

台北都會區大氣氣膠所含正烷類之特性

林紫嵐¹ 王秋森^{1,2*}

SUZAN LIN¹, CHIU-SEN WANG^{1,2*}

¹ 國立台灣大學公共衛生研究所

Graduate Institute of Public Health, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.

² 國立台灣大學公共衛生學系，台北市仁愛路一段一號

Department of Public Health, National Taiwan University, No. 1, Jen-Ai Road, Section 1, Taipei, Taiwan.

* 通訊作者 Corresponding author. E-mail: cswang@ccms.ntu.edu.tw

本研究重點在於探討台北都會區大氣中氣相及微粒相 C_{15} - C_{36} 正烷類之濃度分布形態。由於正烷類依不同污染源而呈現不同的整體特性，因此可利用其整體特性探討大氣有機成分組成的可能來源與季節性變異。本研究使用Model PS-1 PUF採樣器，以石英纖維濾紙收集總懸浮微粒，並在濾紙下游以PUF及XAD-2吸附氣相中的半揮發性有機成分。從1996年六月起至1997年三月止，每季進行五至六天的密集採樣。每一樣本採集24小時。採樣地點為環保署空氣品質監測站中山測站。採得樣本用 CH_2Cl_2 溶劑在索氏萃取器中進行萃取後，以GC/FID做定性及定量分析。研究結果顯示，採樣期間台北都會區大氣中微粒相與氣相的正烷類總濃度範圍分別為 $9.4 \sim 236.8 \text{ ng/m}^3$ 與 $0.27 \sim 5.38 \mu\text{g/m}^3$ 。微粒相正烷類的總濃度隨季節而有顯著的變化，以秋季為最低。正烷類之氣相／微粒相濃度比隨氣溫及碳數而改變。根據微粒排放源的追蹤指標，台北都會區四季的氣懸微粒樣本顯示有大量來自汽機車排放的化石燃料燃燒廢氣的人為衝擊。(中華衛誌 1999; 18(2): 167-175)

關鍵詞：大氣中懸浮微粒、正烷類、整體特性、氣相／微粒相分布。

Gaseous and particulate n-alkanes in the Taipei aerosol

The objective of this study is to determine the bulk characteristics of n-alkanes and their vapor/particle partition in the Taipei aerosol. We focused the study on n-alkanes which are semivolatile, nonpolar and stable in chemical behavior, and exist at relatively high concentrations in urban aerosols. Because the bulk characteristics of n-alkanes are origin-specific, the n-alkane profile has been used to identify the origin and to explain seasonal variations in atmospheric organic aerosols. We used a Model PS-1 PUF Sampler (Graseby GMW, Village of Cleves, OH, USA) to collect samples of total suspended particulate and n-alkanes in the gas phase. Particles were collected on quartz fiber filters. Gaseous n-alkanes were adsorbed by PUF and XAD-2 in a cartridge placed downstream of the filter holder in the sampler. In each of the four seasons between July 1996 and March 1997, we conducted an intensive sampling operation lasting 5 to 6 days. Each sample was collected over 24 hours. The sampling site was located in the vicinity of the Taiwan Environmental Protection Administration Chung Shan Monitoring Station. The sample were extracted by CH_2Cl_2 in a Soxhlet apparatus and then analyzed for n-alkanes by gas chromatograph/flame ionization detector (GC/FID). The results of analyses for ambient samples show that the concentration of n-alkanes in the total suspended particulate and in the gas phase ranged from $9.4 \sim 236.8 \text{ ng/m}^3$ and $0.27 \sim 5.38 \mu\text{g/m}^3$, respectively. The concentration of particulate n-alkanes varied with the season, with the lowest concentration appearing in the autumn. The vapor-to-particle ratio of n-alkanes depends on the ambient temperature and the carbon number. The results for distribution profile and other bulk characteristics of n-alkanes in the Taipei aerosol indicate that they mainly came from vehicular emissions. (*Chin J Public Health. (Taipei): 1999;18(2):167-175*)

Key Words: ambient aerosol, n-alkanes, bulk characteristics, vapor/particle partition.

前言

台灣都會區氣懸微粒 (aerosol) 所造成的污染是一個非常嚴重的環境衛生問題。都會區的氣懸微粒含有相當比例的有機成分，其成分種類繁多且複雜。而這些有機氣懸微粒，有來自天然的貢獻，也有來自人為的排放。微粒的化學組成隨其來源之不同而異，而微粒的健康效應則與其化學組成有密切的關連[1]。

正烷類在一般的大氣環境中相當普遍。它們存在於海洋，陸地，都市等的大氣中，為大氣中的一次 (primary) 污染物，具有非極性、安定的特性，在大氣中的半衰期可達20小時以上。相對於大氣中其他成分複雜的有機化合物，正烷類較容易被分析定量。不同碳數正烷類雖然有相當寬廣的蒸氣壓分佈範圍，但彼此間之化學性質差異不大[2]。此外，來自不同排放源的氣懸微粒所含之正烷類，其碳數分佈的特性亦不相同。因為不同碳數正烷類的濃度分佈等特性可用於探討污染源的排放貢獻[3]，因此正烷類可被用來當作一種排放源追蹤指標。

大致上，正烷類的兩種主要來源為當代碳與化石燃料燃燒。當代碳的來源包括土壤及植物表面蠟質等當代生物來源 (contemporary biological source)，其奇數碳正烷類比偶數碳正烷類的濃度高出甚多，碳數分佈圖 (distribution profiles of n-alkanes) 則顯示明顯的鋸齒狀，也就是具有較高的CPI值 (carbon preference index) 的值，即奇數碳之正烷類的總質量濃度與偶數碳之正烷類的總質量濃度之比值[4]。化石燃料燃燒 (fossil fuel combustion) 產生的微粒則包括煤炭燃燒產生的飛灰和汽機車的排放，其碳數的分佈無明顯的奇數碳或偶數碳優勢分佈。Simoneit等[5]在其排放源的研究報告中指出，不同類別的排放源的正烷類具有不同的CPI值 (見表一)。如表一所示，CPI值大於3的正烷類主要來自生物性的排放源，當CPI值接近1時，其正烷類主要來自石油產物或石油之非完全燃燒。Simoneit等指出 C_{MAX} (在指定碳數範圍內的同系物 (homologs) 中，具有最高濃度的正烷類所含碳數) 亦可以提供排放源相對強度的指標 (見表一)。如表一所示，各排放源之正烷類碳數分佈有不同的 C_{MAX} ， $C_{MAX} \geq 27$ 顯示當代生物來源； $23 < C_{MAX} < 26$ 顯示當代生物來源及人為來源同時存在； $C_{MAX} \leq 23$ 顯示人為來源。Rogge等[6-11]為探討都會區大氣中有機氣膠的來源，曾採集許多微粒源樣本，以氣相層析及質譜儀進行個別有機成分的分析，測定細粒徑 (小於 $2\mu m$) 微粒源之有機成分組成及其濃度等特性。其中包含正烷類的濃度分佈，可以作為微粒源正烷類組成特性之參考資料。其研究的微粒來源包括汽車排氣、柴油車排氣、烤肉過程、鍋爐燃燒、路塵、剎車皮、輪胎、樹葉表面、天然氣燃燒、香菸等都會區常見的排放源。

存在於大氣中的正烷類碳數範圍約在 C_{15} 至 C_{36} 之間，屬於半揮發性的有機物質 (semi-volatile organic compounds)。根據美國環保署的分類，半揮發性有機物質是指沸點在300到600°F (148.9~315.6°C) 之間的有機物質，可能同時存在於氣相及微粒相。其氣相/微粒相比 (vapor-to-particle ratio) 則受大氣溫度，蒸氣壓及總懸浮微粒 (total suspended particulate, TSP) 濃度的影響[12]。而有機物質在氣相與微粒相之間的分佈，亦會影響其在大氣中的清除機制 (如乾沈降及濕沈降等)[13, 14]。

本研究旨在偵測台北都會區大氣中所含 C_{15} ~ C_{36} 之正烷類的濃度以及其在蒸氣相與微粒相的分佈，並探討大氣中氣懸微粒所含正烷類的碳數分佈與污染源之間的關係。

研究方法

一、採樣方法、地點與時間

本研究採用Model PS-1 PUF Sampler (Graseby GMW, Village of Cleves, OH, USA)，其採樣頭的上層以石英濾紙 (quartz fiber filter) 收集總懸浮微粒，而下層則以PUF (polyurethane foam) 及XAD-2吸附半揮發性有機物的蒸氣。石英濾紙於採樣前，以烘箱用700°C高溫處理4小時，以去除濾紙上的背景有機雜

投稿日期：87年10月30日

接受日期：88年3月26日

表一 不同來源之正烷類CPI值與 C_{MAX} [5]

來 源	CPI值*	C_{MAX}^{**}
植物臘	6-30	C27,C29,C31 and C33
自然森林火災	10	C29 and C31
開墾焚林	1.2-5	C23 and C25
機動車排氣	0.93-1.2	C21 and C22
石油產物	0.96-1.01	C10(原油)
(原油, 柴油, 潤滑油)		C19(柴油, 潤滑油)

*CPI值=奇數碳之正烷類的總質量濃度除以偶數碳之正烷類的總質量濃度

** C_{MAX} ，在指定碳數範圍內的同系物中具有最高濃度的正烷類所含碳數

質。PUF及XAD-2則以索氏萃取(Soxhlet extraction)作前處理，使用n-hexane為溶劑，一小時至少四個循環，總共操作十六小時，用以去除PUF及XAD-2上的背景有機物。採樣流量為200 L/min，連續操作24小時，因此每個樣本採集氣體的總體積為288m³。

採樣點設於環保署空氣品質監測站中山測站(位於台北市民權東路75號中山國小)旁邊。中山測站屬於大氣監測站，距地面15.7公尺，離主要道路最近距離為30公尺，鄰近住宅區、行政區、及文教區。本研究於1996至1997年間分別於四季各進行一次密集採樣，每次採5-6天。採樣日期分別為1996年6月10日~14日，1996年10月23日~28日，1997年1月22日~27日，及1997年3月5日~10日。

二、樣本處理方法

本研究採用CH₂Cl₂為溶劑，以索氏萃取器萃取樣本中之正烷類。使用每小時至少四次循環的迴流速度萃取24小時。整個萃取過程皆採用避光措施(以鋁箔紙包裹)，以避免樣品因光分解。在萃取結束後，將萃取溶液以旋轉真空減壓濃縮方式濃縮至約15 mL，再以抽氣過濾去除雜質以利氣相層析儀分析。之後用氮氣吹拂方式濃縮至0.5mL。然後在濃縮樣本中加入0.5 mL之2.5 µg/mL C₁₈H₃₀內標溶液，置於密封避光的樣本瓶中以備分析。

三、分析方法

本研究以氣相層析儀連接火焰離子偵測器(GC/FID, HP5890A, Hewlett-Packard, Avondale, PA, USA)對樣本中的正烷類作定性及定量的分析。所使用之毛細管柱為DB-5 (J&W, Folsom, CA, USA)，30 m×0.32 mm id.；烘箱起始溫度為50℃，以每分鐘上升25℃的速率加溫至200℃後，再以每分鐘上升5℃的速率加溫至320℃；樣本注射採非分流(splitless)方式。本實驗以C₁₈H₃₀為內標，用以校正氣相層析儀分析所得的不同碳數正烷類的滯留時間以及樣本注射量；並做回收效率實驗以評估萃取時的損失。

結果與討論

一、CPI值， C_{MAX}

表二為本研究採樣所得微粒相正烷類的總濃度及其CPI值與 C_{MAX} (用於計算CPI值及 C_{MAX} 之碳數範圍為C₁₅至C₃₆)以及環保署空氣品質監測站中山測站測得的PM₁₀濃度。因考慮在秤重前的調理過程(在室溫，50 %相對濕度下靜置24小時)可能導致正烷類揮發而造成損失，因此本研究中並未將採得樣本的濾紙秤重以求得總懸浮微粒濃度，而以環保署空氣品質監測站中山測站的PM₁₀濃度資料代表大氣中微粒的濃度。

1996年6月夏季大氣採樣期間之PM₁₀濃度在43.2~65.4µg/m³之間，微粒相正烷類總濃度則在63.4~165.1ng/m³之間， C_{MAX} 在C₂₈

表二 1996~1997年在中山測站附近四次密集採樣所得之微粒相正烷類的總濃度，CPI值及 C_{MAX} 。PM10濃度為中山測站的數據。四次密集採樣期間之平均氣溫分別為28.4, 22.7, 20.6及13.4℃

Date	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Total (C15-C36) (ng/m^3)	C_{MAX}^*	CPI**
6/10/96	65.4	116.4	C32	0.88
6/11/96	52.1	165.1	C28	0.79
6/12/96	43.2	98.0	C28	1.33
6/13/96	48.4	102.2	C29	1.17
6/14/96	44.8	63.4	C33	2.37
10/23/96	37.7	118.9	C27	0.70
10/24/96	26.3	36.3	C20	0.36
10/25/96	24.7	13.0	C20	***
10/26/96	36.1	9.4	C29	1.09
10/27/96	22.8	25.9	C20	0.46
10/28/96	57.6	26.4	C29	1.00
1/22/97	25.8	139.1	C31	1.18
1/23/97	83.7	148.1	C31	1.06
1/24/97	30.3	108.3	C31	0.98
1/25/97	48.5	141.3	C31	1.08
1/26/97	82.1	151.1	C31	1.23
1/27/97	61.8	214.9	C31	1.15
3/5/97	90.2	236.8	C29	1.35
3/6/97	95.0	137.4	C29	1.67
3/7/97	84.4	111.8	C27	1.61
3/8/97	36.7	64.8	C27	1.67
3/9/97	108.3	180.1	C27	1.40
3/10/97	88.5	103.7	C27	1.64

* C_{MAX} ，在指定碳數範圍內的同系物中具有最高濃度的正烷類所含碳數。

** CPI值=奇數碳之正烷類的總質量濃度除以偶數碳之正烷類的總質量濃度。

*** 因未測得奇數碳之正烷類，無法計算CPI值。

與 C_{33} 之間，CPI值除14日為2.37外，其餘皆在0.79~1.33之間。1996年10月秋季大氣採樣期間之PM10濃度在22.8~57.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，微粒相正烷類總濃度在9.4~118.9 ng/m^3 之間。10月份的正烷類總濃度數據變異極大，其中24~27日的微粒相正烷類總濃度普遍偏低，可能是受到大氣中微粒濃度偏低及氣象不穩定(如多日降雨等)的影響。 C_{MAX} 除24, 25, 27日為 C_{20} 外，其餘皆在 C_{27} 與 C_{29} ，且皆為奇數碳。CPI值除24及27日分別為0.36及0.46之外，其餘則分佈在0.7與1.09之間。1997年1月冬季大氣採樣期間之PM10濃度在25.8~83.7

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，微粒相正烷類總濃度則在108.3~214.9 ng/m^3 之間， C_{MAX} 皆為 C_{31} ，CPI值在0.98~1.23之間。1997年3月春季大氣採樣期間之PM10濃度在36.7~108.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，微粒相正烷類總濃度則在64.8~236.8 ng/m^3 之間， C_{MAX} 除5, 6日為 C_{29} 外，其餘皆為 C_{27} ，CPI值則在1.35~1.67之間。

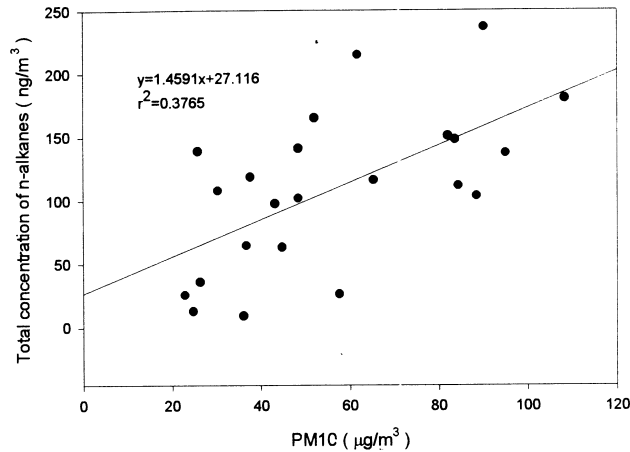
為進一步探討PM10濃度與微粒相正烷類總濃度，圖一比較本研究採樣所得之每日微粒相正烷類總濃度與中山測站當日之PM10濃度之關係。由圖中可以觀察出二者所存在的趨勢：當PM10濃度愈高時，微粒相正烷類總

濃度也愈高($r=0.61$)。

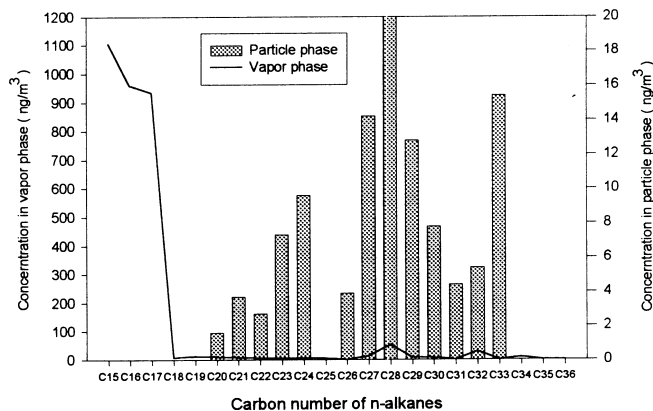
從本研究採得各樣本的CPI值皆在1左右， C_{MAX} 的分佈則大多在 C_{27} 以上，且多為奇數碳，而在1996年10月份亦有三日之 C_{MAX} 是 C_{20} ，顯示有來自當代生物性排放源及化石燃料燃燒排放源(尤以汽車和柴油車排放為明顯)的雙重貢獻。但由於 $C_{27} \sim C_{33}$ 的鋸齒狀分布與 C_{MAX} 皆只有定性之功用，而CPI值則可以顯示化石燃料來源的貢獻強度，因此整體而言，可以推測採樣地點之氣懸微粒以化石燃料為主要貢獻來源。

二、碳數分佈圖

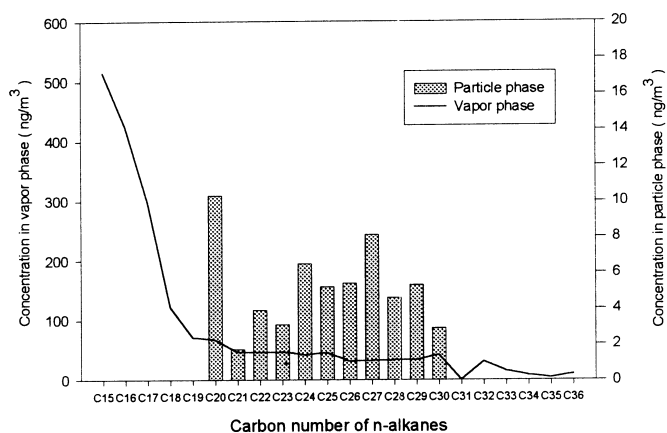
圖二～五依次為1996年6月夏季，1996年10月秋季，1997年1月冬季，和1997年3月春季大氣採樣所得微粒相及氣相之正烷類的碳數分佈圖(圖中所示濃度為每一季採樣期間各日濃度之平均值)。文獻中曾指出， C_{20} 至 C_{22} 之間的高峰是汽車及柴油車排氣中微粒相正烷類碳數分布圖的特徵。當代生物排放源的正烷類的碳數分佈圖有奇數碳之優勢分佈，而化石燃料燃燒排放則無明顯之奇數碳或偶數碳優勢分佈[5]。1996年6月所採集之微粒



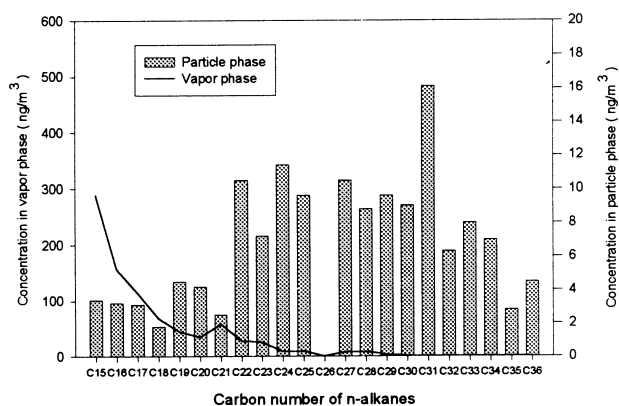
圖一 1996～1997年在中山測站附近採樣所得之微粒相正烷類的總濃度與中山測站PM10濃度數據的關係



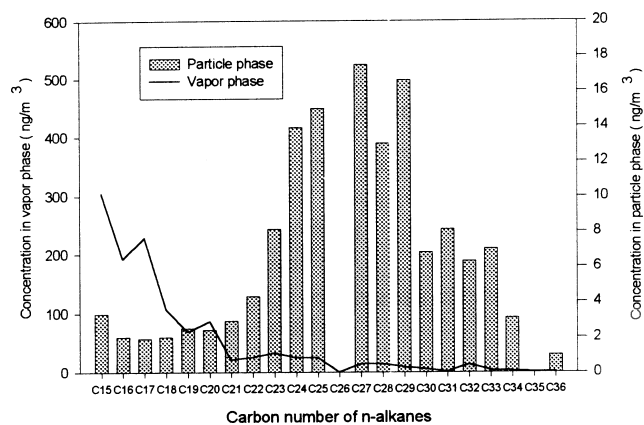
圖二 1996年6月夏季中山測站附近大氣採樣所得之正烷類碳數分佈圖(圖中所示濃度為採樣期間各日濃度之平均值)



圖三 1996年10月秋季中山測站附近大氣採樣所得之正烷類碳數分佈圖(圖中所示濃度為採樣期間各日濃度之平均值)



圖四 1997年1月冬季中山測站附近大氣採樣所得之正烷類碳數分佈圖(圖中所示濃度為採樣期間各日濃度之平均值)



圖五 1997年3月春季中山測站附近大氣採樣所得之正烷類碳數分佈圖(圖中所示濃度為採樣期間各日濃度之平均值)

相正烷類並無奇數碳或偶數碳的優勢分佈現象，顯示其主要來源為化石燃料(圖二)。1996年10月秋季的樣本中微粒相以 C_{20} 之濃度為最高，顯示有來自化石燃料排放源(尤其以汽車及柴油車排放為明顯)的影響。但大體上來說，1996年10月秋季採樣所得的微粒相正烷類濃度偏低，可能與大氣中微粒(PM10)濃度偏低及氣象不穩定的原因有關，且微粒相正烷類奇數碳的優勢分佈並不明顯。而1997年1月冬季及1997年3月春季的微粒相正烷類碳數分佈圖皆在 C_{27} 、 C_{29} 、 C_{31} 及 C_{33} 等處，有明顯的鋸齒狀奇數碳優勢分布出現，顯示有來自當代生物排放源(尤其為植物表面蠟質)的影響。

三、大氣中氣相／微粒相之正烷類比較

由圖二～五中可知，高濃度的氣相正烷類主要分佈於低碳數($<C_{20}$)，其中不同碳數正烷類之最高濃度常為最低濃度的數百倍至數千倍，而影響此現象的因素包括氣溫、化合物之蒸氣壓及其濃度。相對的，微粒相中不同碳數正烷類的濃度分布則較為平均，最高濃度約為最低濃度的二十倍左右，且多分佈於高碳數($>C_{20}$)。

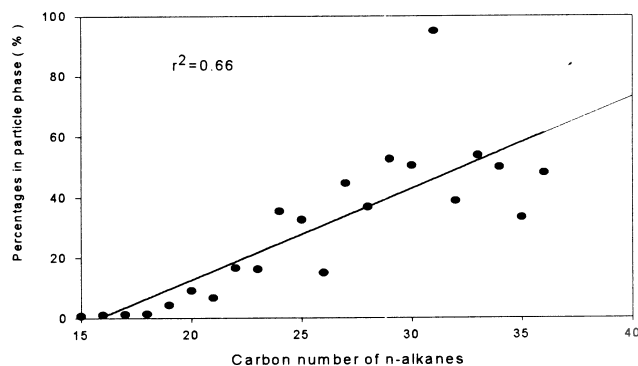
圖六為微粒相中不同碳數正烷類的濃度佔氣相及微粒相兩相正烷類濃度和之百分比與正烷類碳數之關係($r=0.81$, $p<0.01$)。由圖

中可明顯觀察出：當正烷類之碳數愈高時，因其沸點愈高，其存在於微粒相的百分比也愈高。由圖二～五的數據可看出溫度對四季中整體正烷類之氣相／微粒相分布的影響，由於正烷類的蒸氣壓隨溫度的升高而增加，在較高的氣溫下，正烷類較易揮發成蒸氣，因而導致微粒相濃度的降低。

四、採樣及萃取過程中的損失

半揮發性有機物在採樣過程中的損失較不容易估計。本研究使用之採樣器係以石英濾紙先採集微粒相。已採集在濾紙上的微粒所含蒸氣壓較高的正烷類可能會有一部份在採樣過程中揮發而被空氣帶到置於濾紙下游的吸附介質。本研究使用三層的吸附介質(第一層為PUF，第二層為XAD-2，第三層為PUF)。採樣後三層吸附介質分別萃取分析。結果顯示，大多數的樣本有98%以上的氣相正烷類吸附於第一及第二層中。

萃取過程中的損失係以下述方法估計：以不同碳數正烷類的貯備溶液均勻滴於石英濾紙及吸附介質，待乾燥後進行萃取及分析。根據三種不同滴加量的實驗結果，平均回收率分別為：0.60(石英濾紙)，0.77(PUF)，及0.86(XAD-2)。但因考慮採樣過程中的損失不易估計，因此本文所列各項濃度數據均未做回收率修正。



圖六 微粒相中不同碳數正烷類的濃度佔氣相及微粒相兩相正烷類濃度和之百分比(1996~1997年中山測站附近之數據)

五、中山監測站的代表性

環保署在台北都會區設置七個空氣品質監測站，其中五個為大氣空氣品質測站，一個為交通空氣品質測站，另一個為國家公園空氣品質測站。大氣空氣品質測站因遠離主要道路，較不易受特定污染源之影響，因此代表性較高。本研究選擇的中山監測站為大氣空氣品質測站，其位於台北都會區的中心，應有相當高的代表性(其他四個大氣空氣品質測站分別位於古亭、萬華、士林、及松山)。

結 論

台北都會區的氣懸微粒所含碳數分佈為 $C_{15} \sim C_{36}$ 之半揮發性正烷類的總濃度範圍在 $9.4 \sim 236.8 \text{ ng/m}^3$ 之間。蒸氣相所含碳數分佈為 $C_{15} \sim C_{36}$ 之半揮發性正烷類的總濃度範圍則在 $0.27 \sim 5.38 \mu\text{g/m}^3$ 之間，尤其以低碳數的正烷類濃度為高。氣溫及正烷類的碳數對半揮發性正烷類在蒸氣相及微粒相的分佈有明顯的影響，顯示當氣溫升高時，正烷類在氣相和微粒相之濃度比也隨之增加；碳數較高的正烷類其分佈在微粒相的比例也相對提高。

根據CPI值，微粒相正烷類之碳數分佈圖，及樣本氣相層析圖譜的隆起可以推知台北都會區的氣懸微粒主要來自化石燃料燃燒排放的貢獻。另由微粒相正烷類之碳數分佈圖中的鋸齒狀奇數碳優勢分佈，及大於 C_{27} 的奇數微粒相正烷類 C_{MAX} 值可以推知台北都會區的氣懸微粒亦有來自當代生物排放源的貢獻。四季的微粒樣本分析結果顯示排放源並無明顯季節的差異，因此推測台北都會區有機氣懸微粒當代生物排放源應是來自天然有機背景值來源(如植物表面臘質、土壤等)，而化石燃料燃燒排放的貢獻，應是來自四季穩定貢獻之交通排放。

誌 謝

感謝行政院國家科學委員會經費補助(計劃編號NSC-86-2621-P-002-014)

參考文獻

1. Spengler JD, Wilson R eds. *Particles in Our Air: Exposures and Health Effects*. Boston: Harvard University, 1997.
2. Eichmann R, Neuling P, Ketserids G, Hahn J, Jaenicke R, Junge C. n-alkanes studies in the troposphere-I. Gas and particulate concentrations in North Atlantic air. *Atmospheric Environment* 1979;**13**:587-99.
3. Simoneit BR, Mazurek MA. Organic matter of the troposphere-II. Natural background of biogenic lipid matter in aerosol over the rural western United States. *Atmospheric Environment* 1982;**16**:2139-59.
4. Bray EE, Evans ED. Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds. *Geochim Cosmochim Acta* 1961;**22**:2-15.
5. Simoneit BR. Characterization of organic constituents in aerosols in relation to their origin and transport: a review. *Int J Environ Anal Chem* 1986;**23**:207-37.
6. Rogge WF, Hildemann LM, Mazurek MA, Cass GR. Sources of organic aerosol. 1. Charbroilers and meat cooking operations. *Environ Sci Technol* 1991;**25**:1112-25.
7. Rogge WF, Hildemann LM, Mazurek MA, Cass GR. Sources of organic aerosol. 2. Ncatalyst and catalyst-equipped automobile and heavy duty diesel trucks. *Environ Sci Technol* 1993;**27**:636-51.
8. Rogge WF, Hildemann LM, Mazurek MA, Cass GR. Sources of organic aerosol. 3. Road dust, tire debris, and organometallic brake lining dust: Roads as sources and sinks. *Environ Sci Technol* 1993;**27**:1892-904.
9. Rogge WF, Hildemann LM, Mazurek MA, Cass GR. Sources of organic aerosol. 4. Particulate abrasion products from leaf surfaces of urban plants. *Environ Sci Technol* 1993;**27**:2700-11.

10. Rogge WF, Hildemann LM, Mazurek MA, Cass GR. Sources of organic aerosol. 5. Natural gas home appliances. Environ Sci Technol 1993;**27**:2736-44.
11. Rogge WF, Hildemann LM, Mazurek MA, Cass GR. Sources of organic aerosol. 6. Cigarette smoke in the urban atmosphere. Environ Sci Technol 1994;**28**:1375-88.
12. Bidleman TF. Atmospheric processes. Environ Sci Technol. 1988;**22**:361-67.
13. Bidleman TF. High-volume collection of organic vapors using solid adsorbents. In : Lawrence JF ed. Trace Analysis. New York: Academic, 1985;**51**-100.
14. Van Vaeck L, Van Cauwenberghe K, Janssens J. The gas-particle distribution of organic aerosol constituents: measurement of the volatilisation artefact in hi-vol cascade impactor sampling. Atmospheric Environment 1984;**18**:417-30.