

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

喃甲醛的暴露評估(II) – 以固相微萃取發展空氣中及各式食物中喃甲醛的偵測分析技術

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2320-B-039-012-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：中國醫藥大學職業安全與衛生系

計畫主持人：蔡詩偉

計畫參與人員：高國源

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 9 月 5 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※

※

※

※

喃甲醛的暴露評估(II)

※

※

--以固相微萃取發展空氣中及各式食物中

※

※

喃甲醛的偵測分析技術

※

※

※

※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2320-B-039-012- -

執行期間：93.08.01 至 94.07.31

計畫主持人：蔡詩偉

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：中國醫藥大學職業安全與衛生學系

中華民國 94 年 09 月 06 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 93-2320-B-039-012-

執行期限：93年08月01日至94年07月31日

主持人：蔡詩偉 中國醫藥大學職業安全與衛生學系

計畫參與人員：高國源 中國醫藥大學環境醫學研究所

一、中文摘要

本研究之目的是嘗試以固相微萃取技術結合五氟苄脛胺之衍生反應，發展空氣樣本及食物樣本中之呋喃甲醛的採樣分析技術。

空氣樣本部分，選擇 65 μm Polydimethylsiloxane/Divinylbenzene (PDMS/DVB) 固相微萃取纖維來組成被動式採樣器，經頂空裹附五氟苄脛胺衍生試劑（裹附量為 28.9 μg ）後進行呋喃甲醛採樣，採樣結束後直接以氣相層析質譜儀進行熱脫附並分析定量。研究中探討不同環境條件對於所設計採樣器的影響，並與美國職業安全衛生署（Occupational Safety and Health Administration, OSHA）Organic Method#72 進行平行比對。

食物樣本部分，同樣選擇 65 μm PDMS/DVB 固相微萃取纖維為介質，經頂空裹附五氟苄脛胺衍生試劑（針對酸樣本的裹附量為 57.82 μg 、針對啤酒樣本的裹附量為 57.82 μg 、針對嬰兒奶粉樣本的裹附量為 46.30 μg ）後進行呋喃甲醛萃取，再以氣相層析質譜儀進行熱脫附並分析定量，並探討不同因素對頂空萃取的影響，及選擇建議之萃取條件。

空氣樣本之測試結果，發現在不同濃度（0.5、1、4、8、16 倍 TLV-TWA）、溫度（4、25、35 $^{\circ}\text{C}$ ）、濕度（6、80%）的條件下，進行 10、20、40、60、90 min 等不同時間之採樣，僅溫度會對採樣率造成影響，在 4 $^{\circ}\text{C}$ 時，實驗採樣率為 $(3.758 \pm 0.062) \times 10^{-2}$ (cm^3/min)；25 $^{\circ}\text{C}$ 時，實驗採樣率為 $(5.023 \pm 0.102) \times 10^{-2}$ (cm^3/min)；35 $^{\circ}\text{C}$ 時，實驗採樣率為 $(13.254 \pm 0.112) \times 10^{-2}$ (cm^3/min)。與 OSHA Organic Method#72 方法之平行比對結果顯示有良好之相關（ $R = 0.993$ ，

slope = 1.054 ± 0.055 ）。偵測極限為 0.565 ng。

食物樣本之測試結果，發現不同萃取時間、溫度與離子強度皆會對萃取量造成影響，而其影響因樣本不同而略有差異。本研究所測試樣本之最佳萃取條件，陳年醋為萃取時間 10 min、萃取溫度 20 $^{\circ}\text{C}$ 、氯化鈉添加量的濃度 142 mg/mL；啤酒為萃取時間 10 min、萃取溫度 20 $^{\circ}\text{C}$ 、氯化鈉添加量的濃度 142 mg/mL；嬰兒奶粉水溶液為萃取時間 15 min、萃取溫度 20 $^{\circ}\text{C}$ 、氯化鈉添加量的濃度 71 mg/mL。陳年醋的偵測極限為 3.087 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，啤酒的偵測極限為 8.237 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，嬰兒奶粉水溶液的偵測極限為 14.047 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

若將本研究所設計之被動式採樣器應用於實際環境時，需注意溫度可能造成之影響。若應用在食物樣本之分析時，須先測試以獲得建議之萃取條件。

關鍵詞：固相微萃取、呋喃甲醛、五氟苄脛胺、被動式採樣器

Abstract

The aim of this research was to develop a new sampling and analysis method for furfural in air and food based on the technique of solid-phase microextraction (SPME) and the use of O-2,3,4,5,6-(pentafluorobenzyl)hydroxylamine (PFBHA).

For air sample, the polydimethylsiloxane/divinylbenzene (PDMS/DVB) fiber was used for sampling. PFBHA was first coated onto the fiber by headspace extraction and the SPME diffusive sampler was then assembled. The sample was analyzed directly by GC/MS for thermal desorption and quantification. The sampling rate of the passive sampler was determined

and effects from different environmental conditions were investigated. Besides, the side-by-side comparison with the OSHA Organic Method#72 were also performed.

For food sample, the PDMS/DVB fiber was also used. PFBHA was first coated onto the fiber then the headspace extraction for furfural in sample was performed. After sampling, the sample was analyzed directly by GC/MS for thermal desorption and quantification. Factors that might affect the extraction efficiencies were evaluated.

For air sample, the results showed that different relative humidities (6%~80%) and different concentrations (3.93~125.76mg/m³) will not affect the performance of the sampler. However, the sampling rates were diverse at different temperatures (The sampling rates were $(3.758\pm 0.062)\times 10^{-2}$, $(5.023\pm 0.102)\times 10^{-2}$, and $(13.254\pm 0.112)\times 10^{-2}$ cm³/min at 4°C, 25°C and 35°C, respectively. On the other hand, it was shown that the results between the SPME device and the OSHA Organic Method#72 were liner and consistent ($r=0.9817$, slope=1.054±0.055). Detection limit was 0.565 ng.

For food sample, it was found that extraction time, temperature, and ionic strength will affect the efficiency of extraction. The extraction conditions chosen for vinegar and beer were: temperature at 20°C, concentration of NaCl spiked equal 142 mg/mL and 10 min for extraction. Conditions for infant formulas were: temperature at 20°C, concentration of NaCl spiked equal 71 mg/mL and 15 min for extraction. Detection limits were 3.087 µg/L(vinegar), 8.237 µg/L(beer), and 14.047 µg/L(infant formulas).

Keywords: SPME, Furfural, PFBHA, Passive sampler

二、緣由與目的

本計劃為「喃甲醛的暴露評估」之第二年研究，以建立空氣中及各式食物中喃甲醛偵測分析技術為研究之重點。喃甲醛(furfural)是一種味道類似苯甲

醛(benzaldehyde)的無色油性液體[The Merck Index 1996]，其味覺閾值為0.078ppm[ACGIH 1991]。喃甲醛在工業上被廣泛使用，包括石化工業、樹脂製造、溶劑回收、化學中間產物、殺蟲劑、除草劑等[The Merck Index 1996, ACGIH 1991, IPCS 2000]。喃甲醛被美國環保署(US EPA)列為高使用量的化學物質之一[US EPA 2001]，其1998年在美國的產量估計在11000~45000噸之間[IPCS 2000]；在台灣，喃甲醛亦被行政院勞委會公告為有害物[勞委會 1992]。喃甲醛除了工業上的使用外，亦存在於許多的飲食成份中[IPCS 2000]，如各種飲料、糖果、糕點、布丁、甚至口香糖中。以近年來非常受歡迎的茶飲料來說，製造過程中的焙火條件將直接影響飲料中喃甲醛的含量[陳清泉等 1996]；柳橙汁與蘋果汁的加工過程中，加熱條件會影響喃甲醛的量[馬保之等 1990, 蔡維鐘等 1991]；咖啡豆的焙炒條件也會影響喃甲醛的生成[顏裕鴻 1995]；在製酒的發酵過程中或酒精酸敗時，部分的醇也可能氧化成喃甲醛[台南縣衛生局衛教宣導資料]；此外，拜香的燃燒也會產生喃甲醛蒸氣[林嘉明 1993]。

喃甲醛的暴露，除了上述可能經由飲食或呼吸道進入人體之外，經由皮膚接觸的途徑亦不能忽視[Flek 1978, ACGIH 1991]。5 ppm 喃甲醛蒸氣的暴露對眼睛、黏膜及皮膚都會造成嚴重的刺激[ACGIH 1991]，因此 ACGIH 針對喃甲醛所訂定之暴露容許界限值(threshold limit values, TLVs)為 2ppm (TLV-TWA)，行政院勞委會對喃甲醛所公告之勞工作業場所空氣中有害物質容許濃度標準亦為 2ppm[勞委會 1995]；此外，喃甲醛亦是 ACGIH 所認定的確定動物致癌物[ACGIH 2000]。動物實驗結果顯示，食入或吸入喃甲醛皆有明顯的毒性(4-h LC₅₀ 為 235 ppm, oral LD₅₀ 為 120 mg/kg body weight)[IPCS 2000]；NOAELs (no-observed-adverse-effect levels) 為 52 ppm(兔子)[IPCS 2000]。除了對眼睛、黏膜及皮膚會造成嚴重刺激之外，人體在作業場所較高濃度的喃甲醛暴露也會有致癌及導致基因毒性的風險[IPCS 2000]。至於一般環境中較低濃度的暴露

(包括: 水、食物、及空氣等), 由於現有資料不足, 仍沒有確定的結論。

喃甲醛的暴露途徑包含: 食入、吸入及皮膚接觸。空氣中喃甲醛濃度的採樣分析, 常用的方法包括OSHA method 72 (美國職業安全衛生署, Occupational Safety and Health Administration)[OSHA 1988]、NIOSH method 2529(美國職業安全衛生研究所)[NIOSH 1994]、及勞委會標準分析方法5009[勞委會 1991]。不過如果只考慮經由吸入進入人體的途徑而忽略食入及皮膚接觸的可能, 顯然不能完整地評估喃甲醛的暴露狀況。然而不同食物中喃甲醛含量的分析方法, 其敏感度仍有待提升[IPCS 2000], 至於生物偵測方面亦有不少限制。

ACGIH對喃甲醛所建議的生物偵測方式是在每天工作結束後, 採集尿液樣本並量測喃甲酸(furoic acid), 其BEI為200 mg/g creatinine[ACGIH 2000]。喃甲醛BEI的訂定依據是在空氣濃度為TLV-TWA 2ppm下八小時暴露後, 喃甲酸在尿中所可能測出的含量[ACGIH 1991]。然而, 如果經由食入、或皮膚接觸喃甲醛, 則其暴露量與尿中喃甲酸的關係則仍不清楚; 此外, 尿中喃甲酸的濃度與不良健康效應之間的關係也仍待建立。

由以上的背景敘述可以了解, 為了保護大眾的健康, 不論在一般環境或勞工作業場所, 進行喃甲醛的暴露評估是有必要的, 但可使用的評估工具卻仍有限制。因此, 本研究希望藉由逐年計劃的執行, 達成下列的目的:

1. 建立方便、敏感、正確且能同步偵測尿中喃甲酸及肌酸酐的技術, 以解決目前於分析時容易出現的問題
2. 建立空氣中及各式食物中喃甲醛之分析技術
3. 建立空氣及食物中喃甲醛含量與尿中喃甲酸的關係
4. 喃甲醛的暴露評估

本年度的重點即著重於利用固相微萃取技術(solid-phase microextraction, SPME), 建立空氣中及各式食物中喃甲醛的偵測分析技術, 以改進現有方法的缺點。

三、結果與討論

空氣樣本之採樣分析方法

首先將裹附五氟苄脛胺20 min之萃取纖維直接進行熱脫附, 以評估脫附效率。脫附效率的決定是將同一樣本在完成第一次纖維脫附分析後, 在同樣的分析條件下, 直接將纖維再置入注射口進行第二次纖維脫附分析; 由表1可知, 脫附效率隨著脫附時間的增加而增加, 在脫附溫度為250°C的情況下, 當脫附時間為2 min時, 脫附效率已達99.99%以上。

使用空氣採樣袋進行採樣率測試之結果, 利用「固相微萃取萃取纖維採集之喃甲醛量」對「暴露時間與濃度之乘積」作圖, 再以線性迴歸分析方式獲得採樣器之實驗採樣率; 表2列出各種不同濃度、溫度、濕度下測試所得之實驗採樣率。

所得之實驗採樣率加以統計檢定, 發現在相同的溫度和濕度下, 不同濃度經測試所得之實驗採樣率皆沒有顯著差異(P值最小為0.1316); 在相同溫度和濃度下, 不同濕度經測試所得之實驗採樣率皆沒有顯著差異(P值最小為0.0654); 在相同濕度和濃度下, 不同溫度經測試所得之實驗採樣率皆具有顯著差異(P值最大為0.0118)。故本研究發現, 濃度和濕度不會影響採樣率, 而溫度則會影響採樣率。因此將所有的採樣率測試結果放在一起, 以「固相微萃取萃取纖維採集之喃甲醛量」對「暴露時間與濃度之乘積」作圖, 如圖1。考慮濃度和濕度不會對採樣率造成影響, 而溫度會對採樣率造成影響, 故分別將相同溫度的情況下不同濃度和濕度之採樣率測試結果視為同一組, 進行線性迴歸分析, 可分別得到在不同溫度(4°C、25°C、35°C)下之實驗採樣率, 在4°C時, 實驗採樣率為 $(3.758 \pm 0.062) \times 10^{-2}$ (cm³/min); 25°C時, 實驗採樣率為

$(5.023 \pm 0.102) \times 10^{-2}$ (cm³/min)；35°C時，實驗採樣率為 $(13.254 \pm 0.112) \times 10^{-2}$ (cm³/min)。

本研究以固相微萃取纖維經頂空裹附五氟苄脛胺2 min後，組裝成被動式採樣器，再使用動態暴露系統進行與OSHA Organic Method#72方法之平行比對，其結果可以「SPME被動式採樣器所測定之濃度」對「OSHA Organic Method#72方法所測定之濃度」作圖，再利用線性迴歸分析，以探討兩種採樣方法所得測定結果之相關性。本研究將SPME被動式採樣器與OSHA Organic Method#72方法之採樣設備同時於暴露腔中進行採樣，暴露濃度為0.5、1、2、4倍TLV-TWA，溫度為25°C，採樣時間為60 min，如圖2，平行比對之結果顯示有良好之相關（R=0.993，slope=0.945±0.031）。

食物樣本之採樣分析方法

本研究分別測試不同萃取時間、溫度、離子強度（添加氯化鈉以改變樣本之離子強度）對於呋喃甲醛萃取量所造成的影響，以探討最佳之萃取條件。

萃取時間的範圍為1、5、10、15、20、40 min，結果如圖3.1~3.3，由圖中可知，當吸附20 min時，各種樣本之呋喃甲醛吸附量不再隨著時間的增加而有明顯變化，已逐漸達到平衡之趨勢。結果顯示，當樣本陳年醋、啤酒、以去離子水沖泡之嬰兒奶粉水溶液的萃取時間分別為10、10、15 min時，吸附量皆已達平衡時之90%以上；再分別以10、10、15 min之萃取時間對樣本醋、啤酒、以去離子水沖泡之嬰兒奶粉水溶液進行溫度與呋喃甲醛萃取量的測試，溫度範圍為20、40、60、80°C，結果如圖4.1~4.3，由圖中可知，各種樣本之呋喃甲醛吸附量隨著溫度的升高而增加；在萃取溫度為20°C的條件下，分別以10、10、15 min之萃取時間對樣本醋、啤酒、以去離子水沖泡之嬰兒奶粉進行離子強度（添加氯化鈉以改變樣本之離子強度）與呋喃甲醛萃取量的測試，氯化鈉添加量的濃度範圍為0、71、142 mg/mL，結果如圖5.1~5.3，由圖中可知，

各種樣本之呋喃甲醛吸附量隨著氯化鈉濃度的升高而增加。

經由測試並選定最佳之萃取條件後，進行採樣分析以檢測各樣本之呋喃甲醛含量，所得之結果為陳年醋 0.340 ± 0.013 mg/L；啤酒 0.424 ± 0.014 mg/L；以去離子水沖泡之嬰兒奶粉水溶液 0.0548 ± 0.003 mg/L，相當於嬰兒奶粉中的含量為 3.703 ± 0.225 mg/100g。文獻指出各樣本中呋喃甲醛的含量如下，醋中所含濃度約為0.31~14.19 mg/L；啤酒中所含濃度約為150~300 ppb；嬰兒奶粉中所含濃度約為230 ppm。本研究所得之結果與文獻記載略有不同，其原因可能是因為使用的樣本不盡相同，且食物中呋喃甲醛含量會隨著保存期間的長短與保存時的條件而有所變動。

四、計畫成果自評

本研究以固相微萃取配合衍生技術，成功地發展出定量空氣中及各式食物中呋喃甲醛的偵測分析方法，與現有的其他方法比較，除了簡化分析過程之外，也更具有特異性。

五、參考文獻

ACGIH, Amer. Conf. Governm. Indust. Hygienists, ACGIH: 2000 *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*, ACGIH (2000).

ACGIH, Amer. Conf. Governm. Indust. Hygienists, ACGIH: *Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices*, 6th ed. (1991).

Bishop, M.L.; Duben-Engelkirk, J.L.; Fody, E.P.: *Cilical Chemistry - principles, procedures, correlations* 4th. (2000).

Boeniger, M.F.; Lowry, L.K.; Rosenberg J.: *Interpretation of urine results used to*

assess chemical exposure with emphasis on creatinine adjustments: a review. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 54(10):615-627 (1993).

Brubec, M.J.: Aldehydes and acetals. In *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, Vol. 2a, 3rd ed., G.D. Clayton and F.E. Clayton, eds. New York: John Wiley and Sons, Chapter 24 (1981).

Ellerbe, P.; Cohen, A.; Welch, M.J.; White, E.: Determination of serum uric acid by isotope dilution mass spectrometry as a new candidate definitive method. *Anal. Chem.* 62, 2173-2177 (1990).

Flek, J; Sedivec, V.: Furoylglycine and total pyromucic acid in urine of persons exposed to furfural. *Collection Czechoslov. Chem. Commun.* 41:732-737 (1976).

Flek, J; Sedivec, V.: The absorption, metabolism and excretion of furfural in man. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* 41: 159-168 (1978) °

Gou, Y.; Eisert, R.; Pawliszyn, J.: Automated in-tube solid-phase microextraction-high-performance liquid chromatography for carbamate pesticide analysis. *Journal of Chromatography A*, 873, 137-147 (2000)

IPCS, the International Programme on Chemical Safety, WHO: Concise International Chemical Assessment Document 21, 2-furaldehyde (2000).

Lim, C.K.; Richmond, W.; Roginson, D.P.; Brown, S.S.: Towards a definitive assay of creatinine in serum and in urine: separation by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography*, 145, 41-49 (1978).

Meyer, M.H.; Meyer, R.A.; Gray, R.W.;; Irwin, R.L.: Picric acid methods greatly overestimate serum creatinine in mice: more accurate results with high-performance liquid chromatography. *Anal. Biochem.* 144, 285-290 (1985).

Ng, L.K; Lafontaine, P.; Harnois J.: Gas chromatographic-mass spectrometric analysis of acids and phenols in distilled alcohol beverages: application of anion-exchange disk extraction combined with in-vial elution and silylation. *Journal of Chromatography A*, 873, 29-38 (2000) °

NIOSH: Method 2529, <http://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/2529.pdf> (1994) °

OSHA: Organic method 72, <http://www.osha-slc.gov/dts/sltc/methods/organic/org072/org072.html> (1988) °

Ogata, M.; Taguchi, T.: Simultaneous determination of urinary creatinine and metabolites of toluene, xylene, styrene, ethylbenzene and phenol by automated high performance liquid chromatography. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 61:131-140 (1988).

Pawliszyn, J. Solid-Phase Microextraction-Theory and Practice; *Wiley-VCH*: New York, (1997).

Sedivec, V; Flek, J: Biological monitoring of persons exposed to furfural vapors. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* 42: 41-49 (1978) °

Supelco Inc.: Solid phase microextraction of volatile compounds in US EPA Method 524.2, *Application Note 11*, Supelco, Inc. (1995).

Supelco Inc.: Fast analysis of volatile organic compounds by solid phase microextraction/ capillary GC, *Application Note 56*, Supelco, Inc. (1995).

Thienpont, L.M.; De Leenheer, A.P.; Stockl, D.; Reinauer, H.: Candidate reference methods for determining target values for cholesterol, creatinine, uric acid, and glucose in external quality assessment

and internal accuracy control. II. method transfer. *Clin. Chem.* 39/6, 1001-1006 (1993).

The Merck Index, 12th ed. S. Budavari (Ed.), Merck, Whitehouse Station, NJ (1996).

Tsai, S.W.; T.A. Chang: Time-weighted average sampling of airborne n-valeraldehyde by the solid-phase microextraction device. *Journal of Chromatography A.* 954, 1-2, 191-198 (2002).

Tsai, S.W.; K.K. Wu: Determination of ethylene oxide by solid-phase microextraction device with on-fiber derivatization. *Journal of Chromatography A* (2003). (in press).

Tsai, S.W.; C.M. Chang: Analysis of aldehydes in water by solid-phase microextraction with on-fiber derivatization. *Journal of Chromatography A* (2003). (submitted)

U.S. Department of Health, Education, and Welfare.: *Occupational Diseases: a Guide to their Recognition.* Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, pp. 185-193 (1977).

U.S. EPA, High Production Volume (HPV) Voluntary Challenge Chemical List, EPA, Office of Pollution Prevention and Toxics (2001).

Vairavamurthy, A.; Roberts, J.M.; and Newman, L.: Methods for determination of low molecular weight carbonyl compounds in the atmosphere: a review. *Atmospheric Environment.* **26A**, 11, 1965-1993 (1992).

Yo, S.P.: Analysis of volatile fatty acids in wastewater collected from a pig farm by a solid phase microextraction method. *Chemosphere*, 38, 4, 823-834 (1999).

Yokoyama, Y.; Tsuchiya, M.; Sato, H.: Determination of creatinine and ultraviolet-absorbing amino acids and organic acids in urine by reversed-phase high-performance

liquid chromatography. *Journal of Chromatography*, 583, 1-10 (1992).

台南縣衛生局: 衛教宣導資料，
<http://www.tnshb.gov.tw/teach/teach-20.htm>。

林嘉明: 拜香煙導致的汙染與暴露I.拜香煙中之微粒與脂肪族醛，國科會研究計劃，NSC82-0412-B002-270 (1993)。

行政院勞工委員會: 危險物及有害物通識規則，八十一年十二月二十八日 (1992)。

行政院勞工委員會: 勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準，八十四年六月三十日 (1995)。

行政院勞工委員會: 方法 5009，
<http://www.ioosh.gov.tw/data/f10/old5009.htm> (1991)。

食品工業發展研究所: 柳橙果汁熱加工條件之探討，計劃編號 90T811-1D-2 (1990)。

顏裕鴻: 咖啡豆之水含量與焙炒時外在氣體環境對其香氣生成的影響之探討，國科會研究計劃，NSC84-2214-E212-001 (1995)。

蔡維鐘、馮臨惠: 無菌包裝蘋果汁儲放過程品質的變化及其儲放壽命的預估，食品工業發展研究所 (1991)。

馬保之、黃中平、蔡維鐘、馮臨惠、林永泰: 柳橙果汁熱加工條件之探討，食品工業發展研究所 (1990)。

陳清泉、尤新輝、孫智斌: 焙火條件對烏龍茶茶湯品質之影響，*食品科學*，卷期: 23:2，頁308-319 (1996)。

鄭秀蓮、黎南榮: 臨床化學檢查法，
<http://www.nvri.gov.tw/veter-info/references/diagnosis/16.htm>

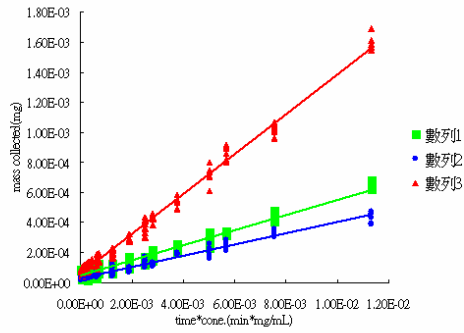


圖 1. 不同溫度、濕度及濃度之採樣率測試結果

【數列 1, 25°C : $Y=(5.023\pm 0.102)\times 10^{-2}X+(5.011\pm 0.347)\times 10^{-5}$, $R=0.981$;
 數列 2, 4°C : $Y=(3.785\pm 0.062)\times 10^{-2}X+(2.990\pm 0.209)\times 10^{-5}$, $R=0.971$;
 數列 3, 35°C : $Y=(13.254\pm 0.112)\times 10^{-2}X+(5.752\pm 0.308)\times 10^{-5}$, $R=0.994$ 】

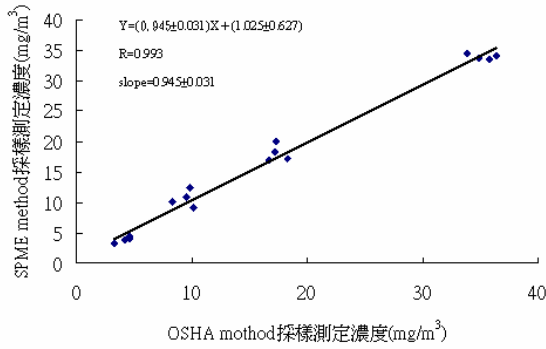


圖 2. 以動態暴露系統進行之平行比對結果

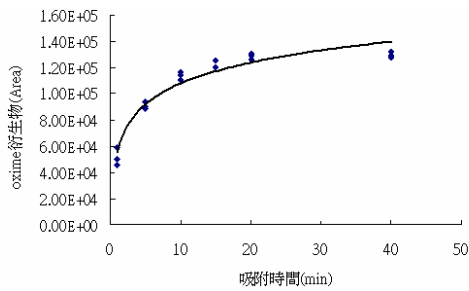


圖 3.1. 呔喃甲醛之 oxime 衍生物吸附量與吸附時間之關係 (陳年醋)

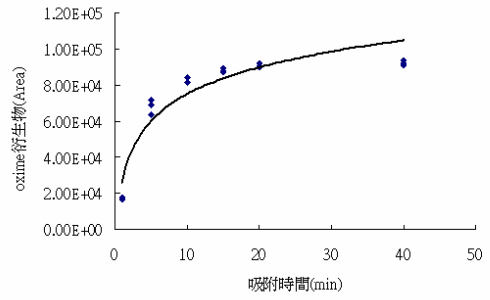


圖 3.2. 呔喃甲醛之 oxime 衍生物吸附量與吸附時間之關係 (啤酒)

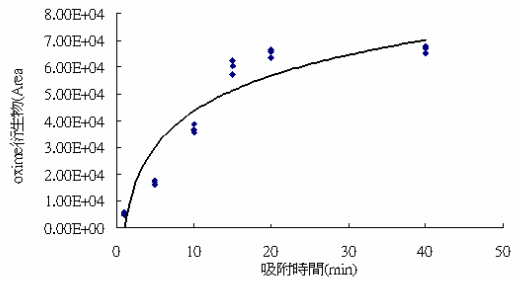


圖 3.3. 呔喃甲醛之 oxime 衍生物吸附量與吸附時間之關係 (去離子水沖泡之嬰兒奶粉水溶液)

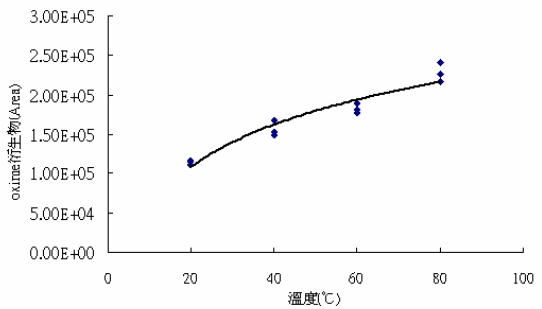


圖 4.1. 呔喃甲醛之 oxime 衍生物吸附量與溫度之關係 (陳年醋)

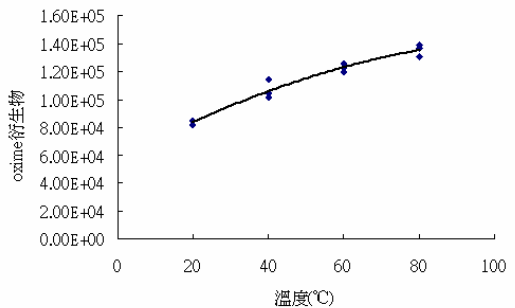


圖 4.2. 呔喃甲醛之 oxime 衍生物吸附量與溫度之關係 (啤酒)

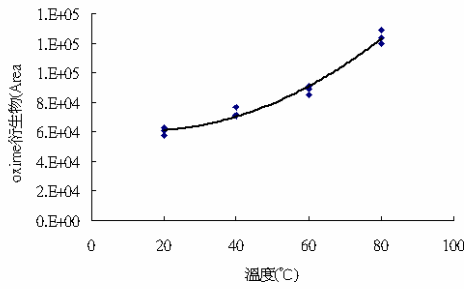


圖 4.3. 呋喃甲醛之 oxime 衍生物吸附量與溫度之關係 (以去離子水沖泡之嬰兒奶粉水溶液)

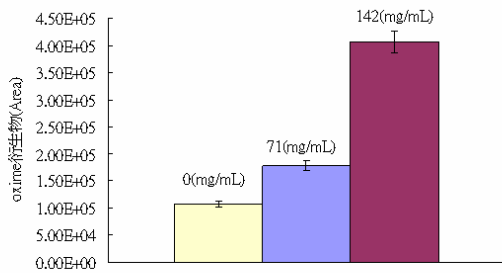


圖 5.1. 呋喃甲醛之 oxime 衍生物吸附量與氯化鈉濃度之關係(陳年醋)

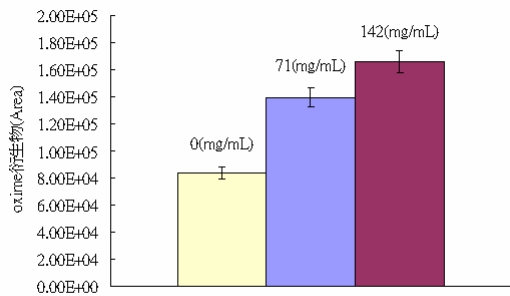


圖 5.2. 呋喃甲醛之 oxime 衍生物吸附量與氯化鈉濃度之關係(啤酒)

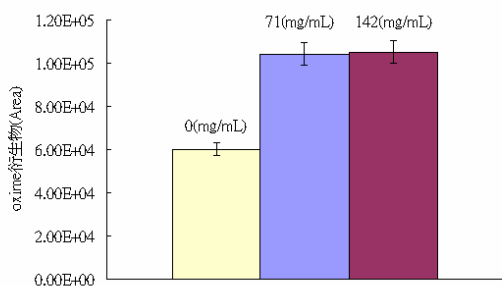


圖 5.3. 呋喃甲醛之 oxime 衍生物吸附量與氯化鈉濃度之關係 (以去離子水沖泡之嬰兒奶粉水溶液)

表 1. PFBHA 熱脫附試驗結果

吸附時間(min)	脫附時間(min)	第一次脫附面積	第二次脫附面積	第一次+第二次脫附面積	脫附效率(%)
20	1	3629636	2823	3632459	99.9223
20	2	3897867	21	3897888	99.9995
20	2	3879413	34	3879447	99.9991
20	2	3969533	12	3969545	99.9997
20	5	3960793	11	3960804	99.9997

*脫附效率：(第一次脫附分析面積 / (第一次+第二次脫附分析面積)) × 100%

表 2. 以空氣採樣袋進行之採樣率測試結果

溫度(°C)	相對濕度(%)	濃度(TWA)	採樣率(cm³/min)
4	6	0.5	(3.619±0.287)×10 ⁻²
4	6	1	(3.708±0.197)×10 ⁻²
4	6	4	(3.458±0.205)×10 ⁻²
4	6	8	(3.896±0.255)×10 ⁻²
4	6	16	(3.570±0.178)×10 ⁻²
4	80	0.5	(3.378±0.304)×10 ⁻²
4	80	1	(3.649±0.225)×10 ⁻²
4	80	4	(3.560±0.216)×10 ⁻²
4	80	8	(3.491±0.133)×10 ⁻²
4	80	16	(3.495±0.160)×10 ⁻²
25	6	0.5	(5.881±0.273)×10 ⁻²
25	6	1	(5.447±0.187)×10 ⁻²
25	6	4	(5.373±0.207)×10 ⁻²
25	6	8	(5.708±0.245)×10 ⁻²
25	6	16	(5.777±0.232)×10 ⁻²

表 2 (續). 以空氣採樣袋進行之採樣率測試結果

溫度(°C)	相對濕度(%)	濃度(TWA)	採樣率(cm³/min)
25	80	0.5	(5.442±0.206)×10 ⁻²
25	80	1	(5.732±0.204)×10 ⁻²
25	80	4	(5.382±0.169)×10 ⁻²
25	80	8	(5.850±0.179)×10 ⁻²
25	80	16	(5.651±0.142)×10 ⁻²
35	6	0.5	(13.195±1.112)×10 ⁻²
35	6	1	(13.410±0.558)×10 ⁻²
35	6	4	(13.153±0.616)×10 ⁻²
35	6	8	(14.565±0.519)×10 ⁻²
35	6	16	(13.217±0.341)×10 ⁻²
35	80	0.5	(13.949±0.684)×10 ⁻²
35	80	1	(14.935±0.592)×10 ⁻²
35	80	4	(13.677±0.481)×10 ⁻²
35	80	8	(13.951±0.434)×10 ⁻²
35	80	16	(14.076±0.338)×10 ⁻²