

射頻乾燥黃豆渣之研究

陳彥卉 嚴玉芬 陳淑德*

國立宜蘭大學 食品科學系

(接受刊載日期: 中華民國一〇六年六月二十日)

製備豆漿所產生的黃豆渣因水分含量太高會快速敗壞, 而不利於後續的食品加工應用。射頻是一種能藉由電場的快速轉換使食品中極性水分子或離子轉動摩擦快速升溫的技術, 將射頻配合送風可克服熱傳和質傳障礙而快速乾燥。故本研究之目的是建立黃豆渣之射頻-45°C冷風乾燥條件, 並與45°C冷風乾燥的黃豆渣比較乾燥速率、能量消耗和產品的顏色、抗氧化活性。結果顯示, 射頻-45°C冷風乾燥1、1.5和2 kg的黃豆渣分別只需要14、22和30 min即可將水分含量由80%降低至15%, 且乾燥過程只有恆率期, 水分含量呈線性下降。射頻-45°C冷風乾燥速率是45°C冷風乾燥速率的25倍且總能量消耗只需1/9。射頻-45°C冷風乾燥黃豆渣的總多酚含量和清除DPPH自由基能力皆顯著高於冷風乾燥黃豆渣, 在顏色部分, 二者則無顯著差異。

關鍵字: 黃豆渣, 射頻, 乾燥, 抗氧化。

Study of Radio Frequency Drying on Soybean Residue

Yen-Hui Chen, Yu-Fen Yen and Su-Der Chen*

Department of Food Science, National Ilan University, Yilan City, Taiwan 26047

(Accepted for publication: June 20, 2017)

Soybean residue is high moisture content after soybean milk extrusion; therefore it is rapidly decaying and hard to be applied in food industry. Radio frequency (RF) can rapidly heat up water molecules or ions in food by rapid conversion of electric field; therefore, RF drying can overcome the heat and mass transfer resistances to accelerate drying processing. The objectives of this study were to dry the soybean residue by RF-45°C cold air. Then dried soybean residues by RF-45°C cold air and cold air drying were analyzed their drying rate, energy consumption, color and antioxidant activities. The results showed that they required 14, 22 and 30 min for reducing moisture content from 80% to 15% to dry 1, 1.5 and 2 kg of soybean residue by RF-45°C cold air, respectively. RF-45°C cold air drying rate was 25 times of 45°C cold air drying, and the total energy consumption was reduced to 1/9. The total polyphenols content and DPPH free radical scavenging ability in RF-45°C cold air soybeans residues were higher than cold air dried soybean residues, but there was no significant difference in color between two different drying methods of soybean residue.

Key words: Soybean residue, Radio frequency, Drying, Antioxidant.

前 言

經過壓榨成食用油或研磨成豆漿後的黃豆渣多作為飼料用, 但黃豆渣中仍含有豐富的營養成分如: 寡糖、膳食纖維、異黃酮等, 並具有抗氧化、降血糖、降血脂與預防心腦血管病變的功效, 因此有學者將黃豆渣取代部分麵粉製成豆渣纖維蛋糕⁽¹⁾、豆渣膳食纖維麵條⁽²⁾等, 或將黃豆渣進行發酵以提升抗氧化活性⁽³⁾。

食品工業上研磨成豆漿後會產生約1.2倍的殘渣, 因為水分含量太高會快速腐敗, 需要快速乾燥, 否則不利於後續的儲藏和加工利用。因此張等人⁽⁴⁾將乾基水分含量約3 g water/g solid的100 g黃豆渣進行80 W微波乾燥4 min可降低至1.78 g water/g solid, 再進行105°C烘箱乾燥75 min可達恆重, 但發現高功率短時間的微波乾燥會導致黃豆渣結塊狀態嚴重, 且顏色變深, 有褐變的現象。Perussello等人⁽⁵⁾則是將黃豆渣分別進行130、150和170°C流化床乾燥

* Corresponding author. E-mail: sdchen@niu.edu.tw
DOI: 10.6578/TJACFS.201710_55(5&6).0007

器中進行乾燥，使用的空氣流速分別為0.044、0.051和0.073 m/s 的熱空氣導入裝滿樣品的鋁製圓柱形管(直徑240 mm 、高度850 mm)中，則需要15、10和9 min 將水分含量從77%降低至3%以下。Muliterno等人⁽⁶⁾將黃豆渣壓成直徑6 cm 、厚度5 mm 的圓柱體分別進行50、60和70 $^{\circ}C$ 熱風乾燥，發現由水分含量約78%降低至15%以下約需250、300和350 min ，但黃豆渣皆產生嚴重的褐變。故黃豆渣需要快速乾燥且不顯著影響品質，才能解決加工廠大量的濕黃豆渣副產物，並增加黃豆渣的經濟價值。

射頻(radio frequency, RF)是一種國際間工業、醫藥及科研使用頻率為13.56、27.12或40.68 MHz 的電磁波。將樣品置於射頻設備的兩個平行電極板中間，在射頻電磁波的處理下，兩個平行電極板的正負電場會快速變換，使產品中的極性分子旋轉振動、離子快速位移而摩擦生熱，因此射頻可以克服傳統熱風加熱由外而內的熱傳導方式，達到整體加熱的效果⁽⁷⁾。由於射頻處理的升溫速率較為快速，所需的加熱時間短，再輔以熱風以吹散快速蒸發的水蒸氣，故它相較於傳統單獨使用熱風乾燥，較能維持產品的品質和色澤，是一種新興的乾燥加工技術，因此有許多學者利用射頻設備進行快速乾燥農產品或食品等的相關研究⁽⁸⁾。

比較射頻乾燥和傳統烘箱的餅乾研究，發現在顏色部分射頻乾燥的餅乾之白色度L值顯著較高，能有效降低餅乾中的丙烯醯胺含量，且餅乾先經過9 min 的烘烤再進行射頻乾燥對餅乾的硬度和破碎性並無顯著影響，表示使用射頻乾燥餅乾較能維持產品的顏色和品質⁽⁹⁾。另外，新鮮收穫的夏威夷豆水分含量約33%，置於射頻電極板間距15.5 cm 下結合50 $^{\circ}C$ 熱風設備的射頻處理360 min ，此能將2 kg 夏威夷豆的水分含量降低至1.5%以下，能在常溫環境中長期儲存，若僅使用60 $^{\circ}C$ 熱風乾燥則需750 min 才能達到相同的乾燥效果⁽¹⁰⁾。將1.6 kg 的核桃於射頻電極板間距18 cm 下結合50 $^{\circ}C$ 熱風設備加熱處理100 min 可將水分含量由20%降低至8%，若單獨使用傳統80 $^{\circ}C$ 熱風乾燥則需240 min 才能達到相同的乾燥效果，且經射頻乾燥的核桃顏色外觀L值、過氧化價和游離脂肪酸含量皆無顯著影響，經過30 $^{\circ}C$ 、相對溼度30%的20天儲藏性試驗，不論在0、10、20天熱風乾燥核桃的過氧化價皆顯著高於射頻乾燥處理的核桃，顯示熱風乾燥核桃已經開始敗壞⁽¹¹⁾。故本研究之目的是將黃豆渣進行射頻乾燥，企圖縮短乾燥時間，並維持黃豆渣之品質，以利於黃豆渣之儲

藏和應用。

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)、EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、赤血鹽($C_6N_6FeK_3$)、三氯乙酸(Trichloroacetic acid, TCA)、磷鉬酸試劑(Folin-Ciocalteu's phenol reagent)、氯化亞鐵($FeCl_2 \cdot 4H_2O$)、Ferrozine、購自Sigma Chemical公司(St. Louis, MO, USA)。99%甲醇、95%乙醇、碳酸鈉(Na_2CO_3)、磷酸二氫鉀(KH_2PO_4)、三氯化鐵($FeCl_3$)購自和光純藥工業株式會社(Osaka, Japan)。

二、設備

批次射頻加熱設備結合45 $^{\circ}C$ 冷風送風設備(功率5 kW ，頻率40.68 MHz ，益大生技公司，臺灣)、45 $^{\circ}C$ 冷風乾燥機(YK-112RS，主典興業公司，臺灣)、高速粉碎機(RT-40，珂化有限公司，臺灣)、離心機(Hsiangtai Centrifuge，頤樺公司，臺灣)、高速離心機(Hermle Z300, Germany)、震盪器(Vortex Genie 2, USA)、分光光度計(Model U-2001, Hitachi Co., Japan)、電子精密計重秤(HDW-15L，衡新計量科技有限公司，臺灣)、紅外線溫度計(TM-300，世駿電子股份有限公司，臺灣)、色差儀(Hunter Lab, Color Flex, USA)、電流勾錶(HIOKI 3280-10，今華電子股份有限公司，臺灣)。微波萃取裝置為本實驗室自行組裝，包括可調控功率的微波爐(妍華生技公司，臺灣)，其微波爐內有一個容積為500 mL 的玻璃圓底燒瓶上方連接冷凝管，再外接可控溫之冷水循環機(Firstek, 8402H，一升科技公司，臺灣)以維持冷凝管的低溫。

三、乾燥方法

1. 射頻-45 $^{\circ}C$ 冷風乾燥黃豆渣的功率輸出測定：分別秤取1、1.5 kg 的黃豆渣於有孔洞

的2號PP塑膠籃(直徑約27 cm、高度約9.5 cm)、2 kg的黃豆渣於有孔洞的1號PP塑膠籃(直徑約29 cm、高度約10.5 cm)中,進行不同電極板間距的射頻處理。不同電極板間距下每次加熱時間約為5 sec,測定三次並記錄其輸出電流(ampere, A),由於射頻設備的最高電流量為1.6 A 和最高輸出功率為5 kW ,故可根據公式: $\text{Power output (kW)} = (A/1.6) \times 5$,換算出射頻的平均輸出功率。

2. 射頻-45°C冷風乾燥黃豆渣的升溫和乾燥曲線測定:分別秤取1、1.5 kg的黃豆渣於有孔洞的2號塑膠籃、2 kg的黃豆渣於有孔洞的1號塑膠籃中,分別於電極板間距10、12和12 cm下,進行射頻-45°C冷風乾燥處理,每60 s取出樣品,使用紅外線溫度計和電子秤測量,記錄溫度與重量變化,重複三次,所得溫度變化的平均值與乾燥時間繪圖為升溫曲線,並測定最終乾燥黃豆渣的水分含量,藉由電子秤所測得的重量變化,回推乾燥過程黃豆渣的平均乾基水分含量變化與乾燥時間作圖繪製乾燥曲線,其中 w_t 為乾燥時間為 t 時之樣品重, w_o 為樣品固形物(乾物)重, w_i 為樣品初重。

乾基水分含量(dry basis moisture content):

$\text{MC (d.b.)} = (w_t - w_o) / (w_o) \text{ (kg water/kg solid)}$

濕基水分含量(wet basis moisture content):

$\text{MC (w.b.)} = (w_t - w_o) / (w_t) \times 100\%$

無因次水分含量(dimensionless moisture content):

$\text{DMC} = (w_t - w_o) / (w_i - w_o)$

3. 射頻-45°C冷風與45°C冷風乾燥黃豆渣的能量消耗測定:使用勾電表方式測定射頻設備(三相供電)和冷風乾燥設備(兩相供電)的實際使用設備時的電流量(ampere, A),藉由乾燥總時間,計算而得乾燥設備使用的實際總能量消耗,公式如下:

$\text{RF-45}^\circ\text{C cold air drying energy consumption (kWh)} = 220 \times A \times \sqrt{3} \times \text{drying time (hr)}$

$45^\circ\text{C Cold air drying energy consumption (kWh)} = 220 \times A \times \text{drying time (hr)}$

四、試驗方法

- 微波萃取⁽¹²⁾:精秤樣品粉末2.5 g,加入50 mL的95%乙醇,以1:20的固液比,進行300 W微波萃取5 min,離心後取上清液即為酒萃物,進行抗氧化成分和活性之分析。
- 總多酚定量分析⁽¹³⁾:取1 mL萃取上清液,

加入1 mL磷鉬酸試劑(Folin-Ciocalteu's phenol reagent)及0.8 mL 7.5%的碳酸鈉,混勻後於室溫中避光靜置30 min,在波長765 nm下測其吸光值,帶入沒食子酸(gallic acid)標準曲線中,以換算樣品之沒食子酸當量濃度。

- 類黃酮定量分析⁽¹³⁾:取1 mL萃取上清液,加入1 mL 2% methanolic ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$),混勻後於室溫中避光靜置10 min,在波長430 nm下測其吸光值,帶入槲皮素(queracetin)標準曲線中,以換算成樣品之槲皮素當量濃度。

- 清除DPPH自由基之能力測定⁽¹⁴⁾:取2 mL萃取上清液,加入2 mL的0.2 mM DPPH-MeOH溶液混合均勻後,在室溫下避光靜置30 min,波長為517 nm下測定吸光值,代入下列公式以求出DPPH清除率(scavenging effect),並以5 mg/mL的抗壞血酸、BHA、EDTA作為對照組。

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

- 螯合亞鐵能力測定⁽¹⁴⁾:取2 mL萃取上清液,加入0.1 mL的1 mM $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 溶液混合均勻後,在室溫下靜置30 s,加入0.2 mL的0.25 mM Ferrozine溶液混合均勻後,在室溫下反應10 min,在波長為562 nm下測定吸光值,代入下列公式以求出螯合亞鐵能力,並以5 mg/mL的抗壞血酸、BHA、EDTA作為對照組。

計算公式: $\text{Chelating ferrous ion capacity (\%)} = ((\text{ABS}_{\text{control}} - \text{ABS}_{\text{sample}}) / (\text{ABS}_{\text{control}})) \times 100\%$

- 還原力測定⁽¹⁴⁾:取2.5 mL萃取上清液,加入2.5 mL的0.2 M磷酸緩衝溶液(KH_2PO_4)和2.5 mL的1%赤血鹽($\text{C}_6\text{N}_6\text{FeK}_3$)混合均勻,在50°C的熱水浴中20 min後快速冷卻至室溫,再加入2.5 mL的10%三氯乙酸(TCA)溶液混合均勻,以3,000 rpm離心10 min,取上清液5 mL,加入5 mL的 H_2O 後再加入1 mL的0.1%三氯化鐵(FeCl_3)混合均勻,置於室溫中反應10 min,在波長為700 nm下測定吸光值,代入下列公式以求出還原力,並以5 mg/mL的抗壞血酸、BHA、EDTA作為對照組。

計算公式: $\text{Reducing power} = \text{ABS}_{\text{sample}} - \text{ABS}_{\text{control}}$

- 顏色檢測:使用色差儀測定乾燥樣品粉末之 L^* 、 a^* 、 b^* 值。每個樣品取樣6次測量1次,取平均值並計算標準差。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(-)。

五、統計分析

試驗結果以平均值 ± 標準偏差表示，所得之數據使用Statistical Package for Social Science (SPSS, SPSS INC. 宏德國際軟體諮詢顧問股份有限公司) 14.0版統計套裝軟體進行統計分析，利用單因子變異數分析(one-way analysis of variance, ANOVA)檢定處理間之差異，並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。

結果與討論

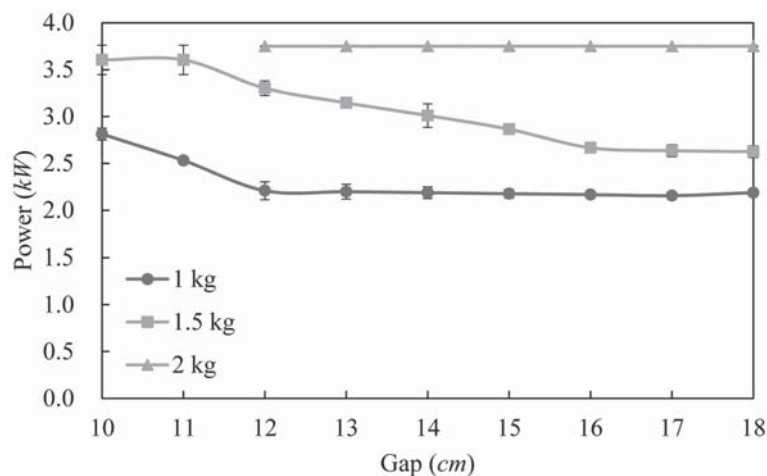
一、射頻-45°C冷風乾燥黃豆渣製程之研究

傳統研磨豆漿後，黃豆渣仍含有極高的水分含量約為80%，難以保藏。使用射頻-45°C冷風送風乾燥製程，首先要研究不同重量和射頻電極板間距對射頻輸出功率的影響，由於1和1.5 kg黃豆渣裝載的塑膠籃高為9.5 cm，平鋪後樣品高度各約為5、8 cm，2 kg黃豆渣裝載的塑膠籃高為11.5 cm，平鋪後樣品高度約為8 cm，故電極板間距分別從10和12 cm開始測定射頻的功率輸出，並逐漸向上增加調整。圖一為不同重量的黃豆渣在不同電極板間距下的射頻功率輸出，可以發現隨著黃豆渣重量增加，射頻功率輸出會增加，故裝載量與射頻功率輸出有正相關性，與李等人⁽¹⁵⁾分別使用2、4和6 kg蓬萊

米穀粉，厚度分別為3、6.5、10 cm進行射頻於不同電極板間距下的功率輸出測定，有相同的趨勢，此也表示射頻加熱可以克服樣品重量增加所造成厚度增加時的熱傳導阻力，達到整體加熱、快速升溫的效果。

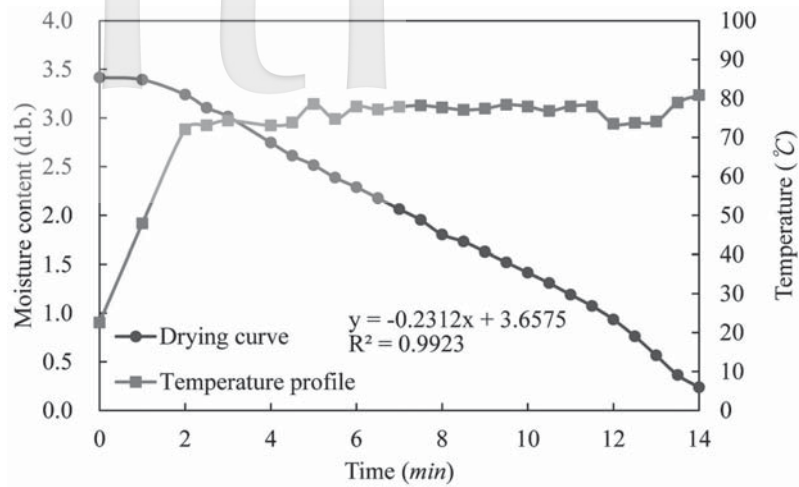
1 kg黃豆渣的射頻功率輸出在電極板間距10 cm時功率輸出最大，之後在電極板間距12至18 cm呈現持平，表示射頻電極板間距在12至18 cm範圍下並不適合於操作，因此後續使用電極板間距10 cm為條件進行1 kg黃豆渣的射頻-45°C冷風乾燥。1.5 kg黃豆渣的射頻功率輸出同樣在電極板間距10和11 cm時功率輸出最大但最不穩定，但在電極板間距12至18 cm時發現隨著電極板間距的增加，功率輸出逐漸減少，考慮功率輸出的穩定性和後續選擇電極板間距12 cm進行乾燥。2 kg黃豆渣的射頻功率輸出並不隨著電極板的變化而改變，呈現持平而穩定的現象，因此可以同樣選擇12 cm的電極板間距進行乾燥。

將1、1.5和2 kg的黃豆渣分別以射頻-45°C冷風乾燥處理2、4和5 min的表面溫達到約70°C，並開始進行乾燥，由起始80%的水分含量降低至15%，分別需要14、22和30 min(圖二、圖三、圖四)。在乾燥的過程中，因黃豆渣體顆粒太細，中心部位的水蒸氣無法順利蒸散，而導致溫度過高有燒焦的現象，因此需要定時的攪拌，使中心部位的水蒸氣以順利蒸散，但也因此使溫度變化曲線有部分的波動。一般食品在乾燥過程中可以分為恆率乾燥期和減率乾燥期，尤其出現在乾燥後期；但在射頻-45°C冷風乾燥處理黃豆渣的過程中，其水



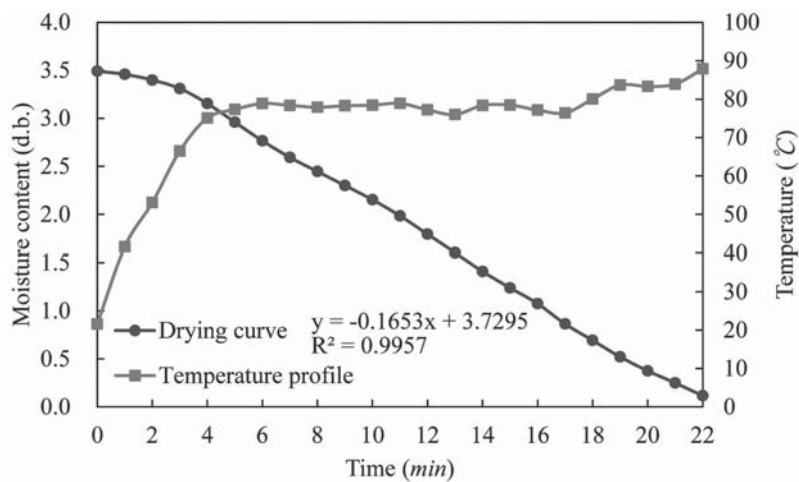
圖一 不同重量的黃豆渣在不同電極板間距下的射頻功率輸出

Fig. 1. The RF power output at different electrode gaps for different loading of soybean residues. Data are expressed as mean (n = 3).



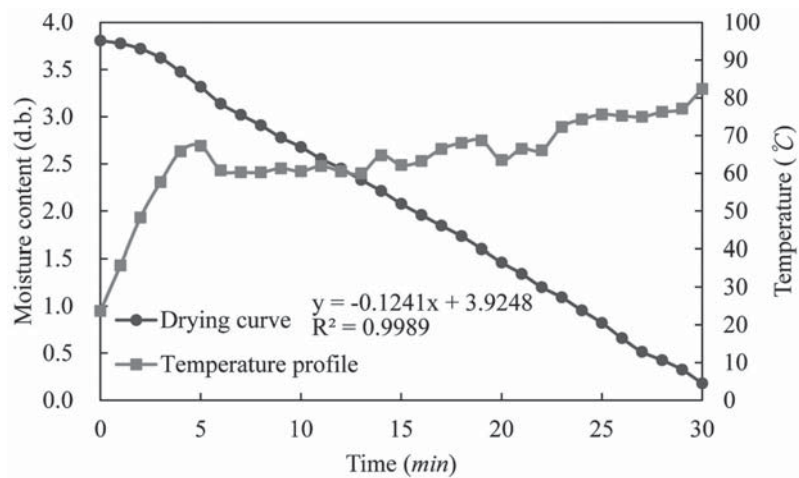
圖二 射頻-45°C冷風(電極板間距10 cm)乾燥1 kg黃豆渣的升溫與乾燥曲線

Fig. 2. The temperature profile and drying curve of 1 kg soybean residues during RF-45°C cold air drying at gap of 10 cm. Data are expressed as mean (n = 3).



圖三 射頻-45°C冷風(電極板間距12 cm)乾燥1.5 kg黃豆渣的升溫與乾燥曲線

Fig. 3. The temperature profile and drying curve of 1.5 kg soybean residues during RF-45°C cold air drying at gap of 12 cm. Data are expressed as mean (n = 3).



圖四 射頻-45°C冷風(電極板間距12 cm)乾燥2 kg黃豆渣的升溫與乾燥曲線

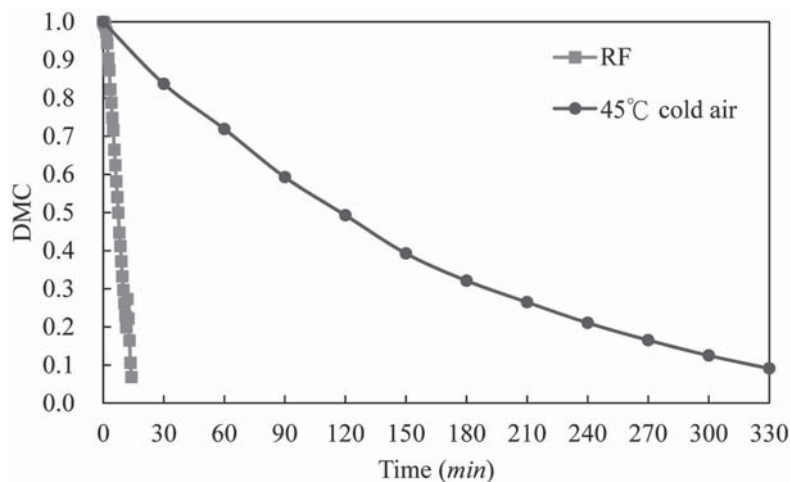
Fig. 4. The temperature profile and drying curve of 2 kg soybean residues during RF-45°C cold air drying at gap of 12 cm. Data are expressed as mean (n = 3).

分含量呈直線下降，不論是1、1.5和2 kg黃豆渣乾燥曲線皆呈現線性，其 R^2 皆在0.99以上，表示射頻-45°C冷風乾燥黃豆渣的過程中皆處於恆率乾燥期，並沒有減率乾燥期的拖尾現象，這也說明射頻-45°C冷風處理是可以進行黃豆渣的快速乾燥，且它可解決減率乾燥期耗時和耗能的問題。

比較1 kg的黃豆渣進行射頻-45°C冷風乾燥與傳統45°C冷風乾燥，45°C冷風乾燥則需要330 min才能將水分含量由80%減少至18%，而使用射頻-45°C冷風進行乾燥，只需要14 min就可以達到相同的效果(圖五)，此可大幅節省乾燥時間。比較三種不同重量的黃豆渣之射頻-45°C冷風乾燥速率，以1 kg的黃豆渣最快，為54.7 g water/min，而1.5和2 kg黃豆渣的射頻-45°C冷風乾燥速率則分別減為52.3和50.7 g water/min。45°C冷風的乾燥速率為2.14 g water/min，相較於處理1 kg黃豆渣，射頻-45°C冷風乾燥速率為冷風乾燥的25倍、總

能量消耗相差9倍(表一)。

Muliterno等人⁽⁶⁾將黃豆渣壓成直徑6 cm、厚度5 mm的圓柱體分別進行50、60和70°C熱風乾燥，發現由水分含量約78%降低至15%以下約需250、300和350 min。張等人⁽⁴⁾將100 g黃豆渣進行80 W微波乾燥4 min，可使乾基水分含量由3降至1.78 g water/g solid，但進行105°C烘箱乾燥75 min方達恆重，發現高功率短時間的微波乾燥速率太快，導致黃豆渣結塊狀態嚴重，且其研究所使用黃豆渣的重量僅100 g，較不符合工業化大量乾燥的要求，而黃豆渣在射頻-45°C冷風乾燥的過程中，有攪拌的步驟，所以結塊現象不明顯，射頻可進行大量且快速的乾燥，相較而言較符合工業化要求。Perussello等人⁽⁵⁾則是將黃豆渣裝滿於直徑240 mm、高度850 mm的流化床乾燥器中，分別通入的熱空氣流速分別為0.044、0.051和0.073 m/s及130、150和170°C，則需要15、10、9 min可將水分含量從77%降低至3%以下。此亦說明黃豆



圖五 射頻-45°C冷風和45°C冷風乾燥1 kg黃豆渣乾燥曲線

Fig. 5. Drying curves of 1 kg soybean residues during RF-45°C cold air and 45°C cold air drying. Data are expressed as mean (n = 3).

表一 黃豆渣的乾燥速率、時間和能量消耗

Table 1. The drying rate, drying time and energy consumption of soybean residue by RF-45°C cold air drying and cold air drying

Loading of soybean residues (kg)	Drying condition	Gap (cm)	Drying rate (g water/ min)	Drying time (min)	Energy consumption (kWh)
1.0	RF-45°C cold air	10	54.7	14	1.47
1.5	RF-45°C cold air	12	52.3	22	2.31
2.0	RF-45°C cold air	12	50.7	30	3.15
1.0	45°C Cold air	-	2.14	330	13.53

* Data are expressed as mean. (n = 3).

渣乾燥是業界急需解決的問題，先前的研究曾使用微波乾燥、熱風乾燥和流化床乾燥等進行乾燥的研究，不過相較而言，射頻-45°C冷風乾燥使用的乾燥效率最佳，乾燥時間較短。另外射頻在後段乾燥之應用方面，將直徑5 cm、厚度0.7 cm的餅乾進行2 kW的射頻乾燥45 s，即可將水分含量由10%降低至7.6%⁽⁹⁾。此皆說明射頻乾燥可大幅縮短操作時間，可達同時省時節能的效果。

二、射頻-45°C冷風乾燥黃豆渣之品質和抗氧化分析

將1 kg黃豆渣分別進行射頻-45°C冷風與冷風乾燥處理後，對其品質外觀和抗氧化成分、活性進行分析。顏色部分，射頻-45°C冷風與冷風乾燥黃豆渣的L*值分別為85.74和86.68，a*值分別為1.37和0.94，b*值分別為24.84、26.39，皆沒有顯著差異(表二)。但張等人⁽⁴⁾將水分含量約3 g water/g solid的100 g黃豆渣進行80 W微波乾燥4 min後發現顏色變深，有褐變的現象，而經射頻-45°C冷風乾燥後的黃豆渣，在顏色部分並沒有顯著的變化，可能是因為射頻快速升溫的效果，使黃豆渣沒有褐變的現象發生。Muliterno等人⁽⁶⁾將黃豆渣經過50、60和70°C熱風乾燥，發現黃豆渣皆產生嚴重的褐變，經過250 min熱風乾燥的黃豆渣L*值從約75降低至65以下，且隨著熱風乾燥溫度和時間增加，L*值下降的更為快速。而射頻-45°C冷風與冷風乾燥的黃豆渣L*值皆在85以上，表示相較於熱風處理，經射頻-45°C冷風與冷風乾燥處理的黃豆渣並無顯著的褐變發生，射頻-45°C冷風乾燥確實能保留黃豆渣的顏色。

經射頻-45°C冷風乾燥後黃豆渣含有約27.6%為蛋白質、10.6%的粗脂肪含量和54.5%的碳水化合物(表三)。Lu等人⁽¹⁶⁾將黃豆渣進

表二 射頻-45°C冷風與冷風乾燥黃豆渣經不同加工處理後的顏色分析

Table 2. Color analyses of RF-45°C cold air and cold air dried soybean residue

Soybean residues	L*	a*	b*
RF-45°C cold air dried	85.74 ± 6.16	1.37 ± 2.06	24.84 ± 1.73
Cold air dried	86.68 ± 4.57	0.97 ± 2.11	26.39 ± 2.79

* Data are expressed as mean ± S. D. (n = 6).

** Means in the same column were no significantly different (p > 0.05).

表三 射頻-45°C冷風乾燥黃豆渣的營養成分分析

Table 3. Nutrition facts analysis of RF-45°C cold air dried soybean residue

Items	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
Sugars (g)	2.6
Sodium (mg)	21

* Data are expressed as mean (n = 3).

行冷凍乾燥後再進行營養成分分析，結果顯示每100 g乾物重中分別含有15.3 g蛋白質、5.9 g粗脂肪、58.6 g膳食纖維，55.6 g不溶性膳食纖維、0.22 g類黃酮，相較下在碳水化合物部分相差較小，皆在50%以上，營養非常豐富，同時表示經過射頻-45°C冷風乾燥的黃豆渣仍含有豐富的營養成分。黃⁽¹⁷⁾將2 kg真空包裝精白米在電極板間距5.5 cm下進行40、50和60 s射頻加熱殺蟲處理，發現稻米中蛋白質含量和未經射頻加熱處理組皆無顯著差異，且在室溫儲藏30、60、120和180天後，蛋白質和直鏈澱粉含量皆無顯著差異，表示射頻加熱處理後，並不會對稻米中的蛋白質含量造成顯著性的變化。

將射頻-45°C冷風乾燥和冷風乾燥的黃豆渣進行1:20固液比的300 W微波乙醇萃取5 min後，離心取上清液進行抗氧化成分和能力的分析(表四)，乙醇萃取液的濃度為50 mg/mL，結果顯示，射頻-45°C冷風乾燥後的黃豆渣含有1.56 mg gallic acid equivalent/g DW的總多酚，顯著高於冷風乾燥的黃豆渣(0.90 mg gallic acid equivalent/g DW)，類黃酮含量的部分則沒有顯著差異，分別為0.05、0.06 mg quercetin equivalent/g DW，而在清除DPPH自由基能力部分，射頻-45°C冷風乾燥的黃豆渣顯著高於冷風乾燥，分別為49.85、24.26%，冷風乾燥黃豆渣的螯合亞鐵能力雖然顯著高於射頻-45°C冷風乾燥黃豆渣，但僅相差不到4%，且皆在80%以上，表示兩種不同乾燥處理的黃豆渣皆有良好的螯合亞鐵離子的能力，還原力的部分同樣是冷風乾燥黃豆渣顯著高於射頻-45°C冷風乾燥黃豆渣，分別為0.41、0.25，綜合以上敘

表四 射頻-45℃冷風與冷風乾燥黃豆渣的抗氧化成分與活性分析

Table 4. Antioxidant components and activities analyses of RF-45℃ cold air and cold air dried soybean residue

Soybean residues	Total polyphenols (mg gallic acid equivalent /g DW)	Flavonoids (mg quercetin equivalent /g DW)	Scavenging DPPH free radicals (%)	Chelating ferrous ion capacity (%)	Reducing power
RF-45℃ cold air dried	1.56 ± 0.24 ^a	0.052 ± 0.002 ^a	49.85 ± 2.46 ^c	84.30 ± 0.20 ^d	0.25 ± 0.05 ^d
Cold air dried	0.90 ± 0.04 ^b	0.061 ± 0.010 ^a	24.26 ± 3.33 ^d	88.22 ± 1.26 ^e	0.41 ± 0.01 ^c
Ascorbic acid	-	-	93.46 ± 0.63 ^a	90.40 ± 0.09 ^b	1.08 ± 0.01 ^a
BHA	-	-	94.04 ± 0.05 ^a	76.33 ± 0.85 ^e	0.59 ± 0.01 ^b
EDTA	-	-	68.41 ± 4.47 ^b	95.05 ± 0.17 ^a	0.07 ± 0.01 ^e

* Data are expressed as mean ± S. D. (n = 4).

** Means with different superscript in the same column were significantly different ($p < 0.05$).

*** The concentration of soybean residues was 50 mg/mL. The concentration of ascorbic acid, BHA and EDTA were 5 mg/mL.

述，推測射頻-45℃冷風乾燥黃豆渣中的總多酚含量較高，而使清除自由基能力較佳，相對而言，冷風乾燥黃豆渣的類黃酮含量較高會造成還原力較高。

宋等人⁽¹⁸⁾ 萃取黃豆渣中的膳食纖維進行抗氧化能力的分析，發現隨著黃豆渣膳食纖維的濃度和清除DPPH自由基能力呈正相關，但在濃度約6 g/L後，抗氧化活性皆趨於平緩，在濃度為10 g/L時，清除DPPH自由基能力約為15%，同濃度下維生素C的清除DPPH自由基能力約為30%，相差約2倍。溶於0.05 M NaOH的黃豆渣可溶性多醣還原力達25.72 TE/g DW，清除自由基能力達77.96 TE/g DW⁽¹⁹⁾。

結 論

射頻-45℃冷風乾燥1、1.5和2 kg的黃豆渣，乾燥速率分別為54.7、52.3和50.7 g water/min，需要14、22和30 min可將濕基水分含量約80%降低至15%，且乾燥過程皆為恆率期，水分含量呈線性下降。乾燥1 kg黃豆渣，射頻-45℃冷風相較於傳統45℃冷風乾燥速率增加25倍、總能量消耗減少為1/9。射頻-45℃冷風乾燥黃豆渣的總多酚含量和清除DPPH自由基能力皆顯著高於冷風乾燥黃豆渣。在顏色部分，兩種不同乾燥方法的黃豆渣沒有顯著性的差異。射頻-45℃冷風乾燥後的黃豆渣含有54.5%碳水化合物、27.6%粗蛋白和10.6%粗脂肪，營養非常豐富，且乾燥後的黃豆渣水分含量低，容易運輸和儲存，可再進行其他食品相關的加工利用，以助於提高其經濟價值。

謝 誌

感謝國立宜蘭大學米食亮點計畫實驗室提供乾燥設備及光泉牧場股份有限公司免費提供黃豆渣作為本研究的材料。

參 考 文 獻

- (1) 劉華英、張銳利：豆渣纖維蛋糕生產工藝研究。《中國食物與營養》，11: 55-57 (2010)。
- (2) 孫小凡、曾慶華：豆渣膳食纖維麵條烹煮品質特性研究。《中國食物與營養》，11: 46-49 (2009)。
- (3) 管瑛、汪瑋芃、李文、章明明、邢廣良、王麗夏、張波、董明盛：豆渣固態發酵過程中主要營養成分及抗氧化特性變化。《食品科學》，21: 189-194 (2016)。
- (4) 張平安、張建威、宋連軍、趙秋艷：豆渣微波熱風聯合乾燥特性研究。《南方農業學報》，42(5): 528-530 (2011)。
- (5) C. A. Perussello, V. C. Mariani and Á. C. C. do Amarante: Numerical and experimental analysis of the heat and mass transfer during okara drying. *Appl. Therm. Eng.*, 48: 325-331 (2012).
- (6) M. M. Muliterno, D. Rodrigues, F. S. de Lima, E. I. Ida and L. E. Kurozawa: Conversion/degradation of isoflavones and color alterations during the drying of okara. *LWT-Food Sci. Technol.*, 75: 512-519 (2017).
- (7) F. Marra, L. Zhang and J. G. Lyng: Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances. *J. Food Eng.*, 91(4): 497-508 (2009).
- (8) Y. Wang, Y. Li, S. Wang, L. Zhang, M. Gao and J. Tang: Review of dielectric drying of foods and agricultural products. *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, 4(1): 1-19 (2011).
- (9) T. K. Palazoğlu, Y. Coşkun, T. Kocadağlı and V. Gökmen: Effect of radio frequency postdrying of partially baked cookies on acrylamide content, texture, and color of the final product. *J. Food Sci.*, 77(5): 113-117 (2012).
- (10) Y. Wang, L. Zhang, J. Johnson, M. Gao, J. Tang, J. R. Powers and S. Wang: Developing hot air-assisted radio

- frequency drying for in-shell macadamia nuts. *Food Bioprocess Tech.*, **7**(1): 278-288 (2014).
- (11) B. Zhang, A. Zheng, L. Zhou, Z. Huang and S. Wang: Developing hot air-assisted radio frequency drying protocols for in-shell walnuts. *Emir. J. Food Agric.*, **28**(7): 459-467 (2016).
- (12) 陳柏翰、陳淑德：茯苓固態發酵產物中多醣與三萜類之微波萃取。 *臺灣農業化學與食品科學*，**51**(4,5,6): 188-194 (2013)。
- (13) J. Y. Lin and C. Y. Tang: 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**(1): 140-147 (2007).
- (14) B. J. Xu and S. K. C. Chang: A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *J. Food Sci.*, **72**(2): 159-166 (2007).
- (15) 李育祈、陳淑德、姚美吉：射頻加熱對米穀粉殺蟲及殺菌之影響。 *臺灣農業化學與食品科學*，**53**(4): 125-134 (2015)。
- (16) F. Lu, Y. Liu and B. Li: Okara dietary fiber and hypoglycemic effect of okara foods. *Bioact. Carbohydr. Dietary Fibre*, **2**(2): 126-132 (2013).
- (17) 黃志成：射頻處理對真空包裝米的米象控制及其品質的影響。 *宜蘭大學生物資源學院碩士在職班學位論文*，1-118 (2013)。
- (18) 宋真真、許彥騰、馮夢夢、薛金麗、孫勇、張建新：豆渣膳食纖維的抗氧化活性。 *西北農業學報*，**22**(7): 73-77 (2013)。
- (19) I. Mateos-Aparicio, C. Mateos-Peinado, A. Jiménez-Escrig and P. Rupérez: Multifunctional antioxidant activity of polysaccharide fractions from the soybean byproduct okara. *Carbohydr. Polym.*, **82**(2): 245-250 (2010).