

香菇微波冷凝乾燥機之研製開發

黃禮棟¹、林建志²、邱相文²

¹ 行政院農委會農業試驗所農業工程組 研究員

² 行政院農委會農業試驗所農業工程組 助理研究員

摘要

乾燥可降低農產品含水率，抑制微生物及酵素的作用，提高食品貯藏性及增加運輸性。本研究開發微波冷凝乾燥設備並進行香菇乾燥試驗，以香菇之溼基含水率 13% 為目標值。若欲達到此目標含水率，則熱風乾燥溫度設定 50°C 時，需作用 24 小時，使用電能 89.8 度；加入時序控制後，四段式熱風乾燥須 20 小時，消耗電能 74.9 度；若在與熱風乾燥相同操作條件下配合微波技術，則只需 7 小時，使用能源為 28.5 度；如果同時使用微波與冷凝技術，亦只需 7 小時，使用能源為 78 度。依據實驗結果得知，本計畫所研發具備時序控制功能之微波冷凝乾燥設備，可根據不同乾燥階段，改變乾燥策略，有效控制乾燥品質並節省人力；而微波乾燥比熱風乾燥可節省 7 成以上之乾燥時間。

關鍵詞：香菇、微波、乾燥。

一、前言

農產品收穫後在貯藏的過程中，常常因為微生物作用、酵素反應、成熟作用或生理病害...等，導致農產品變質、腐爛或發霉，使農產品品質下降甚至於不堪食用，造成經濟損失。乾燥的目的在於降低農產品內的含水率，進而抑制微生物及酵素的作用，提高食品貯藏性，並減少農產品重量以增加運輸便利性。

進行農產品乾燥時，溫度之控制是影響品質的主要因素之一，香菇對於溫度非常敏感，當乾燥溫度過高時，表面容易變黑 (Argyropoulos *et al.* 2008)。Komanowsky *et al.* (1970) 也提到若乾燥溫度在 83°C 以上時會破壞香菇品質。

香菇為我國重要食用真菌類作物，由於鮮香菇含有破壞維生素的酵素，在室溫下品質衰退甚快。因此，乾燥香菇可以保有更多的營養成份，延長保存期限與維持良好品質。宋 (1993) 及杜 (1989) 指出，烘乾後之香菇含水率以 13% 為最佳。

在香菇乾燥過程中，一般菇農大都依照傳統方法或本身經驗來乾燥香菇。其乾燥方式如台中市霧峰區趙姓農友將香菇置於乾燥箱中，以常溫通風 2 小時，然後用 40°C 烘 8 小時，接著用 50°C 再烘 8 小時，最後用 60°C 烘乾，共約 20 多小時；而台中市中興嶺菇農則視香菇之情況，先做剪菇柄、分級、淋洗及稍晾曬瀝乾表面等處理，接著就以 60°C 烘乾，約需 15 小時；亦有菇農以 50°C、60°C、70°C 及 85°C 各乾燥 3 小時烘乾者 (林, 1988)。林等 (2010) 也以平行強制送風的方式，以熱風乾燥方式對香菇進行四階段式之乾燥，第一階段為 50°C、第二階段為 55°C 及第三階段為 65°C 各 6 小時，最後以 70°C 烘至含水率 13% 以下，共計約 20 小

時。從以上之資料顯示，無論選用何種乾燥方式，乾燥時間均需18–24小時，除此之外為了兼顧品質，常需要多段式乾燥處理，造成香菇乾燥成本與人力需求無法降低。

微波技術也常應用於食品加工，吳(2007) 將微波技術應用於咖啡乾燥，結果發現微波功率越高與咖啡豆研磨的越細，乾燥速率越快，越能達到節能減碳的效果。Varith *et al.* (2007) 將微波技術應用在龍眼乾燥，研究將龍眼乾燥過程分成兩個階段，第一階段使用40°C熱風配合450 W的微波作用1.7小時，第二階段為60°C熱風配合300 W的微波作用3.3小時，可以得到龍眼最佳的乾燥效率，若是與65°C的熱風乾燥比較，使用微波的乾燥過程大約減少64.3%的乾燥時間與48.2%的能源消耗。Sharma & Prasad (2001) 研究發現微波技術可以節省乾燥大蒜所需時間，並維持較佳的產品品質。Wang *et al.* (2004) 將微波技術應用在馬鈴薯乾燥，實驗發現當微波功率越強馬鈴薯質量損失越少、乾燥樣本的切片厚度越薄、脫水率(dehydration rate) 增加以及減少消耗能源等優點。

本研究的目的為利用微波特性應用於香菇的乾操作業，結合冷凝技術，發展一套可資利用之加工技術與機械設備，應用於國內香菇之乾燥加工與產品之調製，以期能利用微波乾燥的優點特性來提升香菇乾燥品質，並提升乾燥速率，減少乾燥時間而達到降低生產成本與提高品質的目標。

二、材料與方法

微波冷凝乾燥系統主要分成乾燥艙、加熱器、冷凝器、微波發射器、拖盤轉速控制馬達與送風機等五個部份。乾燥艙內容積為440公升，可承受2 kg/cm²壓力，其內部有一托盤轉速馬達，馬達轉軸上有一簡單支架用於承載拖盤(乾燥盤)用，並利用頻率的方式控制其轉速，頻率越高轉速越快，上限為60HZ；乾燥艙上方加裝兩組微波發射器(分別稱為微波發射器A及微波發射器B)，兩組微波發射器係利用可程式控制系統進行微波輸出功率(0–100%調整)與發射時間之可程式化調整控制。每組微波發射器功率為1kW，頻率為2,450MHz；機體後方裝置一組三相220V、功率13kW之冷凝乾燥系統，機體內部有加熱器、冷凝器(壓縮機功率為4kW)及送風機。圖1為微波冷凝乾燥系統示意圖，開始時由加熱器產生乾的熱空氣，經由下通風管導入乾燥艙內，進行農產品乾操作業，之後透過上通風管將濕的冷空氣帶出乾燥艙外並進入冷凝器內，利用冷凝的作用將空氣中含水率降低，使空氣變成乾的冷空氣，再輸送至加熱器內加溫使空氣變成乾的熱空氣進行循環。

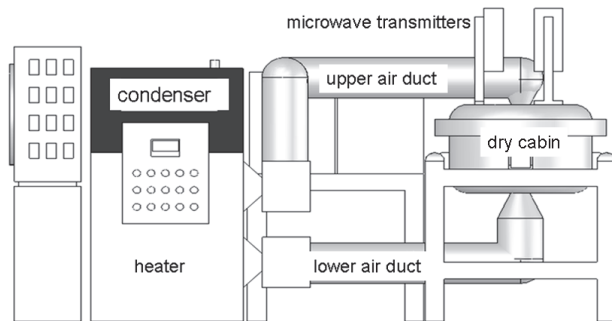


圖1 微波冷凝乾燥系統示意圖

本機之農產品乾燥屬於長時間多段式處理，為便於操作，本計畫研究開發一套配合設備之自動控制軟體，利用觸控式平板電腦開發人機介面，配合PLC以控制本設備其它重要元件，控制項目分成微波發射器A、微波發射器B、冷凝系統、熱風溫度、風速以及托盤轉速等六項。圖2為微波冷凝乾燥系統之自動控制配電盤，左上方有一開關可控制外部電源是否流入電源供應器內並作過負載保護，電源供應器提供控制系統穩定電流使系統能正常作用；右上方有兩組微波產生器用於產生微波並控制微波功率，PLC以Sequential Function Chart (SFC)方式撰寫程式控制各元件啟動與作用的時間，配合繼電器即可控制其它元件作動。

測試微波功率分布試驗係為了測試乾燥艙內微波功率吸收效率與分布情形。實驗前在乾燥艙內擺放38個編號塑膠容器，每個盛裝溫度26°C之清水500mL，其擺放情形如圖3所示。本實驗以100%微波功率發射10分鐘對水進行加熱，計算各部位所吸收的熱量，尋找乾燥艙內各點微波吸收功率的情形，並用於評估本乾燥系統之能源效率。

利用四種不同乾燥模式對香菇進行乾燥試驗，每次試驗之前對香菇進行淋洗與瀝乾等前處理，完成後以每批次6Kg之新鮮香菇平鋪在托盤上進行乾燥試驗。本試驗之乾燥模式分別為定溫熱風乾燥(熱風溫度設定為50°C)、四段式熱風乾燥、微波乾燥(發射微波10分鐘後停止50分鐘之週期循環)以及微波冷凝乾燥(發射微波10分鐘後停止，繼之以冷凝50分鐘之循環週期)。試驗中設定之風速為50公尺/秒，完成乾燥之香菇含水率設定為13%，同時記錄乾燥至13%所需的時間。

四段式熱風乾燥係利用開發之時序控制程式進行階段性自動控制，其控制策略為第一階段以50°C熱風乾燥6小時，第二階段55°C熱風乾燥6小時，第三階段65°C熱風乾燥6小時，第四階段70°C熱風乾燥至含水率降至13%。

熱風微波乾燥法係在乾燥過程中，每小時發射2 kW微波功率加熱10分鐘後停止50分鐘而熱風全程供給之模式持續進行，直至香菇含水率降至13%為止，於最初加熱之10分鐘，菇體因飽含水份(90%左右)，依每次6公斤鮮菇及微波發射器效率86%推估菇體溫度約略上升45°C。

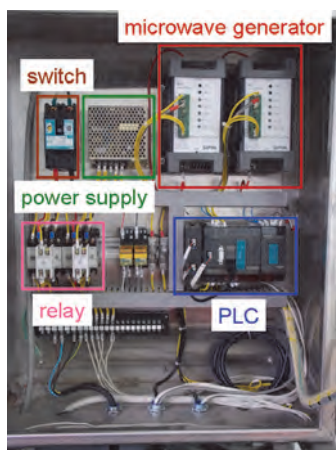


圖2 微波冷凝乾燥系統之自動控制配電盤



圖3 乾燥艙內容器擺放情形

微波冷凝乾燥係發射微波加熱10分鐘後停止微波，繼而開啟冷凝設備50分鐘以除去乾燥過程蒸發之水份，如此循環至完成乾燥。

表1為乾燥系統之各種乾燥設備消耗功率表，利用表1數據、試驗過程中量測數據以及香菇乾燥試驗結果，可得到各種乾燥處理所消耗之能源，配合臺電所公佈之每度電電費，即可計算各種乾燥過程之成本。

三、結果與討論

本設備係利用工業用平板電腦配合PLC將控制指令傳送至各作動元件，進行加熱器溫度控制、冷凝器作動、微波發射器功率調整以及托盤轉速控制等。除此之外本自動控制程式尚具備時序控制功能，也就是階段性控制功能，便於進行多階段性的乾燥試驗。

本研究開發之人機介面，主要控制元件有微波發射器A、微波發射器B、冷凝、熱風控制以及托盤轉速等五項(真空泵為預留選項，目前無作用)。其中觸控項目之微波發射器A及B之功能相同，僅控制微波發射功率大小、作用時間以及每小時作動頻率；冷凝觸控可啟動冷凝降溫除濕系統，將乾燥後濕熱空氣降溫，以將空氣中水份冷凝排出系統外；熱風控制為控制乾燥艙內溫度及風速。程式內設有保護機制，即當熱風開啟時，無法起動冷凝功能(但可以強制解除此功能)；托盤轉速觸控選項可調整乾燥艙內托盤之轉速。

本系統可依據使用者需求，控制各乾燥階段所需的乾燥條件，圖4為四階段式時序控制示意圖，X軸為時間，Y軸為各元件使用功率大小。乾燥過程中操作者可以根據農產品的特性，擬定乾燥策略，在不同的時間點給予不同的乾燥條件，並控制各作動元件之作動與否。

在乾燥艙內放置38個可微波之保鮮盒裝盛溫度 26°C 之水0.5公升，同時2支微波發射器以全功率發射10分鐘，量測結果中間區域之保鮮盒溫度比週圍者平均高出 3.4°C ，換算成熱量為 38.48kcal/h ，也就是說乾燥艙中間接收的功率比兩旁高出 38.48kcal ；另計算38個保鮮盒內水吸收的熱量，換算成系統微波加熱效率約為86%。

香菇乾燥試驗使用之香菇含水率平均在92%左右，對照組之熱風乾燥條件為熱風溫度 50°C ，風速 50m/sec ，使香菇含水率降至13%。在相同的風速條件下分別以四階段式熱風乾燥、熱風微波乾燥、熱風微波冷凝乾燥進行比較，其結果顯示在圖5，其中X軸為時間(h)，Y軸為香菇含水率(%)，圖5中各時間點上各處理皆有兩點，第一點為菇傘含水率，第二點為菇柄含水率，由圖5可知菇柄含水率皆高於菇傘含水率，代表菇柄較不易乾燥。



圖4 四階段式時序控制示意圖

依據圖5得知，以熱風乾燥之香菇在24小時後含水率降至13%；以四段式熱風乾燥之香菇在20小時後含水率降至13%；以熱風微波乾燥以及熱風微波冷凝乾燥之香菇在7小時後即使含水率降至13%以下。圖6為各方式乾燥後之香菇情形，(a)為熱風乾燥、(b)為四段式熱風乾燥、(c)為熱風微波乾燥、(d)為熱風微波冷凝乾燥，其品質是由菇傘與菇柄顏色作為判斷標準，以黃褐色品質為佳。由圖可知，熱風乾燥與四段式熱風乾燥的香菇品質較佳，其次為熱風微波冷凝乾燥，而熱風微波乾燥之品質較差。

使用能源係依據乾燥試驗後所得結果配合表1計算而得。當香菇含水率降至13%時，熱風乾燥需要24小時，消耗電能89.8度，所需成本為每公斤88.6元；四階段式熱風乾燥需要20小時，消耗能源74.9度，所需成本為每公斤73.9元；熱風微波乾燥需要7小時，消耗能源28.5度，所需成本為每公斤28.1元；熱風、微波及冷凝同時作用乾燥需要7小時，消耗能源78.0度，所需成本為每公斤77元。表2列出各處理過程的作用時間、消耗功率與成本分析結果。電費以營業用電夏月最高單價5.92元/度(kWh)及每公斤鮮香菇重作為計算基準。

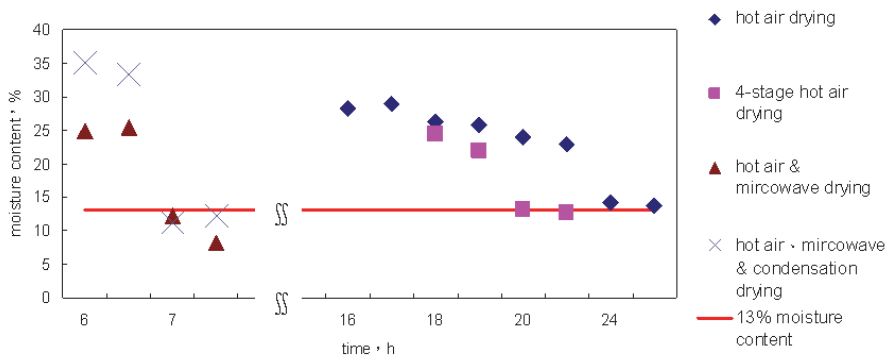


圖5 各乾燥方式含水率降至13%所需時間

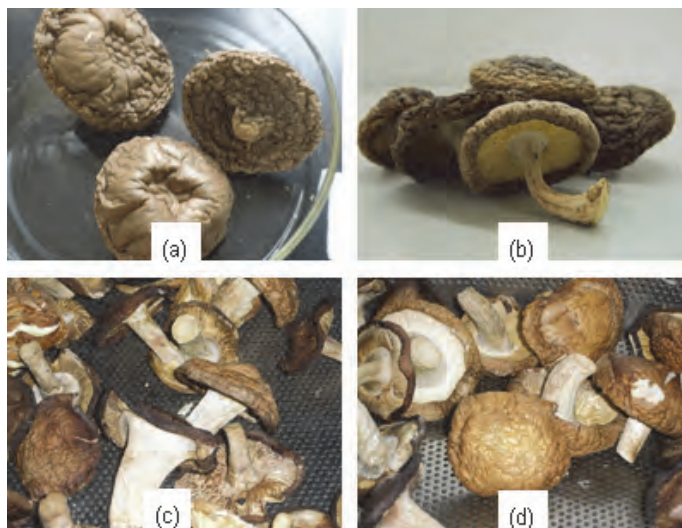


圖6 乾燥後香菇情形

表1 各乾燥設備消耗功率表

設備	功率(kW)
電熱線	3.00
冷凝器	5.32
拖盤馬達	0.746
微波管	1.00

表2 各處理過程的作用時間、消耗能源與成本

乾燥方法	時	能源	單價
	小時	度	元/公
熱風乾燥	24	89.8	88.6
四段熱風乾燥	20	74.9	73.9
熱風微波乾燥	7	28.5	28.1
熱風微波冷凝乾燥	7	78.0	77.0

四、結論

研發之微波冷凝乾燥設備，具備時序控制功能，可根據不同乾燥期程，設定乾燥參數，有效控管品質並節省人力。乾燥艙整體微波吸收功率約為86%，中間部份吸收之功率比兩旁高出38.48 kcal/hr，使得中間部份之香菇比兩旁容易過度乾燥。

香菇乾燥試驗中發現，微波乾燥比熱風乾燥節省7成以上之作業時間及降低7成成本左右，然而乾燥品質較差，其原因為微波乾燥較熱風乾燥難以控制乾燥溫度，常使香菇過度乾燥，導致部份香菇品質下降。以研究乾燥各階段微波作用時間及停止時間比例之試驗以得到最佳乾燥品質之模式將為下一步研究目標。利用於其他高單價農產品如冬蟲夏草菌絲體、紅花、薑黃等中草藥之乾燥調製為此乾燥機之重要研究應用標的。

五、參考文獻

1. 江耀宗。2002。低濕調溫乾燥機應用於茶葉乾燥之研究。
2. 吳文偉。2007。咖啡微波加熱乾燥研究。碩士論文。台中。逢甲大學化學工程學系。
3. 何榮祥、洪梅珠。1995。稻穀乾燥技術與米質。台中區農推專訊146:1-12。
4. 宋細福。1993。香菇太空包栽培。行政院農業委員會及台灣省政府農林廳編印。p.6-7。
5. 杜自疆。1989。食用菇栽培技術。六版。p.33-62; p.151-161。台北。豐年。

6. 林淑瑗。1988。香菇呈味特性及其濃縮粉末化之研究。碩士論文。台中。國立中興大學食品科學研究所。
7. 林婉茹、楊舜安、洪進雄。2010。不同貯藏溫度及天數對乾燥香菇色澤與品質之影響。 *Fung. Sci.* 25(1):33–47。
8. Komanowsky, M., F. B. Talley, and R. K. Eskew. 1970. Air drying of cultivated mushrooms. *Food Technol.* 24:1020–1024.
9. Sharma, G. P., and Suresh. Prasad. 2001. Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination. *Journal of Food Engineering.* 50(2):99–105.
10. Varith, J., A. Acharyaviriya, and S. Acharyaviriya. 2007. Combined microwave-hot air drying of peeled longan. *Journal of Food Engineering.* 81(2):459–468.
11. Wang, J., Y. S. Xiong, and Y. Yu. 2004. Microwave drying characteristics of potato and the effect of different microwave powers on the dried quality of potato. *European Food Research and Technology*, 219(5):500–506.

A Study on Microwave Condensation Drying of Mushroom

Li-DuhngHuarng¹, Jian-Jhih Lin², and Hsiang-Wen Chiu²

¹ Senior Agricultural Engineer, Taiwan Agricultural Research Institute, COA

² Assistant Agricultural Engineer, Taiwan Agricultural Research Institute, COA

Abstract

The purpose of this study was to establish a sequence controlled microwave condensation drying system for mushroom drying. The utilization of hot air, microwave and/or condensation drying method in different drying period coordinated with the drying characteristics of the mushroom to insure the drying quality of the product as well as saving time and cost. The drying experiment of the microwave condensation dryer with only the hot air set at 50°C took 24 hours to bring moisture content level down to 13% and consumed 89.8 kWh electricity. If the sequence control was implemented, the four-stage hot air drying took 20 hours to dry the mushroom to 13% moisture content and consumed 74.9 kWh electricity. If the hot air was set at 50°C with the microwave was introduced, the drying time was reduced to 7 hours and consumed 28.5 kWh electricity. If the 50°C hot air accompanied by microwave and condensation, the drying time was 7 hours but the electric energy consumption was 74.9 kWh. The experiment showed that the sequence controlled microwave condensation dryer developed in the research could adjust mushroom drying strategy in different drying period to keep the quality of the product as well as saving the labor and drying time up to 70%.

Keywords: Mushroom, Microwave, Drying.