

69

國立宜蘭大學

農業推廣季刊

國立宜蘭大學農業推廣委員會 農業推廣(季刊)

中華民國 86 年 3 月創刊

通訊總號第 069 號 中華民國 103 年 9 月出刊

行政院農業委員會補助編印

發行人/邱奕志

主編/陳淑德、黃志成

編輯/林怡慧 豪

地址：260 宜蘭市神農路 1 段 1 號

電話：03-9357400#7613

傳真：03-9354152

E-Mail：aec@niu.edu.tw

射頻在稻米殺蟲之應用

生物資源學院碩士在職專班 陳淑德、黃志成

前言

稻米是人類之主要糧食，尤其是在亞洲地區，它是僅次於小麥與玉米的第三大作物。在全球前十大主要生產稻米的國家中，除巴西、美國以外全部都是亞洲國家，而且以中國、印度、印尼為前三大產稻國的稻米產量就占全球稻米生產總量的 66%(表 1)。(楊等，2012)且根據農糧署在 2011 年對台灣稻米產業的統計數據，台灣共有 29 萬戶稻農，占農家 73 萬戶的 40%；年栽培面積約 26 萬公頃，年產量約 120 萬公噸糙米，年產值約 314 億元，占農作物產值 1,791 億元的 17% (農糧署全球資訊網 台灣糧食統計要覽)。

表 1、2010年世界稻米生產量前十大國家

序號	國 家	生產量 (萬公噸)	序號	國 家	生產量 (萬公噸)
1	中 國	19,722	6	緬 甸	3,320
2	印 度	12,062	7	泰 國	3,160
3	印 尼	6,641	8	菲 律 賓	1,577
4	孟 加 拉	4,936	9	巴 西	1,131
5	越 南	3,999	10	美 國	1,103

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擾而進而導致重量減輕和品質降低等問題等，這不僅困擾政府農糧單位、各地農會及全國所有糧商業者，同時也對消費者造成食用上的疑慮。

射頻加熱具有良好的穿透性，可殺死已存在糧粒內部或外部的害蟲，被認為是安全和具有競爭力的化學燻蒸替代方法；尤其由於白米的水分含量約為 15%，而成蟲和蟲卵的水分含量高達 70%，故利用射頻處理小包裝的米之成蟲和蟲卵會因水分含量較米為多，而使升溫速度較快，進而達到穀類的溫度只有 60°C，而蟲體的溫度早已超過穀類的溫度，成功達到殺蟲卻儘量不破壞穀類品質之目的。(Wang *et al.*, 2006)

稻米的害蟲危害

出現在稻米儲藏時的害蟲達 13 種，目前在台灣常見的米穀害蟲中

以穀蠹及米象為主，麥蛾、外米綴蛾次之(圖 1)。(姚，2005) 糙米或白米產品在加工、成品儲藏、銷售過程中常會遭受到蟲害侵擾危害的問題，導致產品的品質和外觀賣相不佳而遭到消費者退貨，進而影響糧商的商譽，尤其是在夏季高溫潮濕的氣候蟲害問題愈為嚴重，導致退貨率高達 10%以上，全年平均在 5%以上，因而造成數千萬元以上的損失 (姚，2005)。



穀蠹 *Rhyzopertha dominica* F.
稻穀最主要害蟲，初期為害。



米象 *Sitophilus oryzae* L. 或玉米象
Sitophilus zeamais M. 糙米、白米最主要害蟲。



麥蛾 *Sitotroga cerealella* O.
稻穀主要害蟲，初期為害。



外米綴蛾 *Corcyra cephalonica* S.
糙米、白米主要害蟲。

圖 1、台灣地區稻米中最主要的害蟲。(姚，2005)

以米象 (*Sitophilus oryzae* L.) 為例，米象具有四個世代，包括：成蟲→蟲卵→幼蟲→蛹(圖 2)，而其對熱的敏感性分別為卵 > 幼蟲 > 蛹 > 成蟲，所以在殺蟲處理時，應以對熱耐受力最強之成蟲作為殺蟲目標 (王等，2011)。

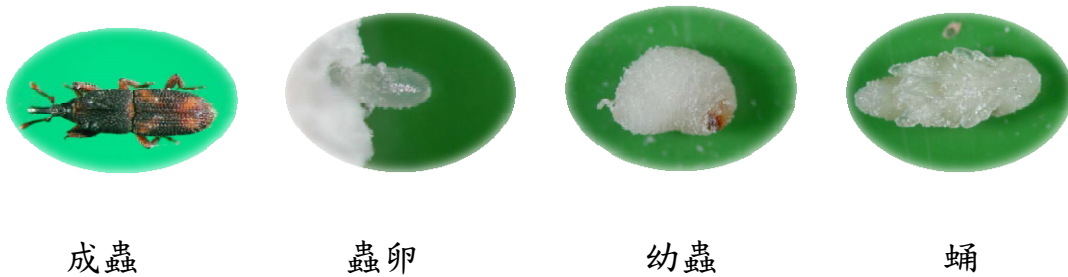


圖 2、米象的四個世代。(姚，2005)

米象年發生 8 世代，1 世代約 20~50 日，溫度和濕度會影響每個世代存活和發育的時間，在 27.2°C 時米象每世代需 25 天，在 17°C 時需 92 天，在 13°C 時成蟲幾乎呈現不活動狀態。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，但視穀粒大小而異，亦有多卵於穀中。幼蟲自孵化後，即向穀粒取食，蛀穿成彎曲隧道，漸次嚙成空洞，排蟲糞於穀粒外。在 25°C、21°C、17°C 三種不同溫度下的產卵數分別為 268、100、43 個，如溫度降低到 9.5°C 時，則停止產卵。在相對濕度上，若高於 80% 以上，繁殖加速，若低於 60%，則發育漸緩，呈不活潑狀（姚，2005）。故稻米儲藏的環境的溫度和濕度決定成蟲的產卵和蟲卵的孵化速度，台灣的夏天是濕熱的氣候更容易造成米蟲的滋生，故稻米的害蟲急需有安全和有效率的防治方法。

稻米的害蟲的防治

目前小包裝米常用的防蟲處理方法有化學藥劑燻蒸法是普遍運

用於世界各地倉庫控制害蟲侵擾的有效方法，而這種方法已經導致嚴重的環境破壞和危害人民的健康，因此，迫切需要開發新的控制米穀害蟲的安全方法（Gao *et al.*, 2010）。

非化學方法包括：輻射（ γ -射線處理）、冷藏、冷凍，調氣包裝和微波加熱和射頻加熱方法。Sirisoontaralak & Noomhorm (2006)利用放射線 0~2 kGy 的 γ -射線處理以 PE 材質的小包裝米的殺米蟲研究，針對泰國的香米以 0.5 kGy 殺米蟲方能保有其色澤和香氣，但由於放射線會破壞米蟲及米之 DNA，會造成人們的食用的疑慮，目前歐盟大部分的國家已明定只准許利用 γ -射線處理單一的香辛料，幾乎走上無放射食品的情形，而美國也只准許使用夏威夷熱帶水果、乾燥的香辛料、菠菜和絞肉，目前台灣已規定若食品經 γ -射線進行殺菌、殺蟲處理，皆需於包裝上標示使用放射線照射。

冷藏（10°C）方法是無法殺死米蟲，只能延緩蟲卵的孵化；冷凍（-20 °C）方法可凍死米蟲和蟲卵，但冷凍需要很大的設備空間、處理時間及成本費用，還有產品會回潮等問題。另外可透過低透氣袋和置入脫氧劑或充入氮氣或或二氧化碳於大氣控制中方法，但因真空袋有時也會洩氣而無法百分之百的防蟲效果。

微波殺米蟲

微波和射頻皆為電磁波的介電加熱模式，微波的頻率是

300~30000 MHz，美國聯邦通訊委員會（FCC）分配予所使用的頻率為：915 MHz 和 2450 MHz 二種頻率，微波加熱原理是在微波電磁場的作用下，食品內的極性水分子快速旋轉振動摩擦與離子快速移動而生熱，故此為整體加熱，且由食品內部迅速加熱，可克服熱傳障礙，有別於傳統加熱則是熱源先供應於食品的表面，再經由熱傳導方式深入食品內部（Zhao *et al.*, 2007b）。

加熱處理時，樣品處理物是置於設備的正中央，其電磁波是來自四面八方。它的設備構造包括：磁控管、導波器、金屬腔等..，微波是一種電磁波，波長比可見光或紅外光的波長要長，但比無線電或電視波的波長短，微波的性質具反射性、折射性和極化現象。但由於頻率較大，故在 2450 MHz 的微波頻率下，穿透深度只有 2~3 公分，故其微波加熱方式只能將米散裝利用管式運輸過程中加熱，此會減緩米的加熱速度。中興大學萬一怒教授和立盈科技公司產學合作的連續微波殺米蟲設備宣稱白米達 60°C 即可以達到完全殺蟲和蟲卵，且不影響白米的品質，目前已有三好米、大甲農會和池上農會購買之。在大陸亦有利用微波加熱米以殺死米象的方法，微波能量消耗量達 0.017kW/hr kg，當米溫達 55°C 以上即可以達到 100%殺蟲效果(Zhao *et al.*, 2007a)，而微波加熱米的水分含量、游離脂肪酸含量、蛋白質含量會稍低於未處理的米，但貯藏 120 天微波加熱和未處理的米之品質

則無顯著差異(Zhao *et al.*, 2007b)。

Zhao 等(2007a)使用連續式工業級規模的微波爐裝置，使用 2450 MHz 的頻率，用於加熱處理稻米之米象害蟲。微波爐的實際長度，寬度和高度分別為 7114 mm，600 mm 和 60 mm。微波功率 (W)，稻米溫度 (T)，輸送帶速度是經由不間斷控制，以保持稻米流量 (Q) 流動速度在 400-1200 公斤/小時。微波能源消耗從 0.015 提高到 0.018 kWh/kg，米象的成蟲和蟲卵的死亡率急劇增加，若要達到 100% 的成蟲和蟲卵死亡率時的能源消耗需要超過 0.017 及 0.016 kWh/kg 以上，且蟲卵是較成蟲容易殺死。當米象成蟲和蟲卵達到 100% 的死亡率時，是當稻米被分別微波加熱到 55°C 和 54°C 以上，故可利用微波加熱升溫而達到殺蟲的效果。

程等(2006)亦比較利用熱水浴和微波加熱不同品種的大米，使其溫度達 55~62°C 的防蟲效果，發現加熱方式(溫度和時間)會影響大米中澱粉酶和蛋白酶的活性酵素的反應，進而造成大米的直鏈澱粉和蛋白質含量變化，且以沸水長時間加熱較微波短時間對成分和食味值的影響較大。

射頻殺蟲

相較於微波，射頻的頻率範圍較小，是 1~300 MHz，目前美國聯

邦通訊委員會(FCC)分配予所使用的頻率為：13.56 MHz、27.12 MHz 和 40.68 MHz 三種頻率，將食品置於平行的兩個電極板中間加熱，和微波相同的機制使食品因為水分子快速旋轉摩擦生熱外，且比傳統熱傳導方式具有更均勻及快速的加熱效果；射頻加熱食品的穿透深度比微波加熱食品的穿透深度 2~3 cm，又高出約 10 倍的深度，所以可應用於大量害蟲控制，使得射頻比微波更受青睞 (Marra *et al.*, 2009)。

射頻加熱具有良好的穿透性，可殺死已存在穀粒內部或外部的害蟲，被認為是安全和具有競爭力的化學燻蒸替代方法，且已有由多項穀類、豆類產品經射頻殺蟲的研究 (Wang *et al.*, 2006; Marra *et al.*, 2009)。但並未檢索到國內外的相關文獻關於利用射頻殺米蟲，由於白米的水分含量約為 14%，而成蟲和蟲卵的水分含量高達 70%，故成蟲和蟲卵因水分含量較高，損失因子較大(Nelson *et al.*, 1997; Ikediala *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2003a; Wang *et al.*, 2003b)，會較水分含量少的穀類快速升溫，進而達到穀類溫度只有 60°C，而蟲體可能已快速升溫超過 70°C，成功達到殺蟲，卻不破壞穀類品質之目的 (Wang *et al.*, 2003b)。

射頻處理真空包裝精白米之殺蟲研究

本實驗室採用的射頻加熱系統的功率為 5 kW，頻率為 40.68

MHz，且將 2 kg 真空包裝精白米置於兩個電極板間進行射頻加熱(圖 3)，並記錄加熱過程的電流以換算成輸出功率及測量包裝精白米五個位置的溫度。首先針對重量為 2 kg 的真空包裝精白米，其包裝厚度為 3.8 cm 進行射頻殺蟲的研究，由於射頻電極板間距會影響加熱白米時的輸出功率和白米的升溫速度，故先在不同射頻電極板間距下加熱，當電極板間隙從 4.1 cm 至 6 cm 操作時，射頻的能量輸出是從 1.1 kW/kg 至 0.8 kW/kg 呈現下降趨勢(圖 4)，故射頻的電極板間隙與射頻的輸出功率是呈現負相關，當電極板間隙愈小時輸出功率愈大。



圖 3、射頻加熱系統及溫度的量測。

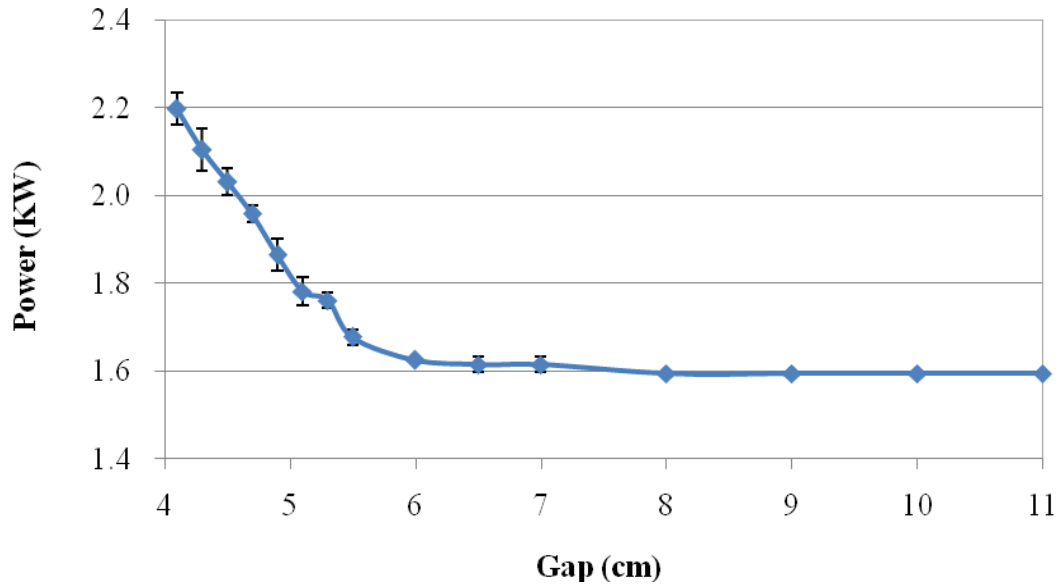


圖 4、 2 kg真空包裝精白米在不同的電極板間隙下的輸出功率。

進一步選擇四種不同的射頻電極板間距分別為 4.5 cm、5.0 cm、5.5 cm和 6.0 cm，進行射頻加熱 2 kg的真空包裝精白米，並測量五點位置的溫度，計算平均溫度以繪製升溫曲線(圖 5)。隨著射頻處理時間增加，精白米之溫度亦隨線性增加，且隨著電極板間距的減少，精白米的溫度會隨之增加，故在不同電極板間距 4.5 cm、5.0 cm、5.5 cm和 6.0 cm下，精白米的溫度達到 60°C 以上，各需約 45、50、60 和 70 s；但為求精白米的米溫分布較均勻，故後續的研究選擇射頻電極板間距在 5.5 cm。

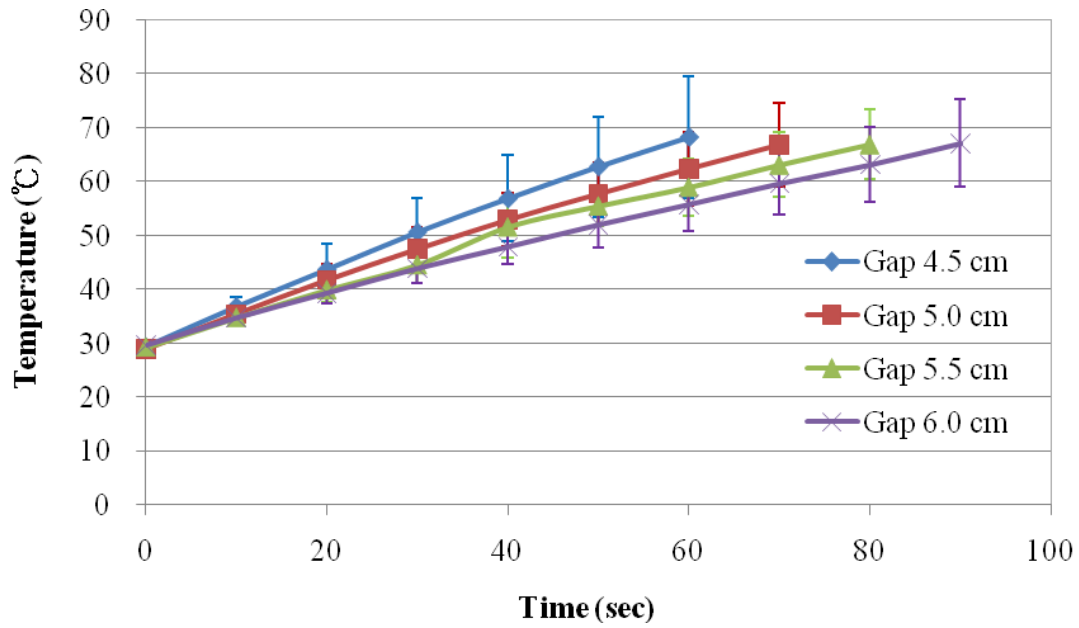


圖 5、2 kg 真空包裝精白米在不同的電極板間距下的射頻加熱升溫曲線。

為確認射頻殺米蟲的效果，則先加入 50 隻米象於 2 kg 的精白米中，再進行射頻加熱處理，由圖 6 之結果得知隨著射頻處理時間的增加，精白米溫度隨之增加，也造成提升米象成蟲的致死率；當射頻加熱處理時間為 60 s，精白米平均溫度達 62°C，而米象的成蟲死亡率可達 100%。

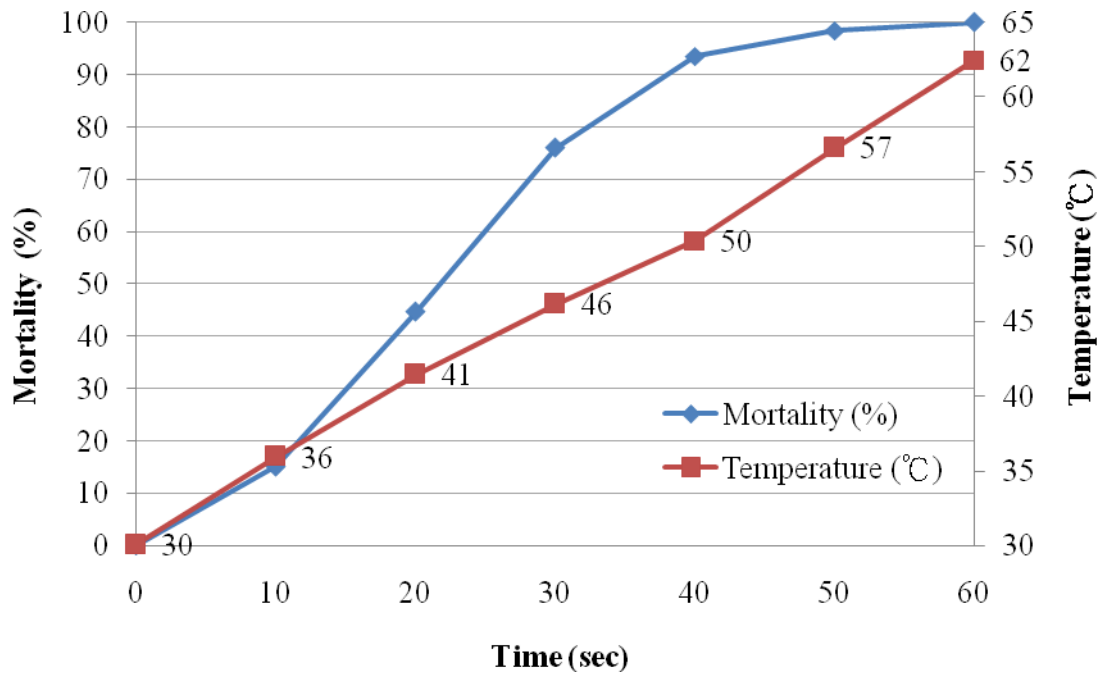


圖 6、2 kg 真空包裝精白米在電極板間隙 5.5 cm 下，以不同的射頻加熱處理時間對米象成蟲致死率的影響。

儲藏對射頻加熱殺蟲後的精白米品質之影響

表 2 係 2 kg 真空包裝樣品精白米，在射頻電極板間隙 5.5 cm 下，加熱處理 60 s)，將未處理和射頻處理 60 s 的精白米在室溫下儲藏 0、30、60 和 90 天，探討射頻處理和室溫儲藏對精白米品質的影響。射頻加熱處理後的精白米，立即經食味計測定後，處理組除在水分含量上比控制組有稍微降低外，其餘在蛋白質含量、直鏈性澱粉含量、食味值分數等。稻米相關品質項目上，射頻處理組與控制組之間並沒有顯著性差異。而射頻處理組在稻米水分含量上會稍微降低，原因是因為稻米受熱後的水分蒸散，但經過一段時間後稻米是會將袋內多餘的水氣吸附回去，故當經過室溫下儲藏 30 和 60 天後，對射頻處理和控

制組之精白米的品質如：水分含量、蛋白質含量、直鏈性澱粉含量、食味值之間並無顯著性的影響，且也和剛開始未儲藏的精白米品質之間亦無顯著性的差異，然而經過室溫下儲藏 90 天後，不論有無經過射頻處理之精白米的食味值即開始下降，故射頻處理並不會影響精白米的品質，但仍建議包裝米應儘量於儲藏 2 個月內食用完畢以保有較好的品質。

表 2、在常溫下儲藏時間對射頻加熱處理之精白米品質的影響

Storage (Day)	Item	Control (RF 0 s)	RF 60 s
0	Water (%)	13.57±0.12	13.03±0.06
	Protein (%)	7.03±0.12	7.00±0.10
	Amylose (%)	19.57±0.12	19.57±0.06
	Taste value	73.33±2.08	74.00±0.00
30	Water (%)	13.50±0.00	13.37±0.06
	Protein (%)	7.00±0.10	7.10±0.17
	Amylose (%)	19.33±0.12	19.43±0.06
	Taste value	74.00±2.65	74.67±1.53
60	Water (%)	13.43±0.06	13.33±0.06
	Protein (%)	7.03±0.06	7.10±0.17
	Amylose (%)	19.57±0.15	19.57±0.12
	Taste value	74.67±0.58	75.00±1.73
90	Water (%)	13.40±0.10	13.47±0.06
	Protein (%)	7.40±0.10	7.30±0.00

	Amylose (%)	19.63±0.15	19.60±0.10
	Taste value	71.33±1.53	71.33±1.15

Park 等(2012)亦認為儲藏溫度是影響白米品質的最主要因素，故建議應在低於室溫儲藏方能保持白米物理化學性質，Zhou 等(2007)和 Zhou 等(2010)也表示儲藏溫度會影響米的熱性質及烹煮特性。故不論真空包裝和常壓包裝之精白米的儲藏應於 1 年內食用完畢以保有較佳的品質和品味。

射頻加熱處理除蟲後對米飯感官品評的影響

圖 7 係電極板間隙在 5.5 cm 下，以不同的射頻加熱處理時間為 (0 s = 控制組、40 s、50 s、60 s) 四種處理對米飯感官品評的影響。(消費者品評樣本：84 人；男 37 人，女 47 人；以七分制的嗜好性品評；，結果顯示，經消費者品評後在米飯的外觀、香味、口味、黏性、硬性、整體表現等項目都是沒有顯著性的差異，故射頻加熱處理對精白米的米飯感官品評是並無顯著性的影響。但 Zhao 等(2007b) 研究不同的微波加熱米對米飯感官品質的影響，結果顯示，稻米隨著微波能源消耗率增加，所煮的米飯感官品質提高，此因直鏈澱粉和蛋白質含量常常被用來評價稻米品質，使得米飯口感得分要更好，經微波處理的米具有較高直鏈澱粉含量和較低蛋白質含量，可以提高品味值。

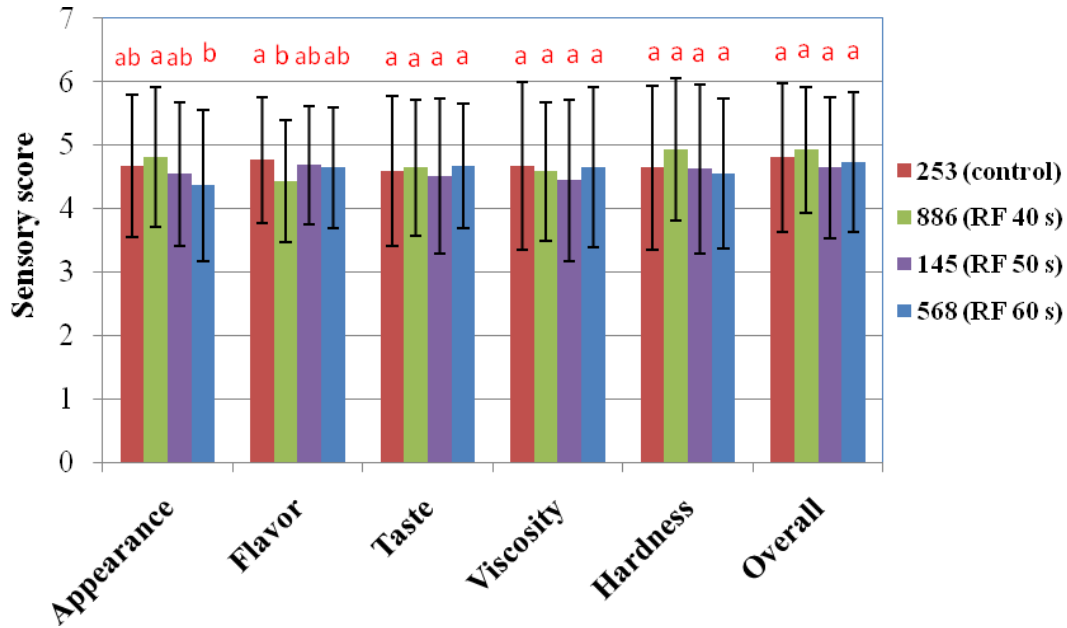


圖 7、2 kg 真空包裝精白米在電極板間隙 5.5 cm 下，以不同的射頻加熱處理時間及控制組(未處理)對米飯 7 分制嗜好性品評的影響。(消費者有效樣本：84 人，男 37 人，女 47 人)

結 論

射頻的電極板間距會影響功率及升溫速率，降低電極板間距，會使精白米的輸出功率及升溫速率增大。在射頻電極板間隙 5.5 cm 處理時間為 60 s 可使厚度 3.8 cm 的 2 kg 真空包裝精白米達到 60°C，且米象成蟲及其蟲卵的死亡率分別達 100%，且其蛋白質含量，直鏈性澱粉含量和食味值分數或烹煮後米飯的感官品評和未經射頻處理的控制組並無顯著性差異。射頻加熱處理 60 s 後的精白米，在室溫下儲存 90 天後與未經射頻處理的控制組品質無顯著性差異。

誌 謝

首先感謝農委會農糧署的 101AS-9.2.1-FD-Z3 計畫經費支持開創台灣射頻殺蟲技術，並感謝郭清通先生支援射頻加熱設備之設計、監製及莊佳穎先生進行預實驗的測試，農試所姚美吉博士給予米蟲知識的指導和建議，農糧署東區辦事處提供食味計偵測。

參考文獻

- 王殿軒, 劉炎, 曹陽, 李淑榮, 李光濤, & 高美須. (2011). 微波處理對米象致死效果及小麥發芽率的影響. *核農學報*, 25(1), 105-109.
- 姚美吉. 2005. 積穀害蟲防治手冊. 行政院農業委員會農業試驗所. 台中。
- 程學勳, 全文琴, 趙思明, 余凡華, & 徐娟. (2006). 不同加熱方法對大米主要化學成分及食味的影響. *糧食與飼料工業*, 2006(8), 1-3.
- 楊嘉凌、鄭佳綺、許志聖。2012。世界稻米產銷概況。臺中區農業專訊 76：4-8。
- Gao, M., Tang, J., Wang, Y., Powers, J., & Wang, S. (2010). Almond quality as influenced by radio frequency heat treatments for disinfestation. *Postharvest Biology and Technology*, 58(3), 225-231.
- Ikediala, J. N., Hansen, J. D. Tang, J., Drake, S. R., & Wang, S. (2002). Development of a saline water immersion technique with RF energy as a postharvest treatment against codling moth in cherries. *Postharvest Biology and Technology* 24, 209–221.
- Nelson, S. O., Bartley, P. G., Jr., & Lawrence, K. C. (1997). Measuring RF and microwave permittivities of adult rice weevils.

Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions, 46(4), 941-946.

- Marra, F., Zhang L., & Lyng J. G. (2009). Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances. *Journal of Food Engineering*, 91, 497-508.
- Sirisoontaralak, P., & Noomhorm, A. (2006) Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice. *Journal of Stored Products Research*, 42(3), 264-276.
- Wang, S., Tang, J., Johnson, J. A., Mitcham, E., Hansen, J. D., Hallman, G., Drake, S.R., & Wang, Y. (2003a). Dielectric properties of fruits and insect pests as related to radio frequency and microwave treatments. *Biosystems Engineering*, 85 (2), 201–212.
- Wang, S., Tang, J., Cavalieri, R. P., & Davis, D. C. (2003b) Differential heating of insects in dried nuts and fruits associated with radio frequency and microwave treatment. *Transactions of the ASAE* . 46(4), 1175–1182.
- Wang, S., Tang, J., Sun, T., Mitcham, E. J., Koral, T., & Birla, S. L. (2006). Considerations in design of commercial radio frequency treatments for postharvest pest control in in-shell walnuts. *Journal of Food Engineering*, 77(2), 304-312.
- Zhao, S., Qiu, C., Xiong, S., & Cheng, X. (2007a). A thermal lethal model of rice weevils subjected to microwave irradiation. *Journal of Stored Products Research*, 43(4), 430-434.
- Zhao, S., Xiong, S., Qiu, C., & Xu, Y. (2007b). Effect of microwaves on rice quality. *Journal of Stored Products Research*, 43(4), 496-502.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., & Blanchard, C. (2007). Effect of storage temperature on cooking behaviour of rice. *Food Chemistry*, 105(2), 491-497.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., & Blanchard, C. (2010). Effect of storage temperature on rice thermal properties. *Food Research International*, 43(3), 709-715.