

烹煮方式對於滾筒乾燥紫甘藷粉總花青素、總多酚及色澤之影響¹

任珮君²、楊采文²、陳嘉雯²、何昱圻²

摘 要

紫甘藷亮麗之色澤來自花青素，然而花青素具環境不穩定性，容易因酵素性褐變、烹煮時熱破壞，使得色澤由紫色轉黃褐色。本研究以市售常見紫甘藷‘台農 73 號’及本場新育成‘桃園 4 號’2 個品種作為原料，測試 3 種烹煮方式（蒸煮、水煮及烘烤）對於紫甘藷粉總花青素、總多酚及色澤之影響。試驗結果指出，‘台農 73 號’之蒸煮處理其總花青素含量、總多酚含量及色澤最高；‘桃園 4 號’之蒸煮及水煮處理對於總花青素含量、總多酚含量及色澤於處理間無顯著差異，可依上述烹煮設備擇一進行加工處理。乾燥粉末可取代人工化學合成色素，做為天然食材食品調色素材。

關鍵字：‘台農 73 號’、‘桃園 4 號’、相關性

前 言

甘藷（學名 *Ipomoea batatas* L.）英名為 sweet potato，俗稱地瓜、番薯等，屬旋花科一年生作物。根據農情報告資源網統計資料指出（農糧署，2022），全臺甘藷栽培面積為 9,154 公頃，全年總生產量為 224,241 公噸，主要種植於雲林縣（46.9%）、彰化縣（20.5%）、臺南市（15.1%）。本場轄區包含基隆市、臺北市、新北市、桃園市、新竹縣及新竹市，全年總生產量為 9,454 公噸，佔全國總生產量 4.2%。甘藷因油脂及鈉含量低，且含豐富的維生素 B6、鐵、鉀及膳食纖維，被美國公共利益科學中心（the Centre for Science in the Public Interest, CSPI）列為對於人類健康有益的超級食品（Superfood）之一（Kang *et al.*, 2017）。鑒於近年國人健康意識高漲，本場亦積極投

¹ 行政院農業委員會桃園區農業改良場研究彙報第 540 號。

² 農業部桃園區農業改良場助理研究員(通訊作者, pcjen08211@tydais.gov.tw)、助理研究員、助理研究員、助理研究員。

入機能性甘藷育種之研究，成功育成高 β -胡蘿蔔素之‘桃園 3 號’，以及近期新育成高花青素之紫甘藷‘桃園 4 號’。與市售常見紫甘藷‘台農 73 號’進行比較，‘台農 73 號’塊根形狀為長紡錘形，皮色為粉紅色，肉色為紫色。‘桃園 4 號’塊根形狀為短紡錘形，皮色為紫色，肉色為深紫色。灌溉水量對於甘藷種植產量尤為重要，缺水會使產量大幅下降，進而影響農民經濟收益。‘桃園 4 號’具耐旱性佳之優勢，適合種植於春夏作栽培水資源不穩定，以及沿海地區或灌溉系統末端區域水源取得不易之地區。

紫甘藷亮麗的色澤來自其花青素 (Anthocyanins)，主要是由多種單或雙乙醯化矢車菊素 (Cyanidins) 和芍藥素 (Peonidins) 所組成 (Goda *et al.*, 1997)。乙醯化鍵結結構使得紫甘藷花青素具光、熱、氧化等加工製程穩定性，被美國、歐洲等國家作為天然著色劑應用於食品工業當中 (Giusti *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2009)。不少前人研究提及，紫甘藷之花青素具有抗氧化 (Teow *et al.*, 2007)、抗發炎 (Zhang *et al.*, 2009)、抗腫瘤 (Yoshimoto *et al.*, 2001; Zhao *et al.*, 2013) 等功效，為良好之機能性素材。然而，生鮮紫甘藷不耐貯藏，隨著貯藏時間的增加，紫甘藷花青素含量逐漸下降。Grace 等 (2014) 研究指出，貯藏 8 個月之紫甘藷總花青素含量較剛採收時減少 42%。另外，生鮮紫甘藷只要出現切割傷口，醣苷水解酵素 (glycosidases)、多酚氧化酶 (polyphenoloxidase, PPO) 及過氧化酶 (peroxidase, POD) 等酵素自甘藷細胞組織釋出，多酚氧化酶於有氧環境下與花青素結合，破壞其結構使之快速降解；此外，過氧化酶與花青素及其氧化物鍵結生成的鄰醌 (*o*-quinone)，形成共氧化結構，使紫甘藷色澤由紫轉褐色 (Shi *et al.*, 1992; Thipyapong *et al.*, 2007)。Manohan 和 Wai (2012) 研究指出，甘藷多酚氧化酶最佳活性溫度為 30-45°C，加熱處理破壞多酚氧化酶活性位點，破壞酵素活性，有助於固定紫甘藷色澤。微波、蒸氣、熱水川燙、烘烤等烹煮方式之加熱溫度超過 100°C，皆為良好之破壞酵素活性之加工方式 (Hong and Koh, 2015; Liu *et al.*, 2015; Nevara *et al.*, 2018)。

生鮮紫甘藷因水分含量高、不耐貯藏，利用乾燥技術以儘可能降低產品中水分含量及水活性，有助於延長產品品質穩定性 (Nevara *et al.*, 2018)。滾筒乾燥因具有乾燥速率快、生產效率高、熱量利用率高、高溶解度及膨潤力等優點，常用於甘藷粉等澱粉含量高之原物料生產製程 (Badiora *et al.*, 2023; Senevirathna *et al.*, 2021; Yadav *et al.*, 2006)。本研究擬以本場新育成之紫甘藷‘桃園 4 號’及市售常見‘台農 73 號’作為原料，探討 3 種常見甘藷烹煮方式 (蒸煮、水煮及烘烤) 對於滾筒乾燥紫甘藷粉理化特性及色澤影響，篩選較適合之加工製程。

材料與方法

一、試驗材料

本試驗採用本場種植之紫甘藷‘台農 73 號’及‘桃園 4 號’為材料，111 年 8 月插植、11 月採收，挑選塊根重量每個介於 300-500 g。

二、試驗方法

(一) 紫甘藷粉製備

紫甘藷未經去皮及切片處理，分別以蒸煮（水沸騰後蒸煮 40 min 至甘藷中心溫度達 100°C）、水煮（水與甘藷比為 10 kg：1 kg，100°C 沸水加熱 20 min）及烘烤（180°C 烘烤 2 hr）3 種方式加熱紫甘藷，以攪拌機攪拌均勻，製備成紫甘藷泥。接著，以滾筒乾燥機（Series No.LK179，帝策實業股份有限公司）乾燥條件為 145°C、10 rpm 進行乾燥製作成雪花片。以高速粉碎機（RT-N12，榮聰精密科技有限公司）研磨 2 min 後，以 70 mesh 篩網過篩，分析紫甘藷粉理化特性。

(二) 分析方法

1. 水分含量（Water content）：參考中華民國國家標準 CNS 5033 N6114 食品中水分之檢測方法（經濟部標準檢驗局，1984），取 2 g 樣品置於已乾燥秤重之鋁皿中，移入烘箱，以 105°C 條件乾燥 2 hr，移入乾燥皿中冷卻、秤重，再將樣品移入烘箱中乾燥 30 min，移入乾燥皿中冷卻、秤重，重複乾燥 30 min、冷卻、秤重工作，一直到恆重後計算水分含量。
2. 水活性（Water activity）：參考中華民國國家標準 CNS 5255 N6119 食品水分活性測定法（經濟部標準檢驗局，1987）以水分測定儀（HP23-AW-A, Rotronic Instruments, Switzerland）測定樣品中的水活性含量。於樣品盒中裝入約八分滿之紫甘藷粉放入儀器中，蓋上蓋子以水活性分析儀進行檢測並讀取水活性數值，重複檢測 3 次取平均值。
3. 總花青素含量（Total anthocyanins, TA）：參考 Huang 等（2006）之方法加以修正，秤取 0.25 g 樣品，加入 5 mL 萃取溶劑（100% 甲醇含 1% 鹽酸），超音波振盪萃取 15 min 後，以 4,000 rpm 離心 15 min，分離上清液。重複以上動作以萃取溶劑再萃取 1 次，分離上清液。合併 2 次分離上清液，取 200 uL 上清液至 2 mL 塑膠微量離心管，加入以 800 uL 萃取溶劑進行稀釋。取 200 uL 稀釋

液於 96 孔盤中，以 530 nm 波長測定吸光值，依下列公式計算每公克樣品所含總花青素含量 (mg)。

總花青素含量 = (樣品吸光值 - 空白吸光值) $\times$ MW $\times$ 稀釋倍數 / ($\epsilon \times$ 樣品重量)

MW: 氯化矢車菊素-3-O-葡萄糖苷 (cyanidin-3-O-glucoside chloride) 分子量為 484.84 g mol⁻¹

ϵ : 莫耳吸光係數 (molar absorptivity) 為 34,300

4. 總多酚含量 (Total polyphenols, TP) : 參考 Sato 等 (1996)、Medini 等 (2014) 之方法加以修正，秤取 0.05 g 樣品，加入 4.5 mL 80% 甲醇水溶劑以超音波震盪 20 min，4,000 rpm 離心 10 min，分離上清液。重複以上動作以萃取溶劑再萃取 1 次，分離上清液。取 0.2 mL 萃取液加入 0.5 mL 福林酚試劑 (Folin-Ciocalteu phenol reagent) 作用 5 min，加入 0.4 mL 10% 碳酸鈉水溶液，於 45°C 保溫 15 min，接著，以 4,000 rpm 離心 10 min。取上清液於波長 700 nm 測定吸光值。另以沒食子酸標準品配置標準曲線，將吸光值帶入標準曲線中計算總多酚含量 (mg GAE g⁻¹)。
5. 色澤：以 100 mL 100°C 熱水沖泡 10 g 紫甘藷粉，於樣品盒中裝入約 8 分滿之紫甘藷粉沖泡液，將樣品放入色差儀 (Color Meter NE4000, Nippon Denshoku Industries Co., Japan) 中，蓋上蓋子偵測色澤。L* 值表示亮度，0 表示黑色、100 表示白色; a* 值表示紅綠色，負值表示綠色、正值表示紅色; b* 值表示黃藍色，負值表示藍色、正值表示黃色。標準白板 L₀* = 97.94、a₀* = -0.42、b₀* = 0.32，L_t*、a_t*、b_t* 值為紫甘藷粉沖泡液於色差儀偵測值。

三、統計分析

本試驗為檢視 3 種烹煮方式 (蒸煮、水煮及烘烤) 處理間是否達顯著差異，以 R 統計分析軟體 (version 4.3.2, 2023) 程式進行單因子變異數分析 (One-way ANOVA) 進行統計分析，數值以平均值 $\pm$ 標準差表示，並以費雪最小顯著差異性 (Fisher's protected least significant difference test, LSD test) 檢測處理均值之間的差異性。以皮爾森相關性分析 (Pearson Correlation Analysis) 檢測總花青素、總多酚及色澤數值相關性。

結果與討論

一、水分含量及水活性分析

分析乾燥紫甘藷粉水分含量及水活性資料（表 1），就‘台農 73 號’而言，烘烤處理之水分含量(%)為 5.19 ± 0.17 ，顯著高於蒸煮處理組 4.06 ± 0.12 及水煮處理組 4.02 ± 0.04 。蒸煮、水煮及烘烤處理之水活性分別為， 0.420 ± 0.007 、 0.402 ± 0.014 及 0.409 ± 0.006 ，處理間無顯著差異。就‘桃園 4 號’而言，蒸煮及烘烤處理之水分含量(%)分別為 4.61 ± 0.23 及 4.30 ± 0.29 ，處理間無顯著差異。水煮處理之水分含量(%)為 4.11 ± 0.19 ，與烘烤處理間無顯著差異。蒸煮處理有最高的水活性 0.471 ± 0.009 ，顯著高於水煮處理 0.418 ± 0.023 及烘烤處理 0.438 ± 0.011 。

Nevara 等（2018）研究指出，蒸煮處理（ 100°C 30 min）及水煮處理（ 100°C 30 min）水分含量(%)分別為 3.21 ± 0.02 及 2.89 ± 0.00 ，處理間無顯著差異。甘藷粉貯藏品質與水分含量，VanHal（2000）研究建議常溫貯藏甘藷粉之水分含量應低於 10%，儘可能降低產品中水分含量，有助於維持產品品質穩定性。本試驗 6 組處理組之水分含量數值介於 4.02%-5.19%之間，低於 10%符合前人研究建議之水分條件。然而，產品是否可常溫貯藏與產品之水活性有關。任（2020）研究指出，水活性是分析食品組織當中可參與化學性、生物性及酵素性反應之自由水含量，水活性低於 0.85，可抑制大部分細菌及酵母菌生長，有助於產品保存。本試驗 6 組處理組之水活性數值介於 0.402-0.471，符合食品法規常溫貯藏之條件。

表 1. 不同烹煮方式對於乾燥紫甘藷粉理化特性影響

Table 1. Effect of different cooking methods on purple sweet potato flour physical properties.

品種 variety	烹煮方式 Cooking methods	水分含量 Water content (%)	水活性 Water activity	總花青素含量 Total anthocyanins (mg g ⁻¹)	總多酚含量 Total polyphenols (mg GAE g ⁻¹)
台農 73 號 'Tainung No. 73'	蒸煮 Steaming	4.06±0.12 b	0.420±0.007 a	1.82±0.08 a	13.3±0.7 a
	水煮 Boiling	4.02±0.04 b	0.402±0.014 a	1.87±0.14 a	10.4±0.1 b
	烘烤 Baking	5.19±0.17 a	0.409±0.006 a	1.48±0.13 b	11.1±0.3 b
	F value	93.6***	2.9	15.5*	37.8**
桃園 4 號 'Taoyuan No. 4'	蒸煮 Steaming	4.61±0.23 a	0.471±0.009 a	3.36±0.31 ab	29.3±2.2 a
	水煮 Boiling	4.11±0.19 b	0.418±0.023 b	4.04±0.39 a	30.8±0.8 a
	烘烤 Baking	4.30±0.29 ab	0.438±0.011 b	2.63±0.19 b	28.5±0.3 a
	F value	9.2*	20.1**	11.5*	1.7

數值以平均值±標準差表示（試驗重複數=3）。同列不同小寫英文字母表示烹煮方式處理均值間具顯著差異。（LSD 測試：*、**、***表示 P 分別小於 0.05、0.01 或 0.001 具顯著差異。）

Values presented are the means ± standard deviation(n=3). Different lowercase letters within a column indicate significant differences among cooking methods. (LSD test: *, **, *** indicate a significant difference at P < 0.05, 0.01, or 0.001, respectively.)

二、總花青素含量分析

分析乾燥紫甘藷粉總花青素資料（表 1），就‘台農 73 號’而言，蒸煮及水煮處理總花青素含量，分別為 1.82±0.08 mg g⁻¹ 及 1.87±0.14 mg g⁻¹，處理間無顯著差異，但顯著高於烘烤處理 1.48±0.13 mg g⁻¹。就‘桃園 4 號’而言，蒸煮及水煮處理組之總花青素含量分別為 3.36±0.31 mg g⁻¹ 及 4.04±0.39 mg g⁻¹，處理間無顯著差異。烘烤處理之總花青素含量為 2.63±0.19 mg g⁻¹，與蒸煮處理間無顯著差異。

Allen 等 (2012) 研究指出，生甘藷之澱粉顆粒結構緊密，難以被人體腸胃道消化吸收，烹煮處理使澱粉吸水膨潤發生糊化，有助於澱粉水解酶將澱粉水解成葡萄糖，進而提高澱粉吸收率。由此可知，烹煮為甘藷加工必備之加工製程，然而花青素具熱不穩性，加熱溫度的提高會使總花青素半衰期下降。Li 等 (2013) 研究指出，切丁蒸煮之熱風乾燥紫甘藷粉以 80 及 90°C 熱水沖泡後，持續加熱分析花青素裂變之狀況，花青素半衰期分別為 12.9 及 7.7 hr。Chen 等 (2019) 研究指出，冷凍乾燥紫甘藷粉以 70 及 80°C 熱水沖泡後測試花青素半衰期分別為 60.39 及 42.55 hr。本試驗 2 個品種烘烤處理皆為總花青素含量最低之處理組，分析其可能原因與烘烤高溫及長時間加熱 (2hr) 有關。Hong 和 Koh (2015) 研究指出，紫甘藷烘烤處理之加熱溫度 (200°C)，較蒸煮處理 (120°C) 及水煮處理 (100°C) 高，高溫加熱會破壞花青素結構，使總花青素含量下降，且甘藷色澤偏黃；Phan 等 (2018) 研究亦有類似的結果。

Nevara 等 (2018) 研究指出，蒸煮處理 (100°C 30 min) 較水煮處理 (100°C 30 min) 能保留較高之總花青素含量。Xu 和 Chang (2008) 研究指出，蒸煮比水煮更能保存花青素，是因為在水煮過程有部分花青素釋放至熱水當中，導致色澤及花青素含量下降。進一步分析前人研究試驗方法，皆使用去皮及截切處理之紫甘藷丁進行試驗。鄭等 (2008) 研究分析‘台農 73 號’及芋心甘藷不同部位之總花青素含量，試驗結果指出，諸皮之總花青素含量皆較諸肉高。Hong 和 Koh (2015) 研究指出，未經去皮、切片處理之 Sinjami 品種紫甘藷蒸煮 (120°C 40 min) 及水煮處理 (100°C 40 min) 之總花青素含量無差異性。分析本試驗 2 個品種之蒸煮及水煮處理無顯著差異，可能與甘藷未經去皮及截切處理直接加熱有關，諸皮具有保護作用，可減少紫甘藷花青素於水煮過程流失。另外依烹煮方式縮短水煮設定加熱時間亦可能是一個影響的關鍵因子。前人研究試驗為求試驗方便常設定相同之加熱時間進行試驗 (Hong and Koh, 2015; Nevara *et al.*, 2018; Xu and Chang, 2008)，然而水煮處理之熱傳導速率較蒸煮處理快，水煮處理容易因設定相同加熱時間而加熱過度，使得花青素結構降解。本試驗將水煮處理加熱時間縮短為蒸煮處理之二分之一 (20 min)，不僅可達到同樣的加熱效果，亦有助於提高作業速率。

三、總多酚含量分析

分析乾燥紫甘藷粉總多酚資料 (表 1)，就‘台農 73 號’而言，蒸煮處理有最高之總多酚含量 13.3 ± 0.7 mg GAE g⁻¹，水煮處理 10.4 ± 0.1 mg GAE g⁻¹ 及烘烤處理 11.1 ± 0.3

mg GAE g⁻¹ 處理間無顯著差異。就‘桃園 4 號’而言，蒸煮、水煮及烘烤處理總多酚含量，分別為 29.3±2.2 mg GAE g⁻¹、30.8±0.8 mg GAE g⁻¹ 及 28.5±0.3 mg GAE g⁻¹，處理間無顯著差異。

甘藷總多酚含量以藷皮中含量最高 (Padda and Picha, 2008)，帶皮加工有助於保留甘藷之機能性成分。Padda 和 Picha (2008) 研究指出，甘藷主要總多酚種類分別為綠原酸 (Chlorogenic acid)、咖啡酸 (Caffeic acid)、雙咖啡醯奎尼酸 (Dicafeoylquinic acids, diCQA)，其中又以綠原酸含量最高。Phan 等 (2018) 研究指出，烹煮處理方式會造成甘藷中總多酚含量差異，煎煮處理 (170°C 5 min) 有最高之總多酚含量，其後依序為蒸煮 (100°C 20 min) 及烘烤 (200°C 20 min)。Nevara 等 (2018) 研究指出，蒸煮 (100°C 30 min) 及水煮處理 (100°C 30 min) 之紫甘藷總多酚含量處理間無顯著差異。Hong 和 Koh (2015) 研究指出，不同品種於不同烹煮方式有不同的表現，Sinjami 品種烘烤處理 (200°C 40 min) 有最高總多酚含量，其次為蒸煮處理 (120°C 40 min)，再者為水煮處理 (100°C 40 min)；Yeonjami 品種蒸煮 (120°C 40 min) 及烘烤處理 (200°C 40 min) 總多酚含量處理間無顯著差異，但顯著高於水煮處理 (100°C 40 min)。

總結前人研究結果可知，紫甘藷之總多酚含量與烹煮方式、加熱溫度及時間有關。不同品種於不同烹煮方式下有不同的表現，故可依品種特性選擇較適合之烹煮方式，例如‘台農 73 號’於蒸煮處理有最高之總花青素及總多酚含量，故在進行‘台農 73 號’加工時，選擇蒸煮處理可保留較高之機能性成分。‘桃園 4 號’於蒸煮及水煮處理之總花青素及總多酚含量處理間無顯著差異，故可依手邊方便取得設備種類選擇較適合之烹煮方式。

四、色澤分析

分析紫甘藷粉沖泡色澤資料 (表 2)，就‘台農 73 號’而言，水煮處理有最高之 L* 值 31.7±0.2，蒸煮處理 29.6±0.2 及烘烤處理 29.3±0.1，處理間無顯著差異。蒸煮處理有最高之 a* 值 19.3±0.1，其次為水煮處理 18.7±0.2，再者為烘烤處理 16.3±0.1。烘烤處理有最高的 b* 值 3.1±0.1，其次為水煮處理 -5.5±0.2，再者為蒸煮處理 -8.6±0.1。就‘桃園 4 號’而言，蒸煮、水煮及烘烤處理之 L* 值分別為 27.0±0.3、27.5±0.2 及 27.8±2.3，處理間無顯著差異。烘烤處理有最高之 a* 值 17.1±0.7 及 b* 值 -0.2±0.2，蒸煮處理 (a*=13.8±0.1、b*=-8.5±0.2) 與水煮處理 (a*=13.1±0.1、b*=-8.3±0.1)，處理間無顯著差異。

Hong 和 Koh (2015) 研究指出, Sinjami 品種之烘烤處理 (200°C 40 min) 有最高的 L*值及 b*值, 其次為水煮處理 (100°C 40 min), 再者為蒸煮處理 (120°C 40 min), 蒸煮處理有最高的 a*值, 其次為水煮處理, 再者為烘烤處理; Yeonjami 品種之水煮處理 (100°C 40 min) 有最高的 L*值及 a*值, 其次為烘烤處理 (200°C 40 min), 再者為蒸煮處理 (120°C 40 min)。烘烤處理有最高的 b*值, 其次為水煮處理, 再者為蒸煮處理。Nevara 等 (2018) 研究指出, 蒸煮處理 (100°C 30 min) 及水煮處理 (100°C 30 min) L*值、a*值及 b*值處理間無顯著差異, 此表示 2 組處理皆能有效使多酚氧化酶及過氧化酶失去活性, 減少氧化作用導致不良變色反應。Phan 等 (2018) 研究指出, 烘烤處理 (200°C 20 min) L*值及 b*值高於蒸煮處理 (100°C 20 min), 蒸煮處理 a*值高於烘烤處理。Hong 和 Koh (2015) 研究指出, 烘烤處理紫甘藷色澤偏黃, 可能與烘烤高溫導致花青素結構受到破壞有關, 另外, 高溫誘導之梅納反應 (Maillard reaction) 及焦糖化反應 (Caramelization) 亦會產生的黃色或褐色產物, 使紫甘藷 b*數值逐漸提高。總結前人研究結果可知, 烹煮條件之於不同品種紫甘藷有不同的沖泡色澤表現, 本試驗 2 個品種烘烤處理皆有最高之 b*值, 分析其可能原因與烘烤過程高溫長時間加熱有關, 故加工條件之選擇應依品種特性選擇較適合之方法; 例如‘台農 73 號’以蒸煮處理有較佳之色澤表現, ‘桃園 4 號’以蒸煮及水煮處理其色澤差異不大。

表 2. 不同烹煮方式對於紫甘藷沖泡色澤影響

Table 2. Effect of different cooking methods on purple sweet potato flour color.

品種 variety	烹煮方式 Cooking methods	L*	a*	b*
台農 73 號 'Tainung No. 73'	蒸煮 Steaming	29.6±0.2 b	19.3±0.1 a	-8.6±0.1 c
	水煮 Boiling	31.7±0.2 a	18.7±0.2 b	-5.5±0.2 b
	烘烤 Baking	29.3±0.1 b	16.3±0.1 c	3.1±0.1 a
	F value	85.1***	472.7***	10025.3***
桃園 4 號 'Taoyuan No. 4'	蒸煮 Steaming	27.0±0.3 a	13.8±0.1 b	-8.5±0.2 b
	水煮 Boiling	27.5±0.2 a	13.1±0.1 b	-8.3±0.1 b
	烘烤 Baking	27.8±2.3 a	17.1±0.7 a	-0.2±0.2 a
	F value	0.3	69.0***	8681.5***

數值以平均值±標準差表示（試驗重複數=3）。同列不同小寫英文字母表示烹煮方式處理均值間具顯著差異。（LSD 測試：*、**、***表示 P 分別小於 0.05、0.01 或 0.001 具顯著差異。）

Values presented are the means ± standard deviation(n=3). Different lowercase letters within a column indicate significant differences among cooking methods (LSD test: *,**,*** indicate a significant difference at P < 0.05, 0.01, or 0.001, respectively.)

五、相關性分析

Bąkowska 等 (2003) 研究指出，紫甘藷花青素穩定性取決於花青素的結構、濃度，環境 pH、溫度和結合物質（多酚物質、金屬）等多種因素綜合之結果。分析本試驗色澤資料可知，2 個品種之紫甘藷色澤 a^* 值與 b^* 值具高度相關性，但不同品種紫甘藷可能因為花青素組成結構及濃度不同，造成視覺上呈現不同色澤，例如‘台農 73 號’色澤偏紅紫色，‘桃園 4 號’偏藍紫色。Hong 和 Koh (2015) 研究指出， a^* 值與紫甘藷花青素中總矢車菊素 ($r=0.405$) 和總芍藥素種類 ($r=0.770$) 呈正相關， b^* 值與總矢車菊素 ($r=-0.738$) 呈負相關。Bąkowska 等 (2003) 研究指出，部分總多酚物質與花青素結合形成之複合物，有助於強化花青素結構穩定性，減少環境因子之影響。‘桃園 4 號’總花青素含量與總多酚含量呈正相關之結果，可能與總多酚物質與花青素結合形成複合物，故‘桃園 4 號’蒸煮及水煮處理對於總花青素含量、總多酚含量數值沒有顯著差異。

將本試驗資料之總花青素含量、總多酚及色澤進行相關性分析，確認各因子可能之關聯性。就‘台農 73 號’而言（表 3），總花青素含量與 a^* 值呈正相關 ($r=0.895$)，與 b^* 值呈負相關 ($r=-0.874$)，色澤 a^* 值與 b^* 值呈負相關 ($r=-0.995$)。就‘桃園 4 號’而言（表 4），總花青素含量與總多酚含量呈正相關 ($r=0.785$)，色澤 a^* 值與 b^* 值呈正相關 ($r=0.970$)。由相關性試驗結果可知，‘台農 73 號’可利用物理性色澤分析 (a^* 值與 b^* 值) 作為甘藷機能性成分初步篩選指標，‘桃園 4 號’則需利用化學分析例如總花青素含量或總多酚含量分析進行篩選。

表 3. ‘台農 73 號’紫甘藷總花青素含量、總多酚含量及色澤相關性

Table 3. Correlation between total anthocyanins content, total polyphenols content, and color of purple sweet potatoes variety "Tainung No. 73".

台農 73 號 ‘Tainung No. 73’	總花青素含量 Total anthocyanins	總多酚含量 Total polyphenols	L*	a*	b*
總花青素含量 Total anthocyanins	1.000	0.102	0.494	0.895**	-0.874**
總多酚含量 Total polyphenols		1.000	-0.581	0.434	-0.492
L*			1.000	0.402	-0.345
a*				1.000	-0.995***
b*					1.000

*、**、*** 表示 P 分別小於 0.05、0.01 或 0.001 具顯著差異。

*, **, *** indicate a significant difference at $P < 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

表 4. ‘桃園 4 號’紫甘藷總花青素、總多酚及色澤相關性

Table 4. Correlation between total anthocyanins content, total polyphenols content, and color of purple sweet potatoes variety "Taoyuan No. 4".

桃園 4 號 ‘Taoyuan No. 4’	總花青素含量 Total anthocyanins	總多酚含量 Total polyphenols	L*	a*	b*
總花青素含量 Total anthocyanins	1.000	0.785*	0.085	-0.148	0.032
總多酚含量 Total polyphenols		1.000	-0.473	-0.275	-0.085
L*			1.000	0.360	0.252
a*				1.000	0.970***
b*					1.000

*、**、*** 表示 P 分別小於 0.05、0.01 或 0.001 具顯著差異。

*, **, *** indicate a significant difference at $P < 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

結 論

烹煮為甘藷加工必備之加工製程，本試驗探討 2 個品種紫甘藷（‘台農 73 號’及‘桃園 4 號’）於 3 種烹煮條件（蒸煮、水煮及烘烤處理）之機能性成分變化，試驗結論如下：

一、水分含量及水活性分析

6 種處理組之乾燥紫甘藷粉水分含量皆低於 10%，水活性低於 0.85，可常溫長期貯藏。

二、總花青素含量分析

2 個品種蒸煮及水煮處理之總花青素含量處理間無顯著差異，探究其可能原因為使用材料未經去皮及截切處理進行加熱，甘藷皮具有保護作用，可減少花青素於水煮過程流失。烘烤處理有較低之總花青素含量可能與高溫破壞花青素結構，使總花青素含量下降，且甘藷色澤偏黃。

三、總多酚含量分析

‘台農 73 號’蒸煮處理有最高之總多酚含量，‘桃園 4 號’蒸煮、水煮及烘烤處理之總多酚含量處理間無顯著差異。

四、色澤分析

‘台農 73 號’以蒸煮處理有較佳之色澤表現，‘桃園 4 號’以蒸煮及水煮處理色澤差異不大。

五、相關性分析

‘台農 73 號’可利用物理性色澤（ a^* 值與 b^* 值）分析，‘桃園 4 號’則需利用化學分析，例如總花青素含量或總多酚含量分析，作為甘藷機能性成分初步篩選指標。

誌 謝

本研究由農業部科技計畫（計畫名稱：「紫甘藷粉花青素安定化技術之研究」，計畫編號：112 農科-4.2.7-桃-Y3）支應，感謝國立臺灣大學食品科技研究所呂廷璋教授及園藝暨景觀學系吳思節副教授協助斧正，特此致謝。

參考文獻

- 任珮君。2020。水活性-食品保存的好朋友。臺中區農情月刊 251:3。
- 農業部農糧署。2022。2022 年甘藷年種植收量。農情報告資源網。
<https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp>。
- 經濟部標準檢驗局。1984。食品中水分之檢方法 CNS 5033 N6114。中華民國國家標準。
- 經濟部標準檢驗局。1987。食品水分活性測定法 CNS 5255 N6119。中華民國國家標準。
- 鄭統隆、施怡如、曾東海、賴永昌、吳明哲。2008。甘藷花青素與多酚含量之研究。台灣農業研究 57:33-48。
- Allen, J.C., A.D. Corbitt, K.P. Maloney, M.S. Butt, and V.D. Truong. 2012. Glycemic index of sweet potato as affected by cooking methods. The Open Nutr. J. 6:6-7.
- Badiora, O.A., T.A. Morakinyo, and K.A. Taiwo. 2023. Some quality properties of yellow-fleshed sweet potato flour as affected by different drying methods. Food Nutr. Res. 5:1-13.
- Bąkowska, A., A.Z. Kucharska, and J. Oszmiański. 2003. The effects of heating, UV irradiation, and storage on stability of the anthocyanin-polyphenol copigment complex. 81:349-355.
- Chen, C.C., C. Lin, M. Chen, and P.Y. Chiang. 2019. Stability and quality of anthocyanin in purple sweet potato extracts. Foods. 8:8.
- Giusti, M.M., and R.E. Wrolstad. 2003. Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. Biochem. Eng. J. 14:217-225.
- Goda, Y., T. Shimizu, Y. Kato, M. Nakamura, T. Maitani, T. Yamada, N. Terahara, and M.

- Yamaguchi. 1997. Two acylated anthocyanins from purple sweet potato. *Phytochemistry* 44:183-186.
- Grace, M.H., G.G. Yousef, S.J. Gustafson, V.D. Truong, G.C. Yencho, and M.A. Lila. 2014. Phytochemical changes in phenolics, anthocyanins, ascorbic acid, and carotenoids associated with sweetpotato storage and impacts on bioactive properties. *Food Chem.* 145:717-724.
- Hong, K.H., and E. Koh. 2015. Effects of cooking methods on anthocyanins and total phenolics in purple-fleshed sweet potato. *J. Food Process. Preserv.* 40:1054-1063.
- Huang, Y.C., Y.H. Chang, and Y.Y. Shao. 2006. Effects of genotype and treatment on the antioxidant activity of sweet potato in Taiwan. *Food Chem.* 98:529-538.
- Kang, L., S. Park, C.Y. Ji, H.S. Kim, H. Lee, and S. Kwak. 2017. Metabolic engineering of carotenoids in transgenic sweet potato. *Breed. Sci.* 67:27-34.
- Li, J., X.D. Li, Y. Zhang, Z.D. Zheng, Z.Y. Qu, M. Liu, S.H. Zhu, S. Liu, M. Wang, and L. Qu. 2013. Identification and thermal stability of purple-fleshed sweet potato anthocyanins in aqueous solutions with various pH values and fruit juices. *Food Chem.* 3:1429-1434.
- Liu, P., A.S. Mujumdar, M. Zhang, and H. Jiang. 2015. Comparison of three blanching treatments on the color and anthocyanin level of the microwave-assisted spouted bed drying of purple flesh sweet potato. *Dry Technol.* 33:66-71.
- Manohan, D. and W.C. Wai. 2012. Characterization of Polyphenol Oxidase in Sweet Potato (*Ipomoea Batatas* (L.)). *J. Adv. Sci. & Art* 3:14-31.
- Medini, F., H. Fellah, R. Ksouri, and C. Abdelly. 2014. Total phenolic, flavonoid and tannin contents and antioxidant and antimicrobial activities of organic extracts of shoots of the plant *Limonium delicatulum*. *J. Taibah Univ. Sci.* 8:216-224.
- Nevara, G.A., C.S. Yea, R. Karim, K. Muhammad, and H.M. Ghazali. 2018. Effects of moist-heat treatments on color improvement, physicochemical, antioxidant, and resistant starch properties of drum-dried purple sweet potato flour. *J. Food Process Eng.* 42:1-8.
- Padda, M.S. and D.H. Picha. 2008. Phenolic composition and antioxidant capacity of different heat-processed forms of sweet potato cv. 'Beauregard'. *Int. J. Food Sci. Technol.* 43:1404-1409.
- Phan, K.T.L., S. Chittrakorn, H.P. Tai, and K. Ruttarattanamongkol. 2018. Effects of cooking

- methods on the changes of total anthocyanins, phenolics content and physical characteristics of purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) grown in Vietnam. Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol. 8:227-233.
- Sato, M., N. Ramarathnam, Y. Suzuki, T. Ohkubo, M. Takeuchi, and H. Ochi. 1996. Varietal differences in the phenolic content and superoxide radical scavenging potential of wines from different sources. J. Agric. Food Chem. 44:37-41.
- Senevirathna, S.S.J., N.S. Ramli, E.M. Azman, N.H. Juhari, and R. Karim. 2021. Optimization of the drum drying parameters and citric acid level to produce purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) powder using response surface methodology. Foods. 10:1-20.
- Shi, Z., I.A. Bassa, S.L. Gabriel, and F.J. Francis. 1992. Anthocyanin pigments of sweet potatoes-*Ipomoea batatas*. J. Food Sci. 57:755-757.
- Teow, C.C., V. Truong, R.F. McFeeters, R.L. Thompson, K.V. Pecota, and G.C. Yencho. 2007. Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. Food Chem. 103:829-838.
- Thipyapong, P., M.J. Stout, and J. Attajarusit. 2007. Functional analysis of polyphenol oxidases by antisense/sense technology. Molecules. 12:1569-1595.
- VanHal, M. 2000. Quality of sweet potato flour during processing and storage. Food Rev. Int. 16:1-37.
- Xu, B., and S.K. Chang. 2008. Total phenolics, phenolic acids, isoflavones, and anthocyanins and antioxidant properties of yellow and black soy- beans as affected by thermal processing. J. Agric. Food Chem. 56:7165-7175.
- Yadav, A.R., M. Guha, R.N. Tharanathan, and R.S. Ramteke. 2006. Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. LWT-Food Sci. Technol. 39:20-26.
- Yoshimoto, M., S. Okuno, M. Yamaguchi, and O. Yamakawa. 2001. Antimutagenicity of deacylated anthocyanins in purple-fleshed sweet potato. Biosci. Biotechnol. Biochem. 65:1652-1655.
- Zhang, Z., S. Fan, Y. Zheng, J. Lu, D. Wu, Q. Shan, and B. Hu. 2009. Purple sweet potato color attenuates oxidative stress and inflammatory response induced by d-galactose in mouse liver. Food Chem. Toxicol. 47:496-501.

Zhao, J., Q. Yan, L. Lu, and Y. Zhang. 2013. In vivo antioxidant, hypoglycemic, and anti-tumor activities of anthocyanin extracts from purple sweet potato. *Nutr. Res. Pract.* 7:359-365.

The Influence of Cooking Methods on The Total Anthocyanins, Total Polyphenols, and Color of Drum Dried Purple Sweet Potato Flour¹

Pei-Chun Jen², Tsai-Wen Yang², Jia-Wen Chen², and Yu-Chi Ho²

ABSTRACT

The bright color of purple sweet potatoes comes from anthocyanins, which are environmentally unstable and prone to enzymatic browning or heat damage from cooking, resulting in a color transition from purple to yellow brown. This study uses common cultivated purple sweet potato variety ‘Tainung No. 73’ and our newly cultivated variety ‘Taoyuan No. 4’ as materials. The experiment tests the effects of different cooking methods (steaming, boiling, and baking) on the total anthocyanins, total polyphenols, and color of purple sweet potato flour. The results indicated that the steaming treatment of ‘Tainung No. 73’ has the highest total anthocyanin content, total polyphenol content, and color. The steaming and boiling treatment of ‘Taoyuan No. 4’ has no statistically significant difference in total anthocyanin content, total polyphenol content, and color. It can be processed according to the cooking equipment that is convenient to obtain as the method. The purple sweet potato can replace artificially synthesized pigment, and switched to natural ingredients as coloring materials.

Key words: ‘Tainung No. 73’, ‘Taoyuan No. 4’, Correlation

¹. Contribution No. 540 from Taoyuan DARES, COA.

². Assistant Researcher (Corresponding author, pcjen08211@tydais.gov.tw) and 3 Assistant Researchers, Taoyuan DARES, COA.