

探討不同甘藷品種熱水萃取液之抗氧化能力¹

吳宗諺² 利幸真³ 邱采新⁴ 蔡淑珍^{2,5}

摘要

吳宗諺、利幸真、邱采新、蔡淑珍。2009。探討不同甘藷品種熱水萃取液之抗氧化能力。台灣農業研究 58:7-16。

本研究主要探討不同甘藷品種間熱水萃取液之一般組成分及抗氧化活性之差異。選用台灣 13 種甘藷品種，包括台農 57 號、64 號、66 號、68-73 號、桃園 1 號、薩摩光、清水紫和山川紫，測定不同品種其熱水萃取液之總酚含量、總花青素含量、 α, α -diphenyl- β -picrylhydrazyl (DPPH) 自由基清除能力和氧自由基清除能力 (oxygen radical absorbance capacity, ORAC)。結果顯示，總酚含量方面以山川紫 (500.99 mg/100 g gallic acid equivalents, GAE; dry weight, dw) 和清水紫 (454.76 mg/100 g GAE dw)，顯著高於其他品種；總花青素含量也呈現相同趨勢。在抗氧化能力方面，DPPH 自由基清除能力以清水紫抗氧化能力最高 ($26.15 \pm 1.84 \mu\text{mol/g Trolox equivalents, TE dw}$)，其次為山川紫 ($21.90 \pm 1.28 \mu\text{mol/g TE dw}$)。氧自由基清除能力同樣的以清水紫和山川紫兩種品種最高，分別為 112.03 ± 0.86 和 $129.42 \pm 0.44 \mu\text{mol/g TE dw}$ 。本研究結果顯示清水紫和山川紫兩種品種之總酚含量、總花青素含量和抗氧化能力顯著高於其他品種，因此可以作為未來利用甘藷開發機能性食品之參考依據。

關鍵詞：甘藷、抗氧化活性、熱水萃取。

前言

甘藷 (*Ipomoea batatas* L.) 的營養保健作用及藥用價值越來越受到重視，因甘藷本身富含膳食纖維、維生素、礦物質和具有抗氧化能力之多酚類化合物，如花青素、 β -胡蘿蔔素，具有清除自由基的能力，能減少慢性疾病的發生率，例如心血管疾病、癌症及延緩老化等功

用 (Wang *et al.* 1996)。這些具有生物活性的酚類化合物和胡蘿蔔素，使甘藷呈現出不同的色澤 (如淡黃色、深黃色、橙色和紫色)，也使其具有不同程度的抗氧化能力 (Teow *et al.* 2007)。

台灣絕大部分之甘藷品種皆來自農業試驗所，是台灣重要糧食作物之一，栽培面積約 9000 ha，年產量約 200,000 t (Lai 2005)，也因

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2342 號。接受日期：97 年 12 月 4 日。
2. 本所農業化學組聘用人員與副研究員。台灣 台中縣 霧峰鄉。
3. 本所嘉義分所農藝系助理研究員。台灣 嘉義市。
4. 國立澎湖科技大學食品科學系助理教授。台灣 澎湖縣。
5. 通訊作者，電子郵件: sjtsai@tari.gov.tw；傳真機: (04)23302805。

為甘藷具有許多生理活性，使民眾食用甘藷的量越來越多，所開發之甘藷產品也不勝枚舉。食品是人類賴以生存的物質基礎，人類對食品的要求也從「吃飽」走向「吃健康」的飲食習慣。目前，健康長壽以成為人們普遍關注的問題，研究食物的功能成分、營養成分，開發保健食品以成為目前國內外食品研究矚目的研究課題及發展趨勢。由於台灣甘藷品種多樣化，應區別各品種間生物活性之差異，選別出具有高抗氧化能力之品種，藉以推廣栽種及開發新的加工保健產品，提高甘藷的多元化利用性。

目前一般進行之蔬果抗氧化力分析大部分都採用 DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical assay) 法，此方法具有簡單、穩定等優點；然而 DPPH 法並不是針對造成人體傷害較大的氧自由基進行分析，因此其結果並無法完全真正代表抗活性氧分子之能力 (Prior *et al.* 2005)。而 ORAC (oxygen radical absorbance capacity) 法是應用 H 原子轉移機制來評估自由基的清除能力，是最接近人體中自然發生之抗氧化反應，且在 ORAC 法分析中，除了能同時分析抗氧化物抑制自由基作用所需時間，更能測定抑制自由基作用程度。因此，ORAC 法是到目前為止被認為敏感度高，且最可信賴的抗氧化力分析方法 (Prior *et al.* 2005)。

本試驗乃評估 13 種不同甘藷品種之一般組成份差異，及探討利用 DPPH 和 ORAC 方法測定熱水萃取所得甘藷萃取液之抗氧化能力，期望研究結果將有助於了解甘藷之保健功效，並作為保健食材開發之參考。

材料與方法

樣品製備

本試驗材料由農業試驗所嘉義分所提供 95 年秋作之甘藷，包括台農 57 號 (Tainung No. 57)、台農 64 號 (Tainung No. 64)、台農 66 號 (Tainung No. 66)、台農 68 號-73 號 (Tainung No. 68-73)、桃園 1 號 (Taoyuan No. 1)、薩摩光

(Satsumahikari)、清水紫 (Chingshey purple) 和山川紫 (Ayamurasaki)，共 13 種。將生鮮甘藷洗淨去皮切塊後，經由 60°C 熱風乾燥後，磨成細粉過篩備用。

甘藷熱水萃取液之製備

秤取甘藷粉末 0.5 g，加入 100 mL 之去離子水，在 100°C 下萃取 30 min 後，以 Whatman 41 號濾紙過濾後，再以 Millipore 0.45 μm 過濾膜過濾，濾液儲存於 -20°C 備用。

一般組成份分析

粗蛋白 (Crude protein) 測定：精秤 0.2 g 的樣品，以 Kjeldahl 法，定出總氮量 (N)，粗蛋白質含量以 N% 乘 6.25 表示之 (AOAC 1984)。

粗脂質 (Crude fat) 測定：精秤樣品 1.0 g，置於圓筒濾紙中，先於烘箱中以 100–105°C 烘乾 2–3 h，塞上脫脂棉，利用自動油脂萃取裝置 (Soxtec System HT 1043, Extraction Unit, Tecator Co.)，於 95°C 油浴下，以乙醚連續萃取 1.5 h 後，取下鋁杯吹乾乙醚，烘箱乾燥直至恆重 (AOAC 1984)。

灰份 (Ash) 測定：精秤 1.0 g 的樣品，置於已恆重之坩鍋，先將樣品乾燥，再置於灰化爐 200°C，2–3 h，再提高溫度至 550–600°C，5–10 h，即可置於乾燥皿中放冷秤至恆重，即可計算灰份含量。

粗纖維 (Crude fiber) 測定：精秤脫脂樣品粉末 1.0 g，依 AOAC (1984) 方法，利用粗纖維測定裝置 (Tecator, Fibertec System I) 測定。

總碳水化合物 (Total carbohydrate) 測定：依據 Dubois 等 (1979) 的方法測定。取 0.5 mL 萃取液加入 0.5 mL 5% phenol 溶液，再加入 2.5 mL 的 96% 硫酸，靜置 30 min 後，以 490 nm 測吸光值。

還原糖 (Reducing sugar) 含量測定：取 0.5 mL 萃取液，加入 0.5 mL DNS (3,5-dini-

trosalicylic acid, DNS) 試劑，混合後在沸水浴中加熱反應 5 min，加入 4 mL 蒸餾水稀釋後，混合均勻後放置至室溫，以 540 nm 測吸光值。

礦物質 (Minerals) 含量測定：取 1 g 樣品置於乾鍋中，添加 5 mL 之 95%酒精，點火燃燒使其初步碳化，再移至高溫灰化爐中灰化。灰化後之樣品冷卻後，加入 5 mL 之 3 N HCl 於水浴槽加熱 10 min 使其溶解，冷卻後以 0.2 N HCl 稀釋至 50 mL，過濾後以感應耦合電漿-原子發射光譜分析儀 (Inductively coupled Plasma-Atomic Emission Spectrophotometer, ICP-AES; ICP-AES, Jobin-YvonJY38 Type III) 測定礦物質元素含量，包括巨量元素 (Macro minerals) 和微量元素 (Trace minerals) 兩大類。

總花青素 (Total anthocyanins) 含量測定：參考 Huang *et al.* (2006) 分析方法，精秤 0.5 g 樣品，加入 10 mL 萃取溶劑 (100%甲醇中含 1%之 HCl) 萃取花青素，將此混合液混合均勻，200 rpm 避光萃取 30 min，以 1600 g (3000 rpm)，4°C 離心 15 min，取其上清液，上清液於 530 nm 測其吸光值。將所測得吸光值經由下列方程式換算：總花青素含量 (mg/100 g dry matter) = 吸光值 × 484.84 × 稀釋倍數 × 100/ (34,300 × 樣品重)

總酚含量及抗氧化分析

總酚 (Total phenols) 含量測定：取甘藷熱水萃取液 1 mL，加入 1 mL Folin-Ciocalteu 試劑震盪混合，靜置 3 min 再加入 0.1 mL 10% Na₂CO₃，室溫下靜置 1 h，以 735 nm 測吸光值。配置不同濃度沒食子酸 (gallic acid) 製作檢量線，計算總酚含量 (Chung *et al.* 2005)。

DPPH 自由基清除效力之測定：參考 Yamaguchi *et al.* (1998) 之方法，取 50 μL 甘藷熱水萃取液及不同濃度之 Trolox 為對照

組，依序加入 50 μL Tris-HCl 緩衝液及 100 μL 新鮮配製的 DPPH 乙醇溶液，震盪後於暗室靜置 30 min，於 517 nm 檢測其吸光值。DPPH 清除效應百分率之計算如下：[1-(萃取液於 517 nm 之吸光值/未添加萃取液之控制組於 517 nm 之吸光值)] × 100%。將所得之清除率經由 Trolox 所求得之檢量線換算，可得知相同濃度甘藷熱水萃取液相對於多少濃度之 Trolox。

氧自由基吸收能力 (ORAC) 分析：於 96 孔微量盤中依序加入甘藷熱水萃取液 25 μL，Fluorescein 50 μL 及 2,2'-azobis (2-amidino-propane) hydrochloride (AAPH, 自由基誘導物) 25 μL，抗氧化物標準品 (Trolox 約 0-100 μM) 後震盪 8 s，反應溫度 37°C。於激發波長和散射波長分別為 485 nm 及 528 nm 下，每隔 2 min 紀錄螢光強度值 (Ou *et al.* 2001)。

結 果

一般組成份之比較

本試驗甘藷的含水率約為 62-75%之間，由表 1 可得知在 13 種甘藷品種粗蛋白質含量以山川紫最高 (9.34 ± 0.43%)，其次是台農 69 號 (7.81 ± 0.10%)，剩餘之品種粗蛋白質含量介於 4-6%之間。粗纖維含量各品種間差異性不大約在 1.79-2.98%。粗脂肪含量分佈在 1.66-4.01%之間，以台農 64 號 (4.01 ± 0.01%) 最高，大部分品種粗脂肪含量約 1.93-2.67%之間。各品種之灰份含量以山川紫 (3.71 ± 0.11%) 最高，台農 73 號 (3.41 ± 0.05%) 次之，其餘皆分佈於 2-3%之間。總碳水化合物含量各品種間的差異較小，含量約為 605.20-755.99 mg/g Glucose (Glu) 之間，還原糖含量則以台農 66 號最高 (417.65 ± 2.39 mg/g, Glu)，另外山川紫含量也超過 300 mg/g Glu，其餘品種含量介於 200-300 mg/g Glu。

表 1. 不同甘藷品種組成分含量

Table 1. Components of root tissues of 13 varieties of sweet potato ^z

Variety	Crude protein ^y (% wt/wt)	Crude fiber (% wt/wt)	Crude fat (% wt/wt)	Ash (% wt/wt)	Total carbohydrate (mg/g Glu)	Reducing sugar (mg/g Glu)
Tainung No. 66	5.65 ± 0.08 e ^x	2.36 b	2.67 ± 0.53 bc	2.89 ± 0.02 c	645.44 ± 30.42 bc	417.65 ± 2.39 a
Chingshey purple	6.87 ± 0.10 c	1.97 de	2.40 ± 0.11 c	2.95 ± 0.05 c	697.63 ± 41.04 ab	245.18 ± 2.39 f
Tainung No. 57	4.12 ± 0.19 gh	1.99 de	2.53 ± 0.32 bc	1.98 ± 0.03 j	755.99 ± 34.61 a	277.31 ± 4.78 e
Tainung No. 72	5.96 ± 0.05 d	2.22 bc	2.25 ± 0.03 c	2.98 ± 0.06 c	707.96 ± 57.46 ab	282.38 ± 2.39 de
Tainung No. 70	4.40 ± 0.01 g	2.16 cd	2.01 ± 0.69 c	2.23 ± 0.00 gh	714.68 ± 23.40 ab	258.71 ± 2.39 f
Ayamurasaki	9.34 ± 0.43 a	2.36 b	2.38 ± 0.22 c	3.71 ± 0.11 a	654.86 ± 8.69 bc	304.36 ± 9.57 b
Tainung No. 71	4.19 ± 0.04 gh	2.98 a	2.08 ± 0.61 c	2.29 ± 0.03 g	682.97 ± 66.59 abc	284.07 ± 0.00 de
Taoyuan No. 1	5.21 ± 0.06 f	2.31 bc	2.28 ± 0.32 c	2.45 ± 0.01 f	695.37 ± 30.63 ab	287.45 ± 14.35 cde
Satsumahikari	5.42 ± 0.02 ef	2.19 bc	2.33 ± 0.49 c	2.77 ± 0.06 d	679.85 ± 7.12 abc	282.38 ± 11.96 de
Tainung No. 73	6.57 ± 0.01 c	2.30 bc	1.93 ± 0.73 c	3.41 ± 0.05 b	714.96 ± 32.74 ab	295.90 ± 2.39 bcd
Tainung No. 68	4.05 ± 0.01 h	1.81 e	2.65 ± 0.12 bc	2.12 ± 0.02 i	757.78 ± 2.74 a	246.87 ± 0.00 f
Tainung No. 64	5.16 ± 0.05 f	2.88 a	4.01 ± 0.01 a	2.18 ± 0.02 hi	699.46 ± 74.85 ab	299.29 ± 2.39 bc
Tainung No. 69	7.81 ± 0.10 b	2.94 a	3.31 ± 0.17 ab	2.54 ± 0.01 e	605.20 ± 37.63 c	287.45 ± 9.57 cde

^z Root tissues of 13 sweet potato varieties were compared on dry weight basis.

^y Data presented are means ± standard deviation (n = 3).

^x Means in a column with different small letters are significantly different ($p < 0.05$).

礦物質含量之比較

各品種中巨量元素含量 (S, P, Na, K, Ca, Mg) 以山川紫品種在 S、P、K、Ca、Mg 元素中含量最高 (表 2)。S 含量分布在 25.80–59.51 mg/100 g 之間，台農 71 號和台農 68 號含量最低。P 含量差異較大 (38.76–135.31 mg/100 g)，台農 68 號含量最低 (38.76 ± 4.01 mg/100 g)。Na 含量則以台農 69 號最高 (133.14 ± 20.98 mg/100 g)，清水紫最低 (18.39 ± 0.63 mg/100 g)，Na 含量因品種不同，差異也較大，含量分布從 18.39–133.14 mg/100 g 之間。K 含量則以山川紫 (1561.60 ± 16.07 mg/100 g) 顯著高於其他品種，其次是台農 73 號 (1405.31 ± 36.06 mg/100 g)，以台農 57 號 (785.30 ± 20.01 mg/100 g) 最低。Ca 含量以台農 66 號 (36.40 ± 0.99 mg/100 g) 最低，和最高的山川紫 (197.88 ± 3.19 mg/100 g) 相差超過 150 mg，在所有品種中只有山川紫、桃園 1 號和台農 69 號 Ca 含量皆超過 100 mg/100 g。Mg 含量

只有山川紫和台農 69 號達到 120 mg/100 g，其餘品種含量都在 70 mg/100 g 以下，以台農 57 號和台農 68 號最低，Mg 含量約只有 29 mg/100 g。

而在微量元素 (Fe、Mn、Cu、Zn、B、Al) 含量方面 (表 3)，不同品種 Fe 含量在 1.39–2.93 mg/100 g 之間。Mn 含量則以台農 69 號 10.07 ± 0.12 mg/100 g 遠高於其他品種，其餘品種含量皆在 5 mg/100 g 以下。Cu、Zn、B 含量各品種間差異不大，Cu 含量在 0.27–0.76 mg/100 g 之間，Zn 含量在 0.55–0.68 mg/100 g 之間，B 含量則在 0.31–0.71 mg/100 g 範圍間。Al 含量則以薩摩光和台農 71 號含量大約 6.5 mg/100 g 最高，而台農 66 號、清水紫、台農 57 號含量則低於 2 mg/100 g。

總酚及總花青素含量之比較

從表 4 中可得知山川紫品種之甘藷總酚含量 (500.99 ± 21.89 mg/100 g gallic acid equivalents, GAE) 高於其他品種，清水紫品種含量

表 2. 不同品種甘藷巨量元素含量

Table 2. Contents of macro minerals in root tissues of 13 varieties of sweet potato ^z

Variety	S ^y (mg/100 g)	P (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	K (mg/100 g)	Ca (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)
Tainung No. 66	38.58 ± 1.86 d ^x	78.70 ± 2.39 abcde	34.21 ± 1.07 fgh	1354.88 ± 5.89 bc	36.40 ± 0.99 j	42.54 ± 1.13 h
Chingshey purple	46.51 ± 1.82 c	102.58 ± 1.63 abcd	18.39 ± 0.63 h	1321.01 ± 47.15 cd	92.95 ± 0.35 e	62.56 ± 0.42 d
Tainung No. 57	30.59 ± 0.18 f	44.69 ± 0.85 de	81.81 ± 0.11 c	785.30 ± 20.01 h	43.04 ± 0.01 i	28.26 ± 0.35 i
Tainung No. 72	50.21 ± 1.53 b	71.89 ± 1.73 bcde	44.07 ± 5.73 efg	1299.34 ± 48.50 cde	74.36 ± 3.52 g	58.76 ± 2.57 ef
Tainung No. 70	34.51 ± 0.26 e	129.12 ± 60.51 ab	63.94 ± 1.08 cde	968.77 ± 4.71 g	82.88 ± 1.37 f	59.08 ± 1.35 def
Ayamurasaki	59.51 ± 1.89 a	135.31 ± 3.91 a	35.60 ± 13.51 fgh	1561.60 ± 16.07 a	197.88 ± 3.19 a	122.55 ± 1.83 a
Tainung No. 71	25.80 ± 1.06 g	59.00 ± 0.47 cde	66.15 ± 8.79 cd	950.62 ± 42.97 g	96.34 ± 0.95 e	48.29 ± 0.82 g
Taoyuan No. 1	38.19 ± 0.76 d	102.21 ± 58.68 abcd	31.66 ± 3.85 gh	1090.58 ± 36.95 f	108.60 ± 0.13 d	60.25 ± 0.69 def
Satsumahikari	36.14 ± 1.54 de	74.77 ± 12.71 abcde	32.62 ± 5.64 gh	1280.16 ± 30.40 de	73.91 ± 2.44 g	51.23 ± 0.30 g
Tainung No. 73	46.80 ± 1.08 c	114.09 ± 0.84 abc	110.97 ± 8.32 b	1405.31 ± 36.06 b	68.99 ± 2.14 h	66.86 ± 0.44 c
Tainung No. 68	27.33 ± 1.05 g	38.76 ± 4.01 e	53.00 ± 20.88 def	972.39 ± 41.38 g	44.96 ± 1.34 i	29.40 ± 0.48 i
Tainung No. 64	38.19 ± 0.26 d	118.24 ± 63.81 abc	77.74 ± 8.33 c	944.05 ± 31.99 g	68.76 ± 2.30 h	62.00 ± 1.61 de
Tainung No. 69	45.99 ± 0.09 c	85.39 ± 26.80 abcde	133.14 ± 20.98 a	921.95 ± 37.42 g	149.79 ± 1.58 c	120.11 ± 5.18 a

^z Root tissues of 13 sweet potato varieties were compared on dry weight basis.^y Data presented are means ± standard deviation (n = 3).^x Means in a column with different small letters are significantly different ($p < 0.05$).

表 3. 不同品種甘藷微量元素含量

Table 3. Contents of trace minerals in root tissues of 13 varieties of sweet potato ^z

Variety	Fe ^y (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Zn (mg/100 g)	B (mg/100 g)	Al (mg/100 g)
Tainung No. 66	1.46 ± 0.08 cd ^x	0.38 ± 0.00 m	0.33 ± 0.00 cd	0.71 ± 0.04 de	0.44 ± 0.00 d	1.87 ± 0.07 ab
Chingshey purple	2.08 ± 0.00 bc	2.51 ± 0.04 e	0.43 ± 0.00 bcd	1.10 ± 0.00 b	0.43 ± 0.00 d	1.26 ± 0.75 b
Tainung No. 57	1.09 ± 0.15 d	1.34 ± 0.00 h	0.22 ± 0.00 d	0.55 ± 0.04 f	0.31 ± 0.04 e	1.36 ± 0.64 b
Tainung No. 72	1.63 ± 0.16 bcd	0.99 ± 0.04 j	0.27 ± 0.00 d	1.03 ± 0.04 bc	0.33 ± 0.00 e	4.74 ± 1.01 ab
Tainung No. 70	1.85 ± 0.00 bc	1.65 ± 0.04 g	0.36 ± 0.04 cd	0.74 ± 0.00 de	0.50 ± 0.08 cd	4.63 ± 1.37 ab
Ayamurasaki	2.80 ± 0.03 a	2.01 ± 0.00 f	0.63 ± 0.04 ab	1.10 ± 0.04 b	0.71 ± 0.00 a	3.11 ± 1.64 ab
Tainung No. 71	1.90 ± 0.15 bc	4.62 ± 0.04 b	0.41 ± 0.19 bcd	0.80 ± 0.00 d	0.50 ± 0.00 cd	6.17 ± 3.09 ab
Taoyuan No. 1	1.49 ± 0.19 cd	0.80 ± 0.00 kl	0.33 ± 0.00 cd	0.71 ± 0.04 de	0.47 ± 0.04 cd	5.97 ± 1.86 ab
Satsumahikari	1.81 ± 0.42 bc	3.73 ± 0.12 c	0.35 ± 0.04 cd	0.95 ± 0.00 c	0.52 ± 0.04 bc	6.86 ± 4.48 a
Tainung No. 73	2.93 ± 1.17 a	0.75 ± 0.00 l	0.41 ± 0.04 bcd	0.79 ± 0.15 d	0.68 ± 0.04 a	3.68 ± 3.02 ab
Tainung No. 68	1.39 ± 0.12 cd	1.18 ± 0.00 i	0.27 ± 0.00 d	0.66 ± 0.04 e	0.33 ± 0.00 e	4.59 ± 3.24 ab
Tainung No. 64	2.25 ± 0.19 ab	0.86 ± 0.00 k	0.57 ± 0.11 abc	0.77 ± 0.04 d	0.52 ± 0.04 bc	5.55 ± 1.37 ab
Tainung No. 69	2.23 ± 0.15 ab	10.07 ± 0.12 a	0.76 ± 0.38 a	1.44 ± 0.00 a	0.58 ± 0.04 b	5.60 ± 5.72 ab

^z Root tissues of 13 sweet potato varieties were compared on dry weight basis.^y Data presented are means ± standard deviation (n = 3).^x Means in a column with different small letters are significantly different ($p < 0.05$).

也有 454.67 ± 13.11 mg/100 g GAE，台農 66 號、薩摩光和台農 73 號總酚含量也有 180 mg/100 g GAE 以上，而台農 57 號、台農 71 號、桃園 1 號和台農 68 號這些品種甘藷總酚含量相對低於其他品種，皆低於 100 mg/100 g GAE。

而總花青素含量 (表 4) 也以山川紫品種之甘藷含量最高 (266.36 ± 1.51 mg/100 g)，清水紫品種次之 (211.03 ± 3.99 mg/100 g)。其餘甘藷品種只有台農 73 號含量有達 90 mg/100 g 外，剩餘甘藷品種花青素含量都只介於 40–60 mg/100 g 之間。

DPPH 自由基清除能力之比較

相同濃度之不同品種甘藷熱水萃取液清除 DPPH 自由基能力以清水紫 52.82% 最高，山川紫 44.17% 居次，台農 64 號也有 33.08% 清除能力。另外如薩摩光、台農 66 號、台農 72 號、台農 70 號、台農 73 號和台農 69 號，清除能力

皆超過 14%。其餘甘藷品種清除 DPPH 自由基均低於 10% (表 5)。

不同品種甘藷熱水萃取液清除 DPPH 自由基及 ORAC 抗氧化能力之高低，以相對於 Trolox 濃度來表示。在清除 DPPH 自由基結果中以清水紫和山川紫相當於 26.15 ± 1.84 及 21.90 ± 1.28 $\mu\text{mol/g}$ Trolox equivalents (TE) 為最高，而薩摩光及台農 64 號也有超過 10 $\mu\text{mol/g}$ TE，其餘品種都只介於 3–8 $\mu\text{mol/g}$ TE 之間，最差的是台農 68 號和台農 57 號，幾乎為零 (表 5)。

不同品種甘藷氧自由基吸收能力 (ORAC) 之差異，由表 5 中可得知山川紫氧自由基吸收能力最好，相當於 129.42 ± 0.44 $\mu\text{mol/g}$ TE，清水紫 112.03 ± 0.86 TE 次之。台農 57 號和桃園 1 號氧自由基吸收能力最低，只有 4.29 ± 1.14 和 3.73 ± 0.10 $\mu\text{mol/g}$ TE，其餘品種氧自由基吸收能力則分布在 11–50 $\mu\text{mol/g}$ TE 之間。

表 4. 不同甘藷品種之總酚及總花青素含量

Table 4. Total phenols and total anthocyanins in root tissues of 13 varieties of sweet potato ^z

Variety	Total phenols (mg/100 g GAE) ^y	Total anthocyanins (mg/100 g)
Tainung No. 66	364.85 ± 1.30 c ^x	49.03 ± 1.07 ghi
Chingshey purple	454.67 ± 13.11 b	211.03 ± 3.99 b
Tainung No. 57	67.22 ± 3.30 i	49.50 ± 1.67 fgh
Tainung No. 72	101.76 ± 2.60 gh	42.85 ± 3.55 j
Tainung No. 70	111.25 ± 3.30 fg	45.45 ± 4.02 hij
Ayamurasaki	500.99 ± 21.89 a	266.36 ± 1.51 a
Tainung No. 71	98.96 ± 2.63 gh	55.29 ± 2.66 def
Taoyuan No. 1	88.92 ± 0.65 h	56.80 ± 2.57 de
Satsumahikari	209.23 ± 5.97 d	60.84 ± 1.51 d
Tainung No. 73	187.69 ± 4.62 e	96.15 ± 3.18 c
Tainung No. 68	64.14 ± 0.66 i	43.64 ± 4.16 ij
Tainung No. 64	188.86 ± 1.97 e	51.81 ± 0.92 efg
Tainung No. 69	120.68 ± 3.95 f	50.15 ± 0.33 fgh

^z Root tissues of 13 sweet potato varieties were compared on dry weight basis.

^y Data presented are means \pm standard deviation ($n = 3$).

^x Means in a column with different small letters are significantly different ($p < 0.05$).

表 5. 不同品種甘藷熱水萃取液之抗氧化能力

Table 5. Antioxidant ability of hot water extracts from different sweet potato varieties

Variety	DPPH scavenging effect (%)	DPPH ($\mu\text{mol/g TE}$) ^{z,y}	ORAC ($\mu\text{mol/g TE}$) ^z
Tainung No. 66	15.14 e ^x	6.56 \pm 0.00 e	21.15 \pm 0.57 f
Chingshey purple	52.85 a	26.15 \pm 1.84 a	112.03 \pm 0.86 b
Tainung No. 57	1.32 h	-0.96 \pm 0.14 h	4.29 \pm 1.14 i
Tainung No. 72	16.35 e	7.06 \pm 0.43 e	11.42 \pm 0.57 h
Tainung No. 70	15.98 e	6.86 \pm 0.43 e	10.32 \pm 1.71 h
Ayamurasaki	44.17 b	21.90 \pm 1.28 b	129.42 \pm 0.44 a
Tainung No. 71	6.77 fg	1.95 \pm 1.70 fg	15.86 \pm 0.14 g
Taoyuan No. 1	9.59 f	3.45 \pm 0.43 f	3.73 \pm 0.10 i
Satsumahikari	26.32 d	12.37 \pm 0.85 d	30.24 \pm 2.51 e
Tainung No. 73	17.11 e	7.46 \pm 0.14 e	39.32 \pm 0.99 d
Tainung No. 68	3.67 gh	0.29 \pm 0.35 gh	11.55 \pm 0.08 h
Tainung No. 64	33.08 c	15.98 \pm 1.42 c	46.42 \pm 2.45 c
Tainung No. 69	14.29 e	5.96 \pm 0.28 e	12.38 \pm 0.07 h

^z Root tissues of 13 sweet potato varieties were compared on dry weight basis.

^y Data presented are means \pm standard deviation (n = 3).

^x Means in a column with different small letters are significantly different ($p < 0.05$).

討 論

新鮮甘藷是屬於高水分之塊根植物，水分含量約為塊根總重之 70–85% 之間。而本試驗中甘藷塊根水分含量為 64–73% 之間，是因為甘藷會隨著儲藏時間增加，其水分含量會慢慢遞減，使得本試驗之甘藷水分含量稍微降低。根據 Ravindran (1995) 等人研究結果，粗蛋白含量隨著品種而有所差異，可以從每 100 g 中含有 1.3 g 到 10 g 以上，本試驗中以山川紫含量 9.34 g/100 g 為最高。雖然甘藷在美國被當作是一種低蛋白食品，但是在很多國家還是被當作很重要之蛋白質來源 (Walter *et al.* 1984)。另外在粗脂肪、粗纖維和灰份含量品種間差異不大，這結果也和 Ravindran (1995) 等人研究結果相符合。

甘藷含有豐富的礦物質元素，可以作為補充人體礦物質之來源，農產品之礦物質含量因其產地之不同而有所差異。Makki (1986) 等人

研究指出兩種產於埃及之甘藷品種，其礦物質含量以 Ca 最高，依次為 Mg、Fe、Cu、Zn、Mn。Olaofe & Sanni (1988) 研究指出甘藷塊根中含量最豐富的礦物質為 K (3617 mg/100 g)，依序為 Mg (580 mg/100 g)、Ca (112 mg/100 g)，而 Mn、Fe、Cu、Zn 則含量較低為 8.8、14.0、1–5.0 和 3.0 mg/100 g。而本試驗結果則以 K 含量較高，依序為 P、Ca、Mg。所以甘藷礦物質含量不只因品種不同而有所差異，也會受到地理環境之影響。

現今食用甘藷主要是因為能增進健康和加強營養素的攝食，在人類生長過程中，細胞會受到氧自由基存在而破壞，因而氧自由基被認為是致癌因子之一 (Dreher & Junod 1996)。攝食天然抗氧化物，如類胡蘿蔔素、多酚類...等，能抵抗減少氧自由基之傷害，因為抗氧化物會清除自由基和消除單重態氧 (Scheibmeir *et al.* 2005)。甘藷中含有許多的生化活性成分，包括酚類化合物及類胡蘿蔔素。在許多國家，甘藷

的根及葉均可做為食物來源 (Nwinyi 1992)。與酚酸相似，花青素具有清除自由基的能力，花青素為水溶性色素且能賦予水果及蔬菜紅色、紫色及藍色。紫色甘藷中含有八種類型的花青素，這些類型可區分為主要的兩群：peonidin anthocyanins 及 cyanidin anthocyanins。紫色甘藷中所有類型的花青素均有一個共通的特性，即為與至少一個 caffeoyl 基團結合，因此具有很好的自由基清除能力。日本研究指出甘藷的葉為豐富酚類化合物的來源 (14.2–171 g chlorogenic acid equivalents/kg dry matter)。花青素為酚類化合物，廣泛存在水果及蔬菜中。紫色甘藷高含量的花青素色素賦予其特殊的顏色。日本紫色甘藷品種中，Yamagawamurasaki (YGM) 及山川紫已經被使用作為天然的食品呈色劑 (Yoshinaga *et al.* 1995)。最進研究指出不同顏色甘藷 (白、黃、橘色、紫色)，具有清除自由基和抗氧化能力，而以紫色甘藷抗氧化能力最高 (Furuta *et al.* 1998; Suda *et al.* 2003)，本試驗結果之兩種紫色甘藷品種清水紫和山川紫之總酚含量和花青素含量最高，相對的清除 DPPH 自由基能力及 ORAC 抗氧化能力較其他顏色品種甘藷高。另有研究指出紫色甘藷品種之抗氧化活性高於藍莓 3.4 倍，且紫色甘藷之花青素和多元酚含量皆高於其他品種，所以攝取甘藷有助於清除體內自由基及減少致癌物之生成。

紫色甘藷因含有高量的醯化花青素，因此，比一些較低程度醯化的花青素穩定，像是在草莓、覆盆子、蘋果及黑豆中都是醯化程度較低的花青素 (Hayashi *et al.* 1996)。在影響花青素穩定的因子很多，但 pH 值是影響花青素穩定性的最重要因素，在酸性的情況下，花青素更穩定。因此，常被應用於碳酸飲品中，使其能得到穩定的化學結構。Prior 等 (2005) 評估 28 種常食用之食品包括水果、蔬菜、核果、乾燥水果、甘藷及麥麩等。結果顯示所有水果

及蔬菜中脂溶性抗氧化活性均非常低，少於總抗氧化活性之 5%。一般來說，大部分水果及蔬菜中，水溶性部分抗氧化活性遠高於脂溶性部分，所以利用熱水萃取甘藷中水溶性機能性成分，是一種便利且不會造成溶劑污染的方法。

本研究探討不同甘藷品種熱水萃取液之抗氧化能力，由上述結果可得知熱水蒸煮甘藷並能萃取水溶性機能性成分，如多酚類、花青素...等，因而民眾可利用一般蒸煮方式處理甘藷，除了可簡單品嚐甘藷之美味，更能攝取花青素、多元酚...等具有抗氧化能力之機能性成分。甘藷除了提供人體營養外，更能減低糧食供給的不穩定性，未來在全球糧食的需求上可減少對米等其他穀類之不足，尤其在發展中國家更具有潛力。所以本試驗結果可作為未來甘藷加工之參考，利用其熱水萃取物中所富含之機能性成分，開發新型態之加工產品增加其利用性，進而提高甘藷之附加價值。

引用文獻 (Literature cited)

- Association of official analytical chemists (AOAC) 1984. Official Methods of Analysis, 14th ed. The Association: Arlington, USA 1141 pp.
- Chung, Y. C., S. J. Chen, C. K. Hsu, C. T. Chang, and S. T. Chou. 2005. Studies on the antioxidative activity of *Graptopetalum paraguayense* E. Walther. *Food Chem.* 91:419-424.
- Dreher, D. and A. F. Junod. 1996. Role of oxygen free radicals in cancer development. *Eur. J. Cancer.* 32A:30-38.
- Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Rebers, and F. Smith. 1979. Colorimetric method for the determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28:350-356.
- Furuta, S., I. Suda, Y. Nishiba, and O. Yamakawa. 1998. High tert-butylperoxyl radical scavenging activities of sweetpotato cultivars with purple flesh. *Food Sci. Technol. Int. Tokyo* 29:33-35.
- Hayashi, K., N. Ohara, and A. Tsukui. 1996. Stability of anthocyanins in various vegetables and fruits. *Food Sci. Technol. Int. Tokyo.* 2:30-33.
- 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.

- Lai, Y. C. 2005. Sweet Potato. Crop Edition-1. p.57–68. *in*: Taiwan Agriculture Encyclopedia. Council of Agriculture, Executive Yuan. Taipei. (in Chinese)
- Makki, H. M., A. Y. Adbel-Rahman, M. K. M. Khalil, and M. S. Mohamed. 1986. Chemical composition of Egyptian sweet potato. *Food Chem.* 20:39–44.
- Nwinyi, S. C. O. 1992. Effect of age at shoot removal on tuber and shoot yields at harvest of five sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] cultivars. *Field Crop Res.* 29:47–54.
- Olaofe, O. and C. O. Sanni. 1988. Mineral contents of agricultural products. *Food Chem.* 30:73–77.
- Ou, B., M. Hampsch-Woodill, and R. L. Prior. 2001. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent as probe. *J. Agric. Food Chem.* 49:4619–4626.
- Prior, R. L., X. Wu, and K. Schaich. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplement. *J. Agric. Food Chem.* 53:4290–4302.
- Scheibmer, H. D., K. Christensen, S. H. Whitaker, J. Jegaethesan, R. Clancy, and J. D. Pierce. 2005. A review of free radicals and antioxidants for critical care nurses. *Intensive Crypt Care Nurs.* 21:24–28.
- Suda, I., T. Oki, M. Masuda, M. Kobayashi, Y. Nishiba, and S. Furuta. 2003. Physiological functionality of purple-fleshed sweet potatoes containing anthocyanins and their utilization in food. *Jpn. Agric. Res. Quarterly.* 37(3):167–173.
- Teow, C. C., V. D. 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.
- Walter, W. M., W. W. Collins, and A. E. Parcell. 1984. Sweet potato protein: A review. *J. Agric. Food Chem.* 32:695–699.
- Wang, H., G. Cao, and R. L. Prior. 1996. Total antioxidant capacity of fruits. *J. Agric. Food Chem.* 44:701–705.
- Yamaguchi, T., H. Takamura, T. Matoba, and J. Terao. 1998. HPLC method for evaluation of free radical-scavenging activity of foods by using 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl. *Biotechnol. Biochem.* 62:1201–1204.
- Yoshinaga, M. 1995. New cultivar “Ayamurasaki” for colorant production. *Sweet Potato Res. Front* 1:2.

Studies on Antioxidant Capacity of Hot Water Extracted from Different Sweet Potato Varieties¹

Tsung-Yen Wu², Hsin-Chen Lee³, Tsai-Hsin Chiu⁴,
and Shwu-Jene Tsai^{2,5}

Abstract

Wu, T. Y., H. C. Lee, T. H. Chiu, and S. J. Tsai. 2009. Studies on antioxidant capacity of hot water extracted from different sweet potato varieties. *J. Taiwan Agric. Res.* 58:7–16.

A study was conducted to compare physicochemical properties and antioxidant activities of 13 varieties sweet potato (*Ipomoea batatas*) grown in Taiwan, including nine Tainung varieties (No. 57, No. 64, No. 66, No. 68, No. 69, No. 70, No. 71, No. 72, and No. 73) and four others (Taoyuan No. 1, Satsumahikari, Chingshey purple, and Ayamurasaki). Hot water extracts from root tissues of each variety were used to determine total phenolic content, total anthocyanin content, DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) and ORAC (oxygen radical absorbance capacity). Results showed that total phenolic contents in Ayamurasaki (500.99 mg/100 g gallic acid, dry weight) and Chingshey purple (454.67 mg/100 g gallic acid; dw) were significantly ($p < 0.05$) higher than other varieties. The DPPH scavenging ability was the highest in Chingshey purple ($26.15 \pm 1.84 \mu\text{mol/g}$ Trolox equivalents; dw), followed by Ayamurasaki ($21.90 \pm 1.28 \mu\text{mol/g}$ Trolox equivalents; dw). The values of ORAC in Ayamurasaki ($129.42 \pm 0.44 \mu\text{mol/g}$ Trolox equivalents; dw) and Chingshey purple ($112.03 \pm 0.86 \mu\text{mol/g}$ Trolox equivalents; dw) were higher than other eleven sweet potato varieties tested. This study reveals that Chingshey purple and Ayamurasaki are two of the sweet potato varieties with potential for functional-food industry because of the high total phenolic contents, total anthocyanin contents, and antioxidant activities.

Key words: Sweet potato, *Ipomoea batatas*, Antioxidant activity, Hot water extraction.

-
1. Contribution No.2342 from Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted: December 4, 2008.
 2. Respectively, Contract Employee, Associate Researcher, Agriculture Chemistry Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
 3. Assistant Researcher, Chiayi Agriculture Experiment Branch, TARI, Chiayi, Taiwan, ROC.
 4. Assistant Professor, Department of Food Science, National Penghu University, Penghu, Taiwan, ROC.
 5. Corresponding author, e-mail: sjtsai@tari.gov.tw; Fax: (04)23302805.