

射頻加熱對米穀粉殺蟲及殺菌之影響

李育祈¹ 陳淑德^{2*} 姚美吉³

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

³行政院農委會農業試驗所應用動物組

米穀粉可以取代麵粉以增加稻米之利用率和加工多元化。本研究之目的為利用射頻加熱以達到米穀粉之殺蟲和殺菌效果，進而提升米穀粉的食品衛生安全的水平。結果顯示射頻輸出功率處理包裝米穀粉受到射頻電極板間距和裝載量影響，射頻電極板間距愈小或米穀粉的重量愈大則輸出功率愈大，米穀粉的溫度會隨射頻處理的時間增加而提升，殺蟲和殺菌的溫度需約達 60°C 和 100°C。4.5 kg 的在來米穀粉和蓬萊米穀粉在射頻電極間距 16 cm 下，處理 120 s，米象死亡率即可達 100%，處理 300 s 後滅菌率可達 100%，且對其外觀無明顯影響。

關鍵字：米穀粉，射頻，殺蟲，殺菌

1 **Effects of Radio Frequency Heating on Disinfestation and**
2 **Pasteurization of Rice Flour**

3 Yuchi Li¹ Su-Der Chen*² Me-Chi Yao³

4 ¹*College of Bioresources National Ilan University, Ilan, Taiwan, 260*

5 ²*Department of Food Science, National Ilan University, Ilan, Taiwan, 260*

6 ³*Applied Zoology Division, Agricultural Research Institute, Council of*
7 *Agriculture, Taichung, Taiwan 413*

8
9 Rice flour can replace wheat flour to increase the utilization of rice and
10 to improve rice processing diversification. The objective of this study was
11 the application of radio frequency (RF) heating for disinfestation and
12 pasteurization of rice flour to enhance the level of hygiene and safety of rice
13 flour. The results showed that the RF output power was influenced by RF
14 electrode gap and weight. The smaller RF electrode gap and larger rice flour
15 loading had higher RF power output. The temperature of rice flour increased
16 with increasing RF heating time. The temperatures of rice flour for
17 disinfestation and pasteurization must be about 60 °C and 100 °C ,
18 respectively. 4.5 kg indica and japonica rice flours placed in RF with 16 cm
19 electrode gap required 120 s and 300 s to obtain 100% mortality of
20 *Sitophilus oryzae* and 100% lethality, respectively; there was no significant
21 difference on the appearance of rice flour.

22 **Keywords** : Rice flour, Radio frequency, Mortality, Pasteurization

23 * Corresponding author E-mail: sdchen@niu.edu.tw

24

前言

1
2 稻米在倉儲、加工、成品儲藏、銷售過程中常會受到米穀害蟲的侵
3 擾，不但困擾著農糧單位、糧商業者，同時也造成消費者在食用上的疑
4 慮。目前在台灣常見的米穀害蟲中以穀蠹及米象為主，麥蛾、外米綴蛾
5 次之。⁽¹⁾米象 (*Sitophilus oryzae* L.) 具有四個世代，包括：成蟲→蟲卵
6 →幼蟲→蛹，而其對熱的敏感性依大小順序為卵、幼蟲、蛹、成蟲，所
7 以在殺蟲處理時應以對熱耐受力最強之成蟲的蟲態作為殺蟲目標。米象
8 年發生 8 世代，1 世代約 20~50 日，發育受溫度和濕度影響較明顯，在
9 27.2°C 時米象每世代需 25 天，在 17°C 時需 92 天，在 13°C 時成蟲幾乎呈
10 現不活動狀態，若溫度降低到 9.5°C 時，則停止產卵；在相對濕度上，
11 若高於 80% 以上，繁殖加速，若低於 60%，則發育漸緩，呈不活潑狀。
12 成蟲以口器將糙米或白米嚙成深孔，轉身產卵孔內，一般 1 粒穀粒 1 卵，
13 但視穀粒大小而異，亦有多卵於稻穀中。幼蟲自孵化後，即向穀粒取食，
14 蛀穿成彎曲隧道，漸次嚙成空洞，排蟲糞於穀粒外。

15 目前常用的防蟲處理方法有化學燻蒸法（磷化氫、磷化鋁、溴化甲
16 烷燻蒸法）、輻射（ γ -射線處理）法、燈光誘殺法、低溫處理法、包裝
17 真空/氣體置換法。化學燻蒸法是最有效益的一種殺蟲方法，但所使用的
18 藥劑毒性強且對包裝、載具有腐蝕性，使用上存在一定的疑慮；冷藏（10

1 °C)方法，冷藏是無法殺死米蟲及蟲卵，只能延緩蟲卵的孵化；冷凍(-20
2 °C)方法，在處理6小時後可以殺滅米蟲及蟲卵，但冷凍需要很大的設
3 備空間、處理時間及成本費用，且產品會回潮等問題。包裝真空/氣體置
4 換方法，也可以有效防治米蟲的生長，但因真空袋洩氣或拆袋後蟲卵仍
5 會有孵化的可能，而無法達百分之百的效果。(2)

6 微波和射頻皆為電磁波，其加熱方式為介電加熱，其加熱原理是在
7 電磁場的作用下，食品內的極性水分子旋轉振動摩擦與離子快速移動而
8 生熱，故此為食品整體加熱，且可在內部迅速加熱，此可克服熱傳障礙
9 且使加熱更加均勻。Zhao 等人(3)利用連續式工業級規模的微波爐裝置，
10 以 2450 MHz 的頻率，加熱處理稻米之米象害蟲，當加熱到 55°C 和 54°C
11 以上時成蟲和蟲卵的死亡率可達到 100%。王等人(4)曾利用微波加熱殺
12 死米象蟲，但並不影響小麥發芽率。

13 射頻的頻率範圍是 1~300 MHz，美國聯邦通訊委員會(FCC)分配
14 給科學、工業所使用的頻率為：13.56 MHz、27.12 MHz 和 40.68 MHz
15 三種頻率，射頻加熱是介電加熱，將食品置於平行的電極板中間，食品
16 內的極性水分子旋轉振動摩擦與離子快速移動而迅速且均勻升溫，有別
17 於傳統熱傳導是由食品的表面，再傳於食品內部。且和微波相比較，由
18 於微波的頻率為 2450 MHz，穿透深度只有 2~3 cm，射頻的頻率較小，

1 故加熱食品的穿透深度比微波加熱食品的穿透深度高出約 10 倍的深度
2 (5)。故微波加熱殺米蟲，只能將米散裝利用管式運輸過程中加熱，但射
3 頻可以快速將包裝米加熱。黃和陳(6)利用射頻加熱 1 min 可使 2 kg 的真
4 空包裝精白米和糙米的溫度高達 60°C 且可達 100% 米象殺死率，且控制
5 組和射頻加熱組的食味值和米飯在嗜好性品評無顯著差異。故微波、射
6 頻加熱具有良好的穿透性，被認為是安全和具有競爭力的化學燻蒸替代
7 方法；以射頻加熱，穀類的溫度到達 60°C 時，即可達到殺蟲的效果卻不
8 破壞穀類的品質(7)。另外 Wang 等人(8)以工業級的射頻加熱處理核桃之殺
9 蟲，亦有將射頻加熱應用於水果的檢疫殺蟲，如：蘋果(9, 10 & 11)及油桃(12)。

10 農委會推廣在地米食以求增加稻米食用量，發展研磨技術生產米穀
11 粉，並取代部分的麵粉以製備烘焙產品(13)。然而基於價錢考量，米穀粉
12 大都是由公糧和碎粒白米乾磨而成，然而公糧儲放的環境條件因各地農
13 會的設備不同而可能存在蟲卵或受潮，蟲卵會孵化為成蟲米及受潮會造
14 成生菌數升高，在儲藏、販售時因時間的長短而造成品質下降，無法符
15 合食品衛生安全的生菌數標準。因此，迫切需要開發新的控制米穀品質
16 安全的方法。

17 基於米穀粉的售價高於麵粉，故大部分的米穀粉會以儲藏一年以上
18 的公糧為原料，然而公糧儲存條件優劣不一，不但有米蟲問題甚至有微

1 生物過高的問題。故本研究將建立射頻加熱米穀粉及殺米蟲、殺菌的操
2 作條件。分析射頻加熱處理後米穀粉的米蟲數量、生菌數和品質及評估
3 儲藏後射頻及未處理的米穀粉的米蟲數量、生菌數和品質。

4 材料與方法

5 一、材料

6 本次使用的米穀粉分別有屏東農產 30 kg 袋裝的再來米粉及聯華 20
7 kg 袋裝的蓬萊米粉。

8 米象成蟲 (*Sitophilus oryzae*)：行政院農業委員會農業試驗所應用動
9 物組助理研究員姚美吉博士提供。

10 二、設備

11 射頻加熱設備：最大輸出功率 5 kW，頻率 40.68 MHz，220 V (益大
12 生技公司)；溫度計：電子式、紅外線 (TENMARS，型號：TM-300)；
13 恆溫保溫箱：YOUNG CHENN (型號：HG-70)；色差儀：(Hunter L.A.B
14 Color Flex, America)；電子天平：B602-S (Mettler Toledo, Switzerland)；
15 快速黏度分析儀：(TecMaser RVA, Newport Scientific Pty. Ltd.
16 Australia)；生菌數指示劑-MW504 (穗滿企業股份有限公司) / 3M™
17 Petrifilm™總生菌數快檢片。

18 三、試驗方法

1 1、電極板間距與輸出功率的關係

2 以不同重量的米穀粉在射頻電極板間距 5~24 cm 之間，分別使用不
3 同的電極板間距以作為處理操作條件。每一個電極板間距下每次加熱處
4 理時間以 15~30 s 間隔進行，以測試出射頻設備的不同輸出功率，分別
5 記錄其輸出電流 (A)，並計算功率 (kW) 為 $3.125 \times \text{電流 (A)}$ ，此為可
6 記錄的射頻輸出功率 (kW)。

7 2、電極板間距與米穀粉溫度的關係 (升溫曲線)

8 分別以不同重量之米穀粉作為樣品，在 5~24 cm 不同的電極板間距
9 下，射頻處理時間以 15~30 s 間隔等操作條件下，在射頻處理後，分別
10 以紅外線測溫計測量樣品包裝米穀粉的表面溫度並記錄，而測量米穀粉
11 溫度則以包裝袋上所畫定之九宮格 (5 點) 為測量點，最終米穀粉的溫
12 度是由 5 個測量點的平均值來表示。

13 3、射頻處理米穀粉對米象成蟲及生菌數的關係

14 將每包米穀粉樣品都放入米象成蟲 20 隻，然後置於射頻電極板間
15 分別給予不同射頻時間加熱處理，然後分別測量和記錄米穀粉樣品五點
16 測量點的溫度，並求其平均溫度，並將經過射頻加熱處理的米穀粉以篩
17 網篩出米象成蟲，同時記錄米象成蟲的死亡數量及存活數量，分析射頻

1 加熱處理時間與米穀粉平均溫度對米象致死率的影響，並據以建立射頻
2 加熱處理殺滅米象成蟲的致死操作條件。

3 將每包米穀粉樣品都放在電極板間隙為 5~16 *cm* 下，分別給予不同
4 射頻處理時間，然後分別測量和記錄米穀粉樣品五點測量點的溫度並求
5 其平均溫度。並將經過射頻加熱的米穀粉取 25 g 加 225 mL 無菌水均質，
6 以 3M™ Petrifilm™ 總生菌數快檢片檢測總生菌數，分析射頻加熱時間與
7 米穀粉平均溫度對生菌數的影響，以建立射頻加熱處理殺滅生菌的致死
8 操作條件。

9 4、射頻處理後儲藏期間的米穀粉顏色檢測

10 將每包米穀粉樣品在射頻加熱處理時間為 0 *s* (控制組，未處理)，
11 0~300 *s* 不同射頻加熱處理時間，射頻處理後，分別測量樣品溫度並記
12 錄，最終米穀粉溫度由 5 個測量點的平均值來計算。將不同射頻加熱時
13 間處理後的樣品在 37°C 的加速儲藏試驗儲藏三週，每週取樣進行顏色分
14 析。

15 取 15~20 g 的米穀粉樣品，以色差儀 (Hunter L.A.B Color Flex) 進
16 行測定，分析樣品米顏色值的變化，就各種不同處理樣品稻米的 L*，a*，
17 b* 值進行測定，並於測定後分別記錄及比較分析，3 次重複取平均值表

1 示。測試前需以標準色校正。L*值為明暗度：100 為最亮，0 為最暗；
2 a*值為紅色度：正為紅，0 為灰，負為綠；b*值為黃色度：正為黃，0
3 為灰，負為藍。

4 5、黏度檢測

5 取 3 g 米穀粉樣品中加水 25 mL，以快速黏度分析儀進行測定，分析
6 樣品黏度曲線的變化，並於測定後分別記錄及比較分析，3 次重複取平
7 均值表示。

8 使用快速糊化黏度測定儀(rapid visco-analyzer; RVA)測定米穀粉末的
9 糊化特性時，懸浮於水中的白米粉末於攪拌加熱後，隨著糊化程度的提
10 高黏度也上昇，達到最高黏度後，在 93°C 保溫數分鐘後，已膨潤糊化的
11 澱粉粒再因持續的攪拌而分解破裂，導致黏度的降低，產生所謂的最低
12 黏度及破裂黏度（最高黏度減去最低黏度之差值）。接著在一定的速度
13 下逐漸冷卻後，已糊化之澱粉分子彼此之間以氫鍵結合而老化，黏度也
14 再次上升，即產生所謂的最終黏度及回昇黏度（最終黏度減去最低黏度
15 之差值）。

16 6、統計分析

17 試驗結果三重複，並以平均值 \pm 標準偏差表示，所得之數據使用

1 Statistical Package for Social Science (SPSS, SPSS INC. 宏德國際軟體諮
2 詢顧問股份有限公司) 17.0 統計套裝軟體進行統計分析，以多元全距檢
3 定分析(Duncan's Multiple Range Test)，以顯著水準為 $\alpha = 0.05$ ，比較其差
4 異之顯著性。

5 結果與討論

6 一、射頻處理米穀粉的操作條件及升溫速率

7 由於在射頻加熱米穀粉時，包裝的米穀粉是置於射頻兩個電極板中
8 間，故射頻電極板的間距、米穀粉的裝載量都會影響射頻的輸出功率，
9 進而影響射頻處理米穀粉的升溫速度。圖一為不同裝載量的蓬萊米穀粉
10 在不同射頻電極板間距下的輸出功率，三種裝載量分別是 2 kg、4 kg 和
11 6 kg 蓬萊米穀粉，其射頻的輸出功率分別為 2.50~1.72 kW、3.28~2.5 kW
12 和 3.75~2.97 kW，故射頻的功率隨裝載量增加而呈現正相關的現象，此
13 有別於其他加熱方式，因為當米穀粉的裝載量為 2、4 和 6 kg，其厚度也
14 逐漸增加，分別為 3、6.5 和 10 cm，但射頻輸出功率反而增加，故此可
15 明顯克服熱傳導的熱傳阻力，亦可克服在微波加熱的穿透深度⁽⁵⁾，因為
16 射頻的頻率較 2450 MHz 的微波為小，穿透深度加大，更適合量產的殺
17 米蟲操作。

1 黃和陳⁽⁶⁾以射頻進行包裝精白米和糙米的殺蟲，射頻加熱處理樣品
2 是在同樣厚度下，使用不同射頻電極板間距處理，亦是兩個電極板間距
3 愈小則射頻輸出功率會愈大，故射頻的電極板間距與射頻的輸出功率是
4 呈現負相關。

5 圖二為射頻電極板間距在 6 cm 下處理 2 kg 蓬萊米及再來米穀粉的升
6 溫曲線，再來米穀粉及蓬萊米穀粉經射頻處理 30 s 後溫度分別為 42.9
7 °C、41.8°C，處理 60 s 米穀粉的温度可達到 53.3°C、54.3°C 完全殺滅米
8 蟲的溫度，再來米及蓬萊米的裝載量為 2 kg 米穀粉持續加熱 135 s，溫
9 度可到達至 78.9°C 及 88.6°C，且在外觀上顏色上無明顯的差別。圖三為
10 射頻電極板間距在 16 cm 下處理 4.5 kg 蓬萊米及再來米穀粉的升溫曲
11 線，4.5 kg 裝的再來米穀粉於 30 s 時米穀粉的溫度為 44.9°C、60 s 為
12 54.9°C，持續加熱至 270 s 溫度可達到 102°C、300 s 時可到達 105.6°C，
13 米穀粉的溫度會隨加熱時間而升高。米穀粉裝載量為 2 kg 和 4.5 kg 在 60
14 s 時皆可到達殺滅米蟲溫度。故由圖二及圖三得知只要不超過射頻設備
15 的負荷，在適當的射頻電極板間距下操作，即使不同裝載量及米穀粉種
16 類亦可達到同樣的升溫效果。

17 二、射頻處理時間對米象成蟲致死率及菌數的影響

1 圖四和圖五分別為射頻處理時間對 4.5 kg 蓬萊米穀粉和再來米穀粉
2 的殺蟲率及溫度變化，4.5 kg 裝量米穀粉以射頻處理處理 60 s，米穀粉
3 溫度達到 54.2°C 及 54.4°C，但殺滅米象的成蟲蓬萊米穀粉及再來米穀粉
4 僅為 30% 及 35%，仍無法完成殺滅米象的成蟲，需以射頻處理 120 s 才
5 能完成將米象的成蟲 100% 完全殺滅。

6 在黃和陳⁽⁶⁾的研究指出 2 kg 真空包裝白米以射頻處理 30 s 時米象害
7 蟲死亡率為 75%，處理時間加至 50 s 時米象害蟲死亡率可達到 98% 以
8 上，加熱至 60 s 時可完全殺滅米象害蟲，其溫度僅 62°C，且對白米的品
9 質、食味值並無明顯的影響。此次 4.5 kg 的米穀粉需要 120 s 才能完成
10 100% 殺蟲率，明顯較黃和陳⁽⁶⁾射頻處理 2 kg 精白米只需 60 s 即可達到
11 100% 殺蟲率的處理時間為長，此和裝載量增加，但亦可能和射頻電極的
12 間距不夠窄，造成射頻輸出功率還不夠高有關。射頻加熱方式與微波相
13 同皆以內部先升溫後，藉由傳導來讓整體升溫，會影響升溫速度，需較
14 長的時間才可達到殺滅米象蟲的溫度，若要改善此情形可考慮攪拌使整
15 體可均勻升溫或調窄射頻電極板間距，以減少殺滅米象的成蟲的時間。

16 Wang 等⁽⁹⁾經過射頻加熱處理後，最終堅果核仁的溫度與殺滅害蟲死
17 亡率的關係，稱之為熱-死亡-時間曲線 (TDT)，此係在一個密閉射頻加
18 熱系統，樣本以完全殺滅最耐熱生命階段的 600 隻第 5 齡的幼蟲。故當

1 最終堅果核仁的溫度達 54°C 時完全殺滅目標蟲只需時約 1 *min*，但當最
2 終堅果核仁的溫度只達 48°C 時完全殺滅目標蟲就需時 50 *min*，此亦說明
3 若是尚未達到蟲體死滅的溫度，需很長的加熱時間。

4 從 Zhao 等⁽³⁾研究指出微波能源消耗從 0.015 提高到 0.018 *kwh/kg* 時，
5 米象的成蟲和蟲卵的死亡率會急劇增加。分別地達到百分之百的成蟲和
6 蟲卵死亡率時，能源消耗是需超過 0.017 及 0.016 *kwh/kg* 以上。當達 100
7 %死亡率時，蟲卵的能源消耗量是低於成蟲的，表示蟲卵是較容易殺
8 死，即是若能將成蟲殺死必能使蟲卵殺死，此可避免儲存期間蟲卵的孵
9 化。

10 圖六為射頻處理時間對 2 *kg* 蓬萊米穀粉對生菌數和溫度的影響，由
11 於 2 *kg* 蓬萊米穀粉的包裝厚度為 3 *cm*，在射頻電極板間距 6 *cm* 下，加
12 熱處理時間 0~165 *s*，隨著射頻處理時間的增加，米穀粉的溫度隨之增
13 加，而且生菌數亦隨之下降；當射頻加熱處理時間為 150 *s* 時，平均溫
14 度達 98.4°C，而菌量由 75 *CFU/g* 降至 30 *CFU/g*。但當射頻加熱處理時
15 間為 165 *s* 時，米穀粉的平均溫度達 97.6°C，已保持在 100°C 左右，無法
16 再迅速升溫，以 3M™Petrifilm™總生菌數快檢片檢測總生菌數，未檢測
17 出生菌數，達到米穀粉殺菌的效果。

1 圖七為射頻處理時間對 4.5 kg 再來米穀粉對總生菌和溫度的影響，
2 由於 4.5 kg 再來米穀粉的包裝厚度為 15 cm，在電極板間隙 16 cm 下，以
3 不同的射頻加熱處理時間 0~300 s，隨著射頻處理時間的增加，米穀粉的
4 溫度隨之增加，而且殺菌率亦隨之增加；當射頻加熱處理時間為 180 s
5 時，平均溫度達 96.7°C，而菌量由 90 CFU/g 降至 10 CFU/g。射頻加熱
6 處理時間為 240 s 時，米穀粉的平均溫度可達 105.6°C，而菌量降至 7
7 CFU/g，至 300 s 時溫度達 105.6°C，以 3M™ Petrifilm™ 總生菌數快檢片
8 檢測總生菌數，未檢測出生菌數。在此兩種不同裝載量的米穀粉，以 4.5
9 kg 裝米穀粉在升溫及降低生菌所需時間較 2 kg 裝米穀粉長，主要是因為
10 4.5 kg 裝米穀粉厚度加大，熱傳需較長時間才能達到平衡，射頻加熱時
11 間與米穀粉的生菌數量是呈負相關性，故射頻處理可作為減少米穀粉生
12 菌量的加工技術。

13 由圖六的射頻處理 2 kg 米穀粉至 150 s 的升溫曲線，進一步分析其
14 線性迴歸方程式為 $T=0.493t+28.51$ ($R^2=0.980$)，表示其升溫速率為 0.493
15 °C/s，以此方程式可以預估射頻加熱 2 kg 米穀粉達到 100°C 殺菌效果至
16 少需要 145 s。另外由圖七射頻處理 4.5 kg 米穀粉至 240 s 的升溫曲線，
17 進一步分析其線性迴歸方程式為 $T=0.316t+37.03$ ($R^2=0.953$)，其升溫速
18 率比 2 kg 時降低，只為 0.316 °C/s，以此方程式可以預估射頻加熱 4.5 kg

1 米穀粉達到 100°C 殺菌的效果，至少需要 199 s。但由於米穀粉的溫度分
2 布仍有稍許不太一樣，尤其在裝載量增加時，且接近 100°C 的後段加熱
3 之米穀粉升溫速度也趨緩，此由於部分米穀粉中的水分已吸熱蒸發，作
4 為潛熱，而沒有持續升溫，故可能還要增加處理時間才能達成 100% 殺
5 菌率。

6 三、射頻處理對米穀粉的品质影響

7 4.5 kg 裝再來米穀粉和蓬萊米穀粉，在射頻電極板間距 16 cm 下，以
8 三種不同的射頻加熱處理時間 (0 s = 控制組，未處理、150 s、300 s)，
9 表一為不同射頻處理時間對再來米穀粉品質之影響，射頻加熱時間愈長
10 會造成米穀粉的水分散失，在處理組 (經射頻加熱處理 150 s、300 s)
11 與控制組 (未處理) 之間對米穀粉的顏色，黃色度會稍微增加，但 L*，
12 a*，b* 值並無顯著性差異。

13 另一方面，過高的加熱溫度及過長的加熱時間會影響澱粉的糊化溫
14 度和黏度波峰的呈現，但這也可能與研磨方法破壞澱粉晶體結構顆粒有
15 關⁽¹⁴⁾，澱粉的糊化特性可利用快速黏度分析儀(RVA)所測得⁽¹⁵⁾。表二為
16 射頻處理 0、150 和 300 s 對 4.5 kg 再來米穀粉之糊化特性的影響，對照
17 組再來米穀粉最大黏度為 2,554 cp、最低黏度為 1,937 cp、最終黏度為
18 3,962 cp，其破裂黏度及回凝黏度分別為 617 cp 及 2,025 cp；再來米穀粉

1 經射頻處理 300 s 後，其最大黏度為 2,752 cp、最低黏度為 2,065 cp、最
2 終黏度為 4,287 cp，其破裂黏度及回凝黏度分別為 687 cp 及 2,222 cp，
3 二者相比較其差距並不大，故經由射頻處理過的米穀粉的糊化特性並
4 不受影響。

5 為加速得知儲藏對米穀粉品質的影響，特地將射頻處理米穀粉置於
6 37°C 下儲藏，表三及表四分別是射頻處理 300 s 後在 37°C 下儲藏對再來
7 米和蓬萊米米穀粉品質之影響，以射頻處理 300 s 後經 21 天儲藏其顏色
8 $L^*a^*b^*$ 與剛經過射頻處理後的值並無明顯差異，由此確認米穀粉經過射
9 頻處理後品質不會因儲藏時間的增長而有明顯變化。

10 在黃和陳⁽⁶⁾以射頻處理精白米，在儲存 180 天後經射頻處理的精白
11 米的色值與未處理並無明顯差異、糊化特性的各項測定上都沒有顯著性
12 差異；在精白米在儲存 180 天後蛋白質含量有增加、直鏈澱粉含量則為
13 下降的趨勢，但此變化與為白米在儲藏的正常變化並非是因射頻處理所
14 造成。

15 結 論

16 米穀粉裝載量及射頻電極板間距皆會影響射頻輸出功率及升溫速
17 率，米穀粉裝載量增加，射頻升溫速率會較慢，米穀粉的溫度會隨射頻
18 處理的時間增加而提升，且達 100% 殺蟲率和殺菌率的溫度分別要達 60

- 1 (6) 黃志成、陳淑德: 射頻處理對包裝精白米和糙米的米象控制及其品
2 質的影響。金琅學術出版社。(2015)
- 3 (7) S. Wang, J. Tang, T. Sun, E. J. Mitcham, T. Koral, and S. L. Birla:
4 Considerations in design of commercial radio frequency treatments for
5 postharvest pest control in in-shell walnuts. *J. Food Eng.*, **77**(2):
6 304-312 (2006).
- 7 (8) S. Wang, M. Monzon, J. Johnson, E. Mitcham, and J. Tang:
8 Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts
9 I: Heating uniformity and energy efficiency. *Postharvest Biol. Tec.*,
10 **45**(2): 240-246 (2007).
- 11 (9) S. Wang, S. L. Birla, J. Tang, and J. D. Hansen: Postharvest treatment to
12 control codling moth in fresh apples using water assisted radio
13 frequency heating. *Postharvest Biol. Tec.*, **40**(1): 89-96 (2006).
- 14 (10) J. D. Hansen, S. R. Drake, M. L. Heidt, M. A. Watkins, J. Tang, and S.
15 Wang,: Radiofrequency-hot water dips for postharvest codling moth
16 control in apples. *J. Food Process. Pres.*, **30**: 631-641 (2006).
- 17 (11) J. D. Hansen, S. R. Drake, M. A. Watkins, M. L. Heidt, P. A. Anderson,
18 and J. Tang: Radio frequency pulse application for heating uniformity in
19 postharvest codling moth (Lepidoptera: tortricidae) control of fresh
20 apples (*Malus domestica* Borkh.). *J. Food Quality*, **29**: 492-504 (2006).
- 21 (12) C. Casals, I. Viñas, A. Landl, P. Picouet, R. Torres, and J. Usall:
22 Application of radio frequency heating to control brown rot on peaches
23 and nectarines. *Postharvest Biol. Tec.*, **58**(3): 218-224 (2010).
- 24 (13) 陳曉菁、楊藹華、王仕賢：國產米穀粉研磨技術對烘焙品質影響之

- 1 研究。臺南區農業改良場研究彙報，**62**：74-86 (2013)。
- 2 (14) J. Hasjim, E. Li, and S. Dhital: Milling of rice grains: effects of starch/
3 flour structures on gelatinization and pasting properties. *Carbohydr.*
4 *Polym.*, **92**(1):682-690 (2013).
- 5 (15) 黃井約：糊化黏度快速測定儀在米質檢定上之應用。花蓮區農業專
6 訊，**73**：2-5 (2010)。
- 7

1 表一、射頻電極板間距 16 cm 下處理時間對 4.5 kg 米穀粉品質之影響

2 Table 1 Effects of different RF treatment time on quality of 4.5 kg rice
3 flour with 16 cm electrode gap

Rice flour	Time (s)	Moisture (%)	Color		
			L*	a*	b*
<i>indica</i>	0	12.5±0.5	97.69±0.01	-0.68±0.02	4.20±0.01
	150	11.2±0.2	97.74±0.03	-.067±0.03	4.21±0.01
	300	10.6±0.2	97.55±0.05	-0.73±0.01	4.54±0.05
<i>japonica</i>	0	10.8±0.8	96.81±0.01	-0.28±0.03	5.38±0.03
	150	10.0±1.0	96.51±0.03	-0.35±0.03	6.36±0.11
	300	7.1±0.2	96.54±0.01	-0.21±0.02	6.54±0.01

4

5

1 表二、射頻電極板間距 16 *cm* 下處理時間對 4.5 *kg* 再來米米穀粉之糊化
2 特性的影響

3 Table 2 Effect of RF heating with 16 *cm* electrode gap on pasting properties
4 of 4.5 *kg* indica rice flour

RF Heating	Pasting properties (RVA)				
	Peak viscosity (<i>cp</i>)	Hold strength (<i>cp</i>)	Final viscosity (<i>cp</i>)	Breakdown (<i>cp</i>)	Setback (<i>cp</i>)
Control(0 <i>s</i>)	2,554	1,937	3,962	617	2,025
150 <i>s</i>	2,542	2,015	4,009	527	1994
300 <i>s</i>	2,752	2,065	4,287	687	2,222

5

6

1 表三、 37°C 儲藏對射頻電極板間距 16 cm 下處理 300 s 的 4.5 kg 再來米
2 穀粉品質之影響

3 Table 3 Effect of 37°C storage on quality of 300 s RF treated indica rice
4 flour with 16 cm electrode gap

Storage time (day)	RF treatment	Moisture (%)	Color		
			L*	a*	b*
0	Control (0 s)	12.5±0.5	97.47±0.01	-0.43±0.02	4.80±0.01
	300 s	10.6±0.2	97.49±0.03	-0.44±0.03	5.02±0.03
7	Control (0 s)	12.2±0.2	97.51±0.02	-0.45±0.01	4.79±0.03
	300 s	10.5±0.1	97.64±0.05	-0.45±0.01	5.08±0.05
14	Control (0 s)	12.3±0.2	97.91±0.01	-0.43±0.01	4.92±0.02
	300 s	10.4±0.1	97.90±0.04	-0.44±0.01	5.07±0.07
21	Control (0 s)	12.2±0.2	97.95±0.02	-0.45±0.01	4.93±0.02
	300 s	10.5±0.1	97.97±0.03	-0.45±0.01	5.04±0.05

5

6

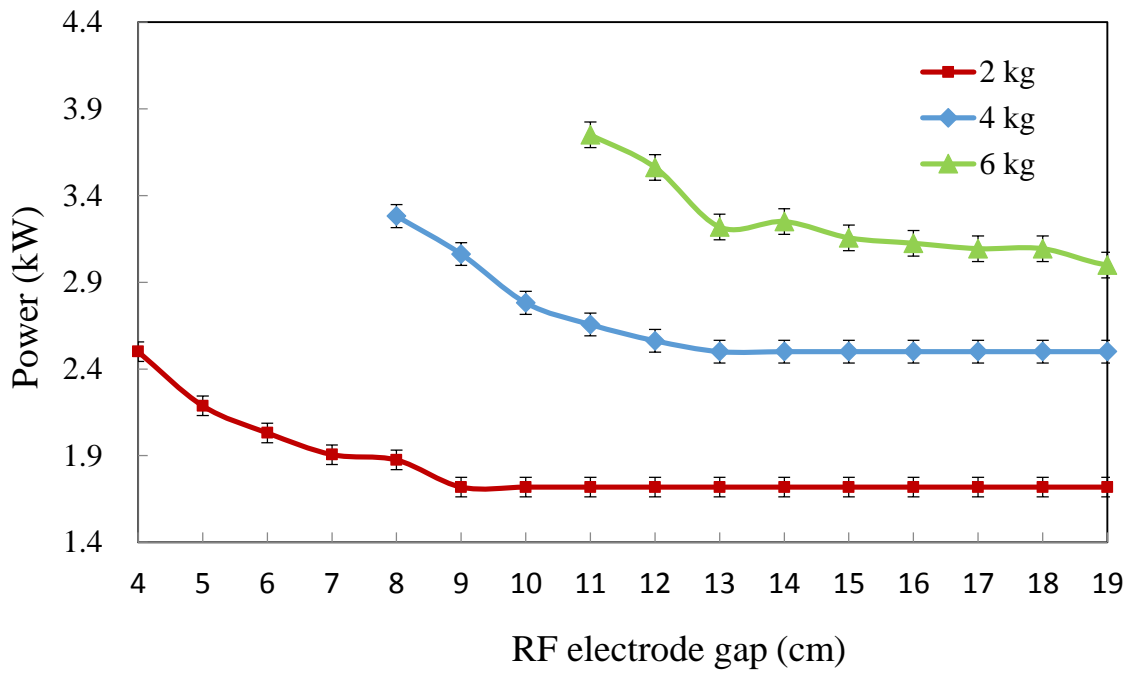
1 表四、 37°C 儲藏對射頻電極板間距 16 cm 下處理 300 s 的 4.5 kg 蓬萊米
2 穀粉品質之影響

3 Table 4 Effect of 37°C storage on quality of 300 s RF treated japonica rice
4 flour with 16 cm electrode gap

Storage time (day)	RF treatment	Moisture (%)	Color		
			L*	a*	b*
0	Control (0 s)	10.8±0.2	96.81±0.01	-0.28±0.03	5.38±0.03
	300 s	7.1±0.5	96.54±0.01	-0.21±0.01	6.54±0.01
7	Control (0 s)	10.0±0.2	95.58±0.02	-0.28±0.01	5.30±0.03
	300 s	7.1±0.2	95.82±0.10	-0.19±0.05	6.57±0.20
14	Control (0 s)	10.1±0.2	96.98±0.004	-0.33±0.02	5.38±0.02
	300 s	7.0±0.3	96.56±0.09	-0.25±0.02	6.53±0.20
21	Control (0 s)	9.9±0.2	97.04±0.01	-0.32±0.02	5.39±0.07
	300 s	7.8±0.3	96.63±0.10	-0.27±0.02	6.56±0.20

5

6

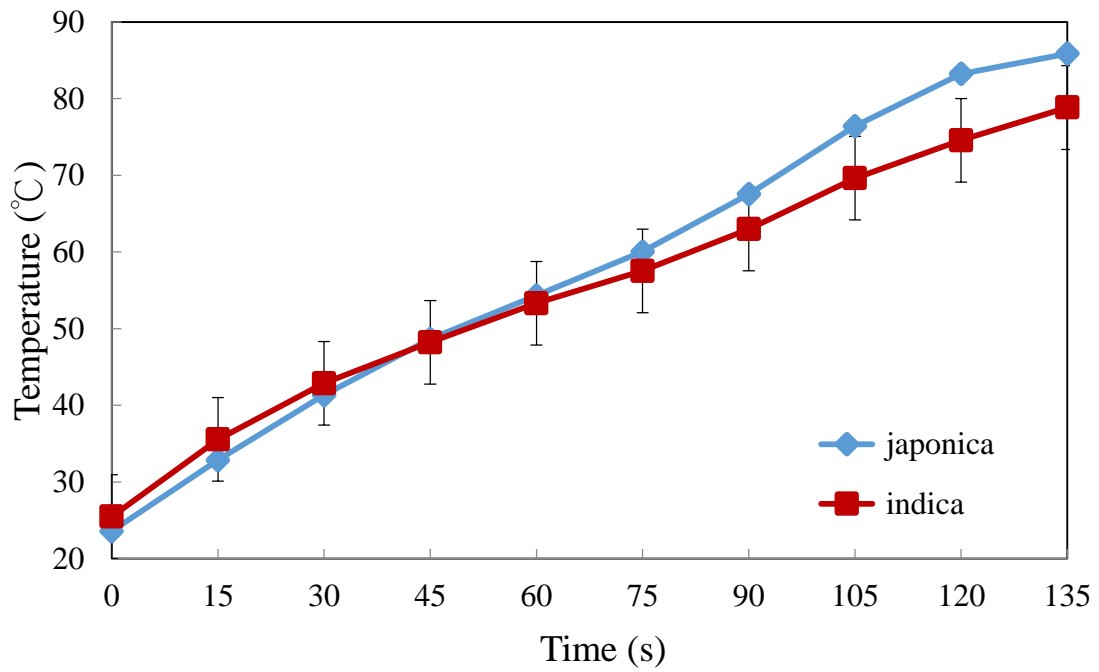


1

2 圖一、射頻電極板間距對不同裝載量蓬萊米穀粉輸出功率的影響。

3 Fig. 1 Effect of different loading japonica rice flour on RF power at different
4 RF electrode gaps.

5

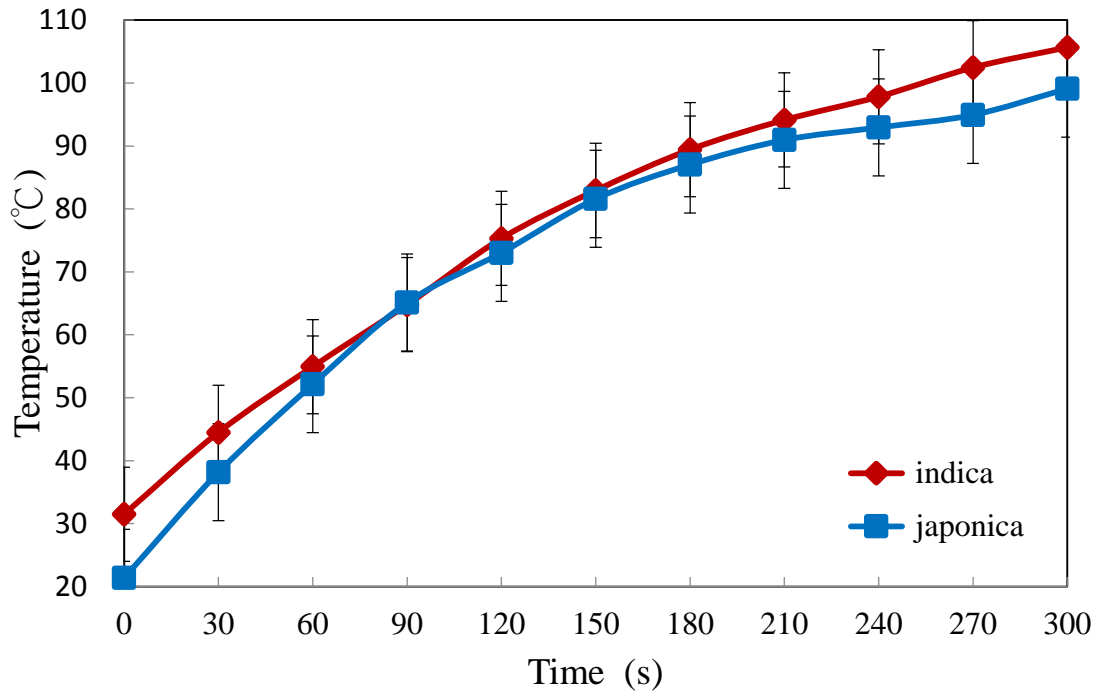


1

2 圖二、2 kg 蓬萊米及再來米穀粉在射頻電極板間距 6 cm 處理下的升溫曲
 3 線。

4 Fig. 2 Temperature profiles of 2 kg japonica and indica rice flours during RF
 5 heating with 6 cm electrode gap.

6



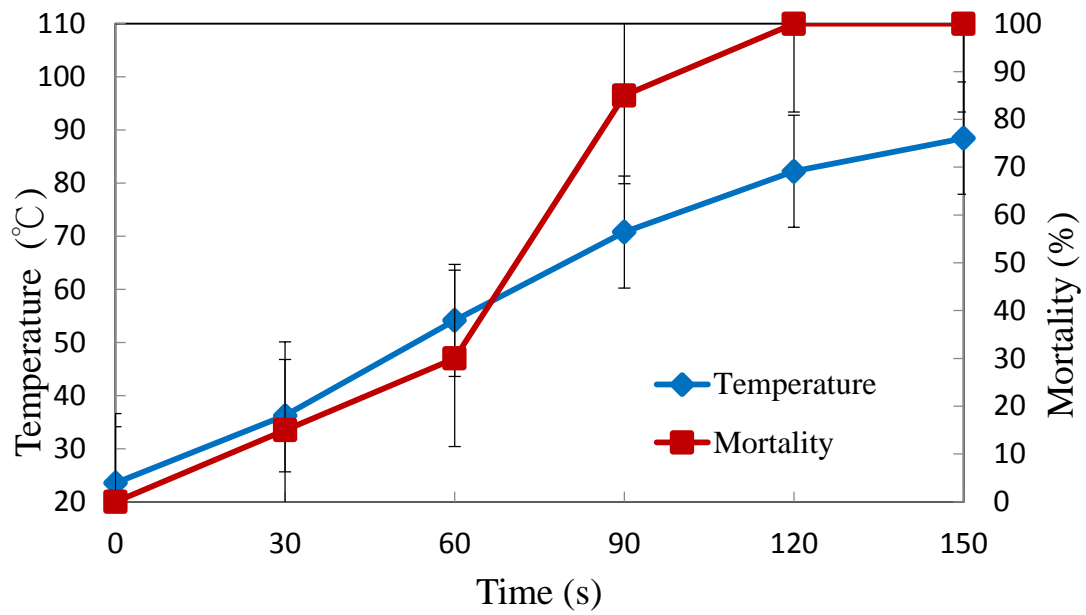
1

2 圖三、4.5 kg 蓬萊米及再來米穀粉在射頻電極板間距 16 cm 處理下的升

3 溫曲線。

4 Fig. 3 Temperature profiles of 4.5 kg japonica and indica rice flours during
5 RF heating with 16 cm electrode gap.

6



1

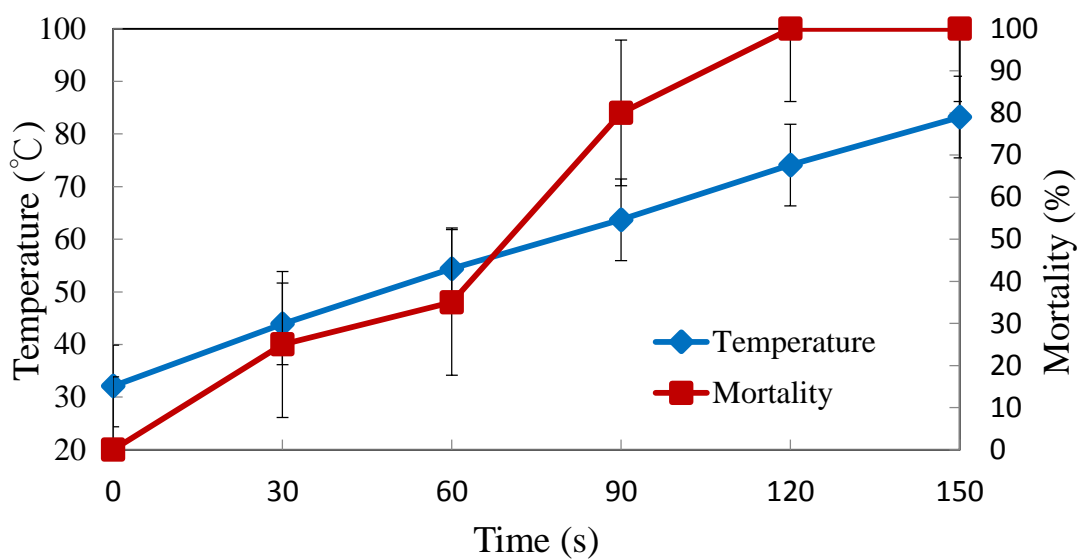
2 圖四、射頻電極板間距 16 cm 處理 4.5 kg 蓬萊米米穀粉的米象殺蟲率及

3 溫度曲線。

4 Fig. 4 *Sitophilus oryzae* adults mortality and temperature profile of 4.5 kg
5 japonica rice flour during RF heating with 16 cm electrode gap.

6 temperature : $y = 0.771x - 2.857$

7

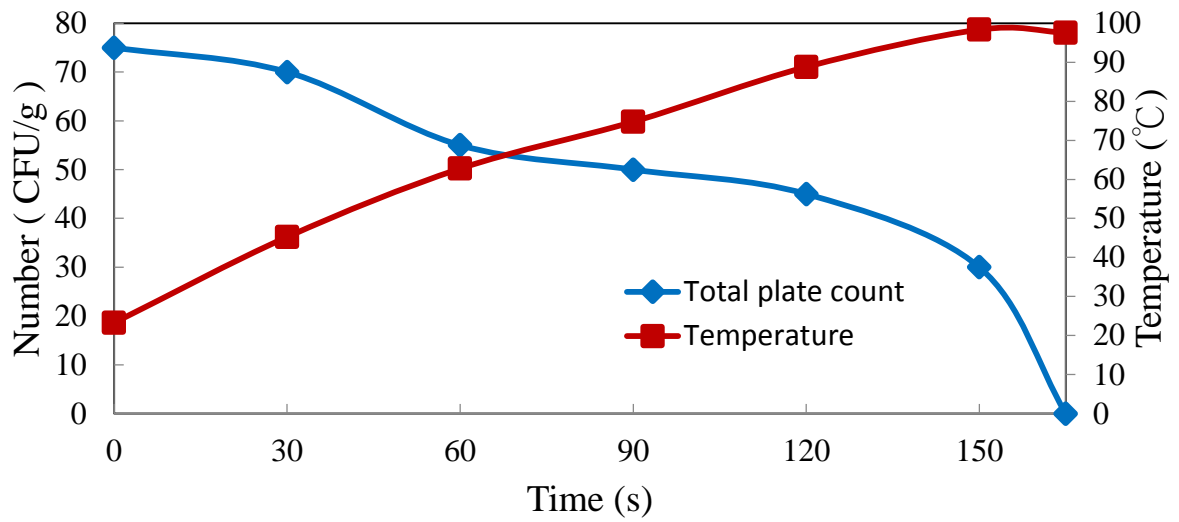


1

2 圖五、射頻電極板間距 16 cm 處理 4.5 kg 再來米米穀粉的米象殺蟲率及
3 溫度曲線。

4 Fig. 5 *Sitophilus oryzae* adults mortality and temperature profile of 4.5 kg
5 indica rice flour during RF heating with 16 cm electrode gap.

6

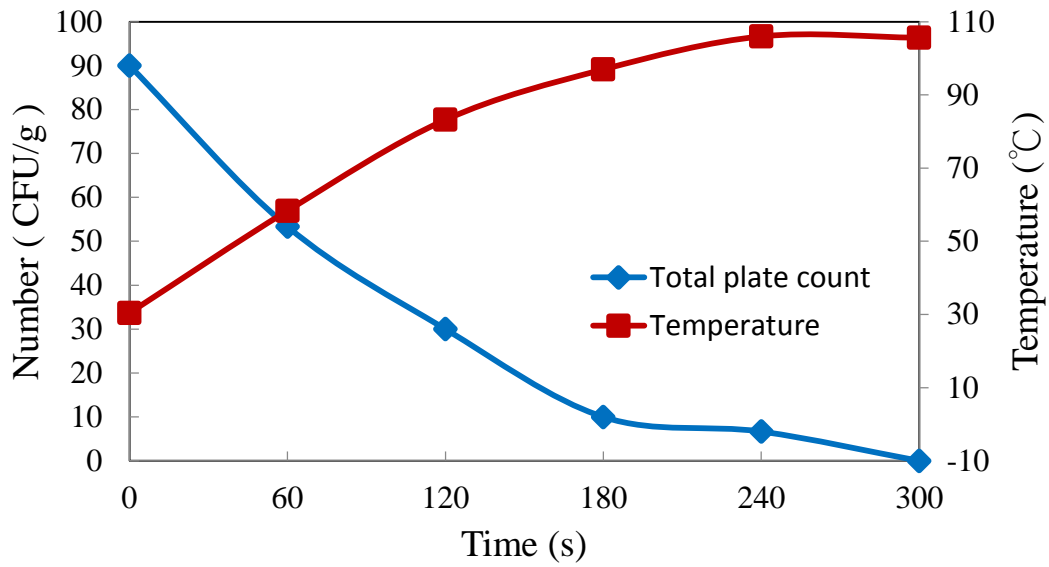


1

2 圖六、射頻電極板間距 6 cm 處理 2 kg 蓬萊米穀粉的總生菌和溫度曲線。

3 Fig. 6 The total count lethality and temperature profile of 2kg japonica rice
 4 flour during RF heating with 6 cm electrode gap.

5



1

2 圖七、射頻電極板間距 16 cm 處理 4.5 kg 再來米穀粉的總生菌和溫度曲

3 線。

4 Fig. 7 The total count lethality and temperature profile of 4.5 kg indica rice
5 flour during RF heating with 16 cm electrode gap.

6