

乾燥方式對於金盞草花朵之理化特性影響¹

任珮君²

摘 要

金盞草 (*Calendula officinalis* L.) 為新竹縣尖石鄉那羅部落重要經濟作物之一，每年 2 月至 5 月花開時節，吸引大量遊客前來賞花。新鮮花朵因水分含量高，採摘後易腐敗，傳統陽光乾燥易受天候影響而品質不穩定。為提升部落金盞草花朵乾燥品質，本研究探討 3 種常見乾燥方式（熱風乾燥、真空乾燥及冷凍乾燥）對不同花色之金盞草花朵理化特性影響。試驗結果顯示，所有處理之水分含量皆低於 10%，水活性低於 0.70。橙花品種之總類胡蘿蔔素含量（14.2-19.5 mg g⁻¹）顯著高於黃花品種（11.6-12.4 mg g⁻¹）。就乾燥方式而言，橙花品種以冷凍乾燥有最高之總類胡蘿蔔素含量（19.5 ± 1.3 mg g⁻¹），其次為熱風乾燥處理（18.7 ± 0.2 mg g⁻¹），再者為真空乾燥（14.2 ± 1.0 mg g⁻¹），黃花品種之冷凍乾燥處理（12.4 ± 0.8 mg g⁻¹）顯著高於真空乾燥處理（11.6 ± 0.9 mg g⁻¹）。就色澤分析而言，橙花品種之 a* 值（21.7-28.8）顯著高於黃花品種（12.7-13.7）。就相關性分析而言，總類胡蘿蔔素含量與 a* 值呈顯著正相關（r=0.920），因此可以 a* 值作為金盞草花朵機能性成分初步篩選的輔助指標。熱風乾燥處理於總類胡蘿蔔素含量及色澤保留方面雖略低於冷凍乾燥處理，但因設備取得容易且具乾燥成本低之優勢，建議後續可針對熱風乾燥的溫度條件進行更深入的研究與開發。

關鍵字：熱風乾燥、真空乾燥、冷凍乾燥、總類胡蘿蔔素

前 言

新竹縣尖石鄉那羅部落以泰雅族原住民為主要人口組成（原住民委員會，2025），其休閒農業區坐落於海拔 600-700 m 之間，因日夜溫差大且排水性良好，適合溫帶香草作物生長。為推動原鄉部落觀光旅遊之發展，新竹縣政府及橫山地區農會自 2011 年

¹ 農業部桃園區農業改良場研究彙報第 555 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)。

起便開始輔導部落大規模種植金盞草，迄今種植面積已達 2 公頃，每年 2 至 5 月花開時節，吸引大量遊客前來賞花（新竹縣政府，2025）。為拓展原鄉加工產品多元性，部落於 2024 年成立雅葳農莊農產品初級加工場，購入乾燥及粉碎加工設備，並積極開發乾燥香草茶包產品。

金盞草花瓣主要呈色物質為總類胡蘿蔔素，色澤範圍介於橙色及黃色之間。Pintea 等（2003）研究指出，金盞草花瓣中總類胡蘿蔔素組成種類及比例決定花瓣之色澤，常見類胡蘿蔔素種類包含葉黃素、 β -胡蘿蔔素、 γ -胡蘿蔔素及茄紅素。Kishimoto 等（2005）研究分析 6 種日本金盞草花瓣，鑑別出 19 種不同的類胡蘿蔔素，橙花品種較黃花品種多 10 種類胡蘿蔔素。金盞草及萬壽菊因花瓣中總葉黃素含量為總色素含量 90% 以上，常被作為葉黃素保健食品主要萃取原料（Becerra *et al.*, 2020; Kishimoto *et al.*, 2005）。然而，新鮮金盞草花朵水分含量極高（約 80% 至 90%），採摘後極易因生理代謝及微生物孳生而腐敗，常需透過乾燥技術降低水分含量，以延長花朵之保存期限（Matouk *et al.*, 2016）。陽光乾燥為一種簡單且方便操作之乾燥方式，但乾燥過程易受天候影響，且乾燥時間過長，可能會導致花瓣中類胡蘿蔔素含量及抗氧化成分大幅降解（Akshaya *et al.*, 2020）。有鑒於類胡蘿蔔素具高度環境不穩定性，容易因溫度、氧氣、光及酸鹼值，而發生成分降解（Kurniawan *et al.*, 2019），本研究擬探討 3 種常見乾燥方式（熱風乾燥、真空乾燥及冷凍乾燥）對於不同花色金盞草花朵（橙花品種及黃花品種）之總類胡蘿蔔素含量及色澤所產生之影響，期能作為部落在選擇金盞草花朵最適乾燥方法之參考。

材料與方法

一、試驗材料

本試驗使用之金盞草新鮮花朵購自新竹縣尖石鄉那羅部落雅葳農莊，採收時間為 2025 年 3 月，橙花品種及黃花品種各 3 kg，樣品為同一栽培批次。於 3 至 5 月期間亦進行不同批次試驗，確認試驗結果的再現性，因試驗結果與 3 月趨勢相仿，本研究僅呈現 3 月研究數據。

二、試驗方法

(一) 試驗設計

1. 試驗類型：採完全逢機設計 (Completely randomized design, CRD), 3 重複。
2. 試驗因子：乾燥方式 (熱風乾燥、真空乾燥及冷凍乾燥) 及花色 (橙花品種及黃花品種)。
3. 處理組：總共 6 組。

(二) 金盞草花朵製備

1. 將金盞草橙花品種及黃花品種各分為 3 組，每組處理重量為 1 kg，將花朵平鋪盡量不重疊，以下列條件進行乾燥，乾燥至水分含量約 8%。
 - (1) 熱風乾燥：以平盤式熱風乾燥機 (ST-14060120A，承輝儀器有限公司) 溫度為 50°C、乾燥 16 hr。
 - (2) 真空乾燥：以靜置式真空乾燥 (YL-S150S 型，祐麟實業有限公司) 溫度為 50°C、遠紅外線強度 1.4 kWm⁻²、間歇式抽真空度範圍為 600-680 mmHg、旋轉速度 1 rpm、乾燥 12 hr。
 - (3) 冷凍乾燥：以棚板式冷凍乾燥機 (UNISS FDS-20，台灣綠意科技有限公司) 溫度為 -20°C、真空度 0.2 mmHg、乾燥 67 hr。
2. 以高速粉碎機 (RT-N12，榮聰精密科技有限公司) 將花朵研磨 2 min 後，以 70 mesh 篩網過篩，製備成樣品，然後進行理化特性分析。

(三) 理化特性分析

1. 水分含量 (Water content)

參考國家標準 CNS 5033 N6114 食品中水分之檢驗方法 (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，重複檢測 3 次取平均值。

2. 水活性 (Water activity)

參考國家標準 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) 測定樣品之水活性含量。於樣品盒中裝入約八分滿之樣品放入儀器中，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. 總類胡蘿蔔素 (Total carotenoid content)

參考 Roszkowska 等 (2015) 及 FAO/WHO (2016) 之方法加以修正，秤取 0.1

g 樣品置於 15 mL 塑膠離心管中，加入 6 mL 正己烷，超音波震盪萃取 5 min 後，以 4,000 rpm 離心 10 min，分離上清液，稀釋至適合之濃度，取 200 μ L 稀釋液於 96 孔盤中，以 454 nm 波長測定吸光值，依下列公式計算每公克 (g) 樣品所含總類胡蘿蔔素含量 (mg)，重複檢測 3 次取平均值。

總類胡蘿蔔素含量 = (樣品吸光值 - 空白吸光值) \times MW \times 稀釋倍數 / (ϵ \times 樣品重量)

MW: 葉黃素分子量為 568.87 g mol⁻¹

ϵ : 葉黃素在正己烷中的莫耳吸光係數 (molar absorptivity) 為 147,300 L mol⁻¹·cm⁻¹

4. 色澤

將樣品置於樣品盒中放入色差儀 (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* 值為樣品於色差儀偵測值，重複檢測 3 次取平均值。

三、統計分析

本試驗為檢視不同乾燥方式 (熱風乾燥、真空乾燥及冷凍乾燥) 及花色 (橙花品種及黃花品種) 對各變項是否有顯著影響，以 R 統計分析軟體 (version 4.3.2, 2023) 程式進行複因子變異數分析 (Two-way ANOVA)，數值以平均值 \pm 標準差表示，後續以費雪最小顯著差異性方法 (Fisher's protected least significant difference test, LSD test) 檢測處理間差異性。以皮爾森相關性分析 (Pearson Correlation Analysis) 檢測金盞草花朵總類胡蘿蔔素含量與色澤之相關性。

結果與討論

一、不同乾燥方式及金盞草花色對水分含量、水活性分析及總類胡蘿蔔素含量之影響

(一) 水分含量及水活性分析

金盞草花朵水分含量之乾燥方式及花色 2 項主效應與交感效應皆達極顯著水準，於 6 組處理間，橙花品種真空乾燥處理有最高之水分含量 8.70 \pm 0.03%，其

次為橙色熱風乾燥處理 $8.26 \pm 0.03\%$ 及黃色真空乾燥處理 $8.40 \pm 0.10\%$ ，黃花品種冷凍乾燥處理有最低之水分含量 $7.24 \pm 0.10\%$ (表 1)。前人研究提及，許多食用花卉為了保存，常會將乾燥花卉水分含量控制在小於 10% (Dorozko *et al.*, 2019; Matouk *et al.*, 2016; Kurniawan *et al.*, 2019) 本試驗花朵水分含量介於 7.24% 至 8.70%，皆低於 10%，與前人研究結果相符。

金盞草花朵水活性之乾燥方式及花色 2 項主效應與交感效應皆達極顯著水準，於 6 組處理間，橙花品種真空乾燥處理有最高之水活性 0.502 ± 0.002 ，其次為黃花品種真空乾燥處理 0.458 ± 0.009 ，黃花品種冷凍乾燥處理有最低之水活性 0.369 ± 0.002 (表 1)。任 (2020) 研究指出，水活性是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，食品常見微生物細菌、酵母菌與黴菌最適合生長之水活性，分別為 0.90、0.88 及 0.70，水活性控制於 0.70 以下，可抑制大部分微生物生長，有助於產品保存。本試驗花朵水活性介於 0.369 至 0.502，皆低於 0.70，與前人研究結果相符。

(二) 總類胡蘿蔔素含量分析

金盞草花朵總類胡蘿蔔素含量之乾燥方式及花色 2 項主效應與交感效應皆達極顯著水準，於 6 組處理間，橙花品種冷凍乾燥處理有最高之總類胡蘿蔔素含量 $19.5 \pm 1.3 \text{ mg g}^{-1}$ (表 1)，其次為橙花品種熱風乾燥處理 $18.7 \pm 0.2 \text{ mg g}^{-1}$ ，再者為橙花品種真空乾燥處理 $14.2 \pm 1.0 \text{ mg g}^{-1}$ 。Bako 等 (2002) 研究分析金盞草乾燥植株各部位之總類胡蘿蔔素含量，其中以花朵有最高之總類胡蘿蔔素含量 7.71 mg g^{-1} ，其次依序為花粉 (1.61 mg g^{-1})、葉 (0.85 mg g^{-1}) 及莖 (0.18 mg g^{-1})。Raal 等 (2009) 研究分析 42 種品種乾燥金盞草花朵之總類胡蘿蔔素含量，介於 $2.0\text{-}35.1 \text{ mg g}^{-1}$ 。本試驗花朵總類胡蘿蔔素含量介於 $11.6\text{-}19.5 \text{ mg g}^{-1}$ ，與前人研究結果相符。

本試驗橙花品種有較高之總類胡蘿蔔素含量。Raal 等 (2009) 研究指出，黃花品種之總類胡蘿蔔素含量通常低於 10 mg g^{-1} ，於金盞花瓣中鑑定出的 19 種類胡蘿蔔素中，有 10 種是橙色品種所獨有的，橙花品種因能生成茄紅素 (Lycopene)，組成較為多元，其含量可達 $10\text{-}20 \text{ mg g}^{-1}$ 甚至更高，使花色呈現橙色至橙黃色系。Kim 等 (2024) 研究指出，韓國萬壽菊之總葉黃素含量與花色有關，橙花品種所有乾燥處理之總葉黃素含量均高於黃色品種，建議開發高葉黃素含量產品，可以選擇橙花品種作為試驗原料。Kurniawan 等 (2019) 研究指出，印尼萬壽菊

橙花品種之總類胡蘿蔔素、總葉黃素及總玉米黃素含量幾乎是黃色品種之 4 倍。本試驗橙花品種之總類胡蘿蔔素含量 ($14.2-19.5 \text{ mg g}^{-1}$) 高於黃花品種 ($11.6-12.4 \text{ mg g}^{-1}$)，與前人研究結果相符。金盞草花色與其總類胡蘿蔔素組成有關，Pintea 等 (2003) 研究指出，金盞草花朵主要呈色物質為含氧類胡蘿蔔素，橙花品種因所含碳氫化合物類胡蘿蔔素比例 (例如 β -胡蘿蔔素、 γ -胡蘿蔔素及茄紅素) 較黃花品種高，故色澤偏橙色。

乾燥製程移除金盞草花朵中水分，會使植物組織結構坍塌，並增加組織中總類胡蘿蔔素與環境因子接觸面積。Pénicaud 等 (2011) 研究提及，食品組成、光線、溫度及氧氣是影響 β -胡蘿蔔素降解之關鍵，主要透過以下兩個途徑進行降解：一、異構化作用：將存在於自然界的全反式 (all-trans) 結構轉變為生物活性較低的順式 (cis) 異構體。二、氧化作用：透過自氧化、光氧化或酶催化引發，產生環氧化物、脫輔基胡蘿蔔醛、脫輔基胡蘿蔔酮及短鏈裂解產物等成分。

分析前人研究可知，不同品種花朵對於乾燥方式，有不同的表現結果。Kurniawan 等 (2019) 研究指出，印尼萬壽菊品種 Mega Orange 及 Mega Gold 花瓣之冷凍乾燥處理 (溫度為 -45°C 、真空度 0.04 mmHg) 及真空乾燥處理 (溫度為 40°C 、真空度 18 mmHg) 有最高之總葉黃素含量，其次為熱風乾燥處理 (溫度為 40°C)。Siriamornpun 等 (2012) 研究指出，泰國萬壽菊 (*T. erecta* L.) 花瓣之冷凍乾燥處理 (溫度為 -40°C 、真空度 0.1 mmHg 乾燥 48 hr) 及遠紅外線結合熱風乾燥處理 (遠紅外線強度 5 kWm^{-2} 、溫度 40°C 乾燥 1 hr) 有最高之總葉黃素含量，其次為熱風乾燥處理 (溫度 60°C 乾燥 4 hr)。Guo 等 (2023) 研究指出，冷凍乾燥之低溫可減少營養物質於乾燥過程之損失，故可保留較多之顏色、外觀及風味，然而昂貴的設備、乾燥時間長及能源需求高，皆限制其應用性。Akshaya 等 (2020) 研究指出，印度萬壽菊品種 Pusa Arpita、Pusa Narangi Gainda 及 Pusa Basanti Ganida 花瓣之真空乾燥處理有最高之總類胡蘿蔔素含量 (溫度為 45°C 、真空度 0.06 mmHg)，其次為微波乾燥 (微波 90 s) 及熱風乾燥處理 (溫度為 60°C)，日曬乾燥處理有最低之總類胡蘿蔔素含量。Kim 等 (2024) 研究指出，韓國萬壽菊 (*Tagetes* spp.) 品種 Durango yellow 及 Inca yellow 花瓣之熱風乾燥處理 (溫度 60°C 乾燥 6 hr) 之總葉黃素含量顯著高於冷凍乾燥處理高，品種 Durango orange 及 Inca orange 花朵熱風乾燥處理之總葉黃素含量與冷凍乾燥處理無統計上顯著差異。

本試驗橙花品種以冷凍乾燥有最高之總類胡蘿蔔素含量 ($19.5 \pm 1.3 \text{ mg g}^{-1}$)，其次為熱風乾燥處理 ($18.7 \pm 0.2 \text{ mg g}^{-1}$)，再者為真空乾燥 ($14.2 \pm 1.0 \text{ mg g}^{-1}$)，黃花品種之冷凍乾燥處理 ($12.4 \pm 0.8 \text{ mg g}^{-1}$) 顯著高於真空乾燥處理 ($11.6 \pm 0.9 \text{ mg g}^{-1}$)。分析真空乾燥有較低總類胡蘿蔔素含量可能原因為：

1. 乾燥樣品差異

前人研究材料為凸顯色澤上差異，多使用花瓣進行研究。Matouk 等 (2016) 研究指出，金盞草花瓣因表面積大，相較於乾燥完整花朵，水分更容易蒸發，由於乾燥時間短，總類胡蘿蔔素降解量少，故能保留較多總類胡蘿蔔素。有鑒於那羅部落多以完整花朵作為產品開發素材，本試驗使用完整花朵進行乾燥，因花蕊之水分移除速度較慢，為使完整花朵完全乾燥，使用之乾燥時間皆較前人研究長。

2. 真空乾燥機性能差異

Siriamornpun 等 (2012) 研究指出，遠紅外線可直接穿透含水量最高的部位，加速食品內部水分擴散及蒸散速率，縮短乾燥時間，使機能性成分降解較少。分析前人研究真空乾燥處理之真空度設定，皆低於 18 mmHg (Akshaya *et al.*, 2020; Kurniawan *et al.*, 2019; Siriamornpun *et al.*, 2012)。本試驗真空乾燥機設定極限為 600-680 mmHg，乾燥時間較前人研究長。Akshaya 等 (2020) 研究指出，真空乾燥處理及熱風乾燥處理之色澤及總類胡蘿蔔素含量低於冷凍乾燥，可能與乾燥過程之非酵素性褐變及熱裂解有關。Achir 等 (2010) 研究提及，類胡蘿蔔素為熱敏感物質，例如 β -胡蘿蔔素及反式葉黃素的降解速率都隨著溫度的升高而增加。本試驗真空乾燥處理可能因乾燥時間較長，遠紅外線產生之熱能，促進類胡蘿蔔素降解反應，故有較低之總類胡蘿蔔素含量。

表 1. 不同乾燥方式及金盞草花色對水分含量、水活性及總類胡蘿蔔素含量之影響

Table 1. Effects of different drying methods and *Calendula officinalis* flower colors on moisture content, water activity, and total carotenoid content.

乾燥方式 Drying method	花色 Flower color	水分含量 Water content (%)	水活性 Water activity	總類胡蘿蔔素含量 Total carotenoids content (mg g ⁻¹)
熱風乾燥 Hot air drying	橙色 Orange	8.26 ± 0.03 b ^y	0.438 ± 0.002 c	18.7 ± 0.2 b
	黃色 Yellow	8.07 ± 0.10 c	0.429 ± 0.002 d	11.8 ± 0.7 de
真空乾燥 Vaccuum drying	橙色 Orange	8.70 ± 0.03 a	0.502 ± 0.002 a	14.2 ± 1.0 c
	黃色 Yellow	8.40 ± 0.10 b	0.458 ± 0.009 b	11.6 ± 0.9 e
冷凍乾燥 Freeze drying	橙色 Orange	7.85 ± 0.12 d	0.404 ± 0.002 e	19.5 ± 1.3 a
	黃色 Yellow	7.24 ± 0.10 e	0.369 ± 0.002 f	12.4 ± 0.8 d
ANOVA		F-test ^x LSD _{0.05} ^z	F-test LSD _{0.05}	F-test LSD _{0.05}
乾燥方式 Drying method		** 0.110	** 0.005	** 1.362
花色 Color		** 0.090	** 0.004	** 1.112
乾燥方式 x 花色 Drying method x Flower color		** 0.156	** 0.007	** 1.924

^x ANOVA 的 F 檢定：ns 表示未達 5%顯著水準、*及**分別表示 P < 0.05 及 P < 0.01。

^y 以平均值±標準差 (n=3) 表示數值。同欄英文字母相同者表示經 Fisher 最小顯著差異檢定在 5%水準差異不顯著。

^z LSD_{0.05}：用於比較處理組間平均值差異是否達到 5%水準差異之最小顯著差異值。

^x F-test of ANOVA. ns, non-significant; * and** indicate a significant difference at P < 0.05 and 0.01, respectively.

^y Values presented are the means ± standard deviation(n=3). Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different by Fisher's protected LSD test(P<0.05).

^z LSD_{0.05}: values of least significant difference for mean comparisons at 5% level.

二、不同乾燥方式及金盞草花色對色澤分析之影響

金盞草花朵色澤 L*值之乾燥方式及花色 2 項主效應與交感效應皆達極顯著水準。於 6 組處理間，黃花品種冷凍乾燥處理有最高之 L*值 61.1 ± 0.1 ，次之為橙花品種冷凍乾燥處理 59.8 ± 0.1 ，橙花品種熱風乾燥處理有最低之 L*值 53.8 ± 0.1 。色澤 a*值之乾燥方式及花色 2 項主效應與交感效應皆達極顯著水準。於 6 組處理間，橙花品種熱風乾燥處理有最高之 a*值 28.0 ± 0.1 ，次之為橙花品種冷凍乾燥處理 25.8 ± 0.1 ，黃花品種真空乾燥處理有最低之 a*值 12.7 ± 0.1 。色澤 b*值之乾燥方式及花色 2 項主效應與交感效應皆達極顯著水準。於 6 組處理間，黃花品種真空乾燥處理有最高之 b*值 57.3 ± 0.1 ，次之為黃花品種熱風乾燥處理 57.0 ± 0.1 ，橙花品種真空乾燥處理有最低之 b*值 47.5 ± 0.1 (表 2)。

冷凍乾燥處理色澤 L*值顯著高於熱風乾燥及真空乾燥處理。Kurniawan 等(2019)研究指出，萬壽菊冷凍乾燥處理因乾燥溫度較低，能保留最高之總類胡蘿蔔素含量，且有最佳之色澤。Bejar 等(2011)研究指出，乾燥過程樣品中糖類及氨基酸之梅納反應及非酵素性褐變反應，會使乾燥樣品 L*值降低，色澤轉為褐色。前人研究指出，金盞草及萬壽菊花朵之總類胡蘿蔔素含量與品種有關，通常橙花品種之總葉黃素含量顯著高於黃花品種，橙色程度越強，總葉黃素含量越高 (Kim *et al.*, 2024; Kurniawan *et al.*, 2019; Piccaglia *et al.*, 1998; Pintea *et al.*, 2003; Raal *et al.*, 2009)。橙色是由紅色及黃色所組成，本試驗橙花品種之色澤 a*值 (21.7-28.0) 高於黃花品種 (16.7-18.0)、黃花品種之色澤 b*值 (86.9-105.5) 高於橙花品種 (58.3-91.1)。Kurniawan 等(2019)研究指出，印尼萬壽菊冷凍乾燥處理花瓣因乾燥溫度較低，能保留最高之總類胡蘿蔔素含量及色澤，真空乾燥處理及熱風乾燥處理因非酵素性褐變及熱裂解反應，色澤由橙色轉為橙黃色。本研究真空乾燥處理有較低之總類胡蘿蔔素含量及色澤 a*值，可能與乾燥時間過長導致總類胡蘿蔔素降解有關。

表 2. 不同乾燥方式及金盞草花色對色澤分析之影響

Table 2. Effects of different drying methods and *Calendula officinalis* flower colors on color parameters.

乾燥方式 Drying method	花色 Flower color	L*	a*	b*			
熱風乾燥 Hot air drying	橙色 Orange	53.8 ± 0.1 e ^y	28.0 ± 0.1 a	53.3 ± 0.1 c			
	黃色 Yellow	58.9 ± 0.1 c	13.7 ± 0.1 d	57.0 ± 0.1 b			
真空乾燥 Vaccuum drying	橙色 Orange	55.8 ± 0.1 d	21.7 ± 0.2 c	47.5 ± 0.1 f			
	黃色 Yellow	58.9 ± 0.3 c	12.7 ± 0.1 f	57.3 ± 0.1 a			
冷凍乾燥 Freeze drying	橙色 Orange	59.8 ± 0.1 b	25.8 ± 0.1 b	53.1 ± 0.1 d			
	黃色 Yellow	61.1 ± 0.1 a	13.2 ± 0.1 e	52.4 ± 0.1 e			
ANOVA		F-test ^x	LSD _{0.05} ^z	F-test	LSD _{0.05}	F-test	LSD _{0.05}
乾燥方式 Drying method		**	0.042	**	0.038	**	0.067
花色 Color		**	0.035	**	0.031	**	0.055
乾燥方式 x 花色 Drying method x Flower color		**	0.051	**	0.051	**	0.089

^x ANOVA 的 F 檢定：ns 表示未達 5%顯著水準，*及**分別表示 P < 0.05 及 P < 0.01。

^y 以平均值±標準差 (n=3) 表示數值。同欄英文字母相同者表示經 Fisher 最小顯著差異檢定在 5%水準差異不顯著。

^z LSD_{0.05}：用於比較處理組間平均值差異是否達到 5%水準差異之最小顯著差異值。

^x F-test of ANOVA. ns, non-significant; * and** indicate a significant difference at P < 0.05 and 0.01, respectively.

^y Values presented are the means ± standard deviation(n=3). Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different by Fisher's protected LSD test(P<0.05).

^z LSD_{0.05}: values of least significant difference for mean comparisons at 5% level.

三、金盞草花色對總類胡蘿蔔素含量之相關性分析

為確認金盞草花色與總類胡蘿蔔素含量之相關性，利用相關性分析探討總類胡蘿蔔素含量與色澤 L*值、a*值及 b*值之各因子可能關聯性。試驗結果指出，總類胡蘿蔔素含量與 a*值呈正相關 ($r=0.920$)，色澤 L*值與 a*值呈負相關 ($r=-0.639$) (表 3)。

Piccaglia 等 (1998) 研究指出，萬壽菊花瓣之總葉黃素含量與 a*值為正相關性 ($r=0.96$)。前人研究指出，金盞草及萬壽菊花朵橙色程度越強，總葉黃素含量越高 (Kim *et al.*, 2024; Kurniawan *et al.*, 2019; Piccaglia *et al.*, 1998; Pinteá *et al.*, 2003; Raal *et al.*, 2009)。本試驗總類胡蘿蔔素含量與 a*值呈正相關結果與前人研究相符，建議可利用物理性色澤分析 (a*值) 或目視法，作為金盞草花朵素材總類胡蘿蔔素含量初步篩選的輔助指標。

表 3. 金盞草花朵總類胡蘿蔔素含量與色澤分析之相關性分析

Table 3. Correlation analysis of total carotenoid content and color characteristics in *Calendula officinalis*.

項目 Item	總類胡蘿蔔素含量 Total carotenoids content (mg g ⁻¹)	L*	a*	b*
總類胡蘿蔔素含量 Total carotenoids content (mg g ⁻¹)	1.000	-0.394	0.920**	-0.293
L*		1.000	-0.639**	0.344
a*			1.000	-0.459
b*				1.000

*及**分別表示 $P < 0.05$ 及 $P < 0.01$ 具顯著差異。

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

結 論

由試驗結果可知，6 種處理之金盞草花朵水分含量皆低於 10%，水活性皆低於 0.70。就總類胡蘿蔔素含量而言，橙花品種之總類胡蘿蔔素含量高於黃花品種，冷凍乾燥有最高之總類胡蘿蔔素含量，其次為熱風乾燥處理，再者為真空乾燥。真空乾燥之所以有最低之總類胡蘿蔔素含量，可能與本試驗使用完整花朵進行研究，花蕊部分水分移除速度較慢，導致乾燥時間過長有關。就色澤分析而言，冷凍乾燥處理色澤 L^* 值顯著高於熱風乾燥及真空乾燥處理，橙花品種之色澤 a^* 值高於黃花品種。由相關性分析試驗結果可知，總類胡蘿蔔素含量與色澤 a^* 值呈正相關 ($r = 0.920$)，故後續可以色澤 a^* 值作為金盞草花朵素材初步篩選的輔助指標。有鑒於熱風乾燥之設備取得及乾燥成本較於冷凍乾燥低，且總類胡蘿蔔素含量及色澤保留效果僅次於冷凍乾燥處理，後續將以熱風乾燥溫度條件篩選作為素材持續研究開發之目標。

誌 謝

本研究由農業部科技計畫（計畫名稱：新竹原鄉特用作物加工技術開發，計畫編號：113 農科-10.2.2-花-01(3)）支應，感謝農藝及農產品加工研究室戴慧純小姐協助試驗進行，感謝國立臺灣大學園藝暨景觀學系吳思節教授及農藝學系黃文達副教授協助斧正，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。
- 原住民委員會。2025。核定並刊登公報之部落。<<https://reurl.cc/0KvzAM>>。
- 新竹縣政府。2025。那羅金盞花季將開跑，黃金香草花海好玩好拍又好吃。<<https://reurl.cc/gRGvOV>>。
- 經濟部標準檢驗局。1984。國家標準 CNS 5033 N6114 食品中水分之檢驗方法。
- 經濟部標準檢驗局。1987。國家標準 CNS 5255 N6119 食品水分活性測定法。
- Achir, N., V.A. Randrianatoandro, P. Bohuon, A. Laffargue, and S. Avallone. 2010. Kinetic study of β -carotene and lutein degradation in oils during heat treatment. *Eur. J. Lipid Sci.*

- Technol. 112:349-361.
- Akshaya, N.R., K.P. Singh, S. Saha, S. Panwar, and C. Bharadwaj. 2020. Influence of drying methods on retention of carotenoids and their antioxidant activity in marigold flowers. *Indian J. Hortic.* 77:713-719.
- Bako, E., J. Deli, and G. Toth. 2002. HPLC study on the carotenoid composition of *Calendula* products. *J. Biochem. Biophys. Methods.* 53:241–250.
- Becerra, M.O., L.M. Contreras, M.H. Lo, J.M. Díaz, and G.C. Herrera. 2020. Lutein as a functional food ingredient: stability and bioavailability. *J. Funct. Foods.* 66:1-12.
- Bejar, A.K., N. Kechaou, and N.B. Mihoubi. 2011. Effect of microwave treatment on physical and functional properties of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *J. Food Process. Technol.* 2:109-116.
- Dorozko, J., D. Kunkulberga, I. Sivicka, and Z. Kruma. 2019. The influence of various drying methods on the quality of edible flower petals. In *AIP Conf. Proc.* p. 182-187.
- FAO/WHO. 2016. Lutein Esters from *Tagetes Erecta*. FAO JECFA 82nd meeting. p.1-5.
- Guo, X., Q. Hao, X. Qiao, M. Li, Z. Qiu, Z. Zheng, and B. Zhang. 2023. An evaluation of different pretreatment methods of hot-air drying of garlic: Drying characteristics, energy consumption and quality properties. *LWT-food Sci. Technol.* 180:14685.
- Kim, J.H., Y.J. Lim, J.H. Kim, and S.H. Eom. 2024. Impact of dry processing on secondary metabolites in the petals of marigold (*Tagetes* spp.) cultivar. *Hortic.* 10:1-13.
- Kishimoto, S., T. Maoka, K. Sumitomo, and A. Ohmiya. 2005. Analysis of carotenoid composition in petals of calendula (*Calendula officinalis* L.). *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 69:2122-2128.
- Kurniawan, J.M., M.M. Yusuf, S.S. Azmi, K.P. Salim, M.N.U. Prihastyanti, R. Indrawati, Heriyanto, Y. Shioi, L. Limantara, and T.H.P. Brotosudarmo. 2019. Effect of drying treatments on the contents of lutein and zeaxanthin in orange-and yellow-cultivars of marigold flower and its application for lutein ester encapsulation. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* p. 1-12.
- Matouk, A., M. El-Kholy, A. Tharwat, and M. Sadat. 2016. D rying of pot marigold whole flowers and petals under controlled drying air temperature and relative humidity. *J. Soil Sci. Agric. Eng.* 7:221-230.

- Pénicaud, C., N. Achir, C. Dhuique-Mayer, M. Dornier, and P. Bohuon. 2011. Degradation of β -carotene during fruit and vegetable processing or storage: Reaction mechanisms and kinetic aspects: A review. *Fruits*. 66:417-440.
- Piccaglia, R., M. Marotti, and S. Grandi. 1998. Lutein and lutein ester content in different types of *Tagetes patula* and *T. erecta*. *Ind. Crops Prod.* 8:45-51.
- Pintea, A., C. Bele, S. Andrei, and C. Socaciu. 2003. HPLC analysis of carotenoids in four varieties of *Calendula officinalis* L. flowers. *Acta Biol. Szeged.*47:37-40.
- Raal, A., K. Kirsipuu, R. Must, and S. Tenno. 2009. Content of total carotenoids in *Calendula officinalis* L. from different countries cultivated in Estonia. *Nat. Prod. Commun.* 4:35-38.
- Roszkowska, B., M. Tańska, S. Czaplicki, and I. Konopka. 2015. Variation in the composition and oxidative stability of commercial rapeseed oils during their shelf life. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 117:673-683.
- Siriamornpun, S., O. Kaisoon, and N. Meeso. 2012. Changes in colour, antioxidant activities and carotenoids (lycopene, β -carotene, lutein) of marigold flower (*Tagetes erecta* L.) resulting from different drying processes. *J. Funct. Foods.* 4:757-766.

The Influence of Drying Methods on The Physicochemical Properties of *Calendula Officinalis* Flowers¹

Pei-Chun Jen²

ABSTRACT

Calendula Officinalis is one of the important economic crops in the Naro Tribe of Jianshi Township, Hsinchu County. Its blooming season from February to May every year attracts a large number of tourists to enjoy the flowers. Fresh flowers have high moisture content and are prone to spoilage after picking. Traditional sun drying is susceptible to weather conditions, leading to unstable quality. To improve the quality of *Calendula Officinalis* flowers in the tribe, this study investigated the effects of three common drying methods (hot air drying, vacuum drying, and freeze drying) on the physicochemical properties of *Calendula Officinalis* flowers of different colors. The results showed that all treatments reduced the moisture content to below 10% and water activity to below 0.70. The total carotenoid content of the orange flower variety (14.2-19.5 mg g⁻¹) was significantly higher than that of the yellow flower variety (11.6-12.4 mg g⁻¹). In terms of drying methods, freeze drying resulted in the highest total carotenoid content in orange flowers (19.5 ± 1.3 mg g⁻¹), followed by hot air drying (18.7 ± 0.2 mg g⁻¹), and then vacuum drying (14.2 ± 1.0 mg g⁻¹). Freeze drying of yellow flowers (12.4 ± 0.8 mg g⁻¹) was significantly higher than vacuum drying (11.6 ± 0.9 mg g⁻¹). In terms of color analysis, the a* value of the orange flower variety (21.7-28.8) was significantly higher than that of the yellow flower (12.7-13.7). Regarding correlation analysis, the total carotenoid content was significantly positively correlated with the a* value (r = 0.920). Therefore, the a* value can be used as a preliminary screening indicator for the functional components of *Calendula Officinalis* flowers. Although the hot air drying treatment was slightly inferior to the freeze drying treatment in terms of total carotenoid content and color retention, it has the advantages of easy equipment acquisition and low drying cost. It is recommended that subsequent research and development focus on the effect of hot air drying temperature conditions on the physicochemical properties of *Calendula Officinalis* flowers.

Key words: Hot air drying, Vacuum drying, Freeze drying, Total carotenoid

¹ Contribution No. 555 from Taoyuan DARES, MOA.

² Assistant Researcher (Corresponding author, pcjen08211@tydais.gov.tw), Taoyuan DARES, MOA.

