

✧  
✧  
**食用油油煙之危害鑑定**  
✧  
✧

中 華 民 國 90 年 10 月 26 日

# 行政院國家科學委員會專題計畫成果報告

## 食用油油煙之危害鑑定

### Hazard identification of exposure to heated Chinese cooking oils

計畫編號：NSC 89-2314-B-002-470

執行期限：88 年 8 月 1 日 至 90 年 7 月 31 日

報告日期：90 年 10 月 26 日

主持人：林嘉明

國立台灣大學環境衛生研究所

#### 一、中文摘要

華人婦女抽煙率低，但是肺癌發生率居世界之冠，且多為男性少見的腺癌，流行病學觀察指向華人特有之炊煮方式所致之油煙。故本研究以三種國人常用之食用油（沙拉油、豬油、花生油）為研究對象，在 250°C 下加熱攪拌，針對其產生之油煙以三種方法、多種採集介質採集油煙之氣相及微粒相，並以 HPLC、GC-MS 等對油煙中的成分做比較廣泛的化學物種鑑定，再依據三大毒性資料庫提供之資訊篩選其所含可能的致癌物，並且加入暴露預設值試圖推估其致癌風險，而後對油煙的水溶性物做生物檢測。三種油品共鑑定出 134 種化學物種，主要包括脂肪酸及其酯化物、脂肪族醇、脂肪族醛、及一些高碳數的煙類物質。以美國國家醫學圖書館所提供之線上毒性資料庫逐一進行危害比對，其中僅有甲醛（IARC 致癌性分類 2A）、乙醛及 DEHP（IARC 分類 2B）等在油煙中含量相對較少的物質，疑似具有人類致癌性及其他基因毒性。進一步定量油煙中的甲醛、乙醛、丙烯醛，知其濃度分別為沙拉

油的  $0.150 \pm 0.025$  ppm、 $0.767 \pm 0.196$  ppm、 $0.677 \pm 0.186$  ppm，花生油的  $0.543 \pm 0.038$  ppm、 $2.818 \pm 0.328$  ppm、 $2.415 \pm 0.308$  ppm，及豬油的  $0.141 \pm 0.022$  ppm、 $0.690 \pm 0.127$  ppm、 $0.581 \pm 0.140$  ppm。基於上述甲醛及乙醛的產率，設廚房體積  $10.30 \sim 47.60 \text{ m}^3$ 、換氣率每小時 24.31~27.96 次，暴露婦女體重 35.7~73.3 公斤、呼吸率 19L/min 等條件下，以每日暴露 1.5 小時、每年 350 日、共 30 年的暴露情境，利用 U.S. EPA 所提供的致癌斜率係數等資料進行風險的初估，發現三種油品油煙中暴露甲醛及乙醛之總致癌風險介於  $8.63 \times 10^{-8}$  與  $5.52 \times 10^{-6}$  之間，未明顯高出可接受之致癌風險水準（ $10^{-6}$ ）。因此現階段認為單純由食用油油煙之甲醛與乙醛所貢獻之致癌危害只有限的說明中式烹調致癌的可能。

關鍵字：肺癌，食用油油煙，化學物種鑑定，危害鑑定，風險評估

#### Abstract

Having low tobacco smoking,

Chinese women's lung cancer, most differentiated as adenocarcinoma, has top rate in the world. Epidemiological studies point to oil smoke from Chinese cook. Therefore, soybean oil, peanut oil and lard, the three commonly used cooking oil in Taiwan, were subject to study. Pollutants both in gas phase and particulate phase from heating oil at 250 °C were collected by using three methods with several types of collection media and analyzed by HPLC and GC-MS in order to conducting a comprehensive identification of chemical species. Among them, the probable carcinogenic species were examined by following information in three toxicological databases, and the cancer risk under the default exposure scenario was estimated. Furthermore, *Salmonella* bioassay for the condensates from the oil smoke bubbled water solution was carried out. A total of 134 chemicals in the classes of fatty acid, ester, aliphatic alcohol, aldehyde and long-chain alkane were identified. The hazardous effect of these chemicals were examined according to three toxicological databases, provided online by U.S. National Library of Medicine. Among those chemicals in smoke, only formaldehyde, acetaldehyde and DEHP were weighed as the suspected (probable or possible) human carcinogens and genotoxins, according to the IARC classification. The yields of formaldehyde, acetaldehyde and acrolein, respectively, were  $0.150 \pm 0.025$  ppm,  $0.767 \pm 0.196$  ppm, and  $0.677 \pm 0.186$  ppm for soybean oil;  $0.543 \pm 0.038$  ppm,  $2.818 \pm 0.328$  ppm, and  $2.415 \pm 0.308$  ppm for peanut oil; and

$0.141 \pm 0.022$  ppm,  $0.690 \pm 0.127$  ppm, and  $0.581 \pm 0.140$  ppm for lard. Based on these yields of both formaldehyde and acetaldehyde, we use the U.S. EPA derived cancer slope factors to estimate the potential cancer risk for women at kitchen. In a kitchen with the volume of 10.30 to 47.60 m<sup>3</sup> and air exchange rate of 24.31 to 27.96 per hour, the exposed women with body weight of 35.7 to 73.3 kg, regularly taking the contaminated air at the rate of 19L/min for 1.5 hours per day, 350 days per year, in 30 years, would have the estimated cancer potency between  $8.63 \times 10^{-8}$  and  $5.52 \times 10^{-6}$ . For most exposure levels, these estimates would not be significantly higher than the acceptable cancer risk ( $10^{-6}$ ). Thus, it is concluded that the possible carcinogenic hazard due to Chinese cooking may only partially be attributable to the formaldehyde and acetaldehyde contained smoke from heating cooking oil alone.

Keyword: lung cancer, cooking oil smoke, chemical species identification, hazard identification, risk assessment

## 二、緣由與目的

過去華人婦女肺癌的高發生率被廣泛的探討<sup>[1-6]</sup>；而台灣地區自民國 75 年起，肺癌更竄升成為女性癌症死因的第一位<sup>[7]</sup>。然基於男女吸菸比例與肺癌發生並未呈現一致的趨勢，加上一些病理學研究的發現，認為婦女肺癌的病理組織型分佈以腺癌(adenocarcinoma)居首，相較於抽煙而言，懷疑油煙等室內污染源的暴露可能與

華人婦女肺癌居高有關<sup>[1]</sup>，因為女性居家時間長，且炊煮一般為家居婦女之責，故暴露污染物多而且時間長<sup>[8-10]</sup>。Zhong<sup>[11]</sup>等人整理油煙相關的流行病學及動物實驗研究，指出烹調時油煙的暴露可能是造成華人婦女肺癌主要因素，而這些動物實驗中亦發現油煙中的氣相或微粒相物質具有致突變性或是基因毒性。

華人的炊煮方式包括煎、炒、油炸、蒸煮，前三者在高溫下，食用油中之油脂會熱分解及（或）氧化形成氣態或蒸氣態的物質包括 PAHs、Aldehydes 等等可疑的致癌物<sup>[12-15]</sup>，而且可能因油品種類、使用溫度、炊煮方式、抗氧化劑的有無等等而發生變化<sup>[16-19]</sup>，如加了抗氧化劑 butyl hydroxyanisole 或氫化後之菜籽油及豬油油煙之濃縮物沒有致突變的反應。<sup>[20]</sup>另外，葛氏在本土進行的流行病學調查，認為豬油使用者肺癌發生率高於其他兩種食用油之使用者<sup>[21,22]</sup>，但是姜氏發現豬油油煙中含 PAH 最低<sup>[23]</sup>，而林氏等則發現 300°C 以上時豬油的甲醛發生率最高。<sup>[24]</sup>

關於油煙中化學物分析，雖然已有相當的進展，但大部分研究仍著重單一物種之分析，如 PAHs、醛類、VOCs 及一些其他物質如異環胺類（heterocyclic amines）<sup>[22-35]</sup>等，廣泛的物種探討相對較少<sup>[36]</sup>。再者這些實驗所使用油品、油溫、有無加入食物等控制條件不盡相同，結果的整合比較有其困難。因此，為評估單獨加熱油品在油煙產生中所扮演的角色，並建立油煙中完整之化學物種資訊而進行本研究。研究之目的如下：

1. 在模擬條件下，以不同採集介質收集油煙之粒狀物、氣狀物，鑑定其化合物，以期建立油煙中較完整的化學物種資訊，並參考毒性資料庫鑑定化合物之危害，篩選其中被認為有致癌性的特定化學物種進行定量，並以合理的假設進行

其健康風險的初估。

2. 以油煙之脂溶性濃縮物與水滌洗液進行致突變之生物檢測，並與上項化學鑑定之可能致癌物之純物質做比較。

### 三、材料與方法

#### 食用油的選取

選取國人較常使用之三種食用油：沙拉油、花生油、豬油。豬油由超市購自某廠牌商品，製程取豬皮下脂肪煎炸，經過濾、冷卻，不經精練而得，購入後置於 4°C 冰箱中。沙拉油及花生油則購自某 GMP 合格廠牌，油脂純度高達 99.9% 以上，購入後則置放於陰涼乾燥處。油品廠商宣稱並未添加任何抗氧化劑。

#### 油煙的發生及採樣

食用油 100mL 由直徑 12 公分的不銹鋼鍋盛裝，內置磁控攪拌子（轉速為 3rpm 或 110~120rpm），置於加熱包。加熱包外接可調式變壓器以控制加熱溫度在 250°C ± 5°C 內，油溫以探針式溫度計量測。所有的這些設備均架設在容積為的氣罩內，此氣罩處於接近密閉狀態，充當採樣腔。採樣口附近架設手提式溫濕度計，以記錄採樣當時採樣腔內之溫度、濕度。

採樣前先清潔採樣腔，架設採樣器，然後將 HEPA 淨化後的空氣以流率 40L/min 導入採樣腔進行迫淨（purge）30 分鐘。迫淨完成後，先採空白樣品，然後加熱約 15-20 分鐘，待溫度到達 250°C 穩定時，開始採樣。採樣分析的項目包括下列：

- 1、利用微孔均質沈積衝擊器（MOUDI<sup>TM</sup>）做分徑採樣、重量分

析。採樣口與油面之垂直距離為 50 公分，與油鍋中心點的水平距離為 30 公分。採樣流率為 30L/min，採樣時間為 30 分鐘。

2、利用微粒電移動度掃描分徑器

(SMPS) 採樣，做分徑微粒之數目濃度分析。採樣口在離油面 30 公分，距油鍋中心點水平距離為 30 公分之處。採樣流率為 0.3L/min，採樣時間為 60 分鐘，設定每隔 6 分鐘掃描一次。

3、使用鐵氟龍濾紙 (PTFE Membrane Filter, 37mm, 2  $\mu$ m, SKC, USA)

濾紙置於兩片式濾紙夾採樣油煙，做多環芳香警化合物之

HPLC/Fluorescence 的分析。採樣口與油面距離為 50 公分，與油鍋中心點的水平距離為 30 公分。沙拉油、花生油採樣流率為 4 L/min，豬油為 2 L/min，採樣時間皆為 60 分鐘。

4、參考 NIOSH-5515 之採樣分析標準方法<sup>[37]</sup>，以 PTFE 濾紙串接 XAD-2 吸附管採樣，進行 GC/MS 分析。採樣口與油面之垂直距離為 30 公分，與油鍋中心點的水平距離為 15 公分。採樣流率為 2 L/min，採樣時間皆為 60 分鐘。

5、參考 NIOSH-2539 之採樣分析標準方法<sup>[38]</sup>，以塗敷 10% 2-HMP

(2-hydroxymethyl piperidine) 的

XAD-2 吸附管為採樣介質

(120mg/60mg, SKC, USA)。針對空氣中醛類物質進行採樣分析，用於分析 12 種低碳數的醛類。流率為 0.083L/min，採樣時間為 60 分鐘，採樣總體積接近 5L；每次採樣採三個樣本及一個空白樣本

6、參考 NIOSH-2549 之採樣分析標準方法<sup>[39]</sup>，使用填充多層吸附劑之吸附管，針對空氣中揮發性有機物

(VOCs) 進行採樣分析，為熱脫附管 (Thermal Desorption Tube, Carbotrap 349, Supelco, U.S.A) 填充 Carbopack Y, Carbopack B, Carboxen-1003 等採樣介質。採樣流率為 0.05L/min，採樣的時間為 60 分鐘，採樣總體積為 3L；每次採樣採三個樣本及一個空白樣本。

樣本分析之前處理 (溶劑萃取濃縮或熱脫附)

除微孔均質沈積衝擊器 (MOUDI<sup>TM</sup>) 之採樣與微粒電移動度掃描分徑器 (SMPS) 採樣之外，其餘之樣本分別做下列溶劑萃取或熱脫附以備其後之儀器分析：

1、為 HPLC 分析用 (或 GC/MS 分析用) 之採樣後 PTFE 濾紙置於 4mL 的棕色樣品瓶，加入 2mL 氟化甲烷，靜置一小時後，以超音波震盪一小時，中間每隔 15 分鐘換水一次。之後以 0.45  $\mu$ m 之針筒過濾器進行過濾。取 1.6mL 萃出液以高純氮吹乾，加入 200  $\mu$ L 氟化甲烷，再加入 0.2  $\mu$ g/mL 內標溶液 1  $\mu$ L，待 HPLC 分析 (再加入 0.04  $\mu$ g/mL 內標溶液 (p-terphenyl) 20  $\mu$ L，待 GC/MS 分析)。

2、為 GC/MS 分析用之 XAD-2 吸附管。採樣後吸附劑置於 4mL 的棕色樣品瓶，加 2mL 二氯甲烷，其餘步驟同上項處理。

3、為 2-HMP 吸附管樣本。將前後段吸附劑分別置於 1.8mL 的棕色樣品瓶中，各加入 1mL 甲苯，以超音波震盪一小時。之後以 0.45  $\mu$ m 之針筒過濾器進行過濾，密封冷藏，待 GC/MS 分析。

4、為多層吸附劑之吸附管。置於熱脫附儀脫附，經 GC 層析後以 MS 偵測分

析。熱脫附時，首先以微量注射針取 1 $\mu$ L 1000 $\mu$ g/mL 內標 d6-benzene (Ultra Scientific, U.S.A)，於熱脫附儀閒置狀況下 (40 $^{\circ}$ C) 置入採樣管，以流率 30mL/min 的高純氦氣，300 $^{\circ}$ C 脫附 10 分鐘，同時以熱脫附儀內裝之吸附管捕集 (trap, -140 $^{\circ}$ C, 10min)；再度脫附 (300 $^{\circ}$ C, 10min)，並同時於 GC 注射孔第二次捕集 (focus, -140 $^{\circ}$ C, 10min)；最後以 300 $^{\circ}$ C 脫附注入 GC 之層析管柱，進行 GC/MS 分析。

### 油煙微粒分徑之濃度分析

微粒分徑之重量濃度與數目濃度，分別採用 MOUDI<sup>TM</sup> 與 SMPS，前者所得樣本需要配合使用精密天平秤重，下列進一步說明此兩種分析設備：

#### 1、微孔均質沈積衝擊器 (Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor, MOUDI<sup>TM</sup>) 與重量分析

微孔均質沈積衝擊器 (MOUDI<sup>TM</sup>) 為十階衝擊板組成的階梯式衝擊器 (cassette impactor)。截取的空氣動力直徑 (cut point diameter) 範圍為 18 $\mu$ m ~ 0.056 $\mu$ m。經預測後，發現油煙微粒甚小，只選擇第 5、6、7、8、9 階再加最後一階 37mm 濾紙為後濾裝置來採集油煙微粒，截取空氣動力直徑分別為 1.0、0.56、0.32、0.18、0.1 $\mu$ m、小於 0.1 $\mu$ m。

採樣完成後，每片濾紙立即使用天秤秤淨重。秤重前以放射源照 20 秒以上，去除靜電。基於品管的需要，隨機自一批濾紙中取出一張濾紙當作標準片，連續兩次秤重差值的 95% 信賴區間為 -5.018~+5.088 $\mu$ g，是故同一樣本連續兩次秤重相差落在此 95% 信賴區間內則接受秤重數值並求其平均，否則重新秤量。微粒重量濃度之計算公式如下：

$$C = \frac{(Ws - Wsf) - (Ws - Wbf)}{F \times T \times 10^{-3}}$$

C：微粒重量濃度 (mg/m<sup>3</sup>)

Wsf：樣本濾紙採樣前重量 (mg)  
Ws：樣本濾紙採樣後重量 (mg)  
Wbf：空白濾紙採樣前重量 (mg)  
Ws：空白濾紙採樣後重量 (mg)  
F：採樣流率 (L/min)  
T：採樣時間 (min)

#### 2、微粒電移動度掃描分徑器 (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS)

微粒電移動度掃描分徑器 (SMPS) 是由靜電分徑儀 (Electrostatic Classifier, EC) 和凝結核微粒計數器 (Condensation Particle Counter, CPC) 兩部分組合。懸浮微粒進入靜電分徑儀內部，因電移動度的不同區分微粒的粒徑，分徑後的微粒進入凝結核微粒計數器中，先在 37 $^{\circ}$ C 下與正丁醇飽和蒸汽混合，隨後通過 10 $^{\circ}$ C 的管子，正丁醇凝結於微粒表面使得微粒長大至可偵測的範圍，最後利用光學原理進行顆粒計數的工作。凝結核微粒計數器所量測的粒徑範圍設定為 13.3~777.4nm。

#### 微粒所載 PAHs 之高效率液相層析

#### (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)

上述採微粒之濾紙樣本經溶劑萃取後，以高效率液相層析 (HPLC) 儀器分析。使用逆相分離管柱 (reverse phase column, 3.2mm x 12.5cm)，置於 29 $^{\circ}$ C 烘箱 (oven) 內。移動相採程式梯度沖提 (program gradient elution)，氟化甲烷與水的混合比例隨著時間而變化，流率為 0.9mL/min。樣本利用自動注射器 (autosampler) 注射，每一個樣本重複分析三次，每次注射量為 40 $\mu$ L，分析時間為 45 分鐘。偵測器為螢光偵測器 (fluorescence detector)。對於 14 種 PAHs 分別選擇不同的激發波長和發射波長來進行偵檢。所得圖譜用訊華軟體處理，求

出各 PAH 波峰與內標的相對滯留時間，再和 PAHs 標準品與內標之相對滯留時間的 95%信賴區間做比對，以認定 PAHs。然後，利用 14 種 PAHs 之檢量線分別求出濃度。各檢量線除了 benzo(g,h,i)perylene 為 0.9942 之外，其餘 13 條檢量線之  $R^2$  值均在 0.995 以上。另外，偵測極限最高者為 acenaphthene 的 4.064 ng/mL；最低者為 benzo(b)fluoranthene 的 0.190 ng/mL。

利用氬化甲烷進行萃取添加於鐵弗龍濾紙的 PAHs，所得到的回收效率不等，平均回收效率為 12.21% (naphthalene) ~ 90.98% (benzo(a)pyrene)，其中對於高分子量之 PAHs 的萃取效率，明顯高於低分子量之 PAHs。對於四環以上 (fluoranthene 以上) 的 PAHs，回收率都在 70% 以上。

## 油煙中氣相及固相所載化合物之

### GC/MS 分析

各種採樣方法所得樣本經前處理之後，其 GC/MS 分析條件及結果之判讀準則略有不同，茲進一步分別說明如下：

1. 上述前處理所述 PTFE 濾紙及 XAD-2 採樣管之樣本經溶劑萃取後，使用 GC/MS 進行層析加以偵測分析，GC/MS 之分析條件如下：

GC 為 HP5890 型號，使用管柱為 RTX-5 (30m, 0.25mm id, 0.25  $\mu$ m coated)，層析的升溫條件為：初始為 40°C 維持 3 分鐘，再以每分鐘 10°C 升溫至 290°C，最後在 290°C 停留 17 分鐘，全程共計 45 分鐘。樣品採手打針方式，先採不分流注入 (splitless injection)，5 分鐘之後開始分流，注入口 (injector) 溫度為 300°C。層析所使用的載流氣體為高純氬氣 (ultra high-purity nitrogen)，流速為每 1  $\mu$ L/min。偵測器 (detector) 通往 Mass 偵測儀，溫度為 300°C。

MS 為 HP5971A 型號，採用掃描模式

(scan mode)，偵測  $m/z$  35~350，延遲偵測 (solvent delay) 時間為 6 分鐘。分析其  $m/z$  組成後，以自動積分 (autointegrate) 及 library search 進行定性。

分析圖譜比對時，設定自動積分功能參數，僅對面積百分比大於 0.1% 的波峰進行積分 (每個樣本約 70~100 個波峰)，並檢查積分所繪製的基線是否適當，若有錯誤，則手動修正或捨去該波峰資料不計，進行圖庫搜尋 (library search) 比對。列印自動積分及圖庫搜尋結果之報表，依照報表中的比對結果對圖譜再次做目視確認，保留以下三種比對結果：

- (1)、圖庫搜尋比對之 Quality 值在 90 以上，且經目視比對確認無誤者。
- (2)、圖庫搜尋比對之 Quality 值在 90 以上，但無法以目視比對確認其錯誤者。
- (3)、圖庫搜尋比對之 Quality 值在 90 以下，但經目視比對確認其為某種化合物者。

2. 2-HMP 樣品經前處理之後，使用 GC 層析以 MS 偵測分析，GC/MS 之分析條件如下：

層析管柱為 DB-5 (30m  $\times$  0.32mm  $\times$  1  $\mu$ m, J&W Scientific, U.S.A)，採用的升溫操作：初始溫度為 70°C 維持 1 分鐘，以每分鐘 6°C 升溫至 100°C，維持 2 分鐘，再以每分鐘 30°C 升溫至 280°C，停留 10 分鐘，全程共計 24 分鐘。樣品注入之體積皆為 1  $\mu$ L，先採不分流注入，30 秒之後開始分流，注入口溫度為 250°C。載流氣體為高純氬氣，流率為 1 mL/min。偵測器 (detector) 通往 Mass 偵測儀，溫度為 280°C。

MS 採用掃描模式，偵測  $m/z$  35~350，延遲偵測 (solvent delay) 時間為 3 分鐘。分析其  $m/z$  組成後，針對醛類衍生物之特性  $m/z$  值逐一進行定性。各種醛類-2HMP 衍生物之基峰 (base peak) 的質荷比 ( $m/z$ ) 值主要為 97 及 126，且各種醛類有其特定之質荷比 (characteristic ions  $m/z$ )。利用 MS ChemStation 軟體內建之

Extract Ion Chromatograms 功能，找出質荷比中含有 97、126 及 192 的波峰，並與其他特定質荷比目視確認，定出 12 種醛類可能的滯留時間。觀察並記錄波峰分離狀況是否良好，必要時修改層析條件以改善分離狀況；另檢查積分基線是否適當並修正之，記錄其所在位置之滯留時間、積分面積、及分離狀況等於鑑定結果中。

3. 多層吸附劑吸附管採樣之樣品。經熱脫附之後的 GC/MS 分析，使用管柱為 DB-1 (60m × 0.25mm × 0.25μm, J&W Scientific, U.S.A)，層析的升溫條件初始為 37°C 維持 4 分鐘，然後每分鐘 10°C 升溫至 100°C，再以每分鐘 15°C 升溫至 220°C，最後以 30°C/min 升溫至 300°C 停留 1 分鐘，全程共計 26 分鐘。樣本分析開始時先不分流，0.3 分鐘之後開始分流，注入口溫度為 280°C。層析所使用的載流氣體為高純氮氣，流率為 0.9mL/min。偵測器 (detector) 通往 Mass 偵測儀，溫度為 280°C。

MS 採用掃描模式 (scan mode)，偵測 m/z 35~350。以自動積分 (autointegrate) 及 library search 進行定性。

分析圖譜比對同前述 NIOSH 5515 方法之部分。鑑定結果判讀程序亦同。

### 油煙中化學物種之危害鑑定

採用美國國家醫學圖書館 (U.S. National Library of Medicine, NLM) 所提供之特定化學物質相關毒性資訊網路資料庫 (Toxicology Data Network, TOXNET®)。選出其中三個致癌相關資料較為充足的資料庫，作為篩選物種危害的基準，分別為：

- Hazardous Substances Data Bank, HSDB®
- Integrated Risk Information System, IRIS
- Chemical Carcinogenesis Research Information System, CCRIS®

按 GC/MS 化學物種鑑定結果，逐一於資料庫內搜尋，記錄並整理其各化學物種致癌性、致突變性及基因毒性相關之資料。最後將三個毒性資料庫所比對整理出的結果依據化學物質別進行彙整，列出

1. 化學物質之 IARC 之致癌分類，
2. EPA 之致癌分類，
3. 暴露某致癌化合物單位濃度暴露的單位風險 (unit risk)，
4. 在特定可接受之 risk 下的可容許暴露濃度，
5. 基因毒性相關資訊，
3. 相關之毒性試驗包括致癌性、致突變性、促腫瘤性及抑制腫瘤性等試驗之個案數整理。

### 油煙中甲醛、乙醛及丙烯醛的定量

上述危害鑑定後認為有必要對甲醛、乙醛及丙烯醛做進一步的定量，故重新採樣。採樣主要沿用 NIOSH 方法 2539。除採樣之流率略為降低外 (沙拉油 0.02L/min、花生油 0.03L/min、豬油 0.05L/min，三者皆在 2539 方法建議之 0.01~0.05L/min 的範圍內)，其餘採樣流程、採樣時間及樣本前處理步驟等皆與前面述相同。

甲醛、乙醛、丙烯醛的偵測極限分別為 0.25μg/sample、0.31μg/sample 及 0.11μg/sample。而甲醛、乙醛、丙烯醛之預估可量化最低濃度分別為 2.49μg/sample、3.07μg/sample 及 1.09μg/sample。

### 油煙中致癌化合物致癌風險初估

本研究配合以下假設條件推估可能經由油煙暴露甲醛、乙醛及丙烯醛的暴露情境：

1. 廚房空間之假設：根據調查，國內典型之廚房之大小範圍約介於 4.3m<sup>2</sup>~19.8m<sup>2</sup> (1.3 坪~6 坪) 之間 [40,41ii,iii]。而在無其他通風排氣設備之情況下，以實驗模擬 [42 iv] 得廚房之自然通風在一般之狀況下為每小時換氣 24.31 次~27.96 次，因此廚房內整體之單位時間換氣量 (Q) = (廚房體積) × (單位時間換氣次數)。故以廚房體積 10.3m<sup>3</sup>~47.63m<sup>3</sup> (樓高 2.4m)，換氣率 24.31~27.96 (次/hr) 為基本假設，推算換氣量為 250.4 m<sup>3</sup>/hr~1331.7 m<sup>3</sup>/hr。

2. 油煙中醛類產生之暴露濃度推估：在油煙之產生方面，由於採樣模擬之採樣腔體積與實際廚房空間有差異，故以本研究所得醛類之濃度為基礎換算成單位時間醛類之產生率。假設本研究採樣腔內油煙之分布均勻，將醛類之濃度  $\times$  採樣腔總體積  $\div$  採樣時間，所得即為此一條件下之油煙產生率 (G)。但由於本實驗並未進行多次重複的採樣，故參考許氏<sup>[43]</sup>研究油煙產生之變異情形，用以推估重複產生油煙之濃度分布。許氏之研究其設備與加溫之條件與本研究相同，在相同條件下產生油煙三次之變異係數 (coefficient of variance, CV) 分別為沙拉油 4.57%、花生油 5.28%、及豬油 13.70%。將前述油煙之醛類產生率、換氣量及廚房空間等參數，經由下述公式<sup>[44v]</sup>換算成廚房中經由油煙暴露醛類之推估濃度 (C,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )：

$$C = \frac{G [1 - e^{-(Q/V)t}]}{Q}$$

其中：G：醛類之小時產生率 ( $\text{mg}/\text{hr}$ )  
 Q：廚房之小時換氣量 ( $\text{m}^3/\text{hr}$ )  
 V：廚房體積 ( $\text{m}^3$ )  
 t：總暴露時間 (hr)

3. 暴露時間的標準化：本研究以婦女為主要的暴露族群，推算其可能的暴露情形。根據調查，國人婦女每日平均之烹調時間約為 1.5 小時 (三餐合計)，然不同之生活形態會影響其烹調的頻率，如早、午餐的烹調次數上有城鄉差距的情形。由於烹調情形之變異較大而不易掌握，僅假設典型家庭主婦之烹調情形為每日 3 次 (共計 1.5 小時)，每年 350 日，共暴露 30 年，而不考慮其他變異情形。
4. 暴露受體特性的標準化：據衛生署之調查<sup>[45vi]</sup>，國內 19-44 歲婦女之平均體重約為 55 公斤，假設其為常態分布；而呼吸率根據國際輻射防護學會 (International Commission on

Radiological Protection, ICRP) 之成人體格標準值 (standard values for adults) 之建議假設為每分鐘 19 公升 (女性成人，輕活動狀況)<sup>[46vii]</sup>，搭配上上述 1.5 小時換算得每日烹調時吸入空氣量為  $1.71\text{m}^3$ ，至於終生之平均風險則以衛生署統計之女性平均壽命 78 年為準<sup>[47viii]</sup>，即  $78 \times 365 = 28470$  日。上述呼吸率之假設雖然因人而異，但由於其變動之幅度相對較小，加上國內目前並無完整之相關調查，本研究僅以其平均值作為標準計算其風險值。此外，由於本實驗僅進行風險之初估，醛類進入體內之代謝或分布情形等較複雜之因素暫不考慮。

在上述假設的暴露情境下計算致癌風險。首先應用傳統之風險評估方法，考慮極端值的暴露情形，求出在最好至最壞的情形下可能的致癌風險範圍。致癌風險 (target cancer risk, TR) 的計算公式如下：

$$\text{TR} = \frac{C \times \text{IRA} \times \text{EF} \times \text{ED} \times \text{CPSi}}{\text{BW} \times \text{AT} \times 1000}$$

$\mu\text{g}/\text{mg}$

其中 C：環境空氣中之醛類濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

IRA：每日烹調時呼吸量 ( $\text{m}^3/\text{day}$ )

EF：暴露頻率 (day/year)

ED：暴露期間 (year)

CPSi：吸入性之潛在致癌斜率係數 (risk per  $\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$ )

BW：體重 (kg)

AT：終生日數 (day)，28470 日

利用前述界定的最大值、最小值及平均值進行風險的估算。以最壞的情況為例，當醛類之產生率最大時，於廚房體積最小 ( $10.3\text{m}^3$ )，通風狀況最差 (換氣率 24.31 次/hr) 以及暴露受體的體重最輕的情形下，可能之風險值即為其最大之致癌風險值；反之則為最小的風險值。其中由於醛類產生率及暴露受體的體重假設為常態之

分布，故其極端值以 95% 的信賴區間上下限 (upper & lower limit of 95% CI) 為其極端值，表 6 為各項參數之設定條件。

另一方面，利用蒙地卡羅模擬方法，以 Crystal Ball (Decisioneering, U.S.A.) 軟體進行模擬，以隨機的方式自假設的參數範圍中進行抽樣計算，進行不確定性之分析。此方法界定影響暴露及風險估算之各參數數值的分布情形，以隨機的方式自各分布中進行抽樣 ( $n=10,000$ ) 計算其風險值，預測 (forecast) 風險的隨機分布情形，並以靈敏度分析 (sensitivity analysis) 計算各參數值對風險值變異的貢獻程度。此項分析時所用各項參數之界定如表 6 所述。

### 油煙水萃取溶液的致突變檢定

產生油煙後，以 PTFE 濾紙串接內裝 10mL 逆滲透水的小型衝擊器 (impinger)，以流率 50 mL/min 採集油煙 30-35 分鐘。PTFE 濾紙以逆滲透水萃取之後，連同小型衝擊器所採集之水溶液，分別稀釋為 1-0.001 倍的一序列水溶液，然後進行 Ames 檢測。<sup>[48, 49]</sup> 使用之菌種為 *Salmonella typhimurium* TA 98 或 TA 100。當菌種為 TA 98 時 NQNO (4-nitroquinoline-N-oxide) 當作 positive 的對照；當菌種為 TA 100 時  $\text{NaN}_3$  當作 positive 的對照。除樣品之外，亦對現場空白及逆滲透水進行檢測。

## 三、結果與討論

### 油煙中懸浮微粒之粒徑分析

#### 油煙微粒之質量濃度分布

沙拉油油煙微粒質量濃度主要由截取粒徑為  $0.56\mu\text{m}$ 、 $0.32\mu\text{m}$ 、 $0.18\mu\text{m}$  者所貢獻，共佔總採集質量的 89.5%。質量濃度分別為  $3.494\text{ mg/m}^3$ 、 $2.723\text{ mg/m}^3$ 、 $2.987\text{ mg/m}^3$ 。(圖 1)。

花生油油煙微粒質量濃度主要由截取粒徑為  $1\mu\text{m}$ 、 $0.56\mu\text{m}$ 、 $0.32\mu\text{m}$  者所貢獻，共佔總採集質量的 89.9%，質量濃度分別為  $3.893\text{ mg/m}^3$ 、 $9.774\text{ mg/m}^3$ 、 $2.925\text{ mg/m}^3$ ，其中以  $0.56\mu\text{m}$  的油煙質量最多，佔總採集質量的 52.9%。(圖 2)。

至於豬油油煙微粒質量濃度則主要由截取粒徑為  $0.56\mu\text{m}$ 、 $0.32\mu\text{m}$ 、 $0.18\mu\text{m}$  者所貢獻，佔總質量的 89.8%，質量濃度分別為  $8.184\text{ mg/m}^3$ 、 $2.914\text{ mg/m}^3$ 、 $2.367\text{ mg/m}^3$ ，其中以  $0.56\mu\text{m}$  的油煙質量最多，佔總採集質量的 54.0%。(圖 3)。

比較三種食用油油煙微粒的總質量濃度，發現以花生油所產生油煙微粒之質量濃度最高 ( $18.465\text{ mg/m}^3$ )；豬油次之 ( $15.164\text{ mg/m}^3$ )；沙拉油最低 ( $10.288\text{ mg/m}^3$ )。

以上各採樣期間，採樣腔的起始濕度在 55%~60% 之間，在 60 分鐘的採樣過程中，濕度逐漸降低，至 60 分鐘後濕度減少約 10%；各採樣期間的起始溫度則在  $22^\circ\text{C}$ ~ $26^\circ\text{C}$  之間，採樣過程中，溫度緩慢上升，至 60 分鐘後溫度會上升約  $5^\circ\text{C}$ 。

#### 油煙微粒之數目濃度分布

沙拉油在加熱時間為 0~6 分鐘、30~36 分鐘、54~60 分鐘時所產生的油煙微粒，最高數目濃度分別為  $1.631 \times 10^4\text{ count/cm}^3$ 、 $1.608 \times 10^4\text{ count/cm}^3$ 、 $1.520 \times 10^4\text{ count/cm}^3$ ，對應的氣動直徑約在  $0.12\mu\text{m}$ 、 $0.19\mu\text{m}$ 、 $0.20\mu\text{m}$ 。可發現隨著加熱時間的增加粒徑越大，而數量濃度有降低的趨勢 (圖 4)。

花生油在加熱時間為 0~6 分鐘、30~36 分鐘、54~60 分鐘時所產生的油煙微粒，最高數目濃度分別為  $9.170 \times 10^3\text{ count/cm}^3$ 、 $9.161 \times 10^3\text{ count/cm}^3$ 、 $8.940 \times 10^3\text{ count/cm}^3$ ，對應的氣動直徑約在

0.25  $\mu\text{m}$ 、0.26  $\mu\text{m}$ 、0.27  $\mu\text{m}$ 。大抵而言，在加熱時間 60 分鐘內，油煙微粒的粒徑以及數目的變化不大，不過仍可觀察到隨著加熱時間的增加，粒徑略為變大而數量濃度有降低的趨勢（圖 5）。

豬油在加熱時間為 0~6 分鐘、30~36 分鐘、54~60 分鐘時所產生的油煙微粒，最高數目濃度分別為  $1.194 \times 10^4 \text{ count} / \text{cm}^3$ 、 $9.883 \times 10^3 \text{ count} / \text{cm}^3$ 、 $9.154 \times 10^3 \text{ count} / \text{cm}^3$ ，對應的氣動直徑約在 0.21  $\mu\text{m}$ 、0.26  $\mu\text{m}$ 、0.29  $\mu\text{m}$ 。可發現隨著加熱時間的增加粒徑越大，而數量濃度有降低的趨勢（圖 6）。

以上可見出不論在加熱 0~6 分鐘、30~36 分鐘或 54~60 分鐘時，沙拉油油煙微粒的數目皆為三者之最，而且粒徑最小。至於花生油在加熱 0~6 分鐘以及 30~36 分鐘時，花生油油煙微粒的數量皆比豬油多、而粒徑皆比豬油小；但在加熱 54~60 分鐘後，花生油和豬油油煙微粒之數目濃度粒徑分布極為相似，粒徑分布圖幾乎重疊（圖 7~圖 9）。

微粒相之多環芳香烴化合物及毒性  
相當濃度（toxic equivalency  
concentration）

各種 PAHs 在三種食用油油煙微粒中出現之含量不等：

benz(a)anthracene (BaA) 在沙拉油每克油煙採集物中的含量為  $1.030 \mu\text{g/g}$ 。

chrysene (Chr) 在沙拉油、花生油、豬油油煙分別為  $0.059 \mu\text{g/g}$ 、 $0.057 \mu\text{g/g}$ 、 $0.215 \mu\text{g/g}$ 。

benzo(b)fluoranthene (BbFL) 在沙拉油、

豬油油煙分別為  $0.164 \mu\text{g/g}$ 、 $0.599 \mu\text{g/g}$ 。anthracene (Ant) 在豬油油煙的濃度較高，為  $0.346 \mu\text{g/g}$ 。

benzo(k)fluoranthene (BkFL) 在豬油油煙的濃度較高，為  $0.264 \mu\text{g/g}$ ，其次為沙拉油的  $0.070 \mu\text{g/g}$  及花生油的  $0.052 \mu\text{g/g}$ 。

benzo(a)pyrene (BaP) 在花生油油煙的濃度為  $0.273 \mu\text{g/g}$ ，其次為沙拉油的  $0.181 \mu\text{g/g}$ ，豬油的  $0.097 \mu\text{g/g}$ 。

dibenz(a,h)anthrene (DBA) 在沙拉油、花生油油煙的含量則分別為  $0.833 \mu\text{g/g}$ 、 $0.157 \mu\text{g/g}$ 。

表 1 為三種食用油煙微粒中 PAHs 之毒性相當濃度。參考 EPA 等五個研究所提 PAHs 毒性相當因子（toxic equivalency factors, TEFs）資料<sup>[50]</sup>，計算三種食用油油煙微粒中 PAHs 的毒性相當濃度。發現不論取何種 TEFs，沙拉油油煙 PAHs 毒性相當濃度為最高。若參考 EPA (1984) 或 Niabet and Lagoy (1992) 之 TEFs 所得之 PAHs 毒性相當濃度，以豬油為第二高，花生油最低。但示若參考 Chu and Chen (1984)，Clemens (1986)，Thorslund (1990) 之 TEFs 所得的結果則是以花生油為第二高，豬油最低。

但此種 PAH 的發現，在以下利用 GC/MS 分析時，PAHs 在掃描中並沒有發現可能因含量至低，相對於其他含量豐富的物種在掃描中被掩蓋而忽略，而沒有被偵檢出來。

氣相與微粒相化合物之 GC/MS 分析

- 三種採樣分析方法鑑定油煙中化學物種之所見

NIOSH 方法 5515 所採用之採集介質

為 PTFE 濾紙及 XAD-2 吸附管串接而成。其鑑定結果中可發現，PTFE 濾紙主要採集到分子量較高、來自油煙中微粒相上的物質，而 XAD-2 吸附管則採集到分子量較低的部分，以揮發性或半揮發性之氣相物質為主。若以滯留時間來看，濾紙上的物種大多在 15~32 分鐘出現，而吸附管上之物種則出現的較早(7~25 分鐘)。

PTFE 濾紙採集的樣品上，共鑑定出 49 種化學物質，其中以一些酸類及酯類物質含量相對較多，主要如棕櫚酸 (palmitic acid)、亞麻油酸 (linoleic acid)、硬脂酸 (stearic acid) 等脂肪酸及其酯化物如亞麻油酸甲酯 (9,12-octadecadienoic acid, methyl ester)。而一些長鏈的烴類、醇類、醛、酮也各自在不同油品中出現，唯其量相對較少。此外，原先預期會發現的 PAHs，僅在花生油之油煙樣本中看到少量的萘 (Naphthalene, Nap)。

三種油品之油煙中所鑑定出的物種，以花生油所鑑定出的種類最多，沙拉油及豬油較少。其中同時出現在三種油品之油煙中的物種有 6,9-heptadecadiene、tetradecanal、棕櫚酸、亞麻油酸、以及 1,2-benzenedicarboxylic acid, bis(2-ethylhexyl) ester 等物質；另有數個物種僅同時出現在兩種油品中。這些同時出現於不同油品油煙中之化學物種，其含量各有多寡，並未在其油品類別上呈現一致的趨勢。

不同於 PTFE 濾紙之採集，XAD-2 採樣管除了可吸附分子量較低的化學物種外，鑑定之物質種類也較濾紙上的來得豐富，三種油品之油煙中共計鑑定出 69 種物質。其中相對含量較多的物種為長鏈的醛類、烯醛類，包括 2,4-decadienal、3-dodecen-1-al、2-decenal 及 nonanal 等。而前述微粒相上出現之大量酸類、酯類，在 XAD-2 部分僅在豬油油煙中有相同情形出現。相較於 PTFE 濾紙部分之鑑定結果，除前述一些長鏈的烴類之外，XAD-2 管也可從花生油及豬油油煙中採集到數種環狀的碳氫化合物、苯環類物質，以及少數長鏈醇、酮類物質等。

比較三種油品之油煙中物種，較為特殊的是豬油油煙中的氣相部份仍含有相對較多量的酸類、酯類物質，而另外兩種油品則未呈現一致的結果。於三種油煙中同時出現的物質種類，在氣相較微粒相部份來得多，主要包括：

長鏈的烴類 (6-dodecene、tetradecane、pentadecane、hexadecane、6,9-heptadecadiene 及 8-heptadecene)、高碳數的醛類 (2-octenal、nonanal、2-nonenal、decenal、2-decenal、undecanal、2,4-decadienal、3-dodecen-1-al、dodecanal、tridecanal) 及一些酯類等 (1,2-benzenedicarboxylic acid, butyl-phenylmethyl ester、1,2-benzenedicarboxylic acid, bis(2-ethylhexyl) ester)。

此外另在花生油油煙中發現 BHT (butylated hydroxy toluene)，為一種常用的抗氧化劑。

NIOSH 方法 2539 宣稱適用於十二種低碳數醛類之篩選。鑑定結果如表 2 所示，除了 furfural 及兩種有支鏈的醛類：異丁醛 (Isobutyraldehyde)、異戊醛 (Isovaleraldehyde) 未偵測到之外，其餘九種醛類皆存在於各油品之油煙中：甲醛、乙醛、丙醛、丙烯醛、丁醛 (butyraldehyde)、巴豆醛 (crotonaldehyde)、戊醛 (valeraldehyde)、己醛 (hexanal)、庚醛 (heptanal)。但是，丙醛由於與採集介質中未反應之 2-HMP 衍生試劑無法完全層析分離，故於花生油及豬油中無法辨識其是否存在。此外由於本實驗主要為定性，未加入內標準品作為基準，因此醛類在各油品間相對的量無法比較，僅能說明其有無。進一步的定量工作將於物種之毒性資料庫比對之後再予進行。

以填充多層吸附床的熱脫附管進行採樣，可以採集空氣中分子量較小的揮發性物質。各類鑑定出的物種皆以較低碳數的為主，共計 57 種化學物，其中相對多量的物種如一些脂肪族醇 (1-pentanol、1-octen-3-ol、1-hexanol、2-ethyl)、脂肪族醛

(2,4-heptadienal、2-heptenal 及前述之戊醛、己醛、庚醛、nonanal 及 2,4-decadienal) 等物質。相較於前述 PTFE 濾紙、XAD-2 吸附管之所見，在熱脫附管採集之樣本上鑑定出較多種類的酮類物質；而之前所鑑定出多種的酸、酯類，於熱脫附管上相對較少。

在熱脫附管採集鑑定上，不同油品所產生的油煙中鑑定出的物種相似性高，除了僅出現於沙拉油油煙中之 dihydro-2 (3H)-furanone，以及僅在花生油中被鑑定之 2-octene 等十一種化學物外，其餘物種皆同時出現在兩種或三種油品之油煙中。

### 比較不同採樣分析法所得油煙中化學物種之特性

表 3 整理三種採樣集介質(熱脫附管、XAD-2 吸附管、PTFE 濾紙)於不同油品油煙中所鑑定物種之對內標面積比，依照其分子量大小排序列表。比較三種介質所採集物種之鑑定結果，發現其採集到的主要物種依分子量排列，自小到大分別為熱脫附管、XAD-2 吸附管及 PTFE 濾紙所採集者，雖然其間互有交集，但仍呈現大略一致的趨勢。以醛類為例，熱脫附管主要採集較低碳數(C4~C12)的醛類，XAD-2 吸附管採集者皆為七個碳以上

(C7~C18)，PTFE 濾紙則以 10 個碳以上的醛類(C10~C18)為主；而烴類、醇類及酮類等物種也有類似的趨勢。

此外，某些類別的化學物種於不同油品間或採集介質上也會呈現其不同的分布情形。如苯環類物質大多分布於 XAD-2 相上，於花生油油煙中種類較多，豬油中種類較少但其相對含量較多，而沙拉油中則最為稀少。醇類及酮類物質在熱脫附管上所鑑定出之種類較其他兩種採集介質來的多，而酸類及酯類物質則正巧相反。另外一些較為特殊的物質如萘及環氧化物

(2-ethyl furan、2-pentyl furan、2-octyl furan) 等其他物質，則廣泛的出現在不同種類的油煙及採集介質中。

### 油煙中化學物種之危害鑑定

本研究 GC/MS 鑑定出的 130 餘種化學物質中，經三種資料庫的搜尋比對，僅有近 50 種化學物於毒性資料庫中有建檔，而其中 46 種化學物質有致癌性、致突變性及基因毒性相關資料。

表 4 為已鑑定化學物質之毒性資料庫比對結果。根據國際癌症研究中心(IARC)之定義，被鑑定之物種中屬於人類致癌物者包括致癌性分類 2A (probable human carcinogen) 的甲醛，分類 2B (possible human carcinogen) 的乙醛，以及 1,2-benzenedicarboxylic acid, bis(2-ethylhexyl) ester (別名 DEHP)；這三者者 U.S.EPA 的致癌性分類部分歸屬於 B (probable human carcinogen)：甲醛為 B1，乙醛及 DEHP 為 B2。部分在 IARC 被分類為 3 者(not classifiable)之化學物如丙烯醛、巴豆醛、hexanedioic acid, dioctyl ester(別名 DEHA)、1,2-benzenedicarboxylic acid, butyl-phenylmethyl ester 等，在 EPA 則被分類為 C (possible human carcinogen)，而本研究所見 PAHs 中的萘(naphthalene)亦屬於此類。至於其他化學物種，則屬於未分類或是資料庫中無相關資訊。

在 U.S.EPA 所提供的 IRIS 資料庫中，除了化學物致癌性分類外，另包括單位風險、會達到某特定風險值之空氣中濃度等資訊。如表 4-1 所示，甲醛及乙醛之吸入性單位風險值分別為  $1.3 \times 10^{-5}$  per  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  及  $2.2 \times 10^{-6}$  per  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而其於終生暴露之情況下會造成  $10^{-6}$  風險值之空氣中之濃度分別為  $8.0 \times 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$  及  $5.0 \times 10^{-1} \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。DEHP 雖疑似為人類致癌物，但其暴露途徑主要為食入，故資料庫中未定義其吸入性的單位風險及空氣中濃度值。此外，U.S.EPA 中分類 C、D 及未提及的物種於致癌風險上的資料亦付之闕如。

表 4 中亦列出鑑定出之化學物種在 HSDB® 資料庫中所整理的基因毒性資訊。甲醛具有促使 DNA 與蛋白質交叉連結(cross-link)的能力，因此具有致突變性。

乙醛在許多短期的毒性試驗皆呈現陽性反應，包括 DNA 損傷及修復、染色體畸變、姊妹染色體互換，致突變性、微核毒性及致腫瘤轉化等試驗。丙烯醛在一些短期致突變試驗亦呈現陽性反應。巴豆醛會與 DNA 形成具致癌性及染色體誘裂性的鍵結物 (DNA adducts)。

在致癌性未分類的物種部分，3-octanone 及 2-butanone 等酮類物質雖然在一些基因毒性研究呈現陽性的結果，但通常被認為是不具致癌性或弱致癌性。1,2-benzenedicarboxylic acid 具有鼠類生殖細胞致突變性，誘導雄性成鼠發生顯著、致死的突變及精細胞異常等。而 2-(1,1-dimethylethyl)-1,4-benzenediol 則會損傷、抑制 DNA，形成 DNA 鍵結物，具微生物、哺乳類細胞致突變性，造成組織形態改變並於姊妹染色體互換、微核試驗等呈現陽性。其餘物種於 HSDB<sup>®</sup> 資料庫中並無相關之基因毒性資訊。

CCRIS<sup>®</sup> 資料庫所整理之毒性試驗研究結果主要可分為四類：致癌性、致突變性、促腫瘤性及抑制腫瘤性。如表 4-2 所示，甲醛之致癌性試驗結果共計 7 個呈現陽性，4 個呈現陰性。乙醛及 DEHP 之致癌性試驗陽性結果分別為 2 與 10 個，陰性的結果兩者皆無。其他物質之致癌性試驗結果，呈現陽性與陰性者不一，然陽性結果之個案數皆未明顯大於陰性之結果數。在致突變性試驗部分，除甲醛之陽性結果個數大於陰性個數 (39:31) 外，其餘物種大多數為陰性結果明顯多於陽性結果數。一些物種如巴豆醛、丁醛、己醛等醛類物質，雖然其陽性之結果較多，然因為其試驗數目較少，故仍有待更多的相關試驗進一步確認其致突變性。

促腫瘤性及抑制腫瘤性之試驗資料相對較少。在促腫瘤性部分，除 BHT 有促進肺部腫瘤之試驗結果 (n=6)，其餘物種之促腫瘤效應多集中於其他器官。而抑制腫瘤性之相關試驗研究仍是以 BHT 為多，其具有顯著抑制腫瘤性之研究共計 26 個，統計上不顯著或未檢定者共計 51 筆。至於其他物種除相關試驗較少之外，結果具統計

上顯著意義者也相對較少。自 CCRIS<sup>®</sup> 資料庫中所比對出的物種中，資料更新的日期除 9-octadecenoic acid, methyl ester (1985 年) 較早外，其餘物種之資訊皆於 1992 年後有所更新。

### 油煙中甲醛乙醛及丙烯醛的含量

定量三種食用油油煙中醛類之濃度如表 5，其中以花生油油煙中的醛類濃度較高，甲醛、乙醛、丙烯醛的含量分別為 0.543 ppm、2.818 ppm、2.415 ppm；次高者為沙拉油之油煙，其甲醛濃度 0.150 ppm、乙醛 0.767 ppm、丙烯醛 0.677 ppm，豬油的濃度最低，分別為甲醛 0.141 ppm、乙醛 0.690 ppm、丙烯醛 0.581 ppm。在三種油煙樣本中，皆是以乙醛的濃度最高 (0.690~2.818 ppm)，丙烯醛的濃度略低 (0.581~2.415 ppm)，甲醛濃度在三種油煙中皆為最少量的醛類 (0.141~0.543 ppm)。醛類樣本之後段質量皆未超出前段質量之 10%，故沒有破出之情形發生。

### 風險評估

如材料與方法中所述，風險評估中採用某些參數預設值，這些風險評估參數設定值如表 6。在設定的暴露情境下，表 7 為經由油煙暴露甲醛及乙醛之致癌風險計算結果。在最壞的暴露情境下 (即醛類生成率最高、廚房換氣量最低等條件下)，三種油品油煙中甲醛與乙醛合併暴露之致癌風險分別為花生油的  $5.52 \times 10^{-6}$ 、沙拉油的  $1.54 \times 10^{-6}$  及豬油的  $1.65 \times 10^{-6}$ ，皆略大於可接受之終生致癌風險值 ( $10^{-6}$ , U.S. EPA) [vii]。在平均的暴露情境下，三種油煙之暴露風險值分別為花生油的  $1.32 \times 10^{-6}$ 、沙拉油的  $3.60 \times 10^{-7}$ 、豬油的  $3.30 \times 10^{-7}$ ，僅花生油超出  $10^{-6}$ 。至於最佳暴露狀況下，三種油煙之暴露風險值皆小於可接受的風險值，分別為花生油之  $4.33 \times 10^{-7}$ 、沙拉油之  $1.18 \times 10^{-7}$ 、豬油之  $8.63 \times 10^{-8}$ 。若以油煙中之甲醛與乙醛分別來看，則僅有花生油油煙在最壞的暴露情境下，甲醛與乙醛分別具有  $2.28 \times 10^{-6}$ 、 $3.24 \times 10^{-6}$  之致癌風險，其

餘各情況下皆為可接受的情形。

表 8 至表 10 為使用蒙地卡羅方法模擬計算之風險結果。其推估之趨勢，以經由花生油油煙暴露甲醛與乙醛之致癌風險值較大，其次為沙拉油及豬油油煙之暴露。風險之機率分布中第 5、第 50 及第 95 百分位數分別為沙拉油的  $2.41 \times 10^{-7}$ 、 $4.01 \times 10^{-7}$ 、 $6.51 \times 10^{-7}$ ，花生油的  $8.89 \times 10^{-7}$ 、 $1.46 \times 10^{-6}$ 、 $2.40 \times 10^{-6}$ ，豬油的  $2.16 \times 10^{-7}$ 、 $3.63 \times 10^{-7}$ 、 $6.11 \times 10^{-7}$ 。其中以暴露花生油油煙中醛類之風險值最高，其風險分布大部分超過可接受之終生致癌風險值，而暴露沙拉油與豬油油煙之致癌風險值範圍則皆低於  $10^{-6}$ 。另外，圖 10~12 所示之參數靈敏度分析結果，其中對於風險之變異貢獻最大的參數為廚房的體積，約佔總變異量的 60%，而婦女體重所造成的變異約佔 30%，其他像是廚房換氣率及醛類產生之濃度等參數，則對本研究風險推估之變異影響較少。

#### 油煙水草取物之致突變檢定結果

如表 11 所示，三種油（沙拉油、花生油、豬油）之油煙，不論其 impinger 抓取氣相物的水溶液或濾紙抓取粒狀物後的水萃取物，均無顯著有意義的致突變活性。雖然樣品稀釋液似乎有劑量-效應現象，但其活性反應相對於現場空白、negative control 或稀釋用水的檢定結果並無顯著的增加。

#### 四、計畫成果自評

本研究所設計之採樣設備組主要為模擬加熱食用油之使用情形，為避免實驗室環境中背景物質之干擾，除了使用密閉之採樣腔外，另於採樣時作空白樣本之採集比較。結果發現於控制條件下，空白樣本中仍有少許背景化學物質存在，故本實驗鑑定之結果皆經由扣除空白樣本的步驟，以得到可靠的鑑定結果。

油煙中所包含的物種相當複雜，綜合前述三種採樣方法所得之結果，共計有 130 餘種主要的化學物質被確實的鑑定出來，

若是加上未能以圖譜比對或是分離效果不佳而無法鑑定的物質，推測可能有更多的物質混雜其中。本研究雖以三種不同的採集方法對三種食用油進行廣泛的定性，但對於一些較微量或是結構不明的物質仍可能有少數難以避免的遺漏。然而為了正確評估油煙中化學物質的危害性，僅對於確認其存在的物種做進一步的探討。

Henderson 等人以  $250^{\circ}\text{C}$  加熱亞麻油酸及其酯化物五小時後，發現油品產生一些自氧化物質，其中量相對較多的包括戊醛、己醛、庚醛、2-庚烯醛、2,4-decadienal、2-pentyl furan、butyl benzene 以及許多酯類物質<sup>[36]</sup>，這些物質主要來自於亞麻油酸上共軛雙烯之氫過氧化產物，於熱裂解後生成碳氧自由基 (alkoxy radical)，再經由一連串的反應而生成。上述幾種物質與本研究之鑑定結果呈現相當的一致性，推測可能來自油品中不飽和脂肪酸的貢獻，惟本研究之油品中所含脂肪酸組成較為複雜，故另外鑑定出許多其他類之物種，而這些物種也與一些過去相關的研究有類似的鑑定結果。

被視為烹調油煙可能致癌之重要物種的醛類及 PAHs，在鑑定結果上，僅有脂肪族醛廣泛的出現於不同油品之油煙中，像是甲醛、乙醛、丙烯醛一直到十幾個碳的直鏈醛類，與之前一些鑑定研究之結果相同。如前所述，本研究在醛類的鑑定部份鑑定出 9 種醛類，與相關的研究呈現一致的結果。由於材料上的限制，本實驗所採用之層析管柱雖與標準方法中所建議者不同，但兩者極性接近，且其分離效果仍可滿足本研究之需求。鑑定出的九種醛類當中，丙醛由於與過量未反應之 2-HMP 試劑無法完全分離，故在花生油與豬油中難以判斷，此問題可以串接第二支層析管柱以改善此一情形。此外，NIOSH 方法 2539 屬於篩檢醛類物質之定性方法，故未建議合適之內標準品，進一步的定量工作可能需要克服此一問題。

本研究於 PAHs 部分之鑑定，除了發現少量的 Nap 之外，並未如預期的偵測鑑定出多種的 PAHs，就本研究設計操作所得的

結果而言，PAHs 的量可能相對較少而不易測得。NIOSH 方法 5515 宣稱主要適用於採樣分析 17 種常見之 PAHs。結果顯示除 PAHs 外，此方法之 XAD-2 吸附管搭配 PTFE 濾紙也可採集到相當廣範圍之半揮發性有機物質。關於鑑定結果中未如預期發現多量的 PAHs，推測可能是由於 PAHs 量相對較少而不易測得所致。許氏於相同之條件下產生油煙並採集微粒，以高效率液相層析儀 (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) 進行其中 PAHs 之分析，經換算得空氣中總 PAHs 濃度約在  $50\text{ng}/\text{m}^3$  以下<sup>[43]</sup>；而 Li 等人也於沙拉油油煙中測得  $69.4\text{ng}/\text{m}^3$  之 BaP 及  $758.8\text{ng}/\text{m}^3$  之 DBA<sup>[25]</sup>。這些濃度以本實驗之條件而言，遠低於 NIOSH 方法 5515 估計之方法偵測極限 ( $0.3\sim 0.5\text{ }\mu\text{g}/\text{sample}$ )，故推論在本研究之油煙產生及採樣分析條件下，PAHs 可能相當微量而不易測得。如要探究油煙中之 PAHs 濃度究竟為何，則需要針對其條件發展或改良出一較適合之採樣分析方法。NIOSH 方法 5515 對於高 PAHs 暴露作業環境 (eg.  $3\sim 150\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  BaP) 較為適用，若要應用於一般環境之採樣則須做相當之調整。

VOCs 部份的採樣分析參考 NIOSH 方法 2549 進行，除了分析條件上略做修正以外，其他採樣分析步驟皆不更動。受限於熱脫附儀設備陳舊，在嘗試建立最佳條件時遭遇瓶頸，因而低分子量物質之回收率較差，故本研究於分析樣本時加入冷凝的步驟，搭配多層吸附劑之熱脫附管以克服此難題。

油煙中鑑定出的化學物種類相當多，但僅有約三分之一的物種整理出其具有致癌相關的資訊，而其中具有致癌性、致突變性及其他基因毒性之化學物更是僅佔一小部分。

IARC 依據致癌證據多寡對化學物種之致癌性進行分類。其中在動物實驗方面具備充分致癌證據，並於人類方面具備有限之致癌證據或有關之資料者，分類為 2A 人類致癌物 (probable human carcinogen)，本研究油煙鑑定結果之化學物種中僅有甲

醛屬於此類。而在人類方面具備有限之致癌證據或動物實驗具備充分致癌證據，或是動物實驗具充分證據且有一些其他相關資料者，屬於 2B 人類致癌物 (possible human carcinogen)，本研究鑑定物種中之乙醛及 DEHP 皆屬於此類。至於油煙中鑑定出之其他物種，則皆屬於無法分類之 3 類 (not classifiable) 或是分類中未提及之物種。

U.S.EPA 對化學物質所進行的致癌性分類 (weight of evidence) 接近於 IARC。前述甲醛 IARC 訂為 2A 而被 EPA 歸類為 B1 之人類致癌物，二者之定義接近，均為在人類方面致癌證據有限，但有充足的動物實驗資料。乙醛及 DEHP 則為 B2 之人類致癌物，雖有充分之動物實驗資料，但在人類方面無證據或是無適用之資料。在此 EPA 將 B1 與 B2 歸類為“可能人類致癌物” (probable human carcinogen)。另外疑似人類致癌物 (possible human carcinogen) 被 EPA 歸類為 C 類，其定義為無人類致癌證據且動物實驗資料有限者屬之，在本油煙之鑑定結果中屬於 C 類之物種包括：丙烯醛、巴豆醛、hexanedioic acid, dioctyl ester、1,2-benzenedicarboxylic acid, butylphenylmethyl ester、naphthalene，但是這些物種在 IARC 分類中屬於第 3 類之無法分類部分。除致癌性外，一些其他基因毒性的資料也被作為危害鑑定之參考，於致癌性中未被分類的物種中亦有具其他基因毒性的物種，如 t-butyl hydro-quinone (TBHQ)、1,2-benzenedicarboxylic acid 及 benzyl alcohol 等物質。

IRIS 資料庫中致癌風險相關之資料可用以推算暴露特定物種之致癌風險值或是可接受的暴露容許濃度值。由於油煙以吸入為其主要暴露途徑，故本研究僅整理出物種吸入性相關之資料，一些物種如 DEHP、DEHA 雖然疑似具有致癌性，但由於其暴露途徑主要為食入，資料庫中亦未界定其吸入性之“單位風險”及“空氣中容許濃度值”，因此在進一步討論油煙暴露之致癌風險時不予納入。

油煙中所鑑定之物種雖然有許多毒性

資料庫未比對出具有致癌性，但若以其化學物種之特定結構進行類比，可發現一些結構類似致癌物的物種，如類似苯

(Benzene) 的 benzyl acetate、

1,2-benzenedicarboxylic acid、benzaldehyde 等含有苯環之化合物，這些物種雖然目前毒性相關研究較少，但其潛在之危害有待更進一步的毒性資料出現後才能加以定論。而其他類似呋喃 (furan)、酚 (phenol) 等非致癌物的物種包括 2-ethyl furan、2-pentyl furan、2-octyl furan、dihydro-2(3H)-furanone 及 benzenemethanol、2-(1,1-dimethylethyl)-1,4-benzenediol 等物質，亦可能會對健康有其他的危害。

烹調油煙成份相當複雜而無法完全鑑定確認，即使經由目視確認其物種鑑定無誤，也可能因為目前相關研究缺乏而不易找到其致癌相關之資訊，此一問題在油煙暴露之整體危害鑑定上，可能會造成低估的情形。此外，結合物種鑑定及資料庫比對的結果可以發現，油煙中出現大量的化學物種多不被認為具致癌性，而一些相對量較低或揮發性較高而採集不易的物種反而具有較大的危害。但就現階段所見，於本研究之模擬條件及採樣方法下，油煙的主要成份中除前述之 PAHs 及醛類物質等致癌性物質之外，並未發現更重要的致癌性物種。

## 五、總結與建議

本研究於三種油品中鑑定出 130 餘種化學物種，主要包括脂肪酸及其酯化物、脂肪族醇、脂肪族醛、及一些高碳數的烴類物質。經由毒性資料庫的比對發現，其中僅有甲醛、乙醛及 DEHP 等相對含量較少的物質，具有動物實驗的證據而被歸類為可能的致癌物。曾經被廣泛懷疑的致癌物種 PAHs 可能因為含量較低而未被鑑定出，其他的化學物種雖然量多但其危害的權重較低。又估算油煙中甲醛及乙醛暴露的致癌風險，並未明顯高出可接受之致癌

風險值 ( $10^{-6}$ )。基於以上考量，現階段認為單純由食用油煙所貢獻之致癌危害可能有限。

除本研究所界定之油煙產生條件及油煙暴露情境外，烹調方式、抽油煙機的使用、烹調的頻率與時間等皆是影響婦女暴露油煙的敏感因素，本研究在這些變項上僅作最保守的風險估算，因此食用油煙實際之暴露風險可能更低。但考量實際烹調時食用油之外尚有食物，可能因食物之參與而有不同之反應路徑，產生不同的化學物質，因此如要完全排除實際暴露油煙對於健康危害的可能性，仍然需要在這些重要的影響因素上逐一進行探究。

## 六、參考文獻

1. Gao, Y. T., Blot, W. J., Zheng, W., Ershow, A. G., Hsu, C. W., Levin, L. I., Zhang, R., Fraumeni, J. F. Jr., Lung cancer among Chinese women. *Int. J. Cancer* 40: 604-609 (1987).
2. Zhong, L., Goldberg, M. S., Gao, Y. T., Jin, F., Lung cancer and indoor air pollution arising from Chinese-style cooking among nonsmoking women living in Shanghai, China. *Epidemiol.* 10: 488-494 (1999).
3. Macleanman, R., Da Costa, J., Day, N. E., Risk factor for lung cancer in Singapore Chinese: a population with high female incidence rate. *Int. J. Cancer* 20: 854-860 (1997).
4. Koo, L. C., Ho, J. H., Lee, P. N., An analysis of some risk factors for lung cancer in Hong Kong. *Int. J. Cancer* 35: 149-155 (1985).

5. King, H., Locke, F. B., Cancer mortality among Chinese in the United States. J. Natl. Cancer Inst. 65:1141-1148 (1980).
6. Keller, J. E., Howe, H. L., Risk factors for lung cancer among nonsmoking Illinois residents. Environ. Res. 60: 1-11 (1993).
7. 行政院衛生署：衛生統計（Ⅱ），生命統計 1980~1992，行政院衛生署，台北（1967~1993）
8. Chen, C. J., Wu, H. Y., Chuang, Y. C., Chang, A. S., Luh, K. T., Chao, H. H., Chen, K. Y., Chen, S. G., Lai, G. M., Epidemiologic characteristic and multiple risk factors of lung cancer in Taiwan. Anticancer Res. 10: 971~976 (1990).
9. Leynaert, B., Liard, R., Bousquet, J., Mesbah, H. and Neukirch, F. Gas cooking and respiratory health in women. Lancet 347(9007):1052-3 (1996)
10. Kinouchi, T.K., Nishifuji, H., Tsutsui, S.L. and Hoare, Y. Mutagenicity and nitropyrene concentration of indoor air particulates exhausted from a kerosene heater. J. Cancer Res. 79:32-41(1988)
11. Zhong, L., Goldberg, M. S., Parent, M. É., Hanley, J. A., Risk of developing lung cancer in relation to exposure to fumes from Chinese-style cooking. Scand. J. Work. Environ. Health 25(4): 309-316 (1999).
12. 林文海：室內燃燒源產生之次微粒氣膠在呼吸道沈積量特性之探討，國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文（1992）
13. Li, S., Pan, D. and Wang, G. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in cooking oil fumes. Arch. Environ. Health 49:119-122 (1994)
14. Kmano, K. and Shibamoto, T. Analysis of acrolein from heated cooking oils and beef fat. J. Agric. Food Chem. 35:909-912 (1987)
15. Benfenati, E., Pierucci, Niego, D. A case study of indoor pollution by Chinese cooking. Toxicological and Environmental Chemistry 65:217-224(1998)
16. Berg, I., Overvik, E., Nord, C.E. and Gustafsson, J.A. Mutagenic activity in smoke formed during broiling of lean pork at 200, 250 and 300°C. Mutat. Res., 207:199-204 (1988)
17. Berg, I., Overvik, E. and Gustafsson, J.A. Effect of cooking time on mutagen formation in smoke, crust and pan residue from pan-broiled pork. Food Chem. Toxic. 28:421-426 (1990)
18. 楊忠綺：中式調理肉類食品過程所產生的油煙懸浮微粒之基因毒性分析和其中主要致突變物之研究，中山醫學院生化學研究所碩士論文（1995）
19. Felton, J.S., Knize, M.G., Shen, N.H., Andresen, B.D., Bjeldanes, L.E. and Hatch, F.T. Identification of the mutagens

- in cooked beef. *Environ. Health Pers.* 67:17-24 (1986)
20. Qu, Y.H., Xu, G.X., Zhou, J.Z., Chen, T.D., Zhu, L.F., Shields, P.G., Wang, H.W. and Gao, Y.I. Genotoxicity of heated cooking oil vapors. *Mutation Res.* 298:105-111 (1992)
  21. Ko, Y. C., Lee, C. H., Chen, M. J., Huang, C. C., Chang, W. Y., Lin, H. J., Wang, H. Z., Chang, P. Y., Risk factors for primary lung cancer among non-smoking women in Taiwan. *Int. J. Epidemiol.* 26: 24-31 (1997).
  22. Ko, Y. C., Cheng, L. S. C., Lee, C. H., Huang, J. J., Huang, M. S., Kao, E. L., Wang, H. Z., Lin, H. J., Chinese food cooking and lung cancer in women nonsmokers. *Am. J. Epidemiol.* 151: 140-147 (2000).
  23. Chiang, T. A., Wu, P. F., Ko, Y. C., Identification of carcinogens in cooking oil fumes. *Environ. Res.* 81: 18-22 (1999)
  24. Lin, J. M., Liou, S. J., Aliphatic aldehydes produced by heating Chinese cooking oil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 64: 817-824 (2000).
  25. Li, S., Pan, D. and Wang, G., Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in cooking oil fumes. *Arch. Environ. Health* 49: 119-122 (1994).
  26. Siegmann, K., Sattler, K., Aerosol from hot cooking oil, a possible health hazard. *J. Aerosol Sci.* 27: s493-s494 (1996).
  27. Chiang, T. A., Wu, P. F., Wang, L. F., Lee, H., Lee, C. H., Ko, Y. C., Mutagenicity and polycyclic aromatic hydrocarbon content of fumes from heated cooking oils produced in Taiwan. *Mutat. Res.* 381: 157-161 (1997).
  28. Wu, P. F., Chiang, T. A., Wang, L. F., Chang, C. S., Ko, Y. C., Nitro-polycyclic aromatic hydrocarbon contents of fumes from heated cooking oils and prevention of mutagenicity by catechin. *Mutat. Res.* 403: 29-34 (1998).
  29. Umamo, K., Shibamoto, T., Analysis of acrolein from heated cooking oils and beef fat. *J. Agric. Food Chem.* 35: 912-915 (1987).
  30. Selke, E., Rohwedder, W. K., Dutton, H. J., Volatile components from tristearin heated in air. *JAOCs* 52: 232-235 (1975)
  31. Selke, E., Rohwedder, W. K., Dutton, H. J., Volatile components from triolein heated in air. *JAOCs* 54: 62-67 (1977)
  32. Shields, P. G., Xu, G. X., Blot, J., Fraumeni, J. F., Trivers, G. E., Pellizzari, E. D., Qu, Y. H., Gao, Y. T. and Harris, C.C., Mutagens from heated Chinese and U.S. cooking oils. *J. Natl. Cancer Inst.* 87:836-841 (1995).
  33. Teschke, K., Hertzman, C., Netten, C. V., Lee, E., Morrison, B., Cornista, A., Lau, G., Hundal, A., Potential exposure of cooks to airborne mutagens and carcinogens. *Environ. Res.* 50: 296-308 (1989).

34. Johansson, M. A. E., Fredholm, L., Bjerne, I., Jägerstad, M., Influence of frying fat on the formation of heterocyclic amines in fried beefburgers and pan residues. *Food Chem. Toxicol.* 33: 993-1004 (1995).
35. Yang, C. C., Jenq, S. N., Lee, Huei., Characterization of the carcinogen MeIQx in cooking aerosols under domestic conditions. *Carcinogenesis* 19: 359-363 (1998).
36. Henderson, S. K., Witchwoot, A., Nawar, W. W., The autoxidation of linoleates at elevated temperatures. *JAOCs* 57: 409-413 (1980).
37. NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed., U.S. Department of Health and Human Services, Method 5515.  
<http://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/5515.pdf> (1994)
38. NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed., U.S. Department of Health and Human Services, Method 2539.  
<http://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/2539.pdf> (1994).
39. NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed., U.S. Department of Health and Human Services, Method 2549.  
<http://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/2549.pdf> (1994).
40. 黃啟煌：台灣地區住宅廚房使用行為與空間特性之研究，國立成功大學工程技術研究所設計技術學程建築設計組碩士論文，台南 (1992)
41. 李佩玲：台北市公寓式住宅廚房之人因工程評鑑調查，國立台灣師範大學家政教育研究所，台北 (1988)
42. 陳清乾：廚房高氣窗紗網通孔率對二氧化碳濃度場與換氣率之影響—以熱浮力通風為例，國立成功大學建築學系碩士論文，台南 (1999)
43. 許靜文：食用油油煙微粒與多環芳香烴化合物，國立台灣大學環境衛生研究所碩士論文，台北 (2000)
44. Committee of Industrial Ventilation ACGIH, Industrial Ventilation 21st. edition ACGIH Inc., Cincinnati, U.S.A. 2-2-2-6 (1992)
45. 行政院衛生署網頁：台灣地區居民體位及肥胖狀況-女性各年齡層身高、體重、身體質量指數之平均值、標準差、及其與第二次國民營養調查結果之比較，  
<http://www.doh.gov.tw/org2/b3/nutrition/2-2.html>，行政院衛生署食品衛生處 (2001)
46. Hallenbeck, W. H., Quantitative risk assessment for environmental and occupational health. 2nd. edition Lewis Publishers., Boca Raton, U.S.A. 35-36,105-106 (1993).
47. 行政院衛生署：衛生統計，公務統計，行政院衛生署，台北 (1997)
48. Maron, D.M., Ames B.N. Revised

- methods for the *Salmonella* mutagenicity test. Mut. Res. 113:173-215(1983)
49. Chang, H.L., Kuo, M.L., Lin J.M.  
Mutagenic activity of incense smoke in comparison to formaldehyde and acetaldehyde in *Salmonella typhimurium* TA 102. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 58:394-401(1997)
50. Petry ,T., Schmid, P., Christian, S. The use of toxic equivalency factors in assessing occupation and environmental health risk associated with exposure to airborne mixture of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Chemosphere 32(4):639-648(1996)

表 1 食用油煙微粒中 PAHs 毒性相當濃度

| 毒性相當因子資料來源**            | PAHs 毒性相當濃度 (ng/m <sup>3</sup> ) * |       |       |
|-------------------------|------------------------------------|-------|-------|
|                         | 沙 拉 油                              | 花 生 油 | 豬 油   |
| EPA (1984)              | 31.711                             | 5.271 | 9.801 |
| Chu and Chen (1984)     | 10.619                             | 2.839 | 2.226 |
| Clemens (1986)          | 17.810                             | 6.280 | 3.893 |
| Thorslund (1990)        | 17.348                             | 3.330 | 2.494 |
| Nisbet and Lagoy (1992) | 15.500                             | 2.328 | 2.554 |

\* PAHs 毒性相當濃度 (ng/m<sup>3</sup>) =  $\sum$  採樣空氣中各 PAHs 濃度 (ng/m<sup>3</sup>) × 各毒性相當因子

\*\* 資料來源：Chemosphere 1996, 32: 639-648 [44]

表 2 醛類-2HMP 衍生物之資訊及油煙中醛類鑑定結果

| 醛類別              | 分子式                                             | 2-HMP 衍生物資訊 |             | 醛類鑑定結果 (+,有 ; -,無) |     |     |    |
|------------------|-------------------------------------------------|-------------|-------------|--------------------|-----|-----|----|
|                  |                                                 | GC/MS 圖譜    |             | 滯留時間<br>min        | 油品  |     |    |
|                  |                                                 | 基峰<br>m/z   | 特性離子<br>m/z |                    | 沙拉油 | 花生油 | 豬油 |
| Formaldehyde     | C <sub>7</sub> H <sub>13</sub> NO               | 97          | 126,127*    | 8.820              | +   | +   | +  |
| Acetaldehyde     | C <sub>8</sub> H <sub>15</sub> NO               | 126         | 140,141*    | 8.710              | +   | +   | +  |
| Propionaldehyde  | C <sub>9</sub> H <sub>17</sub> NO               | 126         | 154,155*    | 10.060             | +   | -   | -  |
| Acrolein         | C <sub>9</sub> H <sub>15</sub> NO               | 126         | 152,153*    | 9.818              | +   | +   | +  |
| Butyraldehyde    | C <sub>10</sub> H <sub>19</sub> NO              | 126         | 168,169*    | 11.082             | +   | +   | +  |
| Isobutyraldehyde | C <sub>10</sub> H <sub>19</sub> NO              | 126         | 168,169*    | -                  | -   | -   | -  |
| Crotonaldehyde   | C <sub>10</sub> H <sub>17</sub> NO              | 126         | 166,167*    | 11.450             | +   | +   | +  |
| Valeraldehyde    | C <sub>11</sub> H <sub>21</sub> NO              | 126         | 182,183*    | 11.879             | +   | +   | +  |
| Isovaleraldehyde | C <sub>11</sub> H <sub>21</sub> NO              | 126         | 182,183*    | -                  | -   | -   | -  |
| Hexanal          | C <sub>12</sub> H <sub>23</sub> NO              | 126         | 196,197*    | 12.564             | +   | +   | +  |
| Heptanal         | C <sub>13</sub> H <sub>25</sub> NO              | 126         | 210,211*    | 13.156             | +   | +   | +  |
| Furfural         | C <sub>11</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>2</sub> | 192         | 95,163,193* | -                  | -   | -   | -  |

\* molecular ion : 為該物質之分子量質荷比

表 3 不同油品之油煙以三種採集介質採集之化學物種鑑定結果

| 化學名稱                     | GC/MS 反應面積比* |              |            |       |              |            |
|--------------------------|--------------|--------------|------------|-------|--------------|------------|
|                          | 沙拉油          |              | 花生油        |       | 豬油           |            |
|                          | 熱脫附管<br>**   | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管  | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 |
| heptane                  | 0.07         |              |            | 68.61 |              | 42.12      |
| 2-octene                 |              |              |            | 9.96  |              |            |
| octane                   | 13.41        |              |            | 24.83 |              | 37.38      |
| 3,4-octadiene, 7-methyl- |              |              |            | 42.93 |              |            |
| 1,5-cyclodecadiene       |              |              | 1.79       |       |              |            |
| spiro[4,5]decane         |              |              |            | 4.62  |              |            |
| cyclodecene              |              | 78.10        |            | 20.13 |              |            |
| undecane                 | 0.33         |              |            | 2.08  |              | 1.89       |
| 3,9-dodecadiene          |              |              |            | 4.62  |              |            |

\*為化學物種之反應面積 / 內標反應面積

\*\* 熱脫附管使用的內標 (D6-Benzene, 1000µg/mL) 不同於另兩種介質所用之內標 (p-terphenyl, 40µg/mL); 其面積比為經由不同之內標準品用量、不同採樣體積及濃縮比例換算之後所得的值。

續表 3

煙類化合物 (續)

| 化學名稱                                      | GC/MS 反應面積比 |              |            |       |              |            |
|-------------------------------------------|-------------|--------------|------------|-------|--------------|------------|
|                                           | 沙拉油         |              | 花生油        |       | 豬油           |            |
|                                           | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管  | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 |
| 3-ethyl-5-methyl-1-propyl-<br>cyclohexene |             |              |            | 6.41  |              |            |
| 6-dodecene                                |             | 31.89        |            | 8.65  | 14.96        |            |
| 1-isobutyl-2,5-dimethyl cyclohexane       |             |              |            | 35.93 |              |            |
| dodecane                                  | 4.47        |              | 13.10      | 8.33  |              |            |
| tetradecane                               | 3.29        | 21.34        | 5.49       | 8.05  | 18.16        |            |
| cyclopentane, decyl-                      |             |              |            | 4.84  | 26.98        |            |
| cyclopentadecane                          | 57.87       |              |            |       |              |            |
| pentadecane                               | 9.41        |              | 5.94       | 7.60  | 53.17        | 0.88       |
| 7-hexadecyne                              |             |              |            | 6.41  |              |            |
| cyclopentane, undecyl-                    |             |              |            | 6.11  | 6.94         |            |
| 3-hexadecene                              | 7.73        |              |            |       | 3.74         |            |
| pentadecane, 2-methyl-                    |             |              |            | 4.17  |              |            |

## 煙類化合物 (續)

| 化學名稱                                                             | GC/MS 反應面積比          |            |                      |            |                      |            |
|------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|
|                                                                  | 沙拉油                  |            | 花生油                  |            | 豬油                   |            |
|                                                                  | 熱脫附管<br>XAD-2<br>吸附管 | PTEE<br>濾紙 | 熱脫附管<br>XAD-2<br>吸附管 | PTEE<br>濾紙 | 熱脫附管<br>XAD-2<br>吸附管 | PTEE<br>濾紙 |
| hexadecane                                                       | 4.91                 |            | 3.07                 | 9.54       | 2.38                 | 69.46      |
| 6,9-heptadecadiene                                               | 27.68                | 0.66       |                      | 15.36      |                      | 6.67       |
| 8-heptadecene                                                    | 8.14                 |            |                      | 6.86       |                      | 11.22      |
| heptadecane                                                      |                      |            |                      |            |                      | 8.29       |
| 9-octadecyne                                                     | 17.28                |            |                      |            |                      | 1.07       |
| 7,11,15-trimethyl-3-methylene-<br>hexadeca-1,6,10,14-tetraene    |                      | 1.74       |                      | 3.13       |                      | 0.92       |
| 9-eicosyne                                                       |                      | 0.45       |                      |            |                      |            |
| heptadecane,2,6,10,14- tetramethyl-                              | 5.20                 |            |                      |            |                      |            |
| 2,6,10,14,18,22-tetracosahexaene                                 |                      | 2.30       |                      |            |                      |            |
| cyclopentane, heneicosyl-                                        |                      |            |                      |            | 3.52                 |            |
| 2,6,10,14,18,22-tetracosahexaene,<br>2,6,10,15,19,23-hexamethyl- |                      |            |                      |            |                      | 0.53       |

續表 3

## 苯環類化合物

| 化學名稱                                                                                                | GC/MS 反應面積比 |              |            |       |              |            |      |              |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|------------|-------|--------------|------------|------|--------------|------------|
|                                                                                                     | 沙拉油         |              | 花生油        |       | 豬油           |            |      |              |            |
|                                                                                                     | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管  | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管 | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 |
| benzene, 1-ethenyl-3-ethyl                                                                          |             |              |            |       | 22.36        |            |      |              |            |
| benzene, 1-ethenyl-3-ethyl<br>mixt. With 1-ethenyl-<br>4-ethylbenzene<br>(M<br>and P-ethyl styrene) |             |              |            |       | 12.08        |            |      | 70.00        |            |
| benzene, 1,3,5-triethyl                                                                             |             |              |            |       | 11.93        |            |      | 6.14         |            |
| benzene, butyl-                                                                                     | 2.24        |              |            | 11.63 |              |            |      |              |            |
| BHT (butylated hydroxy<br>toluene)                                                                  |             |              |            |       | 12.08        |            |      |              |            |
| benzene, 1,3-bis(1,1-dimethyl-<br>ethyl-)                                                           |             |              |            |       | 16.70        |            |      | 5.34         |            |

續表 3

## 醇類化合物

| 化學名稱               | GC/MS 反應面積比 |              |            |        |              |            |
|--------------------|-------------|--------------|------------|--------|--------------|------------|
|                    | 沙拉油         |              | 花生油        |        | 豬油           |            |
|                    | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管   | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 |
| prop-2-en-1-ol     |             |              |            | 4.21   |              |            |
| propanol           |             |              |            | 2.62   |              |            |
| 1-butanol          | 5.00        |              |            | 18.94  |              |            |
| 1-penten-3-ol      | 19.33       |              |            | 4.00   |              |            |
| 1-pentanol         | 63.41       |              |            | 98.15  |              | 19.49      |
| 1-hexanol          | 4.08        |              |            | 12.54  |              | 2.24       |
| benzenemethanol    |             |              |            | 13.77  |              |            |
| 1-hexanol, 2-ethyl | 9.70        |              |            | 76.50  |              | 9.77       |
| 1-heptanol         | 3.98        |              |            | 16.45  |              | 12.86      |
| 1-octen-3-ol       | 28.16       | 10.26        |            | 127.94 | 14.16        | 25.39      |
|                    |             |              |            |        |              | 8.02       |
| 1-octanol          | 7.38        |              |            | 12.43  |              | 16.24      |

## 醇類化合物 (續)

| 化學名稱                                                      | GC/MS 反應面積比 |              |       |              |      |              |
|-----------------------------------------------------------|-------------|--------------|-------|--------------|------|--------------|
|                                                           | 沙拉油         |              | 花生油   |              | 豬油   |              |
|                                                           | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | 熱脫附管  | XAD-2<br>吸附管 | 熱脫附管 | XAD-2<br>吸附管 |
| 1,4-benzenediol,<br>2-(1,1-dimethylethyl)-                |             |              |       |              |      |              |
|                                                           |             |              |       | 0.58         |      |              |
| 1-tertradecanol                                           |             |              | 3.13  |              |      |              |
| ionol 2 (phenol,2,6-bis(1,1-<br>dimethylethyl)- 4-ethyl-) |             |              | 15.50 |              | 5.07 |              |
| 2-hexadecen-1-ol,<br>3,7,11,15-tetramethyl-               |             | 3.07         |       | 4.92         | 1.13 |              |
| 9,12-octadecadien-1-ol                                    |             |              |       |              | 3.43 |              |
| 1-eicosanol                                               |             |              |       |              | 1.03 |              |

續表 3

醛類化合物

| 化學名稱              | GC/MS 反應面積比 |              |            |        |              |            |
|-------------------|-------------|--------------|------------|--------|--------------|------------|
|                   | 沙拉油         |              | 花生油        |        | 豬油           |            |
|                   | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管   | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 |
| 2-butenal         |             |              |            | 20.16  |              |            |
| butanal           |             |              |            | 4.04   |              |            |
| butanal, 2-methyl |             |              |            | 6.81   |              |            |
| 2-pentenal        | 3.26        |              |            | 7.88   |              |            |
| pentanal          | 25.01       |              |            | 146.11 | 24.69        |            |
| benzaldehyde      | 9.19        |              |            | 8.28   | 3.96         |            |
| 2-hexenal         | 11.90       |              |            | 27.14  |              |            |
| hexanal           | 100.69      |              |            | 546.53 | 85.54        |            |
| 2,4-heptadienal   | 53.39       | 3.79         |            | 215.73 | 17.44        | 23.76      |
| 2-heptenal        | 93.85       |              |            | 240.56 | 16.25        | 46.43      |
| heptanal          | 9.67        |              |            | 46.87  | 2.39         | 29.44      |
| 2-octenal         | 19.75       | 8.43         |            | 77.98  | 11.63        | 9.17       |
|                   |             |              |            |        |              | 11.49      |

續表 3

## 醛類化合物 (續)

| 化學名稱                                  | GC/MS 反應面積比 |              |            |        |              |            |       |              |            |
|---------------------------------------|-------------|--------------|------------|--------|--------------|------------|-------|--------------|------------|
|                                       | 沙拉油         |              |            | 花生油    |              | 豬油         |       |              |            |
|                                       | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管   | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管  | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 |
| octanal                               |             |              |            |        | 4.62         |            |       | 9.09         |            |
| 2,4-nonadienal                        | 3.06        |              |            | 8.09   | 3.58         |            | 1.75  |              |            |
| 2-nonenal                             | 7.19        | 8.58         |            | 47.24  | 7.30         |            | 21.59 | 13.89        |            |
| nonanal                               | 22.45       | 17.70        |            | 221.99 | 44.72        |            | 79.64 | 96.98        |            |
| 2,4-decadienal                        | 24.6        | 483.66       | 0.40       | 217.59 | 447.09       | 0.49       | 26.70 | 128.50       |            |
| 2-decenal                             | 25.71       | 48.18        |            | 54.90  | 56.20        |            | 45.53 | 95.10        |            |
| 2-furanacetaldehyde,<br>alpha-propyl- |             |              | 0.51       |        |              |            |       |              |            |
| decanal                               | 11.16       | 7.44         |            | 41.23  | 9.54         |            | 23.15 | 18.98        |            |
| undecanal                             |             | 19.66        |            |        | 44.28        |            |       | 9.89         |            |
| 2,4-dodecadienal                      | 3.06        |              |            | 16.26  |              |            | 6.11  |              |            |
| 2-dodecenal                           | 20.84       |              |            | 45.43  |              |            | 27.41 |              |            |

續表 3

醛類化合物 (續)

| 化學名稱                | GC/MS 反應面積比 |              |            |      |              |            |      |              |            |
|---------------------|-------------|--------------|------------|------|--------------|------------|------|--------------|------------|
|                     | 沙拉油         |              | 花生油        |      | 豬油           |            |      |              |            |
|                     | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管 | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管 | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 |
| 3-dodecen-1-al      |             | 81.47        |            |      | 77.22        | 0.49       |      | 121.82       |            |
| tridecanal          |             | 3.09         |            |      | 3.88         |            |      | 10.42        |            |
| 13-tetradecenal     |             |              | 1.39       |      |              | 1.27       |      |              |            |
| tetradecanal        |             |              | 0.59       |      |              | 0.86       |      | 11.22        | 2.45       |
| hexadecanal         |             |              |            |      |              |            |      | 26.72        | 3.46       |
| 9,17-octadecadienal |             |              |            |      |              | 0.67       |      |              |            |
| 9-octadecenal       |             |              |            |      |              | 0.34       |      | 17.63        | 1.58       |

續表 3

酮類化合物

| 化學名稱                              | GC/MS 反應面積比 |              |            |       |              |            |
|-----------------------------------|-------------|--------------|------------|-------|--------------|------------|
|                                   | 沙拉油         |              | 花生油        |       | 豬油           |            |
|                                   | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管  | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 |
| 2-butanone                        |             |              |            | 3.79  |              |            |
| 1-penten-3-one                    |             |              |            | 4.00  |              |            |
| 2(3H)-furanone, dihydro-          | 1.19        |              |            |       |              |            |
| 2-heptanone                       | 4.08        |              |            | 7.40  | 0.59         |            |
| ethanone, 1-(2-pyridinyI)         |             |              |            | 6.56  |              |            |
| 4-methyl-3-heptanone              |             |              |            | 56.65 |              |            |
| 3-octanone                        |             |              |            |       | 0.37         |            |
| 2-cyclopenten-1-one,<br>2-pentyl- | 20.50       |              |            | 48.87 |              |            |
| 3-nonen-2-one                     |             |              |            | 2.83  |              |            |

續表 3

## 酮類化合物 (續)

| 化學名稱                                     | GC/MS 反應面積比 |              |            |      |              |            |       |              |            |
|------------------------------------------|-------------|--------------|------------|------|--------------|------------|-------|--------------|------------|
|                                          | 沙拉油         |              | 花生油        |      | 豬油           |            |       |              |            |
|                                          | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管 | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管  | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 |
| 2(3H)-furanone,<br>5-butylidihydro-      | 5.09        |              |            | 1.15 |              |            | 0.91  |              |            |
| 2-decanone                               | 2.33        |              |            | 4.86 |              |            | 4.20  |              |            |
| 2-dodecanone                             |             |              |            |      |              |            | 12.29 |              |            |
| 2-pentadecanone                          |             |              |            |      |              |            |       |              | 1.39       |
| 2-heptadecanone                          |             |              |            |      |              |            |       |              | 3.20       |
| 2-pentadecanone,<br>6,10,14-trimethyl-   |             |              | 0.62       |      |              | 0.57       |       |              |            |
| 2(3H)-furanone,<br>dihydro-5-tetradecyl- |             |              |            |      |              |            |       | 4.54         |            |

續表 3

羧類化合物

| 化學名稱                                                                                | GC/MS 反應面積比 |              |            |             |              |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|------------|
|                                                                                     | 沙拉油         |              | 花生油        |             | 豬油           |            |
|                                                                                     | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 |
| 1,2-benzenedicarboxylic acid                                                        | 6.94        |              |            |             |              | 13.10      |
| decanoic acid                                                                       |             |              | 0.40       |             |              |            |
| Propanoic acid, 2-methyl,<br>1-(1,1-dimethylethyl-2-<br>methyl-1,3-propandyl-ethyl) |             | 8.14         |            | 4.03        |              | 9.34       |
| tetradecanoic acid (myristic<br>acid)                                               |             |              |            |             |              | 5.62 4.37  |
| 9-hexadecanoic acid                                                                 |             |              |            |             |              |            |
| hexadecanoic acid (palmitic<br>acid)                                                |             |              | 26.18      | 4.92 10.48  | 272.22       | 78.77      |
| 9,12-octadecadienoic acid (linoleic<br>acid)                                        |             |              | 67.97      | 24.60 87.27 | 6.42         | 77.01      |
| 9-octadecenoic acid (oleic acid)                                                    |             |              |            |             |              | 673.55     |
| octadecanoic acid (stearic acid)                                                    |             |              | 4.85       |             | 144.53       | 27.58      |

續表 3

## 酯類化合物

| 化學名稱                                          | GC/MS 反應面積比 |              |        |              |       |              |
|-----------------------------------------------|-------------|--------------|--------|--------------|-------|--------------|
|                                               | 沙拉油         |              | 花生油    |              | 豬油    |              |
|                                               | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | 熱脫附管   | XAD-2<br>吸附管 | 熱脫附管  | XAD-2<br>吸附管 |
| benzyl acetate                                | 7.19        |              | 3.60   |              | 21.59 |              |
| 1,2,3-propanetriol, triacetate                |             |              | 242.99 | 149.38       | 0.28  |              |
| hexadecanoic acid, methyl ester               |             |              |        |              |       | 8.02 0.45    |
| 9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)-,methyl ester |             |              |        | 14.88        |       | 7.49         |
| 9,15-octadecadienoic acid (Z,Z)-,methyl ester |             |              |        | 1.15         |       |              |
| 9-octadecenoic acid (Z)-,methyl ester         |             | 0.27         |        |              |       | 17.90 1.30   |
| tetradecanoic acid, trimethylsilyl ester      |             |              |        |              |       | 21.38 2.10   |
| ethyl linoleate                               |             | 1.90         |        |              |       |              |

續表 3

## 脂類化合物 (續)

| 化學名稱                                                                         | GC/MS 反應面積比 |              |      |              |      |              |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|------|--------------|------|--------------|
|                                                                              | 沙拉油         |              | 花生油  |              | 豬油   |              |
|                                                                              | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | 熱脫附管 | XAD-2<br>吸附管 | 熱脫附管 | XAD-2<br>吸附管 |
| 1,2-benzenedicarboxylic acid,<br>butyl-phenylmethyl ester                    |             | 57.46        |      | 39.80        |      | 104.19       |
| hexadecanoic acid, trimethylsilyl<br>ester                                   |             |              |      |              |      | 22.70        |
| 9,12-octadecadienoic acid<br>(Z,Z)-2-hydroxy-1-<br>(hydromethyl) ethyl ester |             |              |      |              |      | 3.04         |
| hexanedioic acid, dioctyl<br>ester                                           |             |              |      |              |      | 1.89         |
| 1,2-benzenedicarboxylic acid,<br>bis(2-ethylhexyl) ester                     |             | 5.06         |      | 5.67         |      | 10.42        |
| octanoic acid, 1,2,3-propanetriyl<br>ester                                   |             |              |      |              |      | 1.40         |
| phosphonic acid, dioctadecyl<br>ester                                        |             |              |      |              |      | 0.91         |

續表 3

其他類化合物

| 化學名稱                                        | GC/MS 反應面積比 |              |            |       |              |            |
|---------------------------------------------|-------------|--------------|------------|-------|--------------|------------|
|                                             | 沙拉油         |              | 花生油        |       | 豬油           |            |
|                                             | 熱脫附管        | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 | 熱脫附管  | XAD-2<br>吸附管 | PTFE<br>濾紙 |
| furan, 2-ethyl                              |             |              |            | 5.36  |              | 3.51       |
| naphthalene                                 | 2.92        |              |            | 22.23 | 22.36        | 0.02       |
| furan, 2-pentyl                             | 10.12       | 7.02         |            | 8.61  | 10.14        | 0.39       |
| furan, 2-octyl                              | 4.11        |              |            | 16.26 |              | 0.19       |
| naphthalene,<br>2-butyldecahydro-           |             |              |            | 2.55  |              |            |
| 4-octylbutan-4-olide                        |             |              | 3.04       |       |              |            |
| 4,8,12,16-tetramethylheptadeca<br>n-4-olide |             |              |            |       |              | 1.38       |

表 4 化學物種毒性資料庫比對結果

| 化學名稱                                                        | 油品種類        |             |        | 致癌性  |          |                      | HSDB<br>其他基因毒性資料     | 別名                                                                        |                                        |
|-------------------------------------------------------------|-------------|-------------|--------|------|----------|----------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                                                             | 沙<br>拉<br>油 | 花<br>生<br>油 | 豬<br>油 | IARC | U.S. EPA |                      |                      |                                                                           |                                        |
|                                                             |             |             |        | 分類   | 分類       | 吸入性<br>單位風險*         |                      |                                                                           | 特定風險<br>空氣濃度**                         |
| formaldehyde                                                | +           | +           | +      | 2A   | B1       | $1.3 \times 10^{-5}$ | $8.0 \times 10^{-2}$ | 致突變性<br>造成 DNA 損傷、染色體<br>畸變及姊妹染色體互<br>換，致突變性，於微核毒<br>性試驗、致腫瘤轉化上呈<br>現陽性反應 |                                        |
| acetaldehyde                                                | +           | +           | +      | 2B   | B2       | $2.2 \times 10^{-6}$ | $5.0 \times 10^{-1}$ |                                                                           |                                        |
| 1,2-benzenedicarboxylic<br>acid, bis(2-ethylhexyl)<br>ester | +           | +           | +      | 2B   | B2       | N.A.***              | N.A.                 | -                                                                         | di(2-ethylhexyl)<br>phthalate;<br>DEHP |
| acrolein                                                    | +           | +           | +      | 3    | C        | N.A.                 | N.A.                 | 致突變性                                                                      |                                        |
| crotonaldehyde                                              | +           | +           | +      | 3    | C        | N.A.                 | N.A.                 | 形成具致突變性及染色<br>體誘裂之 DNA 鍵結物                                                | 2-butenal                              |
| hexanedioic acid, dioctyl<br>ester                          | +           | +           |        | 3    | C        | N.A.                 | N.A.                 | -                                                                         | bis(2-ethyl- hexyl)<br>adipate; DEHA   |

\* 吸入性單位風險：per  $\text{ug}/\text{m}^3$ \*\* 特定風險空氣濃度： $(\text{ug}/\text{m}^3) @ 10^{-6}$ 

\*\*\* N.A.: U.S. EPA 有致癌性分類而無風險相關資料者

+：化學物種鑑定有發現

續表 4

| 化學名稱                                                    | 油 品 種 類 |       |     | 致 癌 性 |     |             |              | HSDB<br>其他基因毒性資料 | 別 名                               |
|---------------------------------------------------------|---------|-------|-----|-------|-----|-------------|--------------|------------------|-----------------------------------|
|                                                         |         |       |     | IARC  |     | U.S. EPA    |              |                  |                                   |
|                                                         | 沙 拉 油   | 花 生 油 | 豬 油 | 分 類   | 分 類 | 吸入性<br>單位風險 | 特定風險<br>空氣濃度 |                  |                                   |
| 1,2-benzenedicarboxylic acid, butyl- phenylmethyl ester | +       | +     | +   | 3     | C   | N.A.        | N.A.         | -                | butyl benzyl phthalate            |
| BHT (butylated hydroxy toluene)                         |         | +     |     | 3     | -   | -           | -            | -                | 2,6-di-t-butyl-p-cresol           |
| benzyl acetate                                          | +       | +     | +   | 3     | -   | -           | -            | -                |                                   |
| 3-octanone                                              |         | +     |     | -     | -   | -           | -            |                  | 51.一些研究發現陽性的結果，但通常被認為是不具致癌性或是弱致癌性 |
| naphthalene                                             | +       | +     | +   | -     | C   | N.A.        | N.A.         | -                |                                   |
| 1-butanol                                               | +       | +     |     | -     | D   | -           | -            | -                |                                   |
| heptane                                                 | +       | +     | +   | -     | D   | -           | -            | -                |                                   |
| 2-butanone                                              | +       |       |     | -     | D   | -           | -            |                  | 一些研究發現陽性的結果，但通常被認為是不具致癌性或是弱致癌性    |
|                                                         |         |       |     |       |     |             |              |                  | methyl ethyl keton; MEK           |

續表 4

| 化學名稱                                       | 油 品 種 類 |       |     | 致 癌 性 |          |             | HSDB<br>其他基因毒性資料 | 別 名                             |
|--------------------------------------------|---------|-------|-----|-------|----------|-------------|------------------|---------------------------------|
|                                            |         |       |     | IARC  | U.S. EPA |             |                  |                                 |
|                                            | 沙 拉 油   | 花 生 油 | 豬 油 | 分 類   | 分 類      | 吸入性<br>單位風險 |                  |                                 |
| 1,2-benzenedicarboxylic acid               | +       |       | +   | -     | -        | -           | -                | phthalic acid                   |
| 1,4-benzenediol,<br>2-(1,1-dimethylethyl)- |         | +     |     | -     | -        | -           | -                | t-butyl hydro-<br>quinone; TBHQ |
| benzenemethanol                            |         | +     |     | -     | -        | -           | -                | benzyl alcohol                  |
| hexadecanoic acid                          | +       | +     | +   | -     | -        | -           | -                | palmitic acid                   |
| pentanal                                   | +       | +     | +   | -     | -        | -           | -                | valeraldehyde                   |
| 2(3H)-furanone, dihydro-                   | +       |       |     | -     | -        | -           | -                | butyrol actone                  |
| linoleic acid                              | +       | +     | +   | -     | -        | -           | -                | epsilon amino<br>caproic acid   |

鼠類生殖細胞致突變性  
(Jha et al, 1998).誘導雄性  
成鼠明顯、致死性的突變  
以及精細胞異常  
DNA 損傷、抑制，形成  
DNA 鏈結物，微生物致  
突變性，哺乳類體細胞致  
突變性及姊妹染色體互  
換，造成組織形態改變並  
於微核試驗呈現陽性  
無基因毒性或弱基因毒  
性

續表 4

| 化學名稱                                 | 油 品 種 類     |             | 致 癌 性  |      |          | HSDB<br>其他基因毒性資料 | 別 名           |
|--------------------------------------|-------------|-------------|--------|------|----------|------------------|---------------|
|                                      | 沙<br>拉<br>油 | 花<br>生<br>油 | 豬<br>油 | IARC | U.S. EPA |                  |               |
|                                      |             |             |        | 分 類  | 分 類      |                  |               |
| tetradecane                          | +           | +           | +      | -    | -        | -                | -             |
| undecane                             | +           | +           | +      | -    | -        | -                | -             |
| benzaldehyde                         | +           | +           | +      | -    | -        | -                | -             |
| propanol                             |             | +           |        | -    | -        | -                | -             |
| decanoic acid                        | +           |             |        | -    | -        | -                | -             |
| dodecane                             | +           | +           | +      | -    | -        | -                | -             |
| tetradecanoic acid                   |             |             | +      | -    | -        | -                | -             |
| 1-hexanol, 2-ethyl                   | +           | +           | +      | -    | -        | -                | -             |
| hexadecane                           | +           | +           | +      | -    | -        | -                | -             |
| heptanal                             | +           | +           | +      | -    | -        | -                | -             |
| butyraldehyde                        | +           | +           | +      | -    | -        | -                | -             |
| hexanal                              | +           | +           | +      | -    | -        | -                | -             |
| propionaldehyde                      | +           |             |        | -    | -        | -                | -             |
| 9-octadecenoic acid,<br>methyl ester | +           |             | +      | -    | -        | -                | -             |
|                                      |             |             |        |      |          |                  | methyl oleate |

表 5 三種食用油油煙中醛類之濃度

| 醛類別 | 採樣空氣中濃度 (ppm)     |                   |                   |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|
|     | 沙拉油               | 花生油               | 豬油                |
| 甲醛  | $0.150 \pm 0.025$ | $0.543 \pm 0.038$ | $0.141 \pm 0.022$ |
| 乙醛  | $0.767 \pm 0.196$ | $2.818 \pm 0.328$ | $0.690 \pm 0.127$ |
| 丙烯醛 | $0.677 \pm 0.186$ | $2.415 \pm 0.308$ | $0.581 \pm 0.140$ |

表 6 風險推估之參數設定值

| 參數                               | 實際值或設定值                |        |        |               |                        |       |    |
|----------------------------------|------------------------|--------|--------|---------------|------------------------|-------|----|
|                                  | 極端值推估                  |        |        | 蒙地卡羅模擬        |                        |       | 其他 |
|                                  | 最佳狀況                   | 平均值    | 最差狀況   | 分布情形          | 平均值                    | 標準差   |    |
| 濃度 ( $C_o$ , mg/m <sup>3</sup> ) |                        |        |        |               |                        |       |    |
| 沙拉油 甲醛                           | 0.167                  | 0.184  | 0.201  | Normal        | 0.184                  | 0.008 |    |
| 沙拉油 乙醛                           | 1.254                  | 1.380  | 1.506  | Normal        | 1.380                  | 0.063 |    |
| 花生油 甲醛                           | 0.656                  | 0.667  | 0.678  | Normal        | 0.667                  | 0.005 |    |
| 花生油 乙醛                           | 4.544                  | 5.080  | 5.616  | Normal        | 5.080                  | 0.268 |    |
| 豬油 甲醛                            | 0.126                  | 0.173  | 0.220  | Normal        | 0.173                  | 0.024 |    |
| 豬油 乙醛                            | 0.899                  | 1.240  | 1.581  | Normal        | 1.240                  | 0.170 |    |
| 採樣腔體積 ( $V_o$ , m <sup>3</sup> ) | 0.62                   |        |        |               |                        |       |    |
| 採樣時間 ( $t_o$ , hr)               |                        |        |        |               |                        |       |    |
| 醛類產生率 (G)                        | $C_o \times V_o / t_o$ |        |        | 模 擬 計 算       |                        |       |    |
| 廚房體積 ( $V$ , m <sup>3</sup> )    | 47.60                  | 24.70  | 10.31  | Extreme value | mode=20.70, scale=4.48 |       |    |
| 換氣率 (ACH, Air Change / hr)       | 24.31                  | 26.14  | 27.96  | Uniform       | 24.31~27.96            |       |    |
| 換氣量 ( $Q$ , m <sup>3</sup> /hr)  | 1330.99                | 645.49 | 250.74 | 模 擬 計 算       |                        |       |    |

表 6 風險推估之參數設定值 (續)

| 參數                                    | 實際值或設定值                          |                      |                       |        |      |     |
|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------|--------|------|-----|
|                                       | 極端值推估                            |                      |                       | 蒙特卡羅模擬 |      |     |
|                                       | 最佳狀況                             | 平均值                  | 最差狀況                  | 分布情形   | 平均值  | 標準差 |
| 暴露時間 (t, hr)                          |                                  |                      |                       |        |      |     |
| 醃類濃度 (C)                              | $G \times [1 - e^{-(QI/V)}] / Q$ |                      |                       | 模 擬    | 計 算  |     |
| 暴露頻率 (EF, day/year)                   |                                  |                      | 350                   |        |      |     |
| 暴露期間 (ED, year)                       |                                  |                      | 30                    |        |      |     |
| 單位時間呼吸率<br>( $IR_{A_0}$ , $m^3/min$ ) |                                  |                      | 0.019                 |        |      |     |
| 每日烹調時呼吸量<br>( $IR_A$ , $m^3/day$ )    |                                  |                      | 0.21                  |        |      |     |
| 致癌斜率因子<br>(CPSi, mg/kg/day)           |                                  | $1.5 \times 10^{-4}$ | $2.08 \times 10^{-4}$ |        |      |     |
| 體重 (BW, kg)                           | 73.3                             | 54.5                 | 35.7                  | Normal | 54.5 | 9.4 |
| 終生日數 (AT, day)                        |                                  |                      | 28470                 |        |      |     |

表 7 假設條件極端值的致癌風險計算結果

| 油品  | 狀況別 | 醛類別 | 生成率<br>(G,mg/hr) | 換氣量<br>(Q,m <sup>3</sup> /h) | 空氣中濃度<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | 醛類別<br>致癌風險值          | 總致癌<br>風險值**          |
|-----|-----|-----|------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 沙拉油 | 最差  | 甲醛  | 0.213            | 250.74                       | $8.50 \times 10^{-4}$         | $6.76 \times 10^{-7}$ | $1.54 \times 10^{-6}$ |
|     |     | 乙醛  | 1.600            | 250.74                       | $6.38 \times 10^{-3}$         | $8.68 \times 10^{-7}$ |                       |
|     | 平均  | 甲醛  | 0.195            | 645.49                       | $3.03 \times 10^{-4}$         | $1.58 \times 10^{-7}$ | $3.60 \times 10^{-7}$ |
|     |     | 乙醛  | 1.466            | 645.49                       | $2.27 \times 10^{-3}$         | $2.02 \times 10^{-7}$ |                       |
|     | 最佳  | 甲醛  | 0.178            | 1330.99                      | $1.33 \times 10^{-4}$         | $5.17 \times 10^{-8}$ | $1.18 \times 10^{-7}$ |
|     |     | 乙醛  | 1.332            | 1330.99                      | $1.00 \times 10^{-3}$         | $6.63 \times 10^{-8}$ |                       |
| 花生油 | 最差  | 甲醛  | 0.720            | 250.74                       | $2.87 \times 10^{-3}$         | $2.28 \times 10^{-6}$ | $5.52 \times 10^{-6}$ |
|     |     | 乙醛  | 5.964            | 250.74                       | $2.38 \times 10^{-2}$         | $3.24 \times 10^{-6}$ |                       |
|     | 平均  | 甲醛  | 0.708            | 645.49                       | $1.10 \times 10^{-3}$         | $5.71 \times 10^{-7}$ | $1.32 \times 10^{-6}$ |
|     |     | 乙醛  | 5.395            | 645.49                       | $8.36 \times 10^{-3}$         | $7.45 \times 10^{-7}$ |                       |
|     | 最佳  | 甲醛  | 0.697            | 1330.99                      | $5.24 \times 10^{-4}$         | $2.03 \times 10^{-7}$ | $4.43 \times 10^{-7}$ |
|     |     | 乙醛  | 4.826            | 1330.99                      | $3.63 \times 10^{-3}$         | $2.40 \times 10^{-7}$ |                       |
| 豬油  | 最差  | 甲醛  | 0.234            | 250.74                       | $9.34 \times 10^{-4}$         | $7.42 \times 10^{-7}$ | $1.65 \times 10^{-6}$ |
|     |     | 乙醛  | 1.679            | 250.74                       | $6.69 \times 10^{-3}$         | $9.11 \times 10^{-7}$ |                       |
|     | 平均  | 甲醛  | 0.184            | 645.49                       | $2.85 \times 10^{-4}$         | $1.48 \times 10^{-7}$ | $3.30 \times 10^{-7}$ |
|     |     | 乙醛  | 1.317            | 645.49                       | $2.04 \times 10^{-3}$         | $1.82 \times 10^{-7}$ |                       |
|     | 最佳  | 甲醛  | 0.133            | 1330.99                      | $1.00 \times 10^{-4}$         | $3.88 \times 10^{-8}$ | $8.63 \times 10^{-8}$ |
|     |     | 乙醛  | 0.955            | 1330.99                      | $7.18 \times 10^{-4}$         | $4.75 \times 10^{-8}$ |                       |

\* 陰影部份為超過可接受風險值 ( $1 \times 10^{-6}$ ) 者

\*\* 總致癌風險值=甲醛之致癌風險值+乙醛之致癌風險值

表 8 沙拉油油煙中甲醛與乙醛總暴露風險之蒙地卡羅模擬結果

**Forecast: Soybean Total Risk**

**Summary:**

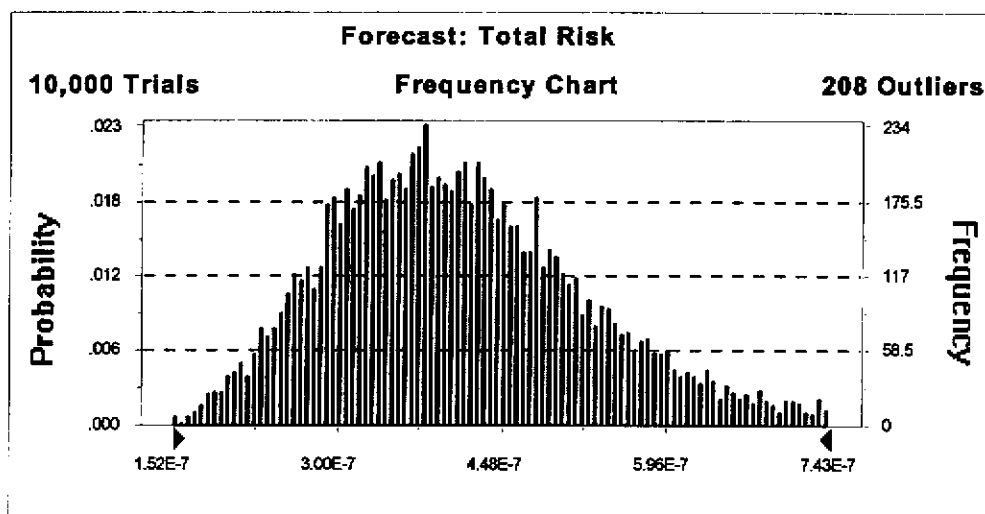
Display Range is from 1.52E-7 to 7.43E-7

Entire Range is from 1.38E-7 to 1.25E-6

After 10,000 Trials, the Std. Error of the Mean is 1.28E-9

**Statistics:**

|                       | <u>Value</u> |
|-----------------------|--------------|
| Trials                | 10000        |
| Mean                  | 4.17E-07     |
| Median                | 4.01E-07     |
| Mode                  | ---          |
| Standard Deviation    | 1.29E-07     |
| Variance              | 1.66E-14     |
| Skewness              | 1.01         |
| Kurtosis              | 5.06         |
| Coeff. of Variability | 0.31         |
| Range Minimum         | 1.38E-07     |
| Range Maximum         | 1.26E-06     |
| Range Width           | 1.12E-06     |
| Mean Std. Error       | 1.29E-09     |



**Percentiles:**

| <u>Percentile</u> | <u>Value</u> |
|-------------------|--------------|
| 0.0%              | 1.38E-07     |
| 2.5%              | 2.16E-07     |
| 5.0%              | 2.41E-07     |
| 50.0%             | 4.01E-07     |
| 95.0%             | 6.51E-07     |
| 97.5%             | 7.21E-07     |
| 100.0%            | 1.26E-06     |

**End of Forecast**

\* 以第 5、第 50 及第 95 百分位數為風險之最低值、平均值及最高值

表 9 花生油油煙中甲醛與乙醛總暴露風險之蒙特卡羅模擬結果

**Forecast: Peanut Total Risk**

**Summary:**

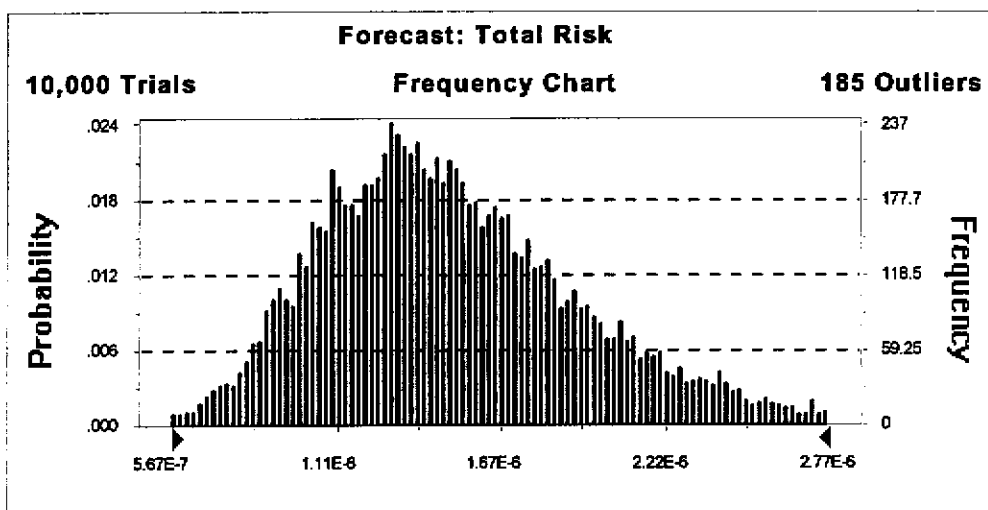
Display Range is from 5.67E-7 to 2.77E-6

Entire Range is from 4.74E-7 to 6.06E-6

After 10,000 Trials, the Std. Error of the Mean is 4.74E-9

Statistics: 53.

|                       | Value    |
|-----------------------|----------|
| Trials                | 10000    |
| Mean                  | 1.53E-06 |
| Median                | 1.46E-06 |
| Mode                  | ---      |
| Standard Deviation    | 4.74E-07 |
| Variance              | 2.25E-13 |
| Skewness              | 1.11     |
| Kurtosis              | 6.33     |
| Coeff. of Variability | 0.31     |
| Range Minimum         | 4.74E-07 |
| Range Maximum         | 6.06E-06 |
| Range Width           | 5.59E-06 |
| Mean Std. Error       | 4.74E-09 |



**Percentiles:**

| Percentile | Value    |
|------------|----------|
| 0.0%       | 4.74E-07 |
| 2.5%       | 8.01E-07 |
| 5.0%*      | 8.89E-07 |
| 50.0%      | 1.46E-06 |
| 95.0%      | 2.40E-06 |
| 97.5%      | 2.63E-06 |
| 100.0%     | 6.06E-06 |

**End of Forecast**

\* 以第 5、第 50 及第 95 百分位數為風險之最低值、平均值及最高值

表 10 豬油油煙中甲醛與乙醛總暴露風險之蒙地卡羅  
模擬結果

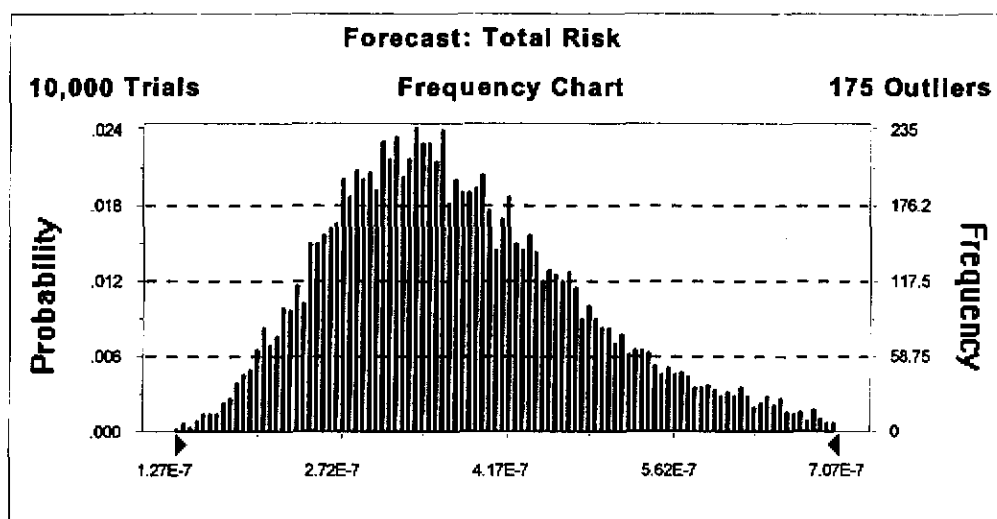
**Forecast: Lard Total Risk**

**Summary:**

Display Range is from 1.27E-7 to 7.07E-7  
Entire Range is from 1.16E-7 to 1.48E-6  
After 10,000 Trials, the Std. Error of the Mean is 1.24E-9

Statistics: 54.

|                       | Value    |
|-----------------------|----------|
| Trials                | 10000    |
| Mean                  | 3.82E-07 |
| Median                | 3.63E-07 |
| Mode                  | ---      |
| Standard Deviation    | 1.24E-07 |
| Variance              | 1.54E-14 |
| Skewness              | 1.24     |
| Kurtosis              | 7.07     |
| Coeff. Of Variability | 0.32     |
| Range Minimum         | 1.16E-07 |
| Range Maximum         | 1.48E-06 |
| Range Width           | 1.37E-06 |
| Mean Std. Error       | 1.24E-09 |



**Percentiles:**

| Percentile | Value    |
|------------|----------|
| 0.0%       | 1.16E-07 |
| 2.5%       | 1.96E-07 |
| 5.0%       | 2.16E-07 |
| 50.0%      | 3.63E-07 |
| 95.0%      | 6.11E-07 |
| 97.5%      | 6.67E-07 |
| 100.0%     | 1.48E-06 |

**End of Forecast**

\* 以第 5、第 50 及第 95 百分位數為風險之最低值、平均值及最高值

表 11 三種食用油煙水溶液的致突變檢定結果

| 檢測對象      | 菌落數平均 ± 標準差         |                    |                   |                     |                    |                   |
|-----------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
|           | Impinger 內油煙水溶液     |                    |                   | 萃取濾紙捕集油煙物之水溶液       |                    |                   |
|           | 沙拉油 (n=3)<br>TA100* | 花生油 (n=3)<br>TA98* | 豬油 (n=3)<br>TA98* | 沙拉油 (n=3)<br>TA100* | 花生油 (n=3)<br>TA98* | 豬油 (n=3)<br>TA98* |
| 現場空白樣品    | 377 ± 20            | 251 ± 92           | 364 ± 47          | 376 ± 61            | 187 ± 22           | 295 ± 36          |
| 水溶液樣品稀釋   |                     |                    |                   |                     |                    |                   |
| 0.001     | 392 ± 2.5           | 167 ± 11           | 313 ± 27          | 404 ± 34            | 159 ± 30           | 403 ± 60          |
| 0.002     | 358 ± 27            | 184 ± 7.9          | 298 ± 5           | 379 ± 38            | 164 ± 19           | 395 ± 49          |
| 0.01      | 401 ± 35            | -                  | -                 | 375 ± 62            | -                  | -                 |
| 0.1       | 407 ± 61            | 208 ± 27           | 398 ± 12          | 376 ± 12            | 172 ± 16           | 347 ± 76          |
| 0.2       | -                   | 176 ± 21           | 364 ± 46          | -                   | 173 ± 16           | 313 ± 38          |
| 1         | 361 ± 46            | 207 ± 7.8          | 292 ± 34          | 403 ± 18            | 182 ± 15           | 320 ± 18          |
| 對照組       |                     |                    |                   |                     |                    |                   |
| Positive* | 1671 ± 447          | 1433 ± 906         | 918 ± 121         | 1671 ± 447          | 1433 ± 906         | 918 ± 121         |
| Negative  | 295 ± 16            | 428 ± 55           | 278 ± 51          | 295 ± 16            | 428 ± 55           | 278 ± 51          |
| 稀釋用逆滲透水   | 291 ± 38            | 379 ± 18           | 338 ± 21          | 291 ± 38            | 379 ± 18           | 338 ± 21          |

\* 菌種使用 TA98 時 positive control 為 NQNO (4-nitroquinoline-N-oxide); 菌種使用 TA100 時 positive control 為 NaN<sub>3</sub>

- 表示該項沒有檢測

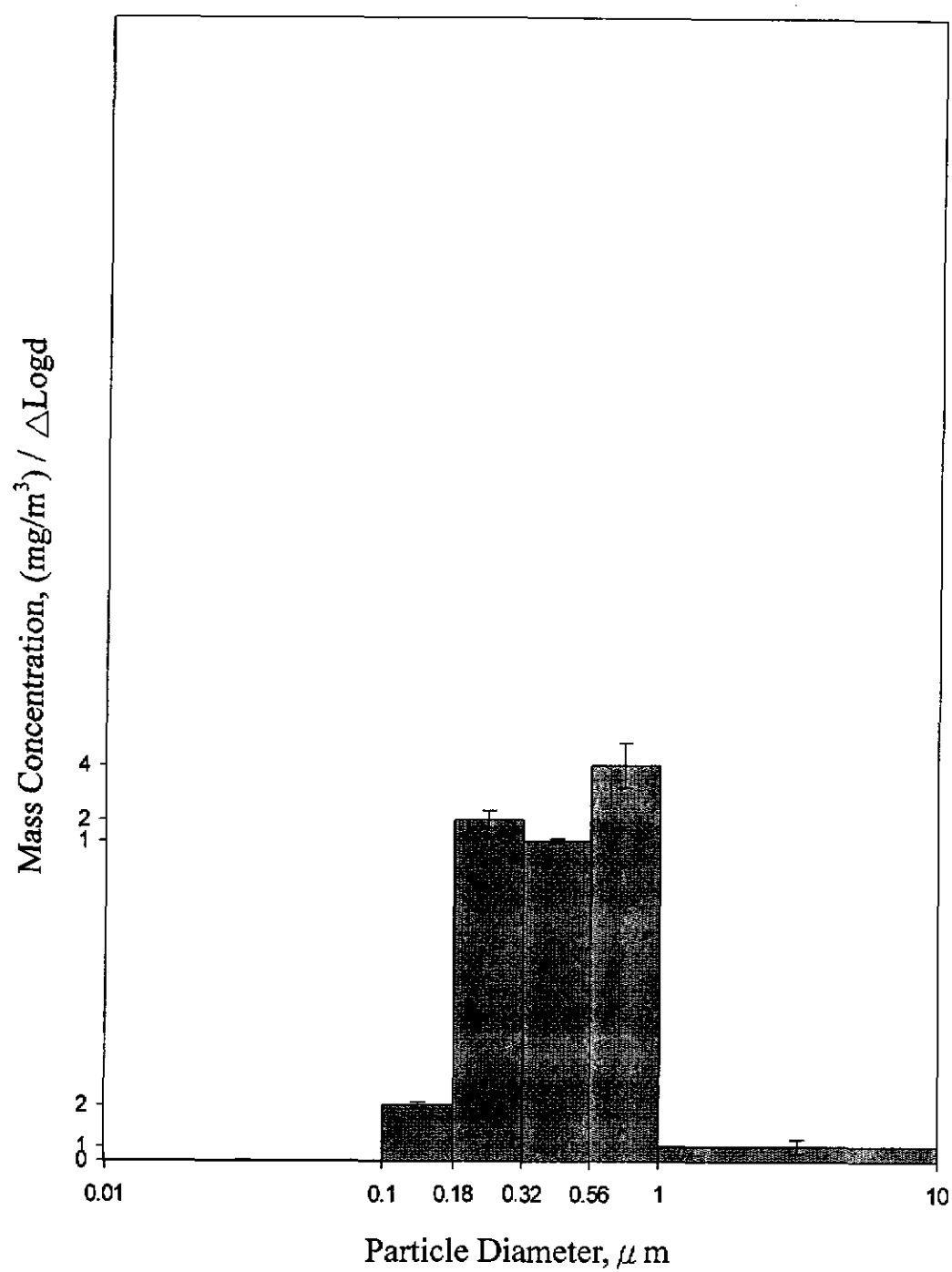


圖 1 沙拉油油煙微粒分粒徑之質量濃度分布

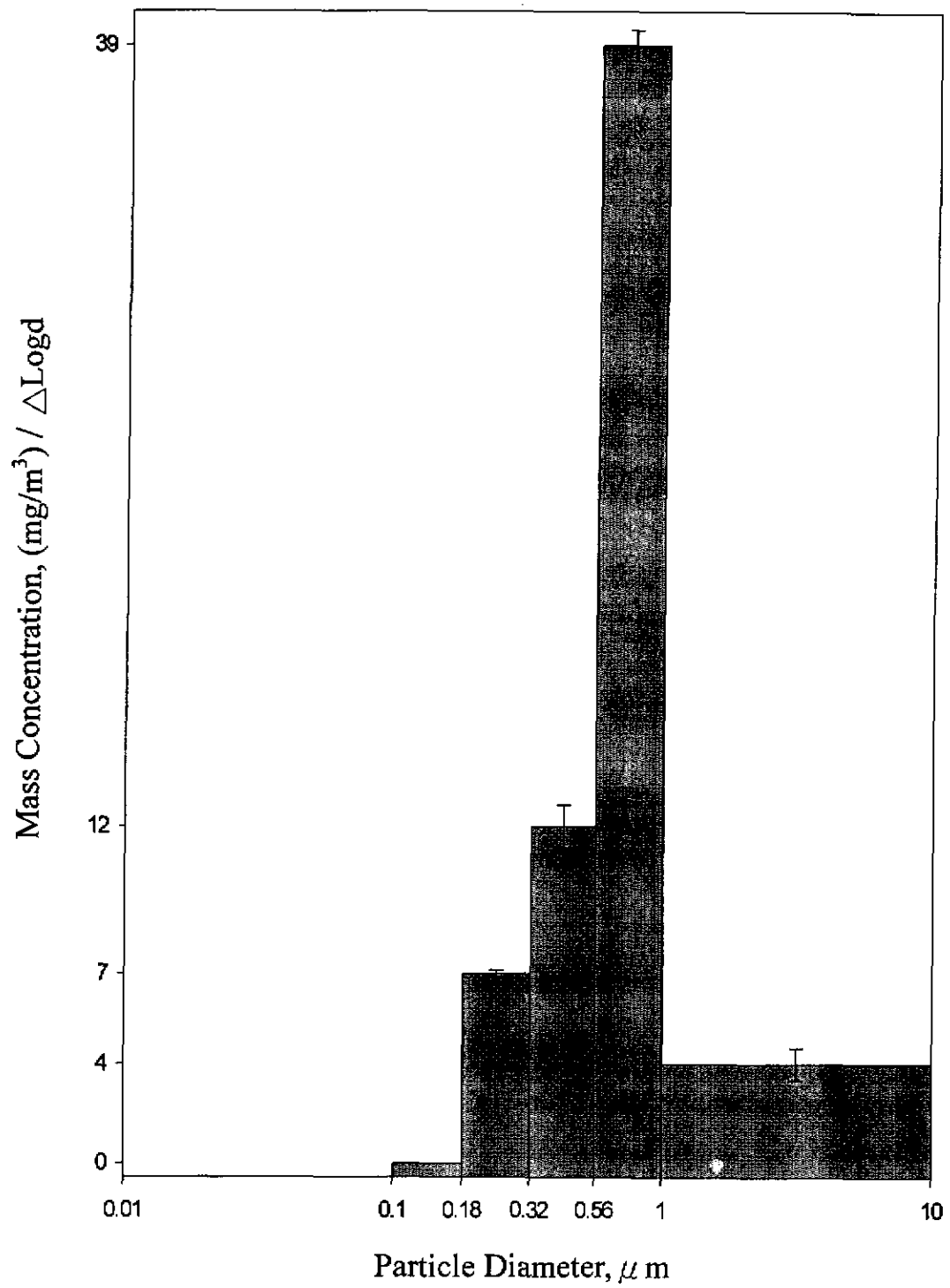


圖 2 花生油油煙微粒分粒徑之質量濃度粒徑分布

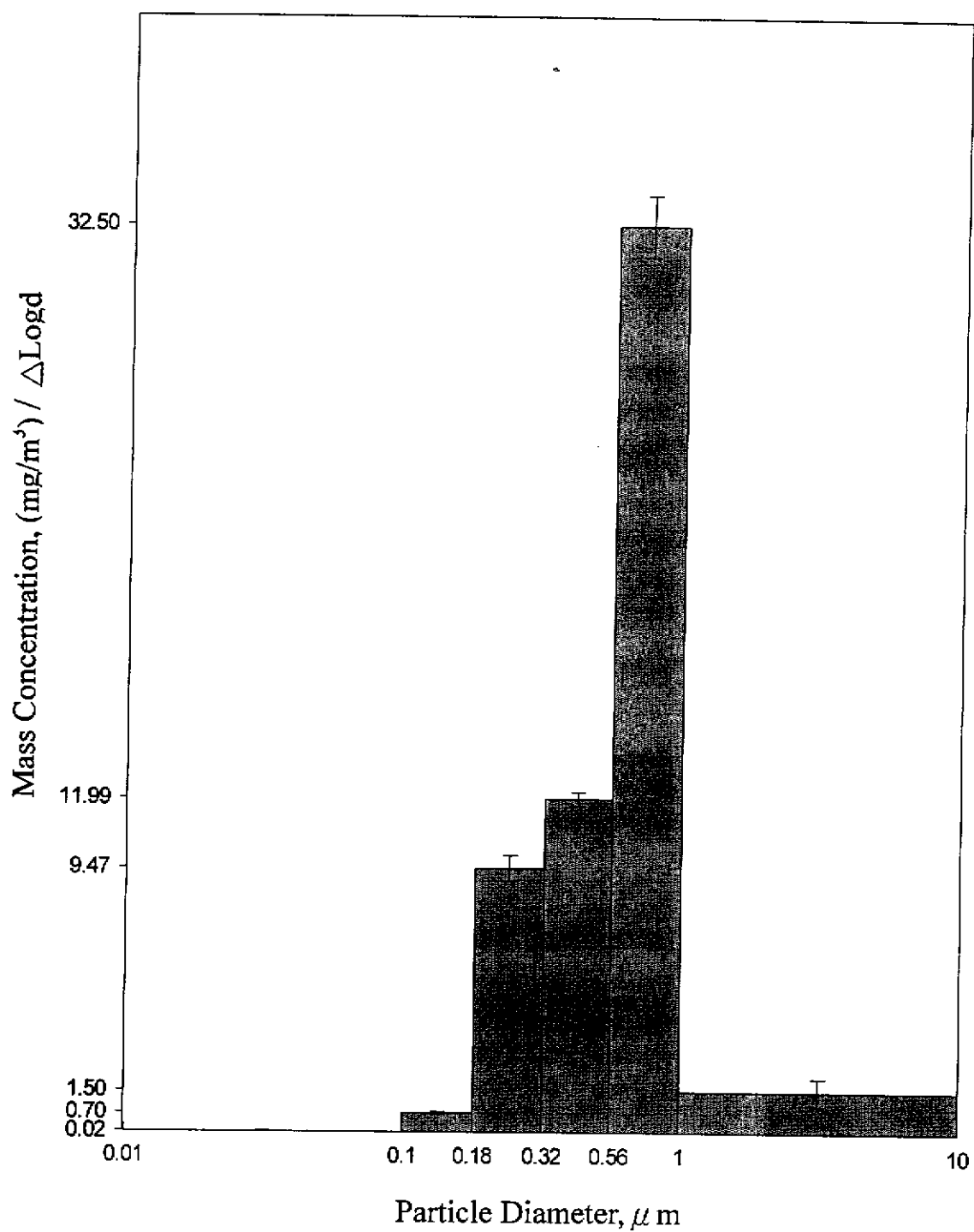


圖 3 豬油油煙微粒分粒徑之質量濃度分布

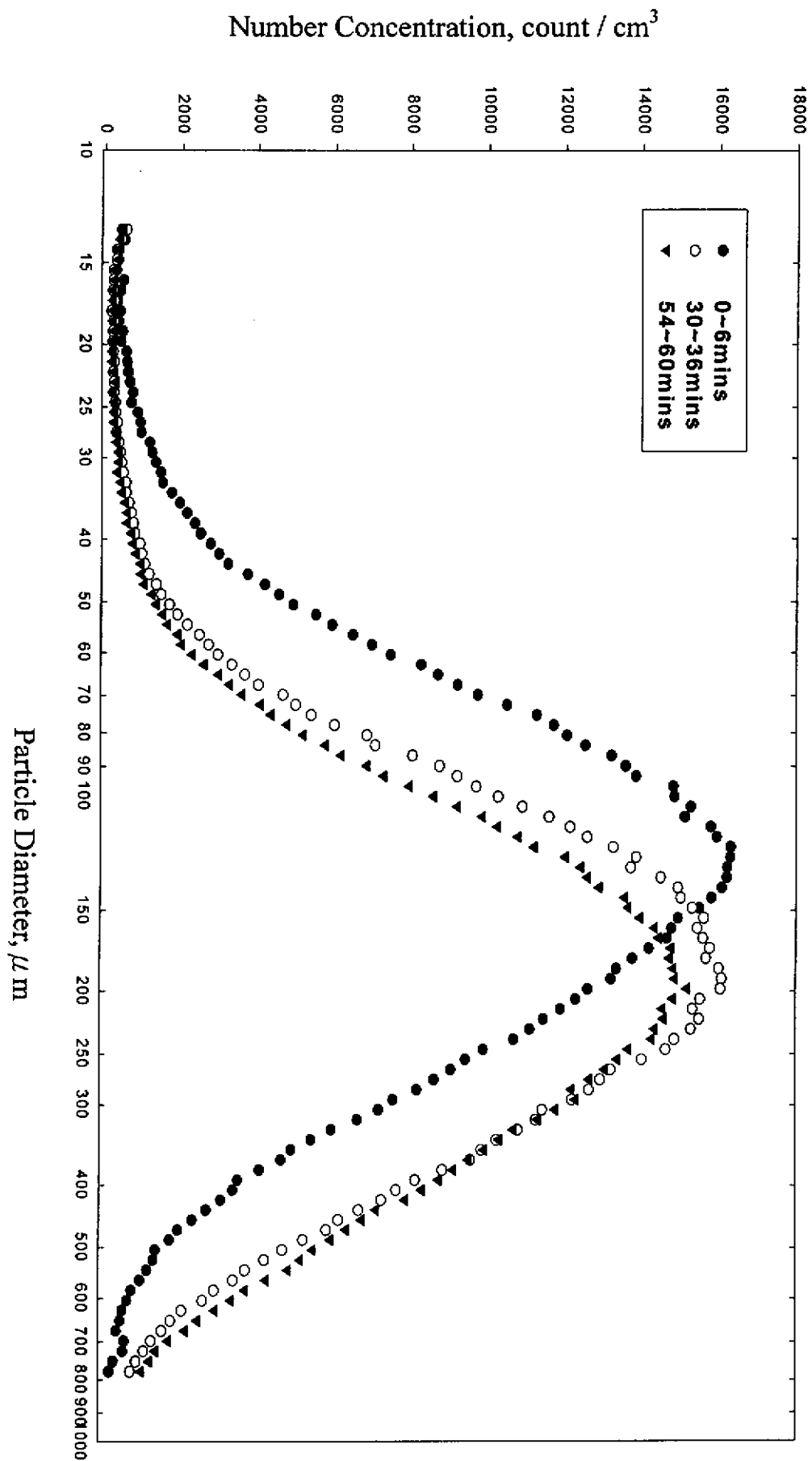


圖 4 不同加熱時間下，沙拉油油煙微粒分粒徑之數量濃度分布

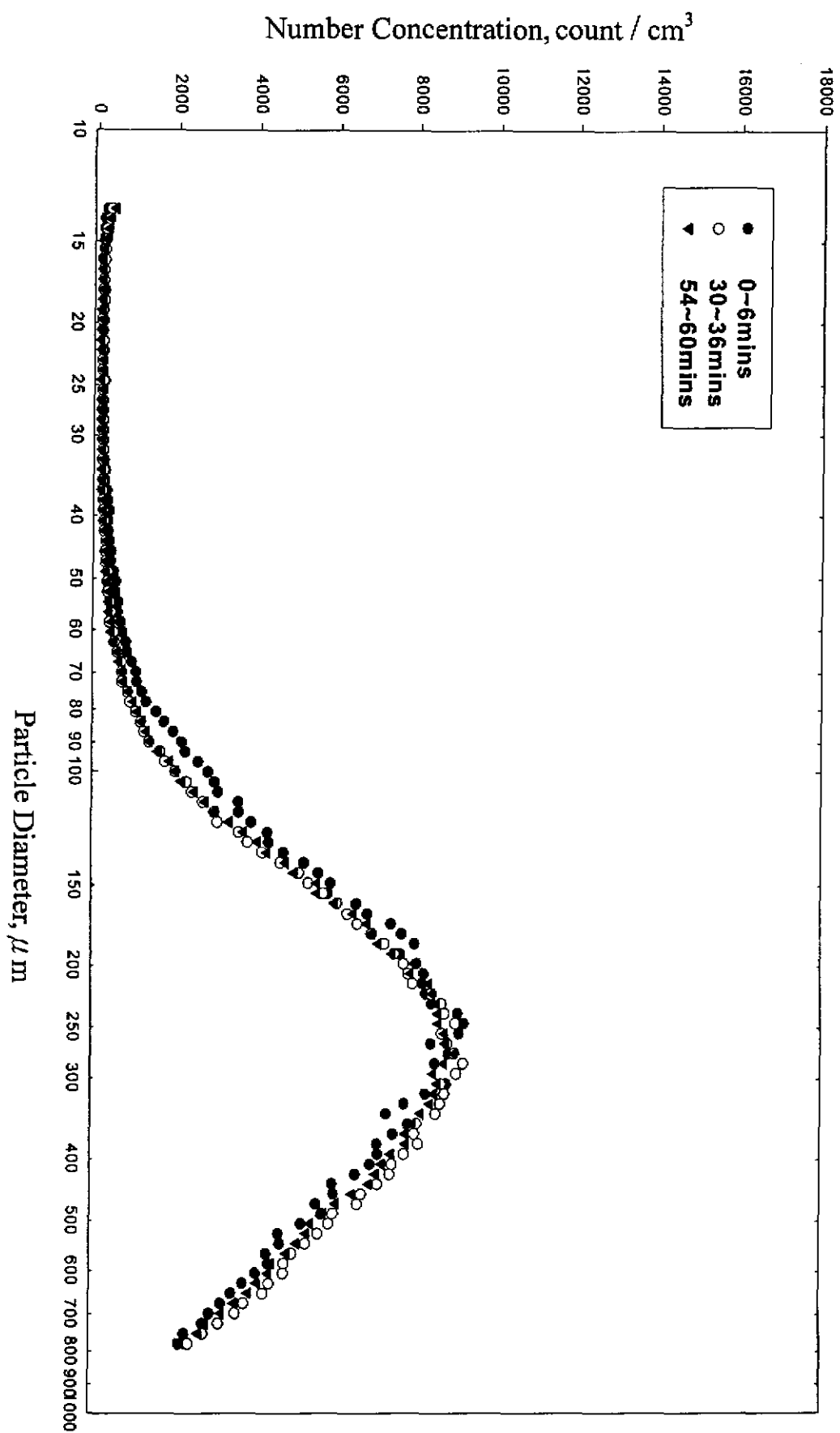


圖 5 不同加熱時間下，花生油煙微粒分粒徑之數量濃度分布

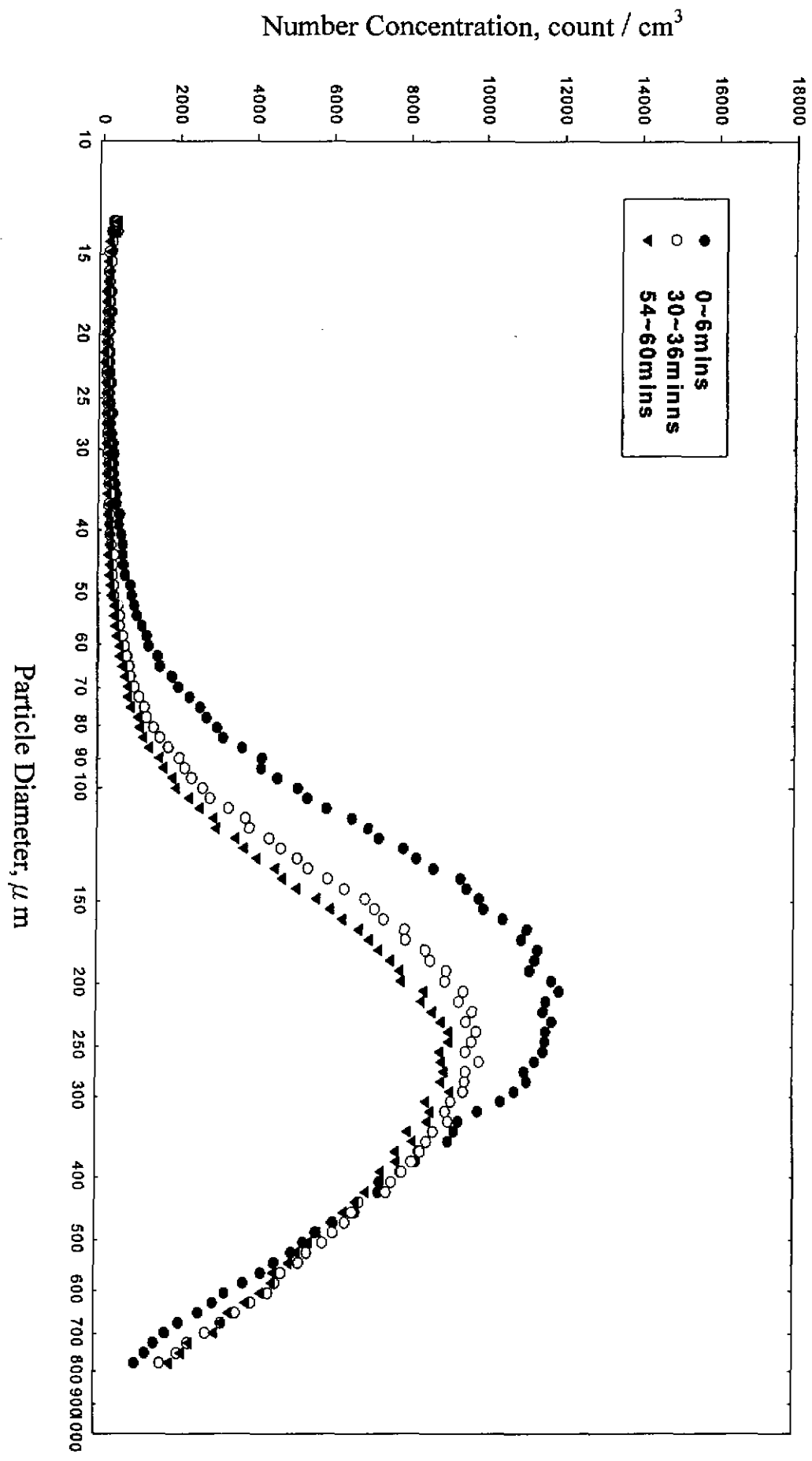


圖 6 不同加熱時間下，豬油油煙微粒分粒徑之數量濃度分布

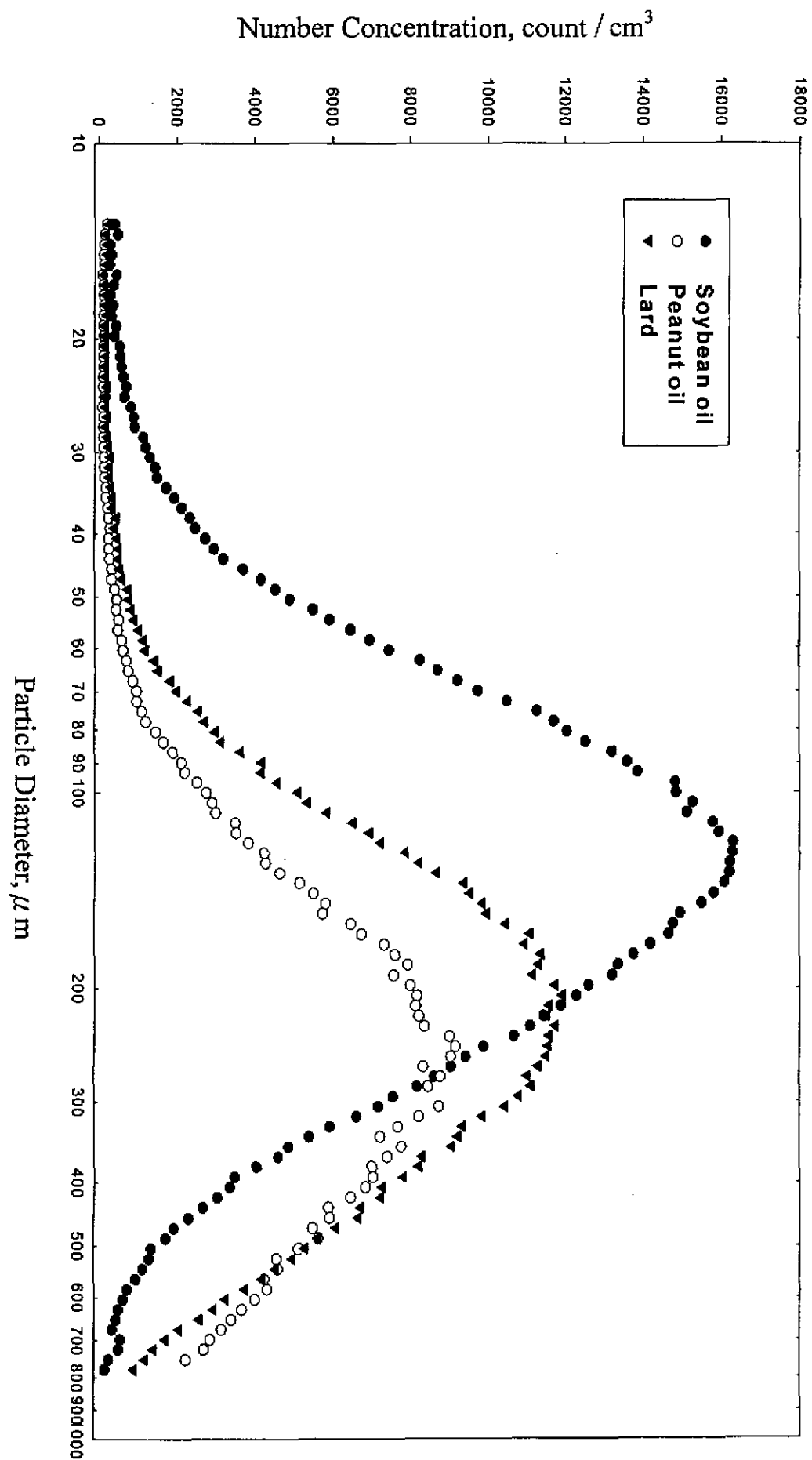


圖 7 加熱 0~6 分鐘三種食用油煙微粒分粒徑之數量濃度分布

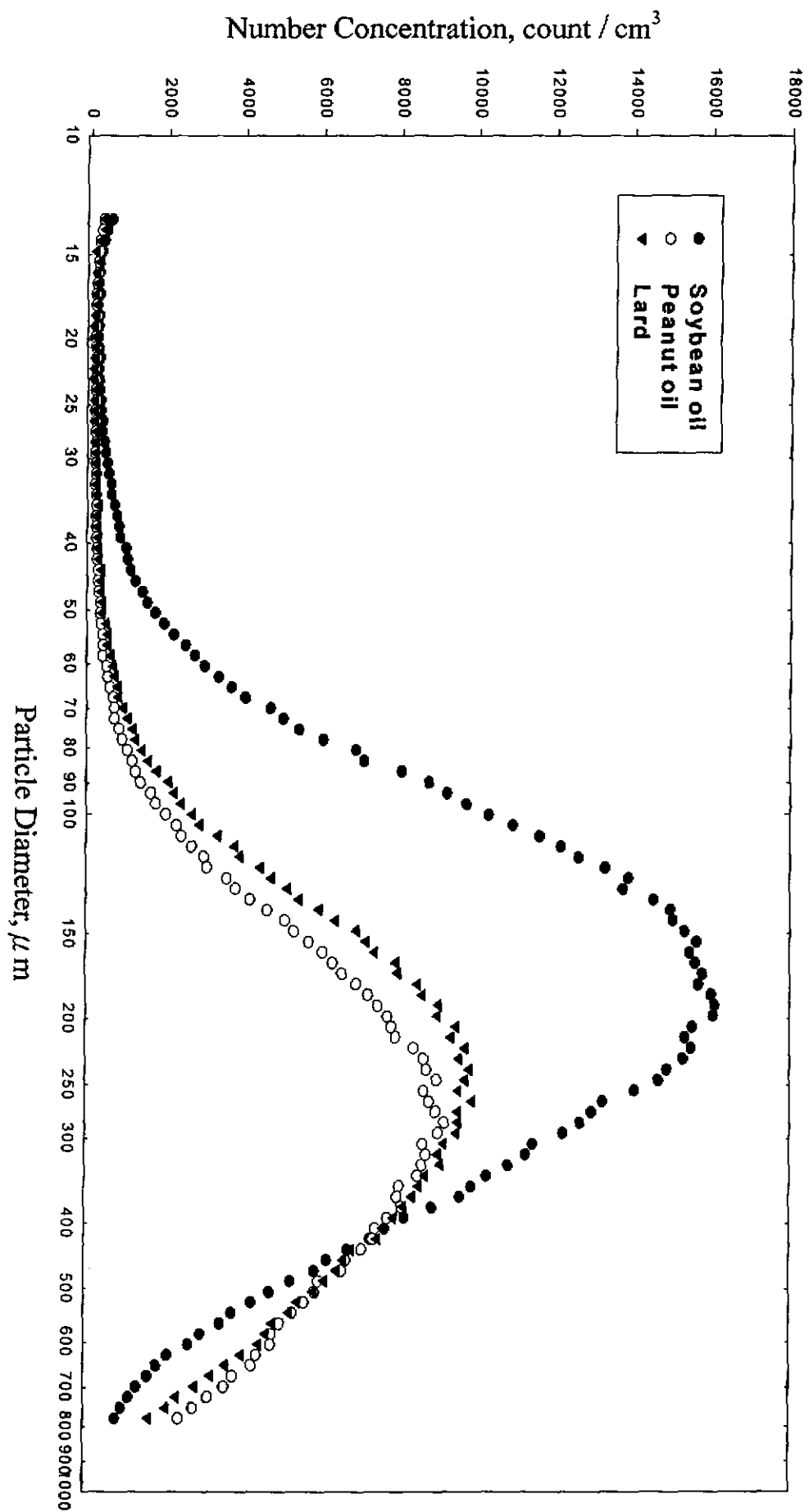


圖 8 加熱 30~36 分鐘三種食用油煙微粒分粒徑之數量濃度分布

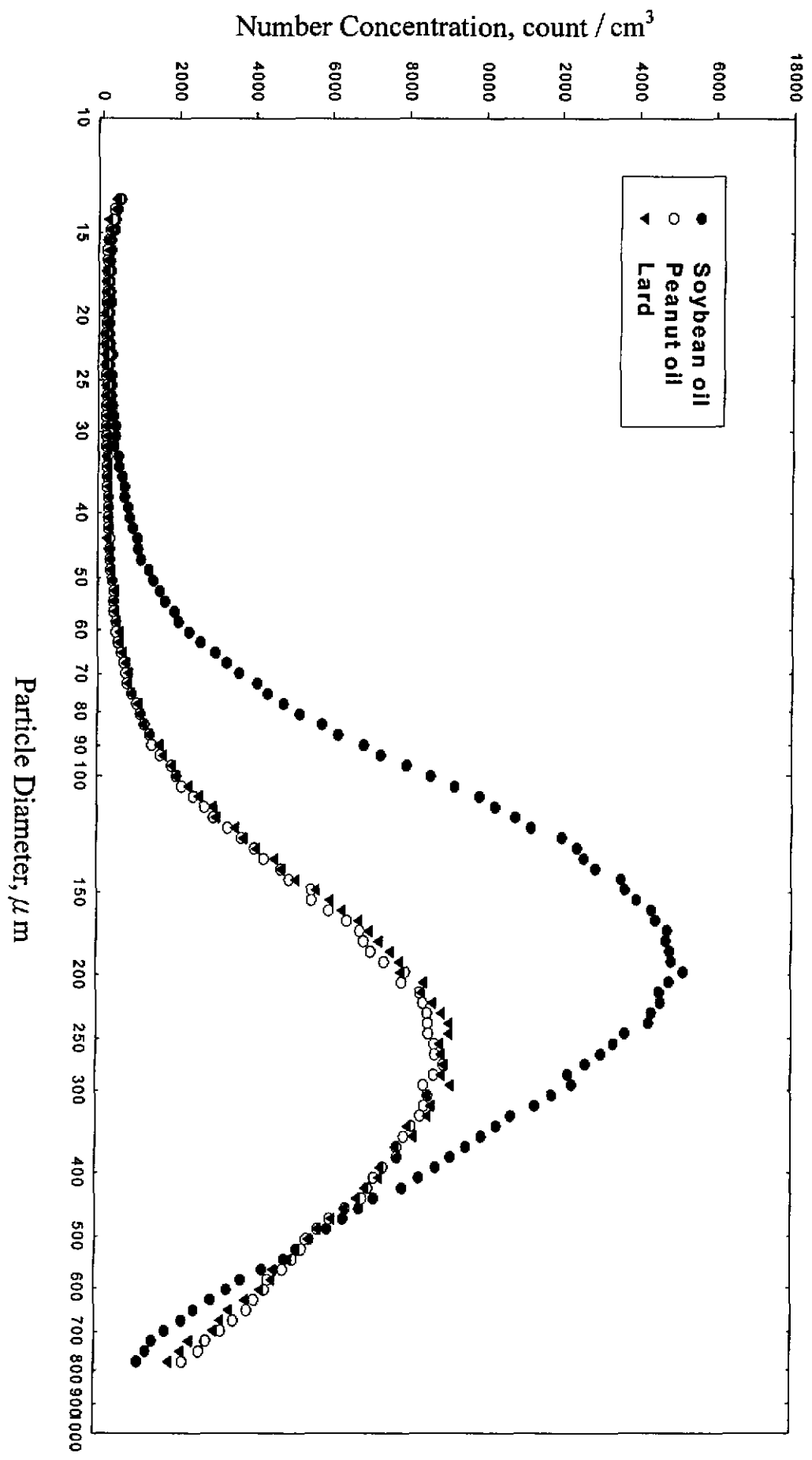


圖 9 加熱 54-60 分鐘三種食用油煙微粒分粒徑之數量濃度分布

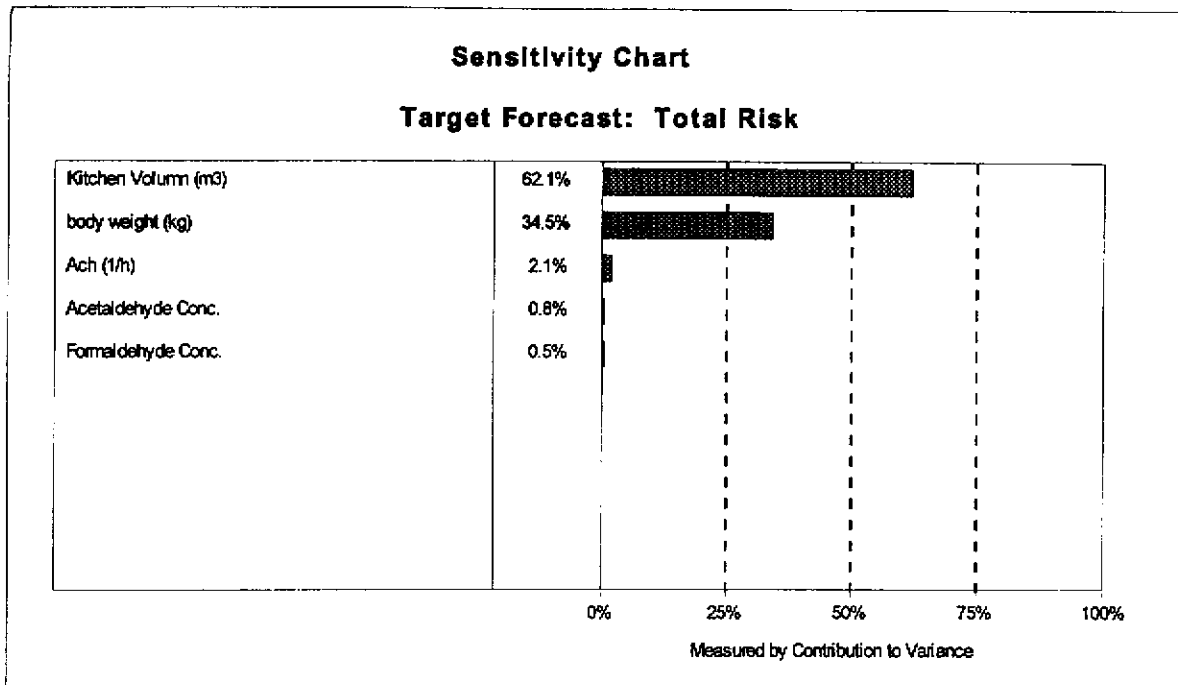


圖 10 以蒙地卡羅方法模擬沙拉油油煙暴露風險推估參數之靈敏度分析

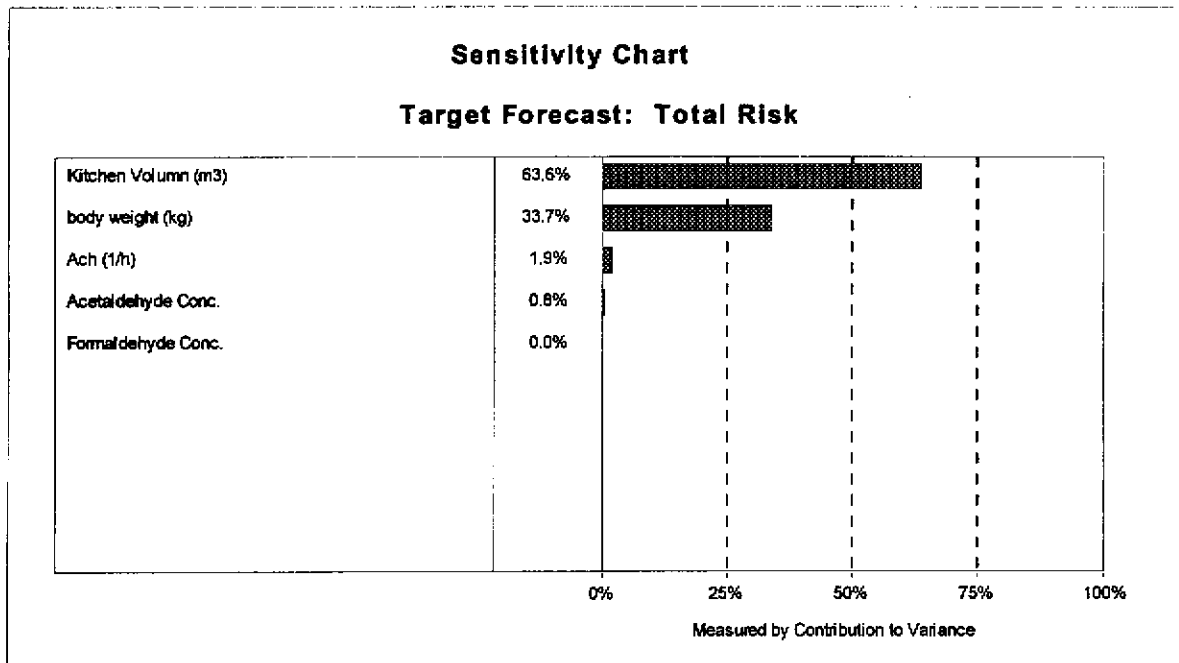


圖 11 以蒙地卡羅方法模擬花生油油煙暴露風險推估參數之靈敏度分析

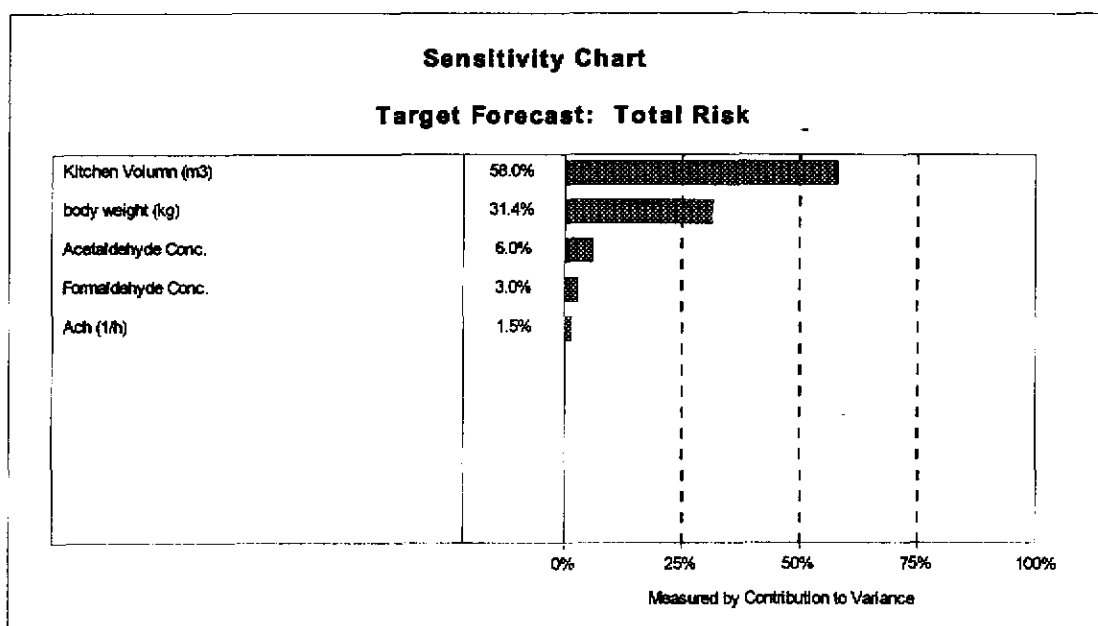


圖 12 以蒙特卡羅方法模擬豬油油煙暴露風險推估參數之靈敏度分析