

‘麻豆紅柚’採收成熟度及貯藏特性之研究¹

張嵐雁、周書立、張汶肇²

摘 要

張嵐雁、周書立、張汶肇。2023。麻豆紅柚採收成熟度及室溫貯藏特性之研究。臺南區農業改良場研究彙報 81：30-44。

‘麻豆紅柚’為臺灣新興柚類品種，多依節氣「秋分」為採收適期依據，貯藏方式多依‘麻豆紅柚’方式進行。為建立‘麻豆紅柚’之最適採收成熟度，於盛花後第 22 週至第 34 週，每 2 週採收並調查癒傷調理 3 天及額外貯放一週後 (3 + 7 天) 之品質，盛花後第 26 週果實可達較佳的食用品質，盛花後第 28 週之果實達完熟，色相角達 90°、可溶性固形物達 10°Brix、可滴定酸降至 0.5% 且糖酸比達 23，可掛樹約 6 週。不同成熟度之果實經貯藏一週，品質僅果實可溶性固形物略隨果實成熟度增加而增加，糖酸比相對提昇。另為了解果實品質變化，採收成熟度為盛花後第 24 週的果實分別於 15°C、25°C 及室溫 (平均 28°C) 下貯藏，結果顯示貯藏 30 天後的果實外觀全部明顯轉黃，以貯於 25°C 之果實最快褪綠，失重率依貯藏溫度增加而提高；果實內部品質方面，可溶性固形物貯藏後未有顯著變化，但可滴定酸以 15°C 及 25°C 貯藏處理的果實略有提昇，糖酸比相對應下降；果肉瓢瓣截切力隨貯藏時間而降低。綜合以上結果建議，果實適合之貯藏條件依實際販售期限及果實品質決定，室溫貯藏建議至多可放至 40 ~ 50 天，超過 60 天者則可以 15°C 及 25°C 貯藏。

現有技術：‘麻豆紅柚’為新興柚類品系，現農友依經驗於節氣「秋分」採收，並仿照‘麻豆文旦’以常溫貯藏為主。

創新內容：評估‘麻豆紅柚’不同採收期及貯藏溫度對其果實品質之影響，藉由果實採收成熟度配合貯藏溫度 (15°C、25°C 或室溫) 及果籃套打孔塑膠袋內襯進行包裝，以延長果實貯架壽命，利於調節銷售壓力。

對產業影響：改善‘麻豆紅柚’採收成熟度辨別方式，以獲得品質優良的成熟果實，並提供長期貯藏之環境條件，以維持果實風味及品質，協助產業發展。

關鍵字：秋分、成熟度指標、貯藏溫度

接受日期：2023 年 1 月 12 日

1. 行政院農業委員會臺南區農業改良場研究報告第 557 號。

2. 行政院農業委員會臺南區農業改良場助理研究員、前約聘人員、副研究員。712009 臺南市新化區牧場 70 號。

前 言

‘麻豆紅柚’(*Citrus grandis* Osbeck ‘Hongyu’) 為芸香科柑橘屬多年生常綠果樹，果實洋梨形，單果重可達 1 ~ 1.5 公斤，果皮油胞較‘麻豆紅柚’粗糙，果肉瓢瓣厚、風味清爽、酸甜多汁，富含胡蘿蔔素、維他命 C、花青素及類黃酮素等抗氧化物質⁽¹⁾，亦含豐富的膳食纖維，為近年來頗受消費者歡迎的新興柚類品系。‘麻豆紅柚’為臺灣選出之實生變異品種，110 年栽培面積達 70 公頃，集中於臺南市麻豆區，雖有超過 40 年栽培歷史，但生育研究資料闕如⁽⁶⁾，依張氏 (2011) 觀察，中南部地區生產之果實約在盛花後 26 ~ 30 週成熟，農家則慣於秋分節氣 (9 月 23 日或 24 日) 前採收，近年約在盛花後 24 週前後採收。收穫後‘麻豆紅柚’果肉多汁，經室溫癒傷 3 ~ 10 天，即有良好食用品質，後續貯藏則如‘麻豆紅柚’以常溫堆疊放置。然果實近成熟期之品質變化及其後續貯藏特性未有文獻記錄。由於近年麻豆文旦產量趨近飽和，‘麻豆紅柚’產期較晚、不需搶中秋節日採收販售，銷售壓力較小，部份農友亦更新少量麻豆文旦為麻豆紅柚以分散販售壓力。為此，本研究擬建立轄區具發展潛力的‘麻豆紅柚’之採收成熟度及癒傷後貯藏之資料，評估不同採收成熟度之‘麻豆紅柚’果實品質、果實癒傷 3 日後及延長貯藏 7 天後 (3 + 7 天) 的品質變化，並調查慣常採收期 (盛花後第 24 週) 之果實，配合農友常用 5 日癒傷處理後，移至不同溫度下貯藏 60 天之間的品質變化，供產業參考及應用。

材料與方法

一、試驗材料

以臺南區農業改良場果園種植之 12 ~ 14 年生‘麻豆紅柚’為試驗材料，植株依慣行栽培管理，果實約每年 6 月中上旬套白色紙袋，並於採收時同時拆袋。

二、試驗方法

(一) 不同採收成熟度對‘麻豆紅柚’果實品質之影響

試驗於盛花期 (以全株開花量達 60% 以上為盛花期，110 年時值 3 月 22 ~ 26 日) 標記‘麻豆紅柚’花序，並於其後第 22 週 (110 年 8 月 15 日) 起至第 34 週 (110 年 11 月 5 日) 止，每兩週隨機採收 12 顆標記果實，每批次果實置於塑膠籃 (長 62 公分、寬 43 公分、高 39 公分) 內，每籃內放 2 層，每層堆疊 5 ~ 6 顆果實 (側躺)。果實裝籃後貯藏於室內陰涼處 (平均溫度 28.7°C、最低溫 24.2°C，最高溫 30.4°C、相對濕度 70 ~ 90%) 果實採收後常溫下放置 3 天癒傷，果皮略為軟化後，進行試驗調查以減少果實受機械傷害，分為 3 天癒傷後調查 (3-day curing, 3 D) 及 3 天癒傷後額外進行貯藏 7 天後 (3 day curing plus 7-day storage, 3 + 7 D) 調查品質，項目包含果實重量、果皮顏色、果實截切力、總可溶性固形物和可滴定酸。果實發育期間之溫度變化則由本場設置於田區之氣象站收集，果實採收後貯藏期間環境溫度變化則以溫度記錄器收集 (Hobo Pro v2, U23-002, Onset Corp., USA)。

(二) ‘麻豆紅柚’不同貯藏溫度之果實品質變化

以慣常農友採收的時間點 110 年 8 月 26 日 (盛花後第 24 週) 採收之果實，果實堆疊於籃內，每籃內放至 2 層，每層堆疊 5 ~ 6 顆果實 (側躺)。參考農友常用

之癒傷程序，於室溫（平均溫度 29.3℃、平均濕度 88% RH）進行 5 日癒傷調理，以打孔塑膠袋包覆全籃後，貯藏於 15℃（平均溼度為 95% RH）、25℃（平均溼度為 94.8% RH）及室溫（貯藏期間平均溫度 29.1℃，最高溫 30.3℃、最低溫 24.2℃，平均溼度為 96% RH）下。果實品質調查每隔 10 日取樣一次，取至第 60 天，每次逢機選取 12 粒果實進行品質調查。調查項目包含果皮顏色、果實重量、瓢瓣截切力、總可溶性固形物和可滴定酸。

(三) 調查項目及方法

1. 果皮顏色 (peel color)：利用桌上型分光色差儀 (ColorFlex EZ, Hunter Lab, USA) 測定果腰兩側及底部的之 L*、C*、h° 值（每一果實共計三點）。L 值為明度，數值愈高代表果皮亮度愈高，0 為全黑，100 為全白。C* 值為彩度，數值愈高表示果色愈鮮艷且顏色純度越高。h° 值為色相角度，180 度為綠色，90 度為黃色，0 度則為紅色。
2. 果實重量 (fruit weight)、果肉率 (pulp ratio) 及果汁重：單粒果實用電子天秤測重後重量為果實重量；剖開果實剝下果皮、果膜後，測量果肉重量，單位以 g 表示。果肉率 (%) 係以果肉重量除以果實重量再乘 100 得之。果汁重為果肉榨汁所得的果汁秤測重量，單位以 g 表示。果汁率 (%) 為果肉榨汁所得的果汁秤測之重量除以果肉重，再乘 100 得之。
3. 瓢瓣截切力 (flesh sheerness)：每顆果實挑選兩瓣完整之瓢瓣，以物性分析儀 (CT3-25K, Brookfield, USA) 測定截切力，探頭使用塑膠刀狀之夾具 (TA7)，將瓢瓣平放在平臺上，夾具對準瓢瓣中段最厚處，夾具方向與砂瓢垂直，直上直下進行截切，截切深度約瓢瓣最厚部份之 0.3 公分，取截切過程最大施力點，兩瓣讀值平均作為該果代表值。單位以 $g \cdot cm^{-2}$ 表示。
4. 總可溶性固形物 (total soluble solids, TSS)：榨汁後俟果實澄清後取上部澄清液，滴於可攜式折射儀 (refractometer PAL-1, ATAGO, Japan) 上，記錄讀值。單位以 °Brix 表示。
5. 可滴定酸 (titratable acidity)：取 10 mL 果汁澄清液與 90 mL 蒸餾水混合為 100 mL 溶液，使用酸度計 (TA-70, TOA-DKK, Japan) 滴定，以 0.1 N NaOH 標準液滴定至 pH 值 8.1，換算檸檬酸 (citric acid) 含量，單位以百分比 (%) 表示⁽²⁾。

(四) 統計分析

本試驗數據以 Microsoft Excel 整理、試算及繪圖，資料以 CoStat 軟體進行 ANOVA 分析，以最小顯著差異法 (Least Significant method, LSD) 比較分析，差異顯著水準 (significance level) 為 5%。

結果與討論

一、不同採收成熟度對‘麻豆紅柚’果實貯藏品質之影響

調查‘麻豆紅柚’盛花期後第 22 週至第 34 週間之果實品質變化，依慣常採收適期估計約略為盛花期後第 24 週，110 年度果實採收期則約在 9 月 1 日，第 34 週果實開始有自然掉落情形，推測該時期為果實生理上完熟階段，果實自然形成離層而脫離母樹。

(一) 果皮色澤變化

‘麻豆紅柚’ 果實於第 22 週採收後果皮呈黃綠色 (圖 1A)，亮度、彩度及色相角隨發育時間而有變化 (圖 2)。亮度約到第 28 週達到 65 為最高值，後有略為下降，而彩度亦有緩慢提高，顯示果色色彩飽和且顏色越純 (更接近黃色)，色相角變化較為明顯，由一開始約 100° 並在後續花後第 32 週採收時轉至 83°，果實外觀至盛花後第 32 週明顯呈現黃色為底之淡黃綠色，且果實成熟度越高，部份遮蔭面的果皮出現橙紅色。果實癒傷調理 1 週後果實外觀略有轉黃 (圖 1B)，色相角下降 (圖 2)，果色亮度在貯藏後些微上昇，彩度無顯著差異。

‘麻豆紅柚’ 為防治果實蠅，在五、六月疏果後以白色紙袋套袋以隔絕果實蠅叮咬，因此果實外觀較‘麻豆文旦’更偏黃綠色，但轉色過程亦以褪綠為主，柑橘類果實果皮顏色變化與葉綠素降解所致⁽⁵⁾，惟‘麻豆紅柚’果皮尚可形成橙紅色，推測與葡萄柚‘Ruby’一樣由類胡蘿蔔素累積而成，因受套袋或遮蔭影響果色變化⁽¹⁰⁾。

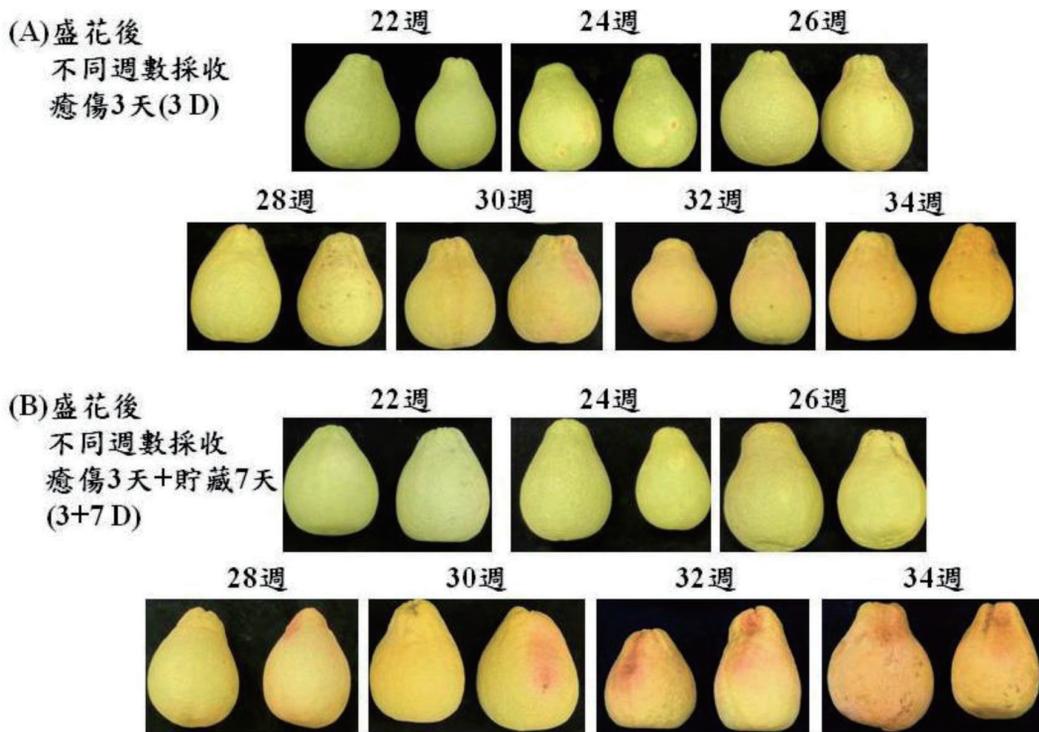


圖 1. ‘麻豆紅柚’ 盛花後第 22 至 34 週間採收之果實癒傷調理 3 日 (3 D) 或癒傷調理 3 天併額外室溫貯藏 1 週後 (3 + 7 D) 果實外觀

Fig. 1. Appearance of ‘Matou hongyu’ fruit harvested at different maturity stages (the 22nd to 34th weeks after fully blooming, biweekly): (A) After 3 d curing (3 D); (B) After additional 1-week storage (3 + 7 D). (n = 12)

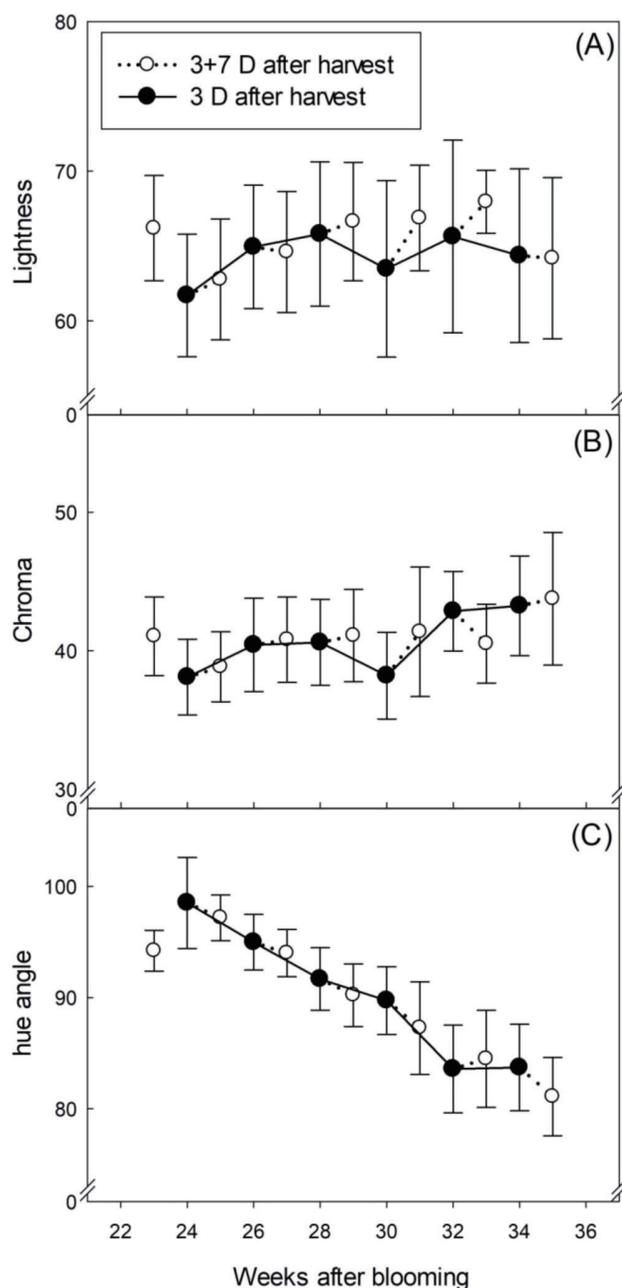


圖 2. ‘麻豆紅柚’ 盛花期後第 22 至 34 週採收之果實癒傷調理 3 天 (3D) 或癒傷調理 3 天併額外室溫貯藏 1 週後 (3 + 7 D) 果實表皮之 (A) 亮度 (Lightness)、(B) 彩度 (Chroma) 及 (C) 色相角 (hue angle) 變化 (n = 12, Mean ± SD) (第 22 週採收後果實果色數據遺失)。

Fig. 2. Changes of peel (A) lightness, (B) chroma or (C) hue angle of ‘Matou hongyu’ fruit at different maturity stages (the 22nd to 34th week after fully blooming, biweekly) after 3-day curing (3 D after harvest, ●) or additional 1-week storage after curing (3 + 7 D after harvest, ○). (n = 12, Mean ± SD) (Note: data of fruit harvested at the 22nd week after blooming was lost)

(二) 果實果肉率及果汁率變化

盛花後第 22、24 週之果肉率未達 50% (圖 3A)，花後第 26 週後採收之果實則可達約 55% 左右，而試驗期間果汁率則大致穩定 (圖 3B)，約 41 ~ 42% 左右。經額外一週常溫癒傷調理後，果肉率及果汁率皆有提昇情形，失重率約 2 ~ 4% 之間，失重部位主要為果皮。此趨勢與 ‘麻豆文旦’ 相仿^(2,4)，果肉率比例隨果實成熟度增加，且隨果實貯藏或癒傷調理時間越長，果皮為其主要失重部位⁽³⁾。而果汁率增加顯示果肉組織可榨取之自由水比例增加，推測為果肉組織略有老化崩解之情而導致增加。

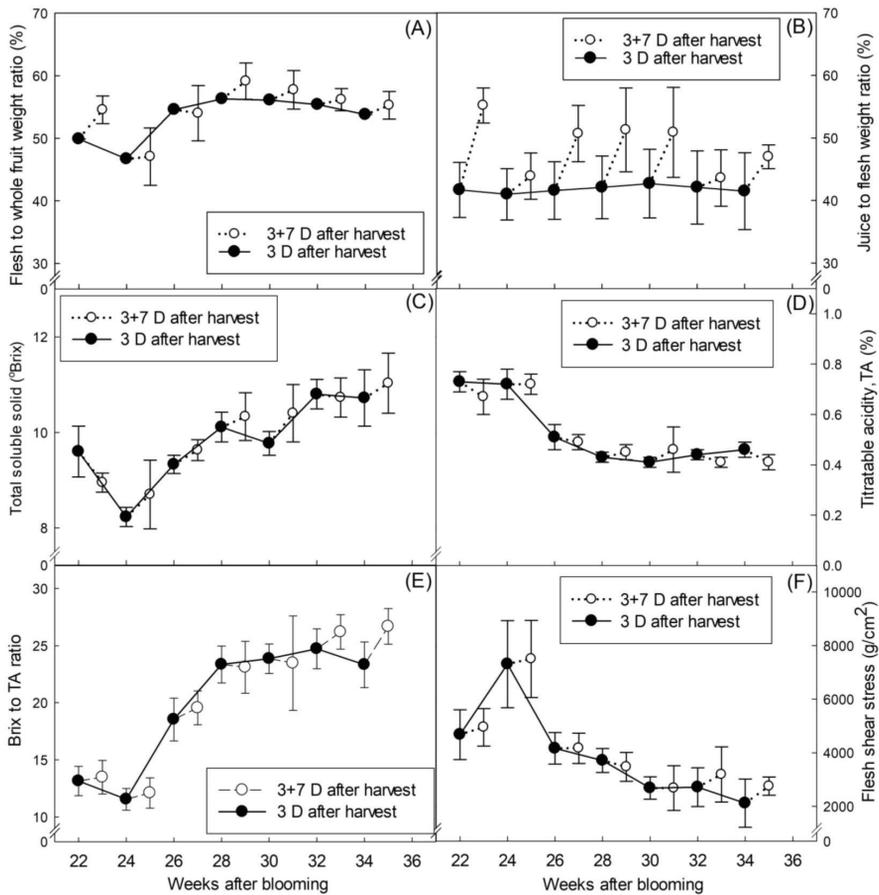


圖 3. ‘麻豆紅柚’ 盛花期後第 22 至 34 週採收之果實經採後癒傷調理 3 天 (3D, ●) 或癒傷調理 3 天併額外室溫貯藏 1 週後 (3 + 7 D, ○) (A) 果肉率 (Flesh/whole fruit weight ratio)、(B) 果汁率 (Juice/flesh weight ratio)、(C) 可溶性固形物、(D) 可滴定酸、(E) 糖酸比及 (F) 瓢瓣截切力 (Flesh shear stress) 變化。(n = 12, Mean ± SD)

Fig. 3. Changes of (A) flesh/whole fruit weight ratio, (B) juice/flesh weight ratio, (C) total soluble solids, (D) titratable acidity (TA), (E) Brix to TA ratio, and (F) flesh shear stress of ‘Matou hongyu’ fruit at different maturity stages (the 22nd to 34th week after fully blooming, biweekly) after 3-day curing (3D, ●) after harvest or additional 1-week storage (3 + 7 D, ○) (n = 12, Mean ± SD)

(三) 果實可溶性固形物、可滴定酸及糖酸比變化

‘麻豆紅柚’果實生育期間可溶性固形物及糖酸比隨採收成熟度而增加，可滴定酸則為降低（圖 3C-E）。總可溶性固形物則由盛花後第 22 週測得 9.6°Brix，於第 28 週後提至 10.1°Brix 並至第 32 週達 10.8°Brix 為最高；可滴定酸由初期（盛花後第 22、24 週）達 0.7%，第 28 週後降至 0.5%、第 30 週後降至 0.45% 左右；糖酸比則由初期 13，至第 26 週的 18，至第 28 週後的 23。果實常溫癒傷調理一週後，可溶性固形物略上升，酸度變動則不一致，糖酸比隨之增加但不具統計上明顯差異。‘麻豆紅柚’生育期間之可溶性固形物及可滴定酸之變化與‘麻豆文旦’趨勢相同^(2,3,4)，惟發育至成熟的時間較晚，‘麻豆文旦’可溶性固形物含量以花後 24 週時最高而後下降⁽⁴⁾，而本試驗觀察‘麻豆紅柚’至花後 32 週達最高，但可維持至花後第 34 週。癒傷調理或貯藏期間‘麻豆文旦’之可溶性固形物隨貯藏時間增加而增加^(1,2)，而‘麻豆紅柚’趨勢一致，但可滴定酸度變化前人以常溫貯藏有觀察到可滴定酸會隨貯藏時間增加而增加^(1,3)或減少^(2,5)，本試驗觀察到之酸度趨勢略不穩定，但變化不顯著，推測受常溫貯藏溫度不穩定所致。

(四) 果肉瓢瓣截切力變化

果肉軟硬程度則由果肉瓢瓣截切力反應，‘麻豆紅柚’採收初期以 4,678 g·cm⁻² 開始（圖 3F），到第 28 週 3,713 g·cm⁻²，花後第 30 週後降至 2,700 g·cm⁻² 以下，明顯果肉變得較為柔軟，癒傷調理一週後果肉硬度變化與貯藏前相差不多。本研究室以同樣測定夾具及方式進行瓢瓣截切力分析，結果顯示‘麻豆文旦’果肉瓢瓣截切力（約 6,000 g·cm⁻²）明顯較‘麻豆紅柚’高，其生育期間果肉瓢瓣截切力隨成熟度而降低，顯示果肉軟化⁽²⁾，經貯藏 1 至 4 週後會明顯更柔軟⁽³⁾，顯示‘麻豆紅柚’果實生育期間果肉軟化趨勢與‘麻豆文旦’相似，惟果實經癒傷調理一週後，果肉瓢瓣截切力並未有明顯變化，與‘麻豆文旦’採收後果實明顯軟化之特性不同。

整體而言，盛花後第 22 及 24 週採收之果實仍偏綠，果肉率較低、可溶性固形物低、可滴定酸度偏高、糖酸比低，果肉較硬，果實品質尚未達良好的食用品質，第 26 週後的果實達基本之食用品質，果實應於盛花後第 28 週達最佳果實品質，若以盛花後第 34 週開始自然落果作為最佳採收期終點，完熟後果實仍可掛樹約 6 週，期間果實品質變化不明顯，故若以生理測量指標為依據，則建議麻豆紅柚果實完熟的特徵為色相角達 90°、可溶性固形物達 10°Brix、可滴定酸降至 0.5% 且糖酸比達 23 為採收標準，而目前慣常採收期（盛花後 24 週）仍偏早，建議於盛花後 26 週後再行採收。

‘麻豆紅柚’採後辭水三天與額外貯藏一週之果實品質變化不大，表皮略轉黃，果肉率、果汁率及可溶性固形物略有提昇外，其餘品項則無顯著差異，惟甫採收果皮飽滿脆硬，在選別分級時易受損，可放置約 2~5 天，待果皮失重略為軟化後即可包裝出貨；相較之下，‘麻豆文旦’需經較長的癒傷調理時間（5~7 日），俟果皮及果肉皆明顯軟化且可溶性固形物提升，達良好食用品質再行販售⁽²⁾，而紅柚因採收時果實品質即達良好食用品質，經 2~3 日癒傷調理即可出貨，品質變化樣態與‘麻豆文旦’略有不同。

二、不同貯藏溫度對‘麻豆紅柚’果實貯藏品質之影響

(一) 果皮色澤變化

‘麻豆紅柚’ 果實外觀如圖 4 所示，貯藏 0 ~ 30 天期間所有處理之果皮呈淡綠色，以貯藏於 25°C 之果實貯藏 30 天後明顯轉黃，褪綠較明顯，第 50 天後部份果實表皮出現粉橘色。表皮亮度及彩度則明顯隨貯藏時間延長而增加 (圖 5A-B)，亮度以貯藏於 15°C 之果實增加較為明顯，其次為儲於 25°C 之處理，末者為儲於室溫者，而彩度有類似趨勢，以貯藏於 15°C 之果實表皮彩度增加較快速。然色相角 (圖 5C) 則以貯藏於 25°C 之處理變化最快，於貯藏第 30 天即由近 100° 轉至約 90° (綠轉黃綠)，室溫處理者次之，以儲於 15°C 的果實最慢。

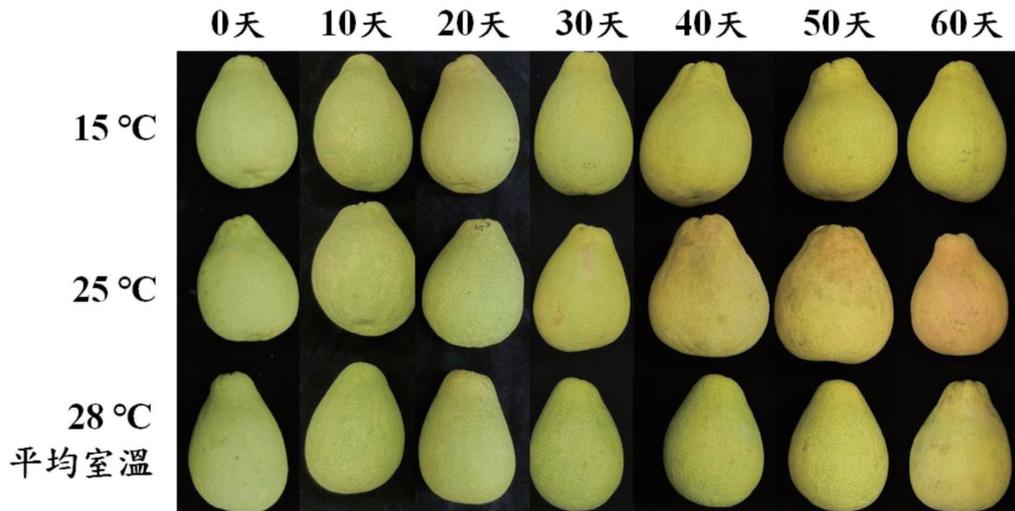


圖 4. ‘麻豆紅柚’ 於盛花後第 24 週採收，各於 15°C、25°C 或室溫 (平均 28°C) 下貯藏 60 天間果實外觀變化。(n = 12)

Fig. 4. Appearance of ‘Matou hongyu’ which were harvested at the 24th week after fully blooming and stored at 15°C, 25°C or room temperature for 60 days. (n = 12)

由於量測果色為同一批果實，果色變化具有連貫性，25°C 之果實於第 30 天即轉為黃色，依前人研究指出，柑橘類的轉色速度 (褪綠) 會隨溫度升高而提高⁽⁹⁾，理論上應以室溫儲放者速率最快，推測室溫儲放時的溫度變化影響轉色速率。而 15°C 之果實在貯藏過程中亮度及彩度持續增加，推測低溫階段，果皮仍略有發育，使其果皮葉綠體累積，使其果皮外觀更為濃綠，使彩度及亮度皆有增加趨勢，但貯藏中後期果皮部份葉綠素仍持續降解，仍有褪綠情形，此一觀察有待後續研究釐清。經 ANOVA 分析，果色之亮度、彩度及色相角在本試驗中皆受果實貯藏溫度及時間之顯著影響。

(二) 失重率及果實重量變化

‘麻豆紅柚’ 失重率隨貯藏時間越長而明顯增加 (表 1)，以室溫癒傷調理 5 日，果實失重率僅 1.5%，15°C 或 25°C。貯藏 60 天以貯藏室溫者總失重率最多約 12.8%，次為貯藏於 25°C 之果實 (7.3%) 及 15°C 之果實 (5.7%)，與 ‘麻豆文旦’ 貯藏的現象一致⁽²⁾，室溫儲藏之果實表皮明顯軟化，略有皺縮。

果實果肉率 (圖 6A) 以室溫儲放處理之果實在第 50 天後明顯提昇 (50% 到

55%)，次為 25°C 貯藏處理，以 15°C 之果實在貯藏過程中約略在 47 ~ 50%，配合外表觀察，果實皺縮情形與果肉率變化正相關，果實失水以果皮為主，並以較高溫環境下失水速率較快，亦與‘麻豆文旦’貯藏的試驗觀察趨勢一致^(2,7)。果汁率在貯藏期間變化較不穩定(圖 6B)，但約在 40 ~ 50% 之間，趨勢不明顯，僅貯藏於 25°C 之果實略有緩慢下降的情形。

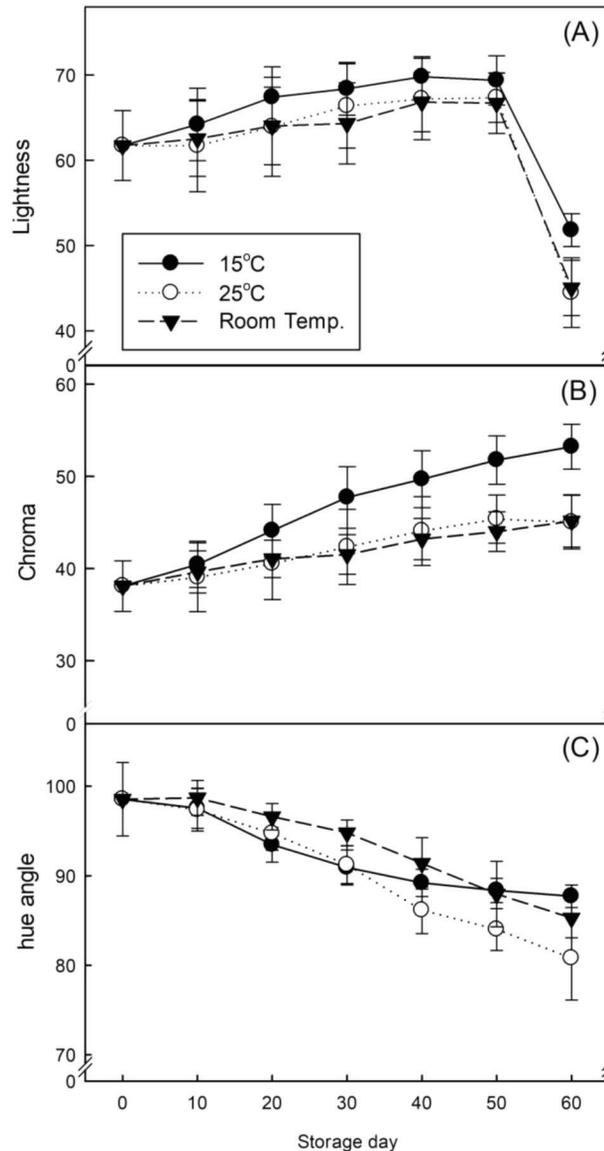


圖 5. ‘麻豆紅柚’於盛花後第 24 週採收，各於 15°C (●)、25°C (○) 或室溫 (平均 28°C, ▼) 下貯藏 60 天間之果皮 (A) 亮度、(B) 彩度及 (C) 色相角之變化。(n = 12, Mean ± SD)

Fig. 5. Changes in (A) lightness, (B) chroma and (C) hue angle of ‘Matou hongyu’ which were harvested at the 24th week after fully blooming and stored at 15°C (●), 25°C (○) or room temperature (Average 28°C, ▼) for 60 days. (n = 12, Mean ± SD)

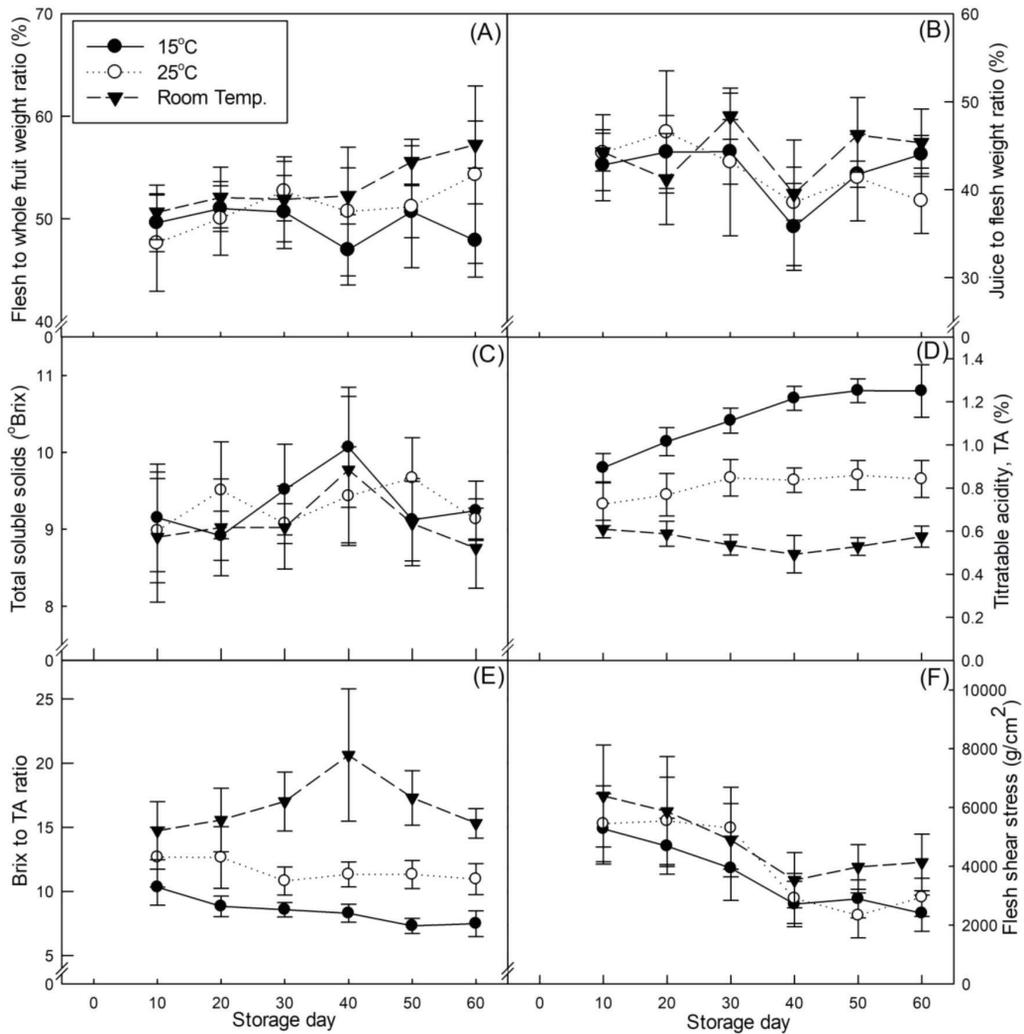


圖 6. ‘麻豆紅柚’ 於盛花後第 24 週採收，各於 15°C (●)、25°C (○) 或室溫 (平均 28°C, ▼) 下貯藏 60 天間 (A) 果肉率、(B) 果汁率、(C) 可溶性固形物、(D) 可滴定酸、(E) 糖酸比及 (F) 瓢瓣截切力之變化。(n = 12, Mean ± SD)

Fig. 6. Changes in (A) flesh to whole fruit weight ratio, (B) juice to flesh weight ratio, (C) total soluble solids, (D) titratable acidity (TA), (E) Brix to TA ratio, and (F) flesh shear stress of ‘Matou hongyu’ which were harvested at the 24th week after fully blooming and stored at 15°C (●), 25°C (○) or room temperature (Average 28°C, ▼) for 60 days. (n = 12, Mean ± SD)

表 1. ‘麻豆紅柚’ 於盛花後第 24 週採收，各於 15°C、25°C 或室溫（平均 28°C）下採收當日及經 5 日癒傷後貯藏 60 天間之失重率變化，及貯藏後果實最終腐損率

Table 1. Changes in weight loss at harvest and during 60-d storage plus 5-d curing and the final loss after storage of ‘Matou hongyu’ which were harvested at the 24th week after fully blooming and stored at 15°C, 25°C, or room temperature (Average 28°C). (n = 12, Mean ± SD)

處理 Treatment	採收當日 Harvest (-5D)	失重率 (%) Weight loss (%)						貯藏後果實腐損率 (%) Loss after storage (%)	
		0 天 (0 D)	10 天 (10 D)	20 天 (20 D)	30 天 (30 D)	40 天 (40 D)	50 天 (50 D)		60 天 (60 D)
15°C	0	0.6 ± 0.1	1.5 ± 0.3	2.2 ± 0.4	2.8 ± 0.5	3.6 ± 0.6	4.4 ± 0.8	5.7 ± 1.0	8.33
25°C	0	0.8 ± 0.1	2.0 ± 0.3	3.4 ± 0.6	4.4 ± 0.8	5.5 ± 1.0	6.2 ± 1.1	7.3 ± 1.2	25
室溫 Room Temp. (平均 28°C)	0	1.5 ± 0.2	3.5 ± 0.4	5.7 ± 0.8	7.1 ± 0.9	9.4 ± 1.1	10.9 ± 1.2	12.8 ± 1.6	33.3

(三) 可溶性固形物、可滴定酸及糖酸比變化

可溶性固形物未隨‘麻豆紅柚’果實貯藏期間增加而顯著變化，第 40 天中果實儲於 15°C 或 25°C 有明顯增加可能是試驗取樣誤差，不同溫度處理之果實可溶性固形物變化約在 9 ~ 10°Brix，與‘麻豆文旦’會於貯藏期間增加^(1,2)的情形不同。

可滴定酸則明顯可見儲於 15°C 之果實隨貯藏時間而增加至 1.2%，25°C 之果實則略增加至 0.8%，室溫儲放者則略下降至 0.6%。可滴定酸為作物呼吸作用的基質，‘麻豆文旦’亦在貯藏初期有類似觀察，惟貯藏 15°C 者在貯藏至 40 天後有下降趨勢^(1,2,3)，而‘麻豆紅柚’僅維持在高點。前人研究指出‘麻豆文旦’中檸檬酸合成酶在貯藏期間及不同貯藏溫度下有活性上升趨勢，可能因此累積有機酸⁽¹⁾。而在本試驗以‘麻豆紅柚’貯藏時期，15°C 及 25°C 之果實皆有可滴定酸度上升的趨勢，惟室溫（平均 28°C）處理有下降情形，推測室溫貯藏時因貯藏時隨日夜溫度變動，如遇較高溫（最高溫達 30.3°C）則不利檸檬酸合成酶反應，導致檸檬酸累積不足而可滴定酸下降。

糖酸比則隨有機酸的增減而有輕微變動，15°C 的果實在貯藏過程約 7 ~ 8，25°C 的果實則為 11 ~ 12，貯藏後期略下降，而室溫儲放者則約在 15 ~ 16 之間。

(四) 果肉瓢瓣截切力變化

果肉瓢瓣截切力隨貯藏時間增加及貯藏溫度越低而降低，顯示果肉越來越柔軟，與‘麻豆文旦’趨勢類似⁽²⁾。三個貯藏溫度的果實瓢瓣截切力於第 40 天有相近的反折點，其後續果肉瓢瓣截切力數值維持特定範圍內，依試驗一不同採收成熟度的果實品質亦於盛花後第 30 週後，果肉瓢瓣截切力即維持在 2,000 ~ 3,000 g·cm²，可能是果肉瓢瓣在果實生育階段發展成熟階段。特別的是，‘麻豆文旦’在貯藏後期易有「瓢瓣汁胞化」情形，但‘麻豆紅柚’貯藏期間皆未觀察到此現象，至貯藏第 60 天，果肉仍多汁柔軟。

結 論

‘麻豆紅柚’盛花後第 26 週採收之果實可達較佳的食用品質（糖酸比），果實於盛花期後第 28 週達完熟，品質狀況為色相角達 90°、可溶性固形物達 10°Brix、可滴定酸降至 0.5% 且糖酸比達 23，後續可掛樹約 6 週（盛花後 34 週），完熟後果實品質變化不明顯。不同採收期之果實癒傷 3 日後及額外常溫貯藏一週，果實品質與採收時變化不大，僅果實可溶性固形物略有增加，糖酸比相對提高。而慣行採收成熟度（盛花後第 24 週）果實可依實際販售期限而調整貯藏方式，室溫貯藏建議至多可放至 40 ~ 50 天，超過 60 天者則可以 15°C 及 25°C 貯藏，更長期貯藏需求則可望使用 15°C 配合包裝技術，惟需後續試驗證實。

引用文獻

1. 吳松杰、區少梅。1999。麻豆文旦室溫貯藏品質之影響。中國園藝 45：53-64。
2. 周書立、張嵐雁、張文肇。2020。‘麻豆文旦’採收成熟度及貯藏條件對果實品質之影響。臺南區農業改良場研究彙報第 75 號：34-45。

3. 林芳存。1995。短期常溫貯藏對麻豆文旦果實品質之影響。中國園藝 41：288-296。
4. 林芳存、林宗賢。1999。麻豆文旦柚果實發育之研究。文旦產銷經營研討會專刊 p.29-50。
5. 區少梅、陳淑莉。1993。椪柑品質之官能與物理化學分析。中國園藝 39：99-113。
6. 張汶肇。2011。麻豆紅柚生育特性及栽培管理。臺南區農業專訊 78：8-12。
7. 劉啟祥、徐仲禹、陳任芳、巫宣毅。2014。文旦健康管理栽培技術。行政院農業委員會花蓮區農業改良場專刊。
8. 謝侑儒。2012。貯藏溫度對麻豆文旦果實品質和有機酸代謝酵素活性之影響。國立嘉義大學園藝學系碩士論文。嘉義。
9. Ahrens, M. J. and C. R. Barmore. 1987. Interactive effects of temperature and ethylene concentration on postharvest colour development in citrus. Acta Hort. 201: 21-27.
10. Lado, J., Cronje, P., Alquézar, B., Page, A., Manzi, M., Gómez-Cadenas, A., Stead, A.D., Zacarías, L. and Rodrigo, M.J. 2015. Fruit shading enhances peel color, carotenes accumulation and chromoplast differentiation in red grapefruit. Physiol. Plantarum 154: 469-484.
11. Tsai, H. L., Chang, S. K. and Chang, S. J. 2007. Antioxidant content and free radical scavenging ability of fresh red pummelo [*Citrus grandis* (L.) Osbeck] juice and freeze-dried products. J. Agric. Food Chem. 55: 2867-2872.

Fruit quality of different maturity stages and optimum storage temperature of ‘Matou hongyu’ fruit (*Citrus grandis* Osbeck)¹

Chang, L. Y., Chou, S. L. and W. C. Chang²

Abstract

‘Matou hongyu’ fruit is a promising pomelo cultivar. The harvesting is mainly around ‘autumn equinox’ followed by the storage method as that of ‘Matou Wentan’. To establish the maturity index of ‘Matou hongyu’, fruit were harvested at different maturity stages once every two-week, from the 22nd to 34th week after fully blooming (AFB) and the fruit quality of just harvested fruit and 1-week after storage were then examined. Fruit harvested at the 26th week after fully blooming reached the primary acceptable fruit quality while the fruit of the 28th week AFB was fully mature including hue angle > 90°, total soluble solid (TSS) > 10°Brix, titratable acidity (TA) > 0.5% and Brix to TA ratio > 23. The fruit could be harvested later for another 6 weeks without obvious quality changing. Fruit at different maturity harvest stages stored for another week had no significant change in fruit quality except for the increasing TSS and the correspondingly increasing Brix to TA ratio. In order to determine the fruit quality change, the fruits harvested at the 24th week AFB were stored at 15°C, 25°C or room temperature (average 28°C) for observation. Results showed that the fruit of all treatments turned yellowing 30-day after storage and the fastest degreening rate was observed on the fruit stored at 25°C. The water loss increased with the storage duration. On the other aspects of internal fruit quality, TSS had no significant difference during storage, but the TA increased on the fruit at 15°C and 25°C and the Brix to TA ratio decreased. Flesh shear stress was lowering when the storage duration increased. The optimal storage condition should be determined by the sale window: If fruits need to have good quality within 40-50 days of storage, the temperature is fine to set up at room temperature. If the request of storage requirement is longer than 60 days, fruit should be stored in a steady condition at 15-25°C. For the much longer storage requirement, fruit stored at 15°C plus a proper package is needed.

What is already known on this subject?

‘Matou hongyu’, as a promising pomelo cultivar, is commonly harvested around the date of ‘Autumn equinox’. Fruit was then stored at room temperature following the operation method of ‘Matou Wentan’.

What are the new findings?

We examined the fruit quality at different maturity stages (the 22nd to 34th week after fully blooming) of ‘Matou hongyu’ after 3-d curing and additional 1-week storage and further optimized the storage temperature storage with fruit wrapped in the PE bags covered the whole basket. High quality fruit with longer shelf-life could be obtained by following the recommendation of harvest maturity and storage temperature in this research.

What is the expected impact on this field?

The results improved the decision making for harvest maturity and storage condition of high quality ‘Matou hongyu’ fruit to flourish the development of the fruit industry.

Key words: Autumn equinox, Harvest maturity, Storage temperature

Accepted for publication: 12 January, 2023

-
1. Contribution No. 557 from Tainan District Agricultural Research and Extension Station.
 2. Assistant Researcher, Former Contract Employee, and Associate Researcher, Tainan District Agricultural Research and Extension Station. 70 Muchang, Hsinhua, Tainan 712009, Taiwan, R.O.C.