

射頻熱風乾燥在鹹金棗蜜餞之研究

鄭皓謙 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十五日)

金棗主要產地在宜蘭, 其栽種的金棗品種以長實金柑為主, 金棗果肉酸而果皮甜, 適合製作蜜餞。而金棗蜜餞加工製程中的乾燥步驟需要花費許多時間和成本, 故本研究之目的欲利用射頻-熱風乾燥技術縮短乾燥製程, 並比較射頻熱風乾燥與45°C冷風乾燥、45°C熱風乾燥鹹金棗蜜餞的乾燥速率、溫度變化及其品質與能源消耗之情形。結果顯示, 將3 kg鹹金棗蜜餞的水分含量由50%降低至30%的產品, 以射頻熱風乾燥電極板間距12 cm處理, 操作時間為160 min, 乾燥速率為5.82 g/min, 乾燥能量為3.96 kWh, 其乾燥時間為45°C冷風乾燥的2/5, 45°C熱風乾燥的3/10, 且能源損耗最少。此外, 射頻熱風乾燥的鹹金棗蜜餞的顏色較黃, 在九分制喜好性感官品評中, 此兩種射頻乾燥和市售熱風乾燥鹹金棗蜜餞產品的整體喜好性超過6分以上。

關鍵字: 金棗蜜餞, 乾燥, 射頻, 品質。

Study of Radio Frequency Hot Air Drying on Salt Candied Kumquat

Hao-Chien Cheng and Su-Der Chen*

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

(Accepted for publication: June 15, 2017)

The main kumquat production is located in Yilan area, and its cultivated kumquat cultivars are mainly *Fortunella margarita* Swingle. The pulp of kumquat is sour and the peel is sweet; therefore, it is the best raw material for making candied fruit. However, drying process required long time and larger capital; therefore, the objectives of this study were to accelerate drying processing of salt candied kumquat by radio frequency (RF) hot air drying, and to compare the drying rate and temperature change, quality and energy consumption with 45°C cold air drying and 45°C hot air drying salt candied kumquat. The results show that the RF hot air drying with electrode gap 12 cm drying 3 kg salt candied kumquat spent 160 min to decrease moisture content from 50% to 30%, and drying rate was 5.82 g/min, and drying energy was only 3.96 kWh. The RF drying time was 2/5 of cold air drying and 3/10 hot air drying, respectively. In addition, RF hot air drying of salt candied kumquat obtained yellow color. According to the consumer nine-point hedonic test, both RF hot air dried and commercial hot air dried salt candied kumquat had over 6 score.

Key words: Candied kumquat, Drying, Radio frequency, Quality.

前 言

金棗學名為 *Fortunella japonica* Swingle 又稱金柑、金橘、壽星柑或夏橘⁽¹⁾, 為柑橘類水果, 因其外型小如龍眼, 形狀呈卵型或長圓型, 皮黃如金, 味酸甘如橘, 故又名金桔。其皮薄果肉嫩、汁多香甜, 洗淨後可連皮帶果肉一起食用, 國內金柑栽培品種以長實金柑為主, 其中90%以上金柑栽種於宜蘭縣, 為其地方性特產之一, 長實金柑果皮甜中帶有輕微苦

辣味且果肉酸味稍濃, 較適合用於加工⁽²⁾。金柑具有特殊的香氣, 亦可連皮帶食, 是一種頗具特色的水果, 其能製成各種保健飲品, 如: 金桔露、金棗茶、金棗果汁和金棗酒等, 除此之外, 大多由青果合作社與蜜餞加工廠收購, 製成「金棗糕」等蜜餞加工產品⁽¹⁾。

乾燥的過程會同時涉及熱傳和質傳, 且需要精確的控制過程, 乾燥亦是能源消耗頗高的食品加工製程, 佔全球食品製造過程中所使用的總能量約10-25%⁽³⁾。蔬菜和水果通常利用乾

* Corresponding author. E-mail: sdchen@niu.edu.tw
DOI: 10.6578/TJACFS.201706_55(3&4).0005

燥來延長保存期限，進而提高儲存穩定性、減少微生物繁殖、節省包裝費用及減少運輸的重量⁽⁴⁾。一般來說，蔬菜和水果常用日曬及熱風乾燥，但日曬乾燥容易受到大自然環境的影響，乾燥效率效果較低，也容易使產品品質，如：顏色、營養成分及衛生安全的裂變⁽⁵⁾。熱風乾燥是食品工業中最廣泛採用的技術，其主要為利用熱空氣經熱對流及熱傳導至食品內部，而水蒸氣由內部擴散至表面，再經由熱對流帶走，其是透過蒸氣擴散、表面擴散及靜水壓差以來傳送食品中的水，熱風乾燥一般會有兩階段，第一階段為自由水擴散到表面，水容易通過蒸發去除，呈現恆率乾燥期。隨著乾燥的進行，因熱傳導逐漸困難，且食品表面體積會受熱收縮，組織變性而形成硬殼，更導致乾燥速率大幅度下降⁽⁶⁾，而進入減率乾燥期，此時容易破壞熱敏感的食品，造成產品品質下降，能源效率相當不佳⁽⁷⁾。冷風乾燥是利用20~45℃空氣吹送食品以乾燥食品，溫度較低，會使得食品的品質較佳，但由於使用冷凍壓縮機去除空氣中的水氣，使空氣得予循環吹送，會導致能源耗費較多。

若使用介電加熱技術，即利用射頻(radio frequency, RF)或微波加熱，熱可透過食品整體產生，不仰賴於熱傳導及對流機制，加熱均勻性會較佳，因此以介電加熱乾燥的方式可達到快速乾燥的要求，又能保持食品的品質，故它已經逐漸受到關注，以射頻加熱可以作為食品乾燥的另一種方法^(7,8)。Roknul等人⁽⁷⁾將300 g的高苣莖切片以熱風乾燥、射頻熱風乾燥、紅外線乾燥和微波熱風乾燥，分別需要360、120、180和140 min完成乾燥，且產品的品質以射頻熱風乾燥最佳。另外，Wang等人⁽⁸⁾以射頻熱風乾燥和單純60℃熱風乾燥2 kg的夏威夷豆，則分別需履360和750 min完成乾燥，此皆說明利用射頻結合熱風可以加速乾燥製程。

雖然射頻和微波同為電磁波，介電加熱的原理相同，但射頻和微波的頻率範圍分別介於1-300 MHz和300-30000 MHz間，目前射頻在科學、工業和醫藥界可使用頻率為13.56、27.12和40.68 MHz，而微波可使用的頻率為915和2450 MHz。射頻電流輸出於兩片平行電極板中形成交變的電磁場，此可使樣品極性水分子旋轉振動摩擦和離子移動生熱，故射頻在食品的應用也當廣泛，如：預熱、預煮、滅菌、殺蟲、後段烘烤和乾燥等⁽⁹⁾。由於電磁波能夠穿透樣品的深度和頻率成反比，故射頻對厚度較厚的物質具有快速加熱且溫度分布均勻等良

好效果^(10,11)，尤其適合食品工業的後段乾燥，若射頻與熱對流進行結合，可以克服傳統乾燥過程中熱傳導的局限性⁽¹²⁾，尤其可大幅縮短乾燥後期的時間，使乾燥效率有效增加⁽⁹⁾。

金棗蜜餞是宜蘭的傳統食品，其特殊風味廣受眾人喜愛，經常被當作休閒食品食用。其製程主要是將不耐儲藏之新鮮金棗原料進行糖漬、乾燥等加工程序，可供非生產季節食用。傳統蜜餞在加工製程中主要分為三大步驟：包括鹽漬前處理、糖漬及乾燥，其中糖漬及乾燥過程需要花費許多時間和成本，尤其是乾燥階段所消耗的能源最高⁽¹³⁾，故本研究目的為透過射頻加熱技術應用於鹹金棗蜜餞乾燥，以解決目前食品工廠需要兩~三天才能完成乾燥的製程，以增進乾燥效率，並比較射頻熱風乾燥與傳統冷風乾燥、熱風乾燥鹹金棗蜜餞的乾燥速率、溫度變化，及其品質與能源消耗之狀況，進而改善乾燥製程。

材料與方法

一、材料

鹹金棗蜜餞購自宜蘭旭工實業有限公司。其製備方法為將鹽漬後的金棗漂水，針刺約20-30洞，接著浸泡於20%糖漬液中進行糖漬作業、瀝乾，再進行45℃熱風乾燥13-15 hr，使其水分含量約為48-53%，水活性約為0.83-0.84，乾基水分含量約為1 kg H₂O/kg dry material，即為本次研究之鹹金棗蜜餞原料。

二、設備

批式射頻熱風機(5 kW, 40.68 MHz, 220 V, 益大生技公司，型號：HDP-520-N)、冷風乾燥機(冷風溫度為20~45℃，並有氣冷式冷凍機組以乾燥空氣及10個不銹鋼乾燥網盤，主典興業公司，型號：YK-112RS)、熱風乾燥機(CHANNEL，型號：DV-120)、紅外線溫度計(測量範圍：-20~520℃，TENMARS，型號：TM-300)、熱電偶溫度計(測量範圍：-50~200℃ Thermometer，型號：TES-1306)、烘箱、電子精秤、水活性測定儀、攪拌均質機、色差儀(Hunter Lab, Color Flex, USA)、電壓電流測量器(HIOKI，型號：3280-10)。圓篩PP藍(強靈公司)(籃高為10 cm，籃上部直徑31 cm，籃下部直徑24 cm)購自宜大生活館。

三、試驗方法

1. 鹹金棗蜜餞之水分測定

參考AOAC⁽¹⁴⁾測定方法，精稱5 g鹹金棗蜜餞，置於105℃的烘箱中乾燥至恆重，計算其水分含量。

2. 射頻電極板間距與輸出功率之關係

由於電極板間距和樣品裝載量會影響射頻輸出功率的大小，亦會影響其升溫情況，故將1、2和3 kg的金棗蜜餞裝入PP材質的孔洞籃中，置於射頻(40.68 MHz, 5 kW)下層電極板的中間位置，並在不同電極板間距(Gap)為12-20 cm下分別加熱，並記錄射頻顯示板上的輸出電流，以計算其輸出功率，樣品射頻加熱的電流和功率關係式為 $Y = 5X / 1.6 \times (220/460)$ ，其中Y代表射頻功率(kW)，X代表電流(A)。

3. 射頻電極板間距與鹹金棗蜜餞的升溫和乾燥曲線

射頻熱風系統為5 kW, 40.68 MHz, 熱風溫度控制約30℃, 流速為1 m/s, 由射頻加熱設備右方吹入，將鹹金棗蜜餞裝孔洞籃內，置於下層射頻電極板上，並調整間距以考慮樣品的溫度，不致於太高，以維持良好的品質，再選擇適當的射頻電極板間距操作，以射頻處理時間4 min為間隔，取出樣品秤重後，立即以紅外線溫度計測量三處的表面溫度，且以熱電偶溫度計測量內部溫度並記錄，控制樣品的乾基水分含量約0.44 kg H₂O/kg dry material為乾燥終點(濕基水分含量約為30%)，記錄乾燥過程中的重量和溫度變化及樣品品質，達乾燥終點時，再將鹹金棗蜜餞取出，推算升溫與加熱時間之線性迴歸關係、繪製樣品重量與加熱時間之乾燥曲線。

4. 鹹金棗蜜餞冷風乾燥曲線和熱風乾燥曲線

將鹹金棗蜜餞分別放入冷風乾燥和熱風乾燥機之孔洞不銹鋼盤，置於乾燥機中，溫度皆設定為45℃，控制樣品的乾基水分含量約0.44 kg H₂O/kg dry material為乾燥終點，觀察乾燥時間、乾燥重量及樣品品質，乾燥完畢再將金棗蜜餞取出，繪製樣品重量與加熱時間之線性關係。

5. 能源消耗

以的電流功率測量器(勾電表)測量射頻熱風機、冷風乾燥機和熱風乾燥機之電壓和電流， $W = V \times A$ ，其中W代表功率(W)，V代表電壓(V)，A代表電流(A)，而一度電為

(kWh)代表1000 W耗電的電器，使用1 hr所消耗的電量，即將所測量出之功率換算使用時間，可求出所使用之電力度數。

6. 鹹金棗蜜餞顏色分析

將不同乾燥方法的鹹金棗蜜餞以色差儀(Hunter L*a*b*, Color Flex, USA)測定樣品之Hunter L*, a*, b*值，分析樣品顏色值，其中L*代表亮度介於0-100間，0為完全黑色，100為完全白色；a*代表紅綠度，正值為紅色，負值為綠色；b*代表黃藍度，正值為黃色，負值為藍色。ΔE定義為色差，L*₁、a*₁、b*₁代表未乾燥處理的控制組(水分含量50%)，L*₂、a*₂、b*₂代表各種乾燥方法的試驗組。

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

7. 鹹金棗蜜餞九分制嗜好性感官品評

射頻熱風乾燥和市售的鹹金棗蜜餞，由100位未經訓練品評員，以採九分制對鹹金棗蜜餞顏色、風味、口感及整體接受性依嗜好性感官品評，9：極度喜歡，8：非常喜歡，7：稍微喜歡，6：有點喜歡，5：沒有喜歡或不喜歡，4：有點喜歡，3：稍微不喜歡，2：非常不喜歡，1：極度不喜歡。

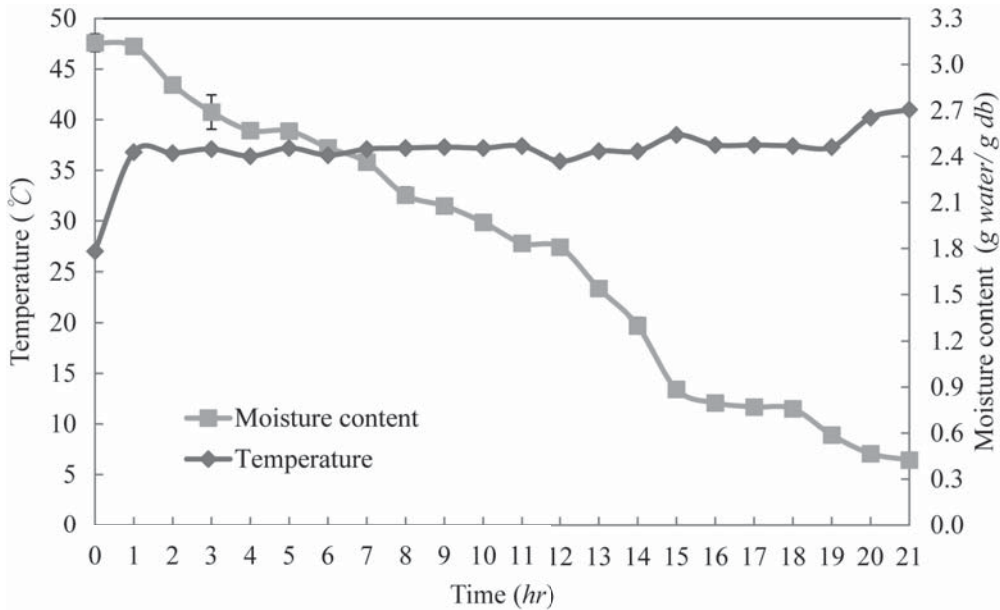
8. 統計分析

試驗結果重複性，以平均值 ± 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。

結果與討論

一、探討熱風乾燥鹹金棗蜜餞之製程

圖一為金棗蜜餞食品工廠針對45℃熱風乾燥鹹金棗蜜餞之乾燥和升溫曲線，圖中顯示鹹金棗蜜餞從原先乾基水分含量3.14 kg H₂O/kg dry material (濕基水分含量為75.8%)，乾燥至終點的乾基水分含量0.44 kg H₂O/kg dry material (濕基水分含量為30%)，需要累積經過21 hr之熱風乾燥，這其中還需要兩個夜晚的回潮，選擇回潮時間分別在圖中的11 hr及18 hr，回潮之目的主要為平衡金棗內部的水分分佈，以避免金棗外部受熱過長時間而形成硬殼，此會導致熱傳更加困難且水分擴散速率降



圖一 45°C 熱風乾燥鹹金棗蜜餞之乾燥和升溫曲線

Fig. 1. The drying curve and temperature profile of salt candied kumquat with 45°C hot air drying. Data are expressed as mean \pm S.D. (n = 3).

低，因此乾燥製程長達3天，鹹金棗蜜餞的乾燥溫度介於35至42°C之間。且鹹金棗蜜餞顏色和顆粒大小，會隨著熱風乾燥的時間增加，而造成顏色變深和顆粒變小，這也會使得鹹金棗蜜餞之組織較為厚實。

二、建立鹹金棗蜜餞之射頻熱風乾燥方式

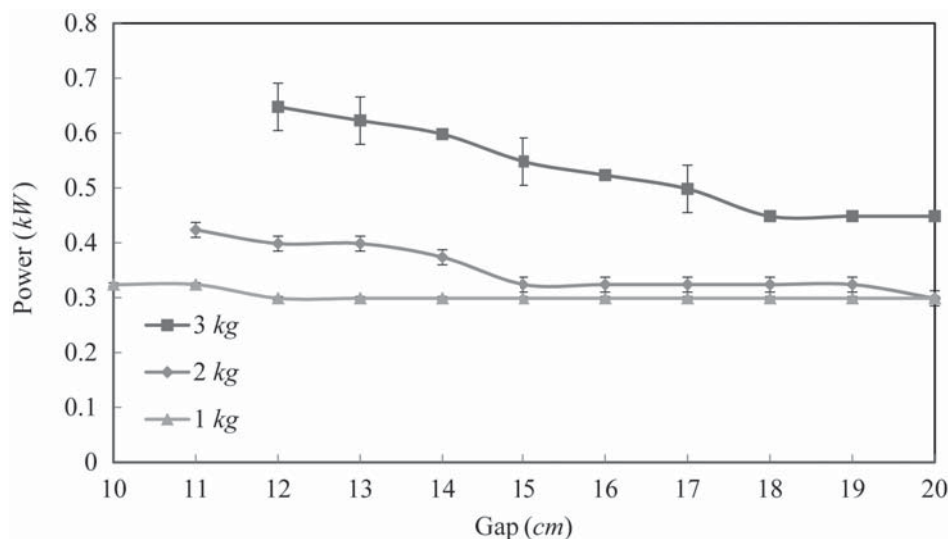
先偵測射頻電極板間距及樣品裝載量對射頻電場強度的影響，由圖二顯示，在樣品裝載量1 kg時，在射頻電極板間距10及11 cm，輸出功率為0.32 kW，間距12至20 cm時與輸出功率則呈現持平情況；在樣品裝載量2 kg時，在射頻電極板間距11至14 cm，輸出功率介於0.42-0.37 kW，間距15至20 cm時與輸出功率則呈現持平情況；在樣品裝載量3 kg時，在射頻電極板間距12至17 cm，輸出功率介於0.65-0.50 kW，故射頻電極板間距會與輸出功率明顯呈現反比關係，間距越小輸出功率越強，間距18至20 cm時與輸出功率則呈現持平情況，在樣品裝載量1、2和3 kg中，以裝載量3 kg會有最高的輸出功率，故為考慮乾燥效益及未來量產的情況，決定選用3 kg鹹金棗蜜餞的裝載量作為後續試驗。

探討3 kg鹹金棗蜜餞之加熱速率，參考圖二的結果，先選擇射頻電極板間距為12、14和16 cm進行鹹金棗蜜餞操作條件，圖三為不同

射頻電極板間距加熱對3 kg鹹金棗蜜餞之內部升溫曲線，在射頻電極板間距12、14和16 cm下，分別需要加熱10、14和15 min，即會使溫度達到60°C，線性迴歸得知3 kg鹹金棗蜜餞在射頻電極板間距12、14和16 cm下的升溫速率分別為3.44、3.07和2.49°C/min，表示其電極板間距愈小，輸出功率愈大也造成升溫速率愈大。

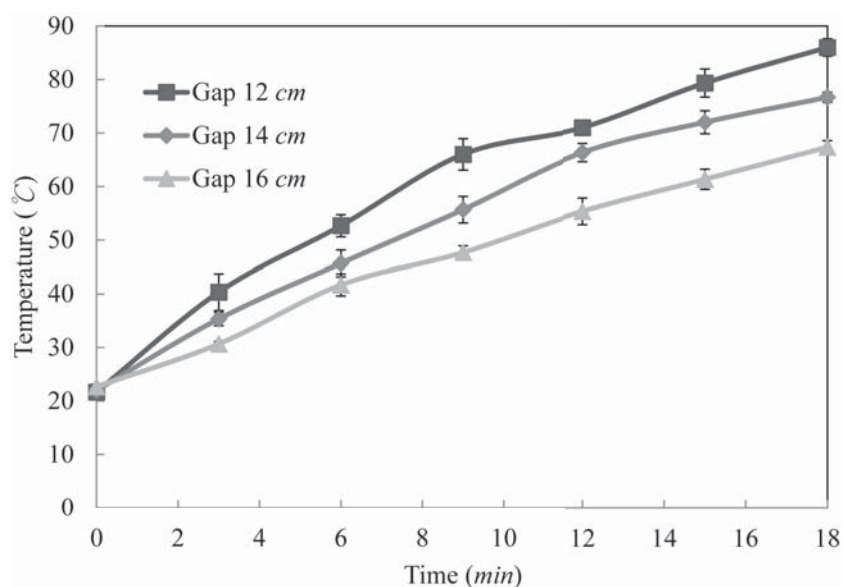
Wang等人⁽⁸⁾使用熱風結合射頻乾燥(6 kW, 27 MHz)進行夏威夷豆乾燥之研究，將2 kg夏威夷豆(起始水分含量為10.6%)進行射頻熱風乾燥，電極板間距控制在14.5、15.5和16.5 cm，熱風溫度設定為60、50和40°C，以電極板間距為14.5 cm、熱風溫度為60°C時升溫最快，加熱30 min即可達92°C，加熱速率為2.4°C/min，此亦和本研究的結果相類似。將射頻結合熱風系統主要由射頻提供食品中水分蒸發的熱能，熱風雖可以提供食品表面的熱傳，但主要是吹散水蒸氣，改善質傳，唯有同時解決熱傳和質傳的問題，方可以加速乾燥製程。

由圖三的結果得知，隨著射頻加熱時間增加，溫度會有正上升的趨勢，但由於鹹金棗蜜餞的糖分含量很高，若過高的溫度會使鹹金棗蜜餞產生焦糖化之情形，此會影響品質，為避免此情形發生，需要控制射頻加熱之溫度至60°C以下，才能有效將鹹金棗蜜餞耗損率降至最低。故經過反覆測試後，決定鹹金棗蜜餞使用射頻加熱4 min後，再停止射頻，而吹風4



圖二 射頻電極板間距對1、2和3 kg鹹金棗蜜餞之輸出功率影響

Fig. 2. Effects of different RF electrode gaps on power output for 1, 2 and 3 kg salt candied kumquat. Data are expressed as mean \pm S.D. (n = 3).



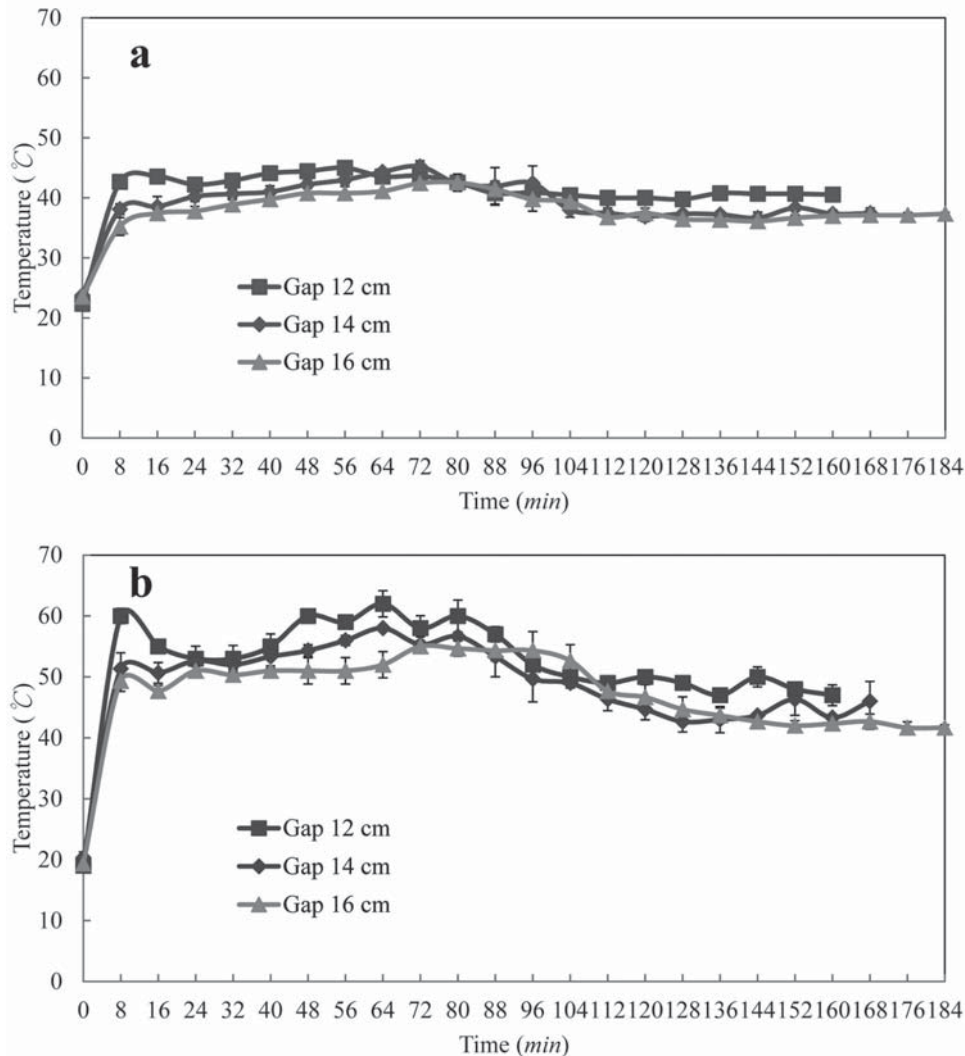
圖三 不同射頻電極板間距加熱對3 kg鹹金棗蜜餞之內部升溫曲線

Fig. 3. The internal temperature profiles of 3 kg salt candied kumquat during RF heating at different electrode gaps. Data are expressed as mean \pm S.D. (n = 3).

min以使溫度降低，如此反覆此加熱及冷卻的步驟，使最後鹹金棗蜜餞的乾基水分含量減少至0.44 kg H₂O/kg dry material為乾燥終點，此可避免射頻乾燥過程中，因為溫度過高而造成鹹金棗蜜餞焦化的情形。

圖四為以上所述反覆射頻加熱和冷卻過程中，隨著操作時間對鹹金棗蜜餞表面(a)和內部(b)的溫度圖，結果顯示，在加熱初期會使鹹金棗蜜餞的表面和內部溫度迅速升溫，此為

水分升溫的顯熱階段，且內部溫度高於表面溫度，但後來即逐漸持平，此為水分蒸發的潛熱階段，此時內部溫度高出表面溫度約10-20°C，但到中後期時內部溫度會呈現略下降且持平之現象，使得內部和表面溫度差逐漸縮小，此由於鹹金棗蜜餞中的水分逐漸蒸發散失，介電損失因子亦逐漸降低，使得射頻的輸出能量減少，導致射頻加熱鹹金棗蜜餞溫度的下降。



圖四 射頻電極板間距12、14和16 cm加熱3 kg鹹金棗蜜餞之表面(a)和內部(b)

Fig. 4. The surface temperature profiles (a) and internal temperature profiles (b) of 3 kg salt candied kumquat at different electrode gap repeated RF heating 4 min and then cooling 4 min until the end of drying. Data are expressed as mean \pm S.D. (n = 3).

Alfaifi等人⁽¹⁵⁾曾分析低水分含量(15~30%)的果乾：葡萄乾、棗子、杏果、無花果和梅子在20~60°C和10~1800 MHz下之介電性質，則介電常數和損失因子會隨著頻率的增加而降低，但隨著溫度的升高而增加，其中損失因子會隨著水分含量增加而增加，但所有樣品中射頻能量的穿透深度則隨著頻率和溫度增加而降低。故鹹金棗蜜餞之損失因子亦隨著乾燥使得水分含量減少而降低，導致升溫速度變小。

另一方面，鹹金棗蜜餞的溫度高低，依次是射頻電極板間距在12、14和16 cm，故3 kg鹹金棗蜜餞在射頻電極板間距12、14和16 cm下的乾燥總操作時間分別為160、168和184 min。至於乾燥過程中在射頻電極板間距12、14和16 cm

下，鹹金棗蜜餞的表面和內部之最高溫度分別46和61°C、45和56°C、42和56°C。表一呈現射頻電極板間距12、14和16 cm之鹹金棗蜜餞的內部之平均溫度分別為53.7、50.1和49.2°C，再比較鹹金棗蜜餞的耗損率分別為10.3%、9.8%和11.9%，耗損率為所有焦化鹹金棗之重量與全部鹹金棗之重量的比值。考慮乾燥時間和耗損率建議3 kg鹹金棗蜜餞在射頻電極板12 cm下，包括射頻加熱和冷風吹送共160 min操作時間，即可使鹹金棗蜜餞由初始乾基水分含量約為1.08 kg H₂O/kg dry material (濕基水分含量52%)降為乾基水分含量為0.44 kg H₂O/kg dry material (濕基水分含量30%)。

表一 不同射頻電極間隙對鹹金棗蜜餞內部平均溫度及耗損率之影響

Table 1. Effect of RF electrode gaps on average internal temperature and damage ratio of 3 kg salt candied kumquat

RF electrode gap (cm)	Heating time (min)	Average internal temperature (°C)	Damage ratio (%)
12	160	53.7 ± 4.8	10.3
14	168	50.1 ± 4.9	9.8
16	184	49.2 ± 4.2	11.9

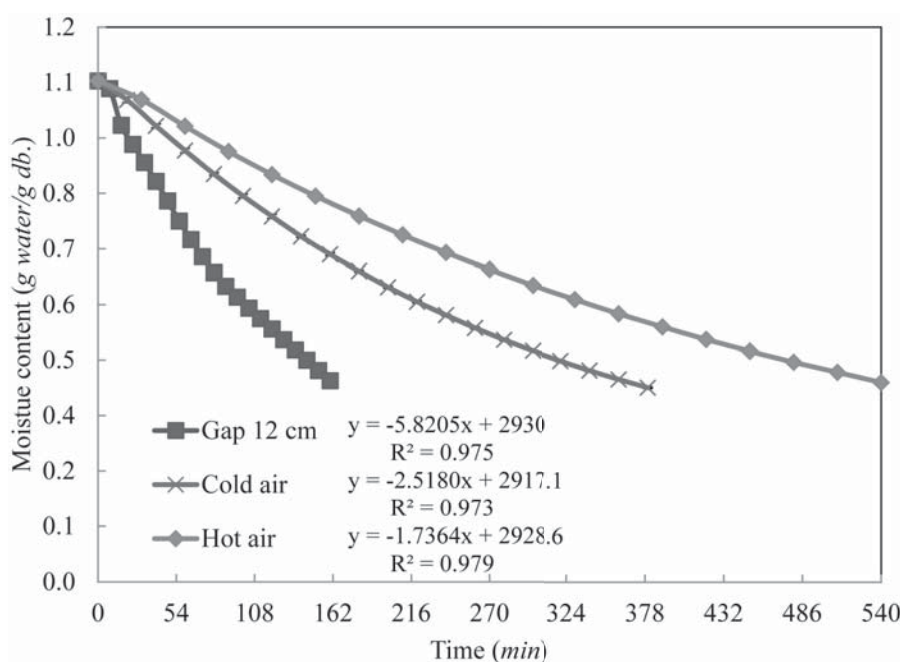
* Data are expressed as mean ± S.D. (n = 3).

** Damage ratio: The ratio of scorched salt candied kumquat to whole salt candied kumquat weight.

三、比較射頻熱風乾燥、冷風乾燥和熱風乾燥的鹹金棗蜜餞之乾燥速率和能耗

由於工廠使用熱風乾燥鹹金棗蜜餞必須花費三天的時間，為探討此情況，進一步比較探討射頻熱風乾燥與冷風乾燥及熱風乾燥間之乾燥速率、乾燥時間和能耗的差異，故同樣將3 kg鹹金棗蜜餞(初始乾基水分含量約為1.08 kg H₂O/kg dry material)分別放入45°C冷風乾燥機及45°C熱風乾燥機內，並控制鹹金棗蜜餞之乾基水分含量約在0.44 kg H₂O/kg dry material為乾燥終點。圖五顯示射頻熱風乾燥在電極板間距12 cm、45°C冷風乾燥及45°C熱風乾燥對3 kg金棗蜜餞之乾燥曲線，分別需經160、380和540 min方完成乾燥，乾燥速率分別為5.82、2.52和

1.74 g H₂O/min，乾燥總能耗分別為3.96、24.04和16.86 kWh (表二)。此由於射頻乾燥由於可以克服傳統能量傳送障礙，故乾燥時間最短，能耗也明顯最低，且也不會產生表面硬化，體積收縮也較小。熱風乾燥為利用熱對流的方式進行乾燥，容易使樣品外層產生硬化，易阻礙水分擴散，造成乾燥時間最長，冷風乾燥為利用低溫低濕空氣強制循環於食品間，較不易使表面產生硬殼，因此整體水分蒸散會比熱風乾燥快速，但由於使用除濕機以排除蒸發的水蒸氣，故耗能最多。射頻熱風乾燥鹹金棗蜜餞的乾燥速度分別為45°C冷風乾燥及45°C熱風乾燥約2.3倍及3.3倍，射頻熱風乾燥的能源消耗更是冷風乾燥及熱風乾燥的1/6及1/4，故射頻熱風乾燥省時且節能。



圖五 射頻熱風乾燥在電極板間距12 cm、45°C冷風乾燥及45°C熱風乾燥的3 kg鹹金棗蜜餞之乾燥曲線

Fig. 5. The drying curves of 3 kg salted candied kumquat by RF hot air drying at RF electrode 12 cm, 45°C cold air drying and 45°C hot air drying. Data are expressed as mean ± S.D. (n = 3).

表二 不同乾燥方法對鹹金棗蜜餞之乾燥速率和乾燥能源消耗的影響

Table 2. Effect of different drying methods on the drying rate and drying energy of 3 kg salt candied kumquat

Drying methods	Linear regression equation	R ²	Drying rate (g/min)	Drying time (min)	Drying energy (kWh)
RF12	y = -5.8205x + 2930	0.975	5.82	160	3.96
CD	y = -2.5180x + 2917.1	0.973	2.52	380	24.04
HD	y = -1.7364x + 2928.6	0.979	1.74	540	16.86

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

** Different drying condition: RF12 (RF hot air drying with 12 cm gap), CD (45°C cold air drying), HD (45°C hot air drying).

Roknul 等人⁽⁷⁾ 比較熱風乾燥、紅外線乾燥、微波熱風乾燥和射頻熱風乾燥對 0.3 kg 高莖莖切片之乾燥速度，將初始水分含量為 41% 的高莖莖切片，乾燥至水分含量 7% 為乾燥終點，結果顯示，射頻熱風乾燥的乾燥速度最快只需要 120 min，其次是熱風微波乾燥 140 min、紅外線乾燥 180 min 和熱風乾燥 360 min，射頻熱風乾燥之乾燥速度為微波熱風乾燥的 1.2 倍，為紅外線乾燥的 1.5 倍，為熱風乾燥的 3 倍。另外，茶葉的乾燥階段為能源消耗的主要過程，Shinde 等人⁽¹⁶⁾ 比較傳統托盤乾燥 (75°C)、單獨射頻乾燥和射頻熱風乾燥對 0.2 kg 錫蘭紅茶和烏龍茶之乾燥速度，結果顯示，射頻熱風乾燥的乾燥速度最快，其乾燥速度為單獨射頻乾燥的 2.2 倍，為傳統托盤乾燥的 73.3 倍，在能源消耗方面，傳統托盤乾燥為 32 MJ，單獨射頻乾燥為 17 MJ，而射頻熱風乾燥更只有 8.3 MJ，故射頻熱風乾燥比起傳統茶葉的托盤乾燥方式更節省了 75% 的能源。Wang 等人⁽⁸⁾ 研究射頻熱風乾燥之夏威夷豆乾燥製程，利用射頻熱風乾燥 (電極板間距為 15.5 cm，輔助熱風溫度 50°C) 和熱風乾燥 (60°C) 2 kg 夏威夷豆，分別需要 360 和 750 min 方使夏威夷豆的乾基水分含量由 0.106 降至 0.03 kg H₂O/kg dry material，故以射頻熱風

乾燥的乾燥速度較快，其乾燥速率約為熱風乾燥的 2 倍。由於射頻是利用介電加熱的方式，在交變電場中使樣品中的極性水分子快速旋轉振動而摩擦產生熱，不像傳統乾燥是依靠熱對流及熱傳導的方式，故具有克服後段乾燥的熱傳障礙⁽⁹⁾，射頻加熱比傳統的加熱方式具更快的加熱速度，不僅降低處理時間，更使能源消耗降低，提供射頻熱風乾燥在食品及農業乾燥上的競爭優勢。

四、比較射頻熱風乾燥、冷風乾燥和熱風乾燥的鹹金棗蜜餞之品質

表三為未乾燥處理、射頻熱風乾燥、45°C 冷風乾燥及 45°C 熱風乾燥的鹹金棗蜜餞之顏色，表中顯示，未乾燥處理 (Control) 的 L*、a*、b* 顏色分別為 54.08、7.41 和 38.38，和射頻熱風乾燥鹹金棗蜜餞的 L*、a*、b* 分別為 53.91、7.52 和 38.79 並無明顯差異，而且射頻、冷風乾燥和熱風乾燥組別和未乾燥處理相比之色差分別 0.11、22.10 及 21.86，表示鹹金棗蜜餞經過 45°C 冷風乾燥及 45°C 熱風乾燥的顏色和未乾燥處理者有明顯差異，且顏色差異甚大，故鹹金棗蜜餞以射頻熱風乾燥最能保存顏色；而

表三 不同乾燥方法對鹹金棗蜜餞之顏色的影響

Table 3. Effect of different drying methods on the color of salt candied kumquat

Drying methods	L*	a*	b*	ΔE
Control	54.08 ± 0.40 ^a	7.41 ± 0.27 ^c	38.38 ± 0.16 ^b	0.00
RF12	53.91 ± 0.35 ^a	7.52 ± 0.14 ^c	38.79 ± 0.50 ^b	0.11
CD	49.72 ± 0.25 ^b	11.54 ± 0.22 ^a	40.85 ± 0.26 ^a	22.10
HD	48.92 ± 0.10 ^b	11.22 ± 0.15 ^a	36.79 ± 0.19 ^c	21.86

* ^{a-c} Means within each row with followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$). Data are expressed as mean ± S.D. (n = 3).

** Different drying condition: Control (Moisture content 50%), RF12 (RF hot air drying with 12 cm gap), CD (45°C cold air drying), HD (45°C hot air drying).

表四 不同乾燥方式之鹹金棗蜜餞九分制嗜好性感官品評

Table 4. Effect of different drying methods on the nine-point hedonic sensory evaluation of salt candied kumquat

Drying methods	Color	Flavor	Texture	Overall
RF12	6.46 ± 1.34	6.24 ± 1.56	6.12 ± 1.62	6.21 ± 1.37
HD	6.11 ± 1.42	6.62 ± 1.27*	6.98 ± 1.25*	6.81 ± 1.17*

* Means with * within each column are significantly different ($p < 0.05$) ($n = 100$).

** Different drying condition: RF12 (RF hot air drying with 12 cm gap), HD (45°C hot air drying).

鹹金棗蜜餞以45°C冷風乾燥及45°C熱風乾燥時間長，而導致鹹金棗蜜餞的顏色會明顯劣化。

Roknul等人⁽⁷⁾比較熱風乾燥、紅外線乾燥、微波熱風乾燥和射頻熱風乾燥對0.3 kg高苜莖切片之品質影響，結果顯示，射頻熱風乾燥後的高苜莖，其色差為四種乾燥方式最低者，其復水性也最佳，復水後的口感也最為優質。射頻熱風乾燥時間較短且加熱較均勻，對食品的物理化學結構破壞較輕微，故射頻熱風乾燥後的產品之色澤、復水性和組織比冷風乾燥、熱風乾燥、紅外線乾燥和微波熱風乾燥來的更好，故射頻熱風乾燥是一項值得研究和推廣的乾燥技術。

表四為射頻熱風乾燥和市售熱風乾燥之鹹金棗蜜餞九分制嗜好性感官品評之平均值，表中顯示射頻熱風乾燥鹹金棗蜜餞的顏色評分為6.46，風味為6.24，口感為6.12，整體喜好性為6.21，熱風乾燥鹹金棗蜜餞的顏色評分則為6.11，風味為6.62，口感為6.98，整體喜好性為6.81，故射頻熱風乾燥之鹹金棗蜜餞只有在顏色評價較受品評者喜歡，但在風味及口感和整體喜好性方面，熱風乾燥鹹金棗蜜餞會比射頻熱風乾燥鹹金棗蜜餞佳，此可能由於品評者較習慣原先鹹金棗蜜餞的產品的外硬內軟且厚實口感。故未來射頻熱風乾燥應用於鹹金棗蜜餞可能再延後實施於後段乾燥，因為熱風乾燥造成水分的流失且伴隨著體積縮小，只是在乾燥後期有較大的熱傳阻力，再施予射頻熱風乾燥，必可以縮短後段乾燥的時間。

結 論

鹹金棗蜜餞原料(水分含量約為50%)可採用射頻電極板間距在12 cm射頻加熱4 min升溫後，又立即吹風冷卻4 min降溫，以有效控制溫度，如此反覆此加熱及冷卻的步驟至水分含量約為30%的乾燥終點，此射頻熱風乾燥製程的操作時間為160 min，與45°C冷風乾燥及熱風乾

燥相比，可節省58%及70%的乾燥時間，且能源消耗和色差會較低，以射頻熱風乾燥鹹金棗蜜餞的顏色接受性會較好，但品評者可能仍習慣原先鹹金棗蜜餞的口感和風味，以市售熱風乾燥會比射頻熱風乾燥佳，不過二者的各項品評平均分數皆高於6分，介於有點喜歡和稍微喜歡的等級，故考量鹹金棗蜜餞的省時和節能之乾燥製程可採用射頻熱風乾燥。

謝 誌

本研究感謝科技部和旭工實業有限公司，MOST 105-2622-E-197-002-CC2產學合作計畫「射頻熱風乾燥在金棗蜜餞製程之應用」之經費支持，使本試驗得以完成，特此致謝。

參 考 文 獻

- (1) 李建瑩：金柑健康管理生產體系介紹。《花蓮區農業專訊》，**83**: 22-25 (2013)。
- (2) 唐佳惠、王自存、李炳和、唐琦、李建瑩：採收方式與氣象因子對鮮食用長實金柑風味及貯藏期間腐爛率之影響。《臺灣農學會報》，**15**(1): 1-17 (2014)。
- (3) C. Strumillo and J. Adamiec: Energy and quality aspects of food drying. *Drying Technol.*, **14**(2): 423-448 (1996).
- (4) J. M. Domínguez: Drying. *Compr. Biotechnol.*, **2**: 727-735 (2011).
- (5) Y. M. Gallali, Y. S. Abujnah and F. K. Bannani: Preservation of fruits and vegetables using solar drier: a comparative study of natural and solar drying, III; chemical analysis and sensory evaluation data of the dried samples (grapes, figs, tomatoes and onions). *Renew. Energy*, **19**(1-2): 203-212 (2000).
- (6) M. C. Karam, J. Petita, D. Zimmera, E. B. Djantoub and J. Schera: Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *J. Food Eng.*, **188**: 32-49 (2016).
- (7) A. S. Roknul, M. Zhang, A. S. Mujumdar and Y. Wang: A comparative study of four drying methods on drying time and quality characteristics of stem lettuce slices. *Drying Technol.*, **32**: 657-666 (2014).
- (8) 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 Technol.*, **7**: 278-288 (2014).
- (9) 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).
- (10) 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)。
- (11) 陳淑德、黃志成、嚴玉芬、姚美吉：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**(1): 45-52 (2016)。
- (12) Y. Liu, J. Tang, Z. Mao, J. H. Mah, S. Jiao and S. Wang: Quality and mold control of enriched white bread by combined radio frequency and hot air treatment. *J. Food Eng.*, **104**(4): 492-498 (2011).
- (13) 陳淑德、蕭文卿、洪美芳、陳輝煌：絲狀鹹金柑蜜餞的研製和品評。宜蘭技術學報，**1**: 19-25 (1998)。
- (14) AOAC: Official and methods of analysis, 16th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. (1995).
- (15) B. Alfaiifi, S. Wang, J. Tang, B. Rasco, S. Sablani and Y. Jiao: Radio frequency disinfestation treatments for dried fruits: Dielectric properties. *LWT – Food Sci. Technol.*, **50**: 746-754 (2013).
- (16) A. Shinde, S. Das and A. K. Datta: Quality improvement of orthodox and CTC tea and performance enhancement by hybrid hot air–radio frequency dryer. *J. Food Eng.*, **116**(2): 444-449 (2013).

Copyright of Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry & Food Science is the property of Agricultural Chemical Society of Taiwan and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.