

中國醫藥大學

碩士論文

編號：IEH-1902

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之相關性

**Correlation between indoor and outdoor BTEX levels
and biomarkers of benzene metabolite 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 教授

蔡清讚 教授

學生：李文貽 Li Wen-Yi

學號：9665002

中 華 民 國 九 十 八 年 七 月

致 謝

研究所兩年生活即將結束，這一路的學習除書本上的知識外，更讓我了解實務之重要性，所謂實務不單指專業技術面，還包含邏輯思考、待人處世及生活規劃等，在這兩年中，我體驗到了人生的另一面也讓我成長許多，回顧種種經歷內心有許多感動。而能讓我有如此成長，要感謝我身邊的各位，因為你們的支持、鼓勵，讓我能有今天的成就。

首先感謝我的指導老師—郭憲文教授及蔡清讚教授，老師對學術的專業與熱情十分令我尊敬，對教學的認真及對學生的關懷更令我感動，這兩年中，您將一切寶貴的經驗與知識傳授與學生，並不厭其煩為我們解惑再解惑，甚至到了最後階段還不惜付出許多時間與我們討論及修改論文，這過程中再次讓我深深覺得，能作為老師的學生真是種福氣，非常感謝您這兩年對我的教導，謝謝老師。

感謝國家衛生研究院劉紹興老師及中山醫學大學毛義方老師再百忙中抽空提供論文指導，因未有您的意見讓我得以更加深入了解我的論文，並使其更臻完整。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，使相關實驗得以順利完成。

感謝父母及妹妹對我的支持，因為這份愛，讓我更加堅定自己的路。而這兩年中陪伴我許久的學姊、朋友及學弟妹，因為有你們使我遭遇挫折及困難時能繼續堅持下去，佳璘學姊、錦榮學姊因為有妳們耐心的陪

伴及教導，讓我在這陌生環境中能感受溫暖，並且順利熟悉環境；
鴻均因為有你的幫助，使我在學校課業及實驗中能不孤單；星佑、凱棋
你們兩個真是我的開心果，有你們在我的笑聲就沒停過，因為你們讓我
在學校生活更加快樂；姿玲、筠誼妳們在我最無助的時候鼓勵、安慰我，
並且總是在我最需要的時候伸出援手，因為妳們無時無刻的陪伴，使我
得以走完這兩年的路，我的這份成就要歸功於各位，謝謝你們，有你們
真好。



文貽 2009 年夏

中文摘要

中部科學工業園區於民國 91 年正式核定興建，該產業中可能產生之揮發性有機污染物(volatile organic compounds, VOCs)，造成附近環境之污染，其中以 BTEX 中之苯(benzene)、甲苯(toluene)、乙苯(ethylbenzene)及二甲苯(xylene)較為常見。苯環類之有機物具有高度的揮發性，可經由吸入、皮膚接觸進入人體，引起頭痛、噁心、暈眩、神經系統及協調功能之減弱。而為瞭解苯的人體暴露，可利用苯經人體代謝後之產物 trans,trans-muconic acid (t,t-MA)作為本代謝之生物指標。因此，本研究之目的在探討中部科學工業園區正式量產或增加附近交通流量後，評估附近居民暴露於室內空中之 BTEX 濃度與其苯代謝產物之相關性。研究對象分別以問卷進行訪視，分為中科附近居民(當作暴露組)與新社鄉 (當作對照組)兩族群，問卷內容包含基本資料、生活習慣、居家環境，並收集其尿液。且由問卷訪視中徵求自願以家庭做居家室內、外空氣中 BTEX 濃度測定、同時收取尿液進行苯代謝物 t,t-MA 之偵測，作為相關指標。結果顯示高暴露組 t,t-MA 濃度最高($76.9 \pm 121.2 \mu\text{g/g cre}$)而低暴露組及對照組分別為(47.8 ± 47.0 , $48.8 \pm 47.3 \mu\text{g/g cre}$)，經分析發現性別、年齡、教育程度、BMI、拜拜習慣、空氣清靜機使用與否皆可能影響 t,t-MA 濃度。將兩組民眾之性別及年齡配對後以減少個人屬性之變異，得知兩組間 t,t-MA 濃度亦有顯著性之差異($p=0.012$)，進一步比較 95 與、96 兩年當地暴露組民眾之 t,t-MA 濃度呈現增加趨勢且有達顯著性之差異，是否與中部科學工業園區之排放污染物有關，應再深入之調查兩者之相關性。

關鍵字：苯、甲苯、乙苯、二甲苯、t,t-MA

Abstract

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 may induce harmful effects for human. BTEX stands chemicals for benzene, toluene, ethylbenzene and xylene. Aromatic compound are highly volatile. The urinary level of trans, trans-muconic acid (*t,t*-MA) can be used as the biomarker of exposure to benzene. Exposure to these chemicals by respiratory absorption or skin contact may cause adverse health effects including headache, nausea, dizzy and weakness coordination ability.

The objectives of this study are to assess the relationship between the indoor exposure of BTEX and the biological level of benzene (*t,t*-MA) among residents living near the park. We recruited 155 residents in the exposure area and 38 residents in the control area. For the comparability of demographic status, subjects recruited to the two groups were matched by gender and age. We interviewed them using a structured questionnaire for collecting information on demographic, life style and environmental factors etc. Five houses in the vicinity of CTSP and five houses in the control area were selected and monitored for BTEX concentrations in the indoor and outdoor air and analyzed using GC/FID. The mean level of *t,t*-MA in the high-exposure group ($76.9 \pm 121.2 \mu\text{g/g cre.}$) was significant higher than that in the low-exposure group ($47.8 \pm 47.0 \mu\text{g/g cre.}$) and in the control group ($48.8 \pm 47.3 \mu\text{g/g cre.}$). Factors including age, education level, body mass index, use of incense, use of air cleaner affected the *t,t*-MA level. There was a significant difference on the mean levels of *t,t*-MA between the two groups. In exposure

group, *t,t*-MA levels in this year were significantly high than in the last year. However, it is necessary to verify the association between the emission of VOCs from CTSP and metabolites of benzene in residents living near CTSP.

Keywords: benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, *t,t*-MA



目 錄

中文摘要	III
英文摘要	IV
目錄	VI
表目錄	IX
附圖目錄	XI
附件目錄	XII
第一章 緒論	
第一節 研究緣起與動機	1
第二節 研究目的	4
第二章 文獻探討	
第一節 中部科學工業園區背景資料	5
第二節 VOCs 之暴露評估	8
第三節 大氣中 BTEX 及生物偵測相關研究查證	18
第三章 研究材料與方法	
第一節 研究方法	29
第二節 研究對象	31

第三節	問卷之調查-----	35
第四節	空氣中 BTEX 濃度之測定-----	36
第五節	尿中苯代謝物之測定-----	41
第六節	資料統計與分析-----	44

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-----	45
第二節	高暴露組與對照組家戶空氣中 BTEX 濃度-----	51
第三節	比較高暴露組、對照地區及環境家戶採樣尿中 t,t-MA 之濃度-----	55
第四節	高暴露組及對照組家戶室內空氣中 BTEX 濃度之相關矩陣-----	56
第五節	95、96 兩年暴露組尿中 t,t-MA 濃度之比較-----	57

第五章 討論

第一節	樣本代表性-----	58
第二節	尿中 t,t-MA 濃度之影響因素-----	61
第三節	環境中 BTEX 之影響因素-----	66
第四節	尿中 t,t-MA 濃度與環境中苯濃度之相關-----	73
第五節	研究限制-----	75

第六章 結論與建議

第一節 結論	-76
第二節 建議	-77
參考文獻	-78



表 目 錄

表一、高暴露組、低暴露組及對照組居民基本資料及生活習慣之比較	87
表二、比較高暴露組、低暴露組及對照組居民居家環境之特性	88
表三、高暴露組、低暴露組及對照組之室內、外活動時間比較	89
表四、高暴露組、低暴露組及對照組間飲食習慣之比較	90
表五、高暴露組、低暴露組及對照組之 t,t-MA 濃度之比較	91
表六、高暴露組、低暴露組及對照組居民尿中 t,t-MA 濃度之單變相回歸分析	92
表七、高暴露組、低暴露組及對照組居民尿中 t,t-MA 濃度之多變相回歸分析	93
表八、各種居家環境之因素對民眾尿中 t,t-MA 濃度之影響	94
表九、民眾飲食習慣對尿中 t,t-MA 濃度之影響	95
表十、未經過年齡及性別調整之多變項線性迴歸分析	96
表十一、經過年齡及性別調整之多變項線性迴歸分析	97
表十二、居家室內環境特性	98
表十三、高暴露組室內、外環境 BTEX 濃度(ppb)之比較	99
表十四、對照組室內、外環境 BTEX 濃度(ppb)之比較	100
表十五、高暴露組與對照組環境中 BTEX 濃度(ppb)之比較	101

表十六、高暴露組與對照組室內環境 BTEX 之濃度(ppb)比較-----	102
表十七、家中吸菸環境對室內與室外環境中 BTEX 濃度(ppb)之比較 -----	103
表十八、高暴露組與對照地區居家環境中 BTEX 濃度之多變項線性迴歸 分析*-----	104
表十九、高暴露組與對照組中一般大眾與環境家戶採樣尿中 t,t-MA 濃度 之比較-----	105
表二十、室內環境中對照地區與高暴露組 BTEX 濃度之相關矩陣 -----	106
表二十一、95、96 兩年高、低暴露組與對照組之尿中 t,t-MA 濃度之比較 -----	107



附圖目錄

附圖一、苯之生物代謝過程圖-----	13
附圖二、本研究之研究架構-----	30
附圖三、中部科學園區研究對象分布圖-----	34



附件目錄

附件一、-----108



第一章、緒論

第一節、研究緣起與動機

行政院於民國九十一年九月正式核定中部科學工業園區建設計劃，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。中部科學工業園區包括台中縣市的台中園區、后里園區及雲林縣虎尾園區，計畫開發面積分別為 413 公頃、255 公頃及 97 公頃，園區開發建設工程於民國 92 年 7 月動工，廠商亦同時駐區建廠開發。至今開發已邁入第三期擴建，開發期程由 92 年至 101 年。本研究主要以台中園區為主，總面積為 413 公頃，位於台中縣大雅鄉及台中市西屯區交界處，以光電、精密機械及半導體產業為主要開發產業，截至 2007 年 12 月已有 92 家廠商登記進駐。

依過去新竹科學工業園區相關資料顯示，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) 以及無機酸鹼(氫氟酸、鹽酸、硝酸、硫酸、氨等)為主，其一至三期污染物中 VOCs 的排放量約 1500 噸/年，約佔總排放量之 20%。此外，台中中部科學園區由於廠商進駐及生產線量產的增加，及周邊主要幹道車流量大幅提升，造成中部科學工業園區附近環境中之 VOCs 濃度增加，提高附近居民健康的威脅性。

目前揮發性有機化合物中，苯已被證實為導致白血病的成因，由國

際癌症中心 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 將其列為第一類人類致癌物 (Group 1)，故評估中科附近空氣環境中苯含量為刻不容緩。除環境測定可瞭解居民的暴露情況外，亦可使用生物偵測之方式測得生物體中苯及其代謝物含量，藉此彌補環境測定時之不足處。過去相關研究顯示利用尿液中 phenol, catechol, hydroquinone, *t,t*-MA(*trans,trans*- muconic acid), S-PMA 可作為苯暴露生物代謝的指標，其又以 *t,t*-MA 和 S-PMA 具較高的敏感度及特異性。

相較於過去傳統工業區排放揮發性有機物暴露濃度之相關研究，較少探討針對高科技產業所產生之空氣污染物。因此若可及早建立中部科學園區營運初期環境污染物資料分析，並與相關研究結果相互探討，得以評估園區於開發過程中可能產生之環境污染物及對附近居民之影響程度，亦可建立鄰近地區居民的暴露背景濃度，作為日後更多廠商進駐時之相關參考指標，進一步釐清中部科學工業區產生之污染物對附近環境影響之貢獻量。

本研究是以中部科學園區附近居民作為研究對象經由二年調查，檢測附近居民及對照地區居民尿中苯代謝產物 *trans,trans*- muconic acid (*t,t*-MA) 之濃度。過去結果顯比較中科南、北區及對照地區居民尿中經肌酐酸校正後之 *t,t*-MA 濃度，發現三區 *t,t*-MA 之平均濃度均有統計上顯著差異，其中南區居民濃度最高(61.94 μ g/g cre.)，明顯高出對照組

52.48 $\mu\text{g/g cre.}$ ，且經控制性別、年齡及吸菸習慣以複回歸分析後，結果相同⁽¹⁾。

另外，為瞭解中科附近居民於室內暴露 VOCs 污染物之情形，除生物性指標外，亦同時結合室內外環境空氣中苯、甲苯、乙苯、二甲苯 (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene 合稱 BTEX) 之採樣，進行二者之相關性探討，瞭解不同年度間，其濃度之變化，建立相關數據。BTEX 在過去研究上，不論客廳或廚房皆以甲苯濃度最高，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。室內環境中之甲苯、乙苯及 TVOC(只 BTEX 濃度之總和)之濃度皆高於室外，但經由統計分析過後皆無達到統計上顯著差異⁽¹⁾。

過去大部分之相關研究皆以傳統產業為主，較少針對高科技產業所產生之污染物進行相關週遭環境暴露評估，本研究主要是為評估中部科學工業園區開發初期可能對週遭居民造成之影響，及建立該區附近居民之相關暴露背景值，並比較環境汙染物與其相關之生物偵測指標之相關性，進而做相關之研究。

第二節、研究目的

1. 瞭解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濃度之差異，並比較過去二年中科台中園區附近居民尿中代謝物的濃度之變化。
2. 瞭解中科台中園區與附近居民居家室內、外空氣中 BTEX 濃度，並探討其濃度之相關性，並比較過去二年中科台中園區附近居民居家室內 BTEX 濃度之變化。
3. 探討中科台中園區附近居民居家室內 BTEX 濃度分佈與其尿中苯代謝物之相關性。
4. 分析中部科學園區營運早期環境污染物之資料，藉此評估園區在開發過程可能產生的環境汙染物對附近居民之影響程度，以作為未來之參考。

第二章、文獻探討

第一節、中部科學工業園區背景資料

中部科學工業園區截至去年，陸續已有 10 家光電廠、5 家半導體廠、10 家精密機械、9 家電腦周邊及其他相關園區事業廠，總計 34 間事業廠登記設廠並量產，而該園區與新竹科學工業園區皆為高科技產業，推測其產生之污染應相當類似。新竹科學園區內以電子產業為主，包括半導體製程、積體電路製程、電阻器、電容器、電子開關及磁性元件。而園區工廠所排放之污染物，主要以揮發性有機化合物(volatile organic compounds, VOCs)以及無機酸鹼(氫氟酸、鹽酸、硝酸、硫酸、氨等)為主。半導體製造業製程中所產生的揮發性有機化合物對人體健康有潛在的危

害，及慢性健康危害。(表 1)列出園區主要園區 VOC 污染物的 IARC(International Agency for Research on Cancer，國際癌症研究署)分類及慢性健康危害⁽²⁾。

新竹科學園區製程中，工業製程之排放主要是固定污染源(stationary emission source)，其中以積體電路產業排放污染問題最為嚴重，主要製程包含電路設計、光罩製作、晶圓製造、封裝及測試，整體製程中以晶圓製造最為複雜，且製程中使用大量具危害性化學物質。

積體電路製程中幾乎都有使用有機溶劑，如：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，而丙酮、三氯甲烷、三氯乙烷、

甲醇、乙醇、苯、甲苯、二甲苯等溶劑則藉空氣逸散或廢水形式排出。

依固定污染源排放標準規定，大氣周界空氣中苯、甲苯、二甲苯之排放標準為 0.5ppm、2ppm 及 2ppm⁽²⁾。

科學園區主要 VOC 污染物 IARC 分類及健康危害⁽³⁾

污染物	IARC 分類	慢毒性及長期毒性
苯	Group1 ^a	1、 造成白、紅血球及血小板形成受損 2、 可能影響骨髓 3、 長時間低濃度暴露會損害神經系統 4、 重複長期接觸會使皮膚發炎、乾燥鱗狀及起泡 5、 引起白血病 6、 使高暴露工作者的染色體不正常
乙苯	Group2B ^b	長期暴露會刺激眼睛及皮膚
甲苯	Group3 ^c	慢性中樞神經系統受損，記憶力喪失、睡眠不安、精神不集中和動作不協調。可能影響聽力
二甲苯	Group3	反覆或長期暴露可能引起皮膚炎(乾燥、龜裂)及肝臟和腎臟損害
異丙醇	Group3	長期或頻繁接觸會造成皮膚乾燥和龜裂

丙酮	未分類且無資料顯示致癌	長期或頻繁接觸可能造成皮膚脫脂及皮膚炎。刺激鼻及咽喉、方位感障礙及無力
丁酮	未分類且無資料顯示致癌	對神經、肝及皮膚有影響

Group1^a：確定導致致癌

Group2B^b：可能導致癌

Group3^c：無法判定為致癌物



第二節、VOCs 之暴露評估

評估人體暴露污染物之濃度，可利用環境測定(environment monitoring)及生物偵測(biological monitoring)，瞭解或推估污染物之暴露濃度，並進一步探討污染物是否為生物體之危害因素或可能造成的健康危害。

一、環境空氣中之 BTEX

(一)BTEX 之特性、暴露來源、用途及危害

苯(benzene) C_2H_6 ，分子量 78，比重 0.877 於美國化學文摘服務社登記號碼為(Chemical Abstracts Service) CAS. NO. 00071-43-2，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，沸點 $80^{\circ}C$ 、熔點 $5.5^{\circ}C$ ，在 $20^{\circ}C$ 下蒸氣壓為 $75mmHg^{(4)}$ 。IARC 癌症分類為第一類⁽⁵⁾，即表示該物質有充分證據證明為人類致癌物，可造成人體之病變。苯在高劑量下會導致骨髓退化進而造成白血病⁽⁶⁾及貧血，研究指出若長期暴露在苯之環境則會促使血癌發生⁽⁷⁾。工業上常使用苯作為製成其它化學物質之原料之一，如：苯乙烯、異丙苯及環己烯，亦用於製造成各式橡膠、染料、潤滑油、清潔劑及殺蟲劑等。其生物暴露途徑包括直接吸入或經由皮膚吸收，進入生物體之神經系統，造成心肌衰弱及協調功能減弱等症狀。苯八小時之日時量平均容許濃度(TWA_8)為 5ppm，短時間時量平均容許濃度(STEL)為 10ppm。

甲苯(toluene) C_7H_8 、分子量 92.14、比重 0.865、CAS. NO# 00108-88-3，具類似苯之芳香味，為無色液體，溶於醇、醚、丙酮、二硫化碳等，微溶於水，沸點為 $110.6^{\circ}C$ 、熔點 $-95^{\circ}C$ ，於 $20^{\circ}C$ 下蒸氣壓為 22mmHg。甲苯被 IARC 歸類為第三類，即無法判斷其是否會造成癌症。生物體之暴露途徑經由蒸汽吸入及皮膚接觸，可引起生物體之疲勞與暈眩，甚至抑制中樞神經系統，造成無意識或死亡。甲苯在工業上被廣泛使用於製作汽油、塗料、稀釋劑、黏著劑、橡膠等原料。其 TWA_8 為 100ppm，STEL 為 125ppm。

乙苯(ethylbenzene, CAS. NO#00100-41-4)，化學式 C_8H_{10} ，分子量 106.16，比重 0.866，無色具芳香味之液體，不溶於水，沸點 $136.1^{\circ}C$ ，在 $20^{\circ}C$ 下之蒸氣壓為 9.6mmHg。乙苯在 IARC 癌症分類被歸類為 2B 疑似人類致癌物。其主要之暴露途徑為直接吸入及皮膚接觸，對人類會產生頭痛、噁心、疲勞、無意識等症狀，嚴重甚至可能會造成死亡。工業界中乙苯是製造乙烯的前驅物、合成橡膠、稀釋劑及燃料之成份。其 TWA_8 為 100ppm，STEL 為 125ppm。

二甲苯(xylene, CAS. NO#01330-20-7) 是由三種同分異構物組成包括鄰-二甲苯、間-二甲苯，對-二甲苯，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，沸點 $137^{\circ}C$ ， $20^{\circ}C$ 下之蒸氣壓為 6mmHg。二甲苯在 IARC 癌症分類被歸類為第三類，即無法判斷其致

癌性。主要暴露途徑為蒸汽吸入及皮膚接觸，會引起如：頭痛、嘔吐、器官協調功能降低、失去知覺等，若長期暴露可能導致肝臟及腎臟的損害。二甲苯之主要來源為甲酸原料、塗料、黏著劑、殺蟲劑、航空汽油等。其 TWA₈ 為 100ppm，STEL 為 125ppm 與甲苯、乙苯相同。

(二)空氣 VOCs 採樣方法

空氣中 VOCs 採樣方法可分成主動式採樣和被動式採樣，主動式採樣即是配合幫浦以動力方式進行空氣採樣，主動式採樣包括固體捕集法(活性碳管、吸附管及矽膠管等)⁽⁸⁾、液體捕集法(衝擊瓶)等方法。另外被動式採樣則不以幫浦輔助，以直接擴散方式進行採樣，被動式採樣包括採樣徽章⁽⁹⁾、活性碳管、不銹鋼瓶^(10, 11)等方式

1. 被動式採樣

(1)全空氣採樣

採樣前不需經前處理即可直接分析樣本，常使用不鏽鋼筒為採樣器 (canister)，其偵測極限低，可分析多種未知物質、採樣方便、樣本可重複分析、容器可重複使用，但採樣體積會受容器容量影響，欲使樣本完全分離需使用不同之分析方法，較花費時間，且樣本儲存易有問題、價格昂貴、體積大不易攜帶。

(2) 採樣徽章、活性碳管

利用擴散或滲透之特性採集氣狀污染物，使其與吸附劑或吸收液接

觸而被採集，依採樣器形式可分為徽章式及管狀式⁽¹²⁾，徽章式採樣器係指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。兩者均不需額外動力輔助、輕巧易攜帶、成本低，且可省略校正維修之步驟，但仍須考慮採樣環境之擴散係數、溫溼度、風速、吸附率及採樣時間⁽¹³⁾等因素所造成之影響，本研究即使用徽章式被動式採樣器(SKC,575-001)，以受測者呼吸帶為採樣範圍，進行24小時採樣。

依勞工委員會⁽¹⁴⁾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氣之標準分析採樣方法，但美國國家職業安全衛生研究所(NIOSH, The National Institute for Occupational Safety and Health)已公布使用活性碳為介質之被動式採樣器分析方法(Pristas 1994)⁽¹⁵⁾，我國勞委會勞工安全衛生研究所^(16, 17)亦制定作業環境採樣中之準則，作為國內擴散是採樣器之指引，藉此提高使用者對被動式採樣器之信賴度。

Elke⁽¹⁸⁾ 等人(1998)對無吸菸室內空氣中 BTEX 之濃度進行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。主動式採樣及被動式採樣在短時間採樣之差異性介於-16 至 19%之間，且被動式採樣器易受背景值之影響，但在長時間採樣中則差異不大。國內李⁽¹⁹⁾ (1998) 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。

2. 主動式採樣

藉由幫浦之輔助抽氣，將環境中空氣採集至採樣介質，再利用脫附處理進行分析。適合短時間之監測，適用於氣狀、粒狀、石棉各種型態之污染物，樣品儲存穩定性佳，但須注意幫浦是否負荷過大、運作正常與否，採樣前後皆需做流量校正。

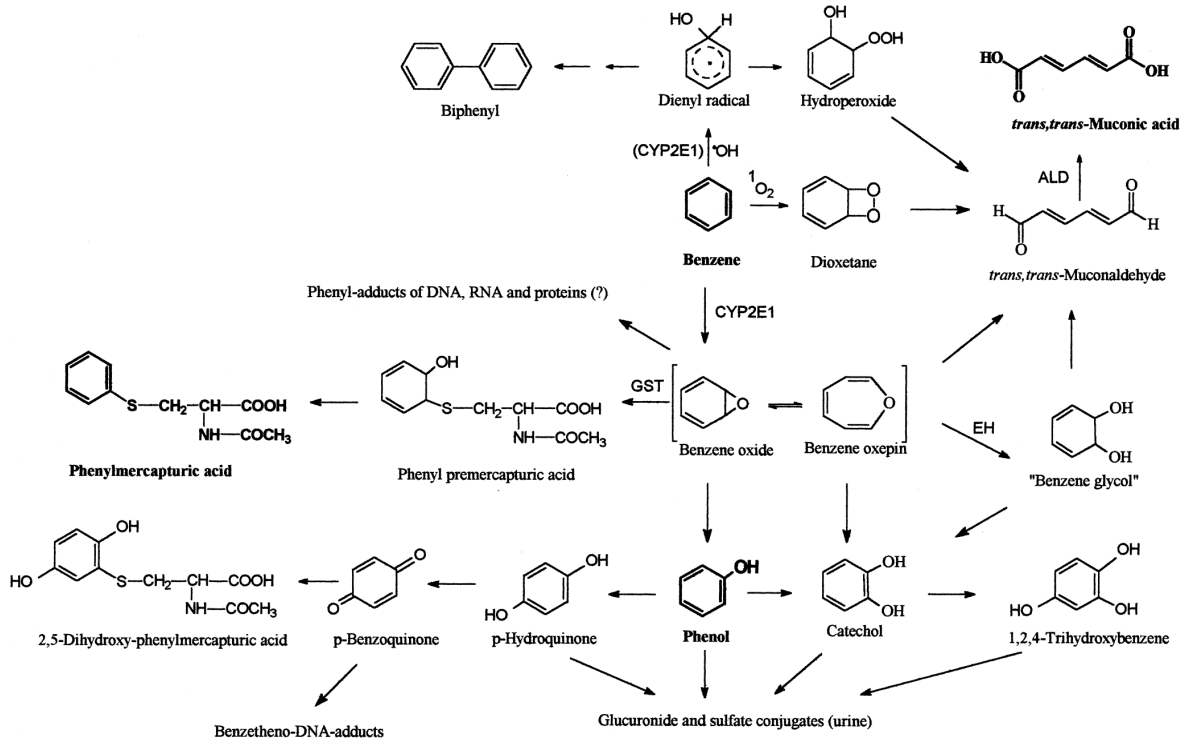
二、尿中苯代謝物之測定

生物偵測用於測量生物檢體中有害物及其代謝物之濃度，生物檢體則是指如：指甲、毛髮、血液、呼氣、尿液等，分析污染物或代謝產物之濃度並與標準濃度比較，評估生物體體內總暴露量，藉此彌補環境監測之不足處。

(一) 苯在人體代謝過程

苯經由肺部及腸胃道吸收後，由肝臟進行主要代謝，代謝途徑如附圖 1 所示，苯經由人體肝臟中之 P450 2E1 色素細胞作用形成環氧化物 (benzene epoxide) 後，分別經三種不同途徑代謝，途徑一，代謝為酚 (phenol)，再代謝成 catechol (CAT)、hydroquinone (HQ) 及 1,2,4-benzenetriol (BT)。途徑二，經由穀胱甘肽 (Glutathion, GSH) 作用後形成 S-phenylmercapturic acid (S-PMA)。最後一種途徑則是將苯環打開形成 trans,trans-muconaldehyde，在氧化成 *t,t*-MA。以上所述苯之代謝產物具較

高之極性，故易溶於水，再藉由尿液排出體外。(20, 21)



附圖一. 苯之生物代謝過程圖⁽²⁰⁾

(二)尿中苯生物偵測指標之比較

歐洲 CEC(Commission of the European Community)、美國 OSHA (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估其暴露量及健康風險」，而美國勞工部勞工安全衛生條款⁽²²⁾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」。

苯之生物偵測指標包含呼吸、血液、尿液中檢測未經代謝之原苯，或從尿液中檢出其代謝物 phenol, S-PMA, *t,t*-MA 等。生物指標之選取需考慮該指標對於污染物質是否具有良好之特異性(specificity)與靈敏度(sensitivity)，即該指標不會經由其它來源或物質代謝而成，該指標與污染物質有高度相關，另外此指標之濃度能否藉分析得知，上述皆為選取生物偵測指標之評估重點。

1. 尿中 benzene

有研究指出，一般大眾一天約會吸入環境中 50-90%的苯^(23, 24)，而經過人體肝臟代謝後，有 12%會以苯的原形物被呼出，另外 0.1-0.2%的

苯原形物藉由尿液方式排出體外⁽²³⁾，雖敏感度及特異度高，但苯具高揮發性易於收樣、運送及保存的過程中受到汙染或揮發。

2. 尿中 phenol、catechol、hydroquinone、1,2,4-benzenetriol

Ong⁽²³⁻²⁴⁾ (1994, 1995)及 Inoue⁽²⁵⁾ (1989)等人研究結果顯示苯經代謝後約有 13-50%會代謝成 phenol、5% hydroquinone、1.3-1.6% catechol，而 1,2,4-benzenetriol 則為代謝量最小之物質，官⁽²⁶⁾ (1992)針對油漆業等工人以 phenol 作為生物偵測指標，但由於 phenol 為蛋白質之代謝物易受飲食、藥物、香菸及酒精等影響，進而提高 phenol 背景值，因此尿中 phenol 較不適合作為低苯環境中之生物偵測指標。而 hydroquinone、catechol、1,2,4-benzenetriol 均由 phenol 代謝而來，故同樣易受 phenol 之影響，較不適合低苯濃度之暴露環境。

3. 尿中 S-PMA

目前已有研究指出尿中 S-PMA 濃度與空氣中苯濃度有良好之相關性，尿中 S-PMA 之含量約為 0.1-0.5%⁽²⁰⁾，相對於其他指標含量較低。目前只有抗癲癇藥物會代謝為 S-PMA⁽²⁷⁾，故具有良好之敏感度及特異度，適合作於低苯環境中之生物偵測指標。但由於含量低，過去研究使用分析之儀器、偵測器以 GC/ECD 等具較低偵測極限之儀器才可進行分析，且其前處理步驟包含繁複之衍生化及人工萃取⁽²⁸⁾。

4. 尿中 *t,t*-MA

Scherer⁽²⁰⁾等人(1998)指出依暴露濃度的不同，約有 2-25%的苯會代謝成 *t,t*-MA，Waidyanatha⁽²⁹⁾等人 (2004)及 Lee⁽³⁰⁾等人(2005)證實 *t,t*-MA 也可進行低苯濃度暴露之評估，其半衰期小於 24 小時^(21, 31)，美國 ACGIH(American Conference of Industrial Hygienists)對其建議之生物暴露指標值 BEI(Biological Exposure Indices)為 500 μ g/g cre.

(三)尿中 *t,t*-MA 分析方法

尿中苯代謝物 *t,t*-MA 之分析，過去已有研究⁽³²⁻³⁴⁾利用固相萃取管組 (SPE, solid phase extraction)做尿液前處理，包含去除雜質及萃取，以高效能液相層析儀(HPLC, High performance Liquid Chromatography)進行分析，偵測器為 UV。Lee⁽³⁰⁾ (2005)曾針對某工廠員工吸菸者(n=26)與非吸菸者(n=21)及外部醫院非吸菸者(n=14)進行尿中 *t,t*-MA 濃度之研究，對象皆為非苯暴露作業者，以 SPE 做前處理使用 SB-C₁₈ 座分離管柱，移動相 A 為 9%(v/v)之甲醇與 250mM 正磷酸混合，移動相 B 為 30%(v/v)之乙晴與 150mM 正磷酸混合，以 HPLC/UV 偵測(nm=263)，偵測極限為 5 μ g/L，回收率為 84-99%，研究結果顯示工廠中吸菸者的濃度(90±34 μ g/g creatinine)高出非吸菸者(49±39 μ g/g creatinine)的兩倍，而工廠非吸菸者與外部醫院非吸菸者之相關性(R)高達 0.99。

Schroijen⁽³⁵⁾等人(2008)以 1697 位分別居住於 9 個地方之青少年為研

究對象，瞭解不同暴露污染源之 9 區對尿中 *t,t*-MA 濃度之影響，利用 SPE-SAX 進行 *t,t*-MA 之萃取，移動相為甲醇與 1%(v/v)醋酸混合，再以 HPLC/UV 進行分析，偵測極限為 $8.6 \mu\text{g/L}$ ，研究結果顯示 9 區青少年之 *t,t*-MA 濃度分別為，Antwerp $72 \mu\text{g/g creatinine}$ 、Antwerp Harbour $68 \mu\text{g/g creatinine}$ 、Ghent $72 \mu\text{g/g creatinine}$ 、Ghent Harbour $70 \mu\text{g/g creatinine}$ 、Fruit $71 \mu\text{g/g creatinine}$ 、Rural $73 \mu\text{g/g creatinine}$ 、Olen $73 \mu\text{g/g creatinine}$ 、Albert canal $76 \mu\text{g/g creatinine}$ 、Incineration $76 \mu\text{g/g creatinine}$ ，其中以 Fruit 的濃度最低，且該地區污染物暴露濃度亦為最低處。

Gobba⁽³⁶⁾等人(1997)以義大利北部之公車駕駛為研究對象，將非吸菸之行政人員作為對照組，比較兩族群尿中之 *t,t*-MA 濃度，利用 SPE 進行 *t,t*-MA 之萃取，再以 HPLC/UV 分析，其偵測極限為 0.002mg/L ，回收率為 95%。研究結果顯示公車駕駛尿中 *t,t*-MA 濃度為 $297 \mu\text{g/g cre.}$ ，對照組則為 $0.162 \mu\text{g/g cre.}$ 。

第三節、大氣中 BTEX 及生物偵測相關研究查證

一、環境測定

(一)室內、外空氣中 BTEX 之濃度及相關因素

過去研究結果顯示室內、外空氣中 BTEX 濃度均以甲苯濃度最高，且室內濃度高於室外濃度。Chunrong^(37, 38)等人(2008)針對位於美國密西根北部之三個不同工業化程度城鎮之居民共 159 人，使用被動式熱脫附管進行室內、外空氣中 VOCs 之採樣，室內共有 253 個採樣點，室外共有 227 個採樣點，共計 1115 個 VOCs 管樣本，使用 ATD-GC/MS 分析。室外空氣中 VOCs 結果顯示甲苯濃度最高 $0.8-3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其次為苯 $0.7-1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最低為間,對-二甲苯 $0.7-2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；室內空氣中 VOCs 結果顯示濃度較高的為甲苯 $6.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、間,對-二甲苯 $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，若針對不同地區可發現不論室內外，工業密集地區其濃度明顯高於一般城鎮及鄉村。而室內外比(I/O)結果顯示比值為 1 ± 0.5 可推估污染源以室外為主，如：苯，若 I/O 比介於 1.5-10 則同時受室內污染源及室外污染源之影響，如：甲苯及間,對-二甲苯，而 I/O 比大於 10 則表示主要的污染源來自室內。Sonja⁽³⁹⁾等人(2004)及 Ken⁽⁴⁰⁾等人(2004)亦有相關研究顯示類似之結果。

Simon⁽⁴¹⁾等人(2005)之研究共取27位住戶，其中13戶鄰近馬路旁(50公尺)，對照組為14戶距馬路50公尺以上之住戶，27戶皆為非吸菸族群且30公尺內無工業污染源，該研究以主動式採樣器進行24小時之連續室

內、外採樣，GC/MS進行分析空氣中苯之濃度。結果顯示暴露組室內空氣中苯濃度為 $1.975 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，高於室外苯濃度 $1.031 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而對照組室內、外分別為 $1.152 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $1.237 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，顯示室外苯濃度高於室內苯濃度，比較兩組室內空氣苯之濃度，則有顯著性差異。而暴露組室內、外I/O比值為2.73，顯示室內空氣中苯濃度依然高於室外，但經由Wilcoxon test未有顯著性差異，另外室內、外環境中苯之濃度屬中度相關，暴露組室內、外空氣中苯濃度相關係數為 $r=0.494$ ，對照組為 $r=0.499$ 。

Ken⁽⁴⁰⁾等人(2004)以聖保羅城市作為研究區域，71位健康、未吸菸之成人為研究對象，利用被動式採樣器進行48小時之室內、外及個人之15種VOCs連續採樣，使用GC/MS進行相關分析。結果顯示室內苯之濃度 $5.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、甲苯 $22.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、乙苯 $4.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、二甲苯 $14.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而室外濃度則為苯 $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、甲苯 $4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、乙苯 $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、二甲苯 $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，得知室內濃度高於室外濃度；比較室內、外估計相對濃度I/O之比值苯與二甲苯為54.8，而甲苯之I/O比值為20.8。

吳⁽¹⁾(2007)針對中部科學工業園區附近居民進行相關之調查研究，BTEX收樣中暴露組共計40個樣本，另外以某大學三間有使用揮發性有機溶劑之研究室做定點採樣，結果顯示中科附近居民室內、外空氣中除苯 7.81ppb 、二甲苯 10.35ppb 之室內環境平均濃度低於室外環境，其餘甲苯 40.61ppb 、乙苯 2.44ppb 及TVOC 61.22ppb 之室內環境平均濃度均高於室外

環境，但經過無母數統計方法檢定後顯示沒有顯著性差異。室內、外I/O 比值之範圍為0.93-1.20，且有吸菸之家戶I/O比值苯1.10、乙苯1.17、二甲苯1.34，平均吸菸者室內外濃度比值均高於無吸菸家戶之比值。

(二)大氣環境中BTEX之濃度

劉⁽⁴²⁾(1999)以主動式及被動式採樣進行空氣中 VOCs 之採樣，不論使用主動式或被動式採，空氣中 BTEX 之濃度結果均高度正相關。嘗試以經濟便利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。

方⁽⁴³⁾等人(2006)之相關環境監測計畫，該研究計畫使用不鏽鋼採樣筒(Canister)進行VOCs之採樣，再利用GC/MS進行分析，採樣點分別為台中科學園區附近之國安國小及土地公祠，土地公祠在園區北側晶圓廠旁邊，國安國小則在園區南側光電廠旁，採樣時間從94年11月30日至95年10月16日共12次採樣分析工作。結果顯示國安國小採樣點苯之平均濃度1.36ppb、甲苯21.72ppb、間,對-二甲苯3.42ppb、鄰-二甲苯1.56ppb、乙苯1.43ppb，土地公祠之BTEX濃度則分別為1.42ppb、12.16ppb、1.43ppb、3.10ppb、1.34ppb；不同月月份中又以1月份之濃度最高。

另外，郭⁽⁴⁴⁾等人(2005)顯示相類似之結果，其以中部科學工業園區的

四條聯外道路在園區外圍與其他道路之交接點作為揮發性有機物交通來源的採樣點；並且根據ISC-ST3所模擬出的最大著地點、園區周界、以及周邊臨近社區作為設置環境採樣的參考點，每季進行5個點代表交通源採樣點及5點採樣點代表環境暴露的VOCs。此研究根據美國EPA公告的不銹鋼筒採樣氣相層析質譜儀偵測之分析方法，以不銹鋼筒(Canister)在園區外圍進行12小時之揮發性有機物採樣，並且以氣相層析質譜儀進行定性與定量之分析。結果顯示苯 2.4 ± 1.4 、甲苯 32.9 ± 18.8 ppb、乙苯 2.0 ± 0.9 ppb、間，對二甲苯 7.3 ± 2.9 ppb、鄰二甲苯 3.0 ± 1.7 ；並與交通源及總車流量(大型車、小貨車、小客車及機車)呈現顯著相關($r=0.51, p<0.05$)；在季節上僅甲苯明顯在秋季有增高的趨勢。

Chiu⁽⁴⁵⁾等人(2005)於2000至2003年間針對台灣新竹科學工業園區周界進行大氣中VOC採樣，藉此了解竹科園區環境空氣中VOC分布情形。2000年5月執行五天之連續採樣並以GC/FID分析，氣象條件部分，風向為西南風，風速約0.5m/s、溫度範圍在25-28°C間。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，推估是因採樣當天空氣溫度與風速較低，VOCs不易揮發亦不易擴散，而甲苯與苯濃度之比值(T/B ratio)範圍大約為4至20。並可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。

(三)室內、外空氣中BTEX之濃度相關性及其因素

影響 BTEX 濃度之因素包括：通風狀況、吸菸、季節等及周邊交通密度等因素⁽⁴⁶⁻⁴⁸⁾，如：Isbell⁽⁴⁶⁾等人(2005)在阿拉斯加以兩住戶為研究對象，瞭解居家室內環境中影響 BTEX 濃度之因素，結果顯示室內在未通風情況下，苯濃度平均為 18ppb，甲苯濃度平均為 43.3ppb，但在有通風情況下，苯濃度則平均為 4.8ppb，而甲苯為 8.8ppb，並達統計上顯著性差異。Schlink⁽⁴⁸⁾等人(2004)隨機選取居住於德國公寓之民眾，共計 10 戶，每月均作採樣，探討季節對 VOCs 濃度之影響，結果顯示室內環境中冬季 VOCs 濃度約為夏季之 3-4 倍。

Edwards⁽⁴⁹⁾等人在芬蘭 1996 年到 1997 年之研究，以 201 名隨機抽樣赫爾辛基居民為研究對象，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)、居家室內環境採樣(N=119)、居家室外採樣及工作場所空氣中苯濃度之採樣，採樣時間均 48 小時。結果顯示非吸菸者個人採樣苯之中位數濃度最低為 $2.47\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，暴露二手菸(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($p=0.002$)。居家室內環境中苯之中位數濃度吸菸者($3.14\mu\text{g}/\text{m}^3$)高於非吸菸者 $1.87\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，且有統計上顯著差異($p<0.001$)，而居家室外環境中苯之平均中位數濃度低於室內 $1.51\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，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車內時間、室內時間、工作場所時間等變項，結果顯示均明顯相關。

Fondelli⁽⁵⁰⁾ 等人(2008)選取義大利佛羅倫斯 67 位健康且未吸菸之居民，以被動式採樣器於春季尾冬季初時進行苯濃度之 4 週採樣，將房子室內、外進行同時之定點採樣，其它苯暴露相關資料以問卷及採樣期間參與者之個人活動紀錄表作為參考依據。空氣或個人採樣樣本則使用氣相層析儀進行分析。結果顯示個人苯之暴露量在冬春兩季分別為 $6.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $2.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，冬季室內外有明顯之相關性 ($R=0.98$)，且冬季所產生苯物質的濃度為最高 ($p<0.001$)。另外比較使用不同交通工具之通勤者，以混合型者苯之濃度最高 $7.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，可知除季節可能造成影響外，尚須考慮交通型態或環境對苯暴露濃度之影響。

Manini⁽⁵¹⁾ 等人(2008)比較不同職業對苯暴露濃度之差異，結果顯示長時間在室外工作者暴露濃度最高，例如：警察暴露濃度為 $22.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、公車司機暴露濃度為 $24.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，對長時間暴露於交通繁忙者或通勤者其暴露苯濃度較高，因此交通密集程度及暴露時間長短，對周邊環境苯之濃度及生物體之暴露量會造成影響。

Jia^(37, 38) 等人(2008)在美國密西根調查 3 個不同程度之工業發展城鎮其

VOCs 濃度變化，並探討住戶室內、外在不同城鎮及季節影響下之相關研究。使用被動式採樣器進行 98 種 VOCs 分析採樣，室外共偵測 46 種 VOCs 而室內 53 種，其中無論室內、外均以苯、甲苯、間, 對-二甲苯及四氯化碳濃度最高(室內還包括 *n*-heptane、 α -pinene 及 *d*-limonene)，又以冬季濃度較高，但季節的影響仍然很小且不穩定。而不同城鎮中大部分以工業化城鎮之 VOCs 濃度最高。室內、外 VOCs 之濃度分佈大致相同，若就室內、外比(I/O)來看，大部份 VOCs 之複合物比值約在 1 到 10 之間，但少數物質卻可達 100 倍。

二、尿中 *t,t*-MA 之濃度及影響因素

t,t-MA 為苯之人體代謝物，會因個體不同有所差異，如：尿量及代謝速率等因素。Barr⁽⁵²⁾ 等人將尿液做標準化之調整以降低干擾因素。肌酐酸為人體肌肉活動之正常產物，經由腎臟過濾、吸收等代謝機制後排出體外，而年齡、身體質量、健康狀況、藥物及酒精等皆為影響肌酐酸濃度之因素。世界衛生組織⁽⁵³⁾(WHO, World Health Organization)建議尿中肌酐酸濃度正常範圍為 30 至 300mg/dL，並依此標準去除有腎臟疾病、腎功能失調或肌肉大量損壞而影響尿中代謝物濃度之研究對象。

Wiwanitkit⁽⁵⁴⁾ 等人(2005)針對泰國曼谷 45 名公務員為研究對象，研究環境中苯濃度為 0.15 mg/m³，尿液樣本以 HPLC 進行分析。45 名公務員

中 10 位為有吸菸者，35 位為未吸菸者，結果顯示吸菸者 *t,t*-MA 濃度為 2.19 ± 2.32 mg/g cre.，且最高濃度可達 7.08 mg/g cre.；未吸菸者則為 0.25 ± 0.33 mg/g cre.，最高濃度可達 0.98 mg/g cre.，有吸菸者為未吸菸者 *t,t*-MA 濃度的 9 倍，比較此二組之濃度發現有顯著性差異 ($p < 0.05$)。另外將吸菸支數與 *t,t*-MA 濃度之相關係數為 0.798 ($p < 0.001$)，顯示吸菸支數與暴露者體內 *t,t*-MA 有相當良好之相關性。

一項針對低苯環境中，尿中 *t,t*-MA 做為生物偵測指標之研究⁽⁵⁵⁾，研究族群一，Milan 之交通警察 ($n=77$)、加油站工作者 ($n=78$) 及對照組 ($n=58$)。研究族群二，Genoa 之公車司機 ($n=153$) 及對照組 ($n=49$)，兩大族群中再將各組之研究對象區分為吸菸者與非吸菸者。使用被動式採樣器於受測者工作時間內進行採樣，尿液則為在工作結束後隨機收取。結果顯示 Genoa 之暴露組(公車司機)尿中 *t,t*-MA 濃度以吸菸者 ($174 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 大於未吸菸者 ($57 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，且未吸菸者部份暴露組又略高於對照組 ($51 \mu\text{g}/\text{m}^3$)；另外 Milan 之相關結果，顯示暴露組中之交通警察吸菸者之 *t,t*-MA 濃度 ($213 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 明顯高於未吸菸者 ($82 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，而加油站工作者中吸菸者 ($144 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 高於未吸菸者 ($49 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，且不論交通警察或加油站工作者其 *t,t*-MA 濃度皆高於對照組。此研究結果顯示吸菸行為與尿液中苯之代謝物有顯著性，顯示吸菸為影響尿中 *t,t*-MA 之一重要因素。其他研究，如 Wallace⁽⁵⁶⁾ et al (1989)、Rappaport⁽⁵⁷⁾ et al (2002a) 及 Lin⁽⁵⁸⁾ et al (2006)

均指出大眾吸菸行為與其苯之暴露與尿液中苯之代謝物有顯著性相關。

三. 空氣中 BTEX 濃度與尿中 *t,t*-MA 濃度之相關性

許氏⁽⁵⁹⁾以台灣中部某小型彩色平版印刷廠中現場八名作業員為研究對象，對照組為二名行政人員，以主動式活性碳管進行二個全程連續採樣(四小時為一單位)，每日約採八個小時，持續採一週(至星期六)，並於工作中及工作結束後收集勞工之尿液樣本，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苯與尿中 *t,t*-MA 之濃度相關係數為 0.86，兩者具有高度性之相關。

Qingshan⁽⁶⁰⁾等人(2005)針對中國工廠之員工進行苯之生物偵測指標之研究，共有 180 名研究對象且至少工作 3 年以上，其中暴露族群為 130 名，非暴露者 51 名，非暴露族群已經過性別、年齡、吸菸習慣及飲酒習慣之配對，對象中以排除患有慢性疾病之患者，或是具有不正常肝臟機能疾病以及尿中蛋白質過高之工作者，全部之研究對象皆有接受問卷調查以蒐集相關基本資料。尿液在每日工作開始前及結束後收取，使用 LC-ES-/MS/MS 進行分析。結果顯示 *t,t*-MA 與空氣中苯濃度在 0.06-122ppm 時有良好的相關性($r=0.83$)，且在暴露劑量反應中苯濃度低於 1ppm 仍有顯著性之相關。但空氣中苯濃度若低於 0.1ppm 時則無顯著性之相關。*t,t*-MA 之濃度為 $1.57\pm 1.38\text{mg/g cre.}$ ，中位數 1.11 mg/g cre. ，最大值為 6.98 mg/g cre. 。

Liu⁽⁶¹⁾等人(1996)研究 117 位鞋廠及汽車烤漆廠之員工為研究對象，將其分為低苯濃度暴露($<40\text{mg}/\text{m}^3$)、中暴露($40\text{-}200\text{mg}/\text{m}^3$)、高暴露($>200\text{mg}/\text{m}^3$)及對照組，在工作期間進行空氣採樣，工作結束後收取尿液，進而分析其相關性。研究結果顯示苯濃度以高暴露組最高，低暴露組最低，而甲苯之濃度以低暴露組最高，中暴露組最低；二甲苯之濃度剛好與甲苯相反。尿中 *t,t*-MA 濃度，低暴露組 $0.19\text{ mg}/\text{g cre.}$ 、中暴露組 $13.0\text{ mg}/\text{g cre.}$ 、高暴露組 $59.53\text{ mg}/\text{g cre.}$ 及對照組 $0.14\text{ mg}/\text{g cre.}$ ，結果與空氣中苯濃度相符，高暴露組之 *t,t*-MA 濃度最高，低暴露組最低。經過統計檢定過後暴露組與對照組有達統計上顯著差異($p<0.05$)。

由上述相關文獻可瞭解 BTEX 在環境中易受季節、周遭車流密度及附近工廠之污染物排放影響，室內環境中亦受家中吸菸環境、特定污染源及通風情況之影響。大部分結果顯示鄰近工廠及附近車流密度較高之採樣點相對於對照組，其空氣中之 BTEX 濃度會較高，而家中有吸菸者結果亦如此；在室內外比值中大部分室內環境與相關之特定暴露來源及室內通風條件有關。苯之生物偵測指標 *t,t*-MA 濃度也易受附近工廠污染物排放、車流量多寡及家中吸菸狀況之影響而有上升趨勢。*t,t*-MA 之濃度與空氣中苯之相關性，在具較高濃度苯暴露之工廠易達到高度相關，但卻不易與空氣中苯濃度有相關。不同暴露組別之 *t,t*-MA 濃度有差異，但並非所有研究皆可達統計上之顯著性差異。過去相關研究大多以傳統

產業之高暴露族群為研究對象，較少以長期低暴露之民眾進行相關研究，加上近年來高科技產業之發展建立，其可能對附近居民造成影響，因此本研究針對中科附近居民進行兩年之追蹤，藉此探討新興之高科技產業對附近居民之影響。



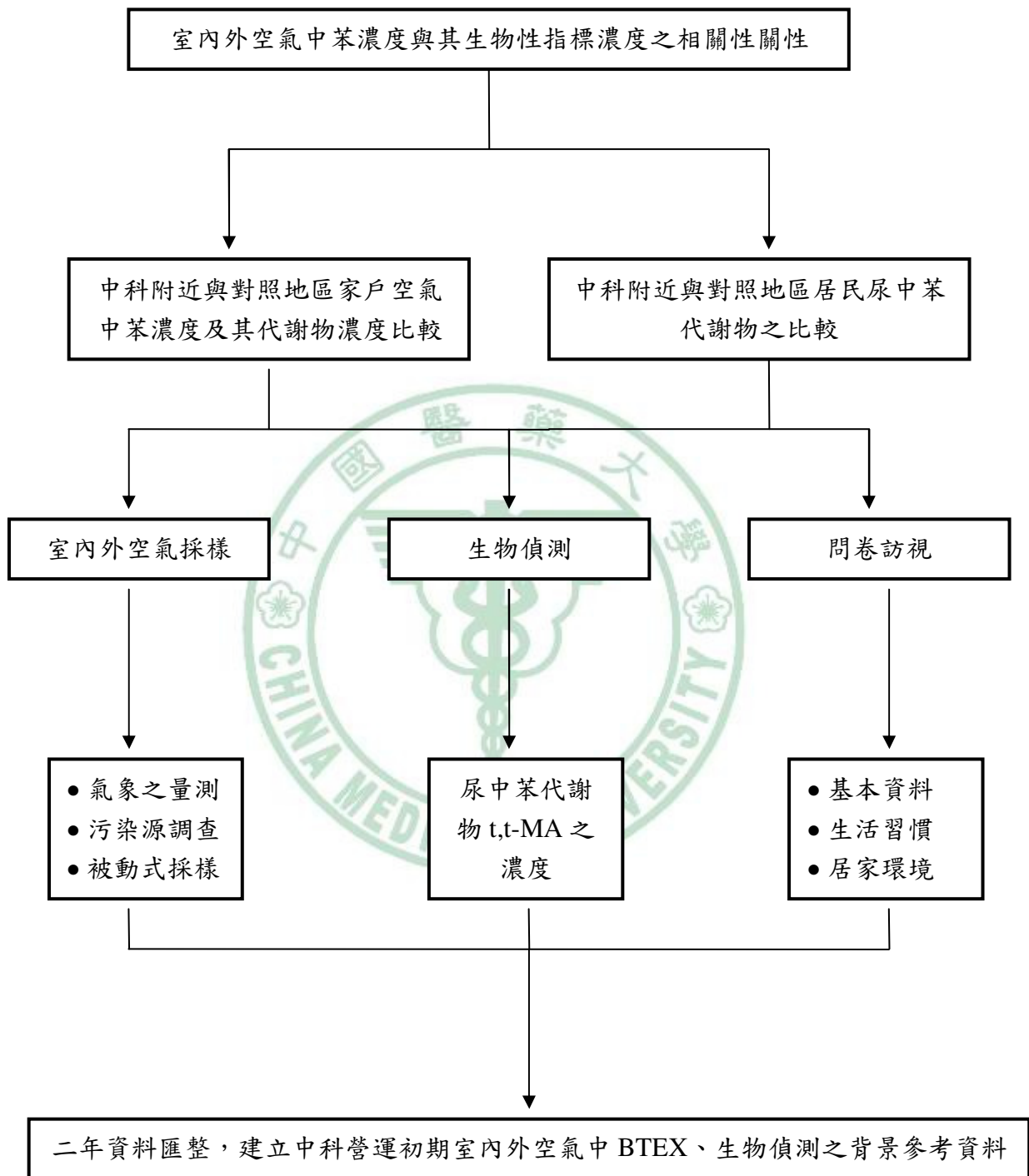
第三章、研究材料與方法

第一節、研究方法

本研究為兩年追蹤中部科學園區附近居民尿中苯代謝物 t,t-MA 濃度之研究，採用自願參加對象，並從中選取五戶居民測定其居家室內、外環境中苯、甲苯、乙苯、二甲苯(BTEX)之濃度，進一步探討居民尿中苯代謝產物 t,t-MA 濃度與空氣中 BTEX 濃度之相關性，以逐步建立中部科學園工業園區營運初期附近居家室內外揮發性有機污染物(Volatile organic compound, VOCs)與其尿中苯代謝產物之濃度，藉此作為未來評估中科於開發過程中是否會影響附近居民暴露 VOCs 之參考。



研究架構



附圖二、本研究之研究架構

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⁽⁴⁴⁾，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，再選取該範圍中之社區居民。

一. 參與問卷調查及尿液收取之研究對象

參與本研究之對象為緊鄰中部科學園區台中基地附近之居民，選樣上依過去之結果，中科南區 t,t-MA 濃度 $61.94 \mu\text{g/g cre.}$ ，中科北區 $43.82 \mu\text{g/g cre.}$ 及對照地區 $27.91 \mu\text{g/g cre.}$ ，因此將其分為三區，高暴露組(中科南區)、低暴露組(中科北區)及對照組，高暴露組即國安社區與鄉林社區，其除鄰近中科對外主要幹道，可能因交通流量之增高進而增加污染物之排放量外，另外，附近除中部科學工業園區，尚有台中工業區、再過去甚至還有台中焚化爐，皆可能增加污染物之排放量。相較於此，秀山村位於中部科學工業園區之另一側，其可能暴露之污染來源較高暴露組更為單純，且該區之年齡結構以年長者居多。而該區也因近年中部科學工業園區之發展，使原有之農田綠地因開發漸而消失，對該區居民除居住環境的改變，未來工廠若產生污染物、交通流量之增加都將可能嚴重影響到居民之生活品質；對照地區為台中縣新社鄉之新社村及大南村，該地區工業污染程度較低，本研究配合該地區定期舉辦之老人聚會進行問卷相關調查及尿液樣本之收取，其平均年齡故亦以老年人佔多數。

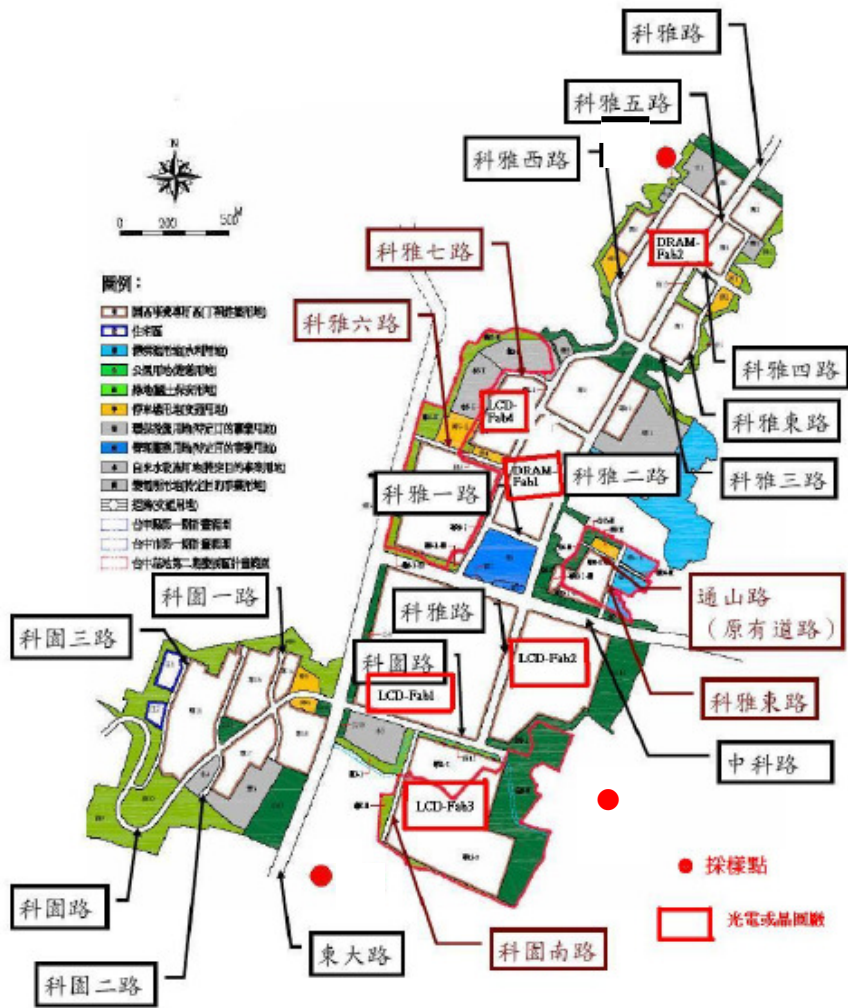
高暴露組包含台中市西屯區的國安社區甲區、國安社區乙區及鄉林社區，低暴露組為台中縣大雅鄉的秀山村，合計共一百八十四位自願居民，位置如附圖三；對照地區為台中縣新社鄉之新社村及大南村，合計共四十三位自願居民。利用問卷調查進行受訪者之個人基本資料、個人生活習慣、居家生活型態之瞭解，並隨機收取尿液樣本，進行後續尿中苯代謝物 t,t-MA 之濃度分析，經肌酐酸(creatinine)校正，去除肌酐酸濃度小於 30mg/dL 及大於 300mg/dL 之樣本，最後，同時有問卷調查且同時有尿液樣本之研究對象，暴露組合計共有一百三十八位居民，而對照組合計共有三十五位居民。

二.室內外空氣 BTEX 採樣及其生物偵測之研究對象

為瞭解中部科學工業園區附近居民暴露於室內、外空氣中 BTEX 濃度與苯生物偵測指標之相關性，從自願參與問卷調查之研究對象中，選取高暴露組與對照地區各五戶自願配合參與室內、外空氣採樣之家戶，分別位於國安社區甲區一樓、三樓、六樓、七樓及十樓，此家戶中共有二戶家庭成員中有吸菸者，對照組則位於新社鄉之新社村，其採樣樓層皆位於一樓，其中共有三戶家庭成員中有吸菸者，進行 BTEX 室內、外空氣採樣，並同時收取尿液，受測者之家人亦隨機收取尿液，並分析尿中之 t,t-MA。室內、外空氣採樣，室內包含客廳及廚房，另外室外則為

陽台空氣採樣，高暴露組合計有 10 個樣本，對照組合計有 13 個樣本，
尿液樣本合計共 11 個。BTEX 之採樣皆以被動式採樣器做定點採樣，採
樣時間為 24 小時連續採樣，並在採樣結束前收取尿液以利後續 t,t-MA 之
濃度分析。





附圖三、中部科學園區研究對象分布圖

第三節、問卷之調查(附件一)

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,SKC 575-001)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，575 系列採樣器符合 ASTM D6246-98 和 ANSI 104-1998 擴散式採樣器的標準方法。適用於短至 30 分鐘長至 24 小時。而本研究是以每次採樣共計 24 小時在三處不同定點分別採樣，採樣位置為家戶居家室內微環境(microenvironment)包括客廳、廚房及室外環境以陽台處作為代表，每次均有做田野空白(field blank)樣本，樣本之運送及保存皆以冷藏處理以避免 BTEX 揮發。另每次採樣皆使用熱線風速儀、二氧化碳劑蒐集氣溫、溼度及風速相關資料。

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, 575-001)
2. 熱線風速儀 (TSI, VELOCICALC Plus)
3. 二氧化碳計 (YES, 206 Falcon)
4. 分離管柱 (SUPELCO WAX-10 30m*0.53*1.00mm)
5. 氣相層析儀/火焰離子偵測器 (Agilent 6850 Series II GC/FID)

二. BTEX 採樣與分析步驟

(一) 儀器分析條件

參考行政院環境保護署空氣中氣太芳香烴化合物檢驗方法-以活性碳吸附之氣象層析/火焰離子化偵測法(NIEA A719.10T)及勞工委員會標準分析參考方法#1905，略作修正。

儀器分析條件：

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) 氦氣(載流氣體)：4.8mL/min

(2) 氫氣：50 mL/min

(3)空氣：450 mL/min

(二) 樣本分析步驟

參照工業技術研究院技術⁽⁶²⁾報告所提之脫附方法。

取 1.5ml 脫附劑 CS₂ 注入被動式採樣氣中



震盪脫附 30 分鐘



由出口處將 CS₂ 倒至 1.8ml vial 中



GC/FID 分析，以計算採樣樣本 BTEX 之濃度

(三) 濃度計算

由於被動式採樣法是經由空氣擴散原理進行吸附，故只能求得化合物之質量，因此必須考慮採樣時間、採樣流速、現場溫度等因素，經由換算求取濃度，本研究參考工業技術研究院技術報告⁽⁶²⁾之計算方法。

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

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 $\times 1.5 \times$ 密度)

CF_T ：溫度效應修正係數，如下所示：

採樣溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	44	37	31	25	19	13	7	2	-3	-8
採樣溫度 ($^{\circ}\text{F}$)	111	99	88	77	66	55	45	36	27	18
修正係數(CF_T)	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06

三.檢量線之建立及偵測極限

儲備溶液之配製(stock solution)，分別加入 0.1ml 之苯、甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯及對-二甲苯於同一定量瓶中，再以二硫化碳(CS_2)定量至 1000mL，及配製成 1000ppm 的儲備溶液，再將其稀釋為 0.1ppm 至 50ppm 之標準品，其 r^2 值均大於 0.9995；而最低偵測極限範圍在 0.01 至 0.06ppm。其偵測方式為，以檢量線最低點連續分七次，並計算其三倍之標準差即為偵測極限。

BTEX 檢量線範圍及偵測極限如下：

BTEX	濃度範圍(ppm)		r^2	偵測極限 (ppm)
	最低	最高		
苯	0.1	100	0.9998	0.01
甲苯	0.1	100	0.9998	0.06
乙苯	0.1	100	0.9998	0.05
鄰-二甲苯	0.1	100	0.9999	0.03
間-二甲苯	0.1	100	0.9998	0.02
對-二甲苯	0.1	100	0.9999	0.03

四. BTEX 脫附效率之測定

將苯、甲苯、乙苯、鄰-二甲苯、間-二甲苯及對-二甲苯配製其檢量線中點濃度於同一標準品中，做三重複分析，其脫附效率為樣本分析重量與實際添加重量之比值，其脫附效率為 90-110%。

BTEX	分析重量(μg)	添加重量(μg)	回收率(%)
苯	4.23	4.35	97
甲苯	4.31	4.33	99
乙苯	3.96	4.35	92
鄰-二甲苯	3.97	4.40	90
間-二甲苯	4.79	4.34	110
對-二甲苯	3.94	4.40	90

五. 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，求出 BTEX 滯留時間、波峰面積之變異係數【標準差/平均值 $\times 100\%$ 】及相對誤差【(實際濃度-配置濃度)/配置濃度 $\times 100\%$ 】。滯留面積之變異係數 0.02-0.56%，波峰變異係數 0.66-1.94%，且相對誤差均不超過 $\pm 7\%$ ，顯示儀器穩定性高。

第五節、尿中苯代謝物之測定

一.材料

(一) 試藥

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. 固相萃尿管組(SUPELCO, DISCOVERY DSC-SAX tube, 3mL)
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 μ m)

二.採樣及分析方法

(一) 儀器分析條件

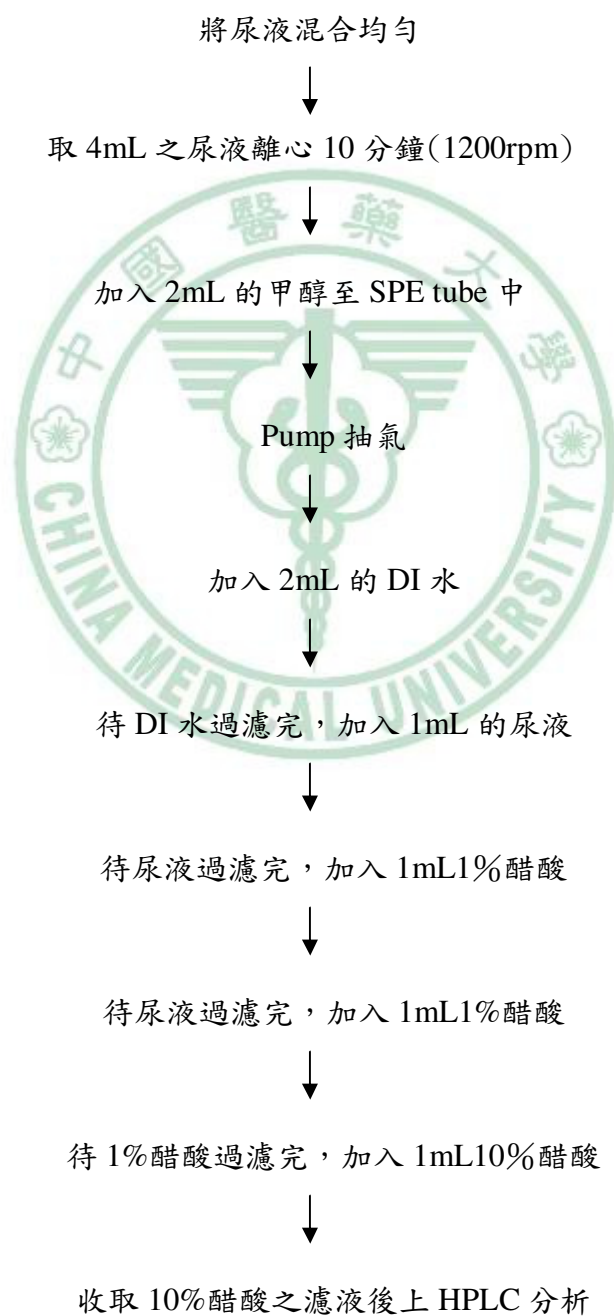
1. 移動相：1%醋酸：甲醇=80：20(體積比)
2. 溫度：30°C
3. 流速：1mL/min

4.偵測器波長：278nm

(二)樣本分析步驟

藉由問卷訪視同時收取對象的尿液樣本，分析方法參照

Scherer⁽²⁰⁾(1998)研究所提之固相萃取方法，略作修正，分析步驟如下：



三. 檢量線之建立及偵測極限

儲備溶液(stock solution)之配製，秤重 5mg 之 *trans,trans*- muconic acid 加入定量瓶，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 μ g/L 之標準品，其檢量線之相關係數超過 0.9995，將檢量線最低點重複偵測七次，並計算其三倍標準差範圍求得偵測極限為 0.21 μ g/L。

四. 添加回收率

取 0.1mL，0.5mg/L 的 *t,t*-MA，相當於添加絕對質量為 50 μ g 之標準品至混合尿液(pooled urine)中，並依照樣本分析步驟進行三重複回收率試驗，求得 *t,t*-MA 平均絕重量，最後其回收率為 110%。

五. 方法再現性

分別配製低(15.625 μ g/L)、中(125 μ g/L)及高濃度(2000 μ g/L)之標準品，連續分析七次，分別求出 *t,t*-MA 低、中、高濃度之滯留時間及波峰面積變異係數及相對誤差，計算方式如前述，其滯留時間及波峰面積之變異係數(CV)分別為 0.01-0.15%，0.49-3.21%及相對誤差(0.19-2.54)皆小於 $\pm 7\%$ 。

第六節、資料統計與分析

本研究以 Excel 軟體做問卷調查、空氣採樣及尿液樣本相關分析之資料建檔整理，以 spss 12.0 版之軟體進行資料之統計分析。

一. 描述性統計

針對個人基本資料、個人生活習慣及居家環境型態、室內污染源調查以百分比方式描述；身高、年齡、體重、BTEX 濃度、t, t-MA 濃度等連續變項以平均值、標準差及中位數表示。

二. 分析性統計

比較研究對象及對照地區相關之類別變相以卡方檢定瞭解其差異，而 t, t-MA 與相關之類別變如性別、吸菸習慣、居住馬路旁此等類別變相以 student t-test 檢定之，但若與教育程度、飲食習慣等此類別變項，則以 One-way ANOVA 檢定之。探討居家空氣中 BTEX 濃度，尿中 t, t-MA 濃度等連續變項時，因樣本數較少，故使用無母數統計方法 Mann-Whitney U test；探討自變項影響 t,t-MA 濃度依變項時，使用 General Linear Model(GLM)來進行三地區居民尿中 t,t-MA 濃度之迴歸係數。

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

本研究將研究族群分為三組，高暴露組、低暴露組及對照組，比較三組基本資料及生活習慣，由表一顯示三組居民在性別、教育程度、年齡及 BMI 達顯著性之差異。高暴露組中男性比例 (54.1%) 高於女性，低暴露組與對照組則女性比例偏高；教育程度上，高暴露組民眾大學以上之學歷所佔比例 (41.4%) 高於低暴露組及對照組民眾。平均年齡以高暴露組 48.0 歲顯著性低於低暴露組及對照組。比較民眾在家中平均時間長短，低暴露組與對照組居民時間相似約 18hr，但高於高暴露組 (16.8hr)。

表二比較高、低暴露及對照三組居民之居家環境特性，結果顯示除家中使用空氣清靜機及有拜香習慣兩變項均有達顯著性差異，其餘居民居住馬路旁、家人有無吸菸習慣、使用蚊香、使用殺蟲劑及飼養寵物均無統計上顯著差異。三組別中空氣清靜機使用之住戶以高暴露組民眾之比例最高(22.4%)，且有統計上之差異($p=0.038$)；拜香習慣以低暴露組所佔之比例最高(95.7%)，其次為對照組(80.9%)，高暴露組民眾之比例最低(59.8%)，亦有統計上之差異($p<0.001$)；其他變項如：家人吸菸習慣，高暴露組與對照組所佔之比例相類似 (33%)，雖低於低暴露組 (43.4%)，

但未達統計上顯著性差異。

比較高、低暴露與對照三組別居民室內、外活動平均時間之差異(表三)，發現不論在室外工作時間、室外步行時間、室外騎行機車時間及假日室內外所處之時間，在三組別間均未達統計上顯著差異，且非常相近，在假日室內停留時間為 19.3-19.5hr、在室外停留平均時數為 4.3-5.1hr。

比較高、低暴露組與對照組間飲食習慣之差異(表四)，三組之飲食習慣均無達到顯著性差異，原始問卷以近三天內食用烤肉、高油脂、烤魚、燻肉、燻魚及比薩之頻率(沒有、很少、一份、二份及三份以上)做分類，但二份以上之食用頻率在各組別均較低，因此分析時將頻率沒有及很少合併為很少變項，一份以上亦合併為經常變項。飲食變項中高油脂在各組中之經常食用比例最高，高暴露組 24.7%、低暴露組 18.2%及對照組 26.8%，其中又以對照組所佔比例最高，但未達統計之顯著性差異。高暴露組中烤魚(8.4%)次之，食用燻魚比例最低(2.0%);低暴露組及對照組燻魚(13.6%)及烤肉(4.9%)次之；對照組飲食習慣中燻肉、燻魚及披薩食用次數皆偏低。

二. 中科地區及對照地區居民尿中 *t,t*-MA 濃度之比較

表五顯示高暴露組、低暴露組及對照組居民之尿中苯代謝物 *t,t*-MA 濃度之比較，分別以未經肌酐酸(creatinine)校正、經肌酐酸校正及 EXP^{(log *t,t*-MA(μ g/g cre.))}調整後之 *t,t*-MA 濃度做表示，為使 *t,t*-MA 濃度分佈呈常態且去除負號造成之影響，故將 *t,t*-MA 經肌酐酸校正後之濃度取反 log 進行調整，而三組別間居民尿中 *t,t*-MA 濃度未達統計之顯著性差異。未經肌酐酸校正前高暴露組之 *t,t*-MA 平均濃度最高 80.67 μ g/L，低暴露組最低 44.88 μ g/L；經過肌酐酸校正後高暴露 *t,t*-MA 平均濃度依然最高 76.9 μ g/g cre.，低暴露組最低 47.8 μ g/g cre 與對照組相近。最後 EXP^{(log *t,t*-MA(μ g/g cre.))}調整後之 *t,t*-MA 濃度，結果大致與經肌酐酸校正過後結果相似。經校正後各組別之變異性減小，而對照組不論經肌酐酸或 EXP^{(log *t,t*-MA(μ g/g cre.))}與否其 *t,t*-MA 濃度值與低暴露組均無顯著性差異。然而，有無肌酐酸校正結果皆呈現高暴露組皆顯著性高於低暴露組與對照組。

表六以對照組為參考組，將居民尿中 *t,t*-MA 濃度做單變項之迴歸分析，結果顯示未經肌酐酸校正前高暴露組之 *t,t*-MA 濃度高於對照組 20.29 μ g/L、低暴露組低於對照組 15.50 μ g/L；經肌酐酸校正後高暴露組之 *t,t*-MA 濃度依然高於對照組 28.07 μ g/g cre.，低暴露組低於對照組 1.03 μ g/g cre.；EXP^{(log *t,t*-MA(μ g/g cre.))}之結果亦同。相較於未經肌酐酸校正前與對照組比較之標準誤有減小之趨勢。但不論 *t,t*-MA 濃度是否有經校正，高、低暴露組

與對照組間均未達統計之顯著性差異。

表七顯示經性別、年齡、教育程度控制後，以對照組為參考組將居民尿中 *t,t*-MA 濃度做多變項迴歸分析，結果顯示高暴露組未經肌酐酸校正之 *t,t*-MA 濃度高於對照組 21.64 $\mu\text{g/L}$ ，低暴露組略低於對照組 1.90 $\mu\text{g/L}$ 。經肌酐酸校正後高暴露組濃度顯著性高於對照組($p=0.083$)，而低暴露組之濃度則高於對照組 25.60 $\mu\text{g/g cre.}$ ，但未達統計之顯著性差異。

三. 影響 *t,t*-MA 濃度之因素

(一) 居家環境

本研究影響 *t,t*-MA 濃度之居家環境因素包含，使用空氣清靜機、拜香習慣、居住於馬路旁、家人吸菸習慣、使用蚊香、使用殺蟲劑、飼養寵物及個人吸菸習慣，其中拜香與居住馬路旁有顯著差異。表八為對受測者居家環境之相關內容，結果顯示未經肌酐酸校正前，使用空氣清靜機、家人吸菸習慣、使用蚊香、使用殺蟲劑及飼養寵物等變項均未有顯著性差異，只有在拜香習慣、居住馬路旁達統計上之顯著性差異。經由肌酐酸校正後，有拜香習慣尿中之 *t,t*-MA 濃度分別為 78.49 $\mu\text{g/g cre.}$ 顯著性高於無拜香習慣者 46.25 $\mu\text{g/g cre.}$ ；居住馬路旁尿中之 *t,t*-MA 濃度分別為 84.75 $\mu\text{g/g cre.}$ 亦高於無居住馬路旁者 49.02 $\mu\text{g/g cre.}$ ，均有達統計上之顯著性差異($p=0.015$)。

(二) 飲食習慣

表九顯示比較飲食習慣對 *t,t*-MA 濃度之影響，攝取高油脂在未經肌酐酸校正之 *t,t*-MA 很少 ($64.74 \mu\text{g/L}$)、經常 ($100.23 \mu\text{g/L}$) 且有達顯著性差異，但經肌酐酸校正後沒有達顯著性差異。其餘變項無論 *t,t*-MA 之濃度有無經肌酐酸校正皆未達顯著性差異，且經肌酐酸校正後各個變項間之 *t,t*-MA 濃度值則相近。

(三) 影響尿中 *t,t*-MA 濃度之多變項迴歸分析

投入影響 *t,t*-MA 濃度可能變項包括組別、性別、年齡、教育程度、BMI、拜香習慣及使用空氣清機，表十為多變項線性迴歸分析。結果顯示在拜香習慣經肌酐酸校正 *t,t*-MA 之濃度，有拜香習慣者高於無拜香習慣者 $44.04 \mu\text{g/L}$ ，及 $\text{EXP}^{(\log t,t\text{-MA}(\mu\text{g/g cre.}))}$ 之 *t,t*-MA 濃度有拜香習慣者高於無拜香習慣者 $1.26 \mu\text{g/g cre.}$ ，兩者皆有統計之顯著性差異 ($p=0.022, 0.033$)，其餘變項均未達統計之顯著性差異。

事先將暴露組與對照組研究對象在性別年齡變項之分佈調整相似，以減少兩組基本屬性之差異。在投入影響 *t,t*-MA 濃度變項包括組別、教育程度、BMI、拜香習慣及使用空氣清機，表十一結果顯示在高、低暴露組經肌酐酸及 $\text{EXP}^{(\log t,t\text{-MA}(\mu\text{g/g cre.}))}$ 之 *t,t*-MA 濃度均與對照組有顯著性之差異。其中在 *t,t*-MA 濃度經肌酐酸校正後，高暴露組高於對照組 $1.50 \mu\text{g/g}$

cre. , $EXP^{(\log t,t\text{-MA}(\mu\text{g/g cre.}))}$ 高暴露組亦高於於對照組 $1.20\mu\text{g/g cre.}$, 兩者均有統計上之顯著性差異。低暴露組之 $t,t\text{-MA}$ 濃度經肌酐酸校正高於對照組 $1.28\mu\text{g/g cre.}$, $EXP^{(\log t,t\text{-MA}(\mu\text{g/g cre.}))}$ 高於對照組 $1.09\mu\text{g/g cre.}$, 亦達統計上之顯著性差異。其他變項則均無統計上之顯著性差。



第二節、高暴露組與對照組家戶空氣中 BTEX 濃度

一. 高暴露組家戶採樣及對照組家戶採樣之室內環境特性

高暴露組家戶採樣點基本是國宅之居住形式，因此不論是居家內部空間設計或可能之室外暴露源皆相似，參與家戶共五戶之通風方式皆以開窗及使用電風扇為主，採樣期間為 97 年 3 月，室內皆無有機溶劑之使用，但家戶編號 #2.4.5 家中有吸菸者，因而需考慮其對於苯之暴露貢獻量是否會影響人體內 t,t-MA 之濃度結果。對照組之家戶居住型態以透天厝為主，活動範圍以一樓為主，其包含廚房、客廳等空間設計，共有 4 組家戶參與居家採樣，通風方式也同暴露組以開窗及電扇，採樣期間為 97 年 5 月，室內皆無有機溶劑之使用，只以家戶編號 #1 有吸菸者（表十二）。

採樣環境之比較上五月份之氣溫略高於三月份，但濕度差異不大，室外風速皆高於室內風速。

二. 高暴露組家戶及對照組地區家戶室內、外空氣中 BTEX 濃度之比較

(一) 高暴露組與對照組室內、外環境中 BTEX 濃度之比較

表十三為高暴露組室內、外環境中 BTEX 之濃度比較，結果顯示，除苯之室內外濃度顯著性略低外($p=0.071$)，其餘皆有達統計之顯著性差異($p<0.05$)。室外環境甲苯不論在平均數或中位數，其濃度是 BTEX 中最

高 3.25 ppb, 2.19ppb, 苯 0.37 ppb, 0.49ppb 次之。室內環境也有相類似之結果甲苯濃度 26.76 ppb, 17.62 ppb, 苯 3.63 ppb, 3.66 ppb 次之, 且室內之 BTEX 濃度均高於室外之濃度。從室內、外 I/O 比值皆大 1(8.10-22.00), 顯示室內 BTEX 物質濃度大於室外濃度。

另外, 對照組之室內、外環境中 BTEX 濃度之比較(表十四), 苯、甲苯、以苯及二甲苯其室內、外濃度皆達統計之顯著性差異。濃度分佈與高暴露組相似, 室外環境中甲苯不論在平均數或中位數皆最高(12.28ppb, 11.77 ppb), 其次為苯(4.04ppb, 3.44 ppb); 室內環境之分布亦如此, 室內濃度均高於室外; 室內、外 I/O 比值也皆大於 1(6.88-12.00), 顯示室內 BTEX 物質濃度大於室外濃度。

表十五比較室內環境高暴露組與對照組 BTEX 之濃度, 除高暴露組中之甲苯(19.71 ppb)及 TVOCs(23.24 ppb)之平均濃度高於對照組外, 苯、乙苯及二甲苯於高暴露組中之平均濃度皆低於對照組, 但以無母數統計進行檢定分析, 唯苯有統計之顯著性差異($p=0.078$), 其餘皆未達統計之顯著性差異。若比較暴露與對照組濃度之比值, 發現高暴露組中唯獨甲苯約高於對照組 2 倍(2.46)外, 苯、乙苯及 TVOCs 濃度比值皆略接近 1(0.97-1.93)。

(二)微環境中 BTEX 濃度之比較

比較高暴露組與對照組室內環境之客廳及廚房，其 BTEX 濃度是否有差異(表十六)。高暴露組中廚房之苯(3.62 ppb)、甲苯(30.86 ppb)、乙苯(0.33 ppb)、二甲苯(1.66 ppb)及 TVOCs(36.47 ppb)濃度均高於客廳；對照組部份，結果相似暴露組，廚房之苯(4.77 ppb)、甲苯(14.24 ppb)、乙苯(1.09 ppb)、二甲苯(2.06 ppb)及 TVOCs(22.16 ppb)濃度均高於客廳，但經無母數統計檢定分析後，高暴露組之 BTEX 及 TVOCs 濃度在廚房與客廳皆未達統計之顯著性差異，相較於高暴露，對照組之苯($p=0.043$)、甲苯($p=0.083$)及 TVOCs($p=0.043$)顯示有統計上顯著性差異。

若將高暴露組與對照組之採樣分析結果合併，比較客廳與廚房 BTEX 濃度之差異，結果顯示廚房之平均濃度及中位數依然高於客廳，但均未達統計之顯著性差異。

三. 影響家戶中 BTEX 濃度之因素

表十七比較家戶室內及總環境中 BTEX 濃度是否受家中成員吸菸習慣之影響，經無母數統計檢定，發現只有室內環境中之甲苯($p=0.064$)與 TVOC($p=0.088$)略有顯著性差異外，其餘皆未達統計之顯著性差異。室內環境中，除苯(3.76ppb)與乙苯(0.76ppb)為有吸菸情形環境之濃度較高外，其餘皆以家中無吸菸情形環境之濃度較高；總環境中 BTEX 之濃度差異

情形與室內環境中 BTEX 結果相似。

經多變項之線性迴歸檢定(表十八)，結果顯示控制其它變項後，不同採樣點(陽台、客廳及廚房)對於苯、甲苯、乙苯、二甲苯及 TVOCs 之濃度會造成影響，且皆有統計之顯著性差異；控制不同採樣點後，高暴露組之甲苯濃度明顯高於對照組($p=0.058$)，而乙苯及 TVOCs 則略高於對照組，其餘均無統計上之顯著性差異。



第三節、比較高暴露組、對照組及環境家戶採樣尿中 t,t-MA 之濃度

高暴露組與家戶之尿中 t,t-MA 濃度比較，以高暴露組一般大眾經肌酐酸校正之 t,t-MA 濃度 $240.25\mu\text{g/g cre.}$ 高於家戶採樣對象，但經兩組樣本 t 檢定後，兩組間濃度無統計之顯著性差異；對照組地區，經肌酐酸校正之 t,t-MA 濃度以家戶採樣 $128.55\mu\text{g/g cre.}$ 高於對照組一般大眾，但同高暴露組之結果，經兩組樣本 t 檢定後，兩組間濃度無統計之顯著性差異(表十九)。



第四節、高暴露組及對照組家戶室內空氣中 BTEX 濃度之相關矩陣

表二十為高暴露組與對照組間家戶室內空氣中苯、甲苯、乙苯、二甲苯及 TVOC 間濃度相關性，對照組之皮爾森相關係數(Pearson's correlation)範圍 0.681- 0.966，且皆達統計之顯著差異($p < 0.001$)；高暴露組之家戶室內空氣中苯、甲苯、乙苯、二甲苯及 TVOC 間濃度相關性，皮爾森相關係數(Pearson's correlation)範圍為 0.136-0.949，其中苯與乙苯、苯與二甲苯、甲苯與 TVOC、乙苯與二甲苯間之皮爾森相關係數分別為 0.797、0.873、0.983 及 0.949，相關係數大於 0.7 為高度正相關，且達統計之顯著性差異($p < 0.001$)。



第五節、95、96 兩年暴露組尿中 *t,t*-MA 濃度之比較

表二十一為 95、96 兩年暴露組尿中 *t,t*-MA 濃度之比較，結果顯示過兩組樣本 *t* 檢定後，高暴露組與對照組兩年之濃度差異有達統計之顯著差異($p < 0.001$)，低暴露組則未達統計之顯著差異。96 年高暴露組與對照組未經肌酐酸校正之 *t,t*-MA 濃度 ($80.67\mu\text{g/L}$ 、 $48.8\mu\text{g/L}$) 高於 95 年 ($45.69\mu\text{g/L}$ 、 $27.91\mu\text{g/L}$)；96 年高暴露組與對照組經肌酐酸校正後尿中之 *t,t*-MA 濃度 ($76.87\mu\text{g/g cre.}$ 、 $60.38\mu\text{g/g}$) 均高於 95 年 ($61.94\mu\text{g/g cre.}$ 、 $34.25\mu\text{g/g}$)；96 年低暴露組不論有無經肌酐酸校正亦較 95 年之結果高。



第五章、討論

第一節、樣本代表性

一. 中科附近居民

由 ISC 擴散模式推估中科園區空氣污染可能之影響範圍，藉此作為研究地區之選取參考，分別位於中科南部(高暴露組)之國安社區、鄉林社區及位於中科北部之秀山村，配合各社區所舉辦之大型聚會進行問卷訪視及樣本收取，而最後問卷、尿液樣本且肌酐酸濃度正常者共 186 名，男女比例約一比一，由於無法收集該社區所有居民之基本屬性資料，但依社區管理委員會描述居民之個人屬性資料與本研究訪視之研究對象相符，居住時間已有一段時間，且參加者多為自由參與，因此推估本研究對象因可代表該地區居民之屬性。若從地區別上觀察，高暴露組為社區型住宅大樓，居民包括老、少年齡層，平均年齡為 48.0 歲，但在低暴露組為該地區老人會成員，居住時間較長，平均年齡為 72 歲，因此造成兩地區之年齡上之顯著差異($p < 0.001$)，為排除年齡可能造成之研究推論誤差，本研究嘗試將年齡與性別與以調整，以減少兩組別之基本屬性差異。此外，本研究之參與對象為自願性參予者，一般自願性參予者可能較重視自我健康管理，對生活週遭之環境汙染物暴露較為敏感，會多考慮降低自身暴露汙染物之機會，使結果有可能會低估 BTEX 之生物偵測濃度。

二. 對照地區之選取

對照組為臺中縣新社鄉該地區以農業為主，無明顯之工業污染源且交通流量小，加上該地區之氣候條件與台中市區相似作為對照地區也相當適合。對照地區之問卷訪視及尿液檢體之收集方式，為配合當地每月定期所舉辦之老人聚會活動來進行，男性佔 32.6%，平均年齡為 72.0 歲，其平均年齡結果雖與低暴露組相近，但與高暴露組有顯著性差異 ($p=0.011$)。造成對照組之教育程度與高暴露組也有顯著性差異 ($p<0.001$)，以及在年齡上低暴露與對照組高於高暴露之原因，為低暴露組與對照組之採樣時間以老人聚會為主，加上鄉村型態之社區在年齡結構中以長者居多所導致。

三. 中科及對照地區居民家戶採樣之選取

經訪視問卷同意進行家戶採樣者作為採樣之對象，其中在高暴露組有 4 戶為延續前年採樣之對象，其分布在各樓層包括一樓、三樓、六樓、八樓及十樓，其家中環境與其他公寓住戶相似。另外，在對照組則為新加入之空氣採樣家戶，其建築型態都為傳統建築，採樣樓層均為一樓，根據本研究結果顯示若居住於道路旁時，此結果有可能會高估 BTEX 濃度。未進一步比較影響 BTEX 濃度，採樣家戶對象包含吸菸及非吸菸家庭，室內空氣採樣地點為客廳及廚房，為民眾主要生活活動及可能室內

污染源產生之場所，可用來評估該家戶室內環境污染物暴露情形，以住戶陽台為室外採樣點，用以代表家戶室外污染物之濃度。在暴露組採樣期間除陽台外大多門窗緊閉，但在對照組為老式建築其門窗大多未緊閉，因此兩者受室外環境污染物影響有差異。



第二節、尿中 *t,t*-MA 濃度之影響因素

苯主要之暴露途徑是經呼吸將進入體內，由肺吸收，藉肝臟進行生物轉化，最主要產物為藉由 CYP2E1 氧化形成之苯氧化物，並產生 phenol 或與 glutathion (GSH, 穀胱甘肽酵素) 作用形成 S-PMA；phenol 同時也可轉換為具有毒性之 catechol 和 hydroquinones，或繼續將苯環鍵打開形成苯的最終產物 *t,t*-MA^(63, 64)。S-PMA 與 *t,t*-MA 有較高之敏感度及特異度，比起易受背景值影響之 phenol、atechol 和 hydroquinones 相比，是較好的生物偵測指標，S-PMA 是經由 GSH 氧化作用後形成，與人體健康較有相關性；而 *t,t*-MA 則是將苯環打開後形成，與苯暴露之影響較有相關。

一、 周遭鄰近來源

本研究相關結果可知未控制干擾變項前，高暴露組之 *t,t*-MA 濃度 (76.9 μ g/g cre.) 高於對照組 (47.8 μ g/g cre.)，但低暴露組濃度 (48.8 μ g/g cre.) 則與對照組相近，但組別間未達統計上顯著差異。經調整性別、年齡及控制室內污染源後，*t,t*-MA 濃度之多變項迴歸分析顯示高暴露組之濃度明顯高於對照組，且確定性別比例與年齡於本研究中確實造成影響。本研究之暴露組受測者於中部科學園區發展時就已居住於週邊，且本次 *t,t*-MA 濃度結果亦明顯高於 95 年，可知中科附近居民尿中之 *t,t*-MA 濃度有增高之趨勢，且比較有無出門工作之受測者，其尿中之 *t,t*-MA 濃度並

無顯著性差異($p=0.492$)，得知受測者並不受作業環境之干擾，因此中科可能為造成尿中 t,t -MA 濃度增加之原因之一。Fustinoni⁽⁵⁵⁾等人(2005)及 Kivist⁽⁶⁵⁾等人(1997)均表示接近暴露源之工作者或居民其 t,t -MA 濃度較非接近者高。Maria⁽⁶⁶⁾等人(2009)針對石油工廠操作員 (PIO)、服務站人員 (SSA)、加油馬達維持人員(GPMW)及非暴露組人員進行低苯暴露與生物偵測指標之影響，結果顯示 PIO 工作人員尿中之 t,t -MA 濃度最高 (128 $\mu\text{g/g cre.}$)，其次為 SSA (117.0 $\mu\text{g/g cre.}$) 及 GPMW (92.0 $\mu\text{g/g cre.}$)，均高於對照組 (84.0 $\mu\text{g/g cre.}$)。其中 PIO 與 SSA 與對照組 t,t -MA 濃度達顯著性差異 ($p<0.05$)，可知越接近暴露源 t,t -MA 濃度越高。

二、吸菸

本研究結果顯示吸菸環境之 t,t -MA 濃度(82.85 $\mu\text{g/g cre.}$)高於未有吸菸之環境(61.23 $\mu\text{g/g cre.}$)，可並無顯著性差異，雖家人吸菸習慣有無在 t,t -MA 濃度上未有顯著性之差異，造成此結果因素可能為，個體間代謝情況差異，另外可能受中科及週遭工廠之影響，導致空氣中苯濃度較高，造成無法比較 ETS 影響尿中 t,t -MA 之濃度，亦可能因組內變異性大，而無法表現其顯著性。另外，個人對二手菸之定義可能不盡相同，進而影響最後結果。Xie⁽⁶⁷⁾(2003)、Wallace⁽⁶⁸⁾(1989)及 Lin⁽⁶⁹⁾(2006)等人之研究指出吸菸會明顯增加空氣中苯之濃度，亦影響受測者體內 t,t -MA 濃度值，

Wiwanitkit⁽⁵⁴⁾等人亦於 2005 年研究顯示吸菸者之 *t,t*-MA 濃度(2190 μ g/g cre.) 顯著高於未吸菸者 *t,t*-MA 濃度(240 μ g/g cre.)。一般估計吸菸者從菸中暴露約 90%的苯^(70, 71)，另外非吸菸者約暴露 10%之 ETS，6%由特定污染源如石油精煉廠，最主要污染來源還是以自主排放或加油站之逸散為主⁽⁷⁰⁾。從相關研究結果顯示吸菸者尿中苯濃度相對於暴露於大氣中 8 小時 1-2ppm 者之濃度為低⁽²¹⁾，另外，亦有研究⁽⁷²⁾結果顯示未吸菸者且為非苯暴露之員工，其尿中一樣具有高濃度 *t,t*-MA(1567-2716 μ g/g cre.)，甚至在美國 4-14 歲之孩童也有類似之結果⁽⁷³⁾。因此，個人吸菸行為不能完全解釋族群體內高濃度代謝物之差異性，可能尚有其他苯濃度暴露來源。

三、 飲食習慣

本研究結果顯示在飲食習慣中對尿中 *t,t*-MA 濃度並無顯著性之影響，可能由於受測者無法仔細回憶個人飲食習慣。目前已有證據指出己二烯酸存在多種食物中^(74, 75)，會增加尿中代謝高濃度之 *t,t*-MA。由於我國行政院衛生署食品衛生管理法已有食品添加物使用範圍及限量暨規格標準⁽⁷⁶⁾，並針對己二烯酸有相關規定，包含如：魚、肉製品、醃醬菜類、花生醬、醬油及水果酒等食品中之用量限制。美國與歐洲國家平均個人一天攝取己二烯酸量分別為 25mg 與 6-30mg^(77, 78)，雖然過高之己二烯酸

攝取會造成 *t,t*-MA 濃度增加，但若是攝取較低劑量之己二烯酸($\leq 30\text{mg}$)時，則無法產生較高濃度之 *t,t*-MA。Pezzagno⁽⁷⁹⁾等人(1999)研究曾指出其未吸菸者，若攝取高劑量之己二烯酸(447mg)，其 *t,t*-MA 濃度為 $1313\ \mu\text{g/L}$ (最大值 $2787\ \mu\text{g/L}$)。然而，目前尚未有研究準確測量一般研究族群可從飲食中攝取己二烯酸之含量。由於本研究兩族群在一般食物習慣並無顯著性之差異，因此推估兩族群之民眾攝取己二烯酸應無差異。

四、其他因素

本研究在單變項分析時，民眾有拜拜習慣或居住馬路旁對 *t,t*-MA 濃度均有顯著性之差異 ($p < 0.05$)，有拜香習慣或居住於馬路旁尿中之 *t,t*-MA 濃度皆高於未有拜香習慣及未居住於馬路旁者。然而，若經多變項迴歸分析結果顯示此兩變項均未有顯著性之差異，此原因可能由於對照組民眾有拜拜習慣或居住馬路旁者比例偏高，且平均年齡較大，經性別、年齡調整後，以多變項迴歸分析控制此干擾因素(拜香習慣或居住於馬路旁)，則其對 *t,t*-MA 濃度影響降低，此結果更能夠呈現高暴露組較對照組 *t,t*-MA 濃度較高。不過 Schere⁽⁸⁰⁾等人(1995)曾研究居住附近汽機車密度對尿中 *t,t*-MA 濃度之影響，結果顯示城市室內未吸菸者($124\ \mu\text{g/g cre.}$) 高於鄉村室內未吸菸者 *t,t*-MA 濃度($73\ \mu\text{g/g cre.}$)；城市室內吸菸者($138\ \mu\text{g/g cre.}$) 高於鄉村室內吸菸者 *t,t*-MA 濃度($116\ \mu\text{g/g cre.}$)。Weaver⁽⁷³⁾等

人(1996)亦指出居住環境週遭之車流密度為影響 *t,t*-MA 濃度因素之一。根據郭⁽⁴⁴⁾等人(2005)研究顯示中科附近苯之貢獻量在初期時，汽機車貢獻量可達八成，隨著中科園區發展時則其汽機車之交通流量對苯之貢獻量則有降低之趨勢。本研究已知拜香習慣或居住於馬路旁為干擾因素，必須加以控制以減少影響 *t,t*-MA 濃度。



第三節、環境中 BTEX 之影響因素

一、 BTEX 之採樣方法

一般環境中 BTEX 之採樣方法可分為主動式採樣與被動式採樣，由於被動式採樣因其簡易輕便，較不會影響受測者，已成為作業環境採樣之主要方法，但目前我國環保單位尚未公告 BTEX 被動式採樣標準分析方法⁽¹⁴⁾，但在勞研所評估已有被動式採樣器準確性之研究⁽¹⁷⁾，針對主動式及被動式進行 VOCs 採樣之相關性評估，兩者濃度之相關係數為 0.964，顯示兩種測定方法皆可有良好之相關性。Elke⁽¹⁸⁾等人(1998)曾以被動式採樣器評估長、短時間 BTEX 採樣，結果顯示被動式採樣器適用於長時間(24hr)採樣，且因採樣時間較長，不易受採樣器背景值之干擾。美國 SKC 公司對被動式採樣器型 575 技術報告⁽⁸¹⁾，採樣環境於 25°C，相對濕度 80%以下其回收率為 96%。因此，本研究使用被動式採樣器作為室內外 BTEX 之環境採樣方法，其脫附效率介於 90%-110%，皆符合 75%之規範標準⁽⁸²⁾。

二、 居家室內外環境空氣中 BTEX 濃度

范氏⁽⁸³⁾(2003)曾針對高雄地區一般居家環境室內 BTEX 濃度評估，結果如下分別為 7.2 ppb、19.3 ppb、5.4 ppb 與 8.8 ppb，皆高於本研究之中科附近家戶室內環境結果，BTEX 之中位數濃度為 3.66ppb、17.62 ppb、

0.07 ppb 及 1.12 ppb，由於高雄為國內主要工業區，因此，其環境空氣中 BTEX 濃度可能高於其他地區，再者此研究居家環境之面積大小、傢具件數及甲苯濃度對苯有顯著影響，粉刷與整修行為對甲苯濃度也造成顯著影響，由於本研究居家室內環境型態與此研究不盡相同，造成兩研究間室內濃度之差異。不過兩者研究皆以甲苯濃度最高，苯次之，乙苯濃度最低，顯示除交通污染源以外，有可能戶外工業區排放甲苯而影響室內空氣中甲苯濃度，其他許多文獻中也有相類似結果^(1, 37, 40, 43, 44)。

本研究結果顯示室內、外 BTEX 濃度之差異，在暴露組只有苯無顯著性之差異 ($p=0.071$)，其他三者濃度均有統計上顯著差異 ($p<0.05$)，；在對照組，除乙苯(p 值為 0.057)外，室內、外其他三者濃度均有統計上顯著差異 ($p<0.01$)，兩個地區皆為室內高於室外 BTEX 之濃度。若進一步計算其室內、外 BTEX 濃度之比值(I/O)，除乙苯比值偏高超過 12 以上，其他三者濃度之比值皆有 8 倍左右。另外，在高暴露組只有甲苯無論室內、外濃度皆高於對照組，且室內 BTEX 濃度之相關矩陣中，高暴露組相較於對照組可知甲苯與苯、乙苯、TVOCs 之相關性皆較差，因此我們推測可能與對照組為低樓能採樣且室內外通風良好，房屋建築均為平房，門窗沒有緊閉，又處於一般道路旁，易受戶外交通源之影響，反之在高暴露組其甲苯濃度與其他三者濃度相關性則較低，其原因為部分甲苯濃度可能來自於外在環境之來源，也有可能特定外在污染源(如科園

區或工廠)所排放。由於本研究之對照組，受交通污染源影響較大，但在高暴露組受交通污染影響較低，此結果造成兩者是內外 BTEX 易產生本研究低估之現象。目前已知有 60%的苯，是來自汽機車或加油站的揮發及不完全燃燒造成^(70, 84)，一般大眾暴露於交通污染污染源時，其中在加油站加油時約可能在呼吸帶暴露 1.1ppm 的苯。在汽車內之苯暴露量為外在在大氣環境中之 1.5-10 倍⁽⁷⁰⁾。因交通污染源對大氣環境中 BTEX 背景值之貢獻量甚大，但若在中科附近環境時，則有可能有 BTEX 雙重之來源，包括交通污染與工業區污染源。方⁽⁴³⁾等人(2006)之台中縣中部科學園區有害空氣污染環境監測計畫，結果顯示國安國小採樣點之苯 1.36ppb、甲苯 21.72ppb、乙苯 1.43ppb、間,對-二甲苯 3.42ppb 及鄰-二甲苯 1.56ppb，相較於郭⁽⁴⁴⁾等人(2005)研究結果濃度有下降之趨勢。Jia⁽³⁷⁾等人(2008)比較鄰近工業區城鎮、一般城鎮及郊區城鎮三者空氣中 VOCs 之濃度，發現雖然室內、外環境中只有鄰近工業區之城鎮某些物質可達顯著性(如：苯, $r=0.77$)，但三者於室外環境 VOCs 濃度之比較上，鄰近工業區大於一般城鎮大於郊區，可見鄰近工業區之環境相較於遠離工業區之環境，其大氣中 VOCs 背景濃度含量較高，居民同時暴露 VOCs 相對濃度也較高。

另外，本研究中高暴露組家戶空氣中平均 T/B 值為 7.10，對照組為 3.01，若將之分為室內及室外則 T/B 分別為 4.91 及 10.76，室外之 T/B 比與台中崇倫光化學監測站⁽⁸⁵⁾之平均 T/B 比值 10.44，張氏⁽⁴⁴⁾(2005)於中科

廠區周邊主要幹道所測得之平均 T/B 值為 13.81，本研究室外 T/B 之結果二者相似。室內 T/B 比則與吳氏⁽¹⁾(2005)之結果相近 5.31，室外 T/B 比較室內高出許多，推估可能與附近中科廠區排放較多甲苯濃度有關。

三、室內環境 BTEX 濃度及影響因素

一般民眾約有 83%-85%之時間待在室內環境⁽⁸⁶⁻⁸⁸⁾ (包含居家及工作等)，因此除大氣中 BTEX 之暴露外，尚需考慮室內環境造成之暴露。室內環境 BTEX 濃度易受距離車庫之距離、房屋年齡、室內吸菸情況、房門窗戶之開關頻率及通風速率等。另外，季節、住家鄰近工廠有無、居家附近車流量等皆可能對室內環境造成影響^(38, 40, 86, 89)。本研究以無母數統計檢定暴露組與對照組之室內、外環境中 BTEX 濃度之差異，結果顯示只有高暴露組之苯未達顯著性，其他物質均有顯著性，且均為室內濃度高於室外濃度，推測此原因可能由於台灣地區一般房屋建築，較少使用密閉通風系統，一旦開窗時則易受戶外環境滲入之影響，因此一般室內 BTEX 濃度較室外濃度偏高。

(一) 室內外濃度比

進一步探討兩組之室內、外比(I/O)，暴露組 I/O 比苯 9.81、甲苯 8.23、乙苯 22.00 及二甲苯 8.10，對照組苯 8.98、甲苯 9.45、乙苯 12.00 及二甲苯 6.88，顯示國內一般住家內室內環境中有多種 BTEX 之來源，除吸菸，

烹飪外，家庭中使用各種清潔劑、芳香劑或香水與香精等產品，均有可能造成 BTEX 室內、外比 (I/O) 偏高。根據相關文獻⁽³⁷⁾指出 I/O 比接近 1 表示主要污染源來自室外，1.5-10 則同時包含室內及室外污染源，當 I/O 比大於 10 則主要為室內污染源，因此，本研究除室外污染源外，尚受室內污染源之濃度影響。Ken⁽⁴⁰⁾等人(2004)比較三城鎮室內、外空氣中汙染物之危害，以 Battle Creek(BCK)為指標城鎮，該城鎮春季室內、外之濃度比，苯為 4.4、甲苯 20.8、乙苯 12.1 及二甲苯 11.0，而個人與室外之濃度比值均又高於室內、外比，但個人與室內之濃度比則差異不大，苯 1.6、甲苯 1.3、乙苯 1.6 及二甲苯 1.6，顯示居家環境中有特定 VOCs 來源，包括鄰近車庫、室內通風不佳、離吸菸者過近或居住於交通密度高之城市均可能造成室內環境 VOCs 濃度增高之趨勢，本研究結果與其相似。Hinwood⁽⁸⁶⁾等人(2007)研究指出夏季使用冷氣之使用降低空氣交換速率，但依然導致室內甲苯、二甲苯及乙苯濃度升高，此與室內污染源有關，反之，若增加戶外停留時間則發現個人 BTEX 暴露量有降低趨勢。吳⁽¹⁾(2007)針對中科附近住戶 BTEX 之 I/O 比介於 0.93-1.20，其中甲苯、乙苯及 TVOCs 之平均 I/O 值皆大於 1，顯示室內可能有其他污染源，本研究結果之 I/O 高於此結果，更加證實室內污染源造成之影響。

(二) 室內吸菸習慣對於環境之影響

Jia⁽³⁸⁾等人(2008)指出室內吸菸習慣會影響室內環境中揮發性有機化合物之濃度。Xie⁽⁶⁷⁾等人(2003)進行室內環境中吸菸行為對 VOCs 濃度影響之實驗，結果顯示 BTEX 中，只有苯與 ETS 標記物有良好相關性；Baek⁽⁹⁰⁾等人進行之研究，ETS 複合物與 VOCs 在濃度上沒有達顯著性差異。其中在苯與乙苯濃度吸菸家庭高於未吸菸家庭，然而，本研究整體 BTEX 濃度，在家中有吸菸者與未吸菸者並無統計上顯著差異。其原因可能為環境採樣時，家中吸菸者沒有在室內吸菸，且目前政府推動公共場所與室內禁止吸菸，另外，本研究樣本數較少，造成家中有吸菸或暴露 ETS 者與室內 BTEX 濃度沒有顯著性差異。

(三) 家中建材、家俱對室內環境之影響

家中家具、建材等使用同樣會影響室內 BTEX 濃度，陳⁽⁹¹⁾(2002)提出建材對室內 VOCs 逸散之影響，將由建材中測得之物質與住家環境中測得物質相比較，發現有 10 種物質為建材中常見之逸散物質，其中包含 BTEX，范⁽⁸³⁾(2003)則進行傢俱行與一般住家 BTEX 濃度之比較，傢俱行分別為 29.0 ppb、229.0 ppb、11.6 ppb、15.9 ppb，明顯比本研究一般住宅高出許多。本研究比較廚房與客廳時，廚房 BTEX 濃度皆高於客廳 BTEX 濃度，且在對照組有顯著性之差異。本研究是採樣 24 小時，家中

有烹飪行為，且一般廚房附近多存放各種清潔劑與除嗅劑等物品，也是外在環境通風入口處之一，而造成廚房 BTEX 濃度偏高。

(四) 交通污染源、鄰近工廠、季節對室內環境之影響

本研究針對 BTEX 採樣住戶附近之交通污染雖未詳細調查，但由於 t,t-MA 之濃度與居馬路旁有顯著性差異，推估空氣中苯之濃度亦會受影響。交通污染源及鄰近住家之工廠，許多文獻針對此 2 項因素進行探討，但無法直接證實其與室內污染環境之影響，大部分只顯示室外濃度或個人暴露上確實有差異⁽⁹²⁾，與室內濃度無法達統計上顯著性差異，可能尚受個人室內活動型態、季節、通風速率及樓層高低等之影響。另外在不同季節中，Baek⁽⁹⁰⁾等人(1997)及 Fondelli⁽⁵⁰⁾等人(2008)研究亦指出苯濃度於冬季時較其他季節有明顯上升趨勢，作者推測原因為冬季使用自行車之比例相較於春夏兩季高，造成污染源濃度及暴露比例大幅增加所導致，然而本研究並未考慮季節之影響。

第四節、尿中 t,t-MA 濃度與環境中苯濃度之相關

中科附近居民及對照組地區居民室內空氣中苯之濃度與尿中 t,t-MA 濃度之相關性，結果顯示二者並無顯著性之相關，可能因素除樣本數不足外，尚可能因家戶為定點採樣，部分居民可能於採樣期間離開住所或外出，因此導致居民尿液中之 t,t-MA 含量無法與空氣中苯之濃度達到相關。過去研究^(40, 92) 大多是針對居民進行個人採樣，同時配合個人活動量表之紀錄，藉此詳細評估居民之個人暴露量，但本研究並非執行個人採樣，且未針對家戶採樣者進行活動量表之紀錄，導致無法正確推算居民真正暴露於空氣中苯之濃度。此外對於個人飲食習慣對己二烯酸攝取，無法準確計算，亦可能影響居民尿中 t,t-MA 濃度之推估。過去相關⁽²⁴⁾研究指出尿中苯濃度可與 t,t-MA 濃度產生高度相關，主要是其大多為職場暴露，該環境中苯濃度皆超過 1ppm 以上，因此才能與尿中 t,t-MA 產生高度相關，但在本研究之室內空氣苯濃度與 t,t-MA 濃度在暴露組相關係數為 0.56，對照組為 0.87，由於樣本數較少均無顯著性之相關性，另外本研究苯之空氣中平均濃度為 3.63ppb，其變異性較大，不易與尿中 t,t-MA 產生相關性。

過去相關研究多以傳統工業場所之員工為對象，較少探討高科技產業對週遭環境所造成之影響，由本研究結果可知經性別、年齡等變相校正後中科附近居民(暴露組)尿中苯代謝物濃度明顯高於對照組，且高於

95 年之結果，瞭解中部科學園區可能為影響附近環境中污染物濃度的原因之一，本研究對於此研究議題可作為初期之相關參考資料，並利後續相關研究之進行。



第五節、研究限制

本研究環境中家戶樣本數及採樣次數較少，由於採樣時間須 24 小時，以致大多家戶參與意願不高。且由於採樣採家戶採樣點是以固定點方式，可代表室內環境 BTEX 濃度，恐無法代表個人每天實際暴露量，尚須進一步瞭解個人活動時間與空間之分布。另外，被動式採樣器較易受氣象條件之影響，尤其在室外環境之採樣。另外 2 年研究對象之比較，大都不相同，可能造成前、後結果比較上之困難。不過此 2 年均為當地民眾自由參加，且當地民眾流動率較低，並不會影響暴露 BTEX 之濃度差異。



第六章、結論與建議

第一節、結論

1. 高暴露組居民尿中 t,t-MA 之濃度最高 76.9 μ g/g cre.，低暴露 47.8 μ g/g cre.，對照組則為 48.8 μ g/g cre.，經性別、年齡及其它變項控制後高暴露組明顯高於對照組。且 96 年度各組別間皆明顯高於 95 年之 t,t-MA 之濃度。
2. 高暴露組居民室內空氣中 TVOC 之濃度為 31.65ppb、對照組 18.30ppb，高暴露組室外濃度則為 3.81ppb、對照組 2.07ppb，無論暴露組或對照組室內環境空氣中 BTEX 濃度明顯高於室外，但高暴露組與對照組室內、外環境 BTEX 濃度並無顯著性差異。另外，在室內為環境中以廚房 BTEX 濃度較高，客廳濃度最低。
3. 在環境採樣對象中，高暴露組與對照組尿中 t,t-MA 之濃度無統計上之差異。與其室內空氣中苯濃度之相關性分別為 0.56 與 0.87，但無顯著性之相關。
4. 本研究所建立之中科附近住戶室內、外空氣中 BTEX 濃度及居民尿中苯代謝物 t,t-MA 之濃度資料，可做為中部科學工業園區台中基地營運背景之參考資料。

第二節、建議

1. 中科營運過程中必須長時間追蹤空氣污染之相關資料，藉此評估附近居民之暴露程度，以及建立其它氣象、交通密度及工廠污染源排放等背景資料，釐清污染物來源。儘早建立附近居民之相關健康指標，用以評估排放之污染物濃度對身體健康使否造成威脅。
2. 中科管理局除須定期針對工廠進行污染物濃度排放管制及監控外，定期提出相關報告外，亦與附近居民建立溝通平台，降低資訊不對等及相關之抗爭。
3. 在高暴露組只有甲苯無論室內、外濃度皆高於對照組，且室內 BTEX 濃度之相關矩陣中，高暴露組相較於對照組可知甲苯與苯、乙苯、TVOCs 之相關性皆較差，顯示高暴露組甲苯濃度易受外在環境之影響。
4. 本研究為持續追蹤中科附近民眾暴露 BTEX 濃度與其代謝之研究，可進一步整合其他研究報告，作為長期建立附近居民之健康風險評估及環境監測之基本資料，以改善中科園區管制排放污染物之參考。

參考文獻

1. 吳采容. 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. 中國醫藥大學碩士論文. 2007.
2. 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 號修正發佈第二條附表, 行政院環保署. 2002.
3. 劉沁璋. 新竹科學工業園區空氣污染物總量排放推估及 ISCST3 擴散模式應用. 國立交通大學碩士論文. 2002.
4. 勞工安全衛生研究所. 物質安全資料表, 台北. 勞工安全衛生研究所. 2007.
5. International Agency for Research on Cancer (IARC) Moteocrooth. Chemicals, industrial processes and industries associated with cancer in humans. Supplement 7, Lyon, France. 1987.
6. Martinez-Velazquez M, Maldonado V, Ortega A, et al. Benzene metabolites induce apoptosis in lymphocytes. *Exp Toxicol Pathol.* 2006;58(1):65-70.
7. Lan Q, Zhang L, Li G. Hematotoxicity in workers exposed to low levels of benzene. *Science.* 2004;306:1774-6.
8. Fung YS, Zucheng W. Determination organic compounds in air using a dehumidified and ventilated diffusive sampler, thermal desorption and gas chromatography with flame ionization detection. *Analyst.* 1991;121:1955-61.
9. Dwight WU, Chares EF. Boundary layer effect in diffusive monitoring. *Anal Chem.* 1991;63(10):1011-3.
10. EPA US. The Determination of volatile organic compounds(VOCs) in ambient air using specially prepared canister with subsequent analysis by

- gas chromatography. Compendium method TO - 14A. 1999.
11. EPA US. The Determination of volatile organic compounds(VOCs) in ambient air using specially prepared canister with subsequent analysis by gas Chromatography/Mass Spectrometry(GC/MS), Compendium method TO - 15. 1999.
 12. 徐傲暉. 被動式採樣器之介紹. 勞工安全衛生簡訊 1993 第5期. 1993.
 13. Martin H. Sorbent trapping of volatile organic compounds from air. J Chromatogr A. 2000;885:144.
 14. 勞工安全衛生研究所. 行政院勞委會標準分析參考方法, 台北. 勞工安全衛生研究所採樣分析參考方法資料庫. 2007.
 15. Pristas R. Passive badges for compliance monitoring internationally. Am Ind Hyg Assoc J. 1994;55:841-4.
 16. 林嘉明, 石東生, 吳麗珠. 被動式採樣氣研究發展回顧. 勞工安全衛生研究季刊. 1994;2(1):65-75.
 17. 林嘉明, 石東生, 吳麗珠. 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;2(2):67-84.
 18. 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 high-resolution gas chromatography-flame ionization detection. J Chromatogr A. 1998;826(2):191-200.
 19. 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. 1998.
 20. Scherer G, Renner T, Meger M. Analysis and evaluation of trans,trans-muconic acid as a biomarker for benzene exposure. J Chromatogr B Biomed Sci Appl. 1998;717(1-2):179-99.
 21. Johnson ES, Langard, Sverre Lin, et al. A critique of benzene exposure in the general population. Sci Total Environ. 2007;374(2-3):183-98.

- 22.謝俊明. 生物偵測. 勞工安全衛生簡訊. 1994(9).
- 23.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.
- 24.Ong CN, Kok P, Lee BL, et al. Evaluation of biomarkers for occupational exposure to benzene. *Occup Environ Med.* 1995;52(8):528-33.
- 25.Inoue, Seiji K, Nakatsuka H, et al. Urinary t,t-muconic acid as an indicator of exposure to benzene. *British Journal of Industrial Medicine.* 1989;46:122-7.
- 26.官嘉明. 以高效能液相層析儀測定尿中酚類代謝物作為低濃度本暴露指標之研究. 高雄醫學院公共衛生學研究所碩士論文. 1992.
- 27.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;104:1151-7.
- 28.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(1):34-40.
- 29.Waidyanatha S, Rothman N, Li G, et al. Rapid determination of six urinary benzene metabolites in occupationally exposed and unexposed subjects. *Anal Biochem.* 2004;327(2):184-99.
- 30.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(2):277-83.
- 31.Qu Q, Melikian AA, Li G, et al. Validation of biomarkers in humans exposed to benzene: Urine metabolites. *Am J Ind Med.* 2000;37(5):522-31.

32. Lee BL, New AL, Kok PW, Ong HY, Shi CY, Ong CN. Urinary trans,trans-muconic acid determined by liquid chromatography: Application in biological monitoring of benzene exposure. *Clin Chem.* 1993;39(9):1788-92.
33. Bartczak A, Kline SA, Yi R, et al. Evaluation of assays for the identification and quantitation of muconic acid, a benzene metabolite in human urine. *J Toxicol Environ Health* 1994;42(3):245-58.
34. 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(1):47-51.
35. Schroyen C., Baeyens W., Schoeters G., et al. Internal exposure to pollutants measured in blood and urine of Flemish adolescents in function of area of residence. *Chemosphere.* 2008;71.
36. Gobba F, Rovesti S, Borella P, et al. 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(1-2):41-8.
37. Jia C, Batterman S, Godwin C. VOCs in industrial, urban and suburban neighborhoods, Part 1: Indoor and outdoor concentrations, variation, and risk drivers. *Atmos Environ.* 2008;42:2083-100.
38. Jia C, Batterman S, Godwin C. VOCs in industrial, urban and suburban neighborhoods-Part 2: Factors affecting indoor and outdoor concentrations. *Atmos Environ.* 2008;42:2101-16.
39. Sonja NS., Deborah H., Bennet T, et al. Differences in source emission rates of volatile organic compounds in inner-city residences of New York City and Los Angeles. *J Expo Anal Environ Epidemiol.* 2004;14:S95-S109.
40. Ken S, John LA., Gurumurthy R., et al. Comparison of personal, indoor, and outdoor exposures to hazardous air pollutants in three urban

- communities. *Sci Total Environ.* 2004;38(2):423-30.
41. Simon K, Jamie P, Andrew P, et al. Spatial variations in the concentrations of traffic-related pollutants in indoor and outdoor air in Huddersfield, England. *Atmos Environ.* 2005;39(34):905-16.
42. 劉原良. Acetone、IPA、MEK 及 BTEX 之濃度分佈. 國立清華大學原子科學系碩士論文. 2000.
43. 方鴻源, 蔡清讚, 吳照雄, et al. 台中縣中部科學園區有害空氣污染環境監測計畫. 國立雲林科技大學. 2006.
44. 郭憲文, 張大元, 賴俊雄, et al. 建立中部科學園區開發所致空氣污染之健康風險評估模組—子計畫三：中部科學園區周邊居民空氣污染物之揮發性有機物暴露及健康風險評估. 中國醫藥大學. 2005.
45. Chiu KH, Wu BZ, Chang CC. Distribution of volatile organic compounds over a Semiconductor Industrial Park in Taiwan. *Environ Sci Technol.* 2005;39:973-83.
46. 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.
47. Rehwagen M, Schlink U, Herbarth O. Seasonal cycle of VOCs in apartments. *Indoor Air.* 2003;13:283-91.
48. Schlink U, Rehwagen M, Damm M, et al. Seasonal cycle of indoor-VOCs: comparison of apartments and cities. *Atmos Environ.* 2004;38:1181-90.
49. Edwards RD, Jantunen MJ. Benzene exposure in Helsinki, Finland. *Atmos Environ.* 2001;35:1411-20.
50. Fondelli MC, Bavazzano P, Grechi D, et al. Benzene exposure in a sample of population residing in a district of Florence, Italy. *Sci Total Environ.* 2008;392(1):41-9.
51. Manini P, De Palma G, Andreoli R, et al. Biological monitoring of low benzene exposure in Italian traffic policemen. *Toxicology Letters.*

- 2008;181(1):25-30.
52. Barr DB, Wilder LC, Caudill SP. Urinary creatinine concentrations in the U.S. population : implications for urinary biological monitoring measurements. *Environ Health Perspect.* 2005;113.
53. (WHO) WHO. Biological monitoring of chemical exposure in the workplace. World Health Organization 1996.
54. Wiwanitkit V, Suwansaksri J, Soogarun S. Monitoring of urine trans, trans-muconic acid level among smokers and non-smokers. *Respir Med.* 2005;99(6):788-91.
55. Fustinoni S, Buratti M, Campo L, et al. Urinary t,t-muconic acid, S-phenylmercapturic acid and benzene as biomarkers of low benzene exposure. *Chem Biol Interact.* 2005;153-154:253-6.
56. Wallace LA, Pellizzari ED, Hartwell TD, et al. The team study: Personal exposures to toxic substances in air, drinking water, and breath of 400 residents of New Jersey, North Carolina, and North Dakota. *Environ Res.* 1987;43(2):290-307.
57. Rappaport SM, Waidyanatha S, Qu Q, et al. Albumin adducts of benzene oxide and 1,4-benzoquinone as measures of human benzene metabolism. *Cancer Res.* 2002;62(5):1330-7.
58. Lin YS, McKelvey W, Waidyanatha S, et al. Variability of albumin adducts of 1,4-benzoquinone, a toxic metabolite of benzene, in human volunteers. *Biomarkers.* 2006;11:14-27.
59. 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.
60. Qu Q, Shore R, Li G, et al. Biomarkers of benzene: Urinary metabolites in relation to individual genotype and personal exposure. *Chem Biol Interact.* 2005;153-154:85-95.
61. Liu L, Zhang Q, J F. The study of DNA oxidative damage in benzene-

- exposed workers. *Mutat Res.* 1996;370:145-50.
62. 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.
63. David R. The role of metabolism and specific metabolites in benzene-induced toxicity: evidence and issues. *J Toxicol Environ Health A.* 2000;61:357-72.
64. Bruckner, Warren, Bruckner JV, et al. Toxic effects of solvents and vapors. In: CD Klaassen, Editor, *Casarett & Doull's Toxicology The Basic Science of Poisons*, McGraw-Hill, USA (2001). 2001.
65. Kivist H, Pekari K, Peltonen K, et al. Biological monitoring of exposure to benzene in the production of benzene and in a cokery. *Sci Total Environ.* 1997;199(1-2):49-63.
66. Fracasso ME, Doria D, Bartolucci GB, et al. Low air levels of benzene: Correlation between biomarkers of exposure and genotoxic effects. *Toxicol Lett.* 2009;In Press, Corrected Proof.
67. Xie J, Wang X, Sheng G, et al. Determination of tobacco smoking influence on volatile organic compounds constituent by indoor tobacco smoking simulation experiment. *Atmos Environ.* 2003;37(24):3365-74.
68. Wallace L. A major sources of benzene exposure. *Environ Health Perspect.* 1989;82:165-9.
69. Lin YS, Mckelvey W, Waidyanatha S, et al. Variability of albumin adducts of 1,4-benzoquinone, a toxic metabolite of benzene, in human volunteers. *Biomarkers.* 2006;11:14-27.
70. Wallace L. Environmental exposure to benzene: An update. *Environ Health Perspect.* 1996;104(6):1129-36.
71. Gordon SM, Wallace LA, Brinkman MC, et al. Volatile organic compounds as breath biomarkers for active and passive smoking. *Environ Health Perspect.* 2002;110(7):689-98.
72. Johnson SH, G. Netto, G. Lucier, Bechtold W, Henderson R. Detection of

- low level benzene exposure in supermarket wrappers by urinary muconic acid. *Biomarkers*. 1999;4:109-17.
73. Weaver VM, Davoli CT, Heller PJ, et al. Benzene exposure, assessed by urinary trans, trans-muconic acid, in urban children with elevated blood lead levels. *Environmental Health Perspectives*. 1996;104(3):318-23.
74. 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 Biomark Prev*. 2000;9:749-55.
75. Gobba F, Rovesti S, Borella P, et al. 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;199:41-8.
76. 行政院衛生署. 食品添加物使用範圍及限量暨規格標準，行政院衛生署. 2009.
77. Ruppert T, Scherer G, Tricker AR, et al. trans,trans-muconic acid as a biomarker of non-occupational environmental exposure to benzene. *Int Arch Occup Environ Health* 1997;69:247-51.
78. Yu R, Weisel CP. Measurement of benzene in human breath associated with an environmental exposure. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1996;6.
79. Pezzagno G, Maestri L, Fiorentino ML. Trans,trans-muconic acid, a biological indicator to low levels of environmental benzene: some aspects of its specificity. *Am J Ind Med*. 1999;35:511-8.
80. Scherer G, Ruppert T, Daube H, et al. Contribution of tobacco smoke to environmental benzene exposure in Germany. *Environ Int*. 1995;21(6):779-89.
81. SKC. SKC 575-001 and 575-001MC passive samplers methylene chloride method summary (25ppm PEL validation to NIOSH Protocol). SKC Technical note 1992.

- 82.王文忻, 石東生, 何國榮. 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.
- 83.范智婷. 傢具行與一般居家 BTEX 及甲醛之暴露探討. 高雄醫學大學. 2003.
- 84.Perry R, Gee IL. Vehicle emissions and effects on air quality: indoors and outdoors. *Indoor Environ* 1994;3:224-36.
- 85.行政院環保署. 光化學測站日平均查詢, 行政院環保署 2007 年。
- 86.Hinwood AL, Rodriguez C, Runnion T, et al. Risk factors for increased BTEX exposure in four Australian cities. *Chemosphere*. 2007;66(3):533-41.
- 87.Matiana RA, Pablo CF, Arthur MW, et al. Measurements of personal exposure to nitrogen dioxide in four Mexican cities in 1996. *Air Waste Manag Assoc*. 2002;52:50-7.
- 88.Simoni M, Jaakkola MS, Carrozzi L, et al.. Indoor air pollution and respiratory health in the elderly. *Eur J Respir Dis Suppl*. 2003;40:15s-20s.
- 89.D'Souza JC, Jia C, Mukherjee B, et al. Ethnicity, housing and personal factors as determinants of VOC exposures. *Atmos Environ*. 2009;43(18):2884-92.
- 90.Baek SO., Kim YS., Perry R. Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas--indoor/outdoor relationships. *Atmos Environ*. 1997;31(4):529-44.
- 91.陳丁于. 台灣地區室內環境因子對建材揮發性有機物質逸散行為影響之研究-以清漆為例. 國立成功大學. 2002.
- 92.Chatzis C, Alexopoulos EC, Linos A. Indoor and outdoor personal exposure to benzene in Athens, Greece. *Sci Total Environ*. 2005;349(1-3):72-80.

表一、高暴露組、低暴露組及對照組居民基本資料及生活習慣之比較

變項	高暴露組 (N=159) n(%)	低暴露組 (N=25) n(%)	對照組 (N=43) n(%)	P 值
性別				0.043
男	86(54.1)	12(48.0)	14(32.6)	
女	73(45.9)	13(52.0)	29(67.4)	
教育程度				< 0.001
國小以下	47(29.9)	21(87.5)	32(76.2)	
國高中	45(28.7)	3(12.5)	9(21.4)	
大學以上	65(41.4)	0(0)	1(2.4)	
工作				0.283
有	41(31.5)	5(21.7)	8(20)	
沒有	89(68.5)	18(78.3)	32(80)	
吸菸習慣	24(14.9)	5(20.8)	4(9.5)	0.438
	mean±SD	mean±SD	mean±SD	
年齡(歲)	48.0±23.0	72.0±8.0	72.0±12.0	< 0.001
體重(公斤)	60.8±14.0	58.2±10.1	61.3±11.5	0.611
BMI(Kg/m ²)	23.5±3.8	24.3±6.1	25.5±4.3	0.017
居家時間(時)	16.8±5.0	18.7±4.5	18.2±4.4	0.130

高暴露組:國安甲、國安乙、鄉林

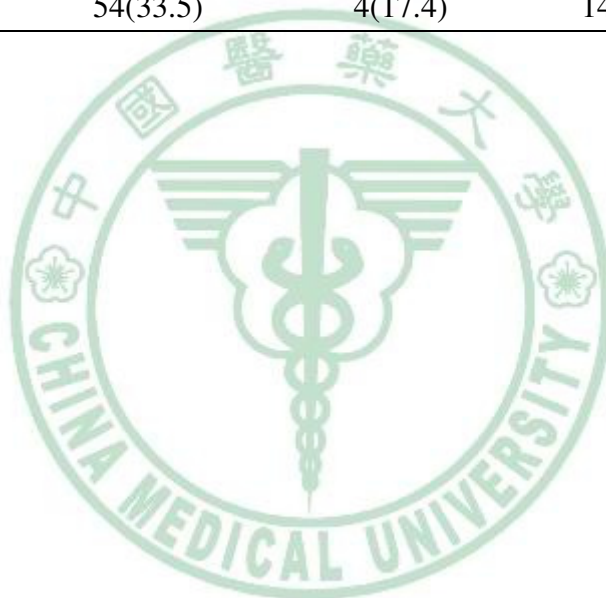
低暴露組:秀山

對照地區:大南鄉、新社村

BMI: 身體質量指數{體重(kg)/身高²(m²)}

表二、比較高暴露組、低暴露組及對照組居民居家環境之特性

變項	高暴露組	低暴露組	對照組	P 值
	(N=159) n(%)	(N=25) n(%)	(N=43) n(%)	
使用空氣清靜機	36(22.4)	2(9.1)	3(7.1)	0.038
居住馬路旁	85(53.8)	12(56.5)	24(57.1)	0.912
家人吸菸習慣	53(33.1)	10(43.4)	14(33.3)	0.614
拜拜習慣	95(59.8)	22(95.7)	34(80.9)	< 0.001
使用蚊香	55(34.8)	6(26.1)	13(31.0)	0.669
使用殺蟲劑	51(32.1)	9(40.9)	11(25.6)	0.446
飼養寵物	54(33.5)	4(17.4)	14(32.6)	0.295



表三、高暴露組、低暴露組及對照組之室內、外活動時間之比較

變項	高暴露組	低暴露組	對照組	P 值
	(N=159) mean±SD	(N=25) mean±SD	(N=43) mean±SD	
室外工作時間(時/天)	6.5±4.2	4.5±4.3	5.6±3.3	0.373
室外步行時間(分/天)	62.9±58.3	35.8±34.1	48.3±68.2	0.402
室外機車時間(分/天)	37.1±25.3	23.7±21.8	45±17.3	0.213
假日室內時間(時/天)	19.5±3.8	19.6±4.8	19.3±3.5	0.956
假日室外時間(時/天)	4.9±3.5	4.3±4.1	5.1±3.4	0.770



表四、高暴露組、低暴露組與對照組間飲食習慣之比較

變項	高暴露 (N=155) n(%)		低暴露 (N=23) n(%)		對照組 (N=41) n(%)		P值
	很少	經常	很少	經常	很少	經常	
烤肉	143(92.3)	12(7.7)	21(91.3)	2(8.7)	39(95.1)	2(4.9)	0.792
高油脂	116(75.3)	38(24.7)	18(81.8)	4(18.2)	30(73.2)	11(26.8)	0.741
烤魚	141(91.6)	13(8.4)	20(87.0)	3(13.0)	40(97.6)	1(2.4)	0.272
燻肉	145(93.5)	10(6.5)	20(90.9)	2(9.1)	41(100)	0(0)	—
燻魚	150(98.0)	3(2.0)	19(86.4)	3(13.6)	41(100)	0(0)	—
披薩	146(94.8)	8(5.2)	21(91.3)	2(8.7)	41(100)	0(0)	—

很少：每三天攝取 0-1 份

經常：每三天攝取 2 份以上

表五、高暴露組、低暴露組及對照組之 t,t-MA 濃度之比較

變項	高暴露組 (N=121) mean±SD	低暴露組 (N=17) mean±SD	對照組 (N=35) mean±SD	P 值
t,t-MA(µg/L)				0.367
平均數	80.67±128.75	44.88±43.93	60.38±73.57	
中位數	43.21	38.46	37.81	
25%百分位數	8.78	5.25	5.43	
75%百分位數	93.71	73.89	71.33	
t,t-MA(µg/g cre.)				0.267
平均數	76.9±121.2	47.8±47.0	48.8±47.3	
中位數	43.47	36.43	32.75	
25%百分位數	10.55	2.16	16.16	
75%百分位數	109.36	90.41	71.40	
EXP^{(log t,t-MA(µg/g cre.))}				0.453
平均數	5.26±3.50	4.43±2.80	4.67±2.47	
中位數	5.15	4.77	4.55	
25%百分位數	2.78	1.24	3.35	
75%百分位數	7.68	7.06	6.38	

t,t-MA(µg/L)：未經肌酐酸校正之 t,t-MA 濃度

t,t-MA(µg/g cre.)：經未經肌酐酸校正之 t,t-MA 濃度

EXP^{(log t,t-MA(µg/g cre.))}：為使 t,t-MA 呈常態分佈取 log,又為去除負號故再取 EXP

表六、高暴露組、低暴露組及對照組居民尿中 *t,t*-MA 濃度之單變項迴歸分析

變項	β(SE)					
	<i>t,t</i> -MA(μg/L)	<i>P</i> 值	<i>t,t</i> -MA(μg/g cre.)	<i>P</i> 值	EXP (log <i>t,t</i> -MA(μg/g cre.))	<i>P</i> 值
高暴露組	20.29(21.85)	0.355	28.07(21.05)	1.393	0.586(0.62)	0.939
低暴露組	-15.50(33.66)	0.646	-1.03(31.04)	-0.33	-0.244(0.96)	-0.254
對照組	參考組		參考組		參考組	

EXP (log *t,t*-MA(μg/g cre.)): 為使 *t,t*-MA 呈常態分佈取 log, 又為去除負號故再取 EXP

β(SE): 參考估計係數(標準誤)

表七、高暴露組、低暴露組及對照組居民尿中 *t,t*-MA 濃度之多變項迴歸分析*

變項	β(SE)					
	<i>t,t</i> -MA(μg/L)	<i>P</i> 值	<i>t,t</i> -MA(μg/g cre.)	<i>P</i> 值	EXP ^{(log <i>t,t</i>-MA(μg/g cre.))}	<i>P</i> 值
高暴露組	21.64(36.15)	0.598	56.79(32.41)	0.083	1.37(0.95)	0.153
低暴露組	-1.90(47.76)	-0.40	25.60(42.82)	0.551	0.27(1.26)	0.831
對照組	參考組		參考組		參考組	

*經性別、年齡及教育程度控制後

EXP^{(log *t,t*-MA(μg/g cre.))}: 為使 *t,t*-MA 呈常態分佈取 log, 又為去除負號故再取 EXP

β(SE): 參考估計係數(標準誤)

表八、各種居家環境之因素對民眾尿中 t,t-MA 濃度之影響

變項	t,t-MA($\mu\text{g/L}$)		t,t-MA($\mu\text{g/g cre.}$)	
	mean \pm SD	P 值	mean \pm SD	P 值
使用空氣清靜機				
有	91.21 \pm 142.53	0.371	89.62 \pm 142.79	0.374
沒有	70.52 \pm 107.88		65.03 \pm 96.18	
拜香				
有	81.73 \pm 162.26	0.285	78.49 \pm 121.98	0.015
沒有	56.67 \pm 56.53		46.25 \pm 47.48	
居住馬路旁				
有	85.83 \pm 140.18	0.093	84.75 \pm 130.05	0.015
沒有	58.93 \pm 61.46		49.02 \pm 50.81	
家人吸菸習慣				
有	88.35 \pm 117.40	0.212	82.85 \pm 90.62	0.199
沒有	65.60 \pm 112.66		61.23 \pm 113.56	
使用蚊香				
有	59.72 \pm 74.75	0.278	59.85 \pm 81.58	0.428
沒有	79.41 \pm 129.66		73.31 \pm 117.20	
使用殺蟲劑				
有	85.44 \pm 118.83	0.297	79.16 \pm 89.81	0.354
沒有	66.15 \pm 110.78		63.20 \pm 112.88	
飼養寵物				
有	60.29 \pm 76.81	0.219	61.17 \pm 73.99	0.521
沒有	79.66 \pm 127.72		72.27 \pm 117.38	
吸菸習慣				
有	90.70 \pm 133.71	0.304	83.63 \pm 113.72	0.366
沒有	66.77 \pm 108.94		63.97 \pm 104.62	

t,t-MA($\mu\text{g/L}$)：未經肌酐酸校正之 t,t-MA 濃度

t,t-MA($\mu\text{g/g cre.}$)：經未經肌酐酸校正之 t,t-MA 濃度

表九、民眾飲食習慣對尿中 t,t-MA 濃度之影響

變項	t,t-MA($\mu\text{g/L}$)		t,t-MA($\mu\text{g/g cre.}$)	
	mean \pm SD	P 值	mean \pm SD	P 值
烤肉				
很少	72.41 \pm 115.78	0.903	68.52 \pm 108.62	0.809
經常	76.61 \pm 94.08		63.94 \pm 57.33	
高油脂				
很少	64.71 \pm 109.15	0.097	64.87 \pm 110.99	0.515
經常	100.23 \pm 130.61		77.76 \pm 87.03	
烤魚				
很少	71.27 \pm 106.34	0.553	67.91 \pm 103.71	0.898
經常	91.63 \pm 195.96		71.97 \pm 134.76	
燻肉				
很少	70.58 \pm 112.85	0.355	67.92 \pm 107.03	0.844
經常	109.07 \pm 146.68		75.52 \pm 88.64	
燻魚				
很少	73.15 \pm 115.88	0.818	69.19 \pm 107.39	0.695
經常	59.75 \pm 40.21		47.99 \pm 27.49	
披薩				
很少	64.27 \pm 17.20	0.231	61.25 \pm 75.00	0.274
經常	351.20 \pm 454.20		297.32 \pm 417.03	

很少:表最近 3 日食用為沒有及很少

經常:表最近 3 日食用為 1 份以上

t,t-MA($\mu\text{g/L}$): 未經肌酐酸校正之 t,t-MA 濃度

t,t-MA($\mu\text{g/g cre.}$) : 經未經肌酐酸校正之 t,t-MA 濃度

表十、未經過年齡及性別調整之多變項線性迴歸分析

變項	t,t-MA(μ g/L)		t,t-MA(μ g/g cre.)		EXP (log t,t-MA(μ g/g cre.))	
	$\beta \pm SD$	P 值	$\beta \pm SD$	P 值	$\beta \pm SD$	P 值
組別						
高暴露組	17.63 \pm 25.25	0.486	28.60 \pm 23.07	0.217	0.08 \pm 0.71	0.240
低暴露組	-18.82 \pm 37.26	0.614	-1.88 \pm 34.04	0.956	0.18 \pm 1.04	0.870
對照組	參考組		參考組		參考組	
教育程度						
國小以下	-4.12 \pm 25.02	0.869	-2.26 \pm 22.86	0.922	0.02 \pm 0.70	0.983
國高中	9.567 \pm 37.26	0.706	11.53 \pm 23.27	0.622	0.39 \pm 0.72	0.590
大學以上	參考組		參考組		參考組	
家中拜拜習慣						
無	-32.88 \pm 20.91	0.118	-44.04 \pm 19.10	0.022	-1.26 \pm 0.59	0.033
有	參考組		參考組		參考組	
家中使用空氣清靜機						
無	-22.64 \pm 24.73	0.354	-26.81 \pm 22.27	0.230	-0.51 \pm 0.68	0.457
有	參考組		參考組		參考組	
BMI(Kg/m²)	-1.78 \pm 2.22	0.423	-0.93 \pm 2.03	0.650	0.03 \pm 0.06	0.582

EXP (log t,t-MA(μ g/g cre.)): 為使 t,t-MA 呈常態分佈取 log, 又為去除負號故再取 EXP

表十一、經過年齡及性別調整之多變項線性迴歸分析

變項	t,t-MA($\mu\text{g/L}$)		t,t-MA($\mu\text{g/g cre.}$)		EXP ($\log t,t\text{-MA}(\mu\text{g/g cre.})$)	
	$\beta\pm\text{SD}$	<i>P</i> 值	$\beta\pm\text{SD}$	<i>P</i> 值	$\beta\pm\text{SD}$	<i>P</i> 值
組別						
高暴露組	14.98 \pm 14.65	0.310	1.50 \pm 0.58	0.012	1.28 \pm 0.57	0.027
低暴露組	7.18 \pm 19.26	0.711	1.20 \pm 0.76	0.121	1.09 \pm 0.75	0.153
對照組	參考組		參考組		參考組	
教育程度						
國小以下	-0.95 \pm 27.37	0.972	-0.49 \pm 1.09	0.653	-1.345 \pm 0.67	0.470
國高中	9.14 \pm 29.11	0.314	0.90 \pm 1.16	0.438	0.312 \pm 0.96	0.750
大學以上	參考組		參考組		參考組	
拜拜有無						
無	4.16 \pm 17.15	0.809	-0.88 \pm 0.86	0.202	-0.84 \pm 0.68	0.220
有	參考組		參考組		參考組	
使用空氣清靜機						
無	4.76 \pm 20.51	0.817	0.12 \pm 0.81	0.880	-0.139 \pm 0.77	0.858
有	參考組		參考組		參考組	
BMI(Kg/m²)	-1.36 \pm 1.57	0.390	0.002 \pm 0.06	0.970	-0.01 \pm 0.06	0.901

EXP ($\log t,t\text{-MA}(\mu\text{g/g cre.})$): 為使 t,t-MA 呈常態分佈取 log, 又為去除負號故再取 EXP

表十二、居家室內環境特性

編號	採樣月份	樓層	人數	吸菸	使用有機溶劑 ^a
高暴露組家戶					
#1	3	6	5	無	無
#2	3	1	4	無	無
#3	3	10	3	無	無
#4	3	10	4	有	無
#5	3	1	4	有	無
對照組家戶					
#1	5	1	7	有	無
#2	5	1	1	無	無
#3	5	1	2	無	無
#4	5	1	2	無	無
#5	5	1	2	無	無

^a使用有機溶劑：採樣期間是否有使用揮發性有機溶劑

表十三、高暴露組室內、外環境 BTEX 濃度(ppb)之比較

高暴露組 變項	室內環境 (N=7)		室外環境 (N=3)		I/O	P 值
	Mean±SD	中位數	Mean±SD	中位數		
苯	3.63±2.51	3.66	0.37±0.27	0.49	9.81	0.071
甲苯	26.76±23.21	17.62	3.25±3.04	2.19	8.23	0.017
乙苯	0.22±0.39	0.07	0.01±0.00	0.01	22.00	0.012
二甲苯	1.46±1.27	1.12	0.18±0.04	0.17	8.10	0.017
TVOC	31.56±20.00	18.92	3.81±3.21	2.99	8.28	0.017

I/O: 室內、外比值

P 值: 無母數統計(Mann-Whitney U test)

TVOC: 即為 total BTEX



表十四、對照組室內、外環境 BTEX 濃度(ppb)之比較

對照組 變項	室內環境 (N=8)		室外環境 (N=5)		I/O	P 值
	Mean±SD	中位數	Mean±SD	中位數		
苯	4.04±1.23	3.44	0.45±0.19	0.41	8.98	0.004
甲苯	12.28±3.28	11.77	1.30±0.56	1.23	9.45	0.003
乙苯	0.84±0.94	0.41	0.07±0.11	0.03	12.00	0.057
二甲苯	1.65±0.74	1.48	0.24±0.16	0.15	6.88	0.003
TVOC	18.30±6.06	16.17	2.07±1.00	1.83	8.8	0.003

I/O: 室內、外比值

P 值: 無母數統計(Mann-Whitney U test)

TVOC: 即為 total BTEX



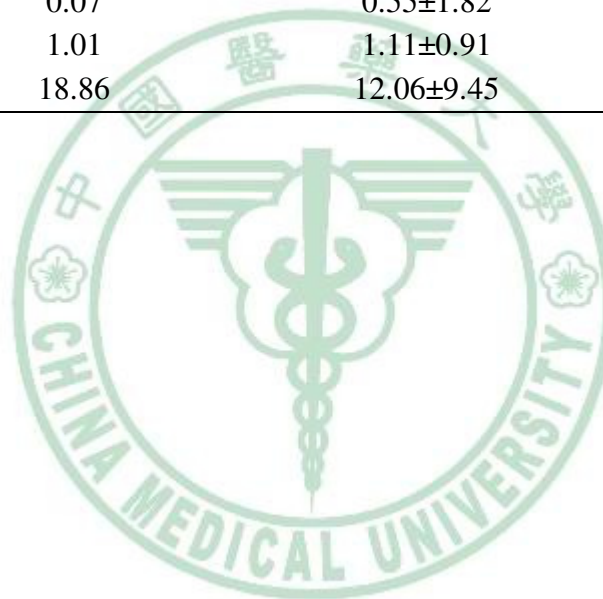
表十五、高暴露組與對照組環境中 BTEX 濃度(ppb)之比較

變項	高暴露組		對照組		高暴露組/ 對照組	P 值
	Mean±SD	中位數	Mean±SD	中位數		
苯	2.29±2.55	1.61	2.35±2.09	2.70	0.97	0.078
甲苯	19.71±20.13	12.48	8.06±6.10	8.96	2.46	0.154
乙苯	0.16±0.34	0.07	0.55±1.82	0.67	0.29	0.331
二甲苯	1.08±1.21	1.01	1.11±0.91	0.85	0.97	0.804
TVOC	23.24±21.18	18.86	12.06±9.45	12.87	1.93	0.239

E/non-E: 暴露組與非暴露組之比值

P 值: 無母數統計(Mann-Whitney U test)

TVOC: 即為 total BTEX



表十六、高暴露組與對照組室內環境 BTEX 之濃度(ppb)比較

變項	客廳(N=7)		廚房(N=8)		P 值
	Mean±SD	中位數	Mean±SD	中位數	
高暴露組					
苯	2.45±2.11	3.49	3.62±3.23	3.27	0.480
甲苯	21.30±13.30	17.62	30.86±25.55	23.18	0.724
乙苯	0.08±0.02	0.07	0.33±0.52	0.08	0.696
二甲苯	1.19±0.12	1.22	1.66±1.76	1.04	0.480
TVOC	25.02±13.98	18.92	36.47±24.38	31.70	0.480
對照組					
苯	2.30±1.55	2.87	4.77±1.23	5.15	0.043
甲苯	10.31±1.70	10.23	14.24±3.45	15.23	0.083
乙苯	0.60±1.01	0.11	1.09±0.93	1.11	0.772
二甲苯	1.23±0.32	1.29	2.06±0.84	2.35	0.149
TVOC	14.44±3.06	13.04	22.16±6.06	24.12	0.043
Total					
苯	2.36±1.64	3.03	4.20±2.32	4.34	0.105
甲苯	15.02±9.73	11.51	22.55±19.07	15.23	0.365
乙苯	0.38±0.77	0.07	0.71±0.80	0.37	0.429
二甲苯	1.21±0.24	1.22	1.86±1.29	1.65	0.204
TVOC	18.98±10.09	15.12	29.32±18.14	24.12	0.205

P 值:無母數統計(Mann-Whitney U test)

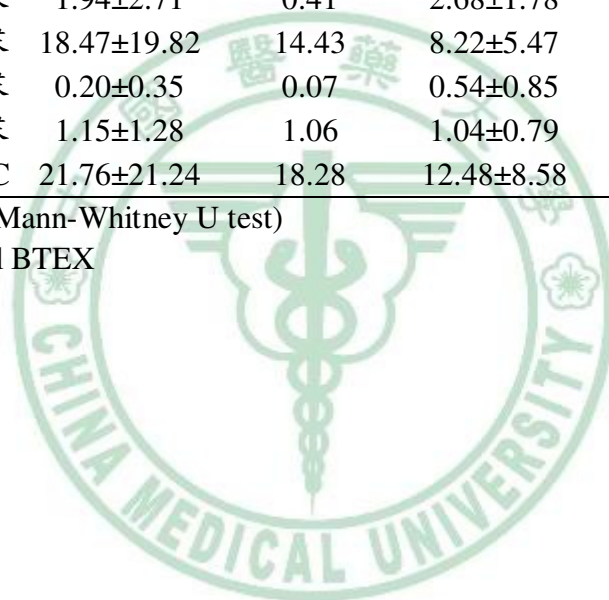
TVOC : 即為 total BTEX

表十七、家中吸菸環境對室內與室外環境中 BTEX 濃度(ppb)之比較

變項	家中無吸菸 (N=11)		家中有吸菸 (N=12)		P 值
	Mean±SD	中位數	Mean±SD	中位數	
室內環境					
苯	2.86±3.08	2.66	3.76±0.97	3.46	0.481
甲苯	27.64±19.53	17.62	11.51±3.11	10.38	0.072
乙苯	0.32±0.41	0.09	0.76±0.98	0.09	0.256
二甲苯	1.72±1.29	1.22	1.42±0.68	1.22	0.595
TVOC	32.53±19.39	24.09	17.46±5.48	15.28	0.088
Total					
苯	1.94±2.71	0.41	2.68±1.78	3.10	0.443
甲苯	18.47±19.82	14.43	8.22±5.47	9.11	0.125
乙苯	0.20±0.35	0.07	0.54±0.85	0.07	0.232
二甲苯	1.15±1.28	1.06	1.04±0.79	0.90	0.806
TVOC	21.76±21.24	18.28	12.48±8.58	13.09	0.199

P 值:無母數統計(Mann-Whitney U test)

TVOC: 即為 total BTEX



表十八、高暴露組與對照地區居家環境中 BTEX 濃度之多變項線性迴歸分析*

變項	苯		甲苯		乙苯		二甲苯		TVOCs	
	β (SE)	P 值	β (SE)	P 值	β (SE)	P 值	β (SE)	P 值	β (SE)	P 值
地點										
陽台	-3.82(0.84)	0.000	-19.27(5.87)	0.004	-0.72(0.31)	0.030	-1.67(0.40)	0.001	-25.48(5.76)	0.000
客廳	-1.86(0.87)	0.045	-6.82(6.05)	0.274	-0.37(0.31)	0.260	-0.66(0.41)	0.125	-9.70(5.94)	0.119
廚房	參考組		參考組		參考組		參考組		參考組	
組別										
高暴露組	-0.39(0.71)	0.585	9.97(4.94)	0.058	-0.45(0.26)	0.094	-0.18(0.34)	0.605	8.95(4.85)	0.081
對照組	參考組		參考組		參考組		參考組		參考組	

β (SE)：參考估計係數(標準誤)

TVOC：即為 total BTEX

表十九、高暴露組與對照組中一般大眾與環境家戶採樣尿中 t,t-MA 濃度之比較

變項	高暴露組			對照組		
	一般(N=121) mean±SD	家戶(N=4) mean±SD	P 值	一般(N=35) mean±SD	家戶(N=7) mean±SD	P 值
t,t-MA(μg/L)	80.67±128.75	404.04±442.62	<0.001	60.38±73.57	229.39±215.83	<0.001
t,t-MA(μg/g cre.)	76.6±121.2	114.07±99.01	0.852	48.8±47.3	128.55±84.12	0.028
EXP ^{(log t,t-MA(μg/g cre.))}	5.26±3.50	7.21±3.10	0.990	4.67±2.47	7.92±2.15	0.784

EXP^{(log t,t-MA(μg/g cre.))}: 為使 t,t-MA 呈常態分佈取 log, 又為去除負號故再取 EXP

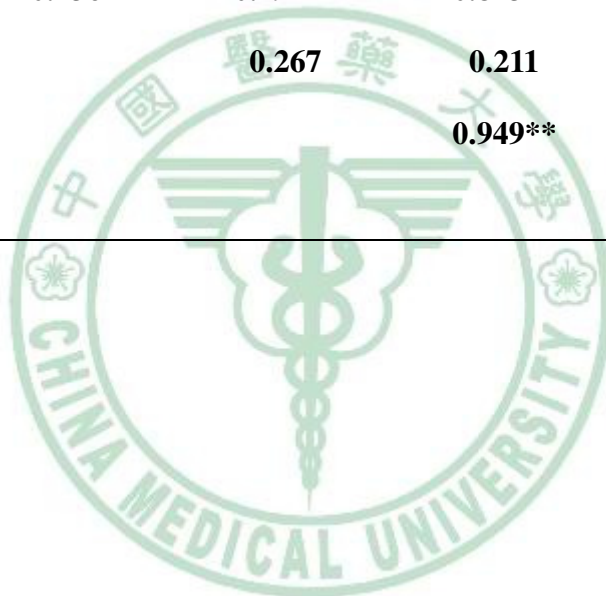


表二十、室內環境中對照地區與高暴露組 BTEX 濃度之相關矩陣

變項	甲苯	乙苯	二甲苯	TVOC
對照組				
苯	0.866**	0.668*	0.853**	0.921**
甲苯		0.681*	0.962**	0.989**
乙苯			0.686**	0.740**
二甲苯				0.966**
高暴露組				
苯	0.136	0.797**	0.873**	0.312
甲苯		0.267	0.211	0.983**
乙苯			0.949**	0.419
二甲苯				0.378

**p 值 < 0.001

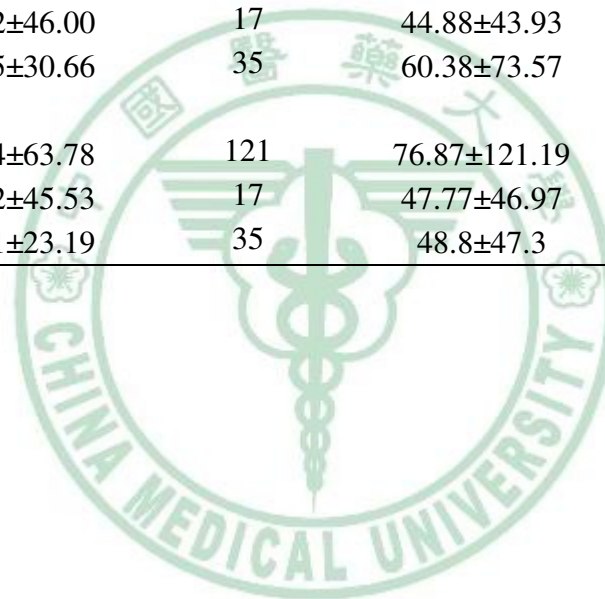
*p 值 < 0.05



表二十一、95、96 兩年高、低暴露組與對照組之尿中 t,t-MA 濃度之比較

變項	95 年		96 年		P 值
	n	mean±SD	n	mean±SD	
t,t-MA(µg/L)					
高暴露組	163	45.69±37.64	121	80.67±128.75	<0.001
低暴露組	30	38.32±46.00	17	44.88±43.93	0.871
對照組	76	34.25±30.66	35	60.38±73.57	<0.001
t,t-MA(µg/g cre.)					
高暴露組	163	61.94±63.78	121	76.87±121.19	<0.001
低暴露組	30	43.82±45.53	17	47.77±46.97	0.855
對照組	76	27.91±23.19	35	48.8±47.3	<0.001

P 值:兩組樣本 t 檢定



附件一

臺中科學園區附近居民肺部健康調查

※ 作業流程：填寫問卷→量身高體重→肺功能測試→剪取指甲頭髮→收取尿液

驗收員簽名： _____

親愛的朋友：

您好!感謝您參與此份問卷的填寫!此份問卷將配合您的肺功能檢查、尿液及指甲頭髮檢查，以評估您的肺部健康狀況，爲了能有完整的資料爲您作正確的診斷，請您盡量詳細且正確的將資訊填寫於問卷內，您所填寫的任何資料，我們將完全保密，絕不會造成您的困擾。由衷感謝您的配合與協助!僅此 敬祝
健康快樂 闔家安康

中國醫藥大學 環
境醫學研究所

※ 請在適當之空格中打「✓」或在空格中填入確實之資訊 ※

壹、受訪者基本資料

1. 姓名：_____，電話_____，身分證字號_____
2. 性別：(1) 男
(2) 女，①近五年有懷孕嗎（包括流產）？
(1) 無 (2) 有；_____次順產，_____次流產
②最近有計畫要懷孕嗎？(1) 無 (2) 有
3. 身高_____公分，體重_____公斤
4. 生日：民國_____年_____月_____日
5. 現居地址：_____縣_____區鄉_____村_____鄰_____街_____段_____巷
_____市_____ (市鎮) (里) _____路
_____弄_____號_____樓
6. 家中成員：家中同住（包括您）共_____人
7. 教育程度：(1) 國小及以下 (2) 國中 (3) 高中職 (4) 專科 (5) 大學 (6) 研究所及以上
8. 婚姻狀況：(1) 未婚 (2) 已婚 (3) 離婚 (4) 喪偶 (5) 同居
9. 請問您目前是否有工作（包括臨時性工作）？(0) 否【跳答第11題】 (1) 有【續答第9-1題】

9-1. 請問您工作的環境或操作過程中是否有加熱燃燒的過程？
 (0) 否
 (1) 有，哪一種工作（以目前工作為準）？
 (a) 煉鋁 (b) 鍋爐 (c) 鑄造、鐵工廠 (d) 煉鋼廠
 (e) 煤焦工廠 (g) 其他_____

9-2. 請問您的工作是否會接觸到化學物質？(例如：農藥、苯、黏著劑、油漆)
 (0) 否
 (1) 有，請寫出化學物質名稱

9-3. 您曾經有過每週工作時數 30 小時以上，而且做了六個月或六個月以上嗎？
 (0) 沒有【跳答第 11 題】 (1) 有【續答第 9-4 題】

9-4. 您是不是曾經在有粉塵的環境裡工作達一年或一年以上？
 (0) 否 (1) 是； ①請詳述職位名稱_____

②擔任此項工作大概幾年？_____年
 ③此工作粉塵暴露程度為：
 (1) 輕微（眼睛看不到粉塵）
 (2) 中度（眼睛還可以看得到周圍的物品、人物）
 (3) 重度（幾乎都看不到東西）

9-5. 您是不是曾因工作而暴露於危害氣體或化學煙煙的環境中呢？
 (0) 否 (1) 是； ①請詳述職位名稱_____

②擔任此項工作大概幾年？_____年
 ③此工作氣體或煙煙暴露程度為：
 (1) 輕微（鼻子聞不出）
 (2) 中度（偶爾可聞到）
 (3) 重度（整天都可聞到）

9-6. 您曾經工作最長久的一項工作或職務為何？
 ①請詳述職位名稱_____

②擔任此項工作大概幾年？_____年

貳、個人健康行爲及生活習慣

10. 您在工作場所中是否有暴露到二手菸？(0) 否 (1) 是

11. 請問您平時有沒有吸菸的習慣？(每天至少抽過一根菸才算)

(0) 不吸菸【續答第 11-1 題】 (1) 吸菸【跳答第 11-2 題】

11-1. 您以前是否有吸菸習慣？

(0) 從來沒有【跳答第 12 題】

(1) 以前有，現在已戒菸；您是從幾歲開始完全戒菸？_____歲【續答第 11-2 題】

11-2. 您是從幾歲開始吸菸？_____歲

①到現在（或到戒菸時）您一共吸了幾年的菸？_____年

②您是在什麼地方開始學會吸菸？(1) 學校 (2) 軍中 (3) 工作場所 (4) 家庭

(5) 社交場合 (6) 其他，請說明

明_____

11-3. 您是否會在工作時吸菸？(1) 從不 (2) 很少（每週少於 1 次）

(3) 偶爾（每週 1~2 次） (4) 經常（每週 3 次以上）

11-4. 您是否會在家裡吸菸？(1) 從不 (2) 很少（每週少於 1 次）

(3) 偶爾（每週 1~2 次） (4) 經常（每週 3 次以上）

11-5. 您現在（或戒菸以前）平均一天抽多少？_____根菸

12. 請問您平時有沒有喝酒的習慣？(每週至少喝酒一次且連續六個月上)

(0) 不喝【續答第 12-1 題】 (1) 喝【跳答第 12-2 題】

12-1. 以前喝不喝？(0) 從來不喝【跳答第 13 題】

(1) 以前常喝，現在已經戒掉；幾歲完全戒酒？_____歲【續答第 12-2 題】

12-2. 您大約幾歲才開始有喝酒的習慣？_____歲

12-3. 您通常喝到什麼程度？(1) 淺酌（不醉） (2) 微醺（半醉） (3) 常喝醉

12-4. 您最常喝哪一種酒？

(1) 啤酒、維士比等（酒精濃度 < 10%）

(2) 紹興酒、水果酒等（酒精濃度 10%~19%）

(3) 米酒、參茸酒、威士忌等（酒精濃度 20%~49%）

(4) 高粱酒、茅台酒等（酒精濃度 50%）(5) 其他，請說明

13. 請問您是否有嚼檳榔的習慣(每週至少有一天嚼檳榔且連續六個月以上)?

(0) 不嚼【續答第 13-1 題】 (1) 嚼【跳答第 13-2 題】

13-1. 以前嚼不嚼? (0) 從來不嚼【跳答第 14 題】

(1) 以前常嚼,現在已戒掉;幾歲開始完全戒掉?_____

歲【續答第 13-2 題】

13-2. 您是幾歲開始有嚼檳榔的習慣?_____歲,已經嚼檳榔多久了?
_____年_____個月

13-3. 您現在或戒掉前平均一天吃多少檳榔?約_____顆/天

14. 最近 1 個月,請問您平均每週從事戶外運動的次數:

(0) 小於 1 次,或幾乎沒有【跳答第 15 題】

(1) 1~2 次 (2) 3 次以上 (3) 其他,請說明_____

14-1. 請問您平均每次運動約持續多久時間?_____分鐘/次

14-2. 請問您最常從事的戶外運動類型是:(1) 散步 (2) 跑步 (3) 球
類運動

(4) 伸展運動<包括養身運動> (5) 其他,請
說明_____

15. 過去一年,請問您平均每天處室內、室外活動及交通上所花的時間

(以每週三天以上的作息為準,週六、日不算):

平均每天所花的時間(小時)					
室內(小時)			室外(小時)		
1.家中	2.工作	3.其他	4.工作	5.其他	
_____	_____	_____	_____	_____	
交通(分鐘)					
6.步行或自行 車	7.巴士	8.機車	9.汽車	10.火車	11.其他
_____	_____	_____	_____	_____	_____

16. 過去一年,請問您例假日平均每天處於室內幾小時?_____小時/天,室
外_____小時/天

參、飲食情況調查

17. 過去半年中，您是否常吃燒烤類食物？

(0) 從未 (1) 很少【1次/月】(2) 偶而【1次/週】(3) 經常【2~4次/週】(4) 每天

18. 最近這三天，請問您有吃以下食物嗎(烤肉、烤魚、燻肉、燻魚、披薩…)？

食品類別 (一份量：約為手掌大；很少量：小於一份)	最近三天食用頻率				
	(0) 沒有	(1) 很少	(2) 一份	(3) 二份	(4) 三份以上
a. 是否有食用烤肉？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. 是否有食用高油脂食物(肥肉、皮、香腸)？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. 是否有食用烤魚？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. 是否有食用燻肉？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. 是否有食用燻魚？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. 是否有食用披薩？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

19. 您是否有服用維他命？

(0) 否

(1) 是；服用何種維他命？(1) A (2) B (3) C (4) D (5) E

(6) 綜合 (7) 其他，請說明_____

肆、自覺症狀及既往病例

一、咳嗽

20. 您通常會咳嗽嗎(所謂「會咳嗽」指如早上吸第一支香菸時，或剛出門時的咳嗽，而平常清

喉嚨的咳嗽不算)？(0) 否 (1) 是

21. 您通常一天咳嗽4次以上或一週4天以上嗎？(0) 否 (1) 是

22. 您早上起床後是否經常會咳嗽呢？(0) 否 (1) 是

23. 您白天其他時間或者晚上是否也經常會咳嗽？(0) 否 (1) 是

▼上述20~23題若有任一答案為「是」，請繼續回答下列問題，假如皆答「不是」則跳至第26題回答。

24. 像上面所形容的咳嗽，您是不是幾乎每天都有，而且一年間連續三個月以上？

(0) 否 (1) 是

25. 您有這樣的咳嗽多少年？_____年；

請問您過去這一年有發生像上面形容的咳嗽嗎？(0) 無 (1) 有

二、有關「痰」的情形

26. 您經常有痰從胸部咳出來嗎（吸第一支菸或剛出門的第一口痰要算，吞下的痰要算；從鼻子出來的痰不算，口水也不算）？（0）否【跳答第28題】（1）是

27. 您是否一天有二次或二次以上，或一週內有四次或四次以上的咳痰嗎？
（0）否（1）是

28. 您早上起床或清晨第一件事經常是咳痰嗎？（0）否（1）是

29. 除早上起床外您在白天或晚上休息時經常咳痰嗎？（0）否（1）是

30. 通常您咳出來的痰顏色為（如果您經常咳痰的話）？【若第26題為否，則勾選“不適用”】

（1）黃色（2）綠色（3）黑色（4）血塊（5）痰中帶血絲（6）白色黏液（7）其他（8）不適用

▼上述問題（26~30題）有任一題答「是」者，繼續回答下列問題，假如皆答「否」者，請跳至第33題作答。

31. 上面咳痰情形，您是否幾乎每天都有，而且在一年間連續三個月以上嗎？
（0）不是（1）是（2）不知道

32. 您有這樣的咳痰多少年了？_____年

請問您過去這一年有發生像上面形容的咳痰情形嗎？（0）無（1）有

三、咳嗽及吐痰症狀發生次數

33. 您是否曾經有過在一年中，咳嗽及吐痰持續三個星期或更久的情形嗎？

（如果您是通常就有咳嗽及吐痰之症狀者，那麼本問題是問您這兩症狀是否有增加的現象，在一年中超過三週以上）

（0）否【跳答第35題】（1）是

34. 您有像上面形容在一年中咳嗽及吐痰長達三星期之久的情形有多少年？_____年

39. 您第一次發生這種喘鳴及呼吸短促的現象是在您幾歲的時候? _____ 歲
40. 您已經有二次或二次以上因喘鳴而引起上氣不接下氣嗎? (0) 沒有 (1) 有
41. 您曾經因為這些症狀而接受服藥或治療嗎? (0) 沒有 (1) 有
42. 請問您過去這一年有發生像這樣喘鳴而引起呼吸短促的情形嗎?
 (0) 無
 (1) 有, 發生幾次 _____ 次, 是否因此而接受服藥或治療嗎? (0) 否 (1) 是

四、喘鳴

35. 在下列的情況下, 您的胸部是否曾有喘鳴或哮喘性或咻咻叫的聲音 (俗稱蝦龜) 嗎?

【1】當您感冒時會嗎? (0) 沒有 (1) 有

【2】除了感冒外, 有時會發生嗎? (0) 沒有 (1) 有

【3】大多數的白天或晚上 (0) 沒有 (1) 有

▼ 上述【1】、【2】、或【3】任一題答「有」者, 接答第 36 題, 皆答「沒有」者跳至第 38 題

36. 您有這樣的喘鳴 (蝦龜) 有多少年? _____ 年 (或幾歲開始 _____ 歲)

37. 請問您過去這一年有發生像上面形容的喘鳴嗎? (0) 無 (1) 有

38. 您曾經有過因喘鳴而引起呼吸短促 (上氣不接下氣) 的現象嗎?

(0) 沒有【跳答第 43 題】 (1) 有【續答第 39 題】

五、呼吸短促

43. 您是否 (除了心或肺的疾病之外) 有任何情況會引起您無法走動嗎?

(0) 否【續答第 44 題】

(1) 是, 請詳述當時情況 _____ ;

請問您過去一年有發生這樣的情形嗎? (0) 否 (1) 是

【跳答第 49 題】

44. 在平地快速行走或爬上小山坡時, 您有過呼吸短促 (上氣不接下氣) 的情形嗎? (行動不便者, 請填寫“不適用”, 若是因心肺疾病所造成的, 則必須填“有”)

(0) 沒有【跳答第 49 題】 (1) 有【續答第 45 題】 (3) 不適用【跳答第 49 題】

45. 當您與同年齡的人在平地行走時，您會因呼吸短促而步伐較慢嗎？(0) 不會 (1) 會
46. 以您自己的步伐在平地行走時，會因呼吸短促而停下來休息嗎？(0) 不會 (1) 會
47. 當您在平地走大約 100 公尺（或數分鐘）後，是否必須停下來休息呢？
(0) 不會 (1) 會
48. 您更換衣服時是否會覺得呼吸短促或因呼吸短促，而不能出外走動嗎？
(0) 不會 (1) 會

六、感冒及胸部疾病

49. 過去一年，您是否曾患感冒？(0) 沒有 (1) 有，幾次？_____次
50. 您曾因感冒過而經常會影響到您的胸部，而使你感到不舒服？
（「經常」乃指平均每二次感冒至少有一次會發生胸部症狀）
(0) 否 (1) 是 (2) 不曾注意
51. 過去三年來您是否因胸部疾病而暫停工作一日以上，在家療養或住院？
(0) 否【跳答第 54 題】 (1) 是【續答第 52 題】

52. 當您患有上述的胸部疾病時，是不是有咳痰的現象？(0) 否 (1) 是 (2) 不曾注意
53. 過去三年來有多少次類似的胸部疾病，使您咳痰（或痰增加）持續了一個星期或更久？
(0) 沒有 (1) 有_____次胸部疾病

七、過去的病史

54. 請問您過去是否有經由醫師診斷下列慢性疾病？
(0) 無 (1) 肺炎（包括支氣管炎）(2) 氣喘 (3) 心臟病
(4) 高血壓 (5) 糖尿病 (6) 癲癇 (7) 其他，_____
55. 在 16 歲以前您曾有過肺部疾病嗎？(0) 沒有 (1) 有 (2) 不記得

八、就醫情況

56. 過去三個月中，請問您是否有就醫看病？（不包括看牙醫、生產及住院接受健康檢查）
(0) 無 (1) 有，_____次就醫
57. 過去一年中，請問您是否有因生病而住院？(0) 無 (1) 有，_____次住院

九、纖維肌痛症之頻率

徵狀 \ 頻率	從不	很少 (1天/ 月)	偶而 (1~2天/ 週)	經常 (>3天/ 週)
58.是否經常感到疲倦？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
59.是否感到睡眠失調受到干擾？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
60.是否覺得早晨甦醒困難？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
61.是否感到身體到處都在疼痛？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
62.是否有腹瀉或便秘的情形？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
63.是否以嘴乾或是眼睛乾澀情形？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
64.是否發生少尿或頻尿情形？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
65.是否有月經疼痛的情形？(男性免填)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
66.是否有手腳冰冷情形？	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

伍、居家環境調查

一、房屋及居住型態

67. 請問您居住於現在這個地址多久時間？_____年_____月；若不滿三個月，之前住_____
68. 您目前居住房屋形式：(1) 獨棟透天厝 (2) 連棟透天厝 (3) 公寓 (4) 別墅 (5) 平房 (包含四合院) (6) 其他，請說明_____
69. 您目前居住房屋是否鄰近大馬路？(0) 否 (1) 是
70. 目前居住房屋大約屋齡(建築至今)大約為_____年
71. 目前居住房屋大約面積_____坪(建坪)，共有_____房_____廳
72. 請問您的家中是否有鋪設地毯？(0) 否 (1) 是
73. 請問您的家中是否有使用空氣清淨機？(0) 否 (1) 是
74. 請問您的家中是否有使用除濕機？(0) 否 (1) 是

二、居家環境

75. 請問您的家人是否有吸菸的習慣(可複選)？
 (0) 否【跳答第77題】
 (1) 是，共_____人 (1) 配偶 (2) 父母親 (3) 其他家人，請說明_____
76. 家人最常吸菸的場所？(1) 客廳 (2) 臥室 (3) 陽台 (4) 廁所 (5) 其他_____

77. 平時家中是否有燒香拜拜的習慣？
 (0) 無 (1) 有，逢年過節或初一、十五有燒香 (2) 有，每天燒香
78. 平時家中有使用蚊香（包括電蚊香）的習慣嗎？ (0) 無 (1) 有
79. 家中是否經常噴灑殺蟲劑？
 (0) 否
 (1) 是；大約多久使用一次？_____天
80. 請問您家中是否有飼養寵物：
 (0) 無 (1) 有；什麼寵物？_____，不論種類共有_____隻
81. 請問您們廚房使用的炊具為何？
 (1) 瓦斯爐 (2) 灶 (3) 瓦斯爐+灶 (4) 瓦斯爐+灶+煤炭爐 (5) 灶+煤炭爐 (6) 其他，請說明_____
82. 請問您是否有經常在客廳以瓦斯泡茶組泡茶的習慣？
 (0) 無 (1) 很少(1天/月) (2) 偶爾(1~2天/週) (3) 經常(>3天/週)
83. 家中是否有發現霉斑的地方（單選題）？
 (0) 無 (1) 有，梅雨季節才会有 (2) 有，連續數日陰雨才會發生 (3) 有，平常就有 (4) 不知道 (5) 其他，請說明_____
84. 請問您覺得您住家附近的環境是否有下列污染來源？請您依污染程度勾選在空格裡：

	(0) 無	(1) 非常輕微	(2) 輕微	(3) 略嚴重	(4) 嚴重	(5) 非常嚴重	(6) 不知道
a.灰塵	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b.黑煙	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c.惡臭	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

※爲了您的健康，請問您是否願意讓我們擇期到府上執行**空氣採樣**（將採樣設備放置在客廳、廚房、陽台等地方靜置 24 小時，採樣人員不會在待在家戶中），以便做進一步的了解？願意 不願意

【問卷到此結束，請您檢查是否有任何遺漏未填者。非常感謝您！】