中華民國第57屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組　環境學科

最佳(鄉土)教材獎

052604

賦芋新生命-開發芋頭皮再生紙、杯墊、太空包可行性之探討

學校名稱：國立苗栗高級農工職業學校

作者：	指導老師：
職二 謝凱婷 職二 黃　茜 職二 陳映樺	林宜慧

關鍵詞：芋頭皮再生紙、環保芋頭皮杯墊、環保芋頭皮太空包

摘　　要

芋頭是我們家鄉的地方特色農產，每當盛產時大夥用芋頭製作各式好吃的美食，而富含纖維的厚實芋頭皮被削除後，往往被當廢棄物丟棄，或頂多當植物肥料、動物飼料，而今天我們將對芋頭皮的再生利用性進行分析研究。在全球暖化的議題影響下，我們想藉由芋頭皮代替木材製紙及太空包，以減少樹木被砍伐所造成的生態危機。研究結果顯示，在製紙方面，芋頭皮可與其他紙漿配合製造出再生紙，但添加比例不宜超過 50%，且因芋頭皮可增加紙漿厚度，具有製成杯墊潛力；而添加 15~25%芋頭皮於回收紙漿中可增加紙張隔熱效果，可用於隔熱杯套製作。在芋頭皮太空包上，則發現其優於仿傳統木屑太空包，更利於黑木耳菌絲生長，唯其鹼性稍強稍不利香菇菌絲生長。

壹、 研究動機

紙自發明以來，在文化與知識傳播上一直扮演著重要角色，即使有再新的傳播技術出現，也始終無法替代紙張的地位。如今的紙張大多是以木漿作為生產原料，使得森林業與造紙業有著密不可分的關係(馬，2009)。現在環保意識抬頭，大家常常說要保護森林，不要亂砍濫伐、要多種樹、紙張盡可能做到最大使用效力，但保護森林的動作不單單只有這些！因此我們利用此次作科展的機會，試著將看似已無利用價值的芋頭皮來取代傳統木漿，加入適量的回收影印紙、舊報紙、瓦楞紙、衛生紙，增加其結構韌度，來製作環保芋頭皮再生紙、隔熱杯套及杯墊…等相關製品。除此我們由報章雜誌上亦得知台灣蕈菇類產業，一年往往需耗用三十五萬噸木屑，需砍伐大量樹木、成本高，且其廢棄物問題對環境傷害更大(林，2008)(鄒，2016)，所以本研究第二部分便嘗試利用芋頭皮替代慣用之木屑製作太空包的填充基質，期待找到芋頭皮的第二春，亦可為環保盡一份力。

貳、 研究目的

一、利用芋頭皮製紙可行性探討

二、利用芋頭皮取代木屑製作太空包可行性探討

參、 研究設備及器材

一、利用芋頭皮製紙可行性探討

(一) 實驗材料

芋頭皮、回收影印紙、舊報紙、回收瓦楞紙、乾淨衛生紙

(二) 實驗器具

大鋼盆、150 目絹板(板面 16.9cm×24.9cm)、平底之不鏽鋼方盤

(三) 實驗設備

碎紙機 (Nicelink， SD-9520)

電子秤(AND，EJ300)

濕熱滅菌機（TM-329）

果汁機 (Vitamix， Total Nutrition Center)

烘箱 (佑聯食品機械，Model 120)

光學顯微鏡 (Tekfar，Model 200)

麵皮厚度計(PEACOCK，Model G，0.01× 10mm)

圓形打孔機(AP.，WP01)

電子式廚房溫度計時器(Dr.Goods，HE603，測溫範圍 : -10℃ ~ 200℃)

OSTER 均質機 (OSTER)

二、利用芋頭皮取代木屑製作太空包可行性探討

(一) 實驗材料及藥品

芋頭皮、新鮮黑木耳、新鮮香菇、桂蘭木屑、麩皮、蛋殼、75%酒精、碳酸鈣、檸檬酸、醋酸鈣、PDA、PCA、pH4 及 7 標定液、逆滲透水

(二) 實驗器具

燒杯、藥勺、玻棒、解剖刀、接種環、培養皿、1ml 吸量管、洗滌瓶、250ml 血清瓶、分注器、拭鏡紙、濾紙、螺帽試管、試管、鋁箔紙

(三) 實驗設備

烘箱 (DOS-60)

傾倒式粉碎機 (佑崎有限公司，D3V-10)

紅外線水分測定儀 (A&D，ML-50)

pH 計(EL20)

電子秤(A&D，EJ-300)

濕熱滅菌機（TM-329）

低溫培養箱

電子無菌操作台 (垂直電子式，ZYBH-420)

肆、 研究過程或方法

一、利用芋頭皮製紙可行性探討

(一) 芋頭皮前處理步驟

1. 新鮮芋頭皮洗淨。
2. 以 60℃烘箱熱風乾燥 15hr 備用。
3. 取出定量乾物，並加入適量水(淹過原料)。
4. 放入濕熱滅菌機以 121℃/30min 高壓蒸煮，取出秤重。
5. 算出 1g 乾芋頭皮經蒸煮可得幾 g 復水軟化之芋頭皮，並分裝冷凍備用(圖 1)。

(二) 回收影印紙、舊報紙、瓦楞紙及衛生紙前處理步驟

1. 將紙以人為方式進行初步破碎；回收影印紙、舊報紙以碎紙機處理，回收瓦楞紙以手撕方式破碎，平板衛生紙因軟又薄，故無任何破碎處理。
2. 秤取一定量，加入適量水(淹過原料)。
3. 放入濕熱滅菌機以 121℃/30min 高壓蒸煮，取出、瀝乾、秤重。
4. 算出 1g 乾紙漿原料經蒸煮可得幾 g 復水軟化之紙漿，並分裝冷凍備用(圖 1)。

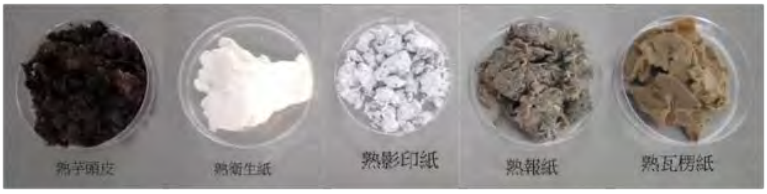


圖 1.經高壓蒸煮所得之造紙原料

(三) 造紙方式(李，2017)

1. 依配方秤取一定量蒸煮後之芋頭皮及選用紙類。

2. 芋頭皮和紙類分別加入足量水，分別放入果汁機以 6 速攪打 3min，再混合以 6 速打 3min。
3. 完成後倒入絹板中，以水輔助將紙漿平均分佈於絹板上。
4. 待多餘水流掉後，取下木框，蓋上不鏽鋼方盤，利用乾布將多餘水份吸掉，取下絹板。
5. 上方蓋上另一不鏽鋼方盤，以免紙張因烘乾而產生皺褶。
6. 放進 60℃烘箱，進行 20hr 熱風乾燥，使紙張乾燥。
7. 將紙張從不鏽鋼方盤上取下，即製作出一張再生紙。

(四) 分析項目

1. 紙張厚度測定

利用 1 3/4 in 之打孔機裁取固定面積之再生紙張(圖 2)，以麵皮厚度計來測定再生紙張之厚度(圖 3)。每張紙隨機取五個點測定，每種紙取三張紙測定，最後取得平均值。

圖 2.利用 1 又 3/4 in 之打孔機將再生紙裁剪

圖 3.利用麵皮厚度計來測定再生紙張之厚度

2. 紙張隔熱性試驗

將裁好的圓片再生紙以膠帶固定於已加溫為 80℃的圓柱飲料罐上，使用電子式溫度計 (圖 4)，立即測定 0、1、2、3、4、5 分鐘之再生紙張的溫度，再將此溫度與罐身直接測得之溫度相減，計算溫差，以判斷再生紙張之隔熱效果優劣。

3. 紙張物性測定

利用物性測定儀(圖 5)，以 P/2 針形探頭，測定模式為 Compression，下壓速度 1.0mm/sec，距離 15.0mm，讀出其 Bioyield Point 之最大力量(g)，及平均 Flesh Firmness 之力量(g)，前者代表紙張表面硬度，後者代表紙張之平均硬度。

圖 4.使用電子式溫度計測定再生紙張之隔熱溫度

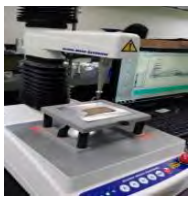


圖 5.以物性測定儀之針型探頭測定紙張之表面硬度、平均硬度

(五) 芋頭皮草酸含量測定 (葉和佘，2009)

1. 精秤約 0.13g $Na_2C_2O_4$，並加入 50ml 的 1.0 M H_2SO_4 溶液，加熱至 80℃，進行 0.1N $KMnO_4$ 標準溶液標定，求得力價(F)。計算方式如下：

$$\text{力價(F)} = \frac{\text{W(g)}\times 1000}{67\times 0.1\times(\text{0.1N KMnO}_4\text{消耗體積 ml 數} - \text{空白試驗 0.1N KMnO}_4\text{消耗體積 ml 數})}$$

* W : 草酸鈉重量(g)

67: 草酸鈉當量($\frac{134}{2}$ = 67)

2. 精秤樣品約 1 g，並加入 100ml 的 1.0 M H_2SO_4 溶液，加熱至 80℃。
3. 放入均質機中破碎。
4. 過濾溶液，並加熱至 70℃。
5. 吸取濾液 50ml，立即利用 0.1N $KMnO_4$ 進行滴定，滴定終點為粉紅色，搖動 20s 不褪色為止。
6. 記錄 0.1N $KMnO_4$ 標準溶液消耗毫升數，並計算草酸含量(%)。
7. 空白試驗則以 50ml 的 1.0 M H_2SO_4 溶液取代樣品進行之。
8. 草酸($H_2C_2O_4$)含量計算：

$$\text{草酸含量(\%)} = \frac{2\times F\times\left(\text{0.1N KMnO}_4\text{消耗體積 ml 數} - \text{空白試驗 0.1N KMnO}_4\text{消耗體積 ml 數}\right)\times 0.0045}{\text{W(g)}}\times 100\%$$

＊2：$\frac{100}{50}$

F = 0.1N $KMnO_4$標準溶液之力價

0.0045 為 1ml 0.1N $KMnO_4$標準溶液相當於草酸之克數

W：樣品重(g)

二、利用芋頭皮取代木屑製作太空包可行性探討

(一) 芋頭皮、蛋殼粉前處理

1. 生鮮芋頭皮、蛋殼以水沖洗、瀝乾。
2. 以 60℃烘箱熱風乾燥 15hr。
3. 以傾倒式粉碎機進行破碎，室溫儲存備用。

(二) 芋頭皮基本資料分析

1. 芋頭皮水分含量測定
   (1) 紅外線水分測定儀開機。
   (2) 秤盤放入並歸零。
   (3) 用藥勺秤取約 1.5 g 的樣品，蓋上蓋子按“Start”(圖 6)。
   (4) 待重量平衡後(約 2~10min)，即可紀錄水分含量，並做三重複。
2. pH 值測定
   (1) 取一 25ml 小燒杯，秤取樣品 1 g，加入 9 g 逆滲透水，以玻棒攪拌 1 min，並靜置 5min 備用。
   (2) 將 pH 計開機進行暖機，校正後，將 pH 電極放入樣品液中，按 Read 鍵，直至穩定讀值，即完成測定，並記錄 pH 值與溫度(圖 7)。

圖 6.利用紅外線水分測定儀測定樣品中水分含量

圖 7. pH 值測定

3. 粗蛋白含量測定

   委外測定，利用燃燒法(Combustion Method)(李等，2002)，以快速定氮儀分析之。

4. 粗脂肪含量測定(賴和王，2015)

利用索氏萃取法，以乙醚進行 4 hr 迴流萃取分析之。

5. 灰分測定(賴和王，2015)

利用灰化爐將樣品以 550℃，18 hr 高溫灰化處理。

(三) 利用孢子分離法進行黑木耳、香菇的菌絲培養(江和陳，2014)

1. 在無菌操作台內噴 75%酒精後開啟紫外燈殺菌 30min。
2. 將新鮮黑木耳和新鮮香菇表面噴 75%酒精消毒後，放入無菌操作台中。
3. 將新鮮黑木耳放在已殺菌的培養皿上，再用已殺菌的解剖刀將新鮮黑木耳切成培養皿的大小，將新鮮黑木耳的光滑面朝下放置並斜蓋上培養皿蓋(吳，2016)，避免異物掉落(圖 8)。
4. 將新鮮香菇放在已殺菌的培養皿上，再用已殺菌的解剖刀將新鮮香菇的蕈柄切除後，將蕈傘朝下放置並斜蓋上培養皿蓋(圖 8)。

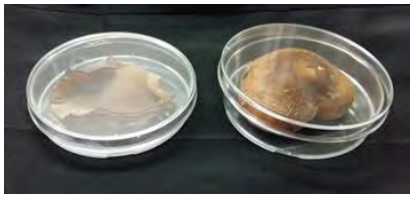


圖 8.新鮮的黑木耳、香菇

5. 於無菌操作檯放置 3 天，待孢子自然掉落。
6. 以接種環沾取孢子，於 PDA 上作劃線培養。
7. 於 25℃下培養 3~5 天，分離純粹菌落。

(四) 培養基質製作

1. 太空包基質的配製

我們參考文獻資料中太空包基質配方(吳，2009)(教你種木耳，2016)，再加以調整，配方如下 (表 1)：

表 1.太空包基質配方(自行整理)

材料	芋頭皮/木屑	麩皮	蛋殼	合計
%	84	15	1	100

將配製好的太空包基質室溫靜置 24hr，隔日待其 pH 值平衡穩定，將太空包基質放入試管中(圖 9)，每管 14g，並壓縮體積密度為 0.5(體積 28ml)與 0.8(體積 17.5ml)(圖 10)，最後以鋁箔紙封口(圖 11)。

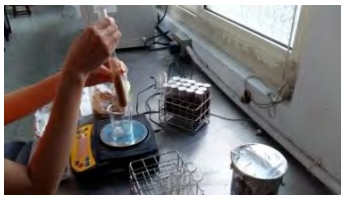


圖 9.秤取 14g 的太空包基質　圖 10.壓縮基質體積

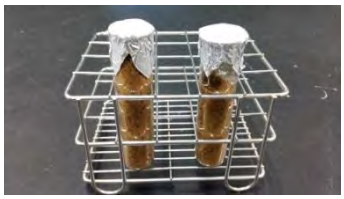


圖 11.調配完成的仿太空包培養基質(左為壓縮密度 0.5，右為壓縮密度 0.8)

2. 殺菌

利用 121℃，進行 0、10、20 及 30min 濕熱殺菌，殺菌時間到達立即排氣降壓取出。

3. 接菌

待完全降溫後，分別接入 3%菌種，25℃培養 49 天。

4. 走菌速度觀察

在 0、7、14、21、28、35、49 天觀察菌絲走菌速度，並畫線做紀錄。

(五) 太空包基質生菌數之測定

1. 將 9ml 的逆滲透水與一個小濾袋放入 100ml 的燒杯中(為濾掉基質殘渣)，用鋁箔紙封住杯口，並用溼熱滅菌機 121℃，15min 滅菌，滅菌完成後放置至與室溫同溫。
2. 經滅菌 0 min、10 min、20 min 或 30 min 支太空包基質，分別倒入已滅菌培養皿中，拌均勻後秤取 1g 的太空包基質(圖 12)作連續十倍稀釋。
3. 將太空包基質放入上述燒杯中(太空包基質放置於濾袋外)，混和均勻後，用已滅菌之 1ml 吸量管吸取 1ml 混合液，置入 9ml 已滅菌無菌水中，震盪均勻後用另一支 1ml 吸量管吸取 1ml 混合液，置入另一支 9ml 已滅菌無菌水中，以此類推直至需要的稀釋倍數(圖 13)(圖 14)。

圖 12.將殺菌後的太空包基質挖至培養皿拌均勻

圖 13.吸取 1ml 混合液

圖 14.將 1ml 的混合液置入 9ml 已殺菌的無菌水中

4. 將各個需要的稀釋倍數的混合液分別吸取 1ml 至已殺菌培養皿中，每項稀釋倍數做二重複。
5. 將殺菌好的 PCA 培養基倒入上述培養皿中，每個約 20ml，並畫 8 字混合均勻。
6. 待培養基凝固後，倒扣放入 35℃恆溫培養箱中培養 24~48hr。
7. 培養完成後計算生菌數並記錄結果。

伍、 研究結果

一、利用芋頭皮製紙可行性探討

(一)利用芋頭皮製紙流程之建立

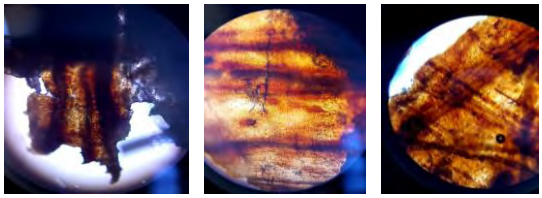


圖 15.芋頭皮鏡檢圖

(左起，依序為未經蒸煮處理過、高壓蒸煮處理過、鹼處理過之芋頭皮)

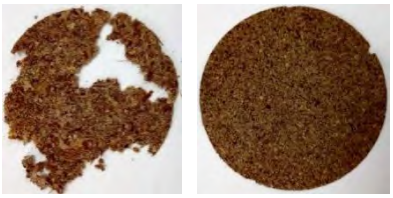


圖 16.芋頭皮添加比例為 75%所得之回收影印紙再生紙

(左圖芋頭皮未經任何處理，右圖芋頭皮經高壓蒸煮處理)

(二)添加芋頭皮對再生紙厚度之影響

表 2.不同紙漿所製得之芋頭皮再生紙厚度測定結果

紙漿	芋頭皮添加比例(%)	芋頭皮再生紙厚度(mm)
回收影印紙	0	0.521±0.086
	15	0.507±0.012
	25	0.732±0.047
	50	0.646±0.001
	75	0.620±0.126
	100	0.505±0.030
舊報紙	0	0.606±0.027
	15	0.423±0.063
	25	0.697±0.245
	50	0.793±0.011
	75	0.522±0.007
	100	0.505±0.030
瓦楞紙	0	0.516±0.048
	15	0.380±0.038
	25	0.517±0.103
	50	0.583±0.023
	75	0.651±0.112
	100	0.505±0.030
衛生紙	0	0.578±0.097
	15	0.487±0.029
	25	0.6070.021
	50	0.816±0.080
	75	0.505±0.134
	100	0.505±0.030

(三) 添加芋頭皮對於再生紙隔熱性之影響

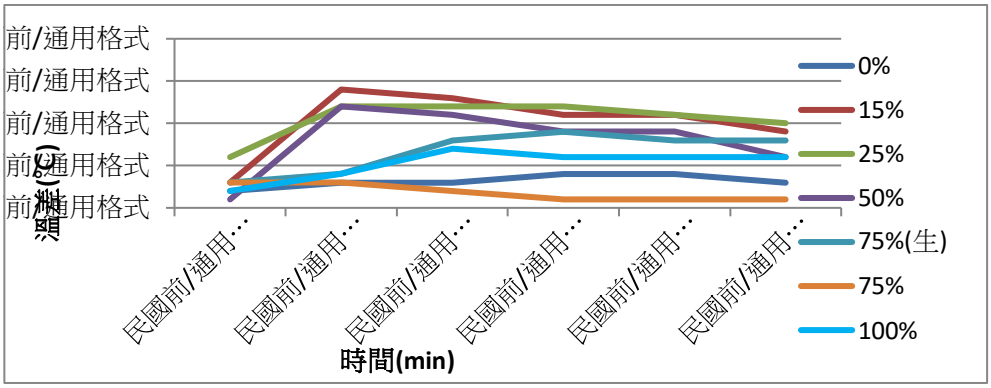


圖 17.芋頭皮添加比例對回收影印紙的再生紙隔熱效果之溫差折線圖

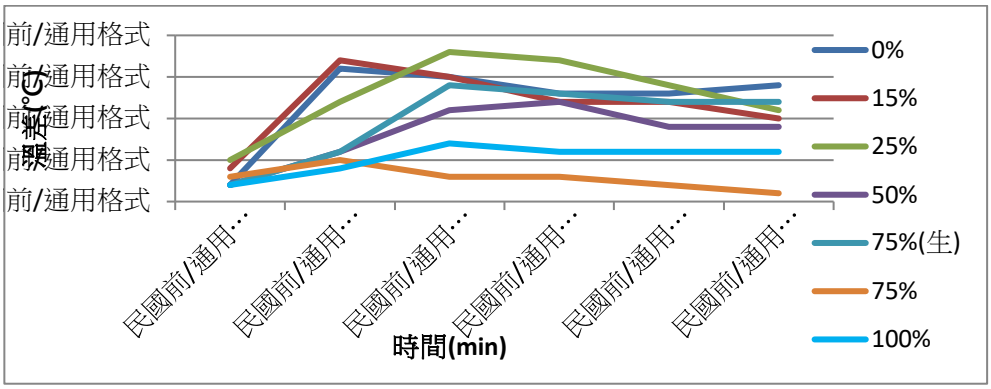


圖 18.芋頭皮添加比例對舊報紙的再生紙隔熱效果之溫差折線圖

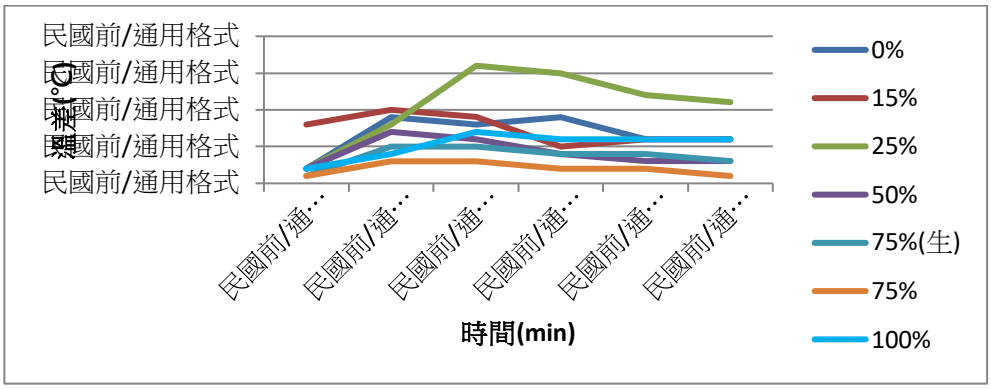


圖 19.芋頭皮添加比例對瓦楞紙的再生紙隔熱效果之溫差折線圖

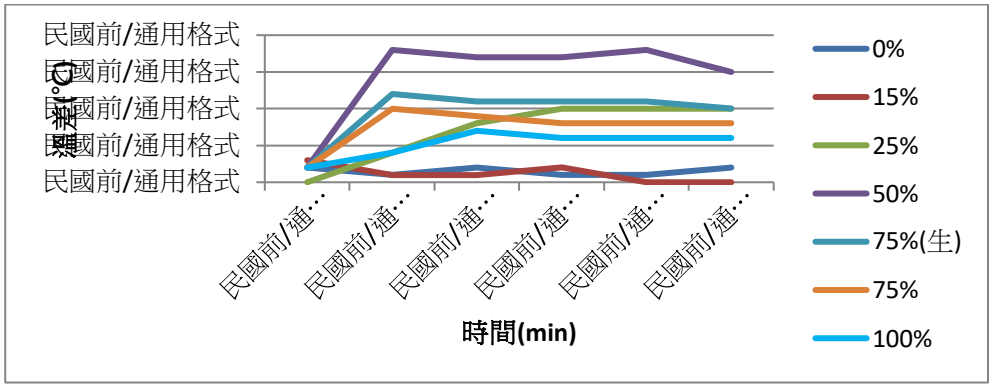


圖 20.芋頭皮添加比例對衛生紙之再生紙隔熱效果之溫差折線圖

(四) 添加芋頭皮對於再生紙硬度之影響

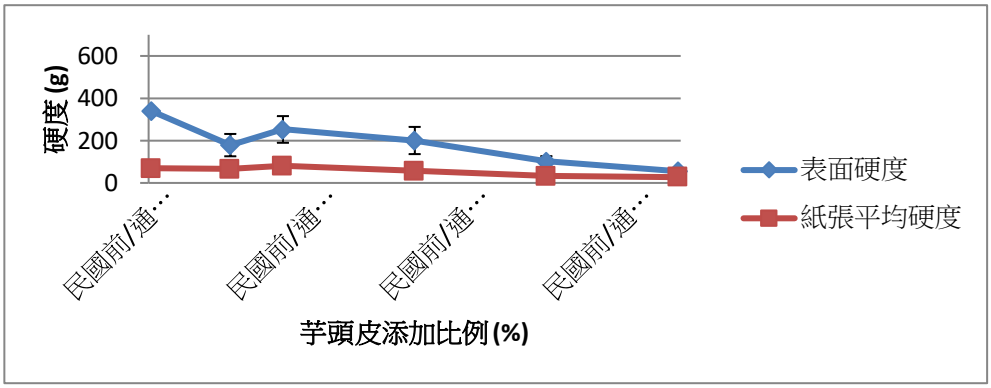


圖 21.芋頭皮添加比例對回收影印紙的再生紙硬度之影響

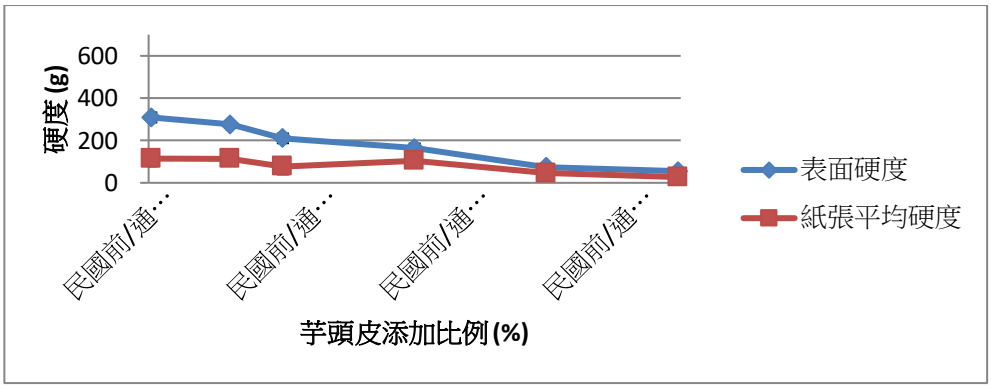


圖 22.芋頭皮添加比例對舊報紙的再生紙硬度之影響

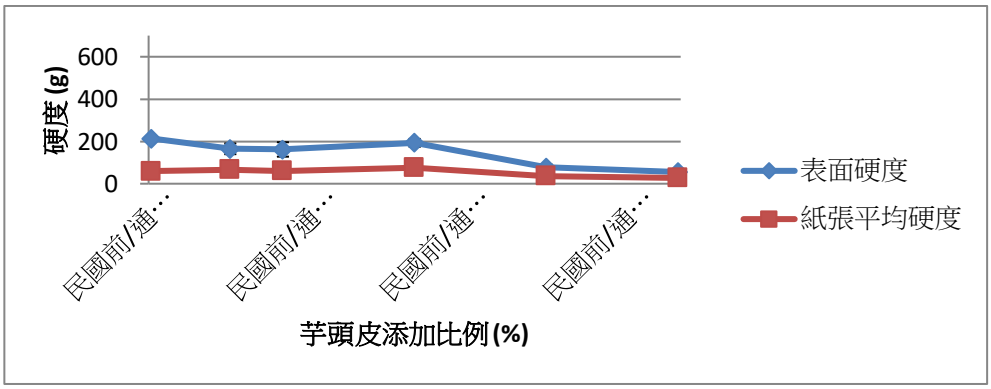


圖 23.芋頭皮添加比例對瓦楞紙的再生紙硬度之影響

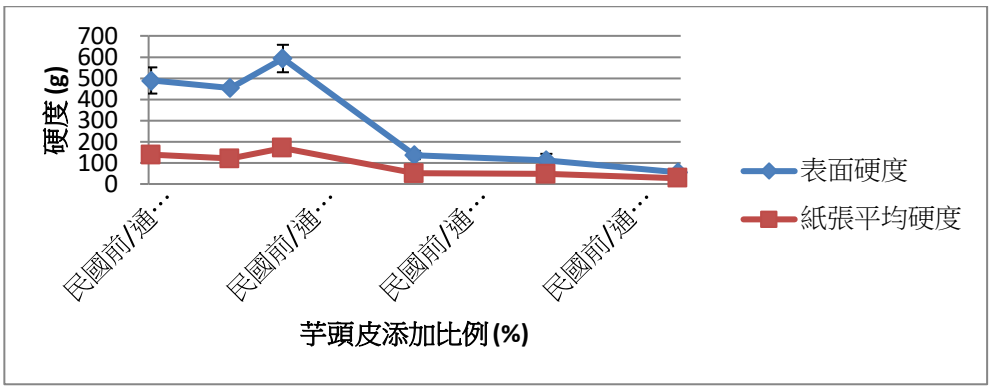


圖 24.芋頭皮添加比例對衛生紙的再生紙硬度之影響

(五) 嘗試利用芋頭皮取代適量紙漿，開發杯墊與隔熱杯套等具地方特色產品

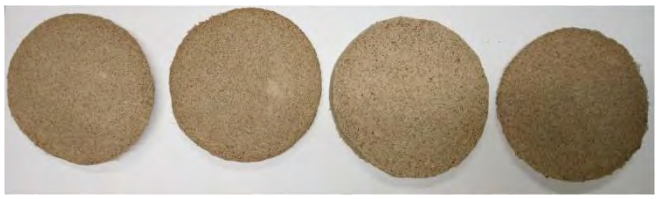


圖 25.75%芋頭皮杯墊(由左起，依序為回收影印紙、舊報紙、瓦楞紙、衛生紙)

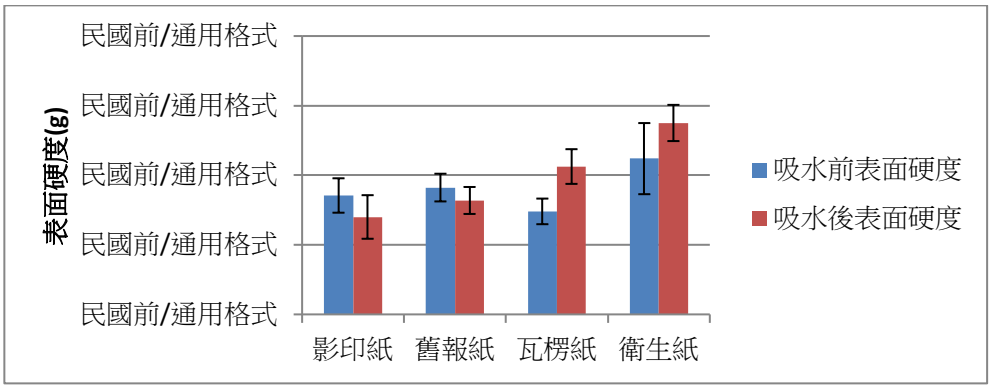


圖 26. 吸水前後對不同紙漿來源之 75%芋頭皮杯墊表面硬度的影響

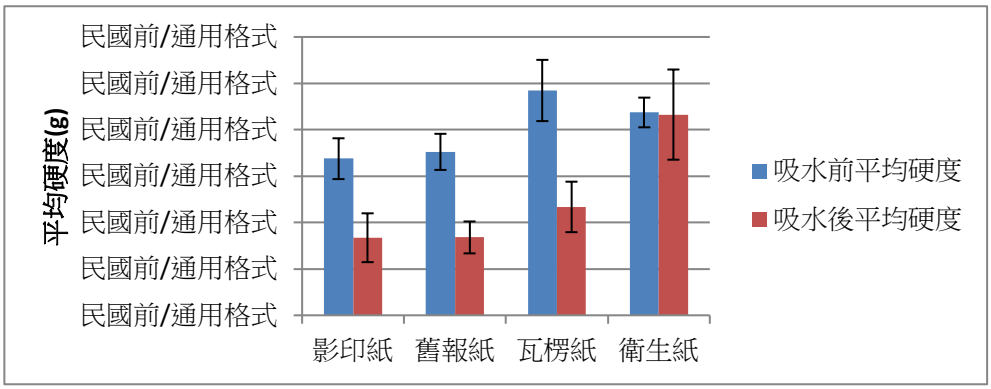


圖 27. 吸水前後對不同紙漿來源之 75%芋頭皮杯墊平均硬度的影響

(六) 芋頭皮草酸含量測定

表 3.芋頭皮樣品與杯墊成品草酸含量分析

樣品	草酸含量(%)[1]
生鮮芋頭皮[2]	8.99±1.88
乾燥芋頭皮	4.84±0.50
高壓蒸煮芋頭皮[3]	3.47±0.16
75%芋頭皮杯墊	
回收影印紙	1.57±0.06
舊報紙	1.78±0.05
瓦楞紙	1.50±0.30
衛生紙	1.92±0.02

[1] 以樣品乾重為標準計算而得的草酸含量

[2] 生鮮芋頭皮以溼重為標準計算而得的草酸含量為 1.12%

[3] 高壓蒸煮芋頭皮以溼重為標準計算而得的草酸含量為 0.61%

二、利用芋頭皮取代木屑製作太空包可行性探討

(一) 利用的孢子分離法進行新鮮黑木耳、香菇之純化培養

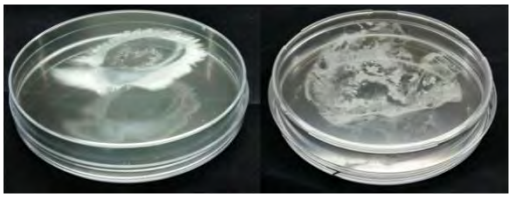


圖 28.新鮮黑木耳、香菇落於培養皿中的白色孢子

圖 29.新鮮香菇的子實體之菌絲培養

圖 30.新鮮黑木耳孢子畫線培養的獨立菌落

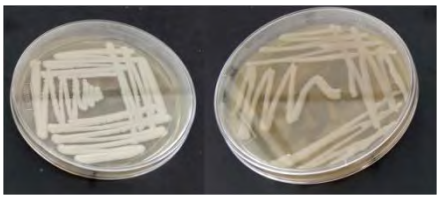


圖 31.純化出之新鮮黑木耳香菇的孢子劃線培養(左圖為香菇，右圖為黑木耳)

(二) 太空包中各項基質之一般成分、pH 值及生菌數分析

表 4. 各項基質之一般成分及 pH 值分析

分析項目	芋頭皮	桂蘭木屑	麩皮	蛋殼粉
pH 值	6.87±0.05	6.34±0.12	6.24±0.03	9.92±0.10
水分(%)	12.80±0.26	12.33±0.21	16.36±0.26	0.94±0.13
粗脂肪(%)	13.22±1.20	14.76±0.15	18.24±1.15	2.14±0.06
粗蛋白(%)	1.51±0.11	0.80±0.08	16.47±0.12	0.39±0.02
灰分(%)	8.73±0.94	0.92±0.04	3.68±0.04	89.66±1.62
醣類(%)*	63.74	71.19	45.25	6.87

*以 100%扣除水分、粗脂肪、粗蛋白、灰分含量而得

表 5. 各項基質之生菌數分析

基質種類	菌落數						生菌數 (cfu/g)
	稀釋倍數						
	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	
芋頭皮	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	49，51	5.0×10^{7}
木屑	-	-	-	TNTC	TNTC	30，43	3.7×10^{7}
麩皮	TNTC	77，79	TFTC	TFTC	TFTC	TFTC	7.8×10^{3}
蛋殼粉	13，22	TFTC	TFTC	TFTC	TFTC	TFTC	1.8×10^{2}

表 6. 不同酸鹼成分對太空包基質 pH 值之影響

基質種類 / 酸鹼成分	pH	
	木屑	芋頭皮
碳酸鈣	6.84±0.09	7.07±0.01
蛋殼	6.62±0.14	7.72±0.11
醋酸鈣	6.26±0.15	6.55±0.02
檸檬酸	4.53±0.01	5.20±0.04

(三) 太空包水分含量之調整

表 7. 太空包基質補水量(A)計算參考配方表(自行整理)

材料	配方(%)	水分含量(%)	用量(g)
芋頭皮	84	12.8	42
麩皮	15	16.3	7.5
蛋殼	1	0.9	0.5
合計	100		50
補水 A			58.5

表 8.殺菌前不同密度之各種太空包基質水分含量測定

基質 / 密度	水分含量(%)	
	木屑+蛋殼	芋頭皮+蛋殼
0.5	59.8±0.2	59.4±1.7
0.8	60.0±0.3	60.6±0.5

(四) 比較芋頭皮太空包與仿傳統木屑太空包殺菌過程水分含量、pH 值及生菌數之變化

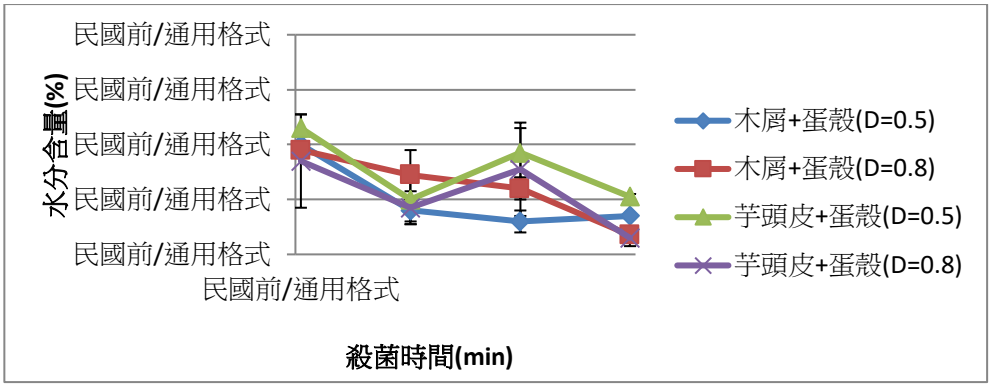


圖 32. 殺菌時間對各類太空包基質水分含量之影響

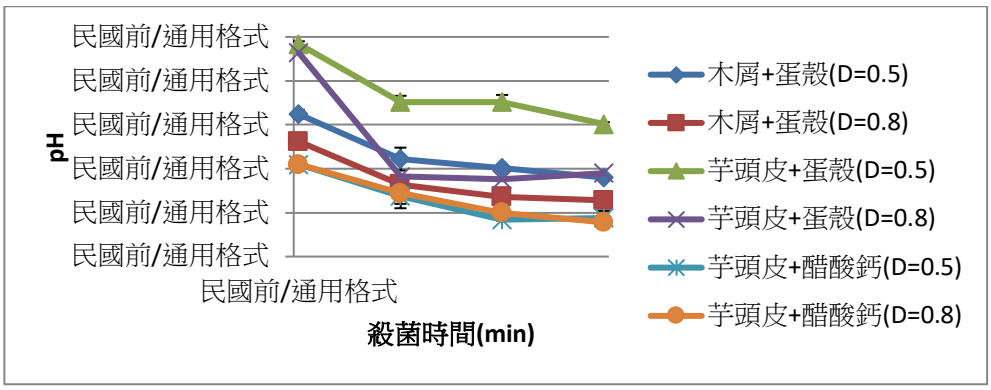


圖 33. 殺菌時間對各類太空包基質 pH 值之影響

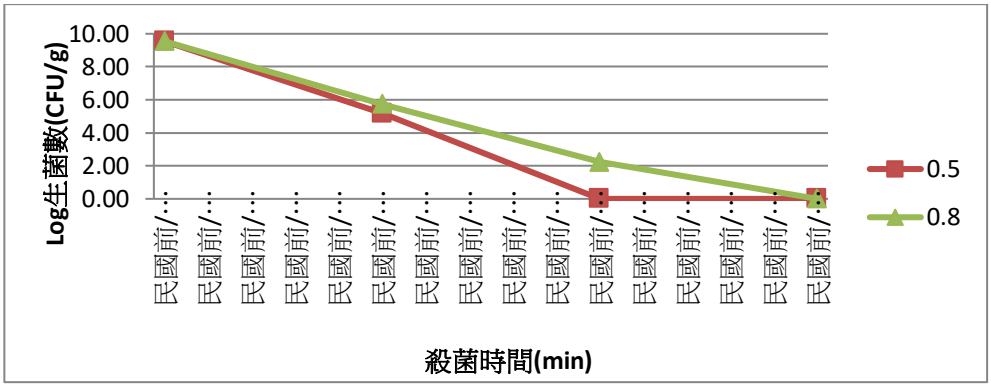


圖 34. 不同密度的芋頭皮太空包之加熱致死速率曲線

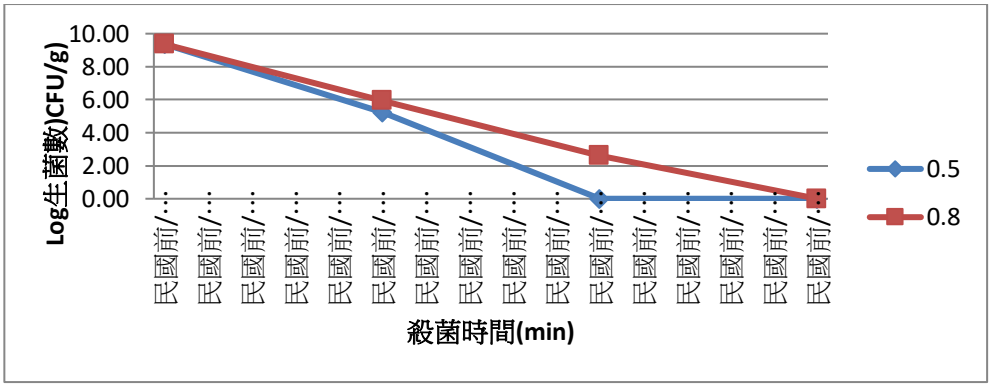


圖 35. 不同密度的木屑太空包之加熱致死速率曲線

(五) 探討太空包基質之充填密度及酸鹼性對於黑木耳、香菇走菌速度之影響

表 9.黑木耳、香菇走菌速度紀錄

(三支試管，由左至右為芋頭皮+醋酸鈣、芋頭皮+蛋殼、木屑+蛋殼)

培養天數		木耳	香菇
第 0 天			
第 7 天	密度(0.5)		
	密度(0.8)		
第 14 天	密度(0.5)		
	密度(0.8)		
第 21 天	密度(0.5)		
	密度(0.8)		
第 35 天	密度(0.5)		
	密度(0.8)		

第 49 天	密度(0.5)		
	密度(0.8)		

陸、 討論

一、利用芋頭皮製紙可行性探討

(一) 利用芋頭皮製紙流程之建立

「紙」是利用植物的纖維互相交織結合而成，實驗中我們在回收紙漿中嘗試加入一定比例的芋頭皮，期待粗糙的芋頭皮可增加紙張的韌度、厚度，賦予這些不被人們重視的芋頭皮新生命。

在實驗初期，我們曾以全量芋頭皮經簡單加熱，直接乾燥成形，最終發現成品是又黑又脆，且易裂，結構完整性不足，難以單獨用於紙張製作，仍需以紙漿來支援其骨架結構，再者因芋頭皮堅實與柔性紙漿物性特質相距甚大，難以均勻融合，因此便試著用高壓蒸煮處理、鹼加熱處理芋頭皮，並利用光學顯微鏡觀察生芋頭皮、高壓蒸煮過之芋頭皮與以鹼液加熱處理過之芋頭皮結構差異，結果顯示用溼熱滅菌機 121℃， 20min 蒸煮後與以鹼處理者皆可將芋頭皮密實堅硬結構打開(圖 15)。除此實驗中亦將「未經高壓蒸煮過之芋頭皮」與「經高壓蒸煮過之芋頭皮」分別混搭適量紙漿，做出紙以比較，歸納出以下幾點結論 (圖 16):

1. 未經高壓蒸煮過之芋頭皮造的紙，乾燥後容易黏在不鏽鋼方盤(乾燥器具)上，經研究推測，是因芋頭皮上殘留芋頭肉，肉中留有澱粉，再加上芋頭皮之植物纖維短，內部組織強韌度不足，使生芋頭皮製得之再生紙經烘乾加熱時澱粉糊化，讓紙容易沾黏於不鏽鋼方盤上，不易將紙張完整取下。
2. 未經高壓蒸煮過之芋頭皮造的紙，結構明顯比煮過的鬆散、易破碎，經觀察煮前煮後之芋頭皮，發現煮後之纖維明顯比煮前還要來的柔軟且鬆散(圖 15)，使芋頭皮較易與其他材料混合，質地並不會像未煮過芋頭皮所製得的再生紙那麼

粗糙又脆弱。

綜合以上結論，在安全、環保、省錢之考量下，為了避免化學藥劑處理後之廢水問題，我們決議以高壓蒸煮方式進行原料纖維之軟化。

有關製作一張 16.9cm × 24.9cm 的紙所需之植物纖維的量，經實驗後發現：使用 6g 固形物（造紙纖維），造紙時因固形物較少，不易平均分佈於絹板(16.9cm × 24.9cm)上，後將造紙纖維加量，發現以 8g 固形物做出來的紙，厚薄度較平均，故實驗均以 8g 固形物為標準來製作紙張。

(二) 添加芋頭皮對於再生紙厚度之影響

由表 2 顯示芋頭皮能給回收影印紙厚實度的支持。在添加比例為 25%時做出的紙張厚度最高。而添加比例在 25%以上時，因芋頭皮纖維短，紙漿纖維變少，因此並不足以支撐紙張結構，變得薄而易脆。

在舊報紙再生紙製作上發現，100%舊報紙的紙漿並不容易完整的成型脫模，需以烤焙紙墊襯輔之，方可完整脫模成型，可能因其已是一次回收紙漿及油墨過多所造成。除此亦可見添加芋頭皮在舊報紙再生紙製作上可增加其紙張完整性，添加比例在 50%時可得最大紙張厚度。

回收瓦楞紙方面，與舊報紙相仿，100%瓦楞紙漿之製作無法完整成型，因此用芋頭皮取代有助於瓦楞紙張之成型，而在添加比例 75%時，成效最為顯著。

在衛生紙漿上，芋頭皮的取代亦可增加再生紙之厚實度。針對厚度而論，50%之添加比例為最佳選項。

(三) 添加芋頭皮對於再生紙隔熱性之影響

由圖 17 之結果顯示，利用回收影印再生紙製得的芋頭皮紙，芋頭皮添加比例以 15%、25%皆具較佳的隔熱效果，50%、75%(生，即未經高壓蒸煮者)次之。舊報紙再生紙方面(圖 18)，芋頭皮添加比例以 25%者最佳，0%、75%(未經高壓蒸煮者)、15%次之。瓦楞紙再生紙部份(圖 19)，芋頭皮添加比例以 25%者最佳。衛生紙再生紙部分，芋頭皮添加比例以 50%者最佳，75%(生，即未經高壓蒸煮者)、25%次之。綜合以上結果發現，適量添加芋頭皮是有益於再生紙隔熱性，但添加比例過多(75%)，因紙張結構鬆散，隔熱性明顯變差，而未經高壓蒸煮處理的芋頭皮因其可增加紙張厚度，所以於 75%添加比例時，其隔熱效果是比經蒸煮處理者佳。

(四) 添加芋頭皮對於再生紙硬性之影響

依據實驗結果可知(圖 21)，回收影印再生紙之硬度以未添加芋頭皮者表面硬度最為堅韌且具顯著差異，而添加 25%芋頭皮時會比其他比例的紙張表面硬度還要來

的高；而在紙張之平均硬度上，添加芋頭皮未對它造成任何顯著影響。

對於報紙再生紙而言(圖 22)，芋頭皮添加比例越多，對於報紙之表面硬度未有幫助，甚至表面硬度逐漸下降；而在報紙中添加芋頭皮之多寡對報紙之平均硬度亦未有太大之影響。

在瓦楞紙再生紙方面，根據實驗結果(圖 23)，0~50%之芋頭皮添加比例對瓦楞紙的紙張表面硬度未有明顯差別，但在添加比例大於 50%時，紙張之表面硬度快速下降，表示芋頭皮含量大於 50%時與瓦楞紙之結合力大幅下降；而添加不同比例之瓦楞再生紙之表面硬度未受添加比例多寡而有顯著影響。

依據結果(圖 21~24)將衛生紙與影印紙、報紙、瓦楞紙之表面硬度比較，純衛生紙之表面硬度比其他純的原料之表面硬度明顯強韌許多，且於芋頭皮添加比例在 25%時表面硬度有明顯提高很多，但大於 25%之添加比例紙張之表面硬度明顯下降；而芋頭皮之添加比例在 25%以下時除了擁有較高的表面硬度，也有較高的紙張平均硬度。

總而言之，芋頭皮的添加對於紙張平均硬度影響並不顯著，而其卻會影響紙張的表面硬度，適量芋頭皮添加可維持一定的紙張表面硬度，但若過量取代時，則會大幅下降紙張之表面硬度，造成紙張易碎。

(五) 以芋頭皮製紙可行性分析

本研究中我們將利用各式回收紙漿與芋頭皮作結合製成各式再生紙，將其進行描述性的分析，結果顯示於表 10~13。由紙張顏色分析上，不管何種紙漿成品皆因芋頭皮的添加而變深，在質地上亦因芋頭皮的添加而變得粗糙且易破碎，導致成品並不利於書寫，尤其當芋頭皮添加比例大於 50%時，此乃因本研究中芋頭皮並未經脫色處理，單純只經高壓蒸煮，所以纖維是短、黑、柔軟性略為不足，因此建議芋頭皮用於製紙之添加比例不宜超過 50%。在成形性上，因舊報紙及瓦楞紙皆為二次回收利用之紙漿及其印刷油墨影響，所以獨立製紙成形性不佳，芋頭皮反而有利它們再次成形，所以舊報紙及瓦楞紙再生紙之芋頭皮最適添加比例為 25~50%。

表 10. 回收影印紙漿之芋頭皮再生紙描述性分析

芋頭皮添加比例	0%	15%	25%	50%	75%	75%(生)	100%
外觀							
顏色	顏色潔白，但因回收紙張有油墨，以至會有黑色點點	加入芋頭皮後，有芋頭皮深色顆粒出現，整體顏色變為很淡的咖啡色	顏色淡咖啡中帶點灰	顏色偏灰，帶點咖啡色	咖啡色中帶點土黃	顏色較淡，類似瓦楞紙的淡咖啡色	全部都是芋頭皮，因此顏色呈深咖啡
質地	極為光滑	稍微光滑，能摸出芋頭皮細小顆粒	稍微粗糙，芋頭皮顆粒稍多	粗糙，能明顯摸出芋頭皮顆粒	粗糙，因芋頭皮含量增加，表面明顯有芋頭皮纖維凸起	因芋頭皮未煮過，結構沒有打開，與紙漿結合力不夠，以至質地極為粗燥	表面粗糙，因全部為芋頭皮，較無與紙漿結合力之問題，所以為規律之細顆粒
書寫性	○	○	○	○	×	×	×
成形性	○	○	○	○	○	×	×

表 11. 舊報紙漿之芋頭皮再生紙描述性分析

芋頭皮添加比例	0%	15%	25%	50%	75%	75%(生)	100%
外觀							
顏色	報紙的灰色	仍有明顯報紙色，但因加入芋頭皮有淡淡的土黃色	因芋頭皮含量增加，使顏色變暗沉，略帶土色	主要為芋頭皮的土咖啡色，略帶報紙之灰色	已看不出報紙的灰色呈現，芋頭皮之咖啡色，如泡水後的瓦楞紙	顏色淡，像淡淡的牛皮紙色	全部都是芋頭皮，因此顏色呈深咖啡
質地	光滑	光滑，但仔細摸感覺得出芋頭皮之顆粒	大致光滑，能輕易摸出芋頭皮顆粒	稍微粗糙，表面因芋頭皮含量增加而有小隆起	粗糙，表面明顯有隆起	因芋頭皮未煮過，組織結構未打開，與報紙紙漿結合力不足，使紙張極為粗糙	表面粗糙，因全部為芋頭皮，較無與紙漿結合力之問題，所以為規律之細顆粒
書寫性	○	○	○	○	×	×	×
成形性	×	×	○	○	×	×	×

表 12. 瓦楞紙漿之芋頭皮再生紙描述性分析

芋頭皮添加比例	0%	15%	25%	50%	75%	75%(生)	100%
外觀							
顏色	為瓦楞紙原來的土黃色	淡土黃中帶點淡灰色	土黃色中帶點淡淡的灰色	土黃和灰色並重的顏色	深咖啡色	淡咖啡色	全部都是芋頭皮，因此顏色呈深咖啡
質地	極為光滑	稍微光滑	微光滑，稍為能摸出芋頭皮之纖維小顆粒	稍微粗糙，能摸出芋頭皮之纖維顆粒	粗糙，能明顯摸出芋頭皮纖維之小顆粒	因芋頭皮未煮過，結構未打開，表面不平整、質地明顯粗糙	表面粗糙，因全部為芋頭皮，較無與紙漿結合力之問題，所以為規律之細顆粒
書寫性	○	○	○	○	×	×	×
成形性	×	×	○	○	○	×	×

表 13. 衛生紙漿之芋頭皮再生紙描述性分析

芋頭皮添加比例	0%	15%	25%	50%	75%	75%(生)	100%
外觀							
顏色	完全潔白	淡淡的土黃色	土黃中帶點淡淡的灰	主要為灰色，有一點土黃色	主要為土黃色，類似瓦楞紙的顏色	呈淡咖啡色	全部都是芋頭皮，因此顏色呈深咖啡
質地	極為光滑	光滑，仔細摸能感覺的出來芋頭皮纖維的細顆粒	稍微光滑，能摸的出芋頭皮纖維之細小纖維	粗糙，但稍光滑，能清楚摸到芋頭皮之纖維顆粒	粗糙，因芋頭皮含量增加，表面明顯有纖維凸起	因芋頭皮未煮過，顏色較淡；與衛生紙漿之結合力不足，使紙張較為柔軟	表面粗糙，因全部為芋頭皮，較無與紙漿結合力之問題，所以為規律之細顆粒
書寫性	○	○	○	○	×	×	×
成形性	○	○	○	○	○	×	×

(六) 嘗試利用芋頭皮取代適量紙漿，開發杯墊與隔熱杯套等具地方特色產品

造紙時因未經高壓蒸煮過之乾燥芋頭皮做出的再生紙結構鬆散，難以形成完整的紙張，所以芋頭皮需經高壓蒸煮處理後，才方便用於造紙，然而當芋頭皮添加比例大於 50%時，製得之再生紙因芋頭皮纖維含量過多且過於粗糙，並不利書寫，於是我們突發奇想，何不利用芋頭皮製成杯墊，同時因此類產品結構不需細緻光滑，在節省能源之考量下，我們想直接使用未經煮熟處理之芋頭皮來製作，因此又大膽進行了另一項實驗，我們利用直接乾燥的芋頭皮及經高壓蒸煮的芋頭皮同以 75%的添加比例來抄紙，實驗結果發現未經高壓蒸煮過的乾燥芋頭皮做出的紙張厚度，比經蒸煮過芋頭皮製造的再生紙來的厚(表 2)，所以藉由乾燥芋頭皮的體積感，加以加工製成杯墊似乎是可行的。製作杯墊時，做法和製造再生紙大致相同，只將熟芋頭皮改成生芋頭皮，且在成型時改為倒入直徑 9cm 圓形模中稍微抹平，放入熱風乾燥機中烘乾。取出後觀察，雖然成分中固形量與前述造紙一樣，但因成型時厚度較厚，芋頭皮與紙漿之結合較緊密，故做出的杯墊不易散開，成功做出此芋頭皮杯墊(圖 25)。

杯墊成品的物性分析上，為了測試杯墊的耐水實用性，我們多加了吸水試驗，於杯墊上滴上一滴水，測定其吸水前後表面硬度與平均硬度之變化。結果顯示由四種紙漿所製得的杯墊於吸水前後之表面硬度雖有變化，但並不具統計上的顯著差異(圖 26)；在平均硬度上顯示(圖 27)，由回收影印紙、舊報紙、瓦楞紙回收紙漿所製得的杯墊於吸水後平均硬度下降約 50%(依序為 50.5、52.3 及 51.8%)，只有衛生紙漿所製得的杯墊吸水前後無明顯差異，推測原因為其所製得的杯墊比起其他三者厚度較薄，質地較緊實，故不易吸水，換而言之要利用回收影印紙、舊報紙及回收瓦楞紙與芋頭皮混搭製出堅實耐用的杯墊，可在成形時進行加壓處理，或可添加一些矽酸鹽、碳酸鹽類成分充填於膨鬆質地孔洞中，使它不易像海綿一樣吸水瓦解。

在隔熱杯套方面，我們藉由紙張隔熱性試驗結果可知，適量添加芋頭皮是可增強紙張隔熱性(圖 17~20)，但添加比例以 15~25%為宜，因添加比例在 50%以上時紙張結構強度不足，易破損而傷及隔熱性，而使用未經高壓蒸煮之乾燥芋頭皮製作杯墊，有其厚度上之優勢，但操作時需注意其紙張結構之完整性。

(七) 芋頭皮草酸含量測定

實驗中我們為了解除大家對芋頭皮過敏的疑慮，所以利用過錳酸鉀與草酸間的反應特性(氧化還原反應)，進行芋頭皮中草酸含量的測定。由測定結果發現(表 3)，生鮮芋頭皮草酸含量以溼重計之為 1.12%，以乾物重計之為 8.99%；再經簡單漂洗及

熱風乾燥後芋頭皮中草酸含量會降為 4.84%(乾物重)；若將此乾燥芋頭皮再經高壓蒸煮者，其草酸含量亦再降，以溼重計之為 0.61%，以乾物重計之為 3.47%。除此，實驗中我們直接利用乾燥芋頭皮打漿所製得的杯墊，因添加有 25%不同來源之紙漿，草酸含量再降至 1.50～1.92%(乾物重)之間。在實驗結果中我們可得以下幾點結論：

1. 僅經簡單漂洗及乾燥處理的芋頭皮，其草酸含量比生鮮芋頭皮(以乾物重計之)減少約 1 倍，推測原因為乾燥前的漂洗過程，草酸鈣會隨著水被流洗掉，由流洗出之液體仍會導致手臂發癢且具麻刺感而得知。
2. 乾燥後再經高壓蒸煮過的芋頭皮比未蒸煮過的乾燥芋頭皮草酸含量減少約 1.3%，亦因蒸煮過程中草酸經水煮而析出，然其蒸煮後餘液因熱作用已失去其麻刺感。
3. 我們直接利用乾燥芋頭皮打漿所製得的杯墊中草酸含量會降低，實因添加入其他來源紙漿之稀釋作用及在打漿抄製過程中草酸鈣再次於水中溶離所致。

由蔡等(2006)學者指出不同品系之芋頭麻刺感強度並不同，分析其總草酸含量約溼物之 0.44~1.12%，與我們結果(新鮮芋頭皮草酸含量以溼重計之為 1.12%)相符。在蔡等(2006)學者研究中亦發現生鮮芋頭之麻刺感雖與其不溶性草酸含量有明顯正相關性，但經蒸煮處理後卻發現，蒸煮可使芋頭麻刺感明顯降低，但對其不溶性草酸含量影響並不大(由生鮮時的 0.44~1.12%降至 0.26~1.01%)，然卻可明顯降低其水溶性蛋白質及總蛋白質含量，故可推測不溶性草酸不是影響芋頭麻刺感的唯一因子，蛋白質也是影響其麻刺感強弱的重要因子，所以芋頭蛋白質愈熱變性可能是造成蒸煮後麻刺感大幅降低的原因。在我們研究中亦發現芋頭皮經蒸煮處理其草酸含量可由生鮮時的 1.12%降至 0.61%，且麻刺感消失。

近日因勿觸姑婆芋而導致人體發癢，因誤食出現嘴麻、嘴腫、喉嚨痛等症狀…等不適症狀發生的新聞歷歷在目(彭宣雅，2017)(鄧桂芬，2017)，對於我們實驗中直接利用乾燥芋頭皮打漿所製得的杯墊本應做人體皮膚感官測定，但礙於人體實驗倫理問題，我們只能搜尋相關研究來佐證，發現過去曾有學者對不同品種的芋頭造成癢度進行調查，其強弱依序為水芋> 山芋> 檳榔心芋，且能夠有效去除麻刺感的方法為加熱，經 50℃以上加熱 30min 已可明顯降低水芋的癢度(我們的相「芋」是手癢的開始，2013)，因此我們實驗中所使用的是低刺激度的檳榔心芋之芋頭皮，製程中並經二次 60℃ 之加熱乾燥處理，加熱時間共計 35 hr，所以杯墊成品是可放心使用的 (實驗操作者並無不良反應)。

二、利用芋頭皮取代木屑製作太空包可行性探討

(一) 利用孢子分離法進行新鮮黑木耳、香菇之純化培養

在此部分實驗中，我們曾採用子實體菌絲分離法(圖 29)及孢子分離法(圖 28)，想篩得黑木耳及香菇的母種。結果發現以菇類子實體直接培養菌絲當母種，汙染機會多，因此本實驗皆以孢子分離法來取出純粹菌株(圖 30、31)，再將其接種於 PDA 培養基上增殖作為母種，生長速度雖慢，但汙染機率較低。

(二) 太空包中各項基質之一般成分、pH 值及生菌數的分析

實驗中我們對太空包基質配方中所有成分進行了一般成分、pH 值及生菌數分析(表 4、5)。就一般成分分析結果，芋頭皮與香蘭木屑相較，粗蛋白與灰分含量是較高的，醣類含量較低；就生菌數而言，麩皮與蛋殼粉具較低的生菌數；pH 值上芋頭皮偏鹼，木屑偏酸，因此我們必須調整其 pH 值才可仿木屑。在鹼性成分的選擇上，我們捨棄了一般常用於平衡基質酸性之碳酸鈣，改以使用廢棄之蛋殼，除了因本研究是以環保及資源再回收為重點，且蛋殼中亦含有 94%碳酸鈣(郭等，2014)外，蛋殼 pH 測定結果可達中性以上，所以亦具中和酸性之功能，因此便決定試試看。又根據文獻指出(陳，2017)(吳，2017)(郭等，2014)，太空包基質之 pH 值影響著菌類菌絲與子實體之生長，因此我們對於已偏鹼性之芋頭皮基質配方中是否需添加碳酸鈣心存懷疑，於是便另外選擇了醋酸鈣與檸檬酸兩種酸性成分，添加比例皆固定於 1%來調配，試著找出一個最適合的酸性成分。結果顯示(表 6)太空包基質 pH 值以「芋頭皮+蛋殼組」最高(7.72)，最低是「木屑+檸檬酸組」(4.53)，而「木屑+碳酸鈣組」其 pH 值在 6.84 左右，因「芋頭皮+檸檬酸組」似乎比起「木屑+碳酸鈣組」過酸了些，所以我們在調整的酸性成分選擇上，選取具緩衝 pH 功能的酸性鹽類-醋酸鈣(郭等，2014)，捨棄檸檬酸。

(三) 太空包水分含量之調整

根據學者研究得知(吳，2009)(陳，2017)，太空包中太空包基質之含水量以 60%最適宜，學者指出在菌絲生長時，若木屑含水率宜在 60~70%，若水份過多會導致氧氣通透性不良，阻礙菌絲生長，若低於 60%則菌絲體養分的傳送與吸收。我們以芋頭皮製作 50g 太空包基質配方為例(表 7)，調整水分方法如下所述。

本研究欲控制基質水分含量為 60%，故所需添加水分重量(A)算法如下:

$$\frac{42 \times 12.8\% + 7.5 \times 16.3\% + 0.5 \times 0.9\% + A}{50+A} = 60\%$$

A = 58.5(g)

實驗中，我們依據上述計算方式進行水分含量調整，最終成品之水分含量測定如表 8，發現最終之水分含量皆滿足 60%之需求。

(四) 比較芋頭皮太空包與仿傳統木屑太空包殺菌過程水分含量、pH 值及生菌數之變化

1. 殺菌過程水分含量之變化(圖 32)

太空包基質殺菌過程中，因管口包有鋁箔紙，所以水分含量不論是殺菌 0min、10 min、20 min 或是 30 min，都保持在 60%左右，雖有高低起伏，但不具顯著差異性。造成殺菌 10 min、20 min 或是 30 min 後之基質水分皆略小於為殺菌組，實因測定時為使取樣均勻，具可信度，因此取樣前皆須由試管挖取出來，於無菌操作台作混合拌勻工作，在無塵空氣流動中基質水分多多少少的被帶走，亦發現拌合愈久，測得水分含量愈低，因此造成測得水分含量皆較未殺菌者稍低。

2. 殺菌過程 pH 值之變化(圖 33)

結果顯示，不管是哪一種基質配方經高壓蒸煮殺菌皆會造成 pH 值下降，且在殺菌 10min 後下降速率變緩，此或因高溫高壓狀況下造成基質成分之破壞，而釋放出一些小分子的酸性成分所致。

3. 殺菌過程生菌數之變化

殺菌過程生菌數的變化，我們以加熱時間為橫軸，殘存細菌數的對數為縱軸，繪製加熱致死速率曲線(郭等，2014)來表示，結果說明(圖 34、35)不管是芋頭皮還是木屑太空包，其進行絕對殺菌所需時間與其基質充填密度有關，密度大者(D=0.8)需進行 30min 以上，而密度小者(D=0.5)僅需 20min，此乃因充填物過於紮實，熱傳不易所致。

(五) 探討太空包基質之充填密度及酸鹼性對於黑木耳、香菇走菌速度之影響

由表 9 結果顯示，實驗中之芋頭皮太空包基質配方是較適合黑木耳菌絲生長的，而香菇之走菌狀況並不理想，可得知就目前所配製出之芋頭皮基質配方並不適合香菇菌絲生長，曾有學者(江、陳，2014)(陳，2017)指出於 pH4.5～5.5 最適宜香菇菌絲生長，於此環境中菌絲生長快且稠密，而 pH7.5 以上，香菇菌絲停止生長，因此推測是因太空包基質 pH 不當所致。就黑木耳而言，曾有學者指出其菌絲在 pH4~8 範圍內皆可生長，而以 pH7~7.5 最適宜(陳，2017)，而在實驗中培養第 7 天可見菌絲走得最快，菌絲密度最高的是「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.5」者；次之為「芋頭皮+醋酸鈣，充填密度為 0.5」者；第三者為「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.8」者；第四者為「芋頭皮+醋酸鈣，充填密度為 0.8」者，此乃表示黑木耳菌絲生長是偏好於稍中性且呈微鹼的環境中，基質充填密度亦不宜過分緊實；而木屑組則以「木屑+蛋殼，

充填密度為 0.5」較佳，但其菌絲密度仍不及芋頭皮組，「木屑+蛋殼，充填密度為 0.8」者則不見生木耳白色菌絲生長，乃因將基質過度壓縮，導致氧氣通透性不良，而阻礙菌絲生長，此結果與文獻紀錄相同(馮，2014)。

在走菌的第 35 天，我們發現「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.5」者走菌完成度約可達 80%；「芋頭皮+醋酸鈣，充填密度為 0.5」者，走菌完成度約可達 75%；「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.8」者，雖其在培養第 7 天時，菌絲生長速率並不佳，但在第 21 天起生長速率明顯增加，於走菌第 35 天時，可觀察到其完成程度可達 90%；「芋頭皮+醋酸鈣，充填密度為 0.8」者，在走菌第 35 天時，可觀察到走菌完成度約可達 75%。

在走菌的第 49 天，我們發現「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.5」者，和「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.8」者，可觀察到走菌完成度約可達 100%。

柒、 結論

一、芋頭皮可與其他紙漿配合製造出再生紙，但添加比例不宜超過 50%

二、芋頭皮可增加紙漿之厚度，具有製成杯墊之潛力。

三、添加 15~25%芋頭皮於回收紙漿中可增加紙張隔熱效果，可用於隔熱杯套製作。

四、芋頭皮太空包優於仿傳統木屑太空包，有利於黑木耳菌絲生長。

五、以芋頭皮太空包培養黑木耳時，以添加蛋殼粉者比醋酸鈣走菌速度快。

六、芋頭皮太空包其鹼性稍強，較不利香菇菌絲生長。

七、在固定 14g 太空包培養基質狀態下，走菌速度較佳的二基質配方，一為「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.5」者，二為「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.8」者，在走菌第 49 天時，可觀察到走菌完成度約可達 100%。

捌、 參考資料及其他

馮怡菁 (2014) ・*舞菇生長特性及其栽培介質之研究*(碩士論文) ・台中：國立中興大學食品暨應用生物科技學系。取自 http://hdl.handle.net/11455/90155。

陳啟楨 (2017 年 2 月 28 日) ・*木屑瓶及太空包製作*・南台科技大學化工系講義・取自 http://faculty.stust.edu.tw/ ~c5200999/講義/09%20 木屑太空包的製作.DOC。

陳啟楨 (2017 年 2 月 28 日) ・黑木耳有機栽培法・*數位典藏學術研究資源網*・取自

http://digimuse.nmns.edu.tw/ da/collections/bf/mt/ex/0b00000181f0d993/。
吳聲華 (2017 年 2 月 28 日) ・食用菌的模範生-木耳・*自然與人文數位博物館*・取自 http://digimuse.nmns.edu.tw/ Default.aspx?ObjectId=0b00000181e47f5c& Domin=f&tabid=406&Field=mt&ContentType=Exhibit&FieldName=&Language=CHI。
教你種木耳(二)：黑木耳菌種的製作及培育的要點 (2016 年 9 月 14 日) ・*資訊*・取自 https://kknews.cc/zh-tw/news/py5yaz.html。
呂愛麗 (2012) ・石頭造紙，不砍樹、不用水、 不漂白、不排廢・*遠見雜誌*，294。
吳寬澤 (2009) ・藥用菇類栽培技術開發・*農業生技產業季刊*，28，26~33。
黃忠村 (2015)・*食品微生物*・台南市：復文。
江春梅、陳彩霞 (2014)・*食品微生物實習Ⅰ*・台南市：復文。
江春梅、陳彩霞 (2014)・*食品微生物實習Ⅱ*・台南市：復文。
郭文玉、劉發勇、邱宗甫 (2014)・*食品加工Ⅰ*・台南市：復文。
郭文玉、劉發勇、邱宗甫 (2014)・*食品加工Ⅱ*・台南市：復文。
賴金泉、王昭君 (2015)・*食品化學與分析Ⅰ*・新北市：台科大。
賴金泉、王昭君 (2015)・*食品化學與分析實習Ⅰ*・新北市：台科大。
何淇義、林宏周、孫蓓菁 (2016)・*食品檢驗分析丙級學術科解析*・台南市：復文。
李哲文 (2016) ・*紙要我美麗*・取自 https://market.cloud.edu.tw/resources/web/624952。
馬雪君譯 (2009 年 12 月) ・紙漿與環保・*印刷雜誌*，50・取自 www.shute.kh.edu.tw/~2011PBL18/j01.htm。
李免蓮、崔美玲、徐阿里 (2002) ・燃燒法與凱氏法分析飼料粗蛋白質之評估・*畜產研究*，35 (1) : 21~28。
葉芝嵐、余瑞琳 (2009) ・*過錳酸鉀的氧化還原滴定*・台北市 ： 台大化學系普化教學組。
蔡淑珍、劉慧瑛、黃祥益 (2006) ・芋頭刺麻感與蛋白質區分之相關性研究・*台灣農業研究*，55 (1) : 63~71。
我們的相「芋」是「手癢」的開始 - 探討芋頭與手癢的相關性 (2013) ・102 學年度台中市國民中小學科學展覽會作品說明書・取自 innovative.tc.edu.tw/download.php?t=book&id=100。
彭宣雅 (2017 年 5 月 26 日) ・荷葉與姑婆芋葉!別再傻傻分不清楚・*聯合新聞網*・取自 https://udn.com/news/story/7266/2487083。
鄧桂芬 (2017 年 6 月 5 日) ・芋頭、姑婆芋 食藥署籲：別再分不清了・*聯合新聞網*・取自 https://udn.com/news/story/7266/2504835。

【評語】052604

1. 本作品以芋頭皮代替木材製紙及太空包，以期減少樹木被砍伐所造成的環境生態危機，具有廢棄物資源再利用之環保概念。

2. 作者利用各式回收紙漿與芋頭皮作結合製成各種再生紙，並進行定性分析，製得紙張顏色皆因芋頭皮的添加而變深，在質地上亦粗糙且易破碎，並不利於書寫，未來可繼續思考如何改善此問題。

3. 嘗試製成杯墊或杯套,具隔熱效果。另一功能為製成太空包，優於仿傳統木屑太空包，發現因酸鹼值關係，較有利於黑耳菌絲生長，但不利香菇菌絲生長，具有發現問題之科學精神。

4. 本研究思考在地芋頭之生產與芋頭皮廢棄物再利用，具鄉土性與創意性，未來可藉由改善製程，調整再生紙及太空包性質，增加實用性。

作品海報

摘　要

芋頭是我們家鄉的特產，每當產季時常會使用芋頭製作各式美食，而纖維豐富的芋頭皮被削除後，總被當作廢棄物。在全球暖化的議題影響下，我們想藉由芋頭皮代替木頭，以減少樹木被砍伐所造成的生態危機，研究結果顯示，在製紙方面，芋頭皮可與其他紙漿配合製造出再生紙，但添加比例不宜超過 50%，且因芋頭皮可增加紙漿厚度，具有製成杯墊潛力；而添加 15~25%芋頭皮於回收紙漿中可增加紙張隔熱效果，可用於隔熱杯套製作。在芋頭皮太空包上，發現其優於仿傳統木屑太空包，更利於黑木耳菌絲生長，唯其鹼性稍強稍不利香菇菌絲生長。

壹.研究動機

現在環保意識抬頭，為了保護森林，我們試著將看似已無利用價值的芋頭皮取代木漿，加入適量的回收報紙、衛生紙、瓦楞紙、回收影印紙，增加其結構韌度，做出環保芋頭皮再生紙。除此，我們由報章雜誌上亦得知，台灣蕈菇類產業一年耗用的木屑量約 35 萬噸，因此須大量伐木，破壞森林，且其廢棄物問題對環境傷害亦大，故本研究第二部分便嘗試利用芋頭皮替代慣用之木屑製作太空包的填充基質，希望為環保盡一份心力。

貳.研究目的

一、 利用芋頭皮製紙可行性探討

二、 利用芋頭皮取代慣用木屑製作太空包可行性探討

參.研究架構

芋頭

芋頭皮前處理

利用芋頭皮製紙可行性之探討

- 利用芋頭皮製紙流程之建立
- 添加芋頭皮對於再生紙隔熱性、物性等之影響
- 嘗試利用芋頭皮取代適量紙漿，開發杯墊與隔熱杯套…等具地方特色產品

利用芋頭皮取代慣用木屑製作太空包可行性探討

- 利用孢子分離法進行新鮮黑木耳及香菇之菌絲培養
- 太空包中各項基質之一般成分、pH 值及生菌數的分析
- 太空包水分含量之調整
- 比較芋頭皮太空包與仿傳統木屑太空包殺菌過程水分含量、pH 值及生菌數之變化
- 探討太空包中基質之充填密度及酸鹼性對於香菇、黑木耳走菌速度之影響， 建立芋頭皮太空包之理想配方

肆.研究設備

電子天平、烘箱、碎紙機、物性測定儀、pH 計、顯微鏡、熱風乾燥機、果汁機、傾倒式粉碎機、乾熱滅菌箱、低溫培養箱、微波爐、紅外線水分測定儀、無菌操作台

第一部分、利用芋頭皮製紙可行性探討

一、實驗材料

新鮮芋頭皮、回收影印紙、舊報紙、回收瓦楞紙、乾淨衛生紙

二、研究過程與方法

(一)芋頭皮前處理步驟

新鮮芋頭皮洗淨，烘乾，高壓蒸煮，裝袋備用。

(二)回收紙與衛生紙、瓦楞紙前處理步驟

紙張破碎，高壓蒸煮，裝袋備用。

(三)造紙方式

1. 將一定量的芋頭皮與紙漿放入果汁機中打碎。
2. 倒入絹版中成形。
3. 最後放入熱風乾燥機中以 60℃烘乾即完成。

(四)分析項目

1. 紙張物性測定

利用物性測定儀之針形探頭測定紙張之表面硬度及平均硬度。

2. 紙張厚度測定

以麵條厚度測定器測定再生紙張之厚度。

3. 紙張隔熱性試驗

以電子式溫度計，測定 0~5 min 之再生紙張隔熱效果。

4. 杯墊耐水性分析

於杯墊滴一滴水，測定吸水前後表面硬度與平均硬度之變化。

(五)芋頭皮草酸含量測定

利用草酸根與高錳酸鉀間的氧化還原反應進行定量。

三、研究結果與討論

1. 利用芋頭皮製紙流程之分析

未經處理之芋頭皮製造的紙

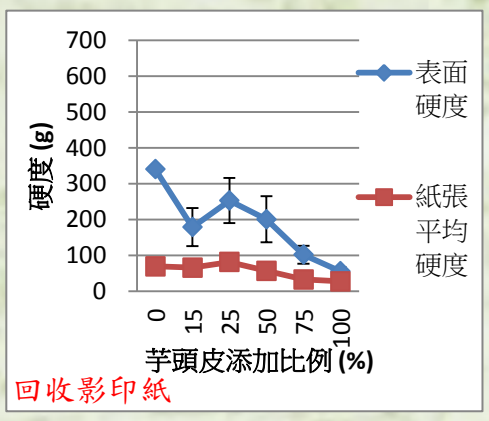
未經處理之芋頭皮鏡檢圖

高壓蒸煮過之芋頭皮鏡檢圖

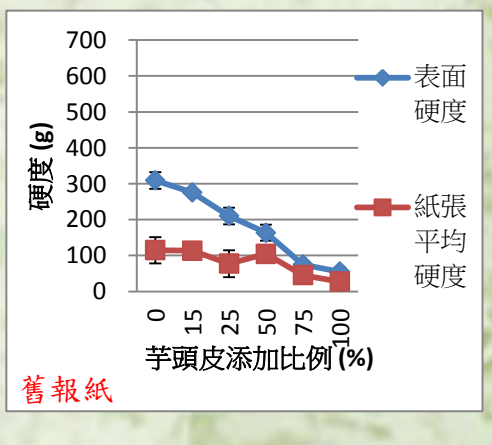
鹼加熱處理後芋頭皮鏡檢圖

高壓蒸煮之芋頭皮製造的紙

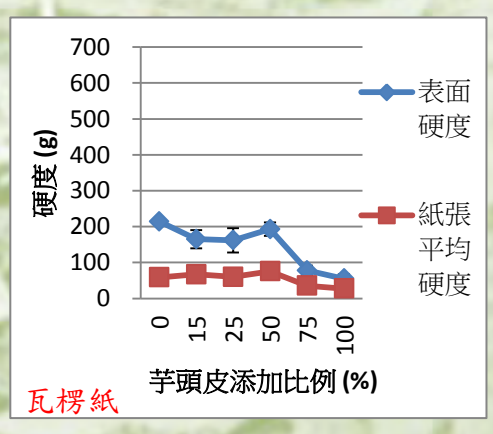
2. 添加芋頭皮對於再生紙硬度之影響



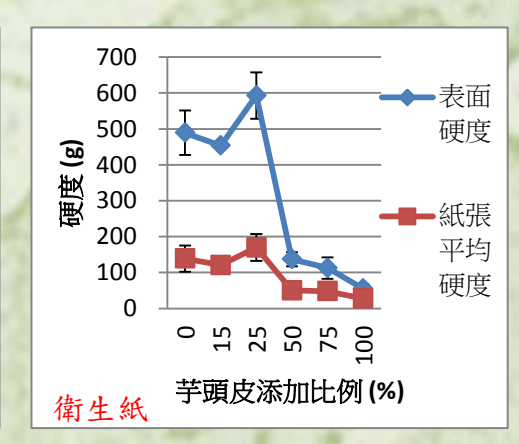
回收影印紙



舊報紙



瓦楞紙



衛生紙

3. 添加芋頭皮對紙張厚度之分析

紙漿	芋頭皮添加量(%)	芋皮再生紙厚度(mm)	紙漿	芋頭皮添加量(%)	芋皮再生紙厚度(mm)
回收影印紙	75 75(生)	0.620±0.126 0.899±0.111	瓦楞紙	75 75(生)	0.651±0.112 0.737±0.074
舊報紙	75 75(生)	0.522±0.007 1.107±0.129	衛生紙	75 75(生)	0.505±0.134 0.765±0.129

4. 芋頭皮再生紙描述性分析

回收影印紙漿之芋頭皮再生紙描述性分析

芋頭皮取代量	0%	15%	25%	50%	75%	75%(生)	100%
外觀							
質地	極為光滑	稍微光滑，能摸出芋頭皮細小顆粒	稍微粗糙，芋頭皮顆粒稍多	粗糙，能明顯摸出芋頭皮顆粒	粗糙，表面明顯有芋頭皮纖維凸起	質地極為粗糙	表面粗糙，為規律之細顆粒
書寫性	○	○	○	○	×	×	×
成形性	○	○	○	○	○	×	×

舊報紙漿之芋頭皮再生紙描述性分析

芋頭皮取代量	0%	15%	25%	50%	75%	75%(生)	100%
外觀							
質地	光滑	光滑，但仔細摸有芋頭皮顆粒	大致光滑，能摸出芋頭皮顆粒	稍微粗糙，表面有小隆起	粗糙，表面有芋頭皮纖維隆起	結構未打開，紙張極為粗糙	表面粗糙，為規律之細顆粒
書寫性	○	○	○	○	×	×	×
成形性	×	×	○	○	×	×	×

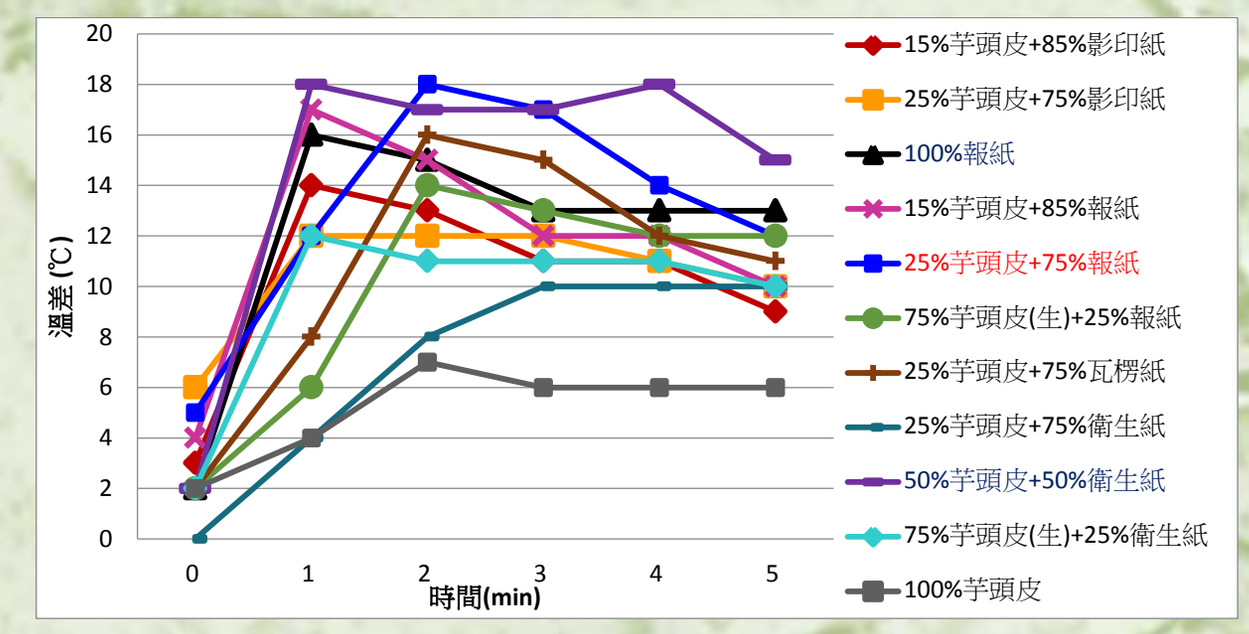
瓦楞紙漿之芋頭皮再生紙描述性分析

芋頭皮取代量	0%	15%	25%	50%	75%	75%(生)	100%
外觀							
質地	極為光滑	稍微光滑	微光滑，有些許小顆粒	稍微粗糙，小顆粒增多	粗糙，有大量小顆粒	表面不平整、質地明顯粗糙	表面粗糙，規律之細顆粒
書寫性	○	○	○	○	×	×	×
成形性	×	×	○	○	○	×	×

衛生紙漿之芋頭皮再生紙描述性分析

芋頭皮取代量	0%	15%	25%	50%	75%	75%(生)	100%
外觀							
質地	極為光滑	光滑，有細小顆粒	稍微光滑，小顆粒增加	光滑中帶點粗糙	粗糙，表面明顯有纖維凸起	紙張較為柔軟，表面粗糙	表面粗糙，為規律之細顆粒
書寫性	○	○	○	○	×	×	×
成形性	○	○	○	○	○	×	×

5. 芋頭皮再生紙隔熱性之分析

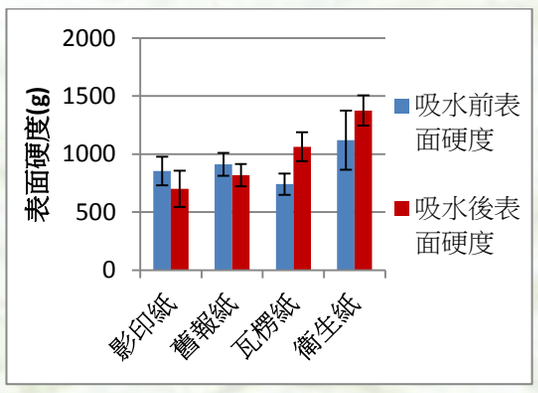


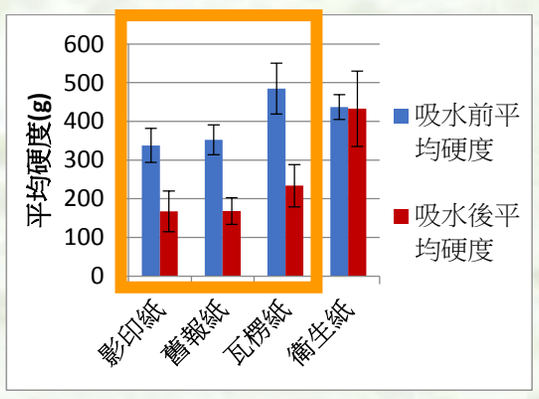
6. 芋頭皮再生杯墊耐水性分析

(1)75%生芋頭皮杯墊

①回收影印紙　②舊報紙　③瓦楞紙　④衛生紙

(2)杯墊吸水前後對 75%生芋頭皮杯墊表面硬度及平均硬度的影響





7. 芋頭皮草酸含量分析

樣品	草酸含量(%)[1]
生鮮芋頭皮[2]	8.99±1.88
乾燥芋頭皮	4.84±0.50
高壓蒸煮芋頭皮[3]	3.47±0.16
75%芋頭皮杯墊	
回收影印紙	1.57±0.06
舊報紙	1.78±0.05
瓦楞紙	1.50±0.30
衛生紙	1.92±0.02

[1] 以樣品乾重為標準計算而得的草酸含量
[2] 生鮮芋頭皮以溼重為標準計算而得的草酸含量為 1.12%
[3] 高壓蒸煮芋頭皮以溼重為標準計算而得的草酸含量為 0.61%

第二部分、芋頭皮製作太空包可行性探討

一、實驗材料及藥品

芋頭皮、新鮮黑木耳、新鮮香菇、桂蘭木屑、麩皮、蛋殼、碳酸鈣、檸檬酸、醋酸鈣、75%酒精、PDA、PCA、pH4 及 7 標定液、逆滲透水

二、研究過程及方法

(一)芋頭皮、蛋殼粉前處理

新鮮芋頭皮、蛋殼以水沖洗、烘乾、破碎，儲存備用。

(二)芋頭皮基本資料分析

1. 利用紅外線水分測定儀測定水分含量
2. 利用 pH 計測定 pH 值
3. 太空包基質生菌數測定

(三)利用孢子分離法進行黑木耳、香菇的菌絲培養

將新鮮黑木耳、香菇放進培養皿中，待孢子自然掉落，並劃線培養分離純粹菌落。

(四)太空包培養基質製作

配置太空包基質、殺菌、接菌 3%、走菌速度觀察

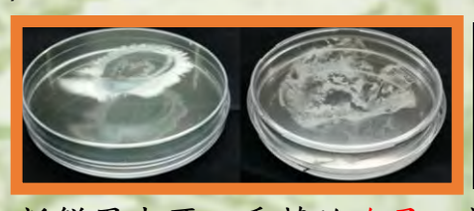
太空包基質配方如下:

材料	百分比(%)
芋頭皮/木屑*	84
麩皮	15
蛋殼	1
合計	100

*芋頭皮 100% 取代慣用木屑

三、研究結果與討論

(一)利用的孢子分離法進行新鮮黑木耳、香菇之純化培養



新鮮黑木耳、香菇的孢子

新鮮香菇子實體之菌絲培養

純化出新鮮黑木耳、香菇之孢子劃線培養

(二)太空包中各項基質之一般成分、pH 值的分析

1. 各項基質之一般成分及 pH 值分析

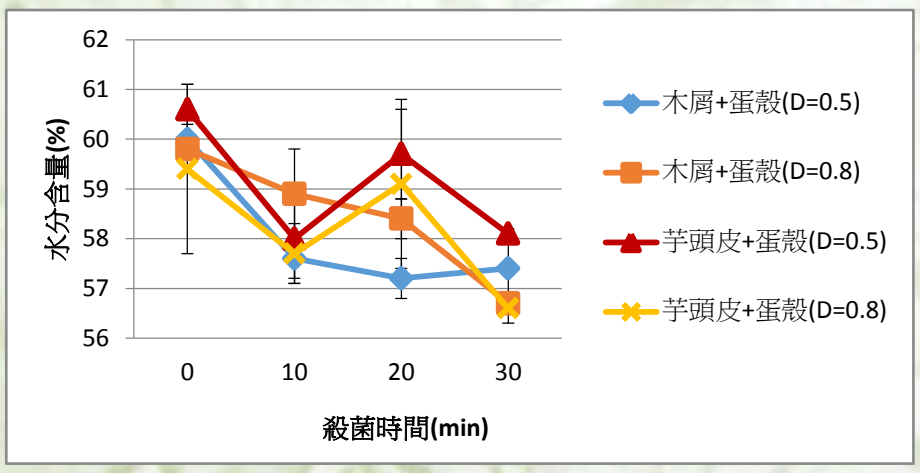
分析項目	芋頭皮	桂蘭木屑	麩皮	蛋殼粉
pH 值	6.87±0.05	6.34±0.12	6.24±0.03	9.92±0.10
水分(%)	12.80±0.26	12.33±0.21	16.36±0.26	0.94±0.13
粗脂肪(%)	13.22±1.20	14.76±0.15	18.24±1.15	2.14±0.06
粗蛋白(%)	1.51±0.11	0.80±0.08	16.47±0.12	0.39±0.02
灰分(%)	8.73±0.94	0.92±0.04	3.68±0.04	89.66±1.62
醣類(%)	63.74	71.19	45.25	6.87

2. 不同酸鹼成分對太空包基質 pH 值之影響

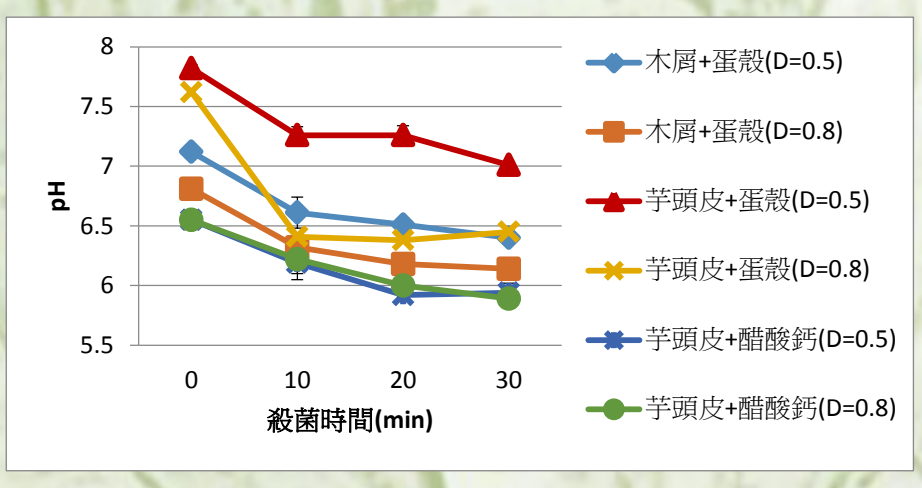
基質種類 / 酸鹼成分	pH	
	木屑	芋頭皮
碳酸鈣	6.84±0.09	7.07±0.01
蛋殼	6.62±0.14	7.72±0.11
醋酸鈣	6.26±0.15	6.55±0.02
檸檬酸	4.53±0.01	5.20±0.04

(三)比較芋頭皮太空包與仿傳統木屑太空包殺菌過程水分含量、pH 值及生菌數之變化

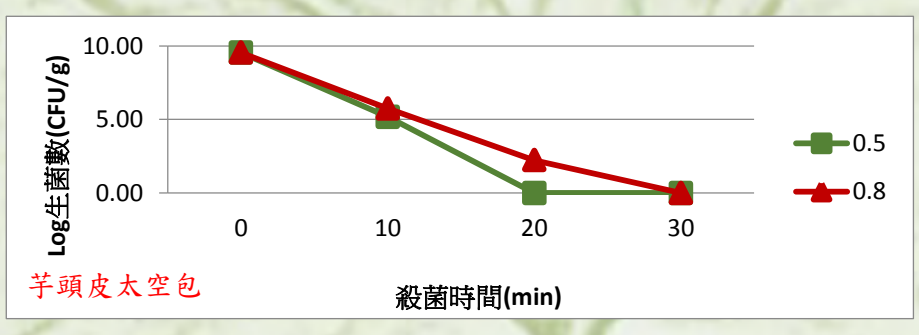
1. 殺菌時間對太空包基質水分含量之影響

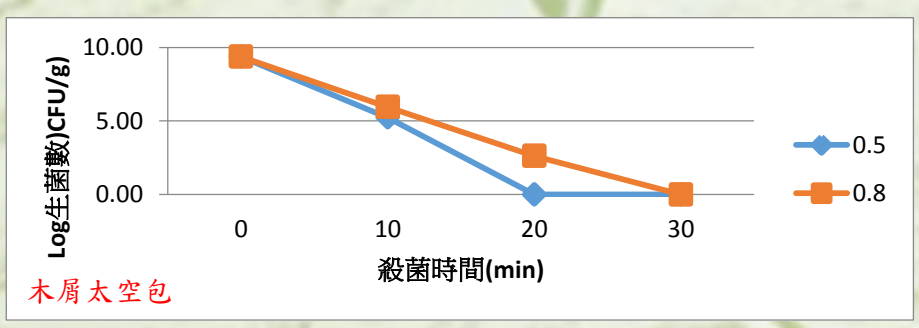


2. 殺菌時間對太空包基質 pH 值之影響

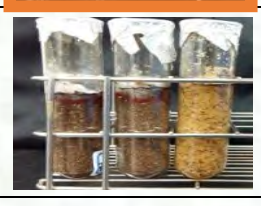


3. 不同密度的太空包基質之加熱致死速率曲線





(四)探討太空包基質之充填密度及酸鹼成分對於黑木耳、香菇走菌速度之影響

培養天數		黑木耳	香菇
第 0 天			
第 7 天	密度(0.5)		
	密度(0.8)		
第 14 天	密度(0.5)		
	密度(0.8)		
第 21 天	密度(0.5)		
	密度(0.8)		
第 35 天	密度(0.5)		
	密度(0.8)		
第 49 天	密度(0.5)		
	密度(0.8)		

(三支試管，由左至右為芋頭皮+醋酸鈣、芋頭皮+蛋殼、木屑+蛋殼)

黑木耳在走菌的第 7 天，可以發現：

1. 以「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.5」作為基質者，走菌速度最快，且密度最高。
2. 「木屑+蛋殼，充填密度為 0.8」者，不見生木耳白色菌絲生長，是因將基質過度壓縮，導致氧氣通透性不良，而阻礙菌絲生長。

黑木耳在走菌的第 35 天，可以發現：

1. 「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.8」者，走菌完成度約可達 90%。
2. 「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.5」者，走菌完成度約可達 80%。
3. 「芋頭皮+醋酸鈣，充填密度為 0.5」者，走菌完成度約可達 75%。

黑木耳在走菌的第 49 天，可以發現：

1. 「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.5」與「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.8」者，走菌完成度可達 100%。

伍、結 論

1. 芋頭皮可與其他紙漿配製出再生紙，但取代量不宜超過 50%。
2. 芋頭皮可增加紙漿之厚度，具有製成杯墊潛力。
3. 添加 15~25%芋頭皮於回收紙漿中可增加紙張隔熱效果，可用於隔熱杯套製作。
4. 芋頭皮太空包優於仿傳統木屑太空包，有利於黑木耳菌絲生長。
5. 黑木耳在芋頭皮太空包以添加蛋殼比醋酸鈣走菌速度快。
6. 芋頭皮太空包其鹼性稍強，較不利香菇菌絲生長。
7. 在固定 14g 太空包培養基質狀態下，走菌速度較佳的二基質配方，一為「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.5」者，二為「芋頭皮+蛋殼，充填密度為 0.8」者，在走菌第 49 天時，可觀察到走菌完成度約可達 100%。