

不同通風狀態室內燒香產生PM₁₀濃度變化之研究

高玫鍾¹ 龍世俊^{2,*}

MEI-CHUNG KAO¹, SHIH-CHUN LUNG^{2,*}

¹ 國立台灣大學環境衛生研究所

Graduate Institute of Environmental Health, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

² 中山醫學院公共衛生系，台中市建國北路一段110號

Department of Public Health, Chung Shan Medical and Dental College, No. 110, Sec. 1, Chien-Kuo N. Road, Taichung, Taiwan, R.O.C.

* 通訊作者Corresponding author.

E-mail: lsc@mercury.csmc.edu.tw

目標：本研究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。**方法：**在密閉及通風狀態之室內各採樣4天，依照距燒香源之遠近取3採樣點，採樣時間則分燒香時、香燒完後3小時內及第4至第6小時等3時段。以流量2L/min之採樣幫浦配上個人懸浮微粒採樣頭，內為直徑37mm之鐵弗龍濾紙。**結果：**密閉與通風室內PM₁₀濃度達統計上顯著差異。燒香時密閉室內的PM₁₀濃度平均值約為390~731μg/m³，通風之濃度平均值約為154~185μg/m³。通風時，在燒完香後3小時內濃度即已降至室內背景值；而密閉狀態在燒完香後6小時，其PM₁₀濃度雖減少，但仍比室內背景值高出約300μg/m³。密閉室內燒完香後PM₁₀濃度呈均勻分布；而通風室內PM₁₀濃度則呈現距離稍稍遞減的現象。**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200~500μg/m³之PM₁₀暴露濃度，降低燒香所導致之健康危害。(中華衛誌 2000; 19(3): 214-220)

關鍵詞：PM₁₀、燒香、室內空氣污染、環境監測。

Distribution of PM₁₀ concentration from incense burning under different ventilation condition; indoor study

Objectives: This study is to simulate incense burning in an indoor environment under two different conditions: closed and well-ventilated. The changes of PM₁₀ concentration over time and distance were evaluated. Accordingly, personal exposures from incense burning indoors were estimated. **Methods:** Sampling was conducted for four days under each condition. Three sampling locations were chosen: near the burning place, in the middle of the room and in the farthest corner of the room. Samples were taken in three different periods: during incense burning, zero to three hours, and 4th to 6th hours after incense burning. Personal Environment Monitors were used as sampling instrument which were mounted with Teflon filters and connected to pumps with 2 L/min flow rate. **Results:** The difference of PM₁₀ concentration between the closed and well-ventilated conditions was statistically significant. PM₁₀ concentrations during incense burning were around 390~731 μg/m³ and 154~185 μg/m³ in the closed and well-ventilated environments, respectively. Concentrations reduced to background levels within 3 hours after incense burning under well-ventilated conditions, while the concentrations in closed environment were about 300μg/m³ higher than the background levels even after 6 hours of incense burning. In the closed room, PM₁₀ concentrations were evenly-distributed after incense burning. However, in the well-ventilated condition, they were slightly decreased with the distance from the burning site. **Conclusions:** While burning incenses, people would be exposed to twice the PM₁₀ concentrations than usually do. Exposure may be as high as 10 times under poor-ventilated environment. It is recommended to burn incenses in a well-ventilated environment in order to avoid the elevated particulate exposure. (Chin J Public Health. (Taipei): 2000;19(3):214-220)

Key words: PM₁₀, incense burning, indoor air pollution, environmental monitoring.

前言

近年來，室內空氣品質已逐漸受到重視，因為人們超過80%的時間待在室內[1]，故僅由室外空氣品質監測並不能反映人體實際暴露量。而由於各國國情不同，室內空氣污染的來源、組成也大不相同[2]。

懸浮微粒對人體呼吸道的急性刺激及慢性傷害，已由許多流行病學研究証實[3]。室內懸浮微粒的來源，主要由燃燒產生，如抽煙、烹調、燒香等。Ozkaynak[4]測得美國白天居家室內外之PM₁₀平均濃度約95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。Brauer[5]在墨西哥測得燃燒木材之廚房PM₁₀濃度約768 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，遠超過上述無明顯污染源之室內平均濃度。蕭欣杰[6]測得台北地區室內外PM₁₀濃度平均值分別為61.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及67.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

台灣大部分民眾信仰道教或佛教，燒香禮佛是中國人特殊的宗教習慣，家庭中多設佛堂早晚上香或每逢初一十五到廟中拜拜，許多研究指出[7-10]，燒香會釋放懸浮微粒、多環芳烴(PAHs)、醛類等污染物，其中有些成份會增加人體致癌的機率[11]。Lowengart[12]亦指出暴露在拜香煙霧的小孩，罹患白血病的可能性較一般為高。故拜香者為懸浮微粒之高暴露族群，本研究即探討在居家環境中燒香者其PM₁₀暴露濃度之範圍及可能之影響因子(通風、距離、時間等)。

目前台灣較無環境中燃燒香之實際產生PM₁₀濃度資料，本研究以在密閉及通風之室內模擬一般家庭燒香習慣，採集燒香產生之PM₁₀濃度，探討燒香產生之PM₁₀濃度隨通風狀況、時間及距離之變化情形，以了解民眾在居家環境中燒香之暴露濃度範圍，並進而探討在密閉或通風條件下，如何避免或減低PM₁₀的暴露。

材料與方法

一、採樣方法：

懸浮微粒之採樣以採集PM₁₀之Personal

投稿日期：88年12月9日

接受日期：89年7月1日

Environmental Monitor (PEM) [SKC761-200型]配上流量2 L/min之SKC採樣幫浦[224-PCXR8型]來進行，採樣前後在現場均以電子式自動流量校正器[SKC 712型]校正流量，流量誤差範圍在5%以內。採樣濾紙為直徑37mm之鐵弗龍濾紙。

二、地點選擇：

為了模擬一般家庭在密閉及通風狀態下燒香情形，選擇一室內客廳，其大小近於一般居家客廳或神明廳，體積為78.3 m³(長5.8m，寬4.5m，高3.0m)。此客廳位於獨棟房子的一樓，外為中庭花園，離最近之馬路約25公尺，以降低因汽機車或道路揚塵產生之懸浮微粒影響。

三、採樣策略：

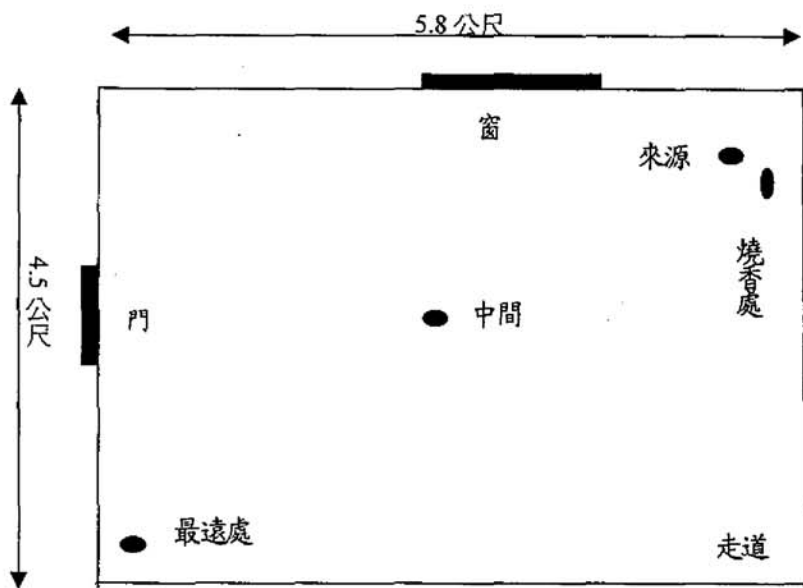
(一) 密閉室內採樣：

經詢問香行及香支包裝商，得知赤沉香為大多數香行批發最多且為大部分民眾購買使用之香種，故選擇其為燒香之香種。採樣前晚即以膠帶封住客廳之門窗接縫，並以透明布封住客廳與其他房間的通道，排除外界干擾因素。燒香前，在室內中間擺上一組採樣器，採3小時作為背景值。選定一角落放香10支，約離地兩公尺，以模擬一般家庭神明桌高度及位置。在旁距離0.3公尺擺上一採樣器，並沿客廳對角線取距燒香源3.5及7公尺之兩點架設採樣器(圖一)，採樣器皆離地1.5公尺，避免受到地上灰塵揚起而影響採樣，亦為模擬民眾呼吸的位置。燒香前後香支皆用上皿天平稱重。

點燃香時開始採樣，至香燒完時停止，計約70分鐘。香燒完後，立刻於同樣地點，換另一組採樣器採樣3小時，是測燒香產生之PM₁₀殘留在室內的濃度。採完3小時後，再換上另一組採樣器再採3小時。採樣時無人進出客廳，以避免干擾。依以上步驟採樣四次(選擇條件為晴天，避免天氣之干擾)。

(二) 通風室內採樣：

將客廳門窗打開，客廳與其他房間相接走道不予封閉，以Kanomax Anemomaster 風



圖一 採樣點位置

速計測入風口(窗戶)風速，以了解室內通風狀況。除客廳採通風狀態外，其餘步驟皆與密閉室內採樣相同。此外，在客廳窗外架上一組採樣器，在燒香時至燒香後6小時內，與室內同步採集 PM_{10} ，以作為採樣時的室外背景值。

本研究探討完全封閉及通風良好之室內燒香，為兩種極端情形，雖不能完全代表所有家庭之燒香情況，但實際在冬季很冷而關閉門窗時，此極值仍有可能發生，本研究基於此來探討燒香之最大可能暴露濃度。

四、實驗室步驟：

鐵弗龍濾紙放在 $20 \pm 1^\circ C$ ， $50 \pm 3\%$ 之防潮箱48小時後，以天平[Mettler AT261]稱重。先稱標準砝碼，再稱天平空白，若天平空白稱重數值差異在正負 $0.00001 g$ 以內，即可稱重。稱重時以去靜電裝置[VWR 58580-041]去除靜電之干擾。稱重兩次，可接受之誤差範圍為 $0.00001 g$ 。稱完後放於防潮箱保存。

五、資料分析

本研究採集燃燒十支香產生之 PM_{10} 濃度，以避免若只燒一支或三支可能會測不出。所測之濃度先扣除室內背景值後，乘上 $3/10$ ，再加回原先扣除之室內背景值，可換算成燃燒三支香產生之 PM_{10} 濃度，以推估一般民眾燒三支香的暴露濃度。在本篇結果與討論中所有濃度皆已經過換算。此外，在同一狀態下，皆重複採樣四天，結果之呈現以四天之濃度平均值來表示。

由Cheng[13]研究指出，燒香產生之微粒，其數量中位直徑為 $0.13 \mu m$ ，而質量中位氣動直徑為 $0.28 \mu m$ 。Li[14]更指出在潮濕情形下其成長倍率約為1.67。故可知雖十支香燃燒產生之微粒較三支香更易由膠結作用而增大，但不會超過 PM_{10} 的範圍，故對本研究之數據不會產生影響。

所有數據皆以SAS及EXCEL軟體做資料分析。以描述性統計方法計算樣本平均值、變異數等基本資料，再以Wilcoxon Rank-sum test來比較密閉與通風室內 PM_{10} 濃度有無顯著差異。並圖示密閉與通風室內 PM_{10} 濃度隨距離及時間變化的關係。

結果與討論

一、QA/QC

實驗室空白是以鐵弗龍濾紙檢驗是否在實驗室受到污染，平均值為 $0.00002 \pm 0.00002 \text{ g}$ ($n=7$)。現場空白是以鐵弗龍濾紙檢驗樣本是否在組裝、現場及運送過程中受到污染，其平均值為 $0.00002 \pm 0.00005 \text{ g}$ ($n=8$)。精密度以兩個採樣器相距約30cm同時採樣(二重覆)來評估，各測四次，其差異百分比在密閉室內平均值約為 $4 \pm 2\%$ ，通風室內約為 $20 \pm 15\%$ 。推測通風時，雖可加速污染物之擴散，但因室內有特定污染源，在短距離內濃度受當時風向之影響，無法均勻平佈在室內空間，造成二重覆差異過大。但因採集結果為真實情況，故所有數據皆列入資料分析。

燒香前之室內PM₁₀背景值及通風狀態下室外PM₁₀背景值，在天與天之間差異並不大，而燒香時及其後6小時之PM₁₀濃度，其%CV(為標準差除以平均值，以百分比表示)則如表一所示。造成差異的原因可能為天與天之間香支燃燒效率不同及通風狀態下其他環境因素(如風速等)之影響有關，但因這都是正常燒香情況下會發生的變異，因此本研究先以四天之濃度平均值來討論室內濃度變化之趨勢，香支燃燒效率或其他環境因素之影響則待後續研究探討。

二、密閉與通風PM₁₀濃度比較

通風狀態下，燒香前室內PM₁₀背景值約 $91 \pm 6.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，室外PM₁₀背景值約 $109 \pm 7.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，比蕭欣杰[6]在台北地區測得居家室內外PM₁₀濃度平均值($61.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 及 $67.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$)稍高，而與Ozkaynak[4]在美國所測白天室內外PM₁₀平均濃度($95 \mu\text{g}/\text{m}^3$)相差不大。另外，入風口(窗戶)風速前二天約為 0.05 m/s ，室內空氣交換率約為 1.2 h^{-1} ，後二天約為 0.2 m/s ，室內空氣交換率約為 4.8 h^{-1} 。Oie[15]測量一般居家之空氣交換率約在 $0.5 \sim 0.95 \text{ h}^{-1}$ ，而較通風情況下之空氣交換率亦可達 2 h^{-1} 或更高[16]，故本研究測得之濃度，可代表一般居家在通風狀況下拜香產生之濃度。密閉狀態下，室內PM₁₀背景值約

為 $42 \pm 5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，因採樣前晚即已封閉客廳，而室內亦無任何污染源，故PM₁₀背景值較通風狀況時低。

燃燒一支香前後之香重差平均約為 $1.2 \pm 0.01 \text{ g}$ ($n=8$)。在密閉室內燒香時PM₁₀濃度平均值最大者為 $731 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最小為 $390 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其最大值與Brauer[5]測得燃燒木材之廚房PM₁₀濃度($768 \mu\text{g}/\text{m}^3$)相近。上述數值比台北一般住家室內PM₁₀濃度 $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [6]高約6-11倍，亦為室內背景值之9-17倍。通風室內燒香時平均濃度最大為 $185 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最小為 $154 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，比台北一般住家室內PM₁₀濃度[6]高出1倍以上，亦為室內背景值之1.7-2倍。

比較密閉與通風室內在燒香時至燒完香後6小時之PM₁₀濃度，達統計上顯著差異($P=0.0001$)。燒香時之PM₁₀平均濃度，在此兩種情況下差異最大為 $546 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最小則為 $236 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。此外，在室內空氣交換率為 1.2 h^{-1} 時，燒香時來源處之PM₁₀濃度($233 \pm 7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)比空氣交換率約為 4.8 h^{-1} 時之PM₁₀濃度($137 \pm 2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)約高70%。由以上可知通風對整個室內懸浮微粒的稀釋有極大幫助。一般而言，在通風情況下拜香，民眾會暴露到比平常高出1倍以上之PM₁₀濃度，而若在密閉情況下拜香，則可能暴露到比平常高出10倍之PM₁₀濃度。

三、PM₁₀濃度隨距離之變化

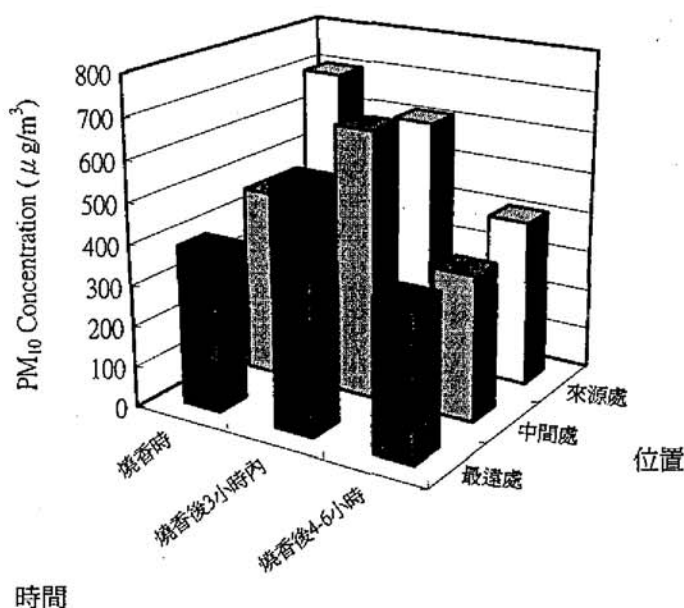
密閉室內燒香時之PM₁₀濃度明顯隨距離遞減(圖二)，在中間處(距燒香源3.5公尺)之平均濃度($460 \mu\text{g}/\text{m}^3$)約為燒香處濃度($731 \pm 127 \mu\text{g}/\text{m}^3$)之67%左右，在最遠處(距離7公尺)之平均濃度($390 \mu\text{g}/\text{m}^3$)約只有來源處平均濃度之55%。但因通風不佳，其室內濃度最低仍在 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上。香燒完3小時內三處濃度差異不大，平均約在 $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，中間處之濃度稍高於其他兩處，而最遠處則較低，三處濃度之%CV小於10%。香燒完後第4到第6小時內濃度平均值範圍約在 $350 \sim 410 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，三處濃度之%CV亦小於10%。由此看出密閉室內燒香後，PM₁₀濃度呈均勻分佈而不隨距離增加而減少。一般居家客廳或神明廳大多在7公尺內，建議民眾在冬天門窗緊閉燒香

表一 PM₁₀濃度變化 (%CV=標準差/平均值×100%)(a) 密閉室內PM₁₀濃度變化 (n=4)

	燒香時		燒香後3小時內		燒香後4-6小時	
	平均±標準差	CV%	平均±標準差	CV%	平均±標準差	CV%
來源處	731±127	18%	614±138	22%	410±150	36%
中間處	460±116	25%	641±124	17%	356±167	46%
最遠處	390±87	22%	594±134	22%	389±165	40%

(b) 通風室內PM₁₀濃度變化 (n=4)

	燒香時		燒香後3小時內		燒香後4-6小時	
	平均±標準差	CV%	平均±標準差	CV%	平均±標準差	CV%
來源處	185±56	30%	137±19	14%	120±19	16%
中間處	176±38	22%	118±18	15%	122±30	25%
最遠處	154±67	40%	118±28	24%	112±29	26%

圖二 密閉室內PM₁₀平均濃度隨距離及時間變化

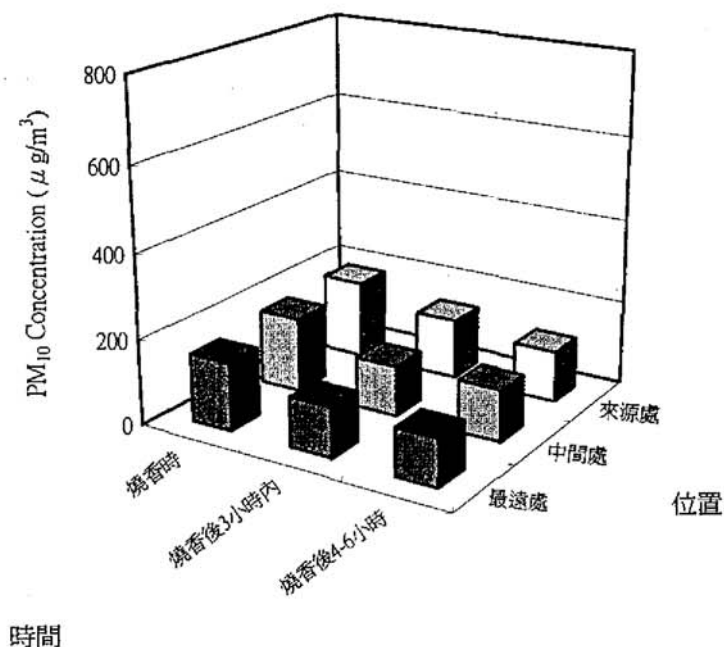
時，最好儘快離開客廳，離燒香源愈遠愈好。而在香燒完後六小時以內，因整個室內空間懸浮微粒之濃度大致相同，故還是不要待在客廳，避免受到高濃度暴露。

通風室內燒香時之PM₁₀濃度平均值均在200µg/m³以下(圖三)，在香燒完後3小時及第4到第6小時內，三處濃度範圍約在110~140µg/m³之間，已降至室內外背景值，濃度仍隨距離減少，燒香源與最遠處之差異

約在10~25µg/m³。因此，民眾在較通風之狀態下拜香，因通風已降低整體PM₁₀之濃度，故其暴露濃度雖與其距燒香源之遠近有關，但實際相差之數值並不大。

四、PM₁₀濃度隨時間之變化

在來源處所測得之三段時間PM₁₀濃度，在密閉及通風狀況下皆隨時間而遞減(圖二&圖三)。密閉室內來源處在香燒完3小時內濃



圖三 通風室內PM₁₀平均濃度隨距離及時間變化

度比燒香時之 $731 \pm 127 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降約 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，香燒完後第4到第6小時比燒香時降低約 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。通風室內來源處在香燒完3小時內濃度比燒香時之 $185 \pm 56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 降低約 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，香燒完後第4到第6小時比燒香時降低約 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，已降至背景值左右。故知在靠近燒香源處，PM₁₀濃度會因擴散而隨時間減少，而通風可加速擴散。

在中間處所測得之三段時間PM₁₀濃度，密閉室內在燒完香3小時濃度最高，約在 $641 \pm 124 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，比燒香時增加約 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上，香燒完後第4到第6小時濃度最低，約在 $356 \pm 167 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，比燒香時降低約 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在密閉室內最遠處之濃度亦是在燒完香3小時內最高，比燒香時增加約 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上(圖二)。可能因燒香時懸浮微粒尚未完全擴散到遠處，等到燒完香後3小時內，PM₁₀已均勻擴散到整個客廳，故此時中間及最遠處之濃度為最高，香燒完後第4到第6小時，部份粒子已漸沉降至地面，故此時濃度降低。因此民眾在密閉室內燒香後3小時內，應盡量減少在客廳活動或離開客廳，否則在客廳內暴

露之濃度可能比香支燃燒時待在同一地點之暴露濃度還要高。

通風室內在中間處及最遠處PM₁₀之濃度，應是因通風良好而被稀釋，在燒完香3小時內及香燒完後第4到第6小時皆已降至背景值(圖三)，比燒香時降低約 $30 \sim 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，仍隨時間呈遞減之趨勢。因此，民眾在較通風之狀態下拜香，僅在香支燃燒時會暴露到高於平時之PM₁₀濃度，比起密閉時狀態下至少6小時內皆受到燒香影響的情況要好得多。

結 論

民眾拜香時暴露之PM₁₀濃度比平時高出甚多，通風狀況對室內PM₁₀的稀釋有極大影響。在通風情況下拜香，民眾暴露到比平常高出1倍之PM₁₀濃度，而若在密閉的情況下拜香，則可能暴露到比平常高出10倍之PM₁₀濃度。

通風狀況下燒香產生之PM₁₀會在短時間內便擴散出去，濃度可在3小時內很快回復原先之背景值。而在密閉環境中，即使距離燒

香源7公尺遠，仍不能避免燒香產生之高濃度影響，且PM₁₀會均勻散佈至室內環境，至少要到香燒完後6小時，濃度才能減少至50%以下。

建議民眾若有燒香習慣，最好保持室內通風良好，儘量避免在門窗緊閉等密閉環境下拜香，可減少約200-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之室內PM₁₀濃度，以降低燒香所導致之健康危害。若不得已在密閉室內燒香時，一直到香燒完後6小時內，最好減少在客廳活動或離開客廳，以降低高濃度之懸浮微粒暴露。

誌 謝

本研究承蒙國科會提供研究經費(NSC88-2815-C-040-007-B)補助，特此誌謝。

參考文獻

1. 陳永仁、陳雄文：環境衛生學，初版，台北：國立空中大學印行，1995；81。
2. Samet JM, Spengler JD. Indoor Air Pollution 1st ed., Baltimore: The Johns Hopkins University of America, 1991;33-67.
3. Wilson R, Spengler J. Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects 1st ed. Cambridge, USA: Harvard University Press, 1996;123-68.
4. Ozkaynak H, Xue J, Weker R, Butler D, Koutrakis P, Spengler J. The Particle Team (PTEAM) Study: Analysis of the Data, U.S.A. EPA/600/SR-95/098 April, 1997.
5. Brauer M, Bartlett K, Regalado-Pineda J, Rogelio Perez-Padiilla. Assessment of Particulate Concentrations from Domestic Biomass Combustion in Rural Mexico. Environmental Science and Technology 1996;30:104-9.
6. 蕭欣杰：室內環境固相多環芳香烴特性之

研究。台北：國立臺灣大學公共衛生研究所碩士論文，1997；155p。

7. 毛義方：台北市公共場所室內空氣品質研究。台北：環保署EPA-76-04-006。1987；127p。
8. 李建昆：拜香及蚊香燃燒產生之多環芳香烴化合物。台北：國立臺灣大學公共衛生研究所碩士論文，1995；83p。
9. 羅友舜：室內環境多環芳香烴特性之研究。台北：國立臺灣大學公共衛生研究所碩士論文，1996；170p。
10. 曾國成：拜香原料產生之多環芳香烴化合物。台北：國立臺灣大學公共衛生研究所碩士論文，1995；110p。
11. Lofroth G, Stensman C, Brandhorst-Satzkorn M. Indoor Sources of Mutagenic Aerosol Particulate Matter; Smoking, Cooking and Incense Burning. Mutation Research 1991;261:21-8.
12. Lowengart RA, Peters JM, Cicioni C et al. Childhood Leukemia and Parents' Occupational and Home Exposures. J Natl Cancer Inst 1987;79:39-46.
13. Cheng YS, Bechtold WE, Yu CC, Hung IF. Incense Smoke: Characterization and Dynamics in Indoor Environments. Aerosol Science and Technology 1995;23:271-81.
14. Li W, Hopke PK. Initial Size Distributions and Hygroscopicity of Indoor Combustion Aerosol Particles. Aerosol Science and Technology 1993;19:305-61.
15. Oie L, Stymne H, Boman C-A, Hellstrand V. The Ventilation Rate of 344 Oslo Residences. Indoor Air. 1998;8:190-6.
16. Drivas PJ, Valberg PA, Murphy BL, Wilson R. Modeling Indoor Air Exposure from Short-Term Point Source Releases. Indoor Air 1996; 6:271-7.

Taiwan Public Health Association
台灣公共衛生學會