

# 沼渣與蔗渣對菇類生產之影響

黃榮揚<sup>1</sup> 魏碧玉<sup>2</sup> 孔祥丞<sup>3</sup> 呂昫陞<sup>1,\*</sup>

## 摘要

黃榮揚、魏碧玉、孔祥丞、呂昫陞。2020。沼渣與蔗渣對菇類生產之影響。台灣農業研究 69(3):193–206。

我國近年由於電能短缺之問題，因此積極開發綠能替代傳統化石能源進行發電，沼氣發電即為其中重要項目之一，惟沼氣發電後所產生沼渣之去化問題，成為限制沼氣發電之關鍵。為解決此一問題，本研究利用沼渣與蔗渣組合篩選出適合菇類生長之配方，藉以提供沼渣去化用途之參考。試驗結果顯示，以沼渣與蔗渣取代米糠所設計之配方，較單純米糠處理之對照在菌絲生長上對供試菇種菌絲生長有明顯提升。進一步選擇杏鮑菇進行栽培試驗，結果顯示沼渣與蔗渣處理組較單純米糠對照組，不論在菌絲生長速度與產量皆有所增加。此外，進一步分析菇體重金屬吸附情形，顯示杏鮑菇菇體不會吸附沼渣重金屬鉛，但對鎘、銅及鋅等具低吸附之能力。本試驗之結果顯示，沼渣與蔗渣混和之配方具有部分取代米糠之效果，且有助提升杏鮑菇之產能，在安全無虞的沼渣來源下，具未來可成為沼渣與蔗渣去化與增加這些資源物附加價值之應用參考。

**關鍵詞：**沼渣、蔗渣、杏鮑菇、循環農業。

## 前言

台灣近年來對於替代能源之需求越來越高，包含太陽光電與生質能源等不斷被開發與應用，其中沼氣發電更具有發展潛力。惟由於沼氣發電後會產生如沼渣之副產物尚未開發用途，因此仍未被廣泛推廣。其實沼渣含有豐富之纖維質與含氮物質，具有增加土壤有機質、改善土壤團粒結構及減少化肥使用量等功效，可被使用作為有機質肥料。然而，由於其銅與鋅離子的含量較高，因此使用限制較多。倘將大量剩餘之沼渣遺棄或任意堆放，將對環境造成 2 次汙染 (Zhang *et al.* 2016; Lu & Kong 2017)。因此，如何有效利用沼渣，或將之增值化成為沼氣利用，乃當前沼渣作為循環資源物的重要議題之一。

沼渣由於含有豐富氮素源與纖維質 (Zhang *et al.* 2016)，因此可被利用於菇類生產，目前

已有相關研究指出沼渣可被應用於洋菇、雞腿菇、銀耳、平菇、黃白側耳與金針菇等菇種的生產 (Gou *et al.* 2007; Cao *et al.* 2008; Yu *et al.* 2012, 2014; Wei *et al.* 2017)。但是，也有研究指出雖然沼渣具有高氮素源特性，如能添加適當之碳素源，如葡萄糖與蔗糖等菇類菌絲容易利用之醣類，將有利於調整生產配方之碳氮比，提高菇類利用效率與生產量 (Wei *et al.* 2017)。

蔗渣係現行菇類栽培常用的農業資源物之一，由於蔗渣含有豐富之單醣與雙醣，因此相當適合作為菇類栽培時之替代資材 (Zhou *et al.* 2004)。據此，本研究分別選用國內重要之菇類 [如杏鮑菇 (*Pleurotus eryngii*)、秀珍菇 (*Pleurotus sajor-caju*)、鴻喜菇 (*Hypsizygus tessellatus*) 及美白菇 (*Hypsizygus marmoreus*) 等] 進行木屑平板試驗，測試不同沼渣與蔗渣

投稿日期：2019 年 11 月 19 日；接受日期：2020 年 5 月 6 日。

\* 通訊作者：yunsheng@tari.gov.tw

<sup>1</sup> 農委會農業試驗所植物病理組助理研究員。台灣 台中市。

<sup>2</sup> 財團法人工業技術研究院材料與化工研究所資深研究員。台灣 新竹市。

<sup>3</sup> 財團法人工業技術研究院材料與化工研究所副研究員。台灣 新竹市。

取代米糠的比例對菇類菌絲生長之影響，並進一步選用杏鮑菇進行栽培試驗，以深入瞭解相關配方應用於杏鮑菇栽培之可行性。此外，並將分析菇體內重金屬含量與營養成分，以釐清沼渣、蔗渣取代米糠對杏鮑菇產量與品質之影響。

## 材料與方法

### 菌種保存與活化

本研究之供試菌株係由行政院農業委員會農業試驗所植病組菇類研究室所提供，杏鮑菇 (*P. eryngii*) 菌株代號為 PE-1、秀珍菇 (*P. sajor-caju*) 菌株代號為 PS-1、美白菇 (*H. marmoratus*) 菌株代號為 HM-1、鴻喜菇 (*H. tessellatus*) 菌株代號為 HT-1。供試菌株以馬鈴薯葡萄糖瓊脂 (potato dextrose agar; PDA) (Becton Dickinson and Company, Franklin Lakes, NJ, USA) 進行繼代培養，並放置於 24°C 之恆溫箱中靜置培養。培養 7 d 後，以 7 mm 打孔器打取菌絲塊，並將菌絲塊放入無菌水保存管中，放置於 4°C 冰箱中進行保存。菌株於試驗前，將菌絲塊自無菌水中取出，並放置於 PDA 培養基中進行活化，待 7 d 後即可進行相關試驗。

### 以木屑平板法測試沼渣、蔗渣取代米糠對菇類菌絲生長之影響

為瞭解沼渣、蔗渣是否具有取代米糠作為菇類氮素源之潛力，將供試菌株培養於添加 20 g 混合木屑的玻璃培養皿 (直徑 9 cm) 內。沼渣、蔗渣由工業技術研究院提供，其中沼渣是由豬糞尿經厭氧發酵產生沼氣後之剩餘產物經固液分離，收集固形物烘乾後形成；蔗渣則為國產甘蔗榨糖後剩餘之纖維狀固形物，在室外堆積發酵數月，經腐熟並風乾後之黑褐色纖維物，兩者成分分析如表 1。其餘試驗材料，木屑為菇類栽培業者常用，係相思木占 3 成之雜木屑，經室外灑水堆積 3 mo 後使用；當年度製造之米糠、粉頭原料，購自泰昌飼料行 (台灣台中市)。試驗共有 3 類處理組，分別為沼渣取代米糠組、蔗渣取代米糠組、沼渣與蔗渣取代米糠組。各處理配方如表 2，沼渣取代米糠組，混合木屑配方為：配方 1 (對照組)：

表 1. 厭氧發酵後沼渣與蔗渣的營養成分分析。

Material	pH value	EC value	C : N ratio	Organic matter	Element present (%)					Heavy metal content (mg L <sup>-1</sup> )					
					Nitrogen	Phosphoric oxide	Potassium oxide	Calcium oxide	Magnesium oxide	Cu	Zn	Cd	Ni	Cr	Pb
Pig manure-biogas residue	7.1	1.8	24.0	87.0	2.1	2.8	0.3	3.1	1.1	81.0	313.0	0.6	7.4	6.1	1.5
Bagasse	8.3	2.4	50.3	78.0	0.9	0.2	0.3	0.7	0.3	14.0	37.5	0.3	3.0	3.8	2.3
Rice bran	ND <sup>z</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.8	87.0	0.3	1.5	0.3	1.5
Wheat middlings	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12.6	71.2	0.2	1.4	0.8	0.6

<sup>z</sup> ND: not done.

表 2. 試驗所用各處理配方。

Table 2. The compositions of treatments that used in the experiments.

Treatment	Composition of treatment (%)				
	Sawdust	Rice bran	Biogas residue	Bagasse	Wheat middlings
Replace rice bran with biogas residue					
Treatment 1 (control)	70	30	0	0	0
Treatment 2	70	20	10	0	0
Treatment 3	70	10	20	0	0
Treatment 4	70	0	30	0	0
Replace rice bran with bagasse					
Treatment 1 (control)	70	30	0	0	0
Treatment 2	70	20	0	10	0
Treatment 3	70	10	0	20	0
Treatment 4	70	0	0	30	0
Replace rice bran with biogas residue and bagasse					
Treatment 1 (control)	70	30	0	0	0
Treatment 2	70	10	15	5	0
Treatment 3	70	10	10	10	0
Treatment 4	70	10	5	15	0
Plastic bag assay					
Treatment 1 (control)	60	30	0	0	10
Treatment 2	60	10	15	5	10
Treatment 3	60	10	10	10	10

70% 木屑 + 30% 米糠；配方 2：70% 木屑 + 20% 米糠 + 10% 沼渣；配方 3：70% 木屑 + 10% 米糠 + 20% 沼渣；配方 4：70% 木屑 + 30% 沼渣。蔗渣取代米糠組，混合木屑配方為：配方 1 (對照組)：70% 木屑 + 30% 米糠；配方 2：70% 木屑 + 20% 米糠 + 10% 蔗渣；配方 3：70% 木屑 + 10% 米糠 + 20% 蔗渣；配方 4：70% 木屑 + 30% 蔗渣。沼渣與蔗渣取代米糠組，混合木屑配方為：配方 1 (對照組)：70% 木屑 + 30% 米糠；配方 2：70% 木屑 + 10% 米糠 + 15% 沼渣 + 5% 蔗渣；配方 3：70% 木屑 + 10% 米糠 + 10% 沼渣 + 10% 蔗渣；配方 4：70% 木屑 + 10% 米糠 + 5% 沼渣 + 15% 蔗渣。每處理 5 重複，培養條件為 24°C 全黑暗，並於培養後 10 d 記錄菌落大小。本試驗進行 2 重複。

### 杏鮑菇木屑菌種製備

以乾重比 85：15 混合鋸木屑與米糠後，

再將含水量調整到 60–65%，分裝於菌種瓶後密封瓶口，經高溫高壓 (121°C, 1.2 kg cm<sup>-2</sup>) 滅菌釜滅菌 1 h。待隔夜冷卻後，將培養於 PDA 平板之杏鮑菇 PE-1 菌絲塊切下接種，轉培養於 24°C 下直到菌絲走滿，供作後續試驗菌種之用。

### 測試沼渣與蔗渣對杏鮑菇走菌與產量影響

為瞭解沼渣、蔗渣是否具有取代米糠作為菇類氮素源之潛力，本研究根據平板走菌研究之結果，以不同比例之沼渣、蔗渣的木屑太空包種植杏鮑菇 PE-1。所製備不同木屑太空包分別為配方 1 (對照組)：木屑 60% + 米糠 30% + 粉頭 10%；配方 2：木屑 60% + 米糠 10% + 粉頭 10% + 沼渣 15% + 蔗渣 5%；配方 3：木屑 60% + 米糠 10% + 粉頭 10% + 沼渣 10% + 蔗渣 10%。試驗所使用之各木屑太空包材料，經過充分混拌後，將含水量調整至 60–65%，

分裝成每包濕重約 1 kg 之太空包。經過高溫滅菌釜以高溫高壓 (121°C, 1.2 kg cm<sup>-2</sup>) 滅菌 1 h 後, 移入冷卻室中隔夜冷卻, 接種杏鮑菇 PE-1 菌株木屑菌種後, 移入走菌室於 24°C 定溫培養。走菌時期不照光, 走菌過程中每處理隨機挑取 6 包太空包記錄杏鮑菇菌絲走菌速度, 並記錄走菌完成之時間。走菌完成時, 將太空包剔除汙染與生長異常者後, 移入出菇室中。出菇室內溫度調整在 16–18°C, 並以超音波加濕機將空氣中含水量調整在 85–92%, 室內二氧化碳濃度控制在 900–2,000 mg L<sup>-1</sup>。待菇體發育至長度 5 cm 且菌傘尚未反摺前, 提高二氧化碳濃度至 2,000 mg L<sup>-1</sup>。每包太空包只於菇體開傘前採收 1 次, 菇體切除基部木屑後, 調查各處理之產量與採收所需天數。根據菇體大小進行分級, 其中 A 級標準為菇長 15 cm 以上、B 級標準為菇長 8–15 cm 間、C 級標準為 8 cm 以下者。每處理 40 框, 每框 12 包, 各 480 包重複。

### 重金屬、胺基酸及營養成分分析

為測定杏鮑菇是否吸附沼渣內部重金屬, 每處理隨機收集 600 g 菇體, 分析鎘、銅、鉛及鋅濃度, 並評估沼渣、蔗渣對杏鮑菇體營養影響, 分析不同處理杏鮑菇菇體粗蛋白、粗脂肪、水分及灰分, 以及以酸解法分析菇體中 17 種胺基酸含量。本試驗皆委託振泰檢驗公司 (台灣新北市) 執行, 因該實驗室為 Taiwan Food and Drug Administration (TFDA) 與 Taiwan Accreditation Foundation (TAF) 驗證實驗室, 每試驗 1 重複已有公信力。各檢測方法如下。

### 重金屬檢測方法

菇類重金屬檢驗參考 Lin *et al.* (2015) 的方法, 測定蔬菜中的重金屬。秤取 0.25 g 菇類烘乾樣品, 加入 5.5 mL 混合酸液 (HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 10 : 1, v/v), 以微波消化裝置 (MARS 5, CEM, Mathews, NC, USA) 加熱分解。加熱條件如下: 第 1 階段功率設定 1,600 W、升溫時間 10 min、溫度設定 180°C、持溫時間 5 min。第 2 階段功率設定 1,600 W、升溫時間 5 min、溫度設定 200°C、持溫時間 10 min。分

解液以 Whatman No. 42 濾紙過濾, 以去離子水定量至 50 mL。濾液以感應耦合電漿質譜儀 (inductively coupled plasma mass spectrometry; ICP-MS) (Agilent 7900, Santa Clara, CA, USA) 測定鎘、銅、鉛及鋅濃度。4 種重金屬檢驗操作條件參考衛生福利部出版之部授食字第 1031901169 號-重金屬檢驗方法總則。

### 胺基酸分析方法

菇體樣品烘乾後, 採液相水解法將蛋白質分解為胺基酸, 步驟如下: 將 500 µg 凍乾菇體與含有 0.1–1.0% 酚之 6 N 鹽酸於水解試管混合, 在試管中加入鹽酸水解溶液 200 µL, 並於乾冰-丙酮浴中冷凍檢品, 再於真空中過火密封。檢品置於真空或惰性氣體中, 置於 110°C 水解 24 h 後, 將胺基酸液以高效能液相層析儀 (Agilent 1100 HPLC · 2000 Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) 配合管柱 (Zorbax Eclipse-AAA Columns, Agilent, Santa Clara, CA, USA) 進行 17 種胺基酸分析。胺基酸定量方法採: 管柱後鄰苯二甲醯 (OPA) 螢光偵測與管柱前 FMOC-Cl 衍生化法 (TFDA-4043 草案-胺基酸分析法-十二、附錄方法二、方法七)。

### 粗蛋白、粗脂肪、水分及灰分分析方法

不同配方之菇體營養成分分析項目為: 粗蛋白、粗脂肪、水分及灰分。分析方式參照經濟部標準檢驗局文件 CNS 5033-食品中水分之檢驗方法、CNS 5034 食品中粗灰分之檢驗方法、CNS 5035 食品中粗蛋白質之檢驗方法、CNS 5036 食品中粗脂肪之檢驗方法進行分析。試驗方法如下: 水分分析為在已乾燥至恆量之秤量瓶中, 精確 2–5 g 重菇檢體後, 移至於 100–110°C 烘箱中, 秤量瓶微開, 持續乾燥 1–2 h。取出移入乾燥器放冷, 約 30 min 後秤量, 再將秤量瓶移入烘箱中, 乾燥 1–2 h。重複此步驟, 直至恆量為止。含水量 (%) = [(秤量瓶重量 + 檢體重量) - 恆量後含秤量瓶記錄重量] / (秤量瓶 + 檢體重量 - 秤量瓶重量) × 100。灰分分析為精秤 2–5 g 菇體後, 置於 100°C 烘箱內充分乾燥, 並移入灰化爐使溫度上升至 550–600°C。灰化數小時後, 待檢體呈

白色或灰白色灰分，使溫度下降至 200°C，移入乾燥器中，待室溫時取出迅速秤量。灰分計算 (%) = (灰化後坩鍋與粗灰分重量 - 坩鍋重量) / 檢體重量 × 100。粗蛋白分析為精秤含氮量約 2-3 mg 之菇體，置於分解瓶中，加入由硫酸銅與硫酸鉀分解以 1 : 4 混合之分解促進劑 0.5 g 及 98% 硫酸 3-5 mL，搖勻後稍微放冷。加入 30% 之過氧化氫溶液 1 mL，並用酒精燈緩慢加熱至菇體碳化。加熱煮沸至分解液轉為透明無色或極淡之藍色後，再繼續加熱 1-2 h，並緩慢加水 20 mL 後置於蒸餾裝置上。在蒸餾裝置中加入 0.05 N 之 98% 硫酸溶液 25 mL 後，滴入 2-3 滴混和指示劑 (Brunswik 試液，將甲基紅 0.2 g 與亞甲藍 0.1 g 融於 300 mL 乙醇，並過濾雜質) 後，將冷凝管末端浸於液面下，從小漏斗加入 30% 氫氧化鈉溶液 25 mL，進行水蒸氣蒸餾。至餾出液約 100 mL 後，使冷凝管末端離開液面，取出餾出液數 (mL)，與少量水沖洗冷凝管末端之洗液併為檢液，供 0.05 N 氫氧化鈉溶液滴定，至檢液由紫紅色轉綠色。以 0.05 N 硫酸溶液做空白對照組，每毫升硫酸含量 0.7003 mg 之氮。粗蛋白質 (%) = 0.7003 × (空白對照組中和 - 本檢液中和所用之 0.05 N 氫氧化鈉 mL 數) × 氮係數 × 0.05 N 氫氧化鈉標準溶液力價 × 100 / 檢體之採取量 (mg) × 使用分解液一部分滴定時應乘其係數。粗脂肪分析為精秤已為粉狀之檢體 2-10 g，放入圓筒濾紙中，在其上輕塞適量脫脂棉，置於適當容器內於 100-105°C 烘箱乾燥 2-3 h，再置於乾燥器放冷，將圓筒濾紙置入抽出管中，加 1/2 燒瓶容量之乙醚，於 60-70°C 水浴上萃取至少 8 h。取出圓筒濾紙，接回冷凝管，在水浴上加溫至燒瓶中之乙醚幾乎蒸乾後，卸下燒瓶，置於水浴上繼續蒸乾乙醚。將燒瓶外擦拭乾淨後，置於 98-100°C 烘箱乾燥 1 h，將燒瓶移入乾燥器中放冷 30 min，秤重至恆量。粗脂肪量 (%) = [(抽出粗脂肪經乾燥後連燒瓶之重量 - 放有沸石燒瓶之重量) / 檢體重量] × 100。

### 數據分析方法

本次試驗所得數據，以 SPSS (統計產品

與分析服務解決方案, Statistical Product and Service Solutions) 版本 12.0 軟體分析，處理間以單因子變異數分析，並最小平方法 (least significant difference; LSD) 於 95% 信賴區間進行檢驗，評估處理間有無統計上顯著差異。

## 結果

### 以木屑平板法測試沼渣、蔗渣取代米糠對菇類菌絲生長之影響

為測試沼渣、蔗渣取代米糠後對菇類生長之影響，本研究先以木屑平板法測試沼渣與蔗渣取代米糠對菇類菌絲生長的影響，再依據菌絲生長情況找出最佳比例，篩選出混合沼渣與蔗渣取代米糠之配方。在沼渣取代米糠試驗中，發現 4 種供試菌株皆有類似結果，沼渣取代米糠比例越高，則菌落生長速度越快 (表 3)，在 95% 信賴區間下，供試菌株的處理 4 具有最大顯著差異。惟菌絲生長緻密度則與沼渣添加含量成反比 (圖 1)，在蔗渣取代處理試驗中，配方 4 以蔗渣全部取代米糠會造成供試菇種菌落直徑 (diameter) 變小，但 10% 蔗渣處理的配方 2 菌落範圍大於其他兩種處理。在 95% 信賴區間下，杏鮑菇處理與對照組沒有明顯差異，各處理數據如表 4。混合沼渣、蔗渣取代米糠試驗結果如表 5，杏鮑菇以配方 3 之菌落最大 (可達 47.4 mm)，其次為配方 2 (45.2 mm)、配方 4 (44.0 mm)，配方 1 對照組則為 41.6 mm，在 95% 信賴區間下配方 3 與對照組間存在顯著差異。秀珍菇以配方 2 之菌落最大 (可達 80.4 mm)，其次為配方 3 (76.8 mm)、配方 4 (76.6 mm)，配方 1 對照組則為 70.4 mm，在 95% 信賴區間下配方 3 與對照組間存在顯著差異，然配方 2、3、4 之間無顯著差異。美白菇以配方 3 之菌落最大 (可達 42.8 mm)，其次配方 2 (41.6 mm)、配方 4 (40.8 mm)，對照組則為 36.6 mm，在 95% 信賴區間下配方 3 與對照組間存在顯著差異，惟配方 2、3、4 之間無顯著差異。鴻喜菇以配方 3 之菌落最大 (可達 49.2 mm)，其次配方 4 (48.2 mm)、配方 2 (46.6 mm)，對照組則為 45.2 mm，在 95% 信賴區間下配方 3 與對照組間存在顯著差異。

表 3. 以沼渣取代米糠對菇類菌落生長之影響。

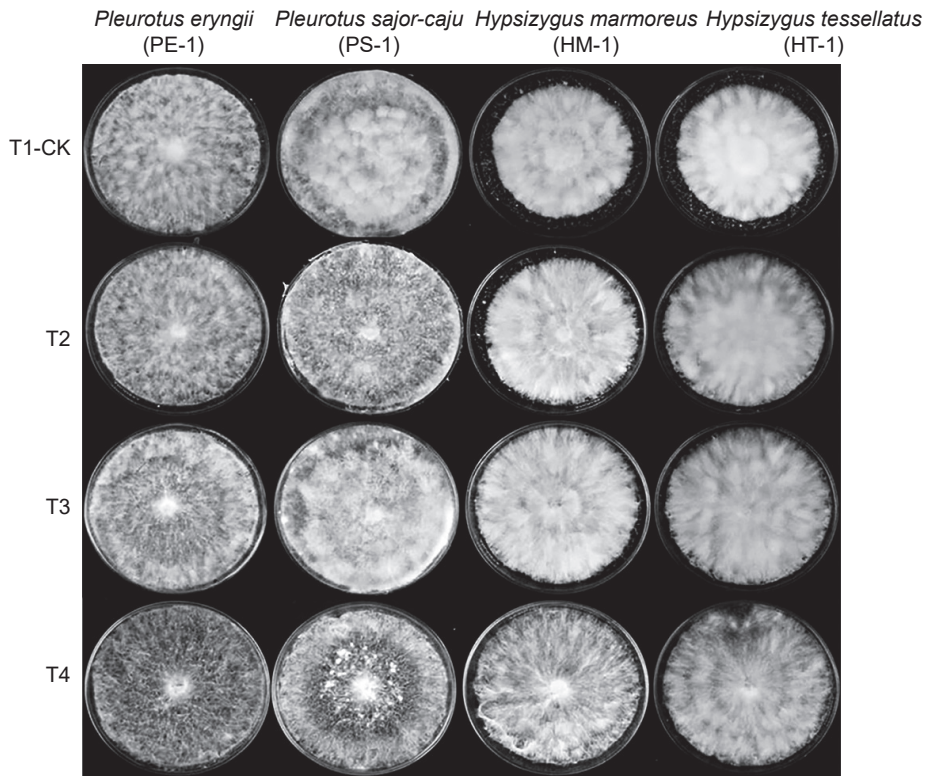
**Table 3.** Effects of replacement of rice bran with various percentages of biogas residue on the colony diameter of mushrooms.

Treatment	The colony diameter of mushrooms (mm) <sup>z</sup>			
	<i>Pleurotus eryngii</i>	<i>Pleurotus sajor-caju</i>	<i>Hypsizygus marmoreus</i>	<i>Hypsizygus tessellatus</i>
Treatment 1 - control <sup>y</sup>	51.6 c <sup>x</sup>	75.6 b	41.6 d	43.4 c
Treatment 2 - 20% rice bran + 10% biogas residue	53.2 c	84.6 a	47.8 c	51.6 b
Treatment 3 - 10% rice bran + 20% biogas residue	56.2 bc	82.8 a	52.8 b	57.2 a
Treatment 4 - 30% biogas residue	62.2 a	88.6 a	57.0 a	59.0 a

<sup>z</sup> Bagasse was inoculated at 24°C.

<sup>y</sup> Treatment 1: 70% sawdust + 30% rice bran; Treatment 2: 70% sawdust + 20% rice bran + 10% biogas residue; Treatment 3: 70% sawdust + 10% rice bran + 20% biogas residue; and Treatment 4: 70% sawdust + 30% biogas residue.

<sup>x</sup> The colony sizes by the same letter in the same column are not significantly different ( $P < 0.05$ ) by the least significant difference (LSD) test.



**圖 1.** 以沼渣取代米糠後對菇類菌落生長之影響。各處理組配方如下：配方 1 (對照組)：70% 木屑 + 30% 米糠；配方 2：70% 木屑 + 20% 米糠 + 10% 沼渣；配方 3：70% 木屑 + 10% 米糠 + 20% 沼渣；配方 4：70% 木屑 + 30% 沼渣。菌落在 24°C 下培養 16 d。供試菌株包含杏鮑菇 cv. PE-1、秀珍菇 cv. PS-1、美白菇 cv. HM-1、鴻喜菇 cv. HT-1。

**Fig. 1.** Effects of replacement of rice bran with various percentages of biogas residue on the colony size of mushrooms. Colonies were inoculated at 24°C for 16 d. Treatment 1: 70% sawdust with 30% rice bran; Treatment 2: 70% sawdust with 20% rice bran and 10% biogas residue; Treatment 3: 70% sawdust with 10% rice bran and 20% biogas residue; and Treatment 4: 70% sawdust with 30% biogas residue. With the increasing rate of biogas residue, the mycelium is getting thinner. The varieties of *Pleurotus eryngii* cv. PE-1, *Pleurotus sajor-caju* cv. PS-1, *Hypsizygus marmoreus* cv. HM-1 and *Hypsizygus tessellatus* cv. HT-1 were tested in this experiment.

表 4. 以蔗渣取代米糠對菇類菌落生長之影響。

**Table 4.** Effects of replacement of rice bran with various percentages of bagasse on the colony diameter of mushrooms.

Treatment	The colony diameter of mushrooms (mm) <sup>z</sup>			
	<i>Pleurotus eryngii</i>	<i>Pleurotus sajor-caju</i>	<i>Hypsizygus marmoreus</i>	<i>Hypsizygus tessellatus</i>
Treatment 1 - control <sup>y</sup>	62.4 a <sup>x</sup>	82.2 a	55.0 a	55.8 ab
Treatment 2 - 20% rice bran + 10% bagasse	62.8 a	87.2 a	57.2 a	56.8 ab
Treatment 3 - 10% rice bran + 20% bagasse	61.0 a	90.0 a	54.0 a	57.6 a
Treatment 4 - 30% bagasse	46.8 b	77.4 b	44.0 b	46.0 b

<sup>z</sup> Bagasse was inoculated at 24°C.

<sup>y</sup> Treatment 1: 70% sawdust + 30% rice bran; Treatment 2: 70% sawdust + 20% rice bran + 10% bagasse; Treatment 3: 70% sawdust + 10% rice bran + 20% bagasse; and Treatment 4: 70% sawdust + 30% bagasse.

<sup>x</sup> The colony sizes by the same letter in the same column are not significantly different ( $P < 0.05$ ) by the least significant difference (LSD) test.

表 5. 以沼渣與蔗渣取代米糠對菇類菌落生長之影響。

**Table 5.** Effects of replacement of rice bran with various percentages of biogas residue and bagasse on the colony diameter of mushrooms.

Treatment	The colony diameter of mushrooms (mm) <sup>z</sup>			
	<i>Pleurotus eryngii</i>	<i>Pleurotus sajor-caju</i>	<i>Hypsizygus marmoreus</i>	<i>Hypsizygus tessellatus</i>
Treatment 1 - control <sup>y</sup>	41.6 b <sup>x</sup>	70.4 b	36.6 b	45.2 b
Treatment 2 - 15% biogas residue + 5% bagasse	45.2 ab	80.4 a	41.6 ab	46.6 a
Treatment 3 - 10% biogas residue + 10% bagasse	47.4 a	76.8 a	42.8 a	49.2 a
Treatment 4 - 5% biogas residue + 15% bagasse	44.0 ab	76.6 a	40.8 ab	48.2 a

<sup>z</sup> Bagasse was inoculated at 24°C for 10 d.

<sup>y</sup> Treatment 1: 70% sawdust + 30% rice bran; Treatment 2: 70% sawdust + 10% rice bran + 15% biogas residue + 5% bagasse; Treatment 3: 70% sawdust + 10% rice bran + 10% biogas residue + 10% bagasse; and Treatment 4: 70% sawdust + 10% rice bran + 5% biogas residue + 15% bagasse.

<sup>x</sup> The colony sizes by the same letter in the same column are not significantly different ( $P < 0.05$ ) by the least significant difference (LSD) test.

## 不同營養配方對杏鮑菇菌絲生長與產量之影響

為瞭解以沼渣與蔗渣取代米糠對杏鮑菇菌絲生長之影響，本研究共設計有 3 種配方，經於 24°C 培養室中培養 21 d 後，各配方間之平均走菌距離分別為配方 1：5.96 cm、配方 2：7.83 cm、配方 3：11.06 cm，3 者在 95% 信賴區間統計上皆有顯著差異。而培養 32 d 之走菌平均距離分別為配方 1：10.6 cm、配方 2：15.7 cm 與配方 3：16.3 cm，其中配方 2、配方 3 統計上與配方 1 具有顯著差異，但兩者之間沒有顯著差異 (表 6)。最後，配方 3 於接種後 37 d 走菌完成，配方 2 於接種後 40 d 走菌

完成，對照組於接種後 45 d 走菌完成。

為瞭解以沼渣與蔗渣取代米糠對杏鮑菇產量之影響，本研究將走菌完成後之杏鮑菇太空包於第 45 天移入環控栽培庫間進行栽培試驗，其中配方 2、3 於刺激出菇 14 d 後進行採收，對照組於刺激出菇後 15 d 進行採收，不同配方之每包產量分別為配方 1：194.70 g ± 5.31 g、配方 2：211.31 g ± 5.46 g、配方 3：220.20 g ± 2.66 g (如圖 2)，在 95% 信賴區間下，3 種配方間皆有顯著差異。進一步依市場分級標準進行分類，配方 1：A 級菇占 31.6%、B 級菇占 42.2%、C 級菇占 26.2%；配方 2：A 級菇占 37.2%、B 級菇占 43.3%、C 級菇占 19.5%；配方 3：A 級菇占 26.0%、

表 6. 以沼渣與蔗渣取代米糠後對杏鮑菇太空包走菌距離之影響。

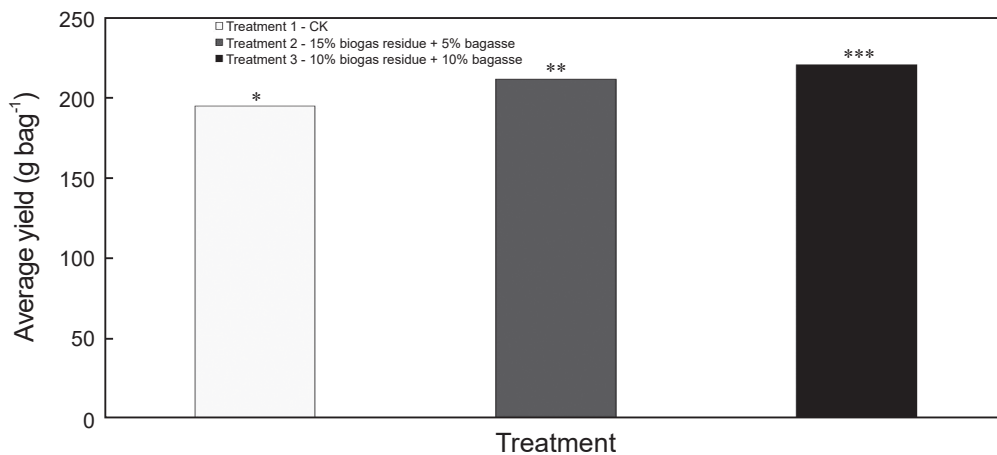
**Table 6.** Effects of replacement of rice bran with various percentages of biogas residue and bagasse on the distance of mycelium runner of *Pleurotus eryngii*.

Treatment	The distance of mycelium runner (cm) <sup>z</sup>			
	21 d	28 d	32 d	35 d
Treatment 1 - control <sup>y</sup>	6.0 c <sup>x</sup>	8.8 c	10.6 b	11.1 c
Treatment 2 - 15% biogas residue + 5% bagasse	7.9 b	11.7 b	15.7 a	16.8 b
Treatment 3 - 10% biogas residue + 10% bagasse	11.1 a	14.8 a	16.3 a	17.8 a

<sup>z</sup> Bagasse was inoculated at 24°C.

<sup>y</sup> Treatment 1: 60% sawdust + 30% rice bran + 10% wheat middlings; Treatment 2: 60% sawdust + 10% rice bran + 10% wheat middlings + 15% biogas residue + 5% bagasse; Treatment 3: 60% sawdust + 10% rice bran + 10% wheat middlings + 10% biogas residue + 10% bagasse.

<sup>x</sup> The colony sizes by the same letter in the same column are not significantly different ( $P < 0.05$ ) by the least significant difference (LSD) test.



**圖 2.** 以沼渣與蔗渣取代米糠後對杏鮑菇平均產量之差異。各配方如下：配方 1：木屑 60% + 米糠 30% + 粉頭 10%；配方 2：木屑 60% + 米糠 10% + 粉頭 10% + 沼渣 15% + 蔗渣 5%；配方 3：木屑 60% + 米糠 10% + 粉頭 10% + 沼渣 10% + 蔗渣 10%。相同星號表示以 ( $P < 0.05$ ) 在 LSD 統計上沒有顯著差異。

**Fig. 2.** Effects of replacement of rice bran with various percentages of biogas residue and bagasse on the average yield of *Pleurotus eryngii*. Treatment 1: 60% sawdust with 30% rice bran and 10% wheat middlings; Treatment 2: 60% sawdust with 10% rice bran, 10% wheat middlings, 15% biogas residue and 5% bagasse; and Treatment 3: 60% sawdust with 10% rice bran, 10% wheat middlings, 10% biogas residue and 10% bagasse. \*: the average yields by the same star column are not significantly different ( $P < 0.05$ ) by the least significant difference (LSD) test.

B 級菇占 51.7%、C 級菇占 22.3% (如圖 3)。依本次栽培試驗結果顯示，配方 2、3 之產量皆略高於配方 1，且配方 1 之標準差較大顯示其產生之菇體產量變異極大。又配方 2 與配方 3 菇體產量穩定高於配方 1，達 200 g 以上 (圖 4)，顯示利用此兩配方相較於配方 1 (對照組) 可有效且穩定提升杏鮑菇之產能。此外，經分析其 A、B、C 級菇所占之比例，亦可發現配方 2 與配方 3 中 C 級菇所占之比例最少，而配

方 1 所占之比例最高。

### 重金屬、胺基酸及營養成分分析

為瞭解沼渣中重金屬成分是否會被杏鮑菇吸附，進而影響人體健康，本研究將不同配方處理組杏鮑菇菇體進行鉛、鎘、銅及鋅含量分析。發現處理組皆未檢出重金屬鉛，對照組 (配方 1) 重金屬鎘、銅濃度皆高於配方 2、3 兩處理組。對照組鎘濃度為 0.2 mg L<sup>-1</sup>，配方 2 與配方 3



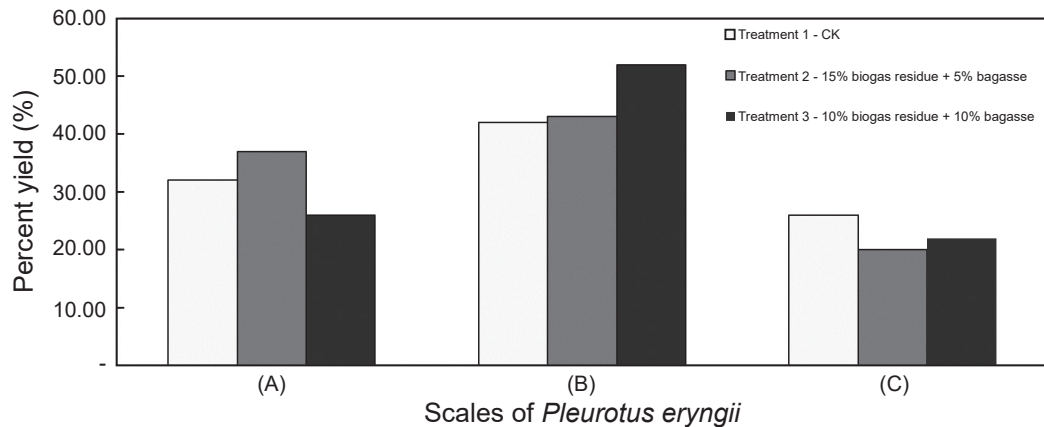


圖 3. 用沼渣與蔗渣取代米糠後對杏鮑菇產量分級差異。圖為不同菇型大小分級，(A) 菇體 15 cm 以上；(B) 菇體 8–15 cm；(C) 菇體 8 cm 以下。各配方如下，配方 1：木屑 60% + 米糠 30% + 粉頭 10%；配方 2：木屑 60% + 米糠 10% + 粉頭 10% + 沼渣 15% + 蔗渣 5%；配方 3：木屑 60% + 米糠 10% + 粉頭 10% + 沼渣 10% + 蔗渣 10%。

**Fig. 3.** Effects of replacement of rice bran with various percentages of biogas residue and bagasse on the yield-scale difference of *Pleurotus eryngii*. The yield-scale is based on mushroom size: (A) over 15 cm; (B) between 8–15 cm; and (C) below 8 cm. Treatment 1: 60% sawdust with 30% rice bran and 10% wheat middlings; Treatment 2: 60% sawdust with 10% rice bran, 10% wheat middling, 15% biogas residue and 5% bagasse; and Treatment 3: 60% sawdust with 10% rice bran, 10% wheat middlings, 10% biogas residue and 10% bagasse.

皆為  $0.10 \text{ mg L}^{-1}$ ；對照組銅濃度為  $5.59 \text{ mg L}^{-1}$ ，配方 2 為  $3.14 \text{ mg L}^{-1}$ 、配方 3 為  $2.67 \text{ mg L}^{-1}$ ；鋅濃度則以配方 2 最高 ( $48.70 \text{ mg L}^{-1}$ )，對照組  $45.30 \text{ mg L}^{-1}$  單位不分行次之，配方 3 之  $33.90 \text{ mg L}^{-1}$  最少。重金屬分析結果顯示，配方 2、3 雖然使用重金屬含量風險較高的沼渣替代米糠作為太空包氮源，但杏鮑菇的低重金屬吸附效果仍使沼渣具有取代米糠的潛力。當然，安全無虞的沼渣來源是必要前提。

菇體營養分析中，以對照組每 100 g 菇體含有最高的粗蛋白 (2.6 g)，配方 2、3 分別為 2.1 g、2.0 g。粗脂肪含量亦以對照組每 100 g 菇體含有 0.4 g 最高，配方 3 的 0.3 g 次之，配方 2 的 0.2 g 最少。菇體含水量以配方 3 的 87.9% 最高，配方 2 為 87.6%，對照組的 86.6% 最少。菇體灰分以對照組每 100 g 菇體有 0.6 g 最高，配方 2、3 皆為 0.5 g (表 7)。本次菇體胺基酸共測試包含天門冬胺酸、絲胺酸、組胺酸在內等 17 種酸水解影響較小的胺基酸種類，各處理之胺基酸含量如表 8，17 種胺基酸含量中皆以對照組高於配方 2 及配方 3。

## 討論

替代能源使用後產生的資源物利用，一直是替代能源是否可以推廣的主要限制因子之一。本研究為去化替代能源使用後的資源物，遂結合沼氣發電後的沼渣與生產蔗糖後的蔗渣等 2 種物質，測試於菇類栽培應用的前景。試驗中發現沼渣的組成成分包含部分未完全分解的有機物和微生物共同組成，因此富含有機質、腐植酸、氮、磷及鉀等營養元素。過去文獻提及以禽畜排泄物或蔗渣等農業廢棄物經厭氧發酵產生沼氣時，廢棄物中的氮素源、半纖維素會被厭氧發酵菌分解，產生氨氣、甲烷、二氧化碳等經過分解的小分子碳、氮素源，並留下較難分解的纖維素及木質素 (Banik & Nandi 2000, 2004; Gupta *et al.* 2016)。

沼渣在農田可作為土壤改良劑，有效改善土壤理化性質，並提高土壤中有機質含量，增強土壤保肥功能和緩衝能力等功效，因此最常作為土壤添加劑使用。但是，也由於在規模化禽畜飼養過程中，為加快其生長速度，常在飼料中添加大量之銅、鋅、鐵及砷等元素，藉以提高飼料利用率與防治禽畜疾病，然禽畜對於



圖 4. 以沼渣與蔗渣取代米糠後對杏鮑菇太空包出菇之影響。圖為刺激後不同天數比較。(A) 配方 1- 對照組，15 d；(B) 配方 2，14 d；(C) 配方 3，14 d；(D) 比較 3 種配方間菇體形狀，由左到右分別為配方 1 到 3。各配方如下，配方 1：木屑 60% + 米糠 30% + 粉頭 10%；配方 2：木屑 60% + 米糠 10% + 粉頭 10% + 沼渣 15% + 蔗渣 5%；配方 3：木屑 60% + 米糠 10% + 粉頭 10% + 沼渣 10% + 蔗渣 10%。

**Fig. 4.** Effects of replacement of rice bran with various percentages of biogas residue and bagasse on the yield of *Pleurotus eryngii*. Different days after the stimulation of fruiting: (A) Treatment 1 (check), 15 d; (B) Treatment 2, after 14 d; (C) Treatment 3, after 14 d; and (D) comparison of mushroom shape of *P. eryngii* among three treatments, from left to right were Treatment 1 to Treatment 3. Treatment 1: 60% sawdust with 30% rice bran and 10% wheat middlings; Treatment 2: 60% sawdust with 10% rice bran, 10% wheat middlings, 15% biogas residue and 5% bagasse; and Treatment 3: 60% sawdust with 10% rice bran, 10% wheat middlings, 10% biogas residue and 10% bagasse.

表 7. 以沼渣與蔗渣取代米糠後對杏鮑菇主要營養與重金屬含量之影響。

**Table 7.** Effects of replacement of rice bran with various percentages of biogas residue and bagasse on the content of major nutrients and heavy metals in *Pleurotus eryngii*.

Treatment	Element present							
	Percent (w/w)				Heavy metal (mg L <sup>-1</sup> )			
	Protein	Lipid	Water	Ash	Pb	Cd	Cu	Zn
Treatment 1 - check <sup>z</sup>	2.6	0.4	86.6	0.6	ND <sup>y</sup>	0.2	5.59	45.3
Treatment 2 - 15% biogas residue + 5% bagasse	2.1	0.2	87.6	0.5	ND	0.1	3.14	48.7
Treatment 3 - 10% biogas residue + 10% bagasse	2.0	0.3	87.9	0.5	ND	0.1	2.67	33.9

<sup>z</sup> Treatment 1: 60% sawdust + 30% rice bran + 10% wheat middlings; Treatment 2: 60% sawdust + 10% rice bran + 10% wheat middlings + 15% biogas residue + 5% bagasse; and Treatment 3: 60% sawdust + 10% rice bran + 10% wheat middlings + 10% biogas residue + 10% bagasse.

<sup>y</sup> ND: not detected.

表 8. 用沼渣與蔗渣取代米糠後對杏鮑菇菇體胺基酸含量之影響。

**Table 8.** Amino acid composition of *Pleurotus eryngii* fruit bodies harvested from growth media replacement of rice bran with various percentages of biogas residue and bagasse.

Amino acid ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	20% Rice bran replaced with		
	Treatment 1 - control <sup>z</sup>	Treatment 2 - 15% biogas residue + 5% bagasse	Treatment 3 - 10% biogas residue + 10% bagasse
Aspartic acid	1,868.10	1,332.80	1,269.40
Glutamic acid	2,865.00	1,970.10	1,818.40
Serine	1,142.30	867.07	790.27
Histidine <sup>z</sup>	502.94	382.98	376.65
Glycine	1,160.60	815.42	782.02
Threonine <sup>z</sup>	1,101.80	805.55	756.13
Arginine	1,909.60	1,700.70	1,426.10
Alanine	1,936.60	1,588.10	1,469.90
Tyrosine	625.99	440.53	415.46
Cysteine	1,875.80	1,625.00	1,510.40
Valine <sup>z</sup>	1,215.30	865.04	820.10
Methionine <sup>z</sup>	30.36	ND <sup>y</sup>	ND
Phenylalanine <sup>z</sup>	994.65	707.36	658.96
Isoleucine <sup>z</sup>	927.83	644.68	614.56
Leucine <sup>z</sup>	1,569.90	1,094.00	1,051.70
Lysine <sup>z</sup>	1,406.70	893.03	853.04
Proline	1,006.50	714.25	664.54

<sup>z</sup> Essential amino acids.<sup>y</sup> ND: not detected.

重金屬利用率較低，因此多數重金屬元素皆會隨糞便排出體外，也因此沼渣中多半含有大量之重金屬而限制使用於土壤的數量 (Zhang *et al.* 2016)。近年來各國為有效利用沼渣，因此開始多方研究，除應用於製作堆肥、土壤添加劑、害蚊忌避劑外 (Ashwath *et al.* 2016)，其中最廣泛應用即是在菇類栽培上之研究。目前已有報告指出，沼渣可應用於平菇、洋菇、金針菇、杏鮑菇、黃白側耳、雞腿菇、草菇與銀耳等食用菌上 (Gou *et al.* 2007; Cao *et al.* 2008; Yu *et al.* 2012, 2014; Wei *et al.* 2017)。

本研究測試 3 個添加沼渣與蔗渣處理組之走菌速度，皆優於單純使用米糠之對照組，其中杏鮑菇菌株在配方 3 可獲得最佳之走菌速度。此外，若以菌絲緻密度一併觀察，則仍以配方 3 為最佳配方。試驗以配方 3 為基礎進行太空包配方設計，並進行相關太空包製作及走菌栽培試驗，試驗結果亦顯示利用沼渣與蔗渣

取代米糠可有效提升走菌之速度，且對於菇體之產量有穩定提升。因此，試驗顯示沼渣與蔗渣混和之配方，確實具有取代米糠成為輔料功能之潛力。

Ashwath *et al.* (2016) 的研究證實澆灌含有小分子碳、氮、磷素源的沼液，相較於水處理組能提升 *Pleurotus florida* 平均產量達 66%，並且在菇體、廢棄栽培介質中皆能檢測沼液處理組比起水對照組含有更高的碳、氮、磷源含量。蔗渣含有纖維素 32–48%、半纖維素 19–24%、木質素 23–32% 及戊糖、己糖等單雙糖分子 (Zhou *et al.* 2004)，經過發酵堆積轉化後，纖維素等大分子碳源會被部分轉化為粗蛋白，被食用菌作為菌絲生長的養分利用 (Okano *et al.* 2007)，進一步提升食用菌菌絲生長速度 (MiKi *et al.* 2005)。因為沼渣與蔗渣含有這些經初步分解、便於利用的小分子養分，可說明本試驗中添加沼渣與蔗渣確實可以

提升杏鮑菇菌絲走菌速度與出菇產量。

多數菇類發現於栽培介質中額外添加沼渣可以提升菇體蛋白質含量，Banik & Nandi (2000) 將草菇介質調整稻草與牛糞沼渣比為 1:2，發現比起純稻草可以提升 23.4% 總蛋白質含量。其在 2004 年試驗發現，秀珍菇上利用稻草添加 50% 混合沼渣之堆肥 (jute caddies)，可較純稻草配方提升菇體粗蛋白質量達 57% (Banik & Nandi 2004)。Gupta *et al.* (2016) 亦發現在麥桿上添加 20% 長葉馬府油樹與牛糞製作成之沼渣，能提高秀珍菇總胺基酸達 23%，惟本研究卻發現添加沼渣組在粗蛋白量及 17 種胺基酸含量皆低於對照組。推測原因可能如下：(1) 本研究所用豬糞尿沼渣與國外牛糞沼渣成分差異。牛糞在半纖維素、纖維素及木質素等碳源含量高於我國現行豬糞尿資材 (Lay *et al.* 2012)，而因纖維素含量較高分解較慢，厭氧發酵後仍剩餘較多食用菌可利用的纖維素、木質素 (Ashwath *et al.* 2016)，豬糞尿則為高氮源、纖維素及低木質素 (Lay *et al.* 2012)。(2) 杏鮑菇對氮源利用偏好性之差異。蠔菇屬 (*Pleurotus*) 菇類對氮源之利用效率分別為：麩胺酸 > 煙胺根離子 > 亞硝酸根離子 > 硝酸根離子，這些小分子氮源在產沼氣初期即被厭氧發酵使用完畢，導致後續杏鮑菇出菇時無法直接使用，需隨時間經過分解介質並轉化吸收方能在菌絲內累積氮源養分 (Bellettini *et al.* 2016)。

Wei *et al.* (2017) 的研究指出，氮源總量固定的條件下，提高栽培介質之碳氮比，可減緩碳源不足導致之菌絲弱及代謝產物缺乏，進而提升銀耳產能。本研究使用含碳素源含量較少之豬糞尿沼渣作為沼渣來源，但介質中亦添加蔗渣補充碳素源，故此種養分差異導致本研究中杏鮑菇產量雖有提升，但內部胺基酸與蛋白質含量卻沒有如同其他報告出現增加趨勢。

在目前之研究中，亦發現利用沼渣與蔗渣取代米糠之介質配方中，常有太空包在栽培過程中出現太空包塑膠包體與介質產生空隙，因而在太空包內產生次生菇體之情形。此現象可能來自於沼渣與蔗渣顆粒較細小，因此當栽培

過程中水分喪失後，導致太空包出現凹陷區域使次生菇體形成。未來如要避免此一現象，可考慮添加保水性較高之玉米芯，或是先將太空包整體含水量在不影響菌絲呼吸、出菇之前提下調高，以避免因為脫水出現縫隙產生次生菇體導致菇體整體產量下降之情形。

本研究透過木屑太空包法驗證，發現以沼渣與蔗渣取代米糠確實可提升杏鮑菇之走菌速度與產量。試驗中為確保運用沼渣栽培後之菇體重金屬安全，模擬菇類栽培業者管理模式，將菇體送往經 TFDA 及 TAF 驗證之分析檢驗公司進行重金屬含量分析，結果顯示杏鮑菇菇體不會吸附重金屬鉛，且對於鎘、銅、鋅之吸附能力較低。此結果類似於國外相關報導，指出杏鮑菇對重金屬 (如鎘與鉛) 吸附能力較低 (Xu *et al.* 2005)。目前我國衛生福利部訂定之食品中汙染物質及毒素衛生標準法規中，針對菇蕈類規定之重金屬限制僅有鉛與鎘，其濃度分別為 2 與 3 ppm，而針對錫、砷、銻及銅等則未有規定。本試驗結果顯示，利用沼渣所栽培之杏鮑菇菇體，符合目前衛生福利部對菇蕈重金屬殘留量的規定。然而，試驗結果亦顯示對照組菇體所含之銅濃度高於處理組 (表 6)。由米糠、粉頭、沼渣等資材銅含量之分析結果，發現兩者之銅含量皆低於沼渣 (表 1)，且文獻中亦無杏鮑菇吸附銅之機轉機制，因此推測除了介質原始銅含量外，仍有其他因素會影響杏鮑菇菇體吸附銅之能力。因此，未來對於杏鮑菇吸附銅之能力是否與使用之資材特性有關，值得後續進一步進行探討。本試驗目前篩選出之沼渣最適配方不僅可取代米糠，且具有提升杏鮑菇走菌速度與提升杏鮑菇產量之效果，故未來可成為沼渣與蔗渣去化與提升這些資源物附加價值利用之重要方式。

## 引用文獻

- Ashwath, R., H. N. Chanakya, and S. Malayil. 2016. Utilization of biogas digester liquid for higher mushroom yields. *Procedia Environ. Sci.* 35:781-784. doi:10.1016/j.proenv.2016.07.093
- Banik, S. and R. Nandi. 2000. Effect of supplementation of rice straw with biogas residual slurry manure on the yield, protein and mineral contents of *Volvariella*

- volvacea* mushroom. J. Sci. Ind. Res. 59:407–412.
- Banik, S. and R. Nandi. 2004. Effect of supplementation of rice straw with biogas residual slurry manure on the yield, protein and mineral contents of oyster mushroom. Ind. Crop Prod. 20:311–319. doi:10.1016/j.indcrop.2003.11.003
- Bellettini, M. B., F. A. Fiorda, H. A. Maieives, G. L. Teixeira, S. Ávila, P. S. Hornung, A. M. Júnior, and R. H. Ribani. 2016. Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. Saudi J. Biol. Sci. 26:633–646. doi:10.1016/j.sjbs.2016.12.005
- Cao, D. B., L. Yao, Y. Liu, G. L. Wang, Y. Q. Li, and L. S. Sun. 2008. Preliminary report on the cultivation of *Coprinus comatus* with biogas residue. Edible Fungi 30(5):29–30. (in Chinese) doi:10.3969/j.issn.1000-8357.2008.05.019
- Gou, Y. P., Y. X. Chen, Y. Q. Wei, A. R. Pan, and R. J. Soug. 2007. Cultivating mushroom with biogas residue. China Biogas 25:33. (in Chinese) doi:10.3969/j.issn.1000-1166.2007.03.012
- Gupta, A., S. Sharma, A. Kumar, P. Alam, and P. Ahmad. 2016. Enhancing nutritional contents of *Lentinus sajor-caju* using residual biogas slurry waste of detoxified mahua cake mixed with wheat straw. Front. Microbiol. 7:1529. doi:10.3389/fmicb.2016.01529
- Lay, C. H., I. Y. Sung, K. Gopalakrishnan, C. Y. Chu, C. C. Chen, and C. Y. Lin. 2012. Optimizing biohydrogen production from mushroom cultivation waste using anaerobic mixed cultures. Intl. J. Hydrog. Energy 37:16473–16478. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.02.135
- Lin, Y. W., T. S. Liu, H. Y. Guo, C. M. Chiang, H. J. Tang, H. T. Chen and J. H. Chen. 2015. Relationships between Cd concentrations in different vegetables and those in arable soils, and food safety evaluation of vegetables in Taiwan. Soil Sci. Plant Nutr. 61:983–998. doi:10.1080/00380768.2015.1078219
- Lu, R. H. and H. M. Kong. 2017. Constraint effect of copper and zinc content on resource utilization of biogas slurry. J. Zhejiang Agric. Sci. 58:1638–1639. (in Chinese) doi:10.16178/j.issn.0528-9017.20170944
- Miki, S., Y. Nimura, R. Kitao, and K. Okano. 2005. Effect of continued culture of spent corncob meal medium with *Pleurotus eryngii* on the nutrition value of the medium. Nihon Chikusan Gakka Anim. Sci. J. 76:309–314. (in Japanese with English abstract)
- Okano, K., S. Fukui, R. Kitao, and T. Usagawa. 2007. Effects of culture length of *Pleurotus eryngii* grown on sugarcane bagasse on *in vitro* digestibility and chemical composition. Anim. Feed Sci. Tech. 136:240–247. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.08.024
- Wei, Q. S., J. Du, L. Wang, Y. Zhou, and H. J. Zhao. 2017. Effect on *Tremella fuciformis* growth and biological efficiency using straw biogas residue as a substitute for cottonseed hull in substrate formulae. Edible Fungi China 36:14–18. (in Chinese) doi:10.13629/j.cnki.53-1054.2017.01.004
- Xu, L. H., Q. B. Chen, C. W. Ye, Y. M. Wu, and X. Li. 2005. Regularity of heavy metal absorption and accumulation in the cultivated fungi. J. AgroEnviron. Sci. 24:42–47. (in Chinese) doi:10.3321/j.issn:1672-2043.2005.z1.011
- Yu, H. L., B. B. Lv, K. S. Li, H. Chen, J. X. Li, X. X. Zhang, X. D. Shang, and Q. Tan. 2012. Cultivation of *Flammulina velutipes* using biogas residue. Acta Edulis Fungi 19:41–43. (in Chinese)
- Yu, H. L., B. B. Lv, Q. Tan, X. D. Shang, C. Y. Song, L. J. Zhang, M. Y. Zhang, and G. Li. 2014. Cultivation of *Pleurotus cornucopiae* using biogas production residue. Acta Edulis Fungi 21:25–28. (in Chinese)
- Zhang, Y., Y. J. Liu, and Z. Jiang. 2016. Analysis of nutrient analysis and the feasibility of agricultural residue. J. Northeast Agric. Univ. 47:59–63. (in Chinese) doi:10.3969/j.issn.1005-9369.2016.03.009
- Zhou, L., S. Y. Guo, and M. Y. Cai. 2004. Bio-industrial applications of sugarcane bagasse. Sugar Crops China 2:40–42. (in Chinese) doi:10.3969/j.issn.1007-2624.2004.02.013

# Effects of Biogas Residue and Bagasse on Mushroom Production

Chi-Yung Huang<sup>1</sup>, Bee-Yu Wei<sup>2</sup>, Hsiang-Cheng Hung<sup>3</sup>, and Yun-Sheng Lu<sup>1,\*</sup>

## Abstract

Huang, C. Y., B. Y. Wei, H. C. Hung, and Y. S. Lu. 2020. Effects of biogas residue and bagasse on mushroom production. *J. Taiwan Agric. Res.* 69(3):193–206.

Energy shortage and over reliance on fossil fuels are important issues in Taiwan and the exploration of renewable energy is one way to solve the problem. Biogas energy is one type of the renewable energy, but the deployment of its uses is limited by the production of biogas residue. To solve this problem, biogas residue produced from fermentation of pig manure was mixed with bagasse in different ratios and put into mushroom sawdust bag with other ingredients for mushroom productions experiments in this study. The results showed that with part of rice bran replaced by the mixture of biogas residue and bagasse, the mycelium growth rate was increased in *Pleurotus eryngii*, *Pleurotus sajor-caju*, *Hypsizygus marmoreus* and *Hypsizygus tessellatus* in the sawdust plate assay. With rice bran replaced with different amounts of the mixture of biogas residue and bagasse in cultivation of *P. eryngii*, results showed that both the mycelium growth rate and yield of *P. eryngii* were increased. In the analyses of the heavy metal contents in the fruiting body of *P. eryngii*, no Pb was detected. However, Cd, Cu and Zn were detected in the fruiting body in lower concentrations. As a result, this study indicates that clean biogas residue and bagasse are potential materials used for mushroom production and biogas residue is considered an useful resource rather than no-use waste.

**Key words:** Biogas residue, Bagasse, *Pleurotus eryngii*, Circular agriculture.

---

Received: November 19, 2019; Accepted: May 6, 2020.

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

<sup>1</sup> Assistant Research Fellows, Plant Pathology Division, Taiwan Agriculture Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

<sup>2</sup> Senior Researcher, Industrial Technology Research Institute, Material and Chemical Research Laboratories, Hsinchu, Taiwan, ROC.

<sup>3</sup> Associate Researcher, Industrial Technology Research Institute, Material and Chemical Research Laboratories, Hsinchu, Taiwan, ROC.