

屏東縣第 60 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生活與應用科學科(二)(環保與民生)

組 別：國小組

作品名稱：燒好香，有保庇？！

關 鍵 詞：線香、空氣品質、宮廟減香（最多三個）

編號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號：由承辦學校統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

摘要

從文獻中發現，「不燒香的行天宮和燒香的龍山寺，PM2.5 的濃度相差高達 85 倍」。本實驗透過比較實驗屋中密閉與通風環境，燃燒線香後的空氣品質變化(甲醛、懸浮微粒與揮發性有機化合物 TVOC)。並以 4 種不同香品：粉末狀香粉、標示「環保無煙」線香(香徑 3.2mm 與香徑 2.4mm)及無標示之「傳統線香」(贈品香)進行實驗探究，研究結果發現：(一)燃燒線香時仍應保持室內環境通風，有助於空氣污染物質的排出。(二)若非得燒香，則應選擇場所通風且香徑小的、具有成分標示的環保線香。(三)室內燃香盡量不要使用沉香粉，必要使用時也要記得保持室內環境通風。(四)即使在實驗屋通風環境中，超過 2 支香燃燒即產生超標之空氣污染物質，因此實施「減香」是值得肯定與推廣的。

壹、研究動機

幾年前為了認識社區，老師曾經帶我們來到學校附近的崇蘭昌黎殿踏查，發現廟裡的花板、梁柱並沒有像有些廟宇總是黑黑髒髒的，原來廟方在推動減香，為了讓廟內壁畫與雕刻和神尊永久保存，也注重點香造成的環保、健康問題，所以實施「減香」方式，這是地方廟宇上嶄新的創舉。但為什麼要減香呢？我們訪問幾位家中也有在拜拜燒香的同學，發現大家其實都不知道如果吸入過多的香，會危害人體的健康。根據早安健康編輯部 2018 年 6 月的報導：「曾有研究發現，不燒香的行天宮和燒香的龍山寺，PM2.5 的濃度相差高達 85 倍。」及「台大公衛學院發表最新研究，確切指出：家裡燒香帶來幼兒發生發展遲緩的風險，高達 44%；燒香會產生 PM2.5 細懸浮微粒，也產生有毒揮發性物質如甲苯等，吸入恐怕會引發呼吸道疾病，甚至導致肺癌、血癌」。這些訊息引發我們的關注，所以我們想知道如何降低室內燃燒線香對人體的危害？而選購線香時相關資料若有標示（或無標示）會不會有所影響呢？香徑大小和有毒物質的產生量也有關聯嗎？有一句俗諺說：「燒好香，有保庇」，比較貴的就是「好香」嗎？好多關於「香」的疑問，跟「空氣品質」都有直接的關係，我們在三年級的自然課裡學過「空氣和風」，也看過學校老師進行「煙會上升」與「空氣品質調查」的宣導，因此讓我們想去找老師幫忙解決心中的困惑。

貳、研究目的

- 一、 透過文獻探討，了解線香的成分、燃燒線香對於健康與空氣品質的影響。
- 二、 比較室內密閉環境與通風環境，燃燒不同品樣的線香後，空氣品質變化(甲醛、懸浮微粒與揮發性有機化合物 TVOC)情形。
- 三、 比較環保少煙線香不同「香徑」大小，於密閉環境與通風環境燃燒後，空氣品質變化情形。
- 四、 以貝爾斯坦試驗(Beilstein Test)檢測燃燒時的線香所產生之氣體。
- 五、 比較通風環境下，不同數量的相同線香，燃燒後空氣品質變化的情形，探討「減香」有無明顯效果。

參、文獻探討

煙（英語：Smoke）是一種物理及化學的現象。當物質燃燒，急速的化學變化，轉化或分解出的微粒或氣體叫做煙。顏色的不同代表其成分，例如石油產品，塑膠燃燒產生的煙是黑色的，含水的木料燃燒生成的煙是白色的。

一、線香介紹

民間傳統信仰無論佛教或道教都有用獻香祈福的習俗，另外不同成份的香，也可以藉由焚香產生不同的功效，例如驅蚊蟲、除臭、提振精神等等。在中國歷史記載，以焚香禮佛可追溯到漢武帝時代，在傳統中家家戶戶都會供奉著一只香爐，在禮佛與祭祀祖先時，人們會拈香一柱，透過煙霧，傳遞心中的敬畏與追思。

目前市面上的製香主要成份分為主要香料、黏著劑、助燃劑、染料、引藥、調和劑等六項。而主要的香料可分為沉香、檀香、中藥料三大類(中醫藥年報，2005)。不管是沉香、檀香或其他添加劑都是植物磨成粉末，一般人購買大多會以價格的高低來衡量香的品質。但好的香品因為取材不易、成本也較高，再加上現代化學科技的進步，線香許多成分易被人工成份合成材料取代。例如：

- (一)以合成香精取代自然萃取香料。

(二)添加石灰，增加成香的美觀並節省用料。

(三)將竹枝浸泡硝水以助燃。

(四)由於線香燃燒為悶燒，燃燒速率不佳，為預防線香熄火，在香品原料中添加硝粉當助燃劑。(劉華宇，2013)

二、燃燒線香產生的污染物

李佩珊(2014)在研究中說明，世界衛生組織已將大氣懸浮微粒列為具有確切致癌性之第一級(Group 1)致癌物。燃燒線香所產生的污染物質可分為氣項污染物和固項污染物兩大類。氣項污染物包括氮氧化合物、碳氧化合物、硫氧化合物、多種揮發性與半揮發性有機化合物、芳香醛類及脂肪醛類。固項污染物包括微粒狀污染物和灰燼。(吳虹瑩，2015)

李佩珊(2014) 研究結果發現本土 PM2.5 化學成分風險多數均呈現高風險情形，需給予必要正視。建議未來可對 PM2.5 化學成分風險採取適當措施、擴增台灣現有 PM2.5 化學成分監測項目，以及持續監測 PM2.5 化學物種長期含量變化趨勢。

三、線香燃燒與健康的關係

線香灰燼的污染會受不同種類的香料原料與添加物的影響而有些差異。美國 EPA(Environmental protection Agency)在 1990 年訂定了管制 187 項有害氣體，OECD 亦於 1999 年訂定都會區優先列管重金屬與 VCO 二大類共 15 項濃度限值，顯示國際間針對環境中濃度較低的毒性物質已經展開防範於未然的行動。(Kavlock,1983;Bolt,1999,吳虹瑩，2015)

經線香燃煙微量空氣生物毒性試驗，流行病學研究證明懸浮微粒和心肺功能病變有正相關(Seaton et al,1995;Pope et al,2002;林志科，2005；劉毅賢，2008；吳虹瑩，2015)。Lin(2004)針對 334 對母親和新生兒的研究發現拜香燃煙是提高免疫球蛋白的一項危險因子(吳虹瑩，2015)。Lowengart(1987)表示幼童暴露在室內拜香燃菸環境中會提高罹患白血症和腦腫瘤的風險(Preston-Martin et al.1982；吳虹瑩，2015)。Ames Test 亦檢測出燃煙污染物對基因有致突變性(Rasmussen,1987；吳虹瑩，2015)。且有竹材的拜香突變活性更高於無竹拜香(Lofroth et al,1991；吳虹瑩，2015)。

四、其他相關研究文獻

黃泓鈞(2013)在「拜香燃煙中多環芳香烴與重金屬污染物之生物毒性研究」中，利用燃燒

室模擬台灣室內環境，以了解拜香於室內空間燃燒之微粒特性，並將所收集到之微粒以傳統萃取方法萃取微粒中多環芳香烴 (PAHs)成分及重金屬成分。實驗結果顯示，拜香微粒中重金屬部分，以對人體較無害之 K、Na、Ca 等金屬元素為主，其金屬萃取物對細胞並無毒性反應，但拜香微粒中 PAHs 部分卻有明顯毒性反應。

高玫鍾、龍世俊(2000)在「不同通風狀態室內燒香產生 PM10 濃度變化之研究」中，模擬一般居家室內燒香情形，探討 PM10 濃度隨通風狀況、時間及距離之變化，以推估民眾在家燒香所可能暴露之 PM10 濃度範圍。結論：民眾拜拜時暴露之 PM10 濃度比平時高出至少 1 倍以上，在通風不佳時甚至高出 10 倍。建議民眾最好在通風良好之室內拜香，可減少約 200-500ug/m³ 之 PM10 暴露濃度，降低燒香所導致之健康危害。

高玫鍾、龍世俊(2000)在「香客在寺廟中懸浮微粒暴露濃度之探討」中研究後結論：大型廟宇之香爐數多，香客接觸香爐的時間較長，故其平均曝露濃度較高，而小型廟宇因為空間小，在人潮洶湧、香火鼎盛時，香客之懸浮微粒曝露濃度會增加到與在大型廟宇差不多。建議到寺廟內進香之民眾，儘量減少在寺廟中停留之時間，選擇通風較好之寺廟或避開初一、十五到廟內拜拜。

楊奇儒(2006)在「低污染拜香研發：拜香主要成分對拜香燃煙特徵之影響」研究中顯示，線香製造過程中適度的增加拜香成分中重金屬成分，如 Ca、Al、Fe、Mg 及 K，可有效減少燃燒拜香時懸浮微粒的產生量。碳酸鈣 (CaCO₃) 為製造拜香時最常用來降低成本之添加劑，添加 Ca 含量由 0.5%增加至 5%時，可有效將燃燒拜香時之懸浮微粒產生量減少約一半。若 Ca 含量由 0.5%增加至 2.0%時，約可降低 PAHs 產生量 15-30%，可有效減少拜香燃煙對於民眾之健康危害，亦可做為進一步研擬改善降低拜香燃燒產生懸浮微粒方法之重要參考資料。

肆、研究設備及器材

一、材料類：環保香(有標示成分)與贈品香(無標示成分)，(以下簡稱「環保香」與「贈品香」)、粉末狀香粉、香徑 3.2mm 與 2.4mm 之相同品牌標示為「環保少煙」香。

		
標示不同香徑的線香	無標示贈品香(龍涎香)	標示環保少煙沉香
		
各式香粉	無標示成分等資料	清楚標示成分等資料

二、 工具類：模型屋(利用其隔層空間，體積經計算為 18502cm^3)、空氣品質偵測器(可測甲醛、PM2.5 和 TVOC)2 台、手機(計時器+錄影功能)、打火機、記錄單、照相機、老虎鉗、卡式爐、手機顯微鏡、 $1.5*3\text{cm}$ 銅片數片。

1. 本實驗以下所使用標準化之實驗屋，材質為具有高透明度之壓克力，封閉環境下隔板全關，以長 29cm、寬 22cm、高 29cm 計算其體積為 $18,502\text{cm}^3$ 。
2. 本實驗所稱「通風環境」，指將實驗屋中前窗(長方形)、後門(長方形)及頂部天窗(圓形)全開，天窗處再加上旋轉式通風球 1 只。
3. 通風環境中，前窗面積為 130cm^2 、後門面積為 120cm^2 、天窗圓面積為 113.04cm^2
4. 市售空氣品質監測器(價格 1600~1900 元)，本實驗購買型號：OO-KFR-PMA，品名：大 LED 面板 3in1 空氣品質檢測儀。尺寸約 $15 \times 7 \times 4.3 \text{ cm}$ ，重量約 185g。依據其產品說明：

• PM2.5 檢測：

- 檢測原理：鐳射散射原理

- 測試粒子數：1 μ m、2.5 μ m、10 μ m
- 測試粒子品質：PM1、PM2.5、PM10
- 採樣時間：10 秒
- 檢測方式：濃度(每升)
- 檢測範圍：0~999 μ g /m³
- 甲醛/TVOC 檢測：
 - 檢測項目：空氣中的甲醛和 TVOC(含苯)
 - 甲醛檢測範圍：0~1.999 mg/m³
 - TVOC 檢測範圍：0~9.999 mg/m³
 - 檢測技術：半導體傳感技術
 - 採樣方式：擴散式採集
 - 濃度單位：mg/m³

		
<p>模型實驗屋</p>	<p>空氣品質檢測器</p>	<p>手機顯微鏡</p>
		
<p>實驗模型：空氣品質檢測器、 線香、長尾夾、實驗屋</p>	<p>銅片（或銅條）、試管、線 香</p>	<p>打火機、香粉、小碟子</p>


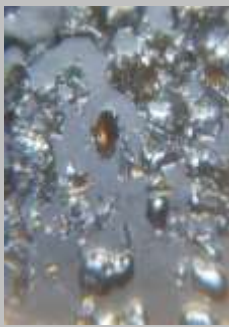

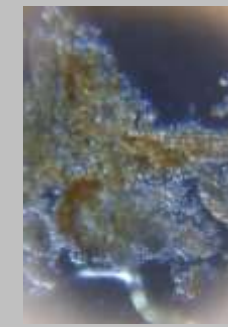
伍、 研究過程與結果

一、 探討不同種類的香品外觀、氣味、觸感及在顯微鏡下的觀察

(一) 研究過程與方法：

1. 我們去拜訪了販賣香的一般店家及連鎖店家，分別從**一般店家**取得沉香粉末、便宜無成分標示的贈品香，以及從**連鎖店家**取得包裝上有標示成分、並標榜「環保少煙」，香徑分別為 3.2mm 及 2.4mm 的環保香。
2. 用五感方式與組員討論，歸納出我們對於這四種不同種類的香品的觀察和感受。
3. 將四種香品的粉末(線香類則以刀片輕輕刮下粉末)分別放在手機顯微鏡下，以高倍鏡放大觀察(其光學倍率以手機觀察約 30~200 倍，解析度：約 1 μm (500 line pair/mm)。放大倍率與解析效果依不同智慧型裝置而定。)

(二) 觀察結果：

香品種類 線香特性	沉香粉末	贈品香(無標示) 3.2mm 香徑	環保香(有標示) 3.2mm 香徑	環保香(有標示) 2.4mm 香徑
外觀	深咖啡色 粉末狀	淺咖啡色 香徑較粗	淺咖啡色 香徑較粗	淺咖啡色 香徑較細
氣味	氣味較刺鼻 有些許精油味	味道不好聞 稍微刺鼻 燃燒時刺鼻味道 較重	氣味不重 不會刺鼻 有白膠味	氣味不重 和 3.2mm 環保香 氣味相近
觸感	摸起來顆粒最 細，觸感最滑	摸起來較粗 有顆粒感	摸起來較粗 有顆粒感	摸起來比 3.2mm 香徑的香觸感較 細滑
顯微鏡觀察 (描述)	具有植物細胞 壁的木材粉末	找到木材粉末裡 參雜有橘紅色的 (橢)圓形物質，判 斷可能是琥珀	木材粉末狀物質	木材粉末狀物質
顯微鏡觀察 (影像)				

(三)觀察發現：

- 1.不同的香由於製作方法和材料不同，所以在外觀、味道和觸感上也不盡相同。
- 2.香一般指以木材粉末與一些添加的香料、藥劑、粘合劑做成的，用於燃燒的物品。
粉末狀香摸起來質感較細嫩，線香類的香摸起來則較粗糙。
- 3.顯微鏡底下的觀察，可以看到主要的成分為木材粉末，原因是我們在顯微鏡底下看到很多具有細胞壁構造的物質，因此判斷為木材粉末。
- 4.從贈品香(線香)刮除下來的粉末中，我們在顯微鏡底下看到一些清楚的黃色發亮物質，再請教香品店的店家後，我們推測這種黃色物質應該是「琥珀」(松科松屬植物的樹脂化石)。而標榜「龍涎香」的廉價贈品香中裡面就含有琥珀的微小成分。

(四)資料驗證：

為什麼線香中要加入「琥珀」呢？

如果自然形成的琥珀價格應該很貴，為什麼會在廉價的「贈品香」中發現呢？

根據文獻探討以及和老師討論的結果，我們認為贈品香因為價格低廉，在成本考量下無法添加較多、品質較佳的香粉，因此廠商可能會為了提升香品的香氣而會加入人工化學添香劑或人工琥珀，因此我們會在「贈品香」中以顯微鏡看到所謂的「人工琥珀」。這種便宜行事的作法，讓人擔心是否就是造成"有毒香"的原因。

二、 貝爾斯坦試驗

以貝爾斯坦試驗(Beilstein Test)檢測燃燒時的線香所產生之氣體，是否含有氯化物(Cl)。TVOC含有12種揮發性有機物；苯、四氯化碳、氯仿、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、二氯甲烷、乙苯、苯乙烯、四氯乙烯、三氯乙烯、甲苯及二甲苯。當居室中揮發性有機物(voc)濃度超過一定濃度時，在短時間內人們感到頭痛、噁心、嘔吐、四肢乏力；嚴重時會抽搐、昏迷、記憶力減退。揮發性有機物(voc)傷害人的肝臟、腎臟、大腦和神經系統，其中還包含了很多致癌物質。室內空氣被揮發性有機物污染已引起各國重視。行政院環境保護署環署訂定總揮發性有機化合物 (TVOC)含量需少於 0.56ppm，但是在我們採用手

持檢測器實驗中卻發現燃燒 3 種香品，都在短短一分鐘不到的時間就超標了。

(2020.02.14<https://www.taiwanwatch.org.tw/node/659>)

因此我們想要進一步透過「貝爾斯坦試驗 (Beilstein Test)」檢測線香煙霧中是否含有有毒氣體氯化物。

(一)實驗步驟：

步驟一：銅線的一端置於爐火上加熱，直到表面上所有的雜質都被燒完，且銅線變成火紅為止。

步驟二：將燒紅的銅線放入充滿煙霧的試管中 1 分鐘。

步驟三：將銅線移回爐火上，並觀察爐火的顏色是否改變。如果爐火變成特別的綠色，則表示有氯化物存在。

		
步驟一：燒紅銅線	步驟二：放入煙霧試管中沾黏煙霧	步驟三：燃燒銅線，觀察火焰顏色

(二)實驗結果發現：

將環保線香、贈品香與沉香粉末等三種煙霧，分別測試三次，發現火焰都沒有呈現綠光。因此判定燃燒線香中所產生的 TVOC(總揮發性有機物)中，應沒含或僅有少量的有毒的氯化物氣體。

三、 進行線香實驗(一)、點燃線香在封閉環境中的空氣品質變化。

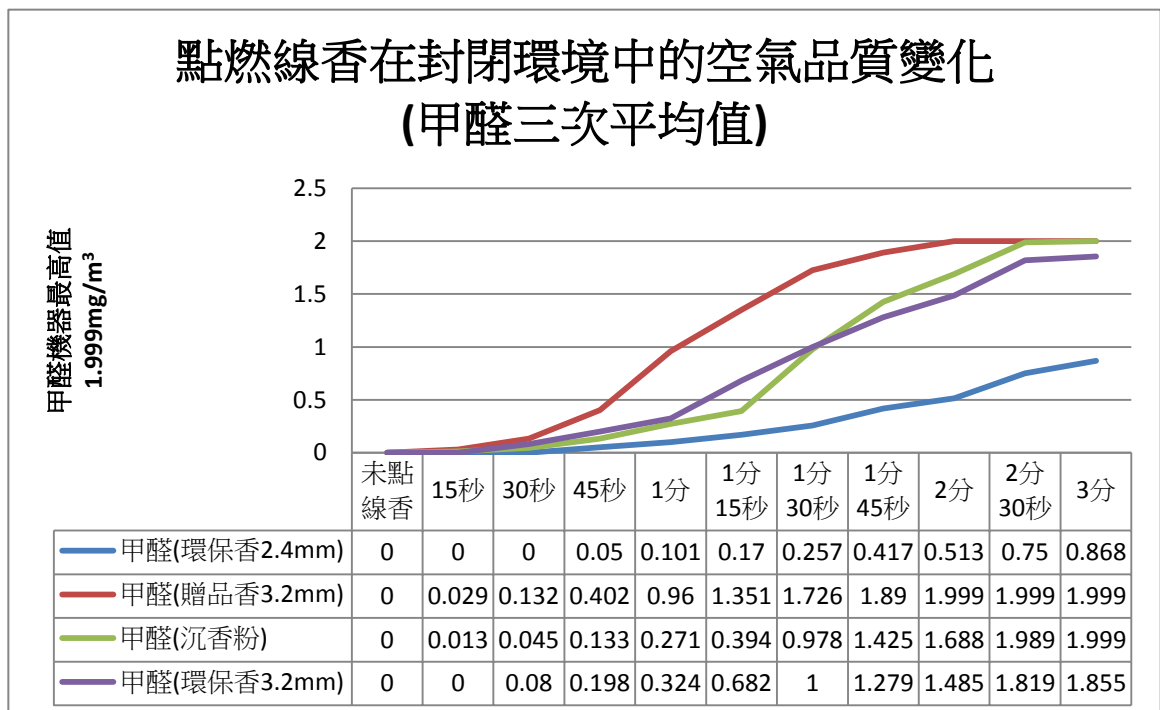
(一)研究過程與方法：

1. 取⁽¹⁾ 香徑 2.4mm 及⁽²⁾香徑 3.2mm 有成分標示包裝之環保少煙品項的線香(環保香)、⁽³⁾香徑 3.2mm 無標示成分包裝之贈品香，線香以剪刀各切 10 公分為 1 支。

- 取 3g 的沉香粉末，以小碟子裝盛。
- 實驗屋中配置空氣品質檢測器，開啟開關等待 3 分鐘，數值出現甲醛： $0\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ ： $<35\text{ug}/\text{m}^3$ 、 TVOC ： $0\text{mg}/\text{m}^3$ ，即可進行實驗測量。
- 分別點燃線香(含沉香粉末)後置入實驗屋中，以活動式隔板控制實驗屋中的〔封閉〕與〔通風〕環境。本實驗隔板全關，為〔封閉〕狀態。
- 以每 15 秒為單位，人員分工觀察、報讀與紀錄三類空氣品質數值，至 3 分鐘後實驗結束。並另外登記空氣品質檢測器三類指標均達最大高峰值之時間。
- 本實驗使用之空氣品質監測器，三大類指標最高數值如下：甲醛： $1.999\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ ： $<999\text{ug}/\text{m}^3$ 、 TVOC ： $9.999\text{mg}/\text{m}^3$
- 同時間進行 3 次實驗，分別測得甲醛、 $\text{PM}_{2.5}$ 及 TVOC 之機器數值，再取 3 次平均數為最後實驗數據，輸入 EXCEL 軟體中進行圖表分析。

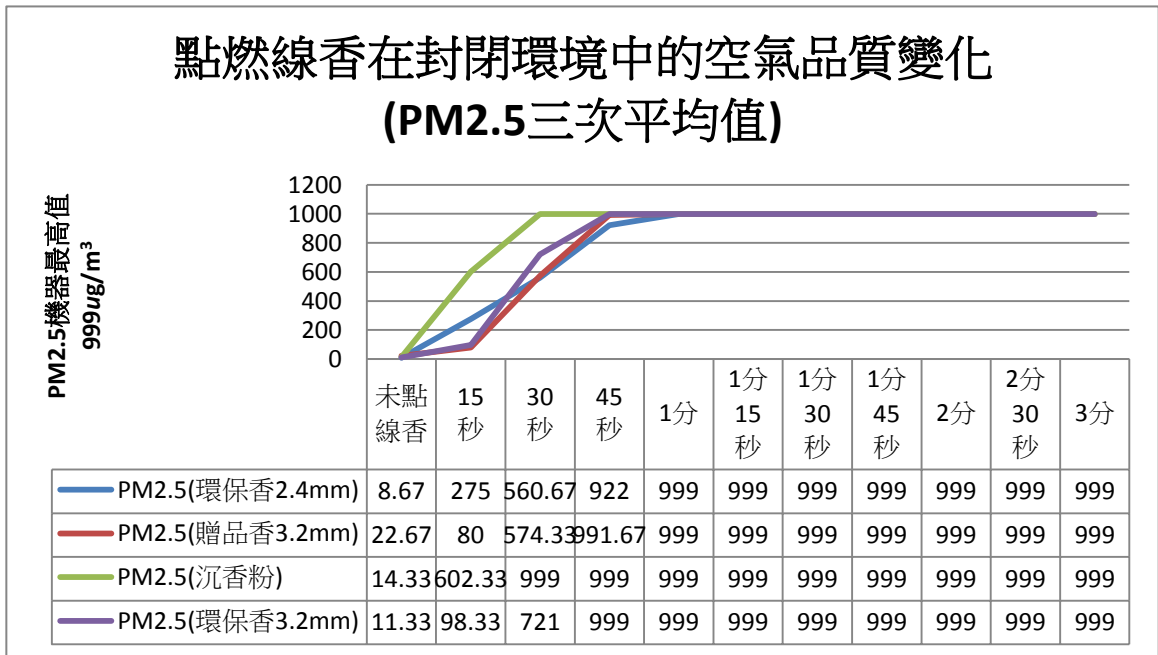
(二)實驗結果與記錄：

進行線香實驗(一)，點燃線香在封閉環境中的空氣品質變化之結果如以下數據：



(三)實驗發現(甲醛)：

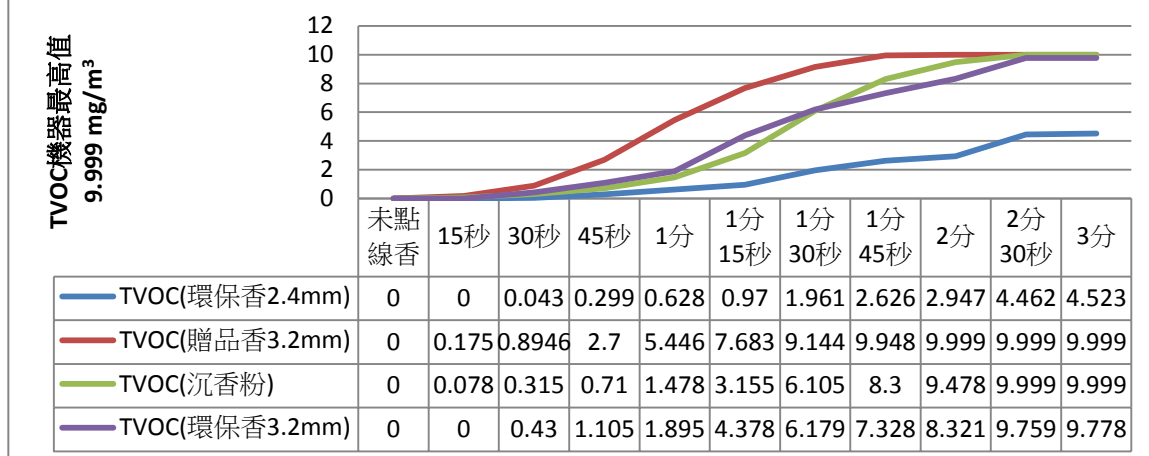
1. 在封閉環境中，贈品香(3.2mm)甲醛數值上升速度最快。
2. 在封閉環境中，環保香(2.4mm)甲醛數值上升速度最慢。
3. 在封閉環境中，環保香(3.2mm)與沉香粉的甲醛數值上升速度相近。
4. 贈品香(3.2mm)甲醛數值在 2 分時最先達 1.999mg/m³ 高標，沉香粉在 2 分 30 秒之後達標，環保香(3.2mm)和環保香(2.4mm)在 3 分鐘內均未達高標。



(四)實驗發現(懸浮微粒 PM2.5)：

1. 在封閉環境中，沉香粉的 PM2.5 數值上升速度最快，也最先達 999ug/m³ 高標。
2. 在封閉環境中，環保香(2.4mm) PM2.5 數值數值上升速度穩定上升，1 分鐘時達到 999ug/m³ 高標。
3. 在封閉環境中，贈品香(3.2mm)和環保香(3.2mm)在前 15 秒因未達燃燒效率，產生之 PM2.5 較少，15 秒過後可看出他們的燃燒效率明顯提升，1 分鐘後均達 999ug/m³ 高標。

點燃線香在封閉環境中的空氣品質變化 (TVOC三次平均值)



(五)實驗發現(揮發性 TVOC)：

1. 在封閉環境中，贈品香(3.2mm)TVOC 數值上升速度最快。2 分鐘即達 9.999 mg/m³ 最高標。
2. 在封閉環境中，環保香(2.4mm)TVOC 數值上升速度最慢。3 分鐘仍未達標。
3. 在封閉環境中，環保香(3.2mm)與沉香粉的 TVOC 數值上升速度相近。
4. 贈品香(3.2mm) TVOC 數值在 2 分時最先達 9.999mg/m³ 高標，沉香粉在 2 分 30 秒之後達標，環保香(3.2mm)於 3 分時也接近最高標，而環保香(2.4mm)在 3 分鐘內未達 9.999 mg/m³ 最高標。

四、進行線香實驗(二)、點燃線香在通風環境中的空氣品質變化。

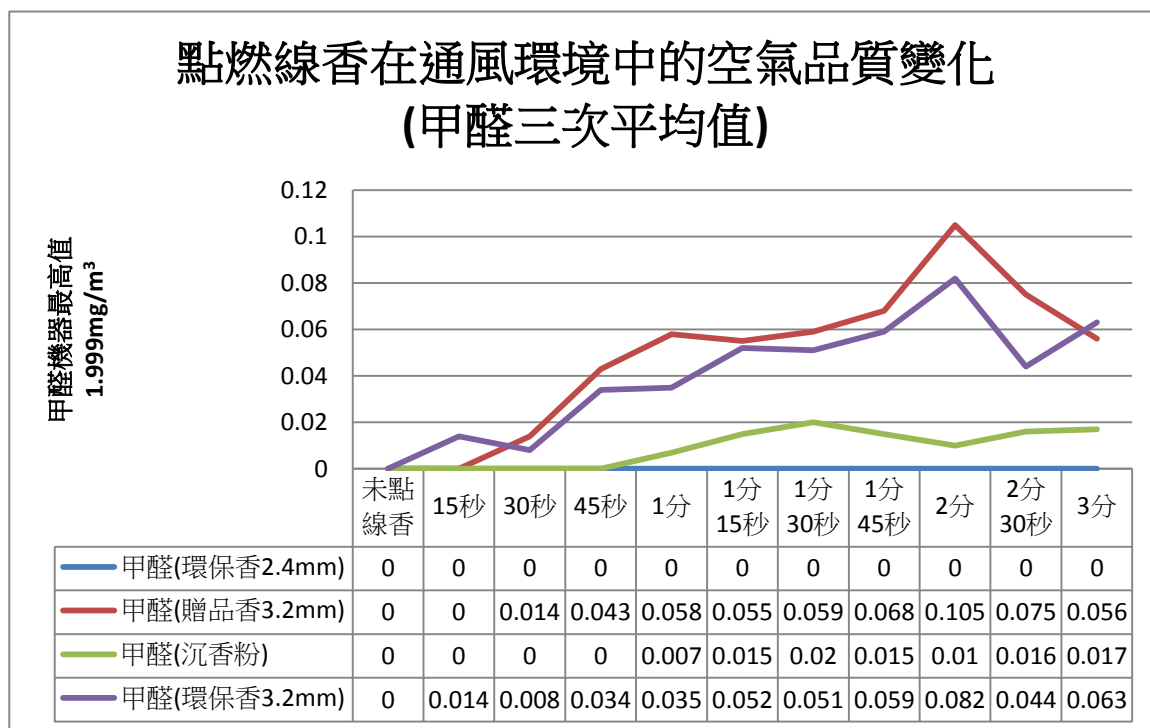
(一)研究過程與方法：

1. 取⁽¹⁾ 香徑 2.4mm 及⁽²⁾香徑 3.2mm 有成分標示包裝之環保少煙品項的線香(環保香)、⁽³⁾香徑 3.2mm 無標示成分包裝之贈品香，線香以剪刀各切 10 公分為 1 支。
2. 取 3g 的沉香粉末，以小碟子裝盛。
3. 實驗屋中配置空氣品質檢測器，開啟開關等待 3 分鐘，數值出現甲醛：0mg/m³、PM2.5：<35ug/m³、TVOC：0 mg/m³，即可進行實驗測量。

- 分別點燃線香(含沉香粉末)後置入實驗屋中，以活動式隔板控制實驗屋中的〔封閉〕與〔通風〕環境。本實驗隔板全開，天窗掛置通風球，為〔通風〕狀態。
- 以每 15 秒為單位，人員分工觀察、報讀與紀錄三類空氣品質數值，至 3 分鐘後實驗結束。並另外登記空氣品質檢測器三類指標均達最大高峰值之時間。
- 本實驗使用之空氣品質監測器，三大類指標最高數值如下：甲醛： $1.999\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ ： $<999\text{ug}/\text{m}^3$ 、 TVOC ： $9.999\text{mg}/\text{m}^3$
- 同時間進行 3 次實驗，分別測得甲醛、 $\text{PM}_{2.5}$ 及 TVOC 之機器數值，再取 3 次平均數為最後實驗數據，輸入 EXCEL 軟體中進行圖表分析。

(二)實驗結果與記錄：

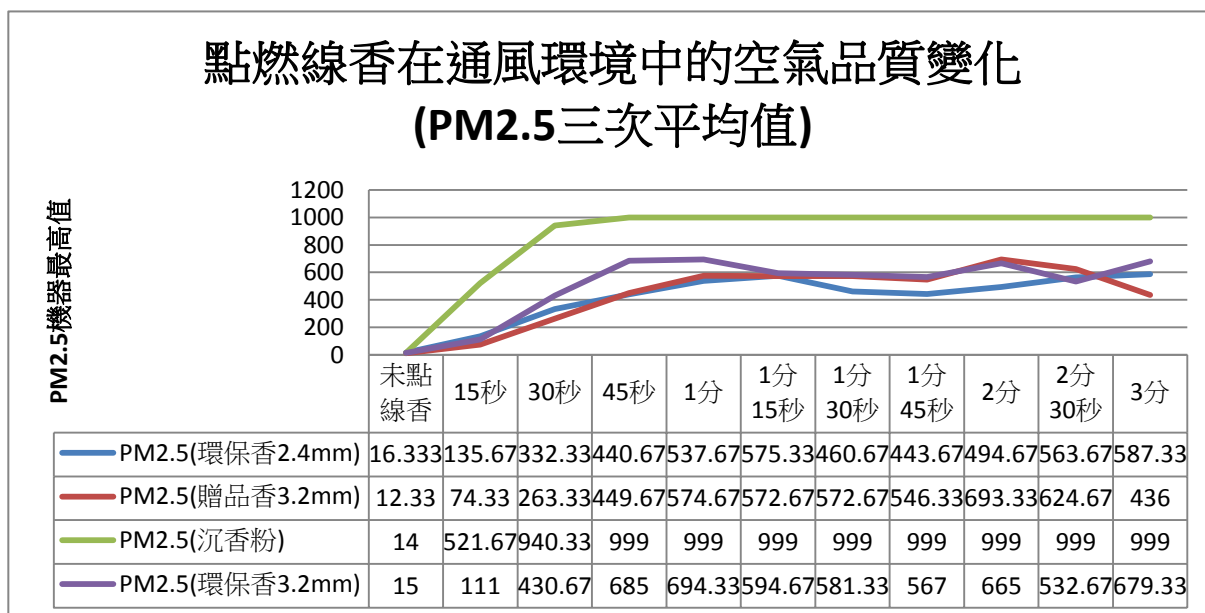
進行線香實驗(二)、點燃線香在通風環境中的空氣品質變化之結果如以下數據：



(三)實驗發現(甲醛)：

- 在通風環境中，3 分鐘內環保香(2.4mm)甲醛數值均為 0，未測出。
- 在通風環境中，贈品香(3.2mm)到 30 秒才開始有甲醛數據檢出，30 秒後數據上升顯著。
- 在通風環境中，沉香粉到 1 鐘後才開始有甲醛數據檢出，之後數據上升平緩。

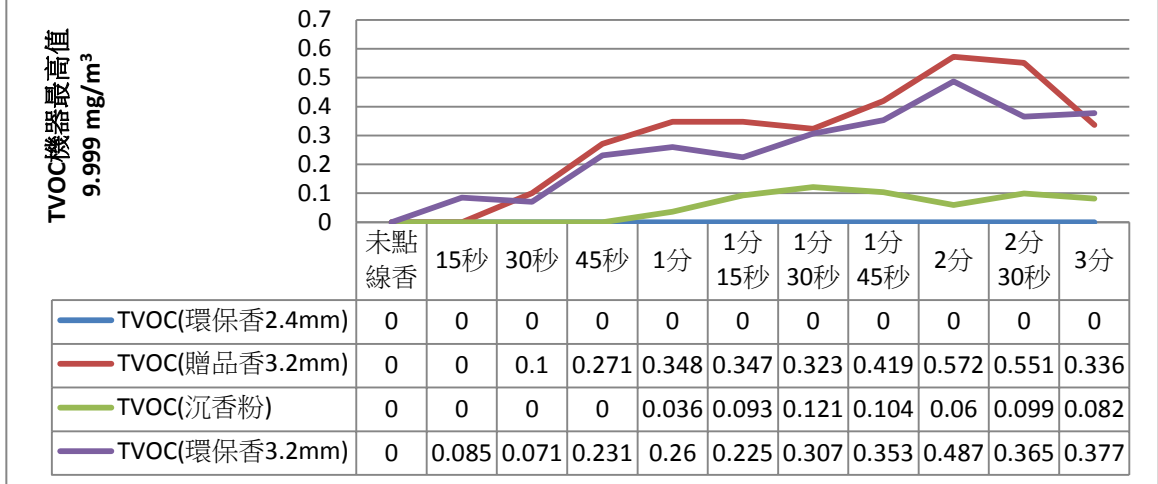
- 在通風環境中，4種香品的甲醛數值均未達 $1.999\text{mg}/\text{m}^3$ 高標，比較4種香品在3分鐘內的甲醛機器最高檢測值，依序為：贈品香(3.2mm)>環保香(3.2mm)>沉香>環保香(2.4mm)
- 在通風環境中，最快產生 TVOC 並被機器檢測出來，依序為環保香(3.2mm)>贈品香(3.2mm)>沉香粉，環保香(2.4mm)在實驗3分鐘內均未檢出(數值為 $0\text{mg}/\text{m}^3$)。



(四)實驗發現(懸浮微粒 PM2.5)：

- 在通風環境中，沉香粉的 PM2.5 數值上升速度最快，也最先達 $999\text{ug}/\text{m}^3$ 高標。
- 在通風環境中，除了沉香粉達高標外，其餘線香類〔贈品香(3.2mm)和環保香(3.2mm)及環保香(2.4mm)〕產生之 PM2.5 較少，均未達 $999\text{ug}/\text{m}^3$ 高標。
- 三種線香類在通風環境下，所產生的 PM2.5 數據皆非常相近。

點燃線香在通風環境中的空氣品質變化 (TVOC三次平均值)



(五)實驗發現(TVOC)：

1. 在通風環境中，3 分鐘內環保香(2.4mm)TVOC 數值均為 0，未測出。
2. 在通風環境中，贈品香(3.2mm)到 30 秒才開始有 TVOC 數據檢出，30 秒後數據上升顯著。
3. 在通風環境中，沉香粉到 1 鐘後才開始有 TVOC 數據檢出，之後數據上升平緩。
4. 在通風環境中，4 種香品的 TVOC 數值均未達 9.999mg/m³ 高標，比較 4 種香品在 3 分鐘內的 TVOC 機器最高檢測值，依序為：贈品香(3.2mm)>環保香(3.2mm)>沉香粉>環保香(2.4mm)
5. 在通風環境中，最快產生 TVOC 並被機器檢測出來，依序為環保香(3.2mm)>贈品香(3.2mm)>沉香粉，環保香(2.4mm)在實驗 3 分鐘內均未檢出(數值為 0 mg/m³)。


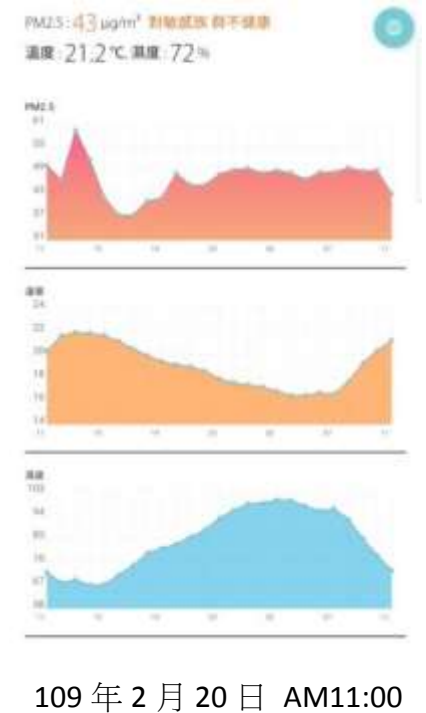
五、進行線香實驗(三)、增加線香數在通風環境下的空氣品質變化(2.4mm 環保香)。

(一)研究過程與方法：

1. 取香徑 2.4mm 有成分標示包裝之環保少煙品項的線香(環保香)，分別取 10 公分線香段，比較每次同時點燃 1 支、2 支、3 支、4 支及 5 支環保香的空氣品質變化。
2. 實驗屋中配置空氣品質檢測器，開啟開關等待 3 分鐘，數值出現甲醛：0mg/m³、

PM2.5 : <35ug/m³、TVOC : 0 mg/m³，即可進行實驗測量。

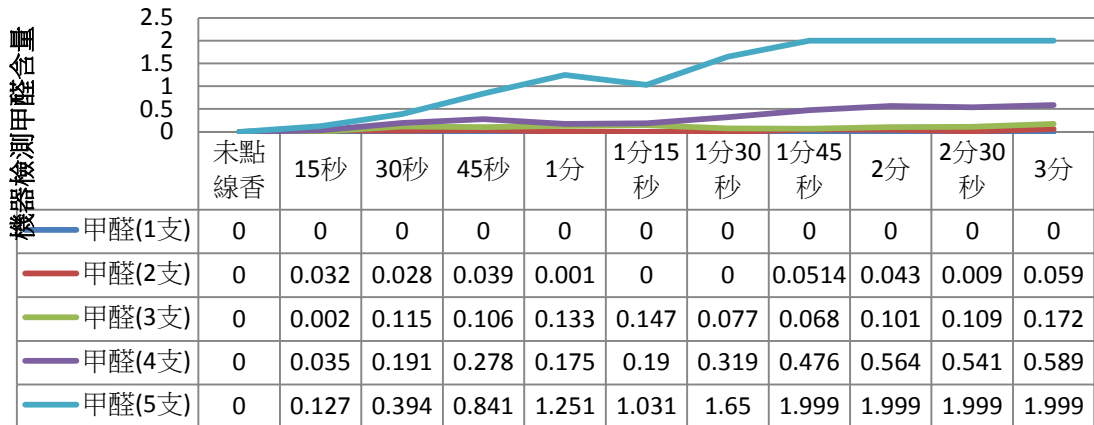
3. 分別點燃線香(1 支~5 支分次進行)後置入實驗屋中，以活動式隔板控制實驗屋的〔封閉〕與〔通風〕環境。本實驗隔板全開，天窗掛置通風球，為〔通風〕狀態。
4. 以每 15 秒為單位，人員分工觀察、報讀與紀錄三類空氣品質數值，至 3 分鐘後實驗結束。並另外登記空氣品質檢測器三類指標均達最大高峯值之時間。
5. 本實驗使用之空氣品質監測器，三大類指標最高數值如下：甲醛：1.999mg/m³、PM2.5 : <999ug/m³、TVOC : 9.999 mg/m³

	 <p>PM2.5: 43 ug/m³ 對敏感族群不健康 溫度: 21.2°C 濕度: 72%</p> <p>109 年 2 月 20 日 AM11:00</p>	<p>依照實驗當日學校空氣盒子(EdiGreen Air Box)數值，提供實驗時大氣溫度為 21.2°C、濕度 72%、PM2.5 為 43 ug/m³</p> <p>體感為「舒適」「無風」</p> <p>目的：選擇通風環境進行線香數不同燃燒後空氣品質變化的實驗，是為了模擬一般用香室內環境中，探討「減香」有無明顯效果。</p>
		

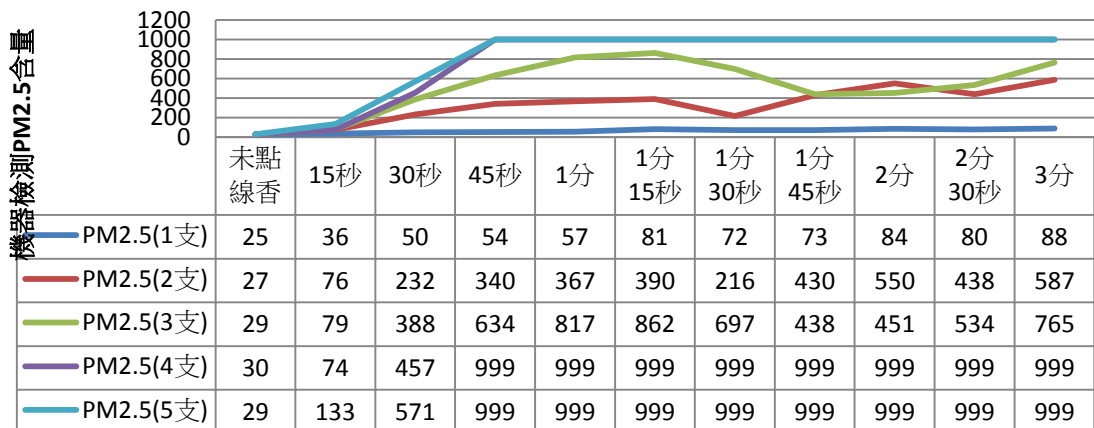
(二)實驗結果與記錄：

進行線香實驗(三)、增加線香數在通風環境下的空氣品質變化(2.4mm 環保香)之結果如以下數據：

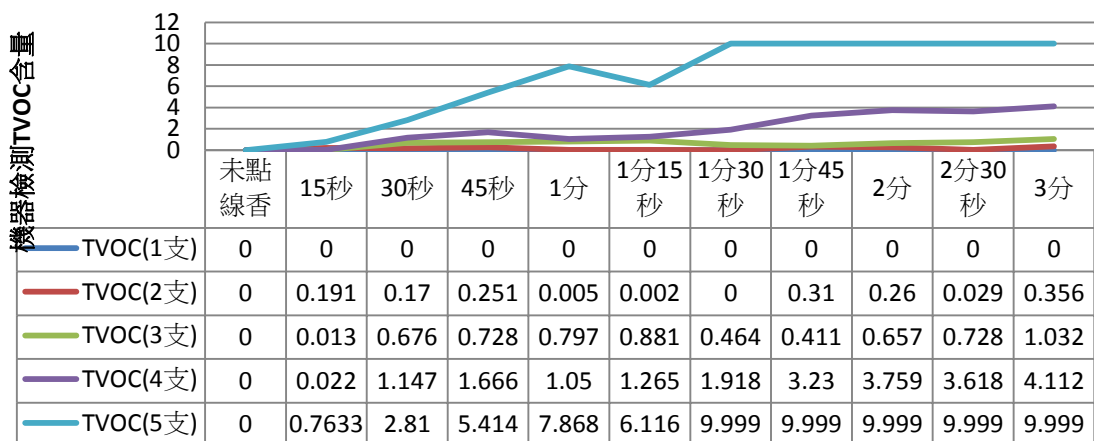
增加線香數在通風環境下的 甲醛空氣品質變化(環保線香2.4mm)



增加線香數在通風環境下的 PM2.5空氣品質變化(環保線香2.4mm)



增加線香數在通風環境下的 TVOC空氣品質變化(環保線香2.4mm)

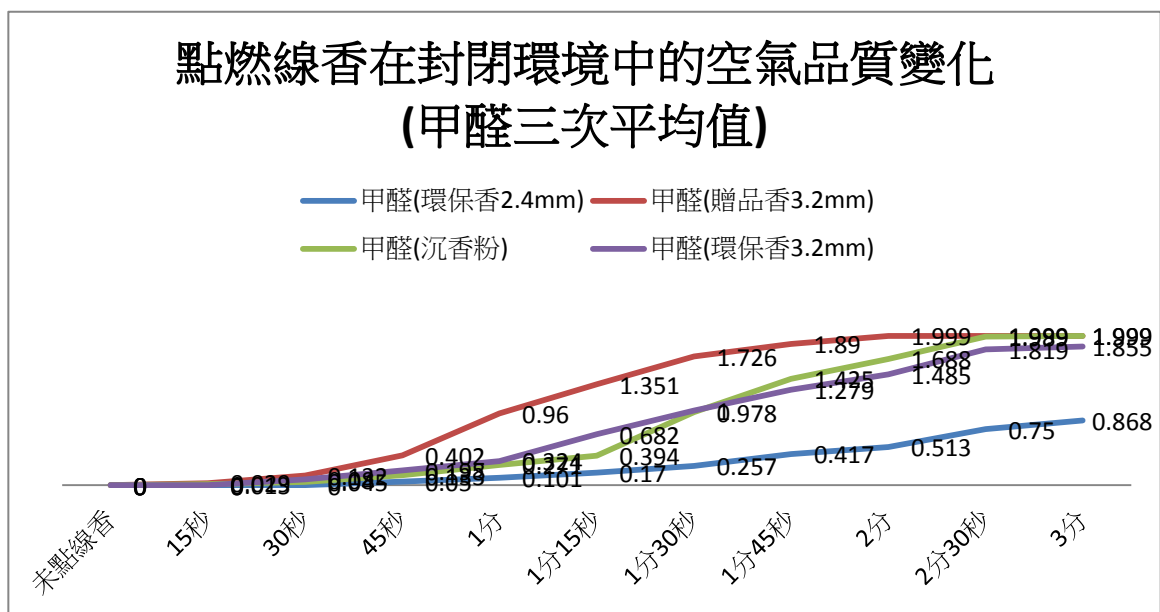


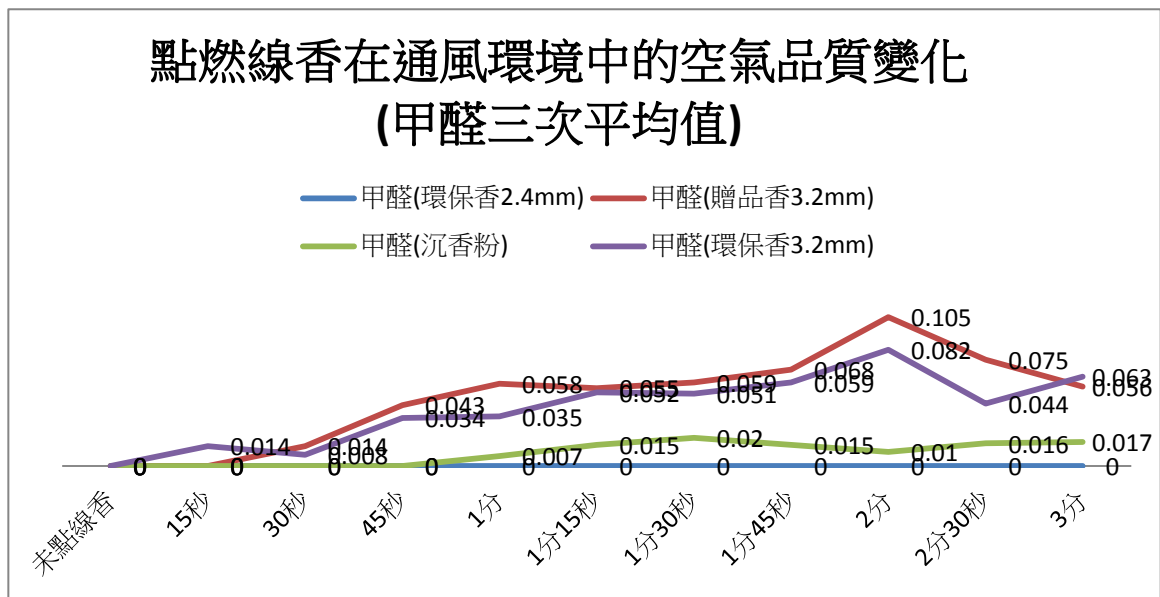
(二)實驗發現：

1. 研究發現 1 支環保線香 2.4mm 在通風環境下甲醛和 TVOC 皆沒檢測出數據，而 PM2.5 在 45 秒後累積數值才達 $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，達到令人感覺不適的第七級紅色警。燃燒 2 支以上線香，在 15 秒內就都達到令人感覺不適的第七級值。燃燒 4 支、5 支線香，在 45 秒時即達到檢測儀器所檢測到的最高值 $999 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
2. 依據中華民國行政院環境保護署室內空氣品質標準值，室內甲醛濃度標準為 $0.08\text{ppm}/1$ 小時。在通風環境下，燃燒 1 支和 2 支線香時，3 分鐘內均未超過甲醛濃度標準值；燃燒 3 支和 4 支皆在 30 秒就超過標準濃度；而 5 支線香在 15 秒就已超過標準濃度了。
3. 依據中華民國行政院環境保護署室內空氣品質標準值，訂定總揮發性有機化合物 (TVOC) 含量為少於 0.56ppm 。燃燒 1 支和 2 支線香時，3 分鐘內均未超過 TVOC 濃度標準值；燃燒 3 支和 4 支皆在 30 秒就超過標準濃度；而 5 支線香在 15 秒就已超過標準濃度了。

六、研究討論

- 一、根據線香實驗(一)和實驗(二)、點燃 4 種香品在封閉及通風環境中的空氣品質變化，我們分別將甲醛數值記錄轉化成 excel 圖表來進行分析討論：





(一)認識甲醛：

甲醛（英語：Formaldehyde），又稱蟻醛，天然存在的有機化合物。無色的刺激性氣體，對人眼、鼻等有刺激作用。它主要用於生產工業樹脂，例如刨花板和塗料。2011年美國國家毒理學計劃描述甲醛為「已知人類致癌物」。

與許多簡單的碳化合物相比，甲醛更為複雜，由於它有幾種不同形式。作為氣體甲醛具有特殊的刺激性氣味，無色的氣體。甲醛是最常見的室內空氣污染毒物，約有三千多種不同建築材料均含有甲醛，主要來源為纖維板、三夾板、隔音板、保麗龍等裝潢材料。目前甲醛已被世界衛生組織確定為致癌和致畸型物質，室內濃度達 0.5 mg/m³ 會使人體產生流淚及眼睛異常敏感的症狀。長期接觸低劑量甲醛可引起慢性呼吸道疾病，引起鼻咽癌、結腸癌、腦瘤、細胞核基因突變等。

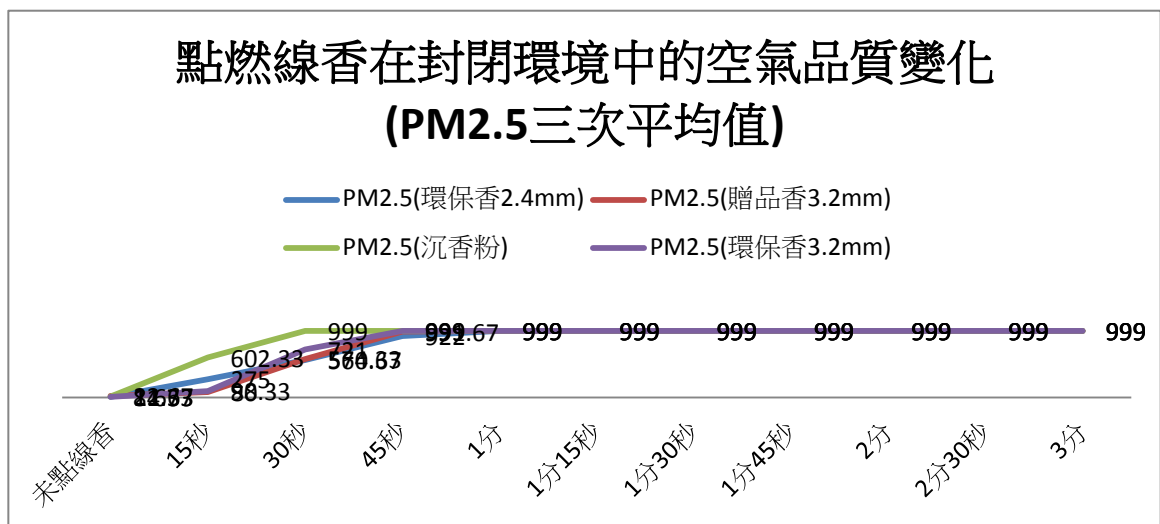
中華民國行政院環境保護署室內空氣品質標準值，室內甲醛濃度標準為 0.08ppm/1 小時，裝潢材料標準分 F1.F2.F3 三等級以釋出量為標準分別為 0.3 以下、0.5 以下、1.5 以下，對於違反廠商以商品檢驗法第 59 條開罰台幣十萬到一百萬，不送檢驗者罰二十萬到兩百萬。國際標準 GB/T18883-2002 則數字化規定甲醛室內標準為不超過 0.1mg/m³

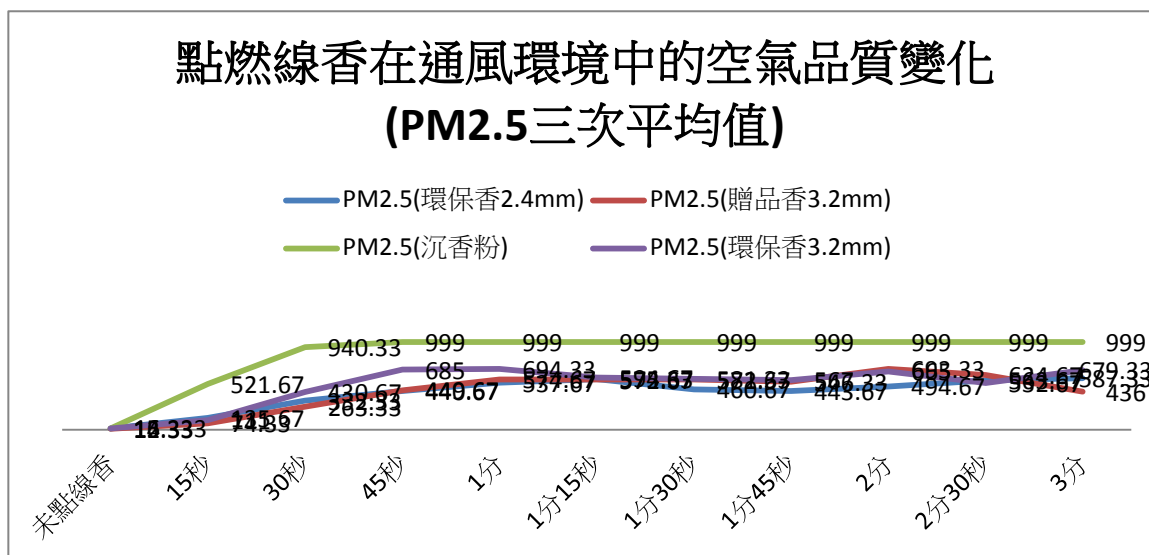
---以上資料整理自《維基百科》

(二)分析討論：

1. 在密閉環境下，四種香品在一分鐘之內皆陸續超過標準濃度。依達標準濃度的速度排序為贈品香(3.2mm) >環保香(3.2mm) >沉香粉>環保香(2.4mm)，沉香粉在1分30秒時，甲醛濃度超過了環保香(3.2mm)，但仍少於贈品香(3.2mm)，推測可能原因為隨著燃燒時間拉長，沉香粉的燃燒面積逐漸加大，所以甲醛數值急速增加；另因沉香粉為純粉末，並無太多的添加物，故甲醛濃度相較少於品質較劣的贈品香。
2. 在通風環境下，四種香品在燃燒3分鐘後，僅贈品香(3.2mm)和環保香(3.2mm)在2分鐘時一度有超過標準濃度，其他時間甲醛累積濃度均未達規定標準值，顯示通風環境下對甲醛的揮散的確有很大的幫助。另外發現沉香粉的甲醛揮散速度較快，顯示沉香粉末因無其他添加物，故甲醛在通風環境下揮散速度較快。
3. 贈品香(3.2mm)和環保香(3.2mm)在1分30秒至2分鐘時甲醛濃度一直累積，2分鐘後又迅速下降，觀察當時外在環境的風速時大時小，因而影響甲醛揮散的穩定性。再次確認通風效益對空氣品質有絕對的正相關。

二、根據線香實驗(一)和實驗(二)、點燃4種香品在封閉及通風環境中的空氣品質變化，我們分別將PM2.5數值記錄轉化成excel圖表來進行分析討論：





(一)認識 PM2.5：

懸浮顆粒或稱**懸浮微粒**（particulate matter (PM)），泛指懸浮在空氣中的固體顆粒或液滴，顆粒微小甚至肉眼難以辨識但仍有尺度的差異。在環境科學中，人類活動造成的過量顆粒散布與懸浮為空氣污染的主要指標之一，但可能造成生物體不適或影響生態及能量圈循環範圍涵蓋尺度廣泛，從水霧、塵埃、花粉、皮屑、過敏源、霾；人為排放廢氣、灑布農藥、肥料、以及廢棄物如畜牧的糞便遇風揚塵等，一直到前驅物在大氣環境中經過一連串極其複雜的化學變化與光化反應後形成硫酸鹽、硝酸鹽及銨鹽。其中，直徑小於或等於 10 微米 (μm)的懸浮微粒稱為懸浮微粒 (PM10)；直徑小於或等於 2.5 微米的懸浮微粒稱為細懸浮微粒 (PM2.5)，例如室內的二手菸霧。懸浮微粒能夠在大氣中停留很長時間，並可隨呼吸進入體內，積聚在氣管或肺中，影響身體健康。PM2.5 細小顆粒，比病毒大，比細菌小，容易帶有毒物質進入人體。

中華民國行政院環境保護署於 2012 年 5 月 14 日公告修正空氣品質標準，增訂 PM2.5 空氣品質標準，並依據其國內健康影響研究結果，以健康影響為優先考量，將「PM2.5」24 小時值訂為 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、年平均值訂為 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

---以上資料整理自《維基百科》

指標等級	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
分類	低	低	低	中	中	中	高	高	高	非常高
PM _{2.5} 濃度 (µg/m ³)	0-11	12-23	24-35	36-41	42-47	48-53	54-58	59-64	65-70	≥71
一般民眾活動建議	正常戶外活動。			正常戶外活動。			任何人如果有不適，如眼痛，咳嗽或喉嚨痛等，應該考慮減少戶外活動。		任何人如果有不適，如眼痛，咳嗽或喉嚨痛等，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	
敏感性族群活動建議	正常戶外活動。			有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童感受到癢狀時，應考慮減少體力消耗，特別是減少戶外活動。			1. 有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。 2. 老年人應減少體力消耗。 3. 具有氣喘的人可能需增加使用吸入劑的頻率。		1. 有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童，以及老年人應避免體力消耗，特別是避免戶外活動。 2. 具有氣喘的人可能需增加使用吸入劑的頻率。	

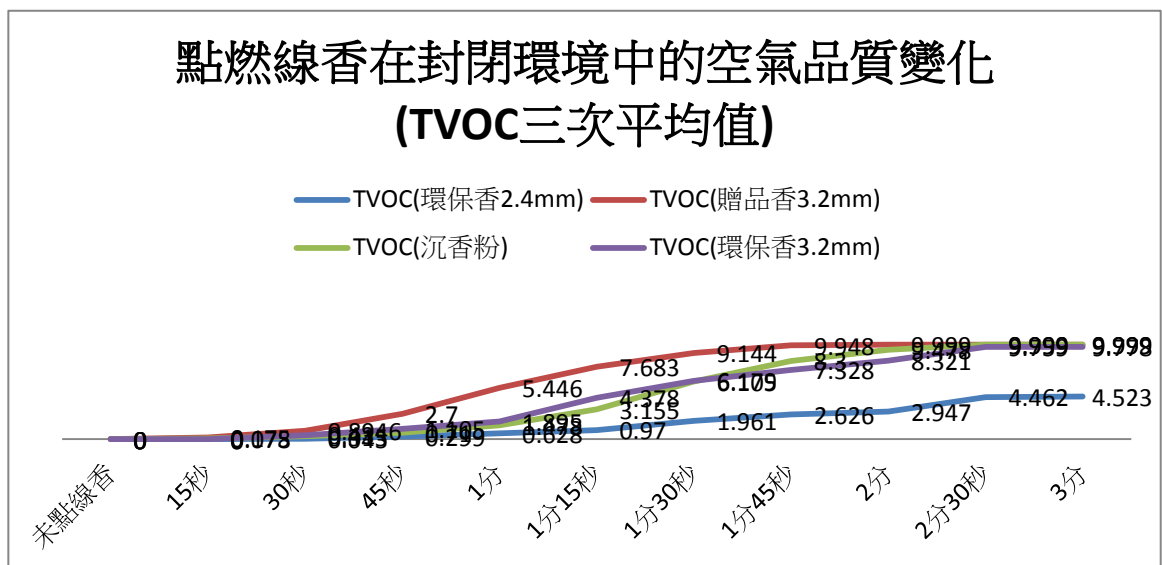
圖片來源：行政院環保署細懸浮微粒(PM2.5)指標對照表

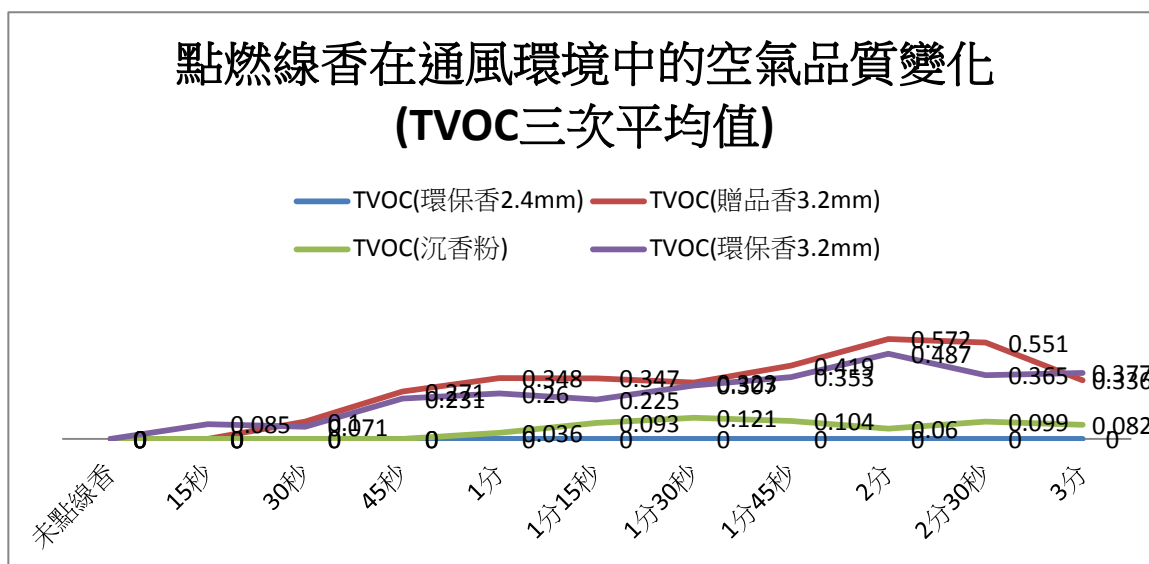
(網址:<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/fpmi.aspx>)

(二)分析討論：

- 1.在密閉環境中，因為沉香粉是純粉末，燃燒面積大，所以 PM2.5 累積速度最快；環保香(3.2mm)和贈品香(3.2mm)則因為香徑較粗，燃燒的速率稍慢，從圖表中發現 15 秒的累積速度較慢，之後達到燃燒的效率後，PM2.5 的累積量就快速上升了。
- 2.而在通風環境下，因沉香粉是純粉末，燃燒面積大，產生的 PM2.5 量也較多，因此就算在通風的環境中仍然無法有效降低 PM2.5 的濃度。而另外 3 種線香在通風環境中雖然 PM2.5 有降低，但是都仍然超過第十級的紫色警示(71µg/m³)。

三、根據線香實驗(一)和實驗(二)、點燃 4 種香品在封閉及通風環境中的空氣品質變化，我們分別將 TVOC 數值記錄轉化成 excel 圖表來進行分析討論：





(一)認識 TVOC：

揮發性有機物（英語：Volatile Organic Compounds，首字母縮略字：VOCs），有時也用 TVOC 來表示（英語：Total Volatile Organic Compound）。

按照世界衛生組織的定義，如果在氣壓 101.32kPa 下，該化合物的沸點在 50°C-250 °C，就是揮發性有機物。它們會在常溫下以氣體形式存在。按其化學結構的不同，可以進一步分為八類：烷類、芳烴類、烯類、鹵代烴類、酯類、醛類、酮類和其他。

揮發性有機物的主要來源：在室外，主要來自燃料燃燒和交通運輸產生的工業廢氣、汽車尾氣、光化學污染等；而在室內則主要來自燃煤和天然氣等燃燒產物、吸菸、採暖 and 烹調等的煙霧，建築和裝飾材料、家具、家用電器、清潔劑和人體本身的排放等。在室內裝飾過程中，揮發性有機物主要來自油漆、塗料和膠粘劑。

揮發性有機物的危害很明顯，當居室中揮發性有機物濃度超過一定濃度時，在短時間內人們會感到頭痛、噁心、嘔吐、四肢乏力；嚴重時會抽搐、昏迷、記憶力減退。揮發性有機物傷害人的肝臟、腎臟、大腦和神經系統，其中還包含了很多致癌物質。室內空氣被揮發性有機物污染已引起各國重視。

中華民國行政院環境保護署環署訂定總揮發性有機化合物 (TVOC)的標準：含量為少於 0.56ppm (等同 1287 微克/立方米,1287 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,1.287 毫克/立方米或 0.261ppm)。

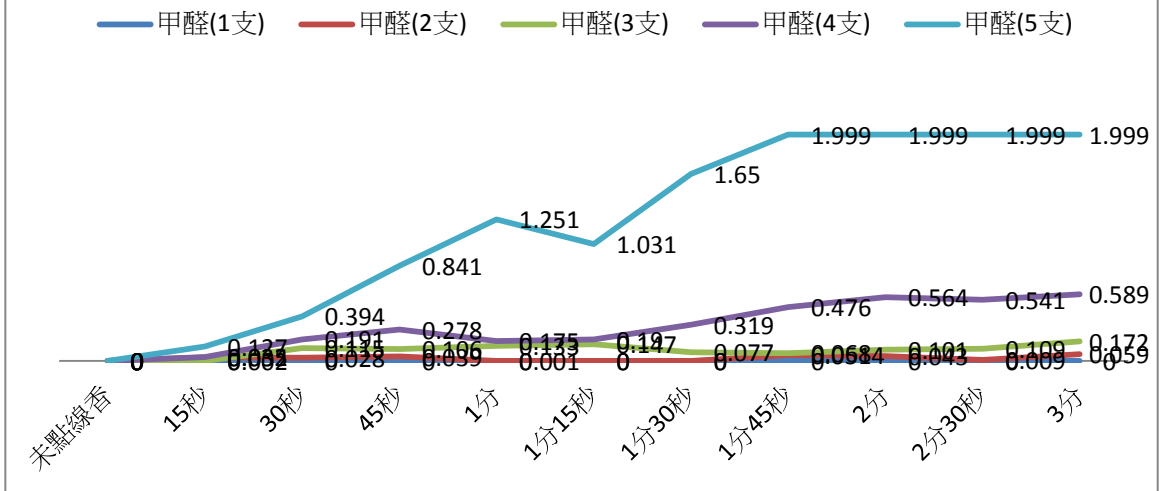
----以上資料整理自《維基百科》

(二)分析討論：

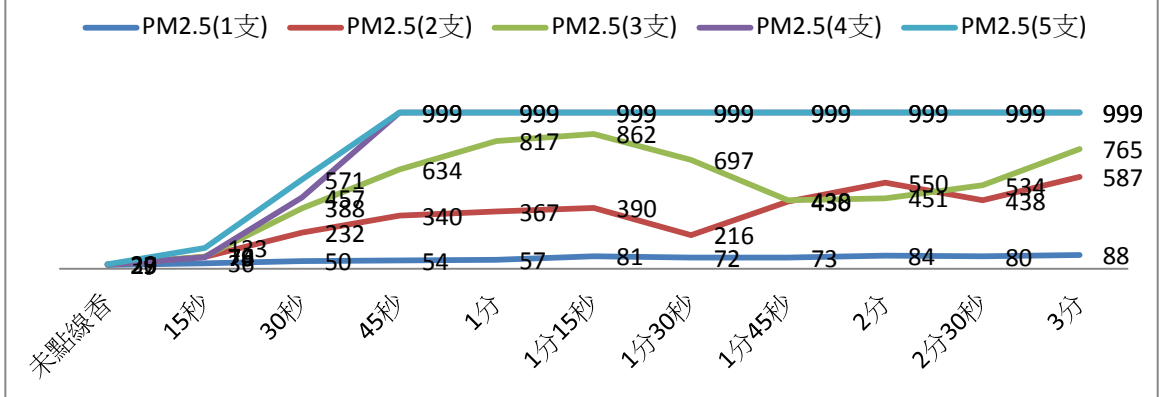
- 1.在密閉環境下，四種香品在一分鐘之內皆陸續超過 TVOC 標準濃度。依達標準濃度的速度排序為**贈品香(3.2mm) >環保香(3.2mm) >沉香粉>環保香(2.4mm)**，沉香粉在 1 分 45 秒時，TVOC 濃度超過了環保香(3.2mm)，但仍少於贈品香(3.2mm)，分析因沉香粉末燃燒的面積大，故累積 TVOC 濃度會比較快速，另因沉香粉為純粉末，並無太多的添加物，所以甲醛濃度相較少於品質較劣的贈品香。
- 2.在通風環境下，四種香品在燃燒 3 分鐘後，僅贈品香(3.2mm)的 TVOC 在 2 分鐘後就接近標準濃度 0.56ppm，其他香品的 TVOC 累積濃度均未達規定標準值，顯示**通風環境下對 TVOC 的揮散的確有很大的幫助**。另外發現沉香粉的 TVOC 揮散速度較快，顯示沉香粉末因無其他添加物，故 TVOC 在通風環境下揮散速度較快。
- 3.從圖表中發現贈品香(3.2mm) 和環保香(3.2mm)在通風環境下 TVOC 的揮散效率相對較差，顯示經過加工製香過程，且香徑較粗的線香 TVOC 累積快且不易揮散。
- 4.密閉狀態下，在 1 分 15 秒到 1 分 30 秒時環保香 3.2mm 的 TVOC 數值皆居於最高。約 1 分 30 秒後，沉香粉逐漸追上環保香 3.2mm。這點讓我們懷疑環保香 3.2 mm 的組成成分與所產生的 TVOC 數值有極大的關聯。

四、根據線香實驗(三)、增加線香數在通風環境下的空氣品質變化(環保香 2.4mm)，我們分別將數值記錄轉化成 excel 圖表來進行分析討論：

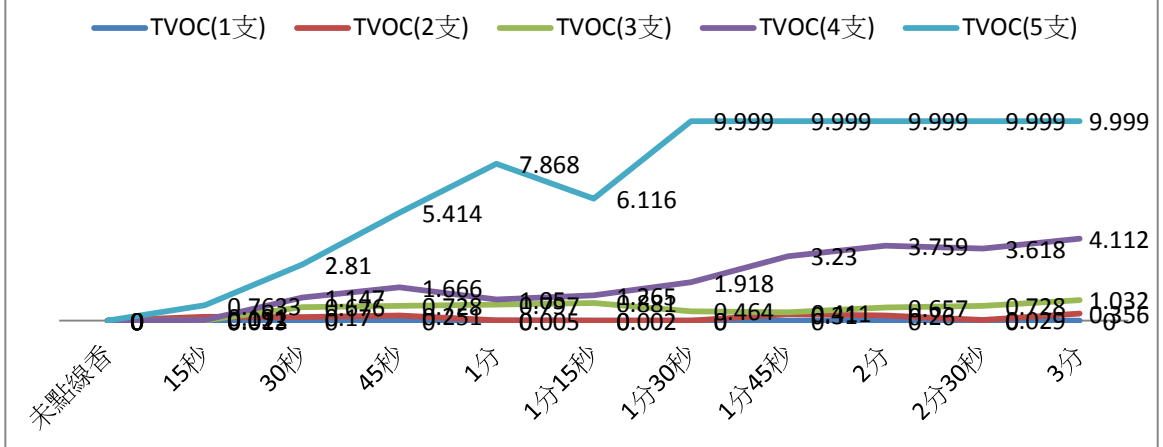
增加線香數在通風環境下的 甲醛空氣品質變化(環保線香2.4mm)



增加線香數在通風環境下的 PM2.5空氣品質變化(環保線香2.4mm)



增加線香數在通風環境下的 TVOC空氣品質變化(環保線香2.4mm)



(一)分析討論：

- 1.在通風環境下，燃燒環保線香(2.4mm)，燃燒 3 支以上的線香，甲醛和 TVOC 皆很快超過標準濃度；而 PM2.5 僅燃燒 2 支線香即達到第十級的紫色警示。因此即使燃燒煙量最少的環保香(2.4mm)，也僅能點燃 1 支，因為只要超過 1 支線香後，數據顯示就未達空氣品質標準了。
- 2.在通風環境下，燃燒線香的數量越多，造成的空氣有害物質如：甲醛、PM2.5、總揮發性有機化合物 (TVOC)的產生越明顯，同時燃燒 5 支以上線香，則有毒物質產生的時間越短，且數值上升曲線明顯高於同時燃燒 4 支以下支線香。因此，在「增加線香數在通風環境下的空氣品質變化」實驗中，我們看到**減少燃燒的線香數量有助於減少空氣污染物質的產生。**

柒、結論與建議

已故林口長庚醫院毒物科醫師林杰樑生前多次提出，拜拜用香的煙不僅帶來空氣污染，燃燒會產生致癌物質，隨呼吸道進入肺部，長期對身體有害。消基會 2005 年調查指出，市售的香都含有化學物質，例如甲苯會刺激眼睛、皮膚、呼吸道、中樞神經或肝腎危害；丁二烯和苯則會有引發淋巴癌和血癌化學物。林杰樑醫師過去受訪時談到，燒香會產生的懸浮微粒包括致癌物質多環芳香烴 (PAH)，吸入後會隨呼吸道進入肺部留在體內；建議拜拜時打開窗戶，讓空氣流通。林口長庚醫院臨床毒物科主任顏宗海表示，燒香會產生 PM2.5 細懸浮微粒，也產生有毒揮發性物質甲苯等，吸入恐怕會引發呼吸道疾病，甚至導致肺癌、血癌.....等，不可輕忽日常燃香行為對身體所造成的影響。透過我們對於實驗的發現，提出以下結論：

- 一、通風狀態下，燃燒四種香品後，空氣品質數值變化會受當時通風效率影響，但甲醛及 TVOC 數值都不會超過行政院環境保護署室內空氣品質標準值，因此**燃燒線香時仍應保持室內環境通風。**(室內甲醛濃度標準為 0.08ppm/1 小時、總揮發性有機化合物 (TVOC)含量為少於 0.56ppm。)
- 二、在通風環境下，燃燒 1 支環保香 2.4mm 的值一直為 0，可知若非得燒香，則**應選擇場所通風且香徑小的、具有成分標示的環保線香**，以減少甲醛、TVOC 及在空間下的含量。

三、在通風環境中，即使燃燒本實驗中品質最佳的環保香(2.4mm)，只要超過 1 支線香後，數據顯示就已經超過行政院環保署所列之空氣品質標準，因此**實施「減香」是值得肯定與推廣的。**

四、燃燒沉香粉末在封閉或通風的環境下的 PM2.5 數值一直都是最高的。在密閉空間，隨著燃燒時間拉長，PM 2.5 會趨於飽和；即使在通風狀態下，沉香粉的數值也一直維持最高，其他 3 種線香則呈現差異不大的折線變化。因此我們建議**盡量不要使用沉香粉**，必要使用時也要記得**保持室內環境通風**。

五、依據本實驗結果，在通風環境下，針對家庭燃香的香品選擇，我們的建議(由優而劣)是：**環保香(細香徑)>環保香(粗香徑)>贈品香(未標示)>沉香粉末。**

在台灣傳統宗教祈福儀式中都會焚香、燒香紙甚至放鞭炮，而根據許多研究，這些儀式所產生的氣體、汙染物，嚴重影響空氣品質與身體健康。我們希望透過這次的實驗研究，主要傳達一個想法：**「燒好香，有保庇？通風、減香，保平安」**。在我們祈福保平安的儀式中，也能保障自己及他人的健康。因此建議在焚香祈福保平安的願望下，也能透過「減香」來真正保障身體的健康。在台灣基於菸品對人體之危害，2002 年 1 月 1 日，政府開始實施菸酒稅，對於菸品特別訂定徵收「特種消費稅」。另外以健康福利名目徵收『菸品健康福利捐』，作為衛生福利部國民健康署專款專用。因此我們也建議為了全民健康，能徵收『香品平安健康福利捐』，希望由香品價格之提高，影響過度焚香習慣，降低其對香品之消費，以達到「減香」的目的。

除此之外，坊間的香品種類繁多，價位的差異也非常大，我們的實驗無法涵蓋所有的香品，而且實驗屋的空間大小、通風面積大小.....等與線香燃燒時間的關聯性，都會影響到空氣品質的差異。為了讓本研究具有未來持續進行的延伸性，我們也提出以下幾點建議：

一、透過文獻探討知道，如果線香中加入對健康無害的重金屬，例如：鈣(Ca)、鐵(Fe)、鎂(Mg)、鉀(K)、鋁(Al)等，可有效減少燃燒線香時懸浮微粒的產生量。但因為器材的限制，本次實驗中無法進行，未來可加以延伸討論。

二、透過貝爾斯坦試驗(Beilstein Test)檢測燃燒時的線香所產生之氣體，無記錄到有綠光反應，可能燃燒線香氣體中沒有(或含較少量的)有毒之氯化物(Cl)。但是從燃燒氣味的主觀觀察，贈品香的燃燒味道明顯較環保香更加刺鼻、難聞，建議還是應選擇有品質及包裝成分清楚標示的香品。未來也可以針對這些因燃燒香品產生的有毒物質，找出更適合進行檢測的方法並探究之。

三、線香類未標示成分之贈品香燃燒越久(時間)，無論在密閉或是通風環境，都會釋放出越多的有毒物質(如甲醛、TVOC 等)，所以應該盡量不要使用廉價贈品香，如果使用無成分標示的香品，也應該盡量控制燃燒時間，不宜過長。至於安全燃燒時間多長為佳？可做為未來持續研究的方向。

捌、參考資料

- 李佩珊，2014。“台灣細懸浮微粒(PM2.5)健康風險評估探究”，國立臺灣大學工學院環境工程學研究所，碩士論文。
- 周文傑，1997。“燃燒金紙與拜香所產生氣態污染物及飛灰中金屬成分之分布”，國立成功大學環境工程系，碩士論文。
- 高玫鍾，2001，燃燒拜香產生反應性含氧物種之探討，國立臺灣大學環境衛生研究所碩士論文。
- 高玫鍾、龍世俊，2000，香客在寺廟中懸浮微粒暴露濃度之探討。中華公共衛生雜誌 19(2): 138-143。
- 高玫鍾、龍世俊，2000，不同通風狀態室內燒香產生 PM10 濃度變化之研究。中華公共衛生雜誌 19(3): 214 – 220。
- 黃泓鈞，2013，拜香燃煙中多環芳香烴與重金屬污染物之生物毒性研究。國立成功大學環境工程學系碩士論文。
- 楊奇儒，2006，低污染拜香研發：拜香主要成分對拜香燃煙特徵之影響。國立成功大學環境工程學系博士論文。
- 潘威帆，2020。“焚香及燃放鞭炮對寺廟之細懸浮微粒濃度影響研究”，國立雲林科技大學，碩士論文。
- 行政院環保署-空氣品質監測網：<https://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/default.aspx>
- 維基百科•2020.2.25•香•取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A6%99>
- 維基百科•2020.2.25•甲醛•取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%94%B2%E9%86%9B>
- 維基百科•2020.2.25•懸浮微粒•取自：
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%87%B8%E6%B5%AE%E7%B2%92%E5%AD%90>
- 維基百科•2020.2.25。揮發性有機物•取自：
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%8C%A5%E5%8F%91%E6%80%A7%E6%9C%89%E6%>
- 驚！台大最新研究：家中天天燒香，寶寶發展遲緩增 44%（2018 年 6 月 25 日）•早安健康編輯部•取自：
<https://www.edh.tw/article/19398?fbclid=IwAR2GXNWTCHgiJkbShLSqoYKgBqGBJ4xEqu9r07U5D-Sgq7PRwpgdn874rm1o>