

שינויים פיסיולוגיים החלים בלימון במהלך אחסון כמושך בטמפרטורות שונות

מבוא

שיטות העבודה

אחסון ממושך של פרי הלימון (6—7 חודשים) נועד לווסת את השיווק, ובעיקר לאפשר אספקת לימונים בחודשי השפל (יולי—ספטמבר) — כאשר המחר גבוה במיוחד. אחסון לימונים לתקופה קצרה יותר (2—3 חודשים) חשוב גם להבשלת הפרי אשר נקטף לא-בשל.

באחסון ממושך של פרי הלימון חלים תהליכים הגורמים להבשלה ולהזדקנות הפרי, ואת אלה יש להאיט עד כמה שניתן, כך שבסוף האחסון יתאים הפרי לדרישות השוק, דהיינו: צבעו יהיה צהוב, והוא יהיה מלא מיץ, רצוי עם עוקץ ירוק וללא פגמים ורקבנות. גורמים רבים משפיעים על פרי הלימון המאוחסן, העיקרי מביניהם הוא הטמפרטורה. מחקרים קודמים בארץ (2) ובחו"ל (5) מציינים טמפרטורה של 13—14 מ"צ כטמפרטורה האופטימאלית לאחסון לימון. במחקר זה רצינו ללמוד את התנהגותו של פרי הלימון כאשר מאחסנים אותו נוסף על הטמפרטורה המומלצת של 13—14 מ"צ, גם בטמפרטורות יותר נמוכות, כגון: 8, 10, 5 ו-2 מ"צ. לצורך זה עקבנו אחר התפתחות הצבע בפרי, ההבדלים בעוצמת הגשימה ובפליטת האתילן, הפסדי המשקל, והשינויים בהרכב הכימי של פרי הנמצא בטמפרטורות שונות.

מכיון שהתנהגות הפרי עשויה להיות שונה בפרי שנקטף בעונות השנה השונות, וכן בפירות בדרגות הבשלה שונה שנקטפו באותה עונה, ערכנו ניסויים במשך השנים 1971—1973 בהם קטפנו פירות בדרגות צבע שונות, מירוק-כהה ועד לבשל יתר על המידה, בקיץ ובחורף.

* מפרסומי מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, סדרה מס' 1711.
** מרכז וולקני, מחלקה לאחסון.

מחקר זה נמשך משנת 1971 עד 1973 וכלל פרי משלושה קטיפים:

1. מאיזור הבשור, פרדס בית-הגדי, הקטיפה נערך באוגוסט 1971 — „פרי קיצי“.
2. מאיזור הודיה, פרדס תדזה, הקטיפה נערך בינואר 1972 — „פרי חורפי“.
3. מהנגב, פרדס בארי, הקטיפה נערך בינואר 1973 — „פרי חורפי“.

כל הפרי בורר על ידינו, ובניסויים השתמשנו בפרי בעל גודל אחיד שקוטרו 5—7 ס"מ. כמו כן הפרדנו את הפירות לפי צבעם, מירוק-כהה ועד לבשל יתר על המידה שצבעו צהוב כתום. הפרי עבר את מערך בית-האריזה „תנובה-אש-קלון“ או מעון והטיפול כלל חיטוי בסודה אש 2.5 אחוז בטמפרטורה של 34—35 מ"צ, או באלקריבון 0.5 אחוז בטמפרטורה של 32—34 מ"צ; שטיפה ודינוג בדונג זיודר או תג המכיל 0.4 אחוז תב"ז, או בנומיל (לפי חומר פעיל 100 אחוז), וכן פרי עם דונג בלבד. הפרי נארו בהתאם לטיפול בקרטון, בתיבות עץ או בתיבות שדה „כחיקוי למיכלי תפוזרת“, כשהוא ערום, עטוף בנייר יבש או בנייר ספוג דיפניל. הפרי אוחסן בטמפרטורה קבועה של 2, 5, 8, 10 ו-14 מ"צ וכן בטמפרטורה משתנה בהדרגה, העולה מ-2 עד 14 מ"צ ויורדת בכיוון ההפוך, והפרי שוהה חודש בכל טמפרטורה. השתדלנו שהלחות היחסית בחדרי הקירור תהיה סביב 88 ± 2 אחוז. לאחר תקופות אחסון שונות בדקנו את הפארא-מטרים הבאים:

התפתחות הצבע:

את מצב ההבשלה בלימון קבענו לפי צבע הקליפה, ובהתאם הגדרנו את חמש דרגות של צבע ויזואלי: 1. ירוק-כהה, 2. ירוק-בהיר, 3.

ירוק-צהוב, 4. צהוב עם פיטם ירוק בעת הקטיפ, 5. צהוב-כתום (בשל יתר על המידה).

הפסד משקל

הפירות מהניסויים השונים ומהטיפול השונים נשקלו באופן אינדוידואלי פעם בחודש. ממזע הפסד המשקל חושב רק לפירות שנשארו עד תום תקופת הניסוי, הפסד המשקל נקבע באחוזים ביחס למשקל הפרי ההתחלתי. בכל טיפול היו 50 פירות.

עוצמת הנשימה ופליטת האתילן

זו נקבעה בפרי לימון שהונח בצנצנות אשר נפחן שלושה ליטר כאשר בכל צנצנת 7-10 פירות במשקל 1.0-1.5 ק"ג. לתוך צנצנות אלה הוזרם אוויר בקצב קבוע של 100 מ"ל אוויר בדקה (שתי החלפות אוויר לשעה). כל ניסוי נערך בשלוש חזרות. עוצמת הנשימה נקבעה לפי כמות הפחמן הדו-חמצני הנפלט מק"ג אחד של אוויר במשך שעה ($\text{CO}_2/\text{ק"ג/שעה}$). כמות האתילן הנופלט מהפרי נקבעה לפי הכמות במיקרוליטר הנפרשת מק"ג אחד של פרי במשך שעה ($\mu\text{ל אתילן/ק"ג/שעה}$). כמויות הפחמן הדו-חמצני והאתילן נקבעו בעזרת גז-כרומאטוגרף.

הרכב הכימי והכמות של המיץ

עקבנו אחר השינויים החלים בפרי מן הקטיפ ועד תום תקופת האחסון בתנאים השונים. מדידנו את אחוז המיץ, החומצה הציטרית, כלל המוצקים הממיסים וביחס חומצה-סוכר, אך בעיקר התחשבנו בתוצאות של שני הפאראמטרים הראשונים.

תוצאות ומסקנות

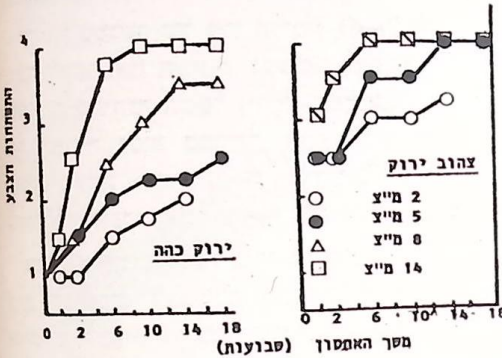
התפתחות הצבע בעת האחסון

הניסויים שנערכו בלימון אשר נקטף בדרגות הבשלה שונה הראו, שפרי אשר נקטף בקיץ משנה את צבעו במשך האחסון מהר יותר מאשר פרי שנקטף בחורף; למשל, בטמפרטורת אחסון של 150 יום בטמפרטורה של 14 מ"צ כ-24 שהיה ירוק-כהה בעת הקטיפ לצהוב-בהיר לאחר 8 שבועות, ואילו לימון באותו צבע שנקטף בחורף הפך לצהוב-בהיר לאחר 10-12 שבועות.

התפתחות הצבע בפרי היתה תלויה בעיקר בטמפרטורת האחסון: היא היתה אטית כאשר הפרי שהה בטמפרטורה נמוכה, ומהירה יותר כאשר הפרי שהה בטמפרטורה יותר גבוהה (ציור מס' 1). כאשר האחסון נעשה בטמפרטורה נמוכה

ציור מס' 1

התפתחות הצבע בלימון בטמפרטורות אחסון שונות



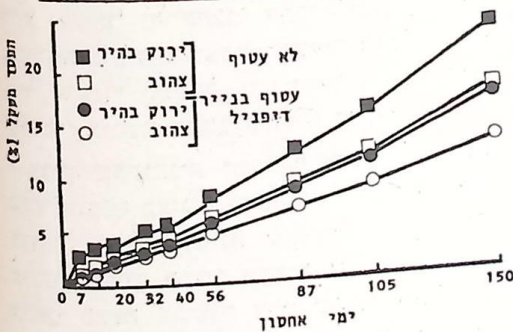
כה של 2 ו-5 מ"צ, לא שינה פרי שהיה ירוק-כהה בעת הקטיפ את צבעו אפילו לצהוב-בהיר גם אחרי 20 שבועות של אחסון.

הפסד משקל באחסון

בהשפעת דרגת ההבשלה. הפסד המשקל היה בולט יותר בפרי שנקטף פחות בשל מאשר בפרי שנקטף בשל (ציור מס' 3): פרי שנקטף בצבע

ציור מס' 3

הפסד משקל של לימון בדרגות צבע שונים במשך האחסון ב-14 מ"צ



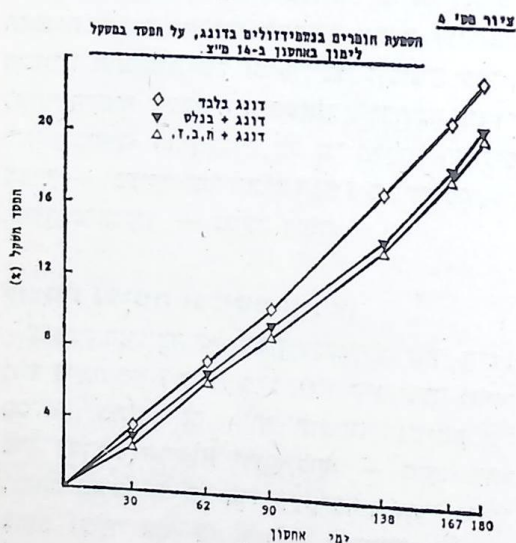
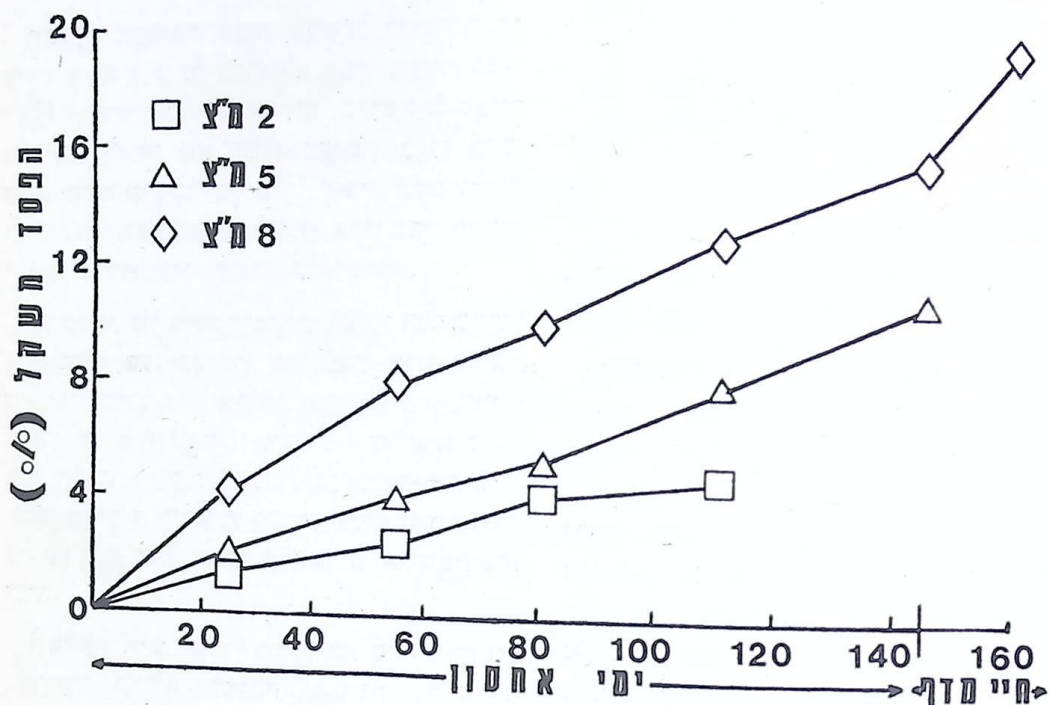
ירוק-בהיר — „פרי קיצי“ — הפסיד במשך אחסון של 150 יום בטמפרטורה של 14 מ"צ כ-24 אחוז ממשקלו, ואילו פרי שנקטף בצבע צהוב ושהה באותם תנאים הפסיד רק 17 אחוז.

השפעת הטמפרטורה. הפסד משקל במשך אחסון של 3-4 חודשים היה קטן יותר בפרי שהיה בטמפרטורה נמוכה, וגדול יותר בפרי

שהיה בטמפרטורה גבוהה (ציור מס' 2): „פרי קיצי“ שצבעו בעת הקטיפה היה ירוק-בהיר והוא אוחסן ערום ב-2 מ"צ הפסיד אחרי 120 יום כ-5

ציור מס. 2

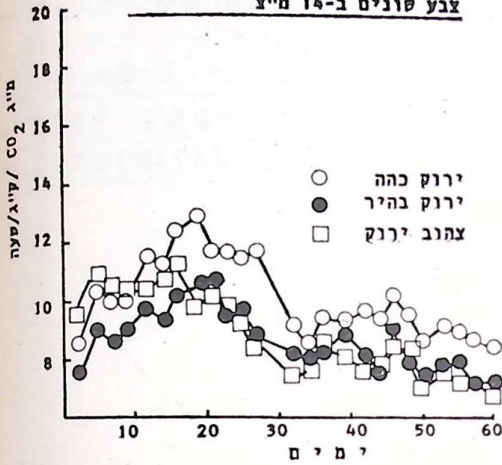
הפסד משקל בלימון ירוק בהיר באחסון ובחיי מדף בסמפרטורות שונות (לימון קיצי ערום בקוטונים)



אחוז ממשקלו, ואילו ב-5 מ"צ היה הפסד המשקל כ-8 אחוז. ההפסד במשקל של פרי ששהה ב-8 ו-14 מ"צ היה כמעט דומה: כ-13 אחוז. הפסד משקל במהלך האחסון בטמפרטורה עולה בהדרגה היה שונה מאשר הפסד משקל של פרי שהיה מאוחסן בטמפרטורה קבועה: „לימון חורפי“ שהיה צהוב עם פיטם ירוק בעת הקטיפה, הפסיד כ-17 אחוז ממשקלו לאחר אחסון של חודש בכל אחת מהטמפרטורות הבאות: 5, 8 ו-14 מ"צ. ההפסד היה דומה בפרי ששהה כל הזמן ב-8 מ"צ. השפעת הטיפול בחומרים בנזמיראזולים. הפסד משקל של לימון מדונג בדונג המכיל תב"ז או בנזמיל היה מעט יותר קטן מאשר של לימון מדונג בדונג בלבד (ציור מס' 4): הפסד המשקל

ציור מס' 3

עוצמת הנשימה של לימון, בדרגות
צבע שונים ב-14 מ"צ



הלימון בכל דרגות ההבשלה החלה לרדת לאחר חודש באחסון.

עוצמת הנשימה של לימון, "חורפי" היתה דומה לזו של לימון, "קצי", ונעה בין 8 ל-13 מ"ג CO₂/ק"ג/שעה. בתחום זה, עוצמת הנשימה של הפרי הבשל יתר על המידה (צהוב-כתום) היתה גבוהה יותר מאשר זו של פרי צהוב-ירוק ושל פרי צהוב עם פיטם ירוק בעת הקטיפה. פליטת הא-תילן של הלימון הנ"ל ("חורפי") ב-14 מ"צ נעה בין 0.01 ל-0.12 מיקרוליטר/ק"ג/שעה. בתחום זה, פליטת האתילן של פרי בדרגת הבשלה מתקדמת (צהוב-כתום) היתה גבוהה, ונעה בין 0.03 ל-0.12 מיקרוליטר/ק"ג/שעה, ואילו בפרי צהוב וצהוב-ירוק — 0.01 עד 0.03 מיקרוליטר בלבד.

עוצמת הנשימה הגבוהה יותר שנמצאה בפרי הבשל (צהוב-כתום) כשהוא מלווה בפליטת את-לן מוגברת לא היתה תוצאה של התפתחות רקבון בפרי. ייתכן שהיא אינדיקטור להבשלת-יתר ולהזדקנות שאחריה באה התמוטטות של הפרי. לא רצוי לאחסן או לייצא פרי בדרגת צבע זו. גם בשאמוטי בשלות (מזדקנות) נמצא אתילן באווירה הפנימית בשיעור גבוה יותר מאשר בפרי הפחות בשל (3). עוצמת הנשימה ופליטת האתילן של לימון מדונג בדונג המכיל תב"ז או בנומיל לא היתה שונה מאשר בלימון מדונג ללא חומרים

שלי לימון, "חורפי" שדונג בדונג בלבד ושהה ב-14 מ"צ למשך כ-6 חודשים הגיע ל-23 אחוז, ואילו לימון שדונג בדונג המכיל תב"ז או בנומיל הפסיד 20 אחוז ממשקלו. תוצאות דומות נתקבלו גם בפרי שהיה מאוחסן ב-10 ו-8 מ"צ. נראה שמציאותם של חומרים בנומידאזולים בדונג המ-צפה את הפרי גורמת להאטת הפעילות הפיס-יולוגית של הפרי, המתבטאת גם בהאטה של התנדפות מים מהפרי.

השפעת העטיפה. הפסד המשקל במשך האח-סון היה גדול יותר בפרי לא עטוף מאשר בפרי עטוף, כאשר שניהם ארוזים בקרטונים (ציור מס' 3): לאחר 100 ימים באחסון ב-14 מ"צ, הגיע הפסד המשקל של פרי, "קצי" שצבעו היה ירוק-בהיר בעת הקטיפה ל-11.0 אחוז בפרי העטוף ו-15.5 אחוז בפרי, "ערום" (לא-עטוף).

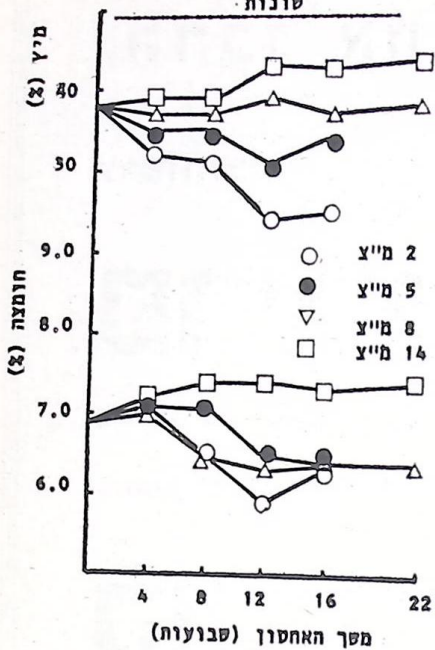
ההשפעה של אריזות שונות. הפסדי המשקל של פרי ערום ארוז בקרטון, פרי עטוף ארוז בתיבת עץ ופרי ערום ארוז בתיבת שדה לא היו שווים: לימון, "חורפי" שאוחסן מעל ל-4 חודשים ב-14 מ"צ הפסיד כ-27 אחוז ממשקלו כאשר היה ארוז ערום בקרטון, 29 אחוז כשהיה עטוף וארוז בתי-בת עץ ו-30 אחוז כאשר היה ערום וארוז בתיבות שדה.

השוואת זנים. הפסדי משקל של פירות מהזנים "יוריקה" ו"וילה פראנק" באחסון של עד 6 חודשים בטמפרטורות שונות היו כמעט דומים. תוצאות דומות נתקבלו בעבודה אחרת (1), בה השווינו התנהגות של זני הלימון השונים בארץ לאחר הקטיפה. בעבודה זו מצאנו שמבחינה פיזי-לוגית-כימית, ההתנהגות של זני הלימון השונים בארץ — ובעיקר שני הזנים הנפוצים, "יוריקה" ו"וילה פראנק" — כמעט דומה.

עוצמת נשימה ופליטת אתילן

עוצמת הנשימה של לימון שנקטף ב"קצי" ב-14 מ"צ היתה בין 7 ל-13 מ"ג CO₂/ק"ג/שעה (ציור מס' 5). בתחום זה, היתה עוצמת הנשימה של פרי בדרגת הבשלה ירוק כהה — מעט יותר גבוהה מאשר זו של פרי ירוק-בהיר ופרי ירוק-צהוב (ציור מס' 5). עוצמת הנשימה של פרי

אחוז המיץ והחומצה הציטרית
בלימון, מאחסון בטמפרטורות
שונות



מ"צ (5): 11.5 לעומת 50.2 מ"ג חומצה/100 גרם פלבדו. בניסויים שלנו מצאנו כי לא חל שינוי באחוז המיץ בפרי שהיה באחסון בטמפרטורה של 8 מ"צ. לעומת זאת, חלה ירידה בשיעור החומצה הציטרית כבר לאחר 8 שבועות של אחסון.

רשימת ספרות

1. כהן, אליהו, מינה, שיפמן-נדל, ומשה, עזיאל (1974), התנהגות של זני לימון שונים באחסון. עלון הניסוי, כ"ח: 657-660.
2. שיפמן-נדל, מינה. (1961), השפעת הטיפול ותנאי האחסון על התפתחות רבובות בלימון. מכון וולקני לחקר החקלאות סקירה מס' 320.
3. Alumot, E. and E. Chalutz (1972) Fumigation of citrus fruit with ethylene dibromide. Desorption of residues and ethylene evolution. *Pestic. Sci.* 3: 539-544.
4. Takashi, I., N. Katsuya and O. Kuniyasu (1969) Physiological studies of chilling injury in natsudaiddai fruits. *Journal of Japanese Soc. hort. Sci.* 39: 93-100.
5. Wild, B. L. and L. E. Rippon (1973) Quality control in lemon storage. *Agricultural Gazette of N.S.W.* 84: 142-144.

אלה. תוצאה זו נמצאה בפרי "חורפי", שהיה באחסון בטמפרטורה של 8, 10 ו-14 מ"צ.

שינויים בהרכב הכימי

מצאנו שאחוז המיץ בלימון שנקטף בחורף היה גבוה יותר מאשר בלימון שנקטף בקיץ. במשך האחסון ב-14 מ"צ עלה שיעור המיץ, בלימוני "קיץ וחורף" בכל דרגות ההבשלה: לדוגמא, בלימון ירוק-בהיר "חורפי" עלה אחוז המיץ במשך האחסון ב-14 מ"צ מ-40 ל-67 אחוז, ובפירות מקטיפה "קצי" מ-38 ל-45 אחוז. פרי מקטיפה "קצי" שצבעו היה ירוק-כהה בעת הקטיפה הגיע בתום אחסון של 22 שבועות ל-41 אחוז מיץ בלבד, ופרי שצבעו היה ירוק-צהוב — ל-47 אחוז.

במשך האחסון ב-14 מ"צ עלה גם שיעור החומצה הציטרית בלימון שנקטף בכל דרגות ההבשלה: אחוז החומצה הציטרית בלימון "קצי" עלה במשך 16 שבועות של אחסון בפרי ירוק-כהה מ-6.5 ל-8.5 אחוז, ובפרי ירוק-בהיר וירוק-צהוב — ל-7.5 אחוז. כנראה שאחוז החומצה נוטה לרדת במהלך אחסון ממושך יותר.

פירות בעלי שיעור גבוה של חומצה ציטרית (מעל ל-6 אחוז) הוכיחו, בדרך כלל, כושר אחסון טוב יותר מאשר פירות בעלי שיעור נמוך של חומצה (מתחת ל-5 אחוז). הסתכלות זו מבוססת על נתונים שנתקבלו בלימונים משמונה פרדסים שונים, ובמהלך מעקב שנמשך מספר שנים.

שיעור המיץ והחומצה בפרי במשך האחסון השתנה בהתאם לטמפרטורת האחסון. כאשר לימון ירוק-בהיר "קצי" אוחסן למשך 22 שבועות בטמפרטורה של 14, 5 ו-2 מ"צ, עלה — כאמור — שיעור המיץ והחומצה בפרי שהיה ב-14 מ"צ. לעומת פרי שהיה ב-5 ו-2 מ"צ. בשניהם חלה ירידה בשיעור המיץ והחומצה הציטרית (ציור מס' 6). תופעה זו עלולה, אולי, להיות קשורה בנוק פנימי שחל בפרי במהלך האחסון הממושך בטמפרטורות נמוכות. במחקר על שינויים פסיולוגיים וכימיים בפרי-הדר שסבל מנוקי קור (צינה) נמצא, ששיעור החומצה הציטרית בפרי שהיה 90 יום ב-1 מ"צ הגיע לחמישית הכמות שנמצאה בפרי אשר שהה אותו זמן ב-6