

不同定植期及採收次數對紫色葉菜甘藷酚類化合物及 抗氧化能力之影響

何佳勳¹ 楊滿霞² 蕭巧玲² 賴永昌³ 林慧玲^{4,*}

何佳勳、楊滿霞、蕭巧玲、賴永昌、林慧玲。2024。不同定植期及採收次數對紫色葉菜甘藷酚類化合物及抗氧化能力之影響。台灣農業研究 73(4):269–280。

摘要

本研究以農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所育成紫葉品系的葉菜甘藷 CYY84-67 作為試驗材料，並以 2017–2018 年種植在農業部農業試驗所農場之試材進行機能性成分分析。本研究目的旨在探討不同定植期與採收次數對紫色葉菜甘藷酚類化合物與抗氧化能力之影響。研究結果顯示，紫色葉菜甘藷於 2017–2018 年不同採收期之葉片總酚含量為 87.3–269.0 mg gallic acid equivalent g⁻¹ fresh weight (FW)，莖部總酚含量為 16.6–41.5 mg gallic acid equivalent g⁻¹ FW，葉片總花青素含量為 2.8–21.2 mg g⁻¹ FW，莖部總花青素含量為 0.2–2.1 mg g⁻¹ FW，葉片總黃酮含量約在 21.9–77.5 mg quercetin equivalent g⁻¹ FW，莖部含量則在 5.8–11.7 mg quercetin equivalent g⁻¹ FW。在抗氧化能力部分，葉片 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 自由基清除能力為 34.6–83.7%，莖部為 3.5–11.4%，而葉片的半致效應濃度 (concentration for 50% of maximal effect; EC₅₀) 為 22.05 µg mL⁻¹，莖部的 EC₅₀ 濃度則為 184.08 µg mL⁻¹。在普魯士藍還原力部分，紫色葉菜甘藷之葉片為 10.4–75.9 mg ascorbic acid equivalent g⁻¹ FW，莖部之還原力則為 1.2–6.4 mg ascorbic acid equivalent g⁻¹ FW。綜合試驗結果顯示，在 3 月 7 日以第 3 次採收之機能性成分與抗氧化能力較佳，在 6 月 28 日與 12 月 7 日定植期以第 1 次採收較佳，在 9 月 5 日定植期則以第 2 次採收較佳。再者，紫色葉菜甘藷之葉片酚類化合物與抗氧化能力具有極顯著正相關。

關鍵詞：紫色葉菜甘藷、定植期、採收次數、酚類化合物、抗氧化能力。

前言

隨著時代的變遷與進步，國人的飲食習慣已從『吃得飽』與『吃得好』進展至『吃出健康』與『吃出樂活』境界。一般民眾已逐漸了解飲食與健康的關聯性，再加上人口老化與醫療保健成本提高等因素，使得國人在飲食方面開始選擇，具有較高機能性成分的食品與營養保健產品。由於植物體內含有豐富的花青素 (anthocyanins)、類胡蘿蔔素 (carotenoids)、黃酮

類 (flavonoids) 或其他多酚類化合物 (polyphenols) 等次級代謝產物，這些存在於植物體的天然化合物稱為植化素 (phytochemicals)，其普遍存在於蔬果、穀物、堅果、豆類及茶等天然食物中 (Liu 2003; Xiao & Bai 2019)。酚類化合物是廣泛存在於植物體的次級代謝產物，其衍生物包括黃酮類、酚酸及花青素等，已知蔬果中的酚類化合物具有抗氧化能力，可有效清除自由基防止氧化傷害，因此可作為食品與保健等膳食抗氧化劑 (Balasundram *et al.*

投稿日期：2024 年 7 月 2 日；接受日期：2024 年 9 月 11 日。

* 通訊作者：hllin@dragon.nchu.edu.tw

¹ 農業部農業試驗所作物組助理研究員。臺灣 臺中市。

² 農業部農業試驗所作物組副研究員。臺灣 臺中市。

³ 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所農藝系研究員兼系主任。臺灣 嘉義市。

⁴ 國立中興大學園藝學系教授。臺灣 臺中市。

2006; Babbar *et al.* 2014)。此外，不同種類的植化素對人體具有不同的營養保健功能，如花青素有助於預防多種與自由基有關的疾病，包括糖尿病、高血壓、動脈硬化及癌症等，而黃酮類則具有抗糖尿病、降血脂、調節血管滲透壓、保護心血管、抗衰老及抗發炎等作用 (Hollman & Katan 1997; Ghosh & Konishi 2007; Panche *et al.* 2016)。

葉菜甘藷 (*Ipomoea batatas* L.)，英名為 leafy sweet potato，別名為地瓜葉與過溝菜，屬於旋花科甘藷屬之 1 年或多年生蔓生植物，具有匍匐地面生長特性且一年四季皆可生產。葉菜甘藷富含多酚物質，尤其以咖啡奎寧酸 (caffeoylquinic acids) 與其衍生物具有很高的抗氧化能力 (Kurata *et al.* 2007; Taira *et al.* 2013; Sun *et al.* 2014)。Chu *et al.* (2000) 分析臺灣數種蔬菜之黃酮類含量，發現紫色葉菜甘藷的總黃酮含量 (426.8 mg kg^{-1}) 最高，其中黃酮醇的楊梅黃酮 (myricetin) 與斛皮素 (quercetin) 及黃酮類的葉黃酮 (luteolin) 等含量皆高於多種常見蔬菜，顯示紫色葉菜甘藷為具有豐富多酚類的蔬菜作物。Zhang *et al.* (2020) 利用 HPLC-ESI-MS 檢測，發現葉菜甘藷之酚類化合物含有 7 種咖啡奎寧酸衍生物與 4 種黃酮類，進一步分析葉片與葉柄的多酚含量與抗氧化能力，顯示葉片之總酚與總黃酮含量高於葉柄約 10 倍，且葉片酚類化合物之咖啡奎寧酸衍生物可能是主要的抗氧化成分。再者，Liu *et al.* (2012) 研究指出，葉菜甘藷「台農 71 號」之頂芽與展開葉第一葉，具有最高的總酚含量與 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 自由基清除能力，且春作採收期會顯著影響抗氧化能力表現。Liao *et al.* (2011) 研究顯示，「Tainung 10」與「Tainung 57」之抗氧化能力表現優於「Tainung 66」與黃葉品系，且對 H_2O_2 誘導的細胞毒性也有保護作用，而總酚與黃酮類可能是主要的抗氧化成分。Li *et al.* (2019) 分析 2 種紫色葉菜甘藷品種之花青素，發現含有 9 種醯化型矢車菊素與 9 種醯化型芍藥花青素，其中醯基包含咖啡醯 (caffeoyl)、香豆醯 (p-coumaryl)、阿魏醯 (feruloyl) 及羥基苯甲醯 (p-hydroxy benzoyl)，

惟花青素含量會因品種而有所差異，且葉片的花青素成分與含量也會與紫藷塊根不同。另一方面，在不同期作環境下甘藷植體之機能性成分也會有所差異，其中葉片之斛皮素含量以秋作最高，而矢車菊素 (cyanidin)、芍藥素 (peonidin) 及葉黃體素 (lutein) 則以春作較高，在莖部之楊梅素 (myricetin) 含量以夏作較高，而矢車菊素則以春作最高 (Chan 2010)。綜合上述研究顯示，葉菜甘藷之品種、部位及採收期環境條件等均會影響機能性成分含量與抗氧化能力表現。

本研究目的旨在探討不同定植期與採收次數對紫色葉菜甘藷不同部位機能性成分的差異，據以篩檢出機能性成分較高之最適定植與採收期，期能作為高機能性成分蔬菜生產模式之理論與應用基礎，並評估紫色葉菜甘藷作為保健食品原料之可行性。

材料與方法

本研究在農業部農業試驗所農場 (臺中市霧峰區) 進行試驗，以嘉義農業試驗分所育成的心形紫葉品系 CYY84-67 作為參試材料，分別於 2017 年 3 月 7 日、6 月 28 日、9 月 5 日及 12 月 7 日定植，每定植 1 次將連續採收 3 次，共計 12 個採收期 (表 1)。本試驗以 15–20 cm 先端苗進行斜插，每次定植之試驗設計採用逢機完全區集設計 (randomized complete block design; RCBD)，田區規劃 4 區集，每小區種植 40 株，每畦長 5 m、寬 8 m，行距 1.2 m，株距固定為 0.5 m，採雙行植，植體採收標準係以紫色葉菜甘藷覆蓋整個畦面始進行採收作業，取樣方式為離畦面 15–20 cm 處修平。試驗田間栽培管理參考 Ho *et al.* (2024) 報告。

機能性成分測定

本試驗參考 Sarpate *et al.* (2009) 之萃取方法經修飾後進行，將採收後的紫色葉菜甘藷分別秤取葉片與莖部各 20 g 鮮重，經液態氮破碎後以 1:20 比例加入含有 1% 1 N 鹽酸的甲醇 (methanol) 於室溫下浸泡 48 h，再用濾紙 (GA-55, Advantec, Tokyo, Japan) 過濾收集濾液並反覆 2 次，將濾液合併經 30°C 真空減壓

表 1. 紫色葉菜甘藷 CYY84-67 於 2017-2018 年期間合計 12 個採收期之定植日期、採收次數、採收日期、定植後日數及葉片與莖部甲醇萃取率。

Table 1. Dates of planting, harvest, batch of harvest, days after planting time, and extraction rate from the leaves and stems of 12 cultivation periods of purple leafy sweet potato CYY84-67 in 2017-2018.

Date of planting	Batch of harvest	Date of harvest	Days after planting time	Extraction rate of leaves (%) ^z	Extraction rate of stems (%)
2017/03/07	1	2017/04/20	44	7.3	6.3
	2	2017/05/17	71	10.2	6.7
	3	2017/06/20	105	10.9	6.2
2017/06/28	1	2017/08/11	44	10.9	6.5
	2	2017/09/07	71	8.9	6.3
	3	2017/09/29	93	8.1	6.5
2017/09/05	1	2017/10/12	37	8.7	5.5
	2	2017/11/09	65	9.4	8.0
	3	2017/12/07	93	9.5	6.1
2017/12/07	1	2018/02/26	81	10.5	5.9
	2	2018/03/30	113	9.2	6.3
	3	2018/04/26	140	8.3	5.4

^z Extraction rate (%) = (extract weight of 100% MeOH + 1% 1N HCl / 20 g fresh weight) × 100%.

濃縮機 (RE400/BM 200, Yamato Scientific Co., Ltd., Tokyo, Japan) 抽乾後，再以冷凍乾燥機 (EYELA FDU-2200, Tokyo Rikakikai Co., Ltd., Tokyo, Japan) 凍乾 24 h，即得本試驗材料萃取物進行機能性成分與抗氧化能力分析。

總酚含量測定 (total phenolic content)

總酚含量測定參考 Kujala *et al.* (2000) 之萃取方法。將每 1 mg 紫色葉菜甘藷萃取物溶於 1 mL 甲醇 (50% methanol)，取 100 μ L 萃取液與 100 μ L 福林酚試劑 (1 N Folin-Ciocalteu reagent) 混合在 1.5 mL 離心管。將混合物靜置 10 min，再加入 200 μ L 碳酸鈉 (20% Na₂CO₃) 溶液並混合均勻。在室溫下靜置 30 min 後，將混合物置於離心機，以 20,000×g (13,000 rpm) 離心 10 min。取 200 μ L 上清液至 96 微孔盤中，利用分光光度計 (SPECTROstar® Nano, BMG Labtech, Ortenberg, Germany) 測量 730 nm 波長的吸光值。以沒食子酸 (gallic acid) 為標準品，配置 5、10、20、40、80、100 及 200 μ g mL⁻¹ 濃度範圍以製作檢量線，並換算紫色葉菜甘藷每克鮮重中，所含沒食子酸的相對量毫克數，以 mg GAE g⁻¹ (gallic acid equivalent; GAE，沒食子酸當量) 表示。

總黃酮含量測定 (total flavonoid content)

總黃酮含量測定參考 Arvouet-Grand *et al.* (1994) 之萃取方法。將每 1 mg 紫色葉菜甘藷萃取物溶於 1 mL 甲醇 (75% methanol)，取 250 μ L 萃取液與 1.4 mL ddH₂O、50 μ L 氯化鋁 (10% AlCl₃) 及 50 μ L 醋酸鉀 (1 M CH₃COOK) 混合在 2 mL 離心管。將混合物在室溫下避光靜置 30 min，取 200 μ L 上清液至 96 微孔盤中，利用前述分光光度計測量 415 nm 波長的吸光值。以槲皮素 (quercetin) 為標準品，配置 5、10、20、40、80 μ g mL⁻¹ 濃度範圍以製作檢量線，並換算紫色葉菜甘藷每克鮮重中，所含槲皮素的相對量毫克數，以 mg QE g⁻¹ (quercetin equivalent; QE，槲皮素當量) 表示。

總花青素含量測定 (total anthocyanin content)

以矢車菊素-3-葡萄糖苷 (cyanidin-3-glucoside) 分子量作為計算標準，利用酸鹼值差異法 (pH differential method) 計算總花青素含量 (Ayu *et al.* 2018)。將每 5 mg 紫色葉菜甘藷萃取物溶於 1 mL 萃取液 (100% 甲醇 + 1% 1N 鹽酸)。取 200 μ L 萃取液分別與 800 μ L 氯化鉀緩衝液 (0.025 M potassium chloride buffer,

pH 1.0) 及 800 μL 醋酸鈉緩衝液 (0.4 M sodium acetate buffer, pH 4.5) 混合在 2 mL 離心管。將混合物在室溫下避光靜置 15 min。取 1 mL 上清液至比色管中，利用分光光度計測量 520 nm 與 700 nm 波長的吸光值，並將測量值帶入下列公式中：

$$\text{Total anthocyanin contents (mg g}^{-1}\text{)} \\ = (A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1,000) / (\epsilon \times l \times W)$$

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

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

DF: dilution factor (稀釋倍數)

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

l: 光通過的路徑 (1 cm)

W: 萃取物的重量 (g)

抗氧化能力分析

DPPH 自由基清除能力 (DPPH scavenging effect)

本測定參考 Aoshima *et al.* (2004) 之分析方法。取 10 μL 樣品萃取物 (濃度為 30 $\mu\text{g mL}^{-1}$) 與 200 μL DPPH-甲醇溶液 (0.1 mM) 及 90 μL Tris-HCl 緩衝液 (50 mM, pH 7.4) 混合在 96 微孔盤，對照組為 100% 甲醇溶液。將混合物在室溫下避光靜置 30 min 後，利用分光光度計測量 517 nm 波長的吸光值，再以公式計算：DPPH 自由基清除能力 (%) = [(對照吸光值 - 樣品吸光值)/對照吸光值] $\times$ 100%。以抗壞血酸 (ascorbic acid) 為對照組，並配置不同的萃取物濃度以製作檢量線計算半致效應濃度 (concentration for 50% of maximal effect; EC_{50}) 數值，抗壞血酸配置濃度範圍為 0.625、1.25、2.5 及 5 $\mu\text{g mL}^{-1}$ ，葉片濃度範圍為 5、10、20、30 及 40 $\mu\text{g mL}^{-1}$ ，莖部濃度範圍為 10、25、50、100、200 及 300 $\mu\text{g mL}^{-1}$ ， EC_{50} 數值乃清除 50% DPPH 自由基的有效濃度。

普魯士藍還原力 (reducing power)

本測定參考 Singh & Rajini (2004) 之分析方法。將每 1 mg 紫色葉菜甘藷萃取物溶於 1 mL ddH_2O 。取 100 μL 萃取液與 100 μL 磷酸鹽緩衝液 (0.2 M phosphate buffer, pH 6.6) 及 100 μL 赤血鹽 (1% potassium ferricyanide) 混合在 1.5 mL 離心管，以乾浴 50°C 反應 20 min 後，再以冰塊冷卻。再加入 100 μL 三氯乙酸 (10% trichloroacetic acid) 至離心管後，將混合物置於離心機，以 820 $\times$ g (3,000 rpm) 離心 10 min。取 100 μL 上清液至 96 微孔盤中，再加入 100 μL ddH_2O 與 20 μL 氯化鐵 (0.1% ferric chloride) 混合均勻後，在室溫下反應 10 min，利用分光光度計測量 700 nm 波長的吸光值。以抗壞血酸 (ascorbic acid) 為對照組，並配置葉片與莖部濃度範圍為 1、5、10、25、50、75 及 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 以比較不同部位之還原力差異。以抗壞血酸 (ascorbic acid) 為標準品，配置上述濃度範圍以製作檢量線，並換算紫色葉菜甘藷每克鮮重中，所含抗壞血酸還原力的相對量毫克數，以 mg AAE g^{-1} (ascorbic acid equivalent; AAE, 抗壞血酸當量) 表示。

統計分析與繪圖

以 Bartlett 分析檢定是否可合併 4 個定植試驗，分析結果為葉之黃酮類為均值同質，可合併 4 個定植期作比較；其餘觀測值分析結果為均方非同質，則各定植期分別進行 ANOVA (analysis of variance) 分析。試驗數據皆以均值 $\pm$ 標準誤差表示，統計分析之 ANOVA、最小顯著性差異 (Fisher's protected least significant difference test; LSD test) 及相關矩陣分析係利用 SAS Enterprise Guide 統計軟體 (version 7.1)，而統計繪圖則使用 SPSS 公司之 Sigma-Plot 軟體 (version 12.5)。

結果與討論

本研究以嘉義農業試驗分所育成紫葉品系的葉菜甘藷 CYY84-67 作為試驗材料，並以 2017-2018 年種植在農業部農業試驗所農

場之試材進行機能性成分分析。本試驗分別於 2017 年 3 月 7 日、6 月 28 日、9 月 5 日及 12 月 7 日定植，每定植 1 次將連續採收 3 次，共計 12 個採收期 (表 1)。將不同採收期的紫色葉菜甘藷之葉片與莖部分別秤取 20 g 鮮重，經液態氮破碎後以 1:20 比例加入含有 1% 1 N 鹽酸的甲醇進行萃取，通過真空減壓濃縮機抽乾後，再以真空冷凍乾燥機凍乾，即得試驗材料萃取物。由表 1 結果顯示，紫色葉菜甘藷 CYY84-67 於 2017-2018 年不同採收期之葉片甲醇萃取率約 7.3-10.9%，而莖部為 5.4-8.0%，其中以葉片萃取率高於莖部。為探討不同定植期與採收次數對紫色葉菜甘藷不同部位機能性成分之差別效應，分別將上述試驗材料萃取物分析總酚 (total phenolic content; TPC)、總花青素 (total anthocyanin content; TAC) 及總黃酮 (total flavonoid content; TFC) 含量變化。

由表 2 結果顯示，紫色葉菜甘藷於 2017-2018 年不同採收期之葉片 TPC 為 87.3-269.0 mg GAE g⁻¹ fresh weight (FW)，莖部為 16.6-41.5 mg GAE g⁻¹ FW；葉片 TAC 為 2.8-21.2 mg g⁻¹ FW，莖部為 0.2-2.1 mg g⁻¹ FW；葉片 TFC 約在 21.9-77.5 mg QE g⁻¹ FW，莖部約在 5.8-11.7 mg QE g⁻¹ FW。在抗氧化能力結果顯示，葉片 DPPH 自由基清除能力為 34.6-83.7%，莖部為 3.5-11.4%，而葉片還原力為 10.4-75.9 mg AAE g⁻¹ FW，莖部為 1.2-6.4 mg AAE g⁻¹ FW (表 3)，初步比較上述機能性成分含量及抗氧化能力部分，葉片皆明顯高於莖部。

以 Bartlett 分析檢定是否可合併 4 個定植試驗比較不同採收次數之機能性成分及抗氧化能力，分析結果為葉之黃酮類 (TFC) 為均方同質，可合併 4 個定植期作比較；其餘觀測值分析結果為均方非同質，則各定植期分別進行資料分析。由試驗結果發現，葉片之 TPC、TAC 及 TFC 表現，在 3 月 7 日定植期以第 1 次採收期最低，第 3 次採收期最高，且兩者達顯著差異；在 12 月 7 日定植期，以第 1 次採收期最高，且與第 2 及 3 次採收期有顯著差異；6 月 28 日定植期以第 1 次採收期平均值最高，

其中 TPC 及 TFC 達顯著差異；9 月 5 日定植期以第 2 次採收期最高，其中 TAC 達顯著差異 (表 2)。葉片之黃酮類 (TFC) 可合併 4 個定植期比較結果，以 6 月 28 日定植期之第 1 次採收期含量最高，而 3 月 7 日定植期之第 1 次採收含量最低 (表 4)。在抗氧化能力部分，葉片之 DPPH 自由基清除能力與前面 4 項觀測值趨勢不完全相同，相同部分為 12 月 7 日定植期仍以第 1 次採收期最高，且與第 2 及 3 次採收期有顯著差異，6 月 28 日定植期則以第 1 次採收期最高，9 月 5 日定植期皆以第 2 次採收期最高；相異部分為在 3 月 7 日定植期以第 2 次採收期最高 (表 3)。此外，不同定植期之還原力表現與機能性成分具有相同趨勢 (表 3)。綜合上述結果，在 3 月 7 日以第 3 次採收之機能性成分與抗氧化能力較佳，在 6 月 28 日與 12 月 7 日定植期以第 1 次採收較佳，9 月 5 日定植期則以第 2 次採收較佳。另一方面，莖部以第 1 與 2 次採收之機能性成分或抗氧化能力有較高的趨勢 (表 2 與表 3)。

已知溫度、光照及季節性環境均會影響植體酚類化合物生合成表現，其中光輻射和溫度與酚酸及黃酮類含量具有正相關，而花青素與總酚的累積與季節溫度呈負向變化 (Borochv-Neori *et al.* 2011; Marin *et al.* 2015; Alba *et al.* 2022)。Chan (2010) 論文顯示，甘藷葉片之斛皮素含量以秋作最高，而矢車菊素、芍藥素與葉黃體素則以春作較高，因此在不同期作環境下甘藷植體之機能性成分會有所差異。Ghorbanli *et al.* (2012) 研究發現，附生地衣 *Flavoparmelia caperata* 之酚類化合物、黃酮及花青素在冬季環境下會顯著地增加，而 *Physcia dubia* 在夏季會促進酚類化合物表現，冬季則會使花青素含量增加。Zhang *et al.* (2019) 研究指出，小花蔓澤蘭 (*Mikania micrantha*) 在冬季低溫環境下，會促進葉與莖中花青素的累積，此現象乃是提高其抗氧化能力以增加冬季低溫的耐受性。本試驗結果發現，葉片 TFC 為合併 4 個定植期分析結果，定植期與採收次數交互顯著，故比較定植期與採收次數兩因子之所有處理組合，以 6 月 28

表 2. 比較紫色葉菜甘藷 CYY84-67 葉片與莖部在 4 個定植期連續採收 3 次之酚類化合物。

Table 2. Comparisons of phenolic compounds from the leaves and stems of purple leafy sweet potato CYY84-67 among 3 consecutive harvests in 4 planting dates.						
Batch of harvest	Leaves			Stems		
	2017/03/07	2017/06/28	2017/09/05	2017/12/07	2017/03/07	2017/06/28
TPC ^z (mg GAE g ⁻¹ FW)						
1	107.2 ± 13.4 b ^y	261.2 ± 10.3 a	176.8 ± 15.6 a	269.0 ± 13.0 a	31.3 ± 0.7 a	41.5 ± 1.3 a
2	202.8 ± 17.4 a	170.8 ± 11.4 b	213.5 ± 28.5 a	98.8 ± 9.4 b	30.0 ± 0.8 a	36.4 ± 3.7 ab
3	244.3 ± 14.2 a	158.9 ± 8.3 b	166.3 ± 11.1 a	87.3 ± 6.0 b	30.0 ± 3.2 a	29.2 ± 2.6 b
TAC (mg g ⁻¹ FW)						
1	3.6 ± 0.7 c	16.2 ± 1.5 a	12.4 ± 1.5 b	21.2 ± 1.9 a	1.2 ± 0.0 b	1.5 ± 0.1 a
2	8.7 ± 0.9 b	12.1 ± 1.1 a	19.8 ± 2.9 a	5.2 ± 0.9 b	0.5 ± 0.0 c	1.1 ± 0.0 b
3	17.8 ± 1.0 a	13.9 ± 0.6 a	19.1 ± 2.8 ab	2.8 ± 0.6 b	2.1 ± 0.1 a	1.2 ± 0.2 b
TFC (mg QE g ⁻¹ FW)						
1	21.9 ± 3.0 b	77.5 ± 5.8 a	50.8 ± 5.2 a	60.5 ± 4.3 a	6.1 ± 0.6 b	7.5 ± 0.4 a
2	52.2 ± 4.1 a	56.5 ± 2.8 b	63.3 ± 7.5 a	43.0 ± 4.3 b	9.2 ± 0.7 a	8.0 ± 0.8 a
3	52.2 ± 1.8 a	50.6 ± 2.7 b	46.8 ± 3.6 a	43.1 ± 4.4 b	7.9 ± 0.7 ab	7.3 ± 0.4 a

^z TPC: total phenolic content; GAE: gallic acid equivalent; FW: fresh weight; TAC: total anthocyanin content; TFC: total flavonoid content; QE: quercetin equivalent.
^y Mean ± standard error (*n* = 8). Means within a column followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by Fisher's protected least significant difference (LSD) test.

表 3. 比較紫色葉菜甘藷 CYY84-67 葉片與莖部在 4 個定植期連續採收 3 次之抗氧化能力。

Batch of harvest		Leaves				Stems			
		2017/3/7	2017/6/28	2017/9/5	2017/12/7	2017/3/7	2017/6/28	2017/9/5	2017/12/7
DPPH scavenging effect (%) ^z									
1	55.5 ± 2.0 c ^y	83.1 ± 0.8 a	67.7 ± 1.4 b	82.4 ± 1.6 a	11.4 ± 0.1 a	9.4 ± 0.2 b	8.6 ± 0.4 a	10.0 ± 0.9 a	
2	72.0 ± 2.5 a	68.3 ± 1.8 b	83.7 ± 0.8 a	46.1 ± 2.2 b	8.9 ± 0.2 c	10.6 ± 0.3 a	9.0 ± 0.6 a	6.0 ± 0.2 b	
3	61.1 ± 1.6 b	67.6 ± 1.6 b	61.2 ± 2.6 b	34.6 ± 1.5 c	9.5 ± 0.2 b	6.9 ± 0.5 c	5.9 ± 0.2 b	3.5 ± 0.5 c	
Reducing power (mg AAE g ⁻¹ FW)									
1	22.8 ± 2.8 b	65.6 ± 4.0 a	40.9 ± 4.8 a	75.9 ± 6.6 a	6.1 ± 0.4 a	6.4 ± 0.6 a	2.8 ± 0.3 b	5.2 ± 0.2 a	
2	47.0 ± 5.9 a	38.5 ± 2.0 b	60.6 ± 7.9 a	23.3 ± 1.6 b	3.7 ± 0.1 b	5.0 ± 0.5 ab	5.7 ± 0.7 a	1.9 ± 0.2 b	
3	51.8 ± 1.3 a	39.4 ± 3.6 b	43.1 ± 3.5 a	10.4 ± 0.7 b	5.7 ± 0.6 a	3.9 ± 0.5 b	1.5 ± 0.2 c	1.2 ± 0.1 c	

^z DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; AAE: ascorbic acid equivalent; FW: fresh weight.^y Mean ± standard error ($n = 8$). Means within a column followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by Fisher's protected least significant difference (LSD) test.

表 4. 紫色葉菜甘藷 CYY84-67 葉片之總黃酮綜合變方分析交感效應。

Table 4. Sympathetic effects of the total flavonoid content comprehensive variance analysis in the leaves of purple leafy sweet potato CYY84-67.

Date of planting	Batch of harvest	Mean ± SE
2017/6/28	1	77.5 ± 5.8 a
2017/9/5	2	63.3 ± 7.5 b
2017/12/7	1	60.5 ± 4.3 b
2017/6/28	2	56.5 ± 2.8 bc
2017/3/7	3	52.2 ± 1.8 bcd
2017/3/7	2	52.2 ± 4.1 bcd
2017/9/5	1	50.8 ± 5.2 bcd
2017/6/28	3	50.6 ± 2.7 bcd
2017/9/5	3	46.8 ± 3.6 cd
2017/12/7	3	43.1 ± 4.4 d
2017/12/7	2	43.0 ± 4.3 d
2017/3/7	1	21.9 ± 3.0 e

^x Mean ± standard error ($n = 8$). Different letters mean significant differences at 5% level by Fisher's protected least significant difference (LSD) test.

日定植期之第 1 次採收期含量最高，而 3 月 7 日定植期之第 1 次採收含量最低 (表 4)。紫色葉菜甘藷在 2017 年 12 月 7 日定植期之第 1 次採收，即 2018 年 2 月 26 日採收期之 TPC、TAC 及 TFC 表現最佳 (表 2)，顯示低溫可能會誘導 TPC、TAC 及 TFC 增加。先前試驗結果顯示，2017 年 12 月 7 日定植至第 1 次採收之平均氣溫為 17°C，且在此生育期間氣溫低於 15°C 的天數約有 21 d (Ho *et al.* 2024)，推測低溫可能會導致紫色葉菜甘藷之酚類化合物含量累積。

本研究進一步以紫色葉菜甘藷 CYY84-67 在 2018 年 2 月 26 日採收期，分析葉片與莖部不同濃度萃取物之 DPPH 自由基清除能力檢量線及 EC₅₀ 濃度，對照組為抗壞血酸。由圖 1 結果顯示，紫色葉菜甘藷 CYY84-67 之葉片與莖部不同濃度萃取物與 DPPH 自由基清除能力呈顯著線性關係，利用線性方程式計算抗壞血酸的 EC₅₀ 濃度為 2.95 μg mL⁻¹、葉片的 EC₅₀ 濃度為 22.05 μg mL⁻¹，而莖部的 EC₅₀ 濃度為 184.08 μg mL⁻¹，結果可知抗壞血酸之 DPPH 自由基清除能力最強，其次是葉片而莖

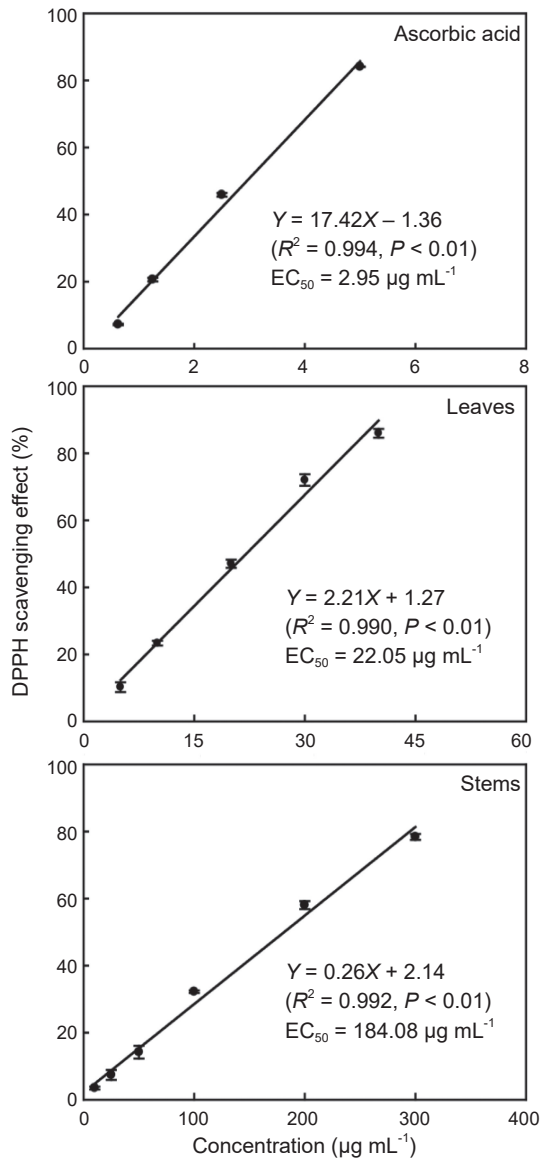


圖 1. 紫色葉菜甘藷 CYY84-67 於 2018 年 2 月 26 日採收日期下葉片與莖部不同濃度萃取物之 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 自由基清除能力檢量線及 EC_{50} 濃度，對照組為抗壞血酸。

Fig. 1. The 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) scavenging effect calibration curve and EC_{50} from leaves and stems with different concentrations of purple leafy sweet potato CYY84-67 in February 26, 2018, and control is ascorbic acid.

部表現最差。已知普魯士藍還原力旨在將赤血鹽 ($K_3Fe(CN)_6$) 還原成黃血鹽 ($K_4Fe(CN)_6$)，而黃血鹽再與 Fe^{3+} 作用以生成普魯士藍，通過檢測普魯士藍生成量，以評估參試樣品作為抗氧化物的還原力 (Yıldırım *et al.* 2001)。本研究同樣取 2018 年 2 月 26 日採收期，分析葉片與莖部之不同濃度萃取物在 700 nm 波長的吸光讀值，對照組為抗壞血酸。由圖 2 結果發現，抗壞血酸的還原力最高，其次為紫色葉菜甘藷之葉片及莖部萃取物。進一步將紫色葉菜甘藷 CYY84-67 之機能性成分與抗氧化能力進行相關矩陣分析，結果顯示葉片的機能性成分與抗氧化能力具有極顯著正相關，其中又以總酚與總花青素及抗氧化能力的係數較高，而莖部的總酚與總花青素及抗氧化能力亦有極顯著正相關 (表 5)。

已知葉菜甘藷含有多酚物質，尤其是咖啡奎寧酸及其衍生物具有很高的抗氧化能力 (Kurata *et al.* 2007; Taira *et al.* 2013; Sun *et al.* 2014; Zhang *et al.* 2020)，而紫色葉菜甘藷

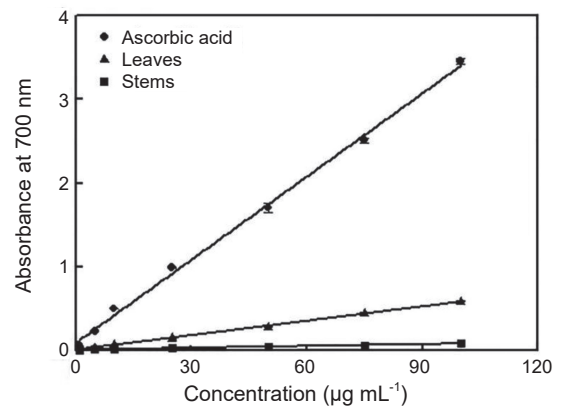


圖 2. 紫色葉菜甘藷 CYY84-67 於 2018 年 2 月 26 日採收日期，葉片與莖部不同濃度萃取物之 700 nm 波長的吸光值，對照組為抗壞血酸。

Fig. 2. The absorbance reading at 700 nm from leaves and stems with different concentrations of purple leafy sweet potato CYY84-67 in February 26, 2018, and control is ascorbic acid.

表 5. 紫色葉菜甘藷 CYY84-67 葉片與莖部萃取物的酚類化合物與抗氧化能力之相關矩陣係數。

Table 5. Correlation matrix with the Pearson coefficient values for phenolic compounds and antioxidant ability of the leaves and stems extracts in purple leafy sweet potato CYY84-67.

Parameter	TPC ^z	TFC	TAC	AOA (DPPH)	AOA (Reducing power)
Leaves of CYY84-67 (<i>n</i> = 48)					
TPC	1	0.491**	0.755**	0.864**	0.906**
TFC		1	0.549**	0.558**	0.530**
TAC			1	0.701**	0.808**
AOA (DPPH)				1	0.919**
AOA (Reducing power)					1
Stems of CYY84-67 (<i>n</i> = 48)					
TPC	1	0.226	0.675**	0.724**	0.805**
TFC		1	0.299*	0.295*	0.191
TAC			1	0.637**	0.795**
AOA (DPPH)				1	0.825**
AOA (Reducing power)					1

^z TPC: total phenolic content; TFC: total flavonoid content; TAC: total anthocyanin content; AOA: antioxidant activity according to the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and reducing power assays.

** Correlation is significant at $P \leq 0.01$; * correlation is significant at $P \leq 0.05$.

則含有酚類化合物、黃酮類及花青素等成分，具有抗氧化功能可有效抑制發炎作用與預防癌症等潛力 (Chu *et al.* 2000; Lee *et al.* 2015; Li *et al.* 2019)。本研究發現紫色葉菜甘藷之葉片 DPPH 自由基清除能力 EC_{50} 為 $22.05 \mu\text{g mL}^{-1}$ ，而莖部的 EC_{50} 濃度為 $184.08 \mu\text{g mL}^{-1}$ (圖 1)，顯示葉片的抗氧化能力較佳。文獻研究指出，植體內機能性成分的組成及含量與抗氧化能力間具有顯著正相關，如小苜蓿 (*Medicago minima*) 葉和根的抗氧化能力與酚類及黃酮類含量有顯著正相關 (Ge & Ma 2013; Kabtni *et al.* 2020; Lee *et al.* 2020)。此外，Liu *et al.* (2012) 研究發現，葉菜甘藷「台農 71 號」之葉片總酚含量愈高，其 DPPH 自由基清除能力愈佳。本研究相關矩陣分析顯示，紫色葉菜甘藷 CYY84-67 葉片的機能性成分與抗氧化能力呈極顯著正相關，其中又以總酚與總花青素及抗氧化能力的係數較高，即總酚與總花青素含量愈多則抗氧化能力愈強 (表 5)。

綜合上述研究顯示，紫色葉菜甘藷含有總酚及花青素，可視為物美價廉的機能性蔬菜，由於紫色葉菜甘藷生長快速且栽培容易，再加上耐旱耐濕與抗病蟲害等特性，因此農藥施用較少亦屬於健康蔬菜，尤其適合機械收穫可大

面積栽培。惟 CYY84-67 紫葉品系由於適口性不佳，故作為蔬菜供消費者食用的接受度不高，但其所含的機能性成分，則可提供作為本土保健食品原料之新選擇，以期能開發符合市場需求並具保健功能之新產品，藉此提升紫色葉菜甘藷之多元利用性與附加價值，並增進農民收益以及提供消費者之營養保健參考。

引用文獻

- Alba, T. M., E. Tessaro, and A. M. Sobottka. 2022. Seasonal effect on phenolic content and antioxidant activity of young, mature and senescent leaves from *Anredera cordifolia* (Ten.) Steenis (Basellaceae). *Braz. J. Biol.* 84:e254174. doi:10.1590/1519-6984.254174
- Aoshima, H., H. Tsunoue, H. Koda, and Y. Kiso. 2004. Aging of whiskey increases 1, 1-diphenyl-2-picryl hydrozyl radical scavenging activity. *J. Agric. Food Chem.* 52:5240-5244. doi:10.1021/jf049817s
- Arvouet-Grand, A., B. Vennat, A. Pourrat, and P. Legret. 1994. Standardization of propolis extract and identification of principal constituents. *J. Pharm. Belg.* 49:462.
- Ayu, A. C., M. Ida, M. Moelyono, and S. G. Fakhriati. 2018. Total anthocyanin content and identification of anthocyanidin from *Plectranthus scutellarioides*

- (L.) R. Br leaves. *Res. J. Chem. Environ.* 22:11–17.
- Babbar, N., H. S. Oberoi, S. K. Sandhu, and V. K. Bhargav. 2014. Influence of different solvents in extraction of phenolic compounds from vegetable residues and their evaluation as natural sources of antioxidants. *J. Food Sci. Technol.* 51:2568–2575. doi:10.1007/s13197-012-0754-4
- Balasundram, N., K. Sundram, and S. Samman. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chem.* 99:191–203. doi:10.1016/j.foodchem.2005.07.042
- Borochv-Neori, H., S. Judeinstein, M. Harari, I. Bar-Ya'akov, B. S. Patil, S. Lurie, and D. Holland. 2011. Climate effects on anthocyanin accumulation and composition in the pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit arils. *J. Agric. Food Chem.* 59:5325–5334. doi:10.1021/jf2003688
- Chan, S. H. 2010. Variation of flavonols, anthocyanins and carotenoids of sweet potato among different varieties and crop seasons. Master Thesis. Department of Agronomy, National Chung Hsing University. Taichung, Taiwan. 66 pp. (in Chinese with English abstract)
- Chu, Y. H., C. L. Chang, and H. F. Hsu. 2000. Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. *J. Sci. Food Agric.* 80:561–566. doi:10.1002/(SICI)1097-0010(200004)80:5<561::AID-JSFA574>3.0.CO;2-#
- Ge, Q. and X. Ma. 2013. Composition and antioxidant activity of anthocyanins isolated from Yunnan edible rose (*An ning*). *Food Sci. Hum. Wellness* 2:68–74. doi:10.1016/j.fshw.2013.04.001
- Ghorbanli, M., T. Amirkian Tehran, and M. Niyakan. 2012. Seasonal changes in antioxidant activity, flavonoid, anthocyanin and phenolic compounds in *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale and *Physcia dubia* (Hoffm.) Lettau from Babol forest sites in north of Iran. *Iran. J. Plant Physiol.* 2:461–469.
- Ghosh, D. and T. Konishi. 2007. Anthocyanins and anthocyanin-rich extracts: Role in diabetes and eye function. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 16:200–208. doi:10.6133/apjcn.2007.16.2.01
- Ho, C. H., M. H. Yang, and H. L. Lin. 2024. Effects of temperature and solar radiation on growth traits and plant elements in purple leafy sweet potato. *J. Taiwan Agric. Res.* 73:37–52. (in Chinese with English abstract) doi:10.6156/JTAR.202403_73(1).0004
- Hollman, P. C. H. and M. B. Katan. 1997. Absorption, metabolism and health effects of dietary flavonoids in man. *Biomed. Pharmacother.* 51:305–310. doi:10.1016/s0753-3322(97)8045-6
- Kabtni, S., D. Sdouga, I. Bettaib Rebey, M. Save, N. Tri-fi-Farah, M. L. Fauconnier, and S. Marghali. 2020. Influence of climate variation on phenolic composition and antioxidant capacity of *Medicago minima* populations. *Sci. Rep.* 10:8293. doi:10.1038/s41598-020-65160-4
- Kujala, T. S., J. M. Lopenen, K. D. Klika, and K. Pihlaja. 2000. Phenolic and betacyanins in red beet root (*Beta vulgaris*) root: Distribution and effects of cold storage on the content of total phenolics and three individual compounds. *J. Agric. Food Chem.* 48:5338–5342. doi:10.1021/jf000523q
- Kurata, R., M. Adachi, O. Yamakawa, and M. Yoshimoto. 2007. Growth suppression of human cancer cells by polyphenolics from sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves. *J. Agric. Food Chem.* 55:185–190. doi:10.1021/jf0620259
- Lee, S. L., T. Y. Chin, S. C. Tu, Y. J. Wang, Y. T. Hsu, M. C. Kao, and Y. C. Wu. 2015. Purple sweet potato leaf extract induces apoptosis and reduces inflammatory adipokine expression in 3T3-L1 differentiated adipocytes. *Evid. Based Complement. Alternat. Med.* 2015:126302. doi:10.1155/2015/126302
- Lee, Y., J. K. Lee, J. G. Kim, S. H. Park, Y. E. Kim, S. K. Park, and M. S. Kim. 2020. Phenolic compounds and antioxidant activity of berries produced in South Korea. *J. Appl. Biol. Chem.* 63:297–303. doi:10.3839/jabc.2020.040
- Li, G., Z. Lin, H. Zhang, Z. Liu, Y. Xu, G. Xu, ... H. Tang. 2019. Anthocyanin accumulation in the leaves of the purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars. *Molecules* 24:3743. doi:10.3390/molecules24203743
- Liao, W. C., Y. C. Lai, M. C. Yuan, Y. L. Hsu, and C. F. Chan. 2011. Antioxidative activity of water extract of sweet potato leaves in Taiwan. *Food Chem.* 127:1224–1228. doi:10.1016/j.foodchem.2011.01.131
- Liu, H. T., C. P. Liu, and Y. C. Lai. 2012. Effects of leaf position and harvest time on total phenolics content and free radical scavenging activity of DPPH of a leafy sweet potato. *Crop Environ. Bioinform.* 9:98–107. (in Chinese with English abstract) doi:10.30061/CEB.201206.0004
- Liu, R. H. 2003. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *Amer. J. Clin. Nutr.* 78:517S–520S. doi:10.1093/ajcn/78.3.517S
- Marin, A., F. Ferreres, G. G. Barberá, and M. I. Gil. 2015. Weather variability influences color and phenolic content of pigmented baby leaf lettuces throughout the season. *J. Agric. Food Chem.* 63:1673–1681. doi:10.1021/acs.jafc.5b00120
- Panche, A. N., A. D. Diwan, and S. R. Chandra. 2016. Flavonoids: An overview. *J. Nutr. Sci.* 5:e47.

- doi:10.1017/jns.2016.41
- Sarpate, R. V., S. V. Tupkari, T. K. Deore, B. G. Chandak, and S. C. Nalle. 2009. Isolation, characterization and microvascular activity of anthocyanins from *Ficus racemosa* fruits. *Pharmacogn. Mag.* 5(19):78–82.
- Singh, N. and P. S. Rajini. 2004. Free radical scavenging activity of an aqueous extract of potato peel. *Food Chem.* 85:611–616. doi:10.1016/j.foodchem.2003.07.003
- Sun, H., T. Mu, L. Xi, and Z. Song. 2014. Effects of domestic cooking methods on polyphenols and antioxidant activity of sweet potato leaves. *J. Agric. Food Chem.* 62:8982–8989. doi:10.1021/jf502328d
- Taira, J., K. Taira, W. Ohmine, and J. Nagata. 2013. Mineral determination and anti-LDL oxidation activity of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves. *J. Food Composit. Anal.* 29:117–125. doi:10.1016/j.jfca.2012.10.007
- Xiao, J. and W. Bai. 2019. Bioactive phytochemicals. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 59:827–829. doi:10.1080/10408398.2019.1601848
- Yıldırım, A., A. Mavi, and A. A. Kara. 2001. Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus* L. extracts. *J. Agric. Food Chem.* 49:4083–4089. doi:10.1021/jf0103572
- Zhang, C., D. Liu, L. Wu, J. Zhang, X. Li, and W. Wu. 2020. Chemical characterization and antioxidant properties of ethanolic extract and its fractions from sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves. *Foods* 9:15. doi:10.3390/foods9010015
- Zhang, Q., J. Zhai, L. Shao, W. Lin, and C. Peng. 2019. Accumulation of anthocyanins: An adaptation strategy of *Mikania micrantha* to low temperature in winter. *Front. Plant Sci.* 10:1049. doi:10.3389/fpls.2019.01049

Effects of Planting Periods and Number of Harvesting Times on Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Purple Leafy Sweet Potato

Chia-Hsun Ho¹, Man-Hsia Yang², Chiao-Ling Hsiao², Yung-Chang Lai³, and Huey-Ling Lin^{4,*}

Abstract

Ho, C. H., M. H. Yang, C. L. Hsiao, Y. C. Lai, and H. L. Lin. 2024. Effects of planting periods and number of harvesting times on phenolic compounds and antioxidant capacity of purple leafy sweet potato. *J. Taiwan Agric. Res.* 73(4):269–280.

In this study, the experimental material of purple leafy sweet potato strain CYY84–67 was bred by Chiayi Agricultural Experiment Branch of Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), and the field experiment and functional ingredients analyses were conducted at TARI in 2017 and 2018. The objectives of this study were to investigate the effects of planting periods and number of harvesting times on phenolic compounds and antioxidant capacity of purple leafy sweet potato. The results showed that functional ingredients were present in the leaves and stems of purple leafy sweet potato CYY84–67 at different harvest periods during 2017–2018. The total phenolic content in leaves ranged from 87.3–269.0 mg gallic acid equivalent g⁻¹ fresh weight (FW), while the content in stems ranged from 16.6–41.5 mg gallic acid equivalent g⁻¹ FW. Leaves had a total anthocyanin content of 2.8–21.2 mg g⁻¹ FW, while stems had a content of 0.2–2.1 mg g⁻¹ FW. The total flavonoid content in leaves was between 21.9 and 77.5 mg quercetin equivalent g⁻¹ FW, while the content in stems was between 5.8 and 11.7 mg quercetin equivalent g⁻¹ FW. Regarding antioxidant capacity, the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) scavenging effect of the leaves was 34.6–83.7%, while that of the stems was 3.5–11.4%. The concentration for 50% of maximal effect (EC₅₀) of the leaves was 22.05 µg mL⁻¹, and the EC₅₀ concentration of the stems was 184.08 µg mL⁻¹. The reducing power from the leaves of purple leafy sweet potato CYY84–67 was 10.4–75.9 mg ascorbic acid equivalent g⁻¹ FW, while the stems had 1.2–6.4 mg ascorbic acid equivalent g⁻¹ FW. The results showed that the functional ingredients and antioxidant capacity were better in the third harvest on March 7. For the planting periods on June 28 and December 7, the first harvest was the best, while for the planting period on September 5, the second harvest was the superior. Furthermore, there was a significant positive correlation between the antioxidant capacity and the phenolic compounds in the leaves of purple leafy sweet potato.

Key words: Purple leafy sweet potato, Planting period, Number of harvesting times, Phenolic compound, Antioxidant capacity.

Received: July 2, 2024; Accepted: September 11, 2024.

* Corresponding author, e-mail: hllin@dragon.nchu.edu.tw

¹ Assistant Research Fellow, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

² Associate Research Fellows, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

³ Research Fellow and Division Director, Department of Agronomy, Chia-Yi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.

⁴ Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University, Taichung City, Taiwan, ROC.