

## 微波乾燥黃豆渣和其抗氧化性的研究

陳淑德\* 陳彥卉 李承靜 張雅馨

國立宜蘭大學 食品科學系

### 摘要

黃豆經研磨成豆漿的製程中會產生約 1.2 倍的濕黃豆渣，因其產量大、水分含量高易快速腐敗，需乾燥以增加其應用性和經濟價值，事實上，微波乾燥可使食品內的極性水分子快速震動和離子移動而產生熱，使水分蒸發以達到快速乾燥之效果。故本研究之試圖根據熱風乾燥和冷凍乾燥的黃豆殘渣的最終特性（例如：抗氧化活性）提出有希望的微波乾燥方法。由 1、2 和 3 kg 的黃豆渣在不同微波功率（1、2 和 3 kW）之乾燥動力學，以 3 kW 微波乾燥黃豆渣有較快的乾燥速率，在 1、2 和 3 kg 黃豆渣的乾燥速率分別為 36.917、41.004 和 44.107 g H<sub>2</sub>O/min，且分別需 22.70、39.25 和 53.80 min，然而使用 80°C 熱風乾燥和傳統冷凍乾燥分別需要 5.5 hr 及 24 hr。再將乾燥黃豆渣進行一次 95 %乙醇微波萃取，後以 50 mg/mL 萃取液進行抗氧化成分及抗氧化性質測定。結果顯示三種乾燥方式的類黃酮含量並無明顯差異，皆為 0.045 mg/g，在多酚含量和 DPPH 清除自由基能力分別為 0.97-1.35 mg/g 和 10-15 %。而微波乾燥和冷凍乾燥的黃豆渣在明亮度（L\*）為 82，二者無明顯差異，不過高於熱風乾燥黃豆渣，故微波乾燥黃豆渣可保有良好抗氧化能力與明亮度，又可大幅縮短乾燥時間。

**關鍵詞：**微波、乾燥、黃豆渣、抗氧化活性

\*通訊作者。E-mail: sdchen@niu.edu.tw

# Study on Microwave Drying of Soybean Residue and its Antioxidant

Su-Der Chen\*, Yen-Hue Chen, Cheng-Jing Lee, Ya-Hsin Chang

Department of Food Science, National Ilan University

## Abstract

Soybean milk could generate about 1.2 fold of wet soybean residue in the soybean grinding processes. Due to large output, high moisture content and high elevated rate of decaying of such residues, drying processes inevitably required to be applied with consideration of economic feasibility. In fact, microwave drying caused substantial binding vibration and movement of polar water molecules in food to generate heat; therefore, water could be effectively evaporated for fast drying. This study tended to suggest a promising microwave drying process according to resultant characteristics ( e.g., antioxidant activity) of hot air dried and freeze dried soybean residue. As transient drying dynamics of 1, 2, and 3 kg of soybean residue and different microwave powers (1, 2, and 3 kW) indicated, drying rate of the soybean residue seemed to be more favorable at 3000 W. The drying rates of 1, 2, and 3 kg of soybean residue were 36.917, 41.004, and 44.107 g H<sub>2</sub>O/min, and they required 22.70, 39.25, and 53.80 min, respectively. However, they required 5.5 and 24 hr were demanded for 80°C hot air drying and conventional freeze drying, respectively. The dried soybean residue was first microwave extracted through 95% ethanol. The resulting antioxidant chemical species and antioxidant activities of the extracts revealed that there were no significant differences in flavonoid content (0.045 mg/g) of the three dried products. The polyphenolic content and DPPH radical-scavenging activity were 0.97-1.35 mg/g and ca. 10-15%, respectively. Apparently, microwave dried and freeze dried soybean residues showed no significant difference in the brightness (L\*) (ca. 82) still higher than hot air dried product. Therefore, microwave drying could maintain antioxidant activity and owned brightness like the freeze-drying method. Of course, microwave drying could significantly decrease the drying time.

Keywords: microwave, drying processes, soybean residue, antioxidant activity

\*Corresponding author. sdchen@niu.edu.tw

## 壹、前言

豆漿、豆腐自古以來為國人常吃的食品，其營養價值高（Chen et al., 2012），以黃豆製成豆漿及豆腐的過程中，所剩下的碎豆粒稱為豆渣，豆渣的水分含量高，容易滋長微生物造成腐敗，且數量龐大，不易存放，根據經濟部「台灣區工廠名冊」全台灣列有 87 家豆腐工廠，全台灣每年製造豆腐所需要之黃豆為 84,895 公噸，按 1 kg 黃豆平均可以產生 2,11 kg 豆渣，其中水分以 89%計，則每公斤黃豆可以產生乾豆渣 0.241 kg，全台灣每年約有 20,460 公噸之乾豆渣待處理，且現在一般豆腐廠已有傾向於集約式大規模之機械化生產之趨勢（江，1979），而目前國內各工廠的處理方式通常是將豆渣當作是廢料丟棄或是當成飼料（李，2002）。

豆渣中脂肪、蛋白質和膳食纖維含量分別約為 10%、20%、50%左右，並且富含礦物質（崔等，2014）。豆渣中的膳食纖維可促進腸蠕動、預防腸道疾病、防止便秘、降低血清膽固醇、防止糖尿病等（陳，2006）。豆渣中尚有蛋白質及大量的膳食纖維，因此如果把豆渣拋棄，實在浪費，應加以利用，所以可開發豆渣高纖麵包（楊，2010）。另外，利用根黴菌固態發酵黑豆，亦可提升異黃酮、多酚和抗氧化活性（Cheng et al., 2013）。

乾燥是一種常見且廣泛使用的食品加工方法之一，其目的是要除去食品中的水分，使得食品的含水量及水活性降低，以防止微生物之污染及酵素作用引起之變質、腐敗。食品進行乾燥時，內部水分經滲透移至表面，到達表面後開始蒸發，水分進而擴散至大氣之中，使水分得以去除。在初期的升溫乾燥期，此時食品表面狀態與熱空氣間，相互平衡之時期，對整個乾燥時間所佔之比例不大。在恆率乾燥期，水分自食品內部迅速供給於表面，與擴散量達成平衡狀態，故乾燥速率可保持不變。而後會進入減率乾燥期，在此階段中，水分移除速度會減慢，因此乾燥所需時間變長，造成產品溫度開始快速提升（戴，2002）。

目前熱風乾燥是食品產業界最普遍的乾燥方式，它是將強制地吹送高溫的熱風至食品表面時，外界熱空氣的熱能會傳導至食品內使得食品溫度提高，進而促使水分的

蒸散，此時乾燥箱的風扇能吸入乾燥空氣，排除潮濕的空氣，達到除去食品所含之水分的目的。在食品進行乾燥初始，水分很容易就被去除，然而到乾燥後期，因為熱能傳送障礙而使得水分很難吸收能量而成水蒸氣，也很難被排除，故在乾燥初期的乾燥速率很快，後期時乾燥速率卻顯著降低，而熱空氣會先傳熱至靠近表面的水分，所以乾燥的速率較快，但若造成食品表面過熱會使得食品表面產生硬殼，更礙於乾燥後期的熱傳和質傳，而延長乾燥時間。(Altan et al., 2005；邱，2014)

另外，冷凍乾燥是先將濕物料降溫凍結，然後在真空條件下，使物料中的水分由固態冰直接昇華為水蒸汽而排除，從而達到乾燥的目的，但傳統冷凍乾燥是採用板式熱傳導進行食品的冰晶昇華，一旦靠近熱板表面的食品中的冰晶昇華而產生空洞，會使得熱傳導困難，所耗費的時間非常長，造成乾燥的成本非常高。(Babu et al., 2018)

微波乾燥是頻率為 300-300000 MHz 之電磁波，目前一般家庭所使用的微波爐多採用 2450MHz 的電磁波。微波加熱的原理是用微波照射濕物體，電磁場方向和大小隨時間作週期性變化使物體內極性水分子隨著交互改變的高頻電場變化，造成水分子產生劇烈的轉動，發生摩擦轉化為熱能，達到物體整體均勻升溫達到乾燥的目的，由於微波的穿透能力比遠紅外線大得多，故微波被廣泛應用在乾燥、烹煮、烘焙、末段乾燥、食品預熱、加熱硬化、融化、膨發、殺菌、果菜殺菁、產品水分均一化、肉品解凍等用途 (Ekezie et al., 2017；Zhang, 1988)。近年來國內也有混合能源的應用，如:採用熱風和微波乾燥 (張等，2011)，在整體價格及乾燥情形上，有別於單純微波乾燥。

熱風乾燥目前還是主要的工業乾燥方法，有超過 85 %的使用率 (Aghilinategh et al., 2015)，但是熱風乾燥的時間長，熱破壞對營養物質的影響大 (Babu et al., 2018)。冷凍乾燥在低溫下進行乾燥，可以防止化合物熱降解，同時通過昇華有效去除水分，而備受推崇 (Babu et al., 2018)，但是根據 Ali et al. (2020) 的研究指出，冷凍乾燥的過程會導致蜂窩狀結構，使水分直接昇華至氣相，而使揮發物質流失，抗氧化能力降低；在 Aghilinategh et al. (2015) 的研究指出，由於微波處理簡單又快速，可以有效得阻止揮發物的流失，微波乾燥與熱風乾燥分別顯示最高與最低的總酚含量。

微波是一種被現今大眾廣泛使用的加熱食物方式，利用食品內的水分子震動生熱，

使微波乾燥的速度快，正好適合不能久放的黃豆渣，降低食品發生裂變的機率。故本研究欲利用吊籃式微波乾燥機探討最佳的微波乾燥製程，並比較熱風乾燥和冷凍乾燥的黃豆渣品質及抗氧化能力，以建立高效率微波乾燥黃豆渣之操作條件。

## 貳、材料與方法

### 一、材料

黃豆渣（水分含量約在 80%）來自光泉牧場股份有限公司（桃園，臺灣）。沒食子酸（gallic acid）、槲皮素（quercetin）、抗壞血酸（ascorbic acid）、BHA（butylated hydroxyanisole）、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼（1,1-Diphenyl-2-picryl hydrazyl, DPPH）、磷鉬酸試劑（Folin-Ciocalteu's phenol reagent）購自 Sigma Chemical 公司（St. Louis, MO, USA）。99%甲醇、95%乙醇、碳酸鈉（Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>）購自和光純藥工業株式會社（Osaka, Japan）。

### 二、設備

微波乾燥機（台灣鑼泰微波設備製造有限公司）、紅外線溫度計（測量範圍：-20~520℃，TENMARS，型號:TM-300）、烘箱、電子精秤、水活性測定儀、攪拌均質機、微波萃取機，離心機（Hsiangtai Centrifuge，頤樺公司），分光光度計（Model U-2001, Hitachi Co.），震盪器（vortex genie 2, USA），色差儀（Hunter Lab, Color Flex, USA）。

### 三、乾燥黃豆渣和微波萃取（陳和陳，2013）

將黃豆渣進行微波乾燥以不同重量（1、2 和 3 kg）搭配不同微波功率（1、2 和 3 kW），以找出最佳微波功率及時間的操作條件，並繪製乾燥曲線。再將黃豆渣分別進行熱風乾燥、冷凍乾燥，並作其顏色（L\*a\*b\*）的測定。精秤 2.5 g 乾燥黃豆渣和 50 mL 95%酒精進行 300 W 微波萃取 5 min，最後以 50 mg/mL 萃取液進行抗氧化成分及抗氧化性質分析。

### 四、試驗方法

(一) 水分測定：

將黃豆渣樣品稱取  $w_i$  g，放置  $105^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘乾至恆重  $w_o$ ，進行三重複測定，其中損失重量之百分率為水分含量，結果以乾基水分含量  $\text{MC (d.b.)} = (w_i - w_o) / w_o$  表示。

(二) 黃豆渣的顏色分析：

使用色差儀測定不同處理方式的黃豆渣之  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值。每個樣品測 6 次，取平均值，並比較乾燥處理前後產品的顏色差異。其中  $L^*$  代表亮度：黑色(0)～白色(100)， $a^*$  值代表紅色(+)～綠色(-)， $b^*$  值代表黃色(+)～藍色(-)。

(三) 總多酚測定 (Lin and Tang, 2007)：

取 0.2 mL 的 50 mg/mL 萃取液，加入 1 mL 的磷鉬酸酚 (Folin ciocalten) 溶液和 0.8 mL 7.5 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  混合均勻後，在室溫下遮光靜置 30 min，波長為 765 nm 下測定吸光值，以沒食子酸座標準曲線求其值。

(四) 類黃酮測定 (Lin and Tang, 2007)：

取 1 mL 的 50 mg/mL 萃取液，加入 1 mL 2% methanolic ( $\text{AlCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) 溶液和混合均勻後，在室溫下遮光靜置 10 min，波長為 430 nm 下測定吸光值，以槲皮素作標準曲線求其值。

(五) 清除 1, 1-Diphenyl-2-picryl hydrazyl (DPPH) 之能力測定 (Xu and Chang, 2007)：

取 2 mL 的 50 mg/mL 樣品液，加入 2 mL 的 0.2 mM DPPH-MeOH 溶液混合均勻後，在室溫下遮光靜置 30 min，在波長為 517 nm 下，測定吸光值，代入公式以求出 DPPH 清除率 (Scavenging effect)，並以 5 mg/mL 的抗壞血酸、BHA 作為對照組。

計算公式： $\text{Scavenging effect (\%)} = ((\text{ABS}_{\text{control}} - \text{ABS}_{\text{sample}}) / \text{ABS}_{\text{control}}) \times 100\%$

## 五、統計分析

試驗結果重複性，以平均值  $\pm$  標準差表示之，數據使用 Statistical Package for Social Science (SPSS, SPSS INC. 宏德國際軟體諮詢顧問股份有限公司) 20.0 統計套裝軟體進行統計分析，以多元全距檢定分析 (Duncan's Multiple Range Test)，以顯著水準為  $\alpha = 0.05$ ，比較其差異之顯著性。

## 參、結果與討論

### 一、微波乾燥黃豆渣

原先黃豆渣的濕基水分含量約 80%，圖 1 分別為 (A)1 kg、(B)2 kg 和(C)3 kg 在三種微波功率（1000、2000 和 3000 W）下的乾燥曲線，此乾燥呈現恒率期，當乾燥曲線斜率越大的現象，即表示乾燥速率愈快，所需的時間越短。表示微波可以克服熱傳，且黃豆渣粉末較無質傳障礙，能順利使水蒸氣散失，故只有恒率乾燥期，並無呈現減率乾燥期，此和張等（2011）以微波熱風乾燥豆渣之結果相同，不過微波乾燥速率較快。

將乾燥曲線的乾燥速率整理成表 1，可得知使用 1 kW 微波功率，在置入 1 kg、2 kg 和 3 kg 豆渣的乾燥速率約為 12~13 g/min，使用 2 kW 微波功率，可使 1 kg、2 kg 和 3 kg 豆渣的乾燥速率約為 27~29 g/min，若再提高微波功率至 3 kW，則可使 1 kg、2 kg 和 3 kg 豆渣的乾燥速率提高約為 36~44 g/min，故不同重量的黃豆渣並不是主要影響微波乾燥速率的原因，故可使用 3 kW 的最高微波功率進行 3 kg 黃豆渣乾燥，乾燥速率約為 44 g/min，只需花費 53.8 min 即可完成乾燥。

表 1. 微波功率對不同重量黃豆渣的乾燥速率及乾燥時間之影響

Table 1. Effect microwave power on drying rate and drying time of different loading of soybean residue

Microwave Power (kW)	Weight (kg)	Linear regression equation	R <sup>2</sup>	Drying rate (g/min)	Drying time (min)
1	1	$y = -12.868x + 1031.4$	0.9972	12.868	61.66
	2	$y = -13.741x + 2031.7$	0.9988	13.741	111.82
	3	$y = -13.538x + 3071.5$	0.9993	13.538	171.08
2	1	$y = -27.429x + 1040.5$	0.9951	27.429	29.29
	2	$y = -28.995x + 2064.4$	0.9978	28.995	53.26
	3	$y = -29.177x + 3219.0$	0.9968	29.177	79.71
3	1	$y = -36.971x + 1023.7$	0.9875	36.917	22.70
	2	$y = -41.004x + 2109.0$	0.9949	41.004	39.25
	3	$y = -44.107x + 3140.3$	0.9954	44.107	53.80

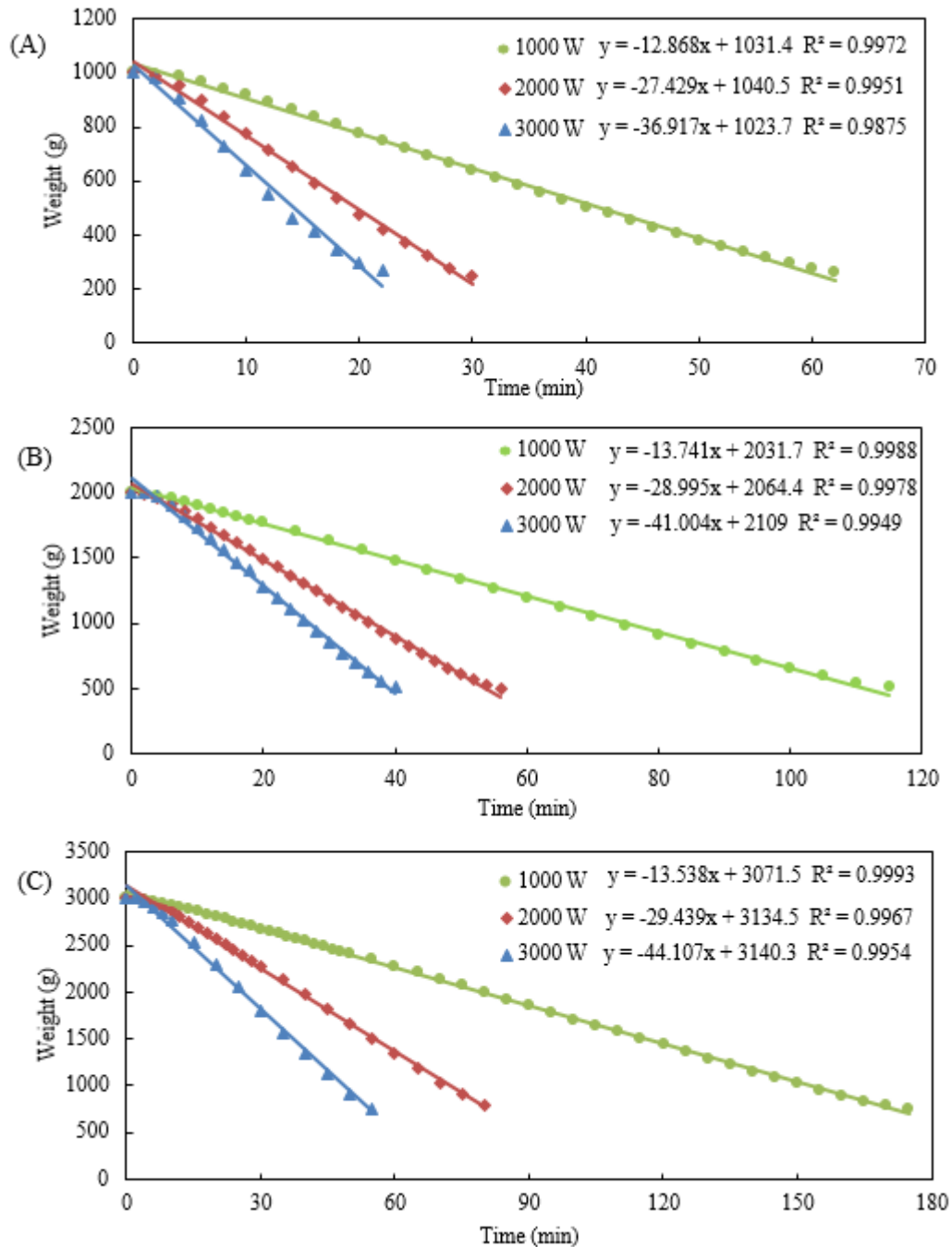


圖 1. 不同裝載量(A)1 kg (B) 2 kg 和(C) 3 kg 黃豆渣分別以 1000、2000 和 3000 W 微波乾燥曲線。

Fig. 1. The drying curves of (A)1 kg (B) 2 kg and (C)3 kg soybean residue under 1000, 2000 and 3000 W microwave drying.

另外圖 2 為不同微波功率下，不同重量的黃豆渣和乾燥時間呈現線性的相關性 ( $R^2 > 0.99$ )，代表在相同微波功率下乾燥不同重量，所花的乾燥時間成倍數成長關係，與表 2 得出之結論相同，放入的黃豆渣重量並不影響乾燥速率，增加微波功率才可以有效縮短乾燥時間。



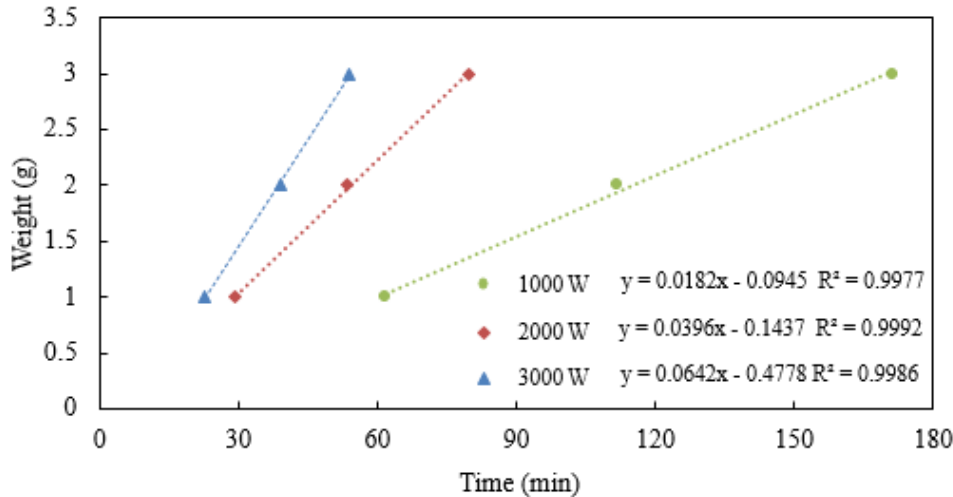


圖 2. 不同重量的黃豆渣以不同微波功率乾燥下乾燥時間的相關性。

Fig. 2. The relationship of drying time and soybean residue loading under the same microwave power.

圖 3 為探討以每 kg 所耗的微波輸出功率和乾燥時間之關係，取得最省時間及最省能源中的平衡，最右邊的 1 kW 3 kg 花費時間最久為 171 min，原因為 1 kW 的能源不足以供應 3 kg 的黃豆渣乾燥，最左邊的 3 kW 1 kg 則表示以 3 kW 的能源乾燥 1 kg 的黃豆渣有浪費的情況，因為 1 kg 黃豆渣將微波乾燥功率由 2 kW 提升至 3 kW 的乾燥時間只由 29.29 min 縮短至 22.70 min，微波能量無法完全反應在乾燥物上，因此最後選擇 3 kW 3 kg 作為最省能源及最省時間的乾燥方式，進行後續的實驗分析。另外為預估單位重量的微波輸出功率 (x) 和預估微波乾燥黃豆渣時間 (y) 之關係，則將圖 3 的曲線作迴歸方程式為  $y=57.509x-0.924$ ， $R^2=0.9929$ ，呈現指數關係，故一旦選擇單位重量所需的微波功率即可預估乾燥時間。由此也顯示由於黃豆渣粉末在微波乾燥時，黃豆渣的水分一旦吸收微波產生快速共振摩擦生熱而蒸發成水蒸氣時，較無質量傳送的障礙，使得原本乾燥過程中僅由熱傳決定乾燥時間的長短。

陳等 (2017) 曾利用 45°C 冷風輔助 5 kW 射頻乾燥 1 和 2 kg 的黃豆渣分別只需要 14 和 30 min 即完成乾燥，且乾燥過程只呈現恆率乾燥期，然而利用 45°C 冷風乾燥黃豆渣則需 330 min。此表示射頻和微波乾燥皆為介電加熱方式皆克服乾燥時熱傳障礙，顯著縮短乾燥時間，達到節省耗能，不過由於射頻加熱設備的功率為 5 kW，且其較微波的穿透深度較深，不像利用微波乾燥黃豆渣時，功率只能控制在 1~3 kW，且樣品需

平鋪於底部有孔洞的籃內，高度不可過高，否則將影響微波的穿透而影響乾燥速率。

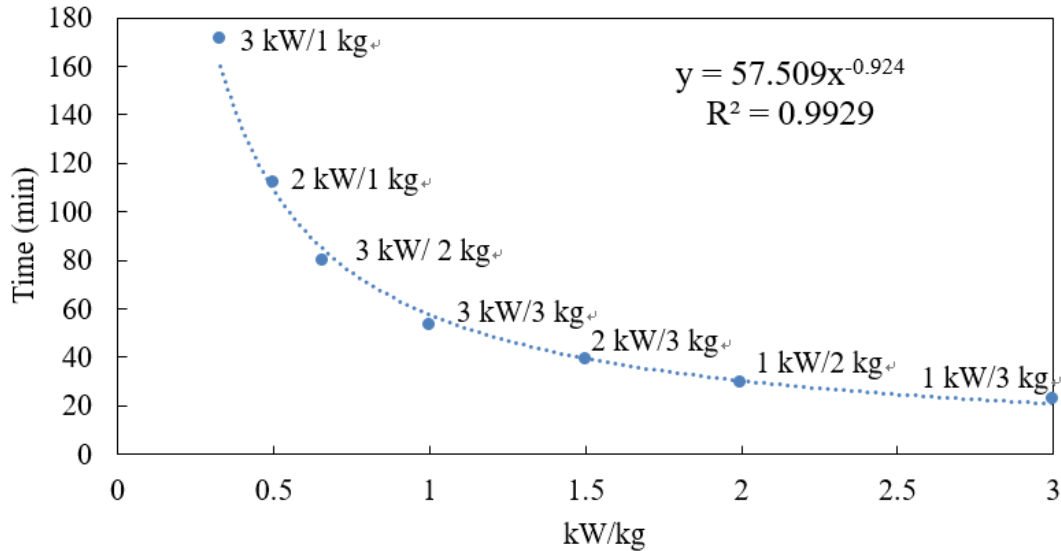


圖 3. 微波輸出功率和乾燥時間的關係。

Fig. 3. The relationship between microwave output power and drying time.

不過若是樣品為整粒鹹金棗蜜餞，同樣操作條件以 3 kW 微波乾燥 3 kg 鹹金棗蜜餞，使水分含量由 77% 降至 31%，則需要 350 min，45°C 冷風乾燥則需要 840 min（鄭等 2019），皆明顯較微波乾燥黃豆渣的 53.8 min 長，因為粒狀樣品會較粉末樣品有更大的質傳障礙，此也會影響乾燥速率。

## 二、比較不同乾燥黃豆渣之品質

圖 4 分別為 (A) 3 kW 微波乾燥和 (B) 80°C 熱風乾燥黃豆渣的升溫和乾燥曲線，由圖顯示微波乾燥的恆率乾燥期的乾燥速率約為 44 g 水/min，乾燥過程迅速且不拖延，只需花費 53.8 min 即可完成乾燥，且溫度在乾燥初期（約 10 min）即快速由 14°C 升溫 55°C，而後則保持在 55~65°C，估計微波可提供黃豆渣的水分蒸發之潛熱，此由於在設定微波乾燥機樣品的之最高溫度為 60°C，即一旦設備偵測到樣品的溫度高於 60°C，即會關掉微波，此可避免樣品過熱而燒焦，直到偵測到樣品的溫度低於的 60°C 時，微波才會再度開啟。然而 80°C 熱風乾燥過程緩慢，在乾燥初期約 0.5 hr 才使溫度上升至 40°C，而後的 3 hr 維持黃豆渣的溫度約在 40~50°C，最後才使黃豆渣的溫度漸漸上升至 68°C，不但恆率乾燥期的乾燥速率約為 1.2 g 水/min，且在乾燥後期會拖延的現象，轉為減率乾燥，共歷經時 5.5 hr，增加乾燥時間對產品品質造成傷害；在微波乾燥黃豆渣

的溫度能控制在 65°C 以下，且微波乾燥時間短，約為熱風乾燥時間的 1/6，較不會對品質造成損害。

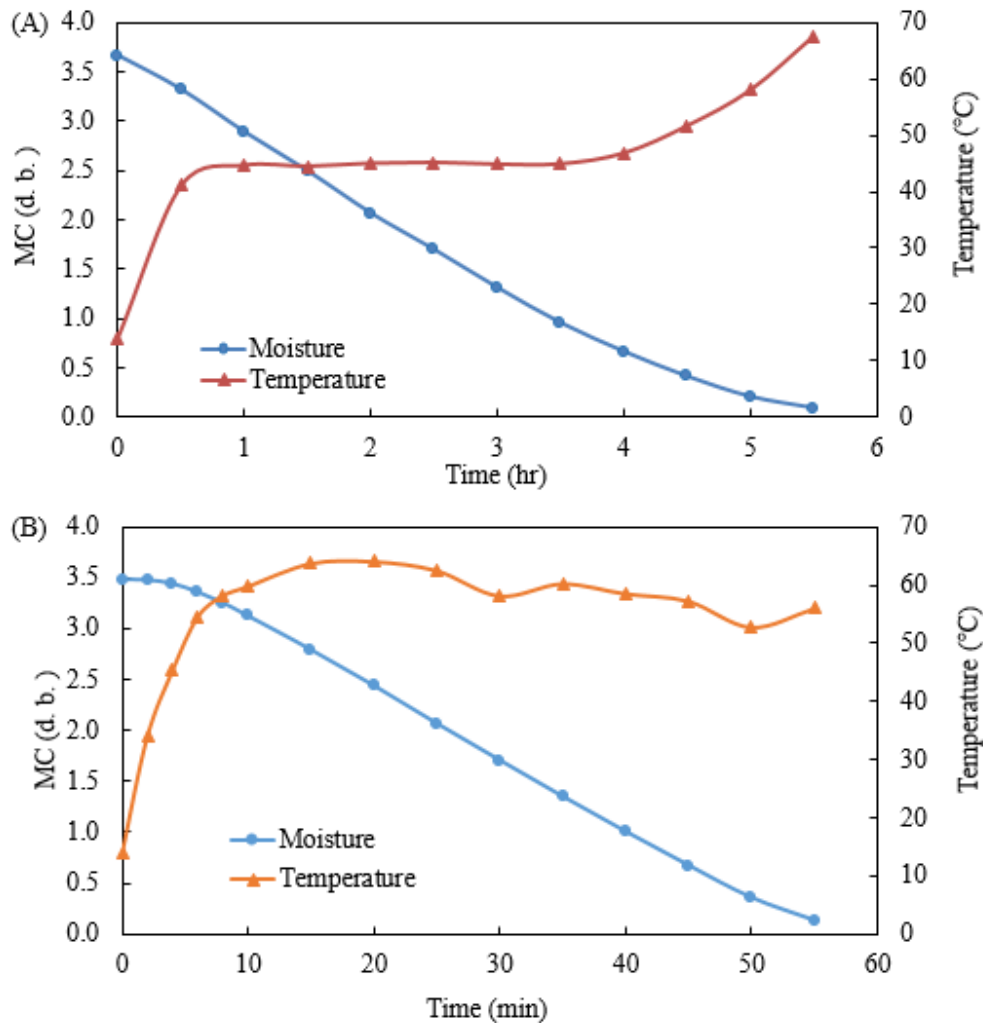


圖 4. (A) 3 kW 微波乾燥 3 kg 黃豆渣和 (B) 80°C 熱風乾燥 1 kg 黃豆渣的升溫曲線及乾基水分含量變化。

Fig. 4. The temperature profiles and the change of dry basis moisture content during (A) 3 kW microwave drying 3 kg soybean residue and (B) 80°C hot air drying 1 kg soybean residue.

表 2 顯示微波乾燥和冷凍乾燥黃豆渣的 ( $L^*$ ) 亮度分別為 82.90 和 82.73 明顯較熱風乾燥的 80.48 大，亮度越大代表食品產生褐變小，加熱乾燥對食品的傷害也小，故使用微波乾燥 3 kW 對色澤品質較好。以冷凍乾燥黃豆渣作為對照組，由於冷凍乾燥溫度低，較不易產生褐變，是一種對產品傷害小的乾燥方式，但卻需耗時 24 hr，將其作為對照組，觀察三種乾燥方式之間的 ( $L^*a^*b^*$ ) 值差異，結果顯示微波乾燥與冷凍乾燥的黃豆渣並無顯著差異，故推測是因為微波乾燥較快速，所以對黃豆渣產品的色澤

影響不大，可避免熱風乾燥因長時間加熱導致黃豆渣的明亮度有顯著降低，故使用微波乾燥為加熱手段，既可省時又可保存色澤。

表 2. 不同微波功率乾燥黃豆渣之顏色

Table 2. The color value of dried soybean residue by different microwave power

Weight (kg)	Microwave Power (kw)	L*	a*	b*
1	1	82.68 ± 0.04 <sup>b</sup>	3.72 ± 0.04 <sup>a</sup>	22.47 ± 0.30 <sup>b</sup>
	2	82.13 ± 0.93 <sup>b</sup>	3.39 ± 0.23 <sup>b</sup>	23.31 ± 0.59 <sup>a</sup>
	3	83.50 ± 0.64 <sup>a</sup>	2.79 ± 0.25 <sup>c</sup>	22.90 ± 0.73 <sup>ab</sup>
2	1	80.17 ± 0.39 <sup>c</sup>	4.36 ± 0.28 <sup>a</sup>	24.47 ± 0.51 <sup>a</sup>
	2	81.86 ± 0.99 <sup>b</sup>	3.90 ± 0.28 <sup>b</sup>	23.00 ± 0.73 <sup>b</sup>
	3	82.83 ± 0.56 <sup>a</sup>	2.89 ± 0.13 <sup>c</sup>	22.88 ± 0.16 <sup>b</sup>
3	1	81.57 ± 0.96 <sup>b</sup>	4.01 ± 0.21 <sup>a</sup>	23.04 ± 0.35 <sup>a</sup>
	2	82.36 ± 0.62 <sup>ab</sup>	3.54 ± 0.18 <sup>b</sup>	22.64 ± 0.28 <sup>b</sup>
	3	83.08 ± 0.07 <sup>a</sup>	3.14 ± 0.04 <sup>c</sup>	21.65 ± 0.06 <sup>c</sup>

<sup>1</sup> Data are expressed as mean ± S. D. (n=3).

<sup>2</sup> Means with different superscript in the same column were significantly different ( $p < 0.05$ ).

表 3 為送檢驗中心的成分分析報告中可以看出黃豆渣脂肪、蛋白質和總碳水化合物含量分別約為每 100 g 中含有 10.6 g、27.6 g、54.5 g；豆渣中脂肪、蛋白質和膳食纖維含量分別約為 10%、20%、50% 左右，並且富含礦物質結果相近（崔等，2014），其中膳食纖維可促進腸胃蠕動、預防腸道疾病、防止便秘、降低血清膽固醇、防止糖尿病等優點（陳，2006）。利用黃豆渣能減少纖維缺乏、大腸癌發生機率，此可添加黃豆渣於麵包（楊，2010），使黃豆渣成為一種保健產品。

表 3、乾燥黃豆渣之營養成分分析

Table 3. Analysis of nutrient composition of dried soybean residue

Item	Soybean residue (100 g)
Calories (kcal)	423.8
Total protein (g)	27.6
Total fat (g)	10.6
Saturated fat (g)	1.2
Trans fat (g)	0
Total Carbohydrate (g)	54.5
Sugar (g)	2.6
Sodium (mg)	21

由表 4 的抗氧化分析結果顯示三種乾燥方式的類黃酮含量並無明顯差異，皆約為 0.045 mg/g DW，這可能由於此熱穩定較高，乾燥溫度對它的影響較不顯著。在總多酚含量和 DPPH 清除自由基能力分別為 0.97~1.35 mg/g DW 和 10-15%，以冷凍乾燥較高，顯然較高的乾燥溫度可能造成多酚分解，進而影響抗氧化性。但可能因為食品在製備豆漿時，即將黃豆內的有效成分完全壓榨而出，使得黃豆渣的抗氧化成分的含量大幅降低，因為微波乾燥不像冷凍乾燥是以低溫乾燥的方式，故會對豆渣中的機能性成分有影響，而熱風乾燥時間長和加熱溫度高，對黃豆渣的破壞性更高。

表 4. 不同乾燥方式的黃豆渣之抗氧化成分和活性分析

Table 4. Antioxidant components and activities analyses of different dried soybean residue

Soybean residues	Total polyphenols (mg gallic acid equivalent /g DW)	Flavonoids (mg quercetin equivalent /g DW)	Scavenging DPPH free radicals (%)
Microwave dried	0.969 ± 0.005 <sup>b</sup>	0.0450 ± 0.0004 <sup>a</sup>	11.15 ± 1.53 <sup>c</sup>
Hot air dried	0.972 ± 0.024 <sup>b</sup>	0.0460 ± 0.0003 <sup>a</sup>	10.37 ± 0.53 <sup>c</sup>
Freeze-dried	1.350 ± 0.023 <sup>a</sup>	0.0468 ± 0.0005 <sup>a</sup>	15.24 ± 0.62 <sup>b</sup>
Ascorbic acid	-	-	92.15 ± 0.85 <sup>a</sup>
BHA	-	-	93.91 ± 0.06 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Data are expressed as mean ± S. D. (n=3).

<sup>2</sup> Means with different superscript in the same column were significantly different ( $p < 0.05$ ).

<sup>3</sup> The concentration of soybean residues was 50 mg/mL. The concentration of ascorbic acid, and BHA were 5 mg/mL.

## 肆、結論

微波乾燥黃豆渣功率越大，乾燥時間越快。在相同微波功率下，不論以多少重量的黃豆渣進行微波乾燥之乾燥曲線呈現線性關係，其中以 3 kg 3 kW 微波乾燥速度最快，總共只需 53.8 min 便可乾燥完全，相較於熱風乾燥需要 5.5 hr，冷凍乾燥約 24 hr，微波乾燥能以較短的時間完成乾燥，得到的較好的產品顏色及品質，不過黃豆渣的主要成分以纖維為主，故其抗氧化活性並未如預期的豆漿相近。

## 謝誌

本研究感謝光泉公司提供黃豆渣原料及嚴玉芬協助，使本試驗得以順利完成，特此致謝。

## 參考文獻

- 江榮吉。1979。台灣地區大豆供需之調查研究。雜糧與畜產。p.3-14。
- 李敏雄。2002。豆腐製造程序中廢棄物減量技術之研究。行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告。
- 邱乙彧。2014。比較微波輔助及熱風乾燥對米糠麵條的理化性質及食用品質之影響。靜宜大學，食品營養學系碩士論文，台中，台灣。
- 崔麗琴、崔素萍、馬平、張麗萍、張洪微。2014。豆渣粉對小麥麵糰、饅頭質構特性及饅頭品質的影響。食品科學 35：85-88。
- 張平安、張建威、宋連軍、趙秋艷。2011。豆渣微波熱風聯合乾燥特性研究。南方農業學報 42：528-530。
- 陳霞、趙貴興、孫子重。2006。大豆加工副產物-大豆及油腳的利用。黑龍江農業科學 6: 57-60。
- 陳柏翰、陳淑德。2013。茯苓固態發酵產物中多醣與三萜類之微波萃取。台灣農業化學與食品科學 51：188-194。
- 陳彥卉、嚴玉芬、陳淑德。2017。射頻乾燥黃豆渣之研究。台灣農業化學與食品科學 55：283-291。
- 楊淑怡。2010。豆渣高纖麵包製備及品質之探討。國立臺灣海洋大學食品科學系碩士學位論文。基隆。台灣。
- 鄭智遠、邱昌鈿、陳淑德。2019。微波乾燥鹹金柑蜜餞之研究。宜蘭大學生物資源學刊 15：91-104。
- 戴俐。2002。澱粉珠的研究I：恆溫恆濕合併微波末段乾燥澱粉珠。國立中興大學食品科學系碩士論文。台中。台灣。

- Aghilinategh, N., S., Rafiee, A. Gholikhani, S. Hosseinpur, M. Omid, S. S. Mohtasebi, and N. Maleki. 2015. A comparative study of dried apple using hot air, intermittent and continuous microwave: evaluation of kinetic parameters and physicochemical quality attributes. *Food Sci. Nutr.*, 3: 519-526.
- Ali, A., C. C. Oon, B. L. Chua, A. Figiel, C. H. Chong, A. Wojdylo, I. P. Turkiewics, A. Szumny, and J. Łyczko. 2020. Volatile and polyphenol composition, anti-oxidant, anti-diabetic and anti-aging properties, and drying kinetics as affected by convective and hybrid vacuum microwave drying of *Rosmarinus officinalis* L. *Ind Crop Prod.*, 151: 112463.
- Altan, A, and M. Maskan. 2005. Microwave assisted drying of short-cut (ditalini) macaroni: drying characteristics and effect of drying process on starch properties. *Food Res. Int.*, 38: 787-796.
- Babu, A. K., G. Kumaresan, V. A. A. Raj, and R. Velraj. 2018. Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 90: 536-556.
- Chen, K. I., M. H. Erh, N. W. Su, W. H. Liu, C. C. Chou, and K. C. Cheng. 2012. Soyfoods and soybean products: from traditional use to modern applications. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 96: 9-22.
- Cheng, K. C., J. Y. Wu, J. T. Lin, and W. H. Liu. 2013. Enhancements of isoflavone aglycones, total phenolic content, and antioxidant activity of black soybean by solid-state fermentation with *Rhizopus* spp. *Eur. Food Res. Technol.*, 236: 1107-1113.
- Ekezie, F. G. C., D. W. Sun, Z. Han, and J. H. Cheng. 2017. Microwave-assisted food processing technologies for enhancing product quality and process efficiency: A review of recent developments. *Trends Food Sci. Technol.*, 67: 58-69.
- Kesselring, J. P., and R. D. Smith. 1996. Development of a microwave clothes dryer. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 32: 47-50.

Lin, J. Y., and C. Y. Tang. 2007. Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chem.*, 101: 140-147.

Xu, B. J., and S. K. C. Chang. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *J. Food Sci.*, 72: 159-166.

Zhang, Z. 1988. *Fundamentals of microwave heating technology*. Electronic Industry Publishers, Beijing, China.

110年 02月 01日 投稿

110年 05月 31日 接受