

# 醛、酮類化合物製造及使用 工廠作業勞工暴露評估研究

Exposure Assessment of Aldehydes and Ketone in Manufacturing  
and Operating Workers



醛、酮類化合物製造及使用工廠作業勞工暴露評估研究 ILOSH103-A311

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

勞動部勞動及職業安全衛生研究所  
INSTITUTE OF LABOR, OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, MINISTRY OF LABOR



地址：新北市汐止區橫科路407巷99號  
電話：(02) 26607600  
傳真：(02) 26607732  
網址：<http://www.ilosh.gov.tw>

ISBN 978-986-04-4692-0



9 789860 446920

GPN:1010400767  
定價：新台幣300元

醛、酮類化合物製造及使用工廠作業勞工  
暴露評估研究

**Exposure Assessment of Aldehydes and  
Ketone in Manufacturing and  
Operating Workers**

醛、酮類化合物製造及使用工廠作業勞工  
暴露評估研究

**Exposure Assessment of Aldehydes and  
Ketone in Manufacturing and  
Operating Workers**

研究主持人：汪禧年、李俊璋

計畫主辦單位：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究期間：中華民國103年01月01日至103年12月31日

\*本研究報告公開予各單位參考\*  
惟不代表勞動部政策立場

勞動部勞動及職業安全衛生研究所  
中華民國 104 年 4 月

## 摘要

在化學工業上主要使用之醛類及酮類包含甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮等。甲醛（Formaldehyde, FA）是環境中最普遍的醛類化合物，其主要用途為樹脂、膠合板、黏合劑、絕緣材料、化纖紡織等。乙醛（Acetaldehyde, AA）主要為製造醋酸或醋酸酐、丁醛、乙酸乙烯酯（Ethylene Vinyl Acetate）、樹脂及吡啶（pyridine）衍生物的中間物，亦使用於水果或魚類的保存、酒精的變性劑、燃料組成、膠質堅固劑、皮革防霉劑以及橡膠與造紙業的溶劑等。丙酮為一無色具薄荷味之液體，其用途為製造塑膠、纖維、藥物及其他化學物質，也可用作溶解其他物質之溶劑。甲基異丁酮（methy isobutyl ketone, MiBK）的主要用途為塗料與清漆（varnish）、變性酒精之變性劑與甲基戊基醇製造等。依據環保署毒性化學物質資料庫所示，2012 年甲醛的製造量和使用量分別為 55,497 和 1,500,303 公噸；乙醛則為 1,172 和 2,448 公噸；甲基異丁酮的製造量和使用量分別為 115 公噸與 358 公噸。職業流行病學的研究指出甲醛的暴露會導致白血病、鼻咽癌與慢性咽喉炎等發生率提高；乙醛暴露則與皮膚黏膜刺激、肺水腫有關；暴露於甲基異丁酮與丙酮則與肝腎毒性、感知神經損傷與皮膚刺激有關。綜觀先前研究得知，在作業環境中，醛類及酮類暴露濃度皆可偵測出，而在流行病學研究資料中亦指出，醛類及酮類對人體可能會造成不可逆的健康危害，但國內過去鮮少針對醛酮兩者同時暴露之勞工進行暴露與健康影響探討，因此難以瞭解國內相關行業勞工的暴露實態，因此有進行暴露及健康影響評估之必要。本研究之目的為建立醛類及酮類製造及使用作業勞工之暴露實態，並進一步探討醛酮物質共暴露與健康效應之關係。

本研究共完成四間醛酮作業工廠之現勘訪視及兩間醛酮作業工廠採樣，共取得 69 名作業勞工之暴露調查，包括個人空氣中醛酮類暴露濃度採樣分析、血液樣本之採集和相關健康指標分析、神經行為能力測試、問卷與個人時間活動模式調查。個人空氣中醛酮類暴露濃度部分，67 位勞工之個人空氣中甲醛暴露濃

度範圍介於 2.0 – 38.67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；空氣中乙醛濃度範圍介於 5.4 – 4,116.46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，空氣中丙酮濃度範圍介於 115.0- 6,255.11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，空氣中甲基異丁酮濃度範圍介於 ND – 74.84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，本研究中空氣醛酮類物質濃度均符合作業環境空氣中容許濃度標準。依據時間活動模式紀錄之採樣當日進入製程的時間，以中位數劃分為高低暴露組，結果僅甲醛暴露濃度與進入製程時間成正相關，亦即依據於製程時間愈長甲醛暴露濃度愈高，然作業勞工乙醛、甲基異丁酮暴露濃度與製程作業時間無關。進一步依職務分類及作業區域分為高低暴露組，進行血液常規、肝功能及脂肪代謝異常進行描述統計分析，結果發現麩丙酮酸轉胺酶（GPT）與加瑪麩氨基轉換酵素（ $\gamma$ -GT）之異常率達統計上的顯著差異，呈現高暴露組之異常率顯著高於低暴露組之情形（ $p=0.017$ ,  $p=0.022$ ），表示暴露較高濃度之醛酮類物質對於肝功能會造成損傷。而在其他代謝指標中，發現胰島素阻抗指標（HOMA-IR）也呈現高暴露組異常率顯著高於低暴露組（ $p=0.016$ ）。此外，高暴露組中白蛋白與尿素氮測值有顯著下降的現象，意味著高暴露組可能存在腎功能損傷情形；高甲基異丁酮暴露組之白血球與紅血球顯著低於低暴露組（ $p=0.006$ ,  $0.044$ ），顯示高甲基異丁酮暴露的情況下，可能會造成造血功能障礙、肝硬化之情形，而高甲基異丁酮暴露組之均紅血球容積（MCV）、平均紅血球血紅素量（MCH）則顯著高於低暴露組，這部分指出高暴露組可能存在多血症的情況，然而，以臨床異常值來檢視該結果，血球數目與血球容積變化應屬臨床一般生理變異現象，並無法未能推論是由於暴露化學物質所致。

以勞工個人空氣中甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮濃度計算勞工健康風險，個人的非致癌風險以 Hazard Index（HI）表示，結果顯示所有工人之醛酮類非致癌風險均小於 1，均屬可接受之風險。而在甲醛及乙醛之總致癌風險部分，結果顯示各廠勞工之致癌風險結果小於  $10^{-3}$ ，亦屬可接受之風險。本研究將勞工甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮的暴露濃度除以各自容許濃度（PEL-TWA）後相加，作為共同暴露指標，結果發現高共同暴露指標組之尿素氮濃度顯著低於低共同暴露指標組，顯示共同暴露可能造成腎功能損傷，而在神經行為能力表現的部

分，發現高共同暴露組，其慣用手手指靈活度顯著低於低共同暴露組，表示醛酮類物質的共同暴露可能影響神經行為能力表現。在本研究調查之共暴露指標結果中，發現以暴露標準較為嚴格之日本職業安全衛生（JOSH）規範為基準時，可發現共同暴露不僅會產生腎功能損傷、慣用手之手指靈活度亦受影響，未來需加強管理四者共同暴露情形，以保護勞工的健康及安全。

關鍵詞：醛類、酮類、共暴露、暴露風險評估、健康指標

# Abstract

In the chemical industry, the mainly used aldehydes and ketones were formaldehyde, acetaldehyde, and acetone and methyl isobutyl ketone. Formaldehyde (FA) is the most common aldehyde in the environment and mainly used to manufacture resin, plywood, adhesives, insulating materials, chemical fiber and textile. Acetaldehyde (AA) is primarily used for the manufacture of acetic acid or acetic anhydride, butyraldehyde, vinyl acetate (ethylene vinyl acetate), resins and pyridineintermediate derivatives. In addition, AA is also used in the preservation of fish or fruit, alcohol denaturants, fuel composition, resin solidification agents, antifungal leather and used as solvent of rubber and paper industry. Acetone is colorless liquid with mint flavor, common used for the manufacture of plastics, fibers, drugs and other chemicals and also used as a solvent to dissolve other substances. Methyl isobutyl ketone (MiBK) is mainly used to manufacture paints and varnishes, denatured alcohol and methyl amyl alcohol agent. According to the Toxicity substance databank in Environmental Protection Administration, the production and use quantities of FA, AA and MiBK are 55,497, 1,500, 1,172 and 2,448, 115, 358 tons in 2011, respectively. Occupational epidemiologic researches reported that the incidence of leukemia, nasopharyngeal carcinoma and chronic pharyngitis were raised in workers who highly exposed to FA. Exposure to AA may occurred the skin mucous membrane irritation, pulmonary edema, and exposed to MiBK and acetone may induced liver and kidney toxicity, perception nerve damage and skin irritation. Lots of literatures reported that aldehydes and ketones were measured in the working environment, and the epidemiological studies reported that aldehydes and ketones may cause the adverse effects of human. But, little is known for the concurrent

exposure to aldehydes and ketones. Therefore, it is important to explore the association between adverse health effects and concurrent exposure to aldehydes and ketones. The objectives in present research are to investigate the exposure profile of aldehydes and ketones manufacturing and operating workers, and to explore the association between aldehydes and ketones concurrent exposure and adverse health effects.

Up to now, we have finished the works including (1) to walk-through of 4 aldehydes and ketones operated plants, (2) to recruit 69 workers from two plants and to examine the blood biochemistry, liver function test, insulin resistance, questionnaire, nerve capability test, (3) to sample and analyze the personal exposure levels of formaldehyde, acetaldehyde, and acetone and methyl isobutyl ketone for 69 workers, (4) to complete the interview of questionnaire and time activity pattern for 69 workers. The personal exposure levels of formaldehyde, acetaldehyde, acetone and methyl isobutyl ketone were ranged from 2.0-38.67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 5.4-4116.46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 115.0-6255.11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and ND-74.84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. All the personal exposure levels of formaldehyde and acetone in 31 workers were lower than permissible exposure limit – time weighted average (PEL-TWA). In present study, we divide all the workers to high- and low- exposure groups by the time of workers entering the manufactural process, and compare the demographic data, airborne exposure levels of aldehyde and ketone and blood routine examination index. The airborne exposure levels of formaldehyde in high exposure group was significant higher than low exposure group ( $p=0.032$ ) was found. It means that the higher staying time in manufactural the airborne exposure levels of formaldehyde was found, but, the airborne exposure levels of acetaldehyde and methyl isobutyl ketone were not. Furthermore, we divide the high- and low- exposure groups by job title, we found the abnormal rate of GPT and r-GT in high exposure group were significant higher than

low exposure group ( $p=0.017, 0.022$ ). It means high exposure level of aldehyde and ketone may cause liver dysfunction. Otherwise, the insulin resistance index, HOMA-IR, in high exposure group was also significant higher than low exposure group ( $p=0.016$ ). We also found the blood urea nitrogen in high exposure group was significant lower than low exposure group, it means kidney injury may occur in high formaldehyde exposure group. In addition, we found white blood corpuscles and red blood corpuscles in high methyl isobutyl ketone exposure group were significant lower than low exposure group ( $p=0.006, 0.044$ ), mean corpuscular volume (MCV) and mean corpuscular hemoglobin (MCH) in high methyl isobutyl ketone exposure group were significant higher than low exposure group ( $p=0.034, 0.017$ ), it means that hematopoietic disorders may exist in high methyl isobutyl ketone exposure group. However, it may be explained as general physiological variation, not due to exposure to these four chemicals.

The results of health risk assessment of aldehyde and ketone exposure showed that all hazard index (HI) of workers were lower than 1, the carcinogenic risk of formaldehyde and acetaldehyde exposure in all workers were lower than acceptable risk ( $10^{-3}$ ). In present study, the concurrent exposure index was used to evaluate the relationship between of health outcome and airborne exposure levels. The concurrent exposure index was calculated by sum of each chemical exposure concentration divided by the permissible concentration respectively. The results showed that urea nitrogen concentrations in high concurrent exposure index exposure group were lower than low concurrent exposure index exposure group, it means concurrent exposure of aldehyde and ketone may cause kidney damage. Finally, we found that preferred hand finger flexibility in high concurrent exposure index exposure group was significantly lower than the low concurrent exposure index exposure group. It means that concurrent exposure of aldehyde and ketone may cause adverse effect of

neurobehavioral performance. The exposure of formaldehyde, acetaldehyde, acetone and methyl isobutyl ketone should be strengthened management in order to protect the health and safety of workers in the future.

Key Words: aldehyde, ketone, exposure risk assessment, health outcomes

# 目錄

摘要 .....	I
ABSTRACT.....	IV
目錄 .....	VIII
表目錄 .....	X
圖目錄 .....	XIII
第一章 研究背景及目的 .....	1
第二章 文獻探討與回顧 .....	4
第一節 物化特性、用途及製程 .....	4
第二節 代謝路徑與基因毒性 .....	8
第三節 動物毒理學資料 .....	14
第四節 人類流行病學資料 .....	18
第五節 容許濃度範圍及職業暴露調查 .....	22
第三章 工作項目及方法 .....	27
第一節 工作項目 .....	27
第二節 工作方法 .....	29
第三節 神經行為能力測試 .....	43
第四節 健康風險評估 .....	44
第五節 統計分析 .....	47
第四章 結果與討論 .....	48
第一節 A、B、C 及 D 四場採樣勞工基本資料分布 .....	48
第二節 受檢勞工人口學基本資料 .....	49
第三節 勞工個人空氣甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮濃度分布 .....	57
第四節 血液常規、肝功能、腎功能指標及脂肪代謝異常檢測 .....	61
第五節 神經行為能力測試結果 .....	73
第六節 共暴露與血液生化指標之影響 .....	78
第七節 勞工健康風險評估 .....	86
第五章 結論與建議 .....	88
第一節 結論 .....	88
第二節 建議 .....	91
第六章 參考文獻 .....	93

附件一、勞工個人問卷 .....	109
附件二、受試者同意書 .....	118
附件三、同意臨床試驗證明書 .....	120

## 表目錄

表 1 國內甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮製造量/使用量（公噸） .....	1
表 2 甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮之物化特性 .....	4
表 3 甲醛、乙醛、丙酮及甲基異丁酮毒性分類 .....	5
表 4 丙酮之體內基因毒性研究 .....	9
表 5 乙醛動物實驗之重複劑量研究 .....	15
表 6 各國職業暴露濃度規範（PPM（MG/M <sup>3</sup> ）） .....	22
表 7 甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮檢量線配置表 .....	35
表 8 HPLC 檢量線及圖譜 .....	36
表 9 高效液相層析儀與紫外線偵測器 分析條件 .....	40
表 10 整合性風險資料系統提供之風險評估參數值 .....	46
表 11 各項目完成之樣本採集及分析之數目 .....	48
表 12 68 位勞工之人口學描述性統計 .....	51
表 13 A、B 廠勞工之人口學描述性統計 .....	52
表 14 職稱分組之高低暴露組之人口學基本資料 .....	53
表 15 高、低甲醛濃度組之人口學基本資料 .....	54
表 16 高、低乙醛濃度組之人口學基本資料 .....	55
表 17 高、低甲基異丁酮濃度組之人口學基本資料 .....	56
表 18 空氣樣本分析之品質保證/品質管理 .....	57
表 19 空氣樣本分析之品質保證/品質管制執行成果 .....	57
表 20 現場空白之甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮濃度 .....	58
表 21 個人空氣甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮濃度分布 .....	58
表 22 高暴露組與低暴露組個人空氣甲醛、乙醛與甲基異丁酮濃度分布(中位數(範圍)) .....	60
表 23 勞工之血液常規、肝功能、腎功能指標及脂肪代謝異常檢測結果 .....	62
表 24 高、低暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果 .....	65
表 24 高、低暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果（續） .....	66

表 25 高、低甲醛暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果 .....	67
表 25 高、低甲醛暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果 (續) .....	68
表 26 高、低乙醛暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果 .....	69
表 26 高、低乙醛暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果 (續) .....	70
表 27 高、低甲基異丁酮暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果 .....	71
表 27 高、低甲基異丁酮暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果 (續) .....	72
表 28 職稱分組之高低暴露組神經行為能力檢測結果 .....	74
表 29 高、低甲醛濃度組神經行為能力檢測結果 .....	74
表 30 高、低乙醛濃度組神經行為能力檢測結果 .....	75
表 31 高、低甲基異丁酮濃度組神經行為能力檢測結果 .....	75
表 32 共暴露指標 1 之高低暴露組神經行為能力檢測結果 .....	76
表 33 共暴露指標 2 之高低暴露組神經行為能力檢測結果 .....	76
表 34 共暴露指標 3 之高低暴露組神經行為能力檢測結果 .....	77
表 35 兩廠共同暴露指標之計算結果 .....	79
表 36 以指標 1 區分高暴露組及低暴露組血液生化、肝功能指標及脂肪代謝指標 異常檢測結果 .....	80
表 36 以指標 1 區分高暴露組及低暴露組血液生化、肝功能指標及脂肪代謝指標 異常檢測結果 (續) .....	81
表 37 以指標 2 區分高暴露組及低暴露組血液生化、肝功能指標及脂肪代謝指標 異常檢測結果 .....	82
表 37 以指標 2 區分高暴露組及低暴露組血液生化、肝功能指標及脂肪代謝指標 異常檢測結果 (續) .....	83
表 38 以指標 3 區分高暴露組及低暴露組血液生化、肝功能指標及脂肪代謝指標 異常檢測結果 .....	84
表 38 以指標 3 區分高暴露組及低暴露組血液生化、肝功能指標及脂肪代謝指標 異常檢測結果 (續) .....	85
表 39 各廠之甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮危害指標結果 .....	86

表 40 各廠之甲醛、乙醛致癌風險評估結果 .....87

## 圖目錄

圖 1 甲醛代謝路徑圖 .....	11
圖 2 丙酮代謝路徑圖 .....	12
圖 3 甲基異丁酮代謝路徑圖 .....	13
圖 4 乙醛代謝路徑圖 .....	13
圖 5 研究架構圖 .....	29
圖 6 受試者職稱訊息圓餅圖 .....	48



# 第一章 研究背景及目的

國內工業上主要使用之醛類及酮類包含甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮。甲醛（Formaldehyde, FA）是環境中最普遍的醛類化合物，其工業上的主要用途為樹脂、膠合板、黏合劑、絕緣材料、化纖紡織等。乙醛（Acetaldehyde, AA）主要用於製造醋酸或醋酸酐、丁醛、乙酸乙烯酯（Ethylene Vinyl Acetate）、樹脂及吡啶（Pyridine）衍生物的中間物，亦使用於水果或魚類的保存、酒精的變性劑、燃料組成、膠質堅固劑、皮革防霉劑以及橡膠與造紙業的溶劑等。丙酮為一無色具薄荷味之液體，其用途為製造塑膠、纖維、藥物及其他化學物質，也可用作溶解其他物質之溶劑。甲基異丁酮（Methy isobutyl ketone, MiBK）的主要用途為塗料與清漆（Varnish）、變性酒精之變性劑與甲基戊基醇製造等。國內目前主要之醛類和酮類製造廠共有 3 間，依據環保署毒性化學物質資料庫所示，2012 年甲醛的製造量和使用量分別為 55,497 和 1,500,303 公噸；乙醛則為 1,172 和 2,448 公噸；甲基異丁酮的製造量和使用量分別為 115 公噸與 358 公噸（環保署毒性化學管理系統），丙酮的產量為 99 萬公噸（台灣化學品製造商名錄）。詳細之運作量數據如表 1 所示。

表 1 國內甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮製造量/使用量（公噸）

廠別	甲醛	乙醛	丙酮	甲基異 丁酮
A 廠	27,911/18,821	554.5/1,516	30,000/-	-/-
B 廠	14,100/9,252	-/-	187,500/-	-/-
C 廠	11,751/11,801	-/-	-/-	-/16.5
D 廠	-/-	618/-	-/-	-/-
E 廠	-/4,289	-/932.7	-/-	-/1
年平均	53,762/44,163	1,173/2,449	217,500/-	-/17.5

資料來源：[\[1,2\]](#)

過去的人類流行病學研究發現，長期處於甲醛之暴露環境中，會導致鼻竇癌與咽喉癌之發生率提高。世代研究針對 7,345 名暴露於甲醛之勞工進行追蹤調查，

研究結果發現，甲醛暴露勞工之鼻咽癌（Nasopharyngeal Cancer, NPC）標準死亡率（Standardized Mortality Ratios, SMR）為 4.43（7 人死亡, 95%CI=1.78-9.13）至 1.71（16 人死亡, 95% CI = 1.01-2.72），其 NPC 勝算比（Odds Ratios, OR）為 14.41（95% CI = 1.08-82.1），結合其他所有咽癌（All Other Pharyngeal Cancers combined, AOPC）OR 為 1.40（95% CI = 0.31-5.1） [3]。除呼吸道疾病外，甲醛暴露與急性骨髓白血病及其他血液癌症具有相關性 [4]，在 Meta-analysis 中，發現甲醛暴露情況之白血病相對危險性為 1.54（95%CI=1.18-2.00），達到統計上顯著差異 [5]。丙酮的人類流行病學研究亦指出，暴露於丙酮對皮膚黏膜以及呼吸道系統具有危害，使鼻子、喉嚨、肺臟及眼睛感到刺激，造成頭暈、頭痛、混亂、血壓升高、噁心、嘔吐、意識不清、昏迷，甚至造成女性經期縮短 [6]，且其他研究亦指出丙酮對眼睛 [7]、鼻子和喉嚨黏膜會引起燃燒和紅斑的刺激性作用 [8,9]。乙醛的相關研究中，於 2011 年巴西醫療院所之研究，發現醫療院所空氣中乙醛濃度介於 5.206-30.582 ppm [10]，相較於 2013 年 Ho 等人的研究結果，4.1（電鍍工廠）-87.3 ppbv（中國零食製造商）為高 [11]，在芬蘭調味料工廠研究中，乙醛濃度為 0.7-7.6 mg/m<sup>3</sup> [12]，而暴露於乙醛，會影響精胺氧化酶（Spermine Oxidase, SMO）在 HepG2 細胞的轉錄程度，進而造成細胞毒性增加 [13]。乙醛吸入風險評估研究顯示，單位平均體重之受試者，在吸入乙醛 15-20 μg/m<sup>3</sup> 之濃度下，其致癌風險為 3.5x10<sup>-5</sup>-4.0x10<sup>-5</sup> [14]。過去甲基異丁酮之職業暴露研究指出三座含氯廢棄物之處理廠，其空氣中甲基異丁酮濃度範圍為 1,517-11,324 μg/m<sup>3</sup>，在聚乙烯與聚丙烯廢棄物處理廠，其濃度範圍為 12-72 μg/m<sup>3</sup> [15]，而相關研究亦指出噴漆工人之平均暴露濃度為 76 ppm（8-369 ppm） [16]，顯示勞工可能存在高暴露風險。其他研究指出甲基異丁酮之人體代謝物為鹵烷類，如 4-methyl-2-pentanol（4MPOL）與 4-hydroxymethyl isobutyl ketone（4-OHMIBK），上述物質會造成肝毒性增加，並引起肝細胞壞死現象 [17]，而其他代謝物會引起膽汁鬱積（如牛磺石膽,tauro lithocholic） [18,19,20]。根據 1975 年 Allen 等人研究指出，1,157 名塑料塗層和彩色印刷勞工中，共有 86 名勞工被診斷出具有運動與感覺神經病變 [21]，

文獻上曾有週邊神經變性（ Peripheral neuropathy ） 案例報告，探究其致病原因因為人員曾暴露於油漆及油漆稀釋劑之環境中，且前述之產品內含有甲基異丁酮、碳氫化合物溶劑等致神經毒性物 [22,23]。

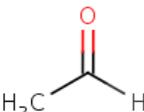
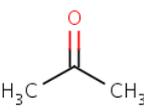
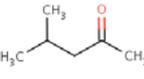
國內相關研究均未曾針對甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮等醛、酮類之共同暴露所導致之健康效應探討，因此有必要進行詳實之暴露評估調查與健康風險解析，以瞭解國內之甲醛、乙醛、丙酮及甲基異丁酮等醛、酮類之暴露實態及勞工健康情形。

## 第二章 文獻探討與回顧

### 第一節 物化特性、用途及製程

甲醛為無色帶有強烈刺鼻味之氣體，化學式  $\text{CH}_2\text{O}$ ，分子量 30.03，在常溫常壓下多以氣態存在於空氣中，沸點約為  $-19.5\text{ }^\circ\text{C}$ ，熔點約為  $-92\text{ }^\circ\text{C}$ ，蒸氣壓為 3,890 mmHg。乙醛為無色帶有刺激水果味的液體，化學式  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ ，分子量 44.05，在常溫常壓下多以液態存在，沸點約為  $20.1\text{ }^\circ\text{C}$ ，熔點約為  $-123.37\text{ }^\circ\text{C}$ ，蒸氣壓為 902 mmHg。丙酮為無色帶有芳香氣味的易揮發液體，化學式  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ，分子量 58.08，在常溫常壓下多以液態存在，沸點約為  $56.05\text{ }^\circ\text{C}$ ，熔點約為  $-94.7\text{ }^\circ\text{C}$ ，蒸氣壓為 6.4 mmHg。甲基異丁酮為無色帶有樟腦氣味的液體，化學式  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$ ，分子量 100.16，在常溫常壓下多以液態存在，沸點約為  $116.5\text{ }^\circ\text{C}$ ，熔點約為  $-84\text{ }^\circ\text{C}$ ，蒸氣壓為 19.9 mmHg。詳細物化特性如表 2 所示

表 2 甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮之物化特性

名稱	結構式	分子量	沸點( $^\circ\text{C}$ )	蒸氣壓 ( $25^\circ\text{C}$ )	水中溶解度 ( $25^\circ\text{C}$ ) ( $^\circ\text{C}$ )	Log Kow
甲醛		30.03	-19.5	3,890 mmHg	$4 \times 10^5$ mg/L	0.35
乙醛		44.05	20.1	902 mmHg	$1 \times 10^6$ mg/L	-0.34
丙酮		58.08	56.05	231 mmHg	-	-0.24
甲基異丁酮		100.16	116.5	19.9 mmHg	$1.9 \times 10^4$ mg/L	1.31

資料來源： [24]

國際癌症研究署 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 在 2006 年指出甲醛可能會導致人類鼻咽癌與白血症的發生，將其分類為 Group 1 之確定

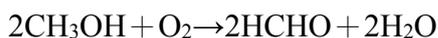
人類之致癌物質 [25]，乙醛及甲基異丁酮的流行病學資料不足，且僅部分的動物實驗發現其致癌性，因此 IRAC 將其列為 Group 2B 疑似動物致癌物質 [26,27]。美國衛生與人類服務部（The Department of Health and Human Services, DHHS）、國際癌症研究中心（The International Agency for Research on Cancer, IARC）及美國環境保護署（EPA）目前均未將丙酮歸類為致癌物質。美國環境保護署（US Environmental Protection Agency, US-EPA）彙整流行病學資料及動物實驗研究的結果，分別將甲醛列為 Class B1 確定動物致癌物質 [28]，乙醛列為 Class B2 確定動物致癌物質 [29]，丙酮列為 Class D（Not classifiable as to human carcinogenicity）資料不足以證明為人類致癌物[30]、甲基異丁酮美國環保署將其列為因證據資料不足而無法評估（Inadequate information to assess carcinogenic potential） [31]。我國環保署目前亦將甲醛列為第二類毒性化學物質及第三類毒性化學物質，即可能會導致腫瘤、生育能力受損、畸胎、遺傳因子突變或其他慢性疾病等作用，乙醛與甲基異丁酮列為第四類，即疑似毒化物之物質，丙酮的部分，目前環保署尚未將其列為毒性化學物質，詳細的毒性分類如表 3 所示。

表 3 甲醛、乙醛、丙酮及甲基異丁酮毒性分類

	IARC	美國環保署	台灣環保署
甲醛	Group 1	Class B1	第二、三類毒性化學物質
乙醛	Group 2B	Class B2	第四類毒性化學物質
丙酮	-	Class D	-
甲基異丁酮	Group 2B	Inadequate information to assess carcinogenic potential	第四類毒性化學物質

資料來源：[25,26,27,28,29,30,31]

根據環保署毒性化學資料庫，2012 年甲醛的製造量和使用量分別為：55,497 和 1,500,303；乙醛分別為 1,172 和 2,448 公噸；甲基異丁酮分別為 114 和 358 公噸 [1]。而根據台灣化學品製造商名錄，丙酮的產能為 99 萬噸。工業上由甲醇在的催化劑（銀/鐵+鋁氧化物/鈮氧化物）混合高溫催化氧化製取甲醛。可以經由以下兩種途徑反應生成：



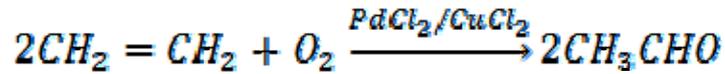
甲醛也是化學工業的原料之一，可用來做福馬林（Formalin, 37%~50% 甲醛）、甲基醛（Methyl aldehyde）、亞甲基乙二醇（Methylene glycol）等。在美國大概有一半以上的甲醛用來合成樹脂，包括製造脲醛樹脂（Urea-formaldehyde resin）、聚甲醛樹脂（Polyacetal resin）、酚醛樹脂（Phenolicresin）等，這些樹脂常被用來製造刨花板、纖維板和膠合板。脲醛樹脂用於塗層材料，製造紙製品及絕緣泡沫。其他重要的用途包括木材工業的產物、鑄模的化合物、絕緣膠黏劑、緩釋肥料、製造纖維素織品耐久壓處理及甲醛為主的紡織品、毛皮鞣革染色及攝影工業中等，也可用來做消毒劑或組織保存。甲醛也是碳水化合物不完全燃燒的副產物，在汽車排氣與香菸中也含微量的甲醛 [32]。

乙醛主要用於為製備醋酸的前導過程。雖然發現甲醇利用 Monsanto 與 Cativa 合成法可更有效製備後，此應用已有下降的趨勢，但它仍然被大量使用。尿素和乙醛的結合，也可形成一種實用性高的樹脂。醋酸酐（Acetic anhydride）與乙醛反應產生 Ethylidene diacetate，是醋酸乙烯（Vinyl acetate）的前身，將用以製備聚醋酸乙烯酯（Polyvinyl acetate）。此外，農藥 DDT 就是以乙醛作原料合成的；乙醛經氯化得三氯乙醛，其水合物為安眠藥的一種。Strecker 胺基酸合成中，乙醛與氰離子和氨縮合水解後，可合成丙氨酸，乙醛也可建構雜環系化合物，如三聚乙醛與氨反應生成吡啶衍生物 [33]。

乙醛的製備有三大主要方法，分別為乙烯氧化法、乙炔水合法、工業製乙醛法等 [34]，其詳細製程與說明如下所示：

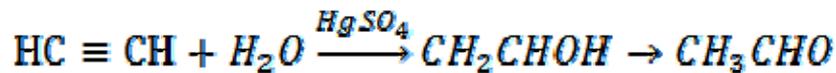
### 1. 乙烯氧化法：

目前最主要的製備方法是以 Wacker 法合成，使乙烯氧化而獲得乙醛。



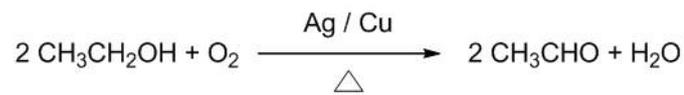
### 2. 乙炔水合法：

使乙炔在汞鹽的催化下與水化合，也可以生成乙醛。雖然此種方式的純度較高，但技術人員容易產生汞中毒，目前正嘗試以非汞之催化劑取代汞鹽，並已取得初步成效。



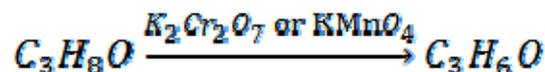
### 3. 工業製乙醛法：

乙醇氧化是工業上最普遍應用的製乙醛方程式。

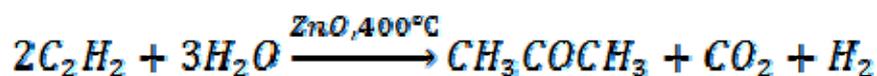


丙酮屬於高極性液體，對於許多物質都具有不錯的溶解度，因此日常生活中最常見的用途是當作卸除指甲油的去光水，以及油漆的稀釋劑；同時可作為有機溶劑，應用於醫藥、油漆、塑料、火藥、樹脂、橡膠、照相軟片等行業 [24]。其主要製備方式有異丙醇以酸性重鉻酸鉀（ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ）溶液或高錳酸鉀（ $\text{KMnO}_4$ ）溶液氧化、乙炔（ $\text{C}_2\text{H}_2$ ）在氧化鋅催化劑上與水蒸氣反應生成丙酮、異丙苯氧化合成法等 [35]，其反應式如下：

#### 1. 異丙醇以酸性重鉻酸鉀（ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ）溶液或高錳酸鉀（ $\text{KMnO}_4$ ）溶液氧化

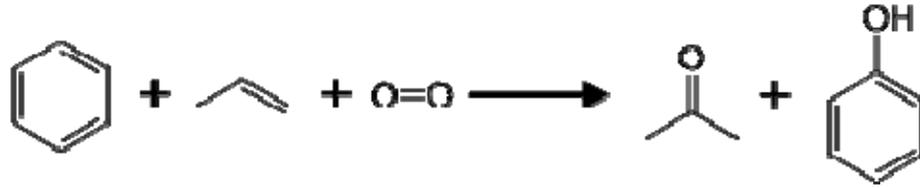


#### 2. 乙炔（ $\text{C}_2\text{H}_2$ ）在氧化鋅催化劑上與水蒸氣反應生成丙酮



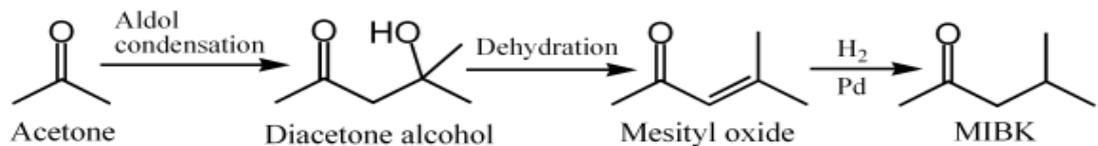
#### 3. 異丙苯氧化合成法

用石油工業產品異丙苯在硫酸的催化下被空氣氧化重排成丙酮，副產物為苯酚。此方法為目前工業的主要方法。



甲基異丁酮主要用途為塗料與清漆、變性酒精之變性劑與甲基戊基醇製造等，其製備方法為異亞丙基丙酮在銅催化劑作用下選擇性加氫，再經蒸餾分離製得 [36]。

下圖為丙酮縮合為二丙酮醇；二丙酮醇脫水生成異亞丙基丙酮；異亞丙基丙酮加氫得到甲基異丁基酮的過程。



## 第二節 代謝路徑與基因毒性

OSHA 於 1990 年指出，甲醛暴露可能發生在 3 種情形下：（一）暴露於甲醛液狀或固狀形式（多聚甲醛）及其蒸氣；（二）暴露於甲醛樹脂製程以及其他從甲醛製造出的化學物中；（三）從含有甲醛樹脂的產品逸散而造成暴露。在職業環境中，甲醛主要為氣體形式，然而，甲醛微粒常在使用多聚甲醛或是樹脂粉末中被吸入，或是當甲醛吸附在木材粉塵等微粒上 [37]。

甲醛可以吸入、攝入以及皮膚途徑吸收。超過 95% 的吸入劑量可以迅速的被甲醛脫氫酶轉換成甲酸吸收及代謝掉，而大部分的甲醛會轉換成二氧化碳，其他合成物和代謝物則從尿液中排出 [38]。詳細代謝途徑如圖 1 所示。在基因毒性研究中，發現職業暴露於甲醛的工人，其淋巴細胞姊妹染色體互換頻率明顯提高

以及染色體發生畸型的比例提高，顯示暴露於甲醛會造成淋巴細胞的病變[39]。另外有研究指出，暴露於甲醛會使基因多型性之外源性代謝酶 GSTM1 與 GSTT1 和 DNA 修復酶 ERCC1、ERCC4、ERCC5-2、ERCC5-5 的活動頻率受到影響，導致暴露組之淋巴細胞姊妹染色體與微核之互換頻率顯著高於非暴露組（ $p < 0.001$ ）[40]。

丙酮的主要暴露途徑為吸入，人體一旦吸收丙酮，或者通過肺、腸、皮膚等器官，丙酮會經由呼吸道呼出，或經由肝臟、腎皮質之糖質新生作用（Gluconeogenesis）代謝為葡萄糖與二氧化碳（檸檬酸循環之產物），隨後經由呼吸道呼出[41]。詳細代謝途徑如圖 2 所示。過去有許多研究指出丙酮可能不具基因毒性，其相關文獻與研究結果如表 4 所示。

表 4 丙酮之體內基因毒性研究

物種（測試系統）	觀察切點	結果	參考文獻
中國倉鼠	微核紅細胞	-	[42]
懷孕倉鼠	胎兒細胞之細胞轉化情形	-	[43,44]
桑蠶	基因突變	-	[45]
-: 未觀察到任何現象			

甲基異丁酮主要暴露途徑為吸入、皮膚與眼睛黏膜接觸。甲基異丁酮進入體內後，大部分會被肝臟的單氧化酵素（Monooxygenase）氧化代謝成 4-羥-4-甲基-2-戊酮（4-hydroxy-4-methyl-2-pentanone, HMP），小部分會被酒精去氫酮還原酵素還原為 4-甲基-2-戊醇（4-methyl-2-pentanol），並進一步與硫酸鹽（Sulfate）或尿甘酸（Glucuronic acid）產生結合態，並由尿液排出體外 [46]。詳細代謝途徑如圖 3 所示。在基因毒性研究中，發現大鼠肝臟或倉鼠卵巢細胞暴露甲基異丁酮，並不會產生染色體結構破壞 [47]。另一篇研究則指出，當甲基異丁酮與正己烷共同暴露之情況下，會產生協同作用，使苯巴比妥（Phenobarbital）增加，而誘導氧化酶顯著增加（ $p < 0.05$ ），間接產生強效神經毒物 2,5-己二酮（2,5-hexanedione） [48]。乙醛主要暴露途徑為吸入及食入，其為乙醇代謝之中間產物，過去鮮少針對乙醛暴露之代謝機制進行探討，多數以乙醇之代謝情形進行乙醛暴露之代謝機制類推。其代謝機制為乙醛經由乙醛脫氫酶氧化形成乙酸並排出體外 [49]，其詳細代謝機制如圖 4 所示。過去基因毒性研究指出，體外哺乳動物細胞暴露乙醛會誘導基因突變、致染色體斷裂作用以及姐妹染色單體交換 [50,51]。另有研究指出果蠅暴露乙醛導致基因突變之性連隱性（Sex-linked recessive lethals） [52]，但在多數的哺乳動物細胞中卻沒有發現此結果 [53]。

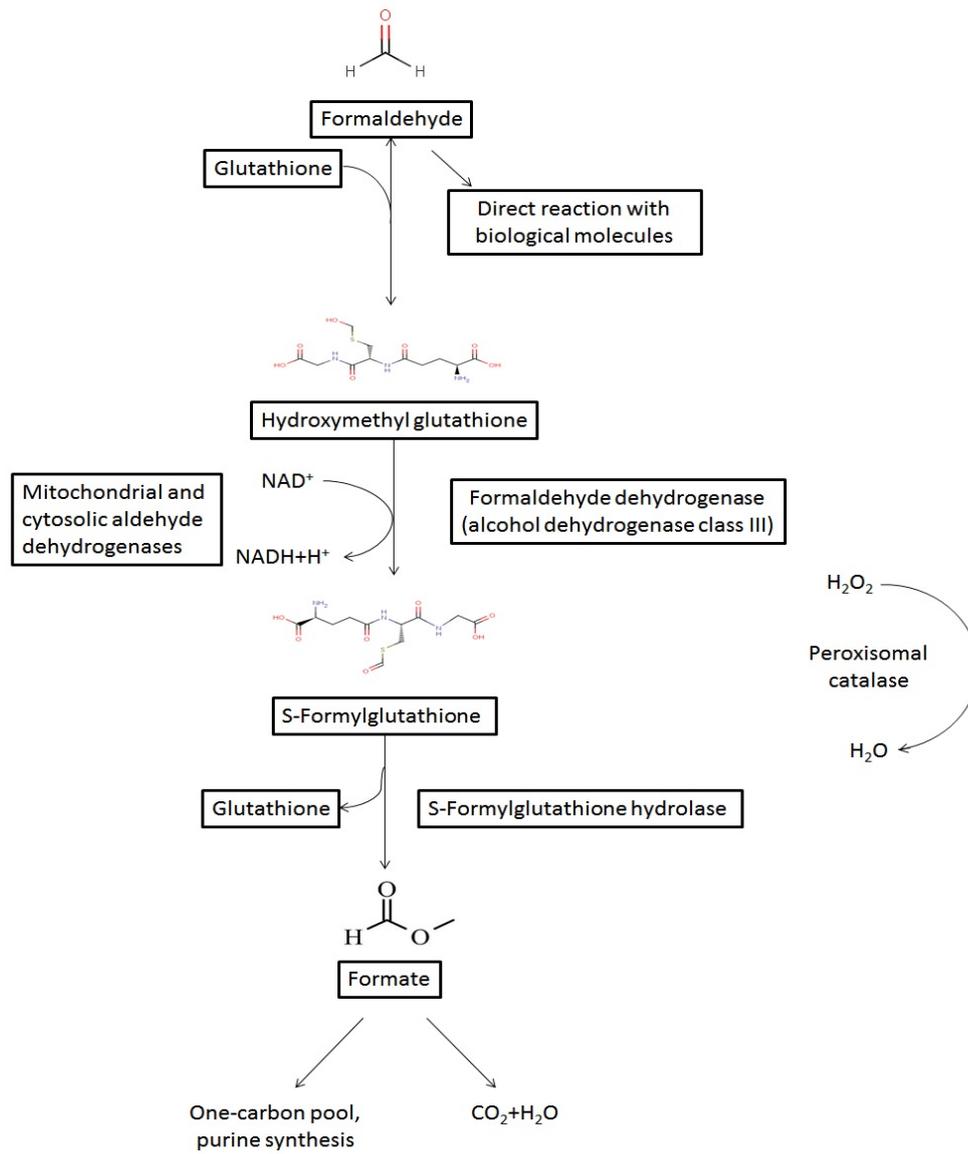


圖 1 甲醛代謝路徑圖[38]

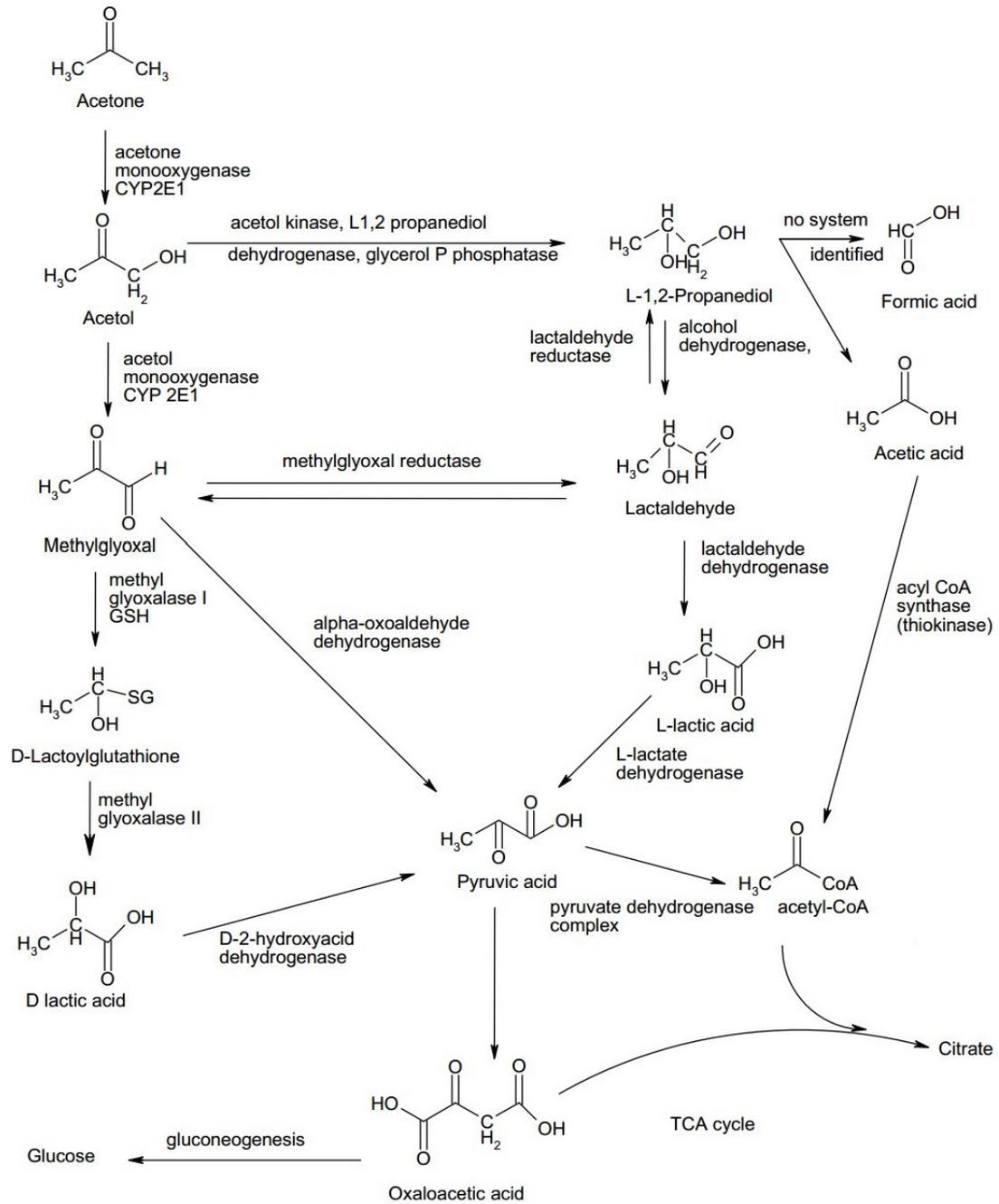


圖 2 丙酮代謝路徑圖[41]

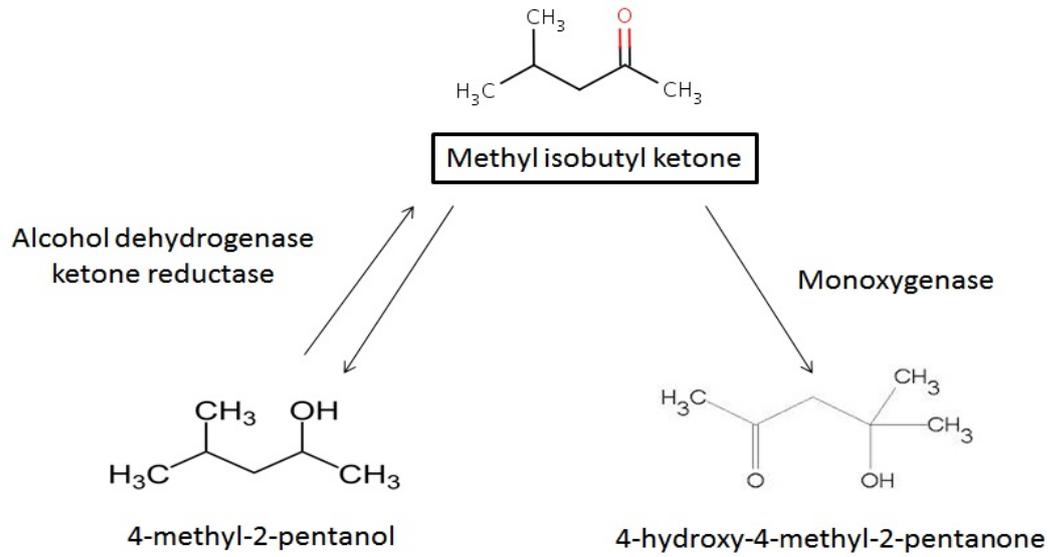


圖 3 甲基異丁酮代謝路徑圖[46]

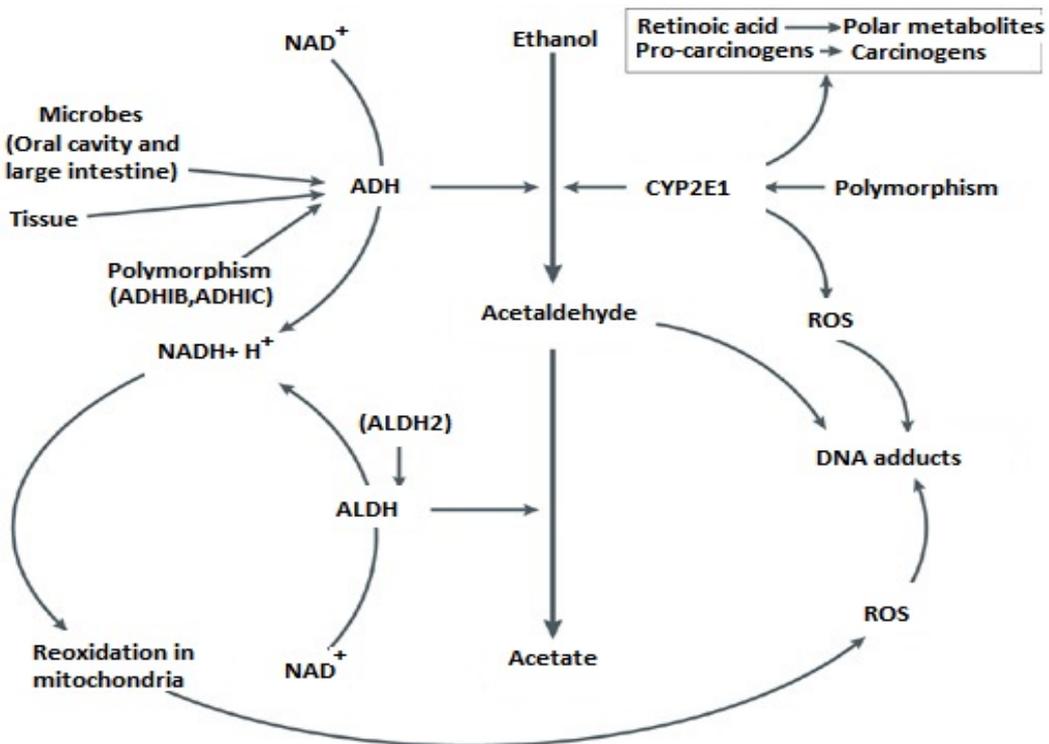


圖 4 乙醛代謝路徑圖[49]

### 第三節 動物毒理學資料

過去動物實驗指出以吸入途徑急性暴露醛類，隨著碳鏈的增加，亦使鼠類產生神經細胞瘤機率增加[54,55,56]。大鼠與天竺鼠的半致死劑量(LD<sub>50</sub>)分別為 800 與 260 mg/kg [57]，將 Wistar rat 暴露於含甲醛之飲用水中，在不同劑量 (0, 5, 25, 125 mg/kg) 下進行四星期短期暴露研究。由研究結果顯示，暴露在最高劑量之 Wistar rat，其食物與水份攝取量最少，胃發生組織病理的改變，在雄性 Wistar rat 亦發現總蛋白質與血清蛋白的量偏低。由實驗結果顯示，無明顯危害影響劑量 (NOAEL) 為 25 mg/kg [58]。大鼠食入 0, 50, 100, 125 mg/kg 的劑量與狗食入 0, 50, 75, 100 mg/kg 的劑量 91 天進行短期暴露研究。由研究結果顯示，不論在血液、臨床研究、尿液分析或肉眼/顯微鏡的病理學中甲醛均不會對其造成影響[59]。甲醛在人類、大鼠與猴子血液中的平均濃度在經過短暫暴露 (人類：1.9 ppm, 40 分鐘；大鼠：14.4 ppm, 2 小時；猴子：6 ppm, 4 星期) 後差異不大。血液中控制組與暴露組織濃度分別為人類：2.61/2.77 µg/g；大鼠：2.24/2.25 µg/g；猴子：2.42/1.84 µg/g [60]。將雄性與雌性之 Wistar rat 暴露於含甲醛之飲用水中，在不同劑量 (雄性:0, 1.2, 15, 82 mg/kg 與雌性:0, 1.8, 21, 109 mg/kg) 下進行兩年長期暴露研究，由研究結果顯示，僅在最高劑量的實驗中發現不良健康效應，包括食物與水份攝取量最少、體重減輕、胃組織病理改變與黏膜壁增厚等現象。雌性 Wistar rat 腎臟的重量相對增加並發現會增加雄性與雌性腎乳頭壞死的比例。因此，由實驗結果顯示，無明顯危害影響劑量 (NOAEL) 為 15 mg/kg [61]。另一研究將 Wistar rat 暴露於含甲醛之飲用水中，在不同劑量 (0, 10, 50, 300 mg/kg) 下進行 12 個月長期暴露研究。由研究結果顯示，雄性與雌性之 Wistar rat 在最高劑量下可觀查出胃腐蝕、胃潰瘍、鱗狀細胞增生、皮膚角化過度與基底細胞增生。僅一隻雄鼠與雌鼠在中間劑量發生增生現象 [62,63]。

過去曾針對兩種不同蛞蝓 (*Arion hortensis* 與 *Agriolimax reticulatus*) 進行乙醛暴露實驗，暴露 96 小時後計算乙醛的 LC<sub>50</sub>，*Arion hortensis* 與 *Agriolimax*

reticulatus 之 96-hr LC<sub>50</sub> 分別為 8.91 與 7.96 mg/L [64]，另外亦有研究針對兩種不同蚜蟲 (Myzus persicae 與 Acyathosiphon kondai) 進行實驗，發現暴露 3,600 或 4,500 mg/m<sup>3</sup> 之乙醛均會使 Myzus persicae 與 Acyathosiphon kondai 達到 100% 之死亡率[65]，而持續暴露乙醛八天後，綠頭鴨及鵪鶉之 LC<sub>50</sub> 分別為 5,000 與 808 ppm [66]。乙醛動物實驗之重複劑量研究結果如表 5 所示：

表 5 乙醛動物實驗之重複劑量研究

物種/性別/年齡	暴露途徑與期間	劑量	結果	參考文獻
Wistar 大鼠/雌雄	口服(飲用水), 4 週	0, 25, 125, 675 mg/kg/day	675 mg/kg/day 雄/雄鼠: 局部過度角化症 LOAEL: 675 mg/kg/day NOAEL: 125 mg/kg/day	[58]
大鼠	口服(飲用水), 6 個月	0, 40 mg/kg/day	40 mg/kg/day 肝臟之膠原蛋白合成增加	[67]
ICR 小鼠 /4-5 週大	吸入, 5 日, 3 小時/日	0, 324 mg/m <sup>3</sup> (0, 180 ppm)	324 mg/m <sup>3</sup> 減少 11.2% 的肺泡巨噬細胞之殺菌活性	[68]
大鼠	靜脈皮下注射, 20 日	24-26 mg/kg/day	增加大腦中豬毛菜酚濃度	[69]
雄性 Wistar 大鼠/12 隻	吸入, 5 日, 8 小時/日	0, 437 mg/m <sup>3</sup>	437 mg/m <sup>3</sup> 鼻黏膜發炎, 嗅覺上皮細胞退化, 增加 部殘氣量	[70]

有研究指出雌性大鼠暴露丙酮八小時及四小時之 LC<sub>50</sub> 分別為 21,091 ppm 與 31,994 ppm [71]，造成大鼠死亡之濃度範圍為 16,000-50,600 ppm [72,73]。對大鼠及小鼠進行三周之飲用水丙酮暴露，劑量分別為 0, 200, 400, 900, 1,700 及 3,400 mg/kg-day，LOAEL 值為 1,700 mg/kg-day，而 NOAEL 則為 900 mg/kg-day，在 1,700 mg/kg-day 劑量下會導致觀察對象出現輕微腎臟發炎情形，研究結果指出雄性大鼠之腎臟及血液系統為最敏感之器官，而此研究進一步將雄性大鼠之睪丸作為標的器官，研究結果發現在 3,400 mg/kg-day 劑量下，精子活動力下降且出現畸形精子之比例提高[74,75]。另一為期 90 天之丙酮暴露研究，大鼠以灌胃的方式

進行丙酮給藥，劑量分別為 0, 100, 500 及 2,500 mg/kg-day，在 500 mg/kg-day 劑量下，大鼠出現全身器官重量下降以及腎臟疾病之情形，雖本研究包含臨生物化學分析，但數據結果仍無法佐證劑量與腎臟疾病之劑量反應關係[76]。

甲基異丁酮對神經組織具有強烈麻醉作用，因而引起意識不明精神錯亂等現象。分別讓老鼠、小鼠、狗及猴子連續 2 星期，且每天均 24 小時暴露於 100 ppm 甲基異丁酮下，發現老鼠的腎臟重量增加，且腎臟對體重比率

(Kidney-to-body-weight ratio) 較高；若暴露於更高濃度 200 ppm 時，老鼠的肝臟及腎臟重量均增加，且器官對體重比率 (Organ-to-body-weight ratio) 均增加。

再者，讓老鼠、狗、恆河猴 (Rhesus monkeys) 連續 90 天暴露於 100 ppm 的濃度時，狗及恆河猴並沒有出現臨床或血液方面的疾病。但老鼠的肝臟及腎臟重量均增加，且近端腎小管 (Proximal renal tubules) 出現明顯的透明滴狀增生 (Hyaline droplet generation) 或壞死症狀，MacEwen 則認為腎小管的此種病變是短暫且可逆性[77]。

Geller 曾讓狒狒暴露於 20-40 ppm 下，不會出現行為及記憶力的差異 [78]，但連續 7 天暴露於 50 ppm 時，則會造成工作行為的準確性損害 (Accuracy of performance of task)，但如與 100 ppm 丁酮同時暴露時，則未出現此症狀[79]。

甲基異丁酮與正己烷混合使用，可能會造成神經毒性。Abou-Dona 曾讓雞連續 90 天暴露在 1,000 ppm 正己烷及不同濃度 (250, 500, 1,000 ppm) 甲基異丁酮時，會造成嚴重神經毒性 (如麻痺等現象)，且此毒性與甲基異丁酮的濃度有關。另一面，雞連續同時暴露於 1,000 ppm 之正己烷及 100 ppm 的甲基異丁酮時，則會發現雞隻產生運動失調等現象；如以病理組織檢查前述正己烷及甲基異丁酮混合溶劑暴露後之雞隻，發現其神經軸突腫脹，脊髓髓鞘質及週邊神經產生退化現象，

但如果雞隻只單獨暴露在甲基異丁酮時，其病理組織檢查則沒有前述不正常現象存在，因此甲基異丁酮被認為會加強正己烷所造成之神經毒性作用[80]。

雄性與雌性 SD 大鼠各 30 隻以含有 MiBK 的玉米油灌食，濃度為 0 (控制組)、50、250、1,000 mg/kg-day，持續暴露 13 周後犧牲，並記錄體重變化、食物攝取量、死亡率、臨床症狀、視力參數以及器官 (心臟、肝臟、脾臟、腦、腎臟、性腺、腎上腺、

甲狀腺與副甲狀腺)重量等。高劑量暴露與控制組大鼠的所有的組織樣本均會在犧牲後收集並進行組織學的評估，中劑量暴露大鼠的腎臟樣本也會進行組織學評估，而血液分析、臨床化學、尿液分析與綜合生理學分析則是在第七周(實驗中期)與犧牲後進行評估，在 1,000 mg/kg-day 濃度下，所有出現昏睡情形，約有 9%的雄鼠有出現體重下降情形，且此現象達統計上顯著差異。另外，約有 6%與 8%之雌鼠有出現血紅蛋白和血細胞比容積顯著增加情形 [81]。

綜合上述動物實驗結果，可發現丙酮和甲基異丁酮均會損傷肝腎系統，乙醛和甲基異丁酮均會使身體產生麻痺作用，而甲醛主要影響造血系統以及呼吸道系統。綜合動物實驗的結果，顯示暴露於這四種物質下，可能會與淋巴系統、呼吸道系統、肝臟、腎臟以及神經等器官病變有關。

## 第四節 人類流行病學資料

就急性健康效應而言，經由吸入甲醛蒸氣，會嚴重刺激鼻、咽及氣管，高濃度甲醛則會引起咳嗽、胸痛、支氣管炎、肺水腫（數小時後出現症狀）、肺炎或死亡。而當皮膚接觸到甲醛溶液時，會造成刺激，引起刺痛、乾燥、皮膚發紅，若甲醛溶液直接觸及眼睛時，輕者只有暫時不舒服，嚴重者可能會造成角膜混濁或失明。若是直接食入甲醛溶液，則會造成口、咽、食道、腸的刺激及疼痛，而當身體吸收甲醛後會影響中樞神經系統，引起的症狀包括暈眩、沮喪及休克，且可能發展成黃疸、體溫降低、代謝性酸中毒及血尿。

另外就慢性健康效應而言，甲醛之暴露會造成呼吸道刺激、氣喘及肺功能減弱[118,119]，而皮膚經多次的甲醛溶液接觸後，很容易造成溼疹性皮膚炎[120,121]，因為甲醛造成蛋白質變性，導致局部毒性及促進過敏反應。根據文獻指出婦女職業性暴露於甲醛所造成的影響包括經期異常及次發性不孕症（secondary sterility）[122]。而就甲醛的致癌性而言，美國環保署將其歸類於 B1（probable human carcinogen），認為甲醛與鼻腔內腫瘤之發生有相關性[123]。

高劑量甲醛暴露造成刺激與過敏接觸皮膚炎之效應，遠大於飲用水中甲醛之影響 [82]。因此，甲醛經由吸入途徑進入人體可被視為致癌物質，然而根據流行病學的死亡率研究顯示，工廠工人長時間甲醛的暴露下並無敏顯的肺癌增加率[83]；雖然鼻咽癌的發生率增加，但與甲醛劑量間並無相關性[84]。更進一步的研究指出，甲醛可能引起肺癌或鼻息肉癌的致癌風險，以可能引起淋巴性白血病[85]。除呼吸道疾病外，甲醛暴露與急性骨髓白血病及其他血液癌症具有相關性[4]，Meta-analysis 中，文獻假設甲醛可能對骨髓有直接作用影響，或者透過破壞造血幹細胞進入循環血液或鼻腔，而後行進至骨髓，成為白血病幹細胞，間接引起白血病，該文獻發現甲醛暴露情況之白血病相對危險性為 1.54（95%CI =1.18-2.00），達到統計上顯著差異[5]。

綜合以上文獻，顯示醛類暴露可能與造血系統有相關，而酮類的部分則尚未

釐清，故透過納入血液常規檢查檢視醛酮類物質共暴露下，對健康指標的影響。

流行病學的研究顯示，甲醛的影響無法直接歸因於長時間的職業暴露，但是暴露的工廠工人們會增加罹患鼻咽癌、皮膚癌、前列腺癌與結腸癌的發生機率。因此，根據可利用之人體證據顯示甲醛無高致癌潛勢 [86]。過去曾有世代研究追蹤 14,014 名甲醛製造或使用之男性勞工，研究結果癌症造成的標準化死亡率有顯著增加 (SMR=1.1, 95% CI= 1.04-1.16) 的情形，詳細解析各癌症造成之 SMR，結果發現非霍金型淋巴瘤 (Non-Hodgkin lymphoma) SMR 有降低的情形，但未達統計上的意義 (SMR=0.98, 95% CI= 0.67-1.39)，口腔癌 (Mouth) SMR 有升高的情形，但未達統計上的意義 (SMR=1.28, 95% CI= 0.48- 2.78)，白血病

(Leukaemia) 與霍金型淋巴瘤 (Hodgkin lymphoma) 高暴露組之 SMR 較結合所有癌症後之 SMR 為低 (白血病:SMR= 0.91, 95% CI= 0.47-1.59, SMR= 0.71, 95% CI= 0.31-1.39；霍金型淋巴瘤:SMR= 0.70, 95% CI= 0.26-1.53, SMR= 0.36, 95% CI= 0.01-2.01)，但此情形未達統計上顯著差異。反之，多發性骨髓瘤於高暴露組之 SMR 較結合所有癌症後之 SMR 為高 (SMR= 0.86, 95% CI= 0.48-1.41, SMR= 0.89, 95% CI= 0.41-1.70)，但此情形未達統計上顯著差異[87]。而在其他研究結果顯示，甲醛暴露勞工之鼻咽癌 (Nasopharyngeal Cancer, NPC) 標準死亡率 (Standardized Mortality Ratios, SMR) 為 4.43( 7 deaths, 95%CI=1.78-9.13 )至 1.71 ( 16 deaths, 95% CI = 1.01-2.72 )，其 NPC 勝算比 (Odds Ratios, OR) 為 14.41( 95% CI = 1.08-82.1 )，結合其他所有咽喉癌 (All Other Pharyngeal Cancers combined, AOPC) OR 為 1.40 ( 95% CI = 0.31-5.1 ) [3]。Olsen 等人觀察 839 個罹患鼻腔與鼻竇癌 (nasal cavity and sinuses) 的成年男子與 2,465 個癌症病人對照組，職業性暴露甲醛的相對風險為 2.8 ( 95%CI,男性:1.8-4.3,女性:0.5-14.3 )，結果顯示有統計上的顯著風險，經調整木塵暴露的癌症患者後，職業性暴露甲醛的相對風險則降低至 1.6 ( 95% CI =1.0-2.7 )，未呈現統計上差異[88]，顯示同時暴露甲醛與木塵之勞工，罹患咽喉癌的危險性較一般族群為高。除呼吸道疾病外，甲醛暴露與急性骨髓白血病及其他血液癌症具有相關性[4]，在 Meta-analysis 中，發現甲醛暴露情況之白血病相

對危險性為 1.54 (95%CI =1.18-2.00)，達到統計上顯著差異 [5]。

有研究針對十二名自願受試者，以濃度為 50 ppm 之乙醛蒸氣暴露 15 分鐘後，發現全數受試者出現輕度眼睛刺痛感[89]，另有一研究針對十四名男性，其年齡範圍為 18-45 歲，以濃度 134 ppm 之乙醛蒸氣暴露 30 分鐘後，發現全數受試者出現呼吸道刺激之情形[90]。以 20.6 - 82.4 mg/min 速率靜脈注射濃度為 5%乙醛，注射後 36 分鐘觀察受試者表現，發現心跳速率、換氣率與呼吸死腔容積有增加的情形，肺泡中二氧化碳濃度則有減低情形，以上症狀與服用乙醛脫氫酶抑制劑 (ALDH-inhibitor) 後，暴露乙醇的情形雷同 [91]。

以回溯型世代研究評估生產二醋酸纖維素和三醋酸纖維素的工廠，其二氯甲烷對血液和循環系統之影響，本研究觀察因各種原因所造成之死亡個案，其中包含惡性腫瘤致死案例。從另一生產三醋酸纖維素，但以丙酮作為溶劑之工廠作為控制組，兩個工廠地理位置非常接近，且由同一家公司經營。在 1954 年一月至 1977 年一月進行受試者收集，受試者為二氯甲烷及丙酮之高暴露者，或者是只有暴露丙酮者，以兩者暴露作為暴露組，以單一暴露作為控制組，受試者年資範圍為 3 個月至 23 年，其八小時日時量平均濃度範圍為 380-1,070 ppm。在本研究中，共有 948 名受試者只暴露丙酮，對於丙酮作業工人，由各種原因導致觀察到的死亡總人數為 24 男性和 3 女性，而在暴露組中，沒有任何非白裔女性死亡個案，且丙酮暴露之惡性腫瘤男女性之發生率分別為 5%、2% [92,93]。工人平均年齡以及平均暴露丙酮的時間分別為 37.6 歲以及 14.9 年，共有 67 名未暴露的工人做為控制組被納入研究，Sato 等人研究 110 名在醋酸纖維廠工作的男性工人暴露於丙酮的神經毒性影響。麻痺效應的測試方法包括手指敲擊，簡單反應時間以及選擇反應時間，記憶測試包含彭通視覺保留測驗以及數字廣度測驗，工人依照呼吸範圍的丙酮濃度被分為高暴露組 (>500 ppm)、中暴露組 (250-500 ppm) 以及低暴露組 (<200 ppm)。丙酮暴露濃度與受試者肺泡內空氣、尿液中與血液中丙酮濃度呈正相關，顯示連續暴露於丙酮所造成的吸收會在心血管系統達到平衡，在工作期間有眼睛紅腫、流淚、丙酮臭味與噁心等症狀的暴露勞工佔 13.7~45.1%，未

暴露的控制組勞工則為 3.9~23.5%，過去六個月內，有 23.6~25.8%的暴露勞工有輕微或重度頭痛、噁心、體重減輕等情形，在未暴露勞工則為 2.9~9.8%，這些症狀呈現劑量-效應關係，而作者推測，這可能是單一天內暴露高濃度所造成的結果 [94]。

Hjelm 讓人體試驗志願者暴露 2 小時在 2.4~48.8 ppm 甲基異丁酮後，其肺臟對吸入濃度的攝取速率（Uptake rate）維持在 60 % 左右 [95]，且吸收量的多寡是取決於肺的換氣情形及勞工的活動量。一名 16 歲的男性在密閉空間使用含甲基乙基酮和甲基異丁基酮噴漆的八周後，呈現多發性的病徵，包含四肢灼熱、腓腸神經與雪旺氏細胞增生、急性節段性脫髓鞘等 [96]。六名成年志願者分別透過全臉面罩暴露 0.402、0.915、1.393、1.68、2.301 以及 2.827 mg/L (402、915、1,393、1,680、2,301 以及 2,827 mg/m<sup>3</sup>) 的 MiBK 7 分鐘，兩周後再分別暴露 0.845、1.493 以及 2.066 mg/L (845、1493 以及 2,066 mg/m<sup>3</sup>) 的 MiBK 7 分鐘。自願者指出在暴露過程中眼睛、鼻子與喉嚨刺激的症狀出現並隨後消失，這提供一個對於連續暴露的相對刺激評估指標。自願者表示鼻子、眼睛與喉嚨的刺激會隨暴露量的增加而提高，臭味與刺激的閾值從多個暴露濃度的結果中彙整，其分別為 402 與 1,393 mg/m<sup>3</sup> [97,98]。

## 第五節 容許濃度範圍及職業暴露調查

美國職業安全衛生署 (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) 規定勞工暴露甲醛之八小時容許濃度 (Permit Exposure Level-Time Weighted Average, PEL-TWA) 為 0.75 ppm (0.9 mg/m<sup>3</sup>)，乙醛之 PEL-TWA 不得超過 200 ppm (360 mg/m<sup>3</sup>)，甲基異丁酮之 PEL-TWA 為 100 ppm (410 mg/m<sup>3</sup>)，丙酮之 TWA 為 1,000 ppm (2,400 mg/m<sup>3</sup>)。美國工業衛生師協會 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) 對甲醛、甲基異丁酮及丙酮之八小時界限值 (Threshold Limit Value- Time Weighted Average, TLV-TWA) 分別為 0.016 ppm (0.02 mg/m<sup>3</sup>)、50 ppm (205 mg/m<sup>3</sup>) 及 250 ppm (600 mg/m<sup>3</sup>)，並未對乙醛進行規範。我國勞委會對於甲醛之八小時時量平均容許濃度 (PEL-TWA) 為 1 ppm (1.2 mg/m<sup>3</sup>)，乙醛之八小時 PEL-TWA 為 100 ppm (180 mg/m<sup>3</sup>)，甲基異丁酮之八小時 PEL-TWA 為 50 ppm (205 mg/m<sup>3</sup>)，丙酮之八小時 PEL-TWA 為 750 ppm (1,780 mg/m<sup>3</sup>) [99]。各國對於甲醛、乙醛、甲基異丁酮及丙酮四者的法定規範濃度如表 6 所示。

表 6 各國職業暴露濃度規範 (ppm (mg/m<sup>3</sup>))

	規範名稱	甲醛	乙醛	甲基異丁酮	丙酮
台灣勞委會	PEL-TWA	1 (1.2)	100 (180)	50 (205)	750 (1,780)
美國職業安全衛生署	PEL-TWA	0.75 (0.9)	200 (360)	100 (410)	1,000 (2,400)
美國國立職業安全衛生研究所	REL-TWA	0.016 (0.02)	-	50 (205)	250 (600)
美國政府工業衛生師協會	TLV-TWA	0.3 (0.37)	25 (45)	50 (205)	500 (1,200)
日本	OEL-TWA	0.1 (0.12)	0.5 (0.61)	50 (205)	200 (475)
英國	MEL-TWA	2 (2.45)	2 (2.5)	50 (205)	500 (1,200)
加拿大	OEL-TWA	-	-	-	-

OEL (Occupational Exposure Limit): 職業暴露限值 ; MEL (Maximum exposure limit) : 最大暴露限值

2013 年針對 14 間不種型態之製造業工廠調查，發現勞工暴露濃度為 8.6 (油墨製造商) -101.2 (中國零食製造商) ppbv[11]。於芬蘭樹脂工廠，甲醛空氣中濃度範圍 1.4-5.5 ppm [100]。

在許多木材製程的工業中 (例如三夾板、纖維板、木匠或傢具的製造等) 都有機會暴露到甲醛或其他有機化合物，Makinen 等人在 1999 年於芬蘭所做的研究主要為討論三合板工廠其員工於甲醛的暴露量，其結果顯示就個人採樣方面乾燥及修補時 (drying and patching) 的平均暴露濃度為  $0.07\text{mg}/\text{m}^3$ ；成型 (finishing) 部門的平均暴露濃度為  $0.09\text{mg}/\text{m}^3$ ；薄木片修補部門 (scaring of veneers) 的平均暴露濃度為  $0.14\text{mg}/\text{m}^3$ ；整合及加壓 (assembly and pressing) 的平均暴露濃度為  $0.19\text{mg}/\text{m}^3$ ，另外就區域採樣而言其平均暴露濃度則依次為 0.05、0.11、0.14、 $0.21\text{mg}/\text{m}^3$ 。因此可得知工廠內甲醛暴露濃度最高的區域為整合 (assembly) 及熱壓 (hot pressing) 的部門[124]，也顯示出員工甲醛的主要暴露來源為加工過程 (processtype)，而非操作過程 (manual type) (Kalliokoski 1990)。Vinzents 等人於丹麥木材及傢具工廠的研究顯示其員工在塗抹黏著劑時，甲醛的暴露量為  $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ ；另一方面在執行油漆的過程時平均的暴露濃度則為  $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 。並且發現所測得的最高暴露濃度是當塗在傢具上的油漆漸漸揮發的時候[125]。另外 Herbert 等人則發現 Oriented Strand Board (OSB) 的員工其甲醛暴露量最高的部門為加熱前 (pre-heat) 的程序，濃度可高達至  $0.32\text{mg}/\text{m}^3$ [126]。

乙醛的相關研究中，於 2011 年巴西醫療院所研究，發現醫療院所之乙醛濃度為 5.206-30.582 ppm [101]，相較於 2013 年 Ho 等人的研究結果，4.1 (電鍍工廠) -87.3ppbv (中國零食製造商) 為高[11]。國外醫院調查甲醛暴露情形，1979 年 Covino 調查醫院解剖室廢棄病理樣本處置作業勞工的個人甲醛暴露濃度高達 4.8 ppm，設置局部排氣後測得之甲醛濃度 0.8 ppm [102]。1982 年 Elliott 調查醫院洗腎室空氣中甲醛濃度定點測定結果，甲醛濃度範圍在 0.04~0.5 ppm 之間[103]。Pryor 1983 年調查某醫院勞工個人甲醛暴露濃度範圍在 0.18~1.45  $\text{mg}/\text{m}^3$ ，1984 年調查另一家醫院的組織學 (Histology) 部門、細胞學 (Cytology) 部門、外科

病理室 (Surgical pathology) 以及藥品準備室空氣中勞工個人暴露甲醛濃度範圍為低於偵測極限至 1.6 ppm 之間 [104,105]。手術室的現場環測部份，1990 年 Binding 測量以 0.5% 的清潔液進行手術中及手術後消毒清理工作的開刀房 (Operating theatres)，所得甲醛尖峰濃度 (Peak concentration) 為 0.43 ppm；清潔工作期間甲醛 8 小時平均濃度為 0.18 ppm；當清潔液為 3% 時，測得清潔人員的甲醛短時間尖峰濃度則高達 5.1 ppm。消毒期間甲醛的平均濃度為 1.3 ppm，工作日甲醛平均濃度為 0.8 ppm，戊二醛為 0.1 ppm [106]。1995 年 Gannon 採集 13 個醫院內視鏡室 (Endoscopy units)，共 30 位勞工之個人採樣，其中 12 名從事人工消毒，短時間甲醛濃度為 0.16 mg/m<sup>3</sup>，個人甲醛 8 小時時量平均濃度 0.041 mg/m<sup>3</sup>，定點短時間暴露濃度為 0.16 mg/m<sup>3</sup> [107]。

在芬蘭調味料工廠研究中，乙醛濃度為 7.6-0.7 mg/m<sup>3</sup> [12]，而暴露於乙醛，會影響精胺氧化酶 (Spermine Oxidase, SMO) 在 HepG2 細胞的轉錄程度，進而造成細胞毒性增加 [13]。而在乙醛吸入之風險評估研究中顯示，每平均體重接受者，吸入乙醛含量 15-20 μg/m<sup>3</sup> 情況下，其致癌風險為 3.5-4.0x10<sup>-5</sup>，表示在此暴露條件下，有不可接受的致癌風險 (>10<sup>-6</sup>) [108]。國內的甲醛暴露勞工研究顯示，勞工暴露甲醛的主要來源為福馬林工場 (Formalin) 與異戊四醇工場 (Pentaerythritol)，乙醛的主要來源為異戊四醇工場 (Pentaerythritol)，環境中污染物濃度下午比上午高，而平日作業甲醛濃度範圍 (0.001~0.698 ppm) 比歲修作業時 (0.008~0.942 ppm) 為小，但研究並無探討到勞工的健康狀況。在裝潢工人暴露甲醛的研究中，甲醛濃度範圍為 0.03-1.30 ppm，平均值為 0.21 ppm，甲醛濃度變異性隨著不同工作內容而增大，其濃度分別為 (0.13±0.07) ppm 至 (0.58±0.53) ppm。

過去職業暴露研究指出三座含氯廢棄物之處理廠，其空氣中甲基異丁酮濃度範圍為 1517-11 324 μg/m<sup>3</sup>，在聚乙烯與聚丙烯廢棄物處理廠，其濃度範圍為 12-72 μg/m<sup>3</sup> [109]，而有相關研究亦指出噴漆工人之平均暴露濃度為 76 ppm (8-369 ppm) [110]，顯示勞工可能存在不可接受之暴露風險。根據 1975 年 Allen et al. 研究指

出，1,157 名塑料塗層和彩色印刷勞工中，共有 86 名勞工被診斷出具有運動與感覺神經病變 [21]，文獻上曾有週邊神經變性（ Peripheral neuropathy ） 案例報告，探究其致病原因為人員曾暴露於油漆及油漆稀釋劑之環境中，且前述之產品內含有甲基異丁酮、碳氫化合物溶劑等致神經毒性物[22,23]。

Raleigh 及 McGee 於 1972 年，讓九位勞工每天暴露於 901 ppm 丙酮 8 小時，連續暴露 2~3 天，勞工抱怨鼻子及喉嚨刺激，提高丙酮濃度至 1,006 ppm，且連續暴露 7 天時，仍是抱怨鼻子及喉嚨刺激 [127]。Matsushita 曾讓志願者暴露於 100 ppm 丙酮 6 小時，抱怨鼻子、喉嚨及氣管刺激且暴露濃度增加，其刺激也隨著增加 [128]。Ross 於 1973 年，曾報告八位勞工分別暴露於 12000 ppm 丙酮 2 分鐘至 4 小時不等，勞工會抱怨眼睛及肺臟刺激 [129]。Stewart 於 1975 年曾讓志願者間些暴露於  $\leq 1,250$  ppm 丙酮後，會感覺到喉嚨刺激 [130]。Raleigh 及 McGee 讓九位勞工每天暴露於 901 ppm 丙酮 8 小時，連續暴露 2 ~3 天後，進行郎堡氏測試(Romberg test)、手指-對-鼻測試(finger-to-nose test) 及眼球震顫觀察 (observation for nystagmus)，結果無人有神經行為方面之不良影響，但當丙酮濃度增加至 1,006 ppm 時，其中有 3 位勞工提及會頭痛及頭昏眼花的症狀[127]。Ross 則讓 7 位勞工分別暴露  $\geq 12,000$  ppm 丙酮 2 分鐘至 4 小時不等，勞工會抱怨頭痛、眩暈及頭昏眼花等症狀 [129]。另 Haggard 於 1944 曾讓志願者暴露於高濃度丙酮 (21,049 ppm) 3 ~ 6 小時，即會產生麻醉現象，暴露 8 小時會尚失正確的反射動作 [131]。Matsushita 讓志願者暴露於 250 ppm 丙酮 6 小時或連續暴露 6 天後，會抱怨缺乏活力、身體虛弱、視覺反應時間延遲 (delayed visual reaction time) 及頭痛等[132,128]。Dick 則讓志願者暴露於 237 ppm 丙酮 4 小時，則發現其聽力識別測試產生假陰性反應，且易怒及敵意等 [133]。Seeber 讓志願者暴露於 1,000 ppm 丙酮 4 ~ 8 小時後，抱怨會有煩惱、緊張及疲倦等症狀 [134]。Stewart 則讓志願者每天暴露於 1,250 ppm 丙酮 1 ~ 7.5 小時，一星期暴露 2 ~ 5 天，且連續暴露 6 星期再觀察神經方面之影響，結果發現引起視覺之反應性增加 (increased visual evoked response)。

以八名丙酮職業暴露與八名非職業暴露之勞工進行研究，觀察期為兩天，共有九個輪班次序，在研究前以及各輪班交替時進行受試者感知問卷紀錄。個人採樣結果指出首輪班之作業勞工，其丙酮時量平均濃度為 1,150 ppm，而第二日之丙酮時量平均濃度為 725 ppm，而感知問卷則紀錄受試者之緊張與疲倦之生理狀態、負面情緒等資訊，研究結果指出隨著丙酮濃度攀升，受試者反應負面情緒以及疲倦等情形亦隨之增加[111]。另有研究針對印刷工廠之丙酮暴露勞工進行研究，共有 71 名暴露勞工與 86 名非暴露勞工，受試者平均年齡為 36 歲，平均年資為 14 年，所有受試者須完成問卷調查，其內容包含飲酒習慣與工作內容等，隨後進行運動神經傳導速度和神經行為之測試。研究結果指出其六小時之時量平均濃度為 500 mg/m<sup>3</sup>，與環己酮、丁酮暴露之勞工相比較，發現丙酮是主要影響人員績效與神經毒性之物質 [11,52]。

讓 19 位勞工每天暴露 20~30 分鐘 500 ppm 甲基異丁酮，其他時間則暴露 80 ppm，結果有半數以上的人抱怨虛弱、沒胃口、頭痛、眼睛刺激、胃痛、嘔吐及喉嚨痛。其中四人有肝臟稍微腫大，六人有結腸炎，少部份的人有失眠的經驗、嗜眠、胃口灼熱及腸痛等不舒服症狀。但以臨床化學檢查，所有勞工均沒有異常現象。隨著作業環境逐步改善，5 年後其最高濃度降為 100~105 ppm，大部時間均維持在 50 ppm 左右，除了少部份的人仍抱怨有腸胃及中樞神經系統方面的問題，二人仍有肝臟稍為腫大外，均不再抱怨有其他的症狀出現 [135]。

根據環保署毒性化學資料庫，2012 年甲醛的製造量和使用量分別為：55,497 和 1,500,303；乙醛分別為 1,172 和 2,448 公噸；甲基異丁酮分別為 114 和 358 公噸[1]。而根據台灣化學品製造商名錄[2]，丙酮的產能為 99 萬噸，指出這四種物質在工業上普遍使用，而綜合以上相關研究結果得知，發現國內甲醛、乙醛、丙酮及甲基異丁酮之勞工之共同暴露作業場所調查資料非常有限，且亦無研究同時針對四項化學物質暴露進行健康風險評估。此外，對於四種化學物質之共同暴露導致之健康效應仍有待評估，因此有必要進行詳實之暴露評估調查與健康風險解析，以瞭解國內之甲醛、乙醛、丙酮及甲基異丁酮之暴露實態及勞工健康情形。

## 第三章 工作項目及方法

### 第一節 工作項目

- 一、 調查國內甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮製造廠或使用廠之作業勞工之暴露實態。
  - (一) 選取國內兩間運作量或製造量較大之甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮製造廠或使用廠進行調查，並完成四間工廠現場訪視。
  - (二) 至少招募 60 位甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮製造或操作之現場作業勞工，並進行暴露評估。
  - (三) 針對至少 60 位甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮製造或使用現場作業勞工進行個人空氣中醛酮類物質暴露濃度之採樣與分析。
  - (四) 以問卷訪問至少 60 位勞工，包含當日時間活動模式、健康史、職業史、防護具配戴狀況、抽菸及喝酒等項目。
  - (五) 解析勞工神經行為表現與空氣待測物濃度兩者間關係。

## 二、評估甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮多重暴露勞工之健康狀況及健康風險

(一)完成 60 位甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮製造或操作之現場作業勞工血液肝功能、血糖及脂肪代謝檢查。

1. 肝功能測試指標：麩草醋酸轉胺酶 (GOT)、麩丙酮酸轉胺酶 (GPT)、加瑪麩氨基轉換酵素 ( $\gamma$ -GT)、鹼性磷酸酶 (ALK-P)、總膽紅素 (Total bilirubin, TB)、直接膽紅素 (Direct bilirubin)、總蛋白 (Total Protein)、白蛋白 (Albumin)。
2. 腎功能測試指標：尿素氮 (B.U.N)、血清肌酸酐 (Creatinine)、尿酸 (Uric Acid)。
3. 血液一般檢查：白血球 (WBC)、紅血球 (RBC)、血色素 (Hb)、紅血球容積比 (Hct)、均紅血球容積 (MCV)、平均紅血球血紅素量 (MCH)、平均紅血球血紅素濃度 (MCHC)、血小板 (Platelet)、球蛋白 (Globulin)、白蛋白與球蛋白比值 (Albumin-Globulin in ratio , A/G ratio)。
4. 脂肪代謝異常檢測：飯前血清葡萄糖濃度 (Glucose A.C) 、三酸甘油酯 (Triglyceride)、胰島素 (Insulin)、脂聯素 (Adiponectin)、瘦體素 (Leptin)。送至醫檢單位分析肝功能指標及脂肪代謝因子。

(二)探討空氣中甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮濃度與血液常規、肝功能、血糖及脂肪代謝等指標之相關性。

(三)針對甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮製造或操作之現場作業勞工進行致癌及非致癌之健康風險評估。

## 第二節 工作方法

### 一、研究架構

本研究受試者選自醛、酮類化合物原料或產品製程之勞工，受試者將利用問卷調查時間活動模式以及疾病史，並配戴個人空氣採樣器收集個人甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮暴露濃度，抽取血液樣本分析肝腎功能及代謝功能指標，收集尿液樣本，建立醛酮類共暴露尿液生物指標，並與空氣中醛酮類濃度進行相關性比對。並且將個人醛、酮類物質（甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮）採樣之結果計算勞工之健康風險，包含致癌風險及非致癌風險評估。另外以手指靈活度測試、握力測試量化勞工神經行為結果，並探討空氣中待測物濃度與尿液生物指標三者間相關性。整合所得到的結果加以解析後可了解勞工暴露實態，及暴露與健康指標的相關性。研究架構如圖 5 所示。

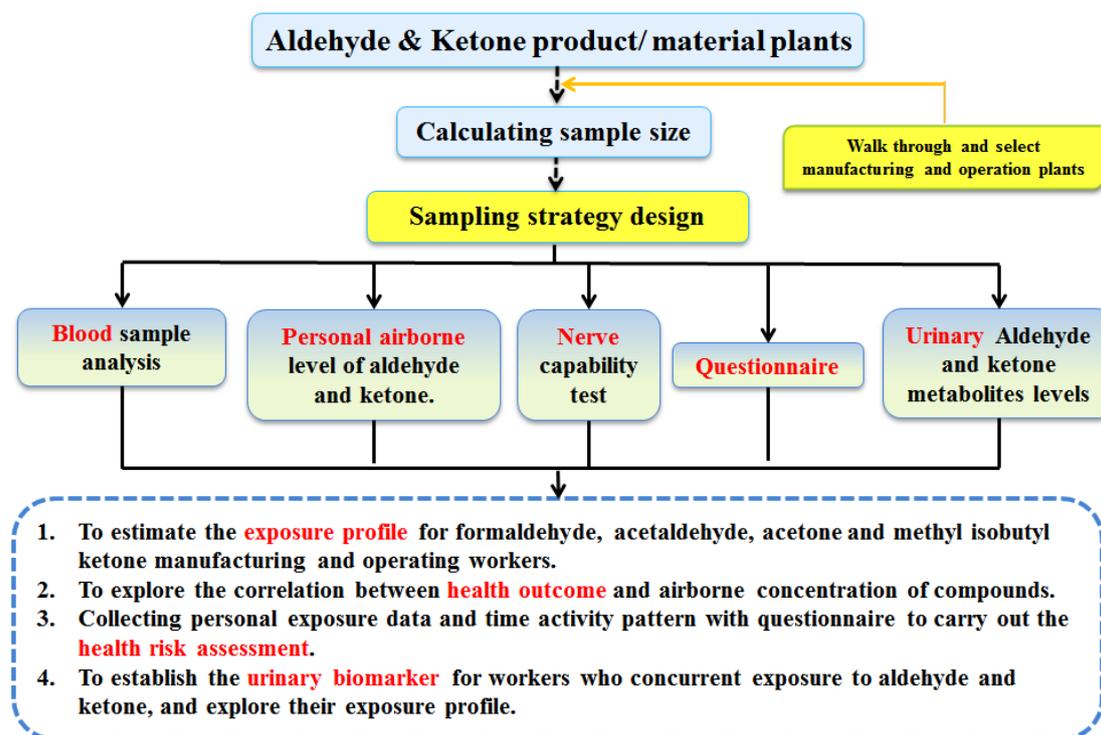


圖 5 研究架構圖

## 二、工廠選擇與對象選取

本研究不納入未成年人作為研究對象，僅納入民法法定之成年勞工（指年滿20歲以上者）。本研究自環保署固定污染源資料庫篩選出同時運作醛、酮類化合物之工廠，再擬定篩選原則（依運作量及區域）進行篩選出目標工廠，經由委託機關發函進行現場訪視及說明後，提供說帖由廠方協助招募有意願參與之勞工，並於採樣當日由計畫主持人再次說明並詢問參與意願後，若同意簽署同意書者才進行採樣，無參與意願之勞工則不納入研究中。

首先依照環保署毒性物質管理系統與固定污染源資料，瞭解國內醛、酮類物質（甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮）使用及製造之運作廠，並以台灣化學品製造廠商名錄調查醛、酮類物質（甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮）之製造及使用量，接著進一步調查各運作場所的醛、酮類物質（甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮）之使用量，選取運作量較大且有共同暴露之工廠工人為對象。為進一步瞭解工廠之製程及勞工操作化學物質之方式，將進行工廠現場勘查，並以相似暴露族群（Similar exposure group, SEG）的方法，針對不同作業方式或暴露程度之勞工劃分組別，以接觸醛、酮類物質（甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮）頻率較高或工作如製程區、回收、原料裝卸、反應槽等，濃度較高之製程勞工作為本研究之高度暴露組。以同工廠中接觸頻率較低之勞工，如製程控制室、包裝、品管室、其他物料製程、廠區巡視主管等勞工，劃分為中度暴露組。最後，以工廠中平時無接觸醛、酮類物質（甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮）的勞工，如行政單位、管理部門之勞工，劃分為本研究之低暴露組。此外，本研究亦參考問卷中時間活動模式記錄，依照進入製程的時數，以中位數劃分高低暴露兩組。研究至少選取60位勞工進行調查，所有研究對象都必須經當事人同意後並簽署人體試驗同意書，方可進行後續的研究。

### 三、健康、飲食問卷及時間活動模式調查

問卷分為五大部分，分別為基本資料調查、工作狀況及生活習慣、神經肌肉表現、疾病史與健康狀況及時間活動模式。第一部分是基本資料，主要是要調查勞工之年齡、身高及體重等基本資料，第二部分是工作狀況及生活習慣，工作狀況是要調查勞工目前的職位、製程、工作內容、過去的工作歷史等工作相關調查，生活習慣的部分則是調查個人之生活作息像是飲酒、抽菸、營養食品或用藥狀況等可能影響研究之生活習慣。第三部分是針對個人的神經行為能力進行調查，包含最近一個月之肌肉疼痛、周邊神經感知能力變異，最近三個月之中樞神經、精神狀態異常之頻率調查。第四部分是針對個人的健康狀況進行調查，包含過去的疾病史、家族及病史、目前身體之健康狀況、肝臟和其他疾病狀況調查。最後透過時間活動模式，調查勞工採樣前 24 小時與採樣當日之活動狀況，以瞭解勞工每日的醛、酮類物質（甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮）暴露時間、頻率，勞工作業的部門單位、工作內容。

### 四、樣本採集

#### (一)血液樣本收集

本研究主要探討醛酮類物質在共同暴露的情況下，是否會產生健康指標的協同作用。在健康指標的部分共檢測脂肪代謝（受體素、脂聯素、胰島素、血糖、胰島素阻抗 HOMA-IR 等）、腎功能（尿素氮、血清肌酸酐、血中尿酸）、肝功能（GOT、GPT 等）。血液常規檢查過去在職業暴露中鮮少納入，本研究綜合過去甲醛流行病學與動物實驗文獻，納入血液常規檢查，以檢視於更低濃度之其他物質共同暴露情況下，其健康指標是如何變化。

血液採樣的部分，先對參與之員工說明抽血之注意事項，並於抽血前確認參加員工是否為空腹，同時取得員工同意及簽名後方進行抽血，抽血者為醫護人員或醫檢人員，共收取勞工血液 20 mL。分別以紅頭黃環採血管（含 gel 急促凝固劑）收取血清，靜置 30 分鐘後以 3200 轉離心 20 分鐘，以加速血液與採血管內之添加物混合與反應，離心後吸取上清液血清並進行分裝，裝入醫療病理實驗室提

供之分析管中，再將血液儲存於冰桶中送至檢驗單位分析。紫頭採血管、灰環採血管（含 NaF/K3EDTA 抗凝劑）與紅頭黑環（不含任何抗凝固劑）採血管收取血液，裝入醫療病理實驗室提供之分析管中，再將血液儲存於冰桶中送至南海醫事檢驗所進行分析，本研究所委託之檢驗單位皆通過全國認證基金會（Taiwan Accreditation Foundation, TAF）或美國病理醫師學會（College of American Pathologists, CAP）認證合格之醫療檢驗單位。分析的項目有下列四大部分：

1. 肝功能測試指標：麩草醋酸轉胺酶（GOT）、麩丙酮酸轉胺酶（GPT）、加瑪麩氨基轉換酵素（ $\gamma$ -GT）、鹼性磷酸酶（ALK-P）、總膽紅素（Total bilirubin, TB）、直接膽紅素（Direct bilirubin）、總蛋白（Total Protein）、白蛋白（Albumin）。
2. 腎功能測試指標：尿素氮（B.U.N）、血清肌酸酐（Creatinine）、尿酸（Uric Acid）。
3. 血液一般檢查：白血球（WBC）、紅血球（RBC）、血色素（Hb）、紅血球容積比（Hct）、均紅血球容積（MCV）、平均紅血球血紅素量（MCH）、平均紅血球血紅素濃度（MCHC）、血小板（Platelet）、球蛋白（Globulin）、白蛋白與球蛋白比值（Albumin-Globulin in ratio, A/G ratio）。
4. 脂肪代謝異常檢測：飯前血清葡萄糖濃度（Glucose A.C）、三酸甘油酯（Triglyceride）、胰島素（Insulin）、脂聯素（Adiponectin）、瘦體素（Leptin）。

## (二)空氣樣本收集

本研究之個人採樣方法是參考美國環境保護署 1999、2004 年之甲醛公告檢測方法—Compendium Method TO-11A; Determination Of Formaldehyde And Other Aldehydes In Indoor Air[113,114]。本公告方法之採樣介質為裱敷 2,4 - 二硝基苯肼（2,4 - dinitrophenylhydrazine, DNPH）之矽膠管（SKC 226-119）；內填充兩段裱敷 2,4 - DNPH 之矽膠（300 mg/150 mg），採樣的建議流率為 100 mL/min，採樣時間為 6-8 小時。採樣前先以紅外線皂泡計或其他一級較正器進行流率校正，每次採樣的流率讀取 5 次，數值取平均值視為採樣前之採樣流率。本研究使用單

一採樣管搭配個人採樣配戴泵浦及 S 腰帶予勞工配戴，進行第一次現場採樣，結果發現丙酮破出率達 51.6%，因此，本研究於第一次採樣後進行採樣管配置調整，以吸附管之裁切器切開採樣介質兩端，串聯兩支採樣管後搭配個人採樣配戴泵浦及 S 腰帶予勞工配戴，裱敷 2,4 - DNPH 之矽膠管則配置於每位勞工的呼吸帶，待完成採樣後以塑膠蓋封管，並以石蠟薄膜（Parafilm）加封，並儲存於 4°C 冰箱裝至分析前。採樣後亦以紅外線皂泡計或其他一級校正器進行流率校正，每次採樣的流率讀取 5 次，數值取平均值視為採樣後之流率，採樣前與採樣後流率差異不得超過百分之五。

本研究之採樣時間為 6-8 小時，各受試者之實際採樣時間，於空氣樣本濃度計算時已納入計算，故各受試者之實際採樣時間與採樣前後流率將給予校正。

本研究參考美國環保署公告之醛酮類檢測方法，該方法選用衍生化標準品進行檢測分析，本研究選用純物質添加至採樣管，於 4°C 環境下靜置 8 小時，使用不含丙酮之乙腈脫附 1 小時，上機分析。在方法測試與數據結果顯示使用純物質添加至採樣管後脫附，其結果與標準方法吻合。

本研究使用原型物標準品添加至採樣管後，建置檢量線，並且進行重複分析、檢量線中點之品保品管分析，均符合規範後，方可進行樣本分析。惟甲基異丁酮於美國環保署標準方法中並未納入，未來將進一步使用衍生化標準品進行平行比對。衍生化效率根據過去文獻指出，乙醛衍生化效率為 84.3-86.5%、丙酮為 95.8-97.2%[116]，甲醛為 90-96%[117]。

## 五、樣本分析

### (一)化學試劑

1. 甲醛 標準品 (1000  $\mu\text{g/ml}$  溶於甲醇) : 購自 Uni-onward (友和)。
2. 乙醛標準品 (1000  $\mu\text{g/ml}$  溶於甲醇) : 購自 Uni-onward (友和)。
3. 丙酮標準品 (1000  $\mu\text{g/ml}$  溶於甲醇) : 購自 Uni-onward (友和)。
4. 甲基異丁酮標準品 (1000  $\mu\text{g/ml}$  溶於甲醇) : 購自 Uni-onward (友和)。
5. 乙腈 (脫附劑) : 購自 Merck (Darmstadt, Germany)。

### (二)個人空氣甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮濃度檢測

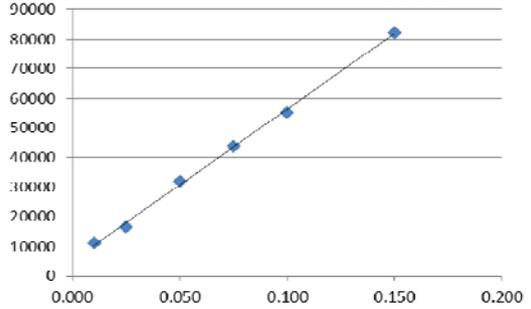
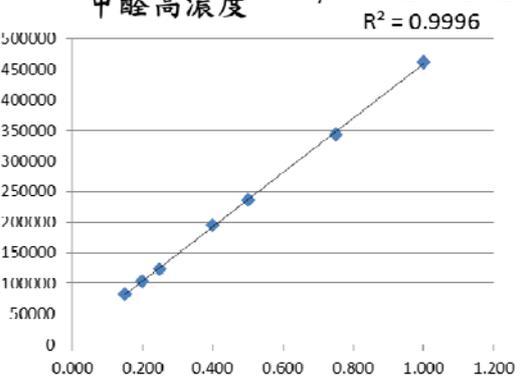
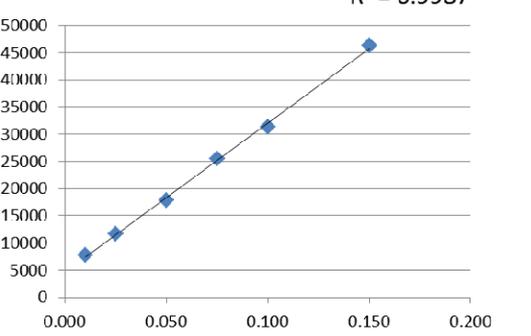
#### 1. 標準品配製

- a. 檢量線範圍：甲醛檢量線濃度範圍為：0.005  $\mu\text{g/mL}$  - 1  $\mu\text{g/mL}$ 、乙醛檢量線濃度範圍為：0.005  $\mu\text{g/mL}$  - 1  $\mu\text{g/mL}$ 、丙酮檢量線濃度範圍為：1.6 - 15.69  $\mu\text{g/mL}$ 、甲基異丁酮檢量線濃度範圍為：0.005  $\mu\text{g/mL}$  - 1  $\mu\text{g/mL}$ 。標準品為 1,000  $\mu\text{g/mL}$  甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮之標準溶液。
- b. 將標準品分別以乙腈稀釋至適當濃度，總體積 1 mL。
- c. 依照上述步驟將甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮標準品稀釋至 0.1、0.2、0.5、1、2、4、6、8、10、15、20  $\mu\text{g/mL}$ 。詳細配製方法如表 7 所示。
- d. 最後以 HPLC-UV 進行分析，以波峰面積（或高度）對分析物的濃度，繪製檢量線。結果如表 8 所示。

表 7 甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮檢量線配置表

標準品濃度 ( $\mu\text{g/mL}$ )	標準品添加量 ( $\mu\text{L}$ )	$\text{CH}_3\text{CN}$ 添加量 ( $\mu\text{L}$ )	配製濃度 ( $\mu\text{g/mL}$ )
20	5	995	0.1
20	10	990	0.2
20	20	980	0.5
100	10	990	1
100	20	980	2
100	40	960	4
100	60	940	6
100	80	920	8
100	100	900	10
100	150	850	15
100	200	800	20

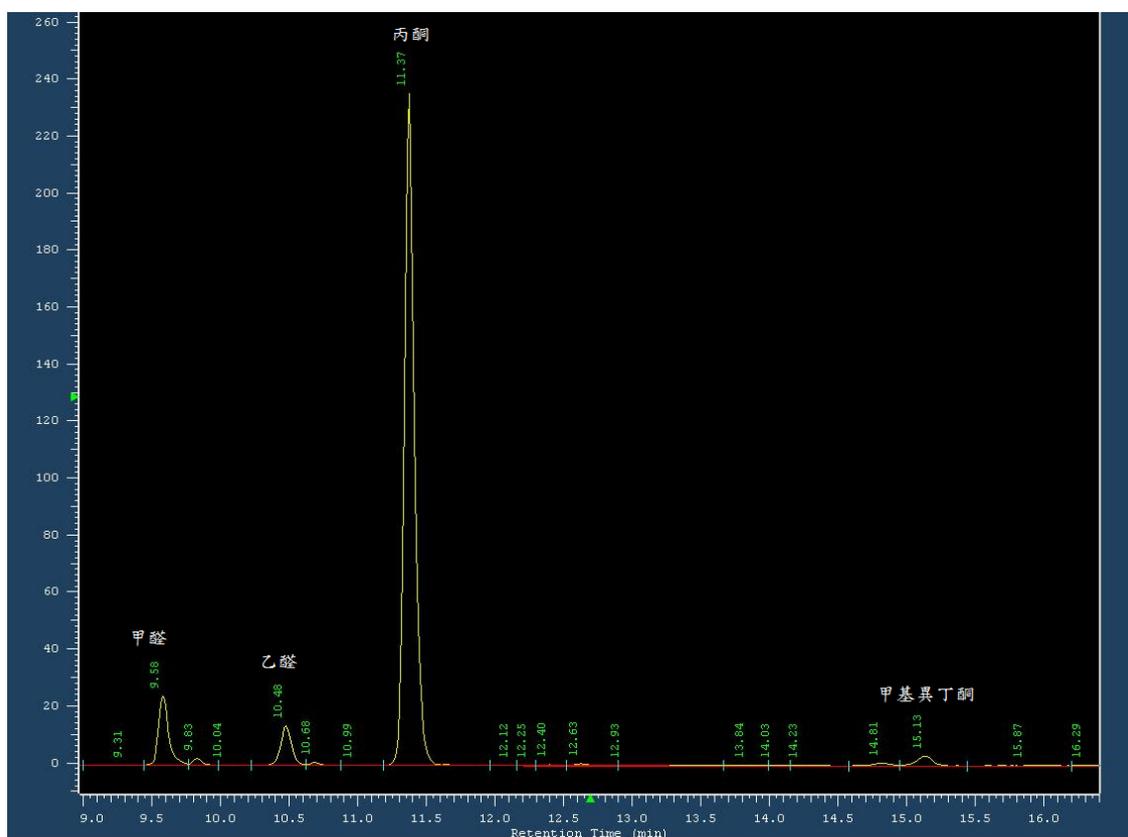
表 8 HPLC 檢量線及圖譜

物質	檢量線範圍		
甲醛	低濃度 檢量線	0.005-0.1  μg/mL	<p><b>甲醛 低濃度</b> <math>y = 510122x + 5329.7</math> <math>R^2 = 0.9983</math></p> 
	高濃度 檢量線	0.1-1  μg/mL	<p><b>甲醛 高濃度</b> <math>y = 444427x + 14624</math> <math>R^2 = 0.9996</math></p> 
乙醛	低濃度 檢量線	0.005-0.1  μg/mL	<p><b>乙醛 低濃度</b> <math>y = 274219x + 4628</math> <math>R^2 = 0.9987</math></p> 

	高濃度 檢量線	0.1-1 μg/mL	<p>乙醛 高濃度 <math>y = 270216x + 9320.9</math> <math>R^2 = 0.9982</math></p>
丙酮	低濃度 檢量線	1-6.28 μg/mL	<p>丙酮 低濃度 <math>y = 221857x + 36986</math> <math>R^2 = 0.9992</math></p>
	高濃度 檢量線	6.28-15.69 μg/mL	<p>丙酮 高濃度 <math>y = 215572x + 81671</math> <math>R^2 = 0.998</math></p>
甲基異丁酮	低濃度 檢量線	0.005-0.1 μg/mL	<p>甲基異丁酮 低濃度 <math>y = 92763x + 4353.8</math> <math>R^2 = 0.9998</math></p>

	高濃度 檢量線	0.1-1 μg/mL	<p>甲基異丁酮 高濃度 <math>y = 112328x + 369.81</math> <math>R^2 = 0.9999</math></p>
--	------------	----------------	--

圖譜與滯留時間



甲醛	乙醛	丙酮	甲基異丁酮
9.58 min	10.48 min	11.37 min	15.13 min

## 2. 檢量線配製

- 檢量線範圍：檢量線範圍均設定為 0.5 ng/mL -20 ug/mL。
- 以裁切器或銼刀，將裱敷 2,4 - DNPH 之矽膠管之兩端切開，切斷口至少是管徑的一半。

- c. 以微量注射器取適當的分析物注入裱敷 2,4 - DNPH 之矽膠管的前端，注入時，盡量使分析物之溶液均勻的分佈在矽膠粒上。將裱敷 2,4 - DNPH 之矽膠管以塑膠蓋蓋好，並以石臘膜加封。
  - d. 分析物的注入濃度為檢量線的各點濃度，注入體積最好不超過 20  $\mu\text{L}$ ，若濃度超過檢量線範圍，應以乙腈稀釋。
  - e. 打開蓋子，將前端的玻璃棉丟棄，將前端的矽膠顆粒倒入 8 mL 的 vial 瓶中，並加入 5 mL 的乙腈。
  - f. 最後蓋上瓶蓋並以石臘膜加封。
  - g. 放置 60 分鐘，並不時搖動之。
  - h. 最後以 HPLC 進行分析，以波峰面積（或高度）對分析物的濃度，繪製檢量線。
3. 樣本前處理
- a. 打開裱敷 2,4 - DNPH 之矽膠管塑膠蓋，將斷口切開，使開口與管徑同大，前端之玻璃綿拿出丟棄，前段管之矽膠粒全部倒入 8mL 的玻璃小瓶中，後段管之矽膠粒全部倒入另一個 8 mL 的玻璃小瓶。
  - b. 每一玻璃小瓶加入脫附劑（乙腈,  $\text{CH}_3\text{CN}$ ） 5 mL，並立即蓋上瓶蓋。
  - c. 放置 60 分鐘，偶爾搖動並以 HPLC 進行分析。
4. 樣本分析：以 HPLC 進行分析，分析的條件如表 9。

表 9 高效液相層析儀與紫外線偵測器 分析條件

項目	條件		
Column	Discovery HS C18 (4.6 mmx25 cm, 5 $\mu$ m)		
偵測器波長	Ultraviolet (UV 360 nm)		
流動相 (流速)	A: acetonitrile B: water (1.8 mL/min)		
注入量	5 $\mu$ L		
分析梯度設定			
Time	Milli Q water (%)	Acetonitrile (%)	Flow rate (mL/min)
0	80	20	1.8
10	25	75	1.8
21	22	78	1.8
27	80	20	1.8
30	80	20	1.8

## 五、空氣中樣本分析之品保/品管

### (1) 現場空白樣本

根據勞動部安研所提供之採樣方法，每次採樣都必須要有 10%或最少兩個現場空白樣本。

### (2) 試劑空白樣本

每批次分析需配製一個試劑空白樣品，目的在於檢查該批次之分析是否受污染或干擾。若空白樣本的分析結果超過方法偵測極限值的二倍，則該批次之分析結果可能已受污染或干擾，需找出污染源或干擾的原因後再進行重新分析。

### (3) 試劑空白樣本分析

每批次分析需配製一個試劑空白樣品，目的在於檢查該批次之分析是否受污染或干擾。若空白樣本的分析結果超過方法偵測極限值的二倍，則

該批次之分析結果可能已受汙染或干擾，需找出汙染源或干擾的原因後再進行重新分析。

#### (4) 破出率

依據勞動部所提供之標準採樣方法，破出測試是利用採樣管後段進行脫附，上機分析後，若後段濃度大於前段濃度之 10%，則視為破出。

#### (5) 檢量線

檢量線建置部分，甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮各需至少配置 7 個以上不同濃度點，且所建立的檢量線相關係數  $R^2$  需大於 0.995。為確認檢量線，三種物質各配置一瓶與檢量線中點濃度相同的標準品進行分析，並計算回收率，期回收率需介於  $100\pm 20\%$ 。

#### (6) 準確度

測值濃度 ( $C_i$ ) 與真值濃度 ( $C_0$ ) 接近的程度。將已知濃度的標準品添加於相似的基質中，進行準確度計算，相對誤差率需介於  $100\pm 20\%$  之內。

$$\text{準確度} = C_i / C_0 \times 100\%$$

#### (7) 精密度

指一組重覆分析測值間相符的程度，配製檢量線中點濃度標準品進行三次重覆分析，以測值之相對標準偏差 (CV) 表示之，CV 值需小於 15%。

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n} \right]$$

$$S = (S^2)^{1/2}$$

#### (8) 查核樣品

每批次樣品分析時需配製一個查核樣品，以檢量線中點的濃度配製標準品，添加於相似基質中。可確認分析結果之準確度，分析結果同準確度方式以回收百分比表示之，標準品回收率需落在  $100\pm 20\%$  之內。

#### (9) 方法偵測極限

[a] 置備甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮標準品，配置檢量線最低濃度點

七瓶。

[b] 重複分析七瓶標準品，並計算結果標準差 (S)。

[c] 將所的標準差乘以三，以求得 MDL。

[d] 另建置一低濃度檢量線，其範圍需包含 MDL。

[e] 配置七瓶 MDL 濃度的樣品，並進行第二次分析，計算結果標準差(S)。

[f] 利用第一次 MDL 分析所得的變異數 ( $S^2$ ) 以及第二次 MDL 分析所得的變異數進行比較，較大者作為分子 ( $S_A^2$ )，較小者作為分母 ( $S_B^2$ )，兩者相除後，其值需小於 3.05。若  $S_A^2 / S_B^2$  小於 3.05，則以下列公式計算共同標準偏差 (Pooled standard deviation,  $S_{pool}$ )：

$$S_{pool} = \left[ \frac{6S_A^2 + 6S_B^2}{12} \right]^{1/2}$$

[g] 利用計算所得之  $S_{pool}$ ，依下列公式計算最後之 MDL 值：

$$MDL = 2.681 \times S_{pool}$$

### 第三節 神經行為能力測試

本研究參考過去甲基汞暴露之神經行為能力量化方法，進行受試者行為能力量化，因先前諸多文獻提及肌力與肌肉骨骼、周邊神經表現有顯著關係，故本研究參考過去神經行為能力測試方法。握力器使用方法為使受試者站立，並且兩腳張開與肩同寬，雙臂自然垂下且不碰觸身體軀幹，依據受試者的手掌大小與手指長度調整至適當握距，每隻手測試兩次。手指靈活度的測試方法則為以筆記型電腦外接一獨立鍵盤，以 10 秒為單位，使受試者重複且快速地以食指鍵入相同數字鍵 5，由電腦紀錄每 10 秒鐘鍵入次數，每隻手測試三次。

#### 一、 手指靈活度測試

本研究參考過去文獻上用以測試運動速度及協調性的工具，使用一台筆記型電腦並外接獨立之數字鍵盤測試研究對象手指鍵入速度，首先告知受測者需以食指重複且快速地鍵入阿拉伯數字鍵並持續十秒，慣用首先測試，接著是非慣用手，此測試每隻手總共進行 3 次，記錄每次數字鍵的鍵入次數並將三次鍵入次數結果取平均值，而過程中也將注意受測者每次鍵入間，食指有無連續施力於鍵盤上，以避免產生誤差。

#### 二、 握力

本研究同樣參考過去文獻上用來測試人體前臂和手部肌肉力量的工具，使用 Grip strength dynamometer® 握力計以測試研究對象握力大小，測試時，受試者轉動握力計的握距調節鈕，調至適宜握距，然後用有力手持握力度，身體直立，兩腳自然分開（同肩寬），雙臂自然下垂，開始測試時，用最大力緊握上下兩個握柄。測試兩次後取最大值，記錄以千克為單位，保留小數點一位，而過程中也將注意提醒研究對象用力時，禁止擺臂、下蹲或將握力計接觸身體；而如果受試者分不出有力手，雙手各測試兩次。

## 第四節 健康風險評估

本研究針對職業暴露醛、酮類物質（甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮）勞工進行健康風險評估，根據美國毒理學網路資料庫之整合性風險資料系統

（Integrated Risk Information System, IRIS）所提供之 RfD 計算乙醛與甲基異丁酮之非致癌風險，另外以接觸甲醛致癌斜率計算致癌風險，詳細之風險參數如表 10 所示。參數設定的部分，個人呼吸量是參考台灣一般民眾暴露參數彙編的數據。假設每位勞工平均工作 30 年，每天作業時間為八小時，每年工作共 219 天，終身壽命之資料是參考 2012 年內政部統計處提供之資料，男性為 75.96 歲，女性為 82.47 歲。

**致癌風險評估：**考量本研究以勞工的個人空氣濃度進行風險評估，IRIS 提供的甲醛、乙醛之單位致癌風險並以下列公式計算：

$$\text{Risk} = \text{LADD} \times \text{Slope factor} = C_{tw} \times \text{Unit Risk}_{\text{correction}} \quad (\text{mg/m}^3)^{-1}$$

Slope factor：致癌斜率  $(\text{mg/kg-day})^{-1}$

$C_{tw}$ ：勞工個人暴露之甲醛及乙醛濃度  $(\text{mg/m}^3)$

Unit Risk<sub>correction</sub>：校正暴露時間之單位風險  $(\text{mg/m}^3)^{-1}$

由於本研究探討為勞工暴露，故必須校正暴露時間（每日暴露 8 小時，每年暴露 219 日，暴露 30 年），參照 2012 國民健康署統計之國人平均壽命資料，女性終生壽命為 82.47 歲，男性為 75.96 歲。修正後公式如下：

$$C_{tw} \times \text{Unit Risk}_{\text{correction}} \quad (\text{mg/m}^3)^{-1} \times (8/24) \times (219/365) \times (30/75.96) \quad (\text{男性}) \times (30/82.47) \quad (\text{女性})$$

**非致癌風險評估：**以台灣勞動部法定容許濃度計算甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮之危害指標（Hazard Index, HI），公式如下：

$$\text{HI} = \text{ADD}_{\text{pot}} / \text{RfD}_{\text{NOAEL}} = C_{tw} / \text{RfC}$$

以個人採樣分析後之接觸醛、酮類物質（甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮）濃度計算每日平均潛在暴露劑量（Average daily dose, ADD）或終身平均每日潛在

暴露劑量 (Lifetime average daily dose, LADD)，公式如下：

$$ADD_{inhalation} = \frac{C_{tw} \times IR_{inhalation} \times AF_{inhalation}}{BW}$$

$ADD_{inhalation}$ ：吸入途徑之平均每日暴露劑量 (mg/kg/day)

$C_{tw}$ ：周界大氣中危害性化學物質之時量平均濃度 (mg/m<sup>3</sup>)

$IR_{inhalation}$ ：每日呼吸量，單位：Nm<sup>3</sup>/day

$AF_{inhalation}$ ：吸入途徑之危害性化學物質吸收分率 (%)，若以潛在劑量 (Potential Dose) 計算，則  $AF = 1$

$BW$ ：人體平均體重 (kg)

$ED$ ：人體平均暴露時間

$AT$ ：暴露發生的平均時間

$$LADD_{inhalation} = \frac{C_{tw} \times IR_{inhalation} \times AF_{inhalation}}{BW} \times \frac{ED}{AT}$$

$LADD_{inhalation}$ ：吸入途徑之終生平均每日暴露劑量 (mg/kg/day)

$C_{tw}$ ：周界大氣中危害性化學物質之時量平均濃度 (mg/m<sup>3</sup>)

$IR_{inhalation}$ ：每日呼吸量，單位：Nm<sup>3</sup>/day

$AF_{inhalation}$ ：吸入途徑之危害性化學物質吸收分率 (%)，若以潛在劑量 (Potential Dose) 計算，則  $AF = 1$

$BW$ ：人體平均體重 (kg)

$ED$ ：人體平均暴露時間

$AT$ ：暴露發生的平均時間

$RfD_{NOAEL}$ ：參考劑量 (mg/kg-year)，以 IRIS 提供之 NOAEL 計算之  $RfD$

$RfC$ ：參考濃度 (mg/m<sup>3</sup>)

由於本研究探討為勞工暴露，故必須校正暴露時間 (每日暴露 8 小時，每年暴露 219 日，暴露 30 年)，修正後公式如下：

$$HI = C_{tw} \times (8/24) \times (219/365) \times (30/75.96) (\text{男性}) \text{ or } \times (30/82.47) (\text{女性}) / RfC$$

表 10 整合性風險資料系統提供之風險評估參數值

項目	甲醛	乙醛	丙酮	甲基異丁酮	參考資料
食人之 NOAEL	15 mg/kg-day	-	900 mg/kg-day	-	
吸入之 NOAEL	-	273 mg/m <sup>3</sup>	-	1,026 mg/m <sup>3</sup>	
食人之不確定係數 (UF)	100	-	1000	-	
吸入之不確定係數 (UF)	-	1000	-	300	
<i>RfD</i> <sub>NOAEL</sub>	2 × 10 <sup>-1</sup> mg/kg-day	-	9 × 10 <sup>-1</sup> mg/kg-day	-	USEPA- IRIS
<i>RfC</i> <sub>NOAEL</sub>	-	9 × 10 <sup>-3</sup> mg/m <sup>3</sup>	-	3 mg/m <sup>3</sup>	
<i>RfC</i> <sub>TWA</sub>	1.2 mg/m <sup>3</sup>	180 mg/m <sup>3</sup>	-	205 mg/m <sup>3</sup>	
吸入之單位風險 (自成年後算起之 終身劑量)	1.3 × 10 <sup>-5</sup> (ug/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	2.2 × 10 <sup>-6</sup> (ug/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	-	-	
吸入之斜率因子 (Slope Factor)	1.3 × 10 <sup>-5</sup> (ug/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	2.2 × 10 <sup>-6</sup> (ug/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	-	-	

## 第五節 統計分析

本研究記錄各採樣工廠所使用的待測物質，並依據受試者作業型態與職稱做高低暴露組分類。待空氣樣本分析完畢後，以空氣樣本濃度之中位數作為切點，分高低暴露組進行統計探討。

本研究在分析前先以受試者職稱做高低暴露組分類，以非製程人員視為低暴露組，機電維護與製程人員視為高暴露組。進一步取得受試者空氣中待測物濃度後，以濃度之中位數當切點，分成高低暴露兩組進行探討。本研究之高低暴露組人員皆為受試工廠之勞工，並未納入外在控制組進行探討。

本研究在分析數據處理上，若勞工的空氣樣本分析濃度低於檢量線濃度最低點，濃度高於偵測極限之樣本，以 1/2 的檢量線最低濃度點計算其濃度，若樣本之分析濃度低於偵測極限，以 1/2 的偵測極限濃度計算之。使用之統計軟體是以 SPSS Statistics 17.0 版進行分析，人口學資料是以平均數或是百分比表示，個人空氣醛、酮類物質（甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮）濃度、血液常規及肝功能指標是以中位數表示，組別之資料將以常態檢定評估資料之分布，若分組之組別觀察值個數大於 50，則是以 Kolmogorov-Smirnov 檢定資料分布狀態，若組別之觀察值個數小於 50 則是以 Shapiro-Wilk 檢定資料分布狀態，若為觀察之資料為常態分布則以 t-Test 統計分析，若為非常態分布之資料則以 Wilcoxon Rank Sum 統計分析，百分比資料及異常率分布之差異性，若觀察值的期望值大於 5 則是以 Chi square test 統計分析，若觀察值的期望值小於 5 則是以 Fisher 精確檢定統計分析，相關性是以 Spearman Correlation 統計相關性。

## 第四章 結果與討論

### 第一節 A、B、C 及 D 四場採樣勞工基本資料分布

本計畫採樣工廠之資料彙整如表 11 所示，本研究共招募 69 名勞工參與，其中一名工人因下午休假而未完成樣本採集，受試者職稱分佈比例如圖 6 所示。共完成採樣樣本 68 份，經分析後，空氣樣本之甲醛部分共 2 份出現破出現象、乙醛 1 份破出、丙酮 16 份破出、甲基異丁酮 1 份破出，故予以刪除。最後總有效樣本與各廠採樣紀錄茲分述如下：

表 11 各項目完成之樣本採集及分析之數目

廠別	A 廠	B 廠	C 廠	D 廠
訪廠日期	2014/ 6/ 6 14:00	2014/7/29 14:00	2014/ 6/ 6 10:00	2014/ 6/ 13 10:00
班別	一班一輪	四班三輪	四班三輪	四班三輪
採樣日期	2014/6/25	2014/8/13	採樣日期未定	不參與本研究
總採樣人數 <sup>a</sup>	31	37	-	-
甲醛有效樣本 <sup>b</sup>	30	36	-	-
乙醛有效樣本 <sup>b</sup>	-	36	-	-
丙酮有效樣本 <sup>b</sup>	15	-	-	-
甲基異丁酮有效樣本 <sup>b</sup>	-	36	-	-

<sup>a</sup> 只計算完成所有樣本採集之勞工人數

<sup>b</sup> 除去樣本破出現象之勞工

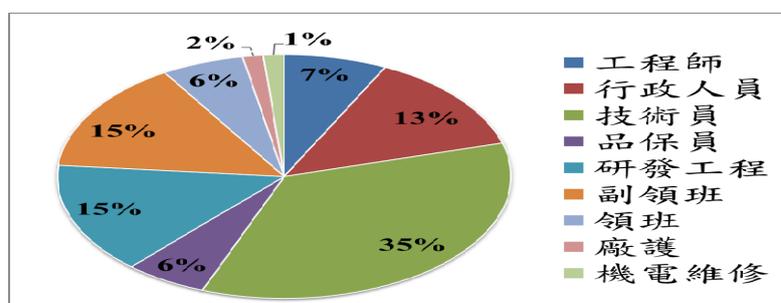


圖 6 受試者職稱訊息圓餅圖

## 第二節 受檢勞工人口學基本資料

### 1. 基本人口學資料分布

本研究共 68 名勞工，人口學資料分布結果如表 12 所示，受試者 5 位為女性，63 位為男性，平均年齡為 38.9 歲，員工平均年資為 11.6 年，身高平均 170.7 公分，體重平均 74.7 公斤，腰圍平均 86.7 公分，體脂平均 100.7，BMI 平均為 25.5。68 位員工中，48 位員工（70.1%）進入製程有配戴防護具的習慣，有抽菸習慣的員工共 20 位（29.4%），有喝酒習慣的員工共 8 位（11.8%）。個人疾病史的部分，罹患 B 型肝炎的員工共 8 位（11.8%），患有脂肪肝的員工共 16 位（23.5%），患有高血壓者共 9 位（13.2%），患有高三酸甘油脂症者共 2 位（2.9%），患有高血脂症者共 1 位（1.5%）。

兩廠勞工之人口學資料如表 13 所示，A 廠共有 31 名勞工參與本研究之採樣，其平均年齡 38.96 歲，年資平均 11.57 年，身高平均 170.65 公分，體重平均 74.68 公斤，腰圍平均 86.74 公分，體脂平均 24.01%，BMI 平均 25.54。個人習慣的部分，共有 37 名員工進入製程區有配戴防護具的習慣，20 名員工有抽菸的習慣，有喝酒習慣的員工有 8 名。個人疾病史方面，罹患 B 型肝炎的勞工共 8 位，罹患脂肪肝的勞工共 16 位，罹患高血脂症的勞工共 1 位，罹患高三酸甘油脂症的勞工共 2 位，罹患高血壓的勞工共 9 位。

本研究之職稱分組是依據問卷填答是否進入製程與其每週進入製程平均日數作為分類標準，以進入製程且每週平均日數達 3 日（含）以上歸類為高暴露組，其餘為低暴露組，分組結果如表 14 所示，高暴露組共 42 位、低暴露組共 26 位，其統計分析結果如表 15 所示。高暴露組員工平均年齡為 40.10 歲，年資平均 12.6 年，身高平均 171.95 公分，體重平均 75.95 公斤，腰圍平均 87.91 公分，體脂平均 23.69%，BMI 平均 25.61。勞工個人習慣的部分，共有 24 名員工進入製程區有配戴防護具的習慣，15 名員工有抽菸的習慣，有喝酒習慣的員工有 3 名。個人疾病史方面，罹患 B 型肝炎的勞工共 4 位，罹患脂肪肝的勞工共 12 位，罹患高血

脂症的勞工共 0 位，罹患高三酸甘油脂症的勞工共 1 位，罹患高血壓的勞工共 7 位。低暴露組勞工平均年齡為 37.12 歲，年資平均為 9.9 年，身高平均 168.56 公分，體重平均為 72.64 公斤，腰圍平均 84.85 公分，體脂平均 24.54 %，BMI 平均 25.42。在勞工個人習慣的部分，共有 13 位員工進入製程有配戴防護具的習慣，5 名員工有抽菸習慣，5 位勞工有喝酒習慣，個人疾病史方面，罹患 B 型肝炎的勞工共 4 位，罹患脂肪肝的勞工共 4 位，罹患高三酸甘油脂症的勞工共 1 位，罹患高血脂症的勞工共 1 位，罹患高血壓的勞工共 2 位。經統計分析後，兩組人口學描述性各項資料未達統計上顯著差異。

此外，本研究亦分別依空氣中甲醛、乙醛、甲基異丁酮之幾何平均濃度劃分高低暴露兩組，進行組別間之描述性統計探討，結果如表 15 至表 17，結果發現依甲醛與乙醛暴露濃度劃分的高低濃度組間，各項人口學資料並沒有顯著差異；而依照甲基異丁酮暴露濃度劃分的高低濃度組間，發現高暴露組之呼吸防護具使用百分比高於低暴露組，其原因可能為酮類物質揮發性較高，故高暴露組使用呼吸防護具的頻率較高。本研究由於丙酮總有效樣本數為 15 人，經幾何平均濃度劃分組別後，各組人數皆少於 10 人，故不予進行統計探討。

表 12 68 位勞工之人口學描述性統計

項目 (n=68)	平均值 (標準差)
年齡 (歲)	38.96 (8.93)
年資 (年)	11.57 (9.72)
身高 (公分)	170.65 (6.86)
體重 (公斤)	74.68 (12.05)
腰圍 (公分)	86.74 (9.04)
體脂 (%)	24.01 (3.92)
BMI	25.54 (3.13)
項目 (n=68)	人數比 (百分比)
<b>配戴防護具</b>	
有	37/68 (54.4%)
無	31/68 (45.6%)
<b>抽菸</b>	
有	20/68 (29.4%)
無	48/68 (70.1%)
<b>喝酒</b>	
有	8/68 (11.8%)
無	60/68 (88.2%)
<b>個人疾病史</b>	
B 型肝炎	8/68 (11.8%)
脂肪肝	16/68 (23.5%)
高血壓	9/68 (13.2%)
高三酸甘油脂症	2/68 (2.9%)
高血脂	1/68 (1.5%)

表 13 A、B 廠勞工之人口學描述性統計

項目	A 廠	B 廠
年齡 (歲)	35.8 (7.9) <sup>a</sup>	41.59 (8.97)
年資 (年)	5.7 (6.2)	16.45 (9.51)
身高 (公分)	172 (6.8)	169.77 (6.88)
體重 (公斤)	78.8 (11.2)	71.21 (11.78)
腰圍 (公分)	90.6 (8.4)	83.46 (8.35)
體脂 (%)	24.8 (3.9)	23.38 (3.86)
BMI	26.7 (3.0)	24.59 (2.97)
有配戴防護具		
有	25/31 (80.6%) <sup>b</sup>	12/37 (32.4%)
無	6/31 (19.4%)	25/37 (67.6%)
抽菸		
有	9/31 (29.0%)	11/37 (29.7%)
無	22/31 (71.0%)	26/37 (70.3%)
喝酒		
有	3/31 (9.7%)	5/37 (13.5%)
無	28/31 (90.3%)	32/37 (86.5%)
個人疾病史		
B 型肝炎	6/31 (19.4%)	2/37 (5.4%)
脂肪肝	7/31 (22.6%)	9/37 (24.3%)
高血壓	5/31 (16.1%)	4/37 (10.8%)
高三酸甘油脂症	2/31 (6.5%)	0/37 (0%)
高血脂症	1/31 (3.2%)	0/37 (0%)

<sup>a</sup> 平均值 (標準差); <sup>b</sup> 人數比 (百分比)

表 14 職稱分組之高低暴露組之人口學基本資料

項目	高暴露組 (n=42)	低暴露組 (n=26)	p-value <sup>c,d</sup>
年資 (年)	12.60 (9.97) <sup>a</sup>	9.90 (9.24)	0.316
年齡 (歲)	40.10 (8.85)	37.12 (8.93)	0.218
身高 (公分)	171.95 (6.29)	168.56 (7.34)	0.560
體重 (公斤)	75.95 (11.34)	72.64 (13.09)	2.930
BMI	25.61 (3.07)	25.42 (3.29)	8.170
腰圍 (公分)	87.91 (8.76)	84.85 (9.34)	4.310
體脂 (%)	23.69 (3.32)	24.54 (4.77)	0.316
有配戴防護具	24 (64.9%) <sup>b</sup>	13 (35.1%)	0.311
抽菸	15 (75.0%)	5 (25.0%)	0.089
喝酒	3 (37.5%)	5 (62.5%)	0.122
高血壓	7 (16.70%)	2 (7.70%)	0.249
B 型肝炎	4 (9.50%)	4 (15.40%)	0.359
脂肪肝	12 (28.60%)	4 (15.40%)	0.171
高血脂症	0 (0.00%)	1 (3.80%)	0.382
高三酸甘油酯症	1 (2.40%)	1 (3.80%)	0.622

<sup>a</sup> 平均值 (標準差); <sup>b</sup> 人數比 (百分比)

<sup>c</sup> 若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析, 若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

<sup>d</sup> 期望值>5 以 Chi square test 分析, 期望值<5 則以 Fisher 精確檢定統計分析

表 15 高、低甲醛濃度組之人口學基本資料

項目	高甲醛濃度組	低甲醛濃度組	<i>p-value</i> <sup>c,d</sup>
	(n=37)	(n=29)	
年資 (年)	10.96 (10.87) <sup>a</sup>	12.42 (8.34)	0.266
年齡 (歲)	38.35 (9.87)	39.48 (7.49)	0.501
身高 (公分)	171.01 (7.33)	169.81 (6.34)	0.478
體重 (公斤)	75.75 (11.70)	72.06 (11.73)	0.208
腰圍 (公分)	87.62 (8.46)	84.66 (9.14)	0.182
體脂 (%)	24.31 (3.72)	23.22 (3.97)	0.263
BMI	25.79 (2.85)	24.92 (3.34)	0.268
有配戴防護具	23 (63.9%) <sup>b</sup>	13 (36.1%)	0.124
抽菸	14 (73.7%)	5 (26.3%)	0.058
喝酒	4 (57.1%)	3 (42.9%)	0.637
高血壓	2 (12.50%)	3 (20.00%)	0.654
B 型肝炎	2 (12.50%)	4 (26.67%)	0.394
脂肪肝	2 (12.50%)	5 (33.33%)	0.22
高血脂症	0 (0.00%)	1 (6.67%)	0.484
高三酸甘油脂症	0 (0.00%)	2 (13.33%)	0.226

<sup>a</sup> 平均值 (標準差); <sup>b</sup> 人數比 (百分比)

<sup>c</sup> 若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析, 若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

<sup>d</sup> 期望值>5 以 Chi square test 分析, 期望值<5 則以 Fisher 精確檢定統計分析

表 16 高、低乙醛濃度組之人口學基本資料

項目	高乙醛濃度組	低乙醛濃度組	<i>p-value</i> <sup>c,d</sup>
	(n=12)	(n=24)	
年資 (年)	13.47 (10.70) <sup>a</sup>	17.91 (8.94)	0.231
年齡 (歲)	38.17 (9.91)	42.83 (8.11)	0.174
身高 (公分)	169.83 (7.82)	169.54 (6.63)	0.913
體重 (公斤)	72.30 (12.54)	69.94 (11.27)	0.588
腰圍 (公分)	83.79 (9.54)	82.73 (7.54)	0.740
體脂 (%)	22.58 (2.81)	23.48 (4.13)	0.447
BMI	24.92 (3.02)	24.23 (2.90)	0.521
有配戴防護具	6 (31.6%) <sup>b</sup>	13 (68.4%)	0.546
抽菸	2 (28.6%)	5 (71.4%)	0.571
喝酒	1 (25.0%)	3 (75.0%)	0.593
高血壓	1 (8.30%)	2 (8.30%)	0.717
B 型肝炎	1 (8.30%)	1 (4.20%)	0.562
脂肪肝	2 (16.70%)	6 (25.00%)	0.46
高血脂症	0 (0.00%)	0 (0.00%)	-
高三酸甘油脂症	0 (0.00%)	0 (0.00%)	-

<sup>a</sup> 平均值 (標準差); <sup>b</sup> 人數比 (百分比)

<sup>c</sup> 若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析, 若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

<sup>d</sup> 期望值>5 以 Chi square test 分析, 期望值<5 則以 Fisher 精確檢定統計分析

表 17 高、低甲基異丁酮濃度組之人口學基本資料

項目	高甲基異丁酮	低甲基異丁酮	<i>p-value</i> <sup>c,d</sup>
	濃度組 (n=18)	濃度組 (n=18)	
年資 (年)	18.09 (7.03) <sup>a</sup>	15.63 (11.19)	0.436
年齡 (歲)	43.28 (7.47)	40.67 (10.00)	0.381
身高 (公分)	169.33 (7.69)	169.94 (6.30)	0.796
體重 (公斤)	72.39 (12.53)	69.42 (11.19)	0.458
腰圍 (公分)	84.25 (8.44)	82.75 (8.66)	0.602
體脂 (%)	24.45 (4.64)	22.46 (2.73)	0.127
BMI	25.13 (3.15)	23.92 (2.77)	0.230
有配戴防護具	13 (68.4%) <sup>b</sup>	6 (31.6%)	<b>0.022*</b>
抽菸	5 (62.5%)	3 (37.5%)	0.345
喝酒	2 (40.0%)	3 (60.0%)	0.500
高血壓	3 (16.70%)	1 (5.60%)	0.301
B 型肝炎	0 (0.00%)	2 (11.10%)	0.06
脂肪肝	2 (11.10%)	7 (38.90%)	0.243
高血脂症	0 (0.00%)	0 (0.00%)	-
高三酸甘油酯症	0 (0.00%)	0 (0.00%)	-

<sup>a</sup> 平均值 (標準差); <sup>b</sup> 人數比 (百分比)

<sup>c</sup> 若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析, 若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

<sup>d</sup> 期望值>5 以 Chi square test 分析, 期望值<5 則以 Fisher 精確檢定統計分析

\*統計上顯著差異  $p < 0.05$

### 第三節 勞工個人空氣甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮濃度分布

#### 一、 空氣樣本分析之品質保證/品質管制 (QA/QC)

本研究共收集 68 位勞工之個人空氣暴露樣本，空氣樣本是以 SKC-226-119 裱數 2,4-DNPH 之矽膠管進行收集，樣本數共 68 個。空氣樣本之分析方法之相關品質保證/品質管理包括檢量線的建置、現場、運送及試劑空白樣品、查核樣品回收率、方法偵測極限等。各項品質保證/品質管理 (QA/QC) 之規範如表 18 所示，品質保證/品質管理 (QA/QC) 之結果如表 19、20 所示，所有結果均符合規範。

表 18 空氣樣本分析之品質保證/品質管理

品保/品管項目	規範內容
檢量線	甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮分別建立，每條檢量線至少要由 5 個不同的濃度所建立而成，各點的回收率必須介於 80-120%。
空白樣本	空白樣本濃度小於 2 倍方法偵測極限
查核樣品	所添加之標準品準確度需介於 80-120%

表 19 空氣樣本分析之品質保證/品質管制執行成果

待測物	檢量線回收率 (%)	空白樣本平均濃度 (µg/mL)	查核樣品準確度 (%)	方法偵測極限 (µg/mL)	方法偵測極限 (以質量體積濃度表示) (µg/m <sup>3</sup> ) (ppb)
甲醛	88.0-104.4	ND	91.2-98.9	0.005	0.001 (0.427)
乙醛	91.0-105.1	ND	89.2-105.5	0.007	0.001 (0.407)
丙酮	95.1-102.1	ND	106.9-108.5	0.431	0.045 (18.925)
甲基異丁酮	97.7-103.4	ND	102.1-103.4	0.013	0.001 (0.331)

表 20 現場空白之甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮濃度

廠別	採樣人數	現場空白樣本數	現場空白濃度 (µg/mL)			
			甲醛	乙醛	丙酮	甲基異丁酮
A	31	3	ND	ND	ND	ND
B	37	5	ND	ND	ND	ND

ND: 濃度小於方法偵測極限

二、 個人空氣甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮濃度分布

本研究共完成 68 位勞工之個人空氣採樣分析，經分析後，空氣樣本之甲醛部分共 2 份出現破出現象、乙醛 1 份破出、丙酮 16 份破出、甲基異丁酮 1 份破出，故予以刪除。勞工個人空氣中醛酮類暴露濃度分析結果如表 21 所示，勞工之個人空氣中甲醛暴露濃度範圍介於 2.0-38.67 µg/m<sup>3</sup> (2-31 ppb)，中位數為 15.45 µg/m<sup>3</sup> (13 ppb)，幾何平均數為 14.42 µg/m<sup>3</sup> (11 ppb)；個人空氣中乙醛暴露濃度範圍介於 5.4-4116.46 µg/m<sup>3</sup> (3-2290 ppb)，中位數與幾何平均數為 27.13 µg/m<sup>3</sup> (15 ppb)；個人空氣中丙酮暴露濃度範圍介於 115.0-6255.11 µg/m<sup>3</sup> (50 - 2640 ppb)，中位數與幾何平均數為 895.06 µg/m<sup>3</sup> (380 ppb)；個人空氣中甲基異丁酮暴露濃度範圍介於 ND-74.84 µg/m<sup>3</sup> (ND-18 ppb)，中位數與幾何平均數為 6.57 µg/m<sup>3</sup> (2 ppb)。全數勞工之甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮暴露濃度符合作業環境空氣中容許濃度標準。

表 21 個人空氣甲醛、乙醛、丙酮、甲基異丁酮濃度分布

	甲醛	乙醛	丙酮	甲基異丁酮
濃度中位數	15.45 µg/m <sup>3</sup> (13 ppb)	27.13 µg/m <sup>3</sup> (15 ppb)	895.06 µg/m <sup>3</sup> (380 ppb)	6.57 µg/m <sup>3</sup> (2 ppb)
濃度幾何平均數	14.42 µg/m <sup>3</sup> (11 ppb)	27.13 µg/m <sup>3</sup> (15 ppb)	895.06 µg/m <sup>3</sup> (380 ppb)	6.57 µg/m <sup>3</sup> (2 ppb)
濃度範圍	2.0-38.67 µg/m <sup>3</sup> (2-31 ppb)	5.4-4116.46 µg/m <sup>3</sup> (3-2290 ppb)	115.0-6255.11 µg/m <sup>3</sup> (50 - 2640 ppb)	ND-74.84 µg/m <sup>3</sup> (ND-18 ppb)
作業環境空氣中容許濃度標準	1.2x10 <sup>3</sup> µg/m <sup>3</sup> (10 <sup>3</sup> ppb)	1.8x10 <sup>5</sup> µg/m <sup>3</sup> (10 <sup>5</sup> ppb)	1.78x10 <sup>6</sup> µg/m <sup>3</sup> (7.5x10 <sup>5</sup> ppb)	2.05x10 <sup>5</sup> µg/m <sup>3</sup> (5x10 <sup>4</sup> ppb)

本研究由於丙酮總有效樣本數為 15 人，經幾何平均濃度劃分組別後，各組人數皆少於 10 人，故不予進行統計探討。依據時間活動模式紀錄之採樣當日進入製程的時間，以小時做單位計算，以高於中位數之結果劃分為高暴露組，低於中位數則劃分為低暴露組，藉此探討兩組間濃度是否會有差異。結果如表 22 所示。高暴露組員工之個人空氣中甲醛濃度範圍介於 1.9-38.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (2-31 ppb)，濃度中位數為 19.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (20 ppb)，低暴露組員工之個人空氣中甲醛濃度範圍介於 2.7-38.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (2.2 – 30 ppb)，濃度中位數為 14.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (11 ppb)；高暴露組員工之個人空氣中乙醛濃度範圍介於 6-207  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (3.3 -115 ppb)，濃度中位數為 17.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (9.4 ppb)，低暴露組員工之個人空氣中乙醛濃度範圍介於 10-411  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (5.5-228 ppb)，濃度中位數為 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (11.1 ppb)，高暴露組員工之個人空氣中甲基異丁酮濃度範圍介於 2-74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.4 -18 ppb)，濃度中位數為 4.50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1.1 ppb)，低暴露組員工之個人空氣中甲基異丁酮濃度範圍介於 3-25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (0.7- 6.1 ppb)，濃度中位數為 7.65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1.9 ppb)。統計結果顯示，高暴露組之甲醛濃度顯著高於低暴露組，表示採樣地點之甲醛濃度可能較穩定，故勞工暴露濃度隨著時間上升而顯著增加。而乙醛與甲基異丁酮的部分，則未達統計上顯著差異，這部分指出暴露乙醛或甲基異丁酮之勞工，進入製程的頻率可能無法完全代表暴露濃度的高低，亦有可能代表著採樣地點除製程區以外有潛在的乙醛與甲基異丁酮暴露來源。

由表 22 之甲基異丁酮分組濃度中位數可知，使用時間活動模式劃分高低暴露組，會產生甲基異丁酮有錯誤分組的情形。

表 22 高暴露組與低暴露組個人空氣甲醛、乙醛與甲基異丁酮濃度分布(中位數(範圍))

項目	高暴露組 (n=42)	低暴露組 (n=24)	<i>p-value</i> <sup>a</sup>
甲醛	19.8 µg/m <sup>3</sup> (1.9-38.7 µg/m <sup>3</sup> ) 20 ppb (2-31 ppb)	14.6 µg/m <sup>3</sup> (2.7-38.0 µg/m <sup>3</sup> ) 11 ppb (2.2 – 30 ppb)	0.032*
項目	高暴露組 (n=17)	低暴露組 (n=36)	<i>p-value</i>
乙醛	17.0 µg/m <sup>3</sup> (6-207 µg/m <sup>3</sup> ) 9.4 ppb (3.3 -115 ppb)	20 µg/m <sup>3</sup> (10-411 µg/m <sup>3</sup> ) 11.1 ppb (5.5-228 ppb)	0.573
項目	高暴露組 (n=18)	低暴露組 (n=36)	<i>p-value</i>
甲基異丁酮	4.50 µg/m <sup>3</sup> (2-74 µg/m <sup>3</sup> ) 1.1 ppb (0.4 -18 ppb)	7.65 µg/m <sup>3</sup> (3-25.0 µg/m <sup>3</sup> ) 1.9 ppb (0.7- 6.1 ppb)	0.839

<sup>a</sup> 若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析，若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

\*達統計上顯著意義:  $p < 0.05$

## 第四節 血液常規、肝功能、腎功能指標及脂肪代謝異常檢測

血液常規、肝功能、腎功能指標及脂肪代謝異常檢測結果如表 23 所示，血液常規檢查包含白血球 (WBC)、紅血球 (RBC)、血色素 (Hb)、紅血球容積比 (Hct)、均紅血球容積 (MCV)、平均紅血球血紅素量 (MCH)、平均紅血球血紅素濃度 (MCHC)、血小板 (Platelet)、球蛋白 (Globulin)、白蛋白與球蛋白比值 (Albumin-Globulin in ratio, A/G ratio)。肝功能指標包含麩草醋酸轉胺酶 (GOT)、麩丙酮酸轉胺酶 (GPT)、加瑪麩氨基轉換酵素 ( $\gamma$ -GT)、鹼性磷酸酶 (ALK-P)、總膽紅素 (Total bilirubin, TB)、直接膽紅素 (Direct bilirubin)、總蛋白 (Total Protein)、白蛋白 (Albumin)。腎功能指標包含尿素氮 (B.U.N)、血清肌酸酐 (Creatinine)、尿酸 (Uric Acid)。脂肪代謝異常檢測包含飯前血清葡萄糖濃度 (Glucose A.C)、三酸甘油酯 (Triglyceride)、胰島素 (Insulin)、脂聯素 (Adiponectin)、瘦體素 (Leptin)。本研究以勞工的胰島素及飯前血糖評估胰島素阻抗指標 HOMA-IR (Homestasis Model Assessment-Insulin Resistance) [115]，依照其公式  $\text{Insulin } (\mu\text{U/mL}) \times \text{A.C Glucose (mg/dL)} / 405 (\text{mmol/L})$  計算，並以大於 2.5 者為胰島素阻抗；另為評估勞工是否有潛在胰島素瘤生成之情形，本研究以胰島素與白蛋白比值做為評估指標[136]，其標準值為小於 0.3；腎功能損傷的部分，則參考衛生福利部國民健康署所提供的腎絲球過濾速率指標，其計算式為 (男性)  $186 \times (\text{血清肌酸酐})^{-1.154} \times (\text{年齡})^{-0.203}$ ，(女性)  $186 \times (\text{血清肌酸酐})^{-1.154} \times (\text{年齡})^{-0.203} \times 0.742$ ，參考值以大於 60 (mL/min/1.73 m<sup>2</sup>) 為正常值。從表 23 中可發現瘦體素異常率最高，高達 48.53%，其次為尿酸 (41.18%) 以及三酸甘油酯 (39.71%)。

表 23 勞工之血液常規、肝功能、腎功能指標及脂肪代謝異常檢測結果

項目 (n=68)	平均值	標準差	異常率	參考值
麩草醋酸轉胺酶 (GOT) (units)	26.03	7.95	7.35%	8-38
麩丙酮酸轉胺酶 (GPT) (units)	31.97	21.38	17.65%	4-44
加瑪麩氨基轉換酵素( $\gamma$ -GT) (U/L)	39.07	35.91	22.06%	9-40
鹼性磷酸酶 (ALK-P) (U/L)	219.76	57.92	4.41%	104-338
總膽紅素 (Total bilirubin, TB) (mg/dL)	1.00	0.40	19.12%	0.1-1.4
直接膽紅素 (Direct bilirubin) (mg/dL)	0.25	0.13	14.71%	0-0.4
總蛋白 (Total Protein) (g/dL)	7.82	0.37	11.76%	6.7-8.3
白蛋白 (Albumin) (g/dL)	4.52	0.18	0.00%	3.8-5.3
飯前血清葡萄糖濃度 (Glucose A.C) (mg/dL)	97.25	11.47	23.53%	70-100
HOMA-IR	2.63	3.01	27.94%	2.5
三酸甘油酯 (Triglyceride) (mg/dL)	156.41	103.88	39.71%	42-150
胰島素 (Insulin) (uIU/mL)	10.29	8.48	10.29%	1.5-17
尿素氮 (B.U.N) (mg/dL)	13.54	2.95	1.47%	5.0-20
血清肌酸酐 (Creatinine) (mg/dL)	1.10	0.13	2.94%	0.7-1.3
尿酸 (Uric Acid) (mg/dL)	6.26	1.22	41.18%	男:1.6-7,女:1.6-6.0
白血球 (WBC) ( $\times 10^3$ /cumm)	7.45	1.94	4.41%	4.0-11.0
紅血球 (RBC) ( $\times 10^6$ /cumm)	5.19	0.51	8.82%	男:4.2-6.2,女:3.7-5.5
血色素 (Hb) (g/dL)	15.02	1.10	4.41%	男:12.3-18.3 女:11.3-16
紅血球容積比 (Hct) (%)	45.94	3.57	11.76%	男:39-54,女:33-47
均紅血球容積 (MCV) (Cu.u)	89.05	7.49	10.29%	80-99
平均紅血球血紅素量 (MCH) (rr)	29.16	2.76	8.82%	26-34
平均紅血球血紅素濃度 (MCHC) (%)	32.71	0.67	0.00%	30-36
血小板 (Platelet) ( $\times 10^3$ /uL)	262.66	59.13	1.47%	120-400
球蛋白 (Globulin) (g/dL)	3.30	0.28	19.12%	2.4-3.5
白蛋白與球蛋白比值 (Albumin-Globulin in ratio, A/G ratio)	1.38	0.11	0.00%	1.1-2.5
脂聯素 (Adiponectin) ( $\mu$ g/mL)	7.98	4.95	1.47%	男:>2.0,女:> 4.6
瘦體素 (Leptin) ( $\mu$ g/mL)	8.71	6.58	48.53%	男:<7.0,女:<16.5
腎絲球過濾率 (estimated Glomerular Filtration Rate, eGFR) (mL/min/1.73 m <sup>2</sup> )	74.59	9.10	4.41%	>60
胰島素與球蛋白比值 (Insulin-Globulin in ratio, I/G ratio)	0.10	0.06	2.94%	<0.3

將員工依職務分類及作業區域分為高低暴露組進行血液常規、肝功能及脂肪代謝異常進行描述統計分析，結果如表 24 所示。結果發現依職稱劃分高低暴露組，麩丙酮酸轉胺酶（GPT）與加瑪麩氨基轉換酵素（ $\gamma$ -GT）之異常率達統計上的顯著差異，呈現高暴露組之異常率顯著高於低暴露組之情形（ $p=0.017$ ， $p=0.022$ ），表示暴露較高濃度之醛酮類物質對於肝功能可能會造成損傷。而在其他代謝指標中，發現胰島素阻抗指標（HOMA-IR）也呈現高暴露組異常率顯著高於低暴露組（ $p=0.016$ ），本研究進一步排除罹患 A 型、B 型與 C 型肝炎受試者，結果發現麩丙酮酸轉胺酶（GPT）與加瑪麩氨基轉換酵素（ $\gamma$ -GT）之異常率、胰島素阻抗指標（HOMA-IR）未達統計上顯著差異。

在各項目檢測數值探討的部分，總膽紅素與直接膽紅素之臨床意義大多以升高為主，其主要檢測的病症為黃疸；膽紅素是衰老紅血球上的血紅素分解所生的產物，膽紅素藉由血流被送至肝臟，此時稱為未結合型膽紅素（unconjugated bilirubin），進入肝臟的膽色素經由肝細胞的作用會變成結合型膽紅素（conjugated bilirubin），而後被排入膽管，然後至膽囊儲存，最後經由總膽管再流入十二指腸中。大部分的膽紅素在腸子裏會被細菌分解成尿膽素原（urobilinogen），這使得我們的糞便會出現黃褐色。本研究以職稱分組後，發現低暴露組膽紅素與直接膽紅素之檢測數值顯著高於高暴露組，指出低暴露組族群中可能存在黃疸潛在危險因子。

進一步使用甲醛、乙醛、甲基異丁酮之濃度幾何平均數分組，結果如表 25 至表 27 所示。結果發現低甲醛暴露組之麩草醋酸轉胺酶（GOT）異常率（ $p=0.033$ ）、麩丙酮酸轉胺酶（GPT）異常率（ $p=0.038$ ）、球蛋白（Globulin）異常率（ $p=0.041$ ）顯著高於高甲醛暴露組，指出低暴露組可能存在肝功能損傷情形，進一步排除罹患 A 型、B 型與 C 型肝炎受試者，結果發現麩草醋酸轉胺酶（GOT）異常率（ $p=0.079$ ）、麩丙酮酸轉胺酶（GPT）異常率（ $p=0.069$ ）、球蛋白（Globulin）異常率（ $p=0.072$ ）達統計顯著邊界，此結果可能是由於受試者樣本數變少所致。

在分析值的部份，顯示高暴露組中白蛋白與尿素氮有顯著下降的現象，意味著高暴露組可能存在腎功能損傷情形；而在乙醛分組的情況下，則發現所有血液生化指標未達統計上顯著差異。另外，依據甲基異丁酮幾何平均數分組之情形，指出高暴露組之白血球與紅血球顯著低於低暴露組 ( $p=0.006, 0.044$ )，顯示高甲基異丁酮暴露的情況下，可能會造成造血功能障礙、肝硬化之情形，而高暴露組之均紅血球容積 (MCV)、平均紅血球血紅素量 (MCH) 則顯著高於低暴露組，這部分指出高暴露組可能存在造血異常的情況。然而在異常率的部分，則發現高暴露組之三酸甘油酯異常率達統計上顯著邊界 ( $p=0.082$ )，由於酒精的攝取會影響代謝機能，故本研究進一步排除有飲酒習慣之勞工，仍未達統計上顯著差異 ( $p=0.168$ )。

表 24 高、低暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果

	高暴露組 (n=42)				低暴露組 (n=26)				p-value	
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	參考值	分析值 <sup>a</sup>	異常率 <sup>b</sup>	
麩草醋酸轉胺酶 (GOT) (units)	27.45	9.05	11.90%	23.73	5.13	0.00%	8-38	0.136	0.082	
麩丙酮酸轉胺酶 (GPT) (units)	35.76	24.58	26.20%	25.85	13.06	3.80%	4-44	0.117	0.017*	
加瑪麩氨基轉換酵素 (γ-GT) (U/L)	46.31	43.22	31.00%	27.39	12.79	7.70%	9-40	0.083	0.022*	
鹼性磷酸酶 (ALK-P) (U/L)	232.86	63.35	7.10%	198.62	40.68	0.00%	104-338	0.008	0.229	
總膽紅素 (Total bilirubin, TB) (mg/dL)	0.93	0.41	19.00%	1.12	0.38	19.20%	0.1-1.4	0.011*	0.611	
直接膽紅素 (Direct bilirubin) (mg/dl)	0.23	0.12	11.90%	0.28	0.13	19.20%	0-0.4	0.036*	0.312	
總蛋白 (Total Protein) (g/dL)	7.81	0.39	14.30%	7.85	0.36	7.70%	6.7-8.3	0.673	0.341	
白蛋白 (Albumin) (g/dL)	4.51	0.18	0.00%	4.55	0.18	0.00%	3.8-5.3	0.310	-	
飯前血清葡萄糖濃度 (Glucose A.C) (mg/dL)	98.41	13.37	23.80%	95.39	7.32	23.10%	70-100	0.582	0.593	
HOMA-IR	3.04	3.70	38.00%	1.96	1.05	12.00%	2.5	0.101	0.016*	
三酸甘油酯 (Triglyceride) (mg/dL)	170.98	113.87	42.90%	132.89	82.00	34.60%	42-150	0.183	0.339	
胰島素 (Insulin) (uIU/mL)	11.56	10.22	11.90%	8.24	3.81	7.70%	1.5-17	0.138	0.454	
尿素氮 (B.U.N) (mg/dL)	13.31	3.08	0.00%	13.92	2.74	3.80%	5.0-20	0.396	0.382	
血清肌酸酐 (Creatinine) (mg/dL)	1.12	0.11	2.40%	1.06	0.15	3.80%	0.7-1.3	0.074	0.622	
尿酸 (Uric Acid) (mg/dL)	6.45	1.17	40.50%	5.95	1.26	42.30%	男:1.6-7,女:1.6-6.0	0.104	0.540	
白血球 (WBC) (x10 <sup>3</sup> /cumm)	7.61	1.98	4.80%	7.19	1.89	3.80%	4.0-11.0	0.313	0.676	
紅血球 (RBC) (x10 <sup>6</sup> /cumm)	5.22	0.51	7.10%	5.13	0.52	11.50%	男:4.2-6,女:3.7-5.5	0.719	0.418	

表 24 高、低暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果 (續)

以職稱分組 (n=68)	高暴露組 (n=42)			低暴露組 (n=26)			p-value 分析值 <sup>a</sup> 異常率 <sup>b</sup>
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	
血色素 (Hb) (g/dL)	15.24	1.01	4.80%	14.66	1.17	3.80%	0.044*
紅血球容積比 (Hct) (%)	46.62	3.43	14.30%	44.84	3.58	7.70%	0.047*
均紅血球容積 (MCV) (Cu.u)	89.77	6.88	7.10%	87.90	8.39	15.40%	0.191
平均紅血球血紅素量 (MCH) (rr)	29.38	2.51	4.80%	28.80	3.13	15.40%	0.128
平均紅血球血紅素濃度 (MCHC) (%)	32.71	0.62	0.00%	32.71	0.75	0.00%	0.998
血小板 (Platelet) (x10 <sup>3</sup> /uL)	263.48	60.27	2.40%	261.35	58.38	0.00%	0.905
球蛋白 (Globulin) (g/dL)	3.30	0.29	19.00%	3.30	0.26	19.20%	0.972
白蛋白與球蛋白比值 (Albumin-Globulin in ratio, A/G ratio)	1.37	0.12	0.00%	1.40	0.10	0.00%	0.385
脂聯素 (Adiponectin) (µg/mL)	8.00	4.86	2.40%	7.96	5.19	0.00%	0.950
瘦體素 (Leptin) (µg/mL) 腎絲球過濾率	8.09	5.66	50.00%	9.73	7.86	46.20%	0.668
(estimated Glomerular Filtration Rate, eGFR) (mL/min/1.73 m <sup>2</sup> )	73.72	8.82	4.76%	76.00	9.54	3.85%	0.055
胰島素與球蛋白比值 (Insulin-Globulin in ratio, I/G ratio)	0.11	0.07	4.76%	0.09	0.04	0.00%	0.194
							0.378

<sup>a</sup> 若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析，若為非常態分布則以 Wilcoxon rank sum test 分析

<sup>b</sup> 期望值>5 以 Chi square test 分析，期望值<5 則以 Fisher 精確檢定統計分析

\*統計上顯著差異 p <0.05

表 25 高、低甲醛暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果

	高暴露組 (n=37)			低暴露組 (n=29)			p-value	
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	參考值	分析值 <sup>a</sup> 異常率 <sup>b</sup>
麩草醋酸轉胺酶 (GOT) (units)	23.24	4.98	0.00%	28.72	8.57	13.80%	8-38	<b>0.004*</b> 0.033*
麩丙酮酸轉胺酶 (GPT) (units)	25.46	13.29	8.10%	37.24	22.04	27.60%	4-44	<b>0.015*</b> 0.038*
加瑪麩氨基轉換酵素 (γ-GT) (U/L)	31.08	20.16	13.50%	46.31	47.82	31.00%	9-40	0.237 0.077
鹼性磷酸酶 (ALK-P) (U/L)	219.84	54.56	2.70%	219.83	64.79	6.90%	104-338	0.999 0.408
總膽紅素 (Total bilirubin, TB) (mg/dL)	0.98	0.38	18.90%	1.02	0.43	17.20%	0.1-1.4	0.99 0.561
直接膽紅素 (Direct bilirubin) (mg/dL)	0.24	0.11	13.50%	0.25	0.14	13.80%	0-0.4	0.882 0.624
總蛋白 (Total Protein) (g/dL)	7.76	0.34	5.40%	7.91	0.41	20.70%	6.7-8.3	0.365 0.066
白蛋白 (Albumin) (g/dL)	4.47	0.17	0.00%	4.58	0.19	0.00%	3.8-5.3	<b>0.015*</b> -
飯前血清葡萄糖濃度 (Glucose A.C) (mg/dL)	97.19	11.04	29.70%	97.66	12.50	17.20%	70-100	0.786 0.189
HOMA-IR	2.63	2.71	30.00%	2.61	3.51	21.00%	2.5	0.596 0.293
三酸甘油酯(Triglyceride) (mg/dL)	157.14	115.18	32.40%	152.28	91.56	44.80%	42-150	0.713 0.219
胰島素 (Insulin) (uIU/mL)	10.32	7.53	13.50%	10.08	9.94	6.90%	1.5-17	0.45 0.327
尿素氮 (B.U.N) (mg/dL)	12.76	2.79	0.00%	14.41	2.91	3.40%	5.0-20	<b>0.044*</b> 0.439
血清肌酸酐 (Creatinine) (mg/dL)	1.11	0.13	2.70%	1.08	0.12	3.40%	0.7-1.3	0.359 0.69
尿酸 (Uric Acid) (mg/dL)	6.37	1.14	45.90%	6.15	1.35	34.50%	男:1.6-7,女:1.6-6.0	0.488 0.246
白血球 (WBC) (x10 <sup>3</sup> /cumm)	7.63	2.27	8.10%	7.29	1.49	0.00%	4.0-11.0	0.468 0.17
紅血球 (RBC) (x10 <sup>6</sup> /cumm)	5.17	0.55	10.80%	5.20	0.49	6.90%	男:4.2-6,女:3.7-5.5	0.943 0.46

表 25 高、低甲醛暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果 (續)

以幾何平均數分組 (n=66)	高暴露組 (n=37)				低暴露組 (n=29)				p-value	
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	參考值	分析值 <sup>a</sup>	異常率 <sup>b</sup>	
血色素 (Hb) (g/dL)	15.00	1.10	5.40%	14.95	1.12	0.00%	男:12.3-18.3 女:11.3-16	0.854	0.31	
紅血球容積比 (Hct) (%)	45.82	3.85	13.50%	45.86	3.25	6.90%	男:39-54,女:33-47	0.966	0.327	
均紅血球容積 (MCV) (Cu.u)	89.17	6.91	8.10%	88.70	8.49	13.80%	80-99	0.892	0.363	
平均紅血球血紅素量 (MCH) (rr)	29.25	2.56	8.10%	28.96	3.09	10.30%	26-34	0.959	0.54	
平均紅血球血紅素濃度 (MCHC) (%)	32.78	0.69	0.00%	32.62	0.65	0.00%	30-36	0.343	-	
血小板 (Platelet) (x10 <sup>3</sup> /uL)	253.19	60.36	2.70%	275.79	58.02	0.00%	120-400	0.07	0.561	
球蛋白 (Globulin) (g/dL)	3.29	0.22	10.80%	3.32	0.34	31.00%	2.4-3.5	0.657	0.041*	
白蛋白與球蛋白比值 (Albumin-Globulin in ratio, A/G ratio)	1.37	0.08	0.00%	1.39	0.14	0.00%	1.1-2.5	0.402	-	
脂聯素 (Adiponectin) (µg/mL)	8.04	5.20	0.00%	7.91	4.73	3.40%	男:>2.0,女:>4.6	0.943	0.438	
瘦體素 (Leptin) (µg/mL)	8.55	6.40	45.90%	8.66	7.06	48.30%	男:<7.0,女:<16.5	0.923	0.524	
腎絲球過濾率 (estimated Glomerular Filtration Rate, eGFR) (mL/min/1.73 m <sup>2</sup> )	73.44	9.39	5.41%	76.36	8.42	0.00%	>60	0.188	0.31	
胰島素與球蛋白比值 (Insulin-Globulin in ratio, I/G ratio)	0.10	0.06	2.70%	0.10	0.07	3.45%	<0.3	0.373	0.69	

<sup>a</sup> 若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析，若為非常態分布則以 Wilcoxon rank sum test 分析

<sup>b</sup> 期望值>5 以 Chi square test 分析，期望值<5 則以 Fisher 精確檢定統計分析

\*統計上顯著差異 p <0.05

表 26 高、低乙醛暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果

	以幾何平均數分組 (n=36)			低暴露組 (n=24)			p-value		
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	參考值	分析值 <sup>a</sup>	異常率 <sup>b</sup>
麩草醋酸轉胺酶 (GOT) (units)	29.00	8.91	8.30%	25.79	7.08	8.30%	8-38	0.188	0.717
麩丙酮酸轉胺酶 (GPT) (units)	35.83	21.33	33.30%	30.13	17.35	12.50%	4-44	0.436	0.149
加瑪麩氨基轉換酵素 (γ-GT) (U/L)	48.17	34.26	41.70%	41.25	49.66	16.70%	9-40	0.361	0.112
鹼性磷酸酶 (ALK-P) (U/L)	209.83	66.46	8.30%	236.83	62.81	4.20%	104-338	0.255	0.562
總膽紅素 (Total bilirubin, TB) (mg/dL)	1.00	0.43	16.70%	1.10	0.46	33.30%	0.1-1.4	0.535	0.26
直接膽紅素 (Direct bilirubin) (mg/dL)	0.24	0.11	8.30%	0.27	0.15	25.00%	0-0.4	0.540	0.235
總蛋白 (Total Protein) (g/dL)	7.77	0.30	0.00%	7.91	0.39	16.70%	6.7-8.3	0.238	0.18
白蛋白 (Albumin) (g/dL)	4.58	0.21	0.00%	4.59	0.18	0.00%	3.8-5.3	0.518	-
飯前血清葡萄糖濃度 (Glucose A.C) (mg/dL)	95.75	4.90	16.70%	98.92	14.11	29.20%	70-100	0.830	0.35
HOMA-IR	1.97	0.60	17.00%	2.70	3.87	25.00%	2.5	0.585	0.455
三酸甘油酯 (Triglyceride) (mg/dL)	118.33	70.51	33.30%	156.92	97.01	33.30%	42-150	0.212	0.641
胰島素 (Insulin) (uIU/mL)	8.39	2.69	0.00%	10.05	10.77	12.50%	1.5-17	0.518	0.283
尿素氮 (B.U.N) (mg/dL)	13.67	1.92	0.00%	13.50	2.28	0.00%	5.0-20	0.820	-
血清肌酸酐 (Creatinine) (mg/dL)	1.08	0.12	0.00%	1.08	0.13	4.20%	0.7-1.3	0.923	0.667
尿酸 (Uric Acid) (mg/dL)	6.24	1.22	25.00%	6.07	1.42	20.80%	男:1.6-7,女:1.6-6.0	0.704	0.545
白血球 (WBC) (x10 <sup>3</sup> /cumm)	6.76	1.69	0.00%	6.88	1.84	0.00%	4.0-11.0	0.846	-
紅血球 (RBC) (x10 <sup>6</sup> /cumm)	5.24	0.35	0.00%	5.39	0.59	8.30%	男:4.2-6,女:3.7-5.5	0.908	0.438

表 26 高、低乙醛暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果 (續)

以幾何平均數分組 (n=36)	高暴露組 (n=12)				低暴露組 (n=24)				p-value	
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	參考值	分析值 <sup>a</sup>	異常率 <sup>b</sup>	
血色素 (Hb) (g/dL)	15.44	0.88	0.00%	15.19	1.24	0.00%	男:12.3-18.3 女:11.3-16	0.491	-	
紅血球容積比 (Hct) (%)	47.75	3.19	0.00%	47.01	3.60	0.00%	男:39-54,女:33-47	0.535	-	
均紅血球容積 (MCV) (Cu.u)	91.14	3.21	0.00%	88.09	10.00	16.70%	80-99	0.804	0.18	
平均紅血球血紅素量 (MCH) (rr)	29.50	1.12	0.00%	28.50	3.53	12.50%	26-34	0.960	0.283	
平均紅血球血紅素濃度 (MCHC) (%)	32.38	0.37	0.00%	32.31	0.56	0.00%	30-36	0.636	-	
血小板 (Platelet) (x10 <sup>3</sup> /uL)	244.58	50.59	0.00%	265.25	61.96	0.00%	120-400	0.294	-	
球蛋白 (Globulin) (g/dL)	3.18	0.19	8.30%	3.32	0.27	20.80%	2.4-3.5	0.099	0.331	
白蛋白與球蛋白比值 (Albumin-Globulin in ratio, A/G ratio)	1.44	0.10	0.00%	1.40	0.10	0.00%	1.1-2.5	0.128	-	
脂聯素 (Adiponectin) (µg/mL)	8.09	4.45	0.00%	7.72	3.80	4.20%	男:>2.0,女:>4.6	0.807	0.667	
瘦體素 (Leptin) (µg/mL) 腎絲球過濾率	6.08	2.44	25.00%	6.41	4.89	29.20%	男:<7.0,女:<16.5	0.518	0.56	
(estimated Glomerular Filtration Rate, eGFR) (mL/min/1.73 m <sup>2</sup> )	76.40	10.51	8.33%	74.06	8.15	4.17%	>60	0.683	0.562	
	0.09	0.03	0.00%	0.10	0.08	4.17%	<0.3	0.436	0.667	

<sup>a</sup> 若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析，若為非常態分布則以 Wilcoxon rank sum test 分析

<sup>b</sup> 期望值>5 以 Chi square test 分析，期望值<5 則以 Fisher 精確檢定統計分析

\*統計上顯著差異 p <0.05

表 27 高、低甲基異丁酮暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常常檢測結果

	以幾何平均數分組 (n=36)			高暴露組 (n=18)			低暴露組 (n=18)			p-value		
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	參考值	分析值 a	異常率 b
麩草醋酸轉胺酶 (GOT) (units)	26.22	6.09	5.60%	27.39	9.32	11.10%	27.39	9.32	11.10%	8-38	0.839	0.5
麩丙酮酸轉胺酶 (GPT) (units)	29.72	15.08	16.70%	34.39	21.85	22.20%	34.39	21.85	22.20%	4-44	0.563	0.5
加瑪麩氨基轉換酵素( $\gamma$ -GT) (U/L)	44.78	57.48	16.70%	43.11	29.13	27.80%	43.11	29.13	27.80%	9-40	0.279	0.345
鹼性磷酸酶 (ALK-P) (U/L)	230.89	60.38	0.00%	226.17	69.39	11.10%	226.17	69.39	11.10%	104-338	0.829	0.243
總膽紅素 (Total bilirubin, TB) (mg/dL)	1.16	0.50	38.90%	0.97	0.37	16.70%	0.97	0.37	16.70%	0.1-1.4	0.239	0.132
直接膽紅素 (Direct bilirubin) (mg/dL)	0.29	0.16	27.80%	0.23	0.11	11.10%	0.23	0.11	11.10%	0-0.4	0.308	0.201
總蛋白 (Total Protein) (g/dL)	7.81	0.38	5.60%	7.84	0.34	11.10%	7.84	0.34	11.10%	6.7-8.3	0.817	0.5
白蛋白 (Albumin) (g/dL)	4.58	0.19	0.00%	4.58	0.18	0.00%	4.58	0.18	0.00%	3.8-5.3	0.767	-
飯前血清葡萄糖濃度 (Glucose A.C) (mg/dL)	101.17	15.25	33.30%	94.39	5.82	16.70%	94.39	5.82	16.70%	70-100	0.181	0.222
HOMA-IR	3.16	4.37	33.00%	1.81	0.80	17.00%	1.81	0.80	17.00%	2.5	0.252	0.222
三酸甘油酯 (Triglyceride) (mg/dL)	150.94	76.24	50.00%	140.83	102.75	22.20%	140.83	102.75	22.20%	42-150	0.323	0.082
胰島素 (Insulin) (uIU/mL)	11.47	11.98	11.10%	7.79	3.49	5.60%	7.79	3.49	5.60%	1.5-17	0.323	0.5
尿素氮 (B.U.N) (mg/dL)	13.61	2.03	0.00%	13.67	2.52	0.00%	13.67	2.52	0.00%	5.0-20	0.942	-
血清肌酸酐 (Creatinine) (mg/dL)	1.09	0.14	5.60%	1.07	0.10	0.00%	1.07	0.10	0.00%	0.7-1.3	0.676	0.5
尿酸 (Uric Acid) (mg/dL)	6.02	1.36	16.70%	6.06	1.24	22.20%	6.06	1.24	22.20%	男:1.6-7,女:1.6-6.0	0.929	0.5
白血球 (WBC) ( $\times 10^3$ /cumm)	6.02	1.36	0.00%	7.59	1.83	0.00%	7.59	1.83	0.00%	4.0-11.0	0.006*	-
紅血球 (RBC) ( $\times 10^6$ /cumm)	5.17	0.44	0.00%	5.53	0.54	11.10%	5.53	0.54	11.10%	男:4.2-6,女:3.7-5.5	0.044*	0.243

表 27 高、低甲基異丁酮暴露組血液常規、肝功能指標及脂肪代謝異常檢測結果 (續)

以幾何平均數分組 (n=36)	高暴露組 (n=18)			低暴露組 (n=18)			p-value	
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	分析值 <sup>a</sup>	異常率 <sup>b</sup>
血色素 (Hb) (g/dL)	15.32	1.06	0.00%	15.27	1.23	0.00%	0.897	-
紅血球容積比 (Hct) (%)	47.27	3.07	0.00%	47.38	3.91	0.00%	0.925	-
均紅血球容積 (MCV) (Cu.u)	91.71	6.58	5.60%	86.38	9.33	16.70%	<b>0.034*</b>	0.301
平均紅血球血紅素量 (MCH) (rr)	29.74	2.39	0.00%	27.87	3.23	16.70%	<b>0.017*</b>	0.114
平均紅血球血紅素濃度 (MCHC) (%)	32.42	0.48	0.00%	32.23	0.51	0.00%	0.246	-
血小板 (Platelet) (x10 <sup>3</sup> /uL)	254.22	54.80	0.00%	260.22	63.25	0.00%	0.839	-
球蛋白 (Globulin) (g/dL)	3.23	0.28	11.10%	3.26	0.23	16.70%	0.794	0.5
白蛋白與球蛋白比值 (Albumin-Globulin in ratio, A/G ratio)	1.43	0.11	0.00%	1.42	0.09	0.00%	1.000	-
脂聯素 (Adiponectin) (µg/mL)	9.77	4.12	0.00%	6.21	3.15	5.60%	<b>0.007*</b>	0.5
瘦體素 (Leptin) (µg/mL)	7.64	5.34	33.30%	5.53	2.56	27.80%	0.584	0.5
腎絲球過濾率 (estimated Glomerular Filtration Rate, eGFR) (mL/min/1.73 m <sup>2</sup> )	72.82	10.10	11.11%	76.02	8.32	5.56%	0.307	0.5
胰島素與球蛋白比值 (Insulin-Globulin in ratio, I/G ratio)	0.11	0.08	5.56%	0.08	0.04	0.00%	0.521	0.5

<sup>a</sup> 若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析，若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

<sup>b</sup> 期望值>5 以 Chi square test 分析，期望值<5 則以 Fisher 精確檢定統計分析

\*統計上顯著差異 p <0.05

## 第五節 神經行為能力測試結果

本研究之神經行為能力測試共分成兩項內容，分別是握力測試與手指靈活度測試兩項，依照職稱分組之檢測結果如表 28 所示，依據職稱劃分高低暴露組，所有檢測指標均未達到統計上顯著差異，顯示職稱分組並非檢視神經行為能力與暴露物質間良好分組標準。因此，本研究進一步使用甲醛、乙醛、甲基異丁酮之幾何平均濃度進行分組，結果如表 29 至表 31 所示，同樣地，所有檢測指標均未達到統計上顯著差異，推測可能是由於暴露濃度較小，導致神經行為能力表現較無顯著差異。

本研究同時測定勞工個人空氣樣本中甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮，並探討三者共同暴露對於勞工健康的影響。為了標準化四者的影響情形，本研究將四者的濃度除以其 PEL-TWA 後相加，作為共同暴露指標（指標 1），其公式如下：

$$\text{指標 1} = \text{甲醛濃度 (ppm)} / 1 + \text{乙醛濃度 (ppm)} / 100 + \text{丙酮濃度 (ppm)} / 750 + \text{甲基異丁酮濃度 (ppm)} / 50$$

由於與國外制定之環境容許濃度相比，我國將甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮容許濃度制定相較於其他國家為高，可能存在潛在不可接受之暴露健康效應，因此，本研究另選用同為亞洲地區之國家，Japan Occupational Safety and Health Resource Center（JOSH）作為共暴露評估的指標（指標 2）；美國工業衛生師協會(American Conference of Industrial Hygienists, ACGIH)暴露限值作為共暴露指標 3，其公式如下：

$$\text{指標 2} = \text{甲醛濃度 (ppm)} / 0.1 + \text{乙醛濃度 (ppm)} / 0.5 + \text{丙酮濃度 (ppm)} / 200 + \text{甲基異丁酮濃度 (ppm)} / 50$$

$$\text{指標 3} = \text{甲醛濃度 (ppm)} / 0.3 + \text{乙醛濃度 (ppm)} / 25 + \text{丙酮濃度 (ppm)} / 500 + \text{甲基異丁酮濃度 (ppm)} / 50$$

本研究依據共暴露指標 1、共暴露指標 2、共暴露指標 3 之幾何平均數劃分高低暴露兩組，進行神經行為能力與共暴露之間統計分析，結果如表 32-34 所示。

結果發現僅在共暴露指標 2 的部分，高共同暴露組之慣用手手指靈活度顯著低於低共同暴露組 ( $p=0.041$ )，表示低濃度醛酮類物質的共同暴露仍可能影響神經行為能力表現。

表 28 職稱分組之高低暴露組神經行為能力檢測結果

項目 (n=66)		高甲醛濃度組	低甲醛濃度組	<i>p-value</i> <sup>a</sup>
		(n=37)	(n=29)	
		平均值 (標準差)	平均值 (標準差)	
握力 (kg)	有力手	44.62 (10.59)	45.39 (7.54)	0.73
	非有力手	42.26 (9.91)	40.55 (6.41)	0.399
手指靈活度 (次數/10 秒)	慣用手	68.79 (8.55)	71.76 (10.30)	0.269
	非慣用手	60.31 (8.30)	61.97 (8.13)	0.418

<sup>a</sup>若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析，若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

表 29 高、低甲醛濃度組神經行為能力檢測結果

項目 (n=68)		高暴露組	低暴露組	<i>p-value</i> <sup>a</sup>
		(n=42)	(n=26)	
		平均值 (標準差)	平均值 (標準差)	
握力 (kg)	有力手	46.43 (7.26)	42.82 (7.49)	0.161
	非有力手	42.83 (11.52)	39.71 (9.62)	0.165
手指靈活度 (次數/10 秒)	慣用手	71.98 (9.77)	67.33 (7.79)	0.057
	非慣用手	61.19 (8.84)	60.60 (6.92)	0.761

<sup>a</sup>若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析，若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

表 30 高、低乙醛濃度組神經行為能力檢測結果

項目 (n=36)		高乙醛濃度組 (n=12)		低乙醛濃度組 (n=24)	<i>p-value</i> <sup>a</sup>
		平均值 (標準差)		平均值 (標準差)	
握力 (kg)	有力手	43.35	(8.82)	44.32 (9.46)	0.766
	非有力手	40.01	(8.97)	40.48 (8.60)	0.882
手指靈活度 (次數/10 秒)	慣用手	67.31	(7.86)	67.90 (6.19)	0.821
	非慣用手	61.58	(9.45)	59.39 (7.41)	0.491

<sup>a</sup>若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析,若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

表 31 高、低甲基異丁酮濃度組神經行為能力檢測結果

項目 (n=36)		高甲基異丁酮濃度組 (n=18)		低甲基異丁酮濃度組 (n=18)	<i>p-value</i> <sup>a</sup>
		平均值 (標準差)		平均值 (標準差)	
握力 (kg)	有力手	43.99	(10.10)	43.64 (8.17)	0.909
	非有力手	40.49	(9.66)	40.55 (7.76)	0.983
手指靈活度 (次數/10 秒)	慣用手	67.56	(6.25)	68.28 (7.32)	0.752
	非慣用手	60.04	(6.55)	59.89 (9.62)	0.957

<sup>a</sup>若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析,若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

表 32 共暴露指標 1 之高低暴露組神經行為能力檢測結果

項目 (n=68)		高共同暴露組 (n=49)	低共同暴露組 (n=19)	<i>p-value</i> <sup>a</sup>
		平均值 (標準差)	平均值 (標準差)	
握力 (kg)	有力手	44.42 (9.87)	43.64 (8.17)	0.308
	非有力手	41.62 (9.22)	40.55 (7.76)	0.982
手指靈活度 (次數/10 秒)	慣用手	69.27 (8.85)	68.28 (7.32)	0.201
	非慣用手	60.30 (8.24)	59.89 (9.62)	0.269

<sup>a</sup>若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析,若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

表 33 共暴露指標 2 之高低暴露組神經行為能力檢測結果

項目 (n=68)		高共同暴露組 (n=52)	低共同暴露組 (n=16)	<i>p-value</i> <sup>a</sup>
		平均值 (標準差)	平均值 (標準差)	
握力 (kg)	有力手	44.74 (9.78)	46.06 (7.26)	0.525
	非有力手	41.58 (9.21)	41.81 (5.42)	0.904
手指靈活度 (次數/10 秒)	慣用手	68.73 (8.07)	75.00 (11.48)	<b>0.041*</b>
	非慣用手	60.38 (8.62)	62.88 (6.01)	0.202

<sup>a</sup>若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析,若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

\*統計上顯著差異  $p < 0.05$

表 34 共暴露指標 3 之高低暴露組神經行為能力檢測結果

項目 (n=68)		高共同暴露組	低共同暴露組	<i>p-value</i> <sup>a</sup>
		(n=39)	(n=29)	
		平均值 (標準差)	平均值 (標準差)	
握力 (kg)	有力手	44.31 (10.41)	46.04 (7.38)	0.476
	非有力手	41.94 (9.77)	41.24 (6.36)	0.072
手指靈活度 (次數/10 秒)	慣用手	68.75 (8.45)	72.17 (10.13)	0.165
	非慣用手	60.61 (8.33)	61.45 (7.93)	0.631

<sup>a</sup>若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析,若為非常態分佈則以 Wilcoxon rank sum test 分析

\*統計上顯著差異  $p < 0.05$

## 第六節 共暴露與血液生化指標之影響

本研究同時測定勞工個人空氣樣本中甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮，並探討三者共同暴露對於勞工健康的影響。為了標準化四者的影響情形，本研究將四者的濃度除以其 PEL-TWA 後相加，作為共同暴露指標（指標 1），其公式如下；

指標 1=甲醛濃度 (ppm) /1+乙醛濃度 (ppm) /100+丙酮濃度 (ppm) /750+甲基異丁酮濃度 (ppm) /50

由於與國外制定之環境容許濃度相比，我國將甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮容許濃度制定相較於其他國家為高，可能存在潛在不可接受之暴露健康效應，因此，本研究另選用同為亞洲地區之國家，Japan Occupational Safety and Health Resource Center (JOSH) 作為共暴露評估的指標（指標 2）：美國工業衛生師協會(American Conference of Industrial Hygienists, ACGIH)暴露限值作為共暴露指標 3，其公式如下；

指標 2=甲醛濃度 (ppm) /0.1+乙醛濃度 (ppm) /0.5+丙酮濃度 (ppm) /200+甲基異丁酮濃度 (ppm) /50

指標 3=甲醛濃度 (ppm) /0.3+乙醛濃度 (ppm) /25+丙酮濃度 (ppm) /500+甲基異丁酮濃度 (ppm) /50

結果顯示，68 名勞工之共同暴露指標 1 的範圍為  $9.46 \times 10^{-5}$ - $3.48 \times 10^{-2}$ ，幾何平均數為  $1.14 \times 10^{-2}$ ；共同暴露指標 2 的範圍為  $9.45 \times 10^{-5}$ - $6.87$ ，幾何平均數為  $1.13 \times 10^{-1}$ ；共同暴露指標 3 的範圍為  $7 \times 10^{-3}$ - $1.4 \times 10^{-1}$ ，幾何平均數為  $5 \times 10^{-2}$ 。兩廠之詳細結果如表 35 所示。

表 35 兩廠共同暴露指標之計算結果

廠別	共暴露指標 1 <sup>a</sup>	共暴露指標 2 <sup>a</sup>	共暴露指標 3 <sup>a</sup>
A 廠 (n=31)	$1.07 \times 10^{-2}$ ( $1.7 \times 10^{-4}$ - $2.17 \times 10^{-2}$ )	$1.01 \times 10^{-1}$ ( $6.35 \times 10^{-4}$ - $2.12 \times 10^{-1}$ )	$4.5 \times 10^{-2}$ ( $7 \times 10^{-3}$ - $8.5 \times 10^{-2}$ )
B 廠 (n=37)	$1.2 \times 10^{-2}$ ( $9.46 \times 10^{-5}$ - $3.48 \times 10^{-2}$ )	$1.62 \times 10^{-1}$ ( $9.45 \times 10^{-5}$ - $6.87$ )	$5.4 \times 10^{-2}$ ( $2.2 \times 10^{-2}$ - $1.4 \times 10^{-1}$ )
總和 (n=68)	$1.14 \times 10^{-2}$ ( $9.46 \times 10^{-5}$ - $3.48 \times 10^{-2}$ )	$1.13 \times 10^{-1}$ ( $9.45 \times 10^{-5}$ - $6.87$ )	$5 \times 10^{-2}$ ( $7 \times 10^{-3}$ - $1.4 \times 10^{-1}$ )

<sup>a</sup>幾何平均數 (範圍)

本研究將勞工依照共暴露指標之幾何平均數劃分高低暴露兩組，並分析高共同暴露組與低共同暴露組兩組間血液常規檢查指標是否有顯著差異。以指標 1 進行分組，結果有 49 名勞工其共同暴露指標 1 高於其幾何平均濃度，被歸類為高共同暴露組，剩餘 19 名勞工指標 1 低於幾何平均濃度，被歸類為低共同暴露組，其血液常規檢查結果如表 36 所示，結果發現高共同暴露組之尿素氮濃度顯著低於低共同暴露組，顯示共同暴露可能造成腎功能損傷。以指標 2 進行分組，結果如表 37 所示，檢視兩組之血液生化指標，發現高共同暴露組之尿素氮濃度顯著低於低共同暴露組，顯示共同暴露可能造成腎功能損傷，另外在球蛋白、白蛋白與球蛋白比值項目，則發現低共同暴露組與高共同暴露組有顯著差異，顯示低共同暴露組可能存在肝功能損傷情形。以指標三幾何平均數進行分組，結果如表 38 所示，發現高共同暴露組之尿素氮濃度顯著低於低共同暴露組，顯示共同暴露可能造成腎功能損傷。不過，由於本研究為單一時間點採樣，且醛酮物質共同暴露對於人體健康影響機制尚不明確，因此，尚須進一步之研究加以證實此發現。

表 36 以指標 1 區分高暴露組及低暴露組血液生化、肝功能指標及脂肪代謝指標異常檢測結果

	以幾何平均數分組 (n=68)				低暴露組 (n=19)				p-value	
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	參考值	分析值 <sup>a</sup>	異常率 <sup>b</sup>	
麩草醋酸轉胺酶 (GOT) (units)	25.10	7.17	4.10%	28.42	9.49	15.80%	8-38	0.210	0.129	
麩丙酮酸轉胺酶 (GPT) (units)	29.02	17.22	14.30%	39.58	28.73	26.30%	4-44	0.129	0.205	
加瑪瑟氨基轉換酵素 (γ-GT) (U/L)	37.82	39.10	20.40%	42.32	26.62	26.30%	9-40	0.180	0.41	
鹼性磷酸酶 (ALK-P) (U/L)	217.80	54.39	2.00%	224.84	67.53	10.50%	104-338	0.687	0.187	
總膽紅素 (Total bilirubin, TB) (mg/dL)	1.00	0.42	18.40%	1.01	0.37	21.10%	0.1-1.4	0.854	0.523	
直接膽紅素 (Direct bilirubin) (mg/dL)	0.25	0.13	14.30%	0.25	0.13	15.80%	0-0.4	0.956	0.572	
總蛋白 (Total Protein) (g/dL)	7.78	0.38	10.20%	7.94	0.34	15.80%	6.7-8.3	0.102	0.395	
白蛋白 (Albumin) (g/dL)	4.51	0.19	0.00%	4.55	0.15	0.00%	3.8-5.3	0.191	-	
飯前血清葡萄糖濃度 (Glucose A.C) (mg/dL)	96.90	12.17	24.50%	98.16	9.68	21.10%	70-100	0.285	0.518	
HOMA-IR	2.90	3.50	31.00%	1.93	0.60	21.00%	42-150	0.561	0.319	
三酸甘油酯 (Triglyceride) (mg/dL)	156.88	108.07	38.80%	155.21	94.98	42.10%	2.5	0.743	0.506	
胰島素 (Insulin) (uIU/ml)	11.18	9.75	14.30%	7.98	2.55	0.00%	1.5-17	0.332	0.089	
尿素氮 (B.U.N) (mg/dl)	12.90	2.62	0.00%	15.21	3.17	5.30%	5.0-20	0.009*	0.279	
血清肌酸酐 (Creatinine) (mg/dL)	1.10	0.13	4.10%	1.09	0.11	0.00%	0.7-1.3	0.806	0.516	
尿酸 (Uric Acid) (mg/dL)	6.41	1.19	46.90%	5.86	1.24	26.30%	男:1.6-7,女:1.6-6.0	0.102	0.1	
白血球 (WBC) (x10 <sup>3</sup> /cumm)	7.47	2.07	6.10%	7.40	1.62	0.00%	4.0-11.0	0.891	0.368	
紅血球 (RBC) (x10 <sup>6</sup> /cumm)	5.14	0.51	8.20%	5.32	0.51	10.50%	男:4.2-6,女:3.7-5.5	0.201	0.541	

表 36 以指標 1 區分高暴露組及低暴露組血液生化、肝功能指標及脂肪代謝指標異常檢測結果 (續)

以幾何平均數分組 (n=68)	高暴露組 (n=49)				低暴露組 (n=19)				p-value	
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	參考值	分析值 <sup>a</sup>	異常率 <sup>b</sup>	
血色素 (Hb) (g/dL)	15.05	1.06	4.10%	14.93	1.23	5.30%	男:12.3-18.3 女:11.3-16	0.700	0.632	
紅血球容積比 (Hct) (%)	46.00	3.70	12.20%	45.78	3.29	10.50%	男:39-54,女:33-47	0.812	0.605	
均紅血球容積 (MCV) (Cu.u)	89.97	6.53	8.20%	86.70	9.31	15.80%	80-99	0.242	0.301	
平均紅血球血紅素量 (MCH)(rr)	29.48	2.38	6.10%	28.32	3.48	15.80%	26-34	0.283	0.21	
平均紅血球血紅素濃度 (MCHC) (%)	32.75	0.62	0.00%	32.61	0.79	0.00%	30-36	0.484	-	
血小板 (Platelet) (x10 <sup>3</sup> /uL)	256.84	58.07	2.00%	277.68	60.75	0.00%	120-400	0.153	0.721	
球蛋白 (Globulin) (g/dL)	3.27	0.26	14.30%	3.38	0.32	31.60%	2.4-3.5	0.175	0.102	
白蛋白與球蛋白比值										
(Albumin-Globulin in ratio, A/G ratio)	1.39	0.10	0.00%	1.37	0.13	0.00%	1.1-2.5	0.603	-	
脂聯素 (Adiponectin) (µg/mL)	8.58	5.41	0.00%	6.43	3.12	5.30%	男:>2.0,女:>4.6	0.187	0.279	
瘦體素 (Leptin) (µg/mL)	8.63	6.22	49.00%	8.93	7.61	47.40%	男:<7.0,女:<16.5	0.929	0.56	
腎絲球過濾率										
(estimated Glomerular Filtration Rate, eGFR) (mL/min/1.73 m <sup>2</sup> )	74.46	9.82	4.08%	74.93	7.14	5.26%	>60	0.827	0.632	
胰島素與球蛋白比值										
(Insulin-Globulin in ratio, I/G ratio)	0.11	0.07	4.08%	0.08	0.03	0.00%	<0.3	0.206	0.516	

<sup>a</sup> 若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析，若為非常態分布則以 Wilcoxon rank sum test 分析

<sup>b</sup> 期望值>5 以 Chi square test 分析，期望值<5 則以 Fisher 精確檢定統計分析

\*統計上顯著差異 p <0.05

表 37 以指標 2 區分高暴露組及低暴露組血液生化、肝功能指標及脂肪代謝指標異常檢測結果

	以幾何平均數分組 (n=68)			高暴露組 (n=51)			低暴露組 (n=17)			p-value		
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	參考值	分析值 <sup>a</sup>	異常率 <sup>b</sup>
麩草醋酸轉胺酶 (GOT) (units)	25.18	7.09	3.90%	28.59	9.92	17.60%	8-38	0.247	0.095			
麩丙酮酸轉胺酶 (GPT) (units)	28.92	16.87	13.70%	41.12	30.11	29.40%	4-44	0.111	0.136			
加瑪麩氨基轉換酵素(γ-GT) (U/L)	37.06	37.92	17.60%	45.12	29.25	35.30%	9-40	0.207	0.12			
鹼性磷酸酶 (ALK-P) (U/L)	217.10	56.72	3.90%	227.77	62.45	5.90%	104-338	0.538	0.584			
總膽紅素 (Total bilirubin, TB) (mg/dL)	1.02	0.42	19.60%	0.95	0.33	17.60%	0.1-1.4	0.635	0.585			
直接膽紅素 (Direct bilirubin) (mg/dL)	0.26	0.13	15.70%	0.23	0.12	11.80%	0-0.4	0.364	0.52			
總蛋白 (Total Protein) (g/dL)	7.78	0.37	9.80%	7.94	0.36	17.60%	6.7-8.3	0.133	0.316			
白蛋白 (Albumin) (g/dL)	4.53	0.19	0.00%	4.49	0.16	0.00%	3.8-5.3	0.790	-			
飯前血清葡萄糖濃度 (Glucose A.C) (mg/dL)	96.84	11.92	23.50%	98.47	10.24	23.50%	70-100	0.253	0.639			
HOMA-IR	2.76	3.41	27.00%	2.22	1.19	29.00%	42-150	0.793	0.552			
三酸甘油酯 (Triglyceride) (mg/dL)	153.90	105.78	35.30%	163.94	100.71	52.90%	2.5	0.528	0.158			
胰島素 (Insulin) (uIU/mL)	10.64	9.32	11.80%	9.23	5.31	5.90%	1.5-17	0.799	0.435			
尿素氮 (B.U.N) (mg/dL)	13.04	2.65	0.00%	15.06	3.34	5.90%	5.0-20	0.033*	0.25			
血清肌酸酐 (Creatinine) (mg/dL)	1.09	0.12	2.00%	1.12	0.13	5.90%	0.7-1.3	0.382	0.44			
尿酸 (Uric Acid) (mg/dL)	6.32	1.21	41.20%	6.08	1.25	41.20%	男:1.6-7,女:1.6-6.0	0.490	0.615			
白血球 (WBC) (x10 <sup>3</sup> /cumm)	7.45	2.07	5.90%	7.44	1.55	0.00%	4.0-11.0	0.947	0.416			
紅血球 (RBC) (x10 <sup>6</sup> /cumm)	5.18	0.53	9.80%	5.20	0.46	5.90%	男:4.2-6,女:3.7-5.5	0.960	0.529			

表 37 以指標 2 區分高暴露組及低暴露組血液生化、肝功能指標及脂肪代謝指標異常檢測結果 (續)

以幾何平均數分組 (n=68)	高暴露組 (n=51)				低暴露組 (n=17)				p-value	
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	參考值	分析值 <sup>a</sup>	異常率 <sup>b</sup>	
血色素 (Hb) (g/dL)	15.07	1.05	3.90%	14.87	1.28	5.90%	男:12.3-18.3 女:11.3-16	0.562	0.584	
紅血球容積比 (Hct) (%)	46.16	3.60	9.80%	45.29	3.51	17.60%	男:39-54,女:33-47	0.389	0.316	
均紅血球容積 (MCV) (Cu.u)	89.55	7.35	9.80%	87.56	7.91	11.80%	80-99	0.226	0.565	
平均紅血球血紅素量 (MCH) (rr)	29.28	2.67	7.80%	28.78	3.06	11.80%	26-34	0.650	0.471	
平均紅血球血紅素濃度 (MCHC) (%)	32.68	0.63	0.00%	32.82	0.79	0.00%	30-36	0.101	-	
血小板 (Platelet) (x10 <sup>3</sup> /uL)	258.39	57.72	2.00%	275.47	63.20	0.00%	120-400	0.220	0.75	
球蛋白 (Globulin) (g/dL)	3.25	0.25	13.70%	3.45	0.32	35.30%	2.4-3.5	0.034*	0.059	
白蛋白與球蛋白比值 (Albumin-Globulin in ratio, A/G ratio)	1.40	0.09	0.00%	1.32	0.14	0.00%	1.1-2.5	0.011*	-	
脂聯素 (Adiponectin) (µg/mL)	8.15	5.00	0.00%	7.47	4.90	5.90%	男:>2.0,女:>4.6	0.645	0.25	
瘦體素 (Leptin) (µg/mL)	8.12	5.92	45.10%	10.49	8.21	58.80%	男:<7.0,女:<16.5	0.415	0.242	
腎絲球過濾率 (estimated Glomerular Filtration Rate, eGFR) (mL/min/1.73 m <sup>2</sup> )	75.35	9.40	3.92%	72.31	7.98	5.88%	>60	0.203	0.584	
胰島素與球蛋白比值 (Insulin-Globulin in ratio, I/G ratio)	0.10	0.07	3.92%	0.10	0.06	0.00%	<0.3	0.586	0.56	

<sup>a</sup> 若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析，若為非常態分布則以 Wilcoxon rank sum test 分析

<sup>b</sup> 期望值>5 以 Chi square test 分析，期望值<5 則以 Fisher 精確檢定統計分析

\*統計上顯著差異 p < 0.05

表 38 以指標 3 區分高暴露組及低暴露組血液生化、肝功能指標及脂肪代謝指標異常檢測結果

	以幾何平均數分組 (n=68)			高暴露組 (n=39)			低暴露組 (n=29)			參考值	分析值 <sup>a</sup>	異常率 <sup>b</sup>
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率			
麩草醋酸轉胺酶 (GOT) (units)	23.69	5.31	0.00%	29.17	9.76	17.24%	8-38	0.020*	0.011*	0.063		
麩丙酮酸轉胺酶 (GPT) (units)	26.49	13.98	10.26%	39.34	27.02	27.59%	4-44	0.028*	0.107	0.389		
加瑪麩氨基轉換酵素(γ-GT) (U/L)	31.69	20.38	15.38%	49.00	48.42	31.03%	9-40	0.155	0.583	0.493		
鹼性磷酸酶 (ALK-P) (U/L)	220.95	54.48	2.56%	218.17	63.20	6.90%	104-338	0.961	0.705	0.056		
總膽紅素 (Total bilirubin, TB) (mg/dl)	1.10	0.45	20.51%	1.10	0.31	17.24%	0.1-1.4	0.705	0.389	0.007*		
直接膽紅素 (Direct bilirubin) (mg/dL)	0.08	0.27	15.38%	0.10	0.31	13.79%	0-0.4	0.589	0.224	0.373		
總蛋白 (Total Protein) (g/dL)	7.85	0.43	5.13%	7.93	0.37	20.69%	6.7-8.3	0.710	0.444	0.355		
白蛋白 (Albumin) (g/dL)	4.23	0.43	0.00%	4.55	0.51	0.00%	3.8-5.3	0.041*	1.000	0.675		
飯前血清葡萄糖濃度 (Glucose A.C) (mg/dL)	97.13	10.76	28.21%	97.41	12.55	17.24%	70-100	0.324	0.702	0.182		
HOMA-IR	2.62	2.64	30.77%	2.63	3.50	24.14%	42-150	0.585	0.370	0.487		
三酸甘油酯 (Triglyceride) (mg/dL)	159.10	114.47	33.33%	152.79	89.54	48.28%	2.5	0.710	0.444	0.355		
胰島素 (Insulin) (uIU/mL)	10.38	7.36	12.82%	10.14	9.87	6.90%	1.5-17	0.444	0.041*	0.426		
尿素氮 (B.U.N) (mg/dL)	12.82	2.77	0.00%	14.52	2.95	3.45%	5.0-20	1.000	0.675	0.414		
血清肌酸酐 (Creatinine) (mg/dL)	1.00	.000 <sup>a</sup>	2.56%	1.00	.000 <sup>a</sup>	3.45%	0.7-1.3	1.000	0.324	0.182		
尿酸 (Uric Acid) (mg/dL)	6.36	1.11	43.59%	6.07	1.36	37.93%	男:1.6-7,女:1.6-6.0	0.324	0.702	0.182		
白血球 (WBC) (x10 <sup>3</sup> /cumm)	7.56	2.28	7.69%	7.28	1.60	0.00%	4.0-11.0	0.702	0.370	0.487		
紅血球 (RBC) (x10 <sup>6</sup> /cumm)	5.10	0.50	10.26%	5.24	0.51	6.90%	男:4.2-6,女:3.7-5.5	0.370	0.487	0.487		

表 38 以指標 3 區分高暴露組及低暴露組血液生化、肝功能指標及脂肪代謝指標異常檢測結果 (續)

以幾何平均數分組 (n=68)	高暴露組 (n=39)				低暴露組 (n=29)				p-value	
	平均值	標準差	異常率	平均值	標準差	異常率	參考值	分析值 <sup>a</sup>	異常率 <sup>b</sup>	
血色素 (Hb) (g/dL)	14.97	1.11	5.13%	15.03	1.12	3.45%	男:12.3-18.3 女:11.3-16	0.704	0.611	
紅血球容積比 (Hct) (%)	45.74	3.75	12.82%	46.14	3.30	10.34%	男:39-54,女:33-47	0.650	0.532	
均紅血球容積 (MCV) (Cu.u)	89.44	6.76	7.69%	88.52	8.27	13.79%	80-99	0.699	0.335	
平均紅血球血紅素量 (MCH) (rr)	29.36	2.49	7.69%	28.93	3.18	10.34%	26-34	0.980	0.513	
平均紅血球血紅素濃度 (MCHC) (%)	32.74	0.64	0.00%	32.59	0.73	0.00%	30-36	0.342	-	
血小板 (Platelet) (x10 <sup>3</sup> /uL)	257.10	61.18	2.56%	270.14	56.43	0.00%	120-400	0.239	0.574	
球蛋白 (Globulin) (g/dL)	3.21	0.41	10.26%	3.34	0.48	31.03%	2.4-3.5	0.200	0.033*	
白蛋白與球蛋白比值 (Albumin-Globulin in ratio, A/G ratio)	1.21	0.41	0.00%	1.31	0.47	0.00%	1.1-2.5	0.325	-	
脂聯素 (Adiponectin) (µg/mL)	8.41	5.38	0.00%	7.38	4.45	3.45%	男:>2.0,女:>4.6	0.546	0.426	
瘦體素 (Leptin) (µg/mL)	8.51	6.23	46.15%	8.93	7.11	51.72%	男:<7.0,女:<16.5	0.970	0.417	
腎絲球過濾率 (estimated Glomerular Filtration Rate, eGFR) (mL/min/1.73 m <sup>2</sup> )	73.91	9.77	5.13%	75.50	8.21	3.45%	>60	0.481	0.611	
胰島素與球蛋白比值 (Insulin-Globulin in ratio, I/G ratio)	0.10	0.06	2.56%	0.10	0.07	3.45%	<0.3	0.451	0.675	

<sup>a</sup> 若為常態分布則以獨立樣本 t 檢定分析，若為非常態分布則以 Wilcoxon rank sum test 分析

<sup>b</sup> 期望值>5 以 Chi square test 分析，期望值<5 則以 Fisher 精確檢定統計分析

\*統計上顯著差異 p <0.05

## 第七節 勞工健康風險評估

### 1. 非致癌風險評估

本研究針對甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮職業暴露勞工進行健康風險評估，根據美國毒理學網路資料庫之整合性風險資料系統（Integrated Risk Information System, IRIS）所提供之 RfD 計算非致癌風險。假設每位勞工平均工作 30 年，每天作業時間為八小時，每年工作共 219 天，計算平均每日暴露劑量 ADD，再以此計算危害指標（Hazard Index），結果如表 39 所示。結果指出所有工廠之醛酮類非致癌風險均小於 1，為可接受之風險範圍內，表示各廠勞工之作業環境有良好之控制。

表 39 各廠之甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮危害指標結果

廠別	危害指標（Hazard Index）			
	甲醛 <sup>a</sup>	乙醛 <sup>a</sup>	丙酮 <sup>a</sup>	甲基異丁酮 <sup>a</sup>
A 廠 (n=31)	1.54x10 <sup>-4</sup> -2.09x10 <sup>-3</sup> (1.53x10 <sup>-3</sup> )	NA	6.47x10 <sup>-5</sup> -3.51x10 <sup>-3</sup> (5.57x10 <sup>-4</sup> )	NA
B 廠 (n=37)	5.49x10 <sup>-4</sup> -3.22x10 <sup>-3</sup> (1.19x10 <sup>-3</sup> )	3.19x10 <sup>-5</sup> -2.29x10 <sup>-2</sup> (1.04x10 <sup>-4</sup> )	NA	9.22x10 <sup>-6</sup> -3.65x10 <sup>-4</sup> (3.71x10 <sup>-5</sup> )
參考濃度 (RfC)	1.2 mg/m <sup>3</sup>	180 mg/m <sup>3</sup>	-	205 mg/m <sup>3</sup>

<sup>a</sup> 中位數（範圍）

NA:該廠未使用該物質

### 2. 致癌風險評估

本研究以接觸甲醛、乙醛之單位風險計算致癌風險，由於丙酮與甲基異丁酮目前尚未建立致癌之單位風險，故不予計算。致癌性風險評估的結果如表 40 所示。結果顯示各廠勞工之致癌風險結果小於 10<sup>-3</sup>，為可接受之風險。

表 40 各廠之甲醛、乙醛致癌風險評估結果

廠別	致癌風險		
	甲醛 <sup>a</sup>	乙醛 <sup>a</sup>	總致癌風險
癌症種類	白血病	支氣管癌	-
A 廠 (n=31)	1.90x10 <sup>-6</sup> -2.75x10 <sup>-5</sup> (1.36x10 <sup>-5</sup> )	NA	1.90x10 <sup>-6</sup> -2.75x10 <sup>-5</sup> (1.36x10 <sup>-5</sup> )
B 廠 (n=37)	6.76x10 <sup>-6</sup> -3.97x10 <sup>-5</sup> (1.57x10 <sup>-5</sup> )	9.99x10 <sup>-7</sup> -7.15x10 <sup>-4</sup> (4.68x10 <sup>-6</sup> )	9.53x10 <sup>-6</sup> -7.30x10 <sup>-4</sup> (2.31x10 <sup>-5</sup> )

<sup>a</sup> 中位數 (範圍)

## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

- 一、本研究共完成68位勞工之個人空氣採樣分析，勞工之個人空氣中甲醛暴露濃度範圍介於2.0-38.67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、乙醛暴露濃度範圍介於5.4-4116.46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、丙酮暴露濃度範圍介於115.0-6255.11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、甲基異丁酮暴露濃度範圍介於ND-74.84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。全數勞工之甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮暴露濃度符合作業環境空氣中容許濃度標準。
- 二、依據時間活動模式紀錄之採樣當日進入製程的時間，以中位數劃分為高低暴露組，藉此探討兩組間濃度是否會有差異。統計結果顯示，高暴露組之甲醛濃度顯著高於低暴露組，表示採樣地點之甲醛濃度可能較穩定，故勞工暴露濃度隨著時間上升而顯著增加。而乙醛與甲基異丁酮的部分，則未達統計上顯著差異，這部分指出暴露乙醛或甲基異丁酮之勞工，進入製程的頻率可能無法完全代表暴露濃度的高低，亦有可能代表著採樣地點除製程區以外有潛在的乙醛與甲基異丁酮暴露來源。
- 三、依職務分類及作業區域分為高低暴露組進行血液常規、肝功能及脂肪代謝異常進行描述統計分析。結果發現麩丙酮酸轉胺酶（GPT）與加瑪麩氨基轉換酵素（ $\gamma$ -GT）之異常率達統計上的顯著差異，呈現高暴露組之異常率顯著高於低暴露組之情形（ $p=0.017$ ,  $p=0.022$ ），表示高暴露組存在肝功能損傷情形，而在其他代謝指標中，發現胰島素阻抗指標（HOMA-IR）也呈現高暴露組異常率顯著高於低暴露組（ $p=0.016$ ），然而在排除肝炎患者後，則未達統計上顯著差異，顯示此現象可能是由於受試者存在其他干擾因子(本身罹患肝病)所致。
- 四、使用暴露濃度幾何平均數分高低暴露組以探討血液常規、肝功能及脂肪代謝異常情形。結果發現低甲醛暴露組之麩草醋酸轉胺酶（GOT）異常率（ $p=$

0.033)、麩丙酮酸轉胺酶 (GPT) 異常率 ( $p=0.038$ )、球蛋白 (Globulin) 異常率 ( $p=0.041$ ) 顯著高於高甲醛暴露組，指出低暴露組存在肝功能損傷情形，進一步排除罹患A型、B型與C型肝炎受試者，結果發現麩草醋酸轉胺酶 (GOT) 異常率 ( $p=0.079$ )、麩丙酮酸轉胺酶 (GPT) 異常率 ( $p=0.069$ )、球蛋白 (Globulin) 異常率 ( $p=0.072$ ) 達統計顯著邊界，此結果可能是由於受試者樣本數變少所致。而在分析值的部份，顯示高暴露組中白蛋白與尿素氮有顯著下降的現象，意味著高暴露組可能存在腎功能損傷情形；高甲基異丁酮暴露組之白血球與紅血球顯著低於低暴露組 ( $p=0.006, 0.044$ )，顯示高甲基異丁酮暴露的情況下，可能會造成造血功能障礙、肝硬化之情形，而高甲基異丁酮暴露組之均紅血球容積 (MCV)、平均紅血球血紅素量 (MCH) 則顯著高於低暴露組，這部分指出高暴露組可能存在造血異常的情況。

- 五、本研究將勞工甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮的暴露濃度除以各自容許濃度 (PEL-TWA) 後相加，作為共同暴露指標，接著探討共暴露指標與血液常規、肝功能及脂肪代謝異常、神經行為能力表現情形，另共同暴露指標一為使用台灣勞動部之規範進行計算，指標二則為日本JOSH之規範，指標三為美國ACGIH之規範。結果發現在指標一、指標二與指標三的高共同暴露組之尿素氮濃度顯著低於低共同暴露組( $p=0.009, p=0.033, p=0.041$ )，顯示共同暴露可能造成腎功能損傷。此外，使用指標三進行分組，發現高共同暴露組之麩草醋酸轉胺酶 (GOT) 分析值顯著低於低共同暴露組( $p=0.020$ )，且其兩組間麩草醋酸轉胺酶異常率亦達統計上顯著差異( $p=0.011$ )，顯示在此分組下，醛酮類物質的共同暴露可能存在肝功能不良健康影響。而在神經行為能力表現的部分，發現共暴露指標二之高共同暴露組，其慣用手手指靈活度顯著低於低共同暴露組( $p=0.041$ )，表示共同暴露可能影響神經行為能力表現。
- 六、以勞工個人空氣中甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮濃度計算勞工健康風險，個人的非致癌風險以Hazard Index (HI) 表示，結果指出所有工廠之醛酮類

非致癌風險均小於1，為可接受之風險範圍內，表示各廠勞工之作業環境有良好之控制。而在總致癌風險部分，結果顯示各廠勞工之致癌風險結果小於 $10^{-3}$ ，為可接受之風險。

## 第二節 建議

- 一、本研究結果顯示，丙酮破出率達51.6%，因此，在未來採樣時建議降低個人採樣器流速。
- 二、依據時間活動模式紀錄之採樣當日進入製程的時間，以中位數劃分為高低暴露組，藉此探討兩組間濃度是否會有差異。統計結果顯示，高暴露組之甲醛濃度顯著高於低暴露組，日後應檢視進入製程內的工作內容與暴露量間的關係。
- 三、根據本研究之個人空氣甲醛、乙醛、丙酮與甲基異丁酮濃度調查的結果，發現全數勞工之空氣中濃度符合容許濃度，顯示國內之作業場所之醛酮濃度已有良好控制。在本研究調查之共暴露指標結果中，發現選用標準較為嚴格之JOSH規範，可發現共同暴露不僅可能會產生腎功能損傷( $p=0.033$ )、慣用手之手指靈活度亦受影響( $p=0.041$ )，使用美國ACGIH之規範計算的共同暴露指標三，則發現高共同暴露組可能存在肝功能與腎臟功能損害( $p=0.020$ ,  $p=0.041$ )，未來需加強管理四者共同暴露情形，以保護勞工的健康及安全。
- 四、根據勞工的時間活動模式資料顯示，除部分辦公室行政人員外，其餘參與本研究勞工，多半需要進入所屬廠區內之各製程區域進行操作與巡檢，多數現場勞工的作業內容、屬性、以及作業場所等並無明顯之差異性，因此不利於相似暴露族群（SEG）之劃分。此外，本研究均以個人採樣進行醛酮暴露評估，主要之數據資料包括：個人暴露濃度、肝腎功能指標、脂質代謝指標、以及神經行為能力表現等，並搭配個人病史、生活習慣、作業活動記錄等資料，應可滿足職業衛生對於職場暴露評估之需求。對於暴露與健康變化趨勢之時序性、相似暴露族群分組與判定、呼吸防護具實施計畫等需求，建議應收集並累積更多的暴露資料後，以利進行更完整的職場暴露與健康風險解析。

## 誌 謝

本研究計畫參與人員除本所汪研究員禧年，另包括成功大學李教授俊璋等人，謹此敬表謝忱。

## 第六章 參考文獻

- [1] 行政院環境保護署 (EPA, Taiwan) 毒性化學物質許可管理系統  
[http://flora2.epa.gov.tw/ToxicWeb/manage/Manag ePort\\_New\\_Index.aspx](http://flora2.epa.gov.tw/ToxicWeb/manage/Manag ePort_New_Index.aspx)  
[accessed 29 January 2014].
- [2] 台灣化工資訊服務社 (2009) 台灣化學品製造廠商名錄 (TCPD)
- [3] Gary M. Marsh, Ada O. Youk , Jeanine M. Buchanich ,Serap Erdal , Nurtan A. Esmen. (2007) Work in the metal industry and nasopharyngeal cancer mortality among formaldehyde-exposed workers. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 48 (2007) 308–319
- [4] Bernard D Goldstein. (2010) Hematological and toxicological evaluation of formaldehyde as a potential cause of human leukemia. *Human and Experimental Toxicology* 30 (7) 725–735
- [5] Luoping Zhang , Craig Steinmaus , David A. Eastmond , Xianjun K. Xin , Martyn T. Smith.(2009) Formaldehyde exposure and leukemia: A new meta-analysis and potential mechanisms. *Mutation Research* 681 (2009) 150–168
- [6] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) . 1994.  
Toxicological profile for acetone. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service
- [7] Satoh T, Nakashima H, Matsumura H, et al. Relationship between acetone exposure concentration and health effects in acetate fiber plant workers. *Int Arch Occup Environ Health* 1996; 68: 147-53.
- [8] Arts JHE, Mojet J, Van Gemert LJ, et al. An analysis of human response to the irritancy of acetone vapors. *Crit Rev Toxicol* 2002; 32: 43-66.
- [9] Gitelson S, Werczberger A, Herman JB. Coma and hyperglycemia following drinking of acetone. *Diabetes* 1966; 15: 810-1.

- [10] Francisco W. Sousa, Isabelle B. Caracas, Ronaldo F. Nascimento, Rivelino M. Cavalcante. (2011) Exposure and cancer risk assessment for formaldehyde and acetaldehyde in the hospitals, Fortaleza-Brazil. *Building and Environment* 46 (2011) 2115e2120
- [11] Steven Sai Hang Ho, Ho Sai Simon Ip, Kin Fai Ho, Louisa Pan Ting Ng, Chi Sing Chan, Wen Ting Dai & Jun Ji Cao. (2013) Hazardous airborne carbonyls emissions in industrial workplaces in China. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63 (7) :864–877
- [12] Frits G. B. G. J. van Rooy, Jos M. Rooyackers, Mathias Prokop, Remko Houba, Lidwien A. M. Smit & Dick J. J. Heederik. (2007) Bronchiolitis Obliterans Syndrome in Chemical Workers Producing Diacetyl for Food Flavorings. *Am J Respir Crit Care Med* Vol 176. pp 498–504, 2007
- [13] Takeshi Uemura, Yuka Tanakaa, Kyohei Higashi, Daisuke Miyamori, Tomokazu Takasaka, Tatsuo Nagano, Toshihiko Toida, Kanji Yoshimoto, Kazuei Igarashi, Hiroshi Ikegaya. (2013) Acetaldehyde-induced cytotoxicity involves induction of spermine oxidase at the transcriptional level. *Toxicology* 310 (2013) 1–7
- [14] Dimosthenis A. Sarigiannis, Spyros P. Karakitsios, Alberto Gotti, Ioannis L. Liakos, Athanasios Katsoyiannis. (2011) Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk. *Environment International* 37 (2011) 743–765
- [15] Tsai C-J, Chen M-L, Chang K-F et al. (2009). The pollution characteristics of odor, volatile organ chlorinated compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons emitted from plastic waste recycling plants. *Chemosphere*, 74: 1104–1110. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.10.041 PMID:19091382

- [16] Chen JD, Wang JD, Jang JP, Chen YY (1991). Exposure to mixtures of solvents among paint workers and biochemical alterations of liver function. *Br J Ind Med*, 48: 696–701. PMID:1931729
- [17] Vézina M, Kobusch AB, du Souich P et al. (1990). Potentiation of chloroform-induced hepatotoxicity by methyl isobutyl ketone and two metabolites. *Can J Physiol Pharmacol*, 68: 1055–1061. PMID:2390735
- [18] Plaa GL & Ayotte P (1985). Tauroolithocholate-induced intrahepatic cholestasis: potentiation by methyl isobutyl ketone and methyl n-butyl ketone in rats. *Toxicol Appl Pharmacol*, 80: 228–234. doi:10.1016/0041-008X (85) 90079-1  
PMID:4024113
- [19] Dahlström-King L, du Souich P, Couture J, Plaa GL (1990). The influence of severity of bile flow reduction, cycloheximide, and methyl isobutyl ketone pretreatment on the kinetics of tauroolithocholic acid disposition in the rat. *Toxicol Appl Pharmacol*, 104: 312–321. doi:10.1016/0041-008X (90) 90305-E  
PMID:2363182
- [20] Duguay A & Plaa GL (1997). Altered cholesterol synthesis as a mechanism involved in methyl isobutyl ketone-potentiated experimental cholestasis. *Toxicol Appl Pharmacol*, 147: 281–288. doi:10.1006/taap.1997.8274 PMID:9439723
- [21] Norman Allen, MD; Jerry R. Mendell, MD; Donald J. Billmaier, MD; Robert E. Fontaine, MD; John O'Neill, PhD. (1975) Toxic Polyneuropathy Due to Methyl n-Butyl Ketone. An Industrial Outbreak. *Arch Neurol* 32:209-218, 1975
- [22] OH, S. J., Kim, J. M., 1976; "Giant axonal swelling in "Huffer's" neuropathy," *Arch. Neurol.*, 33: 583-586.
- [23] Aubuchon, J., Robins, H. I., Viseskul, C., 1979; "Peripheral Neuropathy After Exposure to Methyl Isobutyl Ketone in Spray Paint," *Lancet*, August 18: 363-364.

- [24] Hazardous Substances Data Bank (HSDB) 2008. Available:  
<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/F?./temp/~o1m8qN:1> [accessed 29 January 2014].
- [25] IARC (2006). Formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tertbutoxypropan-2-ol. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum, 88: 1–478. PMID:17366697.
- [26] IARC (1999) IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 71, Some Industrial Chemicals, Lyon, IARC Press, pp. 319-335.
- [27] IARC (2012) IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 101, Some Industrial Chemicals, Lyon, IARC Press, pp. 305-323.
- [28] U.S. Environmental Protection Agency. 2006. "Integrated Risk Information System (IRIS) : Formaldehyde." <http://www.epa.gov/iris/subst/0419.htm>.
- [29] U.S. EPA., 1991. Integrated Risk Information System (IRIS) ; QuickView: <http://www.epa.gov/iris/subst/0290.htm>. [accessed 1 January 1991].
- [30] U.S. EPA., 2003. Integrated Risk Information System (IRIS) ; QuickView: <http://www.epa.gov/iris/subst/0128.htm>. [accessed 31 July 2003].
- [31] U.S. EPA., 2006. Integrated Risk Information System (IRIS) ; QuickView: <http://www.epa.gov/iris/subst/0173.htm>. [accessed 25 April 2003].
- [32] 行政院勞委會勞工安全衛生研究所, 勞工安全衛生簡訊, Vol 122, 甲醛恐引起職業性鼻咽癌, 2011, 12
- [33] 國科會高瞻自然科學教學資源平台, 乙醛 (Acetaldehyde)  
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=26599>, 2011.05.03
- [34] Marc Eckert, Gerald Fleischmann, Reinhard Jira, Hermann M. Bolt, Klaus Gollk 「Acetaldehyde」 in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2006, Wiley-VCH, Weinheim. doi:10.1002/14356007.a01\_031.pub2
- [35] 國科會高瞻自然科學教學資源平台, 丙酮 (Acetone)  
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=8653>, 2010.09.23

- [36] Stylianos Sifniades, Alan B. Levy, "Acetone" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, Weinheim, 2005.
- [37] OSHA Instruction CPL 2-2.52 NOV 20 1990 Office of Health Compliance Assistance, Enforcement Procedures for Occupational Exposure to Formaldehyde, 1990.
- [38] IARC (1995), IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol.62. Wood dust and formaldehyde, Lyon.
- [39] E.J. Thomson, S. Shackleton & J.M. Harrington, 1984. Chromosome aberrations and sister-chromatid exchange frequencies in pathology staff occupationally exposed to formaldehyde. *Mutation Research*, 141 (1984) 89-93.
- [40] S. Costa, S. Silva, C. Costa, P. Coelho, C. Pina, J. Gaspar, A. Tavares, J.P. Teixeira. (2010), Formaldehyde occupational exposure: Genotoxic evaluation. *Toxicology Letters* Volume 196, Supplement, 17 July 2010, Pages S75–S76.
- [41] Kalapos, MP. 1999. Possible physiological roles of acetone metabolism in humans. *Med. Hypotheses* 53:236-242.
- [42] Basler A. 1986. Aneuploidy-inducing chemicals in yeast evaluated by the micronucleus test. *Mutat Res* 174:11-13.
- [43] Quarles JM, Sega MW, Schenley CK, et al. 1979a. Transformation of hamster fetal cells by nitrosated pesticides in a transplacental assay. *Cancer Res* 39:4525-4533.
- [44] Quarles JM, Sega MW, Schenley CK, et al. 1979b. Rapid screening for chemical carcinogens: Transforming activity of selected nitroso compounds in a transplacental host-mediated culture system. *Natl Cancer Inst Monogr* 51:257-263.
- [45] Kawachi T, Yahagi T, Kada T, et al. 1980. Cooperative programme on short-term assays for carcinogenicity in Japan. In: Montesano R, ed. *Molecular*

and cellular aspects of carcinogen screening tests. Lyons, France: World Health Organization, 323-330.

- [46] DiVincenzo, G. D., C. J. Kaplan, and J. Dedinas. 1976. Characterization of the metabolites of methyl n-butyl ketone, methyl iso-butyl ketone and methyl ethyl ketone in guinea pig serum and their clearance, *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 36: 511-522.
- [47] T.M.Brooks, A.L.Meyer and D.H.Hutson. 1987. The genetic toxicology of some hydrocarbon and oxygenated solvents. *Mutagenesis* vol.3 no.3 pp.227-232, 1988.
- [48] Lapadula DM, Habig C, Gupta RP, Abou-Donia MB. (1990) . Induction of cytochrome P450 isozymes by simultaneous inhalation exposure of hens to n-hexane and methyl iso-butyl ketone (MiBK). *Biochem Pharmacol.* 1991 Mar 15-Apr 1;41 (6-7) :877-83.
- [49] Helmut K. Seitz & Felix Stickel. 2007. Molecular mechanisms of alcohol-mediated carcinogenesis. *Nature Reviews Cancer* 7, 599-612 ( August 2007) doi:10.1038/nrc2191.
- [50] Obe O & Beek B (1979) Mutagenic activity of aldehydes. *Drug Alcohol Depend*, 4: 91-94.
- [51] Korte A & Obe G (1981) Influence of chronic ethanol uptake and acute acetaldehyde treatment on the chromosomes of bone-marrow cells and peripheral lymphocytes of Chinese hamsters. *Mutat Res*, 88: 389-395.
- [52] Woodruff, R.C., J.M. Mason, R, Valencia and S. Zimmering (1985) Chemical mutagenesis testing in *Drosophila*. V. Results of 53 coded compounds tested for the National Toxicology Program, *Environ. Mutagen.*, 7, 677-702.
- [53] Dellarco, V.L.(1988) A mutagenicity assessment of acetaldehyde, *Mutation Res.*, 195, 1-20.

- [54] SKOG, E. (1950) . A toxicological investigation of lower aliphatic aldehydes. *Acta Pharmacol.* 6, 299-318.
- [55] Salem, H., And Cullumbine, H. (1960) Inhalation toxicities of some aldehydes. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2, 183-187.
- [56] Koerker, R. L., Berlin, A. J., And Schneider, F. H. (1976) The cytotoxicity of short-chain alcohols and aldehydes in cultured neuroblastoma cells. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 37, 281-288.
- [57] Smyth HF Jr, Seaton J, Fischer L (1941) . The single dose toxicity of some glycols and derivatives. *Journal of Industrial Hygiene and Toxicology*, 23:259–268.
- [58] Til HP.(1988) Evaluation of the oral toxicity of acetaldehyde and formaldehyde in a 4-week drinking-water study in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 26:447–452.
- [59] Johannsen FR, Levinskas GJ, Tegeris AS (1986) Effects of formaldehyde in the rat and dog following oral exposure. *Toxicology Letters*, 30:1–6.
- [60] Health Canada (2006) . Guidelines for Canadian Drinking Water Quality.
- [61] Til HP. (1989) Two-year drinking-water study of formaldehyde in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 27:77–87.
- [62] IPCS (1989) Formaldehyde. Geneva, World Health Organization (Environmental Health Criteria 89) .
- [63] Tobe M, Naito K, Kurokawa Y (1989) Chronic toxicity study of formaldehyde administered orally to rats. *Toxicology*, 56:79–86.
- [64] Henderson, I.F. (1970) The fumigant effect of formaldehyde on slugs. *Ann. Appl. Biol.*, 65, 507-510.

- [65] Aharoni, Y., Stewart, J.K., Hartsell, P.L. and Young, D.K. (1979)  
Acetaldehyde – a potential fumigant for control of the Green peach aphid on  
harvested head lettuce. *J. Econ. Entomol.*, **72**, 493-495.
- [66] Office of Pesticide Programs (2000) Environmental Effects Database (EEDB).  
Environmental Fate and Effects Division, U.S.EPA, Washington, D.C.
- [67] Bankowski, E., Pawlicka, E. and Sobolewski, K. (1993) Liver collagen of rats  
submitted to chronic intoxication with acetaldehyde. *Mol. Cell Biochem.*, **121**,  
37-43.
- [68] Aranyi, C., O'Shea, W.J., Graham, J.A. and Miller, F.J. (1986) The effects of  
inhalation of organic chemical air contaminants on murine lung host defenses.  
*Fundam. Appl. Toxicol.*, **6**, 713-720.
- [69] Myers, W.D., Ng, K.T., Singer, G., Smythe, G.A. and Duncan, M.W. (1985)  
Dopamine and salsolinol levels in rat hypothalamus and striatum after  
schedule-induced self-injection (SISI) of ethanol and acetaldehyde. *Brain Res.*,  
**358**, 122-128. (as cited in IPCS, 1995) .
- [70] Saldiva, P.H.N., Do Rio Caldeira, M.P., Massad, C.W., Calheiros, D.F., Cardoso,  
L.M.N., Bohm, G.M. and Saldiva, C.D. (1985) Effects of formaldehyde and  
acetaldehyde inhalation on rat pulmonary mechanics. *J. Appl. Toxicol.*, **5**,  
288-292.
- [71] Pozzani UC, Weil CS, Carpenter CP. 1959. The toxicological basis of threshold  
limit values: 5. The experimental inhalation of vapor mixtures by rats, with  
notes upon the relationship between single dose inhalation and single dose oral  
data. *Industrial Hygiene Journal* **20**:364-369.
- [72] Bruckner JV, Peterson RG. 1981a. Evaluation of toluene and acetone inhalant  
abuse. I. Pharmacology and pharmacodynamics. *Toxicol Appl Pharmacol*  
**61**:27-38.

- [73] Smyth Jr HF, Carpenter CP, Weil CS, et al. 1962. Range-finding toxicity data: List VI. Am Ind Hyg Assoc J 23:95-107.
- [74] NTP (National Toxicology Program) . (1991) Toxicity studies of acetone (CAS No. 67-64-1) in F344/N rats and B6C3F1 mice (drinking water studies) . NTP, Research Triangle Park, NC. NTP TOX 3, NIH Publication No. 91-3122.
- [75] Dietz, DD; Leininger, JR; Rauckman, EJ; et al. (1991) Toxicity studies of acetone administered in the drinking water of rodents. Fund. Appl. Toxicol. 17:347-360.
- [76] American Biogenics Corporation.(1986) Ninety day gavage study in albino rats using acetone. (study 410-2313) .
- [77] MacEwen, J. D., Vemot, E. H., Haun, C. C., 1971; "Effect of 90-Day Continuous Exposure to Methylisobutylketone on Dog, Monkeys, and Rats," NTIS Pub. No. AD-730-291. National Technical Information Service, Springfield, VA.
- [78] Geller, I., Martinez, R.L., Harmann, R. J., Kaplan, H. L., 1978; "Effects of Ketones on a Match to Sample Task in the Baboon," West Pharmacol. Soc. 21: 439-442.
- [79] Geller, I., Gause, E., Kaplan, H., Hartmann, R. J., 1979; "Effects of Acetone, Methyl Ethyl Ketone and Methyl Isobutyl Ketone on a Match-to-Sample Task in the Baboon," Pharmac. Biochem. Behav. 11: 401-406.
- [80] Abou-Donia, M. B., Lapadula, D. M., Campbell, G., Timmons, P. R., 1985b; "The Synergism of n-Hexane-induced Neurotoxicity by Methyl Isobutyl Ketone Following Subchronic (90 Days) Inhalation in Hens: Induction of Hepatic Microsomal cytochrome P-450," Toxicol. Appl. Pharmacol. 81:1-16.

- [81] MAI. (1986) Subchronic toxicity of methyl isobutyl ketone in Sprague Dawley rats. Final Report. Study No. 5221.04. Performed by Microbiological Associates, Inc. for Research Triangle Institute. Unpublished report dated July 15, 1986.
- [82] Cosmetic, Toiletry and Fragrance Association (1984) Final report on the safety assessment of formaldehyde. *Journal of the American College of Toxicologists*, 3:157–184.
- [83] Acheson ED et al. (1984) Formaldehyde in the British chemical industry. An occupational cohort study. *Lancet*, 1 (8377) :611–616.
- [84] Collins JJ et al. (1988) Formaldehyde exposure and nasopharyngeal cancer: re-examination of the National Cancer Institute study and an update of one plant. *Journal of the National Cancer Institute*, 80:376–377.
- [85] Coggon D et al. (2003) Extended follow-up of a cohort of British chemical workers exposed to formaldehyde. *Journal of the National Cancer Institute*, 95 (21) :1608–1615.
- [86] National Health and Medical Research Council (NHMRC) and Natural Resource Management Ministerial Council (NRMMC) (2004) The 2004 Australian Drinking Water Guidelines (ADWG) .
- [87] Coggon D, Harris EC, Poole J, Palmer KT (2003) . Extended follow-up of a cohort of british chemical workers exposed to formaldehyde. *J Natl Cancer Inst*, 95: 1608–1615. PMID:14600093.
- [88] Olsen, J.H., Plough Jensen, S., Hink, M., Faurbo, K., Breum, N.O. & Møller Jensen, O. (1984) Occupational formaldehyde exposure and increased nasal cancer risk in man. *Int. J. Cancer*,34, 639–644.
- [89] Silverman, L., Schulte, H.F. and First, M.W. (1946) Further studies on sensory response to certain industrial solvent vapors. *J. Ind. Hyg. Toxicol.*, 28, 262-266.

- [90] Sim, V.M. and Pattle, R.E. ( 1957 ) Effect of possible smoke irritation on human subjects. *J. Am. Med. Assoc.*, 165, 1908-1913.
- [91] Asmussen, E., Hald, J. and Larsen, V. ( 1948 ) The pharmacological action of acetaldehyde on the human organism. *Acta pharmacol.*, 4, 311-320. ( as cited in IPCS, 1995; IARC, 1985 ) .
- [92] Ott, GM; Skory, LK; Holder, BB; et al. ( 1983a ) Health evaluation of employees occupationally exposed to methylene chloride. General study design and environmental considerations. *Scand. J. Work Environ. Health* 9:1-7.
- [93] Ott, GM; Skory, LK; Holder, BB; et al. ( 1983b ) Health evaluation of employees occupationally exposed to methylene chloride. Mortality. *Scand. J. Work Environ. Health* 9:8-16.
- [94] Satoh, T; Omae, K; Nakashima, H; et al. ( 1996 ) Relationship between acetone exposure concentration and health effects in acetate fiber plant workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 68:147-153.
- [95] Hjelm, E. W., Hagberg, M., Iregren, A., LOF, A., 1990; "Exposure to methyl Isobutyl Ketone: Toxicokinetics and Occurrence of Irritative and CNS Symptoms in Man," *Arch. Occup. Environ. Health*, 62: 19-26.
- [96] AuBuchon, J., H.I. Robins, and C. Viseskul. ( 1979 ) Peripheral neuropathy after exposure to methyl isobutyl ketone in spray paint. *Lancet* 2:363–364.
- [97] Esso Research and Engineering Company. ( 1965 ) Acute inhalation ( LC50 ) and human sensory irritation studies on cyclopentanone, isophorone, dihydroisophorone, cyclohexanone, and methyl isobutyl ketone. Submitted by Exxon Chemicals America. Submitted to EPA under TSCA section 8D. EPA Document Number 86-960000031; Fiche No. OTS0572861.
- [98] Hazleton Laboratories, Inc. ( 1965 ) Human sensory irritation thresholds in five ketones: final report. Sponsored by Esso Research and Engineering Company.

Submitted to EPA under TSCA section 8D. EPA Document Number  
87-8210936; Fiche No. OTS0206265.

- [99] 行政院勞委會勞工安全衛生研究所，2010，勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準。
- [100] Lindbohm, M.-L., Hemminki, K., Bonhomme, M.G., Anttila, A., Rantala, K., Heikkilä, P. & Rosenberg, M.J. (1991) Effects of paternal occupational exposure on spontaneous abortions. *Am. J. public Health*, 81, 1029–1033
- [101] Francisco W. Sousa, Isabelle B. Caracas, Ronaldo F. Nascimento, Rivelino M. Cavalcante. (2011) Exposure and cancer risk assessment for formaldehyde and acetaldehyde in the hospitals, Fortaleza-Brazil. *Building and Environment* 46 (2011) 2115e2120.
- [102] Convino S.J., 1979: "Evaluation and Control of Formaldehyde Exposure in a Hospital Autopsy Room." Division of Environmental Health Engineering, School of Hygiene and Public Health, John Hopkins University.:92.
- [103] Elliott, L., 1982; "Walk-Through Survey Report of the Dialysis Unit, Christ Hospital, Cincinnati, Ohio," NIOSH, Cincinnati, Ohio, 8 pages.
- [104] Pryor. P., 1983; "Health Hazard Evaluation Report No. HETA-83-076-1347, National Jewish Hospital, Denver, Colorado," Harzard Evaluations and Technical Assistance Branch, NIOSH, U. S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio, Report No. HETA-83-076-1414.9 pages.
- [105] Pryor. P., 1984; "Health Hazard Evaluation Report No. HETA-83-076-1414, Saint Josephs Hospital, Denver, Colorado," Hazard Evaluations and Technical Assistance Branch, NIOSH, U. S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio, Report No. HETA-83-076-1414.

- [106] Binding.N, Witting. U., 1990; “Exposure to Formaldehyde and Glutardialdehyde in Operating Theatres,” International Archives of Occupational and Environmental Health, 62 ( 3 ) : 233-238.
- [107] Gannon.P.F.G. Bright. P., 1995; “Occupational Asthma due to Glutardialdehyde and Formaldehyde in Endoscopy and X Ray Department,” Thorax, Vol. 50, No. 2, : 156-159.
- [108] Dimosthenis A. Sarigiannis , Spyros P. Karakitsios , Alberto Gotti , Ioannis L. Liakos , Athanasios Katsoyiannis. ( 2011 ) Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk. Environment International 37 ( 2011 ) 743–765.
- [109] Tsai C-J, Chen M-L, Chang K-F et al. ( 2009 ) . The pollution characteristics of odor, volatile organ chlorinated compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons emitted from plastic waste recycling plants. Chemosphere, 74: 1104–1110. doi:10.1016/j. chemosphere.2008.10.041 PMID:19091382.
- [110] Chen JD, Wang JD, Jang JP, Chen YY ( 1991 ) . Exposure to mixtures of solvents among paint workers and biochemical alterations of liver function. *Br J Ind Med*, 48: 696–701. PMID:1931729.
- [111] Kiesswetter, E; Blaszkewicz, M; Vangala, RR; et al. ( 1994 ) Acute exposure to acetone in a factory and ratings of well-being. *Neurotoxicology* 15:597-602.
- [112] E. Mitran, T. Callender, B. Orha, P. Dragnea & G. Botezatu. ( 1996 ) . Neurotoxicity Associated with Occupational Exposure to Acetone, Methyl Ethyl Ketone, and Cyclohexanone. *Environmental Research* 73, 181–188 ( 1997 ) . Article No. Er973703.
- [113] Epa Ip-6 Method Update ( 2004 ) . Determination of Formaldehyde And Other Aldehydes In Indoor Air.

- [114] US EPA (1999). Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air.
- [115] Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, Naylor BA, Treacher DF, Turner RC (1985). "Homeostasis model assessment: insulin resistance and beta-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man." *Diabetologia* 28 (7) : 412–9.
- [116] Norbert Binding, Karsten Schilder, Peter A. Czeschinski, Ute Witting (1998). Simultaneous determination of airborne acetaldehyde, acetone, 2-butanone, and cyclohexanone using sampling tubes with 2,4-dinitrophenylhydrazine-coated solid sorbent. *Toxicology Letters* 96,97 (1998) 289–299.
- [117] Philip fellin (1988) A review of techniques for measurement of airborne Aldehydes. *The Science of the Total Environment*, 77 (1988) 95–131.
- [118] Gannon, P.F.G., Bright, P., Campbell, M., et al., Occupational asthma due to formaldehyde in endoscopy and X-ray department. *Throat*, 50 (2) :156-159 (1995) .
- [119] Schachter, E.N., Witek, T.J., Brody, D.J., et al., A study of respiratory effect from exposure to 2.0 ppm formaldehyde in occupationally exposed workers. *Environmental Research* 44 (2) :188-205 (1987) .
- [120] Edward M. Socie, Keith D. Gromen, Adeline A. Migliozi and Connie A. Geidenberger. Work-related skin disease in the plastics industry. *American Journal of Industrial Medicine* 31:545-550 (1997) .
- [121] Robert E. Eckardt and Richard hinidin. The health harazed of plastics. *Journal of Occupational Medicine*. 15 (10) :808-819 (1973) .

- [122] Taskinen H.K., Virtanen S.V., Liukkonen T.A., et al., Reduced fertility among female wood workers exposed to formaldehyde. *American Journal of Industrial Medicine* 36:206-212 (1999) .
- [123] Collins JJ., Acquavella JF., Esmen NA., An updated meta-analysis of formaldehyde exposure and upper respiratory tract cancer. *Journal of Occupational & Environmental Medicine* 39 (7) :639-51 (1997) .
- [124] Makinen M, Kalliokoski P, Kangas J. Assessment of total exposure to phenolformaldehyde resin glue in plywood manufacturing. *Int Arch Occup Environ Health*. 72: 309-314 (1999) .
- [125] Vinzents P, Laursen B. A National cross-sectional study of the Working Environment in the Danish Wood and Furniture-Air Pollutant and noise. *Ann occup Hyg*. 37 (1) :25-34 (1993) .
- [126] Herbert FA, Hessel PA, Melenka LS, Mellenka LS. Respiratory Consequences of Exposure to Wood Dust and Formaldehyde of Workers Manufacturing Oriented Strand Board. *Archives of Environmental Health*. 49 (6) :465-470 (1994) .
- [127] Raleigh R.L., McGee W.A.,1972; "Effects of Short, High-concentration Exposure to Acetone as Determined by Observation in the Work Area," *J. Occup. Med*. 14:607-610.
- [128] Matsushita T., Yoshimmune A., Inoue T., et al., 1969b "Experimental Studies for Determining the MAC Value of Acetone. 2.Biological Reation in the "Six-day Exposure" to Acetone." *Sangyo Igaku* 11:477-484.
- [129] Ross D.J., 1973; "Acute Acetone Intoxication Involving 8 male workers," *Ann. Occup. Hyg*. 16:73-75.

- [130] Stewart R.D., Hake C.L., Wu. A., et al.,1975; "Acetone: Development of a Biologic Standard for the Industrial Worker by Breath Analysis," Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health. NTIS PB82-172917.
- [131] Haggard H.W., Greenberg L.A. Turner J.M., 1944; "The Physiological Principles Governing the Action of Acetone Together with Determination of Toxicity." J. Ind. Hyg. Toxicol. 26:133-151.
- [132] Matsushita T., Goshima E., Miyagaki H., et al., 1969a; "Experimental Studies for Determining the MAC Value of Acetone. 2. Biological Reaction in the "Six-day Exposure" to Acetone." Sangyo Igaku 11:507-511.
- [133] Dick R.B., Setzer J.V., Taylor B.J., et al., 1989; "Neurobehavioral Effects of Short Duration Exposure to Acetone and Methyl Ethyl Ketone." Br.J. Ind. Med. 46:111-121.
- [134] Seeber A., Kiesswetter E., Blaszkewicz M., 1992; "Correlations Between Subjective Disturbances due to Acute Exposure to Organic Solvents and Internal Dose." Neuro. Toxicol. 12:55-65.
- [135] Armeli, G., Linari, F., Martorano, G., 1968; "Clinical and Haematochemical Examinations in Workers Exposed to the Action of a Higher Ketone (MIBK) Repeated After 5 Years," Lav. Um. 20: 418-424.
- [136] Roger H Unger, MD., 1971; Glucagon and the Insulin:Glucagon Ratio in Diabetes and Other Catabolic Illnesses. Diabetes December 1971 20:12 834-838.

## 附件一、勞工個人問卷

### 一、基本資料

1. 姓名：\_\_\_\_\_

2. 性別：\_\_\_\_\_男 / 女\_\_\_\_\_

3. 生日：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日

4. 請問您的最高之教育程度是：\_\_\_\_\_

作業名稱	別名
二甲基甲醯胺作業	DMF
四氯乙烯	PCE
1,1,2,2-四氯乙烷作業	R-130, TeCA
氯仿作業	哥羅芳, 三氯甲烷
四氯化碳作業	海龍 104, 氯烷

(1) 不識字 (2) 小學 (3) 國中 (4) 高中(職) (5) 大專 (6) 大學 (7) 研究所以上 (8) 其他\_\_\_\_\_

### 二、工作及職業史調查

1. 請問來該廠工作前(過去職業史)您是否曾從事下列作業?

工作內容	若有請打勾		作業年資為
	有	無	
特殊危害作業	游離輻射作業	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	年
	二甲基甲醯胺作業	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	年
	苯作業	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	年
	砷及其化合物作業	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	年
	三氯乙烯、四氯乙烯作業	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	年
	氯乙烯作業	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	年
有機溶劑作業	1,1,2,2-四氯乙烷作業	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	年
	氯仿作業	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	年
	四氯化碳作業	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	年
	二硫化碳作業	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	年

2. 您進入這間公司的年資:\_\_\_\_\_年;目前作業部門/課:\_\_\_\_\_;職位/職稱:\_\_\_\_\_

3. 依照您目前職務內容, 請問您平常是否需要進入製程: 是, 進入製程的頻率為\_\_\_\_\_小時/天 或 \_\_\_\_\_天/週 否

4. 您目前的主要作業/工作製程: \_\_\_\_\_ (依照下列代號填寫)(可複選)

1.投料區	2.卸料區	3.儲槽區	4.廢料回收區
5.摻合區	6.成品物料區	7.辦公室	8.控制室（盤面）
9.全廠區巡視	10.品保/品管區	11.機械維護	12.研發實驗室
13.其他: _____			

5.請問您的工作是否屬於輪班作業：是（請續答 5-1 至 5-2 題）

否（若無請跳答至第 6 題）

5-1 前日的班別為 早 中 晚

5-2 今日的班別為 早 中 晚

6.防護具使用情況：

6-1 請問您正常工作時有無配戴防護具的習慣：是 否

6-2 請問您在進入製程時有無配戴防護具的習慣：是 否（若無請跳答至第三項生活習慣）。

6-3 若您進入製程有配戴呼吸防護具的習慣，配戴的種類為何\_\_\_\_\_

（請依下表填入代號,可複選）

A 外科用飛沫口罩	B 簡易型活性炭 口罩	C 防塵口罩(N95)	D 附濾毒罐面罩
E 淨氣式呼吸防護具	F 供氣式面罩	G 自攜式呼吸器	H 其他:_____

6-4 請問您在昨日作業時，是否有配戴防護具：是 否

### 三、生活習慣

A. 其他可能暴露物質 **以下項目，每週一次以上才算“是”**

1. 請問您家中是否有點香（包括檀香）？（1）是 / 否

（2）頻率：\_\_\_\_\_小時/天

2. 請問您家中近一個月內是否有進行裝修（粉刷油漆、購買新家具等）？

（1）是 / 否

3. 是否使用去光水（丙酮）、去漬油、油蠟進行任何清潔行為？

(1) 是 / 否 (2) 頻率:     小時

/天

4. 是否服用綜合維他命？(1) 是 / 否 (2) 頻率：     顆/天

5. 是否服用健身營養補充品（乳清蛋白或肌氨酸 [肌酸,Creatine]）？

(1) 是 / 否 (2) 乳清蛋白，頻率：     顆/天 (3) 肌氨酸，頻率：     顆/天

6. 最近一個月內，是否服用其它藥物（如感冒藥、感冒糖漿、抗癌藥物）？

(1) 是 / 否 (2) 名稱：      (3) 頻率：     顆/天,     瓶/月

\*\*\*\*\*抽菸喝酒問卷請參考以下資料\*\*\*\*\*

#### B. 抽菸狀況

1. 您有抽菸的習慣嗎？(1) 0 / 1 / 2 [指 每天 1 支以上]

(0) 沒有 [若無請跳答至第 C 項,二手菸]

(1) 有戒，現在不抽了 [若無請跳答至第 C 項,二手菸]

(2) 有 (續答以下 2-3 題目)

2. 請問您曾否戒過菸？(1) 0 / 1 (0) 否 (1) 曾戒菸，現在又抽了

3. 扣去您戒菸的時間，您總共抽多少年的菸?     年，

平均每天抽多少支香菸?     支/天

#### C. 二手菸

**以下項目，每週一次以上才算“是”**

1. 請問您現在的工作場所是否有劃分吸菸區？

有，工作場所中提供吸菸區（室）

沒有，工作場所中允許吸菸

沒有，工作場所全區完全禁止吸菸（完全禁菸場所）

2. 請問目前你在工作場所時，身旁常有人抽菸嗎？(1) 有/沒有 (若答沒有，跳答 C-4 題)

3. 請問您在工作場所接觸二手菸的時間，每日大約為\_\_\_\_\_小時/天；持續\_\_\_\_\_年

4. 請問目前你在家裡時，身旁常有人抽菸嗎？(1) 有 / 沒有 (若答沒有，跳答 D. 飲酒習慣)

5. 請問您在家裡接觸二手菸的時間，每日大約為\_\_\_\_\_小時/天；持續\_\_\_\_\_年

D. 飲酒習慣 以下項目，每週一次以上才算“是”

1. 您是否有喝酒的習慣？ 有 / 沒有 (指每週一次以上者，若答無 請跳答 E 大項)

2. 您曾經有戒酒過嗎？(1) 有 / 沒有

3. 扣去戒酒的時間，您總共喝了幾年的酒？\_\_\_\_\_年

E. 交通狀況

1. 請問您的上班方式為：(1) 步行 (2) 摩托車 (3) 腳踏車 (4) 自己開車 (5) 公車 (6) 公司交通車 (7) 其他

酒精濃度	市售酒類名稱	每次飲用杯數，請以 one shot 杯 (50c.c.) 計算	每週飲用次數
1-10%	冰火、啤酒類、香檳酒類、水果調酒		
	其他酒類：_____		
10-20%	保力達 B、維士比、葡萄酒、奶酒、紅酒、清酒、米酒、香甜酒、梅酒、米酒		
	其他酒類：_____		
20-40%	38 度金門高粱酒、日本燒酎酒、鹿茸酒、藥酒、		
	其他酒類：_____		
>40%	威士忌、橙酒、琴酒、白蘭地、伏特加、蘭姆酒、龍舌蘭、高粱酒類、蒸餾白酒		
	其他酒類：_____		

2. 若是步行、騎乘機車、腳踏車，請問有無配戴口罩? 有，無  
類：\_\_\_\_\_；無
3. 若是自己開車、搭乘公車或公司交通車，請問有無開車窗? 有 無
4. 請問上班加下班（往返）交通平均花費多少分鐘?\_\_\_\_\_

#### 四、神經肌肉表現

以下項目，以過去一個月為調查期間

1. 舉手或聳肩時，是否有肌肉無力或疼痛之情形?（頻率 依受試者回答擇一填寫）

(1) 有 / 無 (2) 頻率：\_\_\_\_\_次/天; \_\_\_\_\_次/週；\_\_\_\_\_次/月

2. 拿筷子或扣扣子是否有不穩定之情形?（頻率 依受試者回答擇一填寫）

(1) 有 / 無 (2) 頻率：\_\_\_\_\_次/天; \_\_\_\_\_次/週；\_\_\_\_\_次/月

3. 全身任何地方曾出現麻、燒灼感或無知覺之情形?（頻率 依受試者回答擇一填寫）

(1) 有 / 無 (2) 頻率：\_\_\_\_\_次/天; \_\_\_\_\_次/週；\_\_\_\_\_次/月

\*\*\*\*\*

以下項目，以過去三個月為調查期間

4. 過去三個月是否曾出現頭痛/頭暈、說話困難、平衡感降低之情形?

頭痛 (1) 有 / 無 (2) 頻率：\_\_次/天; \_\_次/週；\_\_次/月

頭暈 (1) 有 / 無 (2) 頻率：\_\_次/天; \_\_次/週；\_\_次/月

說話困難 (1) 有 / 無 (2) 頻率：\_\_次/天; \_\_次/週；\_\_次/月

平衡感降低 (1) 有 / 無 (2) 頻率：\_\_次/天; \_\_次/週；\_\_次/月

5. 過去三個月是否曾出現下列精神狀態異常之情形?

疲倦 (1) 有 / 無

焦躁不安 (1) 有 / 無

情緒不穩定 (1) 有 / 無

記憶力變差 (1) 有 / 無

注意力不集中 (1) 有 / 無

## 五、健康史

系統	疾病	服藥		被診斷 出多久	系統	疾病	服藥		被診斷 出多久
		是	否				是	否	
A 呼吸 系統	1.肺炎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年	F 泌尿 系統	1.腎臟病變	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	2.塵肺病	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		2.膀胱炎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	3.氣喘	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		3.疝氣（墜腸）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	4.結核病（肺癆）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		4.尿酸過高	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
						5.尿道發炎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
B 心臟 血管	1.高血壓	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年	G 血液	1.再生不良性貧血	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	2.心律不整	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		2.貧血	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	3.冠狀動脈心臟病	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		（血紅素 12 以下）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	4.其他心臟病	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		3.紫斑症	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	5.低血壓	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年	4.顆粒性白血球增多症	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年	
C 皮膚	1.指甲不正常	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年	H 神經 系統	1.偏頭痛	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	2.皮膚過敏	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		2.多發性神經炎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	3.黑頭大粒青春痘	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		3.癲癇（羊癲）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	4.手掌或腳底角質 化	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		4.巴金森式症候群	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
				5.酒精性多發性神經病變		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年	
				6. 腦神經病變		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
				7. 周邊神經病變		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
D 消化 系統	1.胰臟炎（腰尺炎）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年	I 內分泌	1.甲狀腺素過高	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	2.胃、十二指腸潰瘍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		2.甲狀腺素過低	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
						3.甲狀腺腫大	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
E 肝臟	1.A 型肝炎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年	J 其他	1.糖尿病	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	2.B 型肝炎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		2.腦血管疾病	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	3.C 型肝炎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		3.高血脂症	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	4.酒精性肝臟病變	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		4.高三酸甘油酯症	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	5 肝纖維化	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		5.胰島素阻抗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	6.肝硬化	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		6.血糖過高	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	7.肝、膽結石	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		（飯前血糖值	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	8.脂肪肝	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年		>126mg/dL）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年
	（輕度、中度、重 度）	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年	7.維生素缺乏症				
	9.藥物性肝炎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	年	8.其他_____				
10. 其他									

K 癌症（請填部位）：

## 六、員工時間活動記錄表

請紀錄前一日與當日的工作情形

1. 請問您採樣前一日，是否為正常工時、休假、或有無加夜班之情況？

(1) 正常工時 / 夜班 / 加班 / 休假

		工作前 24 小時			工作當日		
時段		活動內容	地點	防護具配戴	活動內容	地點	防護具配戴
早上	03 : 00-06 : 00						
	06 : 00-07 : 00						
	07 : 00-08 : 00						
	08 : 00-09 : 00						
	09 : 00-10 : 00						
	10 : 00-11 : 00						
	11 : 00-12 : 00						
中午	12 : 00-13 : 00						
	13 : 00-14 : 00						
	14 : 00-15 : 00						
	15 : 00-16 : 00						
	16 : 00-17 : 00						
	17 : 00-18 : 00 夜班起點						
晚上	18 : 00-19 : 00						
	19 : 00-20 : 00						
	20 : 00-21 : 00						
	21 : 00-22 : 00						
	22 : 00-23 : 00						
	23 : 00-24 : 00						
凌晨	00 : 00-01 : 00						
	01 : 00-02 : 00						
	02 : 00-03 : 00						

活動內容		地點	
		廠內	廠外
1. 廠區巡視	10. 吃飯	1. 原料區	12. 家裡
2. 原物料裝卸	11. 開車或騎車	2. 卸料區	13. 別人家中
3. 聚合相關作業	12. 抽菸	3. 儲槽區	14. 車子裡
4. 包裝作業	13. 飲酒	4. 回收區	15. 路上
5. 成品檢驗	14. 訪友	5. 摻合區	16. 公共娛樂場所
6. 維修、保養	15. 運動	6. 物料區	17. 公共賣場
7. 清槽	16. 靜態休閒睡覺	7. 辦公室	18. 醫療院所
8. 加料	17. 其他活動_____	8. 控制室	19. 餐廳
9. 辦公室（行政）		9. 盤面	20. 藝文中心、寺廟
		10. 實驗室	21. 廠外其他 _____
		11. 其他	

上午訪員簽名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

下午訪員簽名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

## 附件二、受試者同意書

文件編號：8810-4-03-001  
 表單號碼：本單 12

### 國立成功大學 人體研究說明及同意書

適用範圍：非醫藥法第 8 條所規範之人體研究、問卷、訪談及檢體採集等  
 (本同意書應由計畫主持人親自向受試者說明詳細內容，並請受試者經過慎重考慮後方得簽名)  
 您被邀請參與此研究，本說明及同意書提供您有關本研究之相關資訊，研究主持人將會為您說明研  
 究內容並回答您的任何疑問。

計畫名稱：醛、酮類化合物作業勞工暴露評估及尿液生物指標建置研究 執行單位：國立成功大學環境微量毒物中心 委託單位/贊助廠商：勞動部勞動及職業安全衛生研究所 委託單位/贊助廠商住址：22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號 贊助者聯絡方式：02-26607800#277 研究經費來源： 主要主持人：李俊璋 職稱：教授 / 主任 聯絡電話：06-2353535-5596
受試者姓名： 性別： 出生日期： 通訊住址： 聯絡電話：
一、研究簡介： 本研究之目的為建立甲醛、乙醛、丙酮及甲基異丁酮製造及使用作業勞工之暴露實態，並進一步探討 醛類暴露與健康效應之關係，並分析勞工尿液樣本中醛、酮類代謝物，藉以瞭解勞工之暴露實 態。
二、研究目的： (1)本研究以甲醛、乙醛、丙酮及甲基異丁酮的作業員工為研究對象，建立甲醛、乙醛、丙酮及甲基 異丁酮的暴露實態及健康風險評估。(2)進行甲醛、乙醛、丙酮及甲基異丁酮勞工之血液生化檢查、 血液中肝功能指標檢查、周邊神經傳導測試，以檢視勞工之健康狀態。
三、研究預計執行期間、受試者數目： 執行期間：自人體試驗委員會審核通過 至 104 年 6 月 30 日 受試者：60 人
四、研究之主要納入與排除條件： 本研究不納入未成年入作為研究對象，僅納入民法法定之成年勞工(指年滿 20 歲以上者)。本研究 選取甲醛、乙醛、丙酮及甲基異丁酮共同運作之工廠作業勞工以及行政人員，經公開場合說明研 究內容，並提供說明給受試者，依受試者個人意願參與本研究。受試者簽署人體試驗同意書後， 方納入本研究調查對象。
五、研究方法、程序及受試者應配合事項： 每位員工於(1)上班前與下班後收取尿液檢體約 30 mL，(2)並於當日上午班期間內收集個人 6-8 小時 露係卡。(3)由員執照與臨床檢驗血細胞之護理師或醫檢人員採集約 20 mL 之血液檢體，並須空腹 8 小時以上，(4)以手指鍵入速度測試、握力測試測試勞工周邊神經能力(5)問卷填寫(約 15 分鐘)， 問卷內容須包含基本資料、個人飲食習慣及時間活動模式調查等，以上採樣內容每位勞工僅須進行 一次，總時間約為 30 分鐘。

版本：第二版

日期：2014 年 04 月 20 日



第 A019 次大會通過版  
 第 1 頁 共 3 頁



文件編號：8800-4-03-001  
表單編號：表單 12

(四) 如果你(妳)在研究過程中對研究工作性質產生疑問，對身為患者之權利有意見或懷疑因參與研究而受害時，可與成大醫院之人體試驗委員會聯絡請求諮詢，其電話號碼為：06-2353535 轉 3635 或 e-mail: em73635@mail.hosp.ncku.edu.tw 或郵寄至 704 台南市北區勝利路 138 號門診大樓 4 樓人體試驗委員會。

本同意書一式两份，主持/共同主持人/研究人員已將另一份書副本交給您(妳)，並已完整說明本研究之性質與目的，也已回答您研究等相關問題。

十一、研究可能衍生之商業利益及其應用之約定：

本研究預期不會衍生專利權或其他商業利益。

十二、研究之退出與中止：

您可自由決定是否參加本研究；研究過程中也可隨時撤銷同意，退出研究，不需任何理由，且不會引起任何不愉快或影響其日後醫師對您的醫療照顧，研究主持人或贊助廠商亦可能於必要時中止該研究之進行。受試者退出研究後，即不再繼續收集資料，並將之前的資料與檢體銷毀。

十三、簽名欄：

(一) 受試者已詳細瞭解上述研究方法及其所可能產生的危險與利益，有關本試驗計畫的疑問，業經計畫主持人詳細予以解釋。本人同意接受為臨床試驗計畫的目標受試者。

受試者簽名：\_\_\_\_\_

日期：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日

(二) 主持人或研究人員已詳細解釋有關本研究計畫中上述研究方法的性質與目的，及可能產生的危險與利益。

計畫主持人/共同主持人/研究人員簽名：\_\_\_\_\_

日期：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日

版本：第二版

日期：2014 年 05 月 29 日



第 A019 次大會通過  
第 3 頁，共 3 頁

# 附件三、同意臨床試驗證明書

文件編號：8800-4-07-001  
A0311b

Institutional Review Board  
National Cheng Kung University Hospital  
138 Sheng-Li Rd, Tainan 704, Taiwan R.O.C.  
TEL: 886-6-2353335 ext.3035 FAX: 886-6-2388190

國立成功大學醫學院附設醫院  
第一人體試驗委員會  
台理, 台南市勝利路138號  
E-mail: am77875@mail.bosp.ncku.edu.tw

## 同意人體研究證明書

計畫名稱：醛、酮類化合物作業勞工暴露評估及尿液生物指標建置研究  
計畫編號/本會編號：--/A-ER-103-104  
內容/版本：  
1.計畫書：版本：第二版，日期：2014年06月04日  
2.受試者同意書：版本：第二版，日期：2014年05月29日  
3.說帖(廠方版本)：版本：第一版，日期：2014年05月29日  
4.說帖(員工版本)：版本：第一版，日期：2014年05月29日  
5.問卷：版本：第二版，日期：2014/05/29  
下次繳交報告日期：民國104年06月30日  
試驗機構：成功大學  
計畫主持人：李俊璋 教授(工業衛生科暨環境醫學研究所)

此計畫已於民國103年06月09日本院人體試驗委員會審核通過，本會組織與執行皆遵照ICH-GCP規範，有效執行期限民國103年06月09日至民國104年06月30日，特此證明。計畫主持人若未依規定於執行期限到期後三個月內繳交報告者，本會將保留審核權。若有任何不良反應亦須依藥品優良臨床試驗準則(GCP)通報；該計畫任何部份若欲更改，請於有效期限內向本會提出申請。其他附帶之建議：  
計畫樣本數：本校60人，國內60人；收案超過原申請樣本數前，請向本會提出修正案申請。

中 華 民 國 103 年 06 月 11 日

## Human Study Approval

Date: 2014.06.11

**Title:**The concurrent exposure assessment of aldehydes and ketone in manufacturing and operating workers and establishment of urinary biological markers.  
**Protocol No/ IRB No:**--/A-ER-103-104  
**Content/Version:**  
1.Protocol:Version:2, Date:2014.06.04  
2.Informed Consent Form:Version:2, Date:2014.05.29  
3.Synopsis (Version for Factory ):Version:1, Date:2014.05.29  
4.Synopsis (Version for Labors):Version:1, Date:2014.05.29  
5.Questionnaires:Version:2, Date:2014.05.29  
**Next Hand-in Report Date:**2015.06.30  
**Institute:**National Cheng Kung University  
**Investigator:**Prof. Ching-Chang Lee( Department of Environmentar and Occupation Health )

This is a certification to show that the protocol has been approved by Institutional Review Board (IRB) on Jun. 09, 2014 and the valid execution date is from Jun. 09, 2014 to Jun. 30, 2015. The Institutional Review Board of National Cheng Kung University Hospital (NCKUH) is organized and operated according to the laws and regulations of ICH-GCP. For those principal investigators who are 3 months late in submitting the final reports, the NCKUH IRB will retain the review rights. If any Adverse Event occurs, the IRB should be notified as required by GCP. If any part of the protocol needs to be altered, please submit the application to NCKUH IRB within the valid execution date.

Your sincerely,  
Thy-Sheng Lin M.D.  
Chairman

  
Institutional Review Board  
National Cheng Kung University Hospital  
經第 A006 次大會通過版

國家圖書館出版品預行編目資料

醛、酮類化合物製造及使用工廠作業勞工暴露評估研究 /  
汪禧年, 李俊璋著. -- 1 版. -- 新北市 : 勞動部勞研所, 民  
104.03

面 ; 公分

ISBN 978-986-04-4692-0(平裝)

1.勞工衛生 2.職業衛生

412.53

104006122

醛、酮類化合物製造及使用工廠作業勞工暴露評估研究

著(編、譯)者:汪禧年、李俊璋

出版機關:勞動部勞動及職業安全衛生研究所

22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號

電話:02-26607600 <http://www.ilosh.gov.tw/>

出版年月:中華民國 104 年 26 月

版(刷)次:1 版 1 刷

定價:300 元

展售處:

五南文化廣場

台中市中區中山路 6 號

電話:04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話:02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」,網址為:  
<http://www.ilosh.gov.tw/wSite/np?ctNode=273&mp=11>
- 授權部分引用及教學目的使用之公開播放與口述,並請注意需註明資料來源;有關重製、公開傳輸、全文引用、編輯改作、具有營利目的公開播放行為需取得本所同意或書面授權。

GPN:"3232622989

ISBN: 978-986-04-4692-0