

不同著果枝條對楊桃果實發育與貯藏品質之影響¹

劉碧鵑² 楊耀祥^{3,4} 王德男² 王子慶²

摘要：本研究主要探討‘秤錘’楊桃 (*Averrhoa carambola* L.) 不同著果枝條果實在發育過程中外觀形態、內部組成成分之變化與其貯藏品質的比較。調查結果顯示，‘秤錘’楊桃果實在發育期間並無生長停滯期，生長曲線呈單 S 型。5 月開花的果實其果長、稜厚、稜寬及周長在花後 1 週即快速增加，鮮重及體積則於花後 3 週起開始快速上升，可溶性固形物直到花後 7 週起才開始迅速累積，在花後 10 週其外觀形態增長速率已趨於緩和，可視為進入生理成熟期，果實顏色的變化亦由發育中期的暗綠色逐漸轉變為完熟期的全黃色。在內部成分的變化上，水分含量、可溶性固形物及醣類含量等均隨果實發育而增加，而硬度、可滴定酸則隨著果實的發育而降低。果實著生的枝條部位間，老枝所著生的果實比新枝者有較大的果重及體積，稜寬也較大，果形呈短橢圓形，著色較淺；在內容物組成上，老枝所著生的果實可溶性固形物及醣類含量較低，可滴定酸及硬度較高；在貯藏品質上，室溫下第 1 週老枝果實的失水率較低，但之後卻較高於新枝；至於果實經 5℃、21 日的冷藏後，再移至室溫 19 日後之失水率則以新枝果實較高於老枝。

關鍵詞：楊桃、果實生長、果實品質。

前 言

楊桃 (*Averrhoa carambola* L.) 屬於楊桃科 (*Averrhoaceae*) 多年生的常綠熱帶果樹，可能原生於東南亞或南亞一帶⁽²⁶⁾，因其心皮合生且雌蕊離生，子房因而形成凸起的稜條，而使其橫切面呈現星形，故又名星星果 (star fruit)、五斂子、五稜子^(15, 26)等。由於楊桃的貯藏壽命長達 42 日以上⁽¹⁴⁾，加上不論是在鮮食或加工的用途上均相當廣泛⁽⁷⁾，使得楊桃被評估為具有抵禦 WTO 進口水果衝擊的果樹種類。展望未來為提高國產楊桃的市場競爭力，拓展楊桃的外銷市場，高品質的楊桃果品需求將日益殷切⁽¹⁾。

楊桃為幹生花樹種^(3, 17, 27)，全株各枝條均具有開花著果的能力。而由於開花著果部位的不同，果實的風味與品質也稍有差異；其中由主幹所著生的果實，單果重最大，但果實品質最差；而一、二年生枝及新梢所結的果實單果重較小，但在果實的品質上因糖度高，酸澀味低，風味最為優良^(3, 4)。

‘秤錘’為台灣目前楊桃栽培面積最廣的栽培種⁽¹⁶⁾，其果實雖略具澀味，纖維也粗，但其果稜較為硬實耐擦壓傷，具有運輸性強、冷藏貯存期限長、耐低溫檢疫處理及寒害症狀發生率等優點⁽¹⁾，而仍被農友廣為種植，且為目前楊桃外銷美國的選定品種，短時間之內不易被其它品種取代，因此本研究

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2105 號。接受日期：91 年 3 月 6 日。

2. 本所鳳山熱帶園藝試驗分所果樹系助理研究員、果樹系研究員兼系主任、經營利用系助理。臺灣省 鳳山市。

3. 國立中興大學園藝系教授。臺灣省 臺中市。

4. 通訊作者；電子郵件：ysyang@dragon.nchu.edu.tw；傳真機：(04)22851320。

乃以‘秤錘’為材料，著手研究建立楊桃果實的生長資料，藉由果實發育成熟與品質的關聯性，尋求可供作為採收適期的參考依據，同時針對著果部位上的差異，調查果實的生長、內容物成分與貯藏品質等資料，期能做為果農在生產管理或外銷選果作業上的參考，並提供進一步研究的基礎，以期達到穩定產量，提高果實品質的目標。

材料與方法

試驗材料及取樣方法

供試材料為種植於鳳山熱帶園藝試驗分所品種保存園25年生左右之‘秤錘’楊桃，砧木品種可能為酸味種，樹高2m，行株距為7m×7m，採用水平棚架整枝栽培，以其中樹勢相近植株5株作為調查用樹。果長7公分左右（花後4週）開始套袋。果園管理為使用40Kg 篋麻粕/株及永任豐利有機肥（N：P：K = 4：2：5）10Kg/株做為基肥，著果期間以台肥43號（N：P：K：Mg = 18：18：18：5）1Kg/株分次施用為追肥。果實貯藏調查取自彰化百果山黃瑞芳農友生產之30年生以上‘秤錘’楊桃，該園土質為山坡礫質壤土，採行水平棚架整枝，行株距6m×7m，樹高1.8m。果實生長調查為：於開花盛期只留下當天（1999年5月14日）所開的花朵，其餘則全部剪除，而後每隔1週取樣10粒大小相似果實，至果皮轉為黃色落下為止。取樣部位判別標準為：枝條直徑大於1.5cm、顏色深褐色者為老枝（包括主幹、主枝、亞主枝及側枝），而枝條直徑1.4cm以下、顏色淡褐色者為新枝（主要為去年生結果枝及新梢）。果實調查分析自5月21日起至8月13日止，共計調查14週。貯藏品質調查：於同年9月分進行，果實於全果轉黃70%時，分別依不同著果枝條部位（同新枝及老枝標準）進行採收，果實大小取樣標準為300~350g，經去紙袋後加套塑膠袋，當日裝箱運回試驗所，次日開始調查失水率，每處理各為15個果實，重複3次，分別進行室溫（28~32℃）及5℃冷藏21天後套袋果之失水率調查。

調查項目及方法

果實發育之調查，1. 果實鮮重 (g) 及體積 (cm³)：單果重利用電子天秤測量；體積以排水法利用量筒測得。2. 果實長度 (cm)、周長 (cm)、稜厚 (cm) 及稜寬 (cm)：果長利用電子游標尺測量果稜之果肩與果尾間的直線長度；周長以布尺測赤道部位果稜之圓周長度；稜厚為取其中1個果稜之赤道部位，測量2個稜溝間之寬度，2重複，取其平均值；稜寬亦為取其中1個果稜之赤道部位，測量稜溝至稜邊之長度，2重複，取其平均值。3. 果肉細胞層數：以徒手切片後在顯微鏡下觀察赤道部稜厚及稜高之細胞層數。

果實品質之調查，1. 果皮顏色：自花後第9週開始取樣，每粒逢機選取果肩、赤道、果尾部份的稜邊、稜面處共計6點測量，以比色計（Color and Color Difference Meter；日本電色工業會社；Model ND-300A），分別測定L、a、b值。所使用之標準板為Y = 100.14，X = 93.91，Z = 91.88。計算方法為 $L = 10Y^{1/2}$ ， $a = 175(100X/X_n - Y)/L$ ， $b = 70(Y - 100Z/Z_n)L$ 。3重複，取其平均值。+a = 紅色，-a = 綠色，+b = 黃色，-b = 藍色。由其數值表示果皮色澤的深淺⁽²⁶⁾。2. 果稜硬度 (g)：利用萬能物性分析儀，記錄以3ψ穿透果實5mm之力量，測量部位為近果肩、赤道及果尾部位之稜溝及稜邊處果肉，共計6點，3重複，取其平均值。3. 果實水分含量 (%)：(果實鮮重-果實乾物重)/果實鮮重×100%。4. 果汁可溶性固形物 (°Brix)：分別取果肩、赤道及果尾部位果實榨取汁液，以手持屈折計測定後，取其平均值。5. 果汁可滴定酸度 (%)：取赤道部果肉經榨汁後，記錄pH到達8.1所需之NaOH滴定量，滴定結果以蘋果酸 (malic acid) 換算表示。6. 醣類分析：樣品經12,000rpm離心過濾後，上層澄清液以0.45μm濾膜過濾，取20μl樣品，注入Shimadzu LC-6A高效液相層析儀進行分析。分析儀設定動相流速為1.0ml/min，分離管P-NH₂ column TSK-Gel、檢測器為Shimadzu RID-6A，移動相為去離子水。7. 糖酸比：可溶性固形物與可滴定酸之比值。

果實貯藏性調查，1. 失水百分率：於室溫下每隔2-3日以電子天平測量果重，至果實完全腐爛為

止。(1) 室溫下之失水百分率 (%) = $1 - (\text{原始調查期間之果實重量} / \text{果實原始重量}) \times 100\%$ 。(2) 冷藏貯藏後之失水百分率 (%)：將果實貯放於 5°C 之冷藏庫 21 日後，測量自冷藏庫取出後再置室溫下之每日失水百分率及罹病率，至果實腐爛為止。2. 黃化指數調查：採用 Minolta Camera Co. Ltd. 出品之 Chromameter (CR-100)，測赤道部果稜之 L (明度數值)、a (紅綠互補色，其值介於 +50~-50)、b (黃藍互補色，其值介於 +50~-50) 值。

結 果

果實生長期間的物性變化

鮮重及體積：‘秤錘’楊桃果實之鮮重 (圖 1) 與體積 (圖 2) 的變化，在發育期間並無生長停滯現象，著果初期重量及體積的增加較為緩慢，呈現單 S 型生長曲線。體積的變化在花後 3 週開始快速增加，花後 9 週的增加速度尤其快速，10 週以後又漸趨平緩，直至果實採收為止。鮮重的變化曲線與體積大致有相似的結果。不同著果部位果實的生長速率差異並不明顯，整個果實鮮重與體積發育週期，老枝果實稍大於新枝果實，平均約 8%。

果長、周長、稜厚及稜寬：‘秤錘’楊桃果實之果長、周長、稜厚及稜寬的變化 (圖 3、4、5)，均有相似的結果，花後初期即呈斜線快速增加，花後 12 週以後發育方才趨於平緩。生長期間不同著果部位的果實除稜厚以外，稜寬、周長、果長等外觀上的變化均以老枝果實數值較新枝為大，但差異並不顯著。

‘秤錘’楊桃果實細胞層數：‘秤錘’楊桃果實赤道部稜厚及稜高果肉細胞層數的調查結果如表 1

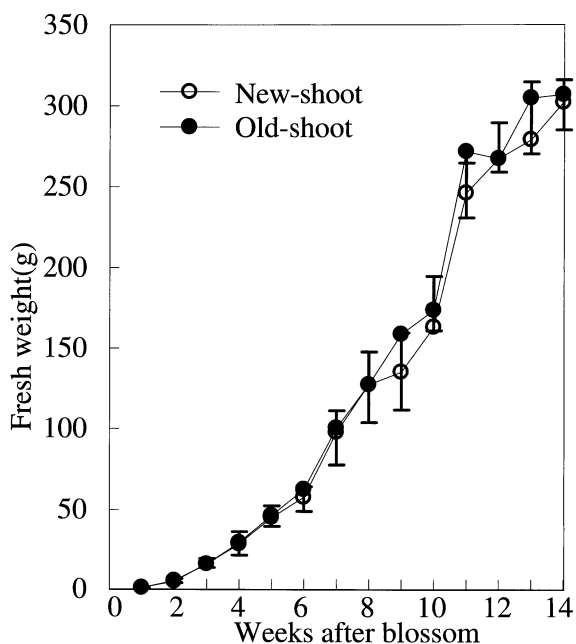


圖 1. ‘秤錘’楊桃果實發育期間鮮重之變化。

Fig.1. Development changes in fresh weight of ‘Chun-Choi’ carambola fruits born on different diameter shoot.

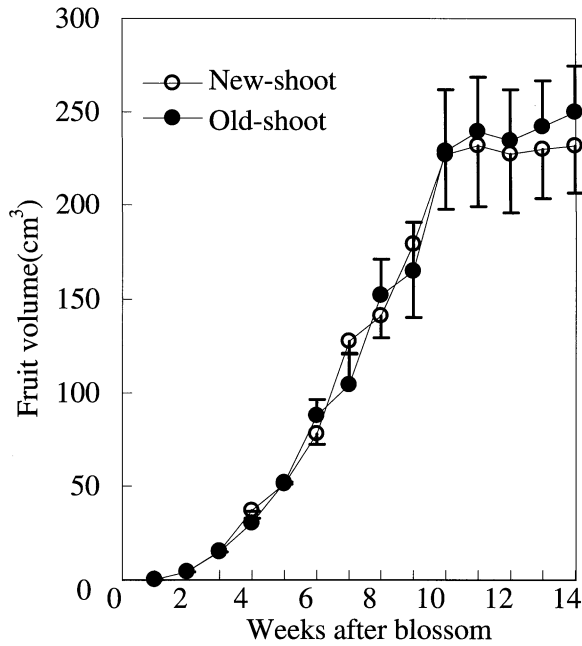


圖2. '秤錘' 楊桃果實發育期間體積之變化。

Fig.2. Development changes in fruit volume of 'Chun-Choi' carambola fruits born on different diameter shoot.

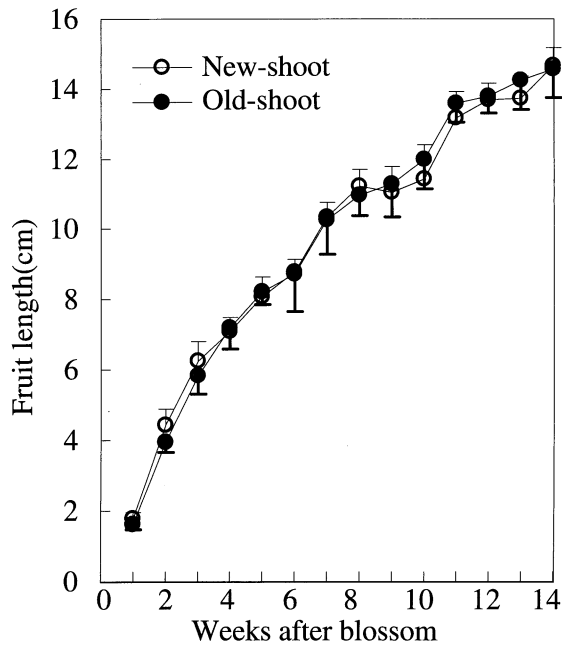


圖3. '秤錘' 楊桃果實發育期間果長之變化。

Fig.3. Development changes in fruit length of 'Chun-Choi' carambola fruits born on different diameter shoot.

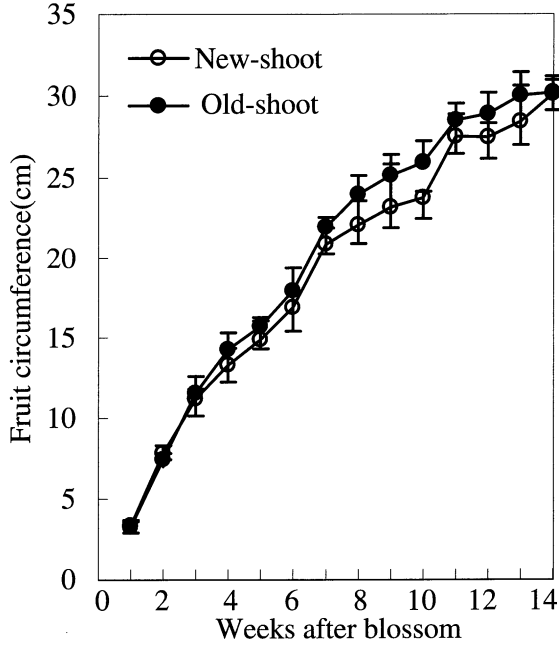


圖4. '秤錘' 楊桃果實發育期間周長之變化。

Fig.4. Development changes in fruit circumference of 'Chun-Choi' carambola fruits born on different diameter shoot.

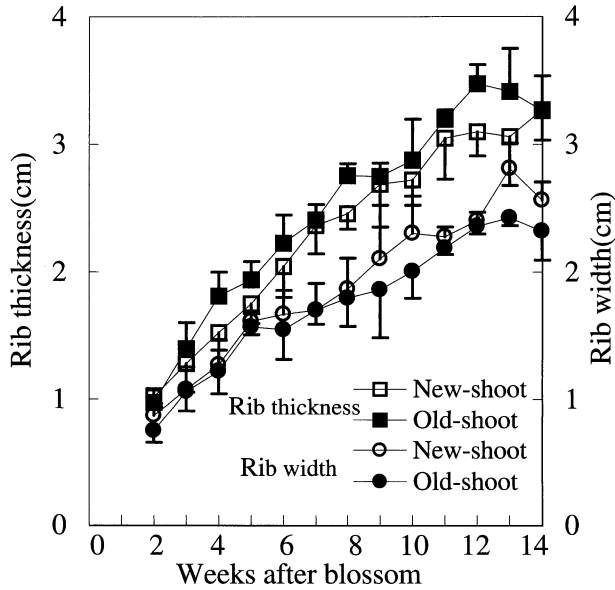


圖5. '秤錘' 楊桃果實發育期間稜厚與稜寬之變化。

Fig.5. Development changes in rib thickness and rib width of 'Chun-Choi' carambola fruits born on different diameter shoot.

表1. '秤錘' 楊桃果實稜高及稜厚細胞層數之變化

Table 1. Changes of cell layer number in rib of 'Chun-Choi' carambola fruits during development

Weeks after blossom	Rib thickness cell layer		Rib depth cell layer	
	Old-shoot	New-shoot	Old-shoot	New-shoot
1	62	59	180	175
2	63	60	185	182
3	63	60	185	182
4	63	60	185	182
5	63	60	185	182
6	63	60	185	182

表2. '秤錘' 楊桃果實發育期間果皮顏色之變化²Table 2. 2.Changes in skin color of 'Chun-Choi' carambola fruits during development²

Bearing shoot	Weeks after blossom	Color ²		
		L	a	b
Old-shoot	9	40.3 ± 2.2	- 7.5 ± 0.8	14.7 ± 1.6
	10	41.6 ± 3.1	- 6.2 ± 1.5	14.5 ± 0.7
	11	37.9 ± 1.9	- 3.0 ± 1.3	13.5 ± 0.6
	12	37.8 ± 0.5	- 2.1 ± 0.3	14.8 ± 1.0
	13	37.3 ± 0.4	- 2.0 ± 0.1	13.9 ± 0.6
	14	38.1 ± 1.0	- 1.9 ± 0.6	13.5 ± 0.1
	9	42.9 ± 1.6	- 3.9 ± 1.3	15.1 ± 0.5
New-shoot	10	41.7 ± 1.6	- 4.8 ± 0.9	15.6 ± 1.2
	11	40.3 ± 1.2	- 3.7 ± 0.9	14.8 ± 1.3
	12	37.8 ± 0.5	- 2.1 ± 0.9	14.5 ± 1.0
	13	37.5 ± 0.8	- 2.0 ± 0.3	14.6 ± 0.6
	14	36.8 ± 2.2	- 2.0 ± 1.2	14.2 ± 1.0

² L = light; a: +a = red, -a = green; b: +b = yellow, -b = blue.

所示，花後第1週起細胞層數即不再繼續增加，顯示花後1週左右即已停止細胞分裂。稜高部位的細胞層數約為稜厚部位的3倍，而老枝無論稜厚或稜高，其細胞層數均較新枝為多。

果實生長期間的內容物變化

果皮的外觀色澤變化由花後9週開始調查(表2)，L值(明度)在發育期間的變化量並不大，套袋後大致在42~37之間，而有稍降趨勢。a值為負值，呈現綠色的底色，同時隨發育週數的增加而提高，其色調為漸進式變化，且變化量較b值為大，褪綠較轉黃為明顯。b值為正值，呈現黃色之色彩，隨果實發育週數的增加而稍有降低。觀察果實外表色澤的變化，由花後中期的暗淡綠色，至將近成熟時果皮黃色逐漸顯現，至最末週時則呈現金黃或全黃色。

'秤錘' 楊桃果實發育期間之硬度變化(圖6)，隨著取樣週數的增加迅速下降，新老枝條上的果實分別由430g及400g降至300g及280g，至最末週硬度分別減少了34%及25%。老枝果稜硬度較高於新枝；不同著果部位間，新枝果實硬度下降速率亦高於老枝。而果實水分含量變化(圖6)，在花後2週前均低於30%以下，2~3週起開始快速增加，至花後7週以後則維持在83-85%。水分的上升曲線初期與鮮重、體積在花後3週開始迅速上升有相同的結果，顯示鮮重與體積的增加可能和水分的大量進入有關；不同著果部位的果實以新枝果實的含水量稍高於老枝。

'秤錘' 楊桃果實發育期間的可溶性固形物變化(圖7)，在花後初期的變化量較小，花後6週開始隨著果實發育週數的增加而迅速提高，至最末週時可溶性固形物平均為9.5 °Brix。不同著果部位的果

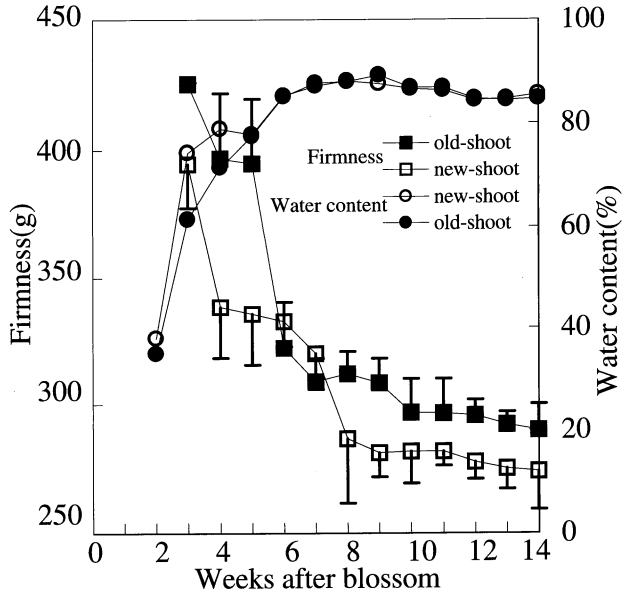


圖 6. '秤錘' 楊桃果實發育期間果稜硬度與果實水分含量之變化。

Fig.6. Development changes in fruit rib firmness and water content of 'Chun-Choi' carambola fruits born on different diameter shoot.

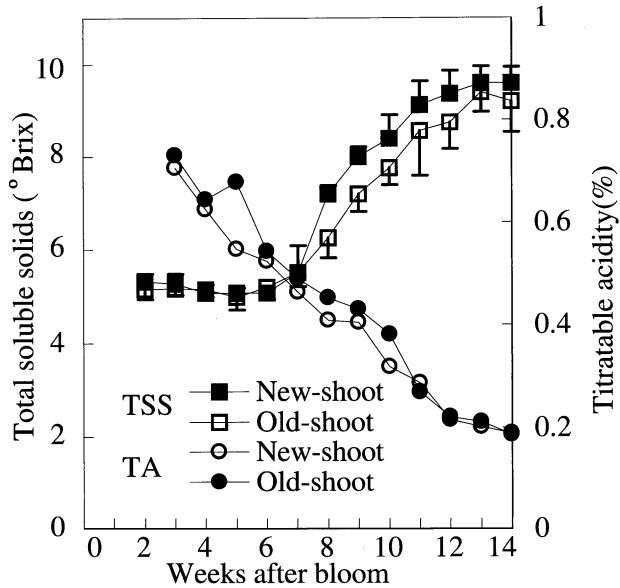


圖 7. '秤錘' 楊桃果實發育期間可溶性固形物 (TSS) 與可滴定酸 (TA) 之變化。

Fig.7. Development changes in fruit total soluble solids and titratable acidity (TA) of 'Chun-Choi' carambola fruits born on different diameter shoot.

表3. '秤錘' 楊桃於花後12週不同著果部位果實之性狀調查結果

Table 3. Comparison of 'Chun-Choi' carambola fruits borne on different diameter shoot at the 12th week after blossom

Item	Old-shoot	New-shoot
Fruit length (cm)	13.8 ± 0.5	13.7 ± 0.5
Rib width (cm)	3.5 ± 0.2	3.1 ± 0.2
Rib thickness (cm)	2.7 ± 0.1	2.4 ± 0.1
Fruit weight (g)	267.5 ± 8.5	267.4 ± 22.2
Fruit volume (cm ³)	234.8 ± 27.3	227.6 ± 31.6
Fruit firmness (g)	295.8 ± 5.9	277.6 ± 6.3
Water content (%)	84.4	84.7
Total soluble solids (°Brix)	8.7 ± 0.6	9.4 ± 1.1
Titrateable acidity (%)	0.22	0.21
Fructose (%)	4.27	4.58
Sucrose (%)	3.81	3.93
Glucose (%)	0.05	0.06
Sugar acid ratio (%)	38.4	40.3

實以新枝較老枝為高，最末週時兩者相差0.4 °Brix。果實醣類的分析，主要含果糖及葡萄糖，且兩者含量頗為接近，葡萄糖的含量則較少（表3）。在花後6週時果糖、葡萄糖含量各為2.14%及2.05%，採收前則分別增加至4.43%及3.87%（調查結果未顯示）。

果汁可滴定酸的變化（圖7）為隨著果實的發育而快速下降，花後3週時老枝與新枝分別為0.73%及0.71%，至最末週時分別為0.19%及0.18%，發育期間老枝的可滴定酸均高於新枝，但二者差異並不明顯。果汁的糖酸比變化（圖8），於幼果期平均約為10，隨著果實發育週數的增加而上升，花後10週上升增加至25以上，至最末週時更達到50。

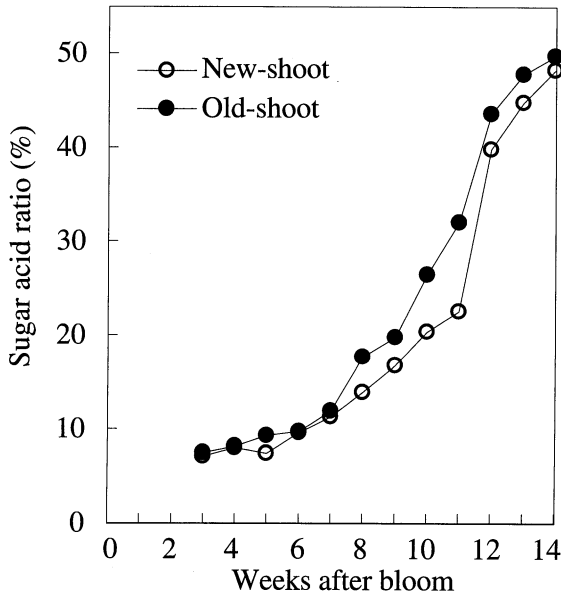


圖8. '秤錘' 楊桃果實發育期間糖酸比之變化。

Fig.8. Development changes in sugar acid ratio of 'Chun-Choi' carambola fruits born on different diameter shoot.

著果部位與果實發育

將不同著果部位間之‘秤錘’楊桃發育外觀及內容物組成分，在花後12週時的調查結果列如表3。在外觀形態上以老枝果實數值較高（稜厚除外），顯示其果實較大，果形較為短圓；而內容物組成上，老枝部位果實的可溶性固形物、醣類成分及水分含量較低，果實硬度及可滴定酸則較高；以整體風味而言，老枝果實的口感較為硬實、酸澀，品質較新枝的果實為差。

著果部位的果實貯藏性差異

貯藏期間外表色澤變化（表4），8分熟之夏果置於室溫下，7日後的果色變化，a值（紅綠互補色）由負值逐漸趨於正值，而b值（黃藍互補色）則稍有下降，因此楊桃果皮的呈色應是葉綠素不斷喪失的結果，類胡蘿蔔素在採收後並未繼續合成；而明度（L值）則逐日下降，光澤感逐日喪失。著果部位間以老枝果實色澤保持較新枝為脆綠，其褪綠或褐化速率亦較新枝為慢。果實經5°C冷藏21日後移至室溫下果皮色澤之變化（表5），明度（L）的下降速率較未經冷藏者為快，葉綠素的下降速率亦較高於未經冷藏處理者，顯示果實經冷藏後再予回溫後會導致果皮色快速轉褐，商品壽命減短。

表4. ‘秤錘’楊桃果實於室溫（28~32°C）下貯藏期間色澤之變化^a

Table 4. Changes in skin color of ‘Chun-Choi’ carambola fruits after harvest at room temperature (28~32°C)^a

Days at room temp.	L		a		b	
	Old-shoot	New-shoot	Old-shoot	New-shoot	Old-shoot	New-shoot
1	49.4 ± 2.2	49.8 ± 3.6	-0.9 ± 0.3	-0.6 ± 0.1	23.3 ± 1.6	20.8 ± 1.3
2	49.4 ± 3.1	49.4 ± 5.8	-0.6 ± 0.5	-0.2 ± 0.1	23.4 ± 0.7	21.4 ± 1.5
3	49.2 ± 1.9	49.3 ± 1.1	-0.5 ± 0.3	-0.1 ± 0.1	22.8 ± 0.6	21.4 ± 1.2
7	46.1 ± 5.5	47.8 ± 1.3	0.4 ± 0.3	0.6 ± 0.3	20.9 ± 1.0	21.8 ± 1.9
10	44.9 ± 3.4	47.8 ± 5.8	0.5 ± 0.2	0.9 ± 0.4	21.1 ± 0.6	24.1 ± 1.8
13	44.3 ± 1.8	46.5 ± 4.5	0.8 ± 0.2	1.3 ± 0.3	20.2 ± 1.2	22.5 ± 2.5
16	45.6 ± 4.0	45.6 ± 2.2	1.1 ± 0.6	1.4 ± 0.5	22.9 ± 0.1	22.9 ± 2.0

^a Same as in table 2.

表5. ‘秤錘’楊桃5°C冷藏21日後移至室溫（28~32°C）下色澤之變化^a

Table 5. Changes in skin color of ‘Chun-Choi’ carambola fruits stored at 5°C for 21 days prior to then at room temperature (28~32°C)^a

Days at room temp.	L		a		b	
	Old-shoot	New-shoot	Old-shoot	New-shoot	Old-shoot	New-shoot
1	48.1 ± 2.2	49.5 ± 2.9	-2.0 ± 0.1	-1.8 ± 0.0	21.9 ± 1.6	23.3 ± 2.1
3	46.5 ± 3.1	47.9 ± 3.0	-1.9 ± 0.2	-1.3 ± 0.0	22.7 ± 1.7	23.8 ± 1.2
5	46.7 ± 1.9	46.2 ± 1.8	-0.2 ± 0.1	-0.2 ± 0.1	26.2 ± 3.6	24.8 ± 1.8
7	43.7 ± 3.5	44.3 ± 3.0	-0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.1	21.3 ± 1.0	22.3 ± 2.1
9	42.9 ± 2.4	42.4 ± 1.9	0.2 ± 0.0	0.6 ± 0.0	21.5 ± 2.6	22.0 ± 2.5
12	40.7 ± 1.8	40.8 ± 2.5	0.7 ± 0.0	0.8 ± 0.1	16.5 ± 1.2	19.6 ± 1.1

^a Same as in table 2.

果實採收後置室溫下之失水百分率（圖9），初期以新枝稍高於老枝，1週以後則以老枝較高，惟其差異並不顯著；隨放置日數的增加，失水率亦逐漸的增加，著果部位間的差異較為明顯，調查至採下後23日，此時果稜嚴重已褐化萎縮，失水率平均達12%，已無商品價值；然果實採收7日後，因其果皮的褐化尚不明顯，此時失水率雖達3%，但仍具商品價值。而經5°C冷藏21日後再置室溫下之失水百分率（圖10），初期在部位間的差異亦不明顯，至19日調查結束後，新枝則較高於老枝，兩部位間相差4%。顯示老枝果實有較長的商品壽命。

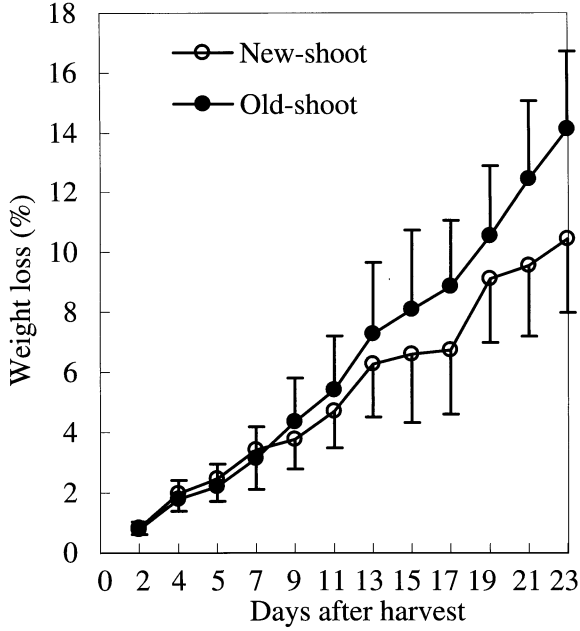


圖9. '秤錘' 楊桃果實室溫 (28~32 °C) 之失重百分率。

Fig. 9. Weight loss of 'Chun-Choi' carambola fruits after harvest at room temperature (28~32 °C).

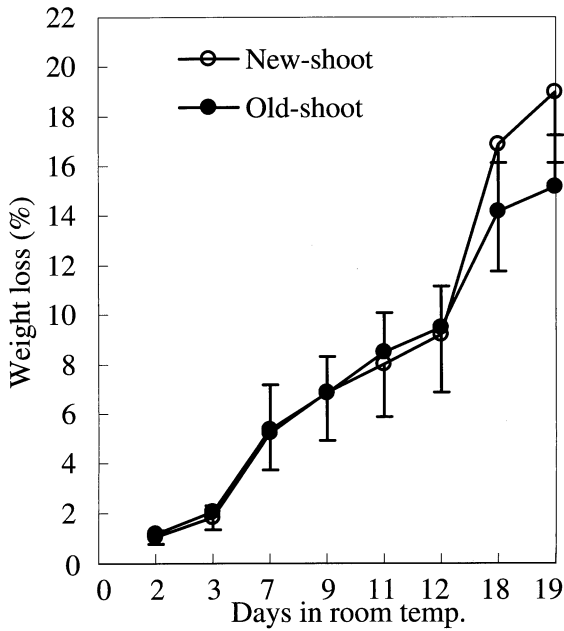


圖10. '秤錘' 楊桃果實冷藏5°C 21日後再移至室溫之失重百分率 (5°C 21 days → 28°C 19 days)。

Fig. 10. Weight loss of 'Chun-Choi' carambola fruits stored at 5 °C for 21 days prior to determine at room temperature.

討 論

‘秤錘’楊桃果實的發育生長曲線，由鮮重及體積的觀察上，呈現單S形生長曲線，此結果與其他楊桃品種^(12, 17, 19, 25)的觀察結果一致，並與蓮霧相似⁽¹⁰⁾。由果重與體積的生長曲線變化，整個果實生長發育過程可略分為三個階段：花後1週前，進行旺盛的細胞分裂 (cell division)，果實生長緩慢^(10, 13)，重量及體積的變化很小；花後9週前細胞不斷進行伸展與擴大，是細胞擴大期 (cell enlargement)，鮮重及體積的增加頗為明顯，可視為果實快速生長期；而花後10週以後果實的發育又趨於緩和，此階段主要進行內容物的轉化或是養分的貯藏，在外觀形態的變化量逐漸減少，並可視為進入生理成熟期；試驗結果可以做為果農在果實生長期間，噴施生長調節劑的參考。

在不同著果部位果實的生長速率比較上，老枝生長初期稍高於新枝，但至發育後期則較無明顯的差異，此與老枝蓄積有較多的貯藏養分，同時其果實細胞分裂較為旺盛，加上著果數也較少，枝條可以充分供應細胞分裂所需的營養，因此發育初期各項生化反應的進行較為迅速，果實較為肥大；但至中果期以後，由於新枝附近著生有較多的葉片可就近輸送光合成產物，補充果實發育所需的營養，加上其枝條的代謝活力亦較老枝為強，因此至後期果兩部位間的果實發育速率差異並不明顯。

‘秤錘’楊桃果實到達生理成熟期所需日數，5月開花者約需時10週，與本省其他楊桃品種^(12, 17, 19)的研究稍有差異，顯示果實的生長受品種、氣候條件及栽培管理方式的影響差異明顯，也因此目前楊桃栽培上較少以果實的發育日數來做為採收的指標依據^(19, 25)。

‘秤錘’楊桃果實含有豐富的類胡蘿蔔素⁽²¹⁾，果實成熟時呈現誘人的黃色。隨著果實的發育，果皮a值亦逐漸上升，但b值則稍有降低，顯示楊桃果實的呈色主要為葉綠素被分解的結果，而逐漸呈現黃色的底色，在花後13週時已全果轉黃，此結果與‘Arkin’及‘Golden Star’⁽¹⁹⁾兩品種的調查結果相似，但卻較‘二林’⁽¹⁷⁾的轉色期為早，可能係為品種特性或受果實發育期間累積溫度的影響。觀察楊桃果實的顏色變化，常從果尾末端最先轉黃，同時此部位的可溶性固形物含量也較高，顯示果皮的色素分布並不均勻或是果實的發育亦非同步進行，導致果實的品質與成熟速率不一致，此結果與紅龍果⁽⁹⁾的轉色或糖度在各部位的糖度分佈亦不均勻的情形相似。在不同的著果部位上，新枝著生的果實呈色較老枝的果實稍黃，可能與其著果位置位於樹冠較外層，接受光照的程度較老枝為充足或是因其果實的含糖量較高所導致，因此果實的轉色以新枝較快且果色較深。

隨著果實的逐漸成熟，細胞壁結構發生變化，果實硬度會逐漸降低而使質地變軟，其中楊桃果實的軟化尤以果膠分解酵素 (Pectinmethylesterase, PG) 的誘導活化，所導致細胞結構的變化最為重要⁽²⁰⁾。不同品種由於細胞壁結構強弱、細胞膜的厚度、細胞間隙的大小與酵素活性的不同，果實的硬度也有所不同。楊桃果實的硬度由發育初期的415g，逐漸降至最末週的290g，減少了30%，而使質地變得較為細緻可口。不同著果部位的果實，新枝的硬度較老枝為低，可能與新枝果實的細胞層數較老枝為少，因此細胞壁結構較老枝更為脆弱，果肉因此較老枝為細軟有關。

果實水分含量的變化，發育初期水分含量較低，花後2~3週起開始快速上升，而至花後7週以後即維持平穩，其上升曲線與鮮重及體積的初期變化相似，顯示果實鮮重與體積的增加主要為細胞肥大過程中，水分持續進入的結果，因此在果實快速發育期間 (3~7週) 應供給足夠的水分，乃為生產大形果實的基礎。

在可溶性固形物的含量變化上，完全成熟的楊桃達到最高，與其他楊桃栽培種^(12, 17, 19)的調查結果一致，並與其他果樹種類如番石榴⁽¹³⁾、蓮霧⁽¹⁰⁾及葡萄⁽⁴⁾果實的變化有相似的結果，均隨果實的發育逐漸增加；而果實中糖分的增加大致在種子轉色後開始 (花後7週)，此乃由於果實發育初期主要以合成結構物或進行其他生化反應為主，能量的需求較大，因此糖分的累積速度慢；而隨著果實的逐漸成熟，果實可分配到較多的碳水化合物，因此後期糖分累積快速。至於完熟前可溶性固形物的累積又趨於緩和，與果實肥大的同時所產生的稀釋作用或是糖類又再進行其他的轉化，以致不再繼續增加有關。在

著果部位間的可溶性固形物以新枝果實較高，此與新枝附近葉片可就近供給果實光合成產物及新枝的新陳代謝活力較高有關；但若是新梢所結的果實，因其對光合產物的競爭能力又較其他發育中的果實為強⁽²²⁾，營養競爭的結果，新梢所結的果實反比當年生枝果實的可溶性固形物低。至於果實內糖類成分的分析上，‘秤錘’楊桃以果糖及葡萄糖為最主要的糖，蔗糖含量甚微或無，且在發育後期一直沒有出現蔗糖的轉化或累積，因此採收以後的果實已無法再繼續果糖及葡萄糖的合成，同時亦無進行蔗糖的轉化，因此楊桃的風味在採收後不會提升。

‘秤錘’楊桃可滴定酸的變化為隨著果實的發育而逐漸下降，此與其他楊桃甜味種的變化類似^(17, 19)，並與前述番石榴⁽¹³⁾、印度棗⁽¹⁰⁾及葡萄⁽⁴⁾等果樹的變化相似。隨著果實的逐漸成熟，酸逐漸被氧化分解而減少，同時在果實肥大的同時也產生了稀釋作用，以致採收前有機酸持續下降。不同著果部位果實的有機酸含量，新枝的有機酸較低於老枝，此可能與新枝果實較接近樹冠周緣，其受光面較佳，且其枝條新陳代謝活力較強，因此較有利於酸的分解有關⁽²²⁾。

果實的風味除取決於糖酸含量的絕對值以外，並與糖酸比的關係密切。品質優良的楊桃果實糖酸比介於14-44之間⁽⁷⁾，‘秤錘’楊桃在花後9週糖酸比即超過20，同時在隨後的4週迅速上升，13週後又趨於緩和，因此於花後10週以後開始進行採收，果實的品質與風味為逐週上升。

不同著果部位間的果實品質調查上，與‘台農1號’⁽³⁾及‘馬來西亞’⁽⁴⁾等楊桃栽培種的結果一致，均以新枝的果實品質較佳。由於果實著生部位的品質受枝葉同化物質的運輸距離、貯藏養分多寡、新陳代謝能力及受光強弱的影響⁽⁶⁾，老枝部位的果實著生於較粗大的主幹及側枝上，此部位枝條常蓄積較前年所剩餘的養分，因此果實的發育初期，常可提供較充足的養分以供應果實進行細胞分裂所需的能量，也因此其細胞層數稍高於新枝果實，並致使其在體積、果重、稜寬、果長、周長的數值等方面均凌駕於新枝的果實；但在果實內容物成分的含量上，由於內容物的轉化常在果實的發育中後期，此時新枝附近的葉片常製造大量的光合產物可就近供應果實的需要，加上新枝的新陳代謝也較為旺盛，養水分運移速率快，因此在水分含量、可溶性固形物、醣類成分、可滴定酸、果實軟化速率等內容物的變化上，不論是蓄積或降解的變化均較老枝來得快，也因此新枝果實的品質常優於老枝部位的果實，其風味較佳。

不同著果部位的果實其貯藏品質稍有差異。在進行失水率調查的同時亦發現，在室溫下貯放的楊桃，初期以著果於樹冠較內圍的老枝果實，較不易有腐爛的發病現象，顯示其貯藏力較高於新枝的果實，然至1週以後之失水率反高於老枝。在梨⁽⁸⁾、蘋果⁽²⁴⁾等果樹亦發現位於樹冠外層的果實，可能由於鉀和乾物質的含量較高、氮和鈣的含量較低及鉀/鈣比高，因此生理病的得病機率較高，果實的貯藏力以樹冠內層者較高。然因老枝的果實常大於新枝，其表面積大，蒸散速率亦較為旺盛，Coombe及Bishop⁽¹⁸⁾表示採收後的果實如果水分損失過快，也會促進果實成熟的速率，老枝果實因較大，因此後期水分失水率高。

果實經5℃的低溫冷藏後再置於室溫，觀察新枝果實的罹病情形較高於老枝的果實，也與在低溫冷藏後的國光蘋果⁽²⁴⁾在貯藏期間橡皮病 (internet break) 罹病率較高的情形相似，此可能亦與果實發育部位的不同，果實內容物成分不同之差異所致。陶世蓉等人⁽⁸⁾也曾表示，耐貯藏的‘黃縣長把’梨的果實表皮細胞排列較為緊密，且細胞壁較厚，內含單寧物質較多，因此可以保護果實免於脫水及病蟲感染，觀察楊桃老枝的果實細胞數亦較新枝為多，排列亦較為緊密，因此老枝的果實耐貯藏。由於楊桃果實的有機酸含量頗高，其貯藏力較高於其他的熱帶果樹，再加上其乙烯生成速率及呼吸速率都低⁽¹⁷⁾，在發生寒害的臨界低溫以上的溫度貯藏，更可抑制其果實組成成分的變化，保持其品質。

綜合上述研究，在‘秤錘’果實的生產上，除因外銷需求進行的檢疫低溫處理外，以新枝部位的果實較優，果實品質較高。消費者在選購楊桃時，若從外觀形態上來判定，以稜愈厚實而飽滿、呈長橢圓形、果皮色較黃且稜邊不帶綠的果實為最佳。至於果實採收成熟期的決定，為同時顧及經濟價

值、產量、售價與外銷市場上的需要，5月開花的‘秤錘’楊桃果實在花後11週以後採收會有較佳的果實品質，此時果實特性表現為稜面色呈黃綠色、可溶性固形物含量8.3 °Brix、可滴定酸0.24%，同時隨著花後週數的增加，果實品質愈為提高。

誌 謝

本研究承蒙行政院農業委員會（89科技-1.1-糧-66(01-1)）補助經費，謹此致謝。

引用文獻

1. 王子慶、謝慶昌、林德勝。1997。甜楊桃果實外銷適性之研究。中華農業研究 46: 278-293。
2. 王武彰。1991。楊桃「台農1號」之育成。中華農業研究 40: 396-406。
3. 王武彰。1994。著果部位對楊桃產量與品質之影響。中華農業研究 41: 261-270。
4. 臺南區農業改良場 87 年年報。1999。楊桃產期調適及品質改進研究 p.36-37。台灣省台南區農業改良場編印。
5. 何妙齡。1984。台灣夏季與冬季葡萄果實發育期間有機酸與糖分含量變化之研究。菸試彙報 21: 80-91。
6. 林鴻淇。1991。果樹無機養分的吸收與運移。果樹營養與果園土壤管理研討會專集 1-10 頁。臺中區農業改良場特刊第 20 號。
7. 游若荻、王武彰。1987。楊桃之品質成分與加工利用之研究。中華農業研究 36:196-205。
8. 陶世蓉、辛華、初慶剛。1992。梨果實細胞之研究。萊陽農學院學報 9: 181-184。
9. 張鳳如、顏昌瑞。1997。仙人掌果紅龍之開花及果實生長。台灣省台中區農業改良場特刊第 38 號。提昇果樹產業競爭力研討會專集 p293-299。
10. 許仁宏、廖秀真、林慧玲、李國權。1998。蓮霧果實生育期間外部形態與內部有機成份的變化。中國園藝 44: 491-501。
11. 黃子彬、李金龍、楊耀祥。1984。巨峰葡萄一年多收對果實品質之影響。中國園藝 30: 111-119。
12. 黃維泯。1992。酸味種楊桃果實生長調查及其果汁去澀方法之研究。國立台灣大學食品科學研究所碩士論文 p38-40。
13. 楊宗獻、翁慎微、楊耀祥。1996。‘二十世紀’番石榴果實發育之研究。興大園藝 21: 1-16。
14. 楊淑惠、王武彰。1994。秤錘種楊桃的貯藏品質。中華農業研究 42:387-395。
15. 劉業經、呂福原、歐辰雄。1994。台灣樹木誌。571 頁。國立中興大學農學院叢書。台中。
16. 劉碧鵲、王武彰。1996。楊桃產業之栽培現況與展望。台灣熱帶地區果園經營管理研討會專刊 p.135-146。
17. 謝慶昌。1985。楊桃果實生長調查及採收後處理之研究。國立台灣大學園藝學研究所碩士論文 117pp。
18. Coombe, B. G., and G. R. Bishop. 1980. Development of the grape berry. II Changes in diameter and deformability during veraison. Aust. J. Agric. Res. 31: 499-501.
19. Campbell, C. A., and K. E. Koch. 1989. Sugar/acid composition and development of sweet and tart carambola fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114: 455-457.
20. Ghazali, H. M., and K. S. Peng. 1993. Changes in polyglacturonase activity and texture during ripening of starfruit. ASEAN Food J. 8: 153-156.
21. Gross, J., R. Ikan, and G. Eckhardt. 1983. Carotenoids of the fruit of *Averrhoa carambola*. Photochemistry 22: 1479-1481.
22. Kadoya, K. 1974. Studies on the distribution and diversion of photosynthates within tree parts during the growth of Satsuma mandarin fruit. Memoirs of the Collage of Agriculture, Ehime University 18: 193-254.
23. Koch, K. E. 1984. The path of photosynthate translocation into citrus fruit. Plant Cell Environ. 7: 647-653.
24. Jackson, G. 1974. Polyphenols in golden delicious apple in relation to method of preparation. J. Agric. Food Chem. 24: 448。
25. Siti, H. A. and M. Y. Jaafar. 1992. Effect of harvest maturity on physical and chemical characteristics of carambola. New Zealand J. Crop Hort. Sci. 20:133-136.
26. Voss, D. H. 1992. Relating colorimeter measurement of plant color to the royal horticulture society color chart. Hort Science 27: 1256-1260.
27. Watson, B. J., A. P. George, R. J. Nissen, and B. I. Brown. 1988. Carambola : a star on the horizon. Queensl. Agric. J. 114:45-51.

Effect of Different Diameters of Shoots on Development and Storage Quality of Carambola Fruit¹

Pi-Chuan Liu², Yau-Shiang Yang^{3,4}, Der-Lan Wang and
Tsu-Ching Wang²

Summary

The objective of this study is to study the effect of different ages of shoots on the development and storage quality of fruits of 'Chun-Choi' carambola (*Averrhoa carambola*) in the same trees. The results showed that the carambola fruit growth curve is single sigmoid indicating no stagnant period during fruit development. The fruits, which blossomed in May, increase rapidly in fruit length, rib thickness, rib width and fruit circumference one week after blossom. However, increase of fresh weight and size of fruits and accumulation of total soluble solids (TSS) started from 4th week and 7th weeks, respectively, after blossom. The fruits reach into physiologically matured period when the appearance of outer growth turned mild at the 10 weeks after blossom. Meanwhile, the fruit color turned gradually from dark green during development period into complete yellow of maturity period. The interior components are also changed. Water content, total soluble solids and sugar content were increase with the increase of fruit size, whereas hardness and titratable acid were decrease. Compare to young shoots, fruits born on old shoots were heavier and larger, with wider rib, short oval shaped and lighter skin color. Their fruit components including total soluble solids and sugar content were lower, whereas titratable acid and hardness were higher. The storage quality of fruits born on different age shoots was also different. Fruits born on old shoots lost less weight in the first week at room temperature, but lost more in later stage. Meanwhile, the old shoot-producing fruits lost less weight after storage at 5 °C for 21 days and then at room temperature for 19 days fruits.

Key words : star fruit, carambola, fruit growth, fruit quality.

1. Contribution No.2105 from Council of Agriculture Research Institute. Accepted by March 6, 2002.

2. Assistant Researcher, Horticulturist and Head of Department of Tropical Fruit Trees, Associate, Respectively. Fengshan Tropical Horticulture Experiment Station, Taiwan Agriculture Research Institute. Fengshan Kaohsiung, Taiwan, ROC.

3. Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.

4. Corresponding author, E-mail:ysyang@dragon.nchu.edu.tw; Fax:(04)22851320.