

# 新竹市第四十三屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：生活與應用科學(三)

組 別：國小乙組

作品名稱：惜「域」憐「香」--環保天然線香的自製研究

關 鍵 詞：環保線香、懸浮微粒、傳統文化

編 號：

## 摘要

本研究探討自製線香的燃燒特性與環境影響，結果顯示燃燒速率並非僅受直徑影響，成分比例與製作方法亦為關鍵因素。此外，懸浮微粒濃度並非單純隨距離遞減，而與線香材質相關，部分樣本於 100 公分處濃度最高。雖然燃燒速率較高的線香未必產生更多污染，但材質對環境影響顯著，特定配方（如黏粉:香粉=2:8）更易造成懸浮微粒擴散。

環境條件亦影響懸浮微粒分布，狹窄場域容易導致微粒淤積，最佳使用方式為於空曠區域燃燒。此外，香粉種類影響燃燒性與微粒產生量，並非單純粉末越細或含量越高即提升燃燒效率。部分香粉（如茶粉）需適量黏粉輔助燃燒，且不同原料化學性質須深入研究。

香粉未必保留原始氣味，可能因水分揮發導致香味減弱，建議選擇含香物質較高的原料。本研究亦發現混和香粉能提升燃燒穩定性並降低污染，且其獨特香氣可能源自不同化學成分的交互作用，提供未來配方開發之參考。

## 壹、研究動機

燒香拜拜，已經成為很多台灣人的傳統習俗，如果你要他們不燒香拜拜，是完全不可能的，不過香非常易造成空氣汙染，現在很注重環保，為此就發明了環保線香。在很多阿公阿媽的心中無非就是貴與不貴的差別，我曾經看過燒香時燒出的煙跟些灰塵，他們灰灰霧霧的，既不好看也不好聞，對自然生態與環境還有十分嚴重的危害和影響。每次遇到那些灰灰霧霧的怪獸我都會躲得遠遠的，但牠的利爪會伸向我的眼睛，將我的眼睛中水慢慢吸乾，害我不得閉上眼睛，像無頭蒼蠅般在人群中橫衝直撞，非常難受，但阿公阿媽還是將手中的香塞入我的手中，繼續拜拜。拜拜完的我，心裡疑惑重重，既然拜拜是無法避開的苦難，那為何不改善這種困境呢？無法避開，那為何不讓自己好受點呢？

因此我想改良阿公阿媽拜拜用的線香，讓它不再污染大自然和我們的身體，讓它變得更環保。這樣不僅可以改善它對大自然的傷害，也可以滿足阿公阿媽要拜拜的需求，徹徹底底地將那頭灰灰霧霧的怪獸擊倒，讓它改邪歸正。

## 貳、研究目的與待答問題

### 研究目的

- 一、了解線香的製作方法。
- 二、了解線香對環境的危害。
- 三、研究並自製環保線香。
- 四、尋找適合替代目前線香的環保材料。

### 待答問題

- 一、了解線香的製作方法為何及前人對他的研究為何？
- 二、不同環境結構對於線香燃燒的影響為何？
- 三、自製不同比例線香並實驗觀察其對環境的影響為何？
- 四、自製不同香粉環保線香並實驗觀察其對環境的影響為何？
- 五、自製不同香粉比例環保線香並實驗觀察其對環境的影響為何？

## 參、研究設備及器材

表 3.1 研究器材表

線香	PM2.5 感測器	製香器	製香板
黏粉	香粉	篩網	膠帶
腳架	小香爐	打火機	咖啡粉
茶葉渣	鐵盤	游標卡尺	直尺
橘子皮	破壁機	食材烘乾機	電風扇



圖 3.1 製香器示意圖



圖 3.2 製香板示意圖



圖 3.3 線香示意圖



圖 3.4 腳架示意圖

## 肆、製作過程及方法

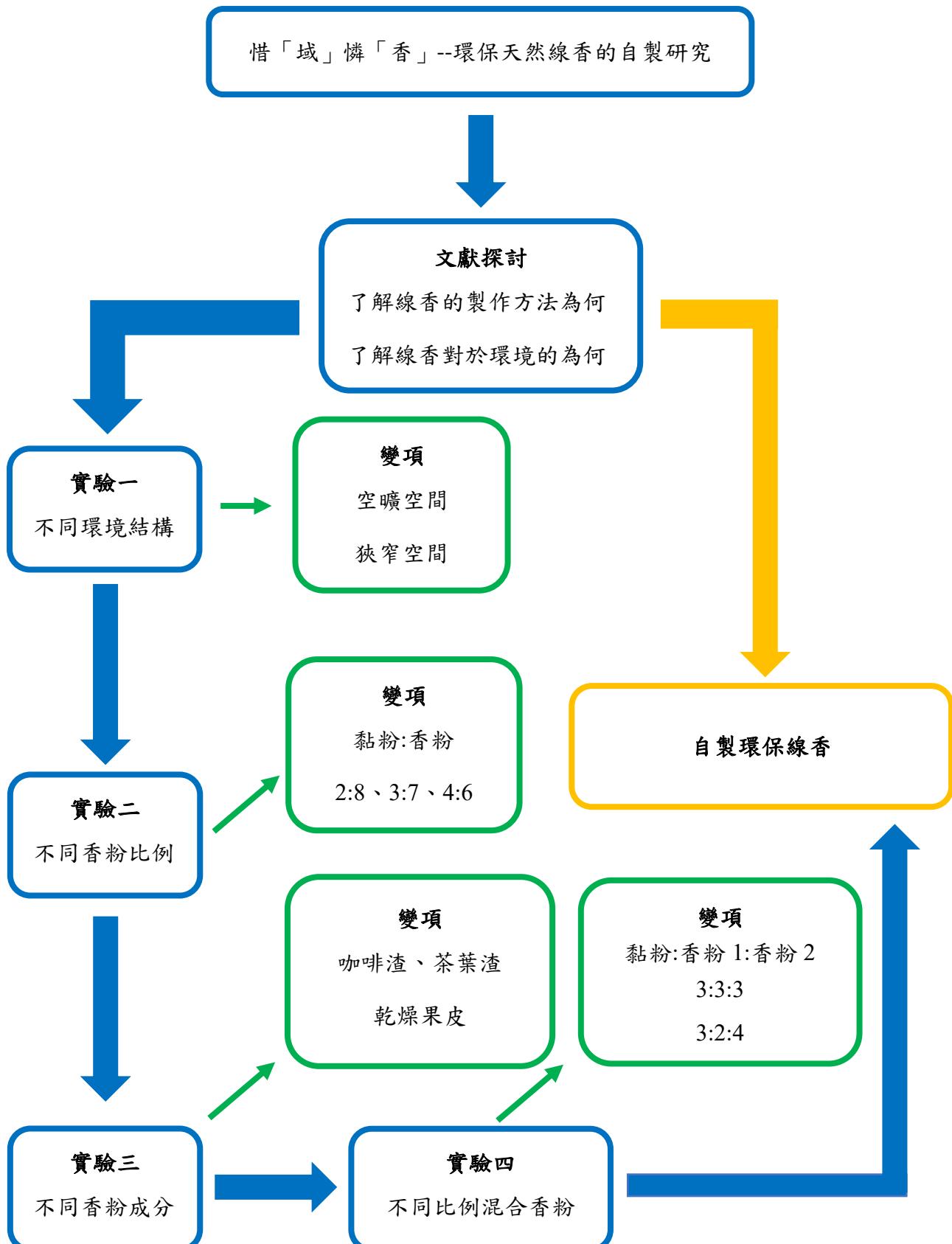


圖 4.1 研究流程示意圖

## 一、文獻探討

而本實驗為了研究如何降低線香所產生的危害，所以除了基本的文獻探討外，還有整理之前人們做的相關實驗，來確保本實驗的獨特性。

表 4.1 文獻探討整理表

文獻	出處	對象	變因	摘要	特色
拜拜的 煙「掰 掰」！	全國 科展 第 53 屆	線香特性 排煙效果	線香種類 抽風機變項 排煙管變項	廟宇排煙研究 影響排煙因素	除了線香特色 外，大都集中在 如何快速將煙 排走
燒好 香，有 保 庇？！	全國 科展 第 60 屆	貝爾斯坦 試驗 不同香徑 大小	不同種類的香品 空氣品質 燃燒產生的氣體	比較實驗屋中密閉與通風環境下，燃燒線 香後的空氣品質變化	主要在檢測及 了解線香燃燒 時的氣體危害
阿嬤的 心願- 多功能 燒香拜 拜神器	全國 科展 第 63 屆	空氣淨化	不同結構空氣淨化 器	自製模型屋、自製空氣清淨機、自製燒香 拜拜神器，線香在拜拜神器內燃燒隔絕外 部對流以降低汙染物對室內影響，利用空 氣品質檢測器，檢測 TVOC、HCHO、CO、 CO <sub>2</sub> 、PM2.5、PM10，共 6 項濃度變化。	設計一台燒香 專用的空氣清 淨機，污染物經 過 HEPA、活性 碳過濾網，降低 室內燒香時的 污染物，達到空 氣品質標準

從上述的文獻探討之後我們發現，大部分跟線香相關的研究，大都集中在燃燒後的汙染及如何排出，而並沒有考慮從源頭去改良線香，使其汙染源減少，所以本研究的主要研究方向為

- (一)、了解不同環境線香的汙染範圍
- (二)、自製不同比例(黏粉與香粉比例)環保天然線香對於環境的影響
- (三)、自製不同替代香粉環保天然線香對於環境的影響
- (四)、自製不同比例混合香粉環保天然線香對於環境的影響

## 二、實驗設計

以下本研究將以實驗目的及待答問題進行實驗設計及實驗操作說明

### 實驗一：不同環境結構對於線香燃燒的影響為何

#### (一) 實驗說明：

為了解不同環境結構組成對於線香燃燒的影響所以設計此實驗

## (二) 實驗目的及步驟:

**實驗目的:**

了解不同線香燃燒對於不同環境結構組成的影響

**實驗步驟:**

**實驗一之一:**

1. 請每位組員及教師準備家裡或者是鄰近空間有的線香。
2. 幫每份線香分別進行外觀、香味、總長、燃燒端長度等描寫。



圖 4.8 線香特色測量示意圖



圖 4.9 線香特色測量示意圖

3. 在空曠空間，每組線香點燃三根後，開始測量其燃燒時間。
4. 輸入到電腦中，了解其燃燒速率，以便後面討論使用。

**實驗一之二**



圖 4.10 實驗場所布置示意圖



圖 4.11 實驗場所布置示意圖

1. 找尋學校建築物內空曠處(為了模擬廟宇廟爐安置位置)，本實驗所模擬之場所長 17m，寬

12m，高度 2.8m。

2. 在其地點中心點用膠帶貼一個十字作為中心點。
3. 以十字為延伸，之後每 50 公分貼上一段記號，總共需要貼得範圍為 150 公分，完成後會是一個大十字型(需在記錄板上標上 A、B、C、D 四個方位以方便測量)。
4. 擺上腳架，將腳架高度拉為 150 公分，並在上面放上立香器，以方便放置線香。
5. 點燃線香，請測量者(全員需配戴口罩)將儀器(本實驗測量 PM2.5)舉到 150 公分處，開始進行測量，以每 10 秒為一個時間節點，開始依照 A、B、C、D 四個方位及 50 公分、100 公分、150 公分，一共 12 個位置進行記錄，且每個地點紀錄 10 次。
6. 將所測得資料輸入電腦，並用 EXCEL 進行計算分析。
7. 再測下一種香之前需先等待 20 分鐘，且用儀器測試過後，回復一般值，才能在測下一種香。

### **實驗一之三**

1. 找尋學校建築物內封閉狹窄處(為了模擬家裡神明廳位置)，本實驗所模擬之場所長 4m，寬 3.7m，高度 2.8m。
2. 在其地點中心點用膠帶貼一個十字作為中心點。
3. 以十字為延伸，之後每 50 公分貼上一段記號，總共需要貼得範圍為 100 公分，完成後會是一個大十字型(需在記錄板上標上 A、B、C、D 四個方位以方便測量)。
4. 擺上腳架，將腳架高度拉為 150 公分，並在上面放上立香器，以方便放置線香。
5. 點燃線香，請測量者(全員需配戴口罩)將儀器(本實驗測量 PM2.5)舉到 150 公分處，開始進行測量，以每 10 秒為一個時間節點，開始依照 A、B、C、D 四個方位及 50 公分、100 公分，一共 8 個位置進行記錄，且每個地點紀錄 10 次。
6. 將所測得資料輸入電腦，並用 EXCEL 進行計算分析。
7. 再測下一種香之前需先等待 20 分鐘，且用儀器測試過後，回復一般值，才能再測下一種香。

### **實驗二：自製不同比例線香並實驗觀察其對環境的影響為何？**

#### **(一) 實驗說明：**

為了解不同比例香粉及黏粉對於環境汙染的影響所以設計此實驗

## (二) 實驗目的及步驟:

**實驗目的:**

了解不同比例黏粉及香粉(2:8、3:7、4:6)

**實驗步驟:**

1. 先準備鐵盤並裝上適量黏粉(以總重 10g，如果是 2:8，黏粉為 2g、比例 3:7，黏粉為 3g、比例 4:6，黏粉為 4g)。
2. 而後加入適量檀香粉(以總重 10g，如果是 2:8，香粉為 8g、比例 3:7，香粉為 7g、比例 4:6，香粉為 6g)



圖 4.12 不同比例實驗示意圖



圖 4.13 不同比例實驗示意圖

3. 加入適當水並攪拌成團(水分之後會抽掉並不影響)。
4. 放入擠香器，並慢慢轉動，使其成香在香盤上。
5. 將香盤上的成香，利用刀具或尺切割製一定程度。



圖 4.14 不同比例實驗示意圖



圖 4.15 不同比例實驗示意圖

6. 放在太陽下曝曬，而後放入保鮮盒中(須放置乾燥袋以吸水)
7. 兩天後確保其完全乾燥後，便可以以實驗一之三的方式測其特性。

### 實驗三：自製不同替代香粉環保天然線香對於環境的影響？

#### (二) 實驗說明：

為了解不同替代香粉及與黏粉比例對於環境汙染的影響所以設計此實驗

#### (二) 實驗目的及步驟：

##### 實驗目的：

了解不同比例黏粉(2:8、3:7、4:6)及替代香粉(咖啡渣粉、茶葉渣粉、橘子皮粉)

##### 實驗步驟：

1. 我們事先向附近的咖啡店及手搖飲店詢問是否可以給我們單一品種的咖啡渣及茶葉渣，以及另用我們午餐水果的果皮(橘子)來製作。
2. 我們先將原料(咖啡渣、茶葉渣、橘子皮)分批放入食材烘乾機內，根據果乾的製作要求建議，利用 75 度烘乾 12 小時。
3. 烘乾 12 小時後，將其取出利用破壁機攪打 5 分鐘，並利用篩網過篩，只取其細緻且一致的部分。
4. 使用實驗二的製作不同比例的方式製作手工線香，並使用實驗一之三方式進行測量。



圖 4.16 替代香粉實驗示意圖



圖 4.17 替代香粉實驗示意圖

### 實驗四：自製不同比例混合香粉環保天然線香對於環境的影響？

#### (三) 實驗說明：

為了解不同比例自製香粉及與黏粉比例對於環境汙染的影響所以設計此實驗

## (二) 實驗目的及步驟:

### 實驗目的:

了解不同比例黏粉:香粉 1:香粉 2(3:3:3、3:2:4)的影響

### 實驗步驟:

- 我們將實驗三所製作的香粉，根據實驗三的結果調製比例並依實驗二的方法進行製作。
- 並於線香完成後觀察，並使用實驗一之三方式進行測量。

## 伍、研究結果及討論

以下研究結果部分，將以回答待答問題的方式來進行討論本研究的結果

### 一、不同環境結構對於線香燃燒的影響為何？

本問題將以實驗一之一至一之三的實驗成果來回答，以下將先以表格呈現我們觀察到的線香特徵。

表 5.3 不同線香特色及燃燒速率表

	香寬	香長	總長	香味	燃燒時間	底面積	體積	燃燒速率
麻園 福龍宮	2.68	28	39	清香	64.33	22.55	631.48	9.82
北和宮	3.18	36	48	木頭香	65.67	31.75	1143.11	17.41
鎮安宮 (粗)	2.79	29	40	中藥香	67.33	24.44	708.82	10.53
鎮安宮 (細)	2.01	29	40	中藥香	61.33	12.69	367.89	6.00
富山 檀香	2.59	29	39.5	島沉香	62.33	21.06	610.84	9.80
無極 廣聖宮	3.37	36	48.5	藥味香	98.67	35.66	1283.78	13.01
正老山 檀香	2.8	29	39.8	沒味道	46	24.62	713.91	15.52
自然 教室	2.16	29	40	中藥味	65	14.65	424.85	6.54

### 觀察與討論

- 實驗一，將測量的數據，列為表 5.1(詳情請見附件或實驗記錄或實驗記錄)，並配合所觀察到的質性資料，及數學算式(底面積\*長度)算出體積後，並配合表 5.2(詳情請見附件或實驗

記錄)的燃燒時間算出燃燒速率(單位:立方公分/分)並填寫於表 5.3。

4. 從表 5.3 中，我們可以清楚看到，並不是每一種線香的燃燒速率都是一樣，而這讓我們非常驚訝，由於在包裝上面，許多種線香的成分都是一樣的，但是其燃燒速率卻都不同(實驗之前有統一隔離濕空氣保存)，我們從此推論，除了主成分外，其比例或製作方法會影響到線香的燃燒速率或特性，而並不完全是由文獻上所說是由線香的直徑決定。

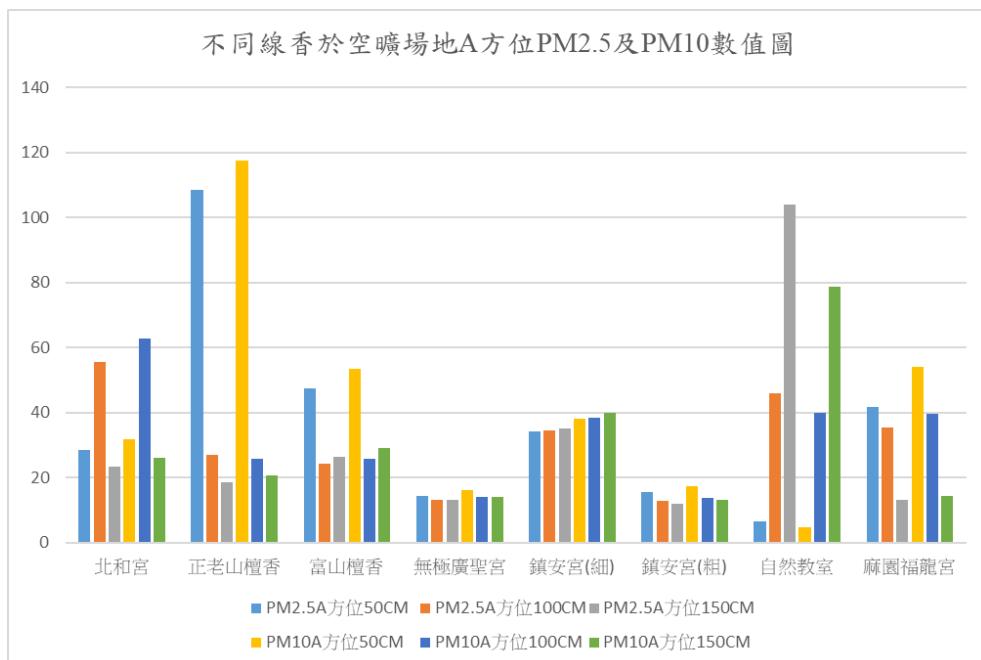


圖 5.1 不同線香開闊空間 A 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

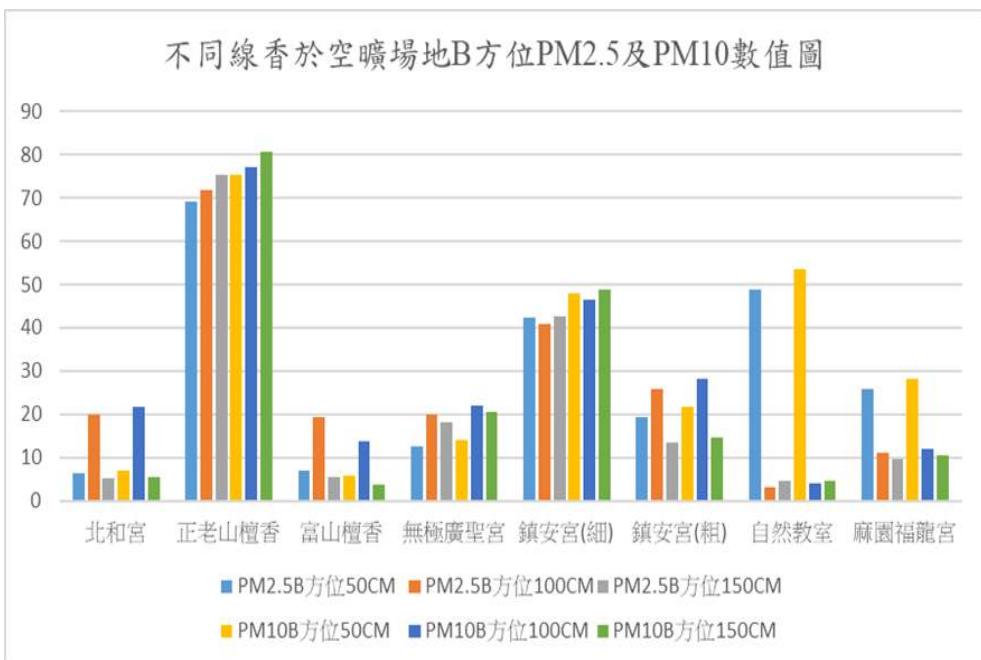


圖 5.2 不同線香開闊空間 B 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

## 觀察與討論

- 我們從實驗一之二中的結果平均可以繪製成表 5.4 至表 5.28(詳情請見附件或實驗記錄)，且透過整理先將平均製成表 5.29 至表 5.36(詳情請見附件或實驗記錄)，將其整理成表 5.37 表 5.38 表 5.39 及表 5.40(詳情請見附件或實驗記錄)，而後繪製成圖 5.1、圖 5.2、圖 5.3、圖 5.4 及圖 5.5 以方便進行討論及說明。

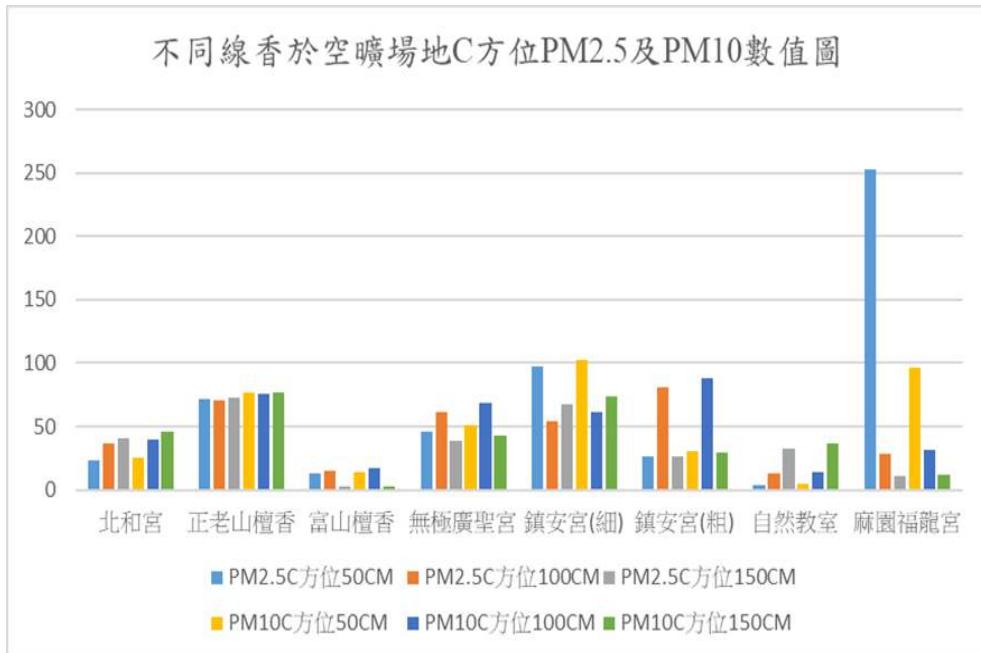


圖 5.3 不同線香開闊空間 C 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

- 根據表 5.3 及圖 5.1、圖 5.2、圖 5.3、圖 5.4 及圖 5.5，我們原本預估燃燒速率越大的其對於環境的污染會越嚴重，但是從上述實驗中並不是如此，我們發現對於汙染環境越嚴重的應該是香的材質而非其燃燒速率。
- 我們從圖 5.1、圖 5.2、圖 5.3、圖 5.4 及圖 5.5 中我們可發現由於本實驗於空曠場地，所以其每支線香的懸浮微粒會隨風向因時間改變，在本實驗中根據他們所排放出來的懸浮微粒情形，對於環境影響最大的是正老山檀香及麻園福龍宮的線香，其數值明顯要高於其他線香，另外我們從此圖表有發現，並不是離香越近其懸浮微粒數值就越高，我們推論根據香的材質而有所變化，有些香的懸浮微粒高點反而是在 100 公分處甚至是在 150 公分處。
- 從上述圖表中我們可以發現通常 PM2.5 數值較高的線香 PM10 的數值也一樣會較高，但是決定何者較多的重要原因，經過我們討論後，我們推論是香的材質會去決定其哪懸浮微粒

較多，另外觀察各方位圖表中我們發現並不像我們所想像的距離越近則懸浮微粒越多這樣的狀態是絕對的，有非常多根線香的累積最大值是在 100 公分左右，而我們經過討論後也推論這與材質有較大的關係。

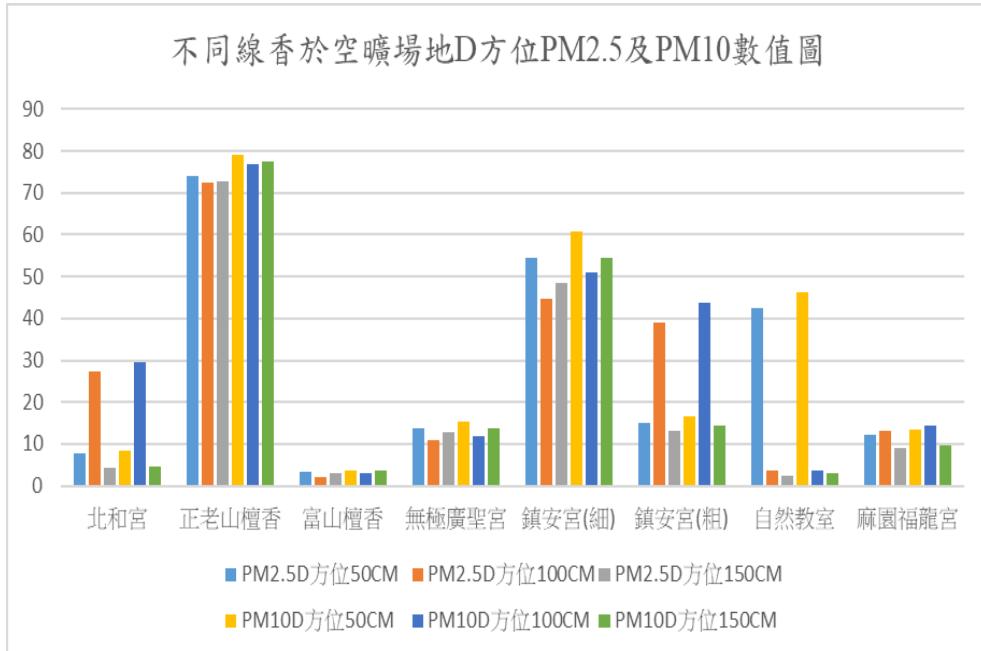


圖 5.4 不同線香開闊空間 D 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

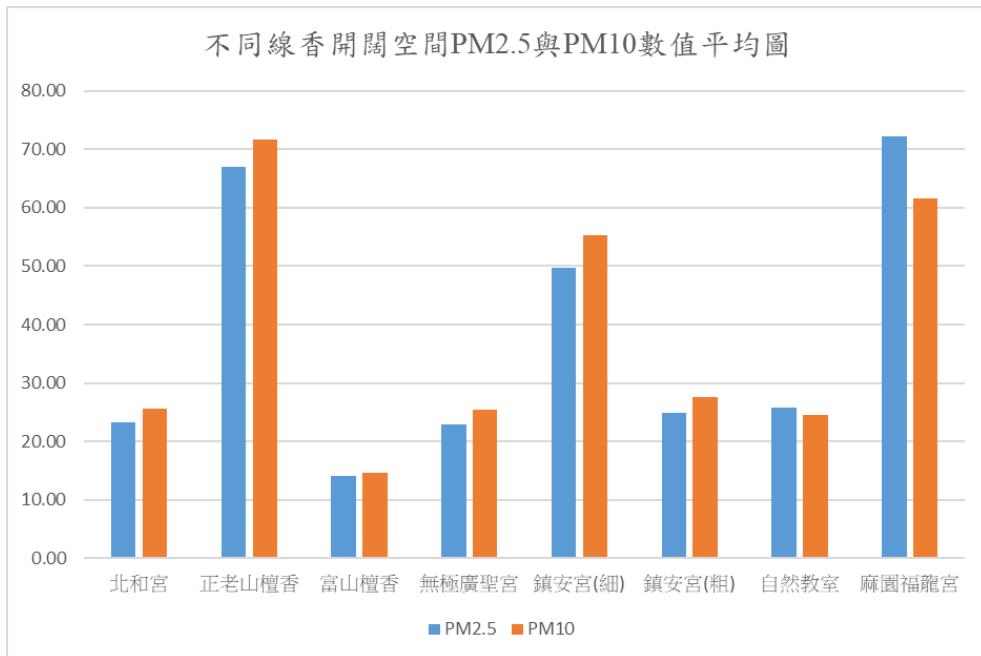


圖 5.5 不同線香開闊空間 PM2.5 與 PM10 數值平均圖

以下將由實驗一之三的實驗成果來呈現，由於數據過於繁雜，在此只有呈現各方位位置平均值，數值原始請詳見附件或實驗記錄

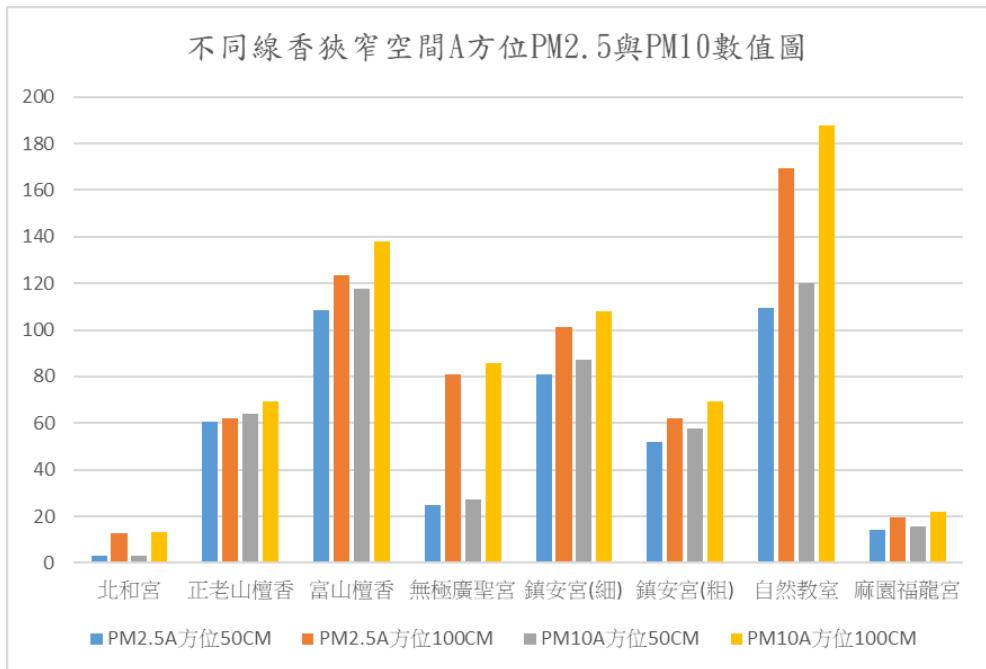


圖 5.6 不同線香狹窄空間 A 方位 PM2.5 與 PM10 變化圖

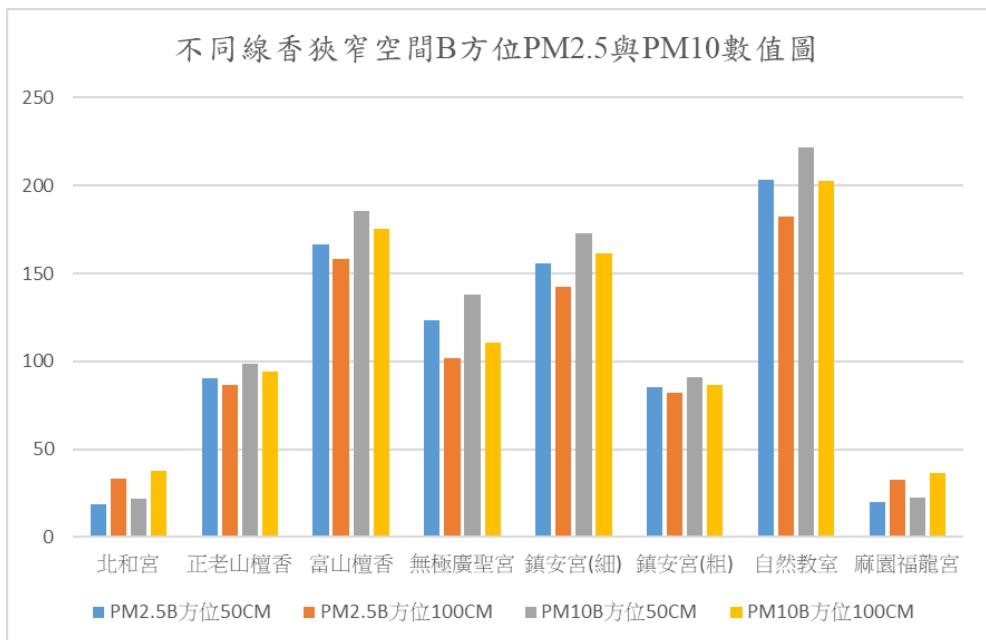


圖 5.7 不同線香狹窄空間 B 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

## 觀察與討論

- 我們從實驗一之二中的結果平均可以繪製成表 5.41 至表 5.56(詳情請見附件或實驗記錄)，且透過整理先將平均繪製成表 5.57 至表 5.65，我們將其結果整理成表 5.66 表 5.67 表 5.68 及表 5.69 而後繪製成圖 5.6、圖 5.7、圖 5.8、圖 5.9 及圖 5.10 以方便進行討論及說明。
- 我們從圖 5.6、圖 5.7、圖 5.8、圖 5.9 及圖 5.10 中我們可發現由於本實驗於狹窄場地，所以其每支線香的懸浮微粒與在空曠場地不一樣，從圖中我們可以看到類似懸浮微粒淤積的

狀況出現，在本實驗中根據他們所排放出來的懸浮微粒情形，對於每支線香對於環境的影響都直線上升，另外我們從此圖表有發現，並不是離香越近其懸浮微粒數值就越高，我們推論根據香的材質及燃燒後的物質而有所變化，有些香的懸浮微粒高點反而是在 100 公分處淤積較多。

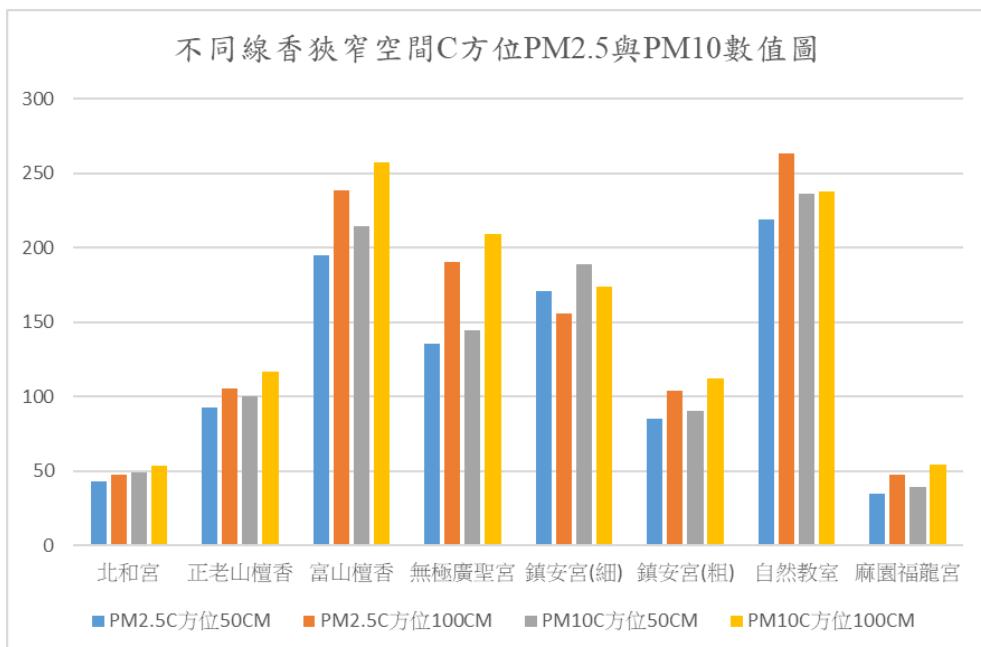


圖 5.8 不同線香狹窄空間 C 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

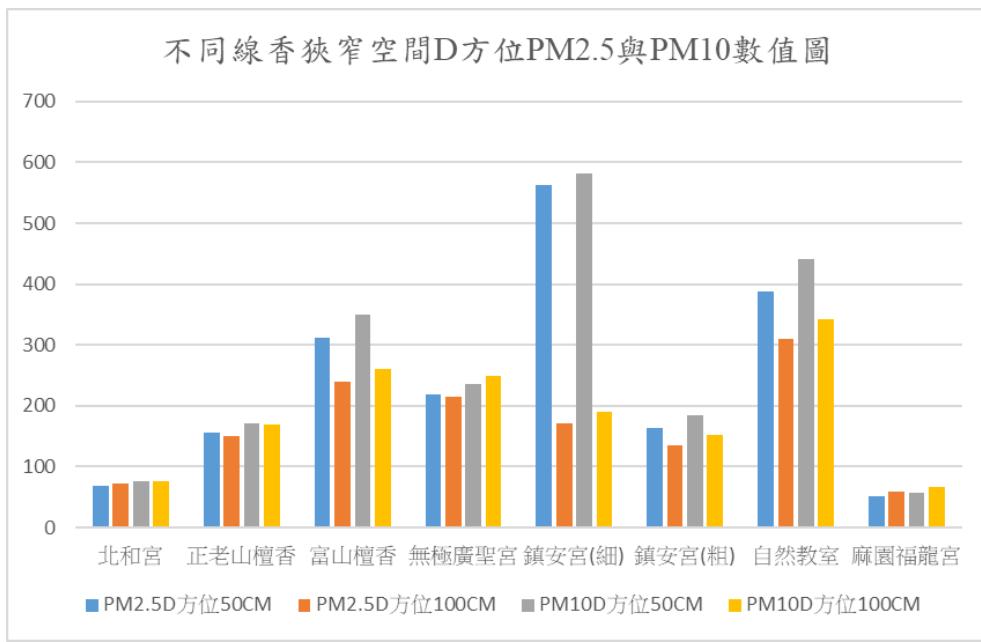


圖 5.9 不同線香狹窄空間 D 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

3. 另外與實驗一之二一樣，我們原本預估燃燒速率越大的其對於環境的污染會越嚴重，但是從上述實驗中並不是如此，我們發現對於汙染環境越嚴重的應該是香的材質而非其燃燒

速率。

4. 從圖 5.6、圖 5.7、圖 5.8、圖 5.9 及圖 5.10 中，我們很明顯看到狹窄空間對於懸浮微粒的影響有多麼龐大，原本在空曠場域測量表現良好的線香一下子就變得會給環境帶來嚴重汙染，所以也可以理解為什麼這麼多的研究為何都跟排煙有關。

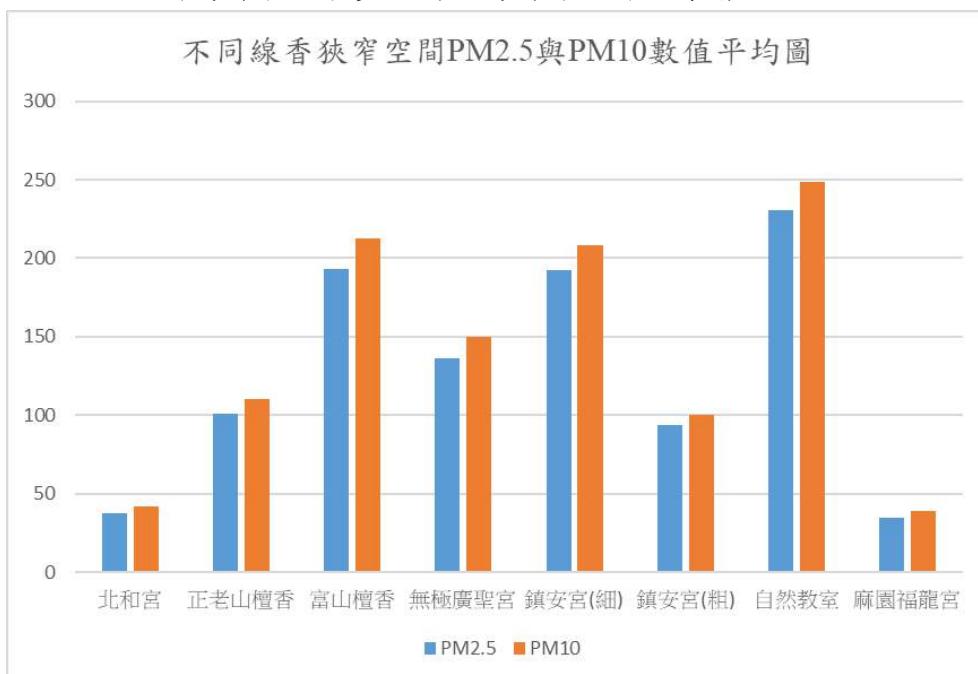


圖 5.10 不同線香狹窄空間 PM2.5 與 PM10 數值平均圖

## 二、自製不同比例線香並實驗觀察其對環境的影響為何？

本問題將以實驗二的實驗成果來回答，本實驗是以不同黏粉及香粉做比例上的調整去自製(本實驗後面比例式，前者皆為黏粉，後者為香粉，分別為 2:8、3:7、4:6)

表 5.79 自製不同比例線香於狹窄場地 A 方位 PM2.5 及 PM10 數值比較表

	比例 2:8	比例 3:7	比例 4:6
PM2.5A 方位 50CM	299.7	2.3	33.1
PM2.5A 方位 100CM	102.3	74.3	15.4
PM10A 方位 50CM	320.6	3.1	37.2
PM10A 方位 100CM	112	80.4	17.2

單位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

表 5.80 自製不同比例線香於狹窄場地 B 方位 PM2.5 及 PM10 數值比較表

	比例 2:8	比例 3:7	比例 4:6
PM2.5B 方位 50CM	272.3	145.3	49.5
PM2.5B 方位 100CM	158.9	140	62.7
PM10B 方位 50CM	298.6	160.2	56.7

PM10B 方位 100CM	175.3	152.7	63.8
單位: $\mu\text{g}/ \text{m}^3$			

表 5.81 自製不同比例線香於狹窄場地 C 方位 PM2.5 及 PM10 數值比較表

	比例 2:8	比例 3:7	比例 4:6
PM2.5C 方位 50CM	582.8	145.1	70.1
PM2.5C 方位 100CM	225.3	162.8	81.3
PM10C 方位 50CM	646.1	161.5	76
PM10C 方位 100CM	241.9	181.2	96.8
單位: $\mu\text{g}/ \text{m}^3$			

表 5.82 自製不同比例線香於狹窄場地 D 方位 PM2.5 及 PM10 數值比較表

	比例 2:8	比例 3:7	比例 4:6
PM2.5D 方位 50CM	704.6	271.5	114.1
PM2.5D 方位 100CM	358.8	232.3	97.6
PM10D 方位 50CM	715.2	298.4	124.8
PM10D 方位 100CM	396.3	254.5	104.6
單位: $\mu\text{g}/ \text{m}^3$			

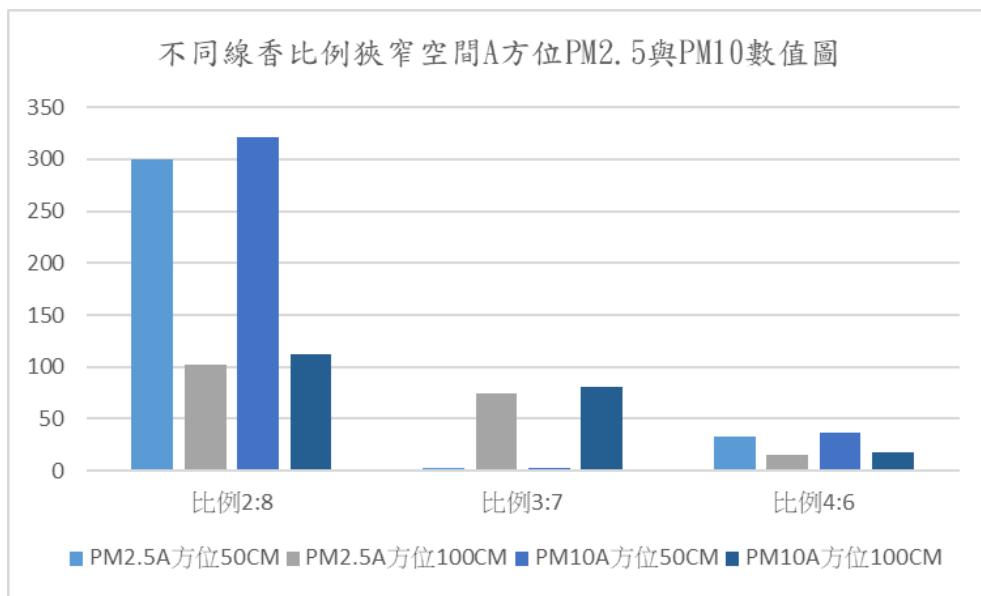


圖 5.11 不同線香比例狹窄空間 A 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

### 觀察與討論

1. 我們從實驗二中的結果平均可以繪製成表 5.70 至表 5.75(詳情請見附件或實驗記錄), 且透過整理製

成表 5.76、表 5.77、表 5.78(詳情請見附件或實驗記錄), 我們再將其結果統合繪製成表 5.79、

表 5.80、表 5.81、表 5.82，再將其繪製成圖 5.11、圖 5.12、圖 5.13、圖 5.14 及圖 5.15 以方便討論。

2. 我們從圖 5.11、圖 5.12、圖 5.13、圖 5.14 及圖 5.15 可以非常明顯的發現，香粉的比例是決定線香對於環境影響程度最大的變項，另外我們可以對比之前同樣是狹窄空間中市售線香對於環境的影響來看，我們所製作的黏粉、香粉比例 2:8 的線香，對環境影響非常明顯。

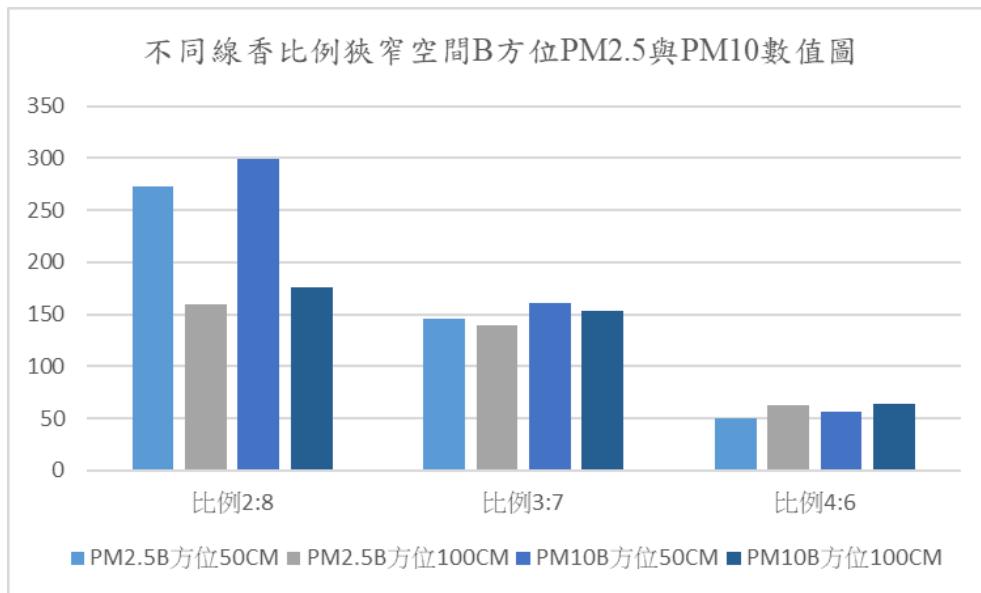


圖 5.12 不同線香比例狹窄空間 B 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

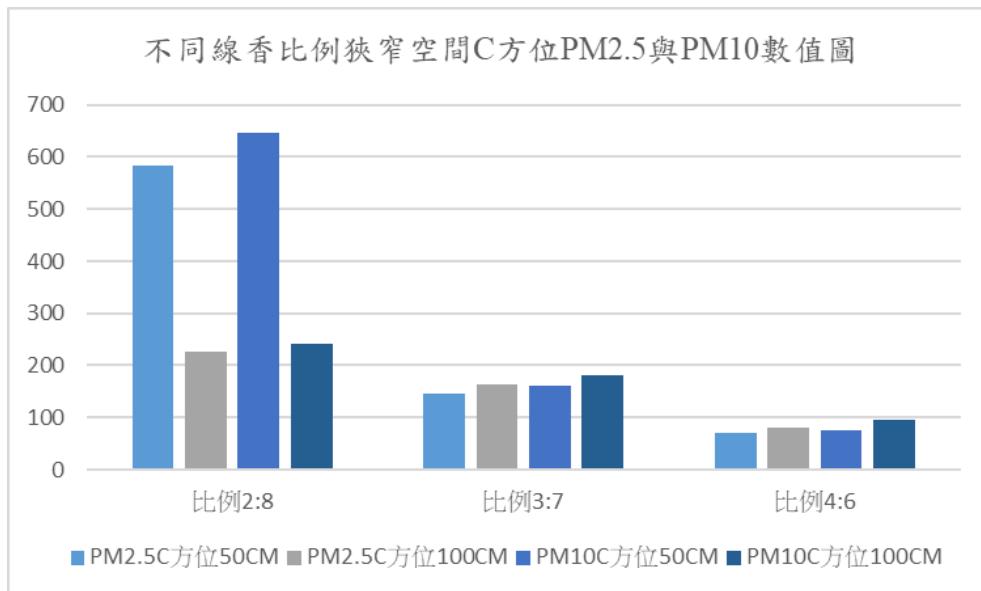


圖 5.13 不同線香比例狹窄空間 C 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

3. 我們從圖 5.11、圖 5.12、圖 5.13、圖 5.14 及圖 5.15 可以觀察到，線香中的成分會大大影響其懸浮微粒飄散的距離，在本研究中，我們發現香粉越多，在越靠近香時，其懸浮微粒指數是最高的，而不像是我們之前所的線香會有中間 100 公分是最高點的淤積情形，

我們推論，可能是我們的製作材料與市售線香不同的緣故。

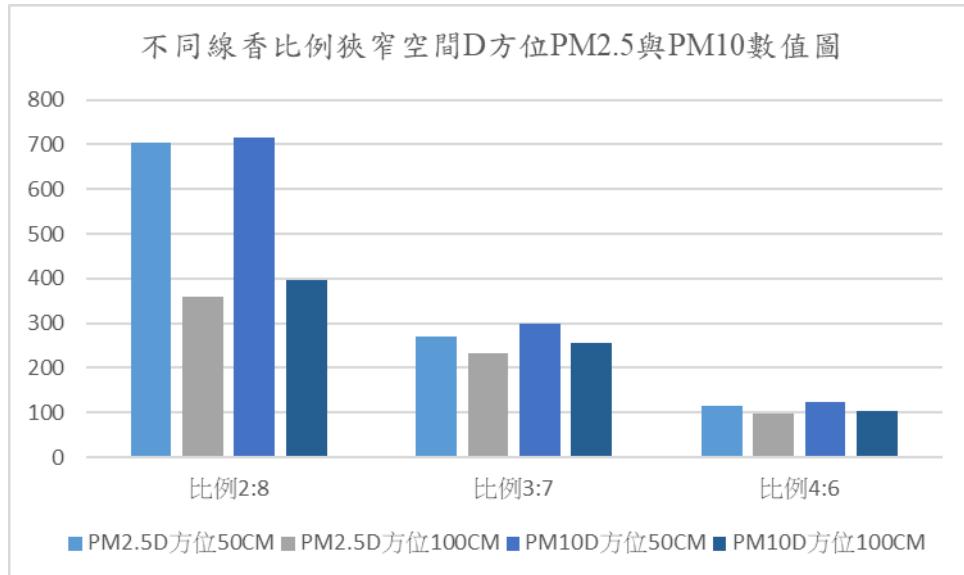


圖 5.14 不同線香比例狹窄空間 D 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

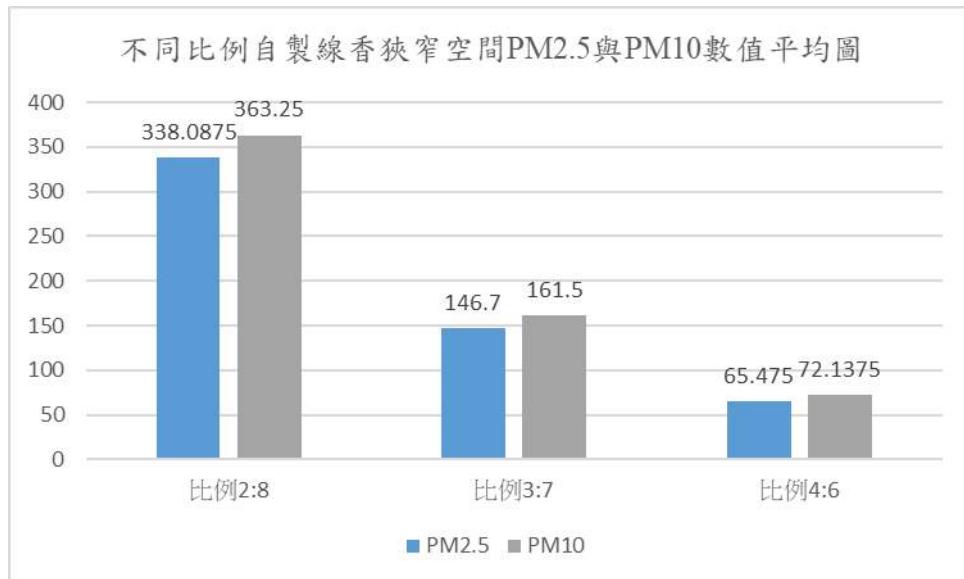


圖 5.15 不同比例自製線香狹窄空間 PM2.5 與 PM10 數值平均圖

### 三、自製不同替代香粉環保天然線香對於環境的影響

本問題將以實驗三的實驗來回答，本實驗是以不同香粉(咖啡渣粉、茶葉渣粉、橘子皮粉)做比例上的調整去自製(本實驗比例式，前者皆為黏粉，後者為香粉，分別為 2:8、3:7、4:6)

表 5.110 自製不同材質比例線香於狹窄場地 A 方位 PM2.5 及 PM10 數值比較表

	咖啡粉 2:8	咖啡粉 3:7	咖啡粉 4:6	茶粉 2:8	茶粉 3:7	茶粉 4:6	橘子粉 2:8	橘子粉 3:7	橘子粉 4:6
<b>PM2.5A</b>									
方位	326.1	98.6	49.5	59.3	45.9	55.78	31.2	17.2	41
50CM									

PM2.5A									
方位	159.5	142.5	94.3	61.7	103.3	73.3	57.2	22.8	69.2
100CM									
PM10A									
方位	339.4	109	56.2	67.4	50.4	62.33	35.6	19.2	47
50CM									
PM10A									
方位	175.5	159.2	103.1	69.5	115.2	78.1	53.8	25.8	75.4
100CM									
單位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$									

表 5.111 自製不同材質比例線香於狹窄場地 B 方位 PM2.5 及 PM10 數值比較表

	咖啡粉 2:8	咖啡粉 3:7	咖啡粉 4:6	茶粉 2:8	茶粉 3:7	茶粉 4:6	橘子粉 2:8	橘子粉 3:7	橘子粉 4:6
PM2.5B									
方位	164.5	125.9	220.5	102.9	136.3	77.4	99.5	82.1	87.8
50CM									
PM2.5B									
方位	229.7	135.8	120.7	191.3	116.1	82.1	91.9	73.9	92.3
100CM									
PM10B									
方位	182.7	136.6	233.8	114.3	150.7	162	112.5	91.9	94.6
50CM									
PM10B									
方位	248.9	154.9	129.4	206.6	127.9	86.8	98.5	82.3	98.9
100CM									
單位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$									

表 5.112 自製不同材質比例線香於狹窄場地 C 方位 PM2.5 及 PM10 數值比較表

	咖啡粉 2:8	咖啡粉 3:7	咖啡粉 4:6	茶粉 2:8	茶粉 3:7	茶粉 4:6	橘子粉 2:8	橘子粉 3:7	橘子粉 4:6
PM2.5C									
方位	257.6	431.8	136.1	127	101.3	240.64	122.7	72.6	87.3
50CM									
PM2.5C									
方位	302.1	158.3	145.9	105.1	157.4	134.5	124.7	83	91
100CM									
PM10C	284.4	449.7	151.7	134.2	108.6	254.1	130.1	78.8	94.7

方位								
50CM								
PM10C								
方位	339.4	174.8	163.1	112.9	175.4	149.4	150.5	87.6
100CM								98.1
								單位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

表 5.113 自製不同材質比例線香於狹窄場地 D 方位 PM2.5 及 PM10 數值比較表

	咖啡粉 2:8	咖啡粉 3:7	咖啡粉 4:6	茶粉 2:8	茶粉 3:7	茶粉 4:6	橘子粉 2:8	橘子粉 3:7	橘子粉 4:6
PM2.5D									
方位	841.8	238.5	167.9	140.1	108.3	170.8	152	88.8	84.5
50CM									
PM2.5D									
方位	302.2	188.1	183.2	151.6	166.5	145.4	157.8	93.2	86.1
100CM									
PM10D									
方位	886	263.5	187.3	158.8	117.7	189.7	166.9	96.8	89.2
50CM									
PM10D									
方位	341.5	207.7	203.2	168.5	184.6	161.2	173.9	104.8	90.2
100CM									
									單位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

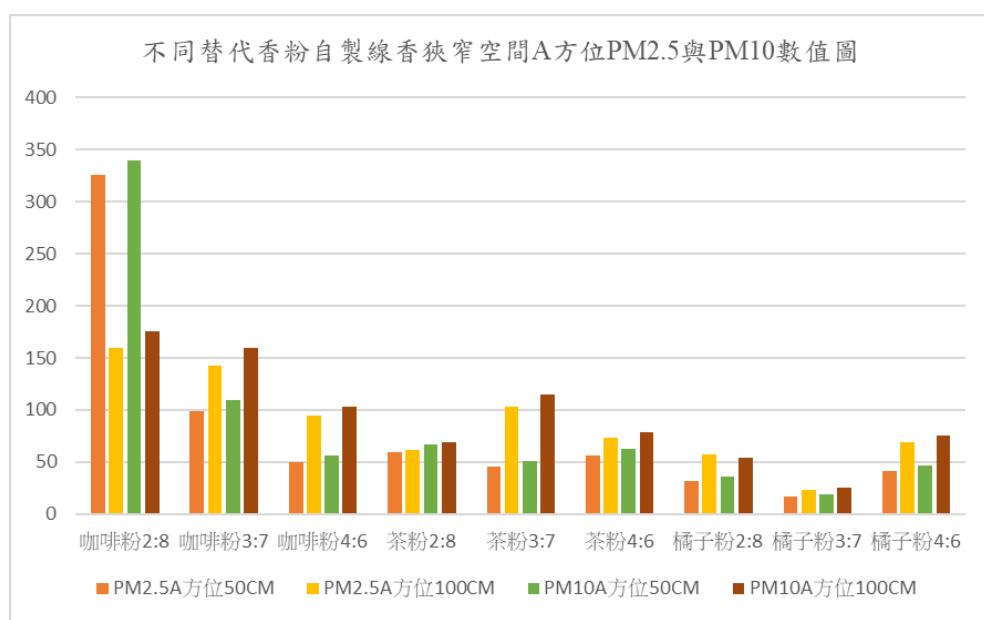


圖 5.16 不同替代香粉自製線香狹窄空間 A 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

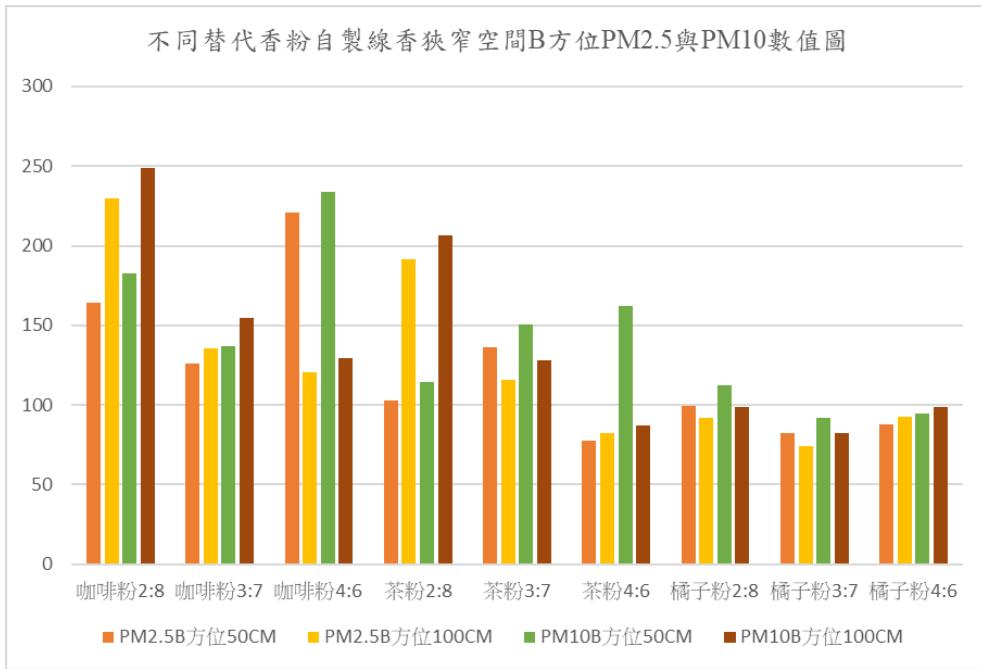


圖 5.17 不同替代香粉自製線香狹窄空間 B 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

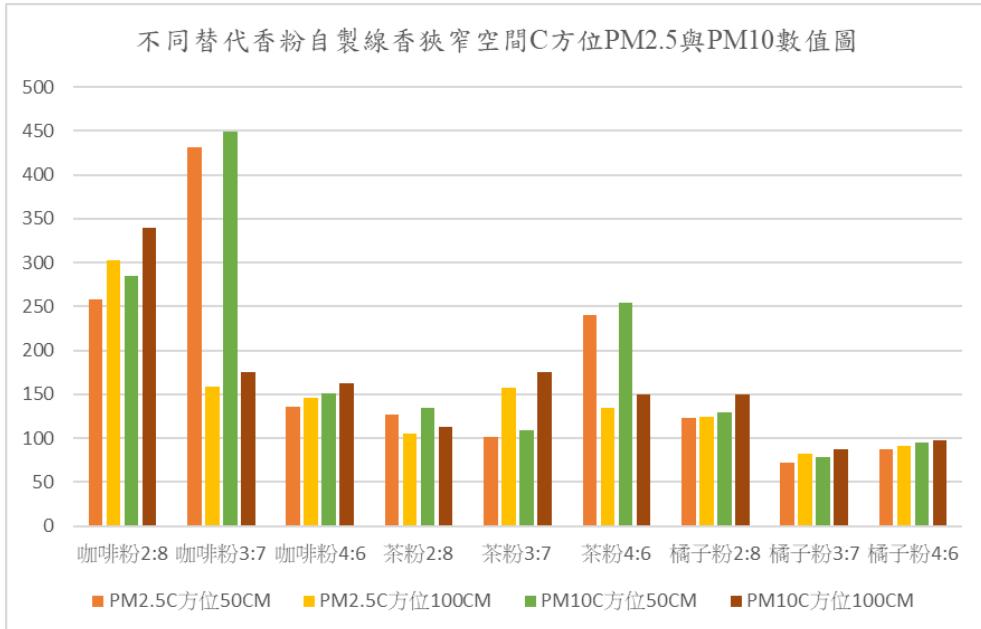


圖 5.18 不同替代香粉自製線香狹窄空間 C 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

## 觀察與討論

- 我們從實驗三中的結果平均可以繪製成表 5.83 至表 5.100(詳情請見附件或實驗記錄)，且透過整理製成表 5.101 至表 5.109(詳情請見附件或實驗記錄)，我們再將其結果統合繪製成表 5.110、表 5.111、表 5.112、表 5.113，再將其意涵繪製成圖 5.16、圖 5.17、圖 5.18、圖 5.19 及圖 5.20 以方便進行討論。

從圖 5.16、圖 5.17、圖 5.18、圖 5.19 及圖 5.20 中我們可以清楚地發現，香粉的多寡不只會影響像煙所產生的懸浮微粒，其成分更是會影響懸浮微粒的多寡，但在本實驗中卻有發現並不是香粉越多懸浮微粒越多的狀態，例如說本實驗中以茶粉為香粉的線香製作，卻是黏粉多到一定程度時才會幫助其燃燒，經過我們推論後，我們認為就算我們已經磨成細粉，但是粉末原本的特性還是會留下來，所以在這邊也教會我們在製作自製線香香粉時，需要抽出時間去了解不同香粉的不同化學性質。

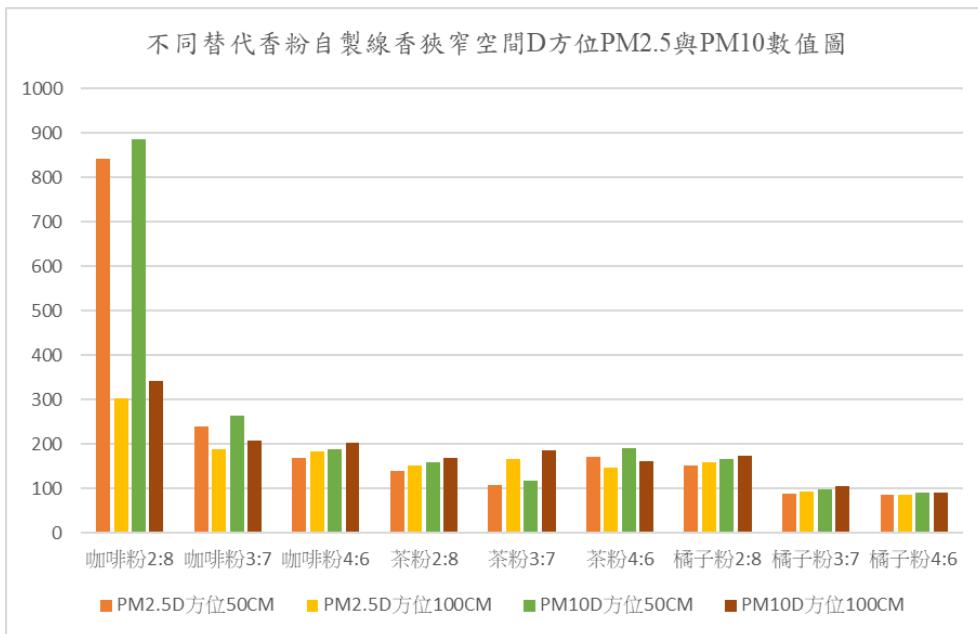


圖 5.19 不同替代香粉自製線香狹窄空間 D 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

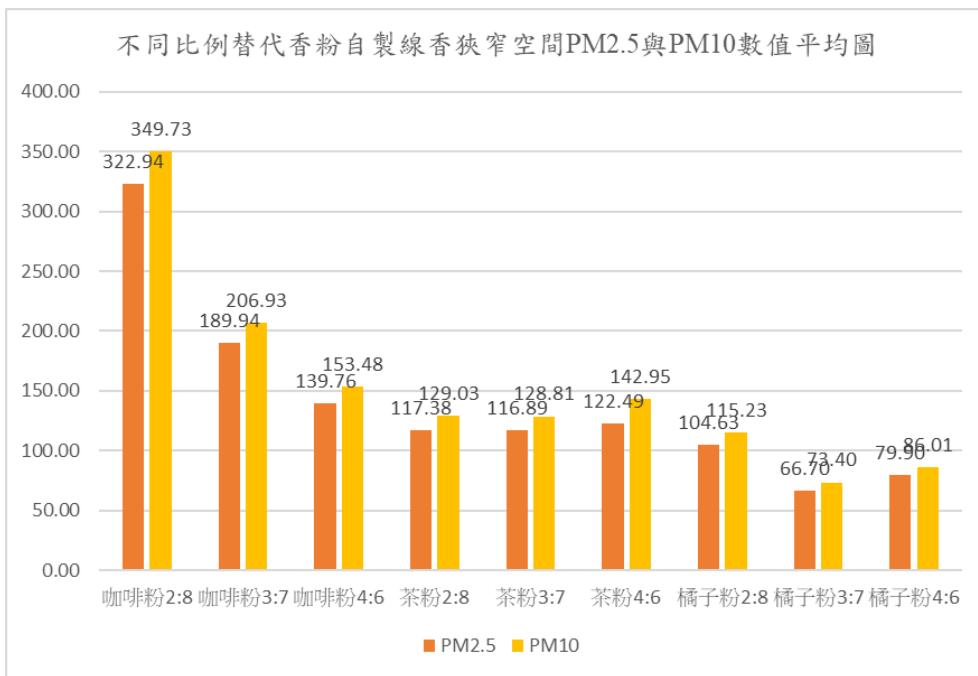


圖 5.20 不同比例替代香粉自製線香狹窄空間 PM2.5 與 PM10 數值平均圖

2. 在本實驗中，我們有將各個自製香粉的特色整理成下表 5.114，且有算出其燃燒速率如表 5.115，該資訊如下：

表 5.114 不同自製香粉製作比例線香特色表

	黏粉香粉比例 2:8	黏粉香粉比例 3:7	黏粉香粉比例 4:6
檀香	燃燒味道最濃	燃燒時有檀香的味道	燃燒時檀香味最淡
	易碎	比較硬、顏色較淡	冒煙較少
	外表較為粗糙	表面較為光滑	顏色較深
咖啡	未燃燒有股煙熏味	未燃燒有股煙熏味	未燃燒有股煙熏味
	烤肉味極濃	烤焦碳香味	較淡的烤石頭味
	非常易碎	易碎	顏色較濃
茶葉	顏色較深	較為粗糙	較為粗糙
	燃燒有較香的烤焦味	顏色較深	顏色較淡
	味道淡、易熄	味道淡、易熄	味道淡、易熄
橘子	外表較為細緻	顆粒較粗	外表較為粗糙
	燃燒時有煙燻味	燃燒時有煙燻味	燃燒時有煙燻味
	無味道、不易斷	無味道、不易斷	無味道、不易斷
果皮	纖維較細	纖維較細	纖維較細
	易熄	易熄	易熄

表 5.115 不同自製香粉製作比例線香燃燒速率表

	燃燒長度	底面積	體積	燃燒時間(分)	燃燒速率
咖啡 2:8	3.03	3.14	9.52	5	1.90493
咖啡 3:7	2.43	3.14	7.64	5	1.52813
咖啡 4:6	1.83	3.14	5.75	5	1.15133
茶葉 2:8	2.40	3.14	7.53	5	1.5072
茶葉 3:7	2.00	3.14	6.28	5	1.256
茶葉 4:6	3.00	3.14	9.42	5	1.884
橘子 2:8	2.90	3.14	9.10	5	1.8212
橘子 3:7	2.67	3.14	8.37	5	1.67467
橘子 4:6	2.10	3.14	6.59	5	1.3188

3. 根據上述的圖表及實驗中的紀錄，我們發現以咖啡渣粉作為香粉時，其線香可以持續燃燒，但如果是以茶葉渣粉作為香粉，我們發現它會常常熄滅，我們需要常常去幫其點燃，而在橘子皮粉則是我們最大的驚奇，它的懸浮微粒量在我們的自製香粉中極低，且不像茶葉粉那樣需要持續幫忙點燃，但是我們比較訝異的是做出來的香粉不一定擁有物品原本擁有的味道，我們推論是因為我們的香粉大都留下纖維或粉末，而這些物品的味道可能伴隨著水分消散了，如有需求可以找原本就含有味道的物品作為香粉原料。

#### 四、自製不同比例混合香粉環保天然線香對於環境的影響

本問題將以實驗四的實驗成果來回答，本實驗是以不同香粉比例，依照實驗的燃燒結果，我們決定採用香粉 1:檜木粉及香粉 2:橘子皮粉來做為實驗變項並依照黏粉:香粉 1:香粉 2 的比例變項:3:3:3 及 3:2:4 來進行實驗。

表 5.122 自製不同香粉比例線香於狹窄場地 A 方位 PM2.5 及 PM10 數值比較表

	比例 3:3:3	比例 3:2:4
PM2.5A 方位 50CM	64.1	148.4
PM2.5A 方位 100CM	85.8	115.7
PM10A 方位 50CM	71.1	163.6
PM10A 方位 100CM	95	128.5

單位:  $\mu\text{g}/ \text{m}^3$

表 5.123 自製不同香粉比例線香於狹窄場地 B 方位 PM2.5 及 PM10 數值比較表

	比例 3:3:3	比例 3:2:4
PM2.5B 方位 50CM	159.3	56.5
PM2.5B 方位 100CM	112.7	59.7
PM10B 方位 50CM	179.8	61.7
PM10B 方位 100CM	113.4	67.8

單位:  $\mu\text{g}/ \text{m}^3$

表 5.124 自製不同香粉比例線香於狹窄場地 C 方位 PM2.5 及 PM10 數值比較表

	比例 3:3:3	比例 3:2:4
PM2.5C 方位 50CM	131.1	115.7
PM2.5C 方位 100CM	131.5	90.3
PM10C 方位 50CM	145	126.2
PM10C 方位 100CM	145.2	96.9

單位:  $\mu\text{g}/ \text{m}^3$

表 5.125 自製不同香粉比例線香於狹窄場地 D 方位 PM2.5 及 PM10 數值比較表

	比例 3:3:3	比例 3:2:4
PM2.5D 方位 50CM	170.3	106.4
PM2.5D 方位 100CM	137.7	100
PM10D 方位 50CM	189.8	116
PM10D 方位 100CM	156	109.4

單位:  $\mu\text{g}/ \text{m}^3$

### 觀察與討論

1. 我們從實驗四中的結果平均可以繪製成表 5.116 至表 5.119(詳情請見附件或實驗記錄)，且透過整理製

成表 5.120 至表 5.121(詳情請見附件或實驗記錄)，我們再將其結果統合繪製成表 5.122、表 5.123、表 5.124、表 5.125，再將其意涵繪製成圖 5.21 及圖 5.22 以方便進行討論。

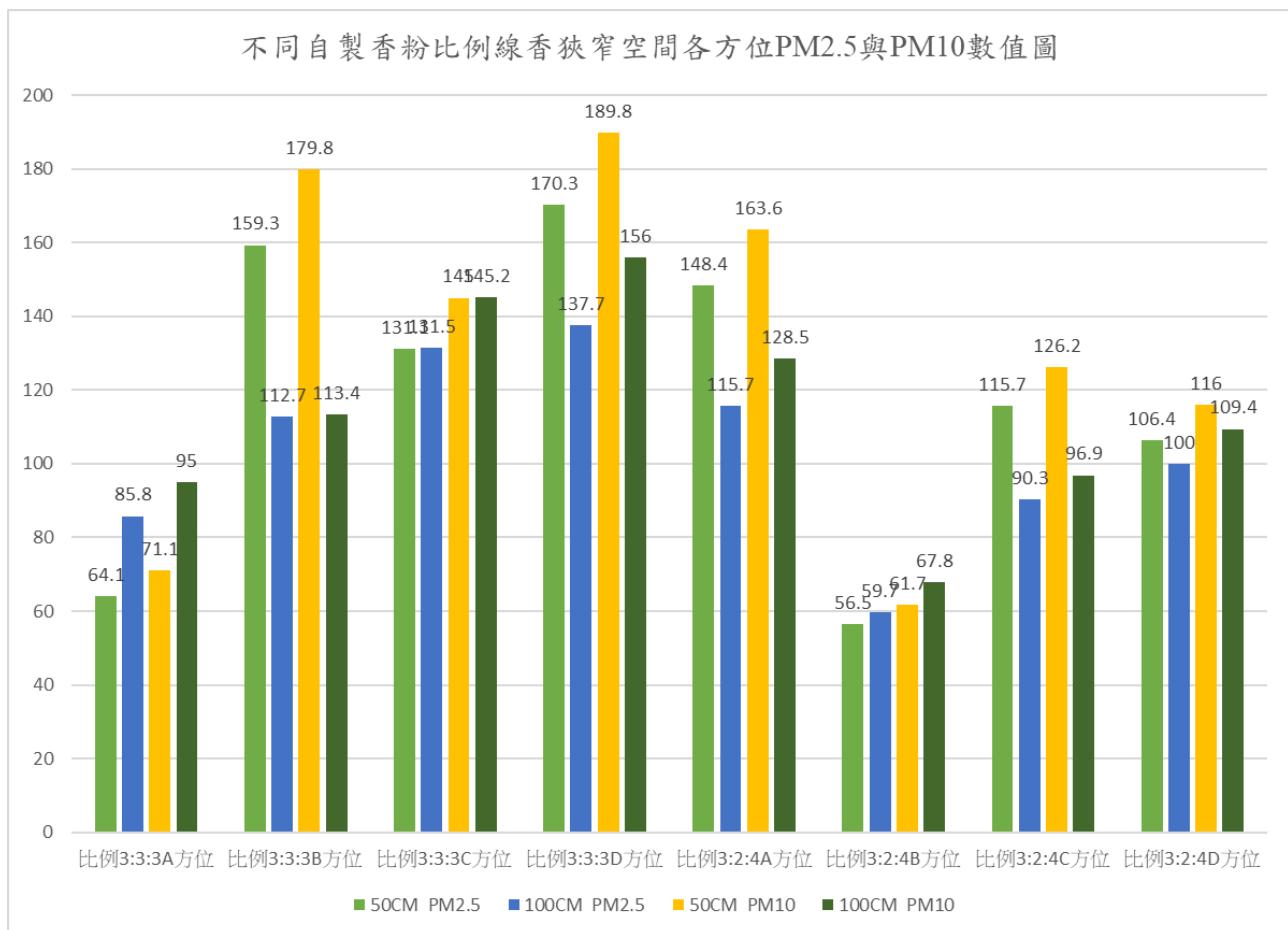


圖 5.21 不同自製香粉比例線香狹窄空間各方位 PM2.5 與 PM10 數值圖

2. 從本實驗中我們發現，我們的確可以透過混和香粉來解決香粉部分難題，例如橘子皮香粉難以持續燃燒但它的煙霧較小、檀香粉若添加過量容易造成極大的汙染，而本實驗中利用

混和香粉來達成持續燃燒且低汙染的效果，且在混和香粉線香，有特殊的香味是我們意外的發現，我們推論是線香原料的香味是各種化學因子相互輔助形成。

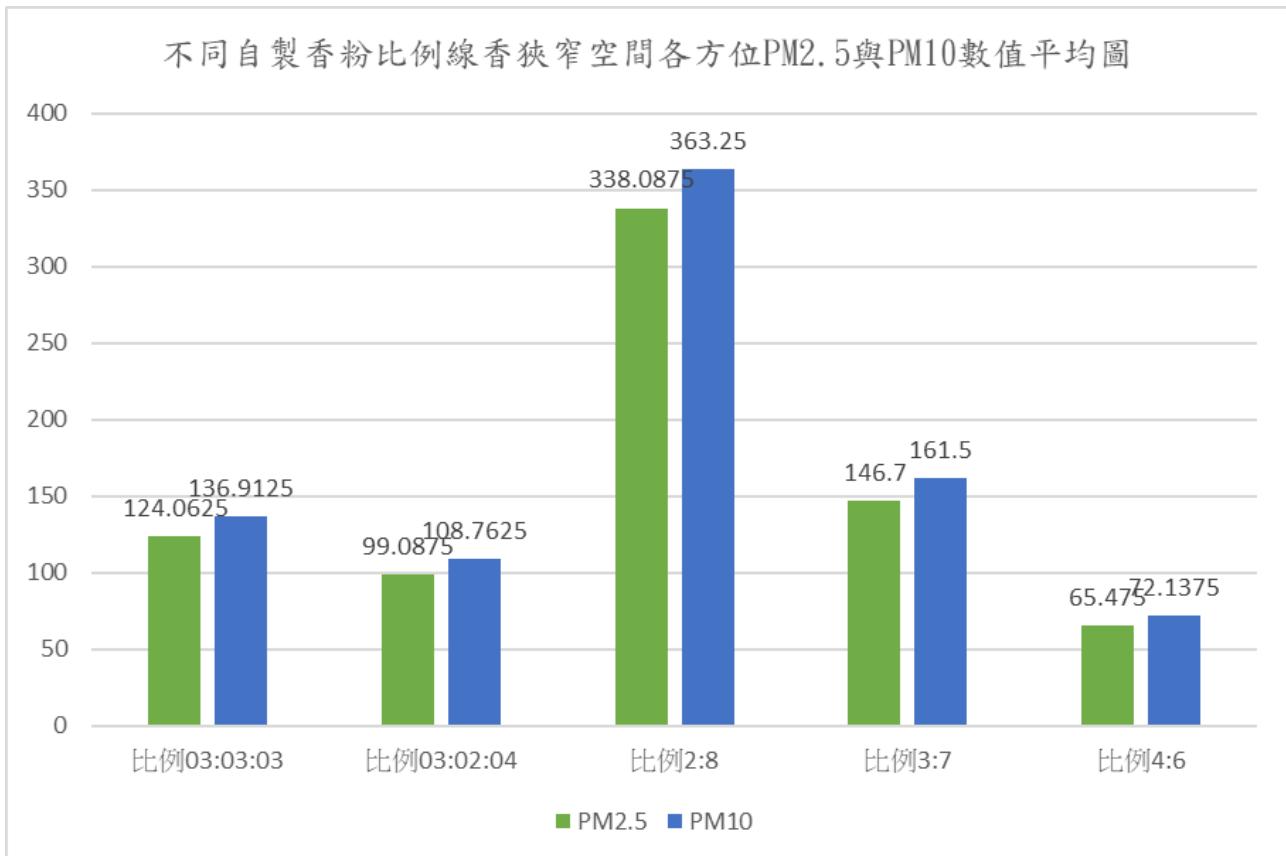


圖 5.22 不同自製香粉比例線香狹窄空間各方位 PM2.5 與 PM10 數值平均圖

## 陸、結論

- 一、不是每一種線香的燃燒速率都是一樣，在包裝上面，許多種線香的成分都是一樣的，但是其燃燒速率卻都不同，我們從此推論，除了主成分外，其比例或製作方法會影響到線香的燃燒速率或特性，而並不完全是由文獻上所說是由線香的直徑決定。
- 二、從此實驗中可以發現並不是離香越近其懸浮微粒數值就越高，我們推論會根據香的材質而有所變化，有些香的懸浮微粒高點反而是在 100 公分處。另外我們原本預估燃燒速率越大的其對於環境的污染會越嚴重，但是卻不是如此，我們發現對於汙染環境越嚴重的應該是香的材質而非其燃燒速率。
- 三、於狹窄場地中線香的懸浮微粒與在空曠場地表現不一樣，從圖中我們可以看到類似懸浮微粒淤積的狀況出現，於本實驗中大概會淤積在離線香 50 公分-100 公分之間，在本實驗中根據他們所排放出來的懸浮微粒情形，且對於每支線香對於環境的影響都直線上升，

所以建議線香必須要在空曠地區點燃並使用。

四、可以非常明顯的發現，香粉的比例是決定線香對於環境影響程度最大的變項，另外我們可以對比之前同樣是狹窄空間中市售線香對於環境的影響程度來看，我們所製作的黏粉：香粉比例 2:8 的線香，其對環境的影響非常明顯，我們可以從此推斷線香的材質香粉越多，越容易造成懸浮微粒到處亂飄。

五、線香中的成分會大大影響其懸浮微粒飄散的距離，在本研究中，我們發現香粉越多，在越靠近香時，其懸浮微粒指數是最高的，而不像是我們之前所買的線香會有中間 100 公分是最高點的淤積情形，我們推論，可能是我們的製作材料與市售線香不同的緣故，是受線香應該有添加其他化學物質來保持香味或燃燒情形。

六、香粉的多寡不只會影響像煙所產生的懸浮微粒，其成分更是會影響懸浮微粒的多寡，但在本實驗中卻有發現並不是香粉越多懸浮微粒越多的狀態，例如說本實驗中以茶粉為香粉的線香製作，卻是黏粉到一定程度時才會幫助其燃燒，經過我們推論後，我們認為就算我們已經磨成細粉，但是粉末原本的特性還是會留下來，所以在這邊也教會我們在製作自製線香香粉時，需要抽出時間去了解不同香粉的不同化學性質。

七、香粉不一定擁有物品原本擁有的味道，我們推論是因為我們的香粉大都留下纖維或粉末，而這些物品的味道可能伴隨著水分消散了，如有需求可以找原本就含有味道的物品作為香粉原料。

八、本實驗中利用混和香粉來達成持續燃燒且低汙染的效果，且在混和香粉線香，有特殊的香味是我們意外的發現，我們推論是線香原料的香味是各種化學因子相互輔助形成。

## 柒、未來研究

本實驗因製作及分析困難在科展截止前，經過小組討論，發現還有許多不足之處，將在下方紀錄並提醒我們小組

第一部分須完成以設計的實驗以回答問題，細項問題如下所呈現

- (一)、自製更多的不同替代香粉來自製環保天然線香對於環境的影響
- (二)、自製不同形式環保天然線香對於環境的影響
- (三)、測量更多影響環境變項

(四)、可以加入自製精油選項，往芳療方面研究

## 捌、參考文獻

拜拜的煙「掰掰」！。科展群傑廳。全國科展第 53 屆

燒好香，有保庇？！。科展群傑廳。全國科展第 60 屆

阿嬤的心願-多功能燒香拜拜神器。科展群傑廳。全國科展第 63 屆