96%. הפרי הוכנס לחדר לאחר קירור מוקדם, במשך 3 ימים והוא נסגר לאוויר מבוקר ב-9/9/08 ונפתח ב-21/1/09.

ב. חדר קירור חדש על בסיס נוזל קירור אתילן גליקול. התנאים בחדר היו: טמפרטורה  $+1^{\circ}\text{C}$ , לחות יחסית 95-97%, הרכב אוויר  $1.5\%\text{O}_2 + 2.0\%\text{CO}_2$ . הפרי הוכנס לחדר ישירות בהגעתו, כשהוא עדיין חם. החדר מולא בהדרגה במשך 6 ימים, נסגר לאוויר מבוקר ב-3/9/08 ונפתח ב-14/1/09. בתוך כל חדר אוחסנו, בין שאר המיכלים, 4 מיכלים שקולים מכל אחד מ-3 מגדלים, שמחציתם נעטפו לאחר קירור הפרי ביריעות פוליאאתילן מחוררות, בעובי 0.04 מ"מ, ומחציתם נשארו ללא עטיפה. בשני החדרים כל שאר המיכלים לא נעטפו.

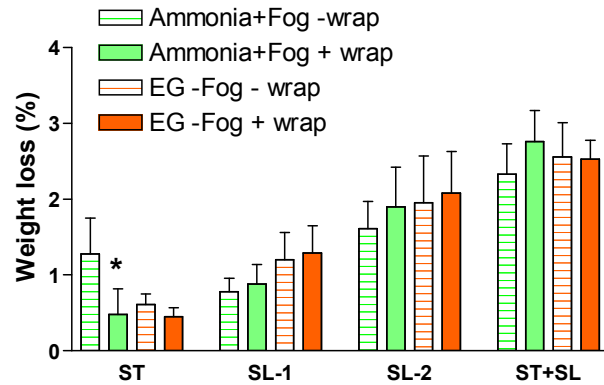
בעת פתיחת החדרים נשקלו המיכלים מחדש ומכל מיכל נדגמה תיבת פרי (40 פירות) לבדיקת איכות הפרי בעת ההוצאה מקירור ולאחר שבוע ושבועיים בחיי מדף. כמו כן, נשקלו 20 פירות מכל מיכל למעקב אחר ההפסד במשקל הפרי במהלך חיי המדף ב- $20^{\circ}\text{C}$  ו-65% לחות יחסית. בדיקות איכות הפרי כללו הערכה חזותית של מראה הפרי ובדיקת מוצקות הפרי וקשיותו במדגמים של 10 ו-20 פירות בהתאמה. בדיקת המוצקות הלא הרסנית נערכה במכשיר של תהודה אקוסטית של חברת AWETA, באותם פירות ששימשו לבדיקת ההפסד במשקל (20 פירות לחזרה). בדיקת קשיות הפרי ההרסנית נערכה במכשיר PENEFEL עם ראש חודר בקוטר 11 מ"מ, בשתי הלחיים הקלופות של 10 פירות למדגם.

## **תוצאות**

### א. הפסד משקל

במהלך כ-4 חודשי אחסון הפרי במיכלים העטופים איבד פחות במשקלו בשני חדרי האחסון מאשר הפרי במיכלים שלא היו עטופים, אולם ההבדלים היו קטנים ולא מובהקים (איור 1). גם לא נתקבלו הבדלים בין שתי שיטות הקירור, וסה"כ ההפסד במשקל היה לרוב מתחת ל-1%. במדגמים שנלקחו לחיי מדף, הפרי מחדר הערפול

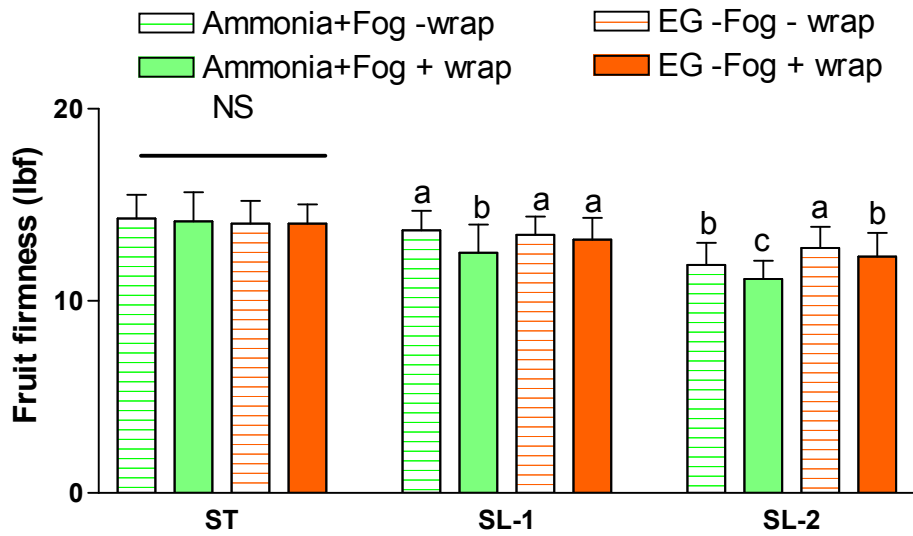
איבד פחות במשקלו בשבוע הראשון של חיי המדף מהפרי שאוחסן ללא ערפול, אך ההבדלים גם כאן לא היו מובהקים. בסה"כ, פרי לא עטוף בחדר אמוניה עם ערפול ובחדר אתילן גליקול עם  $\Delta T$  קטן איבד במשקלו בתקופת האחסון וחיי המדף % 2.3 ו- 2.6% בהתאמה, לעומת % 2.8 ו- 2.5% במיכלים עטופים, ללא הבדלים מובהקים. כלומר, ברמת לחות יחסית גבוהה מ- 94%, לשיטת הקירור ולעטיפת הפרי לא הייתה השפעה כלשהי על ההפסד במשקל הפרי.



**איור 1:** השפעת עטיפת המיכלים (+/- wrap) על ההפסד במשקל של תפוחי זהוב בשני חדרי אחסון מסחריים, עם וללא ערפול, במהלך כ- 4 חודשי אחסון באוויר מבוקר (ST) ולאחר שבוע (SL-1) ושבועיים (SL-2) בחיי מדף ב- 20°C, 65% לחות יחסית, ללא עטיפה. SL+ST - סה"כ ההפסד במשקל במיכלים במשך האחסון ובתקופת חיי המדף (פירות בודדים). \* מסמל הבדל מובהק בין פרי עטוף ולא עטוף, לפי מבחן T, ( $p \leq 0.05$ ).

### ב. קשיות הפרי ומוצקותו

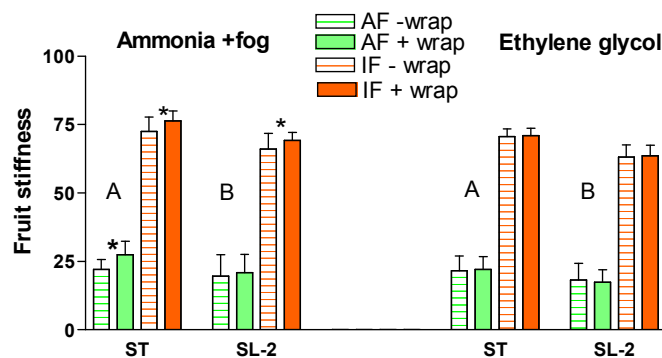
לתנאי האחסון לא הייתה השפעה על הירידה בקשיות הפרי בתקופת האחסון. בשני טיפולי העטיפה הפרי איבד כ-1 לב"כ במהלך האחסון בשני חדרי האחסון, בממוצע ל-3 המטעים. לפיכך, לא נמדדו הבדלים מובהקים בקשיות הפרי הנמדדת בבדיקה הרסנית (איור 2). אולם, בתקופת חיי המדף הפרי מחדר האחסון עם ערפול, שגם היה עטוף, איבד יותר בקשיותו משאר הפרי ולאחר שבועיים בחיי מדף, השפעה דומה נצפתה בפרי עטוף מחדר האחסון ללא ערפול. כלומר, פרי שאוחסן בלחות יחסית גבוהה יותר איבד משקל רב יותר והתרכך יותר בתקופת חיי המדף מפרי שאוחסן ברמות נמוכות יותר של לחות יחסית.



**איור 2:** השפעת עטיפת המיכלים (+/- wrap) על התרככות תפוחי זהוב בשני חדרי אחסון מסחריים, עם וללא ערפול, במהלך כ- 4 חודשי אחסון באוויר מבוקר (ST) ולאחר שבוע (SL-1) ושבועיים (SL-2) בחיי מדף ב-20°C.

NS - לא מובהק. a-c - הבדלים מובהקים בכל מועד בדיקה מצוינים באותיות שונות ( $p \leq 0.05$ ).

בבדיקה לא הרסנית של הפרי בנגיפה ובתהודה אקוסטית, נתקבלה תמונה שונה (איור 3). בתום האחסון, הפרי שהיה עטוף במהלך האחסון בחדר עם ערפול, קיבל ערכים גבוהים יותר במובהק מפרי לא עטוף בשתי השיטות להערכת מוצקות הפרי, הן בשעת ההוצאה מאחסון והן במהלך חיי המדף. אולם, בחדר ללא ערפול לא נמדדה השפעה של עטיפת המיכלים, למרות שלא היו הבדלים מובהקים בין החדרים בערכים המוחלטים.



**איור 3:** השפעת עטיפת המיכלים (+/- wrap) על מוצקות תפוחי זהוב, בשתי צורות מדידה, בחדר קירור של אוויר מבוקר עם ערפול לאחר כ- 4 חודשי אחסון (ST) ולאחר שבועיים (SL-2) בחיי מדף. AF – מדידת תהודה אקוסטית; IF – מדידת תגובה לנגיפה.

\* - מסמל הבדל מובהק בין טיפולי העטיפה ( $p \leq 0.05$ ).

ABC - מסמלים הבדלים מובהקים בין מועדי הבדיקה ( $p \leq 0.05$ ) לכל צורת מדידה.

## סיכום

שמירת לחות יחסית בתחום 95-97% בחדרי אחסון מסחריים של תפוח באוויר מבוקר בטמפרטורה של 1 מ"צ התאפשרה בחדר קירור באמוניה בעזרת ערפול אולטרסוני ובחדר קירור עם אתילן גליקול. הודות לכך ניתן היה לאחסן תפוחים מזן דלישס זהוב בחדרים אלה ללא עטיפה בניילון, כמקובל היום במסחר, במשך 4 חודשי אחסון עם הפסד משקל, שלא עלה על 0.3% מדי חודש. במקביל בחדר אחסון מסחרי באמוניה בטמפרטורה של 1.5°C ובאותם תנאי אווירה, אך עם הוספת מים לרצפת החדר במקום ערפול, נתקבל הפסד במשקל פרי עטוף ולא עטוף ברמות של 0.3%-0.5% לחודש, בהתאמה. כלומר, אם תקופת האחסון הייתה מתארכת ל-8 חודשים, הפסד המשקל של פרי במיכלים לא עטופים בחדר עם הערפול היה מגיע לכדי 2.4% ( בגבול המותר, ללא הצטמקות נראית לעין), לעומת הפסד משקל של 4% (סיכויים לפרי מצומק) בחדר עם מים על הרצפה. מאידך, בחדרי אחסון המבוססים על קירור באתילן גליקול, ההפסד במשקל במיכלים לא עטופים הגיע ל-2.1%, לאחר 8 חודשי אחסון.

איכות הפרי הייתה טובה בכל תנאי האחסון והתרככות הפרי בתקופת חיי המדף שלאחר האחסון הושפעה רק במעט ע"י תנאי שמירת הלחות היחסית באחסון. ככלל, ככל שהפרי אבד יותר במשקלו, התרככותו הייתה רבה יותר. אחסון ב-0 מ"צ היה בודאי מקטין את שיעור התרככות הפרי, אך מגדיל את ההפסד במשקל הפרי. מן הראוי לבדוק את השפעת הערפול "היבש" על ההפסד במשקל הפרי בטמפרטורה זו.