

屏東縣第66屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生活與應用科學(三)

組 別：國小組

作品名稱：風動檳香——檳榔葉鞘濾材於 PM2.5 空氣淨化研究

關 鍵 詞：檳榔葉鞘、PM2.5、纖維濾材（最多三個）

編號：A8002

摘要

本研究探討檳榔葉鞘纖維作為天然空氣濾材之可行性，並分析不同前處理方式與濾材層數對 PM2.5 過濾效能之影響。實驗一比較地下水、礦泉水、海水、河海水及 3% 雙氧水浸泡處理，搭配「電風扇＋日曬」與「吹風機＋自然風乾」兩種乾燥方式，評估濾材成形品質。實驗二以實驗一較穩定之「電風扇＋日曬」作為標準製程，製作單層、雙層與三層濾材，並加入市售活性炭前置濾材作為性能對照，在起始濃度 $250 \pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 條件下進行 1、5、10 分鐘動態測試；各水溶液條件重複 5 次取平均。結果顯示：電風扇＋日曬之濾材成形較穩定；10 分鐘最終濃度比較中，三層濾材優於單、雙層，且與市售前置濾材差距縮小。實驗三結合 3D 列印模組化裝置驗證更換便利性與運作穩定性，初步證實檳榔葉鞘具作為低成本天然濾材之應用潛力。

目錄

壹、	前言.....	1
貳、	研究設備與器材.....	5
參、	研究過程與方法.....	7
肆、	研究結果.....	14
伍、	討論.....	20
陸、	結論.....	21
柒、	參考資料及其他.....	22

壹、前言

一、研究動機

在恆春地區的生活環境中，常可見檳榔販售與相關副產物產生，其中檳榔葉鞘多被集中丟棄或焚燒處理，未經妥善再利用。觀察其材質時，本研究發現葉鞘撕開後呈現明顯纖維結構，質地堅韌且具可打漿性，與部分造紙纖維特性相似，因此引發疑問：此類天然纖維是否具備功能性材料之應用潛力？

另一方面，PM2.5 為影響空氣品質與人體健康之重要污染物，其物理過濾原理與纖維排列密度、孔隙結構及氣流通道設計密切相關。現行空氣濾材多為人工合成高分子材料，若天然植物纖維亦能形成多孔交織結構，是否可能具備顆粒捕集能力，並兼具環境永續價值？

目前相關研究多聚焦於檳榔葉鞘作為手工紙或包材應用，較少針對其空氣濾效進行系統性比較與動態測試。因此，本研究透過不同前處理方式與層數結構設計，探討檳榔葉鞘纖維對 PM2.5 過濾效能之影響，並結合 3D 列印裝置進行應用驗證，以評估其工程發展可行性。



圖1-1 檳榔葉鞘外觀及撕裂後纖維結構示意圖

（左：葉鞘外觀；右：撕裂後纖維交織近拍，顯示天然纖維網狀結構。）

二、 研究目的

本研究旨在探討檳榔葉鞘纖維作為天然空氣濾材之可行性，並分析前處理條件與濾材層數設計對 PM2.5 過濾效能之影響。具體目的如下：

- (一) 比較不同浸泡溶液與乾燥方式對濾材成形品質之影響，篩選較穩定之前處理製程。
- (二) 比較單層、雙層與三層濾材在相同起始濃度條件下之 PM2.5 降低表現，並探討濾效與氣流通暢度之關係。
- (三) 將檳榔葉鞘濾材應用於 3D 列印可更換式裝置中，驗證其運作穩定性與更換便利性，評估實際應用可行性。

三、 文獻回顧

(一) 細懸浮微粒 (PM2.5) 之生成、粒徑特性與健康風險

大氣懸浮微粒 (Particulate Matter, PM) 為懸浮於空氣中的固態或液態粒狀物，依粒徑可區分為粗粒徑與細粒徑。PM2.5 指粒徑小於或等於 $2.5\ \mu\text{m}$ 之細懸浮微粒，因粒徑極小，可長時間懸浮於空氣中，並進入呼吸道深部，長期暴露可能對人體健康造成影響。

PM2.5 來源包含燃燒排放 (原生性氣膠) 與氣態污染物經光化反應轉化生成之細粒徑物質 (衍生性氣膠) (Whitby & Sverdrup, 1980)。以臺灣南部為例，潮州地區觀測結果顯示 PM2.5 在 PM10 中所占比例偏高，且細粒徑成分與二次轉化反應關聯密切 (李家青, 2002)。顯示降低 PM2.5 暴露具有實際環境意義。

(二) 空氣淨化濾材之現況與「效率—阻抗」核心矛盾

現行空氣清淨設備多採纖維型濾材進行微粒攔截。然而，濾材設計需在「過濾效率」與「氣流阻力」間取得平衡。濾材厚度增加或纖維排列更緊密，雖可能提高微粒攔截率，但同時亦可能提升氣流阻力，影響裝置運作效率。

相關研究指出，多孔或孔洞纖維因具較高比表面積，可能在一定條件

下兼顧濾效與壓降表現（杜宗明，2014；翁詩婷，2023）。顯示材料之孔隙結構與纖維排列方式為影響濾材性能的重要因素。

(三) 濾材厚度與孔隙結構對濾效之影響

在濾材結構分析中，「厚度」、「孔隙度」與「纖維密度」常被視為關鍵參數。研究指出，厚度為影響孔隙結構與微粒穿透率之重要因素之一（翁詩婷，2023）。當濾材層數增加時，等效厚度隨之提升，理論上可提高微粒與纖維接觸機率，但同時亦可能增加氣流阻力。

此外，多孔材料之孔洞尺度與分布亦會影響氣流型態與微粒攔截行為（杜宗明，2014）。因此，濾材結構設計不僅與材料本身相關，亦與層數堆疊方式密切相關。

(四) 天然纖維與葉鞘類材料之材料特性

天然植物纖維具可再生與可降解特性，廣泛應用於造紙與包裝材料。於抄紙製程中，纖維經打漿後可交織形成三維網狀結構，其孔隙與排列方式將影響透氣與微粒攔截能力。

葉鞘類纖維研究指出，其具可製漿與抄造可行性，並能形成穩定紙網結構（陳盈君，2020）。顯示葉鞘類材料具發展為多孔材料之潛力，亦為本研究採用抄紙型濾材之材料基礎。

此外，近年研究亦指出，多種農業副產物之植物纖維具有再製成型與材料應用之潛力。例如以葡萄藤皮為原料之研究指出，經蒸煮與打漿後可形成紙漿狀纖維材料，並可透過抄紙與模具成型方式製作平面與立體成品，顯示農業廢棄纖維具材料再利用之可行性（莊晉丞，2021）。

另有研究以鳳梨葉為材料，透過水力脫膠方式提取纖維，證實天然植物纖維具有良好機械性質與成型潛力，並可進一步應用於複合材料開發（陳加展，2024）。

上述研究顯示，農業副產物中的植物纖維不僅可製漿與成型，亦具有再製為功能性材料之潛力，為本研究選擇檳榔葉鞘作為濾材材料提供了跨

材料類型之實證支持。

(五) 檳榔葉鞘之在地性與資源化背景

檳榔為臺灣南部常見作物，其葉鞘多為副產物。若能加以再利用，不僅可減少廢棄物處理負擔，亦能提升資源循環利用價值。本研究選擇檳榔葉鞘作為材料來源，除考量其纖維結構特性外，亦因其在地取得便利，兼具環境與教育意義。

(六) 文獻整合與研究缺口：對應本研究之變因設計

綜合上述文獻可知：

1. 南部地區 PM2.5 比例偏高，細粒徑生成與二次轉化反應密切相關，具降低暴露之區域性需求（李家青，2002）。
2. 濾材設計需兼顧過濾效率與氣流阻力，厚度與孔隙結構為重要影響因子（杜宗明，2014；翁詩婷，2023）。
3. 葉鞘類天然纖維具可製漿與抄造可行性，可形成穩定纖維網狀結構（陳盈君，2020）。

然而，現有研究多分別探討：PM2.5 生成特性、工程濾材之結構優化、葉鞘材料於造紙或包材應用，較少將「在地可得之天然葉鞘纖維」以抄紙形成穩定網狀結構為基礎，並系統比較：不同前處理條件、等效厚度（層數堆疊）、動態 PM2.5 濃度變化之間的關聯性。

因此，本研究以檳榔葉鞘為原料，透過抄紙製程建立可重複製備之濾材結構，並結合層數設計與實測濃度變化分析，建構天然濾材之結構—功能證據鏈，以補足現有研究之應用缺口。

貳、 研究設備與器材

一、 基本量測與紀錄設備

名稱	電子秤	計時器	空氣品質感測器
規格/型號	精度0.1 g	數位型 (最大99分鐘)	可測 PM2.5/PM10
數量	1台	1個	1台
說明	量測葉鞘與紙漿重量	控制浸泡與測試時間	測量過濾前後空氣濃度
圖片			

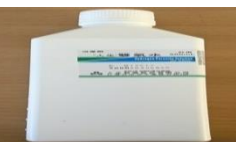
二、 濾材製作與成形工具（用於纖維處理與濾材製作）

名稱	高速果汁機	抄網模具	吹風機	懸掛式電風扇
規格/型號	變速型	13x13cm	冷／熱風 雙模式	三段風速
數量	1台	4組	1台	1台
說明	將葉鞘纖維打漿	濾材成形	加速乾燥	日曬輔助乾燥
圖片				

三、裝置組裝設備（用於空氣淨化裝置製作）

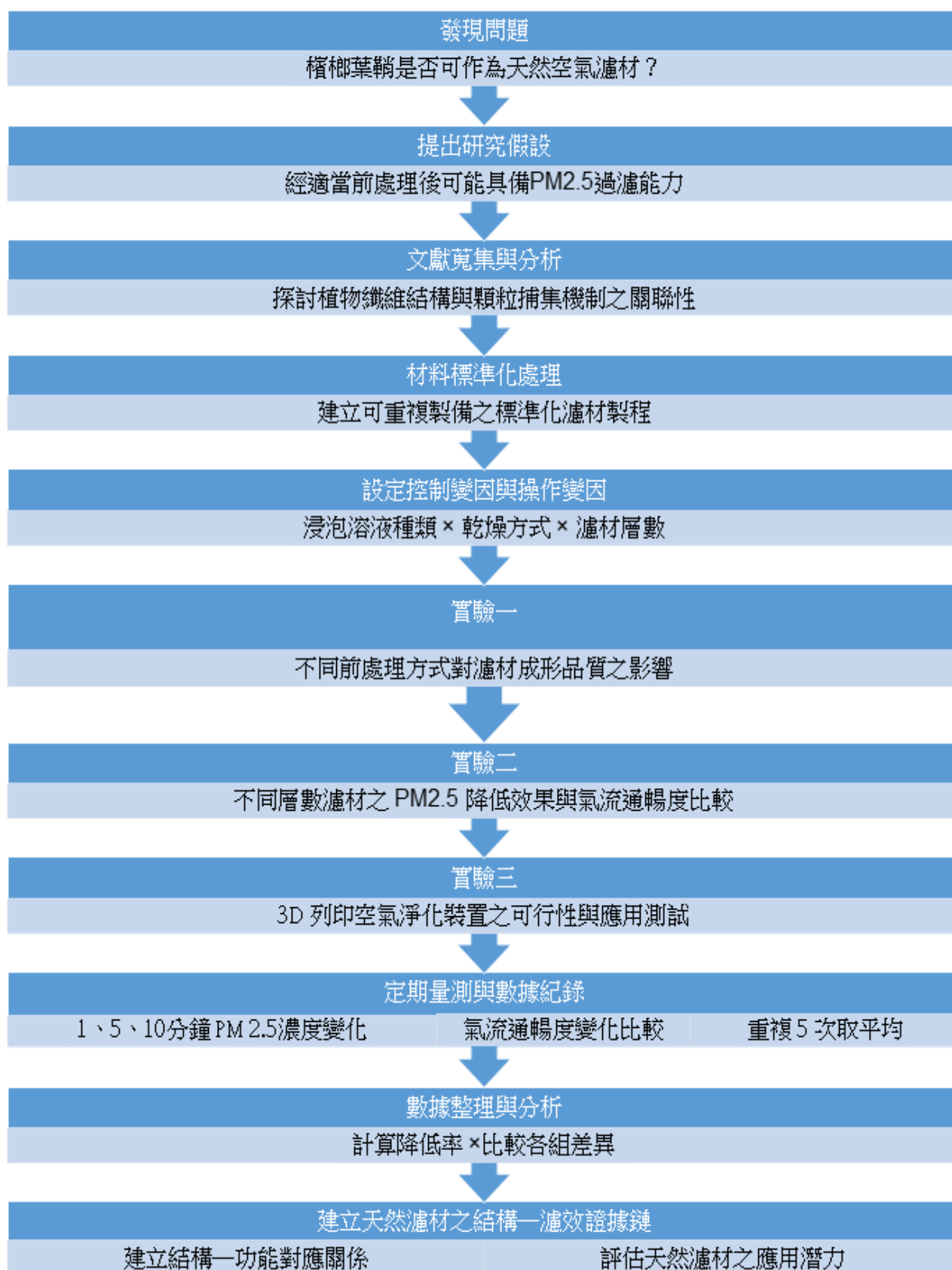
名稱	3D列印機	軸流式直流風扇	風量調速控制器	尼龍紗網
規格/型號	FDM 熱熔式 (PLA 耗材)	12cm / DC 12V	旋鈕式	網格型
數量	1 台	1台	1個	2張
說明	製作空氣淨化裝置外殼	產生穩定氣流	控制風扇轉速	作為濾材支撐層
圖片				

四、原料與處理液

名稱	檳榔葉鞘	地下水	礦泉水	市售前置濾材
規格/型號	屏東農民提供	校園水源	市售瓶裝水	一般機械式濾材
數量	12片（枯乾）	500 mL × 若干組	600 mL	1 片
說明	濾材原料	浸泡處理	浸泡處理	實驗二對照組
圖片				
名稱	海水	河海水	雙氧水	
規格/型號	南灣採集	滿州港口採集	3% 市售醫療用	
數量	500 mL	500 mL	200 mL	
說明	天然對照處理液	天然對照處理液	化學對照組處理液	
圖片				

參、 研究過程或方法

一、實驗流程圖



二、實驗步驟

(一) 實驗一：檳榔葉鞘前處理條件對濾材成形性之影響

1. 實驗目的

探討不同浸泡溶液與乾燥方式對檳榔葉鞘纖維結構與濾材成形品質之影響，篩選較穩定之製程條件，作為後續濾效測試之標準前處理方式。

2. 實驗變因設計

(1) 自變因

① 浸泡溶液（5 組）

地下水、礦泉水、海水、河海口水、3% 雙氧水

② 乾燥方式（2 種）

電風扇＋日曬、吹風機＋自然風乾

(2) 應變因

濾材成形品質評分（成形完整度、纖維柔韌度、表面平整度、結構完整性）

(3) 控制變因

① 葉鞘尺寸：5 × 10 cm

② 浸泡體積：500 mL

③ 浸泡時間：48 小時

④ 打漿水量：550 mL

⑤ 打漿時間：30 秒 × 2 次

⑥ 抄紙模具尺寸固定

⑦ 乾燥時間 24 小時

3. 實驗流程

清洗與裁剪葉鞘→ 分組浸泡 48 小時→ 取出瀝乾→ 剪碎後加入 550 mL 清水→ 果汁機打漿→ 倒入模具抄紙成形→ 指定乾燥方式乾燥 24 小時



圖3-1 葉鞘前處理與抄紙流程示意圖（裁剪→ 浸泡→ 打漿→ 抄紙→ 乾燥）

4. 觀察與評分方式

由 6 名評分者依上述四項指標進行 1 – 5 分量化評分（5 分最佳），各組取平均值作為成形性結果。

(二) 實驗二：濾材層數對 PM2.5 過濾效能之影響

1. 實驗目的

分析不同濾材層數對 PM2.5 濃度降低情形之影響，並探討濾效與氣流通暢度之平衡關係。

2. 實驗變因設計

(1) 自變因

濾材層數與類型：單層檳榔葉鞘濾材、雙層檳榔葉鞘濾材、三層檳榔葉鞘濾材、市售前置濾材（對照組）

(2) 應變因

各時間點 PM2.5 濃度、PM2.5 濃度降低值、PM2.5 降低百分比

(3) 控制變因

① 濾材尺寸固定（與裝置相符）

② 風扇轉速固定

③ 感測器位置固定

④ 測試空間尺寸固定

⑤ 初始濃度控制於 $250 \pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

⑥ 每組重複測試 5 次

3. 實驗流程

燃燒線香建立污染濃度。本研究選擇 $250 \pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 作為測試濃度，係為模擬高污染情境，以利觀察不同濾材層數之降低效果。當濃度達 $250 \pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 時停止燃燒 → 安裝指定濾材 → 啟動空氣淨化裝置 → 記錄 1、5、10 分鐘之 PM2.5 濃度 → 測試結束後恢復空間條件 → 重複測試 5 次並取平均值。

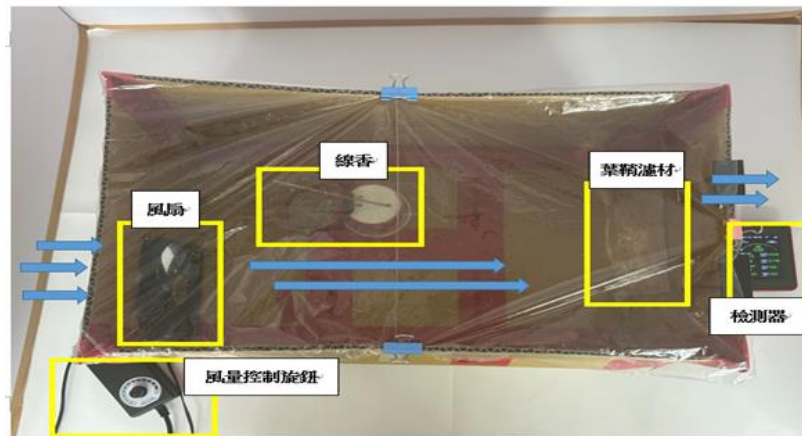


圖3-2 PM2.5測試裝置實拍圖（標示濾材位置、感測器位置與氣流方向）

圖3-2 為本研究 PM2.5 測試裝置實拍圖。左側風扇產生穩定氣流，空氣沿箭頭方向流動，通過中央測試區後進入濾材區域，再由右側排出並由感測器量測濃度變化。

本裝置採封箱結構設計，使氣流主要沿水平通道流動；惟濾材邊緣若存在微小縫隙，可能產生局部繞流現象，為實驗三濾效與實驗二存在差異之可能原因。



圖3-3 濾材層數結構示意圖（單層／雙層／三層結構剖面示意）

4. 數據分析項目

本實驗比較各組之：

- (1) 各時間點 PM2.5 濃度變化趨勢
- (2) 濃度降低值（初始濃度 - 測量濃度）
- (3) 降低百分比（%）=（初始濃度 - 測量濃度）÷ 初始濃度 × 100%

並分析濾材層數增加對濾效與氣流阻力之影響。

(三) 實驗三：3D列印空氣淨化裝置應用測試

1. 實驗目的

驗證檳榔葉鞘濾材於自製 3D 列印空氣淨化裝置中的運作穩定性與應用可行性，評估其在實際裝置中之濾效與操作便利性。

2. 實驗變因設計

(1) 自變因

濾材類型：

- ① 無濾材（空氣直接通過，作為基準組）
- ② 雙層檳榔葉鞘濾材
- ③ 三層檳榔葉鞘濾材

（依據實驗二結果，三層濾材濾效最佳，但雙層濾材在濾效與風量之間取得較佳平衡，因此選作主要應用測試條件。）

(2) 應變因

- ① PM2.5 濃度變化
- ② 濾材更換時間
- ③ 裝置運作穩定性
- ④ 外殼溫度變化
- ⑤ PM2.5 濃度降低率（%）

降低率 =（初始濃度 - 10 分鐘濃度）÷ 初始濃度 × 100%

(3) 控制變因

- ① 風扇規格：DC 12V
- ② 裝置尺寸固定
- ③ 測試時間：10 分鐘
- ④ 感測器位置固定
- ⑤ 測試空間條件一致

3. 實驗流程

3D 建模與列印外殼 → 安裝風扇與濾材槽 → 安裝指定濾材 → 啟動裝置運轉 10 分鐘 → 記錄 PM2.5 濃度變化 → 測量濾材更換時間 → 觀察裝置運作情形



圖3-4 3D 列印空氣淨化裝置外觀



圖3-5 濾材安裝與更換示意圖

4. 應用評估指標

本實驗從工程應用角度評估：

- (1) 氣流是否穩定
- (2) PM2.5 濃度降低情形
- (3) 濾材更換所需時間

(4) 外殼是否出現明顯升溫

(5) 運轉安全性

肆、研究結果

一、實驗一：不同處理方式對檳榔葉鞘濾材成形性之影響

(一) 成形性量化評估結果

本研究依據成形完整度、纖維柔韌度、表面平整度及結構完整性四項指標進行量化評分，各指標採 1 - 5 分評分（5 分最佳），由 6 名評分者共同評定後取平均值。結果如表 4-1 所示。

表4-1 不同浸泡溶液與乾燥方式對檳榔葉鞘濾材成形性之影響

乾燥方式	組別	浸泡溶液	成形完整度	柔韌度	結構完整性	表面平整度	平均分數
電風扇+日曬	A1	地下水	4.00	4.17	3.67	3.33	3.79
	B1	礦泉水	3.50	4.33	3.50	3.50	3.71
	C1	海水	3.83	3.17	4.00	2.83	3.46
	D1	3%雙氧水	3.00	2.33	3.83	4.00	3.29
	E1	河海口水	3.33	4.16	3.33	3.67	3.62
	整體平均	3.57					
吹風機+自然風乾	A2	地下水	4.00	2.83	3.67	3.83	3.58
	B2	礦泉水	4.17	2.67	3.00	3.67	3.38
	C2	海水	3.17	2.50	3.50	3.17	3.09
	D2	3%雙氧水	2.17	3.50	3.50	2.83	3.00
	E2	河海口水	2.67	3.67	3.17	3.00	3.13
	整體平均	3.24					

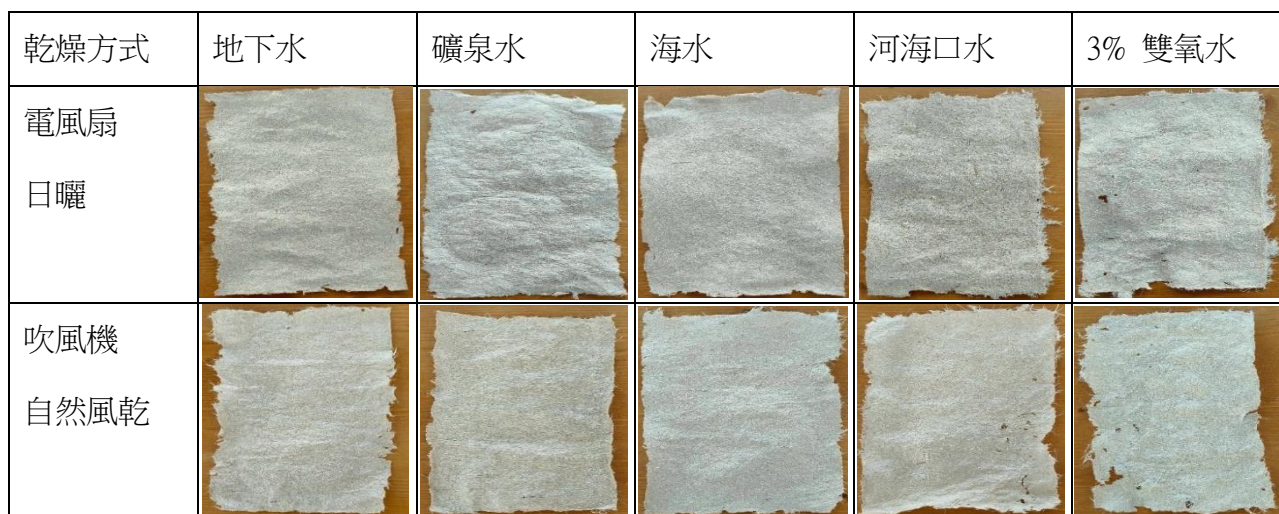


圖4-1 不同處理組濾材成形比較圖

（二）結果分析

由表4-1 可知，電風扇＋日曬組整體平均分數（3.57）高於吹風機＋自然風乾組（3.24），顯示乾燥方式對濾材成形品質之影響較為明顯。電風扇＋日曬條件下，A1、B1 與 E1 分數相對較高，呈現成形較完整、纖維分布較均勻且裂痕較少之特徵；相較之下，吹風機＋自然風乾組部分樣本出現局部翹曲或纖維排列較鬆散情形，推測與乾燥速率較快造成水分蒸發不均有關。整體而言，在本研究條件下「乾燥方式」為主要影響因子，故後續 PM2.5 濾效測試統一採用「電風扇＋日曬」作為標準乾燥製程以確保濾材品質一致。

二、實驗二：不同厚度濾材之 PM2.5 過濾效果比較

（一）10 分鐘最終濃度比較結果

本研究統一採用實驗一篩選後較穩定之「電風扇＋日曬」乾燥製程製作濾材，並於相同起始濃度（ $250 \pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）條件下進行 10 分鐘動態測試，各濾材在每一種浸泡溶液條件下重複測試 5 次取平均，再將五種浸泡溶液之 10 分鐘濃度進行「跨水源平均」，以降低單一水質條件之隨機波動對整體趨勢判讀之影響，使層數效應較為清晰。結果如表4-2 所示。

表4-2 不同濾材種類 10 分鐘最終 PM2.5 濃度比較（跨五水源平均）

濾材層數	10 分鐘平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
單層葉鞘濾材	73.3
雙層葉鞘濾材	78.4
三層葉鞘濾材	32.8
市售活性碳前置濾材	19.4

本研究觀察到雙層濾材最終濃度略高於單層，顯示濾效可能受纖維排列均勻度與層間密合程度影響。

（二）結果分析

由表 4-2 可知，在相同測試條件下，三層濾材之最終濃度明顯低於單層與雙層，顯示當濾材厚度達一定程度後，纖維交織密度提升，微粒與纖維接觸機率增加，濾效較明顯提升。

值得注意的是，雙層濾材之最終濃度略高於單層，未呈現線性增加趨勢。推測其原因可能包括：

1. 雙層疊加時纖維排列未完全錯位交織，形成局部對齊結構，未有效縮小孔徑。
2. 層間存在微小縫隙，產生氣流繞流通道，使部分氣流未充分穿透濾材。
3. 纖維分布不均可能導致有效過濾面積未明顯增加。

此現象顯示濾效提升可能存在「臨界厚度」或「結構均勻度門檻」，並非層數增加即必然提升濾效。當達到三層結構時，孔徑分布較明顯改變，濾效方顯提升。

（三）濾效與氣流阻力關係

濾材層數增加可提高纖維密度與攔截機率，但同時氣流通過濾材時可能受到較大阻礙。故濾材設計需在「過濾效率」與「氣流通暢度」間取得平衡，以提升實際應用可行性。

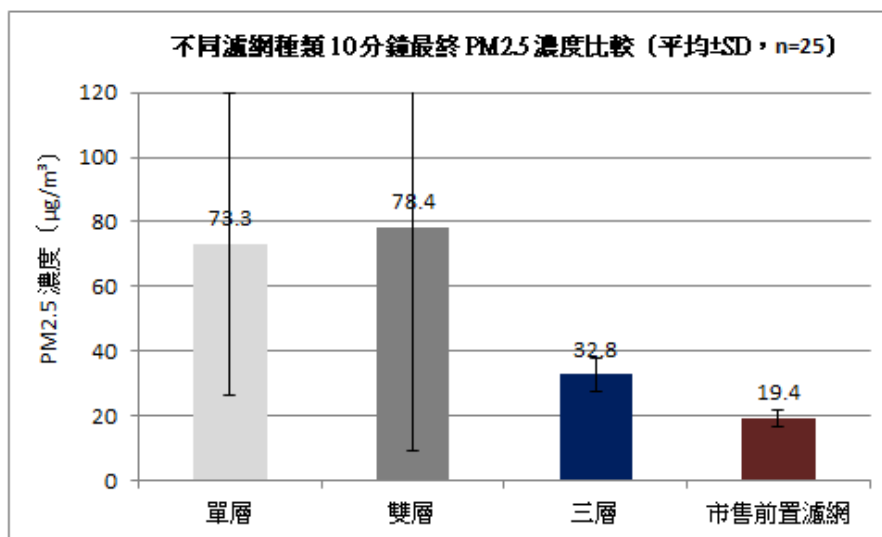


圖4-2 不同濾材種類 10 分鐘最終 PM2.5 濃度比較（跨五水源平均）

（每一水源 n=5；誤差線為標準差 SD。）

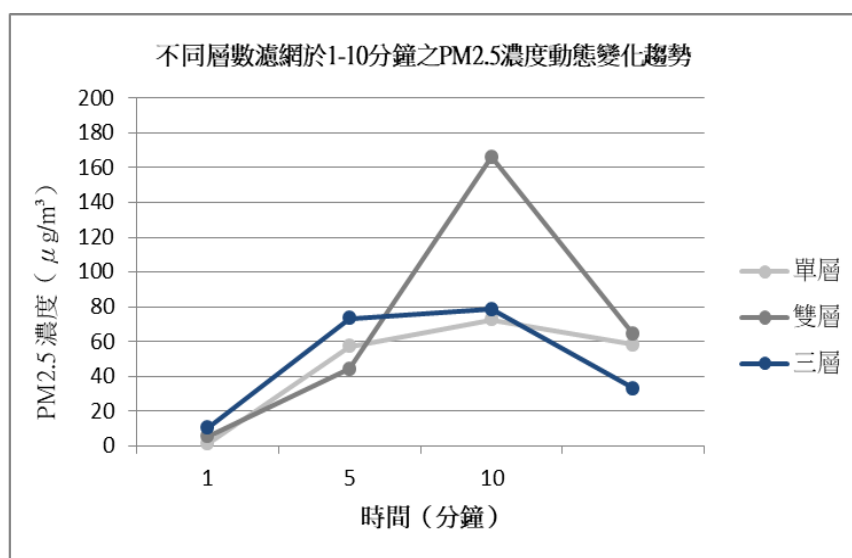


圖4-3 不同濾材種類於 1、5、10 分鐘之 PM2.5 濃度變化趨勢

（跨五水源平均；每一水源 n=5。）

三、實驗三：自製裝置實用性與應用測試

本實驗將檳榔葉鞘濾材安裝於 3D 列印製作之空氣淨化裝置中，觀察其實際運作情形與 PM2.5 降低效果，並評估裝置之穩定性與實用性。

(一) PM2.5 降低率之計算方式

本研究以裝置啟動前之 PM2.5 濃度作為「起始濃度」，運轉 10 分鐘後之濃度作為「10 分鐘後濃度」，並依下列方式計算降低率：

$$\text{降低率}(\%) = (\text{起始濃度} - 10 \text{ 分鐘後濃度}) \div \text{起始濃度} \times 100\%$$

例如某次測試中，起始濃度為 $236 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，10 分鐘後濃度為 $132 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，則：

$$(236 - 132) \div 236 \times 100\% \approx 44\%$$

表示 PM2.5 濃度降低約 44%。

(二) 自製空氣淨化裝置操作與實用性評估

表4-3 自製空氣淨化裝置操作與實用性評估

評估項目	測試結果
結構穩定性	組裝穩固，運轉過程無鬆脫
濾材更換時間	約 10 秒完成
運轉溫度	測試期間外殼以觸摸方式初步觀察，未出現明顯異常升溫現象。
風量表現	主觀觀察雙層氣流較順暢，三層氣流感受略減。
PM2.5 降低率	雙層濾材於 10 分鐘條件下之「平均降低率」約為 44% (n=5，多次測試取平均)。
製作成本	約 NT\$399 (3D 列印 PLA 耗材約 200 元、DC 12V 風扇與風量調速器一組約 199 元)

上述成本不包含實驗量測設備，僅計算裝置材料與組裝成本。

(三) 結果分析與說明

實驗三主要目的是觀察濾材在「實際裝置」中的表現，而非單純比較濾材本身的最佳濾效。

本研究發現，雙層濾材在濾效與風量之間取得較佳平衡，10 分鐘內可

降低約 44% 的 PM2.5 濃度。三層濾材於標準測試條件下呈現較低最終濃度，但因風阻增加，氣流速度下降，影響整體使用體驗。

此外，本實驗測試空間較為開放，裝置亦可能存在些微氣流繞流現象，因此其降低率低於實驗二之標準條件測試結果。故實驗二屬於「濾材性能比較」，實驗三則為「應用情境驗證」，兩者數值不宜直接對等比較。

整體而言，本研究所開發之天然濾材與自製裝置具備實際應用潛力，且成本低廉，未來若進一步提升裝置密封度與氣流控制設計，濾效仍有優化空間。

(四) 研究意義與應用潛力

本研究結果顯示：

1. 自製裝置具穩定結構與低成本優勢
2. 模組化設計提升濾材更換便利性
3. 雙層濾材在濾效與氣流通暢度間取得較佳平衡

雖然天然濾材之濾效尚未達工業化濾材水準，但於低成本、可再生材料與教育應用情境下，已展現實用潛力。

本研究為農業副產物應用於小型空氣淨化裝置提供初步實證基礎，未來可透過提升裝置密封度與優化纖維排列結構，進一步改善整體濾效表現。

伍、 討論

本研究透過三階段實驗，逐步建立檳榔葉鞘作為天然濾材之可行性證據鏈。

首先，在成形性實驗中發現乾燥方式對濾材結構穩定性影響較為顯著。電風扇＋日曬條件下，纖維排列較均勻，推測較緩和且均勻之水分蒸發有助於降低纖維收縮不均現象。此結果顯示製程穩定性為濾效測試之基礎。

其次，在層數比較實驗中觀察到濾效並非隨厚度線性提升。三層濾材顯示較明顯降低效果，而雙層未呈現預期提升，顯示濾效可能存在結構門檻效應。推測當纖維網層疊加達一定程度時，孔徑分布發生明顯變化，氣流穿透路徑增加曲折度，進而提高微粒攔截機率。由圖 3-2 所示之氣流路徑可知，濾材與外殼之密合度可能影響氣流穿透方式。若存在邊緣縫隙，氣流可能部分繞過濾材而降低實際過濾效率，此亦為實驗三濾效低於標準測試條件之可能原因。

此結果與文獻中強調之「孔隙結構影響濾效」觀點相符（杜宗明，2014；翁詩婷，2023），亦支持厚度為重要結構參數之論述。在應用測試中，雙層濾材於開放空間條件下仍可達約 44% 之降低率，顯示天然材料於低成本裝置中具有初步應用潛力。雖濾效尚未達工業濾材水準，但其可再生性與在地取得優勢，提供環境教育與循環材料應用之實證基礎。

整體而言，本研究證實檳榔葉鞘經適當前處理與結構設計後，確實具備一定 PM2.5 攔截能力，且濾效受結構均勻度與厚度影響較明顯，未來若提升密封設計與纖維均勻度控制，濾效仍具優化空間。本研究亦具環境教育意義，可作為在地農業副產物資源化之實作教材範例。此結果亦可由纖維網增加氣流曲折度（tortuosity）之觀點加以解釋。

陸、 結論

一、前處理條件會影響濾網成形品質

實驗一結果顯示，電風扇＋日曬之乾燥方式可提升濾網成形穩定性，說明乾燥速率與通風條件對纖維排列結構具有影響。

二、濾效與層數呈現非線性關係

實驗二結果顯示，三層濾網在 10 分鐘條件下具有較佳顆粒降低效果，而雙層與單層差異有限，顯示濾效可能存在「結構臨界厚度效應」，並非層數愈多愈好。

三、天然濾材具小型裝置與教育情境之應用潛力

實驗三應用測試中，雙層濾網於 10 分鐘內可降低約 44% 之 PM2.5 濃度，且裝置更換便利、成本低廉。雖尚未達市售高效率濾材之水準，但已顯示天然材料於空氣過濾領域具發展潛力。

四、研究限制與未來建議

本研究之測試空間與裝置密封度尚未完全標準化，未來可透過改善氣流導向設計、提升裝置密封度、增加濾材均勻度控制與延長測試時間，以提升濾效穩定性與實際應用可行性。

柒、 參考資料及其他

Whitby, K. T., & Sverdrup, G. M. (1980). *The aerosol size distribution of Los Angeles smog*.

Journal of the Air Pollution Control Association, 30(5), 487–491.

李家青（2002）。屏東地區懸浮微粒之化學特性與來源分析。碩士論文，國立中山大學。

杜宗明（2014）。多孔性電紡奈米纖維膜之製備與空氣過濾性能研究。碩士論文，國立成功大學。

翁詩婷（2023）。孔洞纖維濾材之結構特性與空氣過濾效能研究。碩士論文，國立成功大學。

陳盈君（2020）。月桃葉鞘纖維材料特性與造紙應用研究。碩士論文，國立屏東科技大學。

行政院環境部空氣品質監測網（2024）。空氣品質監測資料。取自：<https://airtw.moeenv.gov.tw/>

莊晉丞（2021）。植物纖維再製成型之研究——以葡萄藤皮為例。碩士論文，南臺科技大學。

陳加展（2024）。鳳梨葉植物纖維水力提取脫膠技術開發及製程廢棄物再利用。碩士論文，中原大學。