

射頻巴氏殺菌法國天椒之研究

張政慧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

葉家香公司引進法國天椒在宜蘭南澳種植，然而日曬乾燥的過程容易受到污染，且水分含量較高，易造成儲藏時產生蟲害和黴菌汙染等問題，故本研究利用 5 kW 射頻快速加熱進行法國天椒的辣椒粉殺菌，以提高食品安全性和延長貨架期。實驗結果顯示，射頻輸出功率和辣椒粉的包裝重量、射頻電板的間距及時間皆有關，1 kg 的辣椒粉在射頻電極板間距為 8 cm 下只需加熱 3 min 即可快速使樣品的平均溫度達到 100°C，具有殺菌的效果，可大幅降低總生菌數，有利於保存。且辣椒粉的水分亦會蒸發，使得水分含量減少和降低水活性，讓貨架期更長，在色差值 ΔE^* 方面則增加，使色相方面偏暗紅。由於射頻加熱法國天椒的溫度高於 100°C，具有殺蟲和殺菌的效果，可以延長其貨架期。

關鍵詞：辣椒粉、法國天椒、射頻、殺菌

*通訊作者。E-mail: sdchen@niu.edu.tw

Study on Radio Frequency Pasteurization of De Espelette

Cheng-Hui Chang¹, Su-Der Chen^{1, 2*}

¹Master Program, College of Bioresources, National Ilan University

²Department of Food Science, National Ilan University

Abstract

Ya Jia Xiang pepper industry cultivated and harvested De Espelette in Nanao Yilan. However, sun drying pepper is easy contaminated and has higher moisture content, which may cause pests and mold growth during storage. The objective of this study was to study the efficiency of 5 kW radio frequency (RF) heating dried De Espelette powder for disinfestation and pasteurization to have higher food safety and extend shelf life. The result showed that RF power was related to the loading of the red pepper, the gap of RF electrode plates and the heating time. One kilogram of red pepper powder could be quickly reached 100°C of the pasteurization temperature at RF gap of 8 cm for only heating 3 min and there was very low detection of total bacteria count. The RF red pepper could also reduce water content and water activity to have longer shelf life for storage; however, color difference (ΔE^*) increased and the hue had darker red. Because temperature of De Espelette powder by radio frequency heating was higher than 100°C to reach both effects of distension and pasteurization, and to extend shelf life.

Keywords: red pepper powder, De Espelette, radio frequency (RF), pasteurization

*Corresponding author. sdchen@niu.edu.tw

壹、前言

射頻 (radio frequency) 是一種電磁波，它的波長比可見光和微波波長來的長，頻率在 1-300 MHz 技術，因具有加熱迅速、均勻、穿透力強等優點，故可運用於穀類、豆類、堅果和蔬果的殺蟲方法，並被認為是安全和具有競爭力 (Wang *et al.*, 2007); 陳等 (2016) 的射頻殺蟲研究便指出：在射頻電極板間距 5.5 cm 下處理 2 kg 真空包裝糙米 70 秒可達到 60°C 以上，穀蠹的死亡率達 100%；且在 37°C 下 60 天儲存期間沒有發生蟲卵孵化；此外經過射頻處理過後的糙米和未處理的控制組兩者在水分含量、蛋白質含量、直鏈澱粉含量、脂肪酸含量及食味值分數等方面，均無顯著差異。李等 (2015) 則是利用射頻進行 4.5 kg 米穀粉的殺蟲實驗，發現只要需 120 s 可以達到 100% 的米象蟲死滅。

針對害蟲和微生物的水分含量會較低水活性食品的水分含量為高，因為害蟲和微生物的介電損失因子較高，故以射頻加熱時，成蟲或蟲卵升溫至 60°C 的速率較低水活性食品快，而達到殺蟲的效果；同樣的情形，若以射頻加熱沙門氏菌和金黃色葡萄球菌等微生物，當溫度高達 75~85°C 即可達到巴氏殺菌的效果，但食品的溫度卻低於病原菌的溫度，故利用射頻殺蟲和殺菌，不僅加熱速度快且均勻，較可保有食品的品質 (Jian *et al.*, 2019)。

探討射頻對低水活性麵粉的殺菌效果，首先將麵粉調濕成不同的水活性 0.25、0.45 和 0.65 後，再以 0.5 kW，27 MHz 射頻直接加熱 8.5、9 和 9 min，即可升溫至 75°C 以上，不需持滯保留時間，則在低水活性下，可減少約 5 log 的菌數，在 0.45 和 0.65 的水活性下則完全可達到殺菌效果 (Villa-Rojas *et al.*, 2017)。所以針對一般熱殺菌，低水活性的乾燥粉末遠較高水活性食品難殺死致病菌，但射頻加熱仍可以殺死致病菌 (Jiao *et al.*, 2018)。依 Ozturk 等 (2016; 2018) 的研究指出，射頻加熱可應用於紅辣椒、花椰菜、馬鈴薯和洋蔥等各種蔬菜和香辛料粉末的殺蟲或殺菌中，此外亦發現紅辣椒的介電常數和介電損失因子皆最高，所以非常適合來進行射頻加熱。利用射頻加熱 40-70 s，溫度達到 90°C 時已可以減 5 log 以上的沙門氏桿菌和大腸桿菌 (Zhang *et al.*, 2020)。此外，針對辣椒的射頻殺蟲研究，發現其對辣椒含有的辣椒素、二氫辣椒素和辣椒素類總量幾乎

沒有影響（胡等，2017）。

由於辣椒產季短，採收後為方便儲藏和運送，農民往往將它日曬成辣椒乾或製成辣椒粉，而貯藏的辣椒乾容易受到煙草甲蟲（*Lasioderma serricorne*）和藥蟲甲蟲（*Drugstore beetle*）的感染滋生，進而破壞品質（*Gunasekaran et al.*, 2003）。另外辣椒粉的指標性細菌則是沙門氏桿菌、大腸桿菌和沙門氏鼠傷寒菌（*Kim et al.*, 2012）。在美國就曾發生民眾食用香辛料後，因為沙門氏桿菌感染而死亡，因此許多國家都把黴菌、沙門氏桿菌及大腸桿菌作為香辛料進口的檢驗指標（*McKee*, 1995），故許多業者會將辣椒粉加上防腐劑以避免細菌的發生。另外，黴菌也是辣椒存放時常滋生的微生物，台灣衛生福利部的法規「食品中污染物及毒素的衛生標準」已明訂，進口辣椒，驗出的黃麴毒素標準需在 10 ppm 以下（陳等，2010）。

Erdogan（2004）曾在土耳其市場針對 44 種的紅辣椒，26 種的辣椒粉和 20 種的燻辣椒進行採驗，結果發現有只有 4 種的辣椒沒有黴菌，其餘都有一到二種以上的黴菌污染。除了黴菌，沙門氏桿菌也是常見在辣椒中的致病菌，1993 年德國就爆發因為紅辣椒粉遭沙門氏桿菌感染的薯片，美國更在 2009 和 2010 發生兩次辛香料有沙門氏桿菌而死亡的案件，2010 歐洲食品安全局，將沙門氏菌列為重要食源性病菌，許多國家更在食品進口當中有已限制不得驗出（*Hu et al.*, 2018）。針對紅辣椒的滅菌方法，包括中國、韓國和美國等都曾有用微波、遠紅外線幅照、紫外線加熱和射頻等方法進行殺菌的報告（*Ha and Kang*, 2013；*Zhang et al.*, 2019）。

法國天椒（*De Espelette*）的原產地是在法國，此是法國南部巴斯克的一個鄉鎮地名，其出產的辣椒粉是世界最知名的香辛料之一，目前由葉家香企業引進於南澳種植，法國天椒具有辣椒的風味和顏色，但它並不辣，可以應用於糕點作為添加物，但儲藏期間有蟲害和微生物問題較難保藏，故本研究使用射頻快速加熱進行法國天椒的辣椒粉巴氏殺菌，在射頻最適功率下，快速地升溫，達到辣椒殺蟲和殺菌之效果，以提高食品安全性和延長貨架期。

貳、材料與方法

一、材料

法國天椒粉 (De Espelette) 由葉家香食品有限公司提供。3MTM Petrifilm™ 總生菌數快檢片 (3M company, 明尼蘇達礦業製造股份有限公司, 美國)。

二、設備

射頻熱風設備 (功率為 5 kW, 頻率為 40.68 MHz, 益大生物科技股份有限公司, 台灣)、烘箱 (Channel DCM-45, 台灣)、多功能紅外線溫度計 (Testo104-IR, 德斯特儀器有限公司, 台灣)、紅外線熱像儀 (TIM-03, 海基國際企業股份有限公司, 台灣)、恆溫培養箱 (LM-600R, 裕德科技有限公司, 台灣)、色差儀 (Hunter L.A.B, Color Flex, 美國)、水活性測定儀 (HC2-AW, Rotronic Instruments Ltd, 瑞士)、電子精秤 (HDW-15L, 衡新技量科技有限公司, 台灣)、鐵胃均質機 (BagMixer 400 P, Interscience, Monaco, France)、無菌操作台 (4HT-24, 台灣)。

三、射頻加熱殺菌法國天椒粉

將 0.5 和 1 kg 法國天椒粉裝入長、寬、高分別為 30、6 和 20 cm 的聚丙烯 (PP) 塑膠盒容器中, 進行射頻加熱, 射頻設備是使用功率為 5 kW 射頻波段為 40.68 MHz 的射頻設備 (圖 1), 並需要配合 100°C 熱風設備, 調整電極板間距分別為 8、9、10、11、12、13、14 和 15 cm, 由電磁場中會感應電流 (安培數, A), 再由公式: 功率 (kW) = $A \times (5/1.6)$, 以換算功率。再決定在電極板間距為 8 cm 下分別進行 0、30、60、90、120、150 和 180 s 的射頻加熱時間, 並以紅外線溫度計測三點的表面靠近兩側和中心溫度和以紅外線熱顯儀進行最終加熱樣品的整體溫度測量。



圖 1. 將 1 kg 的法國天椒粉進行射頻加熱。

Fig. 1. Radio frequency (5 kW, 40.68 MHz) heating 1 kg De Espelette powder.

四、試驗方法

(一) 水分含量

精稱 5 g 樣品裝於鋁皿中，並放入 105°C 烘箱乾燥 12 小時，達恆定後取出秤重，每組處理做三重複，再以下方公式計算水分含量 (moisture content, MC (%))。水分含量 (%) = $(W_i - W_f) / W_i * 100\%$ ，其中 W_i 是樣品初重， W_f 是乾燥完成樣品重量。

(二) 水活性

以水活性測定儀測定其水活性 (water activity, A_w)，將磨樣品裝入測試器中，在 25°C 下測量每次 10 min，並記錄數據，每組處理均做三重複。

(三) 總生菌測試

採用 3M 總生菌數試紙，進行總生菌測試。以 1 kg 的法國天椒粉在電極板間距為 8 至 12 cm 下，分別進行 60、120、150 及 180 s 的射頻處理，取 10 g 樣品加入 90 mL 無菌水一同放入鐵胃均質袋，以鐵胃均質機均質 1 min，(1) 取其上清液 1 mL 放入 9 mL 無菌水，並重複步驟 (1)，至需要之稀釋倍數，然後取 1 mL 接種至總生菌數專用 3M 快檢片上，在 37°C 培養箱中培養 48 小時後，觀察菌數生長情形，並進行總生菌數計算。

(四) 顏色測試

取 10 g 法國天椒粉進行色差儀分析，3 次重覆取平均值，測試前必須進行校正， L^* 值為明亮度，100 最亮，0 度最暗， a^* 為紅色度，數值愈大愈紅，0 為灰，數值愈小愈偏綠，負值為綠， b^* 為黃色度，數值愈大愈黃，0 為灰，數值愈小愈偏藍，負值為藍，色差值 ΔE^* 愈大，表示二者的色差愈大。 ΔE^* 的公式如下：

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

其中 1 為未經射頻加熱的法國天椒粉，2 為不同射頻加熱的法國天椒粉。

(五) 嗜好性感官品評

將射頻加熱前後的法國天椒粉，藉由 60 人組進行消費者接受度的感官進行品評，並對於射頻辣椒之外觀、香氣、味道、組織口感、餘後感及整體表現等項目來進行評分，所有樣品都給予三位數編號並隨機服用，採用七分制嗜好性品評方式，1 分表示非常不

喜歡，4 分表示沒有喜歡也沒有不喜歡，7 分表示非常喜歡。

五、統計分析

本研究實驗結果以平均值 \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有限公司) 20.0 版統計套裝軟體進行成對樣本的 t 檢定及單因子變異數分析，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。

參、結果與討論

一、射頻加熱法國天椒粉

將法國天椒粉分別裝載量在 0.5 和 1 kg 下放進 PP 包裝盒後進行射頻加熱，調整射頻電極板間距從 8-15 cm，進行電流量測，再計算功率 (圖 2)，法國天椒重量 1 kg 較 0.5 kg 的射頻輸出功率大，且隨著電極板間距愈小，射頻輸出功率漸大，由於法國天椒粉的水分含量較少為 15.66%，水活性為 0.545 (表 1)，所以其所感應的功率並不高，其中在射頻電極板間距 8 cm 下，處理 0.5 和 1 kg 的法國天椒粉的功率分別為 0.248 和 0.475 kW。

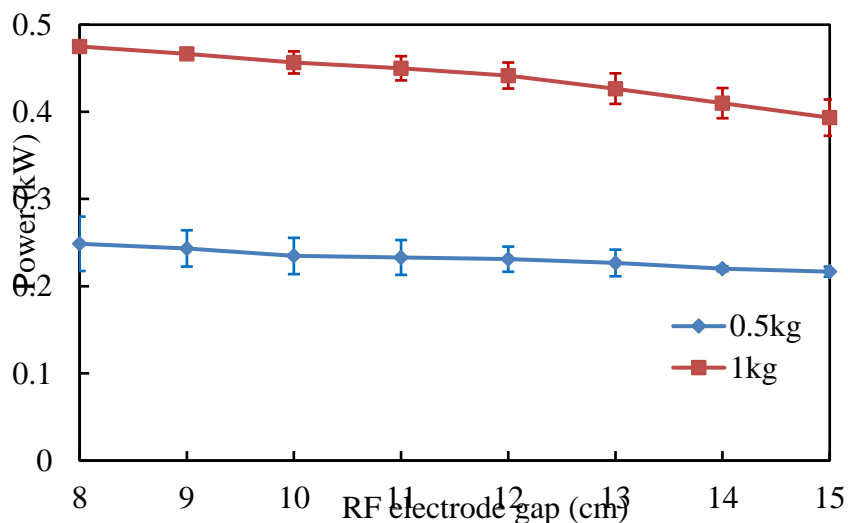


圖 2. 不同重量的法國天椒粉在不同射頻電極板間距下的功率影響。

Fig. 2. Effect of De Esplette powder loading and RF gap on power of RF heating.

表 1. 射頻加熱（電極板間距為 8 cm 下）對法國天椒粉的品質之影響

Table 1. Effects of radio frequency heating time at 8 cm electrode gap on quality of De Esplette powder

RF time (sec)	Temperature (°C)	Moisture (%)	Aw	Log CFU/g
0	19.7 ± 1.2	15.66 ± 0.11	0.545 ± 0.002	3.85 ± 2.90
60	68.7 ± 0.6	14.64 ± 0.35	0.538 ± 0.002	3.67 ± 2.67
120	88.7 ± 1.5	13.91 ± 0.35	0.484 ± 0.003	3.50 ± 2.79
150	103.3 ± 5.1	12.92 ± 0.28	0.459 ± 0.001	3.01 ± 1.76
180	108.3 ± 2.3	10.57 ± 0.30	0.425 ± 0.003	1.82 ± 1.76

Wang 等（2007）研究指出在以射頻進行核桃的殺蟲時，電流功率會隨著電極板間距而有所改變，在相同的處理厚度下，電極板的間距愈小，功率愈大。由李等（2015）對米穀粉進行射頻處理的結果得知，射頻功率隨著裝載物的重量增加而變大，兩者呈正相關，也就是射頻和微波不同，射頻的穿透深度因為頻率較小反而較深，故射頻較微波能穿透樣品，具有更好的殺蟲和殺菌力。

法國天椒粉在射頻電極間距 8 cm 下，以 1 kg 的功率大於 0.5 kg，故後續以 1 kg 法國天椒粉進行射頻處理的升溫測試（圖 3），時間從 0 至 180 s，溫度持續上升，在 2 min 後可達到 60°C 的殺蟲溫度，在 150 s 後，表面溫度已達 103°C，具有殺菌效果，將溫度作一個時間的函數，其線性迴歸方程式，可得到 $y=0.5178x+28.905$ ，($R^2=0.953$)，其中 x 為時間 (s)， y 為溫度 (°C)，所以升溫速度約為 0.5178°C/s，(即 31°C/min)，但若再繼續加熱至 180 s，則升溫速度漸緩，此可能因為水分蒸發，最後表面溫度達到 108°C。

Zhang 等（2020）研究辣椒的殺菌溫度，隨著射頻加熱時間愈長，溫度愈高，而且在電極板間距愈小下，溫度愈快升高，故本研究設定射頻電極板在最小的 8 cm 下進行射頻加熱，是最快達到加熱時間與所需的溫度，也就射頻加熱時間與溫度成正比，與電極間距成反比。胡等（2017）研究以 12 kW, 27.12 MHz 射頻處理不同三種不同水活性（0.4、0.54 和 0.7）即水分含量約為 7%、12.5%和 20.9%的辣椒升溫至 70°C 的時間，結果在水活性為 0.4 下需要 28 min，但水活性在 0.54 和 0.71 下約 4.2 min。而本次的法國天椒粉之初始水分含量為 15.66%，水活性在 0.545 在 5 kW，40.68 MHz 的射頻設備下

加熱速度更快只需 1 min 的表面溫度已接近 70°C，一般內部溫度會高於表面溫度，故未來可考慮繼續保溫 5 min 亦可達到巴氏殺菌效果，否則此次繼續加熱至 3 min 法國天椒粉的溫度持續上升超過 100°C。

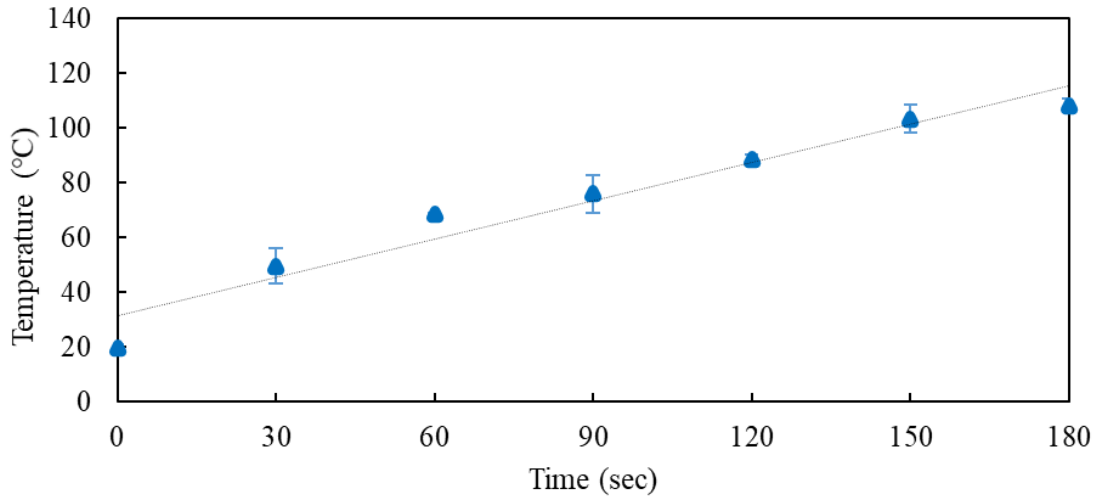


圖 3. 1 kg 的法國天椒粉在 8 cm 間距下進行射頻加熱的升溫的情形。

Fig. 3. The temperature profile of 1 kg De Esplette powder during RF heating at 8 cm electrode gap.

為了確定達到射頻法國天椒粉加熱後有沒有冷點，以紅外線熱顯儀對射頻加熱 180 s 後的法國天椒粉立即整體表面量測，發現最高溫度為 111°C，平均溫度已達 92°C 以上，並沒有特別低溫的大面積冷點存在（圖 4），這顯示射頻加熱溫度分布算是相當均勻，儘管隨著包裝容器和處理密度有關。根據 Ozturk 等（2018）研究，辣椒是所有辛香料射頻加熱最均勻的，這和紅外線熱顯儀顯示辣椒射頻處理的溫度相符合的。

隨後再將法國天椒粉進行水分測試，得到當射頻加熱時間愈長，水分含量變的愈來愈少（圖 5），故在高溫殺菌的過程可以同時進行乾燥，當射頻加熱 150 s 法國天椒粉的濕基水分含量已由 15.66% 降至 12.92%，以乾基水分含量為時間的函數，其線性方程式為 $y=0.0144x+0.1873$ ，($R^2=0.971$)，其中的 x 為時間 (min)， y 為乾基水分含量 (g 水/g 乾物)，故乾燥速率為 0.0144 g 水/g 乾物 min，若繼續射頻加熱至 180 s，因為溫度高於 100°C，會造成水分快速蒸散而使水分含量已降至 10.574%。

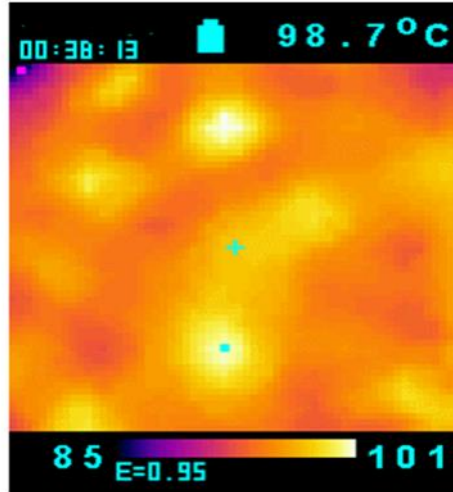


圖 4. 射頻（在電極板為 8 cm 下）加熱 3 min 的法國天椒粉的熱顯圖。

Fig. 4. Thermal image of De Esplette powder after RF heating 3 min at 8 cm electrode gap.

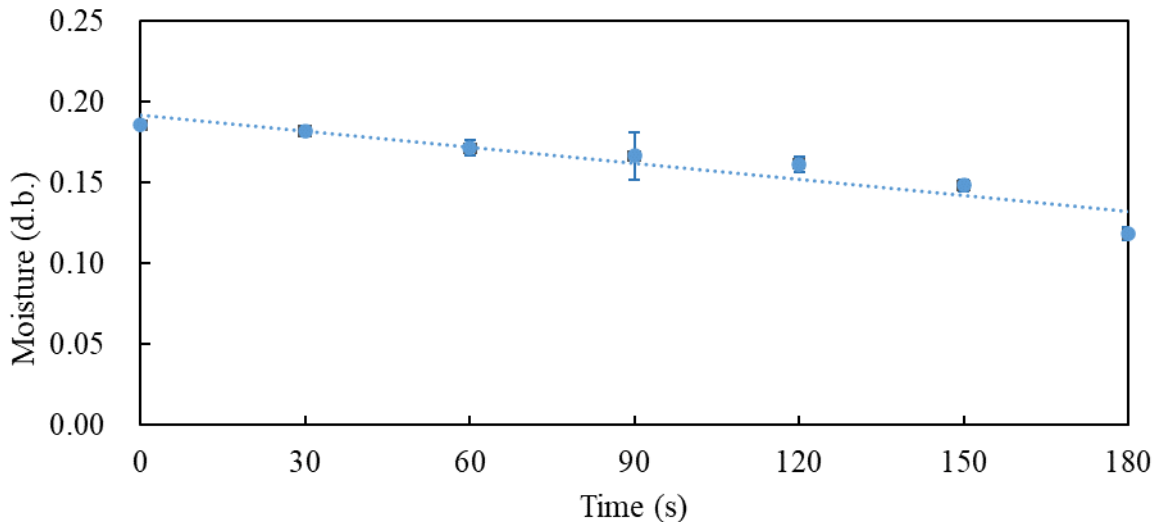


圖 5. 射頻加熱（在電極板間距為 8 cm 下），法國天椒粉之乾基水分含量變化。

Fig. 5. Moisture content (dry basis) change of De Esplette powder during RF heating at 8 cm electrode gap.

二、射頻加熱法國天椒粉的品質

由圖 5 和表 1 的結果顯示，隨著射頻加熱時間增加，法國天椒粉的水分含量漸減，且因為水分蒸散也同樣會造成進行水活性漸減（表 1），當射頻加熱 150 s 法國天椒粉的水活性由原先的 0.545 降至 0.459，加熱至 180 s，水活性降為 0.425，此有利於後續保藏。Choi 等（2018）亦提出由於射頻加熱殺菌辣椒中 *Escherichia coli* O157:H7 和 *Staphylococcus aureus*，則辣椒的水分含量和水活性都會伴隨著乾燥而降低，此可以避免

環氧乙烷燻蒸，且若結合射頻加熱和非熱的電漿處理會有更好的殺菌效果。

射頻快速加熱會使地處潮溼的宜蘭葉家香的法國天椒粉的水分含量和水活性皆降低，更不容易滋生黴菌，加上加熱過程溫度已達 100°C ，達到巴氏殺菌效果，更能延長保存期，故射頻加熱比防腐劑更安全，容易讓業者及消費者接受。表 1 為使用 3M 試紙進行總生菌數的實驗結果，總生菌數會隨著射頻加熱時間愈長，菌數有明顯的降低，射頻加熱 150 s 後法國天椒粉的總生菌數已由原先的 7300，即 $3.85 \log(\text{CFU/g})$ 降為 1033，即 $3.01 \log(\text{CFU/g})$ ，殺菌效果已達 85.8%，若射頻繼續加熱則法國天椒粉總生菌數更降至 67，即 $1.82 \log(\text{CFU/g})$ ，雖然沒有全部滅菌，但殺菌效果已達到 99%。故低水分含量的 1 kg 法國天椒粉，可隨著射頻處理時間愈長，溫度愈高，水分亦稍許降低，只需 3 min 即已達到九成的滅菌效果。


Hu 等 (2018) 研究指出利用射頻處理紅辣椒，以進行沙門氏菌 (*Salmonella*) 和大腸桿菌 (*Escherichia coli*) 指標致病菌的加熱殺菌處理，在不同水活性 (0.57-0.71) 下，射頻加熱速率會隨著水活性增加而增加，在水活性 0.57 時，射頻處理 360 s 時紅辣椒的溫度達到 90°C ，可降低 $3.25 \log(\text{CFU/g})$ 的沙門氏菌。另外，針對粒徑不同的紅辣椒乾進行射頻 40 s 後，溫度會上升到 57 至 79.7°C 之間，可以減少 $3.38 \log(\text{CFU/g})$ 的沙門氏菌和 $3.50 \log(\text{CFU/g})$ 的大腸桿菌 (Kim *et al.*, 2012)。將水活性 0.54 的紅辣椒進行射頻處理 300 s，溫度會升至 90°C ，且其辣椒素、二氫辣椒素和辣椒素類物質總含量都不會改變，並不會影響辣度等關鍵品質，還能殺死致命的沙門氏菌 (胡等 2017)。故推測法國天椒粉使用射頻殺菌，快速升溫能有效的減少總生菌數，也能死滅食源性病菌，不致於影響品質。

表 2 為利用色差儀測量法國天椒粉在射頻殺菌過程中的 L^* 、 a^* 、 b^* 值，並計算 ΔE^* 值。結果發現，隨著射頻處理時間愈長，溫度升高，顏色略有變化， L^* 值，也就是明亮度的變化方面，隨著溫度的變化， L^* 值並沒有出現顯著差異， a^* 值，也就是紅色值，隨著溫度而變化， a^* 值變小，從 90 s 後開始起變化，120 s 到 180 s 後，已經和未經過射頻加熱的法國天椒粉有顯著的變化，至於 b^* 值也就是黃色值，一樣隨著時間和溫度的變化， b^* 值漸漸減少，到 90 s 開始變化，150 s 到 180 s 的 b^* 值和未處理的法國天椒粉有

明顯的差異，整體的 ΔE^* 值顯示，色差隨著射頻時間愈長，顏色也會跟著產生變化。

表 2. 射頻加熱（電極板間距為 8 cm 下）對法國天椒粉的顏色之影響

Table 2. Effects of radio frequency heating time at 8 cm electrode gap on the color of De Esplette powder

RF (min)	0	30	60	90	120	150	180
L*	25.19 ± 0.37 ^a	25.10 ± 0.27 ^a	25.58 ± 0.43 ^a	25.25 ± 0.36 ^a	25.11 ± 0.35 ^a	25.26 ± 0.17 ^a	25.56 ± 0.76 ^a
a*	25.75 ± 0.94 ^a	25.35 ± 0.66 ^a	24.88 ± 0.67 ^a	24.6 ± 0.28 ^{ab}	24.50 ± 0.81 ^b	24.03 ± 0.63 ^b	23.29 ± 1.16 ^b
b*	19.31 ± 1.03 ^a	18.72 ± 0.99 ^a	18.26 ± 0.98 ^a	17.97 ± 0.26 ^a	18.97 ± 0.73 ^a	18.85 ± 0.42 ^{ab}	17.77 ± 1.21 ^b
ΔE^*		0.79	1.41	1.76	1.30	1.79	2.92
Picture							

Data were express as mean ± S.D. (N=12).

Means with different superscript letter within each row were significantly different ($p < 0.05$).

Vega-Gálvez (2009) 將辣椒加熱從 50°C 至 90°C，L* a *b* 值並無顯著不同，因為射頻加熱時間短，溫度尚低時，不會造成辣椒顏色顯著變化。這和本次的實驗法國天椒 (De Esplette) 當射頻加熱到 90°C 前，也沒有顯著顏色差異存在，一直到 180 s 後，樣品的溫度超過 100°C 具有殺菌效果時，外觀顏色才會顯著改變，此可以作為業者射頻加工的溫度參考。另外辣椒在加熱後，除在顏色上會進行改變，同時包括辣椒含有的維生素 C，抗氧化等成分也都會隨著溫度不同而產生變化 (Vega-Gálvez *et al.*, 2009)。

若將法國天椒 (De Esplette) 作為食品調味與調色使用，原料原形並不重要，但由於射頻處理時的粒徑大小和加熱速度有關 (Kim *et al.*, 2012)，故如欲加速殺菌，可將法國天椒研磨成較小粒徑的顆粒，Ozturk 等 (2018) 建議若為鹹味調料食材，可加入食鹽，以增加介電損失因子，故可在法國天椒粉添加食鹽，此可加速射頻的升溫速度，縮短處理時間。

在感官品評方面，本研究是將 0 s 和射頻殺菌後的 180 s 的兩個法國天椒粉作七分制嗜好性品評，其中 1 代表「非常不喜歡」，2 代表「稍微不喜歡」，3 代表「有點不喜

歡」，4 代表「沒有喜歡或不喜歡」，5 代表「有點喜歡」，6 代表「稍微喜歡」，7 代表「非常喜歡」，以判定兩組產品是否存有顯著的差異性，品評人數有 60 人，故研究採 t 檢定 (t -test) 分析，即以 t 分佈理論來推斷差異發生的概率，來比較兩產品的平均值差異程度是否有達顯著性，表 3 顯示，雖然未處理和射頻殺菌後的法國天椒粉在外觀顏色的分數分別為 5.25 和 4.48、香味的分數分別為 5.00 和 4.80、味道的分數分別為 4.35 和 3.93、組織口感的分數分別為 4.42 和 4.40、餘後味的分數分別為 4.07 和 3.73，及整體的喜好程度上的的分數分別為 4.45 和 4.08，由 t 檢定得知，法國天椒粉只有外觀顏色因較偏於暗紅，其喜歡程度的平均值由 5.25 降為 4.48，達統計的顯著差異 ($p < 0.05$)，此說明以目視兩者在其外觀上可看出確有顏色的差異變化外，其餘包括香味、味道、組織口感、餘後味和整體的喜好程度並無明顯的不同。

表 3. 射頻巴氏殺菌法國天椒粉之消費者接受度調查 (七分制嗜好感官品評)

Table 3. Radio frequency pasteurization of De Esplette powder for consumer acceptance survey (seven points system preference perception Tasting)

Sensory item	RF 0 s (control)	RF 180 s
Appearance	5.25 ± 0.10*	4.48 ± 1.26
Aroma	5.00 ± 1.16	4.80 ± 1.48
Taste	4.35 ± 1.49	3.93 ± 1.45
Texture	4.42 ± 1.34	4.40 ± 1.22
After taste	4.07 ± 1.52	3.73 ± 1.54
Overall	4.45 ± 1.31	4.08 ± 1.44

Data were express as mean ± S.D. (N=60).

Means with * within each row were significantly different ($P < 0.05$).

胡等 (2017) 探討射頻殺菌辣椒粉至 70°C，並保持 0~5 min 對辣椒素、二氫辣椒素和辣椒素類物質含量都並未改變，也不影響辣度。另外張等 (2019) 指出射頻殺菌辣椒粉會造成揮發性成分的變化，但對於 DPPH 自由基清除能力則無顯著影響。不過此次品評射頻處理法國天椒粉的時間為 180 s，雖可以達到最佳的殺菌效果，但其溫度過高，已影響其外觀顏色，未來可縮短射頻殺菌時間至 150 s 即可。

肆、結論

當 1 kg 法國天椒粉在射頻電極板間距為 8 cm 下加熱 180 s 後，溫度高於 100°C，法國天椒粉的水分含量從 15.7% 降到 10.6%，水活性從 0.54 降到 0.42 顯著降低，總生菌數從 3.85 log CFU/g 減少到 1.82 log CFU/g 已達九成殺菌效果，故射頻加熱後更能延長貨架期。法國天椒粉的色差值 L^* ， a^* ， b^* 隨溫度變化而變化， L^* 值變化不大， a^* 值變小， b^* 值變小。在嗜好性品評，只有射頻加熱法國天椒粉的外觀顏色和未處理的法國天椒粉有顯著不同，其餘的香味、味道、組織口感、餘後味和整體的喜好程度則並無明顯不同，建議未來利用 5 kW 射頻批式處理 1 kg 法國天椒粉只需 150 s 即可，並持續研究連續式射頻殺菌在辣椒產業之應用性，以提高食品的安全性。

謝誌

感謝葉家香食品有限公司提供法國天椒粉及相關辣椒產業的資訊。

參考文獻

- 李育祈、陳淑德、姚美吉。2015。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 53：125-134。
- 胡思卓、徐圓融、廖梅吉、王丹鳳、焦順山。2017。射頻加熱處理對辣椒粉辣度的影響研究。中國調味品 42：1-5。
- 張杭進、廖梅吉、徐圓融、焦順山。2019。射頻加熱對辣椒粉揮發性成分及抗氧化活性的影響。上海交通大學學報（農業科學版） 37：60-67。
- 陳淑德、黃志成、嚴玉芬、姚美吉。2016。真空包裝糙米利用射頻加熱殺蟲之研究。臺灣農業化學與食品科學 54：45-52。
- 陳銘在、傅曉萍、徐錦豐。2010。市售香辛類食品中黃麴毒素含量調查。食品藥物研究年報 1：117-126。
- Choi, E. J., H. S. Yang, H. W. Park, and H. H. Chun. 2018. Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Staphylococcus aureus* in red pepper powder using a combination of radio

- frequency thermal and indirect dielectric barrier discharge plasma non-thermal treatments. LWT 93: 477-484.
- Erdogan, A. 2004. The aflatoxin contamination of some pepper types sold in Turkey. Chemosphere 56: 321-325.
- Gunasekaran, N., V. Baskaran, and S. Rajendran. 2003. Effect of insect infestation on proximate composition of selected stored spice products. J. Food Sci. Technol. 40: 239-242.
- Ha, J. W., and D. H. Kang. 2013. Simultaneous near-infrared radiant heating and UV radiation for inactivating *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium in powdered red pepper (*Capsicum annuum* L.). Appl. Environ. Microbiol. 79: 6568-6575.
- Hu, S., Y. Zhao, Z. Hayouka, D. Wang, and S. Jiao. 2018. Inactivation kinetics for *Salmonella typhimurium* in red pepper powders treated by radio frequency heating. Food Control 85: 437-442.
- Jiang, H., Y. Gu, M. Gou, T. Xia, and S. Wang. 2020. Radio frequency pasteurization and disinfection techniques applied on low-moisture foods. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 60: 1417-1430.
- Jiao, Y., J. Tang, Y. Wang, and T. L. Koral. 2018. Radio-frequency applications for food processing and safety. Annu. Rev. Food Sci. Technol. 9: 105-127.
- Kim, S. Y., H. G. Sagong, S. H. Choi, S. Ryu, and D. H. Kang. 2012. Radio-frequency heating to inactivate *Salmonella* Typhimurium and *Escherichia coli* O157: H7 on black and red pepper spice. Int. J. Food Microbiol. 153: 171-175.
- McKee, L. H. 1995. Microbial contamination of spices and herbs: a review. LWT-Food Sci. Technol. 28: 1-11.
- Ozturk, S., F. Kong, R. K. Singh, J. D. Kuzy, C. Li, and S. Trabelsi. 2018. Dielectric properties, heating rate, and heating uniformity of various seasoning spices and their mixtures with radio frequency heating. J. Food Eng. 228: 128-141.

- Ozturk, S., F. Kong, S. Trabelsi, and R. K. Singh. 2016. Dielectric properties of dried vegetable powders and their temperature profile during radio frequency heating. *J. Food Eng.* 169: 91-100.
- Vega-Gálvez, A., K. Di Scala, K. Rodríguez, R. Lemus-Mondaca, M. Miranda, J., López, and M. Perez-Won. 2009. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum* L. var. Hungarian). *Food Chem.* 117: 647-653.
- Villa-Rojas, R., M. J. Zhu, B. P. Marks, and J. Tang. 2017. Radiofrequency inactivation of *Salmonella* Enteritidis PT 30 and *Enterococcus faecium* in wheat flour at different water activities. *Biosyst. Eng.* 156: 7-16.
- Wang, S., M. Monzon, J. A. Johnson, E. J. Mitcham, and J. Tang. 2007. Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts: I: Heating uniformity and energy efficiency. *Postharvest Biol. Technol.* 45: 240-246.
- Zhang, H., Y. Zhao, C. Gong, and S. Jiao. 2019. Effect of radio frequency heating stress on sublethal injury of *Salmonella* Typhimurium in red pepper powder. *LWT-Food Sci. Technol.* 117: 108700.
- Zhang, L., R. Lan, B. Zhang, F. Erdogdu, and S. Wang. 2021. A comprehensive review on recent developments of radio frequency treatment for pasteurizing agricultural products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 61: 380-394.

110 年 07 月 02 日 投稿

110 年 09 月 10 日 接受