

成熟度對桑椹鮮果與果乾品質之影響

張雅玲*、邱益群、賴瑞聲

農業部苗栗區農業改良場

摘要

為瞭解採收之成熟度對桑椹之影響，本試驗使用桑樹「苗栗 1 號」、「苗栗 2 號」及「83C009」等三個品種(系)之未成熟果(果皮顏色轉色 20%)、半成熟果(果皮顏色轉色 50%)及成熟果(果皮顏色轉色 90%)進行鮮果與乾燥後之果乾品質及成分含量測定。試驗結果顯示新鮮果實寬度、重量、可溶性固形物、可滴定酸、糖酸比、總酚化合物、總類黃酮及總花青素含量受到品種(系)與成熟度兩種因子之影響呈現顯著性差異，且品種(系)與成熟度之交感效應亦為顯著。「苗栗 1 號」之成熟果果寬最大(20.0 mm)，且低可滴定酸含量(0.6%)，使其糖酸比(12.2)為三者最高者，並且有最高的總類黃酮含量($266.7 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)。「苗栗 2 號」之成熟果果重最大(6.7 g)與最高的可溶性固形物(11.3 °Brix)，亦有總酚化合物及總花青素含量，分別為 $1674.0 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 與 $293.4 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。桑椹果乾酚類含量及抗氧化能力受到品種(系)因子影響較顯著，「83C009」有較高的總酚化合物及總類黃酮含量，桑樹「苗栗 1 號」有較高的總花青素含量及 DPPH。綜合試驗結果顯示桑樹「苗栗 1 號」及「苗栗 2 號」兼具鮮食與加工用途，「83C009」則適合加工利用。

關鍵詞：桑椹、成熟度、果乾、品質、酚類、DPPH

*通訊作者電子郵件位址：ylchang@mdares.gov.tw

前言

桑椹為桑科(Moraceae)桑屬(*Morus*)多年生落葉性果樹(Ercisli and Orhan, 2007)，原生於中國大陸，因對環境之適應性強而廣佈世界各地，包括亞洲、非洲、

美洲、歐洲和印度 (Khan *et al.*, 2013)。台灣全區皆可種植，南部因乾燥少雨，較其他地區更適合桑椹生產。桑之種植最初為使用葉片於蠶隻飼育 (Arabshahi-Delouee and Urooj, 2007; Sohn *et al.*, 2009)，因桑椹具有總酚 (total phenols)、類黃酮 (flavonoid)、花青素 (total anthocyanins)、白藜蘆醇 (resveratrol) 及槲皮酮 (quercetin) 等機能性成分及抗氧化物質 (Bae and Suh, 2007; Wang and Hu, 2011; Natić *et al.*, 2015)，可預防心血管疾病、抗癌、抗發炎、抗糖尿病及保護肝臟而受到重視 (Qin *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2018; Kim and Lee, 2020)，且桑椹酚類化合物含量高於黑莓、藍莓、覆盆子和草莓，顯示桑椹可以作為酚類化合物的良好來源 (Chen *et al.*, 2017)。

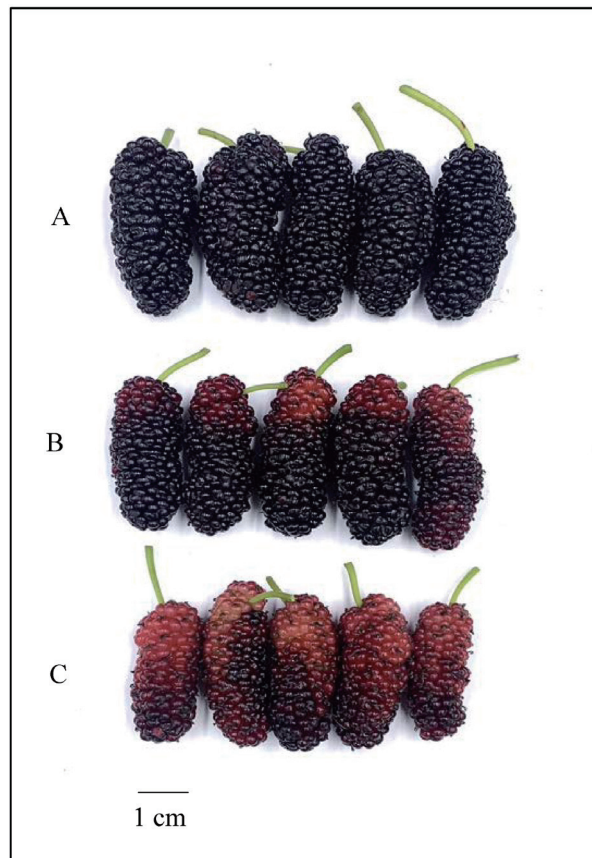
桑椹為非更年性果實，適當的成熟期採摘果實可獲得良好的營養品質、保存期和市場價格 (Nayab *et al.*, 2020)，成熟度通常通過外觀、質地和顏色來判斷 (Mahmood *et al.*, 2017)。台灣桑椹商業採收標準以完全成熟、果皮轉為紫黑色果實為主 (張及謝, 2012)，由於含水量高於 80% (Yang *et al.*, 2010)，貯藏和運送過程中容易碰傷，導致果實腐爛而保存不易，Park 等 (2013) 試驗結果顯示，成熟果實比未成熟果實柔軟，更容易滋生黴菌，導致品質下降。收穫後可透過冷凍或加工延長果實食用時間 (Yu *et al.*, 2014)，包含果醬、果汁及酒醋等多元化產品 (Gerasopoulos *et al.*, 1997; Ercisli and Orhan, 2007)，並延伸使用於天然色素和化妝品 (Imran *et al.*, 2010; Nayab *et al.*, 2020)。桑椹中富含花青素，可作為天然色素的來源，成為食品工業中安全著色劑 (Qin *et al.*, 2010)。桑椹具有極高的自由基清除能力，並且可抑制酪胺酸酶 (tyrosinase) 活性，而被應用於肌膚保養品中 (Jan *et al.*, 2021)。

桑椹的化學成分和營養含量受到品種 (基因型)、環境條件、採收成熟度和採後加工方式而異 (Mahmood *et al.*, 2017)，因此需要選擇具有最佳果實品質的品種，並且在適當成熟階段收穫 (Nayab *et al.*, 2020)。果實品質包括最佳果實大小、品嚐風味及營養成分 (Okatan *et al.*, 2016)，必須滿足消費者對營養需求和加工產業所需 (Nayab *et al.*, 2020)。考量保健訴求及加工需求之差異性，本研究使用不同成熟度的桑樹「苗栗 1 號」、「苗栗 2 號」及「83C009」等三個品種 (系)，測定不同成熟度的果實，未成熟果 (果皮轉色 20%)、半成熟果 (果皮轉色 50%) 及成熟果 (果皮轉色 90%) 測定品質及抗氧化能力，比較不同成熟度桑椹果實品質及抗氧化能力之差異。

材料與方法

一、桑椹原料與分級

原料取自於苗栗區農業改良場種植之桑樹「苗栗 1 號」、「苗栗 2 號」及育成品系「83C009」，依照果皮由紅轉深紫黑之轉色程度，區分為未成熟果 (果皮轉色 20%)、半成熟果 (果皮轉色 50%) 及成熟果 (果皮轉色 90%) 等三種不同果實成熟度 (圖一)，選擇外觀大小一致，且無病害及蟲害之果實，鮮果外觀性狀、重量及果乾成分含量、抗氧化能力為測定 10 顆果實，每個果實為一重複，共 10 重複。鮮果其餘品質、成分含量及抗氧化能力則將 10 顆果實合併榨汁後視為一重複，共 10 重複。



圖一、不同成熟度之桑椹 (以桑樹「苗栗 2 號」為例)

Fig. 1. Mulberry with different maturity levels (Mulberry 「Miaoli No. 2」 as an example)

A= Mature, B= Semi-immature mature, C= Immature.

二、鮮果品質測定

將不同成熟度之桑椹果實分別測定果實長度、果實寬度及重量，榨汁後測定總可溶性固形物及可滴定酸。

- (一) 果實長度 (fruit length) 及果實寬度 (fruit width)：以游標卡尺測量果實長度及果實寬度，單位以公厘 (mm) 表示。以果實長度及果實寬度數據換算果型指數，公式為果實長度除以果實寬度。
- (二) 重量 (weight)：使用電子磅秤測量果實重量，單位以公克 (g) 表示。
- (三) 總可溶性固形物 (total soluble solids)、可滴定酸 (titratable acidity) 及糖酸比 (acid-sugar ratio)：果實榨汁後使用糖度計 (refractometer PAL-1) 測定總可溶性固形物，單位以°Brix 表示，使用自動滴定儀 (Titralab AT1000) 測定可滴定酸，以 0.1 N NaOH 溶液滴定，所得之數值再以檸檬酸 (0.0064) 換算，單位以%表示。以總可溶性固形物及可滴定酸數據換算糖酸比，公式為總可溶性固形物除以可滴定酸。

三、鮮果成分含量及抗氧化能力測定

上述不同成熟度鮮果榨汁後測定總酚化合物、總類黃酮、總花青素含量及清除 DPPH (α, α -diphenyl- β -picrylhydrazyl) 自由基能力測定。

- (一) 總酚化合物含量 (total phenols content)：使用微量盤式分光光度計 (Epoch 2 Microplate Spectrophotometer, BioTek) 檢測。參考 Quettier-Deleu 等 (2000) 之試驗方法並修改，以磷鉬酸酚試劑 (Folin-Ciocalteu phenol reagent, FC) 測定萃取液的總酚含量。於 20 μ L 樣品中加入十倍稀釋的 Folin-Ciocalteu 試劑 100 μ L，再加入 80 μ L Na₂CO₃ (7.5% w/v)，放置室溫 10 分鐘，使用分光光度計讀取 765 nm 波長的吸光值，單位以 μ g. mL⁻¹ 表示。
- (二) 總類黃酮含量 (total flavonoid content)：參考 Meyers 等 (2003) 之試驗方法並修改，以三氯化鋁比色法 (aluminum chloride colorimetric method) 評估樣品之類黃酮含量。於 140 μ L 樣品中加入 30 μ L 10% Al(NO₃)₃ 及 30 μ L 1M CH₃COOK，混合均勻後置於室溫下 40 分鐘，使用分光光度計讀取 415 nm 波

長的吸光值，單位以 $\mu\text{g. mL}^{-1}$ 表示。

- (三) 總花青素含量 (total anthocyanin content)：參考 Prior 等 (1998) 之試驗方法並修改，以 pH 差異法 (pH differential method) 測定總花青素含量。取 100 μL 樣品分別與 pH 1.0 氯化鉀緩衝液 (0.1 M potassium chloride buffer) 及 pH 4.5 醋酸鈉緩衝液 (0.1 M sodium acetate buffer) 100 μL 混合均勻後，靜置於暗室 20 分鐘，以分光光度計讀取 520 nm 及 700 nm 波長的吸光值，並帶入下列公式計算總花青素含量，單位以 mg. L^{-1} 表示。

$$\text{total anthocyanin contents} = (A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1000) / (\varepsilon \times l \times W)$$

$$A = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}1.0} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}4.5}$$

MW：cyanidin-3-glucoside 之分子量， $\text{MW} = 449.2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

DF：dilution factor (稀釋倍數)

ε ：molar extinction coefficient， $\varepsilon = 26,900 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

l：光通過的路徑 (1 cm)

W：萃取物的重量 (g)

- (四) 清除 DPPH 自由基能力：參考 Arfan 等 (2012) 之試驗方法並修改，以乙醇配製 0.1mM DPPH 試劑，將樣品稀釋成不同濃度後，取 70 μL 加入 140 μL 0.1mM DPPH 試劑後，避光反應 30 分鐘，再以微量盤分光光度計檢測 517nm 處之吸光值，並以抗壞血酸配置不同濃度之標準品繪製標準曲線，單位以 % 表示。

四、果乾成分含量及抗氧化能力測定

將上述不同成熟度及品種 (系) 桑椹鮮果置入烘箱以 50°C 乾燥 24 小時，秤取 0.5 公克桑椹果乾加入 10mL 酸化甲醇 (100% 甲醇 +1% 1N HCl) 浸泡 12 小時，以均質機均質 12 小時後，使用離心機 (UNIVERSAL 320 R, Hettich) 於 4°C 以 5,000rpm 離心 5 分鐘，取出上清液保存於 4°C 冰箱靜置備用。總酚化合物、總類黃酮、總花青素含量及清除 DPPH 自由基能力測定方法如上述。

總酚化合物含量以每克樣品乾重所含沒食子酸 (gallic acid) 當量毫克數 (GAE mg. g DW^{-1}) 表示，總類黃酮含量以每克樣品乾重所含槲皮素 (quercetin) 當量毫克數

(QE mg. g DW⁻¹) 表示，總花青素含量以每克樣品乾重所含 cyanidin-3-glucoside 當量毫克數 (CGE mg. g DW⁻¹) 表示。

五、統計分析

試驗數據資料以 SAS Enterprise Guide 7.1(statistic analysis system software- Enterprise Guide 7.1) 軟體進行變異數分析 (ANOVA)，在線性模型 (linear model) 及最小平方方法 (least squares) 檢定下，若 $p < 0.05$ 表示兩者之間有顯著性差異。

結果

一、新鮮桑椹鮮果品質比較與成分分析

由不同成熟度對桑椹鮮果品質影響之變方分析結果得知 (表一)，果實寬度、重量、可溶性固形物、可滴定酸、糖酸比、總酚化合物、總類黃酮、總花青素含量受到品種 (系) 與成熟度兩種因子之影響呈現顯著性差異，且品種 (系) 與成熟度之交感效應亦為顯著。果實長度受到品種 (系) 與成熟度兩種因子之影響呈現顯著性差異，但品種 (系) 與成熟度之交感效應不顯著，果型指數因不同品種 (系) 而產生變化，DPPH 表現則受到不同果實成熟度的影響。

不同品種 (系) 的桑椹果實外觀及成分隨著成熟度增加而增加 (表二)，三個品種 (系) 中以桑樹「苗栗 1 號」果寬最大，未成熟果、半成熟果及成熟果果寬分別為 16.5、18.8 與 20.0 mm。桑樹「苗栗 2 號」果寬次之，由 14.4 增加至 15.8 mm。「83C009」果寬為三者最小者，由 10.7 增加至 12.1 mm。成熟果之桑樹「苗栗 2 號」果重最大 (6.7 g)，桑樹「苗栗 1 號」果重次之 (6.4 g)，「83C009」果重為三者最小者 (3.9 g)。

成熟果之桑樹「苗栗 2 號」可溶性固形物最高 (11.3 °Brix)，桑樹「苗栗 1 號」與「83C009」兩者之可溶性固形物未達到顯著性差異，分別為 6.9 °Brix 與 7.0 °Brix。桑樹「苗栗 1 號」之成熟果因具有低可滴定酸 (0.6 %)，使其糖酸比 (12.2) 為三者最高者。桑樹「苗栗 2 號」與「83C009」兩者受到高可滴定酸影響 (皆為 1.0%)，糖酸比較低，分別為 10.8 與 7.1。

表一、不同品種 (系) 及成熟度桑椹鮮果品質之變方分析結果

Table 1. Results of ANOVA analysis for different varieties (lines) and maturity levels for determination of fruit quality, phenolic compounds, antioxidant capacity of mulberry

Source	DF	Fruit length	Fruit width	Fruit shape index	Weight	Total soluble solids	Titratable acidity	Acid-sugar ratio	Total phenols content	Total flavonoid content	Total anthocyanins content	DPPH
Cultivated (line)	2	473.0**	374.4**	20.6**	44.8**	27.6**	3.6**	3.8**	173152.2**	5742.5**	22319.3**	186.9
Maturity	2	101.2**	33.3**	1.0	26.6**	58.2**	4.8**	275.3**	3754053.0*	133591.1**	133557.3**	647.4**
C x M	4	8.9	4.0**	0.5	2.0**	7.5**	0.8**	24.1**	67491.9**	542.1**	11155.0**	192.5
Error	81	3.8	1.4	0.9	0.2	0.01	0.001	0.05	1623.5	30.9	24.6	99.8

*, **, Significant at 5% and 1% levels, respectively.

表二、比較不同品種 (系) 及成熟度桑椹鮮果品質特性

Table 2. Comparison of mulberry fruit quality of different varieties (lines) and maturity levels

Fruit maturity	Cultivated (line)	Fruit width (mm)	Weight (g)	Total soluble solids (° Brix)	Titrateable acidity (%)	Acid-sugar ratio
Immature fruit	Miaoli No.1	16.5 c	3.9 f	5.0 f	1.9 c	2.7 g
	Miaoli No.2	14.4 e	4.7 e	5.9 c	2.5 a	2.4 g
	83C009	10.7 g	2.9 g	4.5 g	1.2 e	3.8 e
Semi- immature fruit	Miaoli No.1	18.8 b	5.5 c	5.1 e	1.5 d	3.4 f
	Miaoli No.2	14.8 e	5.2 d	6.0 c	2.3 b	2.6 g
	83C009	11.3 fg	3.1 g	5.2 d	1.1 f	4.9 d
Mature fruit	Miaoli No.1	20.0 a	6.4 b	6.9 b	0.6 h	12.2 a
	Miaoli No.2	15.8 d	6.7 a	11.3 a	1.4 f	10.8 b
	83C009	12.1 f	3.9 f	7.0 b	1.0 g	7.1 c

^z Means with the same letter(s) within a column were not significantly different at 5 % level by LSD test.

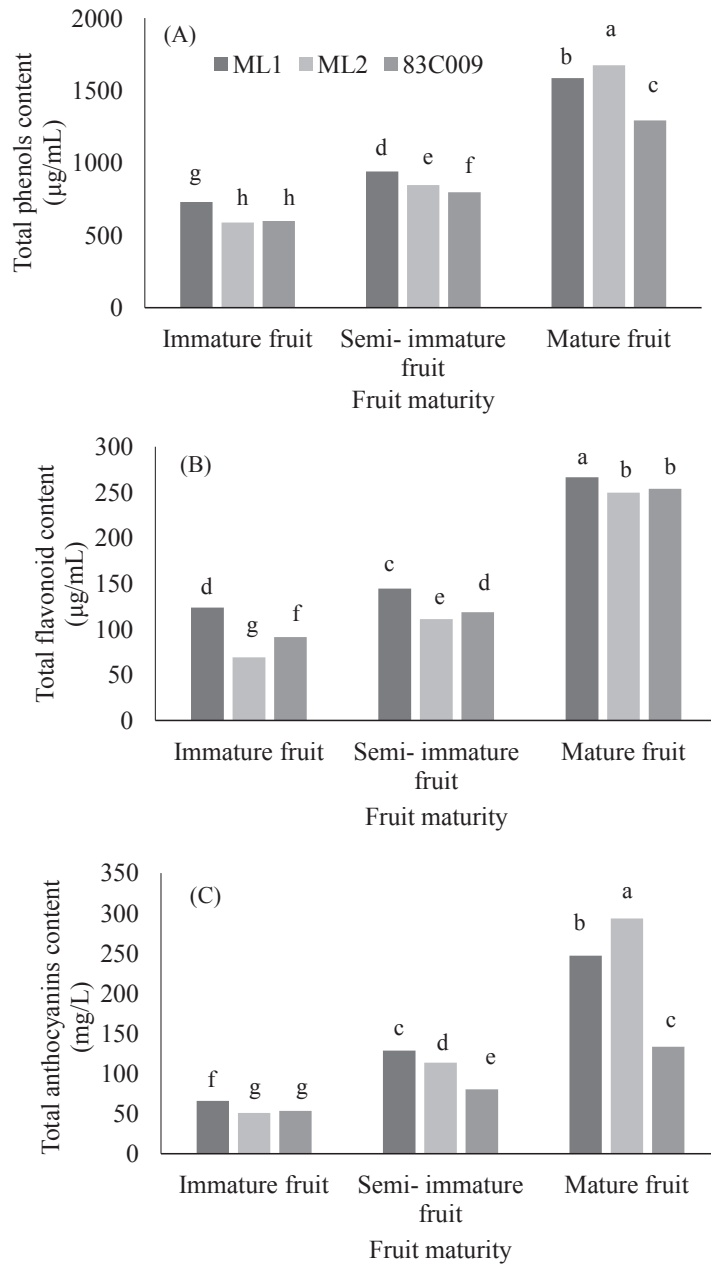
表三、比較不同品種 (系) 及成熟度桑椹鮮果長度、果型指數及抗氧化能力

Table 3. Comparison of the fruit length, fruit shape index and antioxidant capacity of mulberry with different varieties (lines) and maturity levels

Sample		Fruit length (mm)	Fruit shape index	DPPH (%)
Cultivated (line)	Miaoli No.1	33.8 c ^z	1.8 c	96.0 a
	Miaoli No.2	41.7 a	2.8 b	90.5 a
	83C009	37.3 b	3.5 a	90.4 a
	LSD	1.0	0.5	6.7
Fruit maturity	Immature fruit	36.1 c	2.9 a	96.5 a
	Semi-immature fruit	37.1 b	2.6 a	95.0 a
	Mature fruit	39.6 a	2.6 a	85.4 b
	LSD	1.0	0.5	6.7

^z Means with the same letter(s) within a column were not significantly different at 5 % level by LSD test.

由表三結果得知，桑椹果長以桑樹「苗栗 2 號」最長，「83C009」次之，桑樹「苗栗 1 號」最短，分別為 41.7、37.3 及 33.8 mm，果實成熟度越高則果長越大，未成熟果至成熟果果長由 36.1 增加至 39.6 mm。桑樹「苗栗 1 號」果型指數為 1.7，外觀偏圓柱型，桑樹「苗栗 2 號」為 2.8，外觀為長圓柱型，「83C009」為 3.3，外觀呈長條型。三個品種 (系) 之 DPPH 未達顯著差異性，介於 90.4 至 96.0% 之間，



圖二、比較不同品種 (系) 及成熟度桑椹鮮果總酚化合物 (A)、總類黃酮 (B) 及總花青素 (C) 含量

Fig. 2. Comparison of the quantity of total phenolic compounds (A), total flavonoids (B), and total anthocyanins (C) of mulberries of different varieties (lines) and maturity levels. Error bar represents the standard error of mean ($n=10$). Mean with same letter(s) represent not significantly different at $p \leq 0.05$ according to Fisher's protected LSD test.

但果實成熟度影響 DPPH，未成熟果及半成熟果有較高的 DPPH，成熟果較低，分別為 96.5、95.0 及 85.4%。

新鮮桑椹果實之總酚化合物、總類黃酮、總花青素含量 (圖二) 增加趨勢與果實外觀相似，各個桑椹品種於未成熟果之總酚化合物、總類黃酮及總花青素含量皆較低，果實成熟度越高，含量亦隨之增加，當果實達到成熟時，增加 2 至 5 倍不等。桑樹「苗栗 2 號」之成熟果有最高的總酚化合物及總花青素含量，分別為 $1674.0 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 與 $293.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，桑樹「苗栗 1 號」之成熟果有最高的總類黃酮含量 ($266.7 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)，相較於其他品種及成熟度果實含量，達到顯著性差異。

二、桑椹果乾成分分析

由不同成熟度對桑椹果乾酚類及抗氧化能力影響之變方分析結果得知 (表四)，果乾中總類黃酮含量受到品種 (系) 與成熟度兩種因子之影響呈現顯著性差異，且品種 (系) 與成熟度之交感效應亦為顯著。果乾總酚化合物含量及 DPPH 因不同品種 (系) 而產生差異，品種 (系) 與成熟度之交感效應亦為顯著，但不受到不同果實成熟度的影響。果乾總花青素含量受到品種 (系) 與成熟度兩種因子之影響呈現顯著性差異，但品種 (系) 與成熟度之交感效應不顯著。

表四、不同品種 (系) 及成熟度桑椹果乾酚類化合物及抗氧化能力之變方分析結果
Table 4. Results of ANOVA analysis for different varieties (lines) and maturity levels for determination of phenolic compounds and antioxidant capacity of dried mulberry fruit

Source	DF	Total phenols content	Total flavonoid content	Total anthocyanins content	DPPH
Cultivated (line)	2	22.82**	10.5**	0.035*	628.0**
Maturity	2	0.98	7.92**	0.073*	1.7
C x M	4	8.22**	2.90**	0.004	149.5**
Error	36	0.67	0.18	0.012	22.4

*, ** Significant at 5% and 1% levels, respectively.

桑椹果乾總酚化合物含量及 DPPH 受到不同品種 (系) 之影響 (表五)，以

「83C009」果乾總酚化合物含量最高，達 9.71 mg GAE. g DW⁻¹，桑樹「苗栗 1 號」果乾 8.92 mg GAE. g DW⁻¹ 次之，桑樹「苗栗 2 號」果乾 7.29 mg GAE. g DW⁻¹ 最低。三個品種 (系) 中以桑樹「苗栗 1 號」果乾之 DPPH 84.1% 最高，「83C009」果乾為 77.9% 次之，桑樹「苗栗 2 號」果乾 71.1% 最低，三者之間達到顯著性差異。

表五、比較不同品種 (系) 及成熟度桑椹果乾總酚化合物含量及抗氧化能力

Table 5. Comparison of total phenolic compound content and antioxidant capacity of dried mulberry fruits of different varieties (lines) and maturity levels

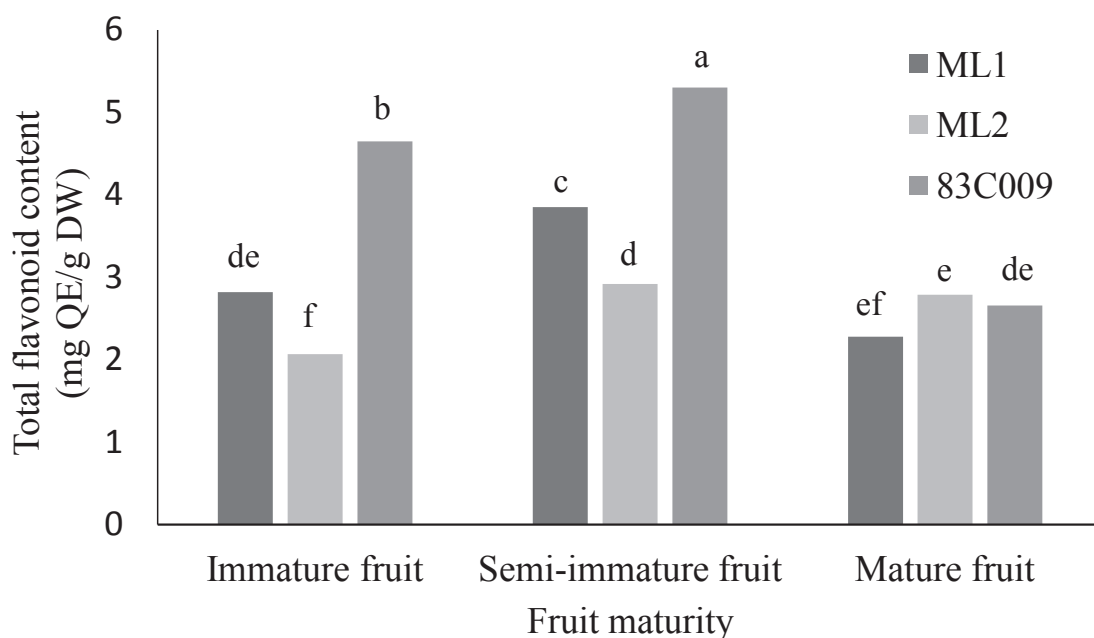
Sample		Total phenols content (mg GAE /g DW)	Total anthocyanins content (mg CGE/g DW)	DPPH (%)
Cultivated (line)	Miaoli No.1	8.92 b ^z	1.47 a	84.1 a
	Miaoli No.2	7.29 c	1.38 b	71.1 c
	83C009	9.71 a	1.38 b	77.9 b
	LSD	0.6	0.08	3.5
Fruit maturity	Immature fruit	8.36 a	1.37 b	77.8 a
	Semi-immature fruit	8.73 a	1.37 b	77.3 a
	Mature fruit	8.85 a	1.49 a	78.0 a
	LSD	0.6	0.08	3.5

^z Means with the same letter(s) within a column were not significantly different at 5 % level by LSD test.

桑樹「苗栗 1 號」果乾有最高的總花青素含量，為 1.47 mg CGE. g DW⁻¹，桑樹「苗栗 2 號」及「83C009」果乾之總花青素含量皆為 1.38 mg CGE. g DW⁻¹。三個品種 (系) 成熟果總花青素含量為 1.49 mg CGE. g DW⁻¹，高於未成熟果及半成熟果的 1.37 mg CGE. g DW⁻¹。果乾總酚化合物含量及 DPPH 則未受到果實成熟度之影響，三種成熟度之間未達到顯著性差異，乾果總酚化合物含量介於 8.4 至 8.8 mg GAE. g DW⁻¹ 之間，DPPH 介於 77.3 至 78.0% 之間。

三個品種 (系) 之果乾中總類黃酮含量由未成熟果至半成熟果為增加趨勢 (圖三)，桑樹「苗栗 1 號」果乾由 2.82 增加 3.85 mg QE. g DW⁻¹，桑樹「苗栗 2 號」果乾由 2.07 增加 2.92 mg QE. g DW⁻¹，「83C009」果乾之總類黃酮含量為三個品種

(系)之果乾中最高者，由 4.65 增加 5.30 mg QE. g DW⁻¹。三個品種(系)之果乾中總類黃酮含量由半成熟果至成熟果呈現下降趨勢，成熟果之桑樹「苗栗 1 號」、桑樹「苗栗 2 號」與「83C009」果乾總類黃酮含量分別為 2.28、2.79 及 2.66 mg QE. g DW⁻¹，三者之間未達到顯著性差異。



圖三、比較不同品種(系)及成熟度桑椹果乾之總類黃酮含量

Fig. 3. Comparison of the total flavonoid content of dried mulberry fruits of different varieties (lines) and maturity. Error bar represents the standard error of mean (n=5). Mean with same letter(s) represent not significantly different at $p \leq 0.05$ according to Fisher's protected LSD test

討論

由試驗結果得知，不同品種(系)之新鮮桑椹果寬、重量、可溶性固形物、可滴定酸、糖酸比、總酚化合物、總類黃酮、總花青素含量等果實品質受到成熟度之影響(表二及圖二)，Gerasopoulos 等(1997)報告中桑椹鮮重由未成熟果實的 4g 增加到完熟果實的 7g，可溶性固形物由每 100g 鮮重含有 10g 上升至 20g 以上，且完

熟果實的可滴定酸度較未成熟果實下降 50%。Nayab 等 (2020) 使用 4 個桑椹品種採收 2 個成熟度，隨著成熟度增加，果重和直徑呈現增加趨勢，與半成熟階段收穫的果實相比，完全成熟果實較半成熟果實有更高的可溶性固形物、可滴定酸及糖酸比。除了果實成熟度之差異，不同品種而亦有不同的可溶性固形物 (Kim and Lee, 2020)、酸度 (Özgen *et al.*, 2009)、總酚化合物含量 (Bae and Suh, 2007; Kim and Lee, 2020) 及總類黃酮含量 (Chen *et al.*, 2016) 變化。

本試驗中「苗栗 2 號」成熟果之可滴定酸為 1.4%，略高於張等 (2014) 所測出之 0.8%，非更年性水果的成熟過程中，可溶性固形物增加與澱粉分解為醣有關，可滴定酸增加可能是由於酸性化合物的形成或有機酸濃度增加所致 (Mahmood *et al.*, 2012)，而不同成熟階段和不同品種之間所存在的差異，亦與基因組成、使用的砧木、採收前的環境條件 (溫度、降雨量和土壤濕度等) 及果實中存在的生物活性化合物的差異性有關 (Nayab *et al.*, 2020)。

桑椹色素中 60% 為花青素是矢車菊素 3-O- 芸香糖苷 (cyanidin 3-O-rutinoside)，38% 為矢車菊素 3-O- 葡糖苷 (cyanidin 3-O-glucoside)，其餘 2% 是天竺葵素 3-O- 葡糖苷 (pelargonidin 3-O-glucoside) 和天竺葵素 3-O- 芸香苷 (pelargonidin 3-O-rutinoside) (Qin *et al.*, 2010)。Aramwit 等 (2010) 試驗中紫色桑椹因成熟度高而有最高的花青素含量，其花青素含量是紅色桑椹的五倍以上，Aramwit 等 (2010) 認為是因為紫色桑椹中含有大量的糖，進而導致花青素含量升高。Gonzalez-SanJos (1992) 指出葡萄中的花青素和糖之間具有相關性，因為糖是花青素生物合成的初始前體 (Ruhnan and Forkmann, 1988; Teusch *et al.*, 1987)。本試驗中桑樹「苗栗 2 號」成熟果有最高的可溶性固形物含量 (表二)，總花青素亦為最高者 (圖二)，此結果與前人研究結果相符。前人研究認為桑椹總酚化合物及總花青素含量與 DPPH 有關，總酚化合物在 DPPH 自由基清除中發揮重要作用 (Chen *et al.*, 2016)，總花青素含量也與抗氧化活性密切相關 (Hassimotto *et al.*, 2008)，成熟的桑椹富含花青素，並具有高抗氧化活性 (Lee and Hwang, 2017)。Nayab 等 (2020) 試驗中總酚化合物含量和 DPPH 皆在桑椹成熟的過程中逐漸增加。本試驗中與前人研究結果相似，不同品種與不同成熟度之總酚化合物及總花青素含量有所差異 (圖二)，但 DPPH 不因品種不同而異，而與果實成熟度有關 (表三)。桑椹植物化學成分受到基因型和果實發育成熟過程中主

要環境條件影響，導致抗氧化活性有所不同 (Nayab *et al.*, 2020)。

本試驗結果中顯示，桑椹鮮果及果乾之最高酚類化合物含量在不同成熟度中，鮮果酚類化合物含量隨著成熟度增加而增加，成熟度最高的成熟果酚類化合物含量亦為最高 (圖二)，果乾中總酚化合物及總花青素含量受到品種之影響較大，不同成熟度果實之間影響較不顯著 (表五)，但最高總類黃酮含量在「苗栗 2 號」之近成熟果中被測得 (圖三)。Mahmood 等 (2012) 以熱風乾燥處理三種成熟度之桑椹，黑桑 (*M. nigra*) 黃酮含量從未成熟到半成熟階段逐漸增加 (8.56~56.62、8.10~43.46、52.57~63.30 mg. 100 g⁻¹)，而在完全成熟階段則下降 (31.67、11.75、56.10 mg. 100 g⁻¹)。Saensouk 等 (2022) 以冷凍乾燥處理 Chaingmai-60 品種 (視果實轉色程度，成熟度區分為 M0 至 M7)，在 M4 有最高總黃酮含量，隨後果實成熟度增加，但總黃酮化合物含量降低。

Butkhup 等 (2013) 將 8 個桑樹品種以 60°C 風乾處理，果實總酚化合物含量介於 104.8 至 213.5 mg GAE. 100 g⁻¹ DW 之間。Krzykowski 等 (2023) 以冷凍乾燥 (Freeze-Drying, FD) 和熱風乾燥 (Air-Drying, AD) 處理後桑椹酚類物質含量下降，隨著乾燥溫度的升高，降低桑椹中總酚化合物含量，但熱風乾燥處理對果實 DPPH 和 ABTS 影響較小。由於熱和光對桑椹萃取物中花青素的穩定性有顯著影響 (Aramwit *et al.*, 2010)，升高的溫度會降低花青素並降低抗氧化活性，暴露在光線下的時間越長，花青素含量和抗氧化活性就越低。由此可知，桑椹果實容易受到處理方法及環境條件的影響，使得酚類化合物的含量表現與鮮果有所差異。

結論

桑椹品種繁多，依據果實特性開發最佳的利用方式，更能符合經濟效益。由於鮮食著重於果實品質之良窳，本試驗結果顯示採收成熟度與果實外觀、糖酸度及酚類化合物有關，果實成熟度越高品質越佳，故鮮食需要採收高成熟度之果實。桑椹果乾之酚類化合物及抗氧化能力受到品種 (系) 之影響較大，而採收成熟度產生之影響不顯著，因此果乾製作需要選擇適當的品種 (系)。桑樹「苗栗 1 號」及「苗栗 2 號」高成熟度之鮮果品質佳，未成熟果及半成熟果可利用於果乾的製作，「83C009」雖然鮮果品質不如桑樹「苗栗 1 號」及「苗栗 2 號」，但其果乾有較

高的酚類化合物含量，因此桑樹「苗栗 1 號」及「苗栗 2 號」兼具鮮食與加工，「83C009」則適合加工利用。

誌謝

本研究承蒙行政院農業部農業科技計畫「開發桑椹作為加工原料素材 (109 農科 -22.1.3- 苗 -M1)」經費支持，本場作物改良科技工王雲斌及劉瑞莉小姐協助調查及分析，特此致謝。

參考文獻

- 張雅玲、謝慶昌。2012。桑「苗栗 1 號」不同成熟度果實特性之比較。興大園藝 37:11-19。
- 張雅玲、張哲嘉、王仁助、劉雲聰。2014。桑椹新品種 -「苗栗 1 號」及「苗栗 2 號」。苗栗區農業改良場特刊 3:12-23。
- Arabshahi-Delouee, S. and A. Urooj. 2007. Antioxidant properties of various solvent extracts of mulberry (*Morus Indica* L.) leaves. Food Chem. 102:1233-1240.
- Aramwit, P., B. Nipaporn, and S. Teerapol. 2010. The properties and stability of anthocyanins in mulberry fruits. Food Res. Int. 43:1093-1097.
- Arfan, M., R. Khan, A. Rybarczyk, and R. Amarowicz. 2012. Antioxidant activity of mulberry fruit extracts. Int. J. Mol. Sci. 13:2472-2480.
- Bae, S.H. and H.J. Suh. 2007. Antioxidant activities of five different mulberry cultivars in Korea. Food Sci. Technol. 40:955-962.
- Butkhup, L., W. Samappito, and S. Samappito. 2013. Phenolic composition and antioxidant activity of white mulberry (*Morus alba* L.) fruits. Int. J. Food Sci. Technol. 48:934-940.
- Chen, H., J. Chen, H. Yang, W. Chen, H. Gao, and W. Lu. 2016. Variation in total anthocyanin, phenolic contents, antioxidant enzyme and antioxidant capacity among different mulberry (*Morus* sp.) cultivars in China. Sci. Hortic. 213:186-192.
- Chen, W., Y. Li, T. Bao, and V. Gowd. 2017. Mulberry fruit extract affords protection against ethyl carbamate-induced cytotoxicity and oxidative stress. Oxid. Med. Cell. Longev. 1594963.

- Ercisli, S. and E. Orhan. 2007. Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chem.* 103:1380–1384.
- Gerasopoulos, D. and G. Stavroulakis. 1997. Quality characteristics of four mulberry (*Morus sp.*) cultivars in the area of Chania, Greece. *J. Sci. Food Agric.* 73:261–264.
- Gonzdlez-SanJos, M. 1992. Relationship between anthocyanins and sugars during the ripening of grape berries. *Food Chem.* 43:193-197.
- Hassimotto, N. M., M. I. Genovese, and F. M. Lajolo. 2008. Absorption and metabolism of cyanidin-3-glucoside and cyanidin-3-rutinoside extracted from wild mulberry (*Morus nigra* L.) in rats. *Nutr. Res.* 28:198-207.
- Imran, M., Khan, H., Shah, M., Khan, R., Khan, F., 2010. Chemical composition and antioxidant activity of certain *Morus* species. *J. Zhejiang Univ. Sci. B* 11:973–980.
- Jan., B, R. Parveen, S. Zahiruddin, M. U. Khan, S. Mohapatra, and S. Ahmad. 2021. Nutritional constituents of mulberry and their potential applications in food and pharmaceuticals: A review. *Saudi. J. Biol. Sci.* 28:3909-3921.
- Khan, M. A., A. A. Rahman, S. Islam, P. Khandokhar, S. Parvin, M. B. Islam, M. Hossain, M. Rashid, G. Sadik, S. Nasrin. M. N. H. Mollah and A. H. M. K. Alam. 2013. A comparative study on the antioxidant activity of methanolic extracts from different parts of *Morus alba* L. (moraceae). *BMC Res. Notes* 6:24.
- Kim, I. and J. Lee. 2020. Variations in anthocyanin profiles and antioxidant activity of 12 genotypes of mulberry (*Morus spp.*) fruits and their changes during processing. *Antioxidants.* 9:242.
- Krzykowski, A., D. Dziki, S. Rudy, R. Polak, B. Biernacka, U. Gawlik-Dziki, and E. Janiszewska-Turak. 2023. Effect of air-drying and freeze-drying temperature on the process kinetics and physicochemical characteristics of white mulberry fruits (*Morus alba* L.). *Proc.* 11:750.
- Lee, Y. and K. T. Hwang. 2017. Changes in physicochemical properties of mulberry fruits (*Morus alba* L.) during ripening. *Sci. hortic.* 217:189-196.
- Mahmood, T., F. Anwar, M. Abbas, and N. Saari. 2012. Effect of maturity on phenolics (phenolic acids and flavonoids) profile of strawberry cultivars and mulberry species from Pakistan. *Int. J. Mol. Sci.* 13:4591-4607.
- Mahmood, T., F. Anwar, N. Afzal, R. Kausar, S. Ilyas, and M. Shoaib. 2017. Influence of ripening stages and drying methods on polyphenolic content and antioxidant activities of mulberry fruits. *J. Food Meas. Charact.* 11:2171–2179.

- Meyers, K. J., C. B. Watkins, M. P. Pritts, and R. H. Liu. 2003. Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries. *J. Agr. Food Chem.* 51:6887-6892.
- Natić, M. M., D. Č. Dabić, A. Papetti, M. M. Fotirić Akšić, V. Ognjanov, M. Ljubojević, and Ž. Tešić. 2015. Analysis and characterisation of phytochemicals in mulberry (*Morus alba* L.) fruits grown in Vojvodina, North Serbia. *Food Chem.* 171:128–136.
- Nayab, S., K. Razzaq, S. Ullah, I. A. Rajwana, M. Amin, H. N. Faried, G. Akhtar, A. S. Khan, Z. Asghar, H. Hassan, and A. Naz, 2020. Genotypes and harvest maturity influence the nutritional fruit quality of mulberry. *Sci. Hortic.* 266:109311.
- Okatan, V., M. Polat, and M. A. Aşkin. 2016. Some physico-chemical characteristics of black mulberry (*Morus Nigra* L.) in Bitlis. *Scientific Papers, Series B, Horticulture* 60:27–30.
- Özgen, M., S. Serçe, and C. Kaya. 2009. Phytochemical and antioxidant properties of anthocyanin-rich *Morus nigra* and *Morus rubra* fruits. *Sci. Hortic.* 119: 275–279.
- Park, J. H., S. I. Hong, M. C. Jeong, and D. Kim. 2013. Quality characteristics and changes in mulberry (*Morus Alba* L.) depending on their maturity during distribution. *Korean J. Food Preserv.* 20:304–316.
- Prior, R. L., G. Cao, A. Martin, E. Sofic, J. McEwen, C. O'Brien, N. Lischner, M. Ehlenfeldt, W. Kalt, G. Krewer, C.M. Mainland. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* Species. *J. Agric. Food Chem.* 46:2686–2693.
- Qin, C., Y. Li, W. Niu, Y. Ding, R. Zhang, and X. Shang. 2010. Analysis and characterisation of anthocyanins in mulberry fruit. *Czech J. Food Sci.* 28:117–126.
- Quettier-Deleu, C., B. Gressier, J. Vasseur, T. Dine, C. Brunet, M. Luyckx, M. Cazin, J. Cazin, . Bailleul, and F. Trotin. 2000. Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *J. Ethnopharmacol.* 72:35-42.
- Ruhnan, B. and G. Forkmann. 1988. Flavin 3,4-diols in anthocyanin biosynthesis, enzymic formulation with flower extracts from *Callistephus chinesis*. *Phytochemistry* 27:1085-1089.
- Saensouk, S., S. Rattanavalee, P. Chanakran, and C. Theeraphan. 2022. Evaluation of color, phytochemical compounds and antioxidant activities of mulberry fruit (*Morus alba* L.) during ripening. *Hort.* 8:1146.

- Sohn, B. H., J. H. Park, D. Y. Lee, J. G. Cho, Y. S. Kim, I. S. Jung, P. D. Kang, and N. I. Baek. 2009. Isolation and identification of lipids from the silkworm (*Bombyx mori*) droppings. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 52:336–341.
- Teusch, M., W. Forkmann, and W. Seyffert. 1987. Genetic control of hydroxycinnamoyl- co-enzyme A: Anthocyanidin-3-glucoside hydroxycinnamoyl-transferase. Phytochemistry 26:2181-2187.
- Wang, R. J. and M. L. Hu. 2011. Antioxidant capacities of fruit extracts of five mulberry genotypes with different assays and principle components analysis. International Journal of Food Properties 14:1–8.
- Yang, X., L. Yang, and H. Zheng. 2010. Hypolipidemic and antioxidant effects of mulberry (*Morus alba* L.) fruit in hyperlipidaemia rats. Food Chem. Toxicol. 48:2374–2379.
- Yu, Y. S., Y. J. Xu, J. J. Wu, G. S. Xiao, M. Q. Fu, and Y. S. Zhang. 2014. Effect of ultra-high pressure homogenisation processing on phenolic compounds, antioxidant capacity and anti-glucosidase of mulberry juice. Food Chem. 153:114–120.
- Zhang, H., Z. F. Ma, X. Luo, and X. Li. 2018. Effects of mulberry fruit (*Morus alba* L.) consumption on health outcomes: a mini-review. Antioxidants (Basel). 7:69.

Effects of maturity and drying treatment on the quality of mulberry

Ya-Ling Chang*, Yi-Chun Chiu, Jui-Sheng Lai

Miaoli District Agricultural Research and Extension Station, Ministry of Agriculture

ABSTRACT

In order to understand the effects of maturity at harvest and drying treatment on mulberry, this experiment used three mulberry varieties (lines)—Mulberry ‘Miaoli No. 1’, ‘Miaoli No. 2’, and ‘83C009’—to determine the quality and component content of unripe fruits (color change in 20% of peel), semi-mature fruit (color change in 50% of peel), and mature fruit (color change in 90% of peel). The results showed that, under the influence of variety (line) and maturity, the fruit width, weight, total soluble solids, titratable acid, sugar-acid ratio, total phenolic compounds, total flavonoids, and total anthocyanins of fresh fruits were significantly different from each other, and the sympathetic effect of variety (line) and maturity was also significant. ‘Miaoli No. 1’ had the highest ripe fruit width (20.0 mm) and a low titratable acid (0.6 %), resulting in the highest sugar-acid ratio (12.2) and the highest total flavonoid content (266.7 $\mu\text{g. mL}^{-1}$). ‘Miaoli No. 2’ had the highest fruit weight (6.7 g) and the highest soluble solids (11.3 °Brix), and it had total phenolic compounds and total anthocyanins of 1674.0 $\mu\text{g. mL}^{-1}$ and 293.4 mg. mL^{-1} , respectively. The phenolic content and antioxidant capacity of dried mulberry fruit were significantly affected by variety (line). ‘83C009’ had higher total phenolic compounds and total flavonoids, and ‘Miaoli No. 1’ had higher total anthocyanin and DPPH. The results showed that ‘Miaoli No. 1’ and ‘Miaoli No. 2’ were suitable for both fresh and processed consumption while ‘83C009’ was suitable for processing.

Keywords: Mulberry, Maturity, Dried fruits, Quality, Phenolic, DPPH

* Corresponding author email: ylchang@mdares.gov.tw

