

微波乾燥鹹金柑蜜餞之研究

鄭智遠 邱昌鈿 陳淑德*

*國立宜蘭大學食品科學系

摘要

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，以使水分蒸發而達到快速乾燥之效果，可克服傳統乾燥之熱傳導障礙。宜蘭是金柑最主要產地，金柑非常適合做為蜜餞的原料，而傳統金柑蜜餞利用熱風乾燥相當費時，故本研究利用微波乾燥應用在鹹金柑蜜餞製程中。結果顯示，透過微波乾燥的方式以 3 kg，3 kW 的條件乾燥鹹金柑蜜餞只需耗時 350 min 即可使水分含量由 77%降至 31%；但以 45°C 冷風乾燥則需要 840 min。微波和冷風的乾燥動力學模型符合 Henderson-Pabis 型式，其相關係數 ($R^2 > 0.99$)。微波乾燥鹹金柑蜜餞也有較好的亮度值，與較軟的質地，故微波乾燥可應用鹹金柑蜜餞產業，達到省時的效果。

關鍵詞：金柑蜜餞、微波、乾燥、品質

*通訊作者。E-mail: sdchen@niu.edu.tw

Study of Microwave Drying on Salt Candied Kumquat

Chih-Yuan Cheng, Chang-Dian Ciou, Su-Der Chen *

Department of Food Science, National Ilan University

Abstract

Microwave drying causes rapid vibration and movement of polar water molecules in food to generate heat; therefore, water can be evaporated to achieve rapid drying and to overcome the heat resistance by traditional drying. Yilan is the main production area of kumquat. Kumquat is very suitable as a raw material for candied fruit. The traditional candied kumquat is very time-consuming by hot air drying. Therefore, the objective of this study was to use microwave drying in the process of salt candied kumquat. The results showed that 3 kW microwave drying 3 kg salt candied kumquat only took 350 min to reduce its moisture content from 77% to 31%. However, it took 840 min by 45°C cold air drying. The drying kinetics of both microwave and cold air drying methods followed Henderson-Pabis model due to $R^2 > 0.99$. Microwave drying also had a better brightness value and softer texture. Therefore, microwave drying can be applied to the candied kumquat industry to achieve a time-saving effect.

Keywords: candied kumquat, microwave, drying, quality

*Corresponding author. sdchen@niu.edu.tw

壹、前言

金棗學名為 *Fortunella japonica* Swingle 又稱金柑，為柑橘類水果。宜蘭地區為我國重要的金柑產區，台灣金柑的總種植面積約為 258 公頃，年產量約 4,000 公噸，其中宜蘭縣的金柑產量約占全台金柑產量的 90%以上（陳和張，2012）。宜蘭地區金柑種植集中於礁溪鄉、員山鄉及頭城鎮，三星鄉與冬山鄉則次之（黃等，2012）。

金柑其營養價值高，富含維生素 B₁、B₂、C、有機酸、類胡蘿蔔素、多酚及類黃酮等成份，是良好的植化素來源（Schirra *et al.*, 2008; 邱等，2012; 鄭，2017）。但金柑在運輸和儲藏上不易保存，因此傳統會將其製成蜜餞，另外新鮮金柑採收期約在 11 月到隔年 2 月，因此製成蜜餞才能使非採收期也享受到金柑的滋味。

在傳統蜜餞製程上會經過鹽漬、漂洗、糖漬、乾燥等製程（劉，1992；陳，2007），而乾燥這個步驟會耗費大量的時間和能源，因為傳統乾燥是採用柵架式熱風乾燥不僅耗費大量時間且須克服乾燥時會出現表面硬化的現象，工業界上常採用兩階段的乾燥法，先進行第一階段熱風乾燥 11 小時後，接著將樣品靜置一個夜晚，使水分從內部擴散到外部後，使樣品各部位的水分含量達成平衡，並可以避免表面硬化，然後再進入第二階段的熱風乾燥至 18 小時，然後在晚上靜置回潮，隔天再熱風乾燥至 21 小時方可達到儲藏要求，通常水活性達 0.7 以下，整個乾燥過程非常耗時長達三天，且金柑蜜餞經過長時間的熱風乾燥外觀容易變色，且體積也縮小。（鄭和陳，2017）

熱風乾燥為最廣泛使用的方式，利用熱對流的方式進行乾燥，在熱風乾燥期間因熱傳導是由食品表面至內部（Marey and Shoughy, 2016）。冷風乾燥加工方法則是利用低溫冷風乾燥機，於低溫低濕空氣強制循環於食品間，使水分含量逐漸減少達到乾燥的加工處理，此可避免食品表面硬化的情形。

由於熱風乾燥的過程牽涉熱量傳送和質量的傳送，隨著乾燥時間的增長，靠近食品表層部位的水分因吸熱而蒸散，所形成的空洞並不利於熱傳導，導致乾燥前期是呈現恆率乾燥期，但後期則呈現減率乾燥期，為建立熱風乾燥水分蒸散的數學動力學模型，常會以無因次水分 $(M-M_e) / (M_i-M_e)$ 此又稱水分比率 (M_r) 和時間 (t) 作圖，而 M 、 M_e 和 M_i 分別為隨著時間變化的乾基水分含量，平衡的的乾基水分含量和起始的乾基水分含量，假設 M_e 是固定值且很小，則水分比率 (M_r) 亦可簡化成 M/M_i ，常用的熱風乾燥動力學模型，包括 Page 模型的 $M_r = \text{EXP}(-kt^n)$ ，Henderson-Pabis 模型的 $M_r = a\text{EXP}(-kt)$ ，Logaritmik 模型的 $M_r = a\text{EXP}(-kt) + b$ ，Midilli 模型的 $M_r =$

$aEXP(-kt^n) + bt$ ，和 Demir 模型的 $Mr = aEXP(-kt)^n + b$ ，其中的 a , b , k , 和 n 都是乾燥常數 (Demir *et al.*, 2007; Chayjan *et al.*, 2015)。

微波乾燥是頻率在 300 MHz-300 GHz 的電磁波，一般在食品方面所使用的頻率為 915 MHz 及 2,450 MHz。當食品放置於微波電場時，會由於食品內的水分極性分子會吸收電磁波，發生激烈的動作而產生熱能。微波加熱以使食品中的水分蒸發，並配合抽氣方式促進水蒸氣散除，此可解決傳統熱風乾燥之熱傳阻礙和避免熱風長時間乾燥所引起的表面硬化，達到快速乾燥之目的 (Zhang *et al.*, 2006)。目前微波乾燥已被應用於不同食品的乾燥研究，例如：巴西里 (Soysal, 2004)、菠菜 (Ozkan *et al.*, 2007)、南瓜片 (Alibas, 2007) 以及香蕉 (Maskan, 2000) 等，這些文獻指出利用微波乾燥可以縮短乾燥時間，亦有較佳的顏色參數。

Chayjan 等 (2015) 研究微波輔助熱風乾燥 40g 山楂 (初始水分含量為 60%)，其中改變熱風溫度、速度和微波功率等操作條件，並使用上述的熱風乾燥常用的動力學公式，比較微波輔助熱風乾燥山楂之過程 Mr 和時間 t 的實驗結果和預測的乾燥動力學的數學模式之相關性，則實驗數據和預測公式的相關性 (R^2) 大都呈現 0.99，增加微波功率可加速乾燥，在低的微波功率下，增加熱風的溫度，有助於縮短乾燥時間時，但若熱風的風速過大，反而容易造成樣品表面硬化，不易水蒸氣的蒸發，反而使乾燥時間增長。

為解決金柑蜜餞乾燥上的問題，陸續的也有人研究不同的乾燥方式，這些方法都能加快其乾燥速度，但都有其侷限性。陳 (1998) 將金柑剪成絲狀以方便其熱傳及質傳的速率，雖然提高了乾燥的速率，但因為完成後的產品並非完整顆粒而影響賣相。陳 (2010) 利用微波輔助熱風進行金柑蜜餞乾燥，此需要先用熱風乾燥到一定的程度後，再導入微波進行後段的乾燥，雖然此已加速乾燥，但仍須考慮熱風乾燥的時間長短，製程上較為繁瑣。鄭和陳 (2017) 利用射頻乾燥解決乾燥問題，射頻乾燥和微波一樣同屬電磁波，且以介電加熱的方式，射頻的頻率介於 1-300 MHz，為避免通訊的干擾，因此特別規定射頻頻率 13.56、27.12 和 40.68MHz 在食品工業、科學和醫療應用上。射頻加熱的原理是利用上下電極板產生正負電的交變的電場，使食品中的極性水分子快速震動和離子快速移動而互相摩擦產生熱能。因此射頻乾燥能夠快速乾燥，使樣品的水分的蒸散是由內而外，因此克服了表面硬化的問題，但必須考慮其初始的水分含量，並為避免他在乾燥過程中溫度過高而產生焦糖化，而需定時將鹹金柑蜜餞取出來散熱，雖然未來配合自動化操作，但製程上也是較為繁瑣。

本研究目的為透過微波加熱技術應用於鹹金柑蜜餞的乾燥，以縮短目前食品工廠費

時耗能的乾燥製程，以增進乾燥效率，並探討乾燥速率及和市售產品的品質分析，進而改善金柑蜜餞工業的乾燥製程。

貳、材料與方法

一、材料

鹹金柑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柑漂水，針刺約 20-30 洞，接著浸泡於 20%糖漬液中進行糖漬作業、瀝乾後金柑蜜餞原料的濕基水分含量分別為 77%，即為本次研究的樣品，而乾燥最終需達到鹹金柑蜜餞商品的水分含量約為 30%。

二、設備

微波乾燥吊籃設備（型號: CF-003A 台灣鏽泰微波設備製造有限公司，台灣）、紅外線溫度計（測量範圍：-20~520°C，型號：TM-300，TENMARS）、烘箱（型號：DCM45，Channel, 台灣）、電子精秤（型號：HDW-15L，衡新計量科技有限公司，台灣）、水活性測定儀（型號：HC2-AW，Rotronic Instruments Ltd, Switzerland）、靜電式電磁驅動均質機（型號：SilcentCrusher M, 友德國際股份有限公司，台灣，）、色差儀（型號：Hunter Lab., Color Flex, USA）、物性測定儀（TA. XT2, Stable Micro System, Surrey, UK）。冷風乾燥機（冷風溫度為 20~45°C，並有氣冷式冷凍機組以乾燥空氣及 10 個不銹鋼乾燥網盤，型號：YK-112RS，主典興業公司，台灣）。

三、試驗方法

1. 鹹金柑蜜餞的水分測定：精秤 3 g 金柑，置於 105°C 的烘箱中乾燥至恆重，計算其水分含量，進行 3 重複。
2. 微波乾燥鹹金柑蜜餞：整粒鹹金柑原料厚度約為 2~3 cm，以 1 kg 重的鹹金柑平鋪於一個長度 22.6 cm，寬度 8.5 cm，高度 4 cm 下方具孔洞的吊籃中，而此微波乾燥機最多可盛放如摩天輪式的三個吊籃。微波功率提高所需乾燥的時間相對也就縮短，此實驗利用 1、2 和 3 kW，三個功率的微波針對 1、2 和 3 kg 的金柑進行乾燥，另外要設定金柑可以容許的最高溫度為 60°C，當金柑達到設定溫度時，即會停止微波加熱，以避免因高溫而造成金柑的接觸點焦化的現象。另外，1 kg 鹹金柑原料亦放入 45°C 冷風乾燥機中，進行乾燥，並定時取出，測量並記錄樣品的重量和溫度。

3. 金柑蜜餞色澤判定：將不同乾燥條件的鹹金柑蜜餞以色差儀測定樣品之 L^* , a^* , b^* 值，分析樣品顏色值，其中 L^* 值代表白度介於 0-100 之間，0 為完全黑色，100 為完全白色； a^* 代表紅綠度，正值為紅，負值為綠； b^* 值代表黃藍度，正值為黃，負值為藍。進行三重複。
4. 金柑蜜餞水活性測定：將樣品用剪刀剪碎後，放入水活性測定儀測定水活性，三重覆後進行計算。
5. 金柑蜜餞硬度測定：使用 P/75 柱型探頭 (P/75 adaptor)，應變為 70%，移動速度為 5 mm/sec，求得之硬度以 N 表示。進行三重複。

四、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、建立微波乾燥鹹金柑蜜餞操作條件

圖 1 是 1 kg 鹹金柑蜜餞微波乾燥曲線，由於微波可提供鹹金柑蜜餞乾燥的能量，故以 1、2 和 3 kW 微波功率施予乾燥，當樣品的水分含量達到乾基水分含量 0.45 kg 水/kg 乾物（濕基水分含量約為 30%）時，其乾燥時間分別需要 150、120 和 80 min，的確隨著微波功率增加而縮短乾燥時間，不過也容易因為功率過高而造成鹹金柑蜜餞的接觸點因溫度過高而燒焦，為了避免這個現象，在施予 2 kW 和 3 kW 微波乾燥時，都必須將樣品拿出來散熱，在此唯獨 1 kW 溫度不會過高，則不需要取出散熱。Ge (2016) 在香蕉切片的微波乾燥利用 700、490 和 350 W 所需的時間分別為 13、18 和 27 min，此亦顯示增加微波的功率會加速乾燥速率，進而縮短乾燥時間。

而本實驗室使用微波乾燥機，只提供抽氣，並無提供熱風輔助，且設備還可設定樣品最高溫度，故先設定微波乾燥時樣品之最高溫度在 60°C，即一旦當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，一直到偵測到樣品的溫度低於的 60°C 時，微波才會再度開啟。由圖 2 的 1 kg 鹹金柑蜜餞微波乾燥之升溫曲線得知 3 kW 會在微波乾燥 30 min 後，樣品的溫度即在 80°C 和 45°C 之間變動，直至乾燥 80 min

使樣品的水分含量達到 30% 為止；而在 2 kW 微波乾燥 70 min 後，樣品的溫度即在 85 °C 和 45 °C 之間變動，直至 120 min 才使乾燥樣品的水分含量達 30% 為止；最後使用 1 kW 微波乾燥鹹金柑蜜餞時，樣品的溫度緩緩上升至乾燥 100 min 才達 74 °C，在乾燥後期樣品的溫度維持在 60 °C 和 70 °C 之間變動，直至乾燥至 150 min 即可使樣品的水分含量達 30%。

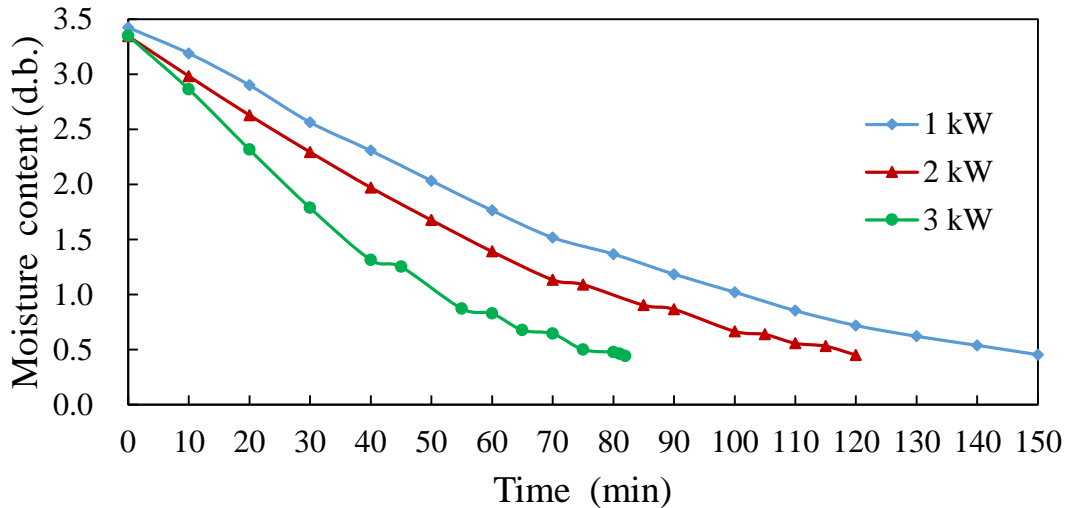


圖 1. 不同功率微波乾燥 1 kg 之鹹金柑蜜餞的乾燥曲線。

Fig. 1. The drying curves of 1 kg salt candied kumquat by microwave with different power at the maximum setting temperature of 60 °C.

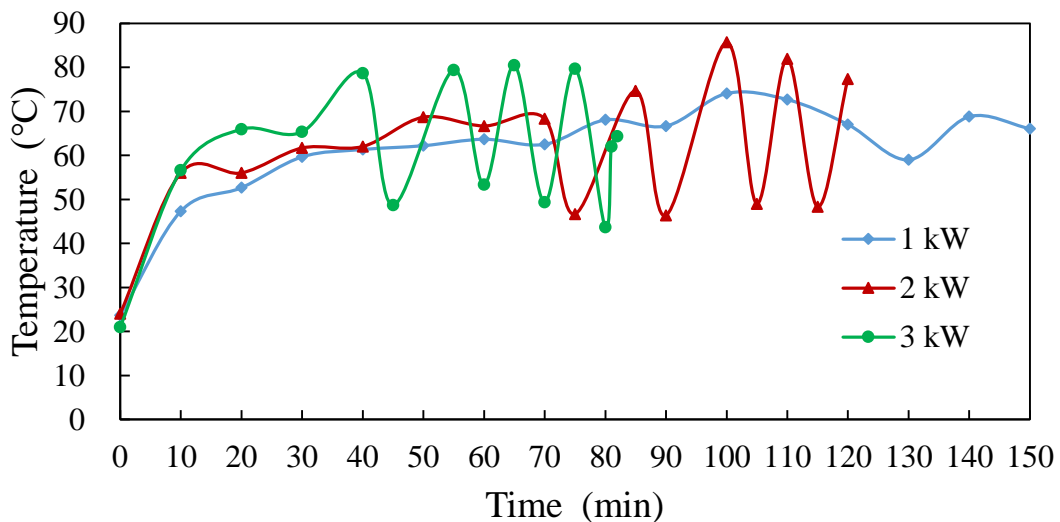


圖 2. 不同功率微波乾燥 1 kg 之鹹金柑蜜餞的升溫曲線。

Fig. 2. The temperature profiles of 1 kg salt candied kumquat by microwave with different power at the maximum setting temperature of 60 °C.

鄭和陳（2017）使用 5 kW 的射頻乾燥，為避免鹹金柑蜜餞的溫度過高，故射頻加熱 4 min 後，即要將鹹金柑蜜餞取出吹風降溫，冷卻 4 min 後再繼續加熱，使溫度不致於高於 60°C 免於焦糖化。本研究使用之微波乾燥機可設定樣品的最高溫度為 60°C，一旦樣品的溫度達到設定最高溫度時，即會停止微波操作以避免品質的裂變，而這段時間只有抽氣的質量傳送，並不再提供微波熱能傳送，故此微波乾燥機的程控設計是更適合鹹金柑蜜餞的乾燥。

此微波乾燥機的操作法也有別於微波輔助熱風乾燥機，因為 Chayjan 等（2015）進行 40 g 山渣的微波輔助熱風乾燥研究，此需要牽涉到微波功率、熱風的溫度和風速三種因素，其中主要的熱傳是以微波為主、熱風為輔，故增加微波功率可大幅縮短乾燥時間，此因為微波可傳至樣品的內部，而使得樣品中的水分子共振生熱而產生水蒸氣，也增加樣品的中心和表面間的蒸氣壓差，增加水分的擴散，可同時改善乾燥時的熱傳和質傳。

在已確定 1 kg 的鹹金柑蜜餞施以 1 kW 的微波乾燥功率並配合樣品之最高溫度設定在 60°C，因為在此溫度下，不致於過高而造成產品變質焦化。若要鹹金柑蜜餞得到較好的微波乾燥效率，可考慮鹹金柑蜜餞的裝載量，使微波功率能持續提供，不致於長時間因樣品的溫度太高，而使微波無法提供熱能，影響乾燥效率。

當增加鹹金柑蜜餞的裝載量時，微波功率輸出即以 1 kW/kg 為原則，由如圖 3 所示微波乾燥 1、2 和 3 kg 鹹金柑蜜餞，將水分含量由 77%降為 30%，則施予微波功率為 1、2 和 3 kW 所需的時間分別為 150、240 和 350 min，以微波乾燥鹹金柑蜜餞時溫度變化是 3 kg，3 kW 較為穩定，可控制樣品的溫度在 60°C 以下，且其操作條件相當於做三次 1 kg、1 kW 的條件，此可以節省乾燥時間 100 min，而其他的微波乾燥操作條件則會使鹹金柑蜜餞的溫度高於 60°C 的情形，此可能要將樣品取出冷卻、降溫，這不只是影響鹹金柑蜜餞的品質，也無法連續輸出微波，此會影響熱傳，進而影響乾燥效能。故在量產的角度考量下，以 3 kg 鹹金柑蜜餞施以 3 kW 為最佳微波乾燥條件。

將 3 kg 鹹金柑蜜餞的水分含量由 50%降低至 30%的產品，以射頻冷風乾燥電極板間距 12 cm 處理，需反覆加熱 4 min 和冷卻 4 min，整體的乾燥操作時間為 160 min，其與 45°C 冷風乾燥及熱風乾燥相比，可節省 58%及 70%的乾燥時間，此因為傳統熱風乾燥中必需要經由回潮才能使水分均勻，因此整體製程上在乾燥的時間就必須花費較長的時間（鄭和陳，2017）。

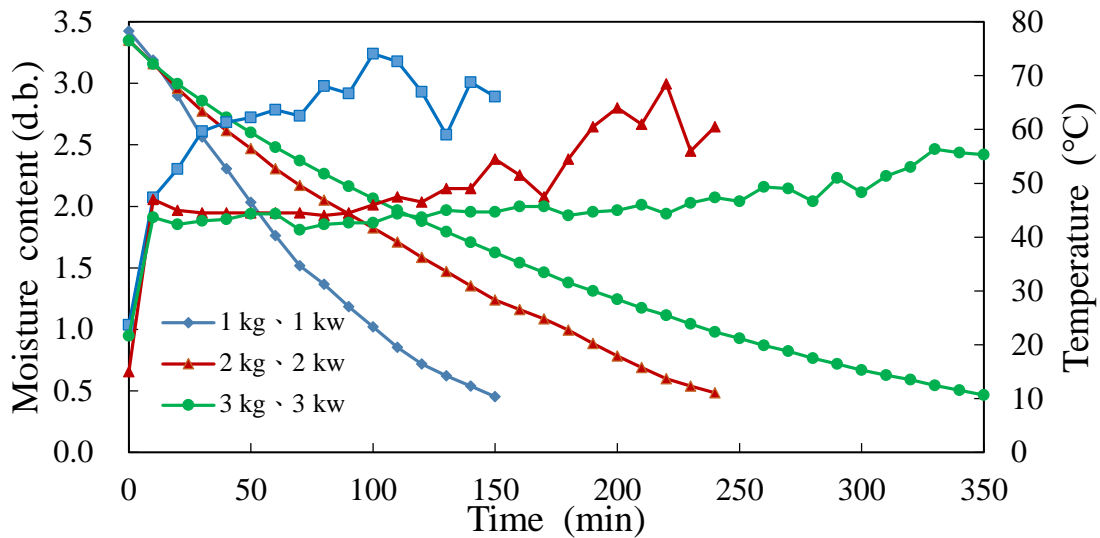


圖 3. 不同裝載量鹹金柑蜜餞在1 kW/kg微波乾燥和溫度曲線。

Fig. 3. The 1 kW/kg microwave drying and temperature curves of different loading of salt candied kumquat.

二、微波乾燥鹹金柑蜜餞的水分蒸散動力學

由於本實驗室的微波乾燥機只有利用微波提供樣品的熱能並克服熱傳障礙，若呈現恒率乾燥期，將重量和時間作圖後的乾燥動力學數學模式將會是 $W = kt + b$ ，其中 k 即為恒率期的乾燥速率， b 為常數，接近初始的重量，此恒率乾燥期的情形會和熱風乾燥及微波輔助熱風乾燥有很大的差異。在微波功率輸出以1 kW/kg為原則，當增加鹹金柑蜜餞的裝載量即會增加微波功率，1、2和3 kg鹹金柑蜜餞分別施予1、2和3 kW微波功率進行微波乾燥，由圖3的乾燥曲線顯示，大都是處於恒率乾燥期，只有在乾燥後期的乾燥速率稍緩，直至產品水分含量所要求的30%。故以微波乾燥過程中的重量(W)變化和時間(t)作圖後，以線性迴歸的公式 $W=kt+b$ ，由表1顯示，三者的相關係數(R^2)分別為0.967、0.984和0.969，還算接近1，而三者的乾燥速率分別為4.659、5.361和5.419 g/min，以此亦可得知以3kg鹹金柑蜜餞施予3 kW微波功率會得到最快的乾燥速率。

表 1. 微波乾燥對鹹金柑蜜餞之乾燥速率和乾燥時間的影響

Table 1. Effect of microwave drying on drying rate and drying time of salt candied kumquats

Drying method	Linear regression equation	R^2	Constant drying rate (g/min)	Drying time (min)
1 kg, 1 kW MW	$y=-4.6592x+979.78$	0.967	4.659	150
2 kg, 2 kW MW	$y=-5.3605x+1879.7$	0.984	5.361	240
3 kg, 3 kW MW	$y=-5.4186x+2726.2$	0.969	5.419	350

圖 4 為 3 kg 鹹金柑蜜餞以 3kW 微波乾燥乾燥需要 350 min，而冷風乾燥的時間則需要 840 min，此可以說明微波乾燥能大幅降低乾燥所需的時間，因為微波乾燥的原理乃是利用電磁波的傳遞使水分子震動摩擦生熱而加速乾燥 (Zhang *et al.*, 2006)，與傳統熱風乾燥的最大不同點為加熱的傳導方式，微波可由食品表面穿透至內部，而非只藉由熱傳導是由外而內，內部產生的水蒸氣會提供食品內部和表面很大的壓力差，加上抽氣系統也會促成有效的質量傳送，因此樣品不致於經過長時間的熱風加熱而造成表面硬化，因而更影響質傳 (Chayjan *et al.*, 2015)，故一般熱風乾燥過程中可分為恆率期和減率期，尤其在減率乾燥期會因乾燥後期的熱傳困難，而使得水分蒸散緩慢。

考慮鹹金柑蜜餞的口感，不希望產品的水分太少而造成質地太硬，最終要求產品的濕基水分含量約為 30% (即為乾基水分含量約為 0.428 g 水/g 乾物)，此並非達到乾燥平衡，故在繪製乾燥曲線時，則以乾燥時間 (t) 和水分比率 (Mr) 作圖，Mr 是以 M/M_i 計算，若依照 $Mr = kt + b$ 的乾燥公式，在圖 4(A) 的微波乾燥的公式為 $Mr = -0.0023t + 0.8806$ ，($R^2=0.9677$)，而冷風乾燥的公式為 $Mr = -0.0001t + 0.8469$ ，($R^2=0.9164$)，由於冷風乾燥的相關係數 (R^2) 只有 0.9164，很顯然地，冷風乾燥並不符合 $Mr = kt + b$ 的恆率乾燥公式，此由於冷風乾燥後期的乾燥速率有趨緩的情形，而無法持續進行恆率乾燥，但由斜率可知微波乾燥速率約為 2 倍冷風乾燥的速率。

由前言所述的乾燥的動力學模型中，選擇 Henderson - Pabis 模型公式 $Mr = aEXP(-kt)$ ，以測試是否符合本實驗的微波和冷風乾數據，在圖 4 (B) 的微波乾燥和冷風乾燥的公式分別為 $Mr = 1.0514EXP(-0.005t)$ ，($R^2=0.9946$) 及 $Mr = 0.9702EXP(-0.002t)$ ，($R^2=0.9962$)，二者的相關係數 (R^2) 已達 0.99 以上，此皆較恆率乾燥期的線性迴歸公式 $Mr = kt + b$ 的更符合實驗結果，此可預估乾燥期間的水分含量變化，及預估達到最終產品的水分含量需求時所耗費的時間。

三、比較微波乾燥與市售熱風乾燥鹹金柑蜜餞之品質

從表 2 中可以觀察到鹹金柑蜜餞的水分含量為 31% 和市售的熱風乾燥金柑 31% 無顯著性的差異，水活性的部分經微波乾燥後的水活性為 0.658 略低於市售熱風乾燥的 0.704，此已達到儲藏食品水活性的標準。在硬度方面，經微波乾燥後的鹹金柑蜜餞為 17.36 N，低於市售熱風乾燥的 21.73 N，此可以說明經微波乾燥後的金柑口感較市售熱風金柑軟，因為微波乾燥時，樣品中的水分由內而外快速蒸散，而可能造成膨化的情形，但使用熱風乾燥常發生表層硬化和樣品縮小的情形，由相片亦可得知微波乾燥的鹹金柑蜜餞顆粒較大。

在顏色方面，從亮度值中發現利用微波乾燥的金柑蜜餞為 30.28 略高於熱風乾燥的 30.04，因此由於經微波乾燥時間較短，所以鹹金柑較市售產品較為明亮。陳（2010）微波輔助熱風對金柑的乾燥上也有相同的現象，利用微波輔助熱風對金柑乾燥可以提升其亮度值。在 Soysal（2004）微波乾燥巴西里葉片的研究當中也有提到，微波乾燥對於顏色的破壞較小。故使用微波乾燥鹹金柑蜜餞可大幅縮短乾燥時間，且在產品的品質上也可以提升。

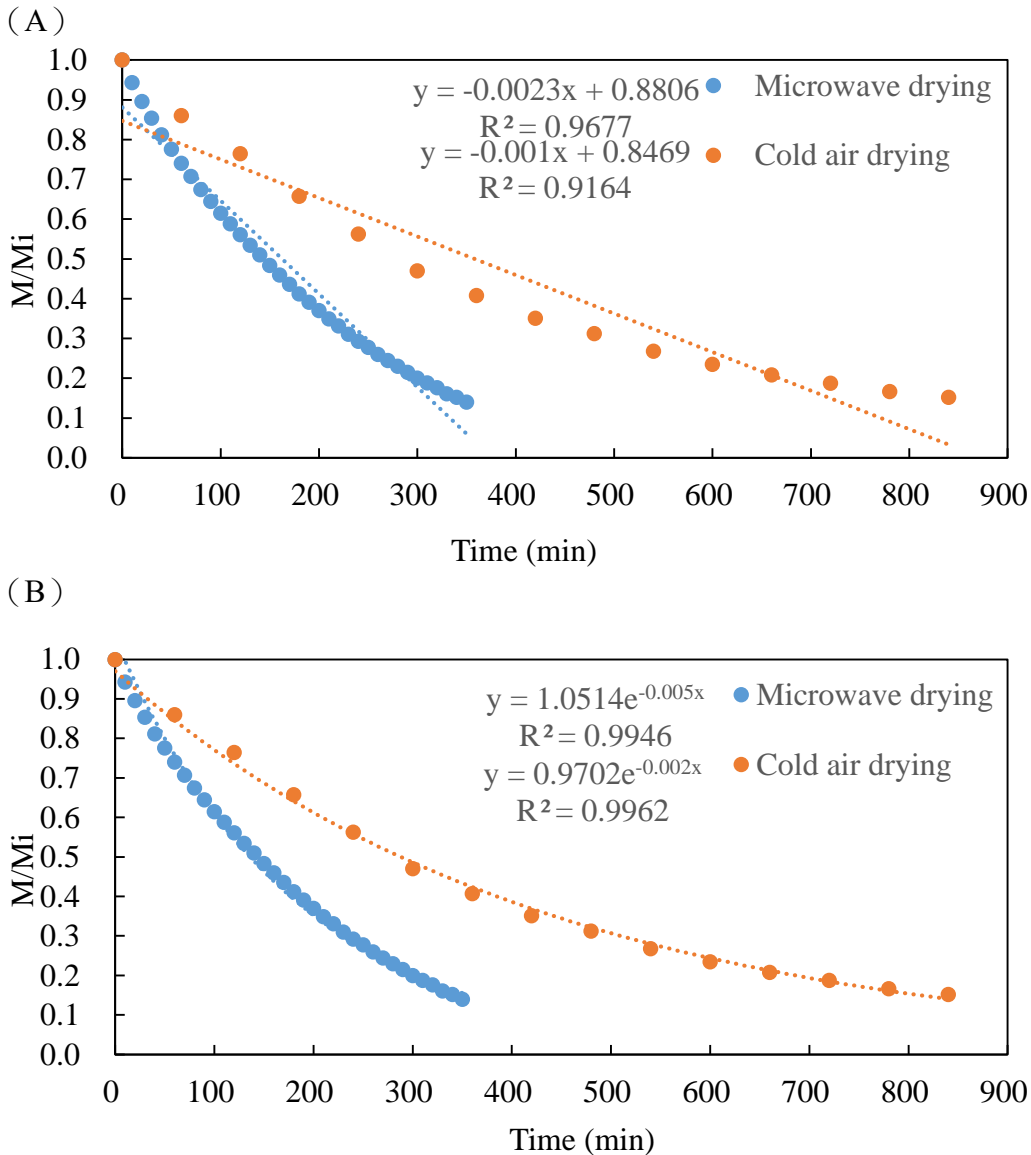




圖 4. 鹹金柑蜜餞之微波和冷風之乾燥曲線和預測乾燥動力學。線性迴歸： $M_r = kt+b$ ，(B) Henderson – Pabis 模型公式： $M_r = aEXP(-kt)$ 。
 Fig. 4. Drying curves and drying kinetics of salt candied kumquats by 3 kW microwave drying and 45°C cold air drying. (A) Linear regression: $M_r=kt+b$, (B) Henderson - Pabis Model: $M_r = aEXP(-kt)$.

表 2. 微波乾燥和市售鹹金柑蜜餞之品質分析和相片

Table 2. Quality analyses and pictures of microwave dried and commercial salt candied kumquat

Drying method	Microwave drying	Hot air drying (commercial)
Moisture (%)	31±1.37	31±0.28
Water activity	0.658±0.009	0.704 ±0.007*
Hardness (N)	17.36 ±6.33	21.73 ±3.79
L*	30.28 ±0.64	30.04 ±0.22
a*	20.36 ±0.86*	17.35 ±1.15
b*	43.69 ±1.02	50.74±0.68*
Picture		

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

肆、結 論

3 kg 鹹金柑蜜餞經 3 kW 微波乾燥分別只要 350 min 為最佳微波乾燥條件，比起傳統的熱風乾燥已經大幅降低乾燥所需的時間，增加微波的功率會加速乾燥，但會造成樣品過熱的情形，故以 1 kW/kg 為最佳的微波乾燥條件，且可以在三個乾燥盤中各裝載 1 kg 的鹹金柑蜜餞。在乾燥動力學部分，微波乾燥尚可符合恒率乾燥，在設定樣品最高溫度為 60°C 下，以 3 kg 鹹金柑蜜餞以 3 kW 微波的操作條件可獲得較高的乾燥速率。但微波乾燥和冷風乾燥的水分比率變化動力學則皆符合 Henderson - Pabis 乾燥公式 $Mr = aEXP(-kt)$ ，相關係數 (R^2) 高達 0.99 以上。分析比較微波乾燥鹹金柑蜜餞和市售熱風乾燥鹹金柑蜜餞產品的品質，使用微波乾燥鹹金柑蜜餞在水活性較市售產品低，在硬度方面較市售為軟，在顏色方面都較市售產品的明亮度高。故微波乾燥可以大幅提升金柑蜜餞乾燥的速度，達到省時節能之效果，並提高品質。

致 謝

本研究感謝旭工實業有限公司之鹹金柑蜜餞原料提供，使本試驗得以順利完成，特此致謝。

參考文獻

- 邱坤偉、洪桂彬、陳華偉、陳怡華、賴昆謙。2012。宜蘭金棗萃取物之清除自由基研究。美容科技學刊 9：131-139。
- 陳淑德、蕭文卿、洪美芳、陳輝煌。1998。絲狀鹹金柑蜜餞的研製和品評。宜蘭技術學報 1：19-25。
- 陳昫寧。2010。微波輔助熱風乾燥處理金棗蜜餞製程能源效能與其產品品質之影響。國立宜蘭大學食品科學系碩士學位論文。宜蘭。台灣。
- 陳素瓊、張允瓊。2012。宜蘭地區金柑產銷現況調查與分析。宜蘭大學生物資源學刊 8：59-62。
- 陳彥甫。2007。蜜餞加工製程之探討。輔仁大學食品科學系碩士學位論文。台北。台灣。
- 黃麗君、萬鍾汶、陳思瑋。2012。金棗鮮食推廣之消費者區隔分析—以宜蘭金棗產業為例。農林學報 61：17-36。
- 劉維敏。1992。蜜餞。園產處理與加工，pp. 204-215。台北。
- 鄭皓謙。2017。射頻乾燥和高壓加工在金棗蜜餞之研究。國立宜蘭大學食品科學系碩士學位論文。宜蘭。台灣。
- 鄭皓謙、陳淑德。2017。射頻熱風乾燥在鹹金棗蜜餞之研究。台灣農業化學與食品科學 55：165-174。
- Alibas, I. 2007. Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices. Food Sci. Technol. 40: 1445-1451.
- Chayjan, R. A., M. Haveh, and S. Khayati. 2015. Modeling drying characteristics of hawthorn fruit under microwave-convective conditions. J. Food Process. Pres. 39: 239-253.
- Demir, V., T. Gunhan, and A. K. Yagcioglu. 2007. Mathematical modelling of convection drying of green table olives. Biosyst. Eng. 98: 47-53.
- Ge, X. F. 2016. An experimental study on banana slice drying by microwave. Adv. J. Food Sci. Technol. 11: 827-831.
- Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. J. Food Eng. 44: 71-78.

- Marey, S., and M. Shoughy. 2016. Effect of temperature on the drying behavior and quality of citrus peels. *Int. J. Food Eng.* 12: 661-671.
- Marra, F., L. Zhang, and L. G. Lyng. 2009. Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances. *J. Food Eng.* 91: 497-508.
- Ozkan, I. A., B. Akbudak, and N. Akbudak. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. *J. Food Eng.* 78: 577-583.
- Soysal, Y. 2004. Microwave drying characteristics of parsley. *Biosyst. Eng.* 89: 167-173.
- Schirra, M., A. Palma, S. D'Aquino, A. Angioni, E.V. Minello, M. Melis, and P. Cabras. 2008. Influence of postharvest hot water treatment on nutritional and functional properties of kumquat (*Fortunella japonica* Lour. Swingle Cv. Ovale) fruit. *J. Agri. Food Chem.* 56: 455-460.
- Zhang, M., J. Tang, A. S. Mujumdar, and S. Wang. 2006. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends Food Sci. Tech.* 17: 524-534.

108年 10月 21日 投稿
108年 12月 12日 接受