

杏鮑菇廢棄基質在菇類栽培之應用

陳美杏¹ 李瑋崧¹ 吳寬澤² 簡宣裕³ 呂昀陞^{1,*}

摘要

陳美杏、李瑋崧、吳寬澤、簡宣裕、呂昀陞。2013。杏鮑菇廢棄基質在菇類栽培之應用。台灣農業研究 62(2):126–136。

台灣大部分菇類以木屑為主要栽培原料，為求森林保育與菇類產業永續發展，開發木屑替代資材實為菇類產業之重要課題。由於採收僅一週期的菇類廢棄基質含有豐富之營養，若能再次回收並應用於菇類栽培，不僅可以有效降低生產成本，還可減少對新鮮木屑之需求。本研究以不同乾重比例之杏鮑菇廢棄基質取代新鮮木屑，用以栽培秀珍菇、鴻喜菇和巴西蘑菇等菇類，結果顯示不同處理之間對於秀珍菇走菌和出菇所需之天數並無顯著性差異，但在產量上，以廢棄基質取代 1/3 新木屑之處理 209.6 g bag⁻¹，顯著高於以新木屑栽培秀珍菇之處理 188.5 g bag⁻¹，而以廢棄基質取代 1/2 及 2/3 新木屑處理之產量和全新木屑栽培之對照組則無顯著性差異。在鴻喜菇試驗方面，添加杏鮑菇廢棄基質處理之產量 1,211.9–1,261.8 g/12 瓶，均顯著高於未添加廢棄基質之對照組 947.8 g/12 瓶。巴西蘑菇則以添加杏鮑菇廢棄基質 1/2 處理之產量 133.7 g bag⁻¹ 為最高，顯著高於未添加處理者 122.1 g bag⁻¹，覆土到出菇採收的天數也隨著添加的廢棄基質比例增加而增加，但採收間期則隨著添加的廢棄基質比例增加而縮短，因此對整體栽培週期並無影響。本研究顯示杏鮑菇栽培後基質可應用於秀珍菇、鴻喜菇和巴西蘑菇之栽培，而取代木屑的比例則依菇種不同可分別取代 1/3 到 1/2。

關鍵詞：廢棄基質、杏鮑菇、秀珍菇、鴻喜菇、巴西蘑菇。

前言

菇類營養豐富，味道鮮美，且含有許多生理活性成分，如多醣體、三萜類、麥角固醇、核苷酸、蛋白多醣、膳食纖維等，具有免疫調節、降血壓、降血糖、降膽固醇、抗腫瘤、抗細菌病毒及延緩骨質疏鬆等保健功效 (Lindequist *et al.* 2005)，加上近年來養生與保健風氣盛行，菇類廣受重視，新興菇類如雨後春筍般地相繼推出，許多野生的菇種也陸續被開發應用，因此非常具有發展潛力。隨著菇類產業的蓬勃發展，相對所產生的廢棄基質數量也隨之增加，目前國內每年生產之太空包數目約為 29,600 萬包，菇類栽培瓶約 7,500 萬瓶 (Wang 2009)，若以每包/瓶之

基質重量為 1 kg 計算，估計生物效率為 40% (Wei *et al.* 2010)，換算每年所產生之廢棄資材超過 20 萬公噸。這些數量龐大的廢棄物，如果未經妥善處理則會衍生許多環境問題，不僅容易孳生蚊蠅，還可能成為木黴菌或其他雜菌之溫床，進而影響到菇類栽培環境之衛生。

為解決菇類栽培廢棄基質對環境造成之影響，並使菇類產業永續發展，各國皆已投入龐大研發能量針對菇類栽培後介質的再利用進行開發，再利用之方式包括製成有機肥料、育苗介質或抑病介質 (Chiu & Huang 1997; Huang & Huang 2000; Wang & Huang 2000)、作為禽畜或魚類飼料 (Permana *et al.* 2000;

投稿日期：2013 年 1 月 10 日；接受日期：2013 年 3 月 21 日。

* 通訊作者：yunsheng@tari.gov.tw

¹ 農委會農業試驗所植物病理組助理研究員。台灣 台中市。

² 農委會農業試驗所植物病理組副研究員。台灣 台中市。

³ 農委會農業試驗所農業化學組研究員。台灣 台中市。

Bao *et al.* 2009)、脫水後做為燃料或是生質能源 (Hideno *et al.* 2007)、作為生態環境之修復材料 (Chiu *et al.* 2009)、從中萃取酵素如木質素分解酵素漆酶 (laccase) (Trejo-Hernandez *et al.* 2001) 或多醣體等, 以及作為其他菇類栽培之原料等等 (Sharma & Jandaik 1985; Royse 1992; Akamatsu 1998; Liang *et al.* 2005; Jo *et al.* 2008; Li *et al.* 2008; Wan *et al.* 2009)。

台灣現行菇類栽培仍以木屑為主要原料, 然而伴隨著環保意識抬頭與人造林木供應不足且緩慢, 使得木屑來源逐漸短缺而致使價格上漲, 現在每 kg 新鮮木屑售價已較過去上漲 5 成以上, 菇農正面臨著原料匱乏和生產成本增加之雙重壓力, 為減少砍伐森林又不致使菇類生產原料供應出現缺口, 積極開發木屑替代資材實是刻不容緩的研究課題 (Li *et al.* 2012)。檢視各種菇類, 可發現不同菇類對於栽培基質之利用程度不同, 因而導致不同菇類栽培後廢棄基質所含之營養成分有明顯差異 (Yang *et al.* 2008), 其中僅採收一週期之菇類, 如杏鮑菇 (*Pleurotus eryngii*) 與金針菇 (*Flammulina velutipes*), 由於栽培時間短, 因此廢棄基質中所含之養分仍相當豐富, 以杏鮑菇為例, 採收一週期之乾物質損失率僅有 16.4–24.6%, 顯示廢棄基質中仍有 75% 以上之乾物質尚未被完全利用 (Chen *et al.* 2005)。這些栽培後廢棄基質若僅作為有機堆肥或禽畜飼料, 其衍生之利用價值太低, 如能將其作為木屑替代物供太空包製作之用, 不僅可有效利用這些廢棄基質, 還能減少新木屑之需求。台灣農業試驗所菇類研究室曾利用所內試驗栽培杏鮑菇採收後之基質再次栽培杏鮑菇 (塑膠瓶栽方式), 結果發現添加廢棄基質栽培者之產量均高於以新鮮木屑栽培者, 且利用栽培後廢棄基質替代木屑可降低材料成本約 40% (Chen *et al.* 2005); 利用菇類栽培後廢棄基質再次栽培菇類, 不僅可減少農業廢棄物, 還能增加其經濟效益, 而且由於所添加之菇類栽培後基質已經過菇類菌絲分泌酵素初步之分解, 產生許多較易被菇類菌絲吸收和利用之小分子之化合物, 因此能促使菇類菌絲生長更為快速 (Di Lena *et al.* 1997)。

為了日後能將廢棄基質推廣應用於實際菇類生產, 因此本研究以民間大規模商業化栽培杏鮑菇所產生之廢棄基質進行試驗, 探討其取代新鮮木屑種植秀珍菇 (*P. sajor-caju*)、鴻喜菇 (*Hypsizygus marmoreus*) 和巴西蘑菇 (*Agaricus braziliensis*) 之可行性, 並做為推薦農民或太空包業者製作太空包時之參考。

材料與方法

菇類品系

本研究採用秀珍菇 (菌株代號 SJ-10)、鴻喜菇 (菌株代號 HM-011) 和巴西蘑菇 (菌株代號 AB-04) 3 個菇種, 菌株皆來自農業試驗所菇類研究室, 並分別以馬鈴薯葡萄糖瓊脂 (potato dextrose agar; PDA; Difco, Maryland, USA) 斜面培養基做定期更新培養。

麥粒菌種之製作

麥粒先以清水洗淨, 加水煮至熟透, 瀝掉多餘水份後, 加入重量比約 1% 之碳酸鈣拌勻, 然後分裝至菌種瓶中, 封好瓶口, 以高溫高壓 (121°C, 1.2 kg cm⁻²) 滅菌釜滅菌 1 h。隔夜冷卻後, 將上述培養在 PDA 培養基上的菇類菌絲塊, 連同 PDA 培養基一起移入麥粒瓶中, 置於 24°C 中培養至菌絲長滿為止。

新鮮木屑、杏鮑菇栽培後之廢棄基質、米糠和粉頭之化學成分比較

新鮮山黃麻 [*Trema orientalis* (Linn.) Blume] 木屑、杏鮑菇栽培廢棄基質 (購自台中市新社區青松農場)、米糠 (rice bran) 和粉頭 (wheat bran) 分別逢機取樣送農業試驗所農業化學組分析化學成分, 樣品以濃硫酸及催化劑分解後, 以擴散法測定全氮含量; 另以硝酸與過氧酸分解樣品之後, 以感應耦合電漿儀 (ICP, 法國 Jobin-Yvon 公司) 測定全磷、鉀及微量元素之含量。

新鮮木屑及杏鮑菇廢棄基質之熱水抽出物對菇類菌絲生長之影響

為了解杏鮑菇栽培後廢棄基質中是否含

有對菇類生長具抑制性之物質，因此測試杏鮑菇栽培後廢棄基質之熱水抽出物，對於不同菇類菌絲生長之影響，分別秤取 250 g 之山黃麻木屑和杏鮑菇栽培廢棄基質（購自台中市新社區青松農場）加入 1 L 的蒸餾水中煮至沸騰經 30 min，然後以 4 層紗布過濾，再加入麥芽抽出物 20 g、葡萄糖 20 g、蛋白胨 1 g 和洋菜 20 g，並以蒸餾水調整容量為 1 L，經過高溫高壓滅菌後倒入直徑 9 cm 的培養皿中，凝固後分別接種經 PDA 培養基培養 6 d 之上述菇類菌絲塊（直徑 5 mm），並以蒸餾水作為對照，置於 24°C 定溫箱中培養 7 d 後，記錄菌落的大小。

杏鮑菇廢棄基質對於菇類菌絲生長之影響

配方一為杏鮑菇栽培後廢棄基質，將其加入 1% 碳酸鈣調整 pH 值為 6.5，並將含水量調整為 65%；配方二則以新鮮山黃麻木屑和杏鮑菇栽培後廢棄基質以乾重比 2:1 混合，並加入總乾重 20% 之米糠和 1% 碳酸鈣，含水量同上；配方三則為新鮮木屑添加乾重 20% 米糠，含水量亦同。秤取 20 g 各處理之基質放入 9 cm 之玻璃培養皿中，將表面以稱藥匙整平之後滅菌，然後在培養皿中間接種上述菇類之菌絲塊（直徑 5 mm），置於 24°C 定溫箱中培養 10 d 後，記錄菌落的大小。

杏鮑菇廢棄基質添加比例對於秀珍菇產量之影響

新鮮山黃麻木屑加水堆積 3 個月，期間每個月翻堆一次，杏鮑菇栽培後廢棄基質則由台中市新社區青松農場提供，先分別測定兩種基質的含水量，再分別以乾重比（山黃麻木屑：杏鮑菇廢棄基質）1:0、1:1、1:2 及 2:1 等比例混合，每一處理均添加總乾重 25% 之粉頭、20% 之米糠及 1% 之碳酸鈣，製作成每包約 1,000 g 重之太空包（濕重）；經高溫高壓滅菌後，接種秀珍菇之麥粒菌種 SJ-10，然後移入培養室定溫培養，菌絲生長期間不照光。當秀珍菇的菌絲長滿太空包基質後，

即可去除太空包頸部棉塞並移入出菇室，出菇條件設定為日溫 26°C、夜溫 18–20°C，並利用超音波加濕機維持 95% 相對溼度，控制二氧化碳濃度低於 1,000 ppm，密集產生菇體後日夜溫度均設定 26°C，維持 85–90% 間相對溼度，且減少換氣使二氧化碳濃度達 1,500 ppm 以利菇柄抽長，待菇傘直徑發育至約 5 cm 時採收，調查各處理之產量及出菇所需天數。各試驗排列採逢機區集設計，每一處理 10 重複，每一重複 9 包。

杏鮑菇栽培廢棄基質添加比例對鴻喜菇產量之影響

將杏鮑菇廢棄基質和新鮮木屑以乾重比 1:0、1:1、1:2 及 2:1 等比例混合，每一處理均添加總乾重 15% 之米糠、10% 粉頭和 10% 玉米粉及 2% 之碳酸鈣，所有混合物之含水量均調整至 65% 左右，經自動化裝瓶機（廣太原，台中市霧峰區，台灣）裝填至聚丙烯（PP）材質之塑膠瓶中（1,100 mL），經過高溫高壓滅菌後，分別接種鴻喜菇品系 HM-011 之菌種，然後移入培養室中定溫培養，培養期間不照光。當鴻喜菇的菌絲長滿塑膠瓶內之基質後，需再經過 1 個月的培養等待養份轉化完成，然後將表面老化的菌種部分去除，移入出菇室，溫度設定為 16°C，利用超音波加濕機設定溼度為 90–95%，二氧化碳濃度為 1,500 ppm 以下，以刺激原基體形成，小菇體密集產生後控制溼度於 85–90% 間，待菇體發育至菌傘尚未反捲前採收，調查各處理之產量及出菇所需天數。各試驗排列採逢機區集設計，每一處理 8 重複，每一重複 12 瓶。

杏鮑菇廢棄基質添加比例對於巴西蘑菇產量之影響

將栽培過杏鮑菇之廢棄基質和新鮮木屑分別以 0:1、1:1 和 1:2 之比例混合，每一處理均添加總乾重 15% 之米糠和 1% 碳酸鈣，含水量調整為 63%，以太空包製作機裝填成每包 1 kg 重之基質（濕重），經過高溫高壓滅菌後，接種巴西蘑菇之麥粒菌種 AB-

04，移入培養室定溫培養，菌絲長滿後移入出菇室移除塑膠袋進行裸包覆土栽培，白天和晚上設定日夜溫差 10℃，二氧化碳濃度為 1,500 ppm，相對溼度設定為 90%，待菇體發育成熟後採收，比較三種處理之出菇特性及產量。

統計分析

以 SAS 統計分析軟體進行變方分析 (analysis of variance; ANOVA) 後，以最小顯著差異性測驗 (least significant difference test; LSD test) 探討每一試驗各處理間平均值之差異性。

結果

新鮮木屑、杏鮑菇栽培後之廢棄物、米糠和粉頭之成分比較

分析新鮮木屑、杏鮑菇栽培後之廢棄基質、米糠和粉頭之成分，結果發現新鮮木屑之含氮量最低，只有 0.3%，米糠和粉頭之含氮量分別為 2.6% 和 3.6%，而杏鮑菇栽培後

廢棄基質之含氮量高達 1.3% (表 1)，此外，只栽培一週期之杏鮑菇廢棄基質除了含氮較高外，磷含量是新鮮木屑的 7 倍，鉀則為新鮮木屑之 2 倍。此外尚含豐富之微量元素，例如鎂、鐵、錳等離子的含量均高於新鮮木屑。

木屑及杏鮑菇廢棄基質熱水抽出物對菇類菌絲生長之影響

以新鮮木屑抽出物和蒸餾水之培養基作為對照組，結果顯示秀珍菇和鴻喜菇在含有廢棄基質之熱水抽出物之培養基菌絲生長速度最慢 (表 2)，巴西蘑菇生長則以在含有廢棄基質之熱水抽出物之培養基菌絲生長最快，但和含有新鮮木屑熱水抽出物之處理無 5% 顯著性差異。

杏鮑菇廢棄基質對於菌絲生長之影響

比較杏鮑菇廢棄基質、杏鮑菇廢棄基質和新木屑 1:2 混合及新木屑三種處理對於菇類菌絲生長之影響，結果發現秀珍菇和鴻喜菇的菌絲生長在三種不同處理間無 5% 顯著性差

表 1. 新鮮木屑、杏鮑菇栽培後之廢棄基質、米糠和粉頭之成分比較。

Table 1. Comparison of chemical ingredients in fresh sawdust, spent king oyster mushroom substrate, rice bran and wheat bran.

Chemical ingredient	Fresh sawdust	Spent king oyster mushroom substrate	Wheat bran	Rice bran
Water content (%)	55.5 ± 0.8 ^y	49.9 ± 0.5	9.7 ± 0.0	11.3 ± 0.1
N (%)	0.3 ± 0.0	1.3 ± 0.0	3.6 ± 0.0	2.6 ± 0.0
P (ppm)	360.0 ± 3.0	2,663.0 ± 71.0	28,063.0 ± 325.0	10,268.0 ± 73.0
K (ppm)	3,260.0 ± 0.0	6,767.0 ± 64.0	26,969.0 ± 0.0	12,899.0 ± 0.0
Ca (ppm)	4,207.0 ± 60.0	3,756.0 ± 54.0	769.0 ± 29.0	605.0 ± 10.0
Mg (ppm)	821.0 ± 24.0	2,215.0 ± 12.0	12,485.0 ± 73.0	5,265.0 ± 39.0
Fe (ppm)	1,170.0 ± 89.0	1,614.0 ± 47.0	208.0 ± 5.0	237.0 ± 3.0
Mn (ppm)	59.7 ± 0.9	76.4 ± 2.2	224.3 ± 1.4	139.6 ± 1.3
Cu (ppm)	2.5 ± 0.4	6.6 ± 0.3	13.1 ± 0.9	12.8 ± 1.1
Zn (ppm)	22.4 ± 4.2	37.5 ± 2.1	132.1 ± 4.6	91.1 ± 1.6
Organic matter (%)	95.7 ± 0.0	94.2 ± 0.2	86.4 ± 0.1	94.0 ± 0.0
Organic carbon (%)	55.6 ± 0.0	54.8 ± 0.1	50.2 ± 0.0	54.7 ± 0.0
C/N ^z	185.9	41.0	13.9	20.9

^z C/N = organic carbon (%) / nitrogen (%).

^y Values are mean ± standard error.

異；巴西蘑菇在含有杏鮑菇廢棄基質之處理皆遠優於新鮮木屑處理者，且達 5% 顯著性差異，其中又以兩者混合處理的效果最好，但與杏鮑菇廢棄基質處理間無 5% 顯著性差異 (表 3)。

杏鮑菇廢棄基質添加比例對於秀珍菇產量之影響

以杏鮑菇栽培廢棄基質與新鮮木屑以 0 : 1、1 : 2、1 : 1 和 2 : 1 等比例栽培秀珍菇，

經過一個月的菌絲培養，所有處理間在菌絲生長速度上並無明顯差異。採收 4 週期之總產量，以添加 1/3 杏鮑菇栽培後基質之處理者，產量顯著高於新鮮木屑對照組，平均每包之產量為 209.6 g (表 4)，而添加 1/2 或 2/3 之杏鮑菇栽培後廢料 (192.6 g bag⁻¹ 與 203.3 g bag⁻¹) 與新鮮木屑對照組培養 (188.5 g bag⁻¹) 等處理間產量並無 5% 顯著性差異。然若比較

表 2. 杏鮑菇栽培後基質與木屑之熱水抽出物對於秀珍菇、鴻喜菇與巴西蘑菇菌絲生長之影響。

Table 2. Effect of hot water extracts from spent king oyster mushroom substrates and fresh sawdust on mycelial growth of *Pleurotus sajor-caju*, *Hypsizygus marmoreus*, and *Agaricus brasiliensis* after 7 days inoculation at 24°C.

Extraction source ^z	Colony diameter (cm)		
	<i>P. sajor-caju</i>	<i>H. marmoreus</i>	<i>A. brasiliensis</i>
Fresh sawdust	7.6 ± 0.2 ab ^y	4.4 ± 0.1 a	2.9 ± 0.3 ab
Spent substrate	7.1 ± 0.4 b	4.1 ± 0.1 b	3.1 ± 0.2 a
Distilled water	8.0 ± 0.4 a	4.4 ± 0.2 a	2.7 ± 0.2 b

^z All treatments consisted of 1 L extraction solution, 20 g malt extract, 20 g glucose, 1 g peptone and 20 g agar.

^y Values are mean ± standard error. Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by LSD test.

表 3. 杏鮑菇栽培後基質與山黃麻木屑之混合物對於秀珍菇、鴻喜菇與巴西蘑菇菌絲生長之影響。

Table 3. Effect of spent king oyster mushroom substrate and fresh sawdust on mycelial growth of *Pleurotus sajor-caju*, *Hypsizygus marmoreus*, and *Agaricus brasiliensis* after 10 days inoculation at 24°C.

Substrate ^z	Colony diameter (cm)		
	<i>P. sajor-caju</i>	<i>H. marmoreus</i>	<i>A. brasiliensis</i>
Spent substrate	5.7 ± 0.4 a ^y	5.1 ± 0.2 a	3.4 ± 0.3 a
New sawdust:Spent substrate = 2:1	5.9 ± 0.3 a	5.1 ± 0.2 a	3.9 ± 1.0 a
New sawdust	6.0 ± 0.9 a	5.1 ± 0.1 a	0.9 ± 0.8 b

^z Spent substrate = Spent king oyster mushroom substrate; New sawdust = Sawdust of *Trema orientalis*.

^y Values are mean ± standard error. Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by LSD test.

表 4. 杏鮑菇廢棄基質與木屑不同混合比例對秀珍菇 SJ-10 之產量比較。

Table 4. Comparison of yield of *Pleurotus sajor-caju* strain SJ-10 grown in media containing different ratio of fresh sawdust and spent king oyster mushroom substrate.^z

Ratio of fresh sawdust and spent substrate	Water content (%)	pH	Yield of each flush (g bag ⁻¹) ^y				Total yield (g bag ⁻¹)	Biological efficiency (%) ^x
			1st	2nd	3rd	4th		
2:1	62.81	5.38	89.7	47.1	51.1	21.7	209.6 ± 18.5 a ^w	58.1 ± 5.4 a
1:1	62.60	5.45	76.6	44.4	53.3	18.3	192.6 ± 12.6 b	53.0 ± 3.3 b
1:2	63.51	5.45	81.8	53.1	55.5	12.9	203.3 ± 18.9 ab	57.6 ± 4.9 a
1:0	61.35	5.72	59.6	49.5	66.9	12.5	188.5 ± 15.6 b	49.7 ± 4.1 b

^z All treatments consisted of 25% of wheat bran and 20% of rice bran on dry weight basis. Water content of the substrate was adjusted to 63%. The substrate was filled into polypropylene bags using a semi-automatic filling machine and sterilized at 121°C for 1 h.

^y Ten replicates for each treatment and nine bags for each replicate.

^x Biological efficiency (%) = the weight of fresh mushroom harvested/dry matter content of substrate before inoculation × 100.

^w Values are mean ± standard error. Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by LSD test.

其生物效率，則以廢棄基質取代 1/3 和 2/3 木屑處理者較高，顯著高於廢棄基質取代 1/2 木屑和新鮮木屑處理者。

杏鮑菇廢棄基質添加比例對於鴻喜菇產量之影響

在菌絲生長速度方面，鴻喜菇 HM-011 品系培養在不同處理配方之間走菌完成時間並無明顯差異，惟在木屑培養基上，菌絲在添加杏鮑菇栽培後基質處理者較木屑對照組生長較濃密。在產量上以在廢棄基質取代 1/2 新鮮木屑處理者最高，平均每框 (12 瓶塑膠瓶) 之產量為 1,261.8 g，生物效率為 38.1% (表 5)，其次為廢棄基質取代 1/3 木屑處理者，以廢棄基質不同取代比例之間無顯著性差異，但均高於新鮮木屑栽培者，且達 5% 顯著性差異。從入庫至出菇採收時間鴻喜菇 HM-011 品系在添加不同廢棄基質比例者為 23–24 天，比以新鮮木屑種植者 28 天早約 4–5 天。

不同杏鮑菇廢棄基質添加比例對於巴西蘑菇產量之影響

將栽培過杏鮑菇之廢棄基質添加不同比例之堆積過的新木屑及米糠調配成巴西蘑菇栽培基質，在太空包菌絲生長初期，未添加杏鮑菇廢棄基質之對照組菌絲生長較快，到後期則以添加 1/2 杏鮑菇廢棄基質之處理菌絲

生長最快，三種試驗處理之菌絲約需 2 個月才能走滿太空包，因此各處理間對巴西蘑菇菌絲生長並無影響。菌絲長滿後進行裸包覆土栽培，對照組及廢棄基質取代 1/3 木屑和 1/2 木屑處理者，從覆土至開始採菇天數分別為 28 d、42 d 與 48 d，添加比例越高者開始出菇的天數越晚；惟採收期則剛好相反，添加比例越高者，採收時間越短，分別為 88 d、71 d 與 64 d，而計算自覆土到完全採收之時間分別為 116 d、113 d 與 112 d，顯示各處理間不會對採收天數造成影響；統計每包之平均產量，以廢棄基質添加 1/2 的產量最高，為 133.7 g bag⁻¹ (表 6)，明顯高於對照未添加處理者 122.1 g bag⁻¹，以廢棄基質取代 1/3 新木屑處理者產量最低為 112.9 g bag⁻¹。

討論

菇類栽培所需材料之購買成本與日俱增，因此許多菇類在考量其售價與栽培成本，如僅進行一次性栽培，無形中會導致材料之浪費，依前人研究顯示菇類栽培後廢棄基質由於具有下列特性，可再次作為菇類栽培的材料：(1) 菇類在菌絲生長過程中已部份分解木質素、纖維素和半纖維素，使得廢棄基質內難以分解的大分子化合物減少，因此更容易使後續栽培的菇類能利用這些碳源生長，根據

表 5. 比較杏鮑菇廢棄基質與木屑不同混合比例對於鴻喜菇 HM-011 從瓶口去皮至出菇採收所需天數與產量之影響。

Table 5. Effect of different ratio of fresh sawdust and spent king oyster mushroom substrate as growth substrate on the days from bottle scraping to 1st harvest and yield of bunashimeji strain HM011.^z

Ratio of fresh sawdust and spent substrate	Days from bottle scraping to 1st harvest	Yield (g/12 bottles) ^y	Biological efficiency (%) ^x
1:0	28.0 ± 0.0 a ^w	947.8 ± 95.8 b	28.4 ± 2.9 b
2:1	23.6 ± 0.5 b	1,211.9 ± 152.5 a	32.7 ± 4.1 a
1:1	23.3 ± 0.5 b	1,261.8 ± 68.0 a	38.1 ± 2.1 a
1:2	23.9 ± 1.7 b	1,247.0 ± 97.5 a	36.9 ± 2.9 a

^z All treatments consisted of 10% of wheat bran, 10% of corn flour and 15% of rice bran on dry basis. Water content of the substrate was adjusted to 65%. The substrate was filled into polypropylene bottles using an automatic filling machine and sterilized at 121°C for 1 h.

^y Eight replicates for each treatment.

^x Biological efficiency (%) = weight of fresh mushroom harvested/dry matter content of substrate before inoculation × 100.

^w Values are mean ± standard error. Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by LSD test.

表 6. 杏鮑菇廢棄基質與木屑不同混合比例對巴西蘑菇 AB-04 之產量比較。

Table 6. Comparison of yield of *Agaricus braziliensis* strain AB-04 grown in media containing different ratio of fresh sawdust and spent king oyster mushroom substrate.^z

Ratio of fresh sawdust and spent substrate	Days from casing soil to 1st harvest	Harvest period (days)	Yield (g bag ⁻¹)
1:0	28.0 ± 0.8 c ^y	88.0 ± 2.2 a	122.1 ± 3.0 b
2:1	42.0 ± 1.4 b	71.0 ± 1.4 b	112.9 ± 3.5 c
1:1	48.0 ± 0.8 a	64.0 ± 0.8 c	133.7 ± 5.3 a

^z All treatments consisted of 15% of rice bran on dry weight basis. Water content of the substrate was adjusted to 63%. The substrate was filled into polypropylene bags using a semi-automatic filling machine and sterilized at 121°C for 1 h.

^y Values are mean ± standard error. Means with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by LSD test.

Royse (1992) 的研究顯示利用新鮮橡樹木屑種植秀珍菇的生物效率最低，只有 9.6%，如果利用香菇栽培後的基質再種植秀珍菇，則可以使生物效率提高至 66.4%，作者推論可能和新舊木屑中所含的可利用性的纖維成份有關；(2) 菇類在生長過程中產生的多醣體、蛋白質等化合物，可以作為菇類營養生長時所需的養分。謝佑生等人 (Xie *et al.* 1986) 分析種完鳳尾菇之廢棄基質，其中蛋白質含量比未栽培之基質增加 39%、還原醣增加 87.14%、總多醣增加 27.36%，這些增加的物質皆可成為菇類生長的養分來源；(3) 添加菇類栽培後廢棄基質可加速菇類營養生長階段木質素纖維素複合體的分解，並提高木質纖維素的降解和利用率 (Feng *et al.* 1996)，作者推論可能的原因為添加廢棄基質使得栽培基質中氮的含量較高，提供較為合適的碳氮比滿足菌絲對於氮的需求，因而促進菌絲生長，加速對於木質纖維素的利用。

本試驗分析僅栽培一周期之杏鮑菇廢棄基質含有有機質 94.2%，含氮量 1.3%，先前的報導 (Hou *et al.* 2008) 則指出食用菌的菌糠 (即廢棄基質，以下稱「廢棄基質」) 中氮含量 1.27%，與本試驗分析結果相近。Rinker *et al.* (2004) 分析種過蠔菇 (*Pleurotus ostreatus*) 之介質中含氮量為 1.7%，磷和鉀則分別為 0.61% 和 1.13%，顯示不同基質經菇類栽培後，其所含之部分養份可被轉化供菇體發育之用，但仍有部分的養分和菌絲則還留在廢棄基質中。

不同菇類對於養份有不同的需求，有些菇類的產量和添加養分的量呈正比，有些菇

類則是含氮量太高反而產量下降，同一種菇類不同菌株對於氮源的需求也不盡相同，彭金騰等人 (Peng *et al.* 2000) 曾比較不同比例的米糠對杏鮑菇不同品系的產量，結果發現杏鮑菇品系 ATCC36047 的產量和米糠的添加量呈正比，但品系 Holland 150 的生物效率則以添加基質總乾重 38% 之米糠為最高，添加至 48% 的米糠反而生物效率下降。倪新江等人 (Ni *et al.* 1995) 發現在香菇栽培過程中 C/N 不斷下降，適量增加氮源可以提高香菇產量。惟 Silva *et al.* (2005) 報導香菇種植時，所用營養中如果含有高濃度的氮會抑制木質素分解 (ligninolytic activity)。筆者等曾經試驗一批杏鮑菇栽培後基質作為鴻喜菇栽培添加之用，由於該批杏鮑菇栽培的產量不佳，因此基質中含氮量仍高達 2.4%，如果取代新鮮木屑超過 2/3，反而抑制菌絲的生長，進而影響產量 (資料未顯示)。本次試驗所使用之基質經過分析，結果新鮮木屑處理者含氮量為 0.6–0.9%，而添加杏鮑菇栽培後廢棄基質之處理者的含氮量為 0.99–1.50% (資料未顯示)，秀珍菇以添加 1/3 廢棄基質的產量最高，而鴻喜菇和巴西蘑菇均以添加 50% 廢棄基質之處理較好，顯示不同菇類對於杏鮑菇廢棄基質的適應性不同，且廢棄基質對同一菇種不同菌株產量影響有待進一步研究。

菇類在生長過程中會產生一些二次代謝物，如有機酸等物質，會累積於栽培基質中，因而使得基質的 pH 值下降，例如香菇栽培介質在出菇前酸鹼值只有 pH 4 (Ohga 1999)，本試驗所使用的杏鮑菇栽培基質栽培前酸鹼值

為 pH 6.5–6.8，採收完之廢棄基質則降至 pH 5.3–5.8，顯示栽培後介質中含部分有機酸類物質。而在菇類栽培的配方中還有添加其他的輔料，如米糠、粉頭等，也會讓基質的酸鹼值下降，而添加菇類廢棄基質又比新鮮木屑之酸鹼值低，因此會建議比一般正常的配方多加約 1–2% 之碳酸鈣，才不致因為栽培基質酸鹼值太低而影響到菇類的菌絲生長。Royse (1992) 的研究亦發現利用香菇栽培後廢棄基質種植秀珍菇的生物效率和所添加的碳酸鈣濃度成正相關。

菇類菌絲生長過程中除了產生有機酸之外，還會產生一些對其他微生物具有抑制的抗生物質，即使經過高溫處理後仍不會分解，不同菇類廢棄基質對於不同菇類之菌絲生長影響不同，而同一種菇類的不同菌株間也會有所差異。李俐俐和劉天學 (Li & Liu 2007) 以蠔菇 (*P. ostreatus*) 廢棄基質萃取液測試對 5 種菇類菌絲生長之影響，結果發現對於茶樹菇、金針菇和黑木耳之菌絲生長有促進作用，對於杏鮑菇和白靈菇之菌絲則為抑制，此一結果和趙桂云和馬懷良 (Zhao & Ma 2010) 的試驗結果相異，後者發現蠔菇 (*P. ostreatus*) 廢棄基質抽出物可促進黑木耳和杏鮑菇菌絲生長，但抑制蠔菇、雞腿菇菌絲生長，比較兩者不同之處有二：(1) 兩者所使用的廢棄基質雖都來自栽培蠔菇，但兩者的配方不同，前者主要材料為玉米芯和棉仔殼，後者則為豆秸和木屑；(2) 兩者所使用的培養基配方不同，前者使用廢棄基質提取液和 PDA 做不同比例之混合，後者則是以減量的 PDA 配方加入不同比例之廢棄基質，兩個方法以後者的比較基礎較為接近。張國慶等人 (Zhang *et al.* 2009) 以杏鮑菇廢棄基質提取液測試靈芝、鴻喜菇、秀珍菇和蠔菇菌絲之影響，結果和對照 PDA 比較，對 4 種菇類菌絲生長均有抑制。日本學者 Akamatsu (1998) 則以冷水萃取方式作為廢棄基質是否適合作為其他菇類栽培評估的標準。筆者比較冷水和熱水萃取的結果，熱水萃取物顏色較深，但兩者的試驗結果趨勢相同 (資料未顯示)。另外以熱水萃取和直接以廢棄基質培養測試其對於菇類菌絲生長

之影響，兩者的結果稍有不同，如巴西磨菇培養在新鮮木屑和廢棄基質抽出物處理兩者間無顯著性差異，但直接以廢棄基質培養較以新鮮木屑生長為佳，這應該是在進行熱水抽出物的試驗時，培養基中還添加了其他養分，因而淡化了不同處理之間的差異，建議評估廢棄基質對於不同菇類之適應性時，應直接以栽培後基質作為試驗材料較準確。

一般菇類的廢棄基質之含水量在 50–60% 之間，又富含養分，並不適宜於常溫下保存，若不能馬上使用，可以加水堆積 3–6 個月，也可以在平常生產太空包的殺菌過程中，利用鍋爐產生的多餘蒸氣將其烘乾，使含水量降至 10% 以下，以避免雜菌孳生 (Li 2003)。此外，不同批次的廢棄基質在成分上會有些微的差異，因此使用時應觀察其基本性狀如含水量及酸鹼值等略做調整。

由於各種菇類對於基質之分解能力有所差異，因此可以制定一套菇種栽培順序，優先栽培對於木質素分解能力較強的菇種，如側耳科 (Pleurotaceae) 的菇類 (Song & Deng 2004)，故可先種植如蠔菇或秀珍菇，使其分解利用木屑中的木質素，隨後再依據各菇種對木質素分解能力之差異，依序利用廢棄基質進行栽培。如此可讓同一批木屑生產不同菇種，減少新木屑需求量，同時兼顧保育森林的目的。綜合本試驗之結果，杏鮑菇廢棄基質可以應用於秀珍菇、鴻喜菇和巴西磨菇之栽培，取代木屑的比例 1/3 到 1/2，由於不同菇類對於廢棄基質的適應性不同，在應用之前對於所使用的菇種最好先進行初步試驗。

引用文獻

- Akamatsu, Y. 1998. Reutilization of culture wastes of *Pleurotus ostreatus* and *Pholiota nameko* for cultivation of *Lyophyllum decastes*. *J. Wood Sci.* 44:417–420.
- Bao, H. N. D., Y. Shinomiya, H. Ikeda, and T. Ohshima. 2009. Preventing discoloration and lipid oxidation in dark muscle of yellowtail by feeding an extract prepared from mushroom (*Flammulina velutipes*) cultured medium. *Aquaculture* 295:243–249.

- Chen, J. T., S. Y. Chien, J. T. Peng, and M. H. Chen. 2005. Recycling application of spent king oyster mushroom substrate for production of *Pleurotus eryngii* (DC.:Fr.) Quél. *J. Taiwan Agric. Res.* 54:235–244. (in Chinese with English abstract)
- Chiu, A. L. and J. W. Huang. 1997. Effects of composted agricultural and industrial wastes on the growth of vegetable seedlings and suppression of their root diseases. *Plant Pathol. Bull.* 6:67–72. (in Chinese with English abstract)
- Chiu, S. W., T. Gao, C. S. S. Chan, and C. K. M. Ho. 2009. Removal of spilled petroleum in industrial soils by spent compost of mushroom *Pleurotus pulmonarius*. *Chemosphere* 75:837–842.
- Di Lena, G., V. Vivanti, and G. B. Quaglia. 1997. Amino acid composition of wheat milling by product after bioconversion by edible fungi mycelia. *Nahrung* 41:285–288.
- Feng, Z., Z. Wang, Y. Pan, and M. Chen. 1996. Effect of spent artificial log and supplement on biodegradation of lignocellulose in the substrate of *Lentinula edodes*. *Acta Edulis Fungi* 3:9–16.
- Hideno, A., H. Aoygai, S. Isobe, and H. Tanaka. 2007. Utilization of spent sawdust matrix after cultivation of *Grifola frondosa* as substrate for ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation. *Food Sci. Technol. Res.* 13:111–117.
- Hou, L. J., F. J. Yao, R. Gao, and Y. J. Chen. 2008. Research of reutilization of edible fungi on fungal chaff. *Edible Fungi China* 27:6–8. (in Chinese with English abstract)
- Huang, J. W. and H. C. Huang. 2000. A formulated container medium suppressive to Rhizoctonia damping-off of cabbage. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 41:49–56.
- Jo, W. S., J. S. Kim, D. H. Cho, S. D. Park, and H. E. Jung. 2008. Fruitbody development of *Pleurotus ostreatus* via bottle cultivation using recycled substrate. *Mycobiology* 36:157–160.
- Li, X. M. 2003. Development and utilization of edible fungi residue. *J. Henan Agric. Sci.* 5:40–42. (in Chinese)
- Li, L. L. and T. X. Liu. 2007. Effect of aquatic extraction substance from residue of *Pleurotus ostreatus* on hyphal growth of five edible fungi. *J. Anhui Agric. Sci.* 35:430–432. (in Chinese with English abstract)
- Li, Q., X. P. Hu, S. F. Lu, Y. X. Chen, and J. L. Bao. 2008. Research on shiitake cultivation by utilization the spent culture medium of *Pleurotus eryngii*. *Edible Fungi* 6:28–29. (in Chinese)
- Li, W. S., Y. S. Lue, and M. H. Chen. 2012. Rice straw for production of Phoenix-tail mushroom, *Pleurotus sajor-caju*. *J. Taiwan Agric. Res.* 61:90–99.
- Liang, Z. C., C. Y. Wu, and J. C. Wang. 2005. The evaluation of using mushroom sawdust wastes for cultivation of *Pleurotus citrinopileatus*. *Fungal Sci.* 20:27–34.
- Lindequist, U., T. H. J. Niedermeyer, and W. D. J. Jülich. 2005. The pharmacological potential of mushrooms. *Evid. Based Complement Alternat. Med.* 2:285–299.
- Ni, X., Y. Pan, Z. Feng, and R. Li. 1995. Effect of supplement kinds and contents in sawdust medium on the growth and development of *Lentinula edodes*. *Acta Edulis Fungi* 2:6–10.
- Ohga, S. 1999. Evaluation of maturity by use of pH indicators in sawdust-based cultures of *Lentinula edodes*. *J. Wood Sci.* 45:431–434.
- Peng, J. T., C. M. Lee, and Y. F. Tsai. 2000. Effect of rice bran on the production of different king oyster mushroom strains during bottle cultivation. *J. Agric. Res. China* 49:60–67.
- Permana, I. G., G. Flachowsky, U. Meulen, and F. Zadrazil. 2000. Use of sugarcane bagasse for mushroom and animal feed production. *Mushroom Sci.* 15:385–390.
- Rinker, D. L., Zero Emissions Research and Initiatives, and S. W. Kang. 2004. Recycling of spent mushroom substrate. p.187–191. *in: Mushroom Growers' Handbook 1: Oyster Mushroom Cultivation.* MushWorld-Heineart, Seoul. 287 pp.
- Royse, D. J. 1992. Recycling of spent shiitake substrate for production of the oyster mushroom, *Pleurotus sajor-caju*. *Appl. Microbiol. Biot.* 38:179–182.
- Sharma, V. P. and C. L. Jandaik. 1985. Studies on recycling of *Pleurotus* waste. *Mushroom J. Tropics* 6:13–15.
- Silva, E. M., A. Machuca, and A. M. F. Milagres. 2005. Effect of cereal brans on *Lentinula edodes* growth and enzyme activities during cultivation on forestry wastes. *Lett. Appl. Microbiol.* 40:283–288.
- Song, R. Q. and X. Deng. 2004. Study on biodegraded ability of thirteen edible fungi to straw. *J. Forestry Res.* 15:223–226.
- Trejo-Hernandez, M. R., A. Lopez-Munguia, and R. Q. Ramirez. 2001. Residual compost of *Agaricus bisporus* as a source of crude laccase for enzymic oxidation of phenolic compounds. *Process Biochem.* 36:635–639.
- Wan, S. X., H. B. Zhu, F. Li, G. Y. Jiang, and X. S. Guo.

2009. Research on *Agaricus bisporus* cultivation by utilization the spent culture medium of *Pleurotus geesteranus*. *Edible Fungi China* 28:20–22. (in Chinese with English abstract)
- Wang, B. C. 2009. Edible and medicinal value of mushrooms and their development of diversity products. *Agric. Biotech. Ind. Quart.* 18:34–40. (in Chinese)
- Wang, P. C. and J. W. Huang. 2000. Characteristics for inhibition of cucumber damping-off by spent forest mushroom compost. *Plant Pathol. Bull.* 9:137–144. (in Chinese with English abstract)
- Wei, Z. T., G. Y. Zhou, and Q. X. Hu. 2010. Research and utilization of edible fungi residue. *Edible Fungi China* 29:3–6. (in Chinese with English abstract)
- Xie, T. S., Z. X. Wu, and X. Zhang. 1986. The nutritional value of spent substrates from phoenix tail mushroom. *Edible Fungi* 8:41. (in Chinese)
- Yang, Y., J. Luo, E. Y. Qiw, X. Miao, G. Y. Li, and C. W. Hu. 2008. Chemical composition analysis and pyrolysis of two mushroom residues. *Chem. Res. Appl.* 20:1457–1460.
- Zhang, G. G., L. X. Wang, L. Y. Zhan, Y. Zhang, and J. M. Zou. 2009. Effect of spent substrate of *Pleurotus eryngii* on the mycelia growth of four edible fungi. *Edible Fungi China* 28:19–20. (in Chinese with English abstract)
- Zhao, G. Y. and H. L. Ma. 2010. Effect of water extracts of spent oyster mushroom substrates on mycelial growth of four kinds of mushrooms. *Northern Hort.* 22:170–171. (in Chinese)

Recycling of Spent King Oyster Mushroom Substrate for Production of Mushrooms

Mei-Hsing Chen¹, Wei-Sung Li¹, Kaun-Tzer Wu², Shiu-an-Yuh Chien³, and Yun-Sheng Lue^{1,*}

Abstract

Chen, M. H., W. S. Li, K. T. Wu, S. Y. Chien, and Y. S. Lue. 2013. Recycling of spent king oyster mushroom substrate for production of mushrooms. *J. Taiwan Agric. Res.* 62(2):126–136.

Sawdust is a main ingredient for cultivation of edible mushrooms. In Taiwan, the annual demand of sawdust for mushroom production has increased to more than 350 thousand tons in recent years. Using sawdust for mushroom production is not only expensive but also environmentally unsound. In Taiwan, an estimated 200 thousand tons of spent mushroom substrates were produced annually and most of them were used as organic compost for growing crops. However, most of the spent mushroom substrates are nutrient rich and they are of potential for reuse in growing mushrooms. The objective of this study was to determine the feasibility of production of phoenix tail mushroom (*Pleurotus sajor-caju*), Bunashimeji (*Hypsizygus marmoreus*), and sunny mushroom (*Agaricus braziliensis*), using spent king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) substrates collected after harvesting as an ingredient in the growth substrate. The ratio of fresh sawdust (*Trema orientalis*) and spent king oyster mushroom substrate in the growth substrate was 2:1, 1:1, 1:2, or 1:0 (w/w, dry weight) for the production of phoenix tail mushroom and Bunashimeji; and 1:0, 2:1 or 1:1 (w/w, dry weight) for the production of sunny mushroom. Results showed that yield of phoenix tail mushroom in the growth substrate containing fresh sawdust and spent king oyster mushroom substrate at 1:1 or 1:2 ratio was not significantly different from the treatment of 1:0 (fresh sawdust alone). Yield of Bunashimeji in the treatment of fresh sawdust and spent king oyster mushroom substrate at 1:1, 2:1, or 1:2 ratio (w/w, dry weight) was higher than the treatment of 1:0. For sunny mushroom, yield was the highest in the treatment of fresh sawdust and spent king oyster mushroom substrate at 1:1 ratio (w/w, dry weight). These results suggest that the spent king oyster mushroom substrate can be used to replace fresh sawdust for production of phoenix tail mushroom, Bunashimeji and sunny mushroom and the optimum rate of spent king oyster mushroom substrate for mushroom production varies with mushroom species. In addition, the use of spent king oyster mushroom substrate will reduce the demand of fresh sawdust and, thereby, reduce the mushroom production cost and improve environmental health.

Key words: Spent substrate, *Pleurotus eryngii*, *Pleurotus sajor-caju*, *Hypsizygus marmoreus*, *Agaricus braziliensis*.

Received: January 10, 2013; Accepted: March 21, 2013.

* Corresponding author, e-mail: yunsheng@tra.gov.tw

¹ Assistant Research Fellows, Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

² Associate Research Fellow, Plant Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

³ Research Fellow, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.