

貯藏溫度對'Eureka'檸檬果實轉色及品質之影響

林宗翰¹⁾ 謝慶昌²⁾

關鍵字：檸檬、轉色、貯藏溫度

摘要：'Eureka'檸檬 (*Citrus limon* Burm. f. cv 'Eureka')為台灣重要之經濟果樹，產季過於集中於夏季使全年價格起伏劇烈，若將檸檬外銷方可緩解此問題。惟國外慣食用黃皮檸檬，為使國產綠皮檸檬轉黃，本試驗欲透過模擬外銷船運貯藏過程，不使用乙烯處理，透過調節貯藏溫度，使果實自然轉色，船運抵達目的地即具有商品價值。將試驗果實使用 PE 袋逐果扭結包裝後置於 1°C 及 15°C 貯藏 6 周，試驗期間每周測定品質及果皮顏色變化。果皮顏色變化結果顯示，於 1°C 中貯藏，果皮顏色並無顯著變化；於 15°C 中貯藏第 3 周多數果實達到商品標準，且貯藏 6 周皆無生理劣變情形發生。品質調查中，如可溶性固形物、可滴定酸、硬度在所有處理中皆無顯著差異，抗壞血酸於 1°C 及 15°C 貯藏處理皆有下降的趨勢。腐爛率及落蒂率皆以 15°C 貯藏組較高。

前 言

檸檬 (*Citrus limon* Burm. f.)為台灣重要之經濟果樹之一，全台灣種植面積約 1888 公頃，其中最主要栽種的品種為 'Eureka'，具有周年開花特性，俗稱四季檸檬，為世界上商業栽培十分受歡迎的品種，台灣檸檬多栽種於高屏地區，因台灣南部全年氣溫較高，檸檬易萌發不時花，搭配產期調節技術及植栽營養管理可讓檸檬得以全年生產 (邱, 1999)。但若不透過修剪技術調節花期，雖仍全年可產，但有大小季之分。檸檬於台灣的盛產季約在夏季 (6-10 月)，但此段期間也同為許多水果的盛產期，相互競爭下，檸檬的價格自然波動劇烈，雖然近幾年由於國人健康意識抬頭，對於冷飲的需求由人工合成香精漸漸轉為以現榨果汁為主 (吳, 2000)，使得檸檬價格在近三年內皆維持在 40 元以上的高價，但農民栽種數量及產量也急遽上升，未來可能使得檸檬夏季價格崩盤的機率也提高 (邱, 2015)。

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系副教授，通訊作者。

為解決此問題，將夏季生產過剩的檸檬外銷至台灣鄰近各國不失為一個好的選擇，惟台灣消費者習性喜好綠皮檸檬，而國外多為黃皮檸檬，若欲外銷，勢必須將綠檸檬催色成黃檸檬，方可解決此問題。

本試驗欲模擬檸檬外銷貯運的過程，不使用乙烯進行催色，而使用低溫使得檸檬果皮內的葉綠素降解後果皮自然轉色，船運到港時即具有商品價值。可促進檸檬外銷，並穩定國內檸檬產業。

材料與方法

一、試驗材料及取樣方法

本試驗材料來自於屏東縣高樹鄉果樹產銷第 65 班班員所生產之 'Eureka' 檸檬，2015 年 1 月初採收，以淨重 20 公斤裝紙箱包裹運送至實驗室，試驗於 2015 年 1 月初進行，淘汰不良果實後，取大小、顏色相近之 140 果實供試驗用，以厚約 0.03 mm 的 PE 袋逐果扭結包裝後包裝置於瓦楞紙箱中，分成兩個處理，分別於 1°C 及 15°C 下貯藏 6 周。測定果皮目測轉色程度(1 至 5 級；圖 1)、顏色指標及重量為固定 10 顆果實，每周重複取出測定；於貯藏後第 3 周起，每周取出 10 顆果實測定果實的可溶性固形物、硬度(手持式硬度計)、可滴定酸、抗壞血酸及糖酸比。於貯藏後第 6 周測定落蒂率與腐爛率，調查果實為各 20 顆。

二、調查項目及分析方法

(一) 失重率

將貯藏後果實與貯藏前果實以電子天平秤重，比較重量減少的程度，失重率的單位以 % 表示。計算方式： $(\text{貯藏前鮮重} - \text{貯藏後鮮重}) / \text{貯藏前鮮重} \times 100\%$ 。

(二) 果實重量及可溶性固形物

果實重量以電子式天平秤重，以公克 (g) 表示單位。將果實對半切後，以手擠取果汁後以紗布過濾於燒杯中，後以電子式糖度計 (ATAGO PR-32) 測定果汁之可溶性固形物，單位為 °Brix。

(三) 果肉硬度

以手持式硬度計 (Penetrometer FT - 327) 測定果實單位面積 (0.49 cm²) 內穿刺果肉所需之力量，每個果實於赤道處削皮後測量對應之兩點求其平均值，單位以公斤 (kg/cm²) 表示。

(四) 果實抗壞血酸測定

將新鮮果實榨汁後過濾取 1 毫升果汁，將 1 毫升果汁樣品加 9 毫升偏磷酸抽取液(含 6% metaphosphoric acid 之 2 N acetic acid) 均勻混合，以抗壞血酸試紙 (Reflectoquact[®] ascorbic acid test strip, Merck) 沾取後置入 RQ-flex (RQ-flex 10, Merck, Germany) 讀取抗壞血酸之濃度 (mg/l)，換算濃度單位以 mg/100 g 表示。

(五) 果皮目測轉色程度 (1 至 5 級)

果實以肉眼進行轉色率之判定，分別以 1 至 5 分為標準。1 = 整顆果實全為深綠或少部分呈淡黃色，轉色程度 < 20%；2 = 果實呈現淡綠色或綠豆色，轉色程度 20-40%；3 = 果實為淡黃色及表面油點仍為淺綠色，轉色程度 40-60%；4 = 果實為淺黃色，轉色程度 60-80%；5 = 果實為深黃色，轉色程度在 80% 以上。轉色程度如圖 1 所示。



圖 1. 'Eureka'檸檬轉色程度。轉色程度：1 = 黃色面積 0-20%；2 = 20-40%；3 = 40-60%；4 = 60-80%；5 = 80-100%。

Fig. 1. The fruit peel color index of 'Eureka' lemon. Color index: 1 = yellow area from 0 - 20%；2 = 20-40%；3 = 40-60%；4 = 60-80%；5 = 80-100%.

(六) 果皮顏色

果實採樣後清洗擦拭乾淨，以攜帶型分光色差儀 (Mini Scan XE Plus, Model 4500S) 測定果實赤道相對應兩端點之 L^* 、 a^* 、 b^* 值，換算出 C^* 與 h° 值，每顆果實之色差值以赤道兩端點數值平均表示。色座標(color scale)以 CILAB 表示； L^* 表示明亮度 (lightness)，100 為白色，0 為黑色； a^* 表示紅綠程度，正值偏紅、負值偏向綠色； b^* 值表示黃藍程度，正值偏黃、負值偏藍； C^* 值為彩度 (Chroma)，以 $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ 計算而來，數值越高代表色彩越濃豔； h° 值為色相角 (Hue angle)，以 $h^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ ， 0° 為紫紅色， 90° 為黃綠色， 180° 為綠藍色， 270° 為藍紫色，表示顏色色相範圍變化。

(七) 果實腐爛率

果實腐爛的原因包含蒂腐病、潰瘍病及低溫貯藏所造成的傷害，腐爛率計算的公式如下：

腐爛率計算公式：

$$\text{Decay (\%)} = R/A * 100\%$$

$$\text{Decay (\%)} = \text{腐爛率}$$

R = 每一重複果實之腐爛個數

A = 每一重複果實總個數

(八) 果實落蒂率

以手輕撥果蒂，觀察其脫落與否，並記錄果蒂脫落的果實佔各處理間的比率。

三、統計分析

試驗結果以 SAS 軟體 (Statistical Analysis System, Institute Inc) 計算平均值，並利用 ANOVA 進行變方分析 (analysis of variance) 及最小顯著差異檢定 (least significant difference test, LSD) 比較各處理間之差異顯著性。

結 果

一、不同溫度貯藏期間對檸檬果皮顏色之影響

將檸檬貯藏於 2 個溫度，1°C 及 15°C 中 6 周，本試驗未使用 2,4-D 等藥劑前處理，其調查結果如下，在果實目測轉色程度中 (圖 2)，放置於 1°C 的果實呈現非常緩慢的上升趨勢，到了貯藏第 6 周，其轉色程度只介於 1-2 之間，呈現淺綠色 (圖 4D)；另外於 15°C 中貯藏的組別 (圖 2)，於貯藏第 1 周時就有些微上升的情形發生，相較於第 0 天已看得出差異，界於墨綠色及亮綠色間，在第 2 周調查時，多數果實轉色程度已接近等級 3，呈現淺綠色接近淡黃色，有個別果實已開始轉黃 (圖 3)，在第 2 周到第 3 周間，檸檬轉色程度急遽上升，在第 3 周調查時，多數果實表皮顏色已超過等級 4，接近等級 5，第 3 周到第 6 周則是由 4 等級的淺黃變為等級 5 的深黃，呈現較飽和的黃色 (圖 4D)。

在果皮顏色調查中 (表 1)，1°C 的低溫貯藏對於 L、a、b、c 及 h 值變化皆並無顯著的影響；而在 15°C 的貯藏中 (表 2)，在亮度 (L 值) 的變化上，於貯藏第 1 周就與第 0 天有顯著差異，而在第 3 周時就已經固定於 60 左右；在 a、b 值的變化上，於第 2 周開始出現明顯變化，a 值於第 4 周起趨緩，b 值則持續上升至貯藏結束。在彩度 (C 值) 的變化裡，穩定上升在第 6 周達到最高。在色相角 (h°) 的調查中，於貯藏第 2 周出現差異，到了第 4 周則漸趨穩定，呈緩慢下降的趨勢。

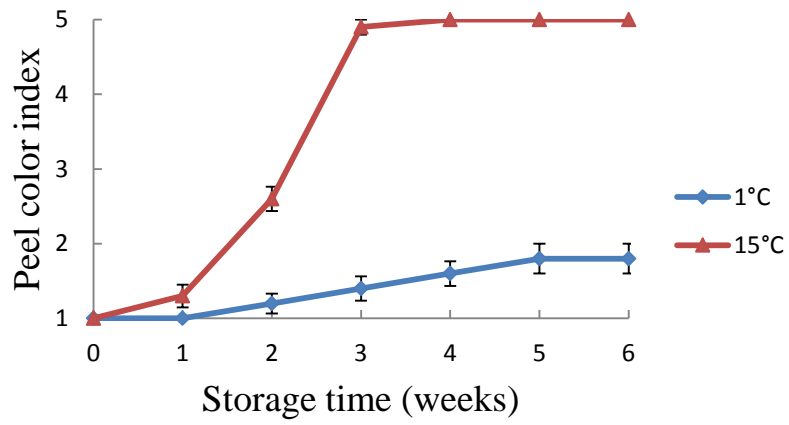


圖 2. 'Eureka' 檸檬貯藏於 1°C 及 15°C 下果皮目測轉色程度的變化

Fig. 2. Change in fruit peel color index of 'Eureka' lemon during storage at 1°C and 15°C.

表 1. 貯藏於 1°C 對 'Eureka' 檸檬果實色差之影響。

Table 1. Effect of storage at 1°C on fruit peel color of 'Eureka' lemon.

Storage Time ^y	Peel Color				
	L*	a*	b*	c*	h°
At harvest	43.1 a ^z	-9.8 b	32.2 c	33.7 c	107.3 a
1 W	43.2 a	-10.0 bc	33.6 b	35.0 b	106.8 ab
2 W	42.1 b	-10.6 d	34.9 a	36.5 a	107.1 ab
3 W	42.0 b	-10.4 cd	34.2 ab	35.8 ab	107.3 a
4 W	42.7 ab	-9.0 a	30.6 d	32.0 d	106.8 ab
5 W	42.1 b	-10.0 bc	34.1 ab	35.6 ab	106.7 ab
6 W	42.6 ab	-9.9 b	34.5 ab	36.0 ab	106.3 b

^zMeans separation with columns by LSD test at 5% level.

^yStorage time : weeks.

表 2. 貯藏於 15°C 對 'Eureka' 檸檬果實色差之影響。

Table 2. Effect of storage at 15°C on fruit peel color of 'Eureka' lemon.

Storage Time ^y	Peel Color				
	L*	a*	b*	c*	h°
At harvest	40.5 d ^z	-10.5 d	30.3 e	32.1 e	109.3 a
1 W	42.6 c	-9.7 d	29.5 e	31.1 e	108.7 a
2 W	52.7 b	-6.6 c	43.0 d	43.6 d	99.1 b
3 W	60.7 a	-0.1 b	47.6 c	47.6 c	90.3 c
4 W	62.5 a	1.8 a	48.4 c	48.4 c	88.0 d
5 W	62.4 a	2.1 a	52.0 b	52.0 b	87.7 d
6 W	62.6 a	2.6 a	55.4 a	55.4 a	87.4 d

^zMeans separation with columns by LSD test at 5% level.

^yStorage time : weeks.

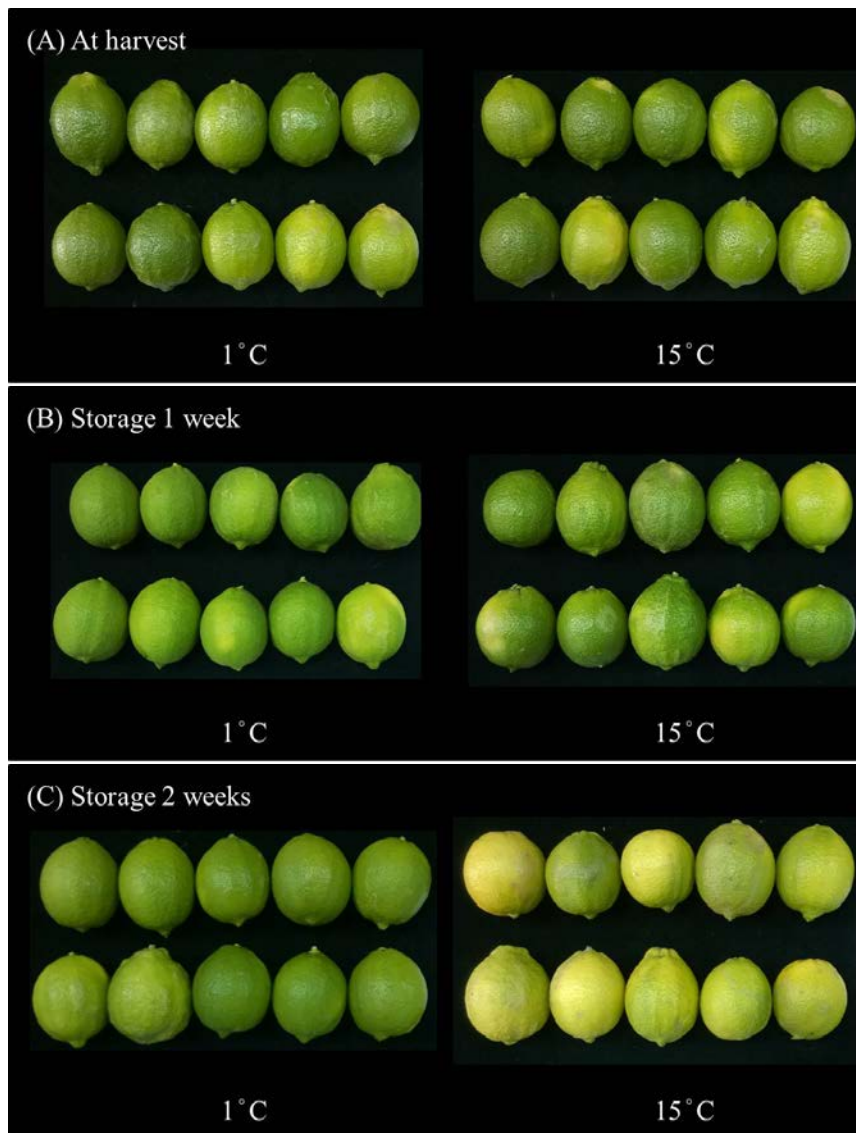


圖 3. 不同溫度貯藏對於'Eureka' 檸檬果皮轉色的影響。(A) 第 0 天；(B) 貯藏 1 周；(C) 貯藏 2 周。

Fig. 3. Effect on fruit peel color change of 'Eureka' lemon during storage at 1°C and 15°C.

(A) Day 0; (B) Storage for 1 week; (C) Storage for 2 weeks.

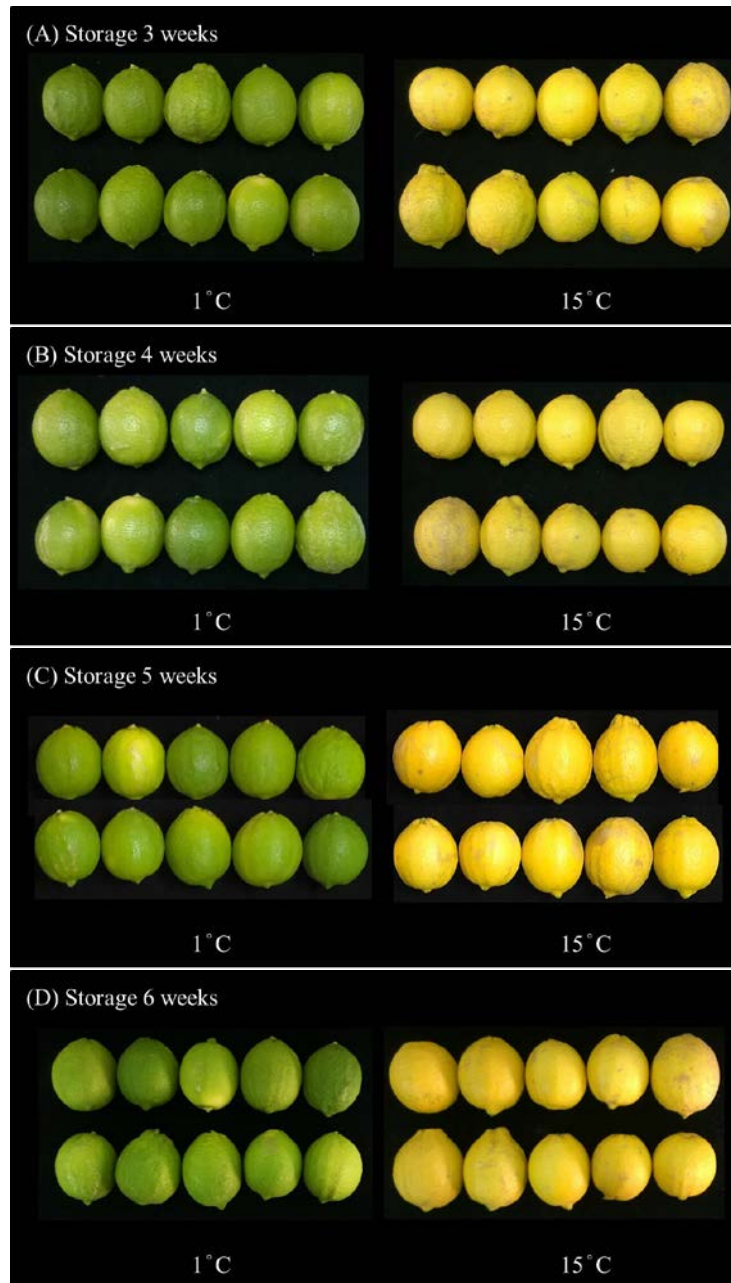


圖 4. 不同溫度貯藏對於 'Eureka' 檸檬果皮轉色的影響。(A) 貯藏 3 周；(B)貯藏 4 周；(C) 貯藏 5 周；(D) 貯藏 6 周。

Fig.4. Effect on fruit peel color change of 'Eureka' lemon during storage at 1°C and 15°C. (A) Storage for 3 week; (B) Storage for 4 weeks; (C) Storage for 5 weeks; (D) Storage for 6 weeks.

二、不同溫度貯藏期間對檸檬果實品質之影響

在失重率的調查中 (圖 5)，在 1°C 貯藏期間，失重率極低。在貯藏 6 周後，失重率低於 0.1%；而在 15°C 的貯藏中，失重率隨著貯藏時間而明顯增加，不過在貯藏結束時，失重率也僅有 1.1% 左右。

在果實品質的調查結果中 (表 3)，1°C 的可溶性固形物在貯藏過程中變化時升時降，在貯藏結束相較於第 0 天是有下降的情形發生的。在可滴定酸 (TA) 部分，同樣也是時升時降，但貯藏結束時與第 0 天的可滴定酸並無顯著差異。硬度一樣也有時升時降的情形發生，但整體而言是降低的。維他命 C 含量則會隨著貯藏時間拉長而降低。糖酸比在貯藏期間並無太大變化。變化不顯著。而在 15°C 的貯藏結果中 (表 4)，可溶性固形物調查中，在貯藏第 4 周有升高的情形發生，但過一周又回復正常，在整體貯藏期間，糖度的變化是不顯著的。可滴定酸在貯藏期間並無太大的升降，變化是不顯著的。在硬度方面，數值先降後升，在貯藏結束的數值是顯著低於第 0 天的。維他命 C 則呈現穩定下降的趨勢。在糖酸比的結果中，整體變化並不顯著。

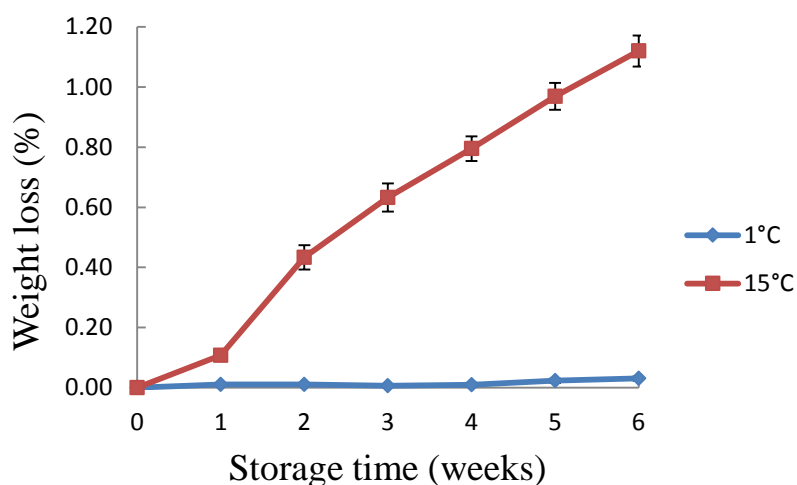


圖 5. 'Eureka' 檸檬貯藏於 1°C 及 15°C 下果實失重率的變化。

Fig. 5. Change in fruit weight loss of 'Eureka' lemon during storage at 1°C and 15°C.

表 3. 貯藏於 1°C 對 'Eureka' 檸檬果實品質之影響。

Table 3. Effect of storage at 1°C on fruit quality of 'Eureka' lemon.

Storage Time ^y	TSS ^x (°Brix)	TA ^w (%)	Firmness (kg)	Vit C (mg/100 ml)	TSS/TA
At harvest	8.4 ab ^z	6.2 b	10.6 c	76.1 a	1.4 a
3 W	8.4 abc	6.3 ab	11.9 a	73.7 ab	1.3 b
4 W	8.7 a	6.4 ab	10.4 c	68.7 bc	1.4 a
5 W	8.2 bc	6.5 a	10.7 bc	61.8 c	1.3 b
6 W	8.1 c	6.2 b	11.3 ab	62.5 c	1.3 b

^zMeans separation with columns by LSD test at 5% level.

^yStorage time : week.

^xTSS: total soluble solid.

^wTA: Titratable acidity.

表 4. 貯藏於 15°C 對 'Eureka' 檸檬果實品質之影響。

Table 4. Effect of storage at 15°C on fruit quality of 'Eureka' lemon.

Storage Time ^y	TSS ^x (°Brix)	TA ^w (%)	Firmness (kg)	Vit C (mg/100 ml)	TSS/TA
At harvest	8.4 b ^z	6.2 c	10.6 a	76.1 a	1.4 a
3 W	8.4 b	6.6 ab	9.9 bc	64.2 b	1.3 b
4 W	9.6 a	6.7 ab	9.2 d	61.3 b	1.4 a
5 W	8.7 b	6.9 a	9.5 cd	61.5 b	1.3 b
6 W	8.4 b	6.5 bc	10.1 b	53.7 c	1.3 b

^zMeans separation with columns by LSD test at 5% level.

^yStorage time : week.

^xTSS: total soluble solid.

^wTA: Titratable acidity.

三、不同貯藏溫度對檸檬果實腐爛率及落蒂率之影響

在貯藏結束時調查果實的腐爛率及落蒂率 (表 5)，在 1°C 的貯藏中，其腐爛率及落蒂率皆為 0，將果實對半剖開觀察，並未出現寒害症狀，果實也無異味產生的情形發生；而在 15°C 貯藏中，20 個實驗果實中只有 1 個果實腐爛，占全部的 5%；有 25% 的果實的蒂頭有離層的現象。

表 5. 不同貯藏溫度貯藏 6 周後對 'Eureka' 檸檬的腐敗率及落蒂率影響。

Table 5. Effect of different storage temperature for 6 weeks on the fruit decay rate and button abscission rate of 'Eureka' lemon.

Storage temperature	Decay (%)	Buttom abscission (%)
1°C	0	0
15°C	5	25

討 論

過去對於柑橘果實最適轉色溫度之研究界定於 15°C-20°C 之間 (Hasegawa and Iba, 1983)，而劉等 (2001) 指出 15°C 也是最適合極柑長期貯藏之溫度，因而本實驗採用以低溫 (1°C) 及涼溫 (15°C)，來試驗貯藏溫度對於檸檬轉色的效果與品質影響。另外，Mayuoni 和 Porat (2011) 指出，若將與 'Eureka' 檸檬品種十分相似的 'Villa franca' 檸檬於 13°C 中貯藏，約 4-5 周就會轉色至商業販售標準。

於果實目測轉色程度結果顯示 (圖 1)，在 15°C 涼溫貯藏之轉色效果是相當顯著的，於第 2 周就可觀察到個別果實開始轉色，在第 3 周的調查中，多數果實已達商品標準，在預試驗中 (結果未顯示)，未經乙烯處理之果實於 13°C 貯藏，約於貯藏後第 4 周達到等級 3；而在本實驗中，於第 3 周即達到商品標準，推測是因為在適當的範圍內，溫度較高有加快果實轉色的效果，與劉等 (1998) 也認為極柑貯藏於 15°C 能最快轉為橙黃色，柏 (2009) 試驗結果也以 12°C 至 15°C 轉色結果最佳，與本實驗結果相同。在失重率調查中，雖於 15°C 貯藏的組別失重率較高，但只有 1.1% 左右，並不足以影響果實品質。在果皮顏色的部分，1°C 貯藏對於果皮顏色不會有太大的影響，但有個別果實由外觀看是有差異的，但數據統計上並無顯著。另外，15°C 貯藏於第 4 周之後，h^o 值低於 90 後幾乎不會有變化，Eilati 等 (1969) 的報告吻合。

在品質的部分 (表 3、4)，1°C 可溶性固形在貯藏第 4 周達到最高點後就持續下降，整體無顯著差異；酸度則無顯著差異，在抗壞血酸 (VitC) 的部分，則會隨著貯藏時間增加而下降，但 1°C 貯藏中還是相對而言較高的，顯著高於 15°C 處理組。果實腐爛與果蒂脫

落的情形(表5),貯藏於兩個溫度中其腐爛率都是極低的,只是在涼溫中,脫蒂率較高,因為本實驗未在貯藏前先浸泡2,4-D,導致有落蒂的發生。整體而言,若欲在短期內貯藏檸檬且欲得到轉色後的檸檬,使用15°C的溫度是相對較好的,約貯藏3周就有商品價值,而且於品質上也沒有太大的改變。本實驗結果可運用於長期檸檬貯運中,將達到採收標準之鮮綠檸檬採收後,處理藥劑,如合乎標準值的殺菌劑(40%腐絕)及2,4-D,待其表面乾燥後,套袋後貯放於15°C中,可降低檸檬果實落蒂及腐爛的機率(李,2009;行政院農委會農業藥物毒物試驗所,2007;劉等,2007)。在船運期間及可藉由調控溫度使檸檬轉黃,而不需先倚靠乙烯催色處理,可避免催色過程中乙烯可能對於果實的種種傷害。

參考文獻

- 行政院農業委員會藥物毒物試驗所。2007。柑桔整合管理。pp. 183。
- 吳貞瑤。2000。1999年台灣飲料產銷統計及未來趨勢。中華食品工業 38: 66-70。
- 李堂察。2009。柑橘貯藏技術。興大農業 68: 8-11。
- 邱祝櫻。1999。修剪對檸檬及四季橘產量及產期之影響。台灣農業試驗研究成果年報。pp.43。
- 邱祝櫻。2015。台灣檸檬產銷概況及栽培管理。農業世界 380: 11-15。
- 柏明禮。2009。採前施用S-ABA及採後熱處理對椪柑果實經低溫檢疫處理及貯藏後品質之影響。國立中興大學園藝學系碩士論文。pp.88。
- 劉富文、薛淑滿、洪紫馨。2001。貯藏溫度與套袋方式對椪柑、桶柑貯藏損失及貯藏後品質之影響。中國園藝 47: 388-390。
- 劉富文、黃祐慈、梁穎芝。2007。椪柑用乙烯催色之效果與方法。台灣園藝 53: 395-407。
- Eilati, S. K., S. P. Ilionselise, and P. Budowski. 1969. Seasonal development of external color and carotenoid content in the peel of ripening 'Shamouti' oranges. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94: 346-348.
- Hasegawa, Y. and Y. Iba. 1983. The effects of storage temperature on the quality of citrus fruit. I: Color change of the citrus peel during storing. Bull. Fruit Tree Res. Stn. B. 10: 119-128.
- Mayuoni, L. and R. Porat. 2011. Postharvest treatments for degreening of 'Villa franca' lemons. Hortechology 21(5): 624-627.

Effect of Storage Temperature on Degreening and Quality of Lemon Fruits

Tsung-Han Lin ¹⁾ Ching-Chang Shiesh ²⁾

Key words: Lemon, Degreening, Storage temperature

Summary

Citrus limon Burm.f. cv 'Eureka', lemon is one of the major fruit tree in Taiwan. But the production season mainly focus in summer which caused the price of lemon increases or decrease very often in one year period. If exported the excessive lemon abroad, this problem will be solved. But Taiwanese used to have green lemons and in the meanwhile the consumers in other countries near Taiwan most are fond of yellow lemons. This experiment will mainly imitate the process of shipping. To degreen lemons with controlling the storage temperature instead of applying ethylene and once the cargo ship arrives the foreign ports, the lemons achieves yellow color. MAP the fruits will PE bags and storage at the temperature in 1°C and 15°C for 6 weeks. The quality and peel color of fruit will be investigated every week. Result shows, the set of storage at 1°C has few change in fruit peel color; the fruit peel color get full color in 3 weeks storage at 15°C. In the investigations of fruit quality, such as total soluble solids, titratable acidity and firmness are with no significant differences but the ascorbic acid decreases with storage time in all sets. Storage at 15°C is with higher decay rate and bottom abscission rate than storage at 1°C.

1) Student in M.S. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Associate Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

Corresponding author.

