

微波和射頻在菇菌固態發酵產物的應用

目 錄

一、前 言.....	1
二、菇菌穀類固態發酵.....	3
三、菇菌之加熱致死條件.....	5
四、微波在固態發酵後段殺菌的應用.....	6
五、射頻在固態發酵後段殺菌的應用.....	7
六、微波在固態發酵產物冷凍乾燥之應用.....	12
七、射頻熱風系統在固態發酵產物乾燥之應用.....	13
八、微波萃取茯苓粗多醣和粗三萜.....	16
九、結 論.....	20
十、誌 謝.....	21
十一、參考文獻.....	22

微波和射頻在菇菌固態發酵產物的應用

Application of Microwave and Radio Frequency on Mushroom Solid-state Fermented Products

陳淑德

國立宜蘭大學 生物資源學院 食品科學系

一、前言

很多菇菌類是藥膳兩用的真菌，由於其中含有 β -葡聚糖、三萜類化合物及一些特定的代謝物具有生理活性，如：抗氧化性、調節免疫、降血脂、抗腫瘤、降血糖等功能，故常作為保健食品的原料，被製成膠囊、錠粒、濃縮液、飲品、沖泡粉、營養添加物或化妝保養等產品。最經典出名的保健用菇菌類是靈芝，因為早在「神農本草經」即視靈芝為神奇藥方，中研院研發團隊已發現靈芝多醣具有強化免疫、抗癌的效果，主要關鍵是一種叫「岩藻醣」靈芝多醣，它能夠誘導出抗體、進而消滅癌細胞。

菇菌發酵培養包括液態發酵、固態發酵和椴木培養三種類型，而菇菌產品的形態有菌絲體和子實體兩種。由於子實體的生長需要較長的培養時間，故不論液態發酵和固態發酵皆可只針對真菌的菌絲體生長及代謝物生成作為收成的目標產物。

不論液態發酵菇菌液和固態發酵菇菌產物發酵完成時，都需要進行殺菌，已避免菇菌再進行生長及菌種外流，液態發酵液大多進行高溫高壓蒸氣直入發酵槽之殺菌方式，固態發酵產物則由於熱傳導效果不佳，以致於利用殺菌釜殺菌的時間太長，此會浪費能源，並有可能破壞熱敏感性具有生理功能性的代謝產物，故

很多業者採用不殺菌，直接進行乾燥，或是利用 γ -射線殺菌。

由於菇蕈類的真菌是靠菌絲生長，並非像細菌生長會生成菌落，可以經不同稀釋菌液濃度在平板培養以得知殺菌的情形，故若要考慮真菌液態發酵和固態發酵產物的殺菌成效，需先測試預活化菌液在不同溫度的水浴中加熱致死情形，以評估後續的殺菌效果。目前固態基質在進行發酵前已先進行殺菌，故使用非傳統熱傳方式加熱，如：微波或射頻加熱殺菌可只針對所接種菇菌之加熱致死條件進行評估，即可達到快速巴斯得殺菌的效果。

殺完菌的液態發酵液需先利用高速離心機進行固液分離，可將菌絲體等固形物進行乾燥，離心液再利用板框式精密過濾機，或進行膜過濾濃縮獲得液態產品。若要生產全發酵粉末產品，此需將液態發酵液經過膜過濾濃縮，再冷凍進一步進行冷凍真空乾燥，然後磨粉過篩以製成乾燥發酵粉末。至於殺完菌的固態發酵產物大都直接乾燥，由於它的水分含量大概只有40~60%，不及液態發酵液高，故可利用熱風乾燥數小時，但過若真菌發酵產品中具有熱敏性物質及考慮外觀、色澤和品質，亦可考慮冷凍乾燥。

傳統的冷凍乾燥是採熱板的熱傳導方式將熱傳至預先冷凍的食品上，以使食品中的冰晶昇華成水蒸氣，不過由於先由食品表面的冰吸熱而昇華，造成組織的空洞，使得熱傳阻力愈來愈大，故雖冷凍乾燥可保有良好的食品品質，但乾燥時間非常長，至少需要一天的時間。若藉由輸入低功率微波可使食品內的冰晶吸收微波產生水分子共振而摩擦生熱而快速昇華，故可以克服熱傳阻力，縮短冷凍乾燥的時間。另外使用射頻熱風加熱系統亦是使用電磁波將菇菌發酵物中的極性水分子加熱而蒸發成水蒸氣，再由熱風送至加熱箱外的環境，故利用微波和射頻加熱技術均可以加速發酵產物乾燥並保有良好的品質。

對於菇菌發酵產品中的有效成分不論進行品管分析或萃取濃縮生產高濃度的代謝產物，為考慮食品安全性，建議採用的萃取溶劑分別是以水萃取極性物質和以乙醇萃取非極性物質為主，近來發展的微波萃取可方便萃取出細胞內有效成分，此是因細胞內的水分子可吸收微波而共振生熱，甚至所產生水蒸氣的壓力過大，會致使細胞膜破裂而使有效成分流於細胞外的萃取溶劑中，大幅縮短萃取時間、減少溶劑用量和提高萃取率。

在此針對於宜蘭大學生化工程實驗室多年來，所研究的菇菌穀類固態發酵產物如：靈芝、蛹蟲草、猴頭菇、牛樟芝和茯苓等之殺菌條件、微波或射頻殺菌、微波冷凍真空乾燥、射頻熱風乾燥及微波萃取技術的操作條件作相關的探討，盼望能夠達到減少成本、節省能源生產菇菌保健食品。

二、菇菌穀類固態發酵

固態發酵技術包含傳統的製麴技術如：紅麴、醬油、豆腐乳及釀酒中的糖化步驟，而廣義的固態發酵亦包含菇菌類高等真菌利用椴木或太空包進行子實體或菌絲體的生產。固態發酵所取得的產物是發酵基質及微生物生長所代謝的產物，如：紅麴米、納豆，此是以在固態基質中發酵生產的菌絲體和其代謝物為主。菇菌類真菌發酵多採用稻梗、米麩、麥梗、麥麩等農業副產品作為太空包的基質，以生產子實體為主，如：香菇、杏鮑菇等菇菌類，具有藥膳兩用的保健功能菇菌類如：靈芝、蟲草和猴頭菇等子實體，雖已非野生採摘而是人工培養，但由於子實體生長時期長達數個月，故價格仍非常昂貴。

葡萄王生技公司開始發展液態發酵技術以生產菌絲體和多醣

體的「靈芝王」保健食品，使一向價格昂貴的靈芝降為一粒靈芝膠囊不到十元的平民價格，開啟利用液態發酵生產菇菌類保健食品的大門，且隨著生活水平提升和老年人口增加，對於養生保健相關食品將會有愈來愈多的商機。另一方面，也隨著農業、食品和醫藥界的積極開發保健藥膳用菇菌類及研究其生理活性，如：菇菌類保健食品的生理活性成分如：多醣體、三萜類、免疫蛋白、固醇類等具有抗氧化、調節免疫、抗腫瘤、降血壓、保肝、降膽固醇、降血糖、抗菌等功能，使得菇菌類子實體和液態發酵保健產品已成為養生保健市場的熱門產品，且已申請健字號的菇菌發酵健康食品也包羅萬象如：靈芝、牛樟芝、蟲草、茯苓等。

菇菌液態發酵以菌絲體及一級代謝產物為主，由於生產期短，比較無法生產具有特殊生理功能的二級代謝產物，且大量的發酵液體也會造成發酵後段工程的困難，尤其是乾燥需要花費很多時間和能源。陳和莊（2008）申請發明專利（I303557）以穀類基質（米、麥、大豆等）進行藥膳兩用真菌的固態發酵以生產真菌菌絲體或子實體，此特點是將可食用性的穀物作為基質，進行藥膳兩用菇菌如：靈芝、蟲草等的固態發酵，發酵後的穀類基質與菌絲可直接殺菌、乾燥、磨粉而開發成保健食品原料。相較於木屑太空包及液態發酵，固態發酵菌絲產物可隨著發酵時間增長而獲得特殊二級代謝產物，亦可改善穀物之消化性並提高穀物產品之營養價值如：降解澱粉而增加還原糖和蛋白質含量（Han *et al.*,2005）和增加產品的生理活性，此優點為無廢棄物，又可大幅降低乾燥和發酵液濃縮等再加工的成本（廖，2002; Pandey, 2003），故固態發酵的應用面較液態發酵更為廣泛。

影響固態發酵菇菌菌絲體生長的因子有培養基成分、氧氣傳遞、水分含量、溫度控制等，若要使用大量固態發酵槽時，會面

臨攪拌速率過高導致菌絲生長受阻及通氣於固態基質時，會產生氣體分布不均勻的渠道效應(廖，2002)。但若採用太空包固態發酵生產，調控合適的培養環境，再配合目前菇蕈業的太空包自動化生產，則可望提升產量，以改善大量固態發酵槽的熱傳和質傳難以達到均一性的問題。但若使用殺菌釜高溫殺菌基質時，固態基質較液態基質的熱傳效果差，需要較長的殺菌時間，故以射頻或微波的介電加熱方式進行固態發酵基質和產物之殺菌，將是有價值的 research 主題。

一般而言，蟲草菌的最適生長溫度較低在18—22°C外，大多的菇菌類以25—35°C為最適溫度。至於在培養的起始pH值方面，由於基質具有高緩衝性，故最終pH不會有很大的變動(廖，2002)。穀類固態基質的合適水分含量為45—65%，水分太少不易使菌絲長滿基質，但若穀類基質的水分太多，在高溫殺菌的過程會造成澱粉糊化，使穀類間沒有空隙會造成空氣傳遞困難，且水分過多也不適合真菌生長。固態發酵過程若在環境濕度85%以上的環境有助菌絲體生長(廖，2002)。

三、菇菌之加熱致死條件

在搜尋文獻資料中，非常缺乏菇菌類的加熱致死條件，可能由於菇菌類沒有像細菌有生長的菌落，可獲得D值和Z值，故只好自行決定菇菌的加熱致死條件。此先取2 mL PDB置於小樣品瓶中，放於水浴槽中取得溫度和時間關係圖(圖一)，一般而言60 s內樣品瓶內的培養液溫度已達水浴槽溫度，再置於冰浴槽中亦能立即降溫。然後取2 mL已預活化的菇菌液裝於已殺菌的小樣品瓶中，分別將已製備好的菌液瓶置於不同溫度的水浴槽，於不同時

間取出菌液瓶，立即冰浴，然後將此菌液倒入PDA平板培養一週以上，觀察菇菌是否生長，以判斷菇菌之加熱致死的溫度和時間。如圖二所示，裝有已預活的牛樟菌小樣品瓶在90°C水浴槽中分別加熱0、20、40和80 s後，立即冷卻，再倒入PDA平板上培養14天後，在90°C加熱40和80 s已讓牛樟菌死滅，無法生長。

由表一的結果顯示，牛樟菌在60°C下加熱150 s仍無法使殺死，不過在70°C和80°C下分別需要100 s和80 s才能殺死牛樟菌。針對60~90°C的不同溫度下加熱靈芝、蛹蟲草、猴頭菇、牛樟芝和茯苓致死時間皆不太相同，殺菌的溫度愈高則殺菌時間愈短（表二）。以在70°C水浴下加熱殺死靈芝、蛹蟲草、猴頭菇、牛樟芝和茯苓的時間分別為60、180、120、100和100 s，表示在這些菇菌中，以靈芝較易加熱殺死，而蛹蟲草則比較耐熱，甚至大部分的菇菌在90°C溫度下加熱60 s內即會致死，只有蛹蟲草還需加熱90 s才完成殺菌，不過所幸這些菇菌都在100°C下加熱皆可被殺死。由於菇菌接種於已殺菌的固態基質中，當培養完成時，可在常壓下加熱殺菌，由於產物的殺菌溫度不會高於100°C，故此菇菌固態發酵產物可被射頻或微波加熱殺菌，藉由水分子共振摩擦快速生熱，達到巴斯得殺菌的效果。

四、微波在固態發酵後殺菌的應用

微波是電磁波的一種，其頻率範圍大約介於300 MHz至30000 MHz，為不至於干擾通訊，在工業上微波使用頻率有其規範，家庭用的微波頻率為2450 MHz，工業用的微波頻率為915 MHz，一般而言，家用微波爐的穿透深度只有2~3 cm，而工業用的微波爐所使用的頻率低，此可使微波的穿透深度增加，才適合較厚食品

加熱如：菇菌的太空包等。很多學者已證實微波加熱系統可應用於高或低水分含量的樣品中黴菌，細菌及酵母菌的殺菌（李等，2009；鄒等，2010）。

微波可解決傳統熱量傳導上的問題，因為當微波照射到介電物質時，可以使離子和極性分子產生快速的分子內震動摩擦生熱，此宛若熱源是由食品內部所產生，故微波加熱可直接加熱食品，裝置本身並不被加熱，熱效率高，可節省能源且操作方便（陳，2008）。微波加熱殺菌的非熱效應是由於微波加熱食品的同時，也使得微生物快速升溫導致菌體蛋白質變性，甚至可使微生物的細胞膜破裂，使微生物失去生理功能，有助於殺菌效果。

傳統加熱方式耗時長，因為遇到熱傳不易物質，造成熱量無法傳送至幾何中心，造成殺菌的溫度太低而殺菌不完全，Lau與Tang (2002) 分析蘆筍罐頭殺菌分別使用水浴加溫30 min 及微波輸出功率於2000 W 加熱 9 min，則罐頭中心溫度分別達 88°C 和接近100°C，故微波加熱可以快速升溫。另外將蘋果汁內的大腸桿菌施以微波殺菌，可使大腸桿菌從原先100000 CFU/mL 下降至 0.1 CFU/mL (Canumir et al., 2002)。法蘭克福香腸以 65、75 和 85°C 熱水殺菌，時間分別為 20、12 和 10 min 方可使香腸內李斯特菌菌量從 log₉ CFU/pk 加熱後降至 log₂ CFU/pk，但若採用微波加熱分別為 65、75 和 85°C，分別只需要 17、10、6 min 即可達到同樣的殺菌效果 (Huang and Sites, 2007)。在中藥製程中微波殺菌亦可以取代原有的放射照殺菌，因為一般中藥粉材料水分含量約為 25~30%，故將 20% 水分含量為丸條及厚度為 1.5 cm、28% 水分含量的片劑使用 10 kW 微波殺菌，分別只需要 10 min 及 8 min 可達到 97% 及 96% 的致死率（韓，2004）。宋等 (2005) 研究微

波對太空包基質的殺菌效果。另外微波殺菌研究已應用於無菌加工連續式的製程 (Coronel *et al.*, 2008) 及在微波殺菌中量測食品的介電常數 (Wang *et al.*, 2003) 和預估微波殺菌過程中的食品冷點 (Pandit *et al.*, 2007) ，故微波殺菌將可應用於厚度較薄的菇菌固態發酵產物，如：皿培式的牛樟菌產物等研究。

牛樟芝 (*Antrodia cinnamomea*) 為台灣特有真菌，牛樟芝具有抗氧化、抗發炎、抗腫瘤及保肝等生理活性 (陳等, 2001) 。牛樟樹為牛樟芝之主要宿主，近年來台灣地區過度開發，濫墾牛樟樹，造成牛樟樹及牛樟芝日漸稀少，牛樟樹已被列為台灣保育類物種，且牛樟芝稀有、珍貴且生長緩慢，野生牛樟芝子實體一年約只生長五公分，價格昂貴，每斤牛樟芝可達五十多萬元，極具高商業價值，故以人工方法培養出牛樟芝之子實體或菌絲體。

在牛樟菌的固態發酵方面，可利用皿培式、太空包或椴木栽培方法取得牛樟芝菌絲體或子實體 (陳等, 2001; Lin *et al.*, 2006) 。針對發酵產品的後段工程中的殺菌以停止發酵，並避免種菌外流，若是置於121°C 高溫高壓狀態的殺菌釜下殺菌，可能因為溫度過高而造成有效成分的流失，皿培式的厚度相當薄，可利用微波進行殺菌，以避免高溫殺菌以保持品質，並可節省殺菌的時間和所耗的能源及操作成本。

由牛樟菌耐熱實驗得知牛樟菌耐熱溫度作為參考 (表二) ，讓牛樟菌殺死停止生長在70、80和90°C 分別需要100、80和40 s。為瞭解糙米基質於1000 W微波爐中加熱情形，先以四個各為30 g 總共120 g之糙米基質培養皿置入微波爐內加熱，測量糙米基質的

升溫情形(圖三)，在微波加熱100 s時溫度已達90°C，最後決定以微波功率1000 W加熱120 s可完成牛樟芝米基質發酵產物的微波殺菌製程，且後續的牛樟菌生長驗證，顯示並無牛樟菌的菌絲生長。

另外將500 g茯苓固態發酵大豆產物由原先的太空包中移入耐熱塑膠袋中(長×寬分別為28 cm×20 cm)，再壓成厚度約為0.9 cm的茯苓大豆固態發酵產物，以符合微波可穿透厚度範圍內，然後將它置於1400 W微波爐中，加熱到超過70°C只需要120 s，微波加熱180 s即可讓溫度超過90°C(圖四)，再參考茯苓菌熱致死條件(表二)，故微波殺菌可快速使固態發酵產物升溫，縮短殺菌的時間。

五、射頻在固態發酵後段殺菌的應用

相較於菇菌液態發酵液，菇菌固態發酵產物的熱傳效果較差，也需要較長的殺菌時間，但固態發酵產物含有較大量的二級代謝產物且後續的乾燥程序也可以縮短時間和節省能源。至於固態發酵產物的殺菌方法有很多種，如：高溫殺菌、化學法殺菌、 γ -射線殺菌、介電加熱殺菌等方式，但利用化學法殺菌，容易造成化學藥物的殘留或利用高溫殺菌，可能會由於殺菌的溫度過高且時間太長而造成產品營養素損失和色澤、品質變化。有些廠家將固態發酵產物經放射線 γ -ray殺菌，此為冷殺菌，但可能造成DNA變化，故在歐盟已明文禁用的 γ -ray殺菌處理。

射頻和微波同屬於電磁波，亦為介電加熱，在食品工業中射頻的頻率為13.56、27.12及40.68 MHz。將三種不同大小的容器，包括2 kg小麥裝於太空包、0.5 kg小麥裝於0.5 L玻璃瓶和5 kg

小麥裝於7 L玻璃瓶皆置於121°C殺菌釜中進行加熱殺菌，並將 E-Lab的溫度偵測器埋於小麥基質的幾何中心位置以量測殺菌過程的溫度變化。由圖五的結果顯示，殺菌釜需要5 min進行升溫至121°C，然後持續在121°C下加熱殺菌30 min 裝於三種容器，太空包、小玻璃瓶和大玻璃瓶中小麥基質的幾何中心的溫度分別為60.5、63.3和26.9°C，溫度太低，甚至由於是使用大容器，所裝的小麥基質較多，造成熱傳導阻力非常大，使得小麥基質升溫緩慢，121°C加熱30 min才達到26.9°C，連巴斯得殺菌的標準都未達到，根本無任何殺菌的效果。

射頻加熱所使用的頻率較微波小，故射頻的穿透深度較深，約較微波高於20至360倍，此可克服微波的穿透性不足的問題，故溫度分布也較微波均勻，且保有微波殺菌效果（Wang *et al.*, 2012）。射頻加熱設備是具有上下兩個電極板（圖六），藉由射頻電極板正負極快速轉換，產生電場，使在兩電極板中的介電物質，因而產生共振，使其分子震動、迴轉摩擦產生熱能（Romano *et al.*, 2007），故可降低殺菌食品的品质、質地、顏色和風味的劣變（Luechapattanaporn *et al.*, 2005）。Uemura等(2003)使用20 MHz，16.3 kV/cm的連續式射頻系統應用於柳橙汁殺菌，加熱至100°C對*Bacillus subtilis*孢子殺滅效果不良，但在高壓環境下使用射頻加熱至121°C，殺菌時間小於1s就可使*Bacillus subtilis*孢子下降4 log。Geveke等(2007)提到使用21 MHz的射頻系統加熱殺菌柳橙汁至65°C則可使*E.coli*下降3.3 log，而射頻殺菌製程的成本每公升只需約0.078元台幣，同時可保留抗壞血酸的含量，並可防止酵素性褐變。故射頻殺菌相較於傳統熱加工技術，可大幅縮減微生物失去活性的殺菌時間，且不易使食品表面焦化、脆化(Nyrop *et al.*, 1946)。

圖七為裝於太空包中的1.5 kg小麥基質(50%水分含量)於60°C熱風乾燥的溫度分布圖，由結果顯示即使加熱4 hr後，小麥基質的溫度仍未達60°C，故此熱風乾燥使小麥基質的升溫速度非常緩慢。但若是利用射頻配合熱風加熱，不論是將小麥基質置於射頻電極板間隙分別在13、14和15 cm，其溫度可於4、7和15 min時達到80°C，且其升溫和加熱時間呈線性關係，速率分別為15.858、7.46和3.622 °C/min (圖八)。接著調整熱風溫度為60、70和80°C，雖略會影響小麥基質的最終溫度，但升溫的速率變化不大(圖九)，表示小麥基質的升溫主要藉由射頻加熱，而非來自提高熱風溫度，故射頻非常適合固態發酵基質的快速巴斯得殺菌。另外由數位紅外線照相射頻熱風加熱10 min後的小麥基質太空包的表面溫度分布圖(圖十)可知，雖然在太空包的兩端溫度可能高達90°C，但小麥基質的表面中間溫度皆已超過60°C，由於利用射頻加熱的冷點非於幾何中心，而是在表面，故才會採用熱風輔助表面加熱，故根據溫度的數據，再配合表二的不同菇菌液之致死條件，必可達到發酵終點的固態發酵產物的巴斯得殺菌效果。

射頻加熱培養基的升溫曲線(圖十一)，顯示茯苓糙米基質在電極板間距為17 cm，加熱90 s即可達到60°C，持續加熱210 s可達到64.5°C，顯示相較於傳統殺菌釜殺菌，射頻加熱系統可以縮短殺菌時間。參照表二的茯苓致死條件為60°C水浴下維持150 s，在射頻加熱系統確定茯苓致死條件試驗中，在90 s可達到60°C，並在射頻加熱180 s後將茯苓固態發酵產物取出後，置於PDA培養皿中培養8天，並未見茯苓菌絲在培養皿上生長，表示茯苓已達到熱致死效果。且分析殺菌釜的殺菌及射頻加熱系統殺菌之茯苓糙米的顏色變化(表三)，顯示其明亮度與未殺菌之培

基質均有顯著性差異，經由射頻加熱系統之茯苓糙米均勻性較佳，且經殺菌釜處理明顯較未殺菌處理暗沉，而射頻加熱系統處理後明亮度明顯接近於未殺菌基質，證實射頻殺菌可保留較完整的顏色。

在Kang等(2012)使用9 kW，頻率為27.1 MHz射頻加熱系統，當兩個電極板間隔為11 cm，其將含有1 cm厚的樣品玻璃杯，放在底部極板中心，黑胡椒及紅辣椒分別處理50 s及40 s後，可使其中心溫度達60°C，且可使*Salmonella typhimurium*及*Escherichia coli*菌數下降，菌數量低於5 log CFU/g，也亦顯示射頻加熱系統具有殺菌的潛力，且不會使樣品顏色改變，可以確保產品的品質，其結果與本研究的菇菌固態發酵產物射頻殺菌結果相仿。

六、微波在固態發酵產物冷凍乾燥之應用

微波真空冷凍乾燥機是直接利用微波在真空乾燥機中作為冷凍食品中冰晶昇華的熱源，再利用真空泵將昇華的水蒸氣急速吸附於-60°C的冷凍系統，故此設備應包括微波、密閉乾燥室、抽真空的泵、冷凝系統。微波真空乾燥過程應會在40~50 min即可將食品中的水分含量由原先的90%左右降至15%以完成食品的乾燥(陳, 2008; Clary *et al.*, 2006)。不過系統抽真空時要注意將系統的絕對壓力降至85 Pa以下，以避免微波放電所產生的電暈現象(Duan *et al.*, 2010)。微波真空冷凍乾燥大約可使冷凍乾燥時間可節省75%製程時間，且此冷凍乾燥過程會以恆率乾燥期進行，而沒有呈現減率乾燥期，此可大幅解決利用熱板作為食品冷凍乾燥時熱傳導障礙所造成製程的瓶頸(Duan *et al.*, 2010;

Abbasi and Azari, 2009; Wang *et al.*, 2010a; Wang *et al.*, 2010b)。

將微波殺菌完成後的皿培式牛樟菌固態發酵糙米產物，其原水率約為60%左右，先行冷凍備用，再經50 W微波冷凍乾燥只需75 min即可使無因次水分含量達0.1以下，其微波冷凍乾燥曲線如圖十二，而傳統冷凍乾燥時間至少24 hr，為微波冷凍乾燥時間的19.2倍，且由於二者的凍乾過程皆需要配合真空泵和冷凍冷凝系統，而真空和冷凝系統的耗能分別是21.84 kJ/min和25.08 kJ/min，故50 W微波冷凍乾燥30 g牛樟菌發酵產物75 min需耗能4284 kJ，微波輸出功率則控制約在1.6 W/g且乾燥過程中樣品的溫度低於30°C，而傳統冷凍乾燥24 hr需耗能67564.8 kJ，以微波加快乾燥速率，可以縮短真空泵及冷凝裝置的運作時間，故可達到節能之目的，故此微波冷凍乾燥製程可以節省93.65%以上能源（表四）。在外觀上，微波冷凍乾燥後牛樟菌發酵糙米產物體積較未乾燥前的冷凍產品呈現往內略微收縮的現象，但顏色無變化。Duan等(2010)曾針對300 g的海參分別以熱風乾燥、冷凍乾燥、微波冷凍乾燥輸出微波功率1.6 W/g，分別需耗時8、18和12 hr，微波冷凍乾燥海參的製程需也較傳統冷凍乾燥節省70%的能源消耗，但其微波冷凍乾燥的海參乾燥終點的溫度已高達80°C，此可能由於後段乾燥之微波輸出功率較大，而造成微波的能量和冰晶昇華的所需能量並不平衡，應提前終止的冷凍乾燥。

七、射頻熱風系統在固態發酵產物乾燥之應用

菇蕈固態發酵產物最終需要乾燥才能貯藏，若是其中含有熱敏感性的代謝產物建議採用傳統冷凍乾燥，此是低溫的乾燥製程

可保有良好的品質，但此操作成本昂貴且乾燥的時間可能超過24 hr。故一般常用熱風乾燥8~12 hr以獲得最終產品，但高溫的熱風也可能會破壞有效成分，所以不論冷凍乾燥或熱風乾燥所花費的時間都在半天以上，是後段工程中最耗時間和能源的製程。然而使用射頻熱風乾燥系統進行菇蕈固態發酵產物的乾燥，會由於射頻的頻率會引起產物內部的水分子產生震動，摩擦生熱而均勻蒸發成水蒸氣 (Zhang *et al.*, 2006; Piyasena *et al.*, 2003; Marra *et al.*, 2008)，再配合熱風將已蒸散於產物表層的水蒸氣吹離乾燥機，故此可克服熱傳和質傳阻力而加速乾燥，且相較於微波加熱，射頻的穿透產物的深度是微波的數倍，故更適合厚度較厚，且產量較大的菇菌類發酵產物的乾燥。

射頻乾燥已廣泛應用於工業界，如：木材乾燥、紡織品乾燥 (Balakrishnan *et al.*, 2004; Cai and Hayashi, 2007) 及烘焙食品の後段乾燥 (Memelstein, 1997) 等。另外射頻在食品其他方面的應用，如：肉品和麵包的烘煮，蔬果的殺菁 (Ptasznik *et al.*, 1990)，冷凍食品的解凍，巴斯得殺菌 (Bengtsson and Green., 1970; LagunasSolar *et al.*, 2005)，水果和核果的殺蟲方面 (Wang *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2007)。

本研究所使用的射頻 (Strayfield International Limited, Wokingham, U K) 再組合熱風乾燥機如圖六所示，其中是6 kW，27.12 MHz射頻-熱風加熱系統，且樣品加熱乾燥的電流和功率關係式是 $y = 5x - 1.5$ ，其中的y代表射頻功率(kW)，x代表電流。熱風的溫度控制約在60°C，流速為1 m/s，由射頻加熱設備的下方往上吹入食品中。

由於乾燥時，小麥基質的水分含量會逐漸下降，故先製備不同水分含量(20~50%)的小麥基質，並先用121°C的殺菌釜進行

殺菌，冷卻備用。並將2 kg的小麥基質（水分含量為50%）置於長方體的具有網孔的塑膠容器（25 cm x 15 cm x 9 cm）（圖十三）中，小麥基質的高度約為7 cm，假密度約為 760 kg/m³，且將6個光纖溫度計（UMI, FISO Technologies Inc., Saint-Foy, Quebec, Canada）插入塑膠容器中的小麥基質的不同位置中，且乾燥完成時並用數位紅外線照相機（Thermal CAM TM SC-3000, FLIR Systems, Inc. North Billerica, MA, USA）照出小麥基質表面的溫度分布，至於樣品溫度的均勻性（ α ）則是溫度的標準偏差除以平均溫度，故 α 愈小則代表樣品內的溫度分布愈均勻。

圖十四是在不同的射頻電極板間距下，裝載的小麥基質愈多，則其離上和下兩個電極板的距離則愈小，故會提升射頻熱風加熱系統中電流和功率。若是只裝載1 kg小麥基質的高度太低，會顯得電極板間距太大，而造成射頻電流太小，加熱效果不佳。另一方面，若裝載3 kg小麥基質的高度太高，造成樣品離兩個電極板的間距太小，射頻的電流太大。在此射頻加熱系統，以裝載2 kg的小麥基質的高度較合適，且在電極板間距14 cm以下，射頻電流即輸出功率會隨著間距愈小而愈大，電極板間距在14 cm以上，射頻電流即輸出功率非常低，不是合適的操作範圍。在相同電極板間距下，由於裝載的2 kg小麥基質的水分含量不同會造成樣品的水分含量愈高，射頻系統的電流愈高，功率愈大（圖十五）。考慮乾燥過程小麥基質的水分会持續下降，故射頻電極板間距宜選擇最小的11.5、12和12.5 cm進行射頻熱風乾燥60 min，小麥基質的溫度均勻性分別為0.22、0.19和0.17（圖十六），故以電極板間距選擇在12.5 cm的溫度均勻性佳，則在前5 min進行顯熱的升溫不致於過高於熱風的溫度，且後續溫度維持平衡是進行水分蒸發的潛熱情形。

進一步分析2 kg的小麥基質(水分含量50%)在射頻熱風乾燥(電極板間距為12.5 cm下)及60°C熱風乾燥下的乾燥曲線,發現它們的乾燥速率呈線性關係,分別是射頻熱風的 $y = -0.4105x + 49.465$ 和60°C熱風乾燥的 $y = -0.0486x + 52.569$ (圖十七),兩者的乾燥速率相差8.44倍,故射頻熱風乾燥系統可克服熱傳阻力,大幅縮短乾燥時間,甚至熱風乾燥至10 hr的小麥基質的水分含量仍非常高,可能會進入減率乾燥期,使乾燥的時間拖得更長。

由二者乾燥終止時的小麥基質表面的溫度分布的表面熱顯影圖(圖十八),則以射頻熱風乾燥90 min後小麥基質的最高和最低表面溫度分別為89.2°C和50.0°C,平均溫度為62.7°C,溫度的均勻性為0.113,另一方面單獨60°C熱風乾燥12 hr後小麥基質的最高和最低表面溫度分別為64.8°C和33.5°C,平均溫度為48.3°C,但溫度分布的均勻性為0.159較射頻熱風乾燥系統不均勻。再比較二者乾燥小麥基質的水活性,均低於0.7適合貯藏,但仍以射頻熱風乾燥的樣品水活性較低,至於二者的顏色並無顯著差別(表五)。

八、微波萃取茯苓粗多醣和粗三萜

茯苓(*Poria cocos*)係一藥膳兩用真菌,常於松樹根部形成菌核,其菌核在中醫上具有滲濕、利水、健脾、安神功能,被譽為中藥“八珍”之一,亦常被用於藥膳與保健食品中,如:健字號產品—寶茯苓。主要生物活性份為三萜類及茯苓多醣體。藥理研究證實其具有如抗發炎、抗氧化、免疫調節、抗腫瘤、鎮靜、利尿、止吐等作用。(張和胡,2011)。

為開發茯苓固態發酵以符合保健食品市場的需求及研究微波

萃取製程以縮短萃取時間和增加萃取率，茯苓固態發酵30天已長滿菌絲，故考量未來量產之培養時間、成本和有效成分的產率，茯苓固態發酵穀類產物的粗多醣和粗三萜的含量分別是以薏苡在發酵第2週和大豆在發酵第4週最多，故未來在生產一級代謝產物的茯苓多醣的採收時間為第2週，生產二級代謝產物的三萜類的採收時間為第4週。

一般較被廣泛使用的萃取方法有震盪萃取、熱水萃取及索氏萃取等，此是透過加熱或攪拌來提升物質溶解度及質傳來達到萃取之目的，雖然這些方法設備簡單且操作容易，但所需的萃取時間長、溶劑消耗量大、萃取效率低，且許多熱不穩定性的天然物，可能會於熱萃取的過程中產生破壞，減少其含量 (Wang *et al.*, 2009; Huang and Ning, 2010)，故近年來逐漸發展出一些新的萃取技術，如：超音波輔助萃取、微波輔助萃取等等。

微波是介於紅外線與無線電波的一種電磁波，頻率為0.3~300 GHz之間，一般家庭用的微波爐為2450 MHz，近年來，微波除了用以加熱食物外，也被認為是作為萃取藥用植物等活性成分化合物的方法，相較於傳統熱水萃取是由熱傳導、對流的方式以加熱溶劑，進而加熱樣品以達到萃取之目的。因為微波萃取可藉由溶劑或細胞內水分能夠吸收微波轉換成熱能及極性分子受微波而產生偶極高速轉動摩擦生熱的現象，樣品與溶劑可同時快速加熱升溫，故微波萃取具有縮短萃取時間、溶劑消耗量小、成本較低和萃取效率高等優點 (劉等, 2003; Kaufmann and Chirsten, 2002; Ganzler *et al.*, 1986)。此外微波可直接加熱或混合溶劑，與植物中的腺體或管束中的水直接作用，使植物組織破裂，造成細胞內的活性化合物更容易釋放於有機溶劑中 (Chen *et al.*, 2007; Al-Harah sheh and Kingman, 2004)，故微波萃取被認為是具有潛力的

萃取方法。

目前已有許多相關研究使用微波技術萃取中草藥的有效成分，Chen等（2007）以不同條件之微波參數進行靈芝粗三萜之萃取，分別使用不同萃取溶劑如：95%乙醇、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇、丙酮及二氯甲烷：甲醇（1：1）及不同萃取時間：2.5、5、15、20、30分鐘、不同固液比：1：10、15、20、25、30，及不同萃取溫度；60、70、80、100和120°C為研究參數。其研究結果顯示，不同萃取溶劑之效果以95%的乙醇可達最高之萃取率4.27%，而三萜類達1.218%，並以萃取時間5 min、固液比為1：25、萃取溫度為90°C時可達三萜類之最大萃取率。且微波萃取靈芝三萜類之萃取時間可較搖瓶萃取及熱回流萃取減少24—144倍，而萃取率增加2-2.5倍。

微波萃取設備（圖十九），此設備所提供溶劑萃取的蒸發熱能，只藉由微波使溶劑和樣品中的水分子吸收微波的頻率產生水分子的共振而摩擦快速生熱，甚至可能會因細胞內水蒸氣快速升高蒸氣壓力而造成細胞膜破裂，此可使細胞內的有效成分溶於萃取溶劑中（Kaufmann and Christen, 2002），進而縮短萃取時間和提高萃取率，並可能避免熱敏感的天然物因長時間受熱而破壞，甚至還可較傳統萃取減少50%~90%的溶劑用量。

首先調整不同微波輸出功率以加熱50 mL的水，由圖二十得知，微波輸出功率分別控制在300、400、500和600 W，再利用紅外線溫度偵測器量測水溫達到約95°C以上所需的時間，分別為5、4、3和3 min，即表示微波可快速升溫，雖然輸出功率不同，但也都在5 min內很快達到恒定溫度。

先以1:20的固液比進行茯苓多醣的微波萃取研究，將微波萃取時間為10 min，先比較不同微波輸出功率（300、400、500和

600 W) ，萃取茯苓固態發酵薏仁產物中粗多醣的含量，由圖二十一的結果得知微波萃取的多醣含量約為29.82~33.05%，並無明顯差異，此可能由於萃取時間和溫度都已足夠，故未來的研究可利用低微波功率300 W進行10 min的粗多醣萃取，此已明顯快於傳統的熱水萃取法。

至於微波輸出功率在300 W下，不同的萃取時間10、20和30 min，萃取茯苓固態發酵薏仁產物的粗多醣含量分別為32.06%、32.89%和34.66% (圖二十二)，表示微波萃取時間增加，會增加能源的消耗，但並未顯著增加萃取量，故建議微波萃取粗多醣的條件是以加水以1：20的固液比，經300 W微波萃取10 min，此可以節省萃取的時間和能源消耗。另外圖二十三利用熱水迴流萃取發酵14天的茯苓固態發酵薏仁產物之多醣，則至少需要6 hr的萃取時間才能夠萃取到多醣。

Huang和Ning (2010) 等人以超音波/微波輔助萃取靈芝多醣，選用微波功率、萃取時間及固液比等參數進行實驗設計得知當微波功率為250 W，萃取靈芝多醣的時間為720 s，固液比為1：15時，多醣萃取率可達73.08%。且隨著微波功率及萃取時間的增加，一開始其多醣萃取率均會隨之增加，但若是再增加微波功率會造成萃取溫度過高或因為萃取時間過長，使多醣結構會被破壞而有降解的情形，反而導致多醣萃取率下降。利用超音波/微波輔助萃取可較超音波輔助萃取減少約7倍的萃取時間，較傳統熱水萃取減少約25.5倍的萃取時間，但其萃取率卻可較傳統熱水萃取提高約2倍，較超音波輔助萃取提高約1.3倍的靈芝多醣萃取率。

使用95%乙醇作為萃取茯苓固態發酵大豆產物的溶劑，將50 mL乙醇置於微波萃取瓶中，以微波輸出功率分別控制在200

、300和400 W則需要3、2和2 min才能達到75°C以上恒定溫度(圖二十四)，由於乙醇的沸點較水低，升溫快速，相對於300 W微波加熱水，需5 min才能達到95°C恒定溫度(圖二十)。然後利用不同的萃取時間，分別以200、300和400 W微波萃取1 min和3 min仍未達到粗三萜最高萃取量，以300 W微波萃取約需5 min即能萃取最高茯苓大豆中粗三萜含量，此和萃取10 min的結果相近，不過萃取20 min茯苓大豆中粗三萜含量反而略微下降(圖二十五)。而微波輸出功率只略有不同，再進一步分析不同之固液比分別為1：5、1：10、1：15和1：20時的茯苓大豆中粗三萜含量，明顯地粗三萜含量會因為液固比加大而增加萃取率(圖二十六)。圖二十七為不同時間進行超音波萃取茯苓大豆中粗三萜，此需要萃取20 min方可和微波萃取率相較，故微波可縮短萃取時間，固液比為1：20，以300 W微波萃取5 min可得到茯苓粗三萜。此結果和Chen等(2007)以微波輔助萃取靈芝的三類相近，其結果顯示以95%的乙醇可達最高之萃取率和三萜類含量，其萃取時間為5 min、固液比為1：25。300 W微波萃取5 min即可快速完成萃取。

九、結論

菇菌類固態發酵培養時間較長，可生產的二級代謝產物，且由於產物的水分含量較低，可節省乾燥成本，而固態發酵產物在包裝前需經過的後續製程包括殺菌、乾燥和磨粉等。菇菌的殺菌溫度在100°C以下即可被殺死，使得菇菌固態發酵的後段的殺菌可利用微波或射頻系統快速加熱升溫以達巴斯得殺菌的效果。至於乾燥菇菌固態發酵產物，若採用傳統冷凍乾燥或熱風乾燥皆

要花費較長的時間，故利用微波冷凍乾燥可克服熱能傳送的障礙，亦可以節省85%以上的能源。菇菌類的生理活性物質，如：多醣和三萜類可分別利用水或酒精溶劑進行微波萃取，不只可節省萃取時間，亦可以提升萃取率。

十、誌謝

感謝中醫藥委員會CCMP100-RD-022「樟芝發酵產物微波殺菌及微波凍乾製程研發」及農委會農糧署的101農科-3.1.3-糧-Z1(4)「微波萃取茯苓固態發酵產物之有效成分」的計畫經費支持。感謝拜寧生技公司提供 BCRC 35398 牛樟菌株和野生牛樟芝，祐全生技公司提供野生牛樟芝菌株。感謝美國華盛頓州立大學生物系統工程系唐炬明教授及王紹金博士提供及協助指導射頻熱風系統操作。在設備方面，感謝禾協生物科技公司協助射頻加熱設備建立及康倍得機械股份有限公司協助可調控功率之微波系統之建立。更謝謝生化工程實驗室的研究生們和專題生們全力支持研究的進行。此相關技術已由宜蘭大學技轉給芳吉恩生技公司，大量生產菇菌固態發酵產品。

要花費較長的時間，故利用微波冷凍乾燥可克服熱能傳送的障礙，亦可以節省85%以上的能源。菇菌類的生理活性物質，如：多醣和三萜類可分別利用水或酒精溶劑進行微波萃取，不只可節省萃取時間，亦可以提升萃取率。

十、誌謝

感謝中醫藥委員會CCMP100-RD-022「樟芝發酵產物微波殺菌及微波凍乾製程研發」及農委會農糧署的101農科-3.1.3-糧-Z1(4)「微波萃取茯苓固態發酵產物之有效成分」的計畫經費支持。感謝拜寧生技公司提供 BCRC 35398 牛樟菌株和野生牛樟芝，祐全生技公司提供野生牛樟芝菌株。感謝美國華盛頓州立大學生物系統工程系唐炬明教授及王紹金博士提供及協助指導射頻熱風系統操作。在設備方面，感謝禾協生物科技公司協助射頻加熱設備建立及康倍得機械股份有限公司協助可調控功率之微波系統之建立。更謝謝生化工程實驗室的研究生們和專題生們全力支持研究的進行。此相關技術已由宜蘭大學技轉給芳吉恩生技公司，大量生產菇菌固態發酵產品。

十一、參考文獻

- 李聚森、熊建華、裴琛、張鳳英。2009。製麩原料（麩皮）的微波殺菌探討。釀酒科技，2：87-89。
- 宋安東、劉存祥、葛新鋒、張建、彭迎革。2005。微波食用菌生產用固體物料的試驗研究。微波學報，21(6): 66-70。
- 陳啟楨、蘇慶華、藍明煌。2001。樟芝固體栽培及其生物活性之研究。菌類科學，16(1-2): 65-72。
- 陳淑德。2008。食品微波乾燥技術的應用。台北國食品展&台北國際食品機械暨包裝展專刊：57-61。食品資訊雜誌社，台北，台灣。
- 陳淑德、莊佳穎。2008。穀類固態發酵之真菌類產品及其製造方法。中華民國專利證號：I303557。
- 張先淑、胡先明。2011。茯苓三萜類化合物研究進展。安徽農業科學，39(2)：815-816。
- 廖仁宏。2002。固態培養生產靈芝菌絲體之研究。東海大學化學工程學系碩士學位論文。台中。台灣。
- 鄒淑萍、張謙、過利敏、劉珞。2010。不同殺菌方式對杏乾殺菌效果的影響研究。新疆農業科學，47(4)：692- 697。
- 劉川生、王平、王立飛、梅成、陳薇薇。2003。微波萃取技術在天然藥物提取中的研究進展。中國天然藥物，1(3)：187-192
- 韓德權。2004。微波殺菌在中藥生產中的應用研究。黑龍江大學自然科學學報，21(2): 128-140。
- Abbasi, S. and Azari, S. (2009). Novel microwave - freeze

- drying of onion slices. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(5): 974-979.
- Al-Harashseh, M., and Kingman, S. W. (2004). Microwave-assisted leaching – A review. *Hydrometallurgy*, 73: 189-203.
- Balakrishnan, P.A., Vedaraman, V., Sundar, V. J., Muralidharan C., and Swaminathan G., (2004). Radio frequency heating- A prospective leather drying system for future. *Drying Technology*, 22 (8) : 1969-1982.
- Bengtsson, N. E., and Green, W. (1970). Radio-frequency pasteurization of cured hams. *Journal of Food Science*, 35: 681-687.
- Cai, Y., and Hayashi, K. (2007). New monitoring concept of moisture content distribution in wood during RF/vacuum drying. *Journal of Wood Science*, 53: 1-4.
- Canumir, J.A., Celis, J.E., de Bruijn, J. and Vidal, L. V. (2002). Pasteurisation of Apple Juice by Using Microwaves. *LWT - Food Science and Technology*, 35(5): 389-392.
- Chen, Y., Xie, M. Y., and Gong, X. F. (2007). Microwave-assisted extraction used for the isolation of total triterpenoid saponins from *Ganoderma atrum*. *Journal of Food Engineering*, 81(1): 162-170.
- Clary, C., Gamache, A., Cliff, M., Fellman, J. and Edwards, C. (2006). Flavor and aroma attributes of riesling wines produced by freeze concentration and microwave vacuum dehydration. *Journal of Food Processing Preservation*, 30(4): 393-406.

- Coronel, P., Simunovic, J., Sandeep, K. P., Cartwright, G. D. and Kumar, P. (2008). Sterilization solutions for aseptic processing using a continuous flow microwave system. *Journal of Food Engineering*, 85(4): 528-536.
- Duan, X., Zhang, M., Mujumdar, A. S. and Wang, S. (2010). Microwave freeze drying of sea cucumber (*Stichopus japonicus*). *Journal of Food Engineering*, 96(4): 491-497.
- Ganzler, K., Salgo', A., and Valko', K. (1986). Microwave extraction: A novel sample preparation method for chromatography. *Journal of Chromatography*, 371: 299 – 306.
- Geveke, D. J., Brunkhorst, C., and Fan, X. (2007). Radio frequency electric fields processing of orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8 : 549 – 554.
- Han, J. R., An, C. H. and Yuan, J. M. (2005). Solid-state fermentation of cornmeal with the basidiomycete *Ganoderma lucidum* for degrading starch and upgrading nutritional value. *Journal of Applied Microbiology*, 99(4): 910-915.
- Huang, L. and Sites, J. (2007). Automatic control of a microwave heating process for in-package pasteurization of beef frankfurters. *Journal of Food Engineering*, 80(1): 226-233.
- Huang, S. Q., and Ning, Z. X. (2010). Extraction of polysaccharide from *Ganoderma lucidum* and its immune enhancement activity. *International Journal Biological Macromolecules*, 47(3): 336-341.

- Kang, D. H., Kim, S. Y., Sagong, H. G., Choi, S. H., Ryu, S. (2012). Radio-frequency heating to inactivate *Salmonella Typhimurium* and *Escherichia coli* O157:H7 on black and red pepper spice. *International Journal of Food Microbiology*, 153 : 171 – 175.
- Kaufmann, B., and Christen, P. (2002). Recent extraction techniques for natural products: microwave-assisted extraction and pressurised solvent extraction. *Phytochemical Analysis*, 13(2): 105-113.
- Lagunas-Solar, M. C., Zeng, N. X., Essert, T., Truong, T. D. Pina, C., Cullor, J. S., Smith, W. L., and Larrain, R. (2005). Disinfection of fishmeal with radiofrequency heating for improved quality and energy efficiency. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85: 2273-2280.
- Lau, M. H. and Tang, J. (2002). Pasteurization of pickled asparagus using 915 MHz microwaves. *Journal of Food Engineering*, 51(4): 283-290.
- Lin, J. Y., Wu, T. Z., and Chou, J. C. (2006). In vitro induction of fruiting body in *Antrodia cinnamomea* - a medicinally important fungus. *Botanical Studies*, 47(3): 267-272.
- Luechapattanaporn, K., Wang, Y. F., Wang, J., Tang, J. M., Hallberg, L. M., and Dunne, C. P. (2005). Sterilization of scrambled eggs in military polymeric trays by radio frequency energy. *Journal of Food Science*, 70 (4): 288 – 294.

- Marra, F., Zhang L., and Lyng, J. G., (2008). Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances. *Journal of Food Engineering*, 91: 497-508.
- Mermelstein, N.H. (1997). Interest in radiofrequency heating heats up. *Food Technology*, 51(10): 94-95.
- Nyrop, J. E. (1946). A specific effect of high-frequency electric currents on biological objects. *Nature*, 157(3976): 51.
- Pandit, R. B., Tang, J., Liu, F. and Mikhaylenko, G. (2007). A computer vision method to locate cold spots in foods in microwave sterilization processes. *Pattern Recognition*, 40: 3667-3676.
- Pandey, A. (2003). Solid-state fermentation. *Biochemical Engineering*, 13(2-3): 81-84.
- Piyasena, P. Dussault, C. and Koutchma, T. (2003). Radio frequency heating of foods: principles, applications and related properties-a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43(6): 587-606.
- Ptasznik, W., Zygmunt, S., and Kudra, T. (1990). Simulation of RF-assisted convective drying for seed quality broad bean. *Drying Technology*, 8 (5): 977-992.
- Romano, V., Marra, F., Lyng, J., McKenna, B. (2007). Radio-frequency heating of foodstuff: Solution and validation of a mathematical model. *Journal of Food Engineering*, 79: 998 – 1006.

- Uemura, K., and Isobe, S. (2003). Developing a new apparatus for inactivating *Bacillus subtilis* spore in orange juice with a high electric field AC under pressurized conditions. *Journal of Food Engineering*, 56 : 25 – 329
- Wang, Y., Wig, T. D., Tang, J. and Hallberg, L. M. (2003). Dielectric properties of foods relevant to RF and microwave pasteurization and sterilization. *Journal of Food Engineering*, 57: 257-268.
- Wang, S., Birla, S. L., Tang, J., Tang, J., and Hansen, J. D. (2006). Postharvest treatment to control codling moth in fresh apples using water assisted radio frequency heating. *Postharvest Biology and Technology*, 40: 89-96.
- Wang, S., Monzon, M., Johnson, J. A., Mitcham, E. J., and Tang, J. (2007). Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts I: heating uniformity and energy efficiency. *Postharvest Biology and Technology*, 45: 240-246.
- Wang, Y. J., Cheng, Z., Mao, J. W., Fan, M., & Wu, X. Q. (2009). Optimization of ultrasonic-assisted extraction process of *Poria cocos* polysaccharides by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 77(4): 713-717.
- Wang, R., Zhang, M., and Mujumdar, A. S. (2010a). Effect of food ingredient on microwave freeze drying of instant vegetable soup. *LWT - Food Science and Technology*, 43(7): 1144-1150.

- Wang, R., Zhang, M., and Mujumdar, A. S. (2010b). Effects of vacuum and microwave freeze drying on microstructure and quality of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 101(2) : 131-139 (2010b).
- Wang, J., Luechapattanaorn, K., Wang, Y., and Tang, J. (2012). Radio-frequency heating of heterogeneous food – Meat lasagna. *Journal of Food Engineering*, 108: 183-193.
- Zhang M., Tang J., Mujumdar A.S., Wang S. (2006). Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 17: 524-534.

表一、60~90°C 加熱2 mL牛樟芝菌液經14天培養之生長情形

Table 1. The survival condition of *A. cinnamomea* in heating 2 mL PDB at 60~90°C after 14-days cultivation

Temperature (°C)	Time (s)					
60°C	0	30	60	90	120	150
	Y	Y	Y	Y	Y	Y
70°C	0	25	50	75	100	125
	Y	Y	Y	Y	N	N
80°C	0	20	40	60	80	120
	Y	Y	Y	Y	N	N
90°C	0	20	40	80		
	Y	Y	N	N		

* Y: growth, N: death

表二、不同溫度下(60~90°C)加熱不同菇菌液之致死條件

Table 2. The sterilizing condition for different mushroom fungus at different temperature and time

Sterilizing time for fungus	60°C	70°C	80°C	90°C
<i>Ganoderma lucidum</i> 靈芝	90s	60s	-	-
<i>Cordyceps militaris</i> 蛹蟲草	480s	180s	150s	90s
<i>Hericium erinaceus</i> 猴頭菇	-	120s	100s	30s
<i>Antrodia cinnamomea</i> 牛樟芝	-	100s	80s	40s
<i>Poria cocos</i> 茯苓	150s	100s	80s	45s

表三、60~90°C 加熱2 mL牛樟芝菌液經14天培養之生長情形

Table 3. The survival condition of *A. cinnamomea* in heating 2 mL PDB

Color	Untreated	RF 3 min	121°C Autoclave 60 min
L*	65.91±0.24 ^b	70.55 ±0.24 ^a	54.82 ±0.15 ^c
a*	6.35±0.11 ^c	7.64±0.07 ^b	11.74±0.16 ^a
b*	27.04±0.16 ^b	23.97±0.04 ^c	32.25±0.10 ^a

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

** ^{a-c} Means in the same row with different superscript letters are significantly different (p < 0.05).

表四、微波和傳統冷凍乾燥牛樟菌固態發酵糙米產物之耗能情形

Table 4. Energy consumption of *A. cinnamomea* solid-state fermented brown rice products by microwave and conventional freeze-drying

Power (W)	Drying time (min)	Energy consumption (kJ)			
		Vacuum pump	Condenser	Microwave	Total
50	75	1638	1881	765	4284
FD	1440	31449.6	36115.2	0	67564.8

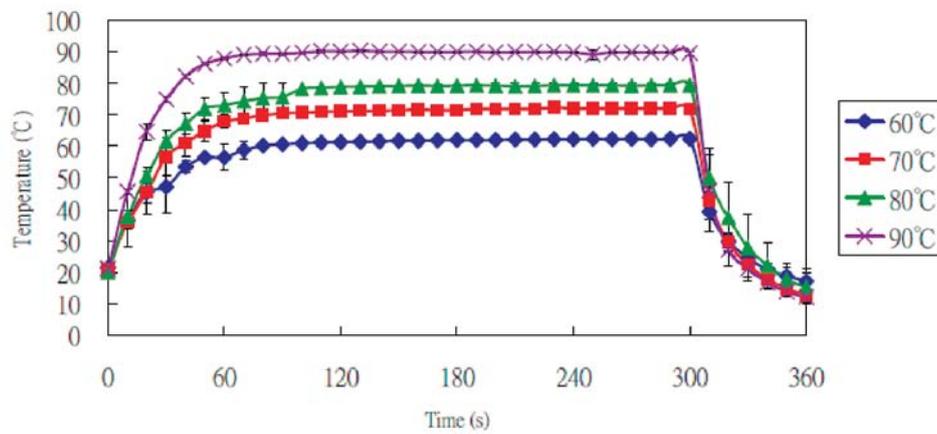
* FD: freeze-drying without microwave power input

表五、不同乾燥小麥基質的水活性和顏色

Table 5. The water activity (a_w) and color of finally dried wheat medium

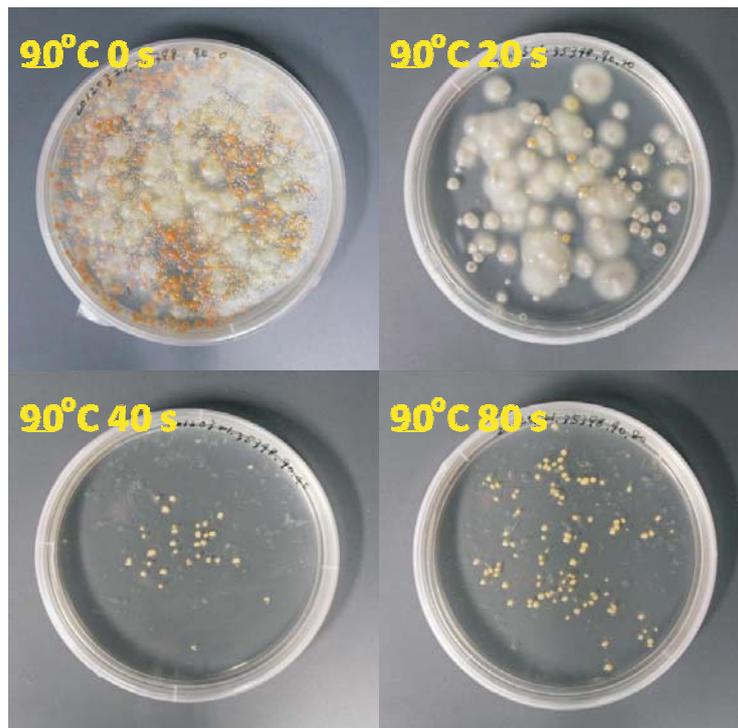
Drying treatment	a_w	L^*	a^*	b^*
12 hr Hot air drying	$0.60 \pm 0.02^*$	44.42 ± 1.53	7.13 ± 0.24	22.80 ± 0.65
90 min RF-hot air drying	0.33 ± 0.03	43.33 ± 1.04	7.39 ± 0.54	22.68 ± 1.41

* Means in the same column followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$).



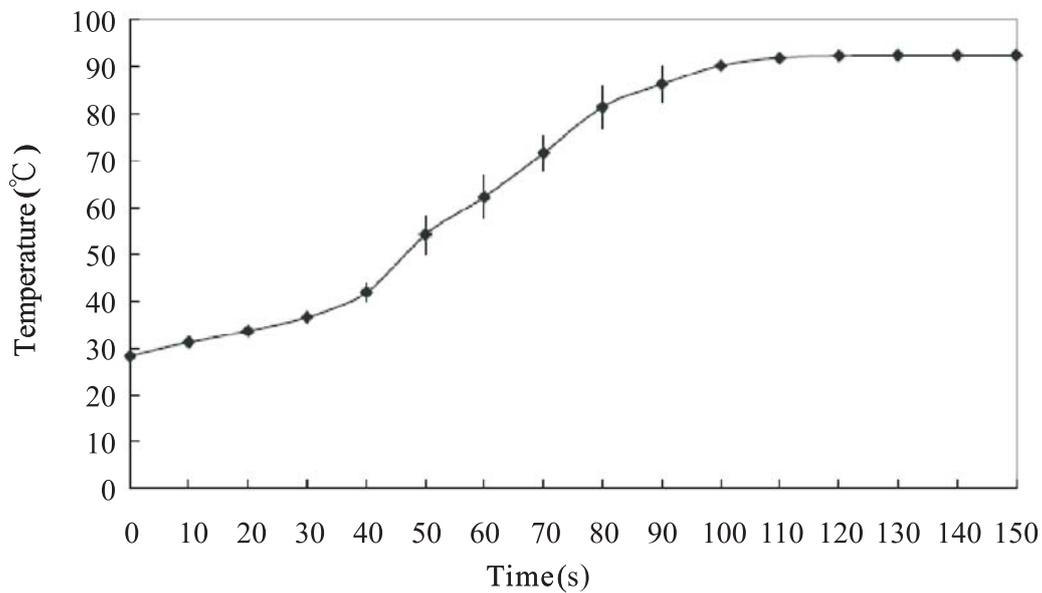
圖一、2 mL PDB不同溫度下升溫及降溫曲線。

Fig. 1. Temperature profiles of 2 mL PDB by different temperature heating and cooling. Data are expressed as mean \pm S.D. (n=3).



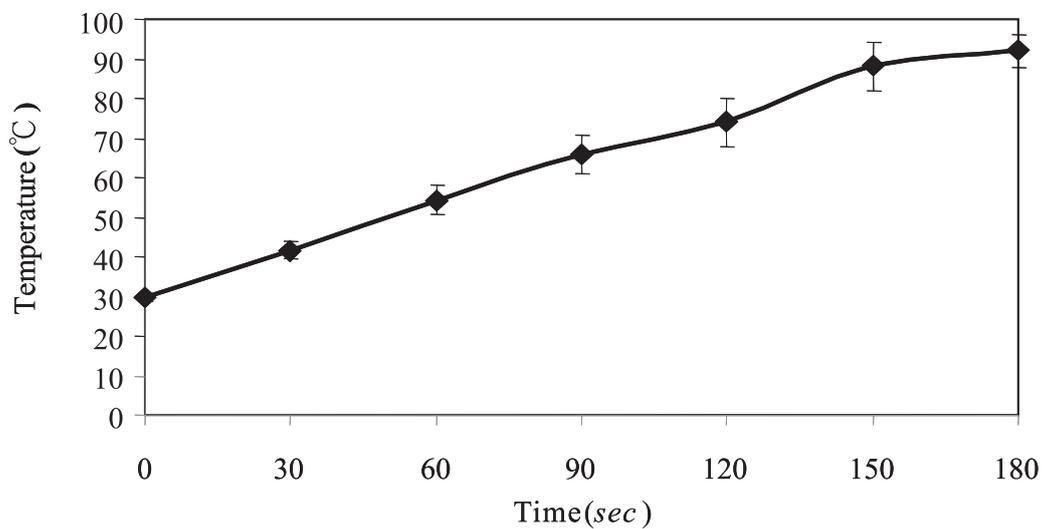
圖二、牛樟菌於90°C下加熱，再倒入PDA平板培養14天的照片。

Fig. 2. The pictures of heating at 90°C on *A. cinnamomea* in PDB after 14-days cultivation.



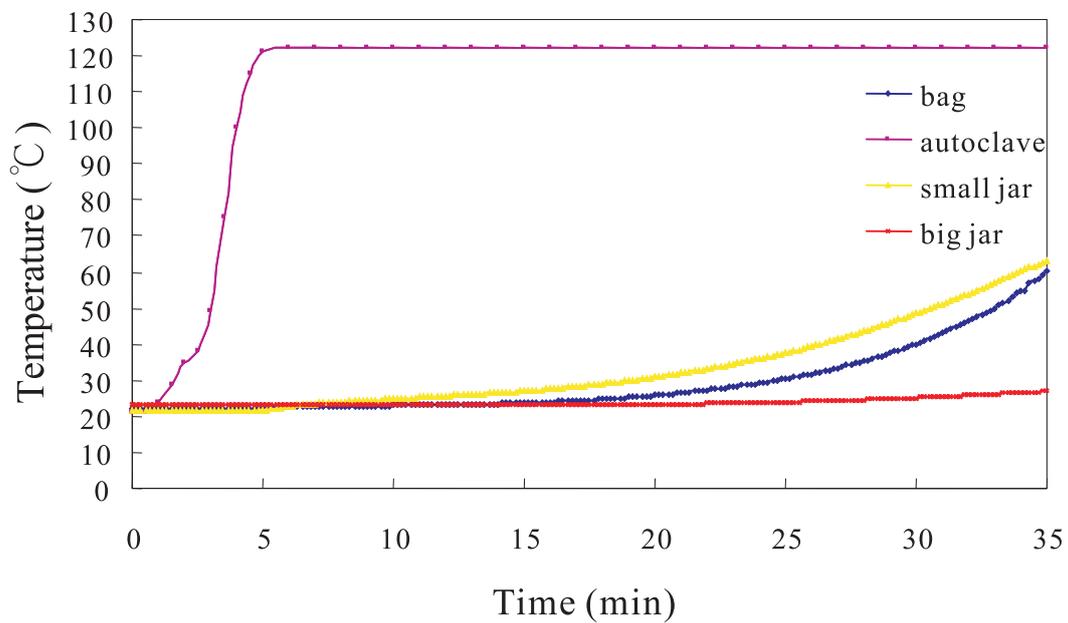
圖三、微波輸出功率1000 W加熱米基質之升溫曲線。

Fig. 3. Temperature profile of rice medium under microwave power 1000 W. Data are expressed as mean \pm S.D. (n=3).



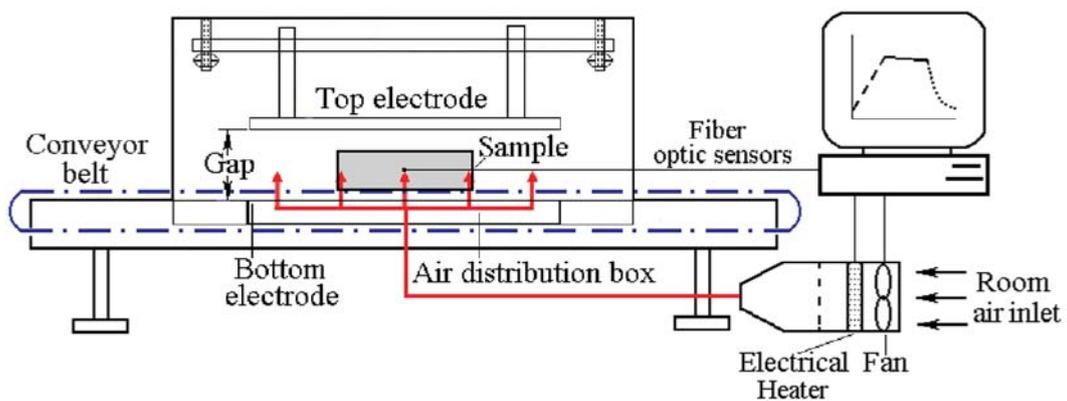
圖四、1400 W微波加熱大豆茯苓固態發酵產物之升溫曲線。

Fig. 4. Temperature profile of *Poria cocos* solid-state fermented soybean during microwave power 1400 W. Data are expressed as mean \pm S.D. (N=4).



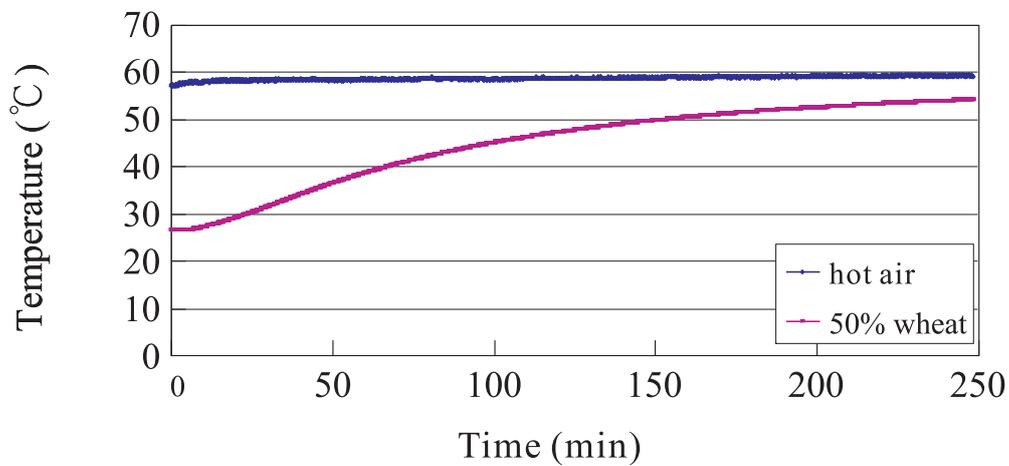
圖五、在121°C 殺菌釜內不同容器內小麥基質的升溫曲線。

Fig. 5. Temperature profiles of wheat media in different containers during 121°C autoclaving sterilization.



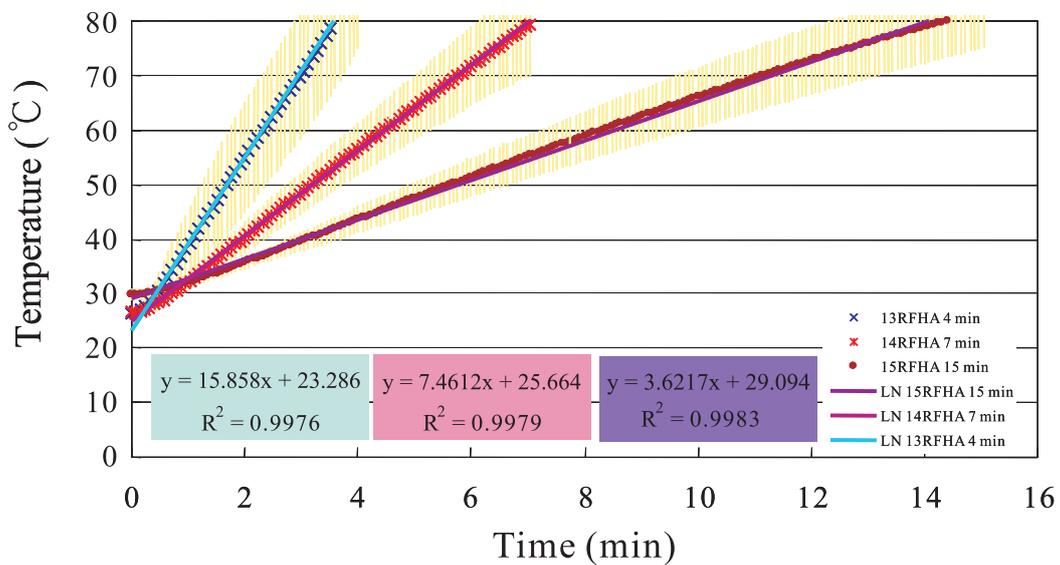
圖六、射頻(6 kW, 27.12 MHz)-熱風加熱系統。

Fig. 6. 6 kW, 27.12 MHz RF-hot air heating system.



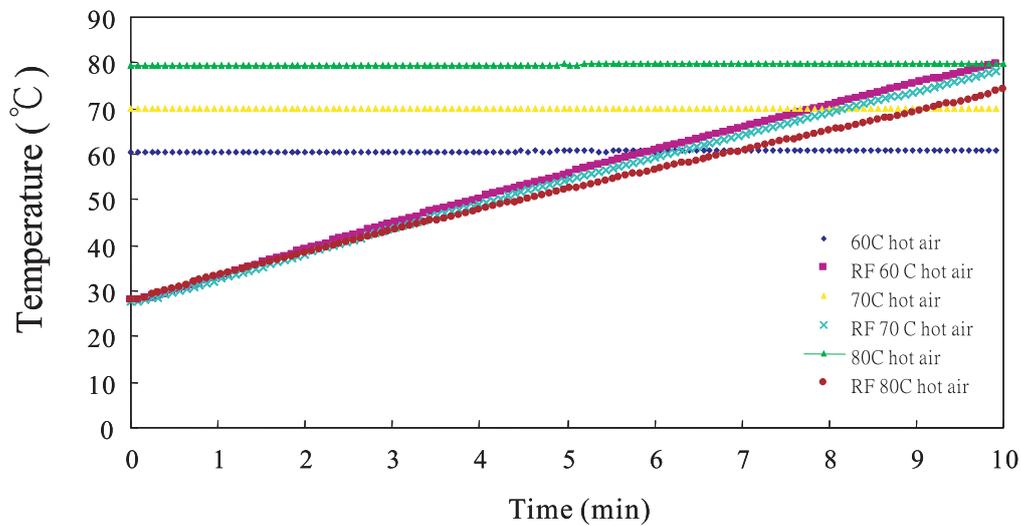
圖七、裝於太空包中的1.5 kg小麥基質(50%水分含量)於60°C熱風乾燥的溫度分布圖。

Fig. 7. Temperature profile of 1.5 kg wheat medium (50% moisture content) in a bag during 60°C hot air heating.



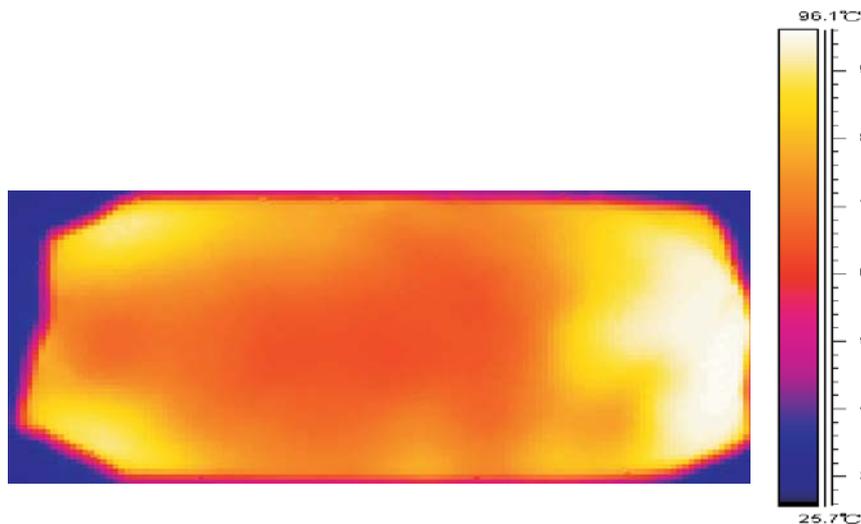
圖八、裝於太空包中的1.5 kg小麥基質(50%水分含量)於不同電極板間距(13, 14或15 cm)之射頻-60°C熱風加熱的溫度分布圖。

Fig. 8. Temperature profile of 1.5 kg wheat medium (50% moisture content) in a bag during RF- 60°C hot air heating with different gap (13, 14, 15 cm).



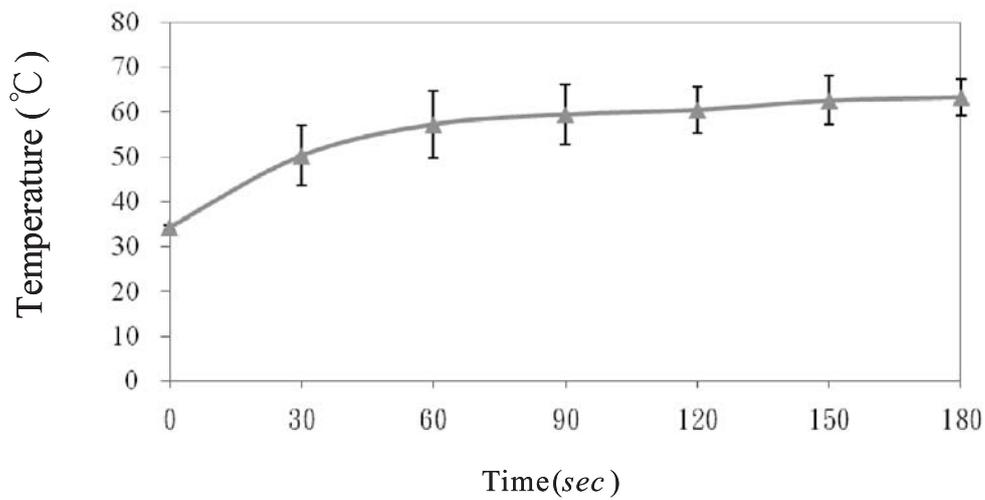
圖九、不同熱風溫度下裝於太空包中的1.5 kg小麥基質(50%水分含量)於不同電極板間距(13, 14或15 cm)之射頻熱風加熱的溫度分布。

Fig. 9. Temperature profile 1.5 kg wheat medium (50% moisture content) in a bag during RF-hot air heating with different gap (13, 14, 15 cm) at different temperature of hot air.



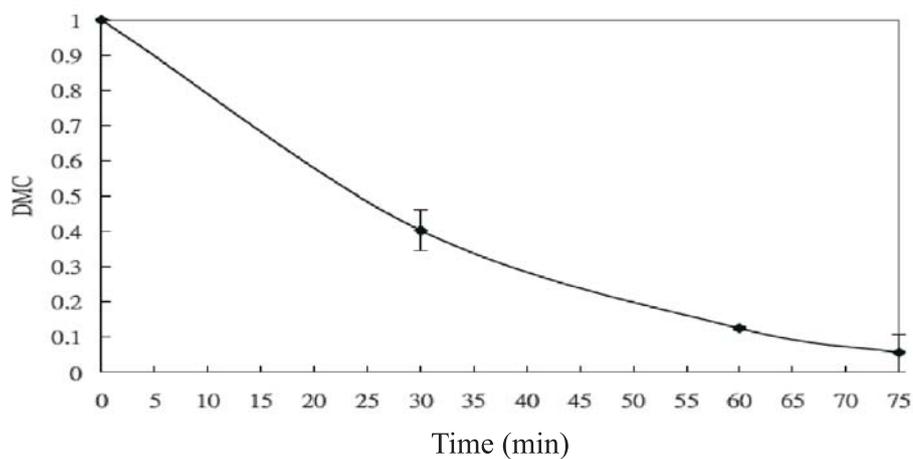
圖十、在射頻熱風(電極板間距14 cm, 熱風溫度60°C)加熱1.5 kg小麥基質(50%水分含量)太空包10 min後表面溫度分布圖。

Fig. 10. Temperature distribution of 1.5 kg wheat medium (50% moisture content) in a bag after RF-hot air with 14 cm gap and 60°C hot air heating 10 min.



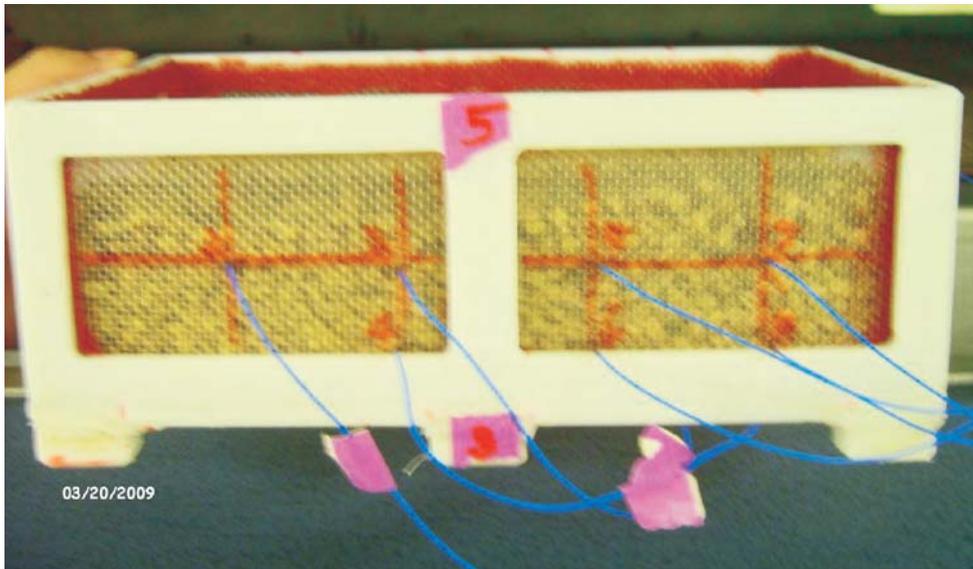
圖十一、射頻加熱系統在電極板間隔17 cm於500 g糙米基質之升溫曲線。

Fig. 11. The temperature profile of 500 g brown rice medium at 17 cm electrode gap in the RF heating system. Data are expressed as mean \pm S.D. (n=3)



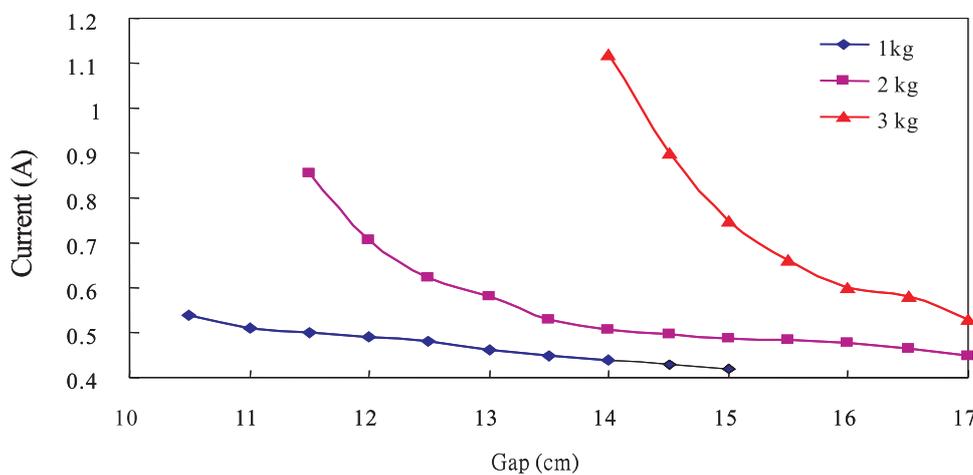
圖十二、50 W微波冷凍乾燥30 g牛樟菌發酵米產物的乾燥曲線。

Fig. 12. Drying curves of 50 W microwave freeze-drying 30 g *Antrodia cinnamomea* solid-state fermented rice. Data are expressed as mean \pm S.D. (n=3).



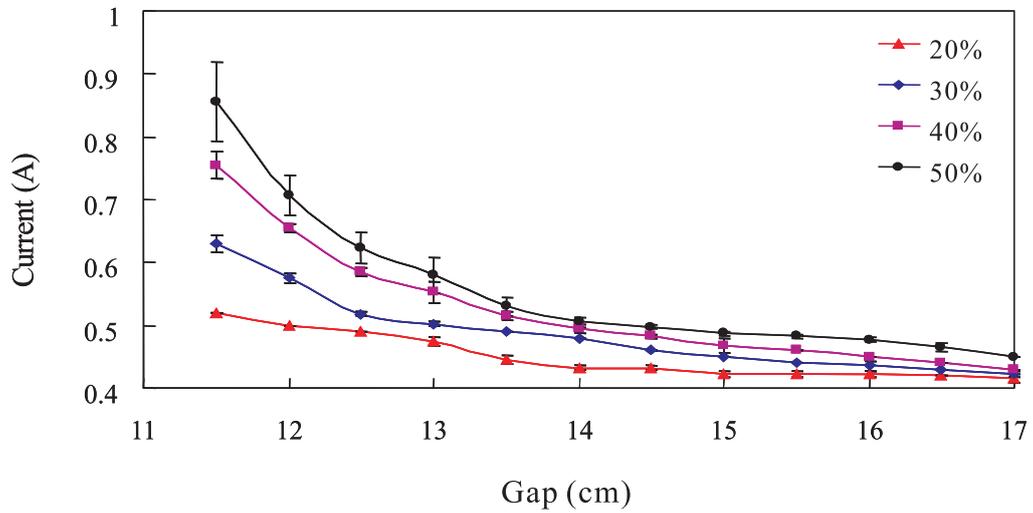
圖十三、光纖溫度計插入塑膠容器中的小麥基質的位置。

Fig.13. Sensor locations in the wheat medium inside the plastic container.



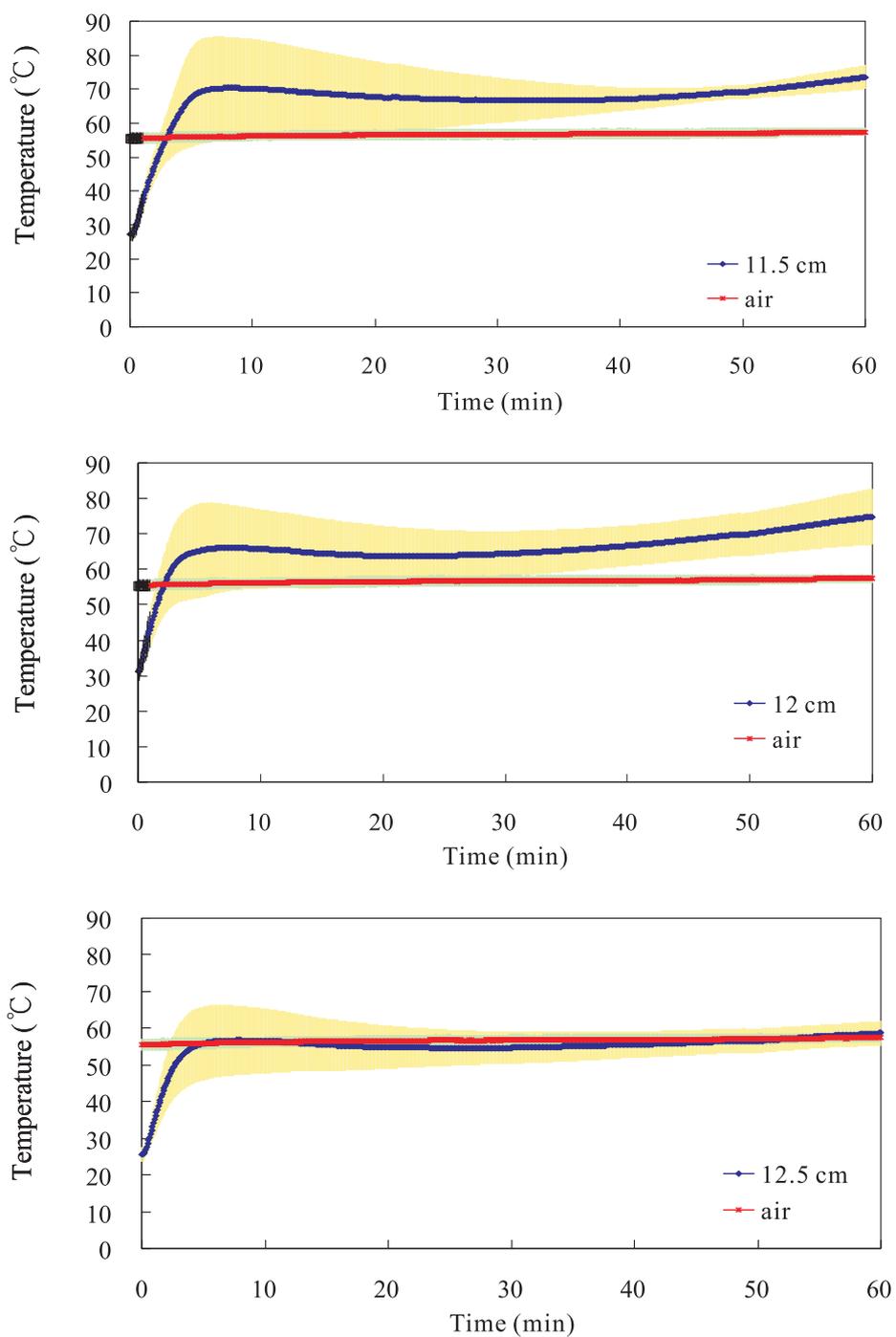
圖十四、在不同的射頻電極板間隙下，小麥基質(水分含量為50%)裝載量對射頻熱風加熱系統中電流的影響。

Fig. 14. Effect of wheat medium with 50% moisture content loading at on RF current at different gap in a RF-hot air system.

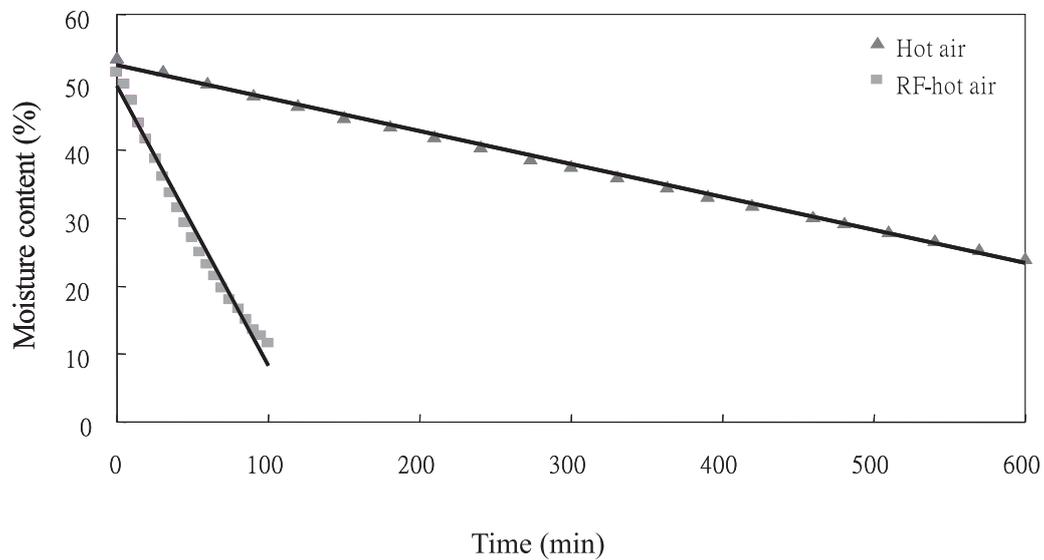


圖十五、不同水分含量的2 kg小麥基質在射頻熱風加熱系統的不同電極板間隙對電流的影響。

Fig.15. Effect of moisture contents in 2 kg wheat media on the electrical current at different electrode gap in a RF-hot air system.

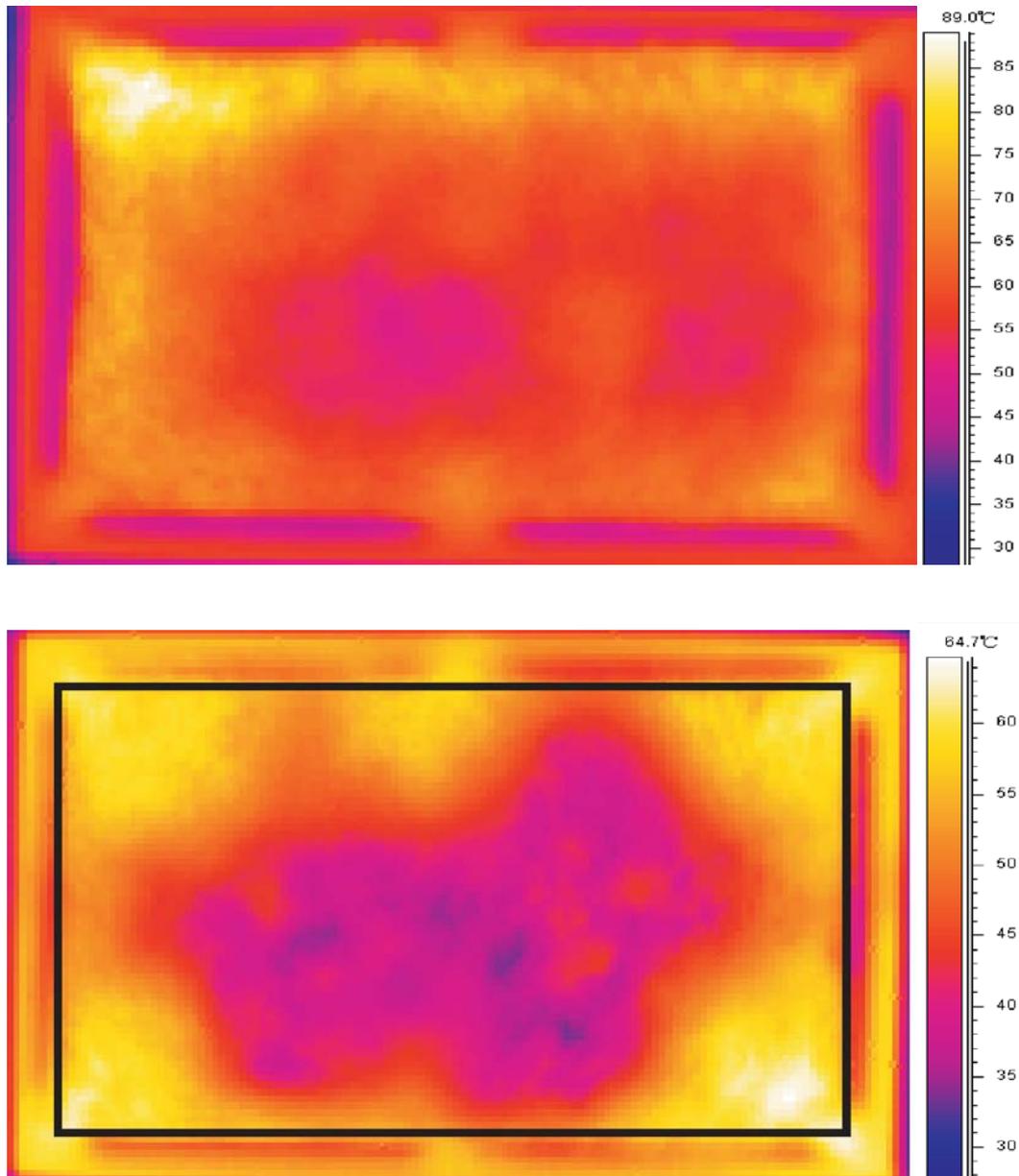


圖十六、不同的射頻電極板間隙下2 kg的小麥基質溫度曲線。
 Fig. 16. Temperature profiles at 7 locations in 2 kg 50% wheat medium as influenced by three gaps during the RF-hot air drying for 60 min.



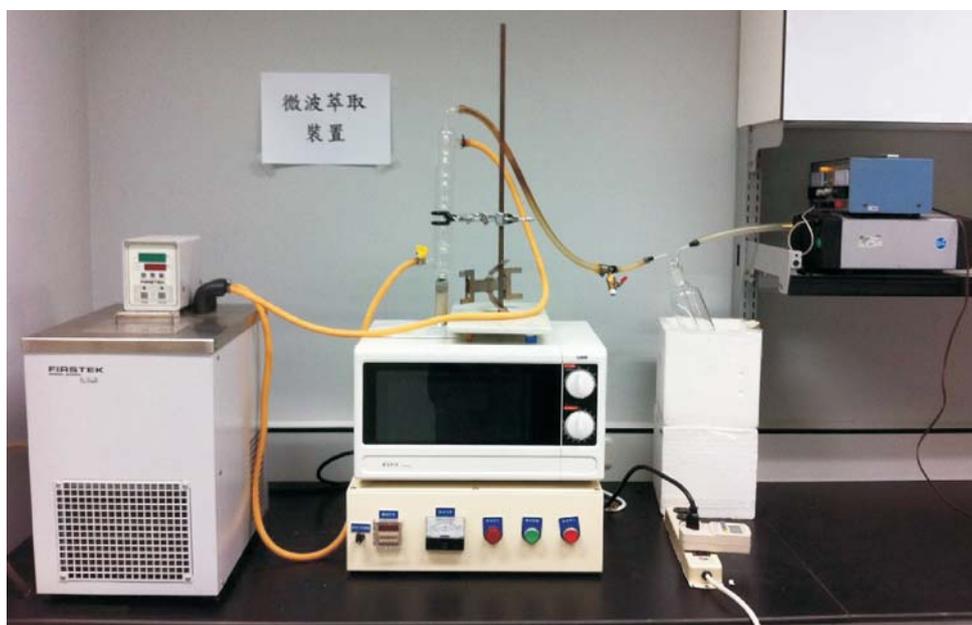
圖十七、2kg的小麥基質(水分含量50%)在射頻熱風乾燥(電極板間隙為12.5cm)及60°C熱風乾燥下的乾燥曲線。

Fig. 17. The drying curves of 2 kg 50% wheat media under RF-hot air drying at the electrode gap of 12.5 cm ($y = -0.4105x + 49.465$ with $r^2 = 0.984$) and hot air drying ($y = -0.0486x + 52.569$ with $r^2 = 0.998$) alone at 60°C.

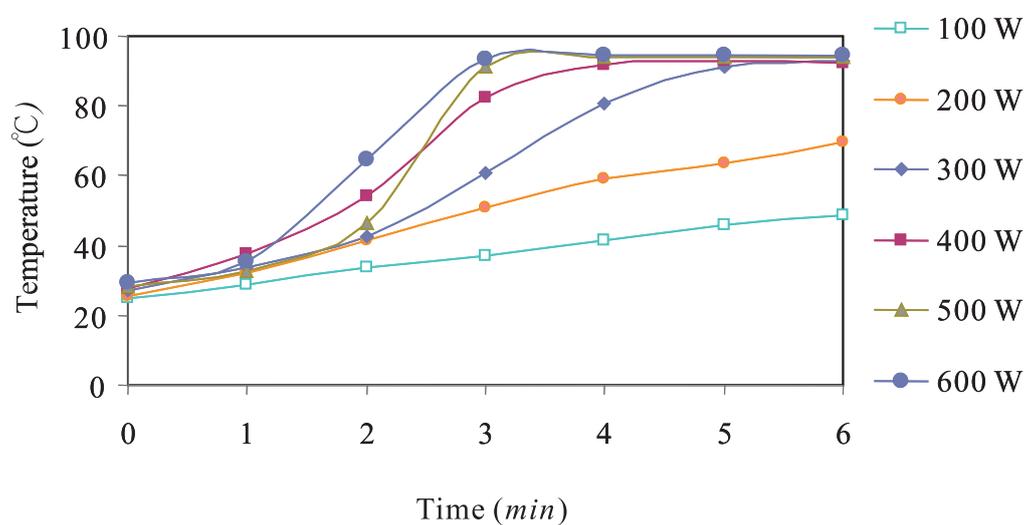


圖十八、2kg的小麥基質(水分含量50%)在射頻熱風乾燥90 min(電極板間隙為12.5 cm)及60°C熱風乾燥12hr下的IR表面熱顯影圖。

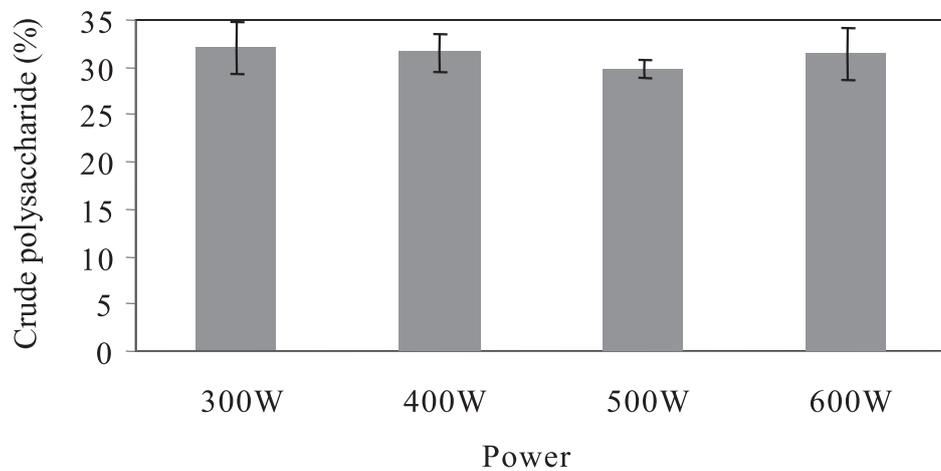
Fig. 18. Thermal images of 2 kg wheat medium with 50% moisture content after 90 min RF-hot air drying (top) and 12 hr hot air drying (bottom).



圖十九、微波萃取裝置。
Fig. 19. Microwave extraction system.

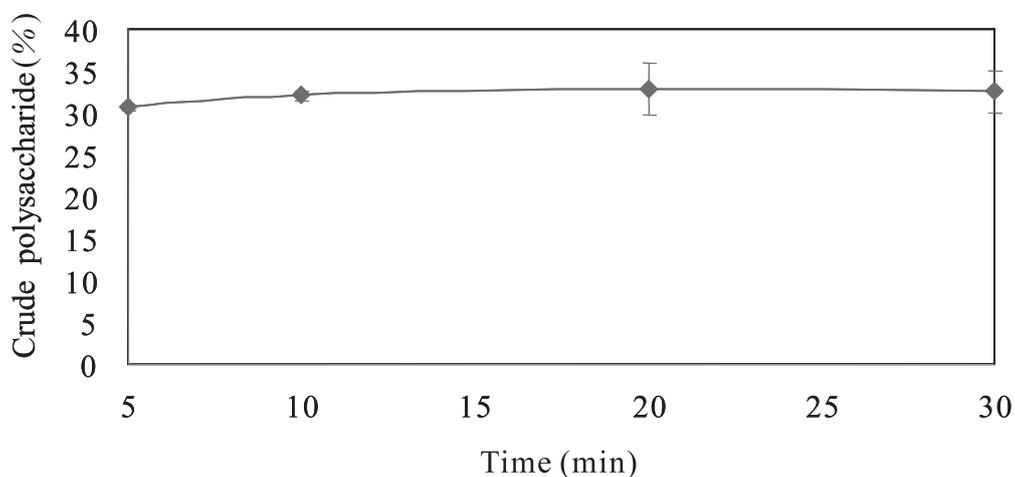


圖二十、不同微波功率之50 mL 水升溫曲線。
Fig. 20. Temperature time history during microwave with different power for heating 50 mL water.



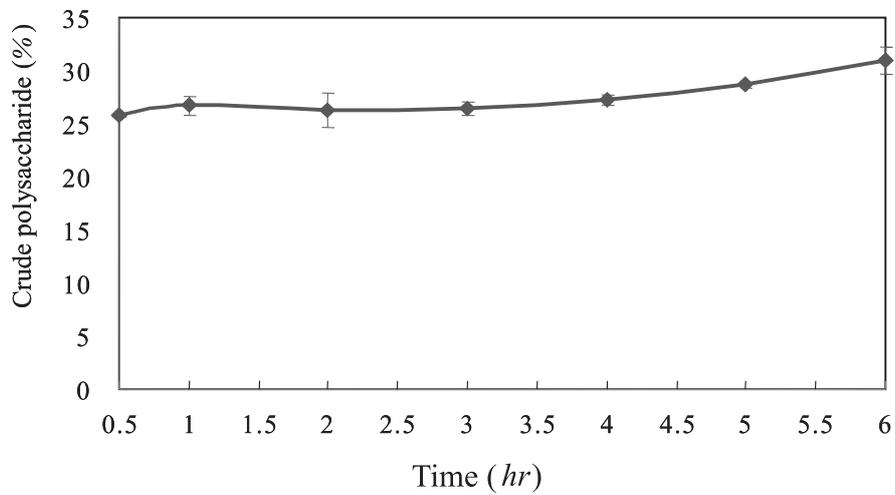
圖二十一、不同微波功率萃取10 min對萃取發酵14天的茯苓固態發酵薏仁產物之多醣含量的影響。

Fig. 21. Effect of different power on 10 min microwave extraction of crude polysaccharide from *Poria cocos* 14-day solid-state fermented adlay products.



圖二十二、微波功率300 W下不同萃取時間對對萃取發酵14天的茯苓固態發酵薏仁產物之多醣含量的影響。

Fig. 22. Effect of extraction time on crude polysaccharide content from *Poria cocos* 14-day solid-state fermented adlay product by 300 W microwave extraction.

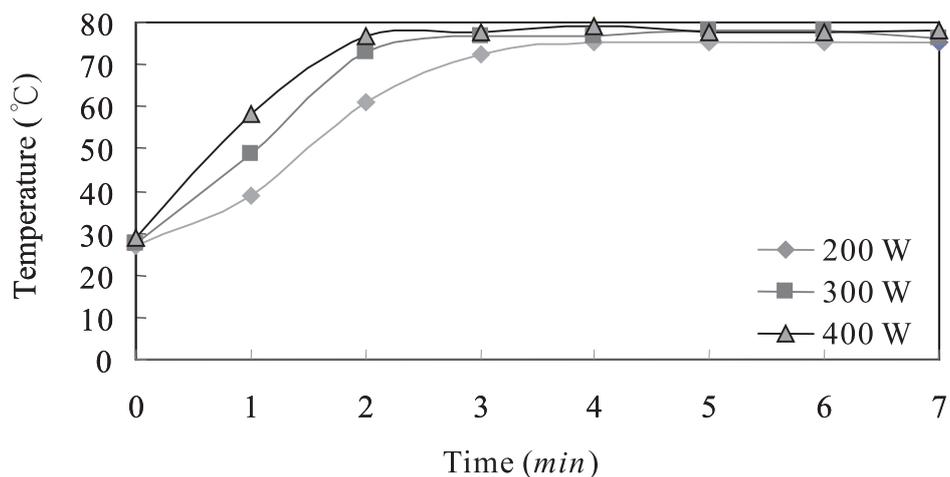


圖二十三、不同萃取時間對熱水迴流對萃取發酵14天的茯苓固態發酵薏仁產物之多醣含量的影響。

Fig. 23. Effect of extraction time on crude polysaccharide content from *Poria cocos* 14-day solid-state fermented adlay product by reflux with hot water.

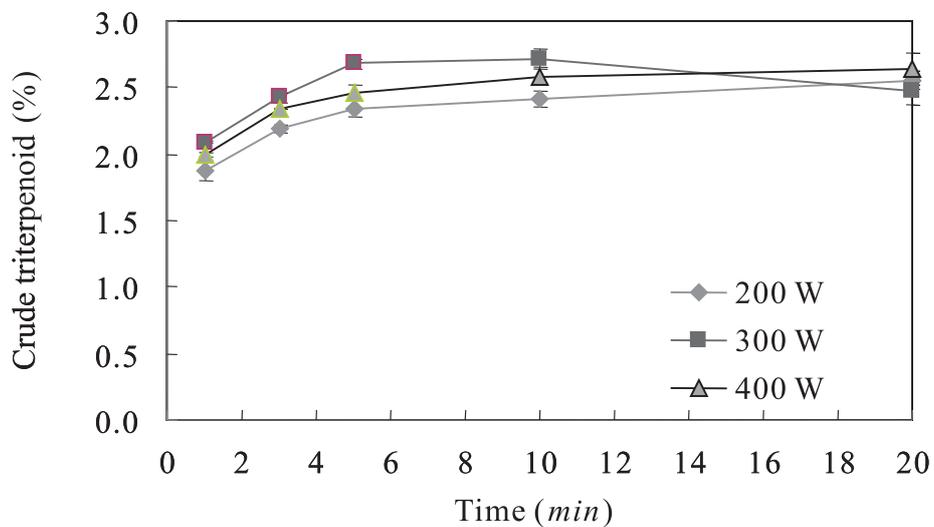
* Data are expressed as mean \pm S.D. (n=3).

** a-c Means in the different time with different superscript letters are significantly different ($p < 0.05$).



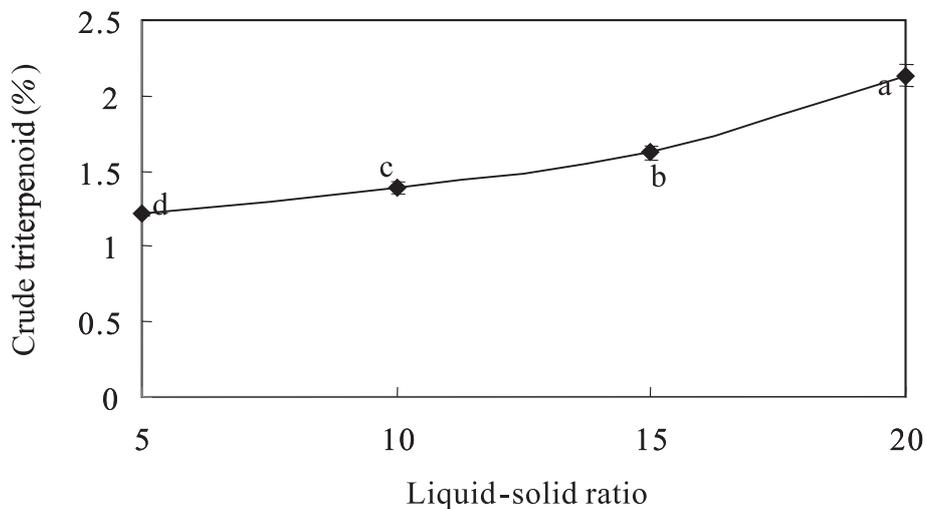
圖二十四、不同微波功率之50 mL 95% 乙醇升溫曲線。

Fig. 24. Temperature-time history of 50 mL 95% ethanol by microwave heating with different power.



圖二十五、不同微波功率及萃取時間對茯苓粗三萜含量之影響。

Fig. 25. Effect of different microwave power and extraction time on the crude triterpenoid content from *Poria cocos* fermented soybean.

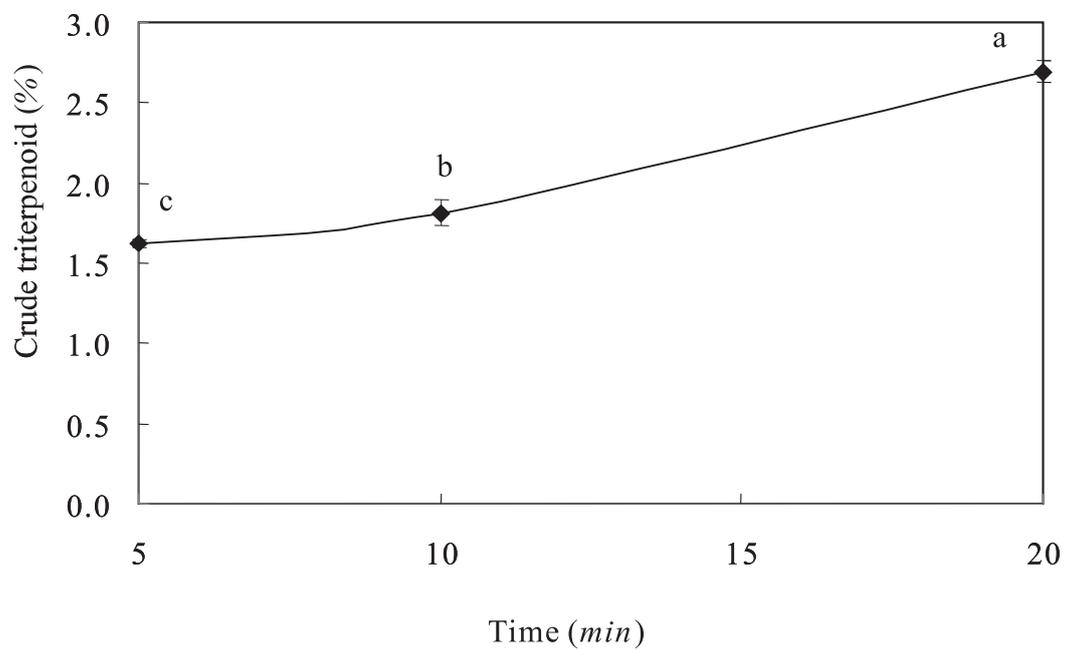


圖二十六、不同固液比對微波萃取茯苓粗三萜含量之影響。

Fig. 26. Effect of different solid-liquid ratio on the extracted crude triterpenoid contents from *Poria cocos* fermented soybean by microwave extraction.

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

** a-d Means in the different liquid-solid ratio with different superscript letters are significantly different ($p < 0.05$).



圖二十七、超音波萃取不同萃取時間對茯苓粗三萜含量之影響。

Fig. 27. Effect of different ultrasonic extraction time on the crude triterpenoid content from *Poria cocos* fermented soybean.

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

** a-c Means in the different time with different superscript letters are significantly different ($p < 0.05$).

農業推廣手冊 18

書 名：微波和射頻在菇菌固態發酵產物的應用

發行人：邱奕志

總編輯：林世斌

作者：陳淑德

出版機關：國立宜蘭大學農業推廣委員會

地 址：宜蘭市神農路1段1號

電 話：03-9317613

出版日期：102年11月（初版）

定 價：新台幣150元整

展售處：國家書店松江門市(台北市松江路209號1樓)

五南文化廣場網路書店(<http://www.wunanbooks.com.tw/wunanbooks/>)

本書同時刊載於國立宜蘭大學農業推廣委員會網站，網址為

<http://acac.niu.edu.tw/publish/publish.php>

GPN：1010202690

ISBN：978-986-03-8968-5

版權所有 翻印必究