

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

臭氧總暴露量之評估

Total Exposure Assessment of Ozone

計畫編號：NSC 88-2621-Z-002-01

執行期限：87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

主持人：王秋森 台灣大學公共衛生學院公共衛生學系

E-mail: cswang@ccms.ntu.edu.tw

一、中文摘要

1998 年以來臭氧已成為台灣各都會區及其下風處的主要空氣污染物。鑑於臭氧對正在成長中的學童可能有嚴重的健康效應，本研究以大氣環境及室內環境之臭氧為考量，探討台北市中山區 5-6 年級國小學童之個人臭氧總暴露量。

本研究以隨機抽樣的方式在台北市中山區選定下列 4 所願意配合採樣的小學：中山、懷生、中正和吉林。在這四所小學中願意配合採樣的班級，以問卷調查的方式選定願意配合採樣的學童及住家。選定的住家及教室室內皆採用自然通風，並且沒有影印機、靜電集塵器等可能產生臭氧的設備。在 1998 年 11 月 20 日至 1999 年 3 月 25 日之間，使用 Ogawa 被動式採樣器針對住家室內外、學校教室室內外環境中的臭氧以及學童個人暴露的臭氧進行採樣，每一樣本的採樣時間為 24 小時，共採得有效樣本 220 個。擴散至採樣器內的臭氧分子與塗敷於濾紙上的亞硝酸鈉反應產生硝酸鹽，採樣結束後以去離子水萃取。然後以離子層析儀量測硝酸根離子的濃度，即可推算採樣期間的臭氧平均濃度。

在無室內臭氧發生源的情形下，影響室內外臭氧平均濃度比值的因素是室內外之間的臭氧傳輸，以及臭氧在室內的化學反應和匯集(sink)。影響室內外之間的臭氧傳輸的主要因素是門窗開啟面積和門窗開啟時數。本研究將門窗開啟面積與樓地板面積的比值、以及門窗開啟時數與採樣時數比值合併為門窗因子，以探討其對室內外臭氧濃度比值的影響。

本研究參考文獻上已有的模式加以簡化，建立四個新的個人臭氧暴露評估模式。其中模式 A 所使用的參數包括室內外

臭氧平均濃度實測值以及監測站的臭氧平均濃度實測值。

研究結果顯示，住家和教室的門窗因子與臭氧室內外平均濃度比值之間呈現線性的關係，其判定係數分別為 0.77 和 0.69，P 值皆小於 0.01。模式 A 預測學童臭氧暴露平均濃度與實測值的判定係數為 0.71，P 值小於 0.01。

關鍵詞：臭氧、臭氧總暴露量、室內外臭氧平均濃度比值、門窗因子、被動式採樣器

Abstract

Since 1998, ozone has become the main air pollutant in downwind areas of major metropolitan centers in Taiwan. In view of the potential health effects of ozone on children, we studied the ozone exposure of the 5th and 6th grade students in Taipei by measuring the ozone concentrations in ambient and indoor environments, as well as the concentration of ozone to which the students were exposed.

Four primary schools in Chung-shan district in Taipei were selected randomly for this study. The homes of the students who participated in this study used only natural ventilation, and had no ozone generating devices, such as photocopiers and electrostatic precipitators. During November 20, 1998 to March 25, 1999, the indoor and outdoor ozone concentrations for the homes and classrooms and the concentration of ozone to which the students were exposed were determined by Ogawa passive samplers. Each sample was collected for 24 hours. The total number of

samples was 220. The sampling technique is based on the oxidation reaction of nitrite with ozone molecules which diffuse into the sampler. After sampling, each sample was extracted with deionized water and then analyzed for nitrate by ion chromatography. The ozone concentrations during sampling were then calculated.

When there are no indoor ozone sources, the ratio of the mean concentration of ozone between indoor and outdoor depends on the transport of ozone from outdoor into indoor, the chemical reactions involving ozone and the ozone sink in the indoor environment. The main factors affecting the transport of ozone from outdoor into indoor are the open areas of windows and doors and the length of time they are opened. The ratio of the open area of windows and doors to the house floor area and the ratio of the time during which windows and doors were opened to the sampling time were combined to obtain a door/window factor. The factor was then correlated with the indoor to outdoor ratio of ozone concentration.

Three mathematical models were developed for predicting personal ozone exposure. The parameters used in model A were measured mean ozone concentrations at indoor, outdoor, and a nearby monitoring station, while models B and C used fewer parameters.

The results show that the coefficient of determination for the relationship between the door/window factor and the ratio of the mean ozone concentrations between indoor and outdoor was 0.77 for residential houses and 0.69 for classrooms, and the P values were both under 0.01. The coefficient of determination for the correlation between mean exposure concentration predicted by model A and measured values was 0.71, with P value lower than 0.01.

Keywords: Ozone, Total Ozone Exposure, Indoor/Outdoor Ratio of Ozone Concentration, Door/Window Factor, Passive Sampler.

二、緣由與目的

1998 年以來臭氧已成為台灣各都會區及其下風處的主要空氣污染物。臭氧是一種二次污染物，其主要的前驅物為氮氧化物與非甲烷碳氫化合物。近年來國內都會區的汽機車數量急速增加，因此非甲烷碳氫化合物與氮氧化物的總排放量不易削減。以目前國內汽機車數量成長的趨勢來推測，在未來的十年中臭氧可能將持續為各都會區及其下風處的主要空氣污染物。

許多有關臭氧健康效應的研究結果顯示，高臭氧濃度的暴露會導致肺功能明顯降低。Horstman 等[1]進行的人體試驗之結果指出，在分別暴露於 81.5、101.9 和 122.3 ppb，6.6 小時後，肺功能指標 FEV_{1.0}(forced expiratory volume in 1s)分別降低 7.0、7.0 和 12.3%，顯示不是極高的濃度但較長時間的暴露也會引起不良的健康效應，而且臭氧的健康效應沒有明確的閾值濃度。

近年來台灣各都會區下風處的臭氧濃度每日最高小時值大於 120 ppb 的次數相當多。包括基隆市、台北縣市和桃園縣的北部空氣品質區內之環保署空氣品質監測站中 1996 年之有效測站有 20 個(有效測站定義為該測站一年中的臭氧有效測值在 256 天以上)，其中 1 小時臭氧濃度平均值大於 120 ppb 之日數在 10 天以上的有土城、板橋、新莊、萬華及古亭 5 個測站。以此項臭氧監測數據與上述人體試驗研究結果比較，可見台灣地區臭氧污染程度已足以產生不可忽視的健康效應。因此有必要對國人臭氧暴露情況有量化的瞭解，尤其對比較敏感的族群(如學童)更有必要進行有系統的臭氧暴露量評估。

本研究以台北市中山區四個國小 11-12 歲的學童為研究對象，利用個人採樣器進行臭氧暴露量評估。同時建立數學模式，藉由室內、室外定點採樣及環保署空氣品質監測站所獲得的臭氧濃度數據，配合個人的時間活動資料，以估計個人臭氧暴露量。

本研究主要的目的條列如下：

(1) 測量都會區國小學童(以台北市中山區

高年級學童為對象)非假日所暴露的臭氧平均濃度。

- (2) 住戶及教室室內外臭氧平均濃度比值的探討。
- (3) 臭氧暴露模式的探討與改進。

三、結果與討論

學童個人臭氧暴露平均濃度

本研究於 1998 年 11 月至 1999 年 3 月，在台北市中山區對 16 個學童進行臭氧暴露採樣。根據 40 個有效樣本，其臭氧暴露濃度平均值為 5.24 ppb。採樣期間內環保署中山監測站旁以被動式採樣器採得 17 個樣本的臭氧濃度平均值為 18.87 ppb。學童個人暴露樣本和監測站旁樣本的臭氧濃度平均值的比值為 0.28。

室內外臭氧平均濃度比值與門窗因子

本研究結果顯示 1998 年 12 月至 1999 年 3 月間台北市中山區選定國小學童住家室內外臭氧平均濃度比值，17 戶住家共 44 個樣本的平均值為 0.44，標準差為 0.26，比值範圍為 0.9~0.02 之間。台北市中山區國小教室室內外臭氧平均濃度比值，11 間教室共 33 個樣本的平均值為 0.45，標準差為 0.22，比值範圍為 0.99~0.12 之間。

在無室內臭氧發生源的情形下，影響室內外臭氧濃度比值的因素是室內外之間的臭氧傳輸，以及臭氧在室內的化學反應與匯集。影響室內外之間的臭氧傳輸的主要因素是門窗開啟面積和開啟時數。因此將樓地板面積、門窗開啟面積、門窗開啟時數與採樣時數合併成門窗因子。

門窗因子

$$= \frac{\text{門窗開啟面積}(m^2) \times \text{門窗開啟時數}(h)}{\text{樓地板面積}(m^2) \times 24(h)}$$

本研究以此門窗因子為一變數，將之與室內外臭氧平均濃度之比值進行迴歸分析。影響室內外之間臭氧傳輸的因素尚包括風速及風向。但因氣流的影響較為複雜，本研究未將之納入考量。

將 1998 年 12 月至 1999 年 3 月間在台

北市中山區選定住家採集的所有樣本與門窗因子做相關性的探討，獲得住家室內外臭氧平均濃度比值與門窗因子的迴歸式為 $y = 13.26x + 0.20$ ，判定係數為 0.77，呈現良好的線性關係。將同一期間在台北市中山區選定學校教室採集的所有樣本與門窗因子做相關性的探討，獲得教室室內外臭氧平均濃度比值與門窗因子的迴歸式為 $y = 4.02x + 0.27$ ，判定係數為 0.69。

學童個人臭氧暴露評估模式

本研究參考文獻上已有的模式加以簡化，建立 4 個不同模式。其中模式 A 為簡化 Liu 等[2]的模式，模式 B 與模式 C 是將模式 A 再加以不同程度的簡化。模式 D 則為利用室內外臭氧平均濃度實測值做為參數。模式 A 可用下式表示：

$$C_e = \frac{1}{24} \sum_{k=1}^{24} [C_{ih,k} \times F_{ih,k} + C_{oh,k} \times F_{oh,k} + C_{is,k} \times F_{is,k} + C_{os,k} \times F_{os,k} + C_{c,k} \times F_{\infty}]$$

式中 $C_{ih,k} \times F_{ih,k}$ 及 $C_{oh,k} \times F_{oh,k}$ 為第 k 小時內個人於住家室內外暴露的臭氧平均濃度預測值。 $C_{is,k} \times F_{is,k}$ 及 $C_{os,k} \times F_{os,k}$ 為第 k 小時內個人於住家室內外暴露的臭氧平均濃度預測值。 $C_{c,k} \times F_{\infty}$ 為第 k 小時內個人非於住家及學校附近室外暴露的臭氧平均濃度預測值。各參數意義如下所示：

$$C_{oh,k} = (C_{oh24}/C_{c24})(C_{c,k})$$

$$C_{ih,k} = (C_{oh,k})(I/O)_h$$

$$C_{os,k} = (C_{os24}/C_{c24})(C_{c,k})$$

$$C_{is,k} = (C_{os,k})(I/O)_s$$

C_e = 24 小時臭氧暴露平均濃度預測值

$C_{ih,k}$ = 第 k 小時住家室內臭氧平均濃度預測值

$C_{oh,k}$ = 第 k 小時住家室外臭氧平均濃度預測值

$F_{oh,k}$ = 第 k 小時於住家室外時間的比率

$F_{ih,k}$ = 第 k 小時於住家室內時間的比率

C_{oh24} = 住家室外 24 小時臭氧平均濃度實測值

C_{c24} = 監測站 24 小時臭氧平均濃度實測值

$C_{is,k}$ = 第 k 小時教室室內臭氧平均濃度預測值

$C_{os,k}$ = 第 k 小時教室室外臭氧平均濃度預測值

$F_{os,k}$ =第k小時於教室室外時間的比率
 $F_{is,k}$ =第k小時於教室室內時間的比率
 C_{os24} =教室室外24小時臭氧平均濃度實測值
 C_{c24} =監測站24小時臭氧平均濃度實測值
 $C_{c,k}$ =監測站第k小時臭氧平均濃度實測值
 $(I/O)_s$ =住家室內外24小時臭氧平均濃度比
 $(I/O)_h$ =教室室內外24小時臭氧平均濃度比
 F_{∞} =第 k 小時不在教室室內外及住家室內外時間的比率

圖 1. 顯示臭氧平均暴露濃度實測值與模式 A 預測值迴歸分析的判定係數為 0.71，模式 A 在預測學童臭氧平均暴露濃度上有良好的準確度。

從住家及學校教室的室內外的臭氧平均濃度比值與門窗因子的迴歸模式中可以發現，門窗因子與室內外的臭氧平均濃度比值有良好的線性關係。藉由住家及學校教室門窗因子的數據可以估計其室內外的臭氧平均濃度比值。

Thompson 等[3]指出不同的建築物可能有不同的室內外臭氧平均濃度比值。若要改善模式的預測能力，除了必須考慮各種不同微環境的室內外臭氧平均濃度比值外，對於各微環境其影響室內外臭氧平均濃度比值的因素也必須加以考量。

本研究只針對依賴門窗通風的建築物類型進行採樣。若要進一步瞭解個人臭氧暴露的其他各種情況，對不同的住家類型及通風狀況有必要做進一步的探討。

四、計畫成果自評

本研究大致上均已達成原計劃預期目標，而本研究之內容與原計劃亦大致相符。本研究的主要發現為室內外臭氧平均濃度比值與門窗因子(將門窗開啟面積與樓地板面積的比值，以及門窗開啟時數與採樣時數比值相乘而得)之間呈現良好的線性關係。此項發現對於個人臭氧暴露評估具有甚高的學術與應用價值。另外，本研究根據文獻已有模式加以改進而得的個人臭氧暴露評估模式 A，其預測能力相當良好。本研究結果已撰寫成一篇碩士論文

[4]，並計劃在學術期刊發表。

五、參考文獻

- [1] Horstman, D.H., L.J Folinsbee, P.J. Ives. S. Abdul-Salaam and W.F McDonnell. Ozone Concentration and Pulmonary Response Relationships for 6.6 Hours Exposures with Five hours of Moderate Exercise to 0.08, 0.10, 0.12 ppm. Am Rev Respir. Dis, Vol. 142: 1158-1163 (1990).
- [2] Liu, L.-J. S, P. Koutrakis, H. H. Suh, J. D. Mulik, and R. M. Burton. Use of Personal Measurements for Ozone Exposure Assessment: A Pilot Study. Environmental Health Perspective. 101: 318-324 (1993).
- [3] Thompson, C. R, E. G. Hensel G. Kats. Outdoor-Indoor Levels of Six Air Pollutants. J. Air & Waste Management Association, 23: 881-886 (1973).
- [4] 李元鼎 台北市中山區國小學童之臭氧暴露評估。國立台灣大學公共衛生學院環境衛生研究所碩士論文，中華民國八十八年六月。

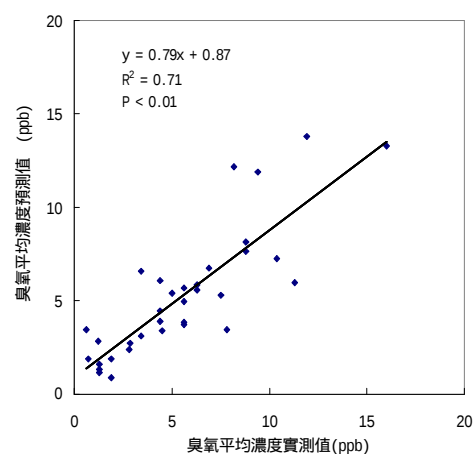


圖 1.1998 年 12 月至 1999 年 3 月間中山區國小學童 24 小時臭氧暴露平均濃度實測值與模式 A 估計的預測值之比較