

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(三)

佳作

083002

惜「域」憐「香」--環保天然線香的自製研究

學校名稱： 國立新竹科學園區實驗高級中等學校(國
小部)

作者：

小六 方韵晴

小六 許智傑

小六 潘奕霏

小六 黃翊軒

小六 吳昀臻

小六 李以謙

指導老師：

林育生

詹馥萱

關鍵詞： 環保線香、懸浮微粒、傳統文化

摘要

本研究探討自製線香的燃燒特性與環境影響，結果為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，狹窄場域容易導致淤積。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）需混合適量黏粉輔助燃燒，且不同原料化學性質須深入研究。

本研究亦發現混合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，提供未來配方研發之參考。

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，不過燒香容易造成空氣汙染，我曾經看過燒香時燒出的煙跟一些灰塵，它們灰灰霧霧的，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，將我的眼睛中的水分慢慢吸乾，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。這樣不僅可以改善對大自然的傷害，也可以滿足阿公阿媽拜拜的需求，徹底地將那頭灰灰霧霧的怪獸擊倒，讓牠改邪歸正。

貳、研究目的與待答問題

一、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。

二、待答問題

- (一) 線香的製作方法及前人的相關研究為何？
- (二) 不同環境結構對於線香燃燒範圍的影響為何？
- (三) 自製不同比例線香並實驗觀察其對環境的影響為何？
- (四) 自製不同替代香粉之環保線香並實驗觀察其對環境的影響為何？
- (五) 自製不同比例香粉之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（檀香粉）	篩網	膠帶
腳架	立香器	打火機	咖啡渣
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(本研究自行拍攝)



圖 3.2 製香板示意圖(本研究自行拍攝)

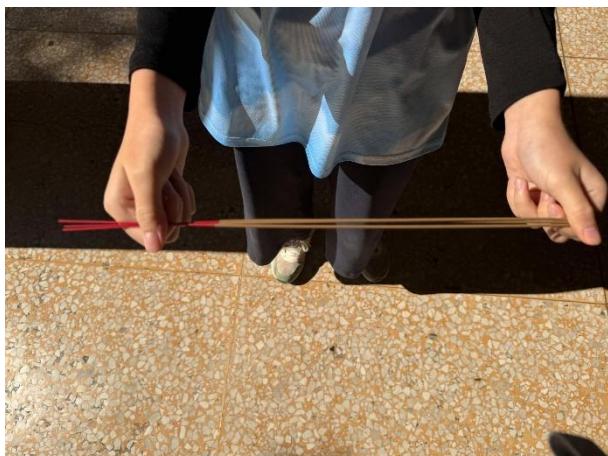


圖 3.3 線香示意圖(本研究自行拍攝)



圖 3.4 腳架及場地布置圖(本研究自行拍攝)

肆、製作過程及方法

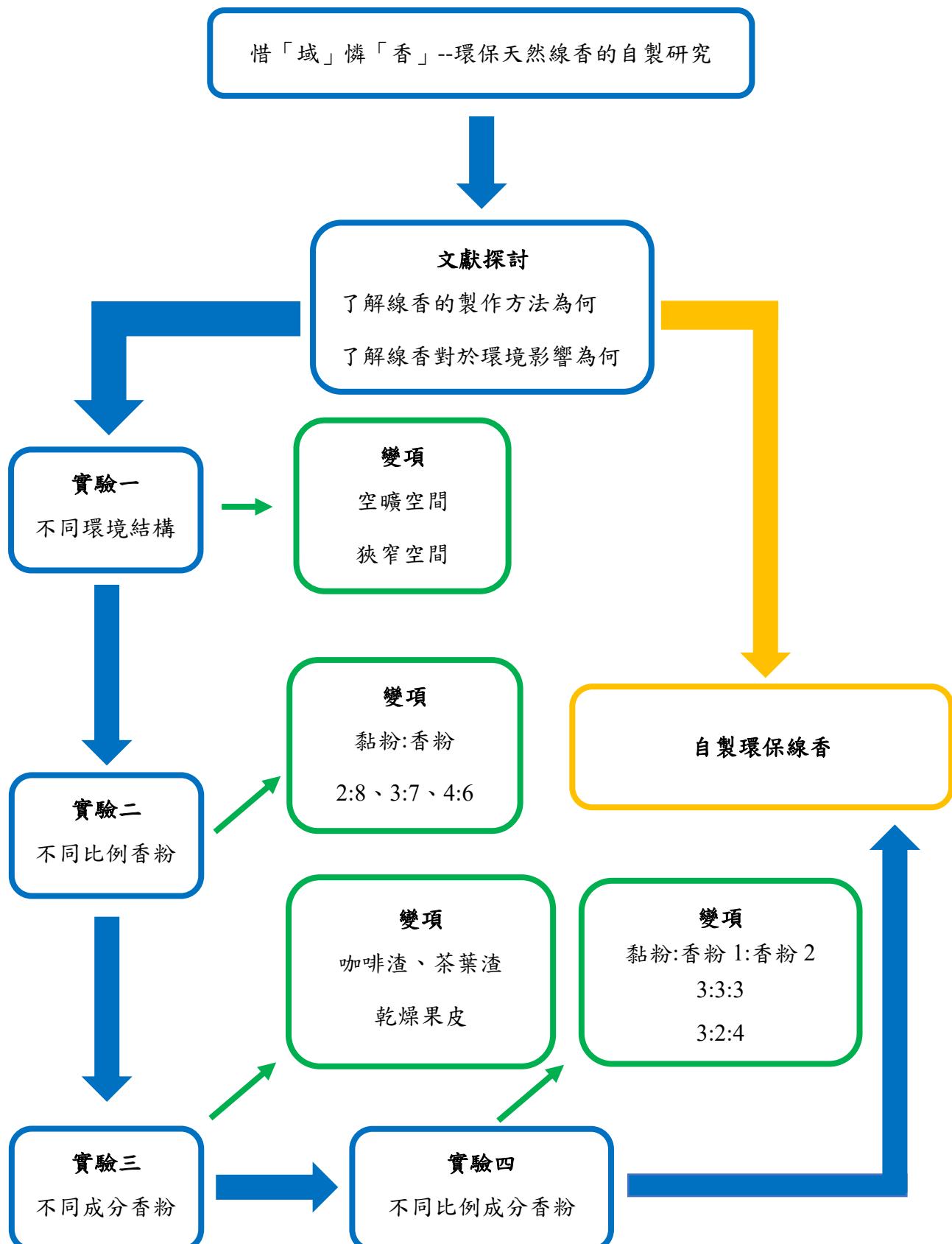


圖 4.1 研究流程示意圖（本研究自行繪製）

一、文獻探討

本實驗為了研究如何降低線香所產生的危害，除了基本的文獻探討（詳情請見實驗記錄）外，整理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，大多集中在 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 ₂ 、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

探討上述的文獻後，我們發現大部分跟線香相關的研究，大多集中在燃燒後的汙染及如何排出，而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) 不同環境結構對於線香燃燒範圍的影響為何？
- (二) 自製不同比例線香（黏粉與香粉比例）並實驗觀察其對環境的影響為何？
- (三) 自製不同替代香粉之環保線香並實驗觀察其對環境的影響為何？
- (四) 自製不同比例香粉之環保線香並實驗觀察其對環境的影響為何？

二、實驗設計

本研究依實驗目的及待答問題進行實驗設計，各實驗操作說明如下：

實驗一：不同環境結構對於線香燃燒範圍的影響為何？

(一) 實驗目的

了解線香燃燒在不同環境結構的範圍差異。

(二) 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。
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。



圖 4.2 線香特色測量示意圖(本研究自行拍攝) 圖 4.3 線香特色測量示意圖(本研究自行拍攝)

實驗一之二：

1. 找尋學校建築物內空曠處，以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，總共需要貼的範圍為 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（為一般國小六年級學童的身高），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 與 PM10）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. 將所測得的資料輸入電腦，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，才能測下一種香。



圖 4.4 實驗場所布置圖(本研究自行拍攝))



圖 4.5 實驗場所布置圖(本研究自行拍攝)

實驗一之三：

1. 找尋學校建築物內封閉狹窄處，以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，總共需要貼的範圍為 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 與 PM10）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. 將所測得的資料輸入電腦，並用 EXCEL 進行計算分析。
7. 再測下一種香之前需先至少等待 20 分鐘，且用儀器測試過後，回復一般值，才能測下一種香。

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) 實驗目的

了解不同比例黏粉及香粉（2:8、3:7、4:6）對於環境汙染的影響。

(二) 實驗步驟

1. 先準備鐵盤並裝上適量黏粉（以總重 10g，如果比例是 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，如果比例是 2:8，香粉為 8g、比例 3:7，香粉為 7g、比例 4:6，香粉為 6g）。



圖 4.6 不同比例實驗圖(本研究自行拍攝)



圖 4.7 不同比例實驗圖(本研究自行拍攝)

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（開口 2mm），並慢慢轉動，使其成香在製香板上。
5. 將製香板上的成香，利用刀具或尺切割至一定程度。
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。

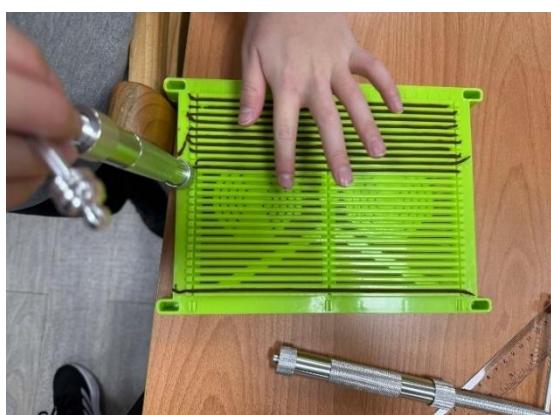


圖 4.8 不同比例實驗圖(本研究自行拍攝)



圖 4.9 不同比例實驗圖(本研究自行拍攝)

實驗三：自製不同替代香粉之環保線香並實驗觀察其對環境的影響為何？

(一) 實驗目的

了解燃燒不同比例黏粉及香粉（2:8、3:7、4:6）及不同替代香粉（咖啡渣粉、茶葉渣粉、橘子皮粉）對於環境汙染的影響。

(二) 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，以及另外使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 4.10 替代香粉實驗圖(本研究自行拍攝)



圖 4.11 替代香粉實驗圖(本研究自行拍攝)

實驗四：自製不同比例香粉之環保線香並實驗觀察其對環境的影響為何？

(一) 實驗目的

了解燃燒不同比例黏粉：香粉 1：香粉 2（3:3:3、3:2:4）對於環境汙染的影響。

(二) 實驗步驟

1. 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。
2. 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

一、不同環境結構對於線香燃燒範圍的影響為何？

根據實驗一之一至一之三的結果回答本問題，以下先以表格呈現觀察到的線香特徵：

表 5.3 不同線香特色及燃燒速率表

	香寬 cm	香長 cm	總長 cm	香味	燃燒時間 min	底面積 cm^2	體積 cm^3	燃燒速率 cm^3/min
麻園 福龍宮	0.268	28	39	清香	64.33	0.23	6.31	0.10
北和宮	0.318	36	48	木頭香	65.67	0.32	11.43	0.17
鎮安宮 (粗)	0.279	29	40	中藥香	67.33	0.24	7.09	0.11
鎮安宮 (細)	0.201	29	40	中藥香	61.33	0.13	3.68	0.06
富山 檀香	0.259	29	39.5	島沉香	62.33	0.21	6.11	0.10
無極 廣聖宮	0.337	36	48.5	藥味香	98.67	0.36	12.84	0.13
正老山 檀香	0.28	29	39.8	沒味道	46	0.25	7.14	0.16
自然 教室	0.216	29	40	中藥味	65	0.15	4.25	0.07

(一) 不同線香特色之觀察與討論

- 實驗一，將測量的數據，列為表 5.1 (詳情請見實驗記錄)，並配合所觀察到的質性資料，及數學算式 (底面積*香長) 算出體積後，並配合表 5.2 (詳情請見實驗記錄) 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。
- 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，而並不完全如文獻或商家所說是由線香的直徑決定。

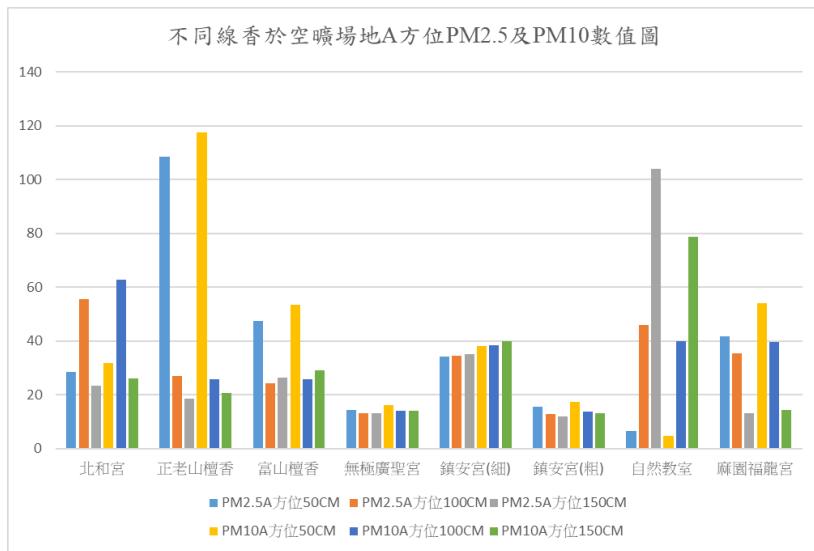


圖 5.1 不同線香開闊空間 A 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

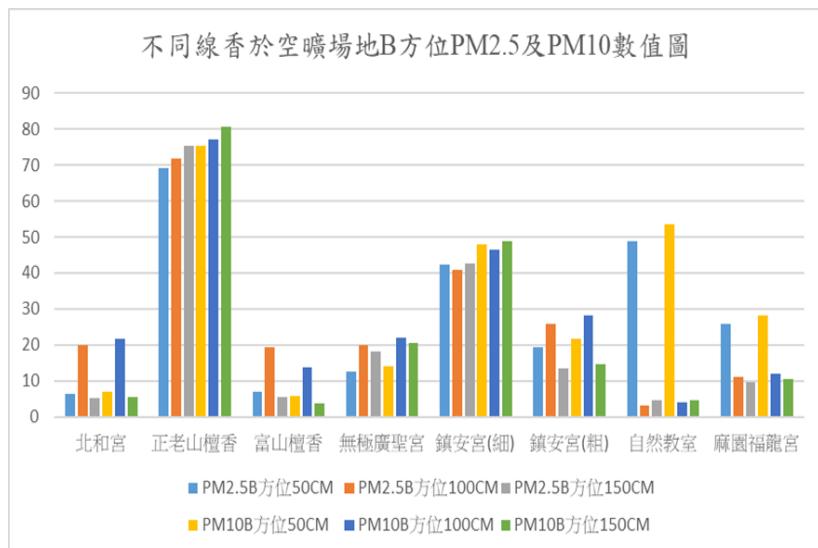


圖 5.2 不同線香開闊空間 B 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

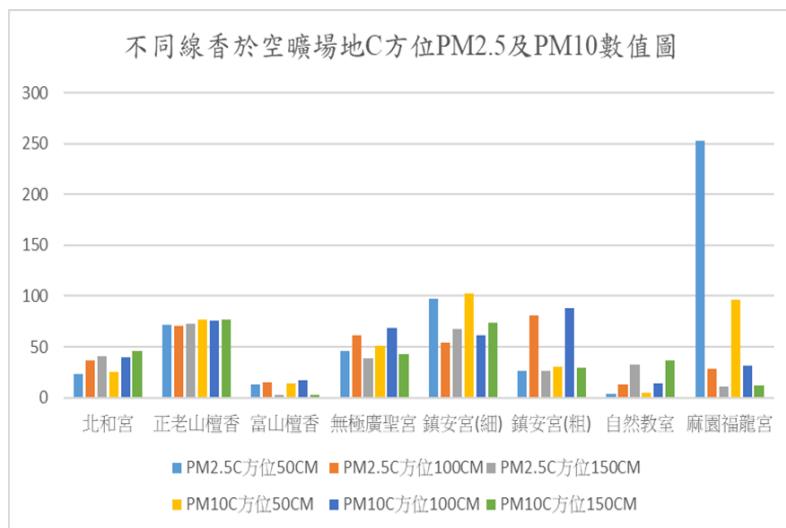


圖 5.3 不同線香開闊空間 C 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

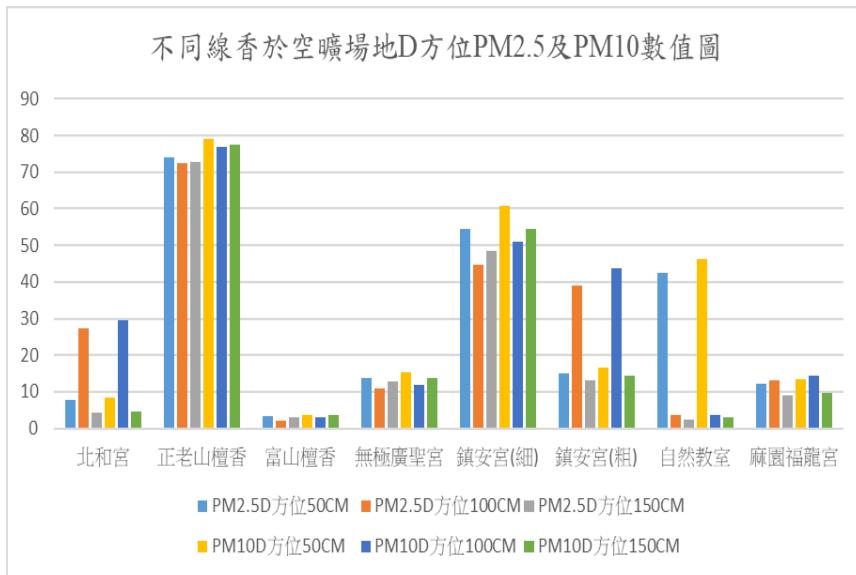


圖 5.4 不同線香開闊空間 D 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

(二) 不同線香於開闊空間實驗之觀察與討論

- 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。
- 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，並不是離線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，但是決定懸浮微粒較多的重要原因為何？經過我們討論後，我們推論是香的材質，會影響懸浮微粒哪裡較多，另外觀察各個方位的圖表中我們發現並不如同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，有非常多根線香的懸浮微粒累積最大距離是在100公分左右，而我們經過討論後也推論這與材質應該有較大的關係。

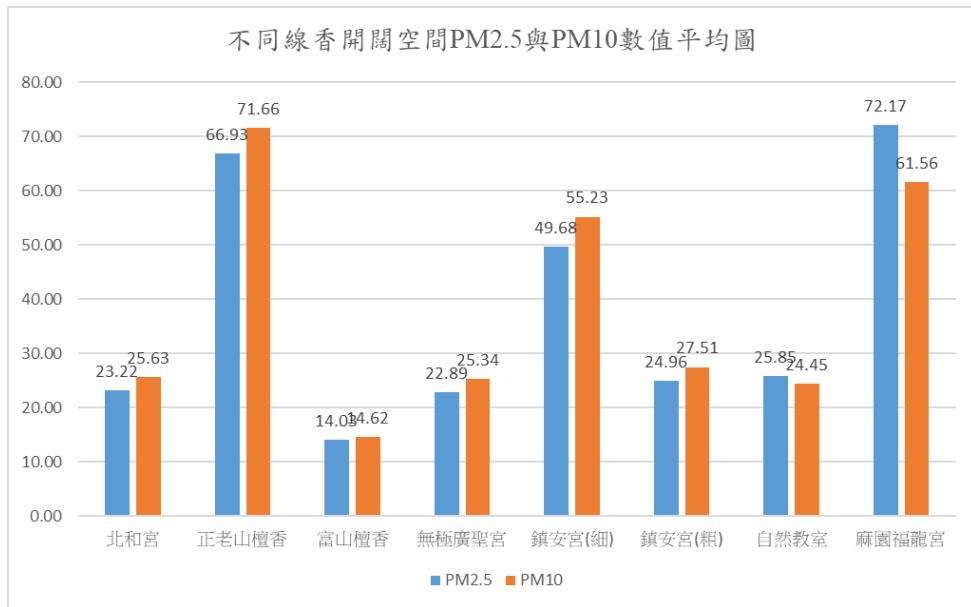


圖 5.5 不同線香開闊空間 PM2.5 與 PM10 數值平均圖（本研究自行繪製）

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，原始數值請詳見實驗記錄。

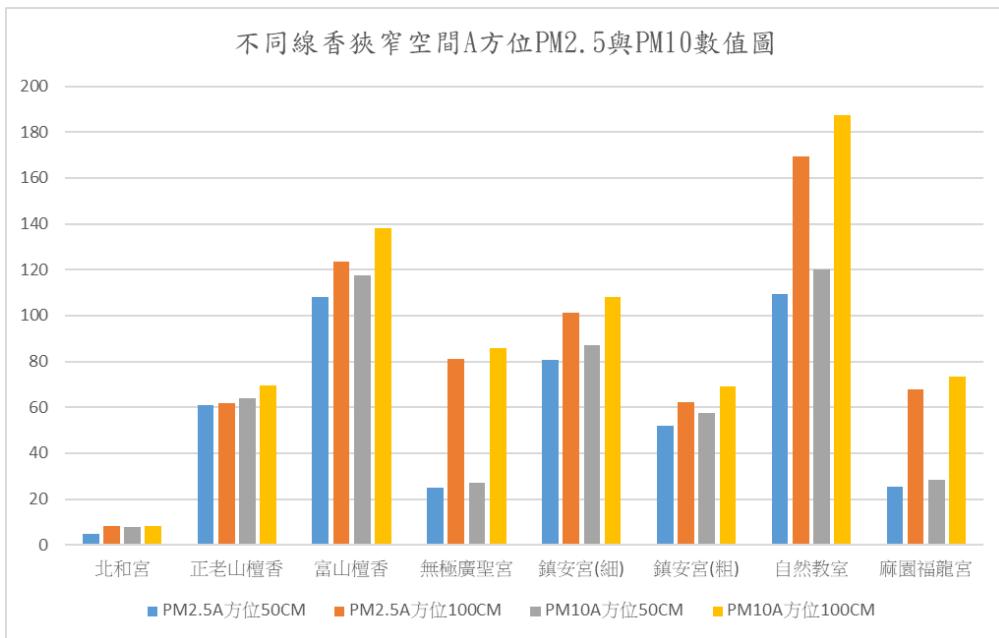


圖 5.6 不同線香狹窄空間 A 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖（本研究自行繪製）

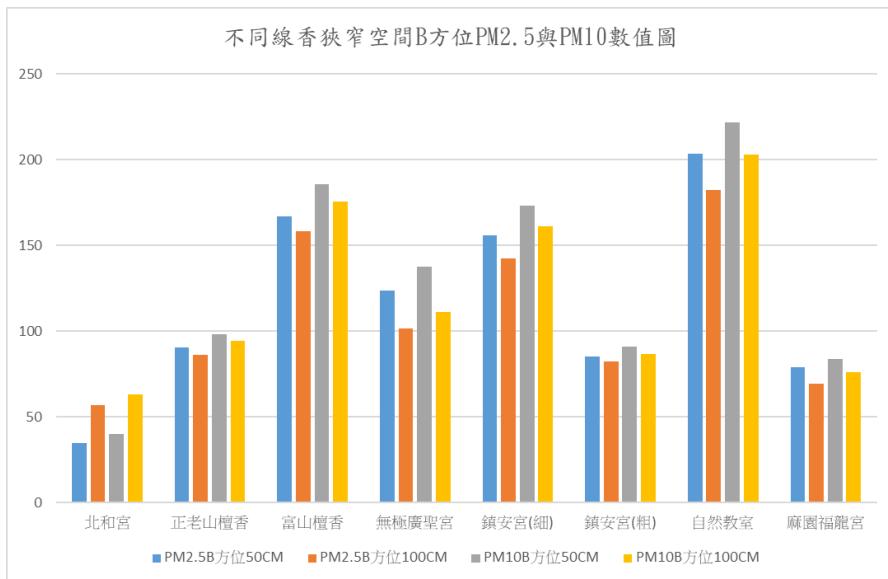


圖 5.7 不同線香狹窄空間 B 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

(三) 不同線香於狹窄空間實驗之觀察與討論

- 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，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。
- 另外與實驗一之二一樣，我們原本預估燃燒速率越大的線香其對於環境的污染會越嚴重，
但是從上述實驗中發現並不是如此，我們發現對於環境汙染越嚴重的應該是香的材質而非
其燃燒速率。
- 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，原本在空曠場地測量表現良好的線香一下子就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都跟排煙有關。

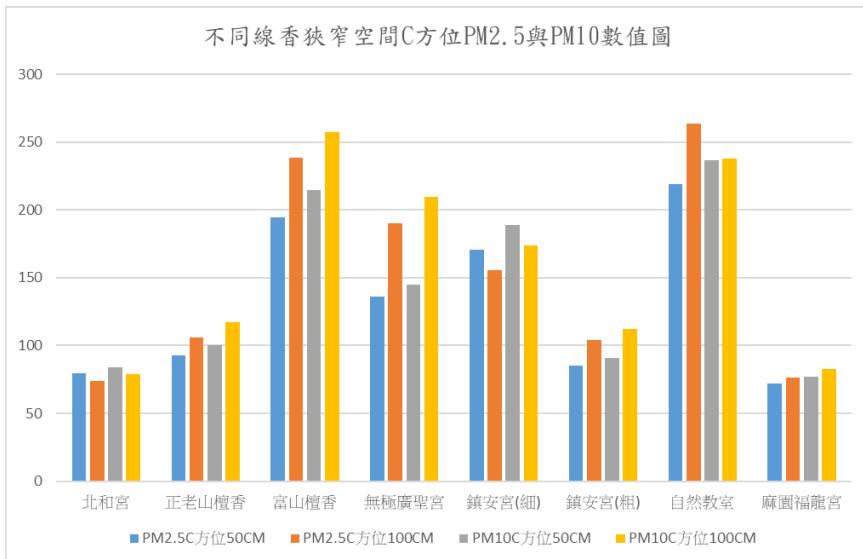


圖 5.8 不同線香狹窄空間 C 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

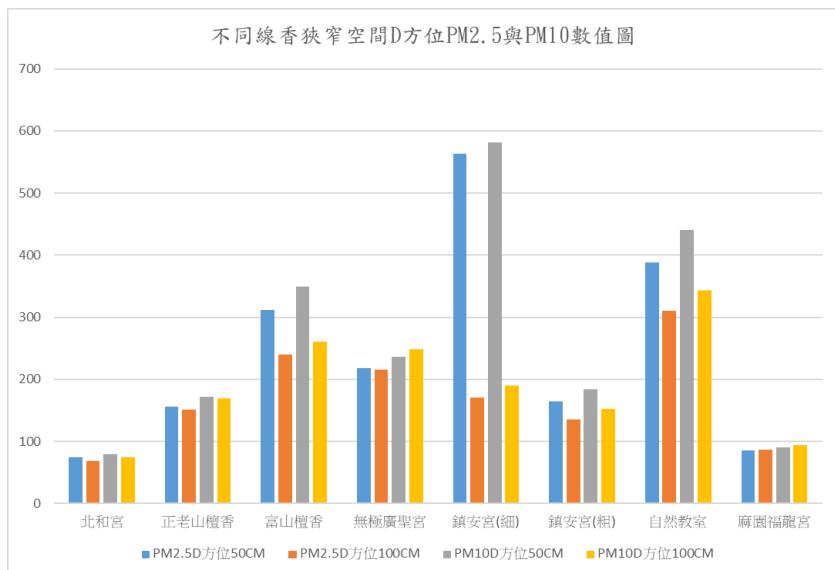


圖 5.9 不同線香狹窄空間 D 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

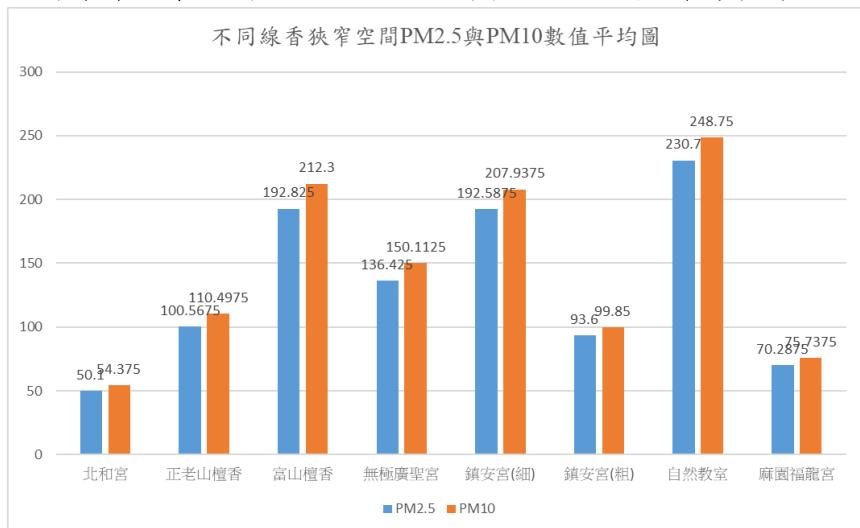


圖 5.10 不同線香狹窄空間 PM2.5 與 PM10 數值平均圖 (本研究自行繪製)

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進行比例上的調整去自製環保線香（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	79.4
PM2.5A 方位 100CM	102.3	74.3	80.5
PM10A 方位 50CM	320.6	3.1	93.2
PM10A 方位 100CM	112	80.4	87.7

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	84.1
PM2.5B 方位 100CM	158.9	140	85.6
PM10B 方位 50CM	298.6	160.2	89.1
PM10B 方位 100CM	175.3	152.7	90.6

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	138.8
PM2.5C 方位 100CM	225.3	162.8	118.7
PM10C 方位 50CM	646.1	161.5	153.4
PM10C 方位 100CM	241.9	181.2	133.7

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	77.4
PM2.5D 方位 100CM	358.8	232.3	158.7
PM10D 方位 50CM	715.2	298.4	83.9
PM10D 方位 100CM	396.3	254.5	180.8

單位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

自製不同比例線香於狹窄空間實驗之觀察與討論

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 (詳情請見實驗記錄)，且透過整理製成表 5.76、表 5.77、表 5.78(詳情請見實驗記錄)，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。
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測的市售線香，較會有中間 100 公分處的淤積情形，我們推論，可能是我們的製作材料與市售線香不同的緣故。

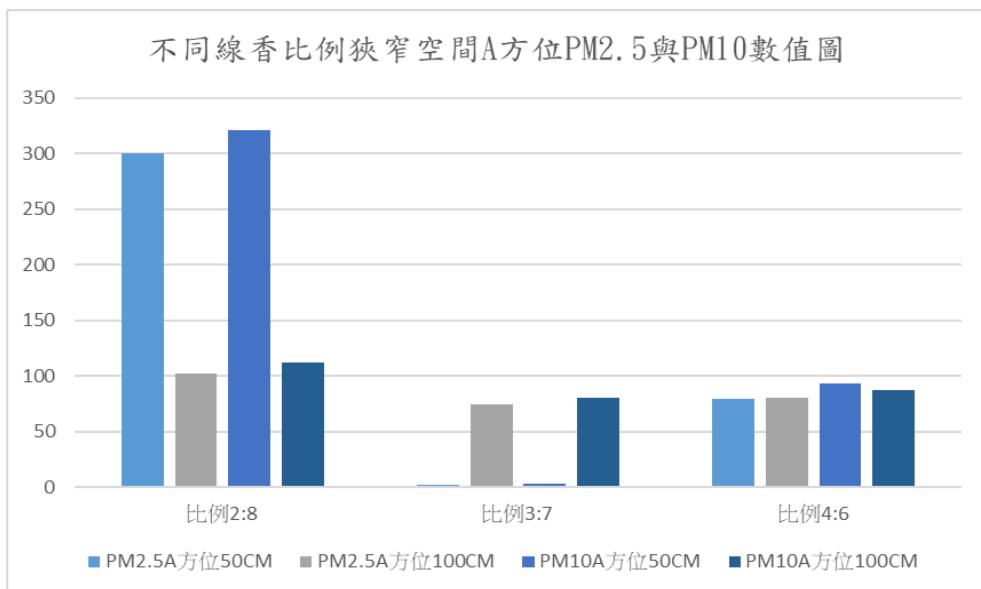


圖 5.11 自製不同線香比例狹窄空間 A 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

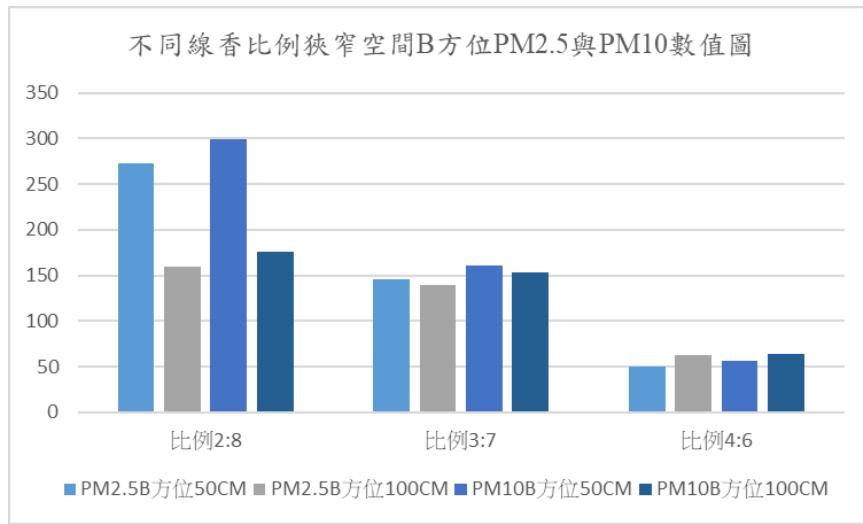


圖 5.12 自製不同線香比例狹窄空間 B 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

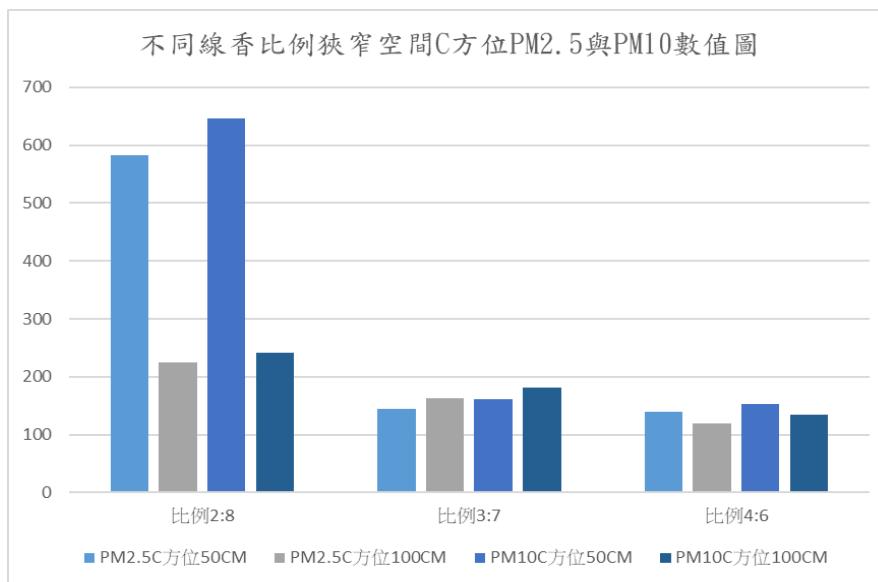


圖 5.13 自製不同線香比例狹窄空間 C 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

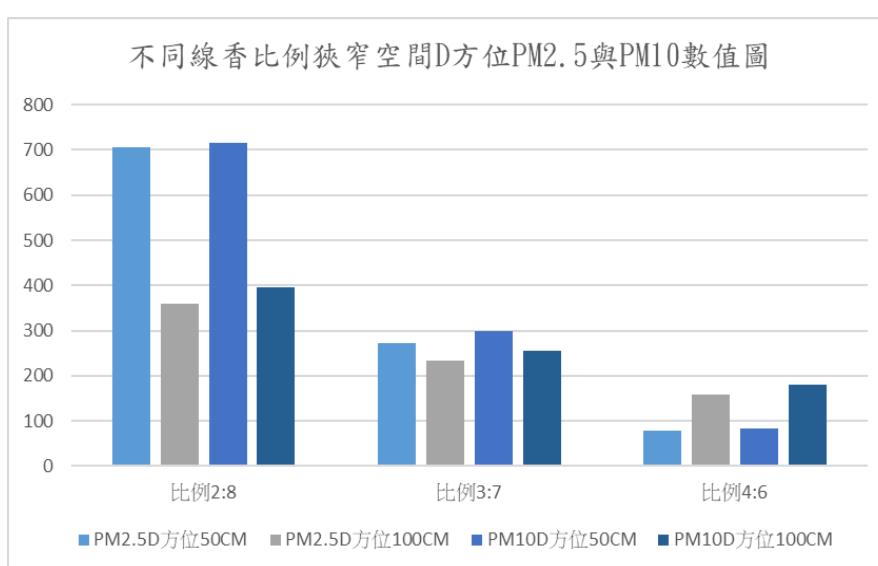


圖 5.14 自製不同線香比例狹窄空間 D 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

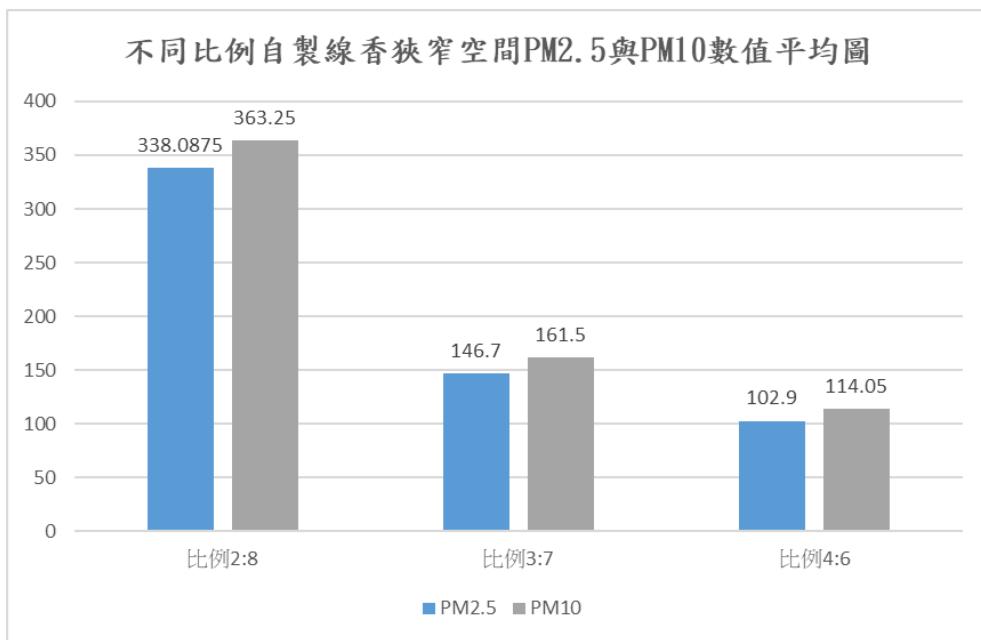


圖 5.15 自製不同比例自製線香狹窄空間 PM2.5 與 PM10 數值平均圖 (本研究自行繪製)

三、自製不同替代香粉之環保線香並實驗觀察其對環境的影響為何？

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環保線香（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
PM2.5A									
方位 50CM	326.1	98.6	49.5	59.3	45.9	55.78	31.2	17.2	41
PM2.5A									
方位 100CM	159.5	142.5	94.3	61.7	103.3	73.3	57.2	22.8	69.2
PM10A									
方位 50CM	339.4	109	56.2	67.4	50.4	62.33	35.6	19.2	47
PM10A									
方位 100CM	175.5	159.2	103.1	69.5	115.2	78.1	53.8	25.8	75.4
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									
方位	284.4	449.7	151.7	134.2	108.6	254.1	130.1	78.8	94.7
50CM									
PM10C									
方位	339.4	174.8	163.1	112.9	175.4	149.4	150.5	87.6	98.1
100CM									
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 50CM	841.8	238.5	167.9	140.1	108.3	170.8	152	88.8	84.5
PM2.5D									
方位 100CM	302.2	188.1	183.2	151.6	166.5	145.4	157.8	93.2	86.1
PM10D									
方位 50CM	886	263.5	187.3	158.8	117.7	189.7	166.9	96.8	89.2
PM10D									
方位 100CM	341.5	207.7	203.2	168.5	184.6	161.2	173.9	104.8	90.2

單位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

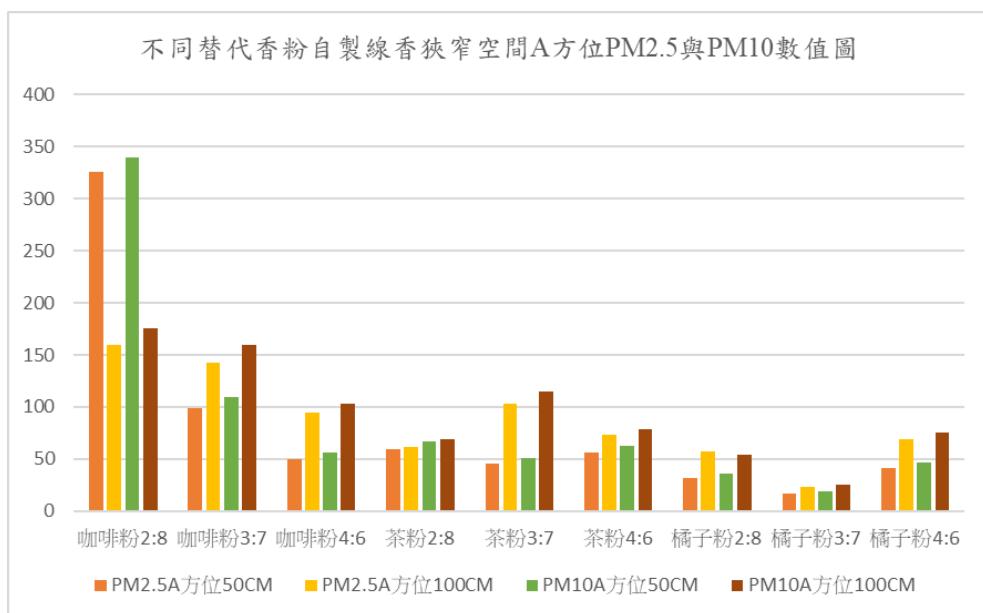


圖 5.16 不同替代香粉自製線香狹窄空間 A 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

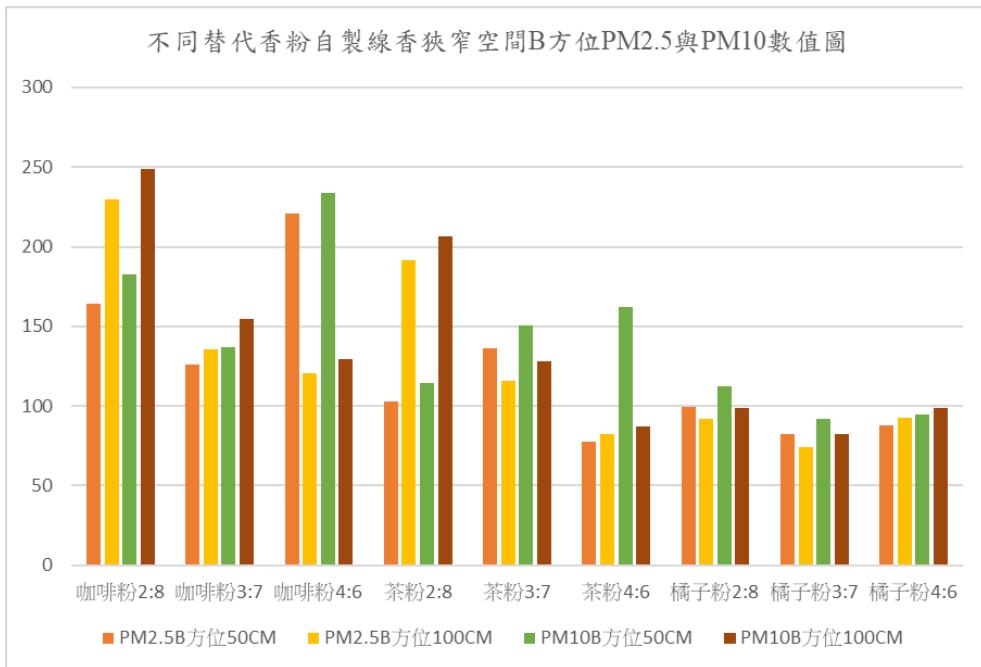


圖 5.17 不同替代香粉自製線香狹窄空間 B 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

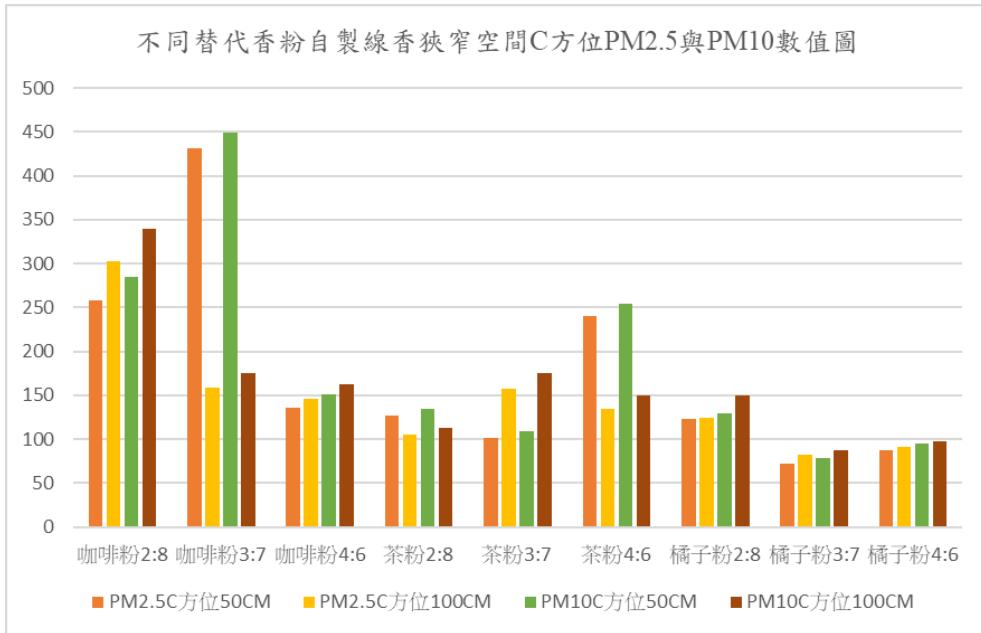


圖 5.18 不同替代香粉自製線香狹窄空間 C 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

自製不同替代香粉線香於狹窄空間之實驗觀察與討論

- 我們從實驗三中的結果平均可以繪製成表 5.83 至表 5.100 (詳情請見實驗記錄)，且透過整理製成表 5.101 至表 5.109 (詳情請見實驗記錄)，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，香粉的含量不只

會影響懸浮微粒的產生，其成分更是會影響懸浮微粒的多寡；且在本實驗中卻發現並不是香粉越多就越能燃燒產生懸浮微粒越多的狀態，例如本實驗中以茶粉為香粉的線香製作，卻是黏粉量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，這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。

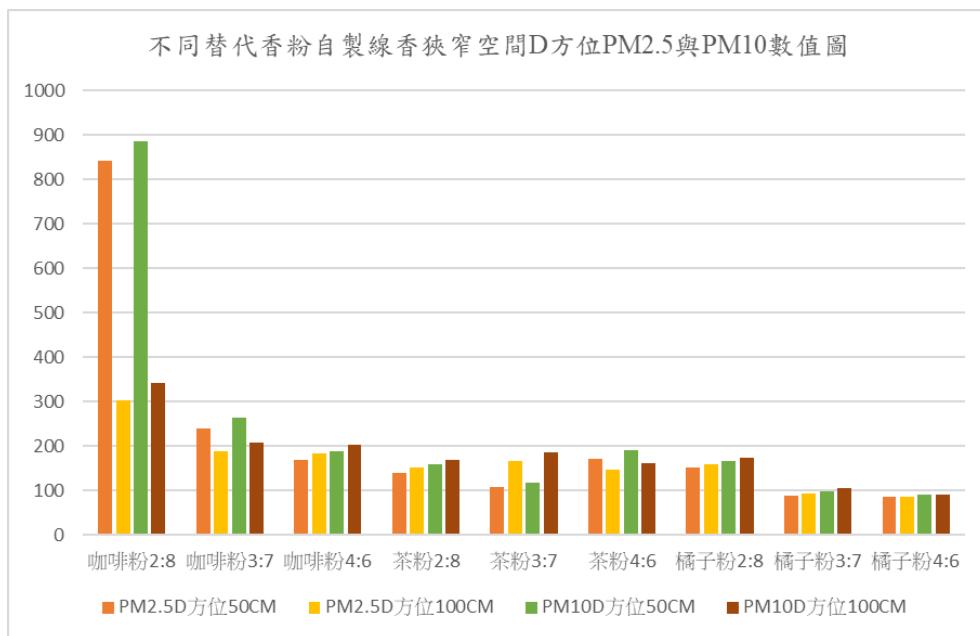


圖 5.19 不同替代香粉自製線香狹窄空間 D 方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

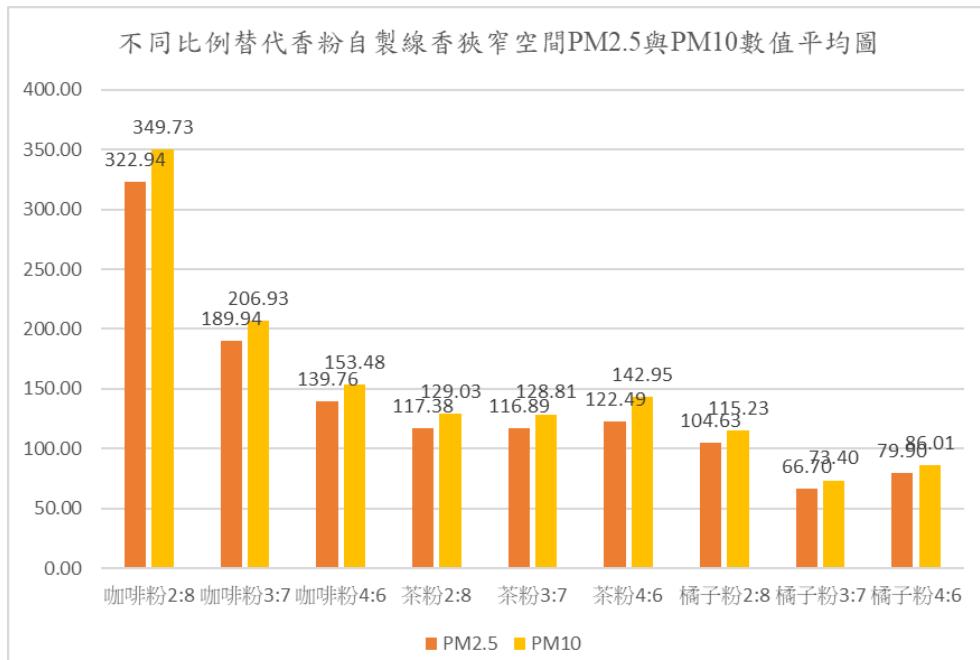


圖 5.20 不同比例替代香粉自製線香狹窄空間 PM2.5 與 PM10 數值平均圖(本研究自行繪製)

3. 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		黏粉香粉比例		黏粉香粉比例	
2:8		3:7		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	未燃燒有股煙燻味	未燃燒有股煙燻味		未燃燒有股煙燻味	
	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	燃燒速率
	cm	cm ²	cm ³	min	cm ³ / min
咖啡 2:8	3.03	0.0314	0.095246667	5	0.019049333
咖啡 3:7	2.43	0.0314	0.076406667	5	0.015281333
咖啡 4:6	1.83	0.0314	0.057566667	5	0.011513333
茶葉 2:8	2.40	0.0314	0.07536	5	0.015072
茶葉 3:7	2.00	0.0314	0.0628	5	0.01256
茶葉 4:6	3.00	0.0314	0.0942	5	0.01884
橘子 2:8	2.90	0.0314	0.09106	5	0.018212
橘子 3:7	2.67	0.0314	0.083733333	5	0.016746667
橘子 4:6	2.10	0.0314	0.06594	5	0.013188

4. 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多留下纖維或粉末，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、自製不同比例香粉之環保線香並實驗觀察其對環境的影響為何？

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：檀香粉及香粉 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	49.7
PM2.5A 方位 100CM	85.8	56.2
PM10A 方位 50CM	71.1	56.3
PM10A 方位 100CM	95	62.7

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	60.7
PM2.5B 方位 100CM	112.7	62
PM10B 方位 50CM	179.8	65.2
PM10B 方位 100CM	113.4	70.1

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	79.4
PM2.5C 方位 100CM	131.5	85.5
PM10C 方位 50CM	145	85.5
PM10C 方位 100CM	145.2	90.1

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	82.2
PM2.5D 方位 100CM	137.7	88
PM10D 方位 50CM	189.8	86.8
PM10D 方位 100CM	156	92.9

單位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

自製不同比例香粉線香於狹窄空間實驗之觀察與討論

- 我們從實驗四中的結果平均可以繪製成表 5.116 至表 5.119 (詳情請見實驗記錄)，且透過整理製成表 5.120 至表 5.121 (詳情請見實驗記錄)，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、5.22 及圖 5.23 以方便進行討論。

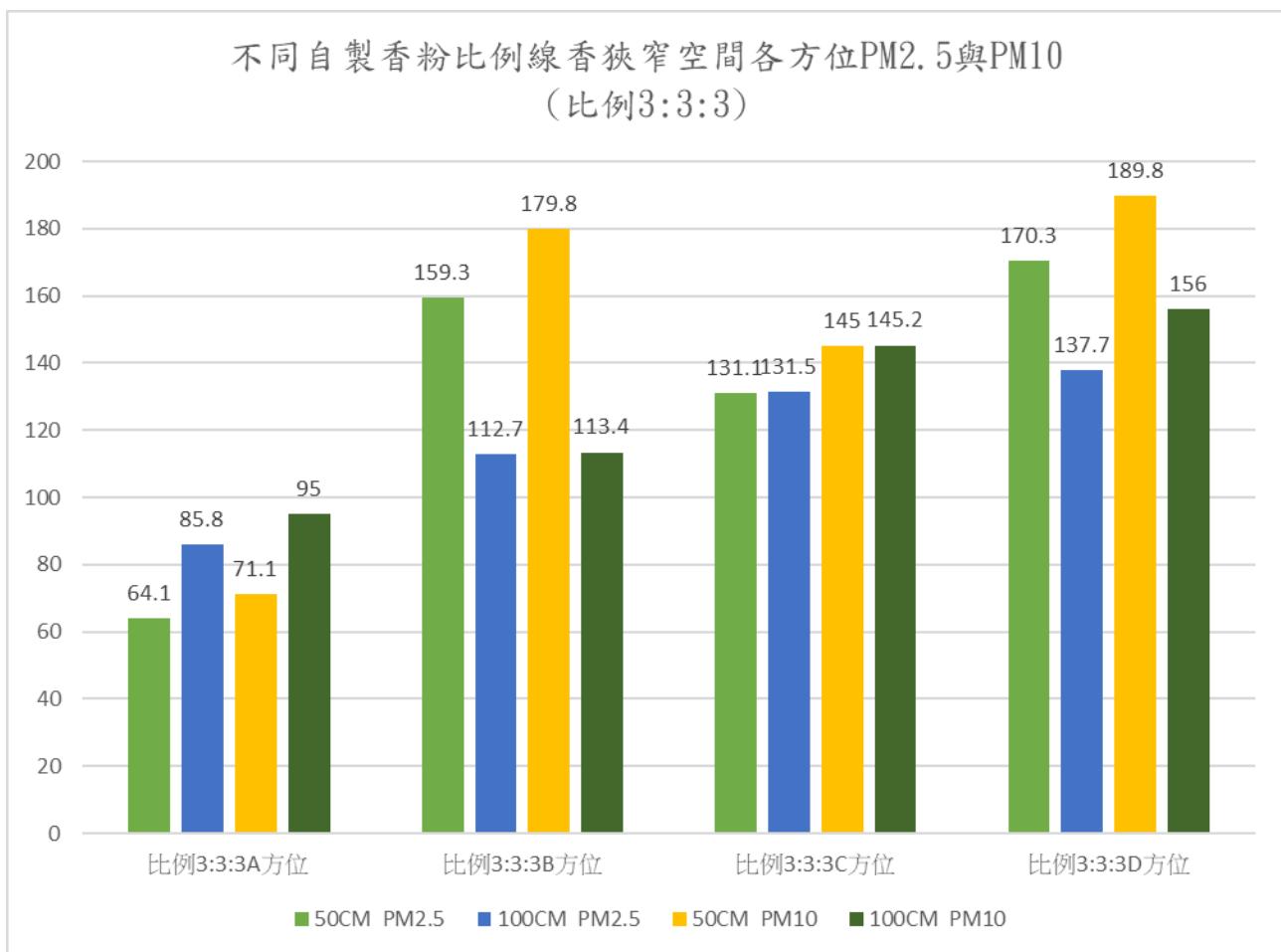


圖 5.21 自製香粉比例 3:3:3 線香狹窄空間各方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

- 從本實驗中我們發現，我們的確可以透過混合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

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

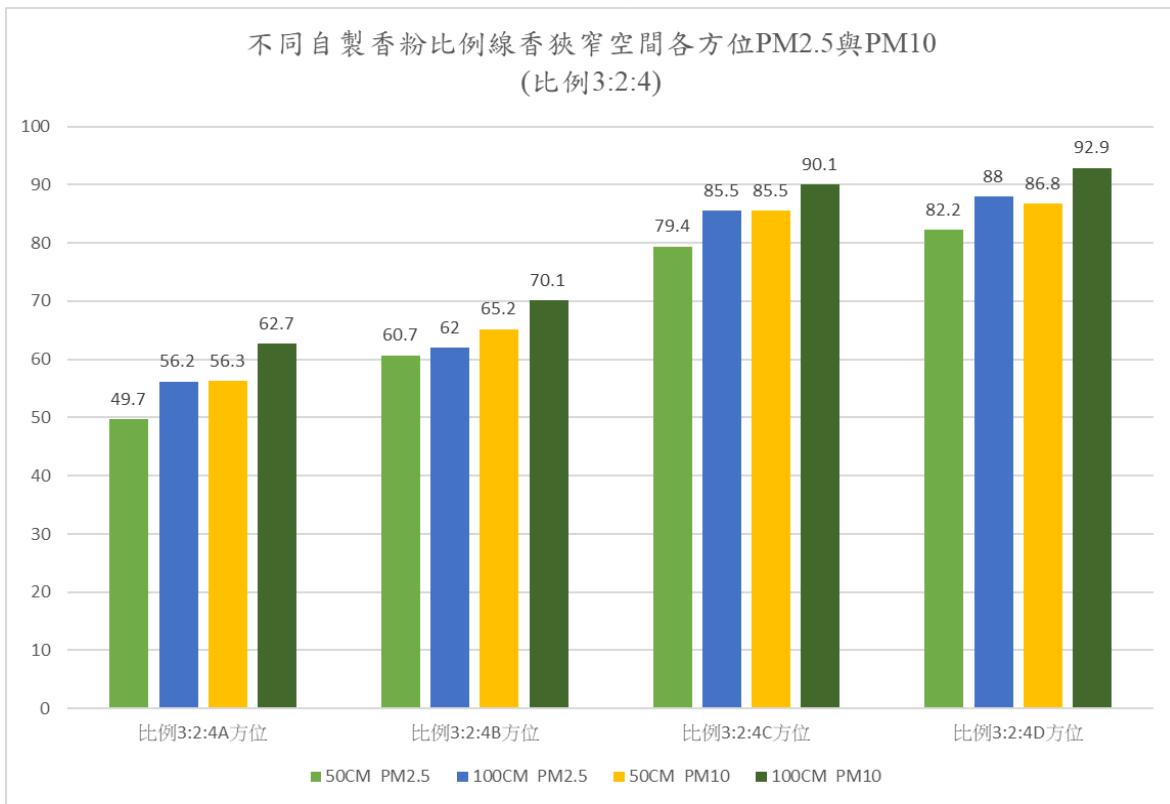


圖 5.22 自製香粉比例 3:2:4 線香狹窄空間各方位 PM2.5 與 PM10 數值圖 (本研究自行繪製)

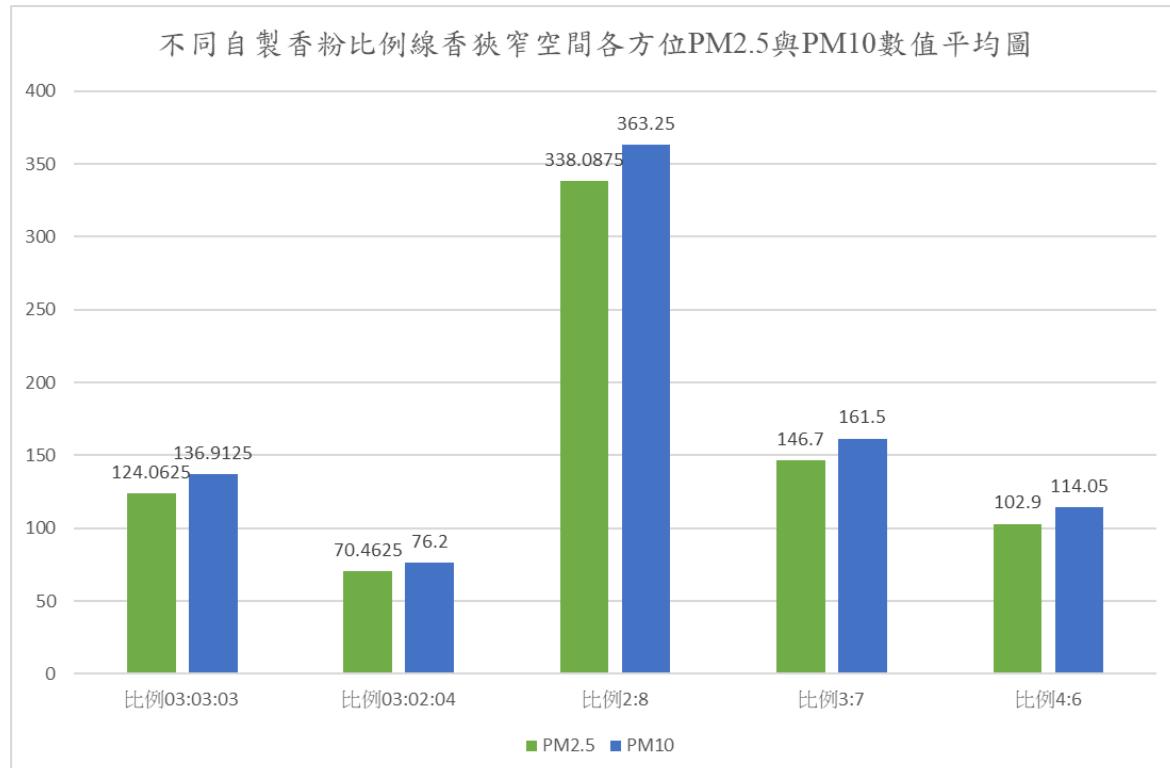


圖 5.23 不同自製香粉比例線香狹窄空間各方位 PM2.5 與 PM10 數值平均圖(本研究自行繪製)

陸、結論

- 一、不是每一種線香的燃燒速率都相同。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，而並不完全如文獻上或商家所說，是由線香的直徑決定。
- 二、從在不同環境結構市售線香燃燒實驗中可以發現，並不是離香越近其懸浮微粒數值就越高，有些香的懸浮微粒高點反而是在距離 100 公分處，所以我們推論會根據香的材質而有所變化。另外，我們原本預估燃燒速率越大的香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因素，應該是香的材質而非其燃燒速率。
- 三、與在空曠場地的表現不一樣，從本實驗中我們可以在狹窄場地中，會有類似懸浮微粒淤積的狀況出現，於本研究中大概會淤積在離線香 50 公分-100 公分之間。根據他們所排放出來的懸浮微粒情形，可知每支線香對於狹窄場地的影響都直線上升，所以建議線香必須要在空曠場地點燃並使用。
- 四、從本研究中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。同樣是狹窄場地中，對比之前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，線香材質的香粉越多，越容易造成懸浮微粒到處亂飄而汙染環境。
- 五、在本研究中，我們發現線香中的成分會大大影響其懸浮微粒飄散的距離，此外我們發現香粉越多，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，市售線香應該有添加其他化學物質來保持香味或燃燒情形。
- 六、香粉的含量不只會影響懸浮微粒的產生，其成分更是會影響懸浮微粒的多寡；且在本實驗中卻發現並不是香粉越多就越能燃燒產生懸浮微粒越多的狀態，例如本實驗中以茶粉為香粉的線香製作，卻是黏粉量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，這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化學性質。
- 七、燃燒時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多留下纖維

或粉末，而這些物品的味道可能伴隨著水分消散了。

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

九、我們發現香粉的性質和比例會大幅的影響線香的特性，例如像是是否容易熄滅、所產生的懸浮微粒多寡以及在空氣中微粒的漂移速度，且在本實驗中，我們成功混和兩種不同成分的香粉，並依照其特性改變比例，並成功製作出低汙染且不易熄滅的橘子檀香線香希望未來能保留傳統文化的同時更愛護這個世界。

柒、未來研究

經過小組討論，發現本實驗還有許多不足之處，記錄如下供未來研究參考：

- 一、使用更多不同的替代香粉來自製環保天然線香，並測量其對於環境的影響。
- 二、使用更多不同的黏粉來自製環保天然線香，並測量其對於環境的影響。
- 三、自製不同形式環保天然線香，並測量其對於環境的影響。
- 四、測量並納入更多影響環境的變項。

四、可以加入自製精油選項，結合相關研究，往芳療方面發展研究。

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

【評語】083002

本研究聚焦於線香燃燒對環境的潛在影響，透過自製不同比例與配方的線香，探討燃燒特性與污染程度，並嘗試開發替代性香粉以降低污染負擔。建議後續可進一步分析懸浮微粒產生機制，從燃燒效率、粒徑分布與化學組成等角度深入探討，以增進研究深度並提升產品開發的實用價值。

作品海報

情「城」
環保天然線香的自製研究

小舞「香」

摘要

本研究探討自製環保線香在燃燒過程中的特性與其對環境的影響，從「**環境、比例、成分**」三面向剖析線香燃燒與污染狀況，期能為日常香品選用及未來環保配方研發帶來具體指引。

研究結果顯示，線香燃燒速率並非僅受線香直徑、粉末粒徑影響，成分比例與製作方式亦為關鍵因素。懸浮微粒濃度也與線香材質相關，特定配方易造成懸浮微粒擴散，或在一定距離下出現濃度較高之狀況。此外，環境條件亦影響微粒分布，狹窄場域容易發生淤積現象。

實驗另發現，**混合香粉能提升燃燒穩定性並減少污染**，香氣則可能源自不同化學成分的交互作用。

未來可深入研究不同原料的化學性質，並以本研究成果作為研發低污染線香配方與改善空氣品質之參考。

壹、前言

研究動機

燒香拜拜是臺灣的傳統習俗，但容易造成空氣汙染，燒出的煙跟粉塵也令人難受。

因此我們想改良拜拜用的線香，讓它不再污染大自然和我們的身體，也可以滿足傳統習俗的需求，讓這頭灰灰霧霧的線香怪獸改邪歸正！

研究目的

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

待答問題

- 線香的製作方法及前人的相關研究為何？
- 不同環境結構對於線香燃燒範圍的影響為何？
- 自製不同比例線香並實驗觀察其對環境的影響為何？
- 自製不同替代香粉之環保線香並實驗觀察其對環境的影響為何？
- 自製不同比例/香粉之環保線香並實驗觀察其對環境的影響為何？

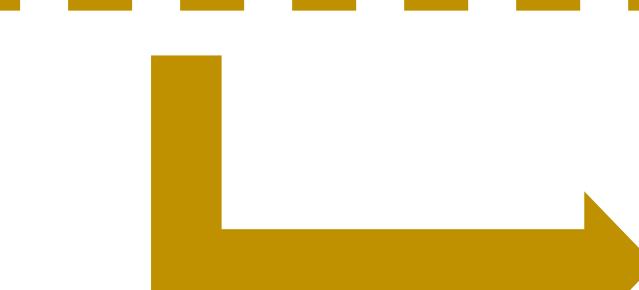


貳、研究過程及方法

惜「域」憐「香」——環保天然線香的自製研究

變項

麻園福龍宮、北和宮
鎮安宮(粗)、鎮安宮(細)
富山檀香、無極廣聖宮
正老山檀香、自然教室線香



文獻探討

了解線香的製作方法為何
了解線香對於環境影響為何

※過去研究未從源頭改良線香
使其汙染源減少

實驗一 不同環境結構

變項

空曠空間、狹窄空間

※共測量12個位置：
A/B/C/D 四方位 & 50公分/100公分/150公分

變項

黏粉:香粉
2 : 8、3 : 7、4 : 6

實驗二 不同比例香粉

重點觀察

製作重點整理
黏粉香粉比例
自製香粉調整
混合香粉調整

實驗三 不同成分香粉

變項

咖啡渣、茶葉渣、乾燥果皮

※橘子皮

實驗四 不同比例混合香粉

變項

黏粉：香粉1(檀香)：香粉2(橘子皮粉)
3 : 3 : 3 、 3 : 2 : 4

參、研究結果與討論

不同線香特色之觀察與討論

※記錄線香成分、外觀、香味、長度、燃燒狀況等

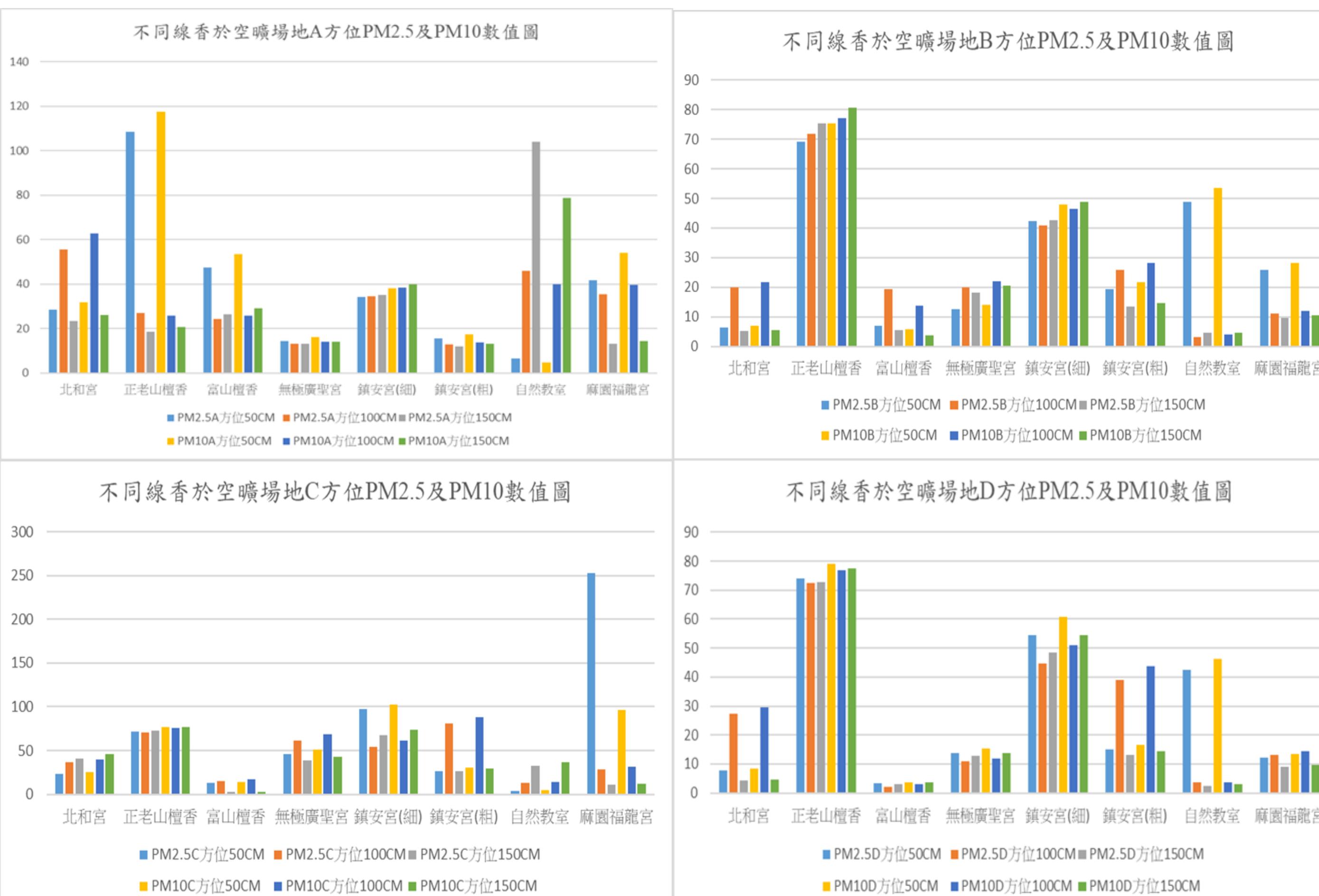
→計算體積與燃燒速率

不是越粗就燒越慢！

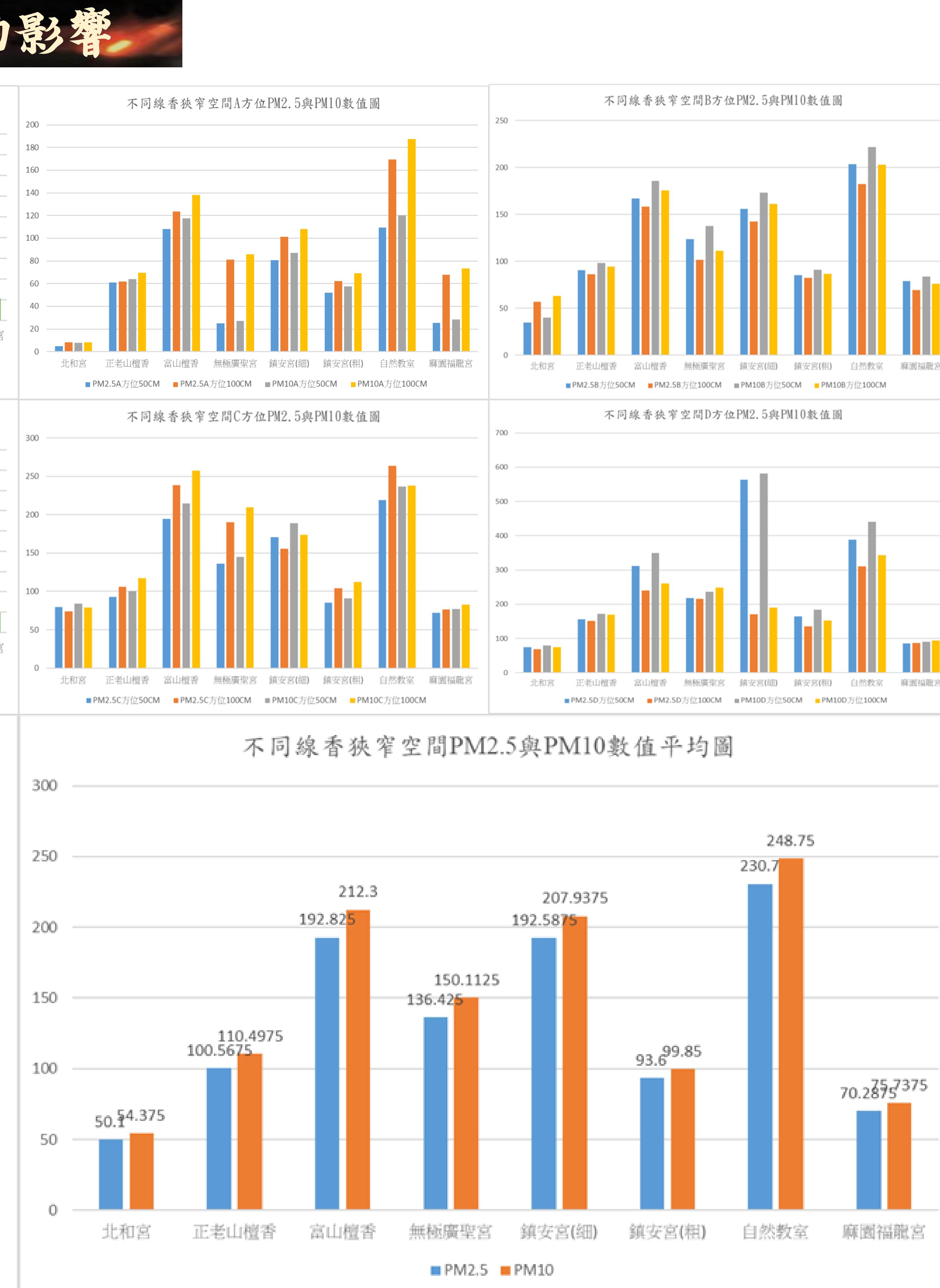
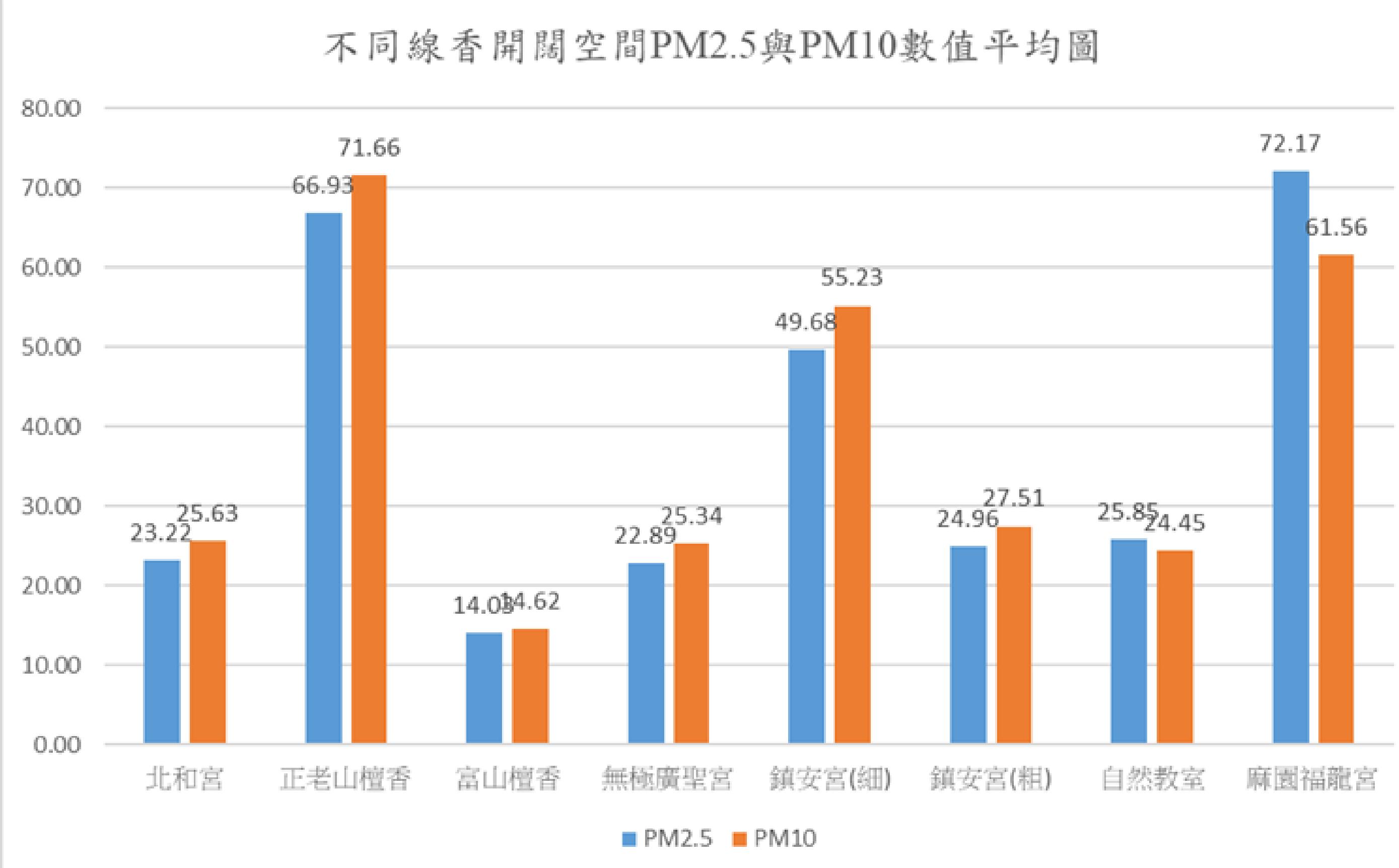
※線香燃燒速率的影響因素

- 從市售線香燃燒速率有差異推論影響因素不僅取決於直徑
- 成分比例或製作方法亦會影響到線香的燃燒速率或特性

一、不同環境結構對於線香燃燒範圍的影響



	麻園福龍宮	北和宮	鎮安宮(粗)	鎮安宮(細)	富山檀香	無極廣聖宮	正老山檀香	自然教室
底面積 (cm ²)	0.23	0.32	0.24	0.13	0.21	0.36	0.25	0.15
香長 (cm)	28	36	29	29	29	36	29	29
燃燒時間 (min)	64.33	65.67	67.33	61.33	62.33	98.67	46	65
燃燒速率 (cm ³ / min)	0.10	0.17	0.11	0.06	0.10	0.13	0.16	0.07

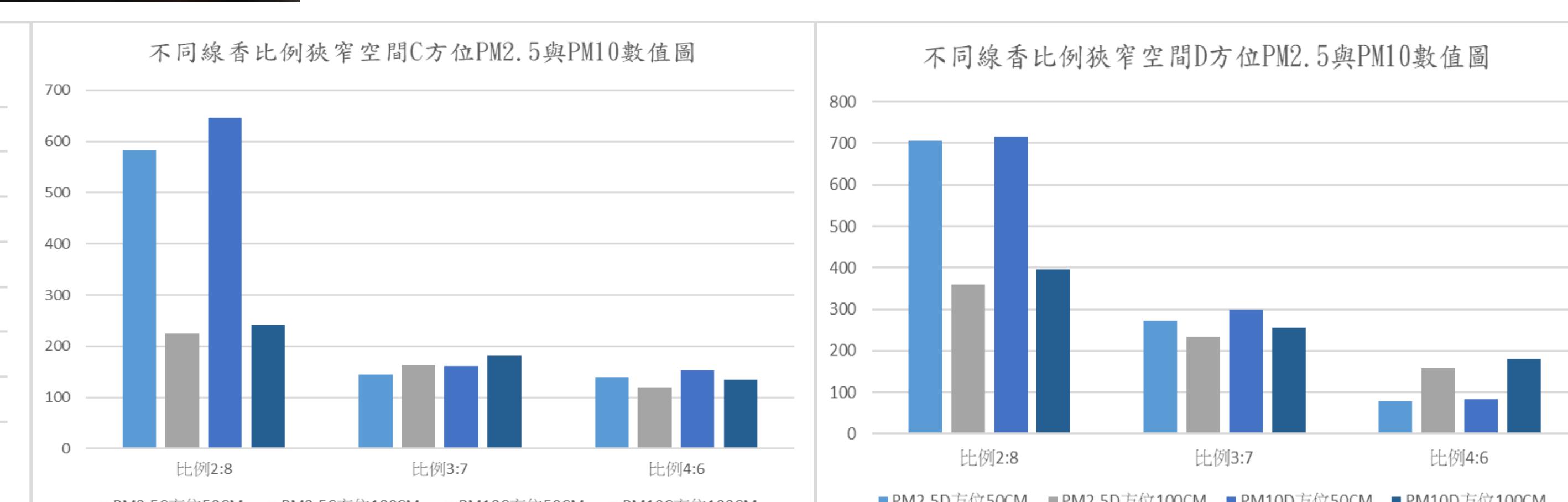
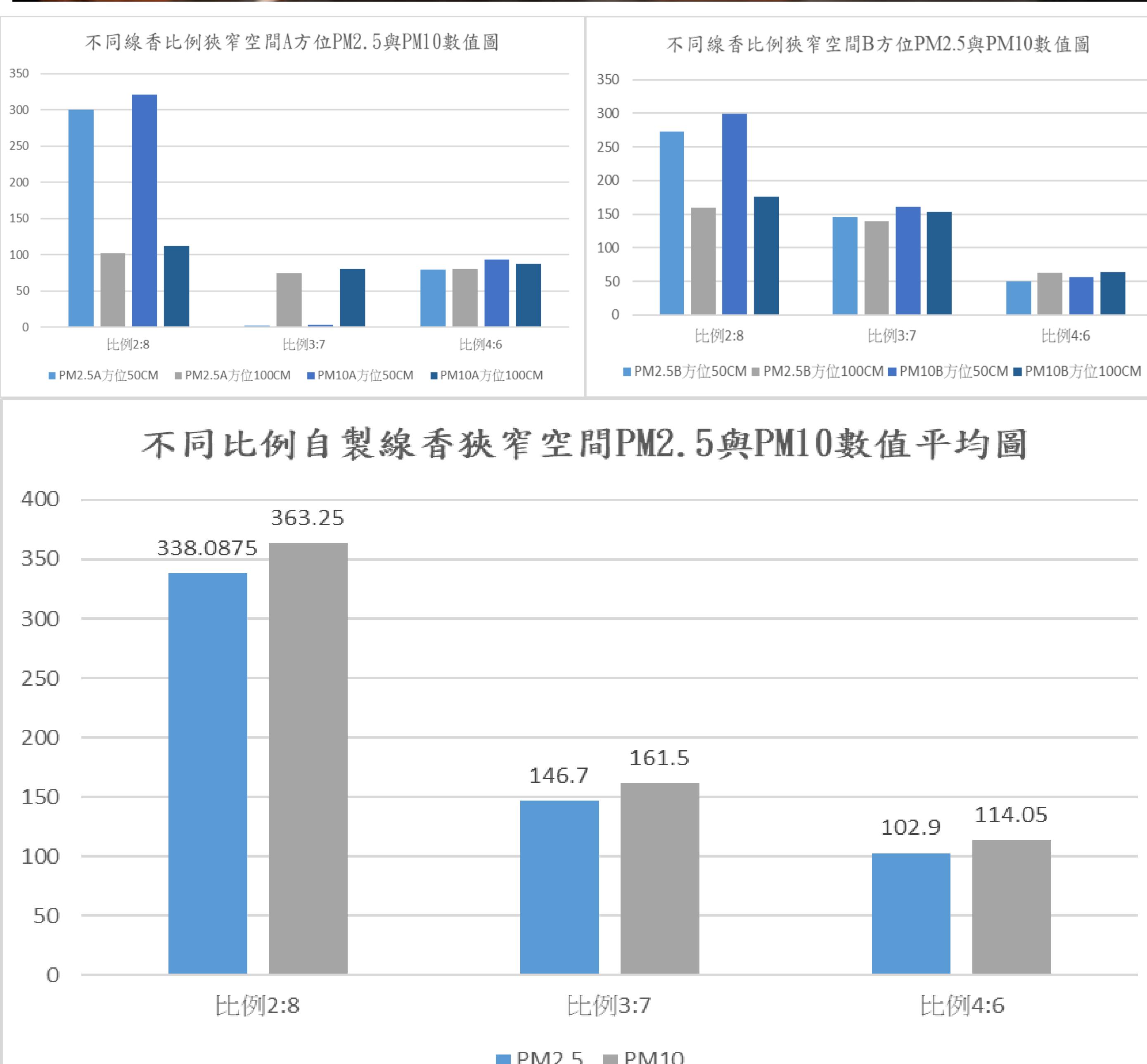


※懸浮微粒的分布與濃度：

- 狹窄空間中易形成懸浮微粒淤積，建議在線香使用時保持良好通風或於空曠區域燃燒。
- 燃燒速率高的線香不一定產生較多污染，有些市售線香在100公分處濃度反而最高，故推論懸浮微粒受到成分和比例影響。

不一定越近就越多！

二、自製不同比例線香並實驗觀察其對環境影響



※香粉成分比例對環境的影響

香粉比例越高，懸浮微粒越容易飄散。

- 尤其2:8 (黏粉：香粉) 配方對環境汙染影響最顯著。

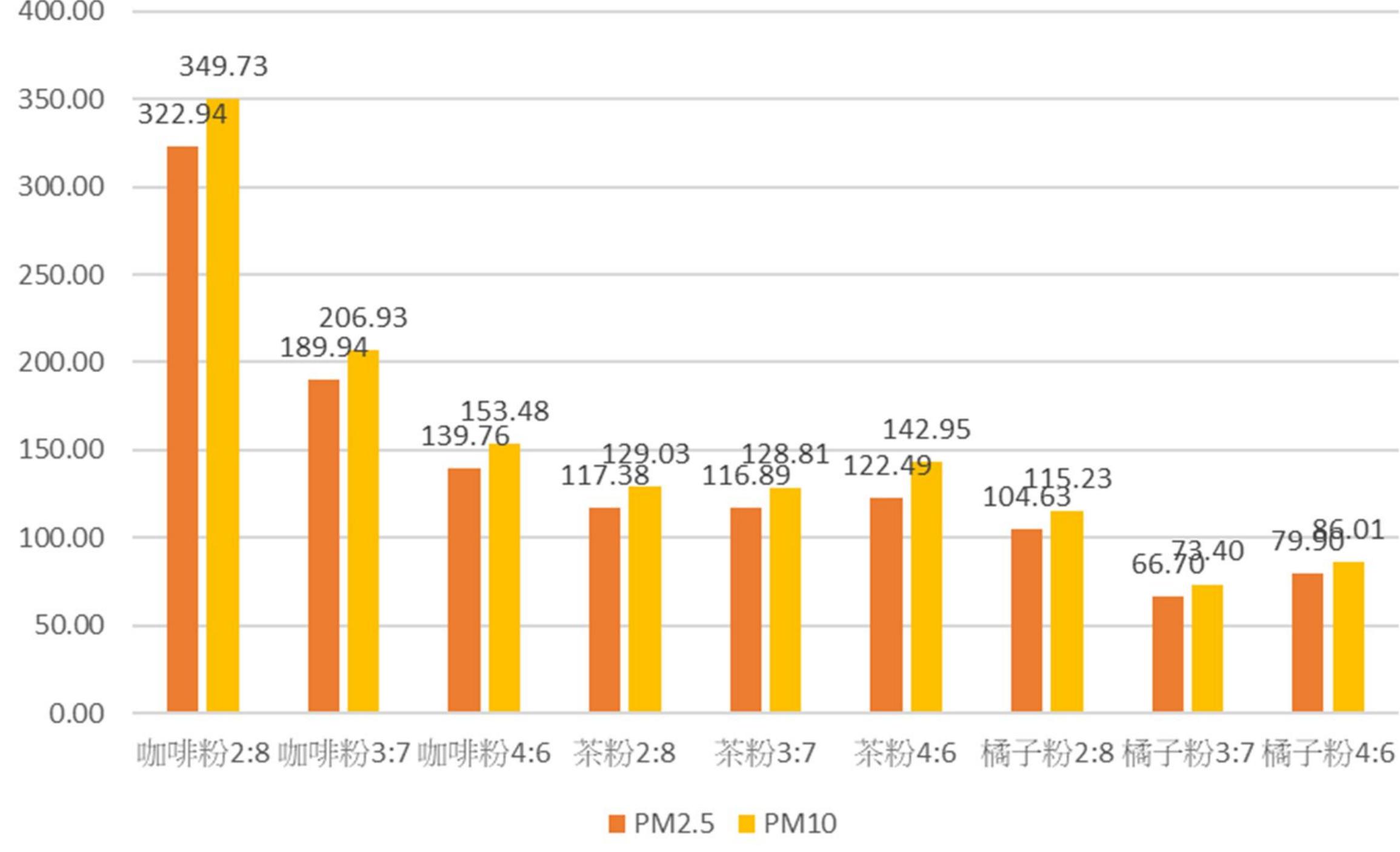
香粉比例越高，懸浮微粒產量越高，尤其在越靠近香處的濃度越高。

→香粉比例高，同時增加懸浮微粒的產生與擴散風險。

三、自製不同替代香粉之環保線香並實驗觀察其對環境影響

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

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



※不同香粉的性質與化學反應

香粉種類不同，其燃燒特性與懸浮微粒產量亦不同，與其原始化學性質密切相關。

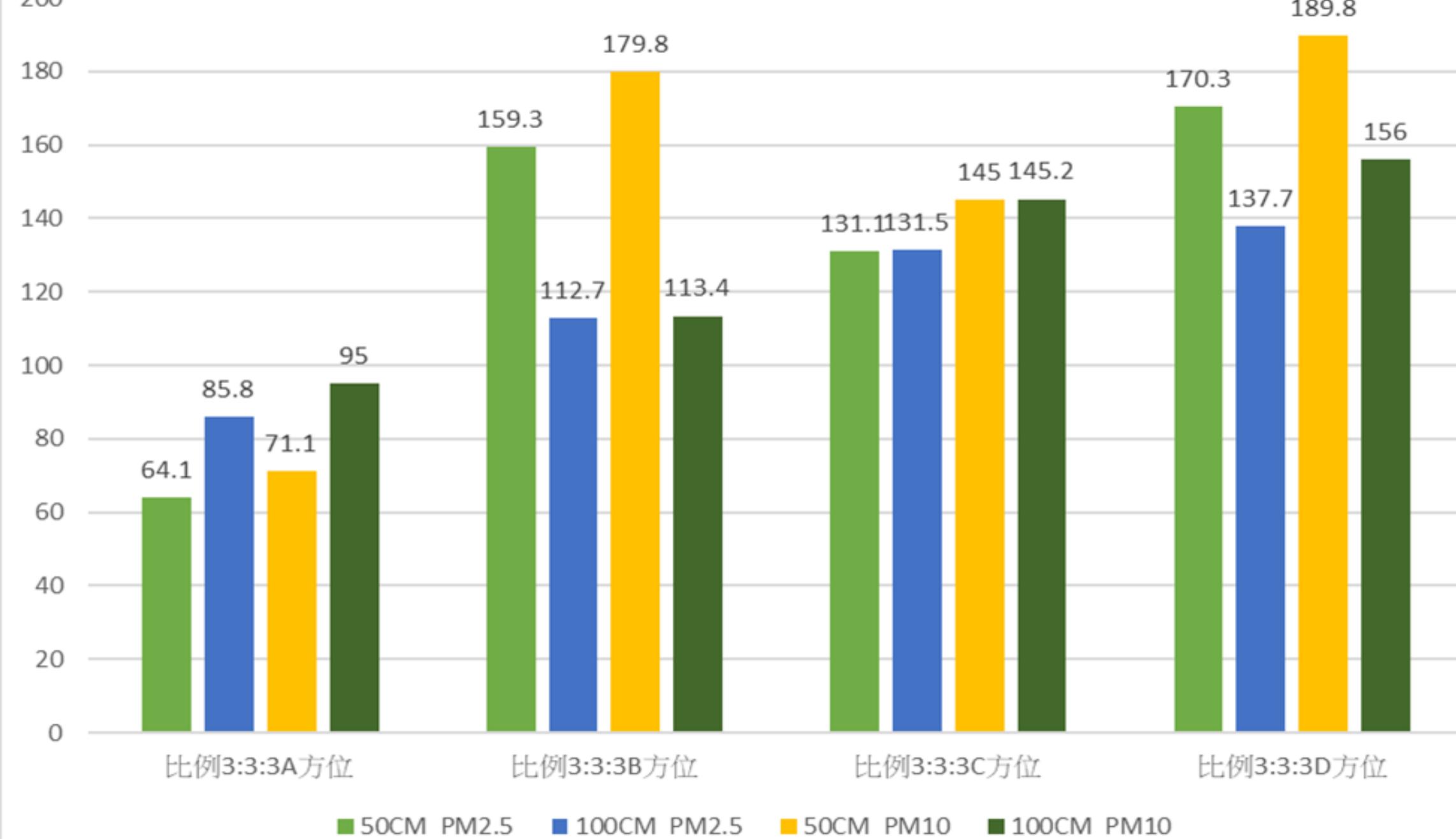
- 例：以茶粉為香粉的線香，黏粉須達一定程度時才能穩定燃燒其燃燒。
- 已經磨成細粉，但是粉末原本的特性仍會保留。自製線香香粉時，需要進一步了解不同香粉的不同化學性質。

自製線香燃燒後不一定保留原香味，可能因氣味分子與水分揮發相關。

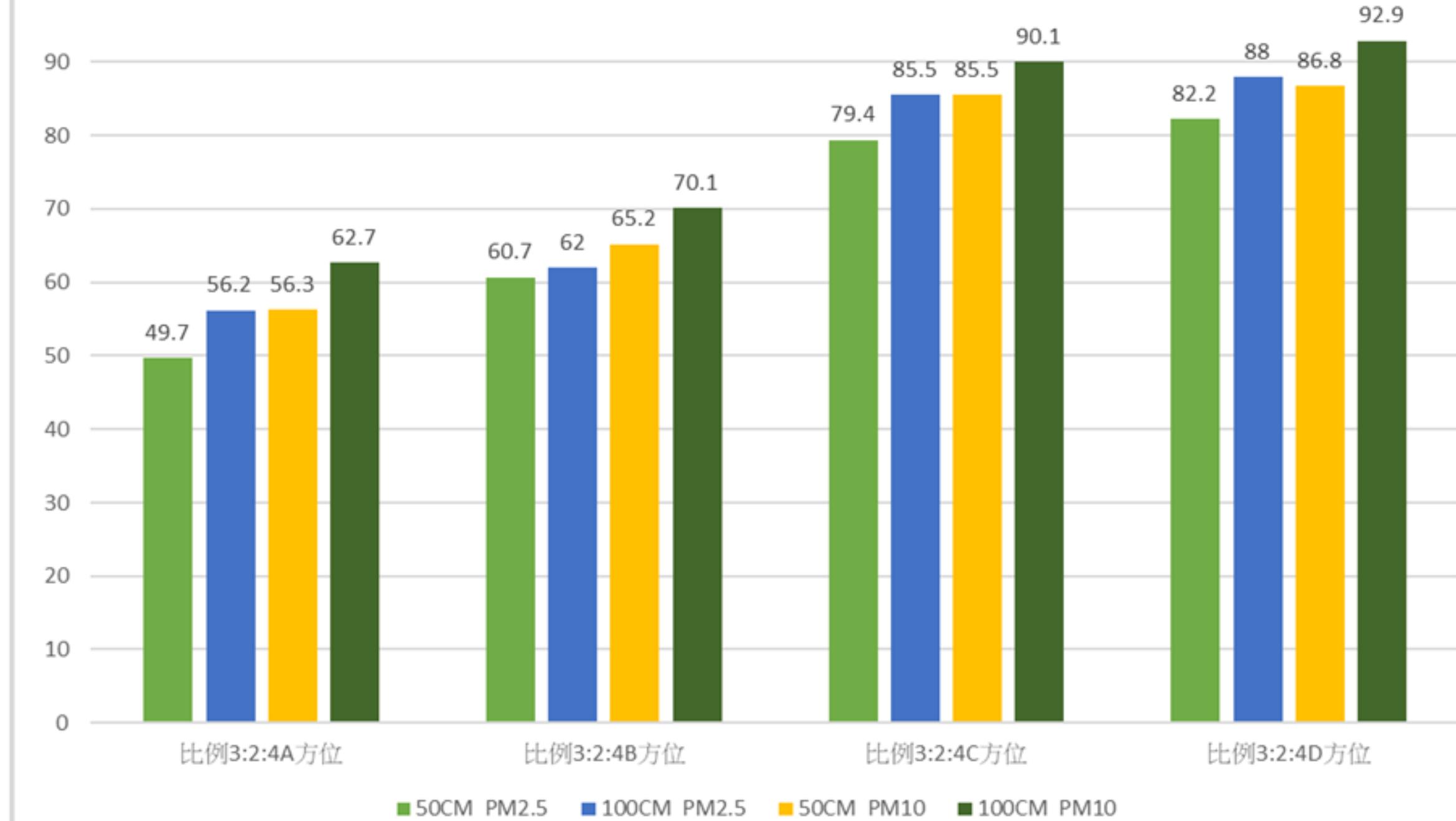
→推論市售線香應有添加其他化學物質來保持香味。

四、自製不同比例/香粉之環保線香並實驗觀察其對環境影響

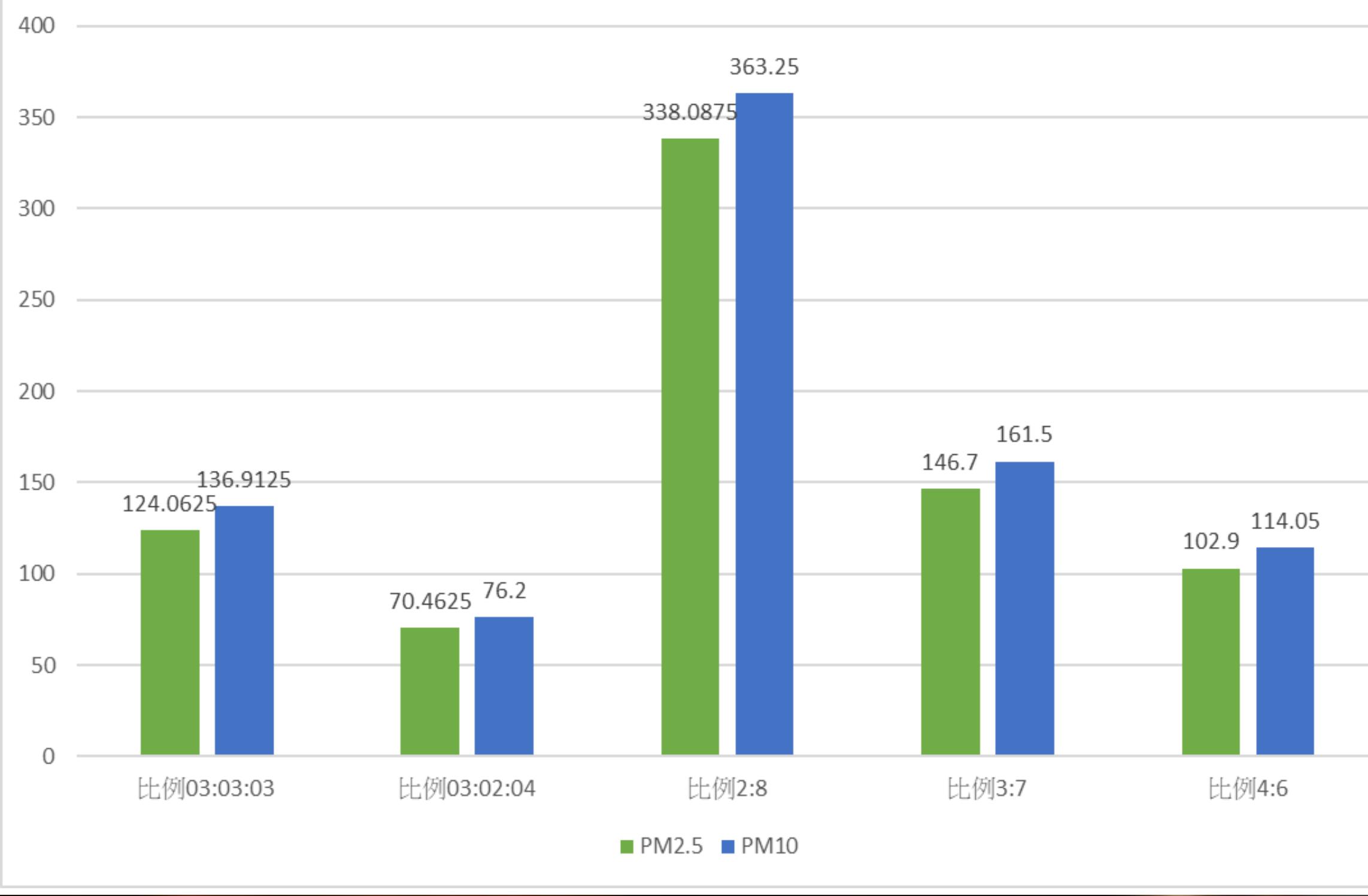
不同自製香粉比例線香狹窄空間各方位PM2.5與PM10
(比例3:3:3)



不同自製香粉比例線香狹窄空間各方位PM2.5與PM10
(比例3:2:4)



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



※混合香粉的應用發現

- 不同香粉有不同的性質，在本實驗中我們認為可以結合不同特質香粉去調出適合我們的線香。
- 不同香粉比例高未必更有效燃燒，使用混合香粉有助於穩定燃燒並降低污染。
- 某些混合配方意外產生特殊香氣，可能為不同化學成分交互反應的結果，提供未來研發方向。

肆、結論與建議

- 汙染的分布與濃度受到線香成分和比例影響，與燃燒速率無直接關係。
- 在同香粉不同比例中，香粉比例高會增加汙染產生與擴散風險。
- 在本實驗中使用混合香粉「檀香粉與橘子皮粉」有助於穩定燃燒並降低污染。
未來可考量不同種類香粉的化學特性自製環保天然線香，並測量其對於環境的影響。
- 自製線香燃燒後不一定保留原香味，未來可結合精油、芳療相關研究。