

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

燃燒拜香排放空氣中金屬之粒徑分佈及風險危害評估研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2218-E-041-003-
執行期間：95年12月01日至96年07月31日
執行單位：嘉南藥理科技大學環境資源管理系

計畫主持人：楊奇儒

計畫參與人員：研究人員：翁汶宏

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 11 月 01 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

(計畫名稱)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 95-2218-E-041-003-

執行期間：2006年12月01日至2007年07月31日

計畫主持人：楊奇儒

共同主持人：林達昌

計畫參與人員：翁汶宏

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：

中華民國 96 年 10 月 31 日

一、前言

行政院衛生署 2004 年國人死亡原因統計資料顯示，罹患惡性腫瘤導致死亡者高居台灣十大死亡原因之首位（達 27.2%），而其中以罹患肺癌者最多，佔惡性腫瘤之 20%，而與呼吸道疾病有關之鼻煙癌亦佔 2.3%。流行病學的研究已經證實空氣污染與罹患癌症是有相關性的。根據內政部統計資料，至民國九十三年底台灣的寺廟神壇總數已到達一萬八千多處，平均每個村里有近 2.5 座寺廟神壇，由其密度之高，可想見寺廟與國民的生活已是息息相關。許多民眾在家中亦有祭祖燒香習慣，拜香煙之危害因為民眾長時間的接觸而顯得更加重要；而在冬季民眾習慣緊閉門窗避寒，更因空氣交換速率之減少使得問題更加嚴重。故針對拜香燃煙之空氣污染物特徵進行採樣調查，進而推算其排放係數並推估對人體健康之風險評估探討，實為相當值得注意之重要議題。

拜香燃煙所排放金屬空氣污染物來源為原料中含有之金屬成分，由於燃燒後之冷凝程序，使得這些重金屬微粒大都小於 $2.5 \mu\text{m}$ 。這些微粒排入大氣中容易被吸入人體呼吸道或肺部深處，逐漸導致呼吸系統及肺部之不適或病變，甚而升高人體血液中重金屬之濃度，引起其他器官之病變。

目前針對拜香燃煙排放金屬空氣污染物之特徵研究，其樣品的收集均為在開放式（寺廟）或半開放式（實驗室）空間進行。但由於國內寺廟多座落於人口聚集之村里內，或於車流量較大之道路旁，空氣中金屬污染物之特徵性質易受人為排放源（尤其為汽、機車、柴油車等交通污染源）及路邊揚塵之影響，可能在拜香燃煙之金屬分析與鑑定上造成一定程度之干擾。此外，環境中不同粒徑微粒經呼吸方式而沈積於呼吸系統不同的部位，對人體所產生之危害不盡相同。故未來欲精確評估拜香燃煙對人體健康之危害性時，除了應量測粒狀污染物濃度外，微粒中金屬於各粒徑中之分佈亦需詳細鑑定及解析，值得深入探討。

二、文獻探討

謝氏與高氏於寺廟內量測懸浮微粒濃度為 $600\text{-}1300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，明顯高於台灣國家空氣品質標準（ PM_{10} 日平均 $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）及目前研擬之「一般場所室內空氣品質參考標準建議值」草案（ PM_{10} 日平均 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）之 6-13 倍，較之一般居家室內環境濃度高 10 倍以上，也較當時廟外馬路上濃度高 5 倍以上。高氏於緊閉門窗之室內進行燒香時，室內懸浮微粒濃度高達 $390\text{-}730 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，較平常高出約 5~10 倍，雖然燒香後 6 小時，濃度會減少，但仍較正常值高出許多。在通風良好的室內拜拜，可減少約 $200\text{-}500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之 PM_{10} 暴露濃度，並降低高濃度的懸浮微粒曝露量，減少對健康的危害。

Dua 及 Hopke 進行不同油煙類燃煙量測後推論，微粒中可能含有親水性(hydrophilic)及

疏水性(hydrophobic)物質，而兩種物質的多寡，會影響微粒在濕度環境下的粒徑變化。含疏水性較高的微粒不易因有空氣中之水份而進行凝結，而會在空氣中懸浮較長的時間。不同溼度的實驗結果顯示，不管溼度高低，所得之粒徑分佈都非常相似，顯示拜香燃煙的粒徑增溼成長幾乎可以忽略。

Fang於台中某寺廟內以微孔均勻沈積衝擊器(MOUDI)量測懸浮微粒之粒徑分佈顯示，在農曆初一與十五之香火鼎盛時燃燒拜香會增加空氣中細粒徑微粒濃度，其微粒質量中位氣動粒徑(MMAD)為0.82 μm，其餘時期為1.86 μm，顯示燃香拜煙所產生的微粒以PM_{2.5}為主，這些顆粒都會隨著人的呼吸而進入到肺泡中，造成人體的危害。

有關拜香原料之金屬含量之文獻不多，較具代表性的為Fang分析兩種拜香原料之八種金屬成分，以Fe濃度最高(約為0.5-0.8 mg/g-incense)，其次為Zn(約為0.1-0.4 mg/g-incense)，再其次為Pb、Cr、Mn(約為0.1-0.2 mg/g-incense)，以Cd、Ni及Cu最低(約為0.01-0.02 mg/g-incense)。本研究小組在之前的研究中，亦分析拜香中金屬成分得知，於不同種類拜香所含之總金屬及各種金屬含量均有顯著差異。然而不同種類拜香原料中之主要金屬類型相似，主要金屬成分為Ca、K、Al、Mg、Fe及Na、Ba、Sr、Mn、Cu及Zn，與前述結論相似。

Fang在台中某一寺廟環境中測得懸浮微粒中金屬含量，在細微粒(PM_{2.5})中為Fe > Zn > Cr > Cd > Pb > Mn > Ni > Cu，而在粗微粒(PM_{2.5-10})中為Fe > Zn > Cr > Pb > Cd > Ni > Mn > Cu。本研究小組在之前的研究中以質量平衡(Mass balance)方式推算，拜香燃燒後Ca、K、Na、Fe、Sr、Mg及Mn依序應為空氣污染物中主要的金屬成分。

由於大部分固相PAHs可藉由吸附在微小顆粒上，而深入人體肺部並沈積其中。根據Lippmann氏所提出不同氣動粒徑之微粒在肺部的沈降曲線，拜香燃煙於肺部沈降率約為15%~25%，但目前仍未有拜香燃煙在不同粒徑分佈之金屬含量之相關研究被發表，長期暴露於拜香燃煙環境中所造成傷害仍無法被精確評估。

針對國人女性之肺腺癌之流行病學研究顯示，發現危險因子與燒香有關。而B肝帶原者再暴露在黃麴毒素、香煙、燒烤物、拜香等環境中，將會使自己轉變成肝癌的機率比一般人增加40至60倍。

謝氏燃燒四種拜香，測量拜香燃煙中之PAHs成份主要以Nap為主。Resmussen以拜香燃煙之收集物對鼠傷寒桿菌進行Ames試驗，發現有突變行為產生，證實了拜香燃煙中確實有基因毒性之成分存在。而拜香燃煙亦含有多環芳香烴化合物(PAHs)、芳香醛類和脂肪醛類。學者研究也認為中國人鼻咽癌之得患率較高，燒香可能為致病因子之一^[1]。

金屬危害性鑑定是進行風險評估之第一個步驟，主要是說明、確認毒性化學物質對人體健康會造成何種危害，並且區分其為致癌性物質或非致癌性物質。在美國環保署的毒理資料

庫 (Integrated Risk Information System, IRIS)及國際癌症研究中心(The International Agency for Research on Cancer, IARC)之資料庫中，針對（空氣）吸入途徑中有建立參考劑量及斜率因子數值之金屬項目，共計有鋁、砷、硼、鉍、鎘、鈷、鉻、汞及錳等九種。

風險鑑定又分為兩大類，分別為致癌物風險鑑定與非致癌物風險鑑定。在致癌風險方面：一般公認總致癌風險之可接受範圍是介於 10^{-4} ~ 10^{-6} ，若超出此範圍表示此致癌風險不應被接受。在非致癌物風險方面：如果危害指數小於 1 時，則將不會造成顯著損害，是因為暴露低於會產生不良反應的臨界濃度。如果危害指數大於 1，代表暴露濃度大於參考濃度，顯示有害物質的濃度超過臨界濃度會對人體產生危害、毒性。

三、研究方法

本計畫擬選取國人常用之五類共九種拜香（預計為桂香、料香、桂香、新山香、沈香），於實驗箱（chamber）內燃燒之方式，配合微孔均勻沈積衝擊器（MOUDI），於模擬一般室內空氣交換速率下，依不同粒徑分佈收集拜香燃煙中之粒狀污染物質。另外，並依各粒徑於呼吸道不同區位之吸收效率，推估一般民眾及寺廟從業人員之金屬暴露量，配合各種金屬之劑量反應關係進行精確的人體健康危害風險鑑定。

1. 拜香之選擇

本研究選擇在台灣民間相當受歡迎的五類拜香，分別為桂香、料香、新山香、老山香及沈香（如表 1 所示），共計九種拜香。九種拜香於長度上無論在總長度、與持柄均相似，持柄之直徑相同，但燃燒部份之直徑則有所差異，而且每支拜香的重量亦有顯著的不同。

表 1 九種拜香之外觀物理特徵

Incense	General name	Length (cm)		Diameter (mm)		Weight (g)
		Whole stick	Coated part	Coated part	Base part	Whole stick
A	桂香	39.4±0.08	29.0±0.11	3.00±0.29		1.74±0.21
B	料香 1	39.2±0.09	28.8±0.10	2.47±0.05		1.10±0.07
C	料香 2	39.3±0.08	28.9±0.15	2.80±0.06		1.41±0.04
D	新山香 1	39.5±0.09	28.2±0.12	2.73±0.04		1.40±0.04
E	新山香 2	39.2±0.07	28.5±0.12	2.64±0.17	1.4±0.02	1.17±0.10
F	老山香 1	39.3±0.08	28.0±0.11	2.83±0.11		1.35±0.05
G	老山香 2	39.2±0.08	27.9±0.10	2.59±0.17		1.24±0.05
H	沉香 1	39.3±0.07	28.6±0.14	2.61±0.03		1.17±0.04
I	沉香 2	39.2±0.09	28.9±0.14	2.53±0.05		1.14±0.05

*N = 6 for each type of incense

2. 採樣設計

將所選取之五類共九種拜香，於實驗箱內燃燒之方式，放入體積為 1.2 m^3 之燃燒箱（圖 1）內燃燒，此燃燒室之材質為 3014 規格之不鏽鋼。空氣在導入燃燒室前先以市售 HEPA 濾布（對於粒徑 $0.3 \mu\text{m}$ 之微粒有 97% 以上之去除率）淨化進流空氣之微粒，並以吸附劑（如：活性炭等）吸附空氣中有機物後，在進入燃燒室前經過「填充物」使氣流不會直接吹向正燃燒的尖端而影響燃燒情形，才進入實驗箱中。每一次採樣放置 3 支拜香於不銹鋼支撐器上並將置放在鋁箔使所折疊而成之拖盤上（拜香、不銹鋼支撐器、拖盤均已先秤重，拖盤用以進行香灰之採樣），位置放在靠近進氣口端。拜香剛開始燃燒時尖端約為燃燒箱高度之半。

文獻中顯示在台灣夏天的室內空氣交換速率為 $0.8 \sim 3.5 \text{ Ach}$ ，而冬天由於門窗緊閉，其空氣交換速率為 $0.5 \sim 2.0 \text{ Ach}$ ^[36]，本研究之空氣空氣交換速率設定以模擬民眾家庭及寺廟內燃燒拜香之空氣流動情境之空氣交換速率約為 1.5 Ach ，流量固定為 MOUDI 之操作流量 30 L/min ，每次採樣間隔均再導入乾淨空氣吹氣 4 小時（流量加大為 3 倍以上），每次抽氣時間為 8 小時，每一次採樣放置 1-3 支拜香於不銹鋼支撐器上並將置放在鋁箔使所折疊而成之拖盤上，位置放在靠近進氣口端。拜香剛開始燃燒時尖端約為燃燒箱高度之半。拜香在燃燒箱內之燃燒時間，經測試與在無風的室內所燃燒的時間誤差值不超過 3 分鐘。浮子流量器安排在採樣器 MOUDI 之前，最後接上 $1/4 \text{ hp}$ 之真空抽氣馬達。

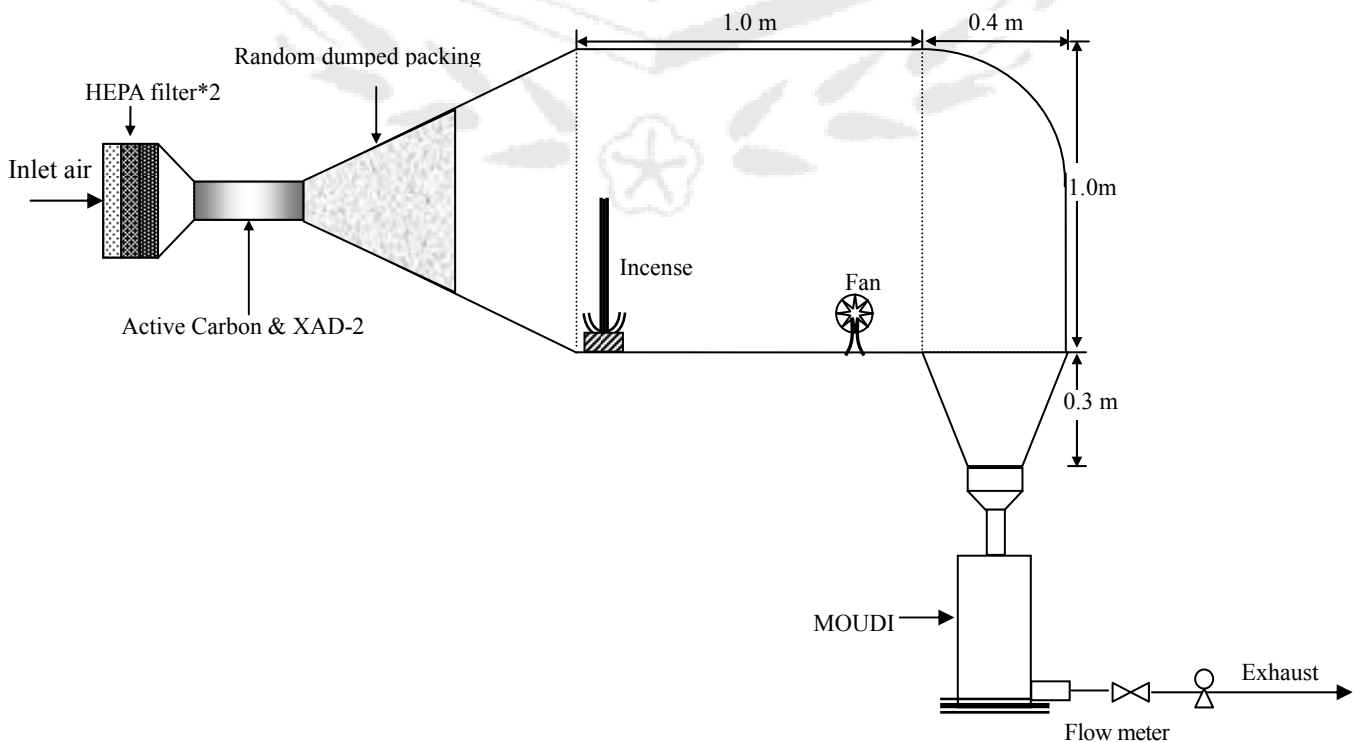


圖 1 實驗燃燒室採樣配置圖

3. 採樣前處理

(1) 拜香前處理

所有拜香在燃燒前均先置入維持溫度 23°C、相對濕度 50%之乾燥箱內調理 24 小時後秤重。鋁箔紙及石英濾紙在採樣後秤重前均先置入維持溫度 23°C、相對濕度 50%之乾燥箱內調理 24 小時後秤重。以鋁箔盤進行香灰之收集，所收集之香灰亦放入維持溫度 23°C、相對濕度 50%之乾燥箱內調理 24 小時後秤重。

(2) 濾紙前處理

本研究中 MOUDI 所使用之濾紙有兩種，一種為美國 MSP 公司生產之鋁箔濾紙 (Aluminum foil, 直徑 37 mm)，使用於入口處及第一至第十階段之衝擊平板上；另一種為 Gelman Sciences 公司生產之 Zefluor 材質濾紙 (直徑 37 mm, 孔徑 2 μm)，使用於最底層之階段平板上 (Afterfilter)。濾紙在採樣前，先置於溼度為 40%之乾燥箱中使濾紙之溫度與溼度平衡 24 小時以上，並於具有空調裝置之恆溼室中稱重。採樣時，將濾紙稱重後置於乾淨之小型塑膠培養皿中備存，並儘可能立即採樣。採樣後，將濾紙放回小型塑膠培養皿中，以鋁箔紙包裹於外，以阻絕光線，置於恆濕乾燥箱中，平衡溫度及溼度 8 小時後，再予稱重以求各階段之採得懸浮性微粒淨重。稱完重後立即進行萃取步驟。

4. 採樣設備 (MOUDI 慣性衝擊器)

由於不同粒徑懸浮微粒之毒性物質含量不等，且進入人體呼吸系統深淺不一，所以在評估拜香燃煙氣膠對人體之危害時，理當考慮重金屬在不同粒徑氣膠之分佈特性。本研究擬以 MOUDI 來模擬不同粒徑懸浮微粒如何進入人體呼吸系統。此 MOUDI 係由美國 MSP 公司製作，型號為 Model No.100, Serial No.MDI-054。

MOUDI 是一種衝擊式的採樣器，原理與其他 cascade 衝擊式採樣器原理相同，以慣性分離出各種粒徑。較大之顆粒脫離氣流而撞擊到上層的衝擊板，較小的顆粒則隨著氣流流線穿過微孔到達下一層。此型號之 MOUDI 有九階，收集粒徑範圍從 0.18 μm 至 18 μm ，各層之氣動粒徑 (50% cut-size)。每一層皆有一衝擊板，衝擊板下方有不同孔隙大小之微孔，每層衝擊板收集介於兩層微孔孔徑之間的懸浮微粒。採樣時可定時自動隔層旋轉，使微粒均勻分佈在收集濾紙之表面。

5. 健康風險評估

本計畫擬以燃燒各種拜香時量測之空氣污染物粒徑分佈與金屬含量，並針對一般民眾及寺廟從業人員，以不同燃燒拜香數量於寺廟及自家佛堂等空間之各種情境，進

行推估呼吸道之暴露量推估，最後並配合十一種金屬致癌性與非致癌性之參考劑量 (RfD) 及致癌斜率因子 (表 2) 進行精確的人體健康危害風險鑑定。

表 2 各項金屬的毒性參考劑量 (RfD) 及致癌斜率因子

金屬項目	Reference dose (mg/kg-day)	Carcinogenic slope ₁ factor (mg/kg-day)
鋁 Al	1.43×10	-- +1
砷 As	-- -6	1.5×10 ₊₀
鈹 Be	5.71×10 ₋₆	8.4×10 ₊₁
鎘 Cd ⁶⁺	5.70×10 ₋₅	1.5×10 ₊₂
鉻 Cr (Cr ⁶⁺)	3.00×10 ₋₅	5.1×10 ₊₀
鈷 Co	5.71×10 ₋₂	9.8×10
銅 Cu	4.00×10 ₋₅	--
錳 Mn	1.43×10 ₋₅	-- -1
鎳 Ni	1.43×10	9.1×10 ₋₂
鉛 Pb	-- -1	4.2×10
鋅 Zn	3.00×10	--

四、結果與討論

1. 懸浮微粒質量排放係數

本研究以微孔均勻沈積衝擊器 (MOUDI) 採集九種拜香於實驗箱中燃燒所產生之粒狀污染物，將各階層所收集的粒狀物加總計算，結果如表 3 所示。本研究之結果相較於其他文獻之數值差異不大，如：Löfroth 測值為 51-54 mg/g [Löfroth, 1991] 及 Mannix 測值為 46 mg/g [Mannix, 1996]。

表 3 九種拜香之燃燒特徵及排放污染物特徵

Incense	Combustion duration		Particulate Emission factor	
	(Min)		mg/incense	mg/g
A	49±	1	24±	15±
B	57±	1	29±	33±
C	61±	1	32±	27±
D	90±	2	54±	47±
E	68±	2	34±	34±
F	86±	4	47±	41±
G	65±	2	29±	28±
H	78±	1	38±	39±
I	63±	1	29±	28±

N=3 per type
Avg.±S.D.

2. 懸浮微粒粒徑分佈

彙整九種拜香燃煙中粒狀物粒徑分佈資料如圖 2 所示。整體而言，九種拜香燃燒所產生的懸浮微粒之粒徑絕大部分均小於 $5.6\ \mu\text{m}$ ，且大多數（約佔總重量 95%）小於 $1.0\ \mu\text{m}$ 。意即這些微粒皆能輕易進入人體肺部深層之肺泡（alveoli）之中，對健康之可能危害不可忽視！以 Mass Median Aerodynamic Diameter (MMAD) 表示，拜香燃煙懸浮微粒之 MMAD 分別為拜香 A 180 nm、拜香 B 270 nm、拜香 C 280 nm、拜香 D 320 nm、拜香 E 230 nm、拜香 F 310 nm、拜香 G 300 nm、拜香 H 280 nm 及拜香 I 200 nm，九種拜香平均 MMAD 為 $260\pm 50\ \text{nm}$ 。此結果與 Cheng 等在實驗室空間（約 $34\ \text{m}^3$ ）內燃燒拜香，以石英-晶體微量天平多階衝擊器(QCM)測得之結果（MMAD=280 nm） [Cheng, 1995] 相似。

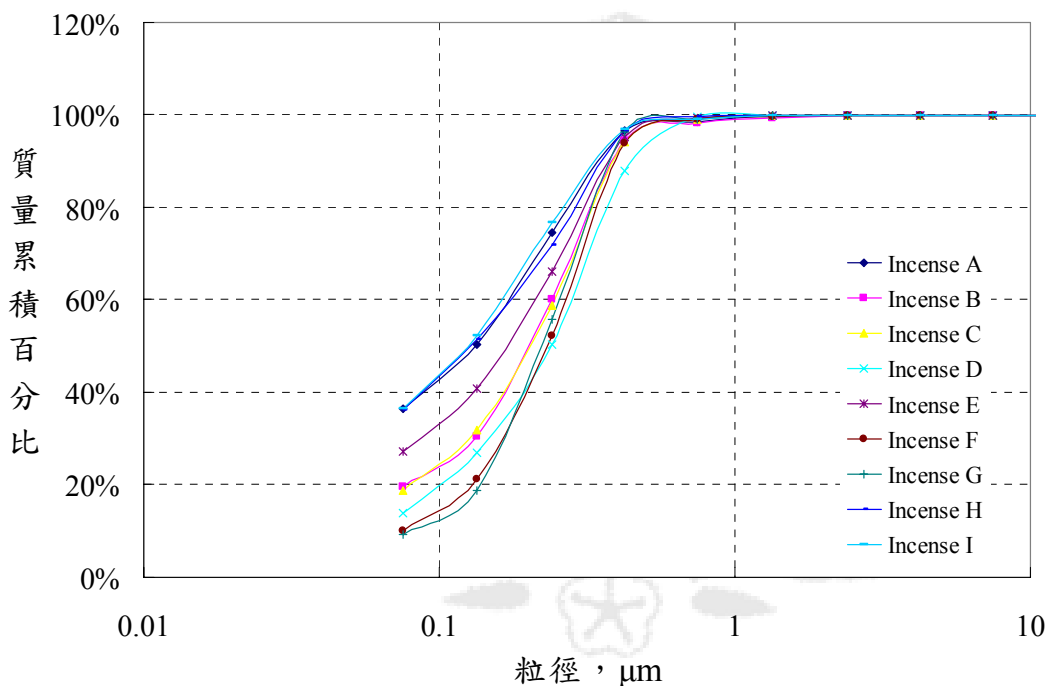


圖 2 九種拜香燃煙粒徑累積百分比圖

3. 各粒徑之金屬排放係數

本計畫針對燃燒拜香所產生各粒徑之懸浮微粒中金屬進行分析，總計分析金屬項目有鋁 Al、砷 As、鉍 Be、鈣 Ca、鎘 Cd、鉻 Cr、鈷 Co、銅 Cu、鐵 Fe、鉀 K、錳 Mn、鎂 Mg、鈉 Na、鎳 Ni、鉛 Pb 及鋅 Zn 等 16 種，其中 As、Be、Cd、Cr、Co、Ni 及 Pb 等均低於偵測極限，彙整各金屬於不同粒徑之排放係數如表 4 所示。

表 4 九種拜香燃煙中各粒徑之金屬排放係數表—鋁(Al)

Cut points (μm)	桂香	料香 1	料香 2	新山香 1	新山香 2	老山香 1	老山香 2	沉香 1	沉香 2
1.00	5.850	6.336	--	9.504	--	--	--	--	--
0.56	5.040	4.981	--	0.828	--	--	1.885	--	--
0.32	--	18.549	--	5.058	--	0.627	5.162	--	--
0.18	--	12.392	--	4.781	--	0.329	7.037	--	--
<0.18	--	0.931	--	4.589	4.521	1.134	1.019	--	--

單位： $\mu\text{g/g-incense}$

鋅(Zn)

Cut points (μm)	桂香	料香 1	料香 2	新山香 1	新山香 2	老山香 1	老山香 2	沉香 1	沉香 2
1.00	0.846	0.260	0.225	0.777	0.179	0.288	0.588	3.433	1.151
0.56	0.843	0.208	0.183	0.548	0.129	0.632	0.561	6.151	0.276
0.32	1.206	0.252	0.038	0.443	0.394	0.473	0.374	5.091	0.242
0.18	5.019	0.125	0.129	0.151	--	0.373	0.186	18.289	0.142
<0.18	6.796	0.075	0.221	0.111	0.194	0.313	0.072	15.542	0.204

銅(Cu)

Cut points (μm)	桂香	料香 1	料香 2	新山香 1	新山香 2	老山香 1	老山香 2	沉香 1	沉香 2
1.00	--	0.079	--	--	--	--	0.014	--	--
0.56	--	--	--	--	--	0.083	0.051	--	--
0.32	--	1.707	--	--	--	0.032	0.068	--	--
0.18	--	0.402	--	--	--	0.109	0.053	--	--
<0.18	--	0.190	--	--	--	0.046	0.025	--	--

鈣(Ca)

Cut points (μm)	桂香	料香 1	料香 2	新山香 1	新山香 2	老山香 1	老山香 2	沉香 1	沉香 2
1.00	4.45	27.69	6.02	42.27	13.54	16.12	1.99	3.07	40.61
0.56	4.24	37.22	12.24	5.47	24.11	57.71	13.55	--	15.47
0.32	4.79	13.62	16.12	32.74	10.05	51.88	37.71	4.45	40.66
0.18	6.31	18.35	15.07	44.34	6.97	86.17	22.52	6.91	44.70
<0.18	4.24	44.04	41.65	18.51	22.68	19.77	27.30	3.55	77.75

鐵(Fe)

Cut points (μm)	桂香	料香 1	料香 2	新山香 1	新山香 2	老山香 1	老山香 2	沉香 1	沉香 2
1.00	1.40	16.30	35.81	130.59	5.28	2.07	44.18	24.45	17.45
0.56	1.41	3.24	32.75	53.79	2.34	4.84	25.50	6.22	9.86
0.32	1.72	7.52	7.17	112.23	4.29	2.80	8.68	3.89	8.52
0.18	1.39	6.01	6.80	23.74	1.53	2.36	4.73	2.93	49.88
<0.18	1.80	5.58	2.60	13.13	27.53	6.36	14.84	0.64	4.69

鉀(K)

Cut points (μm)	桂香	料香 1	料香 2	新山香 1	新山香 2	老山香 1	老山香 2	沉香 1	沉香 2
1.00	0.95	1.09	3.79	8.47	1.02	5.76	1.69	8.30	4.44
0.56	8.73	37.68	33.97	44.61	15.76	71.55	77.86	98.50	49.41
0.32	20.26	33.78	24.07	35.92	14.90	57.27	49.17	67.39	60.25
0.18	14.75	17.86	15.45	16.91	8.64	22.29	17.11	34.52	22.17
<0.18	14.82	27.80	19.07	27.65	14.14	7.35	9.01	56.16	42.16

鎂(Mg)

Cut points (μm)	桂香	料香 1	料香 2	新山香 1	新山香 2	老山香 1	老山香 2	沉香 1	沉香 2
1.00	0.24	1.80	0.81	2.30	1.10	0.81	--	--	0.51
0.56	0.26	1.60	0.60	0.73	0.65	2.58	0.65		0.75
0.32	0.06	0.61	0.25	1.72	0.61	2.79	1.13		1.94
0.18	0.23	0.95	0.83	1.24	0.45	3.42	0.90	0.12	0.75
<0.18	-0.32	1.15	-0.10	1.70	1.56	0.93	0.61	0.40	1.63

錳(Mn)

Cut points (μm)	桂香	料香 1	料香 2	新山香 1	新山香 2	老山香 1	老山香 2	沉香 1	沉香 2
1.00	--	--	0.05	0.39	--	--	0.14	--	--
0.56	--	--	0.03	0.13	--	--	0.04	--	--
0.32	--	--		0.29	--	--	--	--	--
0.18	--	--			--	--	--	--	--
<0.18	--	--		-0.02	--	--	0.02	--	--

鈉(Na)

Cut points (μm)	桂香	料香 1	料香 2	新山香 1	新山香 2	老山香 1	老山香 2	沉香 1	沉香 2
1.00	5.68	8.00	10.12	16.23	6.20	6.78	5.79	6.51	14.15
0.56	5.45	19.49	9.92	9.02	7.98	15.71	10.90	7.46	11.24
0.32	6.38	14.97	10.66	8.41	6.96	16.93	11.07	9.52	15.24
0.18	5.84	11.44	11.05	8.25	4.64	9.73	8.25	7.67	11.89
<0.18	5.39	12.48	7.56	11.83	5.21	8.44	10.32	9.85	17.81

4. 風險危害評估

由謝氏與高氏於寺廟內量測懸浮微粒濃度為 600-1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，較之一般居家室內環境濃度高 10 倍以上。可以假設寺廟中因拜香燃燒所產生之懸浮微粒濃度大約在 500-1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，本計畫依此數據作為最高及最低風險推估之基準。金屬濃度為利用懸浮微粒上之各金屬含量比值計算以保守估計採最高值而得，假設值為攝入量為每人每天吸入空氣 12.7 公升、接觸頻率為 0.9 及殘留率為 1.0，成人體重為 65 公斤等，推估如表 5 所示。

在致癌風險方面，由於As、Be、Cd、Cr、Co、Ni及Pb等排放量相當低，可見燃燒拜香產生空氣中金屬含量導致癌症之機率應可忽略。而在非致癌風險方面，若以一般狀況情景之假設，即拜香燃燒在寺廟中之貢獻量為 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，以寺廟從業人員之職業風險推估（30 年），其總非致癌風險(危害商數HQ)為 0.193，雖仍低於 1 之一般安全認定值。但若以最壞情景之假設，即拜香燃燒在寺廟中之貢獻量為 1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其總非致癌風險(危害商數HQ)為 0.447，雖仍低於 1 之一般安全認定值，應值得加以注意。

表 5 燃燒拜香排放空氣中金屬之風險危害評估

懸浮微粒濃度 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	金屬濃度 ng/m^3	攝入量 (30 年 LADD) $\text{pg}/\text{kg}\cdot\text{day}$	非致癌風險	
500				
	As	654	4.929E+04	8.04E-02
	Cu	36.0	2.713E+03	1.58E-04
	Mn	8.5	6.406E+02	1.05E-01
	Zn	866	6.526E+04	5.08E-04
總風險				1.86E-01
1200				
	As	1570	1.18E+05	1.93E-01
	Cu	86.5	6.51E+03	3.79E-04
	Mn	20.4	1.54E+03	2.52E-01
	Zn	2080	1.57E+05	1.22E-03
總風險				4.47E-01

五、 結論

1. 九種拜香燃燒所產生的懸浮微粒之粒徑絕大部分均小於 5.6 μm ，且大多數（約佔總重量 95%）小於 1.0 μm 。意即這些微粒皆能輕易進入人體肺部深層之肺泡（alveoli）之中，對健康之可能危害不可忽視。
2. 經推算拜香燃燒後，Ca、K、Na、Fe、Mg 及 Mn 依序應為空氣污染物中主要的金屬成分，由於最高排放量的 Ca、K、Na 三種金屬對於人體均無直接毒害，可見燃燒少量拜香所產生含金屬空氣污染物將不是對人體產生危害的主要原因。
3. 在致癌風險方面，由於 As、Be、Cd、Cr、Co、Ni 及 Pb 等排放量相當低，可見燃燒拜香產生空氣中金屬含量導致癌症之機率應可忽略。
4. 在非致癌風險方面，若以一般狀況情景之假設，其總非致癌風險(危害商數 HQ)為 0.193，雖仍低於 1 之一般安全認定值。但若以最壞情景之假設，其總非致癌風險(危害商數 HQ)為 0.447，雖仍低於 1 之一般安全認定值，應值得加以注意。

六、 研究自評

此研究利用自行設計之大體積燃燒室（1.2 m³）配合適當的空氣交換速率及慣性衝擊式粒徑採樣器，能準確模擬拜香之自然燃燒，並且具有全量收集所有氣固相產物之優點，將來尚可利用於其他類似之燃燒研究。

參考文獻

1. Chi-Ru Yang, Ta-Chang Lin, Feng-Hsiang Chang. "Particle size distribution and PAHs concentrations of incense smoke in a combustion chamber", Environmental Pollution. (in press)
2. Chi-Ru Yang, Ta-Chang Lin, Feng-Hsiang Chang. "Correlation between calcium carbonate content and emission characteristics of incense", Air & Waste Management Association. (in press)
3. Chi-Ru Yang, Ta-Chang Lin, Feng-Hsiang Chang. "Effect of Metal Content on Emissions Characteristics from Burning Incense" 7th International Aerosol Conference St. Paul, Minnesota USA, September 10-15, 2006.
4. Ta-Chang Lin, Chi-Ru Yang. "Particle Size Distribution and Acute Toxicity Assessment of Incense Emissions", 22nd Annual American Association for Aerosol Research Conference, Anaheim, California, October 20-24, 2003.
5. 行政院衛生署，衛生統計資訊網，<http://www.doh.gov.tw/statistic/index.htm>.
6. Rylander, R., Essle, N., Donham, K., "Bronchial Hyperreactivity among pig and dairy farmers" Am. J. Ind. Med., 17, p 66-69, 1990.
7. Folinsbee, L., "Human health effects of air pollution", Environ Health Perspect, 100, p 45-56, 1992.
8. 內政部，內政統計資訊服務網，<http://www.moi.gov.tw/stat>.
9. 謝居憲，寺廟內部空氣中多環芳香化合物成分及特徵之研究，成功大學環境工程系，碩

- 士論文，1996。
10. 高攻鍾，龍世俊，香客在寺廟中懸浮微粒曝露濃度之探討，中華公共衛生雜誌，第十九卷，第二期，p 138-143, 2000。
 11. 高攻鍾、龍世俊，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，第十九卷，第三期，p 214-220, 2000。
 12. 李繡偉，拜香燃煙分佈動態變化與增溼成長特性，元智大學化學工程研究所，碩士論文，1998。
 13. Dua, S.K., Hopke, P.K., "Hygroscopicity Growth of Assorted Indoor Aerosols" *Aerosol Sci. & Technol.*, 24, p 151-160 1996.
 14. Cheng, W.E., Bechtold, Y.C.C., Hung, I.F., "Incense Smoke: Characterization and Dynamics in Indoor Environments" *Aerosol Science and Technology* 23, p 271-281, 1995.
 15. Fang, G.C., Chang, C.N., Wu, Y.S., Yang, C.J., Chang, S.C., Yang, I.L., "Suspended particulate variations and mass size distributions of incense burning at Tzu Yun Yen temple in Taiwan, Taichung" *The Science of the Total Environment*, 299, p 79-87, 2002.
 16. Fang, G.C., Chu, C.C., Wu, Y.S., Fu, P.C., "Metallic elements in particulates released during incense-burning at Tzu Yun Yen temple, Taichung, Taiwan" *International Journal of Environment and Pollution*, 19, 6, p 1-9, 2003.
 17. Ta-Chang Lin, Chi-Ru Yang, Feng-Hsiang Chang. "Burning characteristics and emission products related to metallic content in incense", *Journal of Hazardous Materials*. (in press)
 18. Fang, G.C., Chang, C.N., Chu, C.C., Wu, Y.S., Fu, P.C. and Yang, I.L., "Fine (PM2.5), coarse (PM2.5-10) and metallic elements of suspended particulates for incense burning at Tzu Yun Yen temple in central Taiwan" *Chemosphere*, 51, p 983-991, 2003.
 19. Lippmann, M., "Environmental Toxicants" Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A..
 20. Kavlock, R.J. 1999. Overview of endocrine disruptor research activity in the United States. *Chemosphere*. 39:1225-1370.
 21. Bolt, H.M. 1999. Special aspects of endocrine modulators in human and environmental risk assessment of existing chemicals. *Toxicology Letters*. 95:15.
 22. 謝永昌，拜香氣膠中 PAHs 之粒徑分佈研究，成功大學環境工程研究所，碩士論文 2002
 23. Rasmussen, R.E., "Mutagenic activity of incense smoke on salmonella typhimurium" *Bull Environ Contam Toxicol*, 38, p 827-833, 1987.
 24. Schoenotol, R., Gibbard, S., "Carcinogens in Chinese incense smoke" *Nature*, 216, p 612, 1967.
 25. Chao, H.R., Lin, T.C., Hsieh, J.H., "Composition and characteristics of PAH emissions from Taiwanese temples" *J. Aerosol Sci.* 1, p 303-304, 1997.
 26. Chen C.J., Wang Y.F., Shieh T., Chen J.Y., Lin M.Y. "Multi-factorial etiology of nasopharyngeal carcinoma" *Head and Neck Oncology Research Conference*, p 469-476, 1987.