

# 中國醫藥大學

碩士論文

編號：IEH-1708

中部科學工業園區附近居民室內外空氣中苯、  
甲苯、乙苯與二甲苯濃度與苯生物偵測及  
氧化性指標之相關性

**Correlation between indoor and outdoor BTEX levels  
and biomarkers of benzene metabolite and oxidative  
stress among residents in the vicinity of Central Taiwan  
Science Park**

所 別：環境醫學研究所

指導教授：郭憲文

學 生：吳采容 Wu Tsai-Jung

學 號：9465008

中 華 民 國 九 十 六 年 七 月

## 誌 謝

很快的研究所生活結束了，經過這二年的洗禮，無論是課業上、邏輯思考或是做人處事上皆成長許多，在此，先感謝每一位曾幫助我成長的人，如果沒有你們，我無法順利達成這個目標的。

首先要感謝我的指導老師—郭憲文教授，老師在學術上的熱忱堅持、專注投入的精神非常值得學生學習，您總是不吝將自己寶貴的經驗及知識傳授給學生，且在最後階段不惜付出許多時間為學生修改論文，謝謝您這二年來的教導。

更感謝中山醫學大學郭崇義老師及逢甲大學張立德老師在百忙中抽空提供論文的指導，您的意見讓我的論文更完整。此外，非常感謝上準環境科技股份有限公司提供儀器及實驗上之協助，使實驗得以順利完成。

很幸運在這兩年身邊都有一群支持我的學長姊、同學及學妹，在遇到困難挫折時能不放棄繼續的走下去，陳醫師、錦蓉姊及佳璘辦公室有你們而熱鬧許多；舒婷學姊、玟陵學姊、鈺芳姊、麗菁姊及珮珊在苦悶時帶給我歡樂，瑜伶的陪伴一起加油打氣衝過最後關頭，我永遠會記得這些美好的時光，還有元佑對我極包容和體諒，有你們真好！

最後要感謝從小到大栽培我的爸媽及一起成長的弟弟，在背後的支持是我前進的最大動力，感謝之語無法言喻，雖然這只是人生中一份小小的榮耀，僅以此獻給你們，願你們永遠健康快樂。

采容 2007年夏



## 摘 要

行政院於民國 91 年正式核定興建中部科學工業園區建設計畫，但產業亦可能產生揮發性有機溶劑(volatile organic compounds, VOCs)造成附近環境之污染，其中以 BTEX 中苯(benzene)、甲苯(toluene)、乙苯(ethylbenzene)及二甲苯(xylene)較常見。此苯環類之有機溶劑具有高度的揮發性，可經由吸入、皮膚接觸進入人體易引起頭痛、噁心、暈眩、神經系統及協調功能減弱。苯進入人體部份會經代謝產生 *t,t*-MA，可做為苯代謝之生物指標。

為了瞭解附近居民暴露空氣中 BTEX 之濃度，本研究主要目的為探討中部科學工業園區正式量產或增加附近交通流量後，與中科附近居民暴露室內空氣中 BTEX 濃度與其苯代謝產物生物測定之相關性。以問卷訪視 193 名中科附近居民(暴露組)及 80 名新社鄉居民(對照組)，問卷內容包括基本資料、生活習慣、居家環境，並收集其尿液。並從上述中科附近居民中徵求自願家庭作為居家室內、外空氣中 BTEX 濃度之測定、同時偵測尿中苯代謝物 *t,t*-MA 與 8-羥基去氧鳥糞嘌呤核糖(8-OHdG)做為氧化性傷害指標。

研究結果顯示中科南、北區居民及對照地區居民，在年齡、教育程度、有顯著性差異，中科南、北區居民與對照地區居民尿中 *t,t*-MA 之中位數濃度分別為 34.72  $\mu\text{g/L}$ 、18.55  $\mu\text{g/L}$ 、22.97  $\mu\text{g/L}$ ，經肌酐酸校正後

為  $41.16 \mu\text{g/g cre.}$ 、 $20.10 \mu\text{g/g cre.}$ 、 $19.33 \mu\text{g/g cre.}$ ，在三個地區居民 *t,t*-MA 濃度均有統計上顯著差異 ( $p < 0.05$ )。在調整性別、年齡、吸菸習慣後三地區居民，居民尿中 *t,t*-MA 之濃度亦有統計上顯著差異 ( $p < 0.05$ )。此外，中科附近居民室內空氣中 BTEX 濃度範圍為 2.44-40.61ppb，室外濃度範圍為 2.21-37.58ppb，且室內、外有良好之相關 ( $r > 0.66$ )。而中科附近居民尿中 *t,t*-MA 濃度與 8-OHdG 濃度亦有統計上相關性。但中科地區採樣家戶室內空氣苯濃度與其尿中 *t,t*-MA 濃度並無統計上相關。因此，環保署及相關單位應持續監測中科附近的環境污染物及居民健康風險評估之資料，以作為加強國內科學園區附近環境保護之改善，並有效提升國人居住品質之參考。

**關鍵字：**苯、甲苯、乙苯、二甲苯、8-羥基去氧鳥糞嘌呤核糖、*t,t*-MA

## Abstract

Most high technological industry parks located in northern and southern areas of Taiwan. In order to promote island wide economic development, the government established a program of Central Taiwan Scientific Park (CTSP) in 2002 to upgrade the industry in Central Taiwan. Volatile Organic Compounds (VOCs) used in industrial process or emitted industrial manufacturing, may have harmful health effects for human. BTEX stands chemicals for benzene, toluene, ethylbenzene and xylene heavily used in high-tech industries. Benzene is used in the chemical and plastic synthetically manufacturing. Workers may exposed to this highly volatile aromatic compound via respiratory absorption or skin contact and have adverse health effects including headache, nausea, dizzy, and weakness in the heart muscle and coordination. Urinary *t,t*-MA levels which is metabolized by the liver transformation was acted as a biomarker of the exposure to benzene. 8-OHdG was used to a biomarker of the oxidative stress to DNA. Based on the Hsin-Chu Scientific Park, 35% volatile solvent in all pollutants were emitted during the process of park development. The objectives of this study are to assess the exposure of BTEX in the indoor air and the biological monitoring of benzene (*t,t*-MA) in the living the vicinity of CTSP. 193 residents in the exposure area and 80 residents in control area were selected and interviewed by a structured questionnaire which included demographic information, life style and environmental factors etc. Urine specimens of participants were simultaneously collected and analyzed the *t,t*-MA and 8-OHdG levels. Five houses in the vicinity of CTSP were assessed the concentrations of BTEX in indoor and outdoor air by measuring the GC-FID.

Results showed age and education level of residents were significant

difference in the three areas. Medians of urinary *t,t*-MA levels in southern, northern and control areas were 34.72 $\mu$ g/L、18.55 $\mu$ g/L and 22.97 $\mu$ g/L, respectively. Using a multiple regression model was used after adjustment of age, gender and smoking to determine in the urinary *t,t*-MA adjusted for urinary creatinine levels, were found a significant difference in three areas' residents ( $p < 0.05$ ), which were 41.16 $\mu$ g/g cre., 20.10 $\mu$ g/g cre. And 19.33 $\mu$ g/g cre. BTEX concentrations were measured using passive samplers and found in the indoor air for 2.44 to 40.61ppb and the outdoor air for 2.21-37.58ppb. A good correlation between in the indoor and outdoor air of BTEX was found but it was not associated with urinary *t,t*-MA levels. There is significant association between the urinary *t,t*-MA and 8-OHdG levels in the residents in the living vicinity of CTSP. It is necessary to periodical monitoring of VOCs emitted form the manufacturing processes of CTSP in order to prevent form the exposure to hazardous materials among residents in the living vicinity of CTSP

**Keywords :** benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, 8-OHdG, *t,t*-MA,  
indoor air

## 【目 錄】

誌 謝	I
中文摘要	III
英文摘要	V
目 錄	VII
表目錄	X
圖目錄	XII
附圖目錄	XIII
第一章、緒 論	1
第一節、研究背景與研究動機	1
第二節、研究目的	3
第二章、文獻探討	4
第一節、中部科學工業園區背景資料	4
第二節、VOCs 之暴露評估	6
第三節、相關研究查證	17
第三章、材料與方法	33
第一節、研究方法	33

第二節、研究對象-----	35
第三節、問卷之調查-----	38
第四節、空氣中 BTEX 濃度之測定-----	39
第五節、尿中苯代謝物之測定-----	45
第六節、尿中氧化性指標 8-OHdG 之測定-----	48
第七節、資料統計與分析-----	51
第四章、研究結果-----	52
第一節、中科附近居民問卷調查及生物偵測-----	52
第二節、中科附近家戶空氣中 BTEX 濃度、尿中 <i>t,t</i> -MA 及 8-OHdG 濃 度之比較-----	55
第三節、比較中科附近居民及環境採樣家戶居民尿中 <i>t,t</i> -MA 之濃度 -----	61
第四節、中科附近家戶室內空氣中 BTEX 濃度及居民尿中 <i>t,t</i> -MA 與 8-OHdG 之相關矩陣-----	62
第五節、室外 BTEX 濃度推估室內 BTEX 濃度之預測模式-----	63
第五章、討 論-----	65
第一節、樣本代表性-----	65
第二節、空氣中 BTEX 之採樣方法與結果及影響因素-----	68
第三節、尿中 <i>t,t</i> -MA、8-OHdG 之濃度與結果及影響因素-----	75

第四節、空氣中BTEX濃度與尿中 <i>t,t</i> -MA 與 8-OHdG 濃度之相關-----	81
第五節、研究限制與未來研究方向-----	83
第六章、結論與建議-----	85
第一節、結    論-----	85
第二節、建    議-----	86
參考文獻-----	87



## 【表目錄】

表一、中科南區、北區及對照地區居民基本資料及生活習慣之比較-----	95
表二、比較中科南區、北區及對照地區居民居家環境之特性-----	96
表三、比較中科南區、北區及對照地區居民尿中 <i>t,t</i> -MA 之濃度-----	97
表四、中科南、北區及對照地區居民尿中 <i>t,t</i> -MA 濃度之單變項線性及邏輯斯迴歸分析-----	98
表五、中科南、北區及對照地區居民尿中 <i>t,t</i> -MA 濃度之多變項及邏輯斯迴歸分析*-----	99
表六、本研究空氣採樣家戶及研究室之室內環境之特性-----	100
表七、空氣採樣家戶及研究室室內、外氣象之條件-----	101
表八、空氣採樣家戶及研究室室內、外環境空氣採樣 BTEX 之濃度-----	102
表九、中科附近家戶室內、外空氣中 BTEX 濃度之比較-----	103
表十、一月份及三月份中科附近家戶空氣中室內外 BTEX 濃度之比較-----	104
表十一、中科附近家戶與某大學研究室室內環境空氣中 BTEX 濃度之比較-----	105
表十二、中科附近家戶不同室內微環境空氣中 BTEX 濃度之比較-----	106
表十三、比較中科附近家戶家中吸菸與否空氣中 BTEX 之濃度-----	107
表十四、比較中科附近家戶高、低樓層之空氣中 BTEX 之濃度-----	108
表十五、中科附近家戶室內、外空氣中 BTEX 濃度之比值(I/O)-----	109

表十六、中科附近家戶家中吸菸對室內、外空氣中 BTEX 比值之比較---	110
表十七、比較中科家戶高、低樓層室內、外空氣中 BTEX 之比值-----	111
表十八、大學研究室室內環境 BTEX 濃度及研究生個人暴露 BTEX 濃度 之比較-----	112
表十九、比較中科家戶居民一月及三月 <i>t,t</i> -MA 及 8-OHdG 之濃度-----	113
表二十、比較中科附近居民吸菸者及非吸菸者尿中 <i>t,t</i> -MA 及 8-OHdG 之 濃度-----	114
表二十一、比較中科附近居民及大學研究生尿中 <i>t,t</i> -MA 及 8-OHdG 之濃 度-----	115
表二十二、比較中科附近居民及環境採樣家戶居民 <i>t,t</i> -MA 之濃度-----	116
表二十三、中科附近家戶室內空氣中 BTEX 濃度之相關矩陣(N=30)----	117
表二十四、中科附近居民 <i>t,t</i> -MA 與 8-OHdG 濃度之相關矩陣(N=23)-----	118
表二十五、室外 BTEX 濃度推估室內 BTEX 濃度之不同迴歸預測模式 -----	119

## 【圖目錄】

圖一、中科附近家戶室內、外空氣中BTEX濃度之相關圖-----120



## 【附圖目錄】

附圖一、苯的代謝過程圖-----	11
附圖二、氧化性傷害指標 8-OHdG-----	16
附圖三、中部科學園區研究對象分布圖-----	37



# 第一章、緒 論

## 第一節、研究背景與研究動機

行政院於民國 91 年 9 月正式核定中部科學工業園區建設計畫，以促進中部產業升級，預計將創造國內 2000 億元產值及五萬名以上就業機會。中部科學工業園區(簡稱中科)分成三大廠區分別包括台中園區、虎尾園區及后里園區，開發至今已邁入第三期擴建，預計於民國 101 年開發完成相關建設。本研究主要研究範圍以台中基地為主，其總面積為 413 公頃，座落於台中縣大雅鄉及台中市西屯區交界處，交通便利，以光電、精密機械及積體電路產業為主要開發產業，截至 2007 年五月已有八十七家廠商登記進駐。

根據新竹科學工業園區過去相關的資料，高科技產業所排放之空氣污染物主要為揮發性有機化合物(Volatile Organic Compounds, VOCs)、無機酸、鹼氣體為主，推估每年 VOCs 排放總量達 3964 公噸，佔總排放量之 35%<sup>(1)</sup>。此外，由於廠商的進駐及生產線的量產的增加，亦大幅提高週邊主要幹道車流量，更造成中部科學工業園區附近環境芳香化合物濃度的增加，使得附近居民健康造成威脅。

在許多的揮發性有機化合物中，苯已被證實會導致白血病，國際癌研究中心(International Agency for Research on Cancer, IARC)將苯列為第

一類人類致癌物(Group 1)，因此評估中科附近空氣中苯含量是刻不容緩的。除利用環境測定瞭解居民暴露的情形，亦可使用生物偵測量測苯在生物檢體有害物或代謝物的量，以彌補環境偵測之不足。近年之研究<sup>(2)</sup>顯示 phenol, catechol, hydroquinone, *t,t*-MA, *S*-PMA 均曾做為苯代謝生物指標，其中以 *t,t*-MA 及 *S*-PMA 之敏感度及特異度較佳。

許多研究<sup>(3)</sup>均指出含氧自由基(Reactive Oxygen Species, ROS)會使人體內 DNA 造成氧化性的損傷，進而造成基因突變形成癌症，其中 8-羥基去氧鳥糞嘌呤核糖(8-hydroxy-2'-deoxyguanosine, 8-OHdG)常做為人體內 ROS 造成 DNA 損傷後之生物指標。

比起過去傳統工業區揮發性有機物暴露濃度之研究，較少針對高科技產業所產生之空氣污染物。因此若能在中科營運初期，評估園區開發過程可能對附近環境污染帶來的影響，或及早建立鄰近居民暴露之背景濃度值，對日後更多廠商進駐時能進一步釐清中部科學工業園區產業所產生污染物對附近環境影響之貢獻量。

本研究是以中科附近居民為研究對象，檢測附近居民及對照地區尿中苯的代謝產物 *trans,trans*-muconic acid (*t,t*-MA)之濃度。此外，為了解中科附近居民在室內暴露於 VOCs 污染物之情形，亦可評估此地區家戶居家室內外苯、甲苯、乙苯、二甲苯(Benzene, Toulene, Ethylbenzene, Xylene 合稱 BTEX)及其尿中 *t,t*-MA 與 DNA 氧化性指標 8-OHdG 之相關性。

## 第二節、研究目的

- 1.比較中部科學工業園區台中園區及對照地區附近居民尿中苯代謝物之濃度。
- 2.調查中科台中園區附近家戶居家室內、外空氣中 BTEX 濃度，並瞭解兩者濃度之相關性。
- 3.分析中科台中園區附近家戶尿中苯代謝物及氧化性傷害產物之濃度。
- 4.比較中科台中園區附近家戶尿中苯的代謝物及 DNA 氧化性產物與室內空氣苯濃度之相關性。
- 5.建立中科台中園區附近居民居家室內 BTEX 濃度分布、尿中苯代謝產物及 DNA 氧化性傷害指標之背景資料參考。



## 第二章、文獻探討

### 第一節、中部科學工業園區背景資料

中部科學工業園區目前已陸續有 10 家光電廠、5 家半導體廠、10 家精密機械、9 家電腦周邊及其他園區事業廠商，總計 34 家廠登記設廠並量產，其設置產業別與新竹科學園區皆為高科技產業，產生的污染物應與竹科相似，以下為竹科製程及相關活動污染源之排放加以說明：

固定污染源(stationary emission source)主要為工業製程之排放，根據新竹科學園區產業，以積體電路產業排放污染問題最為嚴重，其主要製程為電路設計、光罩製作、晶圓製造、封裝及測試，整個製程中以晶圓製造過程最為繁複，主要製程中包括了矽晶成長、切片、光阻塗佈、曝光、顯影、蝕刻、清洗等，製作過程使用大量危害性化學物質，如酸鹼氣體、金屬及有機溶劑。

積體電路製程中幾乎每個步驟都使用有機溶劑，尤其在黃光區中光阻液清洗、濕像液清除、蝕刻液清除及晶圓清洗等均使用大量有機溶劑，如丙酮、三氯甲烷、三氯乙烷、甲醇、乙醇、苯、甲苯、二甲苯等，藉由空氣逸散或以廢水形式排出。新竹市環保局(2006)<sup>(4)</sup>曾針對竹科等6家廠商進行VOCs檢測，初步分析以丙酮為最大峰值、苯、乙苯、甲苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯、對-二甲苯為次峰值主要排放污染物。依固定污染

源空氣污染物排放標準<sup>(5)</sup>規定，大氣周界空氣中苯、甲苯、二甲苯之排放標準為0.5ppm、2 ppm及2 ppm。



## 第二節、VOCs 之暴露評估

評估人體暴露到污染物之程度，可利用環境測定(environmental monitoring)及生物偵測(biological monitoring)，以瞭解環境中污染物之分布情形並進一步評估體內吸收劑量及可能造成之健康危害。

### 一、環境空氣中 BTEX 之測定

#### (一) BTEX 之特性、暴露來源、用途及危害

苯(benzene)在美國化學文摘服務社登記號碼(Chemical Abstracts Service, CAS. No.)00071-43-2，化學式 $C_6H_6$ ，分子量 78，比重 0.877，無色具芳香味，常溫下為液態，溶於醇類、醚類、丙酮、二硫化碳等，難溶於水，其沸點  $80^{\circ}C$ 、熔點  $5.5^{\circ}C$ 、在  $20^{\circ}C$  下蒸氣壓為 75mmHg<sup>(6)</sup>。工業上苯常用來製成其他的化學物質，如：苯乙烯、異丙苯及環己烷，亦用來製成各式橡膠、染料、潤滑油、清潔劑及殺蟲劑等，其暴露來源為工廠排放、汽油、汽機車排放、香菸。經由吸入、皮膚接觸進入人體，引起神經系統、心肌衰弱及協調功能減弱。Lan 等人<sup>(7)</sup> 研究指出長期暴露於苯環境，人體內之白血球、血小板、T細胞、B細胞等數目的減少，促使血癌的發生。苯之八小時日時量平均容許濃度(TWA)為 5ppm、短時間時量平均容許濃度(STEL)為 10ppm，IARC癌症分類為第一類，有充分證據證明為人類致癌物<sup>(8)</sup>。

甲苯(toluene)之 CAS. No # 00108-88-3，化學式  $C_7H_8$ ，分子量 92.14，比重 0.865，似苯之芳香味，為無色液體，可溶於醇、醚、丙酮、二硫化碳等，微溶於水，其沸點  $110.6^{\circ}C$ 、熔點  $-95^{\circ}C$ 、在  $20^{\circ}C$  下蒸氣壓為 22 mmHg。甲苯廣泛使用於工業界，為汽油、塗料、稀釋劑、黏著劑、橡膠等原料，經由吸入蒸氣、皮膚接觸進入人體，可能引起疲勞和暈眩、抑制中樞神經系統，導致無意識和死亡，其八小時日時量平均容許濃度為 100ppm、短時間時量平均容許濃度為 125ppm。在 IARC 癌症分類為第三類-無法辨斷是否會造成癌症。

乙苯(ethylbenzene) CAS. No # 00100-41-4，化學式  $C_8H_{10}$ ，分子量 106.16，比重 0.866，無色液體具芳香味，不溶於水，其沸點  $136.1^{\circ}C$ 、在  $20^{\circ}C$  下蒸氣壓為 9.6mmHg。乙苯為製造苯乙烯前驅物、合成橡膠的製造、稀釋劑、燃料之成份。主要暴露途徑為吸入及皮膚接觸，對人體產生頭痛、噁心、疲勞、無意識和可能引起死亡。八小時日時量平均容許濃度為 100ppm、短時間時量平均容許濃度為 125ppm，IARC 癌症分類為 2B 疑似人類致癌物。

二甲苯(xylene) 由三種同分異構物組成包括鄰-二甲苯、間-二甲苯及對-二甲苯，CAS. No # 01330-20-7，化學式  $C_8H_{10}$ ，分子量 106.16，比重 0.866，具芳香味之無色液體，不溶於水，其沸點  $137^{\circ}C$ 、在  $20^{\circ}C$  下蒸氣壓為 6mmHg。二甲苯主要來源為甲酸原料、塗料、黏著劑、殺蟲劑、航

空汽油等，吸入蒸氣或皮膚接觸後引起的健康危害如頭痛、嘔吐、器官協調功能降低、失去知覺，長期暴露可能引起肝臟和腎臟損害。八小時日時量平均容許濃度及短時間時量平均容許濃度和甲苯、乙苯相同分別為 100ppm 及 125ppm，IARC 癌症分類為第三類-無法辨斷其致癌性。

## (二)空氣 VOCs 採樣方法之比較

測定空氣中揮發性有機物濃度之方法可分為全空氣採樣法及介質採樣法，全空氣採樣法如不銹鋼筒、採集袋、採集瓶，而介質採樣法如以活性碳管、矽膠管及熱脫附管的固體採樣介質，或以衝擊瓶加上吸收液的方法，以採樣泵浦的主動式採樣或是利用擴散方式的被動式採樣方法。選擇合適的採樣方法必須考慮污染物之特性、空氣中之濃度、及可行性，以下就不同採樣加以說明：

### 1.全空氣採樣法

採樣之空氣樣本不需經過前處理直接分析採集之樣本，常用的採樣儀器為不銹鋼筒(canister)，其優點為偵測極限低、可分析上萬種未知物、採樣速度快、樣本可重複分析、容器可重複使用，其缺點為採樣體積受限於容器容量、樣本完全分離需使用不同之分析方法相對花費時間較長，樣本的儲存是一問題，此外價格昂貴、體積大不易攜帶。

## 2.介質採樣法

以充填固體採樣介質，如活性碳管、矽膠管及熱脫附管，或以衝擊瓶加上吸收液之方法採集空氣中之污染物，其優點為針對目標污染物採集，可減少分析之干擾，體積小易攜帶具機動性，缺點為必須考慮採樣目的使用不同之介質，且需注意採樣介質是否破出、捕集及脫附效率。目前對於空氣中揮發性有機化合物之介質採樣法依是否使用幫浦可分為主動式及被動式二類：

### (1)主動式採樣(active sampling)

借助幫浦(pump)之動力抽氣將環境中之空氣採集至採樣介質，經過脫附處理再進行分析。適合做短時間之監測，可用於氣狀、粒狀、石棉各種型態之污染物，樣品儲存穩定性佳，其缺點為幫浦負荷大、注意幫浦是否正常運作，採樣前後皆須做流量校正。

### (2)被動式採樣(passive sampling)

不需使用幫浦，利用氣狀污染物具擴散或滲透之作用，將其與吸附劑或吸收液接觸的採樣方法，依採樣器型狀可分為徽章式及管狀式<sup>(9)</sup>。徽章式採樣器係指之截面直徑與採樣器長度比值較大者，管狀式則為截面直徑與長度比值較小者。不需額外提供動力、輕巧易攜帶、成本低減少幫浦費用，且省卻校正及維修之步驟，但在使用被動式採樣器仍需考慮

許多因素，如擴散係數、溫溼度、風速、吸附率及採樣時間。

依勞工委員會<sup>(10)</sup>所公告之空氣中有害物質採樣分析方法皆以主動式採樣為主，目前尚未公告被動式採樣器之標準分析參考方法，但在美國 NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health, 美國國家職業安全衛生研究所)已發布以活性碳為介質之被動式採樣器分析方法 (Pristas 1994)<sup>(11)</sup>，國內勞工安全衛生研究所<sup>(12,13)</sup>亦在推動被動式採樣上提出準則，做為國內擴散式採樣器之指引，以提高使用者對被動式採樣器使用之信賴度。

Elke (1998)等人<sup>(14)</sup>對無吸菸之室內空氣中 BTEX 以主動式及被動式採樣分別做短時間(2 小時)及長時間(24 小時)採樣，以短時間採樣而言主動式採樣及被動式採樣間之差異性在-16 至 19%之間，而長時間採樣二種方法間之差異不大。國內李(1998)<sup>(15)</sup>以主動式及被動式採樣方式對 BTEX 進行採樣效率評估，結果顯示二者相關係數 r 值大於 0.9。

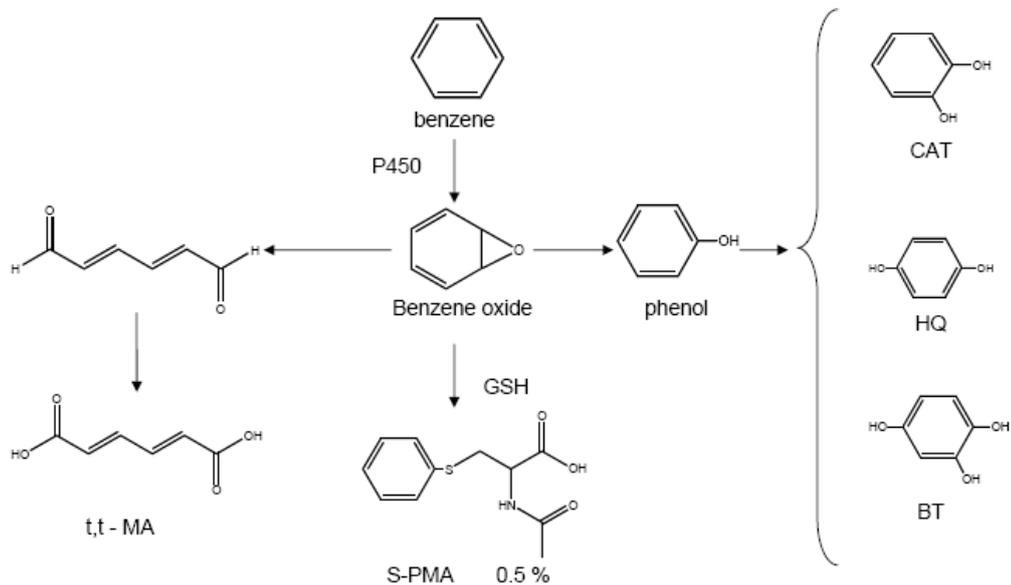
## 二、尿中苯代謝物及氧化性指標之測定

生物偵測為測量生物檢體中有害物及其代謝物，利用血液、毛髮、指甲、呼氣、尿液等，分析污染物或代謝產物之濃度與標準比較，以評估體內總暴露量，可彌補環境測定之不足。

## (一) 苯之代謝物 *t,t*-MA 之測定

### 1. 苯在人體代謝過程

苯進入人體經過肺部、腸胃道吸收分布後，主要之代謝場所在肝臟。代謝途徑如附圖一所示，苯進入人體經肝臟中 P450 2E1 色素細胞作用後形成環氧化物(benzene epoxide)，再分別以三種不同途徑進行代謝，第一個途徑為代謝成酚(phenol)，再代謝成 catechol(CAT)、hydroquinone(HQ) 及 1,2,4-benzenetriol(BT)。第二個途徑經由穀胱甘肽 (Glutathione, GSH) 作用形成 *S*-phenylmercapturic acid(*S*-PMA)。另一個途徑則將苯環打開形成 *trans, trans*-muconaldehyde，再氧化成 *t,t*-MA。上述代謝物皆具較高的極性，易溶於水中可藉由尿液排出體外。



附圖一、苯的代謝過程圖

## 2.尿中苯之生物指標之比較

根據歐洲 CEC(Commission of the European Community)、美國 OHSA (Occupational Safety and Health Administration 美國職業安全衛生署)及 NIOSH 在盧森堡聯合會議上對生物偵測之定義為「測定或判斷作業環境因子或其代謝產物在組織、分泌物、排泄物、呼氣或以上的組合物質中的量，並與適當的參考標準比較以評個其暴露量及健康風險」，而美國勞工部勞工安全衛生條款對生物偵測之定義為「生物偵測的數據只包括能直接估計個人對某種化學物質的吸收，即測量該化合物或其代謝物在血液、尿液、呼出的氣體、毛髮或指甲中的濃度，但不包括該有害物所引起的生物效應」。<sup>(16)</sup>

在決定生物指標做為污染物暴露評估時必須考慮是否具有特異性 (specificity)，不會有其他化合物代謝而來、是否具有靈敏度 (sensitivity)，與苯有高度相關及是否可行。苯的生物指標可從呼氣、血液、尿液中測得未經代謝之苯，或是從尿中代謝物 phenol, S-PMA, *t,t*-MA 檢出，其中呼氣在採集、運送及保存必須特別留意樣本之揮發，血液需以針頭注射抽血具侵入性，選擇尿液樣本做分析不具侵入性，較易被研究對象接受。

### (1)尿中 benzene

Ong<sup>(2)</sup> 於 1994 年之研究指出尿中苯原形物有 0.1-0.2% 可在尿液中測

得，雖敏感度及特異度高，但苯具高揮發性，在收樣、運送及保存必須小心空氣中苯之干擾及樣本之揮發逸散。

## (2)尿中 phenol、catechol、hydroquinone、1,2,4-benzenetriol

苯經代謝後有 13%會成為酚，是主要代謝產物，過去針對油漆及鞋廠工人等高暴露族群之研究<sup>(17)</sup>，常以 phenol 作為生物指標，但酚為蛋白質之代謝物所以易受飲食之影響、藥物、香菸、酒精皆會代謝成酚，提高尿中酚之背景值，因此尿中酚較不適合作為低暴露族群之生物指標。<sup>(18)</sup> catechol、hydroquinone、1,2,4-benzenetriol 皆由 phenol 代謝而來易受到酚之影響，較適合環境中苯暴露較濃高者。

## (4)尿中 S-PMA

許多苯生物偵測研究指出尿中 S-PMA 濃度與空氣中苯濃度有良好之相關性，目前只有抗癲癇藥物會代謝成 S-PMA<sup>(19)</sup>，具良好之敏感度及特異度，適合作為低濃度暴露評估之指標，由於只有 0.1-0.5%之苯會代謝為 S-PMA，相對之尿中代謝濃度較低，過去研究使用分析之儀器、偵測器以 GC/ECD 或電灑離子化法串聯式質譜儀 (electrospray ionization-tandem mass spectrometry, ESI-MS/MS)之偵極限較低較適用，但前處理步驟需要繁複之衍生化處理、人工萃取或是標準品之合成。<sup>(20)</sup>

### (5)尿中 *t,t*-MA

在 Scherer(1998)等人<sup>(21)</sup>的研究指出依暴露之濃度不同，約有 2-25%之苯會代謝成 *t,t*-MA，在進行低濃度苯之暴露評估時，尿中空氣中苯濃度有高度相關性，是良好的生物指標，半衰期為 13.7 小時，<sup>(22)</sup> ACGIH (American Conference of Industrial Hygienists)對其建議之生物暴露指標值 BEI(Biological Exposure Indices)為 500 $\mu$ g/g cre.。

### 3.尿中 *t,t*-MA 分析方法

分析尿中 *t,t*-MA 之濃度常以固相萃取(SPE, solid phase extraction)，做為前處理步驟再以高效能液相層析儀(HPLC, High Performance Liquid Chromatography)分析之。Buratti(1996)<sup>(23)</sup>以在都市工作 36 名吸菸與 95 名非吸菸為研究對象，依其是否吸菸及是否暴露到二手菸將之分為五個等級，在上班前及上班五小時後收集其尿液，以充填 SAX 之固相萃取管柱做樣本前處理，使用 C18 做為分離管柱，移動相為甲酸、四氫呋喃及純水以 14：17：969 之體積比混合之，以 HPLC/UV 分析之，偵測波長為 263，其偵測極限為 0.002mg/L，回收率為 95%，研究結果顯示上班五小時後尿中 *t,t*-MA 之濃度高於上班前，吸菸者之濃度(0.1mg/g cre.)高於非吸菸者(0.05 mg/g cre.)。

Kivistö<sup>(24)</sup>在 1997 年之研究，以在苯製造工廠工作者為研究對象，其對照組為住在農村且無特殊暴露之居民，於工作結束後收集研究對象之

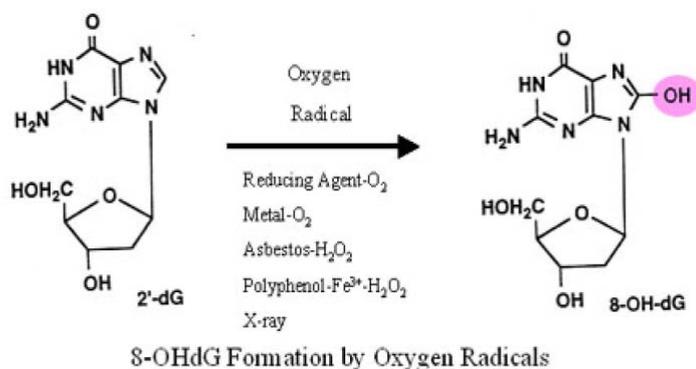
尿液，樣本以 Bond Elut SAX 萃取，分離管柱為 C18，其移動相為醋酸：甲醇以 90：10 之體積比配製成，再以 HPLV/DAD 分析之，其偵測波長為 259，偵測極限為 0.04mg/L，回收率為 80%，結果指出研究對象之濃度為 1.56mg/L，高於對照組之濃度(0.13 mg/L)。

Gobba(1997)等人<sup>(25)</sup>選取義大利北部之公車司機為研究對象，以非吸菸之行政人員為對照組，比較二組族群尿中 *t,t*-MA 之濃度，先以固相萃取之方式將尿中 *t,t*-MA 萃取出來，以 HPLC/UV 分析之，其偵測極限為 0.002mg/L，回收率為 95%。公車司機尿中 *t,t*-MA 濃度為 0.297mg/g cre.，對照組為 0.162 mg/g cre.。

## (二)氧化性傷害指標 8-OHdG 測定方法之比較

含氧自由基(ROS, Reactive Oxygen Species)為帶有一個單獨不成對之電子的離子、原子或分子，是細胞正常代謝時之副產物，性質極不穩定，可能因外來物質之誘發攻擊 DNA 造成氧化性之損傷，8-OHdG 為氫氧自由基(hydroxyl radical)攻擊 DNA 鹼基鳥糞嘌呤(Guanine)第八個位置後(附圖二)，經酵素修補從 DNA 鏈上斷裂形成，為水溶性可經由尿液排出。DNA 氧化性傷害產物超過數 10 種，其中以 8-羥基去氧鳥糞嘌呤產量最多，最常作為評估氧化性傷害情形之生物性指標<sup>(26)</sup>。目前研究以高效液相色譜-電化學偵測法(HPLC/ECD, High Performance Liquid Chromato-

graphy/Electrochemical Detection)及酵素結合免疫吸附法(ELISA, Enzyme-Linked Immunosorbent Assay)最常作為尿中 8-OHdG 分析之方法<sup>(27)</sup>。



附圖二、氧化性傷害指標 8-OHdG

Yin(1995)等人<sup>(28)</sup>收集研究對象之尿液取50  $\mu$ l之尿液與標準品，加入一級抗體(8-OHdG特定單株單體anti-8-OHdG monoclonal antibody)、37°C培養、清洗、加入二級抗體(山葵根過氧化酶，labeled horseradish peroxidase)、37°C培養、清洗、加入呈色劑(3,3',5,5'-tetramethylbenzidine)並且避光，再加入中止劑上機分析，其偵測波長為405nm，並與HPLC分析方法比較之，有顯著性地相關( $r=0.87$ )。Hofer研究<sup>(29)</sup>常用以HPLC/ECD分析尿中8-OHdG之濃度，酵素水解後以C18分離管柱萃取，再以電化學偵測器偵測其波長換算濃度，但在處理步驟較為繁複，若能以ELISA分析是較為簡便省時的，Shimoi(2002)<sup>(30)</sup>以120位18歲至58歲之健康男性為研究對象，以HPLC及ELISA分析尿中8-OHdG濃度，比較不同之方析測得結果是否有差異，結果顯示其二種分析方法間有良好之相關性( $r=0.833$ ,  $P < 0.001$ )。

### 第三節、相關研究查證

#### 一、環境測定

##### (一)室內、外空氣中 BTEX 之濃度及相關因素

許多研究結果顯示室內、外環境空氣中 BTEX 之濃度，以甲苯濃度最高，且室內之濃度高於室外之濃度。英國 Kingham(2000)<sup>(31)</sup>選取 27 個家戶，13 戶臨近大馬路(50 公尺)為暴露組，14 戶為距離大馬路 50 公尺以上之對照組，家戶特性為非吸菸家庭，30 公尺內無工業污染源，以主動式採樣及做連續二十四小時室內、外空氣採樣，GC/MS 分析空氣樣本中苯之濃度。結果顯示暴露組室內空氣中苯之濃度為  $1.975\mu\text{g}/\text{m}^3$  高於室外苯之濃度  $1.031\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而對照組室內苯之濃度為  $1.152\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，低於室外之濃度( $1.237\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，比較二組室內空氣中苯之濃度有顯著差異；而室內、外空氣中苯之濃度比值為 2.73，顯示室內空氣中苯之濃度高於室外，但無統計上之差異；室內、外空氣中苯濃度屬中度相關，其暴露組室內、外空氣中苯濃度之相關係數  $r=0.494$ ，對照組  $r$  值為 0.499。

2003 年在香港對室內空氣中 BTEX 濃度之研究，Guo<sup>(32)</sup>將室內環境分成辦公室、學校、住家、餐廳及購物中心、分別對其做室內、外空氣中 BTEX 之採樣，所使用之採樣器為不銹鋼筒，採樣時間為八個小時。研究結果指出，室內空氣之 BTEX 濃度在五個區域中以購物中心最高，

餐廳、辦公室次之、學校最低；其中家戶室內、外空氣中 BTEX 濃度比值範圍為 0.505-2.566。影響室內空氣中 BTEX 濃度除有室外交通污染物之排放外，另外，室內污染源則來自烹飪與吸菸為主。

國內范氏(2002)<sup>(33)</sup>探討傢俱行及一般居家室內 BTEX 及甲醛之濃度比較，以立意取樣方式選取 15 間傢俱行及 22 間一般家戶進行空氣中 BTEX 之採樣，並進行問卷訪視，調查其室內環境設備及健康自覺症狀，BTEX 分析是參照美國 NIOSH1504 方法。結果顯示傢俱行 BTEX 之濃度分別為 29.0ppb、229.0 ppb、11.6 ppb 及 15.9 ppb，而一般居家中 BTEX 之濃度為 7.2 ppb、19.3 ppb、5.4 ppb 及 8.8 ppb，傢俱行顯著高於一般居家環境( $p < 0.05$ )。

Shneider<sup>(34)</sup>在 1995 年至 1996 年於德國漢堡及愛爾福特各選取 204 及 201 個家戶，調查其基本資料、生活習慣、居家環境及通風狀況，量測其室內之溫溼度，以被動式採樣進行住家室內客廳、臥室及室外客廳之窗台空氣中 BTEX 之濃度，採樣時間為一週。研究結果指出愛爾福特室內 BTEX 中位數濃度為  $2.17\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $37.29\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $1.67\mu\text{g}/\text{m}^3$  及  $5.37\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而漢堡為  $1.48\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $20.46\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.70\mu\text{g}/\text{m}^3$  及  $3.71\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，比較二地區空氣中 BTEX 之濃度，愛爾福特室內濃度高於漢堡，且有達統計上之差異；以室外濃度而言，漢堡之空氣中 BTEX 濃度為  $1.13\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $4.46\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ND 及  $1.20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、愛爾福特為 1.62、4.98、ND 及 1.76，亦是愛爾福特濃

度較高；比較二地區室內、外空氣中苯、甲苯、二甲苯之比值，漢堡之 I/O 值為 1.4、5.0 及 2.1，愛爾福特則為 1.2、7.6 及 1.8，室內濃度皆高於室外濃度。比較二地區冬、夏季室內外空氣中苯、甲苯及二甲苯之濃度，二地區無論在室內或室外，冬季空氣中苯、甲苯及二甲苯之濃度皆高於夏季。

## (二)大氣環境中 BTEX 之濃度

Chiu(2005)等人<sup>(35)</sup>在 2000 至 2003 年間針對台灣新竹科學工業園區周界進行大氣空氣中 VOC 之採樣，以瞭竹科園區環境空氣中 VOC 之分布情形。其中在 2000 年五月做五天之連續採樣以 GC/FID 分析之，其風向為西南風，風速約 0.5m/s、溫度範圍在 25-28°C 間。其結果顯示空氣中之 BTX 濃度為 8.2ppb、11.4ppb 及 2.8ppb。比較不同年份以 2002 年濃度最高，因採樣當天空氣溫度較低，且風速較小，VOCs 不易揮發亦不易流散，甲苯與苯濃度之比值(T/B ratio)範圍大約為 4 至 20。從濃度分布圖得知主要污染源位於廠區附近及交通幹道處。

香港 Lee<sup>(36)</sup>在 2002 年之研究，在早上八點至九點上班尖峰時刻，以不銹鋼筒測定都市住宅區、工業區、新興工業區、商業區及對照組五大地區大氣中 BTEX 之濃度，BTEX 濃度範圍分別為 2.75-15.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、4.58-137.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、2.20-24.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  及 1.45-22.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其中以甲苯濃度

最高。工業區甲苯及苯濃度之比值為 10、新興工業區為 4.4、都市住宅區為 9.1、商業區為 7.1、對照組則為 1.9，T/B 值越高代表受到交通、工廠廢氣排放等其他污染源影響越高。探討 BTEX 間之相關性，在甲苯、乙苯及二甲間其相關係數為 0.90-0.99 間，呈現高度相關性，而苯與其他三者相關性較弱，相關係數約為 0.3。比較冬季及夏季空氣中總揮發性有機物之濃度，在五大地區分均以冬季較高。

劉氏(1999)<sup>(37)</sup>先以主動式及被動式採樣進行空氣中 VOCs 之採樣，空氣中 BTEX 之濃度在主動式及被動式採樣結果有高度正相關，嘗試以經濟方便之被動式採樣器對新竹科學園區周界進行 BTEX 濃度之分析，並繪製 BTEX 濃度分布圖。結果顯示 BTEX 間之濃度分布相似，風速及風向為主要影響濃度之因素，從濃度分布圖中推估 BTEX 受到工廠排放及交通污染之影響。

以南台灣地區進行空氣採樣，李氏<sup>(38)</sup>將之分為工業區、交通要道、夜市、停車場及機車修護廠五大類別，以活性碳吸附管進行主動式空氣採樣，以 GC/FID 分析 BTEX 之濃度，以探討不同污染源之貢獻量。五大地區中空氣中 BTEX 濃度皆以甲苯濃度為最高，乙苯最低；比較五大地區之濃度，工業區以石化區濃度最高，機車修護廠又排氣檢測區濃度最高。BTEX 之比值為 2.7 : 9.3 : 1.0 : 3.5，T/B 值(toluene 與 benzene 之比值)介於 0.5 至 12.3 之間。

### (三)室內、外空氣中 BTEX 之濃度相關性及其相關因素

研究<sup>(39)</sup>顯示影響空氣中 BTEX 濃度之因素包括吸菸、通風狀況、樓層高低、季節等因素。芬蘭 Edwards 在 1996 年到 1997 年之研究<sup>(40)</sup>，以 201 名隨機抽樣赫爾辛基居民為研究對象，為瞭解居民苯暴露之情形，調查居民之個人基本資料、生活習慣、居家及工作場所環境、填寫 48 小時時間活動量表(time activity diary)，並做個人採樣(N=183)、居家室內微環境採樣(N=119)、居家室外採樣及工作場所空氣採樣，採樣時間皆為 48 小時。結果顯示非吸菸者個人採樣之中位數濃度最低為  $2.47\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，暴露到二手菸(ETS, Environmental Tobacco Smoke)者為  $2.89\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，吸菸者為  $3.08\mu\text{g}/\text{m}^3$  最高，且有統計上之差異( $p=0.002$ )。研究對象居家室內之中位數濃度吸菸者( $3.14\mu\text{g}/\text{m}^3$ )高於非吸菸者  $1.87\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，且有達統計上顯著差異( $p<0.001$ )，而居家室外之平均中位數濃度低於室內為  $1.51\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，有二手菸暴露之工作場所空氣中苯濃度為  $3.58\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，沒有二手菸暴露濃度為  $2.13\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，但無統計上顯著差異( $p=0.78$ )。探討室內空氣中苯之濃度與非吸菸者個人暴露濃度，以逐步迴歸模式依序加入待在車內時間、室內的時間、工作場所之時間變項、結果顯示均有強烈的相關。評估室內、外空氣中苯之濃度及個人暴露濃度之相關時，必須考慮季節因素，因每個居家通風方式不同而有差異。

國內陳氏(2005)<sup>(41)</sup>在南台灣地區選擇八個採樣點依室內環境特性，可

分為辦公室、學校及住家三大類，以進行室內空氣採樣，瞭解台灣南部地區室內空氣污染物濃度分布情形，並探討室內外空氣污染物對室內空氣品質之影響。室內空氣採樣以活性碳吸附管進行主動式採樣，以 GC/FID 分析室內空氣中 BTEX 之濃度；室外採樣針對高雄地區範圍在 0 至 111 公尺不同之垂直高度下，選定五種不同高度處進行空氣採樣，以鍍鋼筒進行室外大氣之採樣，再以 GC/MS 分析之。研究結果顯示無論在辦公室、學校或住家空氣中 BTEX 中以甲苯濃度最高；比較不同之垂直高度，有隨著高度之增加，TVOC 濃度值降低之趨勢；而比較不同時段之濃度以中午時濃度最高，可能之原因為大氣環境中光化學反應較強。

梁氏<sup>(42)</sup>亦針對都會住宅區探討室內、外 VOCs 濃度、結果指出鄰近高交通流量處之濃度高於住宅群屋內，其濃度差異高達 1.3 至 8.5 倍；比較不同之垂直高度，道路旁與其上方十二樓高度測點之濃度比值約 3.3 至 14.5 倍；又位於上風測點之室外濃度較下風處高。比較室內、外濃度之比值，鄰近交通流量大之測點其 I/O 值範圍為 1.7 至 8.0，住宅群屋內之 I/O 值範圍為 1.1 至 9.1，而十二樓高度之測點之 I/O 比較為 0.4 至 18 變化較大。

由鐘氏<sup>(43)</sup>之研究結果顯示室內空氣中 VOCs 濃度比室外低，認為汽機車等室外排放污染源濃度大於室內污染源產生之濃度，室內、外空氣中 VOCs 濃度皆以甲苯濃度最高，且室外及室內之濃度有良好之相關性

( $r^2=0.683$ ,  $p<0.05$ )；位於同一棟建築中低樓層之室內空氣中 VOCs 之濃度為高樓層之 2-4 倍。

Chatzis(2005)<sup>(44)</sup>以希臘雅典市 50 位非吸菸之居民為研究對象，在 1997 到 1998 年間每二個月(共六次)以被動式採樣器進行個人、居家室內空氣中苯之採樣及雅典市大氣環境採樣，每次採樣時間為星期一早上到星期五晚上，共計 569 個大氣樣本、280 個人採樣樣本及 286 個居家室內樣本。研究結果指出在六次採樣中，大氣環境之濃度( $20.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ )高於居家室內之濃度( $18.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，高於個人採樣濃度( $10.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ )；在不同採樣季節中，無論是大氣、居家室內或是個人採樣，空氣中苯之濃度以九月及十二月濃度最高，六月較低。比較風速、溼度可由模式中預測，當風速每增加  $1\text{m}/\text{s}$ ，空氣中苯之濃度下降  $2.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，若溼度每增加 1%，空氣中苯之濃度上升  $0.89\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

## 二、生物偵測

### (一)尿中 *t,t*-MA 之濃度及影響因素

尿中代謝產物之濃度會因個人差異、尿量及代謝速率等因素影響，Barr 等人<sup>(45)</sup>以尿中肌酐酸校正方法將尿液作標準化之調整以降低干擾因素。肌酐酸為人體肌肉活動正常之代謝產物，經由腎臟過濾、吸收等機制隨尿液排出體外，而一般影響尿中肌酐酸濃度之因素有：年齡、身體

質量、健康狀況、藥物、酒精等。世界衛生組織(WHO, World Health Organization)<sup>(46)</sup>建議尿中肌酐酸濃度正常範圍為 30 至 300mg/dL，以避免研究對象有腎臟疾病、腎功能失調或肌肉大量損壞而影響尿中代謝物之濃度。

德國 Ruppert(1997)<sup>(47)</sup>為瞭解人體內 *t,t*-MA 濃度之背景值，以 114 名居住在慕尼黑之居民為研究對象，吸菸者有 32 名其尿中 *t,t*-MA 濃度為 0.13mg/g cre.，均顯著高於非吸菸者(0.065 mg/g cre.)( $p < 0.05$ )；比較家中是否有成員吸菸及居住地點在都市或郊區之非吸菸者尿中 *t,t*-MA 濃度，結果指出居住在都市非吸菸者之濃度比住在郊區者高，家中無成員吸菸且居住在郊區者濃度最低。另外，徵求 10 名自願者(2 名為吸菸者)，在連續四天中給予含有 500mg 己二烯酸(sorbic acid)之食物，並收集 24 小時之尿液。結果顯示在第二天非吸菸者尿中 *t,t*-MA 平均濃度從 0.05mg/g cre. 上升至 0.55mg/g cre.，吸菸者則由 0.09 mg/g cre. 上升至 1.07 mg/g cre.，顯示以尿中 *t,t*-MA 為做為評估低濃度苯暴露之生偵指標，若飲食中若含有己二烯酸可能會受影響。Ducos(1990)<sup>(48)</sup>亦分析人體內尿中 *t,t*-MA 濃度之背景值，將尿液樣本先以固相萃取後以 HPLC/UV 分析之，研究結果指出 49 個尿液樣本背景平均濃度為 0.2 mg/L，其中位數濃度為 0.1 mg/L，濃度範圍為 0.1-0.5mg/L。

Wiwanitkit(2005)<sup>(49)</sup>針對45名於泰國曼谷市上班之公務員為研究對

象，其中10名吸菸者為暴露組，其餘35名為對照組，以HPLC分析其尿中 *t,t*-MA之濃度，10名吸菸者尿中 *t,t*-MA之平均濃度為2.19mg/g cre.，最高濃度為7.08 mg/g cre.，而非吸菸者為0.24 mg/g cre.，最高濃度為0.98 mg/g cre.，比較二組之平均濃度達統計上之差異( $p < 0.05$ )。此外，吸菸之支數與尿中 *t,t*-MA之濃度有良好之相關性( $r = 0.798, p < 0.01$ )，且可由吸菸者吸菸之支數( $X$ )推估 *t,t*-MA濃度( $Y$ ) 之方程式為  $Y = 0.2X - 1.99$ 。

國內蔡氏(1999)<sup>(50)</sup>以中部某石化廠 262 名員工為研究對象，調查個人基本資料、生活習慣，並收集其尿液，將員工依作業場所苯暴露程度分為低暴露組、高暴露組及對照組，測定其尿中苯代謝物之濃度，結果顯示低、高暴露組及對照組尿中 *t,t*-MA 之濃度分別為 0.36mg/g cre.、0.43 mg/g cre.及 0.39 mg/g cre.，三組間無顯著之差異；比較其上班前、上班中及下班後尿中 *t,t*-MA 之濃度則以上班中濃度最高(0.47 mg/g cre.)，且有統計上之差異( $p = 0.005$ )。

尿中 *t,t*-MA 之濃度亦和基因多型性有關，Sørensen(2003)等人<sup>(51)</sup>以 40 位在哥本哈根生活及工作之自願者為研究對象，進行個人暴露空氣採樣、尿中苯代謝物、血中氧化性指標及基因型測定。40 名研究對象於星期一早上開始至星期五下午結束共計 110 小時，全程配戴個人被動式採樣器，在採樣期間某一天抽血並收集 24 小時之尿液樣本，以 GC/FID 分析空氣苯、甲苯濃度，GC/MS 分析尿液中 *t,t*-MA 之濃度，HPLC/ECD 分

析血液中氧化性指標濃，基因型之鑑定是以 PCR 聚合酵素鏈鎖反應 (polymerase chain reaction) 分析。結果顯示空氣中苯及甲苯之濃度為  $2.5\mu\text{g}/\text{m}^3$  及  $18.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，尿中 *t,t*-MA 之濃度男性( $133\mu\text{g}/24\text{h}$ )顯著高於女性 ( $65\mu\text{g}/24\text{h}$ )( $p=0.003$ )，且空氣中苯之濃度與男性尿中 *t,t*-MA 之濃度亦有統計上之相關( $r=0.53$ ,  $p=0.025$ )；尿中 *t,t*-MA 濃度與 NQO 基因型有統計上顯著相關( $p=0.004$ )。在陳氏<sup>(52)</sup>之研究中，亦探討基因多型性與尿中 *t,t*-MA 濃度之相關，其結果顯示 GSTT1 positive 族群尿中苯代謝物 *t,t*-MA 濃度比 GSTT1 deficient 族群為低，推測尿中 *t,t*-MA 的濃度可能也會受到 GSTT1 的影響，因此在評估苯暴露時，人體 GSTT1 之基因型可能為一易感性之指標。

## (二)尿中 8-OHdG 之濃度

### 1. 尿中 8-OHdG 之濃度及影響因素

日本 Kimura(2006)<sup>(53)</sup>以無特殊化學物質暴露之 128 名健康男性及 120 名健康女性為研究對象，分析其尿中 8-OHdG 之濃度並建立背景值，結果顯示，男女尿中 8-OHdG 濃度為  $15.2\text{ng}/\text{mg cre.}$ ，且女性尿中 8-OHdG 濃度隨年齡增加而升高，但比較其年齡以四十五歲為切點時、性別、吸菸、飲酒皆無顯著差異。

根據 Pilger<sup>(27)</sup>之研究指出影響尿中 8-OHdG 濃度之因素，諸如吸菸、暴露到苯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、石棉、矽土、懸浮微粒、多環芳香

煙等。Lagorio(1994)<sup>(54)</sup>抽取 65 名加油站員工為研究對象，於工作期間配戴個人採樣器，並收集其尿液以 HPLC 分析尿中 8-OHdG 之濃度，其尿中 8-OHdG 之濃度為 1.36 $\mu\text{mol/mol cre.}$ ，與空氣中苯之濃度有顯著性相關。經複迴歸分析結果顯示尿中 8-OHdG 之濃度與年齡、工作年資、吸菸及 X 光診斷有關，其模式為苯暴露之濃度每增加一單位其尿中 8-OHdG 之濃度上升 0.15 $\mu\text{mol/mol cre.}$ 。

國內韓氏(2003)<sup>(55)</sup>以 120 位長途客運司機為暴露組，58 名男性站務人員為對照組，探討其氧化性之關係。結果顯示客運司機尿中 8-OHdG 濃度為 9.5 $\mu\text{g/g cre.}$ ，站務人員則為 7.3 $\mu\text{g/g cre.}$ ，二組有顯著性之差異 ( $p=0.015$ )。此外，每週工作時數較長之司機其尿中 8-OHdG 之濃度亦較高；校正後客運司機尿中 8-OHdG 之濃度勝算比為站務人員之 7.8 倍(95% CI: 2.1-29.5)，而吸菸者尿中 8-OHdG 之濃度勝算比為非吸菸者之 20.3 倍(95% CI: 6.4-64.0)，且 8-OHdG 之濃度會隨著尿中 cotinine 濃度上升而有顯著之增加( $p<0.001$ )。以多變項線性迴歸分析結果顯示尿中 8-OHdG 之濃度與工作類別、吸菸、飲用提神飲料及尿中 cotinine 濃度均有顯著之相關性。

## 2.尿中 8-OHdG 相關之氧化性傷害

含氧自由基會使人體內 DNA 造成氧化性的損傷，進而造成基因突

變，形成癌症。以 8-OHdG 而言，鳥糞嘌呤與氫氧基結合後形成 8-羥基去氧鳥糞嘌呤，使原本 G:C 配對，因氫氧基之鍵結導致 DNA 立體結構改變，而可以跟 A 鍵結，造成 DNA 複製錯誤造成點突變，其可能被修復，亦可能使細胞癌化<sup>(56)</sup>。

探討 8-OHdG 的研究<sup>(57-60)</sup>結果皆顯示與許多疾病具相關性，如：慢性發炎、微血管併發症、糖尿病、脈粥狀硬化、癌症等。Tsuboi(1998)等人<sup>(61)</sup>針對 17 名過敏性皮膚炎之患者及對照組，評估二組間 8-OHdG 濃度是否有差異，結果顯示 17 名過敏性皮膚炎患者之尿中 8-OHdG 濃度為 1.10 pmol/kg，對照組為 0.46 pmol/kg，平均濃度顯著高於對照組( $p < 0.001$ )。Chiou(2004)<sup>(62)</sup>的研究指出膀胱癌(N=15)及攝護腺癌(N=16)病患尿中 8-OHdG 之平均濃度為 70.5ng/mg cre. 及 58.5ng/mg cre.，未有癌症者(N=24)為 36.1ng/mg cre.，有顯著性之差異( $p < 0.001$ ,  $p = 0.021$ )。2001 年胡氏<sup>(63)</sup>在比較乳癌患者與健康婦女尿液中 8-OHdG 差異之研究，結果顯示乳癌患者尿中 8-OHdG 濃度(81.81nM)高於對照組之濃度(33.14 nM)，經過肌酐酸校正後乳癌患者尿中 8-OHdG 濃度亦高於對照組，其濃度分別為 16.39 $\mu$ mol/mol cre. 及 4.70 $\mu$ mol/mol cre.。

除了癌症患者尿中 8-OHdG 濃度高於非癌症患者，腫瘤的大小也與 8-OHdG 濃度有關，Foksinski<sup>(64)</sup>的研究指出以 20 名子宮肌瘤之病患為研究對象，測其血中及腫瘤組織 8-OHdG 之濃度，發現其血液中 8-OHdG 之濃

度與腫瘤組織之濃度有顯著性相關( $r = 0.78, p=0.01$ )，且腫瘤組織中 8-OHdG 之濃度和腫瘤之大小有顯著相關性，8-OHdG 濃度越高腫瘤越大 ( $r=0.67, p=0.01$ )。

除了研究體內 8-OHdG 之濃度與疾病之相關外，亦需要瞭解 8-OHdG 濃度之正常範圍值。2004 年 Wu 等人<sup>(65)</sup>針對台灣 486 位健康之女性及 548 位健康之男性，其年齡範圍在 20 歲到 70 歲之間，調查其尿中 8-OHdG 之濃度，究結果顯示女性尿中 8-OHdG 濃度之範圍為  $43.9 \pm 42.1 \text{ ng/mg cre.}$  顯著高於男性 ( $29.6 \pm 24.5 \text{ ng/mg cre.}$ ， $p < 0.001$ )。

### 三、空氣中 BTEX 與尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 之相關性

國內許氏<sup>(66)</sup>以台灣中部某小型彩色平版印刷廠中八名現場作業員為研究對象，對照組為二名行政人員，採樣策略以主動式活性碳管進行二個全程連續採樣(二個四小時連續測定)，每日約採八個小時，並持續採六天(星期一至星期六)，並於工作中及工作結束後收集勞工之尿液樣本，其中有六名現場作業員配合在連續三天中收 24 小時尿液樣本。研究結果顯示，空氣中 BTEX 之濃度分別為 0.21 ppm、0.43 ppm、1.13 ppm 及 1.16 ppm；尿液中 *t,t*-MA 之濃度為  $44.78 \text{ mg/g cre.}$ ，比較空氣中苯與尿中 *t,t*-MA 之濃度，其相關係數為 0.86，具有高度相關。

Kang 等人<sup>(67)</sup>在 2000 年對國內六家苯暴露工廠中進行環境測定及生

物偵測，61 名員工在工作全程配戴以活性碳為吸附介質，低流量之個人採樣，及並在下班時收集其尿液樣本(N=57)，以 GC/FID 分析空氣中苯之濃度，而尿中-MA 濃度以 HPLC/UV 分析之，並做肌酐酸校正。結果顯示，空氣中苯之幾何平均濃度為 0.094ppm，其中有七個樣本之濃度超過 1ppm，但未超過韓國當時之職業暴露閾值 10ppm；尿中 *t,t*-MA 幾何平均濃度為 0.966mg/g cre.。比較空氣中苯之濃度與尿中 *t,t*-MA 之濃度，空氣中苯濃度小於 0.1ppm 時，尿中 *t,t*-MA 平均濃度為 0.924 mg/g cre.；當空氣中苯濃度介於 0.1 至 0.9ppm 時，尿中 *t,t*-MA 平均濃度為 1.172 mg/g cre.；而空氣中濃度大於 1ppm 時，尿中 *t,t*-MA 平均濃度為 1.425 mg/g cre.，隨著工作場所空氣中苯濃度的升高，勞工尿中 *t,t*-MA 之濃度亦顯著增加( $r=0.733, p<0.01$ )。

在 Ong(1995)<sup>(68)</sup>之研究中亦有此現象，以 64 名苯暴露之勞工為研究對象及 40 名對照組。結果顯示暴露組尿中 *t,t*-MA 之濃度高於非暴露組，且空氣中苯之濃度與尿中 *t,t*-MA 之濃度有高度相關( $r=0.87$ )。類似之研究為 Inoue<sup>(69)</sup>在 1989 年，以 152 名作業場所中有苯暴露之員工之及 213 名沒有苯暴露之員工，比較其呼氣中苯之濃度及尿中 *t,t*-MA 之濃度，研究結果顯示其二者間有良好之線性關係。而 Fustinoni<sup>(70)</sup> (2005)之研究分別在義大利 Genoa 及 Milan 以公車司機、交通警察、加油站員工及無特殊暴露之研究者為對照組。結果顯示交通警察尿中 *t,t*-MA 之濃度最高為

82 $\mu$ g/L、公車司機其次(57 $\mu$ g/L)、加油站員工為 49 $\mu$ g/L，對照組為 42 $\mu$ g/L，且吸菸者尿中 *t,t*-MA 之濃度為非吸菸者之二倍以上，但比較其空氣中苯的濃度及尿中 *t,t*-MA 之濃度，兩者濃度之相關性不佳。

Liu(1996)<sup>(71)</sup>以 117 名鞋廠及汽車烤漆廠之勞工為研究對象，依工作性質及空氣中苯濃度將之分成低(<40mg/m<sup>3</sup>)、中(40-200mg/m<sup>3</sup>)、高暴露組(>200 mg/m<sup>3</sup>)及對照組，在其工作期間做個人空氣採樣，在工作時收集其血液，工作結束後收集其尿液，以分析其相關性。研究結果顯示苯之濃度以高暴露組最高，低暴露組最低；甲苯之濃度以低暴露組最高，中暴露組最低；二甲苯之濃度則與苯之濃度相反。對照組及低、中、高暴露組四組之尿中 *t,t*-MA 濃度分別為 0.14mg/g cre.、0.19 mg/g cre.、13.0 mg/g cre.、59.53 mg/g cre.有統計上顯著差異(p<0.05)。而氧化性傷害指標在四組間之 8-OHdG 濃度分別為 3.75/10<sup>5</sup>dG、4.67/10<sup>5</sup>dG、26.12/10<sup>5</sup>dG、29.89/10<sup>5</sup>dG 亦有統計上顯著差異(p<0.05)。比較空氣中苯、尿中 *t,t*-MA 及血中 8-OHdG 濃度之相關性，以空氣中苯與尿中 *t,t*-MA 之相關性最高為 0.93(p<0.05)，其次為空氣中苯與血中 8-OHdG 其相關係數為 0.77(p<0.05)，最低為尿中 *t,t*-MA 及血中 8-OHdG 其相關係數亦達 0.64(p<0.05)。

根據過去研究結果顯示空氣中苯的濃度與尿中苯代謝物 *t,t*-MA 及氧化性傷害指標 8-OHdG 有良好的相關性。然而過去研究以傳統產業為主

的工業區居多，較少針對高科技產業產生之空氣污染物進行暴露之評估，本研究為評估中科園區開發初期可能對附近環境污染帶來的影響，及建立附近居民暴露濃度之背景值，並比較環境測定及生物偵測間之相關性。

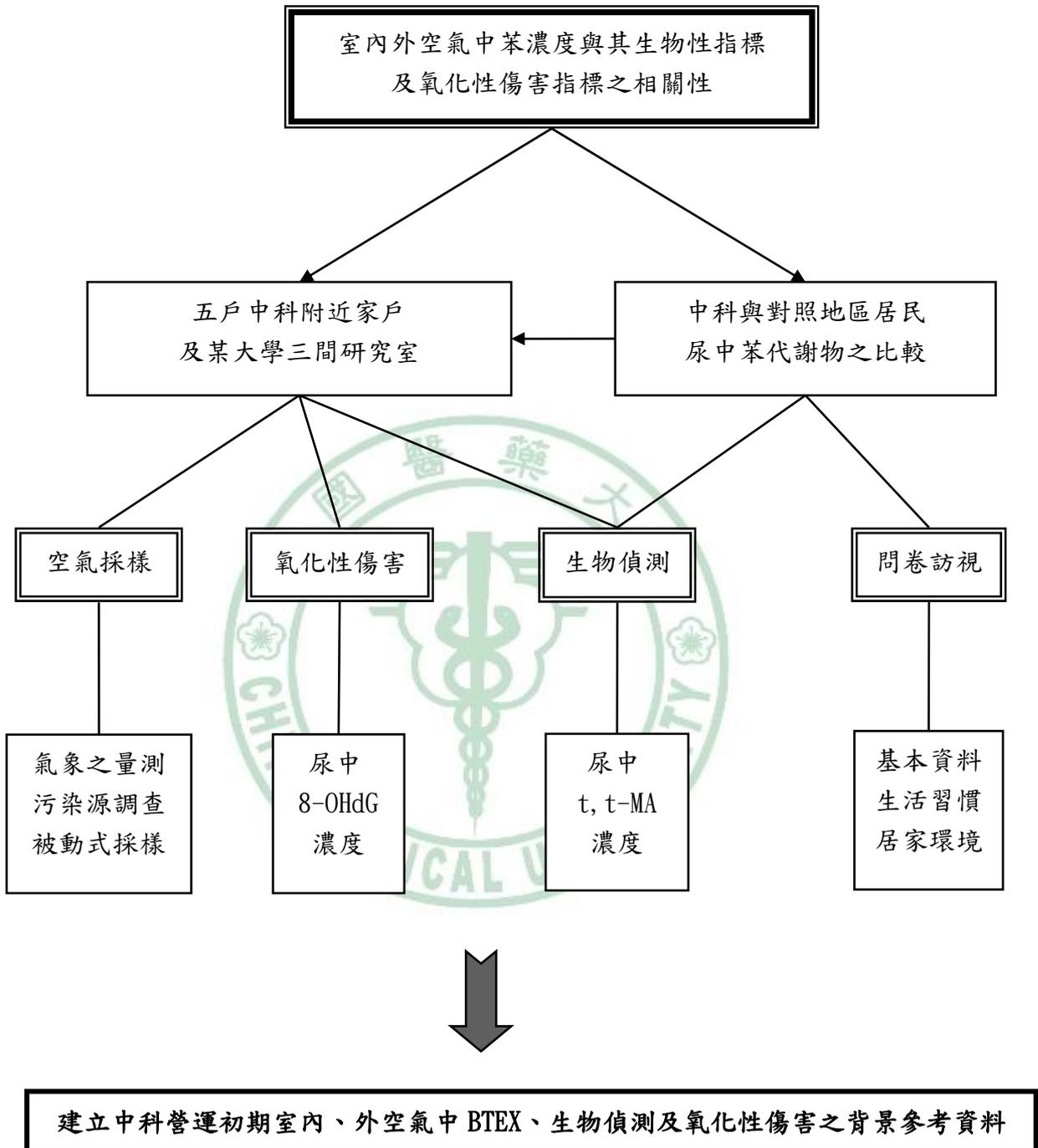


### 第三章、材料與方法

#### 第一節、研究方法

本研究是利用橫斷性研究(cross-sectional study)，探討中部科學工業園區附近居民尿中苯代謝產物 *t,t*-MA 之濃度，其中徵求自願研究對象中選定五位家戶調查其居家室內環境苯、甲苯、乙苯、二甲苯可能之污染源、測定室內外空氣中 BTEX 濃度，並進一步探討居民尿中苯代謝產物 *t,t*-MA 及 DNA 氧化性指標 8-OHdG 之濃度，與空氣中 BTEX 濃度之相關性，以逐步建立中部科學工業園區營運初期附近居家室內外揮發性有機化合物之濃度、尿中苯代謝產物之濃度及氧化性傷害，以作為將來追蹤評估中科的開發是否會影響附近居民暴露 VOCs 之危險性。

## 研究架構



## 第二節、研究對象

研究對象之選取為參考 ISC 空氣污染擴散模式，模擬台中科學工業園區產生之空氣污染物可能影響之範圍，再選取該範圍中的社區居民。

### 一、參與問卷調查及尿液收集之研究對象

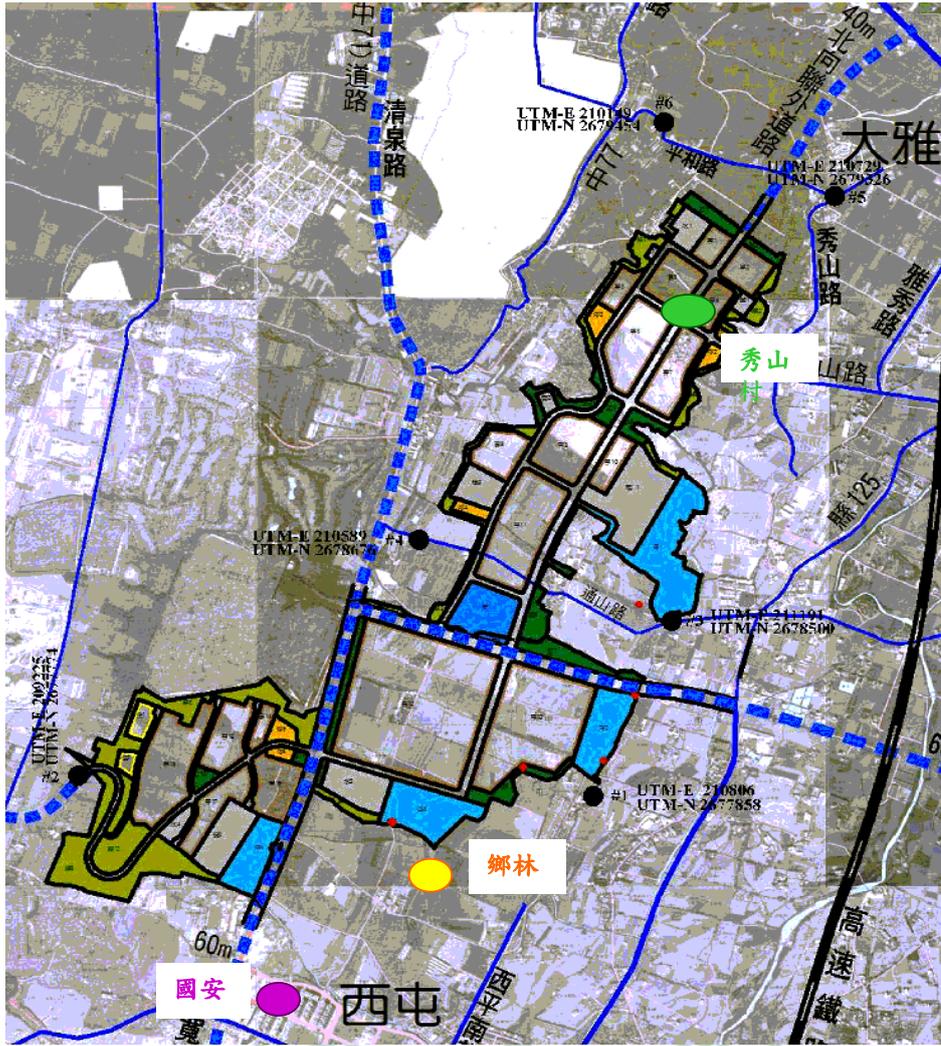
本研究之研究對象為緊臨中部科學工業園區台中基地之居民，共計一百九十三位自願居民，包括台中市西屯區的國安社區甲區、國安社區乙區、鄉林社區及台中縣大雅鄉的秀山村，位置如附圖三；對照地區為台中縣新社鄉之八十名自願居民包括新社村及大南村。利用問卷調查研究對象之個人基本資料、生活習慣、居家型態調查及收集隨機尿液以分析尿中苯代謝物 *t,t*-MA 濃度，經尿中肌酐酸校正，扣除十九名居民肌酐酸值濃度小於 30mg/dL 或大於 300mg/dL，有問卷資料且尿液樣本之研究對象合計有一百七十五位中科附近居民及七十九位對照組居民。

本研究將研究對象分成三個族群：中科南區、中科北區及對照地區。中科南區包括國安社區及鄉林社區，位於中科對外主要幹道處，目前中科的營運除增加產量外，亦可能增加污染物之排放量，另外，亦因交通流量不斷提高也提高附近居民污染物的暴露量。此外，秀山村位於中科北區，該地區人口結構以年長者居多，該村原有的田園綠樹因中科的開發而消失，對長久以來生活在如此清新環境的村民而言，中科不止帶來

居住環境的改變，未來工廠產生之污染物、交通流量的大增將嚴重影響居民的生活品質；對照地區為台中縣新社鄉工業污染程度較低新社村及大南村，本研究配合該地區定期舉辦的老人聚會進行資料之收集，其平均年齡亦以老年人佔多數。

## 二、室內外空氣 BTEX 採樣及其生物偵測之研究對象

為了解中科附近居民室內外空氣中 BTEX 暴露濃度的情形，從上述研究對象中，於一月份及三月份各選取五戶自願配合參與室內空氣之採樣，分別位於國安社區一樓、三樓、六樓、七樓、十樓，此家戶中共有三戶家庭有成員吸菸，於 BTEX 採樣結束後立即收集其與家人所有隨機尿液檢體(spot urine)，以分析尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 之濃度。室內包括客廳、廚房、臥室及室外陽台空氣樣本一月及三月共計 40 個，尿液樣本合計為 23 個。另外，為與中科附近家戶室內 BTEX 暴露濃度之比較，選擇某大學三間有使用揮發性有機溶劑之研究室內置放採樣器做為定點採樣，分別位於十五樓一間及十六樓二間，而個人採樣部份為選定 10 名平均每日待在此三間研究室中時間超過八小時之研究生為對象，VOCs 是以定點採樣及個人被動式，以 24 小時採樣時間，並於 VOCs 採樣結束後立即收集其尿液做 *t,t*-MA 及 8-OHdG 之分析。



附圖三、中部科學園區研究對象分布圖

### 第三節、問卷之調查

問卷內容主要分為以下部分：

- 1.個人基本資料：包括性別、年齡、身高、體重、教育程度。
- 2.生活習慣：包括吸菸、喝酒、室內外活動頻率。
- 3.居家環境調查：包括居住型態、通風方式、家中是否鋪設地毯或使用空氣清靜設備。
- 4.居家室內污染源調查：家人吸菸習慣、是否有拜香、平時使用蚊香或殺蟲劑情況。



## 第四節、空氣中 BTEX 濃度之測定

利用被動式採樣器(passive sampler)測定研究對象居家室內外 BTEX 之濃度，其內填充活性碳 350 公克，適用短時間三十分鐘、長時間八小時，甚至二十四小時。而本研究是以 24 小時每次均有定點採樣方式，採樣位置分別於家戶居家室內微環境包括客廳、廚房、臥室及室外環境以陽台處作為代表，每次均有做田野空白樣本，樣本之運送及保存皆保持冷藏以避免 BTEX 揮發。此外，在某大學研究室方面則做定點採樣及個人採樣，定點採樣置於實驗室實驗台上，個人採樣為研究生配戴在呼吸帶處，採樣時間皆為 24 小時。

### 一、材料

#### (一)試藥

1. 二硫化碳(carbon disulfide, 低苯層析級, Sigma-Aldrich, Assay > 99.9%)
2. 苯(benzene, Dr., Ehrenstorfer GmbH, 99.0%)
3. 甲苯(toluene, Dr., Ehrenstorfer GmbH, 99.9%)
4. 乙苯(ethylbenzene, Dr. Ehrenstorfer GmbH, 99.5%)
5. 鄰-二甲苯(o-xylene, Dr. Ehrenstorfer GmbH, 99.5%)
6. 間-二甲苯(m-xylene, Dr. Ehrenstorfer GmbH, 99.5%)
7. 對-二甲苯(p-xylene, Dr. Ehrenstorfer GmbH, 99.5%)

## (二)儀器設備

- 1.被動式採樣器內填充活性碳 350mg (SKC, 575)
- 2.熱線風速儀 (TSI, VELOCICALC Plus)
- 3.二氧化碳計(YES, 206 Falcon)
- 4.分離管柱(WAX-10, 30m×0.53×1.00mm, SUPELCO)
- 5.氣相層析儀/火燄離子偵測器 (Agilent 6850 Series C)

## 二、分析方法

### (一)檢量線之建立及偵測極限

配製儲備溶液(stock solution)，分別加入 0.1mL 的苯、甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯及對-二甲苯於同一只定量瓶中，再以二硫化碳定量至 100mL，即配成 1000ppm 的儲備溶液，再稀釋成濃度範圍為 0.1ppm 至 50ppm 之標準品，其  $r^2$  值均大於 0.9995；以檢量線最低點連續分析七次，計算其濃度三倍標準差即為偵測極限，其值範圍在 0.01 至 0.06ppm。

BTEX 詳細檢量線範圍、 $r^2$  值及偵測極限如下：

BTEX	濃度範圍(ppm)		$r^2$	偵測極限 (ppm)
	最低	最高		
苯	0.1	50	0.9998	0.01
甲苯	0.1	50	0.9998	0.06
乙苯	0.1	50	0.9998	0.05
對-二甲苯	0.1	50	0.9998	0.03
間-二甲苯	0.1	50	0.9998	0.02
鄰-二甲苯	0.1	50	0.9998	0.03

## (二)脫附效率之測定

配製檢量線中點濃度之苯、甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯及對-二甲苯於同一標準品中，做三重覆分析，其脫附效率為樣本分析重量與實際添加重量之比值，其測定之脫附效率為 90-111%。

↓由注入口添加濃度 10ppm 標準品 0.5mL

↓以石臘薄膜密封

↓置於冰箱冷藏 24 小時

↓取 1.5mL 脫附劑 CS<sub>2</sub> 注入被動式採樣器中

↓震盪脫附 30 分鐘

↓由出口處將 CS<sub>2</sub> 倒至 1.8mL vial 中

↓上機分析(GC/FID)，計算其脫附效率

BTEX	分析重量(μg)	添加重量(μg)	回收率(%)
苯	4.28	4.40	97
甲苯	4.31	4.33	99
乙苯	3.96	4.35	91
對-二甲苯	4.08	4.40	93
間-二甲苯	4.83	4.34	111
鄰-二甲苯	3.94	4.40	90

### (三)分析方法之再現性

為確保儀器分析之穩定度，配製 BTEX 濃度均為 5ppm 之標準品，連續分析七次，分別求出 BTEX 滯留時間及波峰面積之變異係數[CV%=(標準差/平均值)×100%]及相對誤差[(|量測濃度-配製濃度|/配製濃度)×100%]。求得之滯留時間、波峰面積之變異係數範圍為 0.02-1.94%，相對誤差均不超過±7%，顯示儀器穩定性高。

	滯留時間(CV%)	波峰面積(CV%)	相對誤差(%)
苯	0.16	0.66	1.57
甲苯	0.06	1.94	4.34
乙苯	0.02	1.48	2.75
對-二甲苯	0.02	1.27	2.80
間-二甲苯	0.02	1.07	3.02
鄰-二甲苯	0.56	1.63	3.64

### (四)儀器分析條件

參考行政院環境保護署空氣中氣態芳香烴化合物檢驗方法-以活性炭吸附之氣相層析/火焰離子化偵測法NIEA A719.10T<sup>(72)</sup>及勞工委員會標準分析參考方法(Standard Operating Procedure, SOP)#1905<sup>(10)</sup>，略做修正成適合的條件，其儀器分析條件為：

1.溫度：(1)偵測器：250°C

(2)注入口：230°C

(3)oven：60°C(持續 20 分鐘)，以 25°C/min 速度升溫至 150°C

(持續 2 分鐘，將雜質去除)

2.氣體流速：(1)氮氣(載流氣體)：4.8mL/min

(2)氫氣：50 mL/min

(3)空氣：450 mL/min

### (五)樣本 BTEX 濃度之計算

由於被動式採樣法是由空氣擴散原理進行吸附，只能求得化合物之質量，必須考慮採樣時間、採樣流速、現場溫度等因素，需經過換算求出濃度，本研究參考工業技術研究院技術報告<sup>(73)</sup>之計算方法，如下：

$$C = \frac{W \times 1000 \times 24.45 \times CF_T}{r \times t \times S \times M}$$

C：樣本濃度(ppm)

r：脫附效率(%)

t：採樣時間(min)

s：採樣流速(mL/min)

M：分析物分子量(g/mol)

W：採樣重量(μg, 由樣本分析出之濃度×1.5×密度)

CF<sub>T</sub>：溫度效應修正係數，如下所示：

採樣溫度 (°C)	44	37	31	25	19	13	7	2	-3	-8
採樣溫度 (°F)	111	99	88	77	66	55	45	36	27	18
修正係數(CF <sub>T</sub> )	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06

## (六)樣本之分析

參照工業技術研究院技術報告<sup>(73)</sup>所提之脫附方法，步驟如下：

↓取 1.5mL 脫附劑 CS<sub>2</sub> 注入被動式採樣器中

↓震盪脫附 30 分鐘

↓由出口處將 CS<sub>2</sub> 倒至 1.8mL vial 中

↓上機分析 GC/FID，以計算每個採樣樣本 BTEX 之濃度



## 第五節、尿中苯代謝物之測定

### 一、材料

#### (一)藥品

1. *trans,trans*-muconic acid (Fluka, GC Assay > 97.0%)
2. 甲醇 methanol (Merck, GC Purity  $\geq$  99.9%)
3. 醋酸 acetic acid glacial (TEDIA, Assay  $\geq$  99.97%)

#### (二)儀器設備

1. 離心機 (KUBOTA, 5100)
2. 固相萃尿管柱 (SUPELCO, DISCOVERY DSC-SAX tubes, 1mL)
3. 固相萃取裝置 (VARIAN, 20 place manifold)
4. 純水製造機 (MILLIPORE, Milli-Q Plus)
5. 高效能液相層析儀/紫外光偵測器 (HP Series 1100)
6. 分離管柱 (SUPELCO, 516 C-18, 25cm\*4.6mm\*5 $\mu$ m)

### 二、分析方法

#### (一)檢量線之建立與偵測極限

配製儲備溶液(stock solution)，秤重 5mg 之 *trans,trans*- muconic acid 放至定量瓶，並以甲醇定量至 50mL，即配製成 100mg/L 之儲備溶液，再

配成檢量線濃度範圍為 15.625-2000 $\mu\text{g/L}$  之標準品，其檢量線之相關係數超過 0.9995，將檢量線最低點連續分析七次，計算其濃度三倍標準差即為偵測極限，其值為 0.12  $\mu\text{g/l}$ 。

## (二) 添加回收率

取 0.1mL，0.5mg/L 的 *t,t*-MA，相當於添加絕對重量為 50 $\mu\text{g}$  之標準品至混合尿液(pooled urine)中，再依下述分析步驟做三重覆回收率試驗，可求得 *t,t*-MA 濃度並計算其平均絕對重量為 55.28 $\mu\text{g}$ ，其回收率 1.10%。

## (三) 方法再現性

分別配製低(15.625 $\mu\text{g/L}$ )、中(125 $\mu\text{g/L}$ )及高濃度(2000 $\mu\text{g/L}$ )之標準品，連續分析七次，分別求出 *t,t*-MA 滯留時間及波峰面積之變異係數及相對誤差，其滯留時間及波峰面積之變異係數(CV%)及相對誤差皆小於 $\pm 7\%$ ，如下表所示：

濃度( $\mu\text{g/L}$ )	滯留時間(CV%)	波峰面積(CV%)	相對誤差(%)
低 (15.625)	0.15	3.21	2.54
中 (125)	0.03	0.48	0.19
高 (2000)	0.01	0.49	1.73

#### (四)儀器分析條件

- 1.移動相：1%醋酸：甲醇=80：20(體積比)
- 2.溫度：30°C
- 3.流速：1mL/min
- 4.偵測器波長：278nm

#### (五)尿中 *t,t*-MA 濃度分析步驟

參照 Scherer<sup>(21)</sup> 研究所提之固相萃取方法，略作修正分析之。

↓將尿液混合均勻

↓取 4mL 之尿液離心 10 分鐘 (1200rpm)

↓加入 2mL 的甲醇至 SPE tube 中

↓打開 pump 抽氣

↓加入 2mL 的 DI 水

↓加入 1mL 的尿液

↓加入 1mL 1%的醋酸

↓加入 1mL 10%的醋酸

↓上機 HPLC 分析

## 第六節、尿中氧化性指標 8-OHdG 之測定

### 一、材料

#### (一)藥品與試劑

1.8-羥基去氧鳥糞嘌呤核糖醇素免疫檢測試劑套組(8-hydroxy-2'-

deoxyguanosine ELISA Kit, OXIS, BIOXYTECH), 包含以下器皿及試劑:

- (1) precoated with 8-OHdG microtiter plate (8×12 wells)
- (2) 一級抗體 (monoclonal antibody specific for 8-OHdG)
- (3) 一級抗體稀釋溶液(磷酸鹽緩衝溶液)
- (4) 二級抗體 (HRP-conjugated antibody)
- (5) 二級抗體稀釋溶液(磷酸鹽緩衝溶液)
- (6) 呈色劑 (3,3',5,5'-tetramethylbenzidine)
- (7) 呈色劑緩衝溶液(hydrogen peroxide/citrate-phosphate buffered saline)
- (8) 濃縮磷酸鹽緩衝清洗溶液
- (9) 中止劑(1M的磷酸)
- (10) 標準品(0.5, 2.0, 8.0, 20.0, 80.0, 200.0 ng/mL )
- (11) 密封薄膜

## (二)儀器設備

- 1.八爪自動吸管 transferpette-8, 10-100 $\mu$ l(BRAND)
- 2.離心機 (Eppendorf, centrifuge 5415D)
- 3.恆溫培養箱 (YIH DER)
- 4.酵素免疫清洗機 Series Auto Strip Washer(Bio Tek, ELx50)
- 5.酵素免疫分析儀 ELISA reader(Bio Tek,  $\mu$ Quant)

## 二、尿中 8-OHdG 之分析方法

採用酵素結合免疫吸附分析法(ELISA)測定尿中 8-羥基去氧鳥糞嘧啶核糖 8-OHdG 之濃度。

### (一)分析步驟

- ↓取 1mL 尿液於微量離心管
- ↓以 2000\*g 轉速離心 10min
- ↓取 50 $\mu$ L 尿液至 microtiter plate
- ↓加 50 $\mu$ L 一次抗體
- ↓在 37°C 恆溫培養箱培養 1 小時
- ↓以 250 $\mu$ L, pH=7.4 磷酸鹽緩衝溶液清洗三次
- ↓加入 100 $\mu$ L 的二次抗體
- ↓在 37°C 恆溫培養箱培養 1 小時

↓以 250 $\mu$ L, pH=7.4 磷酸鹽緩衝溶液清洗三次

↓加入 100 $\mu$ L 的呈色劑

↓室溫下避光 15 分鐘(產生淡藍色)

↓加入 100 $\mu$ L 的中止劑(1M 的磷酸)(顏色變黃)

↓測其 450nm 吸光值 (必須在 30 分鐘內完成)

## (二)品質管制

1.每個樣品皆做二重複試驗

2.製作檢量線：濃度範圍為 0.5 至 200ng/mL，以濃度 log 值與吸光值作圖，其線性關係式為一平滑非線性曲線，r 值為 0.9999，其檢量線方程式如下：

$$y = \frac{a-d}{1 + \left(\frac{x}{c}\right)^b} + d \quad \longrightarrow \quad y = \frac{3.2497 - 0}{1 + \left(\frac{x}{43.384}\right)^{1.0758}} + 0$$

y：樣本吸光值(nm)

x：樣本濃度(ng/mL)

## 第七節、資料統計與分析

以 Excel 軟體做問卷調查、空氣採樣及尿液分析資料之建檔，以 SPSS 軟體 12.0 版做資料之統計與分析。

### 一、描述性統計

個人基本資料、生活習慣、居家環境調查、室內污染源調查以百分比方式描述；年齡、身高、體重、BTEX 濃度、*t,t*-MA 濃度及 8-OHdG 等連續變項以平均值、標準差及中位數呈現。

### 二、分析性統計

比較研究對象及對照地區類別變項以  $X^2$ -test 檢定其差異，而 *t,t*-MA 濃度之比較以 student t-test 檢定之。探討中科附近家戶空氣中 BTEX 濃度，尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 濃度等連續變項時，因樣本數較少使用無母數統計方法，包括 Mann-Whitney U test 及 Kruskal-Wallis H test；探討自變項影響依變項時，用 Logistic regression 來計算三地區居民尿中 *t,t*-MA 之勝算比，而連續變項可用 General Linear Model(GLM)推估三地區居民尿中 *t,t*-MA 濃度之迴歸係數及以室外空氣中 BTEX 濃度推估室內 BTEX 之濃度。

## 第四章、研究結果

### 第一節、中科附近居民問卷調查及生物偵測

#### 一、中科地區及對照地區居民基本資料、生活習慣及居家環境之比較

本研究的研究對象分成三個族群包括中科南、北區及對照地區，比較三地基本資料及生活習慣，表一結果顯示在性別、身高、體重、BMI 值及吸菸習慣在三個地區均無統計上顯著差異。但在居民的年齡、教育程度及待在家中時間則有統計上之差異，其中年齡在對照地區(74.2 歲)高於中科地區(62.4 歲)平均年齡約 12 歲，進一步以 Scheffe 事後檢定分析，結果顯示只有中科南區與對照地區有統計上差異。在教育程度方面，中科南區之教育程度較對照地區高。比較三地區居民平均待在家中時間，中科南區居民在家中時間顯著性較其他兩個地區短(17.0 小時)。

表二為比較中科地區及對照地區居民居家環境之特性，三個地區居民在家人有吸菸習慣、使用除溼機、蚊香、殺蟲劑及飼養寵物均無統計上顯著差異。只有家中鋪設地毯、使用空氣清淨機及有拜香之變項在三組間有統計上的差異。其中家中鋪設地毯及拜香以中科北區(7.1%及 89.3%)及對照地區(11.8%及 86.8%)比例較高，然而在使用空氣清淨機家戶之比例則以中科南區居民為最高(23.4%)。

## 二、中科地區及對照地區居民尿中 *t,t*-MA 濃度之比較

比較中科南、北區及對照地區居民尿中 *t,t*-MA 濃度(表三)，在未經尿中肌肝酸校正前，三個地區居民尿中 *t,t*-MA 平均濃度雖未達統計上差異，但結果顯示中科南區居民平均 *t,t*-MA 的濃度(45.69 $\mu\text{g/L}$ )仍高於中科北區居民(38.32 $\mu\text{g/L}$ )及對照地區居民(34.25 $\mu\text{g/L}$ )。若比較三組尿中 *t,t*-MA 濃度之中位數，則三個地區居民則有統計上的差異，以中科南區居民最高(34.72 $\mu\text{g/L}$ )。經尿中肌酐酸校正後，三地區居民尿中 *t,t*-MA 平均濃度有統計上顯著差異，中科南區居民濃度最高(61.94 $\mu\text{g/g cre.}$ )、中科北區居民次之(43.82 $\mu\text{g/g cre.}$ )、對照地區居民最低(27.91 $\mu\text{g/g cre.}$ )，比較其平均數、中位數、25%百分位數及 75%百分位數均為中科南區居民較高，其次為中科北區居民，對照地區居民最低。

以對照地區為參考組，居民尿中 *t,t*-MA 濃度在單變項線性分析結果顯示，中科南區、北區居民尿中 *t,t*-MA 濃度皆比對照組居民分別高出 8.29 $\mu\text{g/L}$  及 3.75 $\mu\text{g/L}$ ，但無統計上差異。但經尿中肌肝酸校正後，中科南區居民較對照地區居民高出 52.48 $\mu\text{g/g cre.}$ ，中科北區居民高出 44.22 $\mu\text{g/g cre.}$ ，三組間達統計上顯著差異。經控制性別、年齡及吸菸習慣以複迴歸分析後，中科南區及北區居民尿中 *t,t*-MA 濃度分別比對照地區居民高出 8.08 $\mu\text{g/L}$  及 3.89 $\mu\text{g/L}$ ，未達統計上之差異，經尿中肌肝酸校正後，中科南區高出 49.54 $\mu\text{g/g cre.}$ ，而中科北區高出 42.50 $\mu\text{g/g cre.}$ ，亦有統計上差異(表

四與表五)。

若以尿中 *t,t*-MA 濃度  $100\mu\text{g/g cre.}$  當作切點 (相當於 1/5 BEI 之標準值) 將之分成高、低兩組, 在單變項邏輯斯迴歸分析中, 中科南區居民尿中 *t,t*-MA 濃度為對照地區居民之勝算比(OR, Odds Ratio)為 7.83 倍, 中科北區居民則為對照地區居民的 5.28 倍, 兩者均達統計上顯著之差異。若以邏輯斯複迴歸分析控制性別、年齡及吸菸習慣, 中科南區居民尿中 *t,t*-MA 濃度之勝算比為 8.28, 中科北區居民為 5.19, 亦皆有統計上顯著之差異(表四、表五)。



## 第二節、中科附近家戶空氣中 BTEX 濃度、尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 濃度之比較

### 一、中科附近採樣家戶及某大學研究室室內環境之特性及氣象之條件

本研究中科附近採樣之家戶皆位於國安國宅，一月份採樣家戶編號為 #1-#5，三月份採樣家戶 #3 退出，另加入家戶 #6，其樓層、家中人數及家人吸菸數如表六所示，目前所有家戶的通風方式皆以開窗為主，室內並無明顯 VOCs 污染源。某大學研究室採樣時間為四月，通風方式以中央空調系統為主，研究室※2 在採樣期間曾使用揮發性有機化合物。

表七為採樣家戶及研究室環境溫溼度、風速、及二氧化碳濃度之檢測數據，三月份家戶採樣時室內外溫度較一月為高，但溼度差異不大，室外風速皆高於室內風速，室內外二氧化碳之濃度則以一月份較高。某大學研究室之溫溼度及二氧化碳濃度與三月份家戶採樣氣象之條件皆十分相似，唯使用中央空調其研究室室內風速無法測得。

### 二、中科附近家戶及某大學研究室室內外環境空氣中 BTEX 濃度之比較

表八為家戶及研究室室內外空氣中 BTEX 濃度之分布，室內空氣中 BTEX 濃度包括客廳、廚房及臥室三個微環境之平均值。無論在室內外或不同月份中，甲苯濃度最高，其次為二甲苯(鄰-二甲苯、間-二甲苯、對-二甲苯之總和)，再者為苯，乙苯最低，室內環境空氣中苯、甲苯、乙

苯、二甲苯濃度之比例為 1 : 5.20 : 0.31 : 1.32，室外濃度則為 1 : 3.31 : 0.19 : 0.94，室內及室外空氣中總 VOC(TVOC, total volatile organic compound, 在本研究指 BTEX 濃度之總和)平均濃度範圍為 50.45ppb 至 71.18 ppb。

中科附近家戶室內、外空氣中 BTEX 濃度，除苯(7.81ppb)、二甲苯(10.35ppb)室內環境平均濃度低於室外環境外，甲苯(40.61ppb)、乙苯(2.44ppb)及 TVOC(61.22ppb)室內環境平均濃度則皆高於室外環境，分別以有母數及無母數統計方法檢定之皆無統計上之差異。比較兩個月份中科附近家戶室內、外 BTEX 濃度之差異，三月份 BTEX 之濃度皆高於一月份，除室內環境中乙苯濃度及室外二甲苯濃度有統計上之差異外，其餘則無。(表九、表十)

某大學研究室室內環境空氣中 BTEX 之平均濃度及中位數，除甲苯外，乙苯、二甲苯及 TVOC 之中位數濃度均高於中科附近家戶家中濃度，但未達統計上之差異，但若以平均值濃度表示時，在苯、甲苯及 TVOC 之濃度則以中科附近家戶室內空氣中較高，不過皆無統計上差異。表十二為中科附近家戶在客廳、廚房及臥室微環境空氣中 BTEX 濃度之比較，空氣中 TVOC 平均濃度以廚房最高(62.79ppb)，臥室次之(61.57ppb)，客廳最低(59.30ppb)。若比較各微環境 TVOC 中位數濃度則以客廳(52.81ppb)略高於廚房(52.03ppb)，臥室最低(51.12ppb)。另外，苯、乙苯及二甲苯平

均濃度以廚房較高，不過在各個微環境空氣中 BTEX 濃度並沒有統計上之差異。

### 三、影響中科附近家戶室內空氣中 BTEX 濃度之因素

比較中科附近家戶室內、外環境空氣中 BTEX 濃度是否受家中成員有吸菸習慣之影響，由表十三結果顯示只有室內環境空氣中乙苯濃度有達統計上之差異( $p=0.038$ )，其餘 VOC 物質則無，但家中一般有吸菸者之家戶其室內、外空氣中 BTEX 平均濃度及中位數均高於沒有吸菸成員的家戶。

比較高、低樓層對中科附近家戶室內、外環境空氣中 BTEX 濃度之影響，只有室外環境空氣中苯的濃度在高樓層(10.82ppb)有高於低樓層(9.74ppb)外，其餘室內、外空氣中 BTEX 的濃度皆為低樓層高於高樓層，其中室內環境在低樓層空氣中二甲苯之平均濃度顯著高於高樓層( $p$  值 =0.011)(表十四)。

### 四、中科附近家戶室內、外空氣中 BTEX 濃度之比值

中科附近家戶居家室內、外環境空氣中 BTEX 濃度之比值(I/O ratio, Indoor/Outdoor ratio)，其範圍從 0.93 至 1.20，其中甲苯、乙苯及 TVOC 之平均 I/O 值皆大於 1，顯示中科附近家戶室內環境空氣中甲苯、乙苯及 TVOC 濃度略高於室外環境。

比較中科附近家戶家中成員吸菸對空氣中 BTEX 濃度 I/O 值之影響，有吸菸之家戶空氣中苯(1.10)、乙苯(1.17)、二甲苯(1.34)之平均室內外濃度比值均高於無吸菸家戶之比值，但未達統計上之差異。比較中科附近家戶高、低樓層對室內空氣中 BTEX 濃度 I/O 值之影響，只有家戶空氣中甲苯之 I/O 值在高樓層(1.31)高於低樓層(1.03)，其餘 VOCs 皆是低樓層之 I/O 值較高，除空氣中二甲苯在室內、外濃度比值在高低樓層有統計上之差異( $p=0.033$ )，其餘 VOCs 物質皆未有顯著性差異。另外，在中科附近低樓層家戶室內、外空氣中 BTEX 濃度之比值皆大於 1，顯示可能有其他室內汙染源(表十五至表十七)。

#### 五、某大學研究室室內環境 BTEX 濃度與研究生個人暴露之比較

為瞭解環境測定及個人暴露 BTEX 濃度間是否有差異，在某大學三間研究室及九名研究生分別做定點採樣及個人採樣，由表十八結果顯示其研究室空氣中除甲苯外，苯(7.09ppb)、乙苯(3.23ppb)、二甲苯(13.5ppb)及 TVOC (53.87ppb)濃度均較個人暴露濃度略高，但經無母數統計檢定後，顯示環境測定與個人暴露之 VOCs 濃度無統計上之差異。

#### 六、中科附近家戶居民一月及三月尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 濃度之比較

比較一月及三月中科附近家戶 *t,t*-MA 濃度是否有差異，表十九顯示未經尿中肌酐酸校正尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 濃度，一月份較三月份略高，

平均濃度分別為 43.17 $\mu\text{g/L}$  及 12.50 $\text{ng/mL}$ ，經肌酐酸校正後，則以三月份中科附近家戶居民之尿中 *t,t*-MA(100.36 $\mu\text{g/g cre.}$ )及 8-OHdG(13.21 $\mu\text{g/g cre.}$ )濃度較高，經統計檢定後只有尿中肌酐酸校正後，除 *t,t*-MA 濃度在一月及三月有統計上之差異( $p < 0.001$ )，其餘則沒有。

吸菸是否影響尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 濃度，表二十為中科附近居民吸菸者與非吸菸者之比較，非吸菸者尿中 *t,t*-MA 之濃度為 33.01 $\mu\text{g/L}$ ，吸菸者為 58.43 $\mu\text{g/L}$ ，有統計上之差異，經肌酐酸校正後分別為 68.20 $\mu\text{g/g cre.}$  及 215.12 $\mu\text{g/g cre.}$ ，以吸菸者濃度較高，但無統計上之差異。而尿中 8-OHdG 之濃度吸菸居民(32.32  $\text{ng/mL}$ )大於非吸菸之居民(8.73  $\text{ng/mL}$ )，經肌酐酸校正後分別為 12.29 $\mu\text{g/g cre.}$ 及 11.28 $\mu\text{g/g cre.}$ ，雖然吸菸居民濃度較高，但未達到統計上之差異。

表二十一為中科附近家戶居民與某大學研究生尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 濃度之比較，尿中肌酐酸未經校正前，中科附近家戶尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 平均濃度分別為 36.13 $\mu\text{g/L}$  及 12.26  $\text{ng/mL}$  均高於大學研究生，但尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 其濃度之中位數則以大學研究生較高，分別是 27.82 $\mu\text{g/L}$  及 7.51 $\text{ng/mL}$ ，但皆未達統計上之差異。若經尿中肌酐酸校正後，尿中 *t,t*-MA 平均值及中位數濃度以大學生較高(363.52 $\mu\text{g/g cre.}$  及 346.93 $\mu\text{g/g cre.}$ )，且有統計上顯著性差異。另外，尿中 8-OHdG 濃度以中科附近居民也較高，其平均濃度為 11.59 $\mu\text{g/g cre.}$ ，中位數為 11.65 $\mu\text{g/g}$

cre.，亦達統計上之差異，檢定兩組肌酐酸濃度並未有顯著性之差異。



### 第三節、比較中科附近居民及環境採樣家戶居民尿中 *t,t*-MA 之濃度

中科附近一般居民尿中 *t,t*-MA 平均值及中位數濃度分別為 43.09  $\mu\text{g/L}$  及 31.67 $\mu\text{g/L}$ ，在環境採樣家戶居民為 36.96 $\mu\text{g/L}$  及 27.37 $\mu\text{g/L}$ ，以中科附近居民尿中 *t,t*-MA 濃度較高些，經二組樣本 t 檢定及無母數統計檢定後，二組間濃度無統計上之差異。尿中肌酐酸經校正後，中科附近居民尿中 *t,t*-MA 平均數及中位數濃度分別為 63.69 $\mu\text{g/g cre.}$ 及 36.21 $\mu\text{g/g cre.}$ ，環境採樣家戶居民則為 67.52 $\mu\text{g/g cre.}$ 及 64.82 $\mu\text{g/g cre.}$ ，以環境採樣家戶居民之濃度略高，亦皆未達統計上之差異(表二十二)，兩組肌酐酸亦未有顯著性差異。



## 第四節、中科附近家戶室內空氣中 BTEX 濃度及居民尿中 *t,t*-MA 與 8-OHdG 之相關矩陣

### 一、中科附近家戶室內空氣中 BTEX 濃度之相關矩陣

表二十三為中科附近家戶室內空氣中苯、甲苯、乙苯、二甲苯及 TVOC 濃度間之相關性，皮爾森相關係數(Pearson's correlation)範圍為 0.472-0.974，皆達統計上顯著差異，其中甲苯與乙苯、TVOC 與甲苯、乙苯、二甲苯間之皮爾森相關係數分別為 0.704、0.974、0.749 及 0.779，相關係數大於 0.7 之高度相關。

### 二、中科附近家戶居民尿中 *t,t*-MA 與 8-OHdG 濃度之相關矩陣

中科附近家戶居民尿中 *t,t*-MA 與 8-OHdG 濃度之相關係數，表二十三結果顯示在未經肌酐酸校正及未經 log 轉換之尿中 *t,t*-MA 與 8-OHdG 濃度之相關係數為 0.580，皆達統計上之顯著差異。但經肌酐酸校正或 log 轉換後兩者濃度之相關係數範圍在 0.2 至 0.4 間，並未達統計上之差異。

## 第五節、室外 BTEX 濃度推估室內 BTEX 濃度之預測模式

表二十五為控制不同環境相關變項後，以室外 BTEX 濃度來推估室內 BTEX 濃度之迴歸模式，模式一為沒有控制任何變項時，室外環境空氣中甲苯、乙苯、二甲苯及 TVOC 濃度每增加 1ppb，則分別顯著性地增加 0.77ppb、0.82 ppb、1.11 及 0.98 (p 值 < 0.05)，模式二至模式六則分別控制溫度、溼度、風速、二氧化碳濃度及家中吸菸等環境影響之變項，以推測室內環境空氣中甲苯、乙苯、二甲苯及 TVOC 之濃度，除室外環境空氣中苯濃度推估室內苯之濃度，皆未達統計上顯著之差異，p 值皆約為 0.055，其餘模式均顯示戶外 VOCs 濃度均會顯著性影響室內 VOCs 之濃度。

模式七至模式九為控制兩個以上變項來推估室內 BTEX 之濃度。模式七為控制二氧化碳濃度及家中成員是否吸菸，結果顯示室外空氣中之苯、甲苯、乙苯、二甲苯及 TVOC 濃度每增加 1ppb，則分別顯著增加室內空氣中 0.51 ppb、0.84 ppb、0.75 ppb、1.16 ppb 及 0.96 ppb (p 值皆小於 0.05)。而模式八為控制風速、二氧化碳濃度及家中成員吸菸，其室外空氣中之甲苯、二甲苯及 TVOC 濃度每增加 1ppb，則分別顯著增加室內空氣中 0.92 ppb、1.08 ppb 及 0.98 ppb 之 VOCs 濃度，但在苯及乙苯並無顯著性差異，其 p 值約為 0.058。模式九為控制風速、溼度、二氧化碳濃度及家中成員吸菸，其室外空氣中之苯、甲苯、二甲苯及 TVOC 濃度每增

加 1ppb，亦顯著增加室內空氣中 0.63ppb、1.01 ppb、1.13 ppb 及 1.16 ppb 之 VOCs 濃度，只有乙苯並未達統計上之差異。



## 第五章、討 論

### 第一節、樣本代表性

#### 一、中科附近附近居民

研究地區之選取由 ISC 擴散模式推估中科園區空氣污染可能影響之範圍，分別位於中科南部之國安社區、鄉林社區及位於中科北部之秀山村，配合其舉辦之大型聚會活動進行問卷調查及樣本收集，問卷資料完整、有尿液樣本且肌酐酸濃度範圍正常者共計 175 名，男女各佔一半，雖無法收錄該社區所有居民之相關資料，但根據其社區管理委員會所述居民之年齡特性與結果與本研究所收集研究對象相符，故此研究對象應可代表該區大多數居民之屬性。若以地區別來看，中科南區居民有 146 名，平均年齡為 55.2 歲，而中科北區居民有 29 名，平均年齡為 69.6 歲，兩地區之年齡分布在統計上有顯著之差異( $p < 0.001$ )，為排除年齡因素造成研究推論之誤差將之分為二組與對照地區比較。此外，參與本研究之研究對象皆以自願之方式，一般自願者對於身體健康較為重視，對生活週遭環境污染物之暴露較為敏感，可能會儘量考量減少暴露到其他污染物之機會。

## 二、對照地區之選取

對照地區為台中縣以農業為主之新社鄉，該地區無明顯之工業污染源且交通流量較小，但氣候環境與台中市相似為最適合居住之鄉林地區。對照組問卷訪視及檢體之收集配合該地區每個月定期舉辦老人聚會活動進行，有效問卷及檢體合計 79 名，男性佔 51.3%，平均年齡為 74.2 歲，其年齡分布及教育程度與中科北區居民無統計上之差異 ( $p=0.461$ 、 $p=0.775$ )，在比較兩個地區別差異時較不易受到年齡及教育程度之干擾。由於對照地區居民皆來自新社村及大南村，此二村為新社鄉最大之村里，且年齡結構亦以年長者居多，亦可以代表該地區大多數居民。

## 三、中科附近採樣家戶之選取

中科附近空氣採樣家戶與整個國安社區建築型態完全類似，參與採樣之家戶分布於該社區內不同位置與樓層，且對象包括吸菸及非吸菸家庭，其他室內污染源(包括烹飪及吸菸等)與一般家戶相似，推論可代表該地區之一般家戶型態。此外，採樣時間為冬末的一月份及春季的三月份，不同的季節是否對空氣中污染物之濃度有差異。本研究室內空氣採樣器放置點為客廳、廚房及臥室，為民眾主要生活活動及可能室內污染源產生之區域，可用來評估該家戶室內環境污染物暴露情形；而室外空氣採樣點位於陽台，用來代表該家戶室外污染物之濃度，並進一步分析是否

影響室內空氣中污染物之濃度。

為瞭解中科附近居家室內空氣中污染物之濃度是否偏高，選擇某大學研究室做為空氣中污染物濃度之比較對象，該研究室內置放許多化學藥品。一般而言，其環境中污染物之濃度應該會比室內無特殊暴露之住家為高，以作為本研究比較二族群暴露濃度是否有差異之參考。此外，以某大學研究所之研究生，其每日待在該研究室超過八小時者做為個人採樣，其目的用以比較有可能暴露有機化學物之實驗室室內的環境，與中科一般家戶空氣中污染物之濃度是否有差異。



## 第二節、空氣中 BTEX 之採樣方法與結果及影響因素

### 一、被動式採樣器與主動式採樣之比較

本研究所使用之空氣採樣器為內充填活性碳被動式採樣器，所測得 BTEX 之平均脫附效率介於 90%至 111%(表一)，皆大於 75%達到規範之標準<sup>(74)</sup>，其中間-二甲苯之回收率高於 100%，在脫附過程中可能受到污染或是儀器分析上不穩定導致。雖然被動式採樣器使用上簡易輕便，較易被研究對象接受，但其採樣之準確性及適用範圍仍具爭議，國內目前尚無公告的標準分析方法<sup>(10)</sup>。根據美國 SKC 公司對被動式採樣器型號 575 技術報告<sup>(75)</sup>，採樣環境在 25°C，相對溼度 80%下其回收率為 96.0%。而勞研所<sup>(76)</sup>評估市售被動式採樣器之準確性，其脫附效率為 97.48%皆與本研究結果相近，且曾測試被動式與主動式 VOCs 採樣之相關性，兩者 VOCs 濃度相關係數為 0.964，而絕對質量相關係數為 0.977，顯示兩種方法測定結果之相關性良好，但以實際現場採樣測定之結果，被動式與主動式二者偏差可高達 35%，在使用上必須特別注意其他環境因素之影響。

### 二、室內、外空氣中 BTEX 濃度與大氣中 BTEX 濃度之比較

中科附近居民室內空氣中 BTEX 之平均濃度為 7.81ppb、40.61ppb、2.44ppb 及 10.35ppb，室外則為 10.39 ppb、37.58ppb、2.21 ppb 及 10.46 ppb(表九)，在某大學研究室為 7.09 ppb、30.06 ppb、3.23 ppb、13.50 ppb(表十一)，

皆以甲苯濃度最高、二甲苯次高、乙苯最低，在許多文獻結果中無論室內外VOCs濃度亦為如此<sup>(77、78)</sup>。由於此大學研究室置放許多化學物質包括BTEX，一般而言，在採樣期間有一間研究室有使用有機溶劑，其室內BTEX濃度依推理較一般家戶室內外空氣中BTEX來的高，可能的原因為除研究室內有設置局部排氣設備運作外，中科附近家戶室內BTEX濃度較高有可能是外在環境污染所引起的。此外，中科附近家戶室內空氣中甲苯之濃度較某大學研究室高出10ppb，顯示中科附近家戶有其他暴露來源，包括中科工業上所排放或是交通移動污染源。范氏<sup>(33)</sup>之研究指出一般居家室內空氣中BTEX濃度為7.2 ppb、19.3 ppb、5.4 ppb與8.8 ppb，但在中科附近家戶室內空氣中甲苯暴露濃度高出許多。

根據環保署在崇倫光化學監測站結果顯示在本研究採樣期間空氣中BTEX平均濃度為6.46 ppb、63.74 ppb、6.10 ppb及18.27 ppb<sup>(79)</sup>，除了苯外，甲苯、乙苯及二甲苯皆顯著高於中科附近居民室內、外之濃度，此監測站可顯示台中市一般大氣環境中BTEX之平均濃度。王氏(2000)等人<sup>(80)</sup>指出台灣中部地區受到氣象及地形因素之影響，即使在非特定污染源VOCs排放區，在秋季與冬末時，由於VOCs 經一連串光化反應會形成臭氧二次空氣污染物，容易出現高之高臭氧事件。BTEX除產生光化學反應外，其他為交通排放或其他工業污染的來源亦有可能產生甲苯、乙苯及二甲苯亦是主因，導致台中市崇倫監測站的濃度較高。張氏(2005)<sup>(81)</sup>曾監測

中科附近社區環境大氣中BTEX之濃度為3.1 ppb、58.7 ppb、2.7 ppb與13.0 ppb，本研究中科附近居民室內空氣中濃度除苯外，其他三者反而較低，推估除室內可能污染源為居民在家中吸菸或經由大氣環境擴散至室內中，但在居民室內外空氣中甲苯之濃度比大氣採樣點約低18ppb，可能由於後者大氣採樣點位於交通要道上，一般高樓之家戶較不易受到交通污染的影響。此外，本研究所使用之採樣器為被動式採樣器與採樣時間為24小時；而台中市崇倫監測站設施為美國Perkin Elmer的自動VOC分析系統屬於直讀式分析儀，每小時採樣及量測VOCs物質，所量測之變異性較大；而張氏使用的是不銹筒採樣器，其採樣時間為12小時，其採樣器及採樣時間皆不相同，可能造成三者監測BTEX濃度有所差異。

另外，本研究中科附近家戶空氣中平均 T/B 值為 4.87，其中室內空氣中平均 T/B 值為 5.31，室外空氣則為 3.55，而台中崇倫光化學監測站<sup>(79)</sup>之平均 T/B 值為 10.44，張氏<sup>(81)</sup>在中科廠區週邊主要幹道所測得之平均 T/B 值為 13.81。以中科附近家戶空氣中甲苯及苯之比值較低，崇倫監測站及週邊道路則較高，其原因為苯、甲苯之來源為除了為交通污染外，中科廠商之排放亦可能為來源之一。Lee<sup>(36)</sup>之研究中在上班尖峰時刻測定大氣中 BTEX 之濃度，結果顯示新興工業區空氣中 T/B 值為 4.4，在都市住宅區為 9.1，商業區為 7.1，其中新興工業區之 T/B 值與本研究中科附近家戶之 T/B 值相似。而 Chiu<sup>(35)</sup>之研究為在新竹科學園區以不銹鋼筒進

行大氣中 BTX 之採樣，其濃度為 8.2 ppb、11.4 ppb 及 2.8 ppb，甲苯之濃度均較本研究低許多且 T/B 比值較小，苯與甲苯排放量越相近，推估主要污染源工業排放，若 T/B 比值較越大，則為交通工具貢獻量較大。

### 三、居家室內空氣中 BTEX 濃度之影響因素

許多研究<sup>(37,43,44,47)</sup>指出室內空氣中 BTEX 濃度容易受到季節、樓層、吸菸、室外交通污染源之影響，在比較室內外空氣中 BTEX 濃度是否有差異時，由於本研究家戶採樣樣本數較少，分別以有母數統計及無母統計檢定之(表九)，結果顯示兩者並無統計上之差異，進一步以 Pearson's 相關係數分析室內外 BTEX 濃度相關性，其 r 值分別為 0.610、0.809、0.707 及 0.669 之相關性良好，且甲苯與乙苯在室內外濃度具有高度相關( $r > 0.7$ ) (圖一)。若以 Spearman's rho 相關係數分析之，其室內外空氣中苯、甲苯、乙苯、二甲苯濃度之相關係數分別為 0.598、0.806、0.648 及 0.612，亦有良好之相關性，顯示中科附近居民室內 BTEX 之濃度易受到特定污染源之影響，除部份來自住家污染源外，其他可能主要之來源為中科園區及交通汽機車所排放。在 Lee<sup>(36)</sup>研究中苯與 TEX 間相關性較弱，而 TEX 間相關性良好之現象，作者推估可能之原因為 TEX 之主要來源包括交通與工廠，但在苯之來源為交通之排放。此外，本研究結果顯示 BTEX 之 I/O 值除苯外，甲苯、乙苯及二甲苯皆大於 1，代表可能此二類苯物質在室內有特定污染源產生，進一步比較吸菸是否影響 I/O 值(參見表十六)，除甲

苯外，苯、乙苯及二甲苯均在吸菸家戶之 I/O 值較高，顯示吸菸行為確為影響室內空氣中苯、乙苯及二甲苯重要來源之一，但在吸菸家戶及非吸菸家戶二者間 BTEX I/O 值並無統計上之差異。另外，家中若有成員吸菸其室內外空氣中 BTEX 之濃度亦較高，且在兩者間室內空氣中乙苯之濃度有顯著之差異。而吸菸家戶甲苯 I/O 值較低其原因為非吸菸家戶廚房空氣中甲苯濃度為室外的 2.3-3.5 倍所導致，顯示廚房在非吸菸家戶有甲苯重要來源。比較室內微環境空氣中 BTEX 之濃度，本研究結果顯示廚房空氣中之苯、乙苯及二甲苯均比客廳、臥室高，但無統計上之差異。Schneider(1999)<sup>(82)</sup>之研究中採樣家戶微環境中 BTEX 之濃度以廚房濃度最高，其次為客廳，臥室最低，且室內空氣中 BTEX 之濃度皆比室外濃度高，此與本研究結果一致。

本研究將採樣家戶分為低樓層及高樓層家戶，比較樓層高低是否會影響居家室內外 BTEX 之濃度，結果顯示低樓層之家戶室內外空氣中 BTEX 濃度較高，顯示低樓層家戶內空氣易受附近特定污染特所影響，例如交通或工業污染，且在低樓層空氣中 BTEX 之 I/O 值範圍 1.03-1.50，室內濃度均較室外高，而在高樓層為 0.70-1.31，BTEX 差異性較大。因此若低樓層家戶濃度較高時，則受到鄰近道路交通污染源可能較高，而污染源來自一牆之隔的中科所排放亦有可能，此外可能為低樓層之家戶皆為吸菸家戶，室內空氣易受到吸菸行為之影響。研究指出<sup>(43)</sup>在同一棟

建築中，低樓層室內受汽機車排放 VOCs 之濃度會比高樓層之濃度高出 2-4 倍。梁氏<sup>(42)</sup>之研究指出在鄰近交通要道處，比較不同垂直高度室內外空氣中 VOCs 之比值，結果顯示在低樓層 I/O 值範圍為 1.7-8.0，高樓層為 0.4-18.0 變異性較大，此現象亦與本研究結果相符。

由於本研究採樣家戶中有四戶在一月及三月皆做採樣分析，事先以迴歸診斷分析一、三月份空氣中 BTEX 濃度之相關性，顯示兩月份間並無共線性問題，進一步比較一月份及三月份家戶室內外空氣中 BTEX 之濃度，表十顯示三月份濃度高於一月份的，除了室內乙苯及室外二甲苯有達統計上之差異外其餘物質則無，比較兩個月份之氣候條件，可能與三月份溫度較高有關，根據過去許多研究結果<sup>(44, 83)</sup>皆顯示冬季空氣中 BTEX 之濃度高於夏季，由於大氣環境溫度低 BTEX 較不易揮發。根據中科公告<sup>(84)</sup>中科園區一、二月份總營業額為 366 億元，三月份為 368.6 億元，總營業額差異並不大，因此無法判斷是否為中科排放導致附近住家內空氣中 BTEX 濃度升高所致，不過根據從台中市崇倫測站資料顯示三月份大氣環境中 BTEX 濃度也比一月份為高<sup>(79)</sup>，而依本研究採樣家戶室內環境調查資料顯示，三月份 BTEX 濃度較一月份較高之因素可能與交通污染增加或大氣光化學反應有關。

要明確界定中科附近居民 BTEX 暴露主要來源為中科之排放或交通污染是比較困難的，許氏<sup>(85)</sup>在 94 年於中科園區主要聯外道路以車流量推

估交通工具對苯之貢獻量，三月及五月間分析其交通工具之貢獻量有 75%可以解釋苯的濃度變異，而在七月後交通污染源可預測性僅達 33%，顯示在 94 年七月後有其他污染源貢獻量來預測苯之濃度，以時間點推估在七月後中科接近量產階段，其來源可能為中科之貢獻。本研究以複迴歸分析結果 (表二十四)控制家中吸菸、室內風速、溼度及二氧化碳濃度，確知室外 BTEX 之濃度顯著性可影響室內之濃度。因此，除附近主要聯外道路之交通污染源對苯之貢獻量外，當中科園區有任何其他污染源排放時，極有可能也會增加附近住宅環境室內、外空氣中之 BTEX 之濃度。



### 第三節、尿中 *t,t*-MA、8-OHdG 之濃度與結果及影響因素

#### 一、尿中 *t,t*-MA 之濃度及影響因素

苯進入人體經吸收代謝後會產生許多代謝產物包括 phenol、catechol、hydroquinone、S-PMA 及 *t,t*-MA 等<sup>(86)</sup>，本研究以 *t,t*-MA 做為苯代謝之生物指標，依過去文獻指出<sup>(87)</sup> 苯之尿中代謝物有 phenol、catechol、hydroquinone、S-PMA 及 *t,t*-MA，其中以前三種代謝物作為苯暴露之生物指標，但由於目前苯經證實為人類致癌物，有關單位也將苯的容許濃度降低至 1ppm 或更低，以致於尿中 phenol、catechol、hydroquinone 因其背景值太高不適用目前檢測，而尿中 S-PMA、*t,t*-MA 則為敏感度及特異度較高，適合作為低濃度苯暴露之生物指標。然而，S-PMA 生物學上之意義，是苯代謝成環氧化物後經 GSH (glutathione，穀胱甘肽酵素) 作用後形成 S-PMA，和人體健康較有相關性；而 *t,t*-MA 則是直接由環氧化物將苯環打開後形成，與苯暴露之影響較有相關。

本研究比較中科地區居民苯暴露代謝產物濃度是否與對照組有差異，結果顯示中科南區居民及中科北區居民尿中 *t,t*-MA 濃度分別為 61.94 $\mu$ g/g cre. 及 43.82 $\mu$ g/g cre.，均顯著性高於對照地區(27.91)( $p < 0.001$ )；以單變項線性及邏輯斯迴歸分析後，只有地區別對尿中 *t,t*-MA 濃度有顯著性之差異，而其他教育程度、年齡、BMI、居家環境等因素，

則無統計上之差異。再利用邏輯斯複迴歸控制性別、年齡、吸菸習慣後，結果顯示中科南區居民尿中 *t,t*-MA 濃度之勝算比為 7.83，中科北區居民則為 5.28 大於對照地區民眾，推估得知中科地區居民可能暴露空氣苯之濃度顯著性高於對照地區。Kivistö<sup>(24)</sup> 比較苯製造廠勞工與對照組尿中 *t,t*-MA 之濃度，結果顯示苯製造廠之勞工尿中 *t,t*-MA 濃度為 17.2  $\mu\text{g/L}$  顯著性高於對照組(0.9  $\mu\text{g/L}$ )。

另外，香菸亦為苯暴露來源之一，本研究也比較中科地區居民吸菸者尿中 *t,t*-MA 之濃度是否較高，結果顯示兩者無統計上之差異。不過文獻<sup>(88、89)</sup> 顯示吸菸者尿中 *t,t*-MA 濃度較非吸菸者高。另外，食物中常含有己二烯酸(sorbic acid)，依食品衛生管理法是為第一類防腐劑，經常做添加於食物中，食入後經代謝亦會形成 *t,t*-MA，飲食可能為影響之重要因素。Scherer<sup>(21)</sup> 研究指出假設每天吃 3-30mg 的己二烯酸，影響非吸菸者尿中 *t,t*-MA 之背景濃度大於吸菸者。Lee(2005)<sup>(90)</sup> 選取 4 名沒有吸菸自願之醫護人員分別食入含有 20mg、40mg、80mg 及 160mg 己二烯酸之三明治，結果顯示食入己二烯酸的量越多，尿中 *t,t*-MA 之代謝濃度亦越高，食入 20mg-80mg 之己二烯酸，尿中 *t,t*-MA 濃度約增加 50-600 $\mu\text{g/g cre.}$ ，且食入後約 3-5 小時代謝濃度達到最高，在 10-12 小時後幾乎代謝完畢，顯示尿中 *t,t*-MA 濃度受飲食影響很大，而 Weaver<sup>(91)</sup> 的研究也指出在低濃度苯暴露之環境下，評估尿中 *t,t*-MA 濃度時易受飲食中己二烯酸之影響。但

本研究未進一步評估研究對象飲食中之己二烯酸含量。

比較一、三月空氣採樣家戶尿中 *t,t*-MA 之濃度(表十九)，未經肌酐酸校正前一月份家戶尿中 *t,t*-MA 平均濃度較高為 43.17 $\mu$ g/L，三月份家戶尿中 *t,t*-MA 平均濃度為 28.68 $\mu$ g/L，但二者間無統計上之差異。經肌酐酸校正後，一月份為 42.89 $\mu$ g/g cre.，三月份則上升至 100.36 $\mu$ g/g cre.，二者達統計上顯著之差異。進一步比較其尿中肌酐酸值，一月份尿中肌酐酸值高出許多但無統計上之差異，三月份尿中 *t,t*-MA 濃度經肌酐酸校正後變異之大的原因，可能為三月份家戶尿中 *t,t*-MA 濃度變異性大，且經肌酐酸校正後濃度範圍廣從 ND 值到 693.64 $\mu$ g/g cre.，其次為 485.49 $\mu$ g/g cre.，扣除此二個極偏值，其平均濃度仍為 100.36 $\mu$ g/g cre.，顯示三月份居民尿中 *t,t*-MA 濃度的確明顯高於一月份。此是否與三月份家戶內空氣中 BTEX 濃度較高有關，仍需進一步來評估。

比較中科附近居民及某大學研究生尿中 *t,t*-MA 之濃度，未經肌酐酸校正前二者濃度差異不大，但經肌酐酸校正後中科居民尿中 *t,t*-MA 之濃度為 112.92 $\mu$ g/g cre.，大學研究生則高達 363.52 $\mu$ g/g cre.，兩組有達統計上之差異，由於兩組 *t,t*-MA 之濃度的標準差皆大，除樣本數較少外，二組的 *t,t*-MA 之濃度範圍全距皆達 700 $\mu$ g/g cre.，若扣除離散值後，中科居民尿中 *t,t*-MA 之濃度為 67.52 $\mu$ g/g cre.，大學研究生 146.65 $\mu$ g/g cre.，且大學研究生尿中 *t,t*-MA 之濃度皆高於 100 $\mu$ g/g cre.，若進一步比較二組尿中

肌酐酸值得知，由於中科附近居民平均年齡較高，尿中肌酐酸濃度較大學研究生為高，但兩者亦無顯著之差異。而大學研究生在實驗室從事研究，有可能經常暴露各種有機溶劑的環境，不過由被動式採樣結果得知空氣中苯濃度在研究兩個地區之濃度則相近，顯示尿中肌酐酸值為影響因素之一。

將採樣家戶與中科附近居民做尿中 *t,t*-MA 濃度之比較，二組將離散值扣除後，中科附近居民尿中 *t,t*-MA 濃度為 43.09 $\mu$ g/L，採樣家戶居民為 36.96 $\mu$ g/L，中科居民濃度稍高於採樣家戶，但兩者亦無統計上之差異。經肌酐酸校正後，中科附近居民尿中 *t,t*-MA 濃度為 63.39 $\mu$ g/g cre.，採樣家戶居民為 67.52 $\mu$ g/g cre.，兩組差異較小亦無顯著性之差異，可藉由本次採樣家戶推估中科附近居民尿中 *t,t*-MA 濃度。根據 Ruppert<sup>(47)</sup>之研究得知德國人吸菸者尿中 *t,t*-MA 濃度為 130  $\mu$ g/g cre.，非吸菸者背景值之濃度為 65  $\mu$ g/g cre.，此數值與中科附近居民尿中 *t,t*-MA 濃度相近，但在本研究吸菸者則略高此研究。Melikian<sup>(88)</sup>將研究對象分為吸菸者與非吸菸者，其 *t,t*-MA 濃度範圍分別為 220 -240 $\mu$ g/g cre.及 50-60 $\mu$ g/g cre.，若非吸菸者分為男性、女性及懷孕者，其濃度無顯著之差異。在過去國外非職業暴露及非吸菸者之研究，尿中 *t,t*-MA 平均濃度範圍在 32 $\mu$ g/g cre.至 90 $\mu$ g/g cre.間<sup>(92-94)</sup>，皆與本研究結果相近。

## 二、尿中 8-OHdG 之濃度及影響因素

本研究利用尿中 8-OHdG 之濃度做為研究對象之氧化性傷害指標，比較中科附近居民一、三月尿中 8-OHdG 之濃度，由於部分家戶結果顯示一月份居民尿中 8-OHdG 之濃度為 12.50ng/mL，三月份為 11.99 ng/mL，沒有達到統計上顯著差異，經肌酐酸校正後，一月份居民尿中 8-OHdG 濃度為 10.10 $\mu$ g/g cre.，三月份為 13.21 $\mu$ g/g cre.，皆無統計上之差異。由於一、三月有部份家戶重覆，比較兩月份尿中 8-OHdG 濃度之相關性大於 0.7，再以迴歸診斷分析是否有共線性，其膨脹係數(VIF, Variance Inflation Factor)為 1，並無共線性問題，因此可將一、三月份合併與某大學研究生比較尿中 8-OHdG 之濃度，結果顯示中科附近居民濃度為 12.26 ng/mL，高於大學研究生為 7.11 ng/mL，但經肌酐酸校正後為 11.59 $\mu$ g/g cre. 及 6.19 $\mu$ g/g cre.，則有統計上之差異，顯示中科附近居民尿中 8-OHdG 之濃度顯著性高於大學研究生，除可能與受測者年齡有關外，是否中科附近居民還有暴露其他有害物質，而造成其過多氧化性傷害指標之代謝，此外，中科附近居民亦包括部份吸菸的居民，亦能增加尿中 8-OHdG 之濃度。因此進一步比較中科附近居民吸菸者及非吸菸者尿中 8-OHdG 之濃度，其吸菸居民尿中 8-OHdG 之濃度為 20.32 ng/mL，亦顯著性的高於非吸菸者(8.73 ng/mL)，經肌酐酸校正後二組則無統計上之差異，顯示尿中 8-OHdG 之濃度除了受到吸菸影響外，尿中肌酐酸濃度亦為可能干擾

因素之一。

Kimura<sup>(53)</sup>之研究以日本人而言，其平均尿中 8-OHdG 之濃度為 15.2 $\mu$ g/g cre.，探討年齡與尿中 8-OHdG 濃度之關係，以 45 歲做為切點，二組 8-OHdG 濃度間無顯著之差異，但將男女分開將年齡分層，女性尿中 8-OHdG 之濃度隨年齡增加而上升，但男性則沒有相同趨勢。此外，Howard<sup>(95)</sup>的研究顯示二手菸之暴露亦可能增加尿中 8-OHdG 之濃度。



#### 第四節、空氣中 BTEX 濃度與尿中 *t,t*-MA、8-OHdG 濃度之相關

比較中科附近居民室內空氣中苯之濃度與居民尿中 *t,t*-MA 濃度之相關性，結果顯示二者間並無顯著性之相關( $r=0.03$ )，其可能之因素為室內空氣中苯濃度偏低，且採樣為家戶中定點採樣，部份居民在採樣期間離開或外出，本研究並非以個人採樣為主，以致於無法代表居民個人真正暴露到空氣中苯之濃度。此外，對於居民之飲食習慣並未進一步評估攝取己二烯酸之含量，且尿中 *t,t*-MA 半衰期為 13.7 小時，並透過各種暴露途徑可能會造成尿中 *t,t*-MA 之累積，除飲食外其他來源可能會影響空氣中苯在低濃度暴露時與尿中 *t,t*-MA 濃度之相關性。過去相關研究<sup>(89、96)</sup>均指出空氣中苯之濃度與尿中 *t,t*-MA 之濃度有高度相關，但其研究對象均為職業暴露為主，空氣中苯濃度超過 1ppm 以上，與尿中 *t,t*-MA 之濃度才有較高之相關性。Fustinoni<sup>(70)</sup>研究空氣中苯與尿中 *t,t*-MA 濃度之相關，其空氣中苯之濃度範圍為 6-22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，不過兩者相關係數只有 0.10，而本研究室內空氣中苯濃度只有 7.81ppb，因此其濃度與其代謝產物濃度相關也偏低。

比較尿中苯之代謝產物 *t,t*-MA 與氧化性傷害指標 8-OHdG 之相關性，由表二十四顯示未經肌酐酸校正之尿中 *t,t*-MA 與 8-OHdG 有中度相關，其皮爾森相關係數為 0.58 ( $p=0.004$ )，經肌酐酸校正後，二者無顯著性之相關，可能的因素為肌酐酸之影響。在 Liu<sup>(71)</sup>之研究中對鞋廠及烤漆

勞工做其尿中 *t,t*-MA 與 8-OHdG 濃度之相關性  $r$  值為 0.64，具有顯著性。

此外，中科附近居民空氣中苯之濃度與尿中 8-OHdG 之濃度無相關性，其原因除空氣中苯的濃度較低外，且空氣中有許多 VOCs，如甲苯、二甲苯、苯乙烯或其他干擾因素，如吸菸、壓力及遺傳等、均有可能增加尿中 8-OHdG 之濃度，導致在推論上降低二者間之相關性<sup>(27、97)</sup>。此外，個人運動、服用健康食品也會降低體內 DNA 氧化之情形<sup>(98、99)</sup>。



## 第五節、研究限制與未來研究方向

### 一、研究限制

- (一)本研究之設計為橫斷式研究，因此在因果推論上有相當之限制，且本研究所採用之生物指標在低濃度苯暴露環境下，其敏感性及特定性較差，無法明確評估苯暴露及其代謝產物間之相關性。
- (二)參與本研究之室內空氣採樣家戶的次數及戶數較少，且無對照地區之採樣家戶來比較，主要因素為家戶的接受度不高，且在選擇對照地區之家戶必須亦應考量二地區家戶之可比較性，包括生活方式、居家環境等因素。
- (三)空氣採樣所使用之方法易受氣象條件等因素影響，且與目前環保或勞工公告法規之分析方法比較上有困難。此外，本次 BTEX 空氣採樣均做家戶中定點採樣，在推論個人實際暴露情形及代表性會有所限制。

### 二、未來研究方向

- (一)增加空氣採樣家戶次數及戶數，加入可比較性對照地區之家戶，以長遠比較二地區環境測定及生物偵測濃度之差異，並且增加個人採樣及大氣環境採樣數，且做同時 BTEX 監測，在推估中科附近住家室內、外 VOCs 暴露情形較具代表性。
- (二)除建立今年度中科附近居民室內空氣 BTEX 之濃度及生物指標濃度

之資料外，亦可探討中科附近居民室內空氣中懸浮微粒之濃度和民眾呼吸系統症狀及疾病健康之相關性，整合中科附近居民暴露到污染物所致之健康效應之暴露評估，並持續追蹤調查，以建立長期追蹤世代研究族群。

(三)建立中科園區排放污染物之清單或 VOCs 指標性物質，以作為釐清中科附近住家環境真正空氣污染物之來源，並建議廠區及早設置空氣污染整治措施。



## 第六章、結論與建議

### 第一節、結 論

- 一、中科附近居民尿中 *t,t*-MA 之濃度以南區居民較高為 61.94 $\mu\text{g/g cre.}$ ，北區居民濃度則為 43.82 $\mu\text{g/g cre.}$ ，顯著性地高於對照地區居民 (27.91 $\mu\text{g/g cre.}$ )。
- 二、中科附近家戶居家室內空氣中 TVOC 之濃度為 61.22ppb，室外濃度則為 60.82ppb，室內環境空氣中 BTEX 總濃度略高於室外，且室內、外空氣中 BTEX 濃度間有顯著之相關性( $r$  值範圍為 0.610-0.818)。另外，在室內微環境中以廚房 BTEX 濃度較高，客廳濃度最低。
- 三、中科附近家戶居民尿中 *t,t*-MA 之濃度為 67.52 $\mu\text{g/g cre.}$ ，而 8-OHdG 濃度為 11.59 $\mu\text{g/g cre.}$ ，二者未經肌酐酸校正前之濃度有顯著性之相關( $r=0.580$ )。此外，尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 之濃度與空氣中苯的濃度並無顯著之相關性。
- 四、本研究所建立之中科附近家戶室內、外空氣中 BTEX 濃度、居民尿中苯代謝物 *t,t*-MA 及氧化性傷害指標 8-OHdG 之濃度資料，可做為中部科學工業園區台中基地營運初期參考背景之資料。

## 第二節、建 議

- 一、中科目前屬於營運初期所排放之空氣污染資料必須長時間的追蹤，除評估附近居民暴露程度外，應同時建立其他氣象、地形、交通工具及工廠污染源排放等背景資料，以釐清污染物之來源。此外，亦應及早建立附近居民健康相關之指標，進一步評估其排放污染對人體之健康是否造成影響。
- 二、中科管理局等相關單位應建立園區內各廠商之污染物排放清單 (inventory)，制訂降低排放量之措施，此外，為預防廠區工安環保事故發生，並定期評估污染物之排放量，做好演練廠內外緊急應變與急救措。另外，建立中科與附近居民溝通之平台，以和平理性解決雙方問題，減少雙方抗爭非理性之行為。
- 三、附近居民健康風險之評估應及早建立完整的環境監測及健康資料，整合其他相關研究之結果，作最有效且準確之評估。同時加強國內工業區附近環境保護及提升國人之健康均為不可忽視的議題，因此環保署及相關單位應繼續支持相關的研究，以利未來制定環保法令或政策之參考。

## 參考文獻

1. 科學工業園區管理局，中部科學園區環境影響說明書。台中，2003。
2. Ong CN, Lee BL. Determination of benzene and its metabolites: application in biological monitoring of environmental and occupational exposure to benzene. *J Chromatogr B* 1994;660:1-22.
3. Dizdaroglu M. Oxidative damage to DNA in mammalian chromatin. *Mutat Res* 1992;275:331-342.
4. 新竹市環境保護局第二課，新竹市餐飲業及科學園區空氣品質維護暨揮發性有機物定性調查管制計畫。新竹市環境保護局。新竹，2006。
5. 行政院環保署，固定污染源空氣污染物排放標準，中華民國九十一年七月三日行政院環境保護署環署空字第0910038996號令修正發布第二條附表2002。
6. 勞工安全衛生研究所，物質安全資料表。勞工安全衛生研究所，2007。
7. Lan Q, Zhang L, Li G, et al. Hematotoxicity in workers exposed to low levels of benzene. *Science*. 2004;306:1774-1776.
8. International Agency for Research on Cancer (IARC), Monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to humans. Chemicals, industrial processes and industries associated with cancer in humans. Supplement 7, Lyon, France.1987.
9. 徐傲暉，被動式採樣器之介紹。勞工安全衛生簡訊 1993 第5期。
10. 勞工安全衛生研究所，行政院勞委會標準分析參考方法，勞工安全衛生研究所採樣分析參考方法資料庫 2007。
11. Pristas R. Passive badges for compliance monitoring internationally. *Am Ind Hyg Assoc J* 1994;55:841-844.
12. 林嘉明、石東生、吳麗珠等，被動式採樣器研究發展的回顧。勞工安全衛生研究季刊 1994 第二卷第一期 第65-75頁。
13. 林嘉明、石東生、吳麗珠等，被動式採樣器性能評估準則之探討。勞工安全衛生研究季刊 1994 第二卷第二期 第67-84頁。
14. Elke K, Jermann E, Begerow J, et al..Determination of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in indoor air at environmental levels using diffusive samplers in combination with headspace solid-phase microextraction and

- highresolution gas chromatography–flame ionization detection. J Chromatogr A 1998;26:191–200.
15. 李志宏，空氣中BTEX及蟻之濃度分佈。國立清華大學原子科學研究所碩士論文。新竹，1998。
  16. 謝俊明，生物偵測。勞工安全衛生簡訊 1994 第 9 期。
  17. Inoue O, Seiji K, Kasahara M, et al. Quantitative relation of urinary phenol levels to breathzone benzene concentrations: a factory survey. Br J Ind Med 1986;43:692-697.
  18. 官嘉明，以高效能液相層析儀測定尿液中酚類代謝物作為低濃度苯暴露指標之研究。高雄醫學院公共衛生學研究所碩士論文。高雄，1992。
  19. Boogaard PJ, Sittert NJ. Suitability of *S*-phenyl mercapturic acid and *trans,trans*-muconic acid as biomarkers for exposure to low concentrations of Benzene. Environ Health Perspect 1996;104:1151-1157.
  20. Lin LC, Chiung YM, Shih JF, et al. Validation of an online dual-loop cleanup device with an electrospray ionization tandem mass spectrometry- based system for simultaneous quantitative analysis of urinary benzene exposure biomarkers *trans, trans*-muconic acid and *S*-phenylmercapturic acid. Anal Chim Acta 2006;555:34–40.
  21. Scherer G, Renner T, Meger M. Analysis and evaluation of *trans,trans*-muconic acid as a biomarker for benzene exposure. J Chromatogr B 1998;717:179–199.
  22. Qu Q, Melikian AA, Li G, Validation of biomarkers in humans exposed to benzene: urine metabolites. Am J Ind Med 2000;37:522-531.
  23. Buratti M, Fustnoni S, Colombi A. Fast liquid chromatographic determination of urinary *trans,trans*-muconic acid. J Chromatogr B 1996;677:257-263.
  24. Kivistö H, Pekari K, Peltonen K, et al. Biological monitoring of exposure to benzene in the production of benzene and in a cookery. Sci Total Environ 1997;199:49-63.
  25. Gobba F, Rovesti S, Borella P. Inter-individual variability of benzene metabolism to *trans,trans*-muconic acid and its implications in the biological monitoring of occupational exposure. Sci Total Environ 1997;199:41-48.
  26. Grollman AP, Moriya M. Mutagenesis by 8-oxoguanine: an enemy within. Trends Genet 1993;9:246-249.
  27. Pilger A, Rüdiger HW. 8-Hydroxy-2'-deoxyguanosine as a marker of oxidative

- DNA damage related to occupational and environmental exposures. *Int Arch Occup Environ Health* 2006;80:1-15.
28. Yin B, Whyatt RM, Perera FP, et al. Determination of 8-hydroxydeoxyguanosine by an immunoaffinity chromatography-monoclonal antibody-based ELISA. *Free Radical Biol Med* 1995;18:1023-1032
  29. Hofer T, Möller L. Optimization of the workup procedure for the analysis of 8-oxo-7,8-dihydro-2'-deoxyguanosine with electrochemical detection. *Chem Res Toxicol* 2002;15:426-432.
  30. Shimoi K, Kasai H, Yokota N, et al. Comparison between high-performance liquid chromatography and enzyme-linked immunosorbent assay for the determination of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in human urine. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2002;11:767-770.
  31. Kingham S, Briggs D, Elliott P, et al. Spatial variations in the concentrations of traffic-related pollutants in indoor and outdoor air in Huddersfield, England. *Atmos Environ* 2000;34:905-916.
  32. Guoa H, Leea SC, Lia WM, et al. Source characterization of BTEX in indoor microenvironments in Hong Kong. *Atmos Environ* 2003;37:73-82.
  33. 范智婷，傢俱行與一般居家BTEX及甲醛之暴露探討。高雄醫學大學公共衛生研究所碩士論文。高雄，2002。
  34. Shneider P, Gebefügi I, Richter K, et al. Indoor and outdoor BTX levels in German cities. *Sci Total Environ* 2001;267:41-51.
  35. Chiu KH, Wu BZ, Chang CC, et al. Distribution of volatile organic compounds over a Semiconductor Industrial Park in Taiwan. *Environ Sci Technol* 2005;39:973-983.
  36. Lee SC, Chiu MY, Ho KF, et al. Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of Hong Kong. *Chemosphere* 2002;48:375-382.
  37. 劉原良，科學園區周界空氣中Acetone、IPA、MEK及BTEX之濃度分布。國立清華大學原子科學研究所博士論文。新竹，1999。
  38. 李美玲，生活環境周界大氣中MTBE及BTEX特徵分析。屏東科技大學環境工程與科學研究所碩士論文。屏東，2004。
  39. Isbell MA, Stolzberga RJ, Duffy LK. Indoor climate in interior Alaska: simultaneous measurement of ventilation, benzene and toluene in residential

- indoor air of two homes. *Sci Total Environ* 2005;345:31–40.
40. Edwards RD, Jantunen MJ. Benzene exposure in Helsinki, Finland. *Atmos Environ* 2001;35:1411-1420.
  41. 陳金瀛，南台灣室內外空氣中MTBE及BTEX關聯性應論。屏東科技大學環境工程與科學研究所碩士論文。屏東，2005。
  42. 梁菁萍，都會區住宅室內外揮發性有機物成份特徵及居民暴露量之研究。高雄醫學大學公共衛生研究所碩士論文。高雄，1993。
  43. 鐘元佑，都會地區辦公場所微環境揮發性有機化合物的暴露。台灣大學環境衛生研究所碩士論文。台北，2003。
  44. Chatzis C, Alexopoulos EC, Linos A. Indoor and outdoor personal exposure to benzene in Athens, Greece. *Sci Total Environ* 2005;349:72-80.
  45. Barr DB, Wilder LC, Caudill SP, et al. Urinary creatinine concentrations in the U.S. population : implications for urinary biological monitoring measurements. *Environ Health Perspect* 2005;113:192-200.
  46. World Health Organization (WHO). Biological monitoring of chemical exposure in the workplace. World Health Organization 1996.
  47. Ruppert T, Scherer G, Tricker AR. *Trans,trans*-Muconic acid as a biomarker of non-occupational environmental exposure to benzene. *Int Arch Occup Environ Health* 1997;69:247-251
  48. Ducos P, Gandin R, Robert A, et al. Improvement in HPLC analysis of urinary *trans, trans*-muconic acid, a promising substitute for phenol in the assessment of benzene exposure. *Int Arch Occup Environ Health* 1990;62:529-554.
  49. Wiwanitkit V, Suwansaksri J, Soogarun S. Monitoring of urine *trans, trans*-muconic acid level among smokers and non-smokers. *Respir Med* 2005;99:788–791
  50. 蔡瑞修，苯暴露勞工生物偵測及其健康危害之研究。中國醫藥大學環境醫學研究所碩士論文。台中，1999。
  51. Sørensen M , Skov H, Autrup H, et al. Urban benzene exposure and oxidative DNA damage: influence of genetic polymorphisms in metabolism genes. *Sci Total Environ* 2003;309:69–80.
  52. 陳婉柔，苯暴露勞工之基因多型性與尿中苯暴露指標值ttMA及SPMA的相關性探討。國立成功大學環境醫學研究所碩士論文。台南，2006。

53. Kimura S, Yamauchi H, Hibino Y, et al. Evaluation of urinary 8-hydroxydeoxyguanine in healthy Japanese people. *Basic Clin Pharmacol Toxicol* 2006;98:496-502.
54. Lagorio S, Tagesson C, Forastiere F, et al. Exposure to benzene and urinary concentrations of 8-hydroxydeoxyguanosine, a biological marker of oxidative damage to DNA. *Occup Environ Med* 1994;51:739-743.
55. 韓岳穎，長途客運司機的氧化性傷害。臺灣大學環境衛生研究所碩士論文。台北，2003。
56. Cheng KC, Cahill DS, Kasai H, et al. 8-Hydroxyguanine, an abundant form of oxidative DNA damage, causes G→T and A→C substitution. *J Biol Chem* 1992;267:166-172.
57. Kitada T, Seki S, Iwai S, et al. In situ detection of oxidative DNA damage, 8-hydroxydeoxyguanosine, in chronic human liver disease. *J Hepatol* 2001;35:613-618.
58. Shin CS, Moon BS, Park KS, et al. Serum 8-hydroxy-guanine levels are increased in diabetic patients. *Diabetes Care* 2001;24: 733-737.
59. Maritim AC, Sanders RA, Watkins III JB. Diabetes, oxidative stress, and antioxidants: A review. *J Biochem Mol Toxicol* 2003;17:124-138.
60. Martinet W, Knaapen MWM, De Meyer GR. Elevated levels of oxidative DNA damage and DNA repair enzymes in human atherosclerotic plaques. *Circulation* 2002;106:927-936.
61. Tsuboi H, Kouda K, Takeuchi H, et al. 8-hydroxyguanosine in urine as an index of oxidative damage to DNA in the evaluation of atopic dermatitis. *Br J Dermatol* 1998;138:1033-1035.
62. Chiou CC, Chang PY, Chan EC, et al. Urinary 8-hydroxydeoxyguanosine and its analogues as DNA marker of oxidative stress: development of an ELISA and measurement in both bladder and prostate cancers. *Clin Chim Acta* 2003;334:87-94.
63. 胡宗文，乳癌患者尿中8-Hydroxy-2'-deoxyguanosine濃度之測定。中國醫藥大學環境醫學研究所碩士論文。台中，2001。
64. Foksinski M, Kotzbach R, Szymanski W, The level of typical biomarker of oxidative stress 8-Hydroxy-2'-deoxyguanosine is higher in uterine myomas than in control tissues and correlates with the size of the tumor. *Free Radic Biol Med*

- 2000;29:597-601.
65. Wu LL, Chiou CC, Chang PY, et al. Urinary 8-OHdG: a marker of oxidative stress to DNA and a risk factor for cancer, atherosclerosis and diabetics. Clin Chim Acta 2004;339:1-9.
  66. 許麗秋，尿中BTEX與其代謝產物關係之研究。中國醫藥大學環境醫學研究所。台中，2000。
  67. Kang SK, Lee MY, Kim TK, et al. Occupational exposure to benzene in South Korea. Chem Biol Interact 2005;153:65-74.
  68. Ong CN, Kok PW, Lee BL, et al. Evaluation of biomarkers for occupational exposure to benzene. Occup Environ Med 1995;52:528-533.
  69. Inoue O, Seiji K, Nakatsuka H, et al. Urinary *t,t*-muconic acid as an indicator of exposure to benzene. Br J Ind Med 1989;46:122-127.
  70. Fustinoni S, Buratti M, Campo, et al. Urinary *t,t*-muconic acid, *S*-phenylmercapturic acid and benzene as biomarkers of low benzene exposure. Chem Biol Interact 2005;153:253-256.
  71. Liu L, Zhang Q, Feng J, et al. The study of DNA oxidative damage in benzene-exposed workers. Mutat Res 1996;370:145-150.
  72. 行政院環境保護署，空氣中氣態芳香烴化合物檢驗方法-以活性碳吸附之氣相層析/火焰離子化偵測法 NIEA A719.10T 中華民國 81 年 12 月 17 日(81)環署檢字第 50543 號公告。
  73. 工業技術研究院環境與安全衛生技術發展中心，有機氣體被動式採樣器採樣分析簡介。工業技術研究院。
  74. 王文忻、石東生、何國榮等，作業環境有害物採樣分析參考方法驗證程序第二版。行政院勞工委員會 2002 年 10 月公告。
  75. SKC Inc. SKC 575-001and 575-001MC passive samplers methylene chloride method summary (25ppm PEL validation to NIOSH Protocol). SKC Technical note 1992.
  76. 余榮彬、施慧中，甲苯蒸氣被動式採樣器評估之研究。工業技術研究院工業安全衛生技術發展中心 1994;2:45-56。
  77. 林啟燦、王智龍、沈建全，工業區附近社區環境空氣品質調查。第七屆研海峽兩岸環境保護學術討論會論文集(上卷)，2001 年。

78. Manini P, Palma G, Andreoli R. Environmental and biological monitoring of benzene exposure in a cohort of Italian taxi driver. *Toxicol Lett* 2006;167:142–151.
79. 行政院環保署，光化測站日平均查詢，行政院環保署 2007年。
80. 王家麟、詹長權，光化學監測成果與展望。環境資料庫暨空氣品質監測系統建置成果發表會 2005。
81. 張大元，建立中部科學園區開發所致空氣汙染之健康風險評估模組之子計畫—中部科學園區周邊居民空氣汙染物之揮發性有機物暴露及健康風險評估成果報告。行政院國家科學委員會。台中，2005。
82. Schneider P, Lörinci G, Gebefügi IL, et al. Vertical and horizontal variability of volatile organic compounds in homes in Eastern Germany. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1999;9:282-292.
83. Ohura T, Amagai T, Fusaya M. Regional assessment of ambient volatile organic compounds in an industrial harbor area, Shizuoka, Japan. *Atmos Environ* 2006;40:238–248.
84. 中部科學工業園區秘書室，中部科學工業園區新聞稿。中部科學工業園區，2007年5月。
85. 許惠棕，建立中部科學園區開發所致空氣汙染之健康風險評估模組之子計畫—建立健康風險評估模組作為環境決策分析之研究成果報告。行政院國家科學委員會。台中，2005。
86. Kim S, Vermeulen R, Waidyanatha S, et al. Using urinary biomarkers to elucidate dose-related patterns of human benzene metabolism. *Carcinogenesis* 2006;27:772-781.
87. Hotz P, Carbonnelle P, Haufroid V, et al. Biological monitoring of vehicle mechanics and other workers exposed to low concentrations of benzene. *Int Arch Occup Environ Health* 1997;70:29-40.
88. Melikian AA, O'Connor R, Prahalad AK, et al. Determination of the urinary benzene metabolites *S*-phenylmercapturic acid and *trans,trans*-muconic acid by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Carcinogenesis* 1999;20:719–726.
89. Senzolo C, Frignani S, Pavoni B. Environmental and biological monitoring of occupational exposure to organic micropollutants in gasoline. *Chemosphere* 2001;44:67-82.

90. Lee BL, Ong HY, Ong YB, et al. A sensitive liquid chromatographic method for the spectrophotometric determination of urinary *trans,trans*-muconic acid. *J Chromatogr B* 2005;818:277–283.
91. Weaver VM, Buckley T, Groopman JD. Lack of Specificity of *trans,trans*-Muconic Acid as a Benzene Biomarker after Ingestion of Sorbic Acid-preserved Foods. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2000;9:749–755.
92. Lauwerys RR, Buchet JP, Andrien F. Muconic acid in urine: a reliable indicator of occupational exposure to benzene. *Am J Ind Med* 1994;25:297-300.
93. Melikian AA, Prahalad AK, Hoffmann D. Urinary *trans,trans*-muconic acid as an indicator of exposure to benzene in cigarette smokers. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 1993;2:47-51.
94. Ruppert T, Scherer G, Tricker AR. Determination of urinary *trans,trans*-muconic acid by gas chromatography-mass spectrometry. *J Chromatogr B* 1995;666:71-76.
95. Howard DJ, Ota RB, Briggs LA, et al. Environmental tobacco smoke in the workplace induces oxidative stress in employees, including increased production of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 1998;7:141-146.
96. Ducos P, Gaudin R, Bel J, et al. *trans,trans*-Muconic acid, a reliable biological indicator for the detection of individual benzene exposure down to the ppm level. *Int Arch Occup Environ Health* 1992;64:309-313.
97. Lua CY, Ma YC, Lin JM, et al. Oxidative DNA damage estimated by urinary 8-hydroxydeoxyguanosine and indoor air pollution among non-smoking office employees. *Environ Res* 2007;103:331–337.
98. Inoue T, Mu Z, Sumikawa K, et al. Effect of physical exercise on the content of 8-hydroxydeoxyguanosine in nuclear DNA repaired from human lymphocytes. *Japaneses. J Cancer Res* 1993;84:720-725.
99. Lee BM, Lee SK, Kim HS. Inhibition of oxidative DNA damage, 8-OHdG, and carbonyl contents in smokers treated with antioxidants (vitamin E, C,  $\beta$ -carotene and red ginseng). *Cancer Lett* 1998;132:219-227.

表一、中科南區、北區及對照地區居民基本資料及生活習慣之比較

變項	中科南區 (N=137) n(%)	中科北區 (N=28) n(%)	對照地區 (N=76) n(%)	p 值
性別				0.603
男	75(54.7)	13(46.4)	39(51.3)	
女	62(45.3)	15(53.6)	37(48.7)	
教育程度				<0.001
國小以下	40(29.2)	22(78.6)	61(80.0)	
國高中	44(32.1)	3(10.7)	15(19.7)	
大學以上	53(38.7)	3(10.7)	1(0.3)	
吸菸	26(19.0)	4(14.3)	7(9.2)	0.137
	平均值±標準差			
年齡(歲)	55.2±20.1	69.6±6.9	74.2±10.7	<0.001
身高(公分)	161.3±10.0	157.7±7.4	157.7±18.5	0.120
體重(公斤)	64.0±12.3	64.7±9.9	61.09±11.0	0.169
BMI	24.6±3.9	26.2±4.2	24.0±3.9	0.064
家中時間(時)	17.0±4.7	19.8±4.5	19.2±4.4	<0.001

表二、比較中科南區、北區及對照地區居民居家環境之特性

變項	中科南區 (N=137) n(%)	中科北區 (N=28) n(%)	對照地區 (N=76) n(%)	p 值
室內鋪設地毯	6(4.4)	2(7.1)	9(11.8)	0.047
使用空氣清淨機	32(23.4)	4(14.3)	6(7.9)	0.012
使用除溼機	44(32.1)	7(25.0)	14(18.4)	0.090
家中有吸菸成員	45(32.8)	15(53.6)	31(40.8)	0.071
拜香	63(46.0)	25(89.3)	66(86.8)	<0.001
使用蚊香	51(37.2)	8(28.6)	20(26.3)	0.251
使用殺蟲劑	48(35.0)	5(17.9)	32(42.1)	0.110
飼養寵物	29(21.2)	6(21.4)	21(27.6)	0.582

表三、比較中科南區、北區及對照地區居民尿中 *t,t*-MA 之濃度

變項	中科南區 (N=137)	中科北區 (N=28)	對照地區 (N=76)	p 值
<i>t,t</i> -MA(μg/L)				
平均數	45.69±37.64	38.32±46.00	34.25±30.66	0.081
中位數	34.72	18.55	22.97	0.033
25%百分位數	19.89	0.06 <sup>a</sup>	14.30	
75%百分位數	64.57	64.83	51.38	
<i>t,t</i> -MA(μg/g cre.)				
平均數	61.94±63.78	43.82±45.53	27.91±23.19	<0.001
中位數	41.16	20.10	19.33	0.002
25%百分位數	21.13	16.43 <sup>a</sup>	10.21	
75%百分位數	88.10	73.78	41.65	

<sup>a</sup> 濃度值低於檢量線範圍以 1/2 偵測極限濃度呈現



表四、中科南、北區及對照地區居民尿中 *t,t*-MA 濃度之單變項線性及邏輯斯迴歸分析

變項	β(SE)				OR(95%CI) <sup>a</sup>	
	<i>t,t</i> -MA(μg/L)	p	<i>t,t</i> -MA(μg/g cre.)	p	<i>t,t</i> -MA(μg/g cre.)	p
中科南區	8.29(11.56)	0.489	52.48(15.78)	0.001	7.83(2.31-26.42)	0.003
中科北區	3.75(16.42)	0.820	44.22(21.67)	0.042	5.28(1.17-23.72)	0.037
對照地區	參考組		參考組		1	

<sup>a</sup>*t,t*-MA(μg/g cre.)之切點為 100 μg/g cre.



表五、中科南、北區及對照地區居民尿中 *t,t*-MA 濃度之多變項及邏輯斯迴歸分析\*

變項	β(SE)				OR(95%CI)	
	<i>t,t</i> -MA(μg/L)	p	<i>t,t</i> -MA(μg/g cre.)	p	<i>t,t</i> -MA(μg/g cre.)	p
中科南區	8.08(12.19)	0.509	49.54(16.01)	0.002	8.28(2.31-29.60)	0.003
中科北區	3.89(16.58)	0.815	42.50(21.79)	0.050	5.19(1.15-23.45)	0.035
對照地區	參考組		參考組		1	

\*控制性別、年齡及吸菸

<sup>a</sup> *t,t*-MA(μg/g cre.)之切點為 100 μg/g cre.



表六、本研究空氣採樣家戶及研究室之室內環境之特性

編號	採樣月份	樓層	人數	吸菸人數	通風方式	是否使用有機溶劑 <sup>a</sup>
家戶						
#1	一、三	3	3	1	開窗	否
#2	一、三	6	5	0	開窗	否
#3	一	7	2	0	開窗	否
#4	一、三	1	4	2	開窗、電扇	否
#5	一、三	10	3	0	開窗	否
#6	三	10	4	2	開窗	否
研究室						
※1	四	16	3	0	中央空調	否
※2	四	16	4	0	中央空調	是
※3	四	15	6	0	中央空調	否

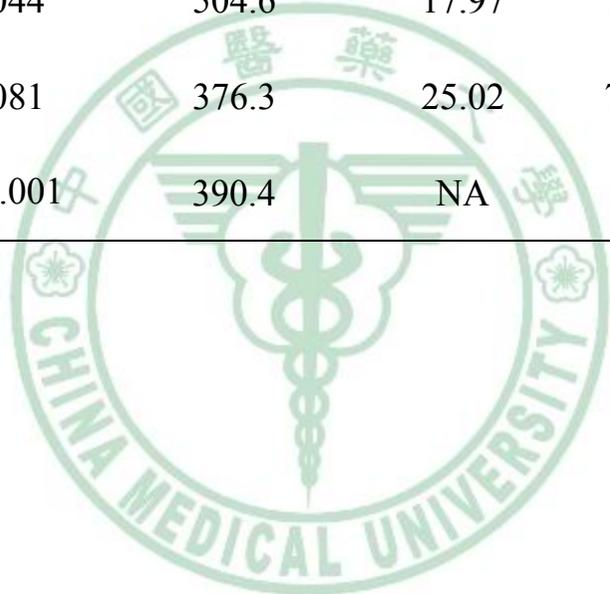
<sup>a</sup> 使用有機溶劑：採樣期間是否使用揮發性有機化合物

表七、空氣採樣家戶及研究室室內、外氣象之條件

月份	室內環境(N=33)				室外環境(N=10)			
	溫度(°C)	溼度(%)	風速(m/s)	CO <sub>2</sub> 濃度(ppm)	溫度(°C)	溼度(%)	風速(m/s)	CO <sub>2</sub> 濃度(ppm)
一月 <sup>a</sup>	16.99	70.62	0.044	504.6	17.97	72.39	0.884	442.3
三月 <sup>a</sup>	24.98	70.75	0.081	376.3	25.02	70.88	0.790	387.5
四月 <sup>b</sup>	23.42	68.34	<0.001	390.4	NA	NA	NA	NA

<sup>a</sup> 中科附近家戶

<sup>b</sup> 大學研究室



表八、空氣採樣家戶及研究室室內、外環境空氣採樣 BTEX 之濃度(ppb)

編號	室內環境(N=33)					室外環境(N=10)				
	苯	甲苯	乙苯	二甲苯	TVOC <sup>a</sup>	苯	甲苯	乙苯	二甲苯	TVOC <sup>a</sup>
一月 <sup>a</sup> (N=15)										
#1	9.59	43.91	2.44	9.46	65.41	12.12	50.51	2.40	9.44	74.47
#2	7.12	61.35	2.57	10.24	81.28	8.52	55.69	2.87	10.82	77.90
#3	5.96	34.57	2.33	8.25	51.11	9.58	17.54	1.55	8.08	36.75
#4	9.35	18.67	1.58	8.83	38.44	5.39	18.91	1.59	8.86	34.75
#5	3.89	16.20	1.42	8.01	29.52	2.87	15.18	1.38	8.98	28.41
平均值	7.18	34.94	2.07	8.96	53.15	7.70	31.57	1.96	9.23	50.45
三月 <sup>a</sup> (N=15)										
#1	17.20	73.20	3.55	17.99	111.93	18.46	72.97	3.02	15.11	109.57
#2	8.04	29.91	2.27	9.75	49.98	17.07	43.68	2.75	14.99	78.50
#4	5.04	57.14	3.37	13.63	79.18	12.99	45.57	2.27	10.37	71.20
#5	6.86	42.95	2.30	7.64	59.76	13.00	18.64	2.05	9.55	43.71
#6	5.07	28.21	2.59	7.04	42.91	13.43	37.14	2.22	10.16	62.95
平均值	8.44	46.28	2.82	11.75	69.29	13.08	43.60	2.46	12.04	71.18
四月 <sup>b</sup> (N=3)										
※1	6.97	27.36	4.00	14.79	54.12					
※2	6.66	28.49	3.19	13.32	51.66			NA		
※3	7.64	34.32	2.49	11.38	55.83					
平均值	7.09	30.06	3.23	13.50	53.87					

TVOC<sup>a</sup>：BTEX 濃度總和

<sup>a</sup> 中科附近家戶

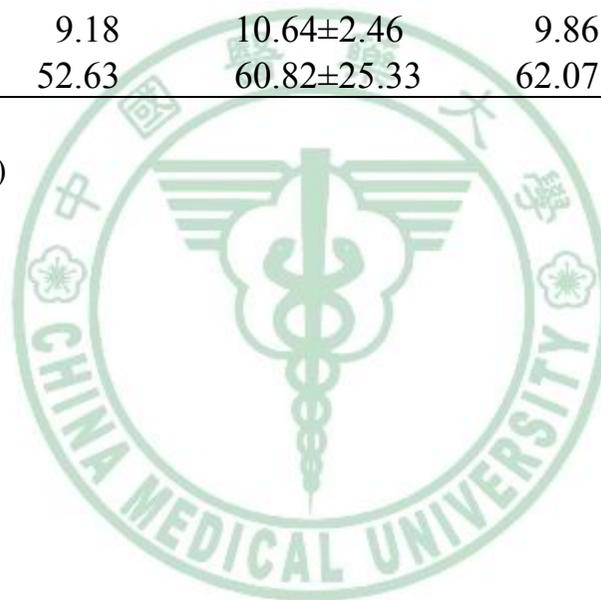
<sup>b</sup> 大學研究室

表九、中科附近家戶室內、外空氣中 BTEX 濃度(ppb)之比較

變項	室內環境(N=30)		室外環境(N=10)		p 值 <sup>1</sup>	p 值 <sup>2</sup>
	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數		
苯	7.81±4.69	6.23	10.39±5.49	10.85	0.158	0.151
甲 苯	40.61±21.41	34.07	37.58±19.61	40.41	0.695	0.662
乙 苯	2.44±0.70	2.43	2.21±0.58	2.24	0.356	0.417
二甲苯	10.35±4.09	9.18	10.64±2.46	9.86	0.838	0.288
TVOC	61.22±27.83	52.63	60.82±25.33	62.07	0.968	0.988

p 值<sup>1</sup>：有母數統計(二組樣本 t 檢定)

p 值<sup>2</sup>：無母數統計(Mann-Whitney U test)



表十、一月份及三月份中科附近家戶空氣中室內外 BTEX 濃度(ppb)之比較

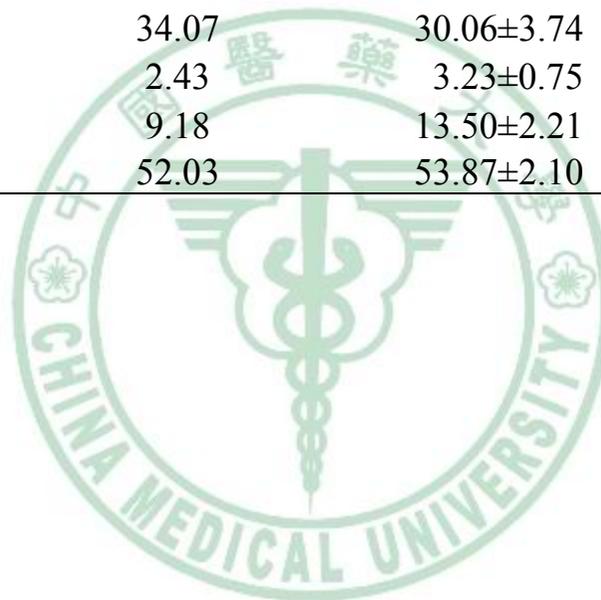
變項	一月(N=20)		三月(N=20)		p 值
	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數	
室內環境(N=30)					
苯	7.18±3.14	6.38	8.44±5.90	5.86	0.85
甲 苯	34.94±22.31	24.84	46.28±19.57	38.00	0.10
乙 苯	2.07±0.55	2.09	2.82±0.65	2.68	0.01
二甲苯	8.96±1.24	9.14	11.75±5.37	9.46	0.31
TVOC	53.15±24.76	49.09	68.29±29.18	59.08	0.17
室外環境(N=10)					
苯	7.70±3.62	8.52	13.08±6.06	13.46	0.08
甲 苯	31.57±19.79	18.91	43.60±19.57	43.69	0.47
乙 苯	1.96±0.65	1.59	2.46±0.41	2.27	0.25
二甲苯	9.23±1.01	8.98	12.04± 2.77	10.37	0.05
TVOC	50.45±23.72	36.75	71.18±24.74	62.95	0.18

p 值：無母數統計(Mann-Whitney U test)

表十一、中科附近家戶與某大學研究室室內環境空氣中 BTEX 濃度(ppb)之比較

變項	中科附近家戶(N=30)		某大學研究室(N=3)		p 值
	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數	
苯	7.81±4.69	6.23	7.09±0.50	6.97	0.661
甲 苯	40.61±21.41	34.07	30.06±3.74	28.49	0.661
乙 苯	2.44±0.70	2.43	3.23±0.75	3.19	0.103
二甲苯	10.35±4.09	9.18	13.50±2.21	13.32	0.052
TVOC	61.22±27.83	52.03	53.87±2.10	54.12	0.400

p 值：無母數統計(Mann-Whitney U test)



表十二、中科附近家戶不同室內微環境空氣中 BTEX 濃度(ppb)之比較

變項	客廳(N=10)		廚房(N=10)		臥室(N=10)		p 值
	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數	
苯	7.34±3.40	6.97	9.50±6.24	7.04	6.59±3.91	5.13	0.362
甲 苯	39.08±19.75	34.07	39.62±20.25	33.35	43.13±25.8	34.76	0.955
乙 苯	2.41±0.60	2.61	2.61±0.84	2.47	2.30±0.69	2.36	0.675
二甲苯	10.47±4.40	9.70	11.05±4.41	9.27	9.54±3.71	8.47	0.394
TVOC	59.30±24.81	52.81	62.79±29.45	52.03	61.57±31.71	51.12	0.910

p 值：無母數統計(Mann-Whitney U test)



表十三、比較中科附近家戶家中吸菸與否空氣中 BTEX 之濃度(ppb)

變項	家中無吸菸		家中有吸菸		p 值
	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數	
室內環境( N=30)					
苯	6.38±2.91	6.00	9.25±5.71	7.70	0.202
甲 苯	37.00±21.22	31.53	44.23±21.70	35.68	0.395
乙 苯	2.18±0.48	2.36	2.70±0.80	2.80	0.038
二甲苯	8.78±1.32	8.95	11.93±5.25	10.07	0.101
TVOC	54.33±24.01	48.27	68.11±30.43	56.53	0.310
室外環境( N=10)					
苯	10.30± 5.35	9.35	10.48±6.26	12.12	0.917
甲 苯	30.15±18.38	18.64	45.02±19.72	45.57	0.175
乙 苯	2.12± 0.68	2.05	2.30±0.51	2.27	0.465
二甲苯	10.48± 2.71	9.55	10.79±2.49	10.16	0.754
TVOC	53.05±23.59	43.71	68.59±27.14	62.95	0.602

p 值：無母數統計(Mann-Whitney U test)

表十四、比較中科附近家戶高、低樓層之空氣中 BTEX 之濃度(ppb)

變項	低樓層(N=16)		高樓層(N=24)		p 值
	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數	
室內(N=30)					
苯	9.94±2.97	10.48	5.62±2.55	5.19	0.055
甲 苯	43.57±16.82	44.55	36.08±22.48	30.67	0.384
乙 苯	2.69±0.61	2.86	2.22±0.57	2.38	0.136
二甲苯	13.87±5.38	11.80	8.21±1.43	8.23	0.011
TVOC	70.06±21.78	66.86	52.13±25.87	44.55	0.201
室外(N=10)					
苯	9.74±6.98	8.76	10.82±4.96	11.50	0.831
甲 苯	46.99±22.20	48.04	31.31±16.68	27.89	0.136
乙 苯	2.32±0.59	2.34	2.14±0.61	2.14	0.394
二甲苯	10.94±2.85	9.91	10.43±2.43	9.86	0.831
TVOC	70.00±31.12	67.84	54.70±21.48	53.33	0.670

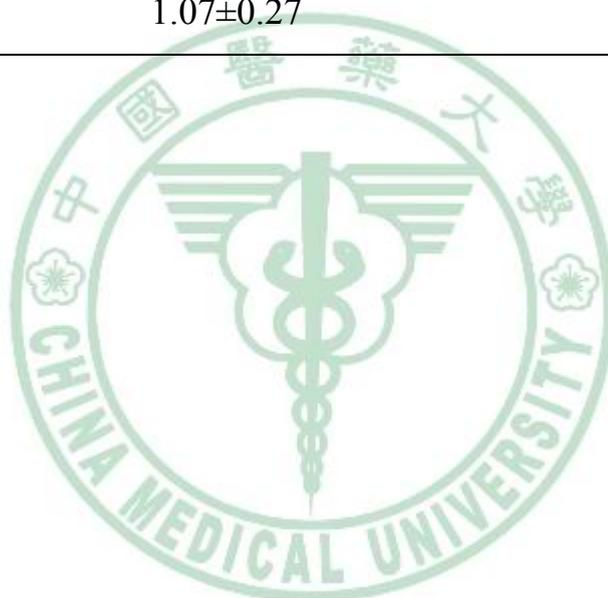
p 值：無母數統計(Mann-Whitney U test)

高樓層：1 至 5 樓

低樓層：5 至 10 樓

表十五、中科附近家戶室內、外空氣中 BTEX 濃度(ppb)之比值(I/O)

變項	I/O 值(N=30)	
	平均數±標準差	中位數
苯	0.93±0.50	0.81
甲 苯	1.20±0.53	1.03
乙 苯	1.12±0.23	1.07
二甲苯	1.10±0.59	0.97
TVOC	1.07±0.27	1.07



表十六、中科附近家戶家中吸菸對室內、外空氣中 BTEX 比值之比較

變項	無(N=15)		有(N=15)		p 值
	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數	
苯	0.76±0.36	0.62	1.10±0.59	0.93	0.347
甲 苯	1.43±0.68	1.10	0.97±0.18	0.99	0.251
乙 苯	1.07±0.27	1.03	1.17±0.20	1.17	0.465
二甲苯	0.86±0.14	0.89	1.34±0.79	1.00	0.175
TVOC	1.10±0.31	1.04	1.04±0.25	1.11	0.754

p 值:無母數統計(Mann-Whitney U test)

表十七、比較中科家戶高、低樓層室內、外空氣中 BTEX 之比值

變項	低樓層(N=12)		高樓層(N=18)		p 值
	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數	
苯	1.29±0.49	0.99	0.70±0.36	0.61	0.055
甲 苯	1.03±0.16	0.99	1.31±0.67	1.13	0.670
乙 苯	1.17±0.23	1.09	1.09±0.24	1.07	0.670
二甲苯	1.50±0.81	1.16	0.83±0.15	0.88	0.033
TVOC	1.13±0.18	1.17	1.03±0.33	1.04	0.760

p 值:無母數統計(Mann-Whitney U test)

高樓層:1 至 5 樓

低樓層:5 至 10 樓

表十八、大學研究室室內環境 BTEX 濃度(ppb)及研究生個人暴露 BTEX 濃度(ppb)之比較

變項	室內環境(N=3)		個人採樣(N=9)		p 值
	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數	
苯	7.09±0.50	6.97	6.39±0.66	6.66	0.15
甲苯	30.06±3.74	28.49	30.46±6.09	30.06	0.84
乙苯	3.23±0.75	3.19	2.91±0.88	2.64	0.31
二甲苯	13.50±2.21	13.32	11.80±2.48	10.91	0.22
TVOC	53.87±2.10	54.12	51.56±9.80	51.29	0.28

p 值:無母數統計(Mann-Whitney U test)

表十九、比較中科家戶居民一月及三月 *t,t*-MA 及 8-OHdG 之濃度

變項	一月(N=12)		三月(N=9)		p 值
	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數	
<i>t,t</i> -MA( $\mu\text{g/L}$ )	43.17±32.91	35.20	28.68±22.32	27.37	0.392
<i>t,t</i> -MA( $\mu\text{g/g cre.}$ )	42.89±28.97	41.80	100.36±42.24	85.13	0.006
8-OHdG( $\text{ng/mL}$ )	12.50±10.46	8.86	11.99±12.49	7.18	0.689
8-OHdG( $\mu\text{g/g cre.}$ )	10.10±4.63	11.48	13.21±10.13	11.65	0.622
creatinine( $\text{mg/dL}$ )	111.50±57.48	93.05	77.58±57.36	51.80	0.076

p 值:無母數統計(Mann-Whitney U test)

表二十、比較中科附近居民吸菸者及非吸菸者尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 之濃度

變項	無吸菸 (N=16)	有吸菸 (N=7)	p 值
	平均數±標準差	平均數±標準差	
<i>t,t</i> -MA(μg/L)	33.01±24.79	58.43±51.19	0.117
<i>t,t</i> -MA(μg/g cre.)	68.20±46.54	215.12±265	0.194
8-OHdG(ng/mL)	8.73±7.79	20.32±14.15	0.020
8-OHdG(μg/g cre.)	11.28±9.00	12.29±4.02	0.779
creatinine(mg/dL)	76.53±29.67	150.78±85.18	0.048



表二十一、比較中科附近居民及大學研究生尿中 *t,t*-MA 及 8-OHdG 之濃度

變項	中科附近居民 (N=23)		大學研究生 (N=9)		p 值
	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數	
<i>t,t</i> -MA(μg/L)	36.13±28.70	26.49	36.03±26.34	27.82	0.629
<i>t,t</i> -MA(μg/g cre.)	112.92±159.52	65.92	363.52±183.03	97.02	<0.001
8-OHdG(ng/mL)	12.26±11.21	7.27	7.11±6.23	7.51	0.324
8-OHdG(μg/g cre.)	11.59±7.74	11.65	6.19±3.67	7.15	0.028
creatinine(mg/dL)	99.13±61.64	82.10	95.32±53.63	108.30	0.872

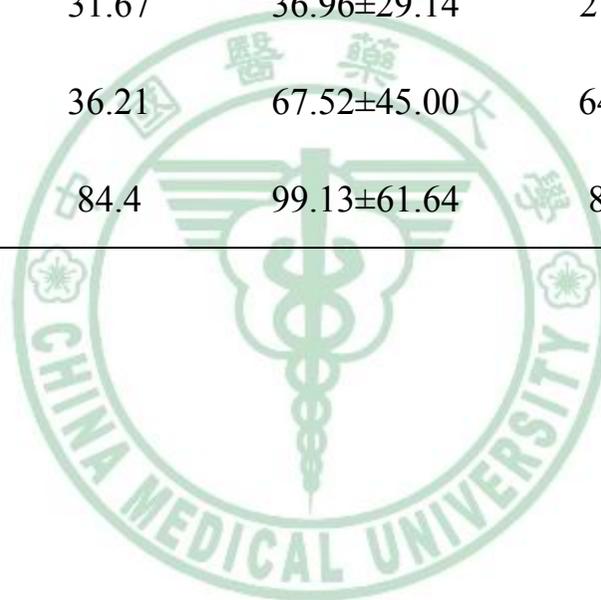
p 值:無母數統計(Mann-Whitney U test)

表二十二、比較中科附近居民及環境採樣家戶居民 *t,t*-MA 之濃度

變項	中科附近居民 (N=165)		採樣家戶 (N=21)		p 值 <sup>1</sup>	p 值 <sup>2</sup>
	平均數±標準差	中位數	平均數±標準差	中位數		
<i>t,t</i> -MA(μg/L)	43.09±39.94	31.67	36.96±29.14	27.37	0.489	0.501
<i>t,t</i> -MA(μg/g cre.)	63.69±76.68	36.21	67.52±45.00	64.82	0.251	0.069
creatinine(mg/dL)	96.95±54.80	84.4	99.13±61.64	82.1	0.861	0.860

p 值<sup>1</sup>：有母數統計(二組樣本 t 檢定)

p 值<sup>2</sup>：無母數統計(Mann-Whitney U test)



表二十三、中科附近家戶室內空氣中 BTEX 濃度之相關矩陣(N=30)

變項	甲苯	乙苯	二甲苯	TVOC
苯	0.541 <sup>‡</sup>	0.472 <sup>‡</sup>	0.674 <sup>‡</sup>	0.696 <sup>‡</sup>
甲苯		0.704 <sup>‡</sup>	0.651 <sup>‡</sup>	0.974 <sup>‡</sup>
乙苯			0.699 <sup>‡</sup>	0.749 <sup>‡</sup>
二甲苯				0.779 <sup>‡</sup>
TVOC				

<sup>‡</sup>p 值 < 0.001



表二十四、中科附近居民 *t,t*-MA 與 8-OHdG 濃度之相關矩陣(N=23)

變項	8-OHdG (ng/mL)	log 8-OHdG (ng/mL)	8-OHdG ( $\mu$ g/g cre.)	log 8-OHdG ( $\mu$ g/g cre.)
<i>t,t</i> -MA ( $\mu$ g/L)	0.580 <sup>†</sup>	0.380	0.393	0.246
log <i>t,t</i> -MA ( $\mu$ g/L)	0.416 <sup>†</sup>	0.320	0.391	0.259
<i>t,t</i> -MA ( $\mu$ g/g cre.)	0.225	-0.072	-0.215	-0.143
log <i>t,t</i> -MA ( $\mu$ g/g cre.)	-0.219	-0.299	-0.197	-0.235

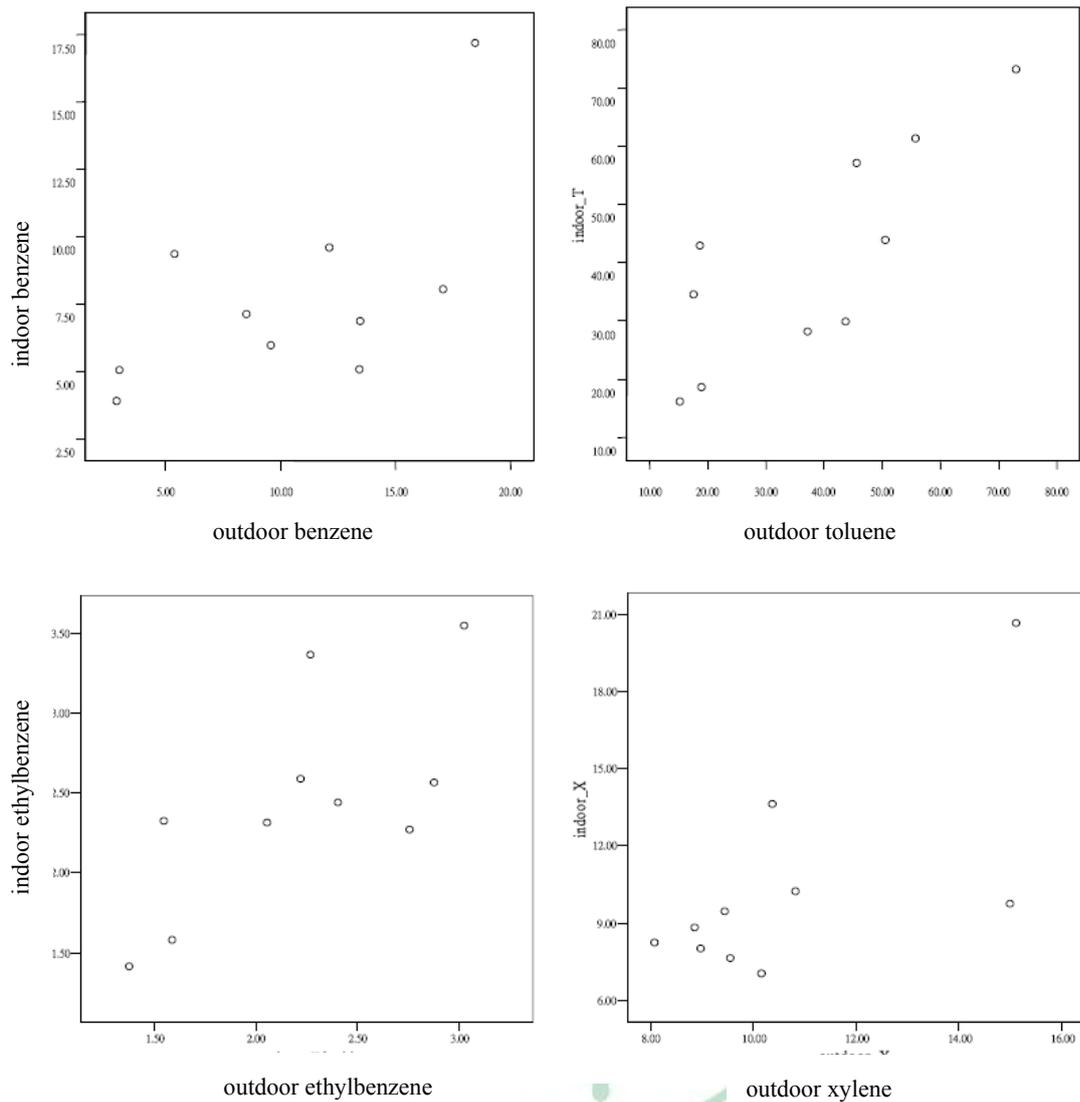
<sup>†</sup>p 值 < 0.05



表二十五、室外 BTEX 濃度推估室內 BTEX 濃度之不同迴歸預測模式

控制變項	苯		甲苯		乙苯		二甲苯		TVOCs	
	$\beta$ (SE)	$r^2$								
模式一：無	0.42(0.19)	0.37	0.77(0.20) <sup>†</sup>	0.66	0.82(0.29) <sup>†</sup>	0.50	1.10(0.44) <sup>†</sup>	0.45	0.98(0.24) <sup>†</sup>	0.67
模式二：溫度	0.49(0.23)	0.41	0.76(0.22) <sup>†</sup>	0.66	0.70(0.30) <sup>†</sup>	0.58	1.19(0.56) <sup>†</sup>	0.45	0.97(0.27) <sup>†</sup>	0.67
模式三：溼度	0.36(0.27)	0.50	0.78(0.22) <sup>†</sup>	0.67	0.91(0.32) <sup>†</sup>	0.54	1.11(0.44) <sup>†</sup>	0.51	1.06(0.25) <sup>†</sup>	0.72
模式四：風速	0.45(0.20)	0.43	0.86(0.23) <sup>†</sup>	0.68	0.79(0.31) <sup>†</sup>	0.51	1.03(0.44) <sup>†</sup>	0.52	0.98(0.28) <sup>†</sup>	0.67
模式五：CO <sub>2</sub>	0.49(0.21)	0.43	0.78(0.21) <sup>†</sup>	0.66	0.81(0.30) <sup>†</sup>	0.54	1.18(0.48) <sup>†</sup>	0.47	0.98(0.26) <sup>‡</sup>	0.67
模式六：吸菸	0.42(0.18)	0.52	0.83(0.23) <sup>†</sup>	0.67	0.76(0.28) <sup>†</sup>	0.59	1.07(0.41) <sup>†</sup>	0.58	0.96(0.27) <sup>†</sup>	0.67
模式七：吸菸、CO <sub>2</sub>	0.51(0.19) <sup>†</sup>	0.62	0.84(0.25) <sup>†</sup>	0.68	0.75(0.29) <sup>†</sup>	0.62	1.16(0.44) <sup>†</sup>	0.62	0.96(0.30) <sup>†</sup>	0.67
模式八：吸菸、 風速、CO <sub>2</sub>	0.51(0.21)	0.62	0.92(0.29) <sup>†</sup>	0.70	0.66(0.31)	0.68	1.08(0.56) <sup>†</sup>	0.62	0.98(0.35) <sup>†</sup>	0.67
模式九：吸菸、 風速、溼度、CO <sub>2</sub>	0.63(0.20) <sup>†</sup>	0.77	1.01(0.36) <sup>†</sup>	0.72	0.68(0.40)	0.68	1.13(0.59) <sup>†</sup>	0.66	1.16(0.41) <sup>†</sup>	0.73

<sup>†</sup>p 值 < 0.05



圖一、中科附近家戶室內、外空氣中 BTEX 濃度(ppb)之相關圖( $r$  值分別為 0.610、0.809、0.707 及 0.818)