

科技部補助專題研究計畫成果報告 期末報告

都市熱島效應對PAHs在氣/固態分配及逸散比值之影響

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：MOST 104-2111-M-040-002-
執行期間：104年08月01日至105年07月31日
執行單位：中山醫學大學公共衛生學系（所）

計畫主持人：郭崇義

計畫參與人員：碩士級-專任助理人員：魏千岱
碩士級-專任助理人員：溫敬峰
碩士級-專任助理人員：鄭芷茵
碩士班研究生-兼任助理人員：陳俊宇
大專生-兼任助理人員：林韻庭
大專生-兼任助理人員：楊春霞
大專生-兼任助理人員：陳盈君
博士後研究：許豪麟

中華民國 105 年 10 月 31 日

中文摘要：選擇大里工業區 (DL)、台灣體育大學 (TU) 與近郊內陸城市后里地區 (HL) 等三個測點作為本研究之採集地點執行三次採樣作業，每次採樣所採集之樣品包括氣態PAHs、TSP、PM_{2.5}與土壤等。研究發現本計畫熱島中心為DL地區，TSP中日間工業性PAHs濃度 (Ind-PAHs) 於T-PAHs之比值呈現日間高於夜間Ind-PAHs之現象。第一批次氣態PAHs夜間平均濃度高於日間平均濃度，第二與第三批次多呈現日間氣態PAHs平均濃度高於夜間的結果；DL以及HL地區土壤中PAHs濃度約為TU地區的2 倍左右。使用logKp - logKoa以及logKp - log PLo模式探討PAHs的氣固平衡狀態，發現HL地區第三批次採樣的斜率值最大，顯示低熱島效應較易達到較高斜率值。逸散比值 (fugacity ratios) 結果顯示三個地區其低分子量與中分子量PAHs在土壤與大氣間分佈多達平衡之趨勢，另發現熱島效應較強易導致較多之PAHs從空氣中沉降至土壤中。

中文關鍵詞：熱島效應；多環芳香烴；氣-固分佈係數；逸散

英文摘要：Three stations were chosen as study sites for this project: Dali District Office (DL), National Taiwan University of Sport (TU), and Houli District Office (HL). This study took 3 times worth of samples of gas phase, TSP, PM_{2.5}, and soil. According to the temperature profile, this research regarded the DL zone as the urban heat island center. Results show that the mean ratio of industrial PAHs (Ind-PAHs) over T-PAHs in day-time is higher than that in night-time. The mean concentration of gas-phase PAHs in night-time is higher than that in day-time of the first sampling period. During the second and third sampling periods, however, the mean concentration of gas-phase PAHs in day-time is higher than that in night-time. The mean PAH concentration in the soil of DL and HL zone is about 2 times higher than those of the TU station. The logKp - logKoa and logKp - log PLo modes were used to explore the equilibrium status between gas-particle partitions at the study sites. The highest slop was obtained for the samples of HL station during the third sampling period, showing that lower urban heat island effect leads to higher slope value. Fugacity ratios present that lower and middle molecule weights of PAHs approach equilibrium status between the two phases. The ratios also indicate the phenomenon that the stronger effects of the urban heat island resulted in more PAHs being deposited from air to soil.

英文關鍵詞：Urban heat island effect; Polycyclic aromatic hydrocarbons; Gas-particle partitioning coefficient; Fugacity

科技部補助專題研究計畫成果報告

(期中進度報告/期末完整報告)

都市熱島效應對 PAHs 在氣/固態分配及逸散比值之影響

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：MOST 104-2111-M-040-002

執行期間：104 年 08 月 01 日至 105 年 07 月 31 日

執行機構及系所：中山醫學大學 公共衛生學系(所)

計畫主持人：郭崇義教授

計畫參與人員：博士後研究員：許豪麟

研究助理人員：魏千岱、溫敬峰、鄭芷茵

碩士班研究生：陳俊宇

大學部學生：林韻庭、楊春霞、陳盈君

本計畫除繳交成果報告外，另含下列出國報告，共 0 份：

執行國際合作與移地研究心得報告

出席國際學術會議心得報告

中 華 民 國 一 零 五 年 十 月 三 十 日

摘要

選擇大里工業區 (DL)、台灣體育大學 (TU) 與近郊內陸城市后里地區 (HL) 等三個測點作為本研究之採集地點執行三次採樣作業，每次採樣所採集之樣品包括氣態 PAHs、TSP、PM_{2.5} 與土壤等。研究發現本計畫熱島中心為 DL 地區，TSP 中日間工業性 PAHs 濃度 (Ind-PAHs) 於 T-PAHs 之比值呈現日間高於夜間 Ind-PAHs 之現象。第一批次氣態 PAHs 夜間平均濃度高於日間平均濃度，第二與第三批次多呈現日間氣態 PAHs 平均濃度高於夜間的結果；DL 以及 HL 地區土壤中 PAHs 濃度約為 TU 地區的 2 倍左右。使用 $\log K_p - \log K_{oa}$ 以及 $\log K_p - \log P_L^o$ 模式探討 PAHs 的氣固平衡狀態，發現 HL 地區第三批次採樣的斜率值最大，顯示低熱島效應較易達到較高斜率值。逸散比值 (fugacity ratios) 結果顯示三個地區其低分子量與中分子量 PAHs 在土壤與大氣間分佈多達平衡之趨勢，另發現熱島效應較強易導致較多之 PAHs 從空氣中沉降至土壤中。

關鍵字：熱島效應；多環芳香烴；氣-固分佈係數；逸散

Abstract

Three stations were chosen as study sites for this project: Dali District Office (DL), National Taiwan University of Sport (TU), and Houli District Office (HL). This study took 3 times worth of samples of gas phase, TSP, PM_{2.5}, and soil. According to the temperature profile, this research regarded the DL zone as the urban heat island center. Results show that the mean ratio of industrial PAHs (Ind-PAHs) over T-PAHs in day-time is higher than that in night-time. The mean concentration of gas-phase PAHs in night-time is higher than that in day-time of the first sampling period. During the second and third sampling periods, however, the mean concentration of gas-phase PAHs in day-time is higher than that in night-time. The mean PAH concentration in the soil of DL and HL zone is about 2 times higher than those of the TU station. The $\log K_p - \log K_{oa}$ and $\log K_p - \log P_L^o$ modes were used to explore the equilibrium status between gas-particle partitions at the study sites. The highest slope was obtained for the samples of HL station during the third sampling period, showing that lower urban heat island effect leads to higher slope value. Fugacity ratios present that lower and middle molecule weights of PAHs approach equilibrium status between the two phases. The ratios also indicate the phenomenon that the stronger effects of the urban heat island resulted in more PAHs being deposited from air to soil.

Keywords: Urban heat island effect; Polycyclic aromatic hydrocarbons;

Gas-particle partitioning; coefficient; Fugacity

目 錄

中文摘要	-----	I
英文摘要	-----	II
目 錄	-----	III
圖 目 錄	-----	VI
表 目 錄	-----	VIII
第一章 緒 論	-----	1
1.1 前言	-----	1
1.2 都市熱島 (Urban Heat Island) 效應	-----	2
1.3 多環芳香烴化合物	-----	6
1.4 多環芳香烴化合物之來源及其特徵比值	-----	12
1.5 多環芳香烴於環境大氣中之分佈	-----	13
1.6 懸浮微粒 (Particulate matter) 與多環芳香烴	-----	18
1.7 多環芳香烴之危害	-----	20
1.8 研究動機、目的與方法	-----	22
第二章 研究方法與分析儀器	-----	23

2.1 採樣地點規劃-----	24
2.2 採樣規劃-----	25
2.3 採樣設備與分析儀器-----	26
2.3.1 手動採樣儀器-----	26
2.3.2 PAHs 前處理與分析-----	30
2.3.3 場發射掃描式電子顯微鏡 (FE-SEM) 分析-----	33
2.3.4 含碳物質 (Total organic carbon, TOC) -----	33
2.4 品保品管-----	34
2.4.1 儀器與方法之偵測極限-----	35
第三章 結果與討論-----	38
3.1 採樣期間風速、溫度及濕度之變化-----	38
3.2 採樣期間 PM _{2.5} 懸浮微粒濃度變化-----	43
3.3 採樣期間 TSP 與其 PAHs 之濃度變化-----	44
3.4 採樣期間氣態 PAHs 之濃度變化-----	51
3.5 TSP 與氣態中 PAHs 污染來源之特徵比值-----	55
3.6 總懸浮微粒之 FESEM 分析圖-----	59
3.7 PAHs 之氣固分佈與平衡-----	64
3.8 土壤中 PAHs 濃度與逸散分佈-----	68

第四章 總結-----	72
參考文獻-----	76
附 錄 PAHs 分析數據之品保與品管(QA/QC)-----	82

圖目錄

圖 2-1	採樣地理位置圖-----	24
圖 2-2	氣態 PAHs 低流量採樣器設備圖-----	28
圖 2-3	氣態 PAHs 之吸附套筒裝置圖-----	29
圖 2-4	PM _{2.5} 高流量採樣器-----	29
圖 2-5	總懸浮微粒採樣器-----	29
圖 3-1	三批次採樣三地區 PM _{2.5} 日間與夜間平均濃度比較圖---	44
圖 3-2	三批次採樣三地區 TSP 日間與夜間平均濃度比較圖----	46
圖 3-3	三批次採樣三地區 TSP 中 PAHs 之日間與夜間平均濃度比較圖-----	48
圖 3-4	三批次採樣三地區氣態 PAHs 之日間與夜間平均濃度比較圖-----	52
圖 3-5	三批次採樣三地區 TSP 中 PAHs 之特徵比值圖-----	57
圖 3-6	三批次採樣三地區氣態 PAHs 之特徵比值圖-----	58
圖 3-7	DL 地區日間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及 EDS 分析圖譜-----	61
圖 3-8	DL 地區夜間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及 EDS 分析圖譜-----	61

圖 3-9	TU 地區日間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及 EDS 分析圖譜-----	62
圖 3-10	TU 地區夜間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及 EDS 分析圖譜-----	62
圖 3-11	HL 地區日間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及 EDS 分析圖譜-----	63
圖 3-12	HL 地區夜間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及 EDS 分析圖譜-----	63
圖 3-13	三批次採樣三地區之 $\log K_p - \log P_L^o$ 作圖-----	66
圖 3-14	三批次採樣三地區之 $\log K_p - \log K_{oa}$ 作圖-----	67
圖 3-15	三批次採樣三地區土壤中之總PAHs平均濃度比較圖----	68
圖 3-16	(a)第一批次、(b)第二批次與(c)第三批次之逸散分佈圖--	71

表 目 錄

表 1-1	29 種 PAHs 之化學式、分子量及結構式-----	10
表 1-2	PAHs 依 IARC 與 USEPA 之致癌性分類-----	21
表 2-1	採樣時間及樣品數-----	26
表 2-2	PAHs 分析之品管要求項目、頻率及管制範圍-----	35
表 2-3	質譜掃描 29 種 PAHs 之母離子及定量離子-----	36
表 2-4	PAHs 之方法偵測極限-----	37
表 3-1	第一批次採樣期間各地區日夜間溫溼度風速風向資料---	40
表 3-2	第二批次採樣期間各地區日夜間溫溼度風速風向資料---	41
表 3-3	第三批次採樣期間各地區日夜間溫溼度風速風向資料---	42
表 3-4	各地區三批次採樣之 PM _{2.5} 質量濃度(μg/m ³) -----	43
表 3-5	各地區三批次採樣之 TSP 質量濃度(μg/m ³) -----	45
表 3-6	三批次採樣三地區日間 TSP 中 PAHs 平均濃度(ng/m ³)---	49
表 3-7	三批次採樣三地區夜間 TSP 中 PAHs 平均濃度(ng/m ³)----	50
表 3-8	三批次採樣三地區日間氣態 PAHs 平均濃度(ng/m ³)-----	53
表 3-9	三批次採樣三地區夜間氣態 PAHs 平均濃度(ng/m ³)-----	54
表 3-10	三批次採樣三地區土壤中 PAHs 平均濃度(ng/g)-----	69

第一章 緒論

1.1 前言

近幾十年來，全球各地的都會區域不斷擴大，人口過度集中於都市地區，工業發達經由燃燒石化燃料製造出大量熱源，加上都市建築物的增加，建材大多為熱傳導率和比熱容量都很高的石頭和混凝土，地表植被的改變造成都市地區散熱不易，且建築物本身會對風的流動會產生阻擋或是減弱的作用，導致積存於都市地區的熱量無法輕易逸散，溫暖化的都市在周遭低溫郊區的背景對比之下，如同一座發熱般的島嶼，氣象學上稱之為「都市熱島 (Urban Heat Island) 現象」⁽¹⁻³⁾。

多環芳香烴化合物 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) 普遍存在於大氣環境中，為常見之半揮發性有機化合物，台灣近年因傳統產業與電子科技業的蓬勃發展下，排放於大氣中之 PAHs 含量已不容小覷，主要來源可分為汽機車排放之交通移動污染源、工業活動之固定污染源、火力發電與廢棄物燃燒等人為來源，以及森林火災與火山爆發等自然來源⁽⁴⁾，相關研究文獻指出台灣地區 21 種 PAHs 並估算出排放率，依序為工業重油燃燒 (10.2 kg day^{-1}) > 煤燃燒 > 天然氣燃燒 > 固體廢棄物 > 柴油燃燒 ($0.003 \text{ kg day}^{-1}$)，顯示人為排放 PAHs 來源之以工業活動為大宗⁽⁵⁾。然而，PAHs 在各種基質間之分

配情形並非一成不變，其分配特性會受環境條件改變之影響，基於欲瞭解污染物在環境中流佈、對污染物之控制以及評估暴露危害風險等之考量，充份掌握 PAHs 存在於各種大氣環境中之氣/固相分佈（Gas-particle partition）情形，成為極為重要之關鍵資訊。

1.2 都市熱島（Urban Heat Island）效應

都市和郊區最大的不同，主要為人口多寡的差異，人類活動之地區必定會出現「人工熱」，而能量轉換的過程中，會釋放出如冷氣機、空調、工廠及機動車輛等的排放等人為熱源，增加都市蓄熱。由於都市氣溫攀升，人類便大量使用空調設備，不但使都市的高溫化現象更嚴重，人類對電力的需求也急遽增加，促使地球的能源大量被消耗。由於大城市內高樓林立，大氣之自由流動緩慢，也減緩了風的流速，當白天吸收較多太陽輻射能的都市，到了夜晚因為風的流速減緩，不易散熱，仍持續著高溫；另一方面，都市居民活動頻繁，釋放大量的污染物質到空氣中，污染物質會因為高溫而隨著暖空氣上升，向外擴散到都市邊緣，這時，都市邊緣存在有一些冷卻的空氣，當污染物質遇到冷空氣，便隨著冷空氣而下降，又被迫流回都市中心，沿都市地面輻合的現象，形成一個獨立循環系統，產生類似海陸風之熱島環流，可能將污染物累積在都市上空影響空氣品質。此情況在日間不明

顯，夜間則較為顯著，只有強風才能使它改變或解體⁽⁶⁾，在無風或靜風的狀態下，都市內的污染物濃度將不斷增加，無法擴散，形成嚴重之塵罩現象，對於都市的空氣品質具有相當程度的影響，進而危害都市的居住品質及居民健康。Sarrat 等人⁽⁷⁾的研究發現當日間和夜間都會區出現熱島現象時，都市內的污染物(NO_x 、 O_3)的濃度會因此增加且累積，導致居民引起呼吸道疾病，危害人體健康⁽⁸⁾。英國倫敦於 1952 年發生的黑霧事件，就是由於倫敦出現嚴重的熱島效應，微弱的風速促使空氣中懸浮微粒和二氧化硫為主的煙霧無法擴散且籠罩倫敦長達五天之久，其污染物在空氣中反應生成的有害物質被人吸入肺部，最後導致 4000 餘人死亡。

都市熱島效應(Urban Heat Island)是現今世界上的許多都會區所面臨的重要現象^(1-3, 9-12)，其為都市市區的溫度明顯高於周圍郊區的一種氣候現象，此效應容易造成都市中心高溫度、低相對溼度、平均風速減低、空氣污濁、能見度惡劣、日照減少、冬季多煙塵等的天氣，甚至工業區下風處會降有害的酸雨。台北地區都市熱島及風場之研究發現，台北市熱島中心氣溫與周圍邊緣地區溫差在上午時刻平均為 3.4°C ，在下午時刻平均 5.5°C ⁽¹³⁾。另外之研究利用移動觀測測得台南最大熱島強度為 4.4°C ，高雄為 3.4°C ，新竹為 3.7°C ⁽¹⁴⁾，而大里測站至夜晚 9 點呈現最大之熱島強度，將近 5.4°C ⁽¹⁵⁾。在國外亦有不少相

關的研究，係利用模式模擬來分析都市氣候的變異，以及都市熱島效應對空品之影響⁽¹⁶⁻¹⁹⁾。都市熱島化的程度會因地面狀況、人口密度、地理位置、氣候區域等的差異而不同，都市熱島強度是多種因素綜合作用的結果⁽²⁰⁾。都市中心與周圍郊區的溫度差距稱為熱島強度，都市熱島強度是以熱島中心減去同時間且同高度(通常是指距地面 1.5 公尺)附近郊區的氣溫差值來表示。Oke⁽²⁾在 1973 年即引用此溫度差來當作熱島強度的一種指標，根據其定義，都市熱島強度(Urban Heat Island Intensity, UHII) 可定義為都市與郊區的溫度差 $\Delta T_{u-r} = T_u - T_r$ ，(其中 T_u 為都市溫度； T_r 為郊區溫度)，溫度差值愈大表示都市熱島強度越嚴重。葉昱輝⁽¹⁵⁾研究結果指出台中地區熱島中心落在大里測站，熱島強度於中午過後開始發展，至夜晚 9 點呈現最大之熱島強度，將近 5.4°C ，直到午夜逐漸下降到清晨 6 點冷卻後降至最低，約在 2.0°C 以下。高能見度與低雲量之穩定晴朗天氣，配合高空持續逆溫現象和夜晚低混合層高度以及低風速的條件下，適合熱島效應的發展，同樣的氣象條件也反應在高臭氧事件日的發生。根據 2004 年 8 月至 12 月統計資料，發現在大里地區臭氧濃度大於 120 ppb 的高臭氧事件約有 14 天，當中夜間最大熱島強度皆大於 4.0°C ，有 10 天達到 5.0°C 以上，風場在熱島發展過程中扮演著重要的角色，熱島中心呈現之輻合的現象，有可能使都市溫度越來越高和將夜間排放之污

染物累積於都市上空，惡化當地空氣品質。吳育魁⁽²¹⁾研究發現海陸風現象以及都市熱島效應皆是造成中部地區空氣品質變差的原因之一，而大里地區為案例期間台灣中部都會區的熱島中心，經由統計分析後發現，近兩年中部地區強熱島現象以及海陸風現象最為明顯的季節是在秋季，而高臭氧事件日同樣是以秋季發生頻率較高，顯示海風環流以及熱島效應會對臭氧濃度的累積造成一定程度的影響。

Lemonsu and Masson⁽¹⁷⁾研究發現當近地面垂直風速達 1 m s^{-1} ，且大氣邊界層厚度足夠的情況下，巴黎都會區會出現輻合現象，當都會區風速達 7 m s^{-1} 時，都市熱島強度反而會隨風速的增加而減少，都市熱島現象也會影響區域環流，所產生的輻合現象會使得海風加速往都市中心移動⁽²²⁾，都市熱島現象在白天會增加海風的強度，而夜間則會減弱陸風強度⁽²³⁾。鄭婉純⁽²⁴⁾研究住商混合用地、工業用地、公共設施用地以及低度開發之綠地等四種土地類別，經由逐步迴歸之分析結果，發現住商混合用地與公共設施用地與都市氣溫呈現正相關，而低度開發之綠地對都市氣溫則呈現負相關。此外，公共設施用地對都市的增溫有最明顯的貢獻性，低度開發之綠地對於都市氣溫則有降溫的效果⁽²⁵⁾。

1.3 多環芳香烴化合物 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons , PAHs)

多環芳香烴化合物(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons , PAHs)普遍存在於大氣環境中，為常見之半揮發性有機化合物，而台灣近年因傳統產業之開發與移動車輛之大幅增量下，排放於大氣中之 PAHs 含量已不容小覷，主要之來源包括汽機車排放之交通移動污染源、工業活動之固定污染源、火力發電與廢棄物燃燒等人為來源，以及農廢燃燒或森林火災等自然來源⁽⁴⁾。

PAHs 於二十世紀初期被鑑定出為瀝青中之致癌物，PAHs 中之部分化合物已證實對人體具有致突變性 (Mutation) 及致癌性 (Carcinogenic) 之潛在危險，美國環境保護署 (U.S. Environmental Protection Agency , USEPA) 與國際癌症研究中心 (International Agency for Research on Cancer , IARC) 已確認 PAHs 含有許多潛在毒性物質，IARC 將十六種 PAHs 列為優先管制污染物之一，其中由焦油所分離出之 Benzo[a]pyrene (BaP) 為證實具有致癌之活性且其毒性也最高⁽²⁶⁻²⁷⁾，而 DBaP、DBaP、DBaP、DBaP 則為新列入致癌分類之化合物，致癌性較高之 PAHs 主要分佈於四環以上，其較常吸附於細懸浮微粒中，其中 BaP 進入人體後會與抑制肺癌腫瘤之基因鍵結，使其無法作用進而導致癌症發生⁽²⁹⁾。此外 NAP 依 USEPA

與 IARC 分類為較低的致癌潛能，但於環境中 Naphthalene (NAP) 佔氣態 PAHs 中相當高的組成比例，因此其對於環境與人體健康可能造成之影響也不容小覷，人類暴露到空氣中 PAHs 會導致生殖系統、心血管系統、抑制免疫系統、肝毒性與罹患癌症等不良影響⁽²⁸⁻³⁰⁾。

PAHs 係指含兩個或兩個以上之苯環構造所鍵結而成之碳氫化合物族群的總稱，其同環之同分異構物結構複雜且種類數量龐大，六環之 PAHs 具有 82 種異構物，七環之 PAHs 具有 333 種異構物，而 2~8 環數之 PAHs 總計有 1896 種之多⁽³¹⁾。PAHs 係由碳氫化合物在不完全燃燒或高溫熱解反應時產生，其分子結構大多具對稱性且偶極矩 (dipole moment) 較小，多為低/非極性物質，因此在低極性或非極性有機溶劑中之溶解度較大，而在水中的溶解度並不佳；25°C 下其飽和蒸氣壓介於 $10^{-2} \sim 10^{-12}$ mmHg 之間，屬於半揮發性有機物 (Semi-volatile organic compounds, SVOCs)，常溫常壓下，PAHs 以氣相 (Gas phase) 與固相顆粒 (Particle phase) 共同存在，蒸氣壓大於 10^{-6} mmHg 且分子量較低之 PAHs 主要以氣相存在 (如 NAP)，而分子量/環數較大之 PAHs 則多以吸附或凝結作用附著於大氣中懸浮微粒表面上，尤其易吸附於粒徑 $< 10 \mu\text{m}$ 之微粒上⁽³²⁾。

PAHs 雖具有 π 電子之共振效應，但親電性不高且不具官能基，所以化合物結構穩定，反應活性低，在環境中一般被認為是穩定性相

當高及反應性不高之污染物，但其環狀結構卻會因吸收輻射能量或受強酸而使其多環結構斷鍵進而形成解離態（Dissociative state）或激態（Excited state），當遇到大氣中如氮氧化物或臭氧等強氧化性污染物時，便會形成毒性較高之氧基多環芳香烴（oxy-PAHs derivatives）以及硝基衍生物（nitro-PAHs derivatives）等衍生性污染物質⁽³³⁻³⁴⁾，而 Behymer⁽³⁵⁾則指出大氣中 15 種吸附於灰燼上之 PAHs 會因陽光照射而產生光分解作用，使得其半衰期約為 40 小時；而 PAHs 也具有生物累積性⁽³⁶⁾以及高生物濃縮係數⁽³⁷⁾，分子量低的 PAHs 具有生物分解性，但分子量較高的 PAHs 卻不易被生物分解，環境檢驗所研究指出 PAHs 一旦吸附在沉積物上以及土壤之有機質中，便不易再與其他物質進行光分解與生物分解等作用⁽³⁸⁾。PAHs 存在於自然界任何地方，分子量高的 PAHs 具有較高的吸附常數，極易吸附於空氣中之顆粒態懸浮微粒，藉由環境氣候因素流佈分散於大氣環境中，亦或因重力作用沉積於土壤或河川底質（sediment）中，且由於 PAHs 極性較低而具有疏水性，極易從水中分配至生物體內、存在於土壤或河川底質的有機質中。文獻研究指出總量 10 % 以下的 PAHs 分佈於大氣中，而近 90 % 以下的 PAHs 吸附於表層約 15 cm 的土壤及河川底質中，至於 PAHs 在土壤或河川底質的分佈情形，則是受到其中所含之有機質含量的影響而有所不同⁽³⁸⁾。

由於 PAHs 化合物眾多，因其分子量高低有不同之熔點及沸點，故 PAHs 於氣態中之組成會有所差異，表 1-1 為本研究中 29 種 PAHs 化合物之化學式、分子量及結構式。本計畫針對 PAHs 組成分析，參照文獻研究資料⁽³⁹⁻⁴²⁾，將表 1-1 中 29 種 PAHs 以分子量高低分成三個部份：NAP 至 3,6-DMP 為低分子量 PAHs（Low molecule weight PAHs，L-PAHs，分子量：128 ~ 206）、FLT 至 CHR 為中分子量 PAHs（Middle molecule weight PAHs，M-PAHs，分子量：202 ~ 228）以及 BbF 至 COR 為高分子量 PAHs（High molecule weight PAHs，H-PAHs，分子量：252 ~ 300）等三部份。

表 1-1 29 種 PAHs 之化學式、分子量及結構式 (1/2)

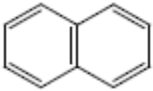
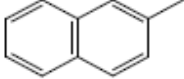
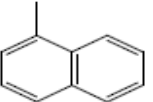
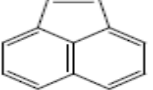
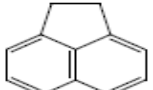
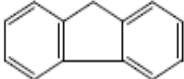
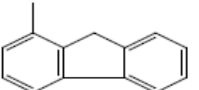
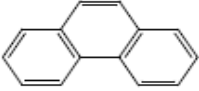
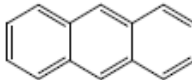
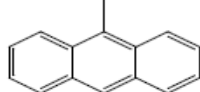
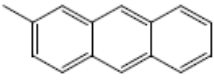
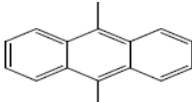
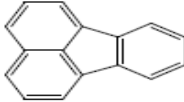
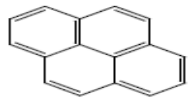
Compound of PAHs	Abbreviation	Formula	Molecular weight	Structure
Naphthalene	NAP	$C_{10}H_8$	128	
2-Methylnaphthalene	2-MeNAP	$C_{11}H_{10}$	142	
1-Methylnaphthalene	1-MeNAP	$C_{11}H_{10}$	142	
Acenaphthylene	ACPy	$C_{12}H_8$	152	
Acenaphthene	ACP	$C_{12}H_{10}$	154	
Fluorene	FLU	$C_{13}H_{10}$	166	
1-Methylfluorene	1-MeFLU	$C_{14}H_{12}$	180	
Phenanthrene	PHE	$C_{14}H_{10}$	178	
Anthracene	ANTHR	$C_{14}H_{10}$	178	
3-Methylphenanthrene (9-Methylanthracene)	3-MePHE	$C_{15}H_{12}$	192	
2-Methylphenanthrene (2-Methylanthracene)	2-MePHE	$C_{15}H_{12}$	192	
3,6-Dimethylphenanthrene (9,10-Dimethylanthracene)	3,6-MePHE	$C_{16}H_{14}$	206	
Fluoranthene	FLT	$C_{16}H_{10}$	202	
Pyrene	PYR	$C_{16}H_{10}$	202	

表 1-1 29 種 PAHs 之化學式、分子量及結構式 (2/2)

Compound of PAHs	Abbreviation	Formula	Molecular weight	Structure
Benzo[<i>c</i>]phenanthrene (Naphthacene)	BcPH	C ₁₈ H ₁₂	228	
Benzo[<i>b</i>]naphtha- (2,1-d)-thiophene	BNT	C ₁₆ H ₁₀ S	234	
Cyclopenta[<i>cd</i>]pyrene	CPP	C ₁₈ H ₁₀	226	
Benzo[<i>a</i>]anthracene	BaA	C ₁₈ H ₁₂	228	
Chrysene	CHR	C ₁₈ H ₁₂	228	
Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	BbF	C ₂₀ H ₁₂	252	
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	BkF	C ₂₀ H ₁₂	252	
Benzo[<i>e</i>]pyrene	BeP	C ₂₀ H ₁₂	252	
Benzo[<i>a</i>]pyrene	BaP	C ₂₀ H ₁₂	252	
Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyrene	IND	C ₂₂ H ₁₂	276	
Dibenz[<i>a,h</i>]anthracene	DBA	C ₂₂ H ₁₄	278	
Benzo[<i>ghi</i>]perylene	BghiP	C ₂₂ H ₁₂	276	
Anthanthrene	ANTHN	C ₂₂ H ₁₂	276	
Dibenzo[<i>a,l</i>]pyrene	DBaLP	C ₂₄ H ₁₄	302	
Coronene	COR	C ₂₄ H ₁₂	300	

1.4 多環芳香烴化合物之來源及其特徵比值

大氣中多環芳香烴之主要來源可分為汽機車排放之交通移動污染源、工業活動之固定污染源、火力發電與廢棄物燃燒等人為來源，以及森林火災與火山爆發等自然來源⁽⁴⁾。依其產生途徑大致可分為石油揮發 (Petrogenic) 及熱裂解 (Pyrogenic)，石油揮發多由煉油廠、儲油槽及交通工具等逸散導致，其組成特徵多以 2~3 環 PAHs 或具有甲基化之 PAHs 為主，而熱裂解等燃燒、冶金等工業活動之排放則以 4 環以上之 PAHs 為主⁽⁴³⁾。

由於不同污染源會產生不同比例之 PAHs 化合物，故部份文獻利用指標性之 PAHs 物種來研判污染物之來源，亦即藉由特徵比值 (Characteristic ratio) 來判別污染物之貢獻來源。Yunker 等人⁽⁴⁴⁾指出 FLT / (FLT+PYR) 之濃度比值為 0.4 - 0.5 時，其污染源為樹木、農廢等低溫生質燃燒；而 Pyyssalo 研究團隊則以 FLT / (FLT+PYR) 之濃度比值為 0.74 時為木材燃燒所排放⁽⁴⁵⁾。然而 PAHs 特徵比值在應用上仍需要引用更具有特性之指標，並針對其在真實環境下所呈現之現象仔細加以研究評估才能較確實判別其貢獻來源，為了避免引用文獻而導致判斷污染物來源有所差異，故本計畫將利用兩種不同之比值以分別判定污染物之來源，將兩者繪製成特徵比值圖並進一步探討不

同地區污染物來源之趨勢，計畫中選擇之特徵比值有兩種，一為 $\text{ANTHR} / (\text{PHE} + \text{ANTHR})$ ，因在熱力學之觀點下，PHE 會比其同分異構物 ANTHR 穩定，故比值 < 0.1 時，污染物貢獻來源為石油揮發，若比值 > 0.1 時，則以燃燒產生之來源為主⁽⁴⁶⁾；而另一種特徵比值為 $(\text{BbF} + \text{BkF}) / \text{BghiP}$ ，BghiP 分子的化學性質相較於 BbF 及 BkF 等分子更加穩定，當比值 > 7 時，污染物之來源貢獻多為工業煙囪排放導致，而比值 < 7 則為煤碳、汽柴油車等混合來源為主[5]，故本計畫也將針對特徵比值來分析判別污染物之貢獻來源。

1.5 多環芳香烴於環境大氣中之分佈

PAHs 在各種基質間之分配情形並非一成不變，其分配特性會受環境條件改變之影響，基於欲瞭解污染物在環境中流佈、對污染物之控制以及評估暴露危害風險等之考量，充份掌握 PAHs 存在於各種大氣環境中之氣-固相分佈 (Gas-particle partition) 情形，成為極為重要之關鍵資訊。由於 PAHs 化合物種類數量龐大，各種化合物其飽和蒸氣壓之分佈範圍較大，其氣/固相之分佈情形易受大氣環境之變化而改變，有待進一步分析探討。Yamasaki⁽⁴⁷⁾最早提出野外實驗以絕對溫度與總懸浮微粒 (TSP) 濃度來表示氣相與固相之分配模式，在東京之採樣過程中，以高流量採樣器配合玻璃纖維濾紙及泡棉採樣 24

小時且為期一年，研究發現將 $\text{Log} [A \cdot (\text{TSP}) / F]$ 對 $1/T$ 作圖可得到良好之線性相關，且一日內溫度變化範圍在 $2.2 \sim 2.5^\circ\text{C}$ 之間時，PAHs 蒸氣壓受到溫度變化之影響可減至最小。Yamasaki 以及 Pankow⁽⁴⁸⁻⁵¹⁾ 等人整合溫度、熱力學、物種蒸氣壓/飽和蒸氣壓等相關參數所推行提出之氣/固分配係數（Gas-particle partitioning coefficient, K_p ）之經驗式如式(1)：

$$K_p = \frac{(F/TSP)}{A} \text{-----} \quad (1)$$

其中 F 為化合物於微粒相之濃度 (ng m^{-3})， TSP 為大氣總懸浮微粒濃度 ($\mu\text{g m}^{-3}$)， A 為化合物於氣相之濃度 (ng m^{-3})，其意義為吸附於氣膠中固相顆粒上之 PAHs 濃度與大氣中氣態 PAHs 濃度之比值；但 PAHs 因其分子量越高，其蒸氣壓越小，因此高分子量之 PAHs 多以固相存在；而 Bidleman⁽⁵²⁾ 提出二環 PAHs 多以氣相存在大氣中，三至四環以氣/固相共存較多，隨環數增加其佔固相之比例也隨之提高。然而，由於常溫常壓下 PAHs 多為固氣共存之型態，且純物質的脫附焓約等於液態化合物之蒸發熱，因此為了避免 PAHs 在常溫下部分揮發導致蒸氣壓被低估，所以大多利用過冷飽和蒸汽壓（Sub-cooled liquid vapor pressure, P_L^o ）代替一般蒸氣壓進行計算，過冷飽和蒸汽壓為液態下所測得之蒸氣壓，可減少固體昇華導致蒸氣

壓減少而產生的影響，以獲得較穩定之參數，Mackay⁽⁵³⁾與 Hinckley 等人⁽⁵⁴⁾分別於 1982 年與 1990 年提出由過冷飽和蒸汽壓模式而得到之經驗式(2)為：

$$\ln\left(\frac{P_L}{P_S}\right) = \frac{\Delta S_f}{RT} \frac{(T_m - T)}{T_m} \cong -6.8\left(\frac{T}{T_m} - 1\right) \text{ ----- (2)}$$

$$\log K_p = m \times \log P_L^o + b \text{ ----- (3)}$$

其中 P_L 為液體蒸氣壓(torr)， P_S 為固體蒸氣壓(torr)， ΔS_f 為熔解焓， T_m 為固體熔點(K)， T 為大氣溫度(K)， R 為氣體常數，-6.8 而為經驗值；Pankow 等人⁽³⁹⁾認為經驗式 (1) 與 (2) 並無法完全代表自然界有機物質分佈情形以及是否達到平衡之現象，因此提出 $\text{Log}K_p - \text{Log}P_L^o$ 模式來判別且可成功觀察到 PAHs 濃度於氣相/固相間是否達到平衡，由大氣分佈機制包含有機物質之間的吸附作用以及納入有機物質之有效濃度 (activity)、有效濃度係數 (activity coefficient)、莫耳分率與重量分率整合推導後得到之經驗式(3)，以 $\text{Log}K_p$ 對 $\text{Log}P_L^o$ 作圖且迴歸便可得到一線性關係，在無人為與儀器採樣誤差下便可判斷 PAHs 或 SVOCs 在氣相與固相之濃度分佈是否達到平衡⁽⁴⁸⁻⁵¹⁾。

當 PAHs 濃度在氣相與固相間之分佈達到平衡時，斜率 (slope, m) 理論值為 -1，即 PAH 分子在固相顆粒表面上達到吸附與脫附之

間的平衡，質傳與擴散等反應速率已非其達到平衡之決定因素，吸附與脫附速率才為其決定條件，且斜率與截距（intercept, b ）會隨化合物本身與氣膠/固態顆粒表面之吸附能力、形成機制不同而改變。文獻指出通常多雨及溫度愈高的地區，低分子量的 PAHs 濃度增加，其迴歸線呈現平緩且迴歸斜率較小之趨勢，而低溫地區其低分子量的 PAHs 濃度會減少，其迴歸斜率較較大且迴歸線呈現陡峭的現象⁽⁵⁵⁾。

此外，SVOCs 容易與吸附於微粒上並以氣固相共存於大氣環境下，當整個程序主要由有機物質吸收所主導時，則以正辛醇-空氣分佈係數（Octanol-air partitioning coefficient, K_{oa} ）來取代過冷飽和蒸汽壓（ P_L^o ）來進行計算，並判斷在氣相與固相之濃度分佈是否達到平衡⁽⁵⁵⁾，即為研究上另一模式 $\text{Log}K_p - \text{Log}K_{oa}$ model，其作圖意義上大致與 $\text{Log}K_p - \text{Log}P_L^o$ 模式相同，其方程式類似經驗式(3)所示，只是將 P_L^o 取代成 K_{oa} 來表示，然而當 PAHs 濃度在氣/固相間分佈達到平衡時，其斜率理論值為 +1⁽⁵³⁻⁵⁵⁾，如經驗式(4)：

$$\log K_p = m \times \log K_{oa} + b \text{ ----- (4)}$$

Wang 等人⁽⁵⁶⁾曾比較吸附模式（Junge-Pankow model），吸收模式（ K_{oa} based model）及煤粒-空氣模式（soot-air model）其顆粒分率之實測值與理論預測值之比值，發現 soot-air model 之理論預測值最接近

實測值，顯示煤粒-空氣模式所包含之吸附及吸收模式可能適合推估 PAHs 在氣/固相間之分配；台灣中部地區有火力發電廠、中龍鋼鐵廠等重大工業，加上進出這些工廠之大量柴油車所排放之元素碳 (EC) 極為可觀，故推測煤粒-空氣模式或為較適合本計畫地區推估 PAHs 在氣/固相間之分佈之最佳模式。由於上述之 $\text{Log}K_p - \text{Log}P_L^\circ$ 以及 $\text{Log}K_p - \text{Log}K_{oa}$ 兩種模式只能判別 PAHs 濃度在氣/固相之間分佈是否達到平衡以及 PAHs 化合物濃度高或低，卻無法明確指出其於氣相或固相中所佔比例多寡，Demircioglu 等人⁽⁵⁷⁾ 研究提出逸散 (fugacity, f) 比值來解釋 PAHs 濃度在氣/固相間之分佈，由此可成功判別其於氣相或固相中所佔比例之高低，判斷 PAHs 之氣固分佈，其公式如下：

$$f_s = \frac{C_s \rho_s}{K_{SA}} \text{-----} \quad (5)$$

$$f_A = C_A \text{-----} \quad (6)$$

C_s 為土中化合物之濃度 (ng g^{-1})， ρ_s 為土壤密度 (g m^{-3})， K_{SA} 為氣固分佈係數， C_A 為大氣中氣態化合物之濃度。當 $f_{\text{Soil}}/f_{\text{Air}}$ 比值 > 1 時為 PAHs 大多存在於土壤中且容易揮發至大氣中；比值 < 1 為其多存在於大氣中且會沉降、吸附至土壤中；而比值等於 1 則為 PAHs 在土壤與大氣間分佈達平衡。

1.6 懸浮微粒 (Particulate matter) 與多環芳香烴

大氣中充滿不同粒徑大小的懸浮微粒 (Particulate matter, PM)，其主要對人體健康影響部位為呼吸系統，不同微粒的粒子對呼吸系統的衝擊危害也不完全相同，10 μm 以上的微粒大都被鼻咽所清除，而10 μm 以下的細微粒則較會沉積於肺部的支氣管區。此外，懸浮微粒微粒對人體健康的影響⁽⁵⁸⁾，可以從許多流行病學的調查看出，研究指出死亡率的增加與微粒的暴露有關，尤其是PM_{2.5}以下的微粒對人體健康的影響最大。Schwartz等人⁽⁵⁹⁾於美國哈佛大學附近六個城市進行採樣工作，利用 dichot 採樣器收集大氣微粒，以EDXRF去做化學物種的分析，研究結果顯示PM_{2.5}很容易進入肺中，因而引起一些肺中疾病及呼吸器官的慢性損害。在許多流行病學的調查中發現，只要空氣中的懸浮微粒濃度增加時，當地居民的總死亡率會隨之增加，而在肺部感染、心血管疾病、心肌梗塞、高血壓及中風的機率等也都會隨著微粒濃度增加而提高。人體呼吸道內是一高濕的環境，微粒粒徑在進入呼吸道後受到高濕特性的影響，會行潮解反應而造成微粒粒徑的成長，其成長可改變微粒在人體呼吸系統中的沉積行為，尤其是次微米以下的微粒經常由吸濕作用導致粒徑增大，進而改變微粒在肺部中沉積的位置。微粒粒徑會影響微粒的質傳反應，一般而言，細粒徑微

粒較粗粒徑微粒具較佳的質傳效率，質傳效率的不同可導致人體呼吸系統內微粒沉積量的差異⁽⁶⁰⁻⁶¹⁾Wilson與Stockburger等人⁽⁶²⁾指出無論是質量濃度、化學成分或是濃度分佈都具有日變化，亦即在探討微粒對健康的影響，需要考慮時間變化以及人類活動時間因素。綜合上述結果，懸浮微粒作用類似載體媒介物質，其對人體各器官之影響非常全面化，而其影響健康之程度也會因環境因素之變化及暴露時間長短而有所不同，是值得研究探討的重要課題。

懸浮微粒其表面會因凡得瓦爾力（Van der Waals' force）進而與其他物質產生吸附作用，導致微粒本身作用類似載體之媒介物質，部份PAHs在大氣中以懸浮微粒為載體，隨著時間增長且微粒吸收水分的因素，小粒徑微粒會隨之增長成大粒徑顆粒⁽⁶³⁾，Offenberg等人⁽⁶⁴⁾研究發現高飽和蒸氣壓或低分子量的PAHs化合物，多分佈於大粒徑的懸浮微粒上，而低飽和蒸氣壓或分子量較高的PAHs化合物則多分佈於細粒徑懸浮微粒上。Venkataraman等人⁽⁶⁵⁾針對加州地區進行大氣中懸浮微粒採樣，發現高分子量/多環數的PAHs多存在於 $<2\mu\text{m}$ 的微粒中(約68%)，而低分子量PAHs則多存在於 $2-10\mu\text{m}$ 的微粒中(約60%)，這些研究指出PAHs濃度分佈因分子量高低而與微粒粒徑大小呈現類似反比的現象，藉由1.5小節敘述之逸散比值關係可得知PAHs在土壤與大氣之間分佈是否達成平衡關係。

1.7 多環芳香烴之危害

PAHs於二十世紀初期被鑑定出為瀝青中之致癌物，PAHs中之部分化合物已證實對人體具有致突變性及致癌性之潛在危險，USEPA與國際癌症研究中心IARC已確認PAHs含有許多潛在毒性物質，IARC將十六種PAHs列為優先管制污染物之一，並根據其突變與致癌性分類四個等級，如表1-2所示。其中由焦油所分離出之Benzo[a]pyrene (BaP)為證實具有致癌之活性且其毒性也最高⁽²⁶⁻²⁷⁾，而BaP之同分異構物DBaP、DBaP、DBaP、DBaP為新列入致癌分類之化合物，致癌性較高之PAHs主要分佈於四環以上，其較常吸附於細懸浮微粒中，當人類暴露此PAHs對皮膚、眼睛具刺激性，也會提升生殖系統、心血管系統、骨髓、抑制免疫系統、肝毒性與癌症等病變⁽²⁸⁾，其中BaP進入人體後會與抑制肺癌腫瘤之基因鍵結，使其無法作用進而導致癌症發生⁽²⁹⁾；此外NAP依USEPA與IARC分類為較低的致癌潛能，但於環境中NAP佔氣態PAHs中相當高的組成比例，因此其對於環境與人體健康可能造成之影響也不容小覷，人類暴露到空氣中PAHs會導致生殖系統、心血管系統、抑制免疫系統、肝毒性與罹患癌症等不良影響。

表 1-2 PAHs 依 IARC 與 USEPA 之致癌性分類

Compound of PAHs	IARC ^a	USEPA ^b	TEF ^c
Naphthalene	2B	C	0.001
Acenaphthylene	—	D	0.001
Acenaphthene	3	—	0.001
Fluorene	3	D	0.001
Phenanthrene	3	D	0.001
Anthracene	3	D	0.01
Fluoranthene	3	D	0.001
Pyrene	3	D	0.001
Benzo[<i>c</i>]phenanthrene	2B	—	—
Cyclopenta[<i>cd</i>]pyrene	2A	—	—
Benz[<i>a</i>]anthracene	2B	B2	0.1
Chrysene	2B	B2	0.01; 0.001 ^d
Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	2B	B2	0.1
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	2B	B2	0.1; 0.01 ^d
Benzo[<i>e</i>]pyrene	3	—	—
Benzo[<i>a</i>]pyrene	1	B2	1.0
Indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyrene	2B	B2	0.1
Dibenz[<i>a,h</i>]anthracene	2A	B2	5.0*; 1.0 ^d
Benzo[<i>ghi</i>]perylene	3	D	0.01
Anthanthrene	3	—	—
Dibenzo[<i>a,l</i>]pyrene	2A	—	—
Dibenzo[<i>a,e</i>]pyrene	3	—	—
Dibenzo[<i>a,i</i>]pyrene	2B	—	—
Dibenzo[<i>a,h</i>]pyrene	2B	—	—
Coronene	3	—	—

^aIARC, —: No data, carcinogenic potential: **1** > **2A** > **2B** > **3**.

^bUSEPA, —: No data, carcinogenic potential: **B2** > **C** > **D**.

^cToxic Equivalency Factor (TEF), —: No data; Nisbet, I.C.T., and LaGoy, P.K., 1992, *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 16: 290–300.

^dTEF suggested by USEPA; *Provisional Guidance for Quantitative Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*, 1993, EPA/600/R-93/089, USEPA.

* For low-level environmental exposures.

1.8 研究動機、目的與方法

本計畫主要探討大台中都會區中熱島效應強的中心地區及熱島效應邊緣地區，探討其 PAHs 化合物在氣/固相間之分配是否達到平衡及其流佈組成為何，於不同之大氣條件（溫度、溼度、風速）之地點進行樣品採集，探討 PAHs 濃度在氣/固相間之分配是否達到平衡，為進一步瞭解其在不同環境與溫度下氣/固相分配之差異，藉由場發射掃描式電子顯微鏡來觀察所收集懸浮微粒表面形態，利用電子束之反射作用產生二次電子形成的 2D 圖像，解析微粒之表面型態結構與元素組成，比較在不同大氣環境下其濃度、組成及特徵比值等之差異，並且計算逸散度來評估 PAHs 在土壤與大氣中之平衡狀態；並探討其與 PAHs 吸附特性之差異。

計畫之主要研究目的如下：

1. 分析台中地區都市熱島效應中心地區(如：大里工業區)以及熱島效應邊緣地區(如：后里地區)其 TSP、落塵及土壤中 PAHs 濃度之基本資料。
2. 比較熱島效應中心以及邊緣地區兩採樣地區之 TSP、落塵及土壤中 PAHs 分佈與組成之差異，探討並瞭解影響其差異之原因。
3. 計算土壤與大氣中 PAHs 之逸散比值，評估熱島效應中心地區以及邊緣地區在不同大氣條件下 PAHs 在土壤與大氣中其逸散平衡之狀態。
4. 以氣固分佈模式推估熱島效應中心地區以及邊緣地區之間 PAHs 之氣固分佈係數，評估兩地區在不同大氣條件下其氣態與固態 PAHs 之濃度分佈達到平衡之狀態。
5. 利用逸散比值探討熱島效應對各地區其 PAHs 之逸散狀況。

第二章 研究方法與分析儀器

本計畫主要探討大台中都會區中熱島效應強的中心地區，其 PAHs 化合物在氣/固相間之分配是否達到平衡以及其流佈組成為何，除探討 PAHs 濃度在氣/固相間之分配是否達到平衡，為進一步瞭解其在不同環境與溫度下氣/固相分配之差異，故藉由場發射掃描式電子顯微鏡 (FESEM) 來觀察所收集懸浮微粒表面形態，利用電子束之反射作用產生二次電子形成的 2D 圖像，解析微粒之表面型態結構與元素組成，探討 PAHs 吸附於微粒表面上的相互關係，提供懸浮微粒與 PAHs 吸附機制之相關佐證。

本研究計畫擬選擇以熱島效應較強的中心地區，以及排放污染源較少之近郊城市作為比對之對象，使用氣相層析質譜儀(GC/MS)來分析 PAHs 於氣態、TSP 懸浮微粒、落塵及土壤中濃度組成，比較其濃度及組成分佈上之差異。利用相關公式計算氣/固分配係數，評估及比較熱島效應強弱之兩地區其氣/固態 PAHs 之分配達到平衡之狀態。另配合元素碳(EC)/有機碳(OC)之分析，探討煤粒-空氣模式適合本地區氣/固態 PAHs 分配係數推估之程度。另分析 PAHs 於大氣及土壤之間的逸散平衡，也以 FESEM 觀察收集的懸浮微粒表面形態，提供佐證懸浮微粒與 PAH 分子之吸附機制。

2.1 採樣地點規劃

本研究選擇在台灣省台中市作為採樣地點，分別是市區的台灣體育大學（TU）、市郊的大里區公所（DL）以及后里內埔國小（HL）等三個地點，分別採集氣態、固態 PAHs、乾沉降、總懸浮微粒（TSP）土壤以及細粒徑（PM_{2.5}）等樣品，採樣規劃地點之地理相關位置如圖 2-1。



圖 2-1 採樣地理位置圖

2.2 採樣規劃

本計畫詳細採樣時間及樣品數量如表 2-1，採樣區間為 104 年 09 月至 105 年 05 月，共進行三次採樣，PM_{2.5}、TSP 及氣態 PAHs 樣品採集分為日間時段早上八點至下午四點，夜間時段則為晚上十點至隔天凌晨六點。第一批次採樣期間為 104 年 09 月 14 日至 17 日，第二批次採樣期間為 105 年 03 月 28 至 31 日，第三批次採樣期間為 105 年 05 月 23 日至 26 日進行採集，各批次皆進行採集為期四天之 PM_{2.5}、TSP、土壤以及氣態 PAHs 樣本。

顆粒態 PAHs 使用高流量採樣器進行採樣，此部份包括 TSP 與 PM_{2.5} 之採樣，氣態 PAHs 則使用低流量採樣器進行採集，而土壤樣品則以收集採樣器四週離地面 10 - 15 cm 以內的土壤為主，落塵則以搭配風向特性之採樣器，將噴過矽膠之膠片固定於落塵採樣器上來收集落塵，每一個採樣點將放置約 6 個乾沉降落塵採集器，以收集足夠分析之落塵樣本；採樣後之石英濾紙與吸附套桶樣品，以鋁箔紙妥善包覆保存於 0 - 4°C，並迅速送回實驗室於 -20°C 冰箱冷藏保存以利日後分析。

表 2-1 採樣時間及樣品數

		第一批次	第二批次	第三批次
		104/9/14 - 104/9/17	105/3/28 - 105/3/31	105/5/23 - 105/5/26
大里區公所 DL	PM _{2.5} *	8	8	8
	TSP*	8	7	8
	氣態 PAHs*	8	7	8
	土壤	3	3	3
	乾沉降	2	2	2
台灣體育大學 TU	PM _{2.5} *	8	8	8
	TSP*	7	8	8
	氣態 PAHs*	7	8	8
	土壤	3	3	3
	乾沉降	2	2	2
后里內埔國小 HL	PM _{2.5} *	8	8	8
	TSP*	8	8	8
	氣態 PAHs*	8	8	8
	土壤	3	3	3
	乾沉降	2	2	2

* 採集樣品分為日間時段：早上八點至下午四點，
夜間時段：晚上十點至隔天凌晨六點

2.3 採樣設備與分析儀器

2.3.1 手動採樣儀器

懸浮微粒之採樣方法係根據環檢所公告 NIEA A102.12A 高流量採樣法來進行，採樣設備為高流量採樣器(Thermo-Andersen/Model IP10 and Mass Flow Controlled System/ModelSA213、Tisch/Model IP10 and Mass Flow Controlled System/G25A SN 1532，Spring House，PA，USA)，搭配高流量衝擊板(Impactor)與分徑採樣器(Cascade

Model1690)，將粗細粒徑分離後再收集 PM_{2.5} 之懸浮微粒；高流量採樣器於採樣前均會使用小孔流量計預先校正流量，其校正之相關係數均需 ≥ 0.995 以上方符合採樣管控，而採樣時放置經處理後之適當過濾紙，於體積流量約為 $1.2 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ 下進行空氣中懸浮微粒之收集，並使用圓盤記錄紙來記錄採樣期間之流量變化以便確認。

氣態 PAHs 樣本採集係利用低流量採樣器（Airpump SPP-25GA, Techno Takasuki）搭配固態微粒濾頭及氣態 PAHs 之吸附裝置，係以約 15 L min^{-1} 搭配一玻璃套筒，其中裝填離子交換樹脂（Amberlite XAD-16, Sigma）及聚氨酯泡棉（Polyurethane foam, PUF）採樣高度距離地面 1 公尺高進行氣態樣品之採集，如圖 2-2 所示。吸附裝置以玻璃套筒、離子交換樹脂及聚氨酯泡棉組合而成，如圖 2-3，需於採樣前先洗淨，前處理方式依序以甲醇(Methyl Alcohol)、二氯甲烷(Dichloromethane, DCM)及正己烷(n-Hexane)進行超音波震盪，自然風乾後將 XAD-16 與 PUF 以夾層之方式組裝，圓筒狀之玻璃套筒內填充 XAD-16 約 4 cm 之高度，其上下端以 PUF 固定，組裝完成後以鋁箔紙包裝以備採樣之用。

大氣中 PM_{2.5} 之樣本採集是以高流量採樣器(Andersen/Model IP10 mass Flow Controlled System and Model SA213) 如圖 2-4 所示；而圖 2-5 為總懸浮微粒(TSP)採樣器(KIMOTO, JIN TEN)，為一高流

量採樣器，可採集粒徑 $100\mu\text{m}$ 以下之總懸浮微粒，搭配石英濾紙 (Tissuquartz 2500QAT-UP, 8×10 inch) 以 1200 L min^{-1} 分別收集 $\text{PM}_{2.5}$ 及 TSP 之懸浮微粒。所使用之濾紙須於採樣前進行淨化，將石英濾紙置於 800°C 高溫爐中進行熱處理 4 小時，以除去空白之有機碳及其他雜質，處理後之濾紙置於一定室溫 ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$) 及相對溼度 ($45\pm 5\%$) 下調理 24 小時以上，取出稱重並記錄重量及濾紙編號。採樣時需填寫樣品標籤，將採樣後之濾紙對摺置於樣品夾鏈袋中，並將樣品標籤貼上及覆蓋鋁箔紙以阻絕光線，放置於 4°C 環境之冰桶中，立即送回實驗室。回實驗室後亦於上述之溫度及相對溼度條件下調理 24 小時再稱後重，由前後重差計算 $\text{PM}_{2.5}$ 及 TSP 之重量。

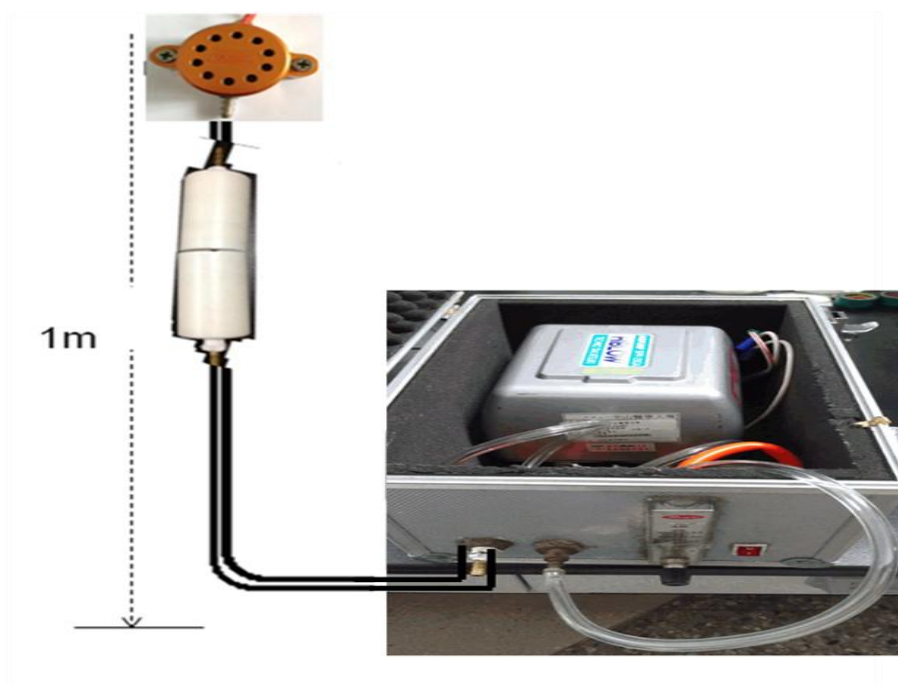


圖 2-2 氣態 PAHs 低流量採樣器設備圖

氣態PAHs吸附套筒

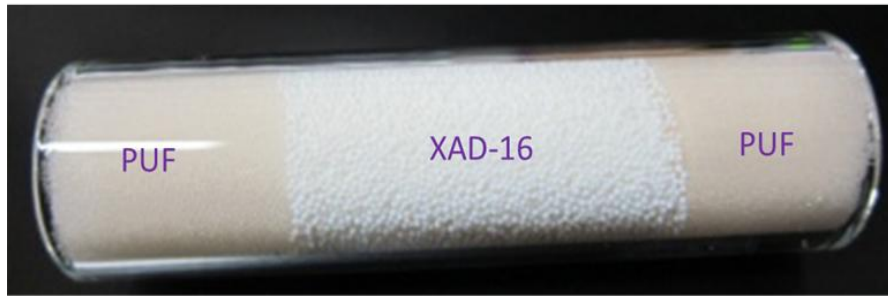


圖 2-3 氣態 PAHs 之吸附套筒裝置圖



圖 2-4 PM_{2.5} 高流量採樣器



圖 2-5 總懸浮微粒採樣器

土壤樣品是以一不鏽鋼鐵鏟，於空氣採樣設備附近環境之土壤，取地表下約 15cm 左右之土壤，並以夾鏈袋盛裝樣品，放置於 4°C 環境之冰桶中，採集後迅速帶回實驗室放置於 -20°C 冰箱中以利日後進行相關分析。

2.3.2 PAHs 前處理與分析

PAHs 之樣本分析程序主要包括萃取、濃縮、活化/淨化、再濃縮及 GC/MS 儀器測定等步驟，以氣態 PAHs 為例，分析方法詳述如下：

(1) 超音波震盪萃取：

將採樣後之吸附套筒樣品置於棕色燒杯內，並加入萃取溶劑至完全淹沒樣品，吸附套筒之萃取溶劑則為 DCM：n-Hexane 體積比相同（v：v =1：1）的混合溶劑 200mL。使用超音波震盪 30 分鐘後，將萃取液倒入至濃縮瓶中，再加入萃取液重複震盪萃取，將第二次所得之萃取液亦倒入濃縮瓶混合之，此外需注意於前處理過程中，應盡量避免外在光線之照射，而降低 PAHs 之衰減或光裂解。

(2) 濃縮：

將超音波震盪二次後之萃取液以真空減壓濃縮法抽除有機溶劑且濃縮至約 2 或 3mL。

(3) 淨化：

將已處理過之 6 g 矽膠填充於淨化管中，先以 30 mL n-Hexane 潤洗活化之，再於矽膠上方填充覆蓋 2 g 無水硫酸鈉，再以 20 mL n-Hexane 潤洗；而淨化管中所填充之矽膠須先置於 105°C 之烘箱內乾燥處理 12 小時，而無水硫酸鈉則先置於 400°C 烘箱內烘乾 24 小時。樣品之淨化係利用正相矽膠法（Silica gel）來進行，以去除樣品中之

水份或塵土顆粒干擾質。淨化管潤洗活化後，將上述之 2-3 mL 濃縮液倒入淨化管中，再使用 50 mL 之 n-Hexane 作為沖提液進行流洗沖提，並以濃縮瓶收集淨化液，再進行下一個再濃縮步驟。

(4) 再濃縮：

以孔徑 0.45 μm 之聚偏二氯乙烯濾紙過濾收集前述淨化後之濾液，並以真空減壓濃縮機抽除大量溶劑後，使用氮氣 (N_2) 吹拂至近乾，最後以 DCM 定量至 250 μL ，裝於密閉之棕色玻璃瓶中，置於冷凍庫中低溫保存待分析。

(5) 儀器測定：

PAHs 樣品分析係使用氣相層析質譜儀 (Gas Chromatography / Mass Spectrometer, GC/MS, VARIAN3900 / SATURN 2100T) 進行分析，層析毛細管柱 (Capillary column) 為 VF-5ht (30 m \times 0.25 mm ID, DF = 0.10 μm)，樣本溶液每次注入體積量為 1 μL ；其升溫程式為：初始溫度 50 $^{\circ}\text{C}$ ，停留 1 分鐘，以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升到 100 $^{\circ}\text{C}$ ，再以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 290 $^{\circ}\text{C}$ ，維持定溫約 15 分鐘，注射器溫度為 300 $^{\circ}\text{C}$ ，離子阱質量分析器 (Ion trap mass analyzer) 溫度為 250 $^{\circ}\text{C}$ ，Transfer line 溫度為 290 $^{\circ}\text{C}$ ，載流氣體為高純度氦氣 (He)，流量為 1.0 mL/min。為避免基質干擾及增加訊雜比 (S/N Ratio)，以 MS/MS 方法進行 PAHs 分析，當化合物由層析管柱被分離出，進入離子阱質量分析器後，首

先會經第一次電子撞擊 (Electron impact) 產生游離化，並由質量分析器篩選出欲分析之離子作為母離子 (Parent ions)，再以適當碰撞誘導解離 (Collision induced dissociation) 能量做第二次電子撞擊，使該母離子進一步碎裂成子離子 (Productions)，最後再由質量分析器進行子離子之質量分析及定量。此方法有效降低了背景雜訊之干擾，也提升特定離子之靈敏度，進而提高 S/N 值，並獲得清晰的 MS/MS 質譜圖。本計畫共分析 29 種 PAHs，除主要 23 種 PAHs 化合物，包括 Naphthalene (NAP)，Acenaphthylene (ACPy)，Acenaphthene (ACP)，Fluorene (FLU)，Phenanthrene (PHE)，Anthracene (ANTHR)，Benzo(c)phenanthrene (BcPH)，Fluoranthene (FLT)，Benzo(b)naph(2,1-d)thiophene (BNT)，Cyclopenta(cd)pyrene (CPP)，Benz(a)anthracene (BaA)，Chrysene (CHR)，Benzo(b)fluoranthene (BbF)，Benzo(k)fluoranthene (BkF)，Pyrene (PYR)，Benzo(e)pyrene (BeP)，Benzo(a)pyrene (BaP)，Indeno(1,2,3-cd)pyrene (IND)，Benzo(ghi)perylene (BghiP)，Anthanthrene (ANTHN)，Dibenz(ah)anthracene (DBA)，Dbenzo(a,l)pyrene (DB(a,l)P) 及 Coronene (COR)；以及 6 種甲基化 PAHs 化合物(Methyl-PAHs)，包括 1-Methylnaphthalene (1-MeNAP)，2-Methylnaphthalene (2-MeNAP)，1-Methylfluorene (1-MeFLU)，2-Methylphenanthrene (2-MePHE)，

3-Methylphenanthrene (3-MePHE) 以及 3,6-Dimethylphenanthrene (3,6-MePHE), 各化合物之母離子及子離子(定量離子)如表 2-2 所示; 此外, 分析過程中加入 PAHs-d 同位素化合物內標準品 Naphthalene-D8 (NaP-D8)、Phenanthrene-D10 (PHEN-D10) 及 Perylene-D12 (PER-D12)等 3 種, 以確保分析過程之數據品質。

2.3.3 場發射掃描式電子顯微鏡 (FE-SEM)

取少量經採樣後之濾紙樣品, 小心撕取且黏置於有碳膠之樣品座上, 利用電子束之反射作用, 產生二維圖像, 以掃描式電子顯微鏡 (Field-emission scanning electron microscope, FE-SEM) 觀察懸浮微粒與石英濾紙外部以及內部結構, 探討與 PAHs 吸附機制之可能性; 並以能量散射光譜儀 (Energy Dispersive Spectrometer, EDS) 進行元素分析, 以推論微粒組成元素為何。

2.3.4 含碳物質 (Total organic carbon, TOC)

採集後之氣膠其濾紙則先於 35±5% 相對溼度下調理 24 小時, 分析時均勻稱取兩份適當質量(約 30 mg)之樣品, 一份直接使用總有機碳分析儀(SSM-5000A/TOC-5000, Shimadzu), 藉由通入純氧與其進行氧化反應產生 CO₂, 以非分散射紅外線光分析法(Non-dispersive infrared analysis method, NDIR)於 4.26 μm 波長處來偵測 CO₂, 再反

推得到總碳的質量，並使用葡萄糖溶液來配製檢量線，用內插法進而求得樣品中之總含碳量，此一部份即為總有機碳量(Total organic carbon, TOC)；而另一份則先置於氣密式高溫爐(Model CWF1200, Carbolite)中，以 0.5 L min^{-1} 流速通入 O_2 ，並於 440°C 條件下分解有機碳 1 小時，待冷卻至室溫後，將樣品取出置於總有機碳分析儀中分析 CO_2 ，所得之值即為元素碳 (EC)。最後再將 TOC 含量扣除 EC 含量，即為有機碳 (OC) 之含量，進而將其轉換成大氣中的 TOC/EC/OC 濃度。而土壤樣本需先置於室溫下乾燥，將其過篩收集粒徑為 $100 \mu\text{m}$ 以下的樣品，再進行 OC 之相關分析。

2.4 品保品管

為確保計畫之數據能維持在一定的品質範圍之內，首先需確定本計畫之品保目標，其內容包括精密度、準確度、完整性、比較性及代表性等項目，以下分別就這些項目簡單說明其意義及本計畫所擬採行之方式。精密度係重覆分析同一樣品之再現性，可利用二重覆分析值的相對誤差來表示。準確度係指分析值與真值(True value)之重疊性，準確度之品保可以分析之回收率、標準品查核分析及樣品添加分析來確認，本計畫之準確度在考慮分析污染物之特性僅以回收率來表示。完整性係指本實驗所欲達到之整體目標，其定義如下：

$C(\%) = V / T \times 100\%$ ，C為完整性、V為實際完成之有效樣品數、T為預期完成之樣品數，本計畫之品管要求項目及品保管制範圍整理如表2-2。

表2-2 PAHs分析之品管要求項目、頻率及管制範圍

品管要求項目	頻率	管制範圍
檢量線製作	每批次均重新製作	相關係數 ≥ 0.990
檢量線查核	每批次	80-120%
空白分析	每批次或每 15 個樣品	\leq 方法偵測極限之三倍
重覆分析	每批次或每 15 個樣品	$\leq 20\%$
標準溶液萃取回收率	每批次	75-125%*
方法偵測極限	每年一次	—

*：NAP 和3,6-DMP 除外，因其易揮發與易受干擾而導致回收率偏低

2.4.1 儀器與方法之偵測極限

表 2-3 為質譜掃描 29 種 PAHs 之母離子及定量離子，實驗分析上之偵測極限通常分為儀器偵測極限(Instrument detection limit, IDL)與方法偵測極限兩種；IDL 為儀器本身對待測物之偵測極限，假若濃度低於 IDL，則儀器讀值顯示為零，以 ND 表示，而方法偵測極限(MDL)則為包含待測物樣品之基質中，可偵測到待測物且訊號值大於零，其方法為建立 IDL 後，將包含待測物之樣品混合均於且分七份，以 GC/MS 分析後，計算其標準差(standard deviation, SD)，將 SD 乘上 3 倍後，即可得到 MDL，而表 2-4 為本次分析之 MDL。

表 2-3 質譜掃描 29 種 PAHs 之母離子及定量離子

Compounds of PAHs	Molecular Weight	Parent ions	Quan. ions
NAP	128	128	102
2-MeNAP	142	141	115
1-MeNAP	142	141	115
ACPy	152	152	150
ACP	154	153	151
FLU	166	165	163
1-MeFLU	180	180	165
PHE	178	178	176
ANTHR	178	178	176
3-MePHE	192	192	189
2-MePHE	192	192	189
3,6-MePHE	206	206	191
FLT	202	202	200
PYR	202	202	200
BcPH	228	228	226
BNT	234	234	232
CPP	226	226	224
BaA	228	228	226
CHR	228	228	226
BbF	252	252	250
BkF	252	252	250
BeP	252	252	250
BaP	252	252	250
IND	276	276	274
DBA	278	276	274
BghiP	276	276	274
ANTHN	276	276	274
DBaP	302	300	298
COR	300	300	298

表 2-4 PAHs 之方法偵測極限

Compound of 29 PAHs	mg L ⁻¹	ng m ⁻³
NAP	0.017	0.002
2-MeNAP	0.018	0.004
1-MeNAP	0.015	0.003
ACPy	0.002	0.001
ACP	0.009	0.002
FLU	0.007	0.003
1-MeFLU	0.016	0.006
PHE	0.010	0.006
ANTHR	0.006	0.004
3-MePHE	0.005	0.003
2-MePHE	0.004	0.003
3,6-DMP	0.002	0.004
FLT	0.003	0.002
PYR	0.013	0.006
BNT	0.011	0.005
BcPH	0.002	0.001
CPP	0.002	0.002
BaA	0.008	0.003
CHR	0.002	0.002
BbF	0.014	0.006
BkF	0.007	0.004
BeP	0.010	0.003
BaP	0.004	0.002
IND	0.003	0.001
DBA	0.011	0.005
BghiP	0.009	0.003
ANTHN	0.011	0.002
DBaP	0.006	0.004
COR	0.008	0.004

第三章 結果與討論

3.1 採樣期間風速、溫度及濕度之變化

本計畫主要針對熱島效應強弱對於 PM_{2.5}、TSP 和氣態 PAHs 日間與夜間濃度變化進行採樣分析，分別於 104 年 09 月底至 105 年 05 月底，期間共進行 3 個批次之採樣，日間與夜間採樣時間配合每天溫度較高與較低之時段，搭配風速、溫度及濕度變化，以便區隔不同熱島強度之樣品。蒲福氏風級（Beaufort wind scale）是於 1805 年根據風對地面物體或海面的影響程度而定出的風力等級，按強弱將風力劃為 0~12 級，即目前世界氣象組織所建議的分級；三個地區之三批次採樣日間與夜間平均溫度、濕度變化及風速風向資料如表 3-1 至表 3-3 所示。

三批次採樣期間台灣體育大學（TU）及大里區公所（DL）之平均日間與夜間溫度皆高於后里內埔國小（HL），然而 HL 地區的平均濕度較高於 TU 及 DL 地區；三個採樣地區其日間時段皆具有較高之平均風速值，風向多為西北西或西北風，顯示日間時段風向以海風為主，但夜間時段其平均風速值相對較低且多為無風（風速小於 0.083 m/s，為風速風向計之最小啟動風速）或靜風之狀態，然就整體

而言其風速皆未超過 3.0 m/s，顯示各地點於採樣日夜間風速多為靜風與微風之狀態。

都市熱島強度 (Urban Heat Island Intensity, UHI) 是以熱島中心減去同時間且同高度附近郊區的氣溫差值來表示，其溫度差距稱為熱島強度⁽²⁾，都市與郊區的溫度差 $\Delta T_{u-r} = T_u - T_r$ (其中 T_u 為都市溫度； T_r 為郊區溫度)，溫度差值愈大表示都市熱島強度越嚴重。本計畫另選擇較少人為熱源 (冷氣機、空調、工廠及機動車輛等的排放等) 以及較多綠化、低度開發之綠地地區氣象資料作為參考地區，選擇參考地區為南投埔里地區，其溫度、濕度與風速風向資料取自環保署空氣品質監測網。由各批次之溫度變化可計算出第一批次的日間 $\Delta T_{DL-HL} = 1.4^\circ\text{C}$ ，熱島中心為 DL，夜間 $\Delta T_{TU-HL} = 1.6^\circ\text{C}$ ，熱島中心為 TU；第二批次的日間 $\Delta T_{TU-HL} = 6.0^\circ\text{C}$ ，熱島中心為 TU，夜間 $\Delta T_{TU-HL} = 4.7^\circ\text{C}$ ，熱島中心為 TU；第一批次的日間 $\Delta T_{DL-HL} = 1.1^\circ\text{C}$ ，熱島中心為 DL，夜間 $\Delta T_{TU-HL} = 1.2^\circ\text{C}$ ，熱島中心為 TU，另使用統計方法之成對樣本 t-test，採樣期間 DL 地區平均溫度相對於 HL 地區具有顯著差異 ($p < 0.05$)，顯示 DL 地區溫度差異較為明顯，故推論 DL 地區為熱島中心。

表 3-1 第一批次採樣期間各地區日夜間溫溼度風速風向資料

日期	氣象 條件	大里區公所 (DL)		台灣體育大學 (TU)		后里內埔國小 (HL)		埔里	
		日間	夜間	日間	夜間	日間	夜間	日間	夜間
2015 年 9 月 14 日 至 9 月 17 日	平均溫度 (°C)	33.1±1.3	26.4±0.9	32.4±1.4	26.5±0.8	31.7±1.7	24.8±1.1	30.1±1.6	23.9±0.8
	濕度 (%)	45.7±5.5	76.1±4.3	50.7±7.2	75.9±4.9	53.4±8.3	77.2±6.1	57.5±6.3	81.1±1.3
	風速 (m/s)	1.10±0.97	< 0.083	0.70±0.68	< 0.083	0.14±0.8	< 0.083	2.87±0.94	0.85±0.2
	風向	北北西	靜風	北北西	靜風	西北	靜風	西	西

表3-2 第二批次採樣期間各地區日夜間溫溼度風速風向資料

日期	氣象條件	大里區公所 (DL)		台灣體育大學 (TU)		后里內埔國小 (HL)		埔里	
		日間	夜間	日間	夜間	日間	夜間	日間	夜間
2016年 3月28日 至 3月31日	平均溫度 (°C)	24.3±1.8	19.6±2.5	27.9±1.9	21.0±1.9	21.9±1.8	16.3±2.3	21.9±1.8	16.1±3.6
	濕度 (%)	45.7±14.7	72.2±5.0	50.7±7.8	82.7±5.3	55.8±9.9	76.8±6.6	48.9±14.0	81.5±3.8
	風速 (m/s)	2.11±0.55	0.91±0.47	0.42±0.57	< 0.083	1.38±0.65	< 0.083	2.64±0.97	0.74±0.21
	風向	西北西	西	西北西	靜風	西北	靜風	西北西	西

表3-3 第三批次採樣期間各地區日夜間溫溼度風速風向資料

日期	氣象條件	大里區公所 (DL)		台灣體育大學 (TU)		后里內埔國小 (HL)		埔里	
		日間	夜間	日間	夜間	日間	夜間	日間	夜間
2016年 5月14日 至 5月17日	平均溫度 (°C)	31.4±2.0	26.6±0.7	30.9±2.2	26.7±0.7	30.3±2.0	25.5±0.7	27.8±1.7	24.0±0.8
	濕度 (%)	59.3±11.3	84.6±4.4	62.9±11.5	84.6±3.7	65.±9.6	88.6±5.7	75.1±6.8	88.8±3.0
	風速 (m/s)	1.13±1.01	< 0.083 ^b	0.52±0.49	< 0.083 ^b	0.15±0.31	< 0.083 ^b	2.54±0.97	0.94±0.32
	風向	南南西	靜風	北北東	靜風	北北西	靜風	西北西	南南東

3.2 採樣期間 PM_{2.5} 懸浮微粒濃度變化

採樣期間各個地區三批次採樣之 PM_{2.5} 平均質量濃度如表 3-4 與圖 3-1 所示。第一批次日間與夜間的 PM_{2.5} 平均質量濃度以熱島效應強的 DL 地區較高，第二批次日間與夜間的 PM_{2.5} 平均質量濃度以熱島效應邊緣地區的 HL 地區較高，推論採樣期間其日間與夜間溫度和濕度變化較大以及混合層高度差異較大造成之結果，第三批次採樣期間為梅雨季後，雨水可能稀釋 PM_{2.5} 濃度，以及些微西南氣流影響 PM_{2.5} 濃度擴散累積，以致 HL 地區具有較高的 PM_{2.5} 平均質量濃度值，顯示熱島效應對於 PM_{2.5} 質量濃度似乎影響較不明顯。整體而言，日間的 PM_{2.5} 平均質量濃度最高值為熱島效應邊緣地區的 HL 地區於第三批次採樣分析值(53.2 μg/m³)，夜間最高值為熱島效應邊緣地區的 HL 地區於第三批次採樣分析值(58.0 μg/m³)。

表 3-4 各地區三批次採樣之 PM_{2.5} 平均質量濃度(μg/m³)

	大里區公所 (DL)		台灣體育大學 (TU)		后里內埔國小 (HL)	
	日間	夜間	日間	夜間	日間	夜間
第一批次	39.9 ± 6.23	39.6 ± 5.61	34.7 ± 7.14	31.3 ± 6.56	33.1 ± 6.39	23.2 ± 9.47
第二批次	44.9 ± 13.6	52.6 ± 16.8	30.3 ± 7.90	38.4 ± 14.2	53.2 ± 11.6	58.0 ± 12.8
第三批次	29.0 ± 10.4	28.9 ± 9.50	29.5 ± 11.9	30.5 ± 14.0	38.8 ± 14.4	28.6 ± 7.56

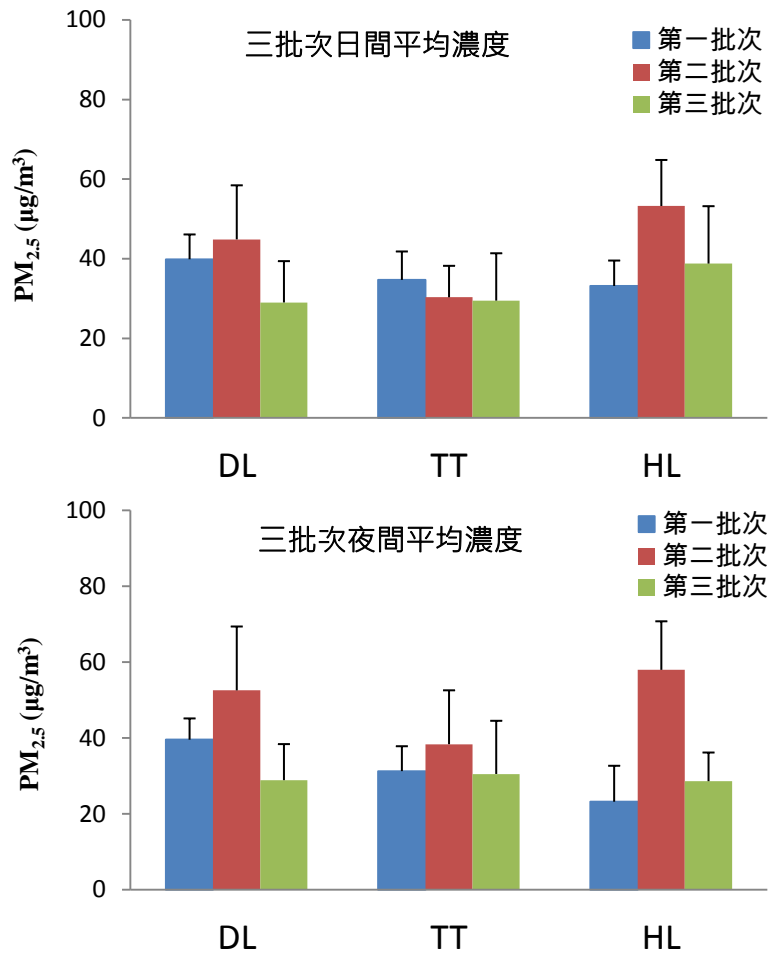


圖 3-1 三批次採樣三地區 PM_{2.5} 日間與夜間平均濃度比較圖

3.3 採樣期間總懸浮微粒 (TSP) 與其 PAHs 之濃度變化

採樣期間三地區三個批次採樣之總懸浮微粒 (Total Suspended Particulate, TSP) 平均質量濃度如表 3-5 所示。第一批次熱島效應強的 DL 地區和熱島效應邊緣效應的 HL 地區之日間與夜間之 TSP 平均質量濃度差異不明顯，TU 地區的 TSP 平均質量濃度為最低值，而夜間風速多為靜風狀態，故其 TSP 質量濃度明顯下降；第二批次三個地區日間與夜間之 TSP 平均質量濃度均明顯增加，推論係第二次採

樣期間其日間溫度濕度變化較大以及風速造成明顯之差異。第三批次採樣期間 TSP 濃度趨勢與 PM_{2.5} 類似，TSP 微粒濃度被稀釋及西南氣流影響濃度擴散累積，導致 HL 地區較另外兩個地區具有較高的 TSP 平均質量濃度值，同時說明熱島效應對於 TSP 質量濃度影響較不明顯。整體而言，日間的 TSP 平均質量濃度最高值為熱島效應邊緣地區的 HL 地區於第三批次採樣分析值(98.1 µg/m³)，夜間最高值為熱島效應中心的 DL 地區於第一批次採樣分析值(107.5 µg/m³)。

表 3-5 各地區三批次採樣之 TSP 平均質量濃度(µg/m³)

	大里區公所 (DL)		台灣體育大學 (TU)		后里內埔國小 (HL)	
	日間	夜間	日間	夜間	日間	夜間
第一批次	76.6 ± 14.2	63.9 ± 6.40	49.2 ± 13.8	48.1 ± 11.7	84.1 ± 11.7	45.5 ± 11.1
第二批次	94.7 ± 29.1	107.5 ± 25.6	75.2 ± 16.4	84.4 ± 38.2	98.1 ± 7.17	81.0 ± 19.0
第三批次	32.1 ± 16.5	37.6 ± 16.1	45.5 ± 24.1	49.1 ± 33.0	76.7 ± 11.5	62.1 ± 11.9

採樣期間各地區 TSP 中 PAHs 之日間與夜間平均濃度比較如圖 3-2，可發現第二批次採樣期間空品不佳的因素，導致各個地區日間夜間濃度均明顯較其他批次為高。TSP 為懸浮微粒為 100 µm 以下之微粒總和，其微粒重量較重，低風速可能無法使之移動長距離，導致 TSP 平均濃度無隨著季節風向增加或減少的趨勢。各批次採樣多呈現

日間 TSP 平均濃度高於夜間的現象，顯示白天因人為活動的影響會導致 TSP 濃度較夜間來得高。

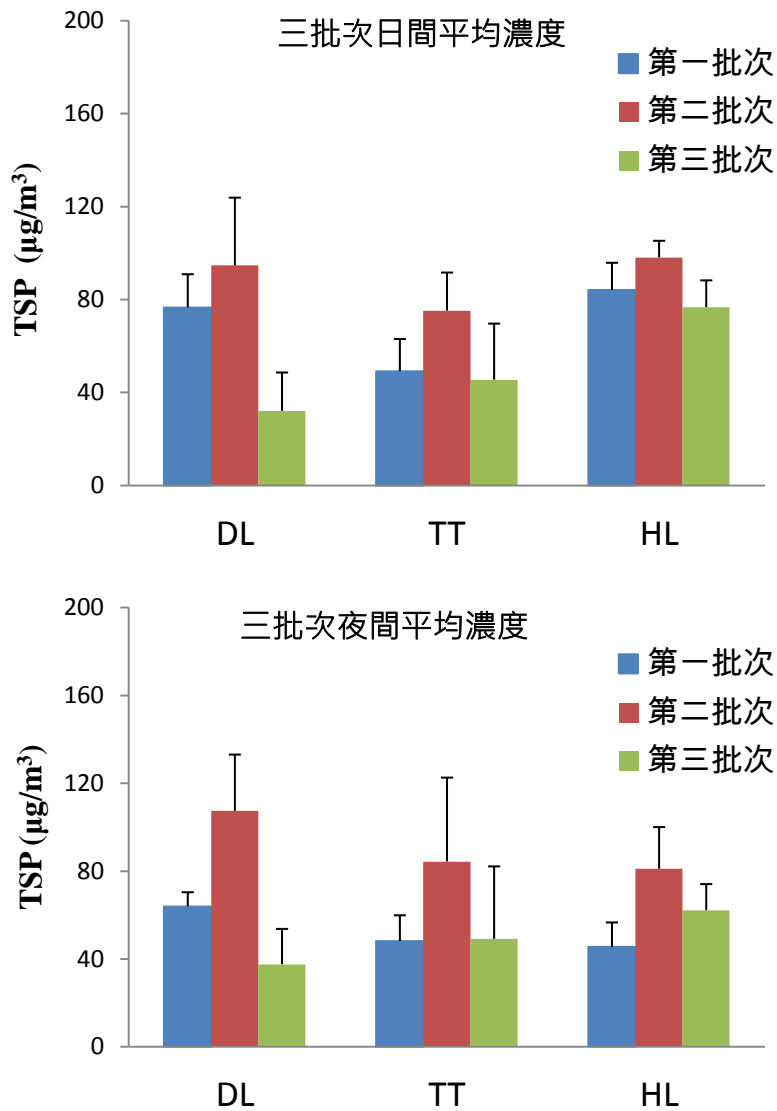


圖 3-2 三批次採樣三地區 TSP 日間與夜間平均濃度比較圖

採樣期間三地區 TSP 中 PAHs 之日間與夜間平均濃度比較如圖 3-3，發現三批次採樣期間 TSP 中 PAHs 之日間與夜間平均濃度是 DL 地區與 TU 地區高於 HL 地區之現象，夜間 PAHs 平均濃度多高於日

間 PAHs 平均濃度，顯示熱島效應強的 DL 地區較易受到溫度濕度變化影響，導致 PAHs 在日間除白天人為活動的影響之外，高溫下多以氣態存在，夜間受到溫度下降與飽和蒸氣壓下降而吸附於 TSP 微粒上，導致 PAHs 化合物自氣相轉換至固相 TSP 微粒顆粒上所致；反之，熱島效應邊緣效應的 HL 地區之 PAHs 濃度受到溫度變化影響較不明顯。

採樣期間三地區 TSP 中 29 種 PAHs 之各批次日間與夜間平均濃度如表 3-6 與表 3-7 所示，TSP 中日間工業性 PAHs 濃度於 T-PAHs 之比值 (Ind-PAHs/T-PAHs) 呈現日間高於夜間之現象，推論 DL 地區受到鄰近工業區影響，而 HL 地區受到鄰近鋼鐵業影響較大，此外 HL 地區三批次日間 Ind-PAHs 皆為最大濃度值，顯示其受到工業影響鄰近工業區影響較高。

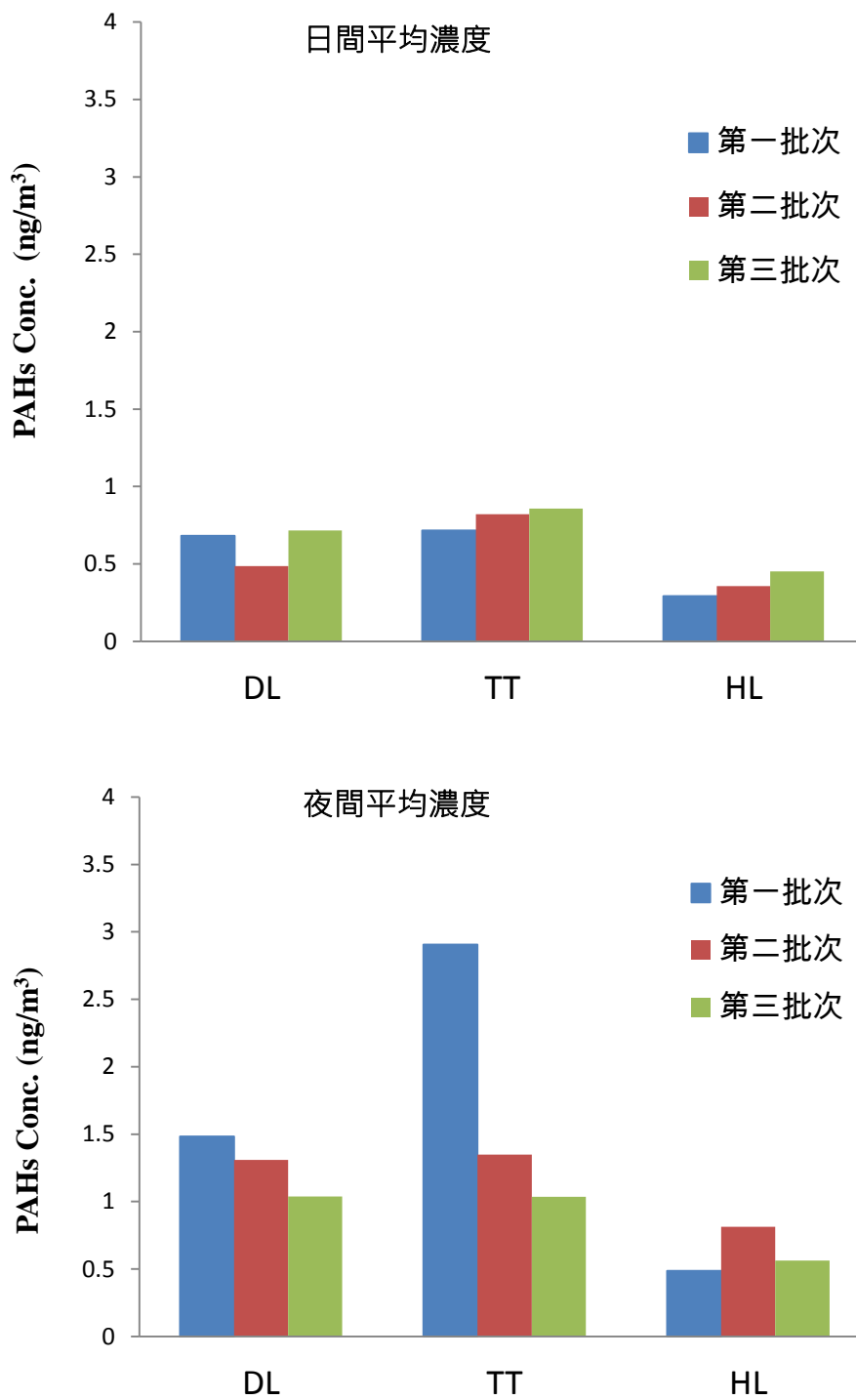


圖 3-3 三批次採樣三地區 TSP 中 PAHs 之日間與夜間平均濃度比較圖

表 3-6 三批次採樣三地區日間 TSP 中 PAHs 平均濃度(ng/m^3)

29 PAHs	第一批次			第二批次			第三批次		
	DL	TU	HL	DL	TU	HL	DL	TU	HL
NAP	0.018	0.011	0.015	0.017	0.014	0.025	0.012	0.011	0.017
2-MeNAP	0.018	0.014	0.016	0.024	0.020	0.025	0.015	0.017	0.042
1-MeNAP	0.011	0.007	0.008	0.010	0.005	0.013	0.007	0.007	ND
ACPy	0.002	ND	ND	0.002	ND	ND	ND	ND	ND
ACP	0.005	0.002	0.003	ND	ND	ND	0.002	0.005	0.004
FLU	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1-MeFLU	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PHE	0.025	0.017	0.027	0.010	0.012	0.016	0.012	0.015	0.036
ANTHR	0.002	ND	0.006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3-MePHE	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	0.002	0.004	ND
2-MePHE	0.060	0.047	0.057	0.004	0.006	0.004	0.020	0.024	0.068
3,6-DMP	0.004	0.004	0.008	ND	ND	ND	ND	ND	ND
FLT	0.070	0.046	0.071	0.025	0.029	0.048	0.020	0.023	0.021
PYR	0.079	0.045	0.066	0.020	0.023	0.035	0.018	0.021	0.019
BNT	0.004	0.002	0.002	ND	ND	ND	0.001	0.001	ND
BcPH	0.002	0.002	0.003	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CPP	0.020	0.015	0.020	0.007	0.009	0.006	0.005	0.007	0.003
BaA	0.018	0.014	0.020	0.014	0.016	0.022	0.011	0.011	0.013
CHR	0.009	0.004	0.009	0.002	0.004	0.002	0.017	0.020	0.021
BbF	0.042	0.029	0.045	0.099	0.116	0.136	0.019	0.022	0.024
BkF	0.064	0.050	0.070	0.022	0.024	0.030	0.025	0.037	0.052
BeP	0.033	0.025	0.042	0.030	0.036	0.038	0.015	0.017	0.020
BaP	0.055	0.039	0.059	0.028	0.032	0.043	0.028	0.034	0.048
IND	0.041	0.032	0.050	0.135	0.160	0.162	0.020	0.023	0.021
DBA	0.006	0.007	0.011	0.031	0.024	0.031	0.002	0.004	ND
BghiP	0.051	0.041	0.057	0.115	0.132	0.154	0.025	0.033	0.043
ANTHN	0.007	0.004	0.013	0.025	0.032	0.031	0.002	0.003	ND
DB(a,l)P	0.010	0.006	0.013	0.007	0.017	0.012	0.002	0.000	ND
COR	0.026	0.021	0.027	0.089	0.109	0.024	0.012	0.018	ND
T-PAHs	0.682	0.486	0.717	0.715	0.821	0.857	0.292	0.358	0.452
Ind-PAHs	0.103	0.065	0.107	0.038	0.041	0.065	0.033	0.042	0.061
Ind/T-PAHs	0.151	0.135	0.149	0.053	0.050	0.075	0.114	0.118	0.136

表 3-7 三批次採樣三地區夜間 TSP 中 PAHs 平均濃度(ng/m^3)

29 PAHs	第一批次			第二批次			第三批次		
	DL	TU	HL	DL	TU	HL	DL	TU	HL
NAP	0.017	0.012	0.019	0.014	0.012	0.008	0.009	0.018	0.012
2-MeNAP	0.019	0.013	0.015	0.019	0.019	0.013	0.013	0.016	0.014
1-MeNAP	0.009	0.003	0.009	0.006	0.008	0.004	0.006	0.010	0.008
ACPy	0.002	ND	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ACP	0.003	ND	0.003	ND	ND	ND	0.004	ND	0.002
FLU	ND	ND	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1-MeFLU	0.003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.002
PHE	0.030	0.021	0.019	0.014	0.012	0.009	0.011	0.016	0.013
ANTHR	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.002	ND
3-MePHE	0.001	ND	0.001	ND	0.001	ND	ND	ND	ND
2-MePHE	0.053	0.056	0.049	0.005	0.005	0.003	0.016	0.018	0.020
3,6-DMP	0.008	ND	0.006	0.002	ND	ND	ND	ND	ND
FLT	0.080	0.073	0.071	0.029	0.026	0.024	0.015	0.032	0.023
PYR	0.105	0.083	0.077	0.023	0.020	0.019	0.014	0.028	0.021
BNT	0.002	ND	0.001	ND	ND	ND	ND	0.002	ND
BcPH	0.003	0.003	0.003	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CPP	0.034	0.072	0.056	0.012	0.009	0.007	0.007	0.013	0.012
BaA	0.024	0.045	0.027	0.019	0.016	0.013	0.011	0.019	0.014
CHR	0.010	0.013	0.010	0.005	0.003	0.001	0.015	0.025	0.020
BbF	0.114	0.087	0.070	0.275	0.165	0.173	0.026	0.045	0.037
BkF	0.174	0.153	0.107	0.050	0.032	0.032	0.045	0.054	0.055
BeP	0.129	0.092	0.072	0.112	0.067	0.060	0.023	0.037	0.029
BaP	0.133	0.135	0.105	0.083	0.044	0.036	0.038	0.058	0.047
IND	0.156	0.131	0.091	0.778	0.311	0.224	0.040	0.068	0.053
DBA	0.028	0.020	0.015	0.058	0.032	0.034	0.007	0.013	0.009
BghiP	0.207	0.166	0.115	0.435	0.220	0.142	0.048	0.093	0.062
ANTHN	0.029	0.041	0.028	0.088	0.036	0.029	0.110	0.180	0.072
DB(a,l)P	0.030	0.026	0.022	0.092	0.023	0.102	0.005	0.012	0.008
COR	0.080	0.064	0.044	0.786	0.285	0.100	0.023	0.056	0.032
T-PAHs	1.483	1.308	1.037	2.905	1.350	1.035	0.487	0.814	0.562
Ind-PAHs	0.116	0.093	0.094	0.042	0.039	0.033	0.030	0.049	0.038
Ind/T-PAHs	0.078	0.071	0.091	0.015	0.029	0.032	0.061	0.061	0.068

3.4 採樣期間氣態 PAHs 之濃度變化

圖 3-4 為採樣期間其日間與夜間氣態 PAHs 平均濃度分佈圖，可看出氣態 PAHs 日間平均濃度與夜間平均濃度較無特定規則，第一批次氣態 PAHs 夜間平均濃度高於日間平均濃度，第二與第三批次 TU 與 HL 地區多呈現日間氣態 PAHs 平均濃度多高於夜間的結果，DL 地區為熱島效應較強的地區，推論氣態 PAHs 更易受到溫度濕度與風速大小的影響。此外圖中氣態 PAHs 日間夜間平均濃度總和以熱島中心 DL 地區最高，低熱島效應的邊緣地區 HL 地區其日間夜間平均濃度總和最低，顯示熱島效應較低的地區其氣態 PAHs 較不受溫度變化影響。採樣期間的 29 種 PAHs 日間夜間分析結果如表 3-8 及表 3-9 所示，氣態 PAHs 主要組成以 NAP、2-Me-NAP 與 1-Me-NAP 為主（95% 以上），分子量較大的 PAHs 化合物較不易被分析得到，說明氣態 PAHs 組成以低分子量的 PAHs 化合物為大宗，高分子量的 PAHs 不易形成氣態存在大氣中，導致不易達到氣固平衡現象。TSP 懸浮微粒表面吸附少量 PAHs 後受重力影響沉降至接近地表被採集，而氣態 PAHs 多存在高空環境中，熱島效應強使得溫度變化明顯時，部份低分子量與中分子量的氣態 PAHs 飽和蒸汽壓相對較低，可能於夜間溫度較低溫時而大量析出導致夜間濃度相較日間濃度為高，於後進行平衡分析討論。

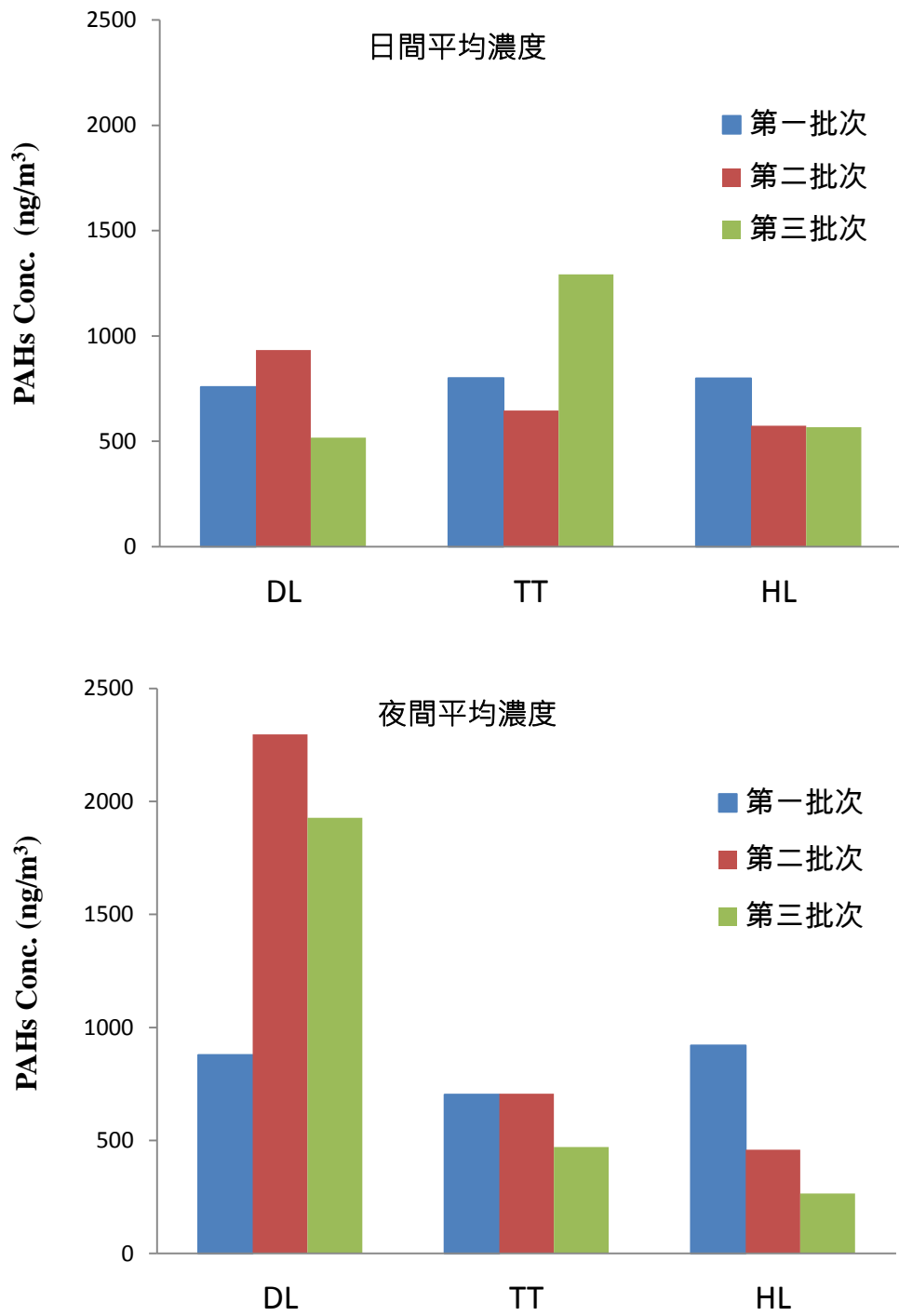


圖 3-4 三批次採樣三地區氣態 PAHs 之日間與夜間平均濃度比較圖

表 3-8 三批次採樣三地區日間氣態 PAHs 平均濃度(ng/m^3)

29 PAHs	第一批次			第二批次			第三批次		
	DL	TU	HL	DL	TU	HL	DL	TU	HL
NAP	642.9	806.7	477.1	677.0	571.3	1235	699.6	520.5	541.0
2-MeNAP	64.01	69.92	16.75	65.03	42.75	28.61	54.26	30.68	12.75
1-MeNAP	36.43	38.70	9.125	38.92	21.54	10.07	30.40	15.00	8.152
ACPy	0.313	0.363	0.284	4.618	3.372	5.814	1.547	1.948	1.321
ACP	4.600	6.532	4.218	5.938	3.160	5.090	2.949	2.354	1.752
FLU	2.613	3.263	2.306	2.182	0.885	1.859	1.201	0.899	0.714
1-MeFLU	0.498	0.438	0.365	0.487	0.330	0.421	0.544	0.201	0.179
PHE	2.128	2.326	2.704	2.670	1.548	1.919	1.778	0.872	0.729
ANTHR	0.238	0.293	0.305	0.979	0.138	0.224	0.344	0.054	0.046
3-MePHE	0.357	0.434	0.324	0.357	0.199	0.290	0.357	0.128	0.037
2-MePHE	0.872	0.934	0.851	0.579	0.323	0.366	0.647	0.255	0.197
3,6-DMP	0.196	0.205	0.159	0.055	ND	ND	ND	ND	ND
FLT	0.914	1.028	1.183	0.541	0.347	0.498	0.472	0.244	0.052
PYR	0.998	1.318	1.078	0.619	0.396	0.959	0.377	0.507	0.103
BNT	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.025	ND	ND
BcPH	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CPP	ND	0.066	ND	ND	0.018	0.067	0.025	0.028	ND
BaA	ND	ND	ND	0.050	ND	0.029	0.032	ND	ND
CHR	ND	ND	ND	0.160	0.072	0.106	0.117	ND	ND
BbF	ND	ND	ND	0.031	0.021	0.030	ND	ND	ND
BkF	ND	ND	ND	0.153	0.067	0.243	0.030	0.030	ND
BeP	ND	ND	ND	ND	ND	0.081	0.171	ND	ND
BaP	0.322	1.082	0.338	0.076	0.025	0.340	0.471	0.022	ND
IND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.861	ND	ND
DBA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BghiP	ND	ND	ND	0.027	ND	0.058	0.969	ND	ND
ANTHN	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.781	ND	ND
DB(a,l)P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
COR	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.075	ND	ND
T-PAHs	757.4	933.6	517.1	800.5	646.5	1292	799.1	573.7	567.0
Ind-PAHs	8.194	10.54	8.693	14.75	8.57	13.55	7.091	5.472	3.899
Ind/T-PAHs	0.011	0.011	0.017	0.018	0.013	0.010	0.009	0.010	0.007

表 3-9 三批次採樣三地區夜間氣態 PAHs 平均濃度(ng/m^3)

29 PAHs	第一批次			第二批次			第三批次		
	DL	TU	HL	DL	TU	HL	DL	TU	HL
NAP	792.9	2044	1821	558.5	585.3	413.3	779.6	394.0	229.6
2-MeNAP	43.40	143.3	44.99	82.72	73.1	32.28	84.78	37.9	21.44
1-MeNAP	24.17	79.1	25.90	45.59	37.8	16.61	46.91	20.2	11.06
ACPy	0.962	1.220	3.204	ND	0.657	0.971	0.341	0.497	0.266
ACP	5.269	9.140	6.675	4.432	2.647	1.709	3.479	2.029	0.973
FLU	2.719	5.324	4.365	0.835	0.580	0.296	0.670	0.457	0.317
1-MeFLU	0.322	0.653	0.524	0.229	0.239	0.044	0.235	0.141	0.073
PHE	2.837	5.576	10.755	3.843	2.118	2.384	2.508	1.261	0.745
ANTHR	0.445	0.348	0.408	3.720	2.238	1.617	0.211	1.215	0.319
3-MePHE	0.405	0.780	0.520	0.440	0.222	0.169	0.270	0.132	0.074
2-MePHE	0.826	1.398	1.038	0.781	0.366	0.249	0.546	0.260	0.141
3,6-DMP	0.147	0.321	0.181	0.168	0.038	0.014	0.078	ND	ND
FLT	1.326	1.953	4.545	0.993	0.473	0.709	0.573	0.273	0.197
PYR	1.670	1.804	2.991	0.893	0.411	0.415	0.583	0.245	0.153
BNT	0.104	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BcPH	0.101	ND	0.156	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CPP	ND	ND	0.135	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BaA	0.271	0.073	ND	ND	ND	0.015	ND	ND	ND
CHR	0.096	ND	0.124	0.110	0.060	0.108	0.079	0.044	0.025
BbF	ND	ND	ND	0.028	0.024	0.000	ND	ND	ND
BkF	0.160	0.235	0.203	0.125	0.096	0.078	0.119	0.026	ND
BeP	ND	ND	ND	0.000	0.019	0.000	ND	ND	ND
BaP	0.512	0.687	0.477	0.065	0.354	0.024	0.021	ND	ND
IND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.022	ND	ND
DBA	ND	0.139	0.080	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BghiP	0.076	0.086	0.130	0.056	0.020	ND	0.029	ND	ND
ANTHN	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DB(a,l)P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
COR	ND	0.071	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T-PAHs	878.7	2296	1928	703.5	706.7	471.0	921.0	458.7	265.4
Ind-PAHs	10.84	18.24	25.59	12.99	8.133	7.390	7.112	5.276	2.501
Ind/T-PAHs	0.012	0.008	0.013	0.018	0.012	0.016	0.008	0.012	0.009

3.5 總懸浮微粒與氣態中 PAHs 污染來源之特徵比值

不同燃燒條件下，不同污染物所產生之 PAHs 其組成具有其特殊性質，因此相關研究逐漸收集且建立 PAHs 之特徵比值 (Diagnostic/Characteristic Ratio)，本計畫參選相關文獻中之特徵比值，用以評估熱島效應強的中心地區以及熱島效應較弱的邊緣地區其 PAHs 可能來源之差異，考慮三個地區受到熱島效應強弱影響之污染源特性，其污染源包括固定污染源及移動污染源，固定污染源主要以煤炭、石化燃料之燃燒、煙囪排放等，而移動源以交通污染之排放為主，考量不同分子量 PAHs 分布於 TSP 微粒上以及氣態中並不相同，故選擇 BbF+BkF/BghiP、ANTHR/PHE+ANTHR 與 FLU/(FLU+PYR) 等三個比值⁽⁶⁶⁾，並進行交叉比對判定其來源，判定 TSP 以及氣態 PAHs 之來源。研究指出當 BbF+BkF/BghiP < 1 時，可歸類主要為汽油燃料所排放，若當 1 < BbF+BkF/BghiP 時，則歸類為柴油燃料之主要來源；當 ANTHR/PHE+ANTHR 比值 < 0.1 時，其來源為液態石化燃料中原本已存在之 PAHs 揮發所導致，比值 > 0.1 則為燃燒所產生之 PAHs；FLU/(FLU+PYR) < 0.5 時，可歸類主要為汽油燃燒所排放，若當 0.5 < FLU/(FLU+PYR) 時，則歸類為柴油燃燒之主要來源，TSP 微粒上與氣態 PAHs 分別採用 BbF+BkF/BghiP 和 FLU/(FLU+PYR) 以及 ANTHR/PHE+ANTHR 和 FLU/(FLU+PYR) 交叉比對來源。

採樣期間兩個地區各批次 TSP 中與氣態 PAHs 污染來源之特徵比值分別如圖 3-5 至圖 3-6 所示，熱島效應中心的 DL 地區於第一批次採樣 TSP 微粒上的 PAHs 特徵比值與另兩批次具有較大差異，其夜間 $FLU/(FLU+PYR)$ 比值較偏向汽油燃燒，不若其他較集中於比值為 1，推論熱島效應強於夜間時段較明顯，三批次三個地點之 $BbF+BkF/BghiP$ 比值幾乎皆大於 1，為柴油燃料來源，各地區日間時段多集中於 $FLU/(FLU+PYR)$ 比值為 1，第二批次 TU 地區日間夜間 $FLU/(FLU+PYR)$ 比值多大於 0.5，可能為交通源汽油與柴油混和燃燒排放的結果。熱島效應中心的 DL 地區各批次採樣的氣態 PAHs 特徵比值皆不相同，尤其夜間 PAHs 特徵比值差異較為明顯，說明熱島效應較強的中心地區其氣態 PAHs 於夜間時段受到溫度影響較為明顯，TU 地區第二批次與第三批次的特徵比值較為相近，日間多為石油揮發來源，夜間多為汽柴油燃燒來源，熱島效應較弱的 HL 地區於三批次的特徵比值較為相同。三個地區三批次的日間 PAHs 特徵比值大多集中於 $ANTHR/PHE+ANTHR$ 比值為 0.1 附近，傾向石油揮發與部分燃燒來源，熱島效應強的中心地區及熱島效應較弱的邊緣地區因溫度變化差異影響而導致 PAHs 可能來源之差異，是值得未來持續監測的現象。

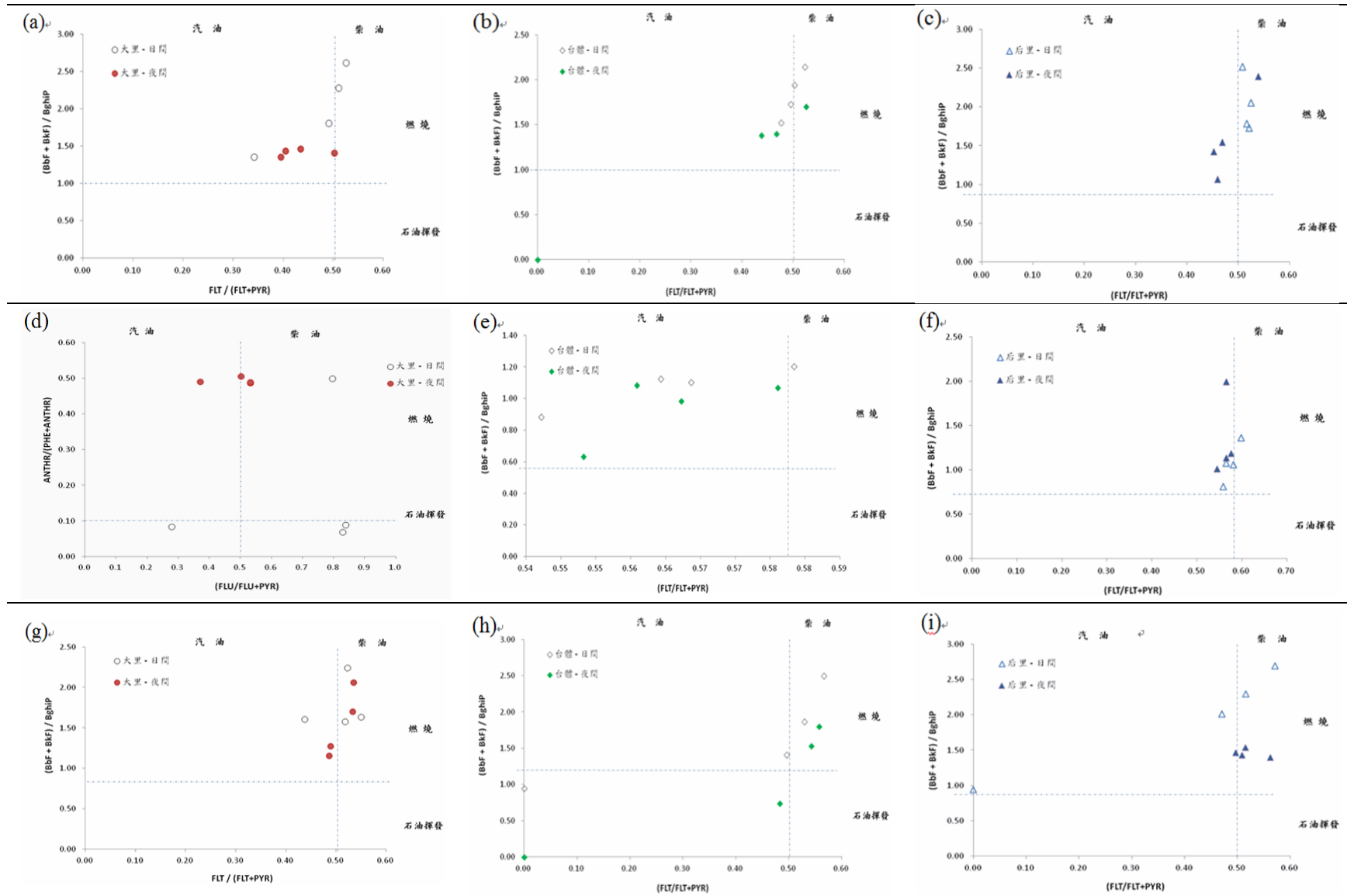


圖 3-5 三批次採樣三地區 TSP 中 PAHs 之特徵比值圖：(a) ~ (c) 為第一批次，(d) ~ (f) 為第二批次，(g) ~ (i) 為第三批次

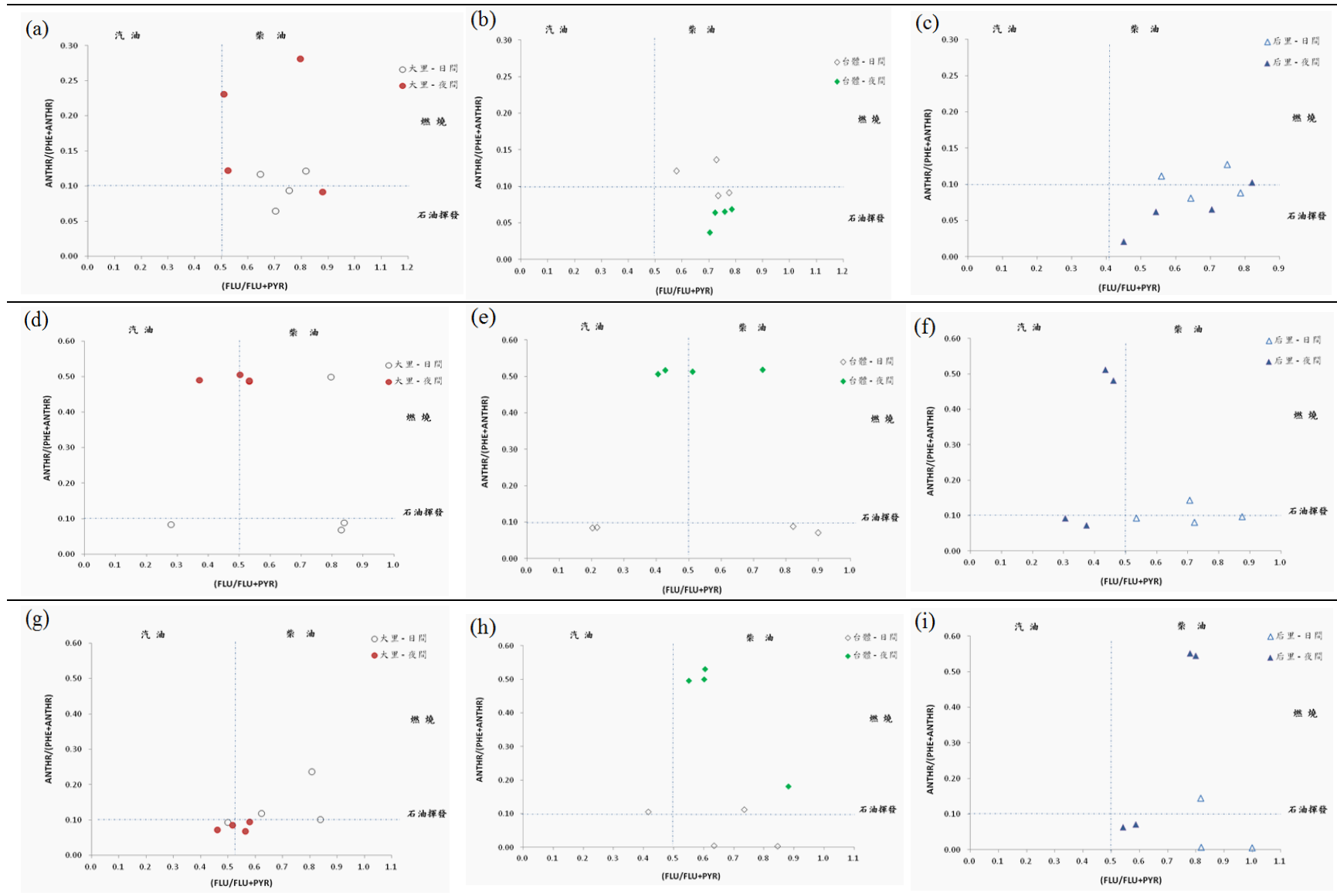


圖 3-6 三批次採樣三地區氣態 PAHs 之特徵比值圖：(a)~(c)為第一批次，(d)~(f)為第二批次，(g)~(i)為第三批次

3.6 懸浮微粒之 FESEM 分析圖

本計畫藉由場發射掃描式電子顯微鏡(Field-Emission Scanning Electron Microscope, FESEM)來觀察所收集懸浮微粒表面形態，利用電子束之反射作用產生二次電子形成的二維圖像，探討懸浮微粒與 PAHs 吸附機制之可能性，圖 3-7 至圖 3-12 分別為 DL、TU 與 HL 地區於第二批次採樣日間夜間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及能量散射光譜儀 (Energy Dispersive Spectrometer, EDS) 元素分析圖譜，各圖中線狀條狀物質為石英濾紙之原始材質 (SiO_x) 與結構，未採樣之空白濾紙經過 EDS 元素分析只有 Si 與 O 元素特性波峰。TSP 濾紙所採集的顆粒粒徑範圍為 $100\ \mu\text{m}$ 以下，由各圖中可觀察到三個地區的 TSP 濾紙採集的顆粒粒徑卻多小於 $30\ \mu\text{m}$ 以下，夜間採集到微粒多較日間微粒大些，可能由於濕度較高使得小顆粒溶合成較大顆粒，而大氣中細小的微粒成為類似晶種顆粒，經由水氣、溫度與碰撞條件會成核更大的顆粒懸浮於大氣環境中，形成過程中可能因而增加吸附 PAHs 化合物。

FESEM 分析與 EDS 元素分析選擇第二批次採樣 TSP 濃度較高之濾紙進行分析，熱島效應中心的 DL 地區經採集の日間 TSP 濾紙顆粒 (如各圖中紅色十字標記) 經 EDS 元素分析有 C、O、Si、Na、K、Cl、Al 與 S 元素，夜間有 C、O、N、Si、Na、K、Cl、Al、Ca 與 S

元素，TU 地區的日間 TSP 濾紙顆粒有 C、O、Si、Na、K、Cl、Al、S、Ca 與 Fe 元素，夜間有 C、O、N、Si、Na、K、Cl、Al 與 S 元素，熱島效應弱的 HL 地區的日間 TSP 濾紙顆粒有 C、O、Si、Na、Al 與 Ca 元素，夜間有 C、O、Si、Na、Al、Ca 與 S 元素，HL 地區的 TSP 微粒組成較 DL 及 TU 地區多為基本元素組成，DL 地區微粒組成與 TU 地區較相近，相較熱島效應弱的 HL 地區微粒組成差異較大，由 FESEM 及 EDS 元素分析結果可發現熱島效應中心的 DL 地區其 TSP 微粒組成明顯與熱島效應弱的 HL 地區有相當差異存在，顯示熱島效應強弱對於微粒組成影響甚大。

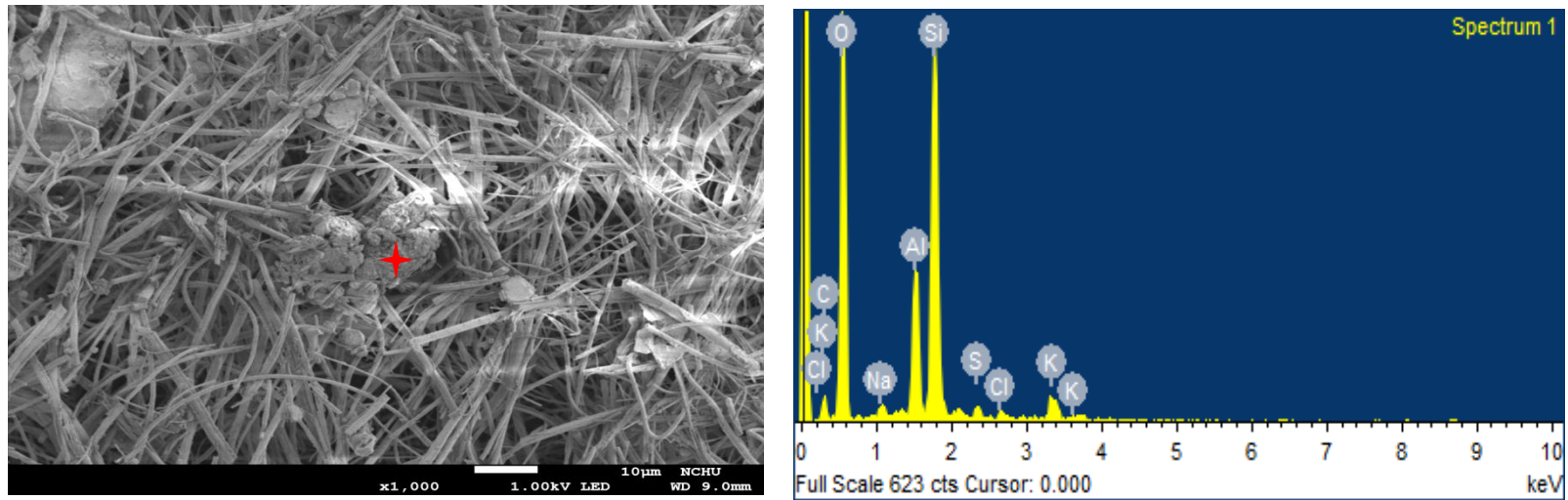


圖 3-7 DL 地區日間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及 EDS 分析圖譜

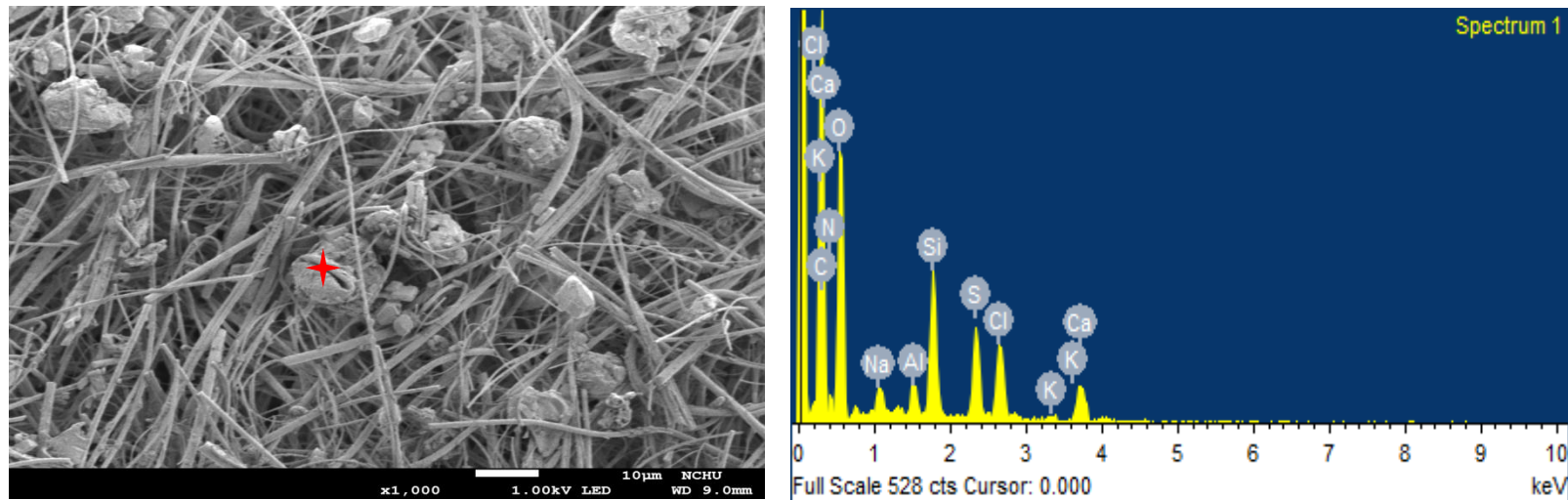


圖 3-8 DL 地區夜間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及 EDS 分析圖譜

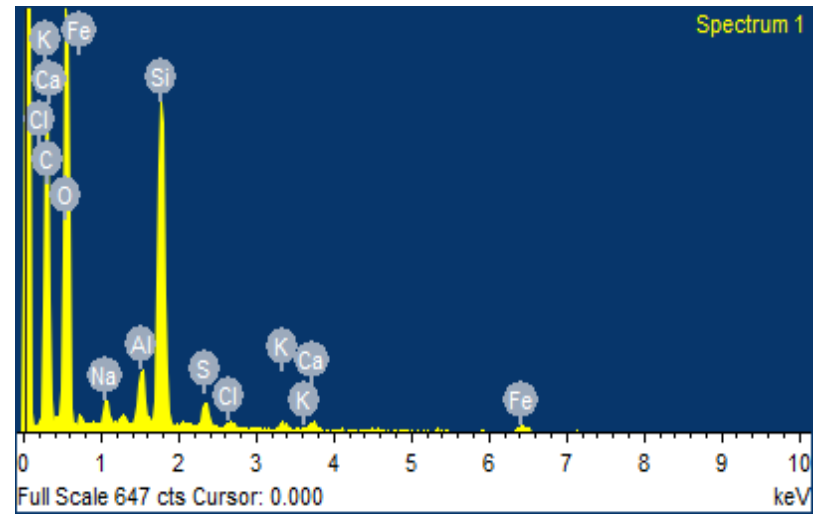


圖 3-9 TU 地區日間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及 EDS 分析圖譜

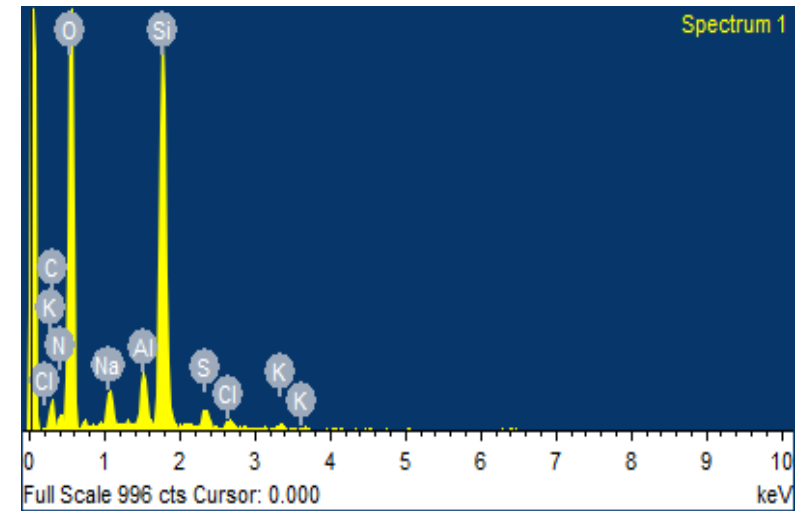
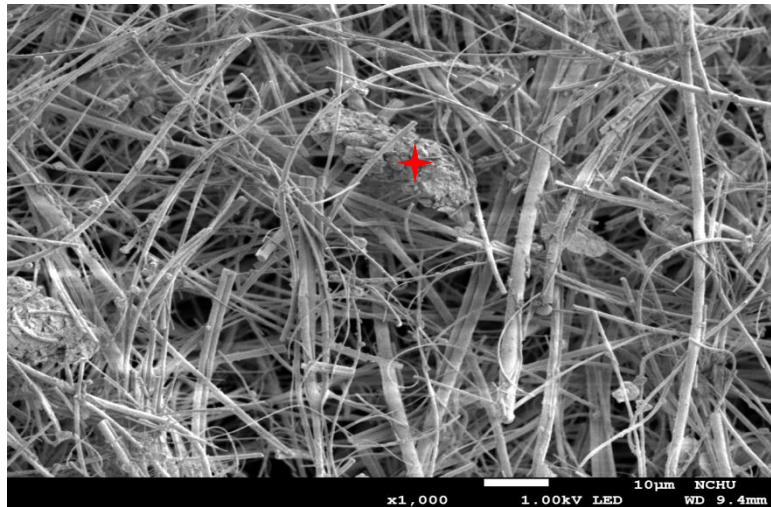


圖 3-10 TU 地區夜間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及 EDS 分析圖

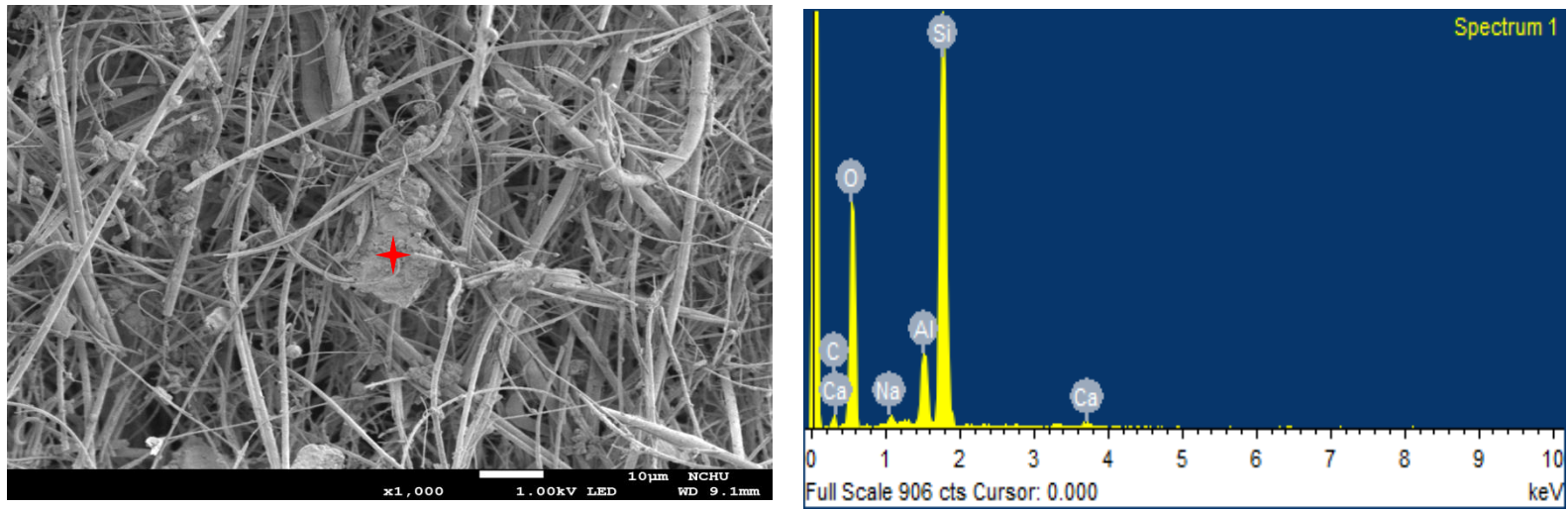


圖 3-11 HL 地區日間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及 EDS 分析圖譜

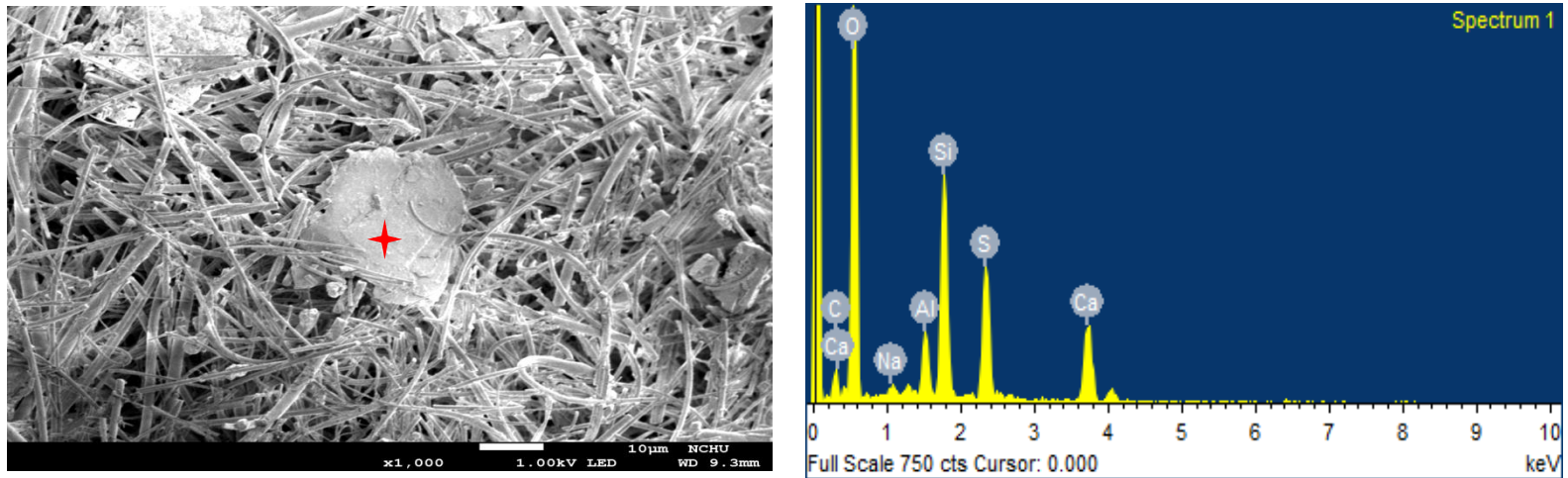


圖 3-12 HL 地區夜間 TSP 採樣濾紙之 FESEM 分析圖及 EDS 分析圖譜

3.7 PAHs 之氣固分佈與平衡

由 1.5 小節敘述之理論與經驗式，探討熱島效應強弱與氣相/固相 PAHs 之間平衡關係，藉由 $\log K_p - \log P_L^{\circ}$ 模式及 $\log K_p - \log K_{oa}$ 模式來判別與觀察 PAHs 濃度於氣態及固相（TSP）之間是否達到平衡，以 $\log K_p$ 對 $\log P_L^{\circ}$ 作圖迴歸可得到一線性關係，當 PAHs 濃度在氣相與固相間之分佈達到平衡時，斜率理論值為 -1 ，即 PAH 分子在固相顆粒表面上達到吸附與脫附之間的平衡。此外 PAHs 吸附於微粒上以氣固相共存於大氣環境下，當整個程序主要由有機物質吸收所主導時，則以正辛醇-空氣分佈係數（Octanol-air partitioning coefficient, K_{oa} ）來取代過冷飽和蒸汽壓（ P_L° ）來進行計算，藉以判斷在氣相與固相之濃度分佈是否達到平衡⁽⁵⁵⁾，即為 $\log K_p - \log K_{oa}$ 模式，作圖意義上大致與 $\log K_p - \log P_L^{\circ}$ 模式相同，當 PAHs 濃度在氣固相間分佈達到平衡時，其斜率理論值為 $+1$ ⁽⁵³⁻⁵⁵⁾，做為判別平衡結果。

三批次採樣三地區的日間與夜間 $\log K_p - \log P_L^{\circ}$ 分佈圖如圖 3-13 所示，熱島效應較強的 DL 地區日間斜率以第一批次(-0.68)較高，夜間斜率以第二批次(-0.63)較高，然日間與夜間斜率高值相當接近，TU 地區日間與夜間斜率皆以第三批次較高，分別為-0.72 與-0.66，熱島效應較弱的 HL 地區日間與夜間斜率同樣以第三批次較高，分別為-1.03 與-0.75，推測 HL 地區第三批次的日間 PAHs 分子較接近氣固相

平衡狀態，而且在日間時段較少高分子量 PAHs，低分子量 PAHs 較多， $\log K_p - \log P_L^o$ 模式說明熱島效應強的地區其 PAHs 分子較不易於氣固相分佈達到平衡，熱島效應較弱的邊緣地區 PAHs 分子較可能達到氣固相平衡狀態。

圖 3-14 為三批次採樣三地區的日間與夜間 $\log K_p - \log K_{oa}$ 分佈圖，較強熱島效應的 DL 地區其日間斜率以第一批次(0.729)較高，夜間斜率以第二批次(0.759)較高，然日間與夜間斜率高值相當接近，TU 地區日間與夜間斜率皆以第三批次較高，分別為 0.784 與 0.840，熱島效應較弱的 HL 地區日間與夜間斜率同樣以第三批次較高，分別為 1.061 與 0.923，說明 HL 地區第三批次日間及夜間 PAHs 分子極為接近氣固相平衡狀態。 $\log K_p - \log K_{oa}$ 模式顯示在低風速下，熱島效應強的地區其 PAHs 分子較不易於氣固相分佈達到平衡，熱島效應較弱的邊緣地區 PAHs 分子較可能達到氣固相平衡狀態。

經由上述兩種模式作圖，使用 $\log K_p - \log K_{oa}$ 模式判別氣固分佈平衡時，可發現三批次三個地區日間與夜間斜率值均較 $\log K_p - \log P_L^o$ 模式之斜率為大，顯示判別 PAHs 的氣固分佈平衡時，使用 $\log K_p - \log K_{oa}$ 模式是較易判別的模式，因 PAHs 吸附於微粒上且當整個程序主要由有機物質吸收所主導時，其飽和蒸汽壓以 K_{oa} 分佈係數判別較佳。

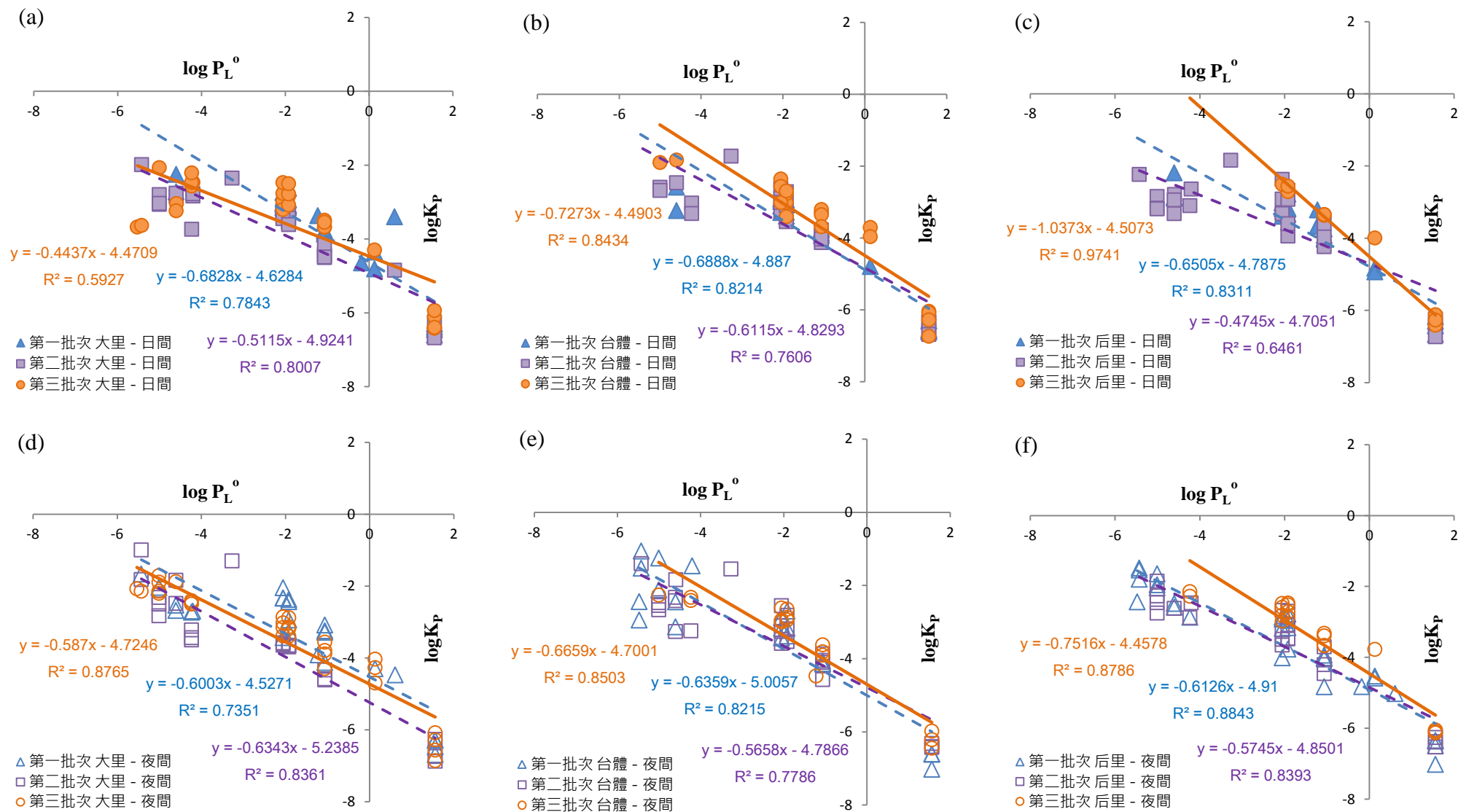


圖 3-13 三批次採樣三地區之 $\log K_p - \log P_L^0$ 作圖：(a) ~ (c) 為日間，(d) ~ (f) 為夜間

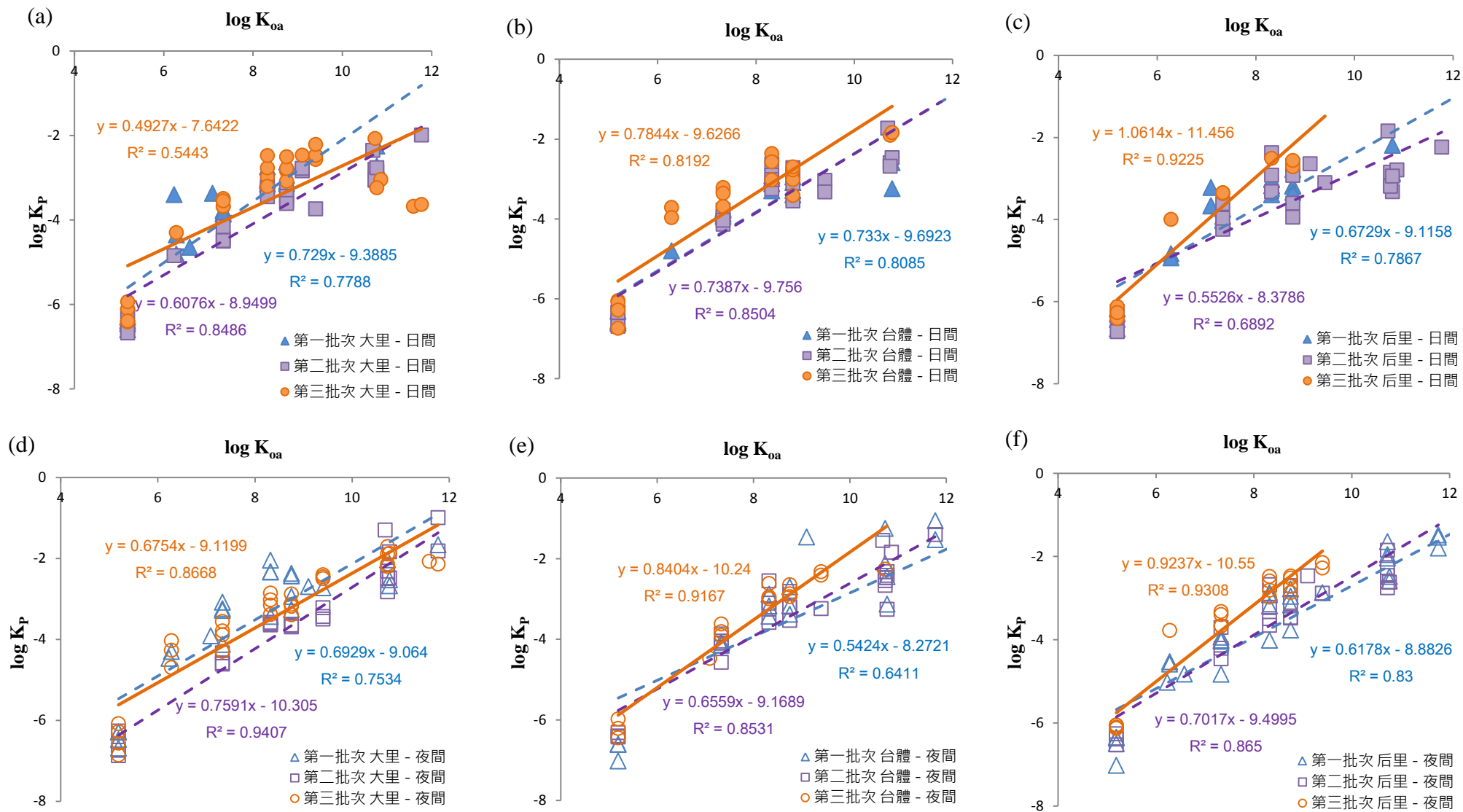


圖 3-14 三批次採樣三地區之 $\log K_P$ 與 $\log K_{oa}$ 作圖：(a) ~ (c) 為日間，(d) ~ (f) 為夜間

3.8 土壤中 PAHs 濃度與逸散分佈

採樣期間熱島中心及其鄰近地區與熱島邊緣地區的三個批次土壤中之總 PAHs 平均濃度如圖 3-15，表 3-10 為採樣期間三地區三個批次土壤中之 29 種 PAHs 平均濃度。可觀察到 DL 與 HL 兩地區間土壤中 PAHs 平均濃度較高，TU 地區 PAHs 平均濃度最低，DL 與 HL 兩地區間土壤中 PAHs 平均濃度值較高，皆約為 TU 地區的 2 倍左右，HL 地區三批次日間 Ind-PAHs 總和為最大濃度值，顯示其受到鄰近鋼鐵業與工業區影響較大，DL 地區受到鄰近工業區影響，各批次 TU 地區相較 DL 與 HL 地區分析到較少 PAHs 化合物，高分子量 PAHs 幾乎都有分析到濃度值，然結果顯示熱島效應對於土壤中 PAHs 濃度影響並不明顯。

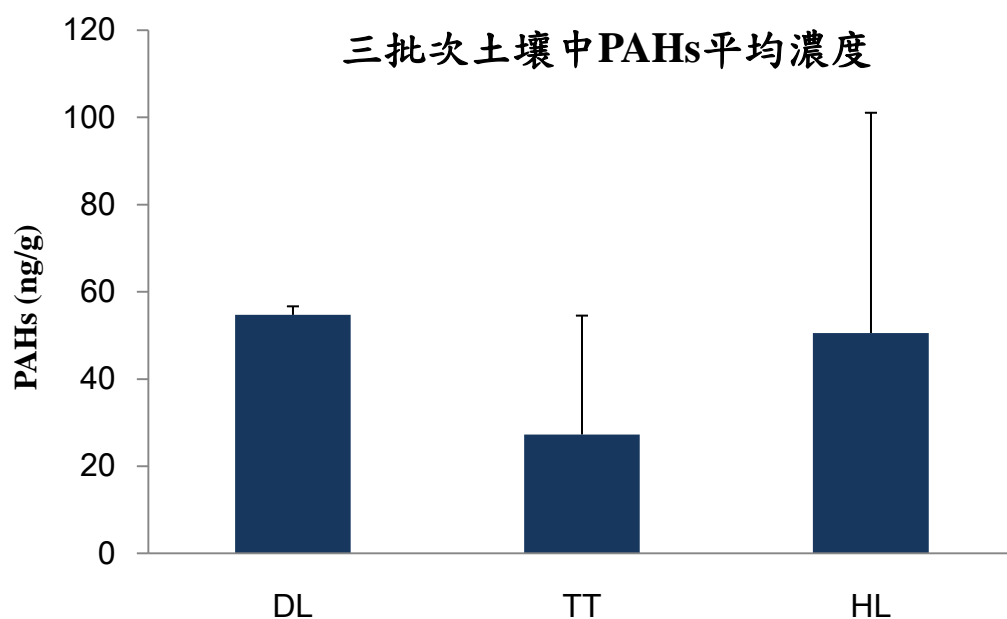


圖 3-15 三批次採樣三地區土壤中之總 PAHs 平均濃度比較圖

表 3-10 三批次採樣三地區土壤中 PAHs 平均濃度 (ng/g)

29 PAHs	第一批次			第二批次			第三批次		
	DL	TU	HL	DL	TU	HL	DL	TU	HL
NAP	4.731	2.710	4.038	4.779	3.729	2.636	7.424	2.509	4.941
2-MeNAP	5.035	3.092	5.134	5.919	4.336	2.536	8.278	2.665	5.606
1-MeNAP	2.647	1.768	3.523	3.409	2.602	1.558	4.373	1.466	3.809
ACPy	0.463	0.127	0.512	0.849	0.316	0.100	0.713	0.123	1.102
ACP	ND	ND	ND	0.503	0.145	ND	0.499	ND	0.680
FLU	0.515	0.391	0.569	0.959	0.472	0.334	0.714	0.381	0.835
1-MeFLU	0.416	0.380	0.402	0.603	0.469	0.381	0.499	0.125	0.487
PHE	2.623	1.237	4.245	2.705	1.892	1.595	2.453	1.205	3.041
ANTHR	0.401	ND	0.594	0.437	0.289	0.261	0.434	0.124	0.522
3-MePHE	0.639	0.287	0.809	0.729	0.456	0.439	0.633	0.136	0.640
2-MePHE	3.560	2.166	3.578	3.554	2.804	2.259	2.863	2.201	3.147
3,6-DMP	0.444	0.193	0.469	0.527	0.311	0.347	0.437	0.107	0.398
FLT	2.982	0.763	5.521	3.063	1.665	1.563	2.991	1.310	3.847
PYR	4.161	1.033	6.376	3.819	2.267	2.091	4.038	1.867	4.861
BNT	0.597	ND	0.578	0.560	0.382	0.302	0.538	ND	0.474
BcPH	0.133	ND	0.463	0.289	ND	ND	0.285	ND	0.344
CPP	1.779	0.204	0.681	0.760	0.573	0.211	1.566	0.498	0.495
BaA	0.788	0.291	1.666	0.818	0.504	0.569	0.796	0.554	1.307
CHR	1.083	0.365	2.124	1.173	0.736	0.668	1.291	0.580	1.502
BbF	2.255	0.577	4.529	2.453	1.291	0.469	2.300	0.420	3.947
BkF	0.790	0.396	1.614	1.104	0.795	0.553	0.773	0.463	1.493
BeP	1.949	0.544	3.338	1.976	1.178	1.264	1.938	1.019	2.961
BaP	1.108	0.311	3.046	1.046	0.624	0.805	1.064	0.693	2.235
IND	1.604	0.408	4.105	1.651	0.981	1.098	1.497	0.953	3.492
DBA	0.456	ND	0.941	0.473	0.273	0.369	0.456	0.272	0.834
BghiP	2.670	0.587	3.183	2.230	1.456	1.255	2.032	1.252	2.901
ANTHN	0.448	ND	0.672	6.722	0.306	0.205	0.313	0.191	0.446
DB(a,l)P	5.666	ND	1.165	1.192	4.045	0.317	ND	3.118	0.922
COR	3.617	0.862	3.159	2.662	2.399	1.043	2.396	1.571	2.061
T-PAHs	53.56	56.97	53.59	18.69	37.30	25.80	67.03	25.23	59.33
Ind-PAHs	6.469	2.127	10.871	7.558	4.308	3.518	7.090	2.763	9.192
Ind/T-PAHs	0.121	0.037	0.203	0.404	0.115	0.136	0.106	0.110	0.155

此外利用逸散比值 ($f_{\text{Soil}}/f_{\text{Air}}$) 來探討熱島效應強弱對於 PAHs 濃度在土壤與氣態之氣固分佈，藉以判別 PAHs 存在氣相或固相中所佔比例之高低，以及 PAHs 由大氣中沉降吸附至土壤中或土壤揮發至大氣中之趨勢。當 $f_{\text{Soil}}/f_{\text{Air}}$ 比值 >1 時為 PAHs 大多存在於土壤中且容易揮發至大氣中；比值 <1 為其多存在於大氣中且會沉降、吸附至土壤中；而比值等於 1 則為 PAHs 在土壤與大氣間分佈達平衡。

經過計算後將三個批次的逸散分佈作圖，如圖 3-16 所示，可觀察出三個批次採樣 PAHs 之 $\log f_s/\log f_A$ 比值以熱島效應較弱的 HL 地區較接近比值為 1 且第三批次採樣最為明顯，HL 地區 PAHs 分子沉降至土壤與揮發至大氣中之速率可能較為接近，顯示熱島效應較弱的邊緣地區其 PAHs 較易達到氣固相分佈平衡，熱島效應對於 PAHs 分佈平衡影響較不明顯。TU 地區 PAHs 氣固相分佈與熱島效應中的 DL 地區較為相同，低分子量與中分子量 PAHs 分佈較接近比值為 1，但高分子量 PAHs 分佈多小於 1，顯示大氣環境中的低分子量與中分子量 PAHs 在土壤與大氣間分佈多達平衡之趨勢，高分子量 PAHs 在土壤與大氣間分佈未達平衡，主要於大氣中沉降、吸附至土壤中之狀態，熱島效應強或熱島強度大可能因溫度變化差異明顯導致 PAHs 由大氣中沉降吸附至土壤中為主要趨勢。

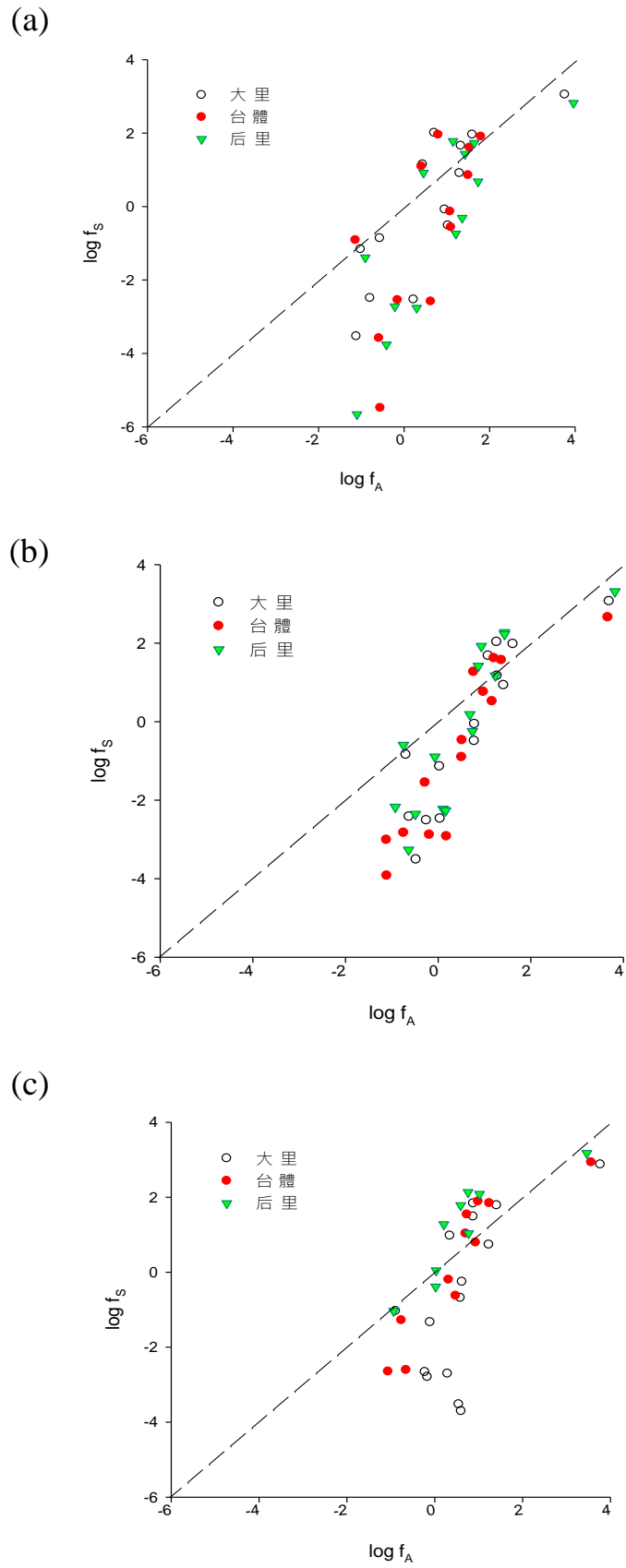


圖 3-16 (a)第一批次、(b)第二批次與(c)第三批次之逸散分佈圖

第四章 總結

各批次之溫度變化使用統計方法成對樣本 t-test，三批次採樣期間 DL 地區平均溫度相對於 HL 地區具有顯著差異($p < 0.05$)，說明 DL 地區溫度差異較為明顯，推論 DL 地區為熱島中心。第一批次熱島效應強的 DL 地區和熱島效應邊緣效應的 HL 地區之日間與夜間的 TSP 平均質量濃度差異不明顯，TU 地區的 TSP 平均質量濃度為最低值，而夜間風速多為靜風狀態，故其 TSP 質量濃度明顯下降；第二批次三個地區日間與夜間的 TSP 平均質量濃度均明顯增加，推論係第二次採樣期間其日間溫度濕度變化較大以及風速造成明顯之差異。第三批採樣期間 TSP 濃度趨勢與 PM_{2.5} 類似，TSP 微粒濃度被稀釋及西南氣流影響濃度擴散累積，導致 HL 地區較另外兩個地區具有較高的 TSP 平均質量濃度值，同時說明熱島效應對於 TSP 質量濃度影響較不明顯。

三批次採樣期間 TSP 中 PAHs 之日間與夜間平均濃度是 DL 地區與 TU 地區高於 HL 地區之現象，夜間 PAHs 平均濃度多高於日間 PAHs 平均濃度，顯示熱島效應強的 DL 地區較易受到溫度濕度變化影響，導致 PAHs 在日間除白天人為活動的影響之外，高溫下多以氣態存在，夜間受到溫度下降與飽和蒸氣壓下降而吸附於 TSP 微粒上，

導致 PAHs 化合物自氣相轉換至固相 TSP 微粒顆粒上所致；反之，熱島效應邊緣效應的 HL 地區之 PAHs 濃度受到溫度變化影響較不明顯。TSP 中日間工業性 PAHs 濃度於 T-PAHs 之比值(Ind-PAHs/T-PAHs) 呈現日間高於夜間之現象，推論 DL 地區受到鄰近工業區影響，而 HL 地區受到鄰近鋼鐵業影響較大，此外 HL 地區三批次日間 Ind-PAHs 皆為最大濃度值，顯示其受到工業影響鄰近工業區影響較高。氣態 PAHs 主要組成以 NAP、2-Me-NAP 與 1-Me-NAP 為主(95% 以上)，分子量較大的 PAHs 化合物較不易被分析得到，說明氣態 PAHs 組成以低分子量的 PAHs 化合物為大宗，高分子量的 PAHs 不易形成氣態存在大氣中，導致不易達到氣固平衡現象。熱島效應中心的 DL 地區於第一批次採樣 TSP 微粒上的 PAHs 特徵比值與另兩批次具有較大差異，其夜間 FLU/(FLU+PYR) 比值較偏向汽油燃燒，不若其他較集中於比值為 1，第二批次 TU 地區日間夜間 FLU/(FLU+PYR) 比值多大於 0.5，可能為交通源汽油與柴油混和燃燒排放的結果。熱島效應中心的 DL 地區各批次採樣的氣態 PAHs 特徵比值皆不相同，尤其夜間 PAHs 特徵比值差異較為明顯，說明熱島效應較強的中心地區其氣態 PAHs 於夜間時段受到溫度影響較為明顯，熱島效應較弱的 HL 地區於三批次的特徵比值較為相同。

熱島效應中心的 DL 地區經採集的日間 TSP 濾紙顆粒(如各圖中

紅色十字標記) 經 EDS 元素分析有 C、O、Si、Na、K、Cl、Al 與 S 元素，夜間有 C、O、N、Si、Na、K、Cl、Al、Ca 與 S 元素，熱島效應弱的 HL 地區的日間 TSP 濾紙顆粒有 C、O、Si、Na、Al 與 Ca 元素，夜間有 C、O、Si、Na、Al、Ca 與 S 元素，HL 地區的 TSP 微粒組成較 DL 及 TU 地區多為基本元素組成，DL 地區微粒組成與 TU 地區較相近，相較熱島效應弱的 HL 地區微粒組成差異較大，由 FESEM 及 EDS 元素分析結果可發現熱島效應中心的 DL 地區其 TSP 微粒組成明顯與熱島效應弱的 HL 地區有相當差異存在，顯示熱島效應強弱對於微粒組成成份影響甚大。

$\log K_p - \log P_L^o$ 模式與 $\log K_p - \log K_{oa}$ 模式作圖發現熱島效應較強的 DL 地區其日間斜率與夜間斜率高值相當接近，熱島效應較弱的 HL 地區日間與夜間斜率同樣以第三批較高，說明 HL 地區第三批日間及夜間 PAHs 分子極為接近氣固相平衡狀態， $\log K_p - \log P_L^o$ 與 $\log K_p - \log K_{oa}$ 模式說明在低風速下，熱島效應強的地區其 PAHs 分子較不易於氣固相分佈達到平衡，熱島效應較弱的邊緣地區 PAHs 分子較可能達到氣固相平衡狀態。DL 與 HL 兩地區間土壤中 PAHs 平均濃度較高，TU 地區 PAHs 平均濃度最低，DL 與 HL 兩地區間土壤中 PAHs 平均濃度值較高，皆約為 TU 地區的 2 倍左右，HL 地區三批日間 Ind-PAHs 總和為最大濃度值，顯示其受到鄰近鋼鐵業與

工業區影響較大，DL 地區受到鄰近工業區影響，各批次 TU 地區相較 DL 與 HL 地區分析到較少 PAHs 化合物，高分子量 PAHs 幾乎都有分析到濃度值，然結果顯示熱島效應對土壤中 PAHs 濃度影響並不明顯。三個批次採樣 PAHs 之 $\log f_S / \log f_A$ 比值以熱島效應較弱的 HL 地區較接近比值為 1 且第三批次採樣最為明顯，HL 地區 PAHs 分子沉降至土壤與揮發至大氣中之速率可能較為接近，顯示熱島效應較弱的邊緣地區其 PAHs 較易達到氣固相分佈平衡，熱島效應對於 PAHs 分佈平衡影響較不明顯。TU 地區 PAHs 氣固相分佈與熱島效應中的 DL 地區較為相同，低分子量與中分子量 PAHs 分佈較接近比值為 1，但高分子量 PAHs 分佈多小於 1，顯示大氣環境中的低分子量與中分子量 PAHs 在土壤與大氣間分佈多達平衡之趨勢，高分子量 PAHs 在土壤與大氣間分佈未達平衡，主要於大氣中沉降、吸附至土壤中之狀態，熱島效應強或熱島強度大可能因溫度變化差異明顯導致 PAHs 由大氣中沉降吸附至土壤中為主要趨勢。

參考文獻

1. Landsberg, H. E., 1981. The urban climate. *Academic Press*: 275.
2. Oke, T. R., 1987. Boundary-layer climates, 2nd Edition. *Routledge, London*: 435.
3. Yague, C., Zurita, E. Martí'nez, A. 1991. Statistical analysis of the Urban Heat Island. *Atmospheric Environment* 25: 327–332. 1.
4. Li,B., Feng,C., Li,X., Chen,Y., Niu,J., Shen, Z., 2012. Spatial distribution and source apportionment of PAHs in surficial sediments of the Yangtze Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin* 64: 636-643.
5. Yang, H.H. and Chen,C.M.,2004. Emission inventory and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere at a suburban area in Taiwan. *Chemosphere* 56:879-887. 4.
6. Kim, Y. H., Baik, J. J., 2004. Daily maximum urban heat island intensity in large cities of Korea. *Theoretical and Applied Climatology* 79:151-164. 5.
7. Sarrat, C., Lemonsu, A., Masson, V., Guedalia, D., 2006. Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. *Atmospheric environment* 40:1743-1758.
8. 賴栗葦、程萬里、蔡佳珊，2007，熱島效應與空氣品質急呼吸道疾病就診人關係分析，第十九屆環工年會空氣污染控制技術研討會。
9. Xian, G., Crane, M., 1999. Evaluation of urbanization of urbanization influences on urban climate with remote sensing and climate observations. *SAIC/USGS National Center for Earth Resources Observation and Science*, Sioux falls, SD 57198.
10. Monta'vez, J. P., Antonio, R. Juan, I. J., 2000. A study of the urban heat island of Granada. *International Journal of Climatology* 20:899-911.
11. Li, Q., Zhang, H., Liu, X., Huang, J., 2004. Urban heat island effect on annual mean temperature during the last 50 years in China. *Theoretical and Applied Climatology* 79:165-174.
12. Yamashita, S., 1995. Detailed structure of heat island phenomena from moving observations from electric tram-cars in metropolitan

- Tokyo. *Atmospheric Environment* 30:429-435.
13. 姜善鑫、盧光輝，1994，台北地區都市熱島及風場之研究，*國科會專題研究計畫成果報告*。
 14. 林憲德、郭曉青、李魁鵬、陳子謙、陳冠廷，2001，台灣海岸型城市之都市熱島現象與改善對策解析-以台南、高雄及新竹為例。*中華民國都市與計畫學會*，第二十八卷，第三期，第323-341頁。
 15. 葉昱輝，2006，以TAPM 模式對台中地區都市之熱島效應分析評估，*東海大學環境工程與科學系碩士論文*。
 16. Khan, S. M., Simpson, R. W., 1996. Investigation of heat islands using small scale models. *Atmospheric Environment* 30:467-474.
 17. Lemonsu, A., Masson, V., 2002. Simulation of a summer urban breeze over Paris. *Boundary-Layer Meteorology* 104:463-290.
 18. Luhar, A. K., Hurley P., 2003. Evaluation of TAPM, a prognostic meteorological and air pollution model, using urban and rural point-source data. *Atmospheric Environment* 37:2795-2810.
 19. Fan, H., Sailor, D. J., 2005. Modeling the impacts of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia: a comparison of implementations in two PBL schemes. *Atmospheric Environment* 39:73-84.
 20. 吳兌，鄧雪嬌，2001，*環境氣象學與特種氣象預報*，北京氣象出版社。
 21. 吳育魁，2010，海陸風及熱島效應對台中都會區空氣污染物之影響分析，*東海大學環境工程與科學系碩士論文*。
 22. Freitas, E. D., Rozoff, C. M., Cotton, W. R., and Dias, P. L. S., 2007. Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of Sao Paulo, Brazil, *Boundary-layer Meteorology* 122 (1):43-65.
 23. Lin, C-Y., Chen, F., Huang, J. C., Chen, W-C., Liou, Y-A., Chen, W-N., Liu, Shaw-C., 2008. Urban heat island effect and its impact on boundary layer development and land-sea circulation over northern Taiwan. *Atmospheric Environment* 42: 5635-5649.
 24. 鄭婉純，2003，都市土地利用與都市氣溫關係之研究—臺中直轄市之實證研究，*逢甲大學土地管理學系研究所碩士論文*。
 25. 鄭師中，1988，*都市氣候學*，徐氏基金會。
 26. IARC, 2012. *Agents Classified by the IARC Monographs*:1-105.
 27. Cook, J.W., Hewett, C.L. and Hieger, I., 1933. The isolation of cancer-producing hydrocarbon from coal tar, part I, II and III.

- Journal of Chemical Society*:395-421.
28. Collins, J., Brown, J., Alexeeff, G., Salmon, A., 1998. Potency equivalency factors for some polycyclic aromatic hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbon derivatives. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 28:45-54.
 29. Denissenko, M.F., Pao, A., Tang, M.S., Pfeifer, G.P., 1996. Preferential formation of benzo[a]pyrene adducts at lung cancer mutational hotspots in P53. *Science* 274:430-432.
 30. Peters, A., Klot, V.S., Heier, M., Trentinaglia, I., Hormann, A., Wichmann, H.E., Lowel, H., 2004. Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction. *New England Journal of Medicine* 351:1721-1730.
 31. Zandere, M., 1985. Physical and Chemical Properties of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Marcel Dekker Inc.*
 32. Keller, C.D., Bidleman, T.F., 1984. Collection of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons and other organic with a glass fiber filter-polyurethane foam system. *Atmospheric Environment* 18:827-845.
 33. Nishioka, M.G., Lewtas, J., 1992. Quantification of nitro- and hydroxylated nitro-aromatic/polycyclic aromatic hydrocarbons in selected ambient air daytime winter sample. *Atmospheric Environment* 26: 2077-2087.
 34. Hecht, S.S., 1988. Potential carcinogenic effects of polynuclear aromatic hydrocarbons and nitro-aromatic in mobile and public health. *Environmental Science & Technology*, 555-567.
 35. Behymer, T.D., Hites, R.A., 1985. Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on simulated atmospheric particulates. *Environmental Science & Technology* 19:1004-1006.
 36. Barron, M.C., 1990. Bioconcentration. *Environmental Science & Technology* 24:1612-1618.
 37. Oliver, B.G., Nilmi, A.J., 1998. Trophodynamic analysis of polychlorinated biphenyls congeners and other chlorinated hydrocarbons in the Lake Ontario. *Environmental Science & Technology* 4:388-397.
 38. 張碧芬、袁紹英，多環芳香烴化合物之環境流佈及其生物分解，*環境檢驗通訊雜誌*第22期。
 39. Ravindra, K., Sokhi, R., Grieken, R.V., 2008. Review: atmospheric

- polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation. *Atmospheric Environment* 42:2895-2921.
40. Ravindra, K., Wauters, E., Van Grieken, R., 2008. Variation in particulate PAHs levels and their relation with the transboundary movement of the air masses. *Science of the Total Environment* 396:100-110.
 41. Yang, H.H., Lee, W.J., Chen, S.J., Lai, S.O., 1998. PAH emission from various industrial stacks. *Journal of Hazardous Materials* 60:159-174.
 42. Kong, S., Shi, J., Lu, B., Qiu, W., Zhang, B., Peng, Y., Zhang, B., Bai, Z., 2011. Characterization of PAHs within PM10 fraction for ashes from coke production, iron smelt, heating station and power plant stacks in Liaoning Province, China. *Atmospheric Environment* 45:3777-3785.
 43. Neff, J.M., 1979. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment, sources, fates, and biological effects. *Applied Science* 262.
 44. Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, R.H., Goyette, D., Sylvestre, S., 2002. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Organic Geochemistry* 33:489-515.
 45. Pyyssalo, H., Tuominen, J., Wickstrom, K., Skytta, E., Tikkanen, L., Salomaa, S., Sorsa, M., Pohjola, V., 1987. Polycyclic organic material (POM) in urban air Fractionation, chemical analysis and genotoxicity of particulate and vapor phase in an industrial town in Finland. *Atmospheric Environment* 21:1167-1180.
 46. Budzinski, H., Jones, I., Bellocq, J., Pièrard, C., Garrigues, P., 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. *Marine Chemistry* 58:85-97.
 47. Yamasaki, H., Kawata, K., Miyamoto, H., 1982. Effects of ambient temperature on aspects of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Science & Technology* 16:189-194.
 48. Pankow, J.F., 1987. Review and comparative analysis of the theories on partitioning between the gas and aerosol particle in the atmosphere. *Atmospheric Environment* 21:2275-2283.
 49. Pankow, J.F., 1991. Common y-intercept and single compound regressions of gas-particle partitioning data vs 1/T. *Atmospheric Environment* 25:2229-2239.

50. Pankow, J.F., 1994. An absorption model of gas/particle partitioning of organic compounds in the atmosphere. *Atmospheric Environment* 28:185-188.
51. Pankow, J.F., 1998. Further discussion of the octanol/air partition coefficient K_{oa} as a correlating parameter for gas/particle partitioning coefficients. *Atmospheric Environment* 32:1493-1497.
52. Bidleman, T.F., Billings, W.N., Foreman, W.T., 1986. Vapor-particle Partitioning of semi-volatile organic compounds: Estimates from Field collections. *Environmental Science and Technology* 20:1038-1043.
53. Mackay, D., Borba, A., Shiu, W.Y., 1982. Relationships between Aqueous Solubility and Octanol-Water Partition Coefficients. *Chemospheres* 9:701-711.
54. Hinckley, D.A., Bidleman, T.E., Foreman, W.T., 1990. Determination of Vapor Pressures for Nonpolar and Semipolar Organic Compounds from Gas Chromatographic Retention Data. *Journal of Chemical Engineering Data* 35:232-237.
55. Ma, W.L., Sun, D.Z., Shen, W.G., Yang, M., Qi, H., Liu, L.Y., Shen, J. M., Li, Y. F., 2011. Atmospheric concentrations, sources and gas-particle partitioning of PAHs in Beijing after the 29th Olympic Games. *Environmental Pollution* 159:1794-1801.
56. Wang, Z., Na, G.G., Ma, X.D., Fang, X.D., Ge, L.K., Gao, H., Yao, Z.W., 2013. Occurrence and gas/particle partitioning of PAHs in the atmosphere from the North Pacific to the Arctic Ocean. *Atmospheric Environment* 77:640-646.
57. Demircioglu, E., Sofuoglu, A., Odabas, M., 2011. Particle-phase dry deposition and air-soil gas exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Izmir, Turkey. *Journal of Hazardous Materials* 186:328-335.
58. Harrison, R.M., Tilling, R., Callén Romero, M.S., Harrad, S., Jarvis, K., 2003. A study of trace metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the roadside environment. *Atmospheric Environment* 37:2391-2402.
59. Schwartz, J., Dockery, D.W., Neas, L.M., 1996. Is daily mortality associated specifically with fine particles? *Journal of the Air and Waste Management Association* 46:927-939.
60. Broday, D.M., Georgopoulos, P.G., 2001. Growth and deposition of hygroscopic par-ticulate matter in the human lungs. *Aerosol Science*

- and Technology* 34:144–159.
61. Schroeter, J.D., Musante, C.J., Hwang, D., Burton, R., Guilmette, R., Martonen, T.B., 2001. Hygroscopic growth and deposition of inhaled secondary cigarette smoke in human nasal pathways. *Aerosol Science and Technology* 34:137-143.
 62. Wilson, W.E., Stockburger, L., Diurnal variations in aerosol composition and concentration in aerosols. Science, industry, health and environment, in Proceedings of the Third International Aerosol Conference, Kyoto, Japan, September 1990, S. Masuda and K. Takahashi, (Eds.), 962–965.
 63. Keywood, M.D., Aters, G.P., Gras, J.L., Gillett, R.W., Cohen, D.D., 1999. Relationship between size segregated mass concentration data and ultrafine particle number concentrations in urban areas. *Atmospheric Environment* 33:2907-2913.
 64. Offenberg J.H., Baker, J.E., 2002. The influence of aerosol size and organic carbon content on gas/particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Atmospheric Environment* 36:1205-1220.
 65. Venkataraman, C., Thomas, S., Kulkarni, P., 1999. Size distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons-gas/particle partitioning to urban aerosol. *Journal of Aerosol Science* 30:759-770.
 66. Kuo C. Y., Chien P. S., Kuo W. C, Wei C. T., Rau J. Y., 2012. Comparison of Polycyclic aromatic hydrocarbon emissions on gasoline and diesel-dominated routes. *Environmental Monitoring and Assessment* 185:5749-5761.

附錄一 PAHs分析數據之品保與品管(QA/QC)

表一、PAHs 檢量線公式(0.01~0.1mg/L) 及 R 值-CAL1

PAHs	檢量線公式	R 值
NAP	y= 3.466 X +0.0005	0.9998
2-MeNAP	y= 1.425 X +0.0019	0.9987
1-MeNAP	y= 1.305 X +0.0014	0.9982
ACPy	y= 2.912 X +0.0040	0.9983
ACP	y= 1.821 X +0.0033	0.9992
FLU	y= 2.308 X +0.0031	0.9967
1-MeFLU	y= 1.653 X +0.0031	0.9993
PHE	y= 2.738 X +0.0003	0.9991
ANTHR	y= 2.298 X -0.0007	0.9998
3-MePHE	y= 2.294 X -0.0013	0.9994
2-MePHE	y= 1.538 X -0.0020	0.9982
3,6-DMP	y= 1.026 X +0.0000	0.9996
FLT	y= 1.885 X -0.0008	0.9997
PYR	y= 2.166 X -0.0007	0.9994
BNT	y= 9.032 X -0.0393	0.9985
BcPH	y= 7.828 X -0.0305	0.9959
CPP	y= 2.843 X -0.0055	0.9994
BaA	y= 4.328 X -0.0125	0.9989
CHR	y= 30.599 X -0.1413	0.9979
BbF	y= 4.335 X -0.0066	0.9998
BkF	y= 2.308 X +0.0041	0.9955
BeP	y= 3.943 X -0.0037	0.9995
BaP	y= 1.930 X -0.0017	0.9997
IND	y= 1.538 X -0.0001	0.9983
DBA	y= 1.479 X -0.0054	0.9978
BghiP	y= 1.603 X -0.0013	0.9999
ANTHN	y= 0.792 X +0.0010	0.9975
DB(a,l)P	y= 0.454 X -0.0019	0.9989
COR	y= 0.663 X +0.0001	0.9961

表二、PAHs 檢量線公式(0.01~0.1mg/L) 及 R 值-CAL2

PAHs	檢量線公式	R 值
NAP	y= 3.047 X -0.0019	0.9996
2-MeNAP	y= 8.397 X -0.0356	0.9994
1-MeNAP	y= 9.036 X -0.0157	0.9998
ACPy	y= 12.848 X -0.0102	0.9996
ACP	y= 14.758 X -0.0022	0.9992
FLU	y= 9.505 X -0.0134	0.9996
1-MeFLU	y= 3.105 X -0.0021	0.9997
PHE	y= 2.997 X +0.0076	0.9982
ANTHR	y= 2.516 X -0.0064	0.9998
3-MePHE	y= 9.049 X -0.0587	0.9999
2-MePHE	y= 6.989 X -0.0472	0.9997
3,6-DMP	y= 1.447 X -0.0060	0.9960
FLT	y= 9.816 X -0.0462	0.9996
PYR	y= 11.462 X -0.0388	0.9997
BNT	y= 2.930 X -0.0095	0.9978
BcPH	y= 12.003 X -0.0399	0.9999
CPP	y= 2.323 X -0.0036	0.9999
BaA	y= 1.625 X -0.0126	0.9964
CHR	y= 36.676 X -0.2393	0.9994
BbF	y= 0.908 X -0.0026	0.9973
BkF	y= 1.950 X -0.0134	0.9956
BeP	y= 1.828 X +0.0007	0.9998
BaP	y= 1.188 X -0.0055	0.9981
IND	y= 2.401 X +0.0867	0.9972
DBA	y= 0.358 X -0.0019	0.9969
BghiP	y= 0.308 X -0.0028	0.9961
ANTHN	y= 0.749 X -0.0062	0.9965
DB(a,l)P	y= 0.343 X -0.0011	0.9957
COR	y= 0.204 X +0.0011	0.9985

表三、PAHs 檢量線公式(0.01~0.1mg/L) 及 R 值-CAL3

PAHs	檢量線公式	R 值
NAP	y= 3.679 X -0.0018	0.9998
2-MeNAP	y= 1.496 X -0.0008	0.9998
1-MeNAP	y= 1.403 X -0.0005	0.9997
ACPy	y= 3.085 X +0.0012	0.9988
ACP	y= 1.862 X +0.0003	0.9993
FLU	y= 2.537 X -0.0007	0.9994
1-MeFLU	y= 1.982 X -0.0011	0.9992
PHE	y= 2.474 X -0.0030	0.9991
ANTHR	y= 2.146 X -0.0051	0.9984
3-MePHE	y= 2.615 X -0.0039	0.9992
2-MePHE	y= 1.509 X -0.0017	0.9986
3,6-DMP	y= 1.192 X -0.0011	0.9991
FLT	y= 2.158 X -0.0027	0.9992
PYR	y= 2.816 X -0.0041	0.9992
BNT	y= 4.955 X -0.0238	0.9976
BcPH	y= 5.308 X -0.0228	0.9982
CPP	y= 1.678 X -0.0050	0.9978
BaA	y= 2.164 X -0.0113	0.9976
CHR	y= 3.287 X -0.0216	0.9952
BbF	y= 3.144 X -0.0134	0.9979
BkF	y= 1.552 X -0.0063	0.9977
BeP	y= 3.393 X -0.0112	0.9984
BaP	y= 1.006 X -0.0035	0.9976
IND	y= 1.097 X -0.0009	0.9974
DBA	y= 1.006 X -0.0046	0.9974
BghiP	y= 1.212 X -0.0024	0.9984
ANTHN	y= 0.562 X -0.0005	0.9987
DB(a,l)P	y= 0.323 X -0.0001	0.9985
COR	y= 0.452 X +0.0007	0.9961

表四、PAHs 檢量線公式(0.01~0.1mg/L) 及 R 值-CAL4

PAHs	檢量線公式	R 值
NAP	y= 3.014 X +0.0016	0.9999
2-MeNAP	y= 1.220 X +0.0003	0.9999
1-MeNAP	y= 1.128 X +0.0006	0.9999
ACPy	y= 2.874 X +0.0005	0.9998
ACP	y= 1.766 X +0.0015	0.9998
FLU	y= 2.558 X +0.0016	0.9998
1-MeFLU	y= 1.312 X +0.0003	0.9997
PHE	y= 4.637 X +0.0009	0.9998
ANTHR	y= 2.823 X -0.0062	0.9991
3-MePHE	y= 2.834 X -0.0036	0.9996
2-MePHE	y= 1.341 X -0.0004	0.9999
3,6-DMP	y= 1.156 X -0.0001	0.9993
FLT	y= 4.023 X -0.0062	0.9994
PYR	y= 3.001 X -0.0031	0.9994
BNT	y= 4.041 X -0.0054	0.9993
BcPH	y= 3.331 X -0.0050	0.9995
CPP	y= 0.588 X -0.0004	0.9980
BaA	y= 3.538 X -0.0162	0.9982
CHR	y= 9.447 X -0.0305	0.9995
BbF	y= 2.621 X -0.0092	0.9984
BkF	y= 3.249 X -0.0161	0.9973
BeP	y= 2.842 X -0.0086	0.9985
BaP	y= 2.282 X -0.0115	0.9954
IND	y= 1.657 X -0.0051	0.9971
DBA	y= 1.455 X -0.0051	0.9974
BghiP	y= 3.094 X -0.0079	0.9989
ANTHN	y= 0.873 X -0.0027	0.9954
DB(a,l)P	y= 0.993 X -0.0021	0.9991
COR	y= 1.208 X -0.0023	0.9993

表五、PAHs 檢量線公式(0.1~1mg/L) 及 R 值-CAL5

PAHs	檢量線公式	R 值
NAP	y= 3.401 X +0.0044	1.0000
2-MeNAP	y= 1.439 X -0.0004	0.9999
1-MeNAP	y= 1.282 X +0.0063	0.9998
ACPy	y= 3.210 X -0.0457	0.9999
ACP	y= 1.761 X +0.0173	0.9999
FLU	y= 2.285 X -0.0048	1.0000
1-MeFLU	y= 1.813 X -0.0202	0.9999
PHE	y= 2.808 X -0.0197	1.0000
ANTHR	y= 2.989 X -0.1166	0.9994
3-MePHE	y= 2.658 X -0.0596	0.9998
2-MePHE	y= 1.742 X -0.0279	1.0000
3,6-DMP	y= 1.251 X -0.0394	0.9996
FLT	y= 2.447 X -0.0975	0.9994
PYR	y= 2.831 X -0.1162	0.9994
BNT	y= 11.258 X -0.4196	0.9994
BcPH	y= 9.917 X -0.3750	0.9992
CPP	y= 3.730 X -0.1958	0.9974
BaA	y= 7.200 X -0.5224	0.9965
CHR	y= 41.426 X -1.6561	0.9993
BbF	y= 6.260 X -0.3339	0.9986
BkF	y= 4.076 X -0.2930	0.9967
BeP	y= 4.985 X -0.1760	0.9992
BaP	y= 2.801 X -0.1699	0.9968
IND	y= 1.971 X -0.0465	0.9995
DBA	y= 1.667 X -0.0414	0.9994
BghiP	y= 1.636 X -0.0109	0.9988
ANTHN	y= 0.347 X +0.0139	0.9980
DB(a,l)P	y= 0.584 X +0.0246	0.9989
COR	y= 0.832 X -0.0142	0.9980

表六、PAHs 檢量線公式(0.1~1mg/L) 及 R 值-CAL6

PAHs	檢量線公式	R 值
NAP	y= 2.929 X +0.0241	0.9998
2-MeNAP	y= 9.078 X -0.0828	1.0000
1-MeNAP	y= 9.032 X +0.0402	0.9995
ACPy	y= 12.310 X +0.0247	0.9999
ACP	y= 13.682 X +0.1324	0.9998
FLU	y= 10.736 X -0.2120	0.9998
1-MeFLU	y= 3.189 X -0.0137	0.9998
PHE	y= 3.064 X 0.0034	0.9999
ANTHR	y= 2.907 X -0.0581	0.9994
3-MePHE	y= 9.791 X -0.2320	0.9988
2-MePHE	y= 6.624 X -0.0128	0.9997
3,6-DMP	y= 2.246 X -0.1147	0.9995
FLT	y= 11.118 X -0.2834	0.9996
PYR	y= 11.769 X -0.1057	0.9997
BNT	y= 2.254 X +0.1090	0.9989
BcPH	y= 8.276 X +0.6148	0.9981
CPP	y= 2.934 X -0.1031	0.9984
BaA	y= 3.273 X -0.2542	0.9983
CHR	y= 26.387 X +1.6652	0.9983
BbF	y= 1.152 X -0.0560	0.9950
BkF	y= 3.328 X -0.1712	0.9995
BeP	y= 2.401 X -0.1129	0.9976
BaP	y= 2.515 X -0.1610	0.9989
IND	y= 0.344 X -0.0046	0.9963
DBA	y= 0.694 X -0.0627	0.9951
BghiP	y= 1.268 X -0.1038	0.9963
ANTHN	y= 0.963 X -0.0981	0.9962
DB(a,l)P	y= 0.234 X -0.0036	0.9993
COR	y= 0.238 X -0.0098	0.9987

表七、PAHs 檢量線公式(0.1~1mg/L) 及 R 值-CAL7

PAHs	檢量線公式	R 值
NAP	y= 3.342 X +0.0559	0.9995
2-MeNAP	y= 1.453 X +0.0138	0.9998
1-MeNAP	y= 1.314 X +0.0153	0.9995
ACPy	y= 2.885 X +0.0421	0.9998
ACP	y= 1.590 X +0.0415	0.9998
FLU	y= 2.296 X +0.0408	0.9998
1-MeFLU	y= 1.857 X +0.0250	0.9998
PHE	y= 2.398 X +0.0115	0.9998
ANTHR	y= 2.771 X -0.0865	0.9995
3-MePHE	y= 2.783 X -0.0177	0.9997
2-MePHE	y= 1.719 X -0.0271	0.9997
3,6-DMP	y= 1.362 X -0.0217	0.9996
FLT	y= 2.552 X -0.0490	0.9997
PYR	y= 3.292 X -0.0577	0.9997
BNT	y= 6.216 X -0.2272	0.9981
BcPH	y= 5.801 X -0.0732	0.9992
CPP	y= 3.044 X -0.2341	0.9968
BaA	y= 3.825 X -0.2378	0.9979
CHR	y= 4.127 X -0.1487	0.9981
BbF	y= 4.564 X -0.2097	0.9986
BkF	y= 2.699 X -0.1562	0.9982
BeP	y= 3.861 X -0.0568	0.9997
BaP	y= 1.687 X -0.1066	0.9980
IND	y= 1.551 X -0.0680	0.9980
DBA	y= 1.247 X -0.0487	0.9974
BghiP	y= 1.067 X +0.0131	0.9996
ANTHN	y= 0.517 X +0.0024	0.9994
DB(a,l)P	y= 0.228 X +0.0137	0.9995
COR	y= 0.337 X +0.0182	0.9983

表八、PAHs 檢量線公式(0.1~1mg/L) 及 R 值-CAL8

PAHs	檢量線公式	R 值
NAP	y= 2.762 X +0.0473	0.9993
2-MeNAP	y= 1.172 X +0.0107	0.9994
1-MeNAP	y= 1.062 X +0.0121	0.9994
ACPy	y= 3.079 X +0.0021	0.9994
ACP	y= 1.667 X +0.0291	0.9991
FLU	y= 2.448 X +0.0372	0.9993
1-MeFLU	y= 1.364 X +0.0043	0.9991
PHE	y= 4.361 X +0.0772	0.9992
ANTHR	y= 3.304 X -0.0434	0.9992
3-MePHE	y= 3.003 X +0.0039	0.9994
2-MePHE	y= 1.396 X -0.0024	0.9987
3,6-DMP	y= 1.401 X -0.0226	0.9993
FLT	y= 4.523 X -0.0274	0.9993
PYR	y= 3.520 X -0.0435	0.9993
BNT	y= 3.591 X +0.1176	0.9986
BcPH	y= 2.864 X +0.1088	0.9984
CPP	y= 0.920 X -0.0584	0.9962
BaA	y= 4.166 X -0.0232	0.9992
CHR	y= 7.761 X +0.3277	0.9986
BbF	y= 3.251 X -0.0553	0.9993
BkF	y= 3.810 X -0.0248	0.9994
BeP	y= 3.020 X +0.0065	0.9992
BaP	y= 3.840 X -0.1792	0.9994
IND	y= 2.450 X -0.0978	0.9990
DBA	y= 1.980 X -0.0678	0.9991
BghiP	y= 3.353 X -0.0028	0.9993
ANTHN	y= 1.709 X -0.1298	0.9982
DB(a,l)P	y= 1.595 X -0.0869	0.9981
COR	y= 1.236 X +0.0014	0.9991

表九、PAHs 檢量線公式及 R 值-CAL9

PAHs	檢量線公式	R 值	濃度
NAP	$y = 2.229 X + 3.4863$	0.9960	(1~20mg/L)
2-MeNAP	$y = 1.317 X + 0.0125$	0.9999	(0.1~2mg/L)
1-MeNAP	$y = 1.203 X + 0.0095$	0.9999	(0.1~2mg/L)

表十、PAHs 檢量線公式及 R 值-CAL10

PAHs	檢量線公式	R 值	濃度
NAP	$y = 2.092 X + 1.3684$	0.9983	(1~20mg/L)
2-MeNAP	$y = 0.837 X - 0.0010$	0.9992	(0.1~2mg/L)
1-MeNAP	$y = 0.749 X + 0.0156$	0.9995	(0.1~2mg/L)

表十一、PAHs 檢量線查核(%) 配置濃度與分析濃度單位皆為(mg/L)

Peak name	CAL1	CAL2	CAL3	CAL4	CAL5	CAL6	CAL7	CAL8
NAP	98.5%	100%	101%	102%	99.2%	102%	104%	104%
2-MeNAP	95.0%	96.8%	103%	101%	99.0%	99.1%	103%	103%
1-MeNAP	94.7%	101%	102%	102%	99.0%	97.8%	104%	103%
ACPy	89.1%	94.9%	98.6%	105%	98.4%	97.3%	98.8%	107%
ACP	96.8%	95.4%	98.9%	103%	101%	97.5%	97.5%	107%
FLU	92.7%	93.2%	102%	102%	100%	97.9%	98.6%	108%
1-MeFLU	94.4%	95.5%	101%	102%	99.7%	101%	98.8%	106%
PHE	95.8%	95.8%	103%	101%	99.6%	97.7%	99.5%	107%
ANTHR	86.0%	94.7%	109%	104%	97.2%	98.7%	102%	107%
3-MePHE	91.3%	93.2%	105%	102%	98.7%	92.4%	99.4%	107%
2-MePHE	92.0%	94.9%	107%	99.8%	98.8%	94.1%	101%	105%
3,6-DMP	87.2%	91.8%	103%	103%	96.2%	97.5%	98.3%	107%
FLT	86.4%	95.5%	102%	102%	95.8%	95.1%	99.0%	107%
PYR	85.3%	96.3%	101%	102%	95.4%	96.5%	98.9%	107%
BNT	115%	94.4%	112%	97.4%	105%	104%	100%	109%
BcPH	115%	95.9%	110%	97.8%	106%	107%	98.3%	109%
CPP	108%	95.7%	103%	98.8%	93.9%	96.4%	95.5%	104%
BaA	107%	103%	110%	91.3%	97.5%	96.1%	101%	108%
CHR	112%	94.1%	109%	93.7%	107%	105%	99.0%	108%
BbF	108%	99.1%	104%	95.8%	97.5%	95.2%	96.9%	108%
BkF	103%	115%	110%	96.7%	96.9%	97.0%	96.2%	108%
BeP	112%	101%	102%	96.9%	100%	97.1%	95.3%	109%
BaP	107%	110%	101%	94.9%	92.0%	93.1%	97.2%	108%
IND	115%	90.9%	98.3%	95.7%	92.2%	96.0%	91.9%	108%
DBA	111%	112%	110%	98.9%	95.9%	86.5%	92.6%	108%
BghiP	113%	101%	103%	97.0%	97.1%	85.6%	91.8%	109%
ANTHN	102%	103%	93.5%	98.4%	92.0%	87.8%	82.7%	110%
DB(a,l)P	103%	93.4%	94.0%	101%	102%	102%	89.2%	107%
COR	107%	108%	99.0%	96.2%	90.5%	101%	90.9%	109%

表十二、PAHs 檢量線查核(%)

Peak name	CAL9	CAL10
NAP	112.6%	107.7%
2-MeNAP	100.9%	105.3%
1-MeNAP	100.4%	106.3%

表十三、PAHs 樣品回收

PAHs	吸附套筒回收			TSP 濾紙回收		
	回收率 1	回收率 2	回收率 3	回收率 1	回收率 2	回收率 3
NAP	123%	103%	113%	84.0%	79.7%	81.7%
2-MeNAP	123%	103%	110%	91.3%	77.1%	85.4%
1-MeNAP	119%	116%	104%	78.0%	75.5%	85.1%
ACPy	109%	79.5%	87.4%	110%	115%	107%
ACP	109%	98.4%	86.3%	113%	116%	108%
FLU	118%	103%	93.0%	103%	114%	107%
1-MeFLU	110%	104%	94.9%	114%	117%	109%
PHE	108%	106%	96.9%	116%	119%	105%
ANTHR	109%	105%	97.3%	106%	123%	106%
3-MePHE	110%	107%	98.4%	121%	113%	108%
2-MePHE	110%	106%	98.1%	122%	114%	107%
3,6-DMP	115%	107%	98.9%	108%	114%	113%
FLT	110%	106%	98.1%	111%	121%	106%
PYR	116%	109%	100%	107%	114%	110%
BNT	85.1%	79.1%	80.9%	94.7%	98.6%	121%
BcPH	82.6%	86.5%	89.1%	112%	113%	119%
CPP	109%	107%	108%	102%	104%	119%
BaA	76.5%	94.3%	95.4%	118%	114%	116%
CHR	74.9%	83.9%	85.8%	106%	108%	112%
BbF	76.8%	90.0%	87.7%	119%	116%	106%
BkF	75.4%	97.0%	95.2%	108%	115%	105%
BeP	78.4%	93/3%	90.7%	113%	115%	106%
BaP	80.3%	104%	100%	114%	113%	105%
IND	76.1%	102%	83.4%	120%	118%	94.3%
DBA	74.7%	78.7%	81.8%	125%	118%	91.8%
BghiP	81.9%	98.3%	83.5%	119%	119%	90.5%
ANTHN	81.9%	111%	111%	96.9%	103%	86.2%
DB(a,l)P	79.3%	117%	90.3%	116%	119%	120%
COR	113%	89.9%	80.3%	116%	120%	103%

表十四、PAHs 樣品回收

PAHs	土壤樣品回收			投影片樣品回收	
	回收率 1	回收率 2	回收率 3	回收率 1	回收率 2
NAP	93.2%	96.4%	88.1%	85.4%	74.8%
2-MeNAP	98.1%	102%	92.2%	89.0%	78.5%
1-MeNAP	99.3%	102%	92.4%	91.0%	83.4%
ACPy	92.0%	93.5%	86.7%	104%	82.9%
ACP	92.6%	93.3%	85.7%	106%	90.4%
FLU	94.4%	94.6%	87.3%	103%	86.7%
1-MeFLU	97.2%	96.7%	89.7%	108%	93.1%
PHE	96.8%	97.2%	88.6%	99.2%	78.2%
ANTHR	94.3%	93.6%	87.5%	79.5%	76.1%
3-MePHE	101%	99.7%	92.8%	91.4%	88.8%
2-MePHE	97.7%	97.1%	89.8%	92.6%	80.1%
3,6-DMP	103%	103%	96.1%	109%	96.5%
FLT	101%	102%	94.0%	105%	84.1%
PYR	102%	102%	95.1%	106%	86.4%
BNT	92.8%	91.0%	84.0%	91.8%	86.4%
BcPH	92.1%	90.2%	82.6%	107%	98.7%
CPP	105%	107%	95.9%	108%	96.8%
BaA	98.1%	96.0%	89.2%	83.7%	81.1%
CHR	96.2%	93.6%	87.1%	83.4%	78.5%
BbF	98.3%	95.7%	89.4%	97.4%	87.4%
BkF	96.6%	93.2%	88.3%	88.6%	80.5%
BeP	99.6%	94.2%	87.3%	110%	96.1%
BaP	99.7%	98.5%	92.3%	92.9%	82.3%
IND	104%	101%	93.7%	99.1%	81.0%
DBA	106%	104%	96.4%	88.5%	78.2%
BghiP	99.6%	98.2%	89.1%	105%	84.0%
ANTHN	80.9%	84.6%	85.9%	74.6%	75.0%
DB(a,l)P	111%	110%	101%	103%	76.6%
COR	108%	106%	96.5%	105%	117%

表十五、PAHs 樣品重複分析結果

PAHs	吸附套筒樣品			TSP 濾紙樣品		
	相對誤差 1	相對誤差 2	相對誤差 3	相對誤差 1	相對誤差 2	相對誤差 3
NAP	1.25%	12.1%	10.5%	12.3%	5.71%	4.68%
2-MeNAP	14.8%	10.8%	14.6%	11.0%	2.85%	6.56%
1-MeNAP	12.9%	10.4%	11.5%	11.0%	9.32%	6.77%
ACPy	6.27%	10.1%	12.2%	7.3%	14.3%	0.78%
ACP	12.6%	5.78%	9.22%	9.6%	15.2%	3.97%
FLU	9.50%	9.11%	8.64%	10.5%	12.7%	3.11%
1-MeFLU	8.13%	12.4%	9.25%	9.3%	15.1%	1.17%
PHE	8.79%	12.2%	9.06%	10.1%	7.39%	4.03%
ANTHR	6.76%	11.1%	7.60%	11.6%	2.32%	3.25%
3-MePHE	8.04%	12.7%	8.03%	7.1%	12.4%	4.48%
2-MePHE	7.86%	11.9%	8.00%	5.5%	13.5%	3.79%
3,6-DMP	7.82%	12.4%	7.89%	10.2%	13.3%	5.81%
FLT	7.84%	12.5%	7.57%	13.0%	9.18%	1.72%
PYR	10.1%	13.3%	8.27%	12.3%	13.3%	4.65%
BNT	1.17%	4.12%	2.31%	12.2%	1.39%	0.56%
BcPH	0.35%	4.58%	2.93%	12.1%	12.2%	0.62%
CPP	3.13%	4.00%	0.53%	11.9%	3.57%	0.96%
BaA	2.83%	4.46%	1.22%	9.4%	13.1%	0.29%
CHR	1.67%	5.68%	2.27%	10.1%	7.27%	0.58%
BbF	2.53%	14.4%	2.57%	11.1%	15.2%	0.68%
BkF	2.19%	11.8%	1.85%	11.7%	14.1%	3.09%
BeP	4.44%	11.3%	2.79%	10.8%	14.2%	1.69%
BaP	6.00%	7.61%	4.00%	10.4%	12.0%	0.18%
IND	1.16%	14.7%	12.0%	12.7%	6.13%	0.48%
DBA	1.67%	11.3%	15.4%	8.0%	6.16%	1.45%
BghiP	5.88%	15.3%	12.3%	11.4%	13.9%	0.82%
ANTHN	14.0%	9.88%	13.8%	13.8%	3.35%	10.3%
DB(a,l)P	1.10%	6.24%	13.5%	9.7%	12.9%	0.10%
COR	1.25%	0.20%	11.2%	10.4%	15.3%	1.54%

表十六、PAHs 樣品重複分析結果

PAHs	土壤樣品		投影片樣品
	相對誤差 1	相對誤差 2	相對誤差
NAP	3.30%	8.71%	6.31%
2-MeNAP	3.77%	9.92%	7.47%
1-MeNAP	3.10%	10.3%	7.86%
ACPy	1.64%	7.55%	12.1%
ACP	0.74%	8.53%	10.3%
FLU	0.23%	6.07%	13.1%
1-MeFLU	0.44%	0.85%	14.6%
PHE	0.40%	1.60%	9.77%
ANTHR	0.68%	0.82%	8.05%
3-MePHE	0.83%	3.34%	1.50%
2-MePHE	0.54%	3.42%	8.95%
3,6-DMP	0.19%	3.69%	12.1%
FLT	0.28%	4.07%	15.0%
PYR	0.05%	4.02%	14.9%
BNT	1.93%	3.59%	6.01%
BcPH	2.08%	4.39%	7.53%
CPP	1.59%	5.89%	11.3%
BaA	2.14%	4.37%	3.25%
CHR	2.74%	4.03%	2.47%
BbF	2.73%	6.08%	10.9%
BkF	3.54%	5.75%	9.66%
BeP	5.56%	6.03%	13.2%
BaP	1.28%	5.10%	12.1%
IND	2.48%	6.70%	13.2%
DBA	2.49%	7.13%	12.8%
BghiP	1.40%	6.71%	13.5%
ANTHN	4.45%	13.9%	3.52%
DB(a,l)P	0.51%	5.48%	10.8%
COR	1.40%	5.71%	11.2%

科技部補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現（簡要敘述成果是否有嚴重損及公共利益之發現）或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

- 達成目標
 未達成目標（請說明，以 100 字為限）
 實驗失敗
 因故實驗中斷
 其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

- 論文：已發表 未發表之文稿 撰寫中 無
專利：已獲得 申請中 無
技轉：已技轉 洽談中 無
其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性），如已有嚴重損及公共利益之發現，請簡述可能損及之相關程度（以 500 字為限）

本計畫已建立大里工業區、台灣體育大學與近郊城市后里地區其 TSP、PM_{2.5}、氣態及土壤中 PAHs 濃度之基本資料，使用統計方法成對樣本 t-test，推論大里地區為熱島中心，且比較三地區間 TSP、PM_{2.5}、氣態及土壤中 PAHs 其濃度、組成及特徵比值之差異，探討熱島效應影響之差異，FESEM 及 EDS 元素分析技術創新觀察 TSP 之表面形態及組成成份，發現熱島效應強弱對於微粒組成成份影響甚大。再以氣固分佈模式推估三地區間 PAHs 之氣固分佈係數，評估三地區在熱島中心與熱島效應弱的地區其氣態與固態 PAHs 之濃度分佈達到平衡之狀態，熱島效應強或熱島強度大可能導致 PAHs 沉降吸附至土壤中為主要趨勢。

4. 主要發現

本研究具有政策應用參考價值： 否 是，建議提供機關_____

(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)

本研究具影響公共利益之重大發現：否 是

科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2016/10/31

科技部補助計畫	計畫名稱: 都市熱島效應對PAHs在氣/固態分配及逸散比值之影響
	計畫主持人: 郭崇義
	計畫編號: 104-2111-M-040-002- 學門領域: 大氣化學
無研發成果推廣資料	

104年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：郭崇義			計畫編號：104-2111-M-040-002-				
計畫名稱：都市熱島效應對PAHs在氣/固態分配及逸散比值之影響							
成果項目			量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)		
國內	學術性論文	期刊論文		0	篇	未發表之文稿撰寫彙整中,待發表研討會論文一篇	
		研討會論文		1			
		專書		0	本		
		專書論文		0	章		
		技術報告		0	篇		
		其他		0	篇		
	智慧財產權及成果	專利權	發明專利	申請中	0	件	
				已獲得	0		
			新型/設計專利		0		
		商標權		0			
		營業秘密		0			
		積體電路電路布局權		0			
		著作權		0			
		品種權		0			
		其他		0			
	技術移轉	件數		0	件		
		收入		0	千元		
	國外	學術性論文	期刊論文		1	篇	未發表之文稿撰寫彙整中,待發表國際期刊一篇
			研討會論文		0		未發表之文稿撰寫彙整中,考量經費因素待決定是否發表國際研討會論文一篇
專書			0	本			
專書論文			0	章			
技術報告			0	篇			
其他			0	篇			
智慧財產權及成果		專利權	發明專利	申請中	0	件	
				已獲得	0		
			新型/設計專利		0		
		商標權		0			
		營業秘密		0			
		積體電路電路布局權		0			

		著作權	0		
		品種權	0		
		其他	0		
	技術移轉	件數	0	件	
		收入	0	千元	
參與計畫人力	本國籍	大專生	3	人次	大學部參與學生：林韻庭、楊春霞以及陳盈君，三人協助計畫採樣，林韻庭現就讀交通大學環工所。
		碩士生	1		碩士班參與研究生：陳俊宇以及謝坤龍，二人協助計畫採樣與PAHs分析與GC/MS上機，陳俊宇現已畢業於食藥署擔任替代役人員。
		博士生	0		
		博士後研究員	1		博士後研究員：許豪麟，執行採樣規畫、數據分析及報告撰寫。
		專任助理	1		專任研究助理人員：魏千岱以及兼任研究助理人員：溫敬峰與鄭芷茵，三人協助計畫採樣與PAHs分析與GC/MS上機分析彙整。
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)					

科技部補助專題研究計畫成果自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現（簡要敘述成果是否具有政策應用參考價值及具影響公共利益之重大發現）或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以100字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形（請於其他欄註明專利及技轉之證號、合約、申請及洽談等詳細資訊）

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以200字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性，以500字為限）

本計畫已建立大里工業區、台灣體育大學與近郊城市后里地區其TSP、PM2.5、氣態及土壤中PAHs濃度之基本資料，使用統計方法成對樣本t-test，推論大里地區為熱島中心，且比較三地區間TSP、PM2.5、氣態及土壤中PAHs其濃度、組成及特徵比值之差異，探討熱島效應影響之差異，FESEM及EDS元素分析技術創新觀察TSP之表面形態及組成成份，發現熱島效應強弱對於微粒組成成份影響甚大。再以氣固分佈模式推估三地區間PAHs之氣固分佈係數，評估三地區在熱島中心與熱島效應弱的地區其氣態與固態PAHs之濃度分佈達到平衡之狀態，熱島效應強或熱島強度大可能導致PAHs沉降吸附至土壤中為主要趨勢。

4. 主要發現

本研究具有政策應用參考價值： 否 是，建議提供機關

（勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關）

本研究具影響公共利益之重大發現： 否 是

說明：（以150字為限）