

射頻加熱在米糠油製備之應用

李育霖¹、陳淑德^{1,2*}

¹國立宜蘭大學 生物資源學院 碩士在職專班

²國立宜蘭大學 食品科學系

摘要

為增加有機米的碾米副產品米糠之利用，先研究連續式熱風輔助射頻安定化米糠，以抑制米糠的脂解酶活性，方可儲藏。然後利用熱風輔助射頻烘烤米糠，再放於壓榨機，以製備有機米糠油。首先分析宜蘭地區有機米糠的重金屬鎘殘留量，均低於衛生福利部 0.4 ppm 以下的規定。利用射頻加熱可使 0.5、1、1.5 和 2 kg 的米糠於 2 min 內使溫度達到 90℃ 以上，具有安定化米糠的效果。將每個 pp 盒中裝入 1 kg 米糠置於輸送帶上，以 2 min 通過 65 cm 射頻電極板，使出口處的米糠內部溫度均高於 100℃，完成連續式射頻安定化米糠的作業。另外為提升榨油率，先進行射頻烘烤 2 kg 米糠 110 s，可使米糠的溫度達到 110℃ 以上，再放於壓榨機中，設定腔體溫度為 110℃ 及每階段壓力為 200、300、400 和 500 kg 處理各 5 min，共計獲得 288 g 的米糠油，榨油率達 14.5%，每階段出油比率約佔 70.1%、15.6%、8.3% 和 5.9%，故射頻可以快速加熱米糠以安定化和作為榨油前烘烤程序。

關鍵詞：射頻、米糠、榨油

*通訊作者。E-mail: sdchen@niu.edu.tw

Application of Radio Frequency Heating on Preparation of Rice Bran Oil

Yu-Lin Li¹, Su-Der Chen^{1,2*}

¹Master Program, College of Bioresources, National Ilan University, Taiwan

²Department of Food Science, National Ilan University, Taiwan

Abstract

Hot air-assisted radio frequency (HARF) stabilization of rice bran was studied to continuously inhibit the lipase enzyme activity of rice bran before storage in order to increase the utilization of rice bran from a by-product of organic rice milling. The rice bran was then roasted using HARF before being placed in an oil press to produce organic rice bran oil. First, the heavy metal cadmium residues in organic rice bran from the Yilan area were analyzed, and they all were lower than the regulations of the Ministry of Health and Welfare below 0.4 ppm. RF heating could raise the temperature of 0.5, 1, 1.5, and 2 kg of rice bran to above 90°C in less than 2 min, which stabilized the rice bran. Weighting 1 kg of rice bran in each PP box was placed on the conveyor belt in HARF, and passed through the 65 cm RF electrode plate in 2 min. The internal temperature of rice bran at the outlet was greater than 100°C, and the continuous radio frequency rice bran stabilization was completed. Furthermore, 2 kg of rice bran was roasted to reach about 110°C by RF heating for 110 s to improve oil extraction ratio. The oil press was set at 110°C in each stage 200, 300, 400 and 500 kg for 5 min to obtain 288 g of rice bran oil and the oil extraction ratio was 14.5%; and the oil yield in each stage accounted for approximately 70.1%, 15.6%, 8.3% and 5.9% in total extracted oil. Therefore, RF heating could quickly stabilize rice bran and roast before rice bran oil extraction.

Keywords: radio frequency (RF), rice bran, pressing oil.

*Corresponding author. sdchen@niu.edu.tw

壹、前言

近年來健康意識抬頭，國民追求健康對吃的健康更是農場到餐桌無一不嚴謹，因此台灣有機稻米農戶與耕作面積逐年增加，以宜蘭縣來說耕地面積，其中有機稻米耕地最多的鄉鎮依序是三星鄉（41.98%）、礁溪鄉（21.70%）、五結鄉（18.05%）。研究初衷遇消基會 2020/12/14 公布嬰幼兒米製副食品重金屬殘留抽驗結果，隨機抽驗 20 件樣本中，有 4 件檢出重金屬鎘超出管制量，其中 1 件米糠製品與 2 件米餅製品由宜蘭地區製造的產品都在不合格名單中，食藥署則表示，在製造過程中一般比較不會有鎘汙染殘留，通常是在農地耕作灌溉導致原料端較可能遭受到污染，因此本次使用有機稻米的米糠前，將先分析宜蘭地區的有機米糠的鎘殘留量。衛福部曾於 93 年訂定食米中重金屬汞、鎘和鉛的限量分別為 0.05、0.4 和 0.2 ppm。

米糠為碾米之副產品，它的營養及其成分約為 14%蛋白質、18%脂肪、10%灰分、12%粗纖維、10%水分及 36%其他碳水化合物，礦物質及多種維生素，米糠富含維生素 E 和穀維素具有極佳的抗氧化性（Velasquez *et al.*, 2020）。米糠佔糙米 10%，除可萃取米糠油外，主要作為飼料、有機肥料和太空包基質之用。但米糠中含有脂解酶（lipase），會水解產生游離脂肪酸，會造成油脂氧化酸敗，產生不良氣味，故碾米而得的米糠需要抑制其脂解酶的活性，使其安定化，以防止麩皮中脂質降解和氧化酸敗（Sookwong & Mahatheeranont, 2017; Liao *et al.*, 2020）。利用射頻電磁快速加熱米糠 15 min，使米糠溫度達到 100°C，可以安定化米糠，在 35°C 下可以儲藏 60 天，仍有好的品質（Ling *et al.*, 2018）。

射頻（radio frequency, RF）屬於電磁波的一種與微波相似，但兩種頻率不同，它們都是介電加熱，射頻的頻率從 10 MHz - 300 MHz，微波頻率範圍為 300 MHz - 30000 MHz（Marra *et al.*, 2009）。美國聯邦通訊委員會（FCC）為避免射頻和微波干擾通訊，特別規定在工業、醫學、學術研究可使用的射頻的頻率為 13.56、27.12 及 40.68 MHz，微波頻率為 915 和 2450 MHz。射頻能量是由上下兩平行電極板進行快速的轉換正負電磁場，使樣品中的偶極分子（例如：水）極化後來回的旋轉（偶極子旋轉），和帶電荷的離子隨電磁波正負性快速改變不斷的往返（離子去極化），致使分子、離子間相互劇烈的旋轉震動摩擦生熱（Marra *et al.*, 2009），進而達到快速升溫的效果，且射頻的頻率較微波小，使得穿透樣品的深度較微波大（Marra *et al.*, 2009），更適合工業化製程。連（2021）曾利用連續式射頻熱風設備 10 kW，40.68 MHz 在電極板間距 9 cm 下，連續加熱每盒 1

kg 杏仁只需 2 min 即可達到烘烤溫度 120°C。

Yu 等人 (2020) 採用射頻加熱系統處理新鮮米糠，以提高其穩定性，在射頻板間距 10.5 cm 下處理時間為 5.3 min，溫度達到 92°C，可使米糠脂肪酶的相對活性低至 18.25%。在 35°C 保存 6 週後，與同期未處理的米糠相比，脂肪酶相對活性由 18.35% 增加到僅 22.63%，酸價僅 22.32%，過氧化氫值仍低於 5 mmol/kg 的閾值。另外 Liao 等人 (2020) 亦分別利用低溫 (100~105°C) 和高溫 (110~115°C) 的熱風輔助射頻加熱 15 和 6 min 即可降低脂解酶和多酚氧化酶的活性為新鮮米糠的 20~30%，達到安定化米糠的效果，且比擠壓安定化米糠對組織的破壞較少。另一方面，射頻加熱米糠 5 min 使米糠的溫度達 100~120°C 不只可以安定化米糠，且可促進米糠蛋白的吸收和乳化性質 (Ling *et al.*, 2019)。另外 Chen 等人 (2021) 利用 5 kW 射頻加熱 1 kg 米糠 2 min，即可使米糠溫度由 20°C 升至 100°C，造成脂解酶失活，且後續在 4、25 和 37°C 下儲藏 8 週並未發生酸敗情形。

通常米糠在食品工業上會運用於萃取油脂，或用作動物飼料或肥料。米糠油佔米糠 14~25%，具體取決於品種，製粉過程和其他農業氣候條件，其良好的萃取是回收米糠中存在的高價值化合物的重要過程。一般米糠油採己烷萃取，所得粗米糠油仍需再經一系列溶劑分離、去膠、脫色、脫酸、脫臭及冬化處理 (李等, 2013)。米糠油已成為備受關注的副產品，它含均衡的脂肪酸組成 (Garba *et al.*, 2017)，且米糠油含有獨特的抗氧化劑，稱為 γ -穀維素，和其他良好營養來源，例如 γ -穀維素醇，生育酚，生育三烯酚和固醇 (Soares *et al.*, 2018; Punia *et al.*, 2021)，可應用於藥物和化妝品產業。米糠油的萃取除溶劑萃取和壓榨技術外，尚有超臨界二氧化碳萃取、或以微波輔助萃取、酵素輔助或超音波輔助水萃取法可提高米糠油的有效成分含量 (Punia *et al.*, 2021)。然而超臨界二氧化碳萃取的設備和操作成本高，操作時間長，但低溫萃取品質佳和安全性高。微波輔助萃取、酵素輔助或超音波輔助水萃取法，萃取時間短，但目前設備尚未有量產規模，故本研究將採用已普遍的壓榨法，設備和操作費用低，且無溶劑殘留，安全性較正己烷溶劑萃取高。

本研究先調查宜蘭地區有機米糠的重金屬鎘的殘留量，再研究利用連續式 10 kW 熱風輔助射頻加熱抑酶的製程，為增加米糠油的安全性，將以壓榨取代正己烷溶劑萃取，而於壓榨米糠油前，米糠需要再經過射頻快速烘烤以提高榨油率，並進行榨油製程的研究。

貳、材料和方法

一、材料

本研究所使用由民豐有機農場提供 110 年 1 期及 111 年 1 期的台中秈 10 號的米糠。

二、設備

熱風輔助射頻設備 (EDB-10D, 最大輸出功率 10KW, 頻率 40.68 MHz, 220 V, 益大有限公司, 宜蘭)、烘箱 (Channel DCM45, 柯化有限公司, 宜蘭)、多功能紅外溫度計 (Testo 104-IR, 德斯特儀器有限公司, 新北市)、紅外線熱像儀 (TIM-03, 海基國際企業股份有限公司, 台北)、恆溫保溫箱 (LM-600R, 裕德科技有限公司, 新北市)、色差儀 (Hunter L.A.B, Color Flex, America)、電子精秤 (HDW-15L, 衡新計量科技有限公司, 宜蘭)。

三、實驗方法

1、取得宜蘭縣有機米相關產銷班的米糠的重金屬鎘的分析, 委由國立宜蘭的生物資源產品檢測技術推廣中心, 依行政院衛生福利部 103 年 8 月 25 日部食字第 1021901169 號公告修正重金屬檢驗方法總則分析, 以感應耦合電漿質譜法檢測, 定量極限為 0.01 mg/kg (ppm), 分析不同地區有機稻米的米糠的重金屬鎘含量。

2、射頻加熱樣品的功率輸出測定

射頻加熱系統為 10 kW, 40.68 MHz, 強制式熱風溫度控制 100°C, 熱風設備由後方吹入, 將 0.5 和 1 kg 的米糠放置在 4 號塑膠籃 (直徑 23 cm、高度 8 cm), 1.5 和 2 kg 樣品放置的 3 號塑膠籃 (直徑 27 cm、高度 9.5 cm), 進行不同電極板間距的射頻處理, 在不同間距下每次加熱時間約 10 s 以便記錄其輸出電流 (ampere, A), 由於使用射頻設備的最高電流量為 2.2 A 和最高輸出功率為 10 kW, 再換算出射頻的平均輸出功率, 計算公式為: $\text{Power output (kW)} = (10/2.2) \times A \times (220/380)$ 。

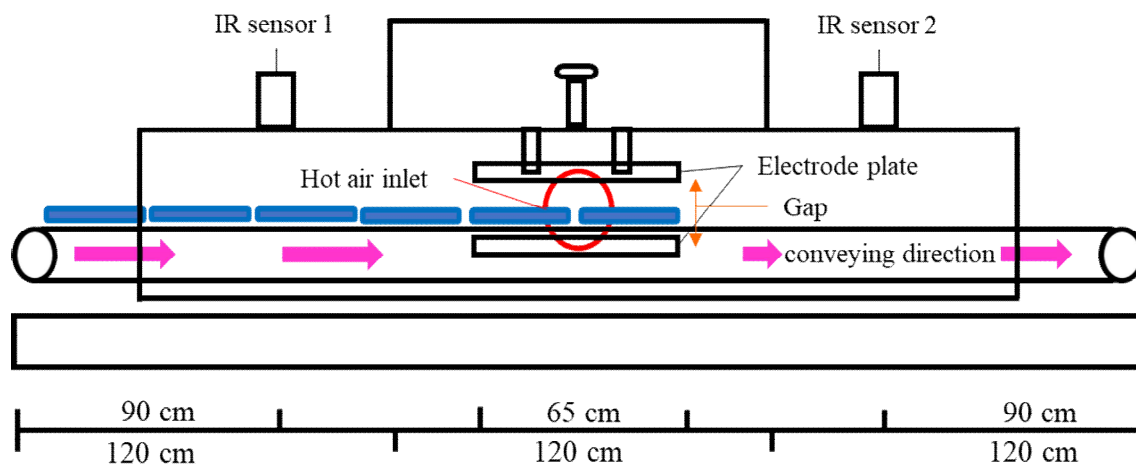
3、射頻烘烤米糠的升溫和水分含量變化情形

以紅外線溫度偵測, 樣品表面三處(靠左邊籃框 5 cm 處, 中央處, 和靠右邊籃框 5 cm 處)的溫度, 及利用熱顯儀測量樣品的表面溫度, 每 30 s 記錄不同電極板間距下的升溫情形, 直到樣品溫度達到 120°C, 重複三次, 將每個檢測點溫度平均值的變化繪製成升溫曲線, 乾基水分含量變化則是射頻處理過程中樣品的重量變化, 此需先利用 105°C 的烘箱乾燥樣品至恆重, 以決定樣品的乾物率, 然後射頻烘烤乾燥過程中樣品乾基水分含量之公式如下:

乾基水分含量 $\text{Moisture content (d.b.)} = (W_t - W_o) / W_o$

其中 W_t 是乾燥時間為 t 的樣品重量， W_o 是樣品初重 $\times$ 乾物率。

藉由 10 kW，40.68 MHz 射頻批式加熱條件，並設定熱風溫度為 100℃，米糠在射頻平行電極板下加熱需 120 s，則後續如圖 1 的連續式射頻設備，設定輸送帶速度為 65 cm/120 s（連，2021），則一盒接著一盒 1 kg 的米糠由左方入口進入，在輸送帶上，經由平行電極板中加熱後，繼續由右方出口輸出，即完成米糠加熱。



（連，2021）

圖 1、10 kW，40.68 MHz 連續式射頻系統的示意圖。

Fig. 1. Schematic view of 10 kW, 40.68 MHz continuous RF system.

4、射頻烘烤米糠與壓榨米糠油的條件

米糠預先以熱風輔助射頻烘烤加熱，以牛皮紙包裹已安定化的 0.5 kg 米糠，分別置於在 10 kW 40.68 MHz 射頻電極板 10 cm 下，預熱時間與溫度進行條件選擇。將四個牛皮紙包裝(共 2 kg)的米糠，放置於射頻電極板中，進行射頻加熱烘烤約 120 s，使米糠的溫度達到 110℃ 以上。再將其放於壓榨機中，設定壓榨腔體溫度為 110℃ 及每階段施力為 200、300、400 和 500 kg 處理各 5 min，各階段收集壓榨的米糠油，秤重。

5、米糠油儲藏期間的顏色變化

將米糠油裝於玻璃瓶中，在室溫存放 0、2 和 12 個月，以色差儀分析米糠油的顏色。

四、分析方法

1、水分含量

精稱 3 g 磨碎的米糠樣品裝於鋁盤中，並放入 105℃ 烘箱乾燥 4 小時，達恆定後取出

秤重，每組處理做三重複，再計算水分含量(%)。

2、顏色檢測

使用色差儀測定不同處理的樣品之 L^* 、 a^* 、 b^* 值。每個樣品測 6 次，取平均值，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

實驗結果以平均值±標準差表示之，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) 20.0 版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 $\alpha=0.05$ ，以比較其差異之顯著性。

參、結果與討論

一、宜蘭地區米糠的重金屬鎘殘留量分析

在有機稻米耕種地區方面，可分為礁溪、五結、羅東、三星和蘇澳地區，並分別成立產銷班，其耕種面積分別為 40、30、12、86 和 50 公頃，而所耕種的品種以台中秈 10 號米居多，五結地區亦耕種越光米和高雄 145 號梗米，灌溉的水源均來自當地的溪流和湖圳。而由於消基會 2020 年 12 月 14 日公布嬰幼兒米製副食品重金屬殘留抽驗結果，隨機抽驗 20 件樣本中，有 4 件檢出重金屬鎘超出管制量，且其中有 3 件產品的製造來自宜蘭地區，另外水稻各部位鎘濃度大小依序為根>莖>葉>糙米，至於米粒部位則以米糠>糙米>精白米>稻殼 (郭 等，2010)，故重金屬鎘較易存在於稻米的米糠中，使用有機米糠原料時先行分析其鎘殘留量。

表 1 為宜蘭縣有機米產銷班其有機米糠的鎘殘留量分析結果，參考比對食品中污染物質及毒素衛生標準，第三條食品中之重金屬限量之規定，食米重金屬限量標準，其鎘含量低於 0.4 ppm 殘留限度。經取樣測試宜蘭地區有機稻米產銷班稻米的檢測分析重金屬鎘含量：A:蘇澳地區品種台中秈 10 號水源七星井水米糠的鎘含量 0.22 ppm。B:三星品種台中秈 10 號水源安農溪下游米糠的鎘含量 0.12 ppm。C:三星品種高雄 145 號安農溪中游米糠的鎘含量並未檢出。D:三星品種台中秈 10 號安農溪上游米糠的鎘含量為 0.1 ppm。E:礁溪品種台中秈 10 號龍潭湖水米糠的鎘的含量 0.29 ppm。由以上分布與數據可知，雖然已是在有機的環境中耕種，但重金屬鎘在環境背景值還是會影響作物本身的殘留。而此次採樣的有機米糠之重金屬鎘含量，皆低於食品安全衛生管理法第十七條規定

米中鎘的限量為 0.4 ppm (mg/kg)。

表 1、宜蘭地區有機米糠的鎘含量

Table 1. Cadmium content of organic rice bran in Yilan county

編號	地區	品種	水源	鎘 (ppm)
A	蘇澳	台中秈 10 號	七星井水	0.22
B	三星	台中秈 10 號	安農溪上	0.1
C	三星	高雄 145 號	安農溪中	ND
D	三星	台中秈 10 號	安農溪下	0.12
E	礁溪	台中秈 10 號	龍潭湖水	0.29

ND: 未檢出 (偵測極限為 0.01 ppm)。

參考行政院公報食米重金屬限量標準: 米的鎘含量要低於 0.4 ppm.

二、射頻加熱安定化米糠的製程研究

首先測量不同裝載量(0.5、1、1.5 和 2 kg)裝於一個 PP 盒中的米糠在 100℃ 熱風輔助 10 kW 射頻加熱在不同電極板間距下的功率(圖 2)，其中在電極板間距 10 cm 下，0.5、1、1.5 和 2 kg 米糠的功率分別為 1.32、1.84、2.63 和 3.42 kW，若射頻設備的輸出的功率足夠，則米糠的裝載量愈大能夠感應功率亦愈大。為考慮後續的連續式射頻加熱，為兩盒 1 kg 米糠同時在電極板內，故圖 3 為一盒和兩盒 1 kg 裝的米糠在 100℃ 熱風輔助 10 kW 射頻加熱在不同電極板間距下的功率，其中在電極板間距 10 cm 下二盒 1 kg 裝的米糠之功率為 3.2 kW，稍較一盒 2 kg 裝的米糠功率低，此可能由於一盒 2 kg 裝的米糠堆積的高度較高，此也會增加射頻感應功率。

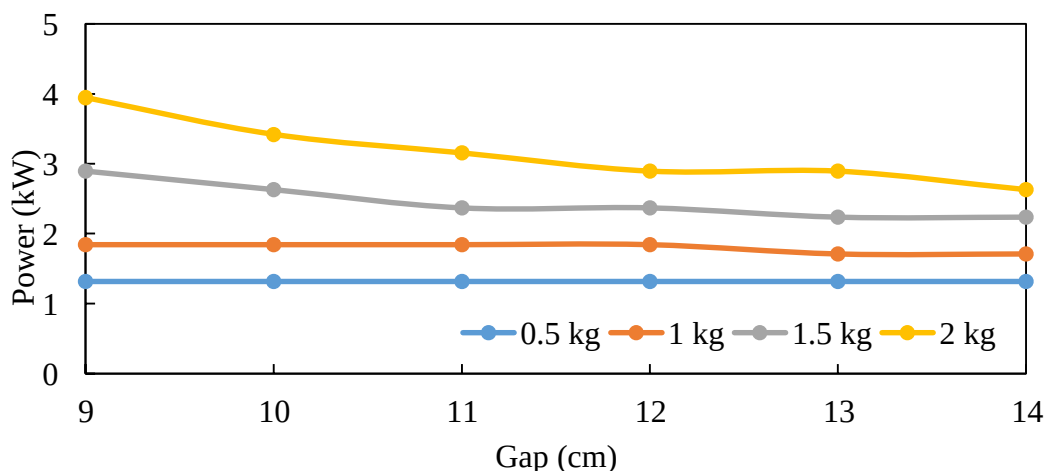


圖 2、不同電極間距下熱風 (100℃) 輔助 10 kW 射頻加熱 0.5、1、1.5 和 2 kg 米糠的功率變化。

Fig. 2. Power of 0.5, 1, 1.5 and 2 kg rice bran at 10 kW RF with 100℃ hot air heating.

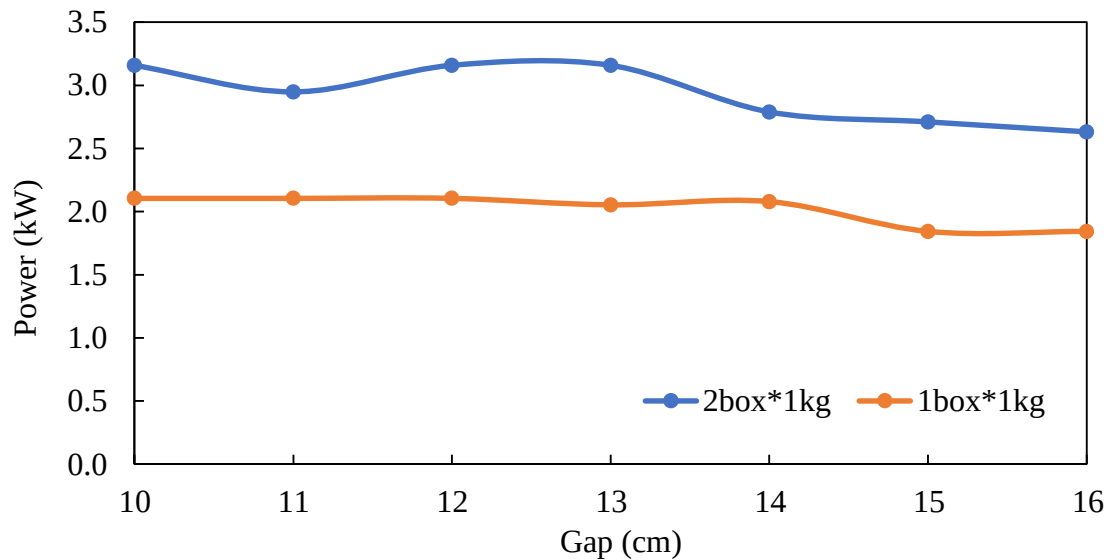


圖 3、不同電極間距下熱風(100°C)輔助 10 kW 射頻加熱一盒 1 kg 和二盒 1 kg 米糠的功率變化。

Fig. 3. Power changes of 1 and 2 kg rice bran at 10 kW RF with 100°C hot air heating with different electrode gaps.

相較於較大量樣品的熱風加熱，常由於熱量無法立即傳導於樣品中，而造成加熱時間長，然而射頻加熱樣品的特性，則射頻可穿透樣品內部，再透過樣品的水分共振或離子快速移動而摩擦生熱，此克服傳統熱傳導的熱量傳送障礙，而樣品內部的溫度高於表面的溫度，故常以熱風輔助射頻加熱，以提升表面樣品的溫度，使得樣品表面和內部的溫度分布較為均勻 (Liao *et al.*, 2020)，而且熱風對於樣品的乾燥亦助於水分的吹散，提升質傳的效果。當裝載量愈大會造成射頻的功率增加，而電極板間距愈小，射頻的功率增加，為求較強且穩定的射頻感應功率，後續選擇射頻電極板間距在 10 cm 操作。

在射頻電極板間距 10 cm 下，分別進行 0.5 kg 米糠的升溫研究 (圖 4A)，其中以米糠的內部溫度高於表面溫度，熱風輔助射頻加熱前 1.5 min 的升溫速度較快，分別可達 90°C 和 70°C 以上，而後較持平，而且在加熱 2 min 時，表面溫度還會稍微降低。不過後續會進一步分析 1、1.5 和 2 kg 米糠在 100°C 熱風輔助 10 kW 射頻在 10 cm 電極板間距下進行加熱的溫度曲線 (圖 4B、圖 4C 和圖 4D)。則 1、1.5 和 2 kg 米糠只需加熱 1 min 均可使溫度接近 100°C，這可使米糠中的脂解酶失去活性，達到米糠安定化的效果，後續將此射頻加熱完成的米糠倒於大型塑膠收納盒中冷卻後，裝袋真空包裝封存。雖然 0.5 kg 米糠由於裝載量最少，整體的厚度也要小，但輸出射頻功率也較低，造成加熱 2 min 後內部溫度仍未能達到 100°C，以射頻處理 1 min 的 1、1.5 和 2 kg 米糠的表面溫度亦未達到 100°C，但內部溫度已接近 100°C，而射頻處理 1.5 min 的 1、1.5 和 2 kg 內部

溫度已超過 100°C，為考慮米糠的抑酶和溫度過高可能造成品質裂變，故在裝載量 1、1.5 和 2 kg 米糠只需射頻加熱 1 min，使內部米糠的溫度接近 100°C 即可，作為熱風輔助射頻加熱安定化米糠的操作條件。

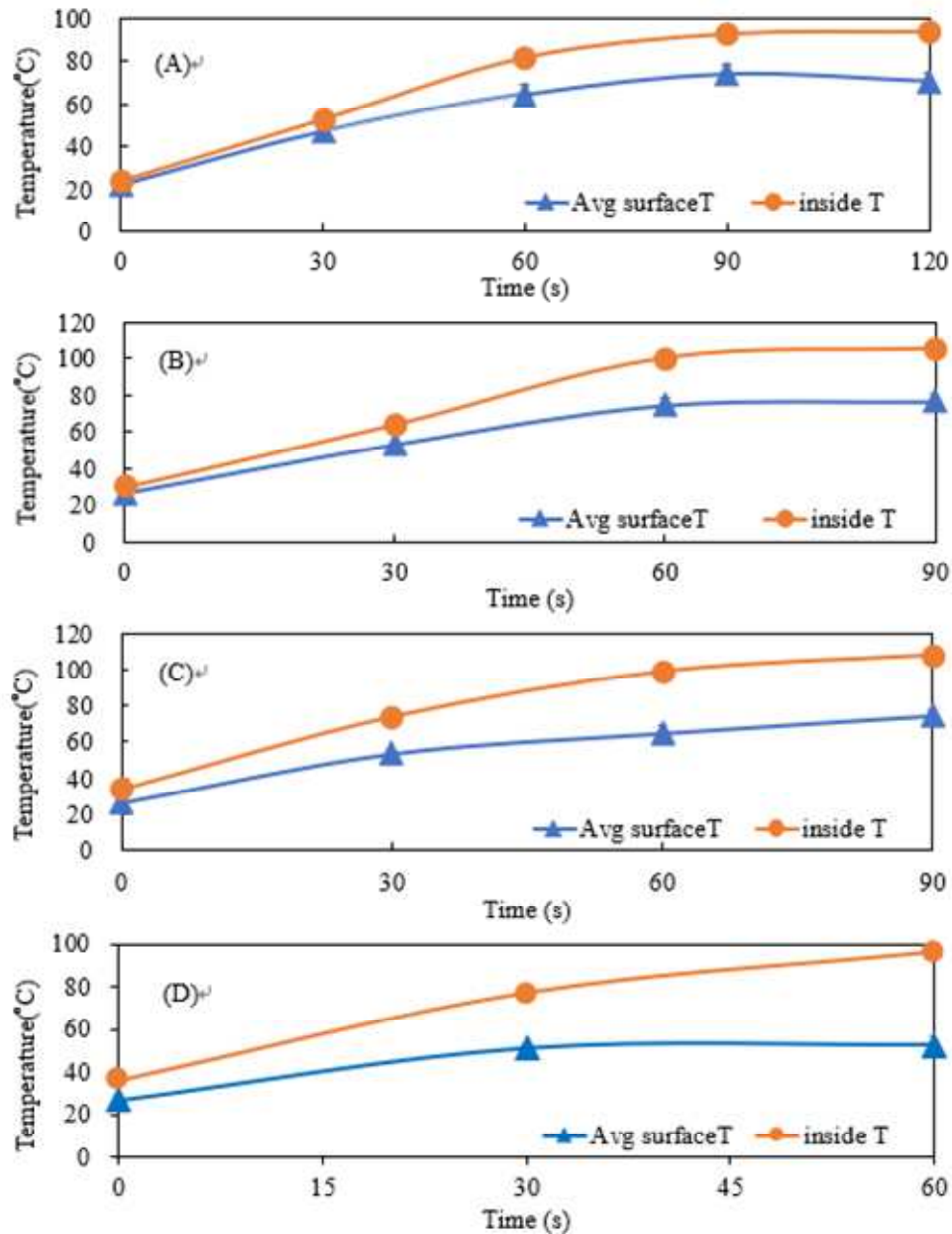


圖 4、在 10 cm 電極間距下，以熱風（100°C）輔助 10 kW 射頻加熱（A）0.5 kg、（B）1 kg、（C）1.5 kg 和（D）2 kg 米糠的表面和內在溫度變化。

Fig. 4. Temperature profile of (A) 0.5 kg、(B) 1 kg、(C) 1.5 kg and (D) 2 kg g rice bran during 100°C hot air assisted 10 kW RF heating at electrode gape of 10 cm.

Chen 等人 (2021) 曾利用 5 kW 射頻加熱 1 kg 米糠 2 min，使米糠達 100°C 的高溫，米糠中脂解酶的活性大幅降低後即可使脂解酶失去活性，然後分別在 4、25 和 37°C 下儲藏，並不會像未經射頻安定化處理的米糠大幅提高酸價和過氧化價。另外 Yu 等人 (2020) 亦採用射頻加熱米糠 5.3 min，溫度達到 92°C，可使米糠脂肪酶的相對降低，可以儲藏。

根據以上述參數將兩個 1 kg 米糠分別裝於 PP 塑膠盒中，在連續式 10 kW 40.68 MHz 射頻電極板 10 cm 下，並配合 100°C 熱風加熱 2 min，可使 1 kg 米糠內部的溫度達 100°C (表 2)，此可使米糠中的脂解酶失活，表示連續式輸送帶的速度控制在 65 cm/120s，即通過電極板的時間為 2 min，即可使 1 kg 米糠內部均勻加熱至 100°C 以上，使米糠中的脂解酶失活，達到米糠安定化的效果 (Chen *et al.*, 2021)，再將射頻加熱過的米糠倒入大型收納塑膠盒中冷卻，最後裝袋真空密封，此可於常溫儲藏，不易產生米糠內油脂氧化酸敗的情形，也有助於後續製備米糠油。

表 2、兩盒 1 kg 米糠在 10 cm 電極間距下，以熱風(100°C)輔助 10 kW 射頻加熱米糠的表面和內在溫度變化

Table 2. Surface and inside temperature of two boxes of 1 kg rice bran during 10 kW RF at gape of 10 cm with 100°C hot air heating

Box 1			
Time (min)	Surface temperature (°C)	Inside temperature (°C)	Weight (g)
0	21.0	22	1000
0.5	45.0	47	1000.5
1	61.0	83	994.3
1.5	67.7	97	981
2	68.0	103	962.5
Box 2			
Time (min)	Surface temperature (°C)	Inside temperature (°C)	Weight (g)
0	21.0	22	1000
0.5	41.3	47	997.5
1	50.0	72	992.5
1.5	59.0	90	980
2	62.3	99	960

熱風輔助射頻與連續式射頻皆可於短時間升溫至 100°C 以上，讓米糠達到安定化與米糠的水分含量會由 14% 降至約 4%，具有乾燥的效果，且以連續式射頻更有效率完成連續式產量化提升效率。以每盒 1 kg 米糠在 10 kW，40.68 MHz 連續式射頻烘烤（控制輸送帶速度 65 cm/120 s）可得穩定溫度和重量變化，輸送帶上的速度可讓物品在 2 min 內通過長度為 65 cm 射頻電極板，和批式射頻加熱的條件相同，出口米糠的內部溫度大於 100°C 即可達安定化的效果（表 3），由此可以確認此連續式射頻加熱米糠的製程。

表 3、每盒 1 kg 米糠為 100°C 熱風輔助 10 kW 連續射頻烘烤溫度變化（輸送速度為 65 cm/120s）

Table 3. Temperature change of 1 kg rice bran per box at 100°C hot air assisted 10 kW continuous radio frequency roasting (conveyor speed 65cm/120s)

Box number	Temperature sensor 1 (°C)	Temperature sensor 2 (°C)	Inside temperature (°C)
1	33.0	64.3	107.0
2	32.3	60.4	109.0
3	32.8	63.1	105.8
4	31.5	62.5	105.7
5	33.2	68.7	104.9
6	34.1	60.9	104.0
7	33.2	67.4	104.6
8	33.1	60.0	104.0
9	33.2	64.3	103.8
10	33.1	60.0	106.8

三、壓榨米糠油製程研究

在壓榨米糠油前，以牛皮紙包裹 0.5 kg 的已安定化的米糠，分別以 2 個米糠包放置於上述 PP 盒，共 2 盒置於在 10 kW 40.68 MHz 射頻電極板 10 cm 下，並配合 100°C 熱風只需加熱烘烤 2 min 可使米糠內部的溫度超過 100°C 以上，使可以使米糠的水分降低至 5% 以下，且可產生米糠的烘烤風味。

熱預處理可破壞米糠的組織和細胞壁，提高質傳和米糠油的提取率（Phan *et al.*, 2019），為配合後續的榨油作業，故先將米糠以 0.5 kg 包於牛皮紙中，以兩包放於 PP 盒中，將兩盒總重為 2 kg 的米糠以熱風輔助射頻烘烤加熱 2 min 至 120°C（圖 5），將可更順利壓榨出更多的米糠油。經過條件篩選以預熱時間與溫度進行條件選擇，首先將 2 kg 以四個米糠包（共約 2 kg）米糠通過射頻烘烤至約 110°C 110 s 再放於壓榨機中，設定

榨油桶腔體溫度為 110°C 及每階段施力為 200、300、400 和 500 kg 處理各 5 min，共計獲得 288 g 的米糠油，榨油率達 14.5% 比腔體溫度為 120°C 高（表 4），每階段出油率約佔 70.1%、15.6%、8.3% 和 5.9%，使用射頻可快速加熱米糠，不只使脂解酶失活，提高米糠的儲藏安定性外，亦可提高壓榨米糠的萃油率。

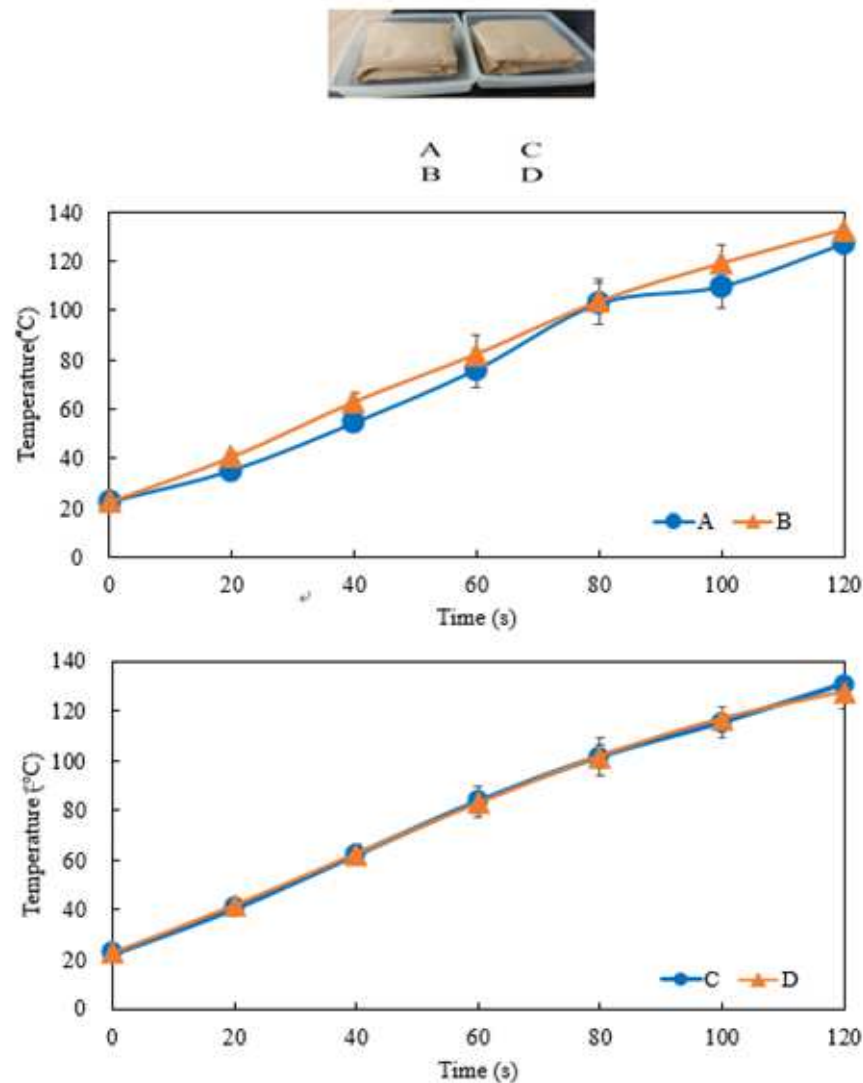


圖 5、100°C 熱風 10 kW 射頻（電極板間距在 10 cm 下）烘烤 2 盒 1 kg 米糠的溫度曲線。
Fig. 5. Temperature profiles of 2 boxes of 1 kg rice bran under 100°C hot air assisted 10 kW RF heating at 10 cm gap.

比較米糠油經由不同萃油方法所造成的萃取率，若米糠油以正己烷溶劑萃取的萃取率作為 100%，壓榨只達 85%，超音波萃取的米糠油萃取率可達 86~95%，此會隨著功率增加和萃取時間增長而增加，不過米糠若先預熱蒸煮，再行冷壓榨取會提升萃取率達 98%（Pha *et al.*, 2019）。

表 5 分別為未經射頻加熱的米糠、經射頻加熱 1 min 抑酶的米糠及再繼續進行射頻烘烤約 2 min 的米糠，則米糠經過過射頻安定化和繼續進行射頻烘烤的溫度分別提升至約 100°C 和 120°C，使得濕基水分含量由最初的 10.99%，分別大幅降低至 5.03% 和 3.42%。但由於加熱時間短，米糠在明亮度（L*）約為 54.10~54.48，變化並不明顯（P>0.05），但米糠在紅色度（a*）和黃色度（b*）會由於射頻抑酶和烘烤的加熱的溫度已達 100°C 和 120°C，而造成顯著由未加熱處理米糠的 a* 值由 4.73 增至 5.48，b* 值由 21.91 增至 25.13。

表 4、熱風輔助射頻烘烤 2 kg 米糠的溫度變化及對榨油率的影響

Table 4. Effect of the temperature change on the oil extraction ratio of the preheated 2 kg rice bran by hot air assisted radio frequency roasting

RF preheating (s)	100		110		120	
120°C Barrel	Oil	Yield	Oil	Yield	Oil	Yield
(kg)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
200	134	53.6	168	60.4	170	63.0
300	59	23.6	55	19.8	45	16.7
400	35	14.0	31	11.2	30	11.1
500	22	8.8	24	8.6	25	9.3
Total weight (g)	250		278		270	
110°C Barrel	Oil	Yield	Oil	Yield	Oil	Yield
(kg)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
200	197	68.9	202	70.1	190	64.2
300	45	15.7	45	15.6	51	17.2
400	24	8.4	24	8.3	30	10.1
500	20	7.0	17	5.9	25	8.4
Total weight (g)	286		288		296	

表 6 為米糠油於玻璃瓶中在室溫儲藏下的顏色變化，在儲藏 2 個月時，米糠油的顏色已發生顯著變化，L* 由 14.43 降至 13.78，a* 由 2.91 降至 2.16，b* 由 17.36 降至 16.74，米糠油在沒有任何特別的閉光儲藏至 12 個月，顏色更大幅變化，米糠油的 L*、a* 和 b* 分別更降低至 5.68、-1.56 和 3.18。為避免米糠油的顏色在儲藏間大幅變化，未來可採

用棕色玻璃瓶裝填，較能達到避光的效果，希望能夠避免米糠油的顏色大幅變化，且需分析米糠油的氧化指標。

表 5、不同射頻階段米糠的水分與顏色

Table 5. Moisture and color of rice bran at different radio frequency stages

Sample	Moisture (%)	L*	a*	b*	Picture
non RF	10.99 ± 0.08 ^a	54.58 ± 0.63	4.73 ± 0.13 ^c	21.91 ± 0.36 ^c	
RF blanching	5.03 ± 0.15 ^b	54.15 ± 0.77	5.08 ± 0.11 ^b	23.94 ± 0.36 ^b	
RF roasting	3.42 ± 0.25 ^c	54.40 ± 0.57	5.48 ± 0.25 ^a	25.13 ± 0.44 ^a	

Moisture and color data are expressed as means ± S. D., n=3 and n=6, respectively. Means with different superscript letters in the same column are significantly different (p<0.05).

表 6、米糠油不同儲存時間的顏色變化

Table 6. Color difference of rice bran oil with different storage time

Storage (month)	L*	a*	b*
0	14.43 ± 0.01 ^{ab}	2.91 ± 0.38 ^a	17.38 ± 0.20 ^{ab}
2	13.78 ± 0.68 ^b	2.16 ± 0.10 ^b	16.74 ± 0.80 ^b
12	5.68 ± 0.50 ^c	-1.56 ± 0.17 ^c	3.18 ± 0.31 ^c

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

Means with different superscript letters in the same column are significantly different (p<0.05).

肆、結論

增加米糠裝載量及降低射頻電極板間距皆會增加射頻輸出功率及增加升溫速率，米糠利用 100°C 熱風輔助 10 kW 40.68 MHz 射頻在電極板 10 cm 下操作，可以在 2 min 內，將 1 kg 裝米糠連續通過 65 cm 射頻電極板，出口米糠的內部溫度皆可大於 100°C，可達到米糠安定化的效果。另外在壓榨米糠油前，將 0.5 kg 的已安定化的米糠包於牛皮紙中共 2 kg 包，則射頻烘烤約 2 min，會使米糠內部溫度超過 120°C，造成水分含量降低至 5% 以下，且產生烘烤的香氣，再進行 110°C 榨油約 20 min 後，可得到 288g 米糠油，榨

油率為 14.5%，而若採取傳統炒焙米糠則需 120 min，故米糠壓榨製程中，配合連續式射頻加熱達到抑酶的效果和射頻烘烤以快速升溫，可大幅縮短榨米糠油操作時間，達到節能減碳的效果。

誌 謝

感謝民豐有機農場提供台中秣 10 號有機米糠及宜蘭區農產加值中心提供的連續式熱風輔助射頻加熱設備。

參考文獻

- 李穎宏。陳正敏。林怡如。2013。米糠營養及加工利用。農業部高雄區農業專訊 84：6-8。
- 郭鴻裕。劉滄琴。江志峰。2010。作物（水稻）吸收土壤重金屬鎘機制與農產品安全之影響。農業試驗所技術服務 83：12-14。
- 連庭玉。2021。批式和連續式射頻加熱對烘烤杏仁製程和品質之研究。國立宜蘭大學，食品科學系碩士論文。宜蘭。台灣。
- Chen, Y. H., Y. F. Yen, and, S. D. Chen. 2021. Effects of radio frequency heating on the stability and antioxidant properties of rice bran. *Foods* 10: 810.
- Garba, U., R. Singanusong, S. Jiamyangyuen, and T. Thongsook. 2017. Extraction and utilization of rice bran oil: A review. *Safety* 17: 24.
- Liao, M., W. Damayanti, Y. Xu, Y. Zhao, X. Xu, Y. Zheng, and S. Jiao. 2020. Hot air-assisted radio frequency heating for stabilization of rice bran: Enzyme activity, phenolic content, antioxidant activity and microstructure. *LWT* 131: 109754.
- Ling, B., J. G. Lyng, and S. Wang. 2018. Effects of hot air-assisted radio frequency heating on enzyme inactivation, lipid stability and product quality of rice bran. *LWT* 91: 453-459.
- Ling, B., S. Ouyang, and S. Wang, 2019. Effect of radio frequency treatment on functional, structural and thermal behaviors of protein isolates in rice bran. *Food Chem.* 289: 537-544.
- Marra, F., L. Zhang, and J. G. Lyng. 2009. Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances. *J. Food Eng.* 91: 497-508.
- Phan, V. M., T. Junyusen, P. Liplap, and P. Junyusen. 2019. Effects of ultrasonication and thermal cooking pretreatments on the extractability and quality of cold press extracted rice bran oil. *J. Food Process Eng.* 42: e12975.

- Punia, S., M. Kumar, A. K. Siroha, and S. S. Purewal. 2021. Rice bran oil: Emerging trends in extraction, health benefit, and its industrial application. *Rice Sci.* 28: 217-232.
- Soares, J. F., V. D. Prá, F. M. Barrales, P. D. Santos, R. C. Kuhn, C. A. Rezende, J. Martinez, and M. A. Mazutti. 2018. Extraction of rice bran oil using supercritical CO₂ combined with ultrasound. *Brazilian J. Chem. Eng.* 35: 785-794.
- Sookwong, P., and S. Mahatheeranont. 2017. Supercritical CO₂ extraction of rice bran oil—the technology, manufacture, and applications. *J. Oleo Sci.* 66: 557-564.
- Velasquez, M. M., and C. B. Villarino. 2020. Comparison of microwave vacuum drying with traditional rice bran stabilization methods: Impact on extracted oil quality. *Proceedings* 70: 35.
- Yu, D. Y., K. Y. Hao, J. Cheng, K. R. Chen, L. Z. Jiang, L. Q. Wang, and Z. Zhang, 2020. Radio frequency improves the stability and quality of rice bran. *Food Sci.* 41(20): 20-26.

112年 12月 10日 投稿

113年 4月 7日 接受

