

論文

不同作業場所勞工雙酚A暴露特性之研究

陳美蓮¹ 徐意婷¹ 毛義方² 陳怡如¹ 尤奕涵¹ 李聯雄³ 林志鴻³

¹ 國立陽明大學醫學院環境與職業衛生研究所

² 中山醫學大學健康管理學院職業安全衛生學系

³ 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

摘要

雙酚A(Bisphenol A, BPA)會影響人類的內分泌系統，並可能會導致心血管疾病、致癌風險與糖尿病的罹患率增加。即使暴露劑量遠低於美國環保署認定的安全劑量 $50 \mu\text{g}/\text{kg body weight}/\text{day}$ ，此物質對於動物和人體仍有不良的健康影響。全球目前BPA的需求量每年高達400萬噸以上，而台灣的製造與使用量皆為全世界第三高。本研究旨在瞭解國內BPA相關作業場所勞工的暴露現況與健康風險，並作為危害控制之參考。

本研究選取4家作業工廠進行現場環境採樣與問卷收集，包括BPA作業、PVC保鮮膜與收縮膜工廠，共收集120組樣本，其中對照組為17人，暴露組為103人。以三層濾紙採樣器置於作業區域進行採樣，並利用HPLC/fluorescence detector進行分析。

結果指出，4家工廠僅A廠空氣中量測到高濃度的BPA，其餘3廠之濃度則均為N.D.。顯示作業工廠中只有A廠勞工為BPA的職業暴露族群，平均濃度為 $33.32 \pm 112.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，範圍介於 $0.01\text{-}652.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，至於其他三廠之勞工則應可排除職業暴露風險。此外，若單就A廠勞工的工作類別來看，儘管BPA暴露的非致癌健康風險危害指標小於1，但研究仍發現其現場作業區域環境空氣中的BPA濃度(平均濃度為 $52.81 \pm 138.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$)顯著高於其他區域(濃度範圍介於N.D.- $1.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。同時本研究也發現，A廠空氣中BPA濃度顯著高於過去其他研究結果。儘管目前我國並未訂定BPA作業環境容許濃度標準，但有鑑於BPA對人體的健康危害顯著，建議有關單位應盡速建立適當的容許濃度標準，以降低作業勞工的暴露危害與健康風險。

關鍵詞：雙酚A、個人暴露濃度、暴露評估、健康風險

民國102年7月29日投稿，民國102年10月31日修改，民國103年1月13日接受。

通訊作者：林志鴻，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，電子信箱：mimic2200@mail.iosh.gov.tw。

前言

雙酚A (bisphenol A ; 2,2-bis (4-hydroxyphenol) propane , BPA) , 又名丙二酚、二酚基丙烷, 分子量為228.29 g/mole, 化學結構式如圖1所示。

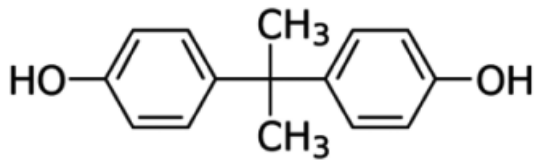


圖1 BPA化學結構式

工業上BPA主要用於生產各種高分子材料, 如聚碳酸酯(polycarbonate, PC)、環氧樹脂(epoxy resin)、聚芳酯(polyarylate, PAR)、酚醛樹脂(phenolic resin)、不飽和聚酯樹脂(unsaturated polyester resin)等, 廣泛用於聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)熱安定劑、橡膠抗氧化劑、阻燃劑、油漆油墨抗氧化劑、塑化劑、紫外線吸收劑、塗料、以及農藥等精細化工產品。2008年全球BPA產量達469萬噸, 2010年全球BPA需求量達500萬噸[1]。約有70%的BPA是用於製造聚碳酸酯, 25%是製造環氧樹脂, 其他類則佔5%。聚碳酸酯塑膠製品無色透明, 耐熱, 抗衝擊, 質量輕且具阻燃性, 因此, 用途相當廣泛, 日常生活使用之食品容器如嬰兒奶瓶、運動水瓶及餐具、碗、盤、杯子等, 多為其製品[2-6]。

1993年Krishnan等人[7]發現BPA是1種具雌激素作用之化學物質, 會與雌二醇(estradiol, E2)競爭雌激素受體(estrogen receptor, ER), 具有微弱的雌激素活性(activity), 且BPA與雌二醇對雌激素受體親和力之比值約為1:2,000, 因此會干擾體內正常雌激素的運作, 影響人類的內分泌系統, 並導致生殖、發育和行為異

常。許多研究也指出, 即使暴露劑量遠低於目前美國環保署認定的安全劑量(50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ body weight/day), BPA對於動物和人體仍會有不良的健康影響。眾多的動物實驗亦證實BPA會導致心臟病、糖尿病、前列腺癌和乳癌、肥胖、神經系統傷害、甲狀腺功能改變、行為改變、染色體異常、減少精蟲數目、性早熟等。

由於BPA等環境荷爾蒙物質日益受到重視, 且此物質亦為塑化劑的原料之一。因此, 世界各國(包括歐盟、美國、加拿大、日本與中國等)已開始針對一般民眾體內的BPA濃度進行調查, 同時也已開始評估職業暴露族群的健康風險。Rudel的研究指出, 在從事BPA塑膠製程的作業場所中, BPA濃度可能高達0.208 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 遠高於周界空氣濃度的500倍以上[8]。Li的研究也指出, 暴露於BPA的男性作業勞工比起未暴露的對照組, 其精蟲數量較低之機率高達4倍。同時, 精蟲的活動力較差之機率也達2倍以上[9]。美國的調查更發現, 體內BPA濃度與心臟病、糖尿病和肝功能異常等慢性病的風險有高度的正相關[10]。種種研究結果均顯示, 勞工暴露BPA的健康危害與風險是值得重視與關注的。我國在這方面的研究甚少, 尤其是針對國人日常生活與工業用途中大量使用且為全球主要生產地之一的保鮮膜(或收縮膜)工廠, 亦未有其作業勞工的相關暴露研究。然而, 此產業由於使用原料及作業環境等因素, 極可能會增加勞工BPA的暴露風險。因此, 本研究之目的在於調查PVC保鮮膜等相關工廠, 勞工作業場所BPA的暴露濃度, 同時配合問卷與時間活動模式之調查結果, 推估作業勞工的暴露劑量, 並利用健康風險模式, 全面性地瞭解作業勞工的健康風險, 以提供給相關單位作為日後訂定作業環境標準之參考。本研究之架構如圖2所示。

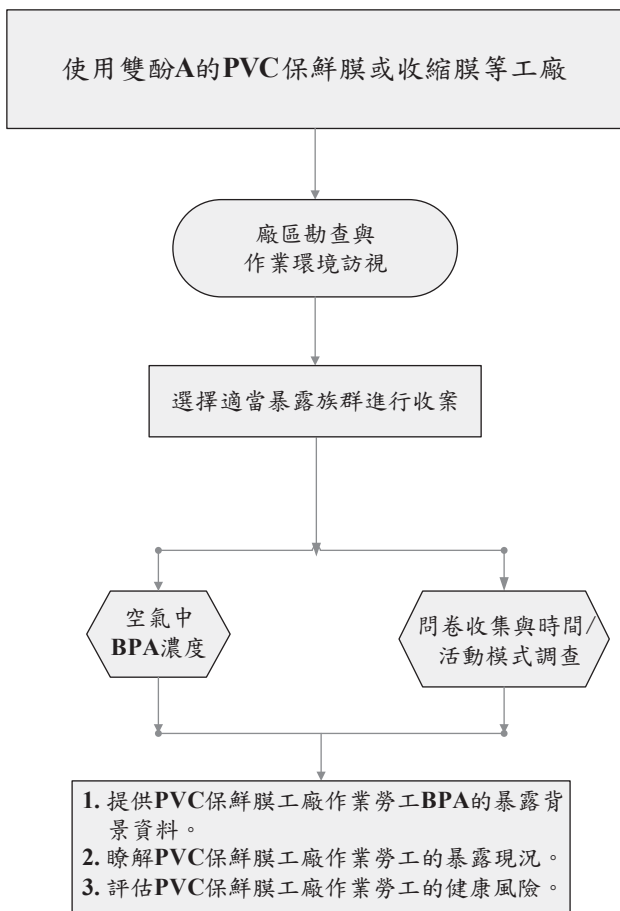


圖2 研究架構

研究方法

1. 採樣策略

本研究針對BPA作業工廠、PVC收縮膜及保鮮膜塑膠工廠之作業勞工，進行作業場所的空氣採樣、問卷訪視與時間活動模式調查，藉以評估其暴露現況及相關危害風險。本研究共收集120個空氣樣本，多數樣本是以勞工當日最長作業時間之區域為採樣點，僅有16位A廠作業勞工願意配合進行個人空氣樣本收集。至於問卷則共收集120份。

(1) 收案工廠簡介

A廠：為BPA作業工廠，該公司之BPA作

業工廠共有4條生產線。工廠內則依工作內容區分為成品包裝區、現場運作區、實驗品管區與行政辦公區，該廠相關業務人員約有50人。

B廠：B廠之公司員工人數45人，主要之經營項目包括PVC膠粒、PVC收縮管、PVC熱收縮袋以及PVC收縮膜之製造。目前，PVC收縮薄膜年生產量達到1500噸以上。該工廠依工作內容主要區分為混合區、製粒區、製造吹膜區、製袋區、分條區、成品區與行政辦公區。

C廠：C廠之公司營業項目主要包括包裝材料以及包裝機器之製造。總公司旗下有7個部門分別監管26個作業單位。本研究選取之工廠主要任務為塑膠製造，包括PVC收縮膜。該廠之製程區分為混合區、製粒區、拉膜區與行政辦公區。

D廠：D廠之公司主要產品有塑膠加工、塑膠原料、電子材料及聚酯纖維產品等4大類。PVC保鮮膜及收縮膜製程的工作內容和作業區可分為5區域，分別為混合製粒區、壓模區、製袋區、成品加工區及行政區。

(2) 研究對象勞工暴露之採樣

針對選定之研究對象，除了給予問卷填答外，並進行作業場所空氣採樣，以瞭解PVC保鮮膜工廠作業勞工的BPA暴露情形與健康風險評估。

A廠：針對白天班及小夜班兩個班的作業勞工進行空氣採樣（樣本之收集是以勞工當日所處的最長作業時間區域為採樣點）與問卷填答，勞工人數共計42人。

白天班採樣時間為：上午08:00～下午03:00，區域採樣之採樣點共20處。小夜班採樣時間為：下午03:00～晚上11:00，區域採樣之採樣點共22處。

此外，本研究亦於該廠徵得上述採樣區之作業勞工同意後，給予配戴個人採樣器進行個人空氣樣本收集，共收集16人，其中白天班6人，小夜班10人。

B廠：針對白天班、小夜班、大夜班三個班的勞工，進行作業區域空氣採樣及問卷填答，採樣點共計15點。

白天班採樣時間為：上午07:00～下午03:00，採樣點共11點。小夜班採樣時間為：下午03:00～晚上11:00，共2點。大夜班採樣時間為：晚上11:00～上午07:00，共2點。

C廠：針對白天班、小夜班、大夜班三個班的勞工，進行作業區域空氣採樣並同時收集問卷，採樣點共計27點。

白天班採樣時間為：上午08:00～下午04:00，採樣點共15點。小夜班採樣時間為：下午04:00～晚上12:00，共7點。大夜班採樣時間為：晚上12:00～上午08:00，共5點。

D廠：針對白天班、小夜班、大夜班三個班的勞工，進行作業區域空氣採樣並收集問卷，採樣點共計36點。

白天班採樣時間為：上午08:00～下午04:00，採樣點共16點。小夜班採樣時間為：下午04:00～晚上12:00，共10點。大夜班採樣時間為：晚上12:00～上午08:00，共10點。

2. 採樣方法

(1) 空氣樣本收集

本研究是針對已選取工廠的作業勞工，進行其作業範圍內之BPA環境空氣採樣。空氣中BPA之測定是參考美國OSHA P& CAM 333[11]與我國勞研所開發的BPA採樣分析方法[12]，將37 mm的玻璃纖維濾紙裝至於三層濾紙採樣器(3-piece filter cassette)內，並連接採樣幫浦(2.0 L/min)，進行總粉塵採樣。採樣後以錫箔紙包覆濾紙匣，並於當日運回實驗室，置於-20°C冷凍以備分析。

(2) 問卷調查

問卷之內容，主要包括個人基本資料、職業、相關暴露史、個人生活習慣（吸菸與喝酒狀況）、健康史、飲食習慣、藥物服用情形、時間活動調查等，以納入研究結果干擾因子之分析。研究族群於工作結束後，一併登錄受訪者之活動區域與時間比例、佩戴防護具的情形，作為估算及校正個人暴露量之參考。

3. 分析方法

(1) 空氣樣本前處理

將採樣後的玻璃纖維濾紙，面朝內折疊後置於4 mL棕色玻璃瓶，加入2 mL甲醇，以超音波震盪器震盪30分鐘進行脫附，再放入離心機內以3,000 rpm，離心5分鐘後，吸取1 mL上清液至分析瓶，以HPLC進行分析。

(2) HPLC的分析條件

將待測分析物之激發波長設定為275 nm，發射波長設為300nm。使用之分離管柱為Phenomenex，250x4.6mm，5 micron

管柱。詳細的分析條件如下：

- A. Column: Phenomenex, 250*4.6mm, 5 micron
- B. Mobile phase: 55% acetonitrile and 45% D.I. water
- C. Flow-rate: 1mL/min
- D. Fluorescence detector: excitation wavelength- 275 nm; emission wavelength- 300 nm
- E. Injection volume: 20 μ L

(3) QA與QC

A. BPA儲備溶液之配置

以五位數天平秤取BPA標準品0.100 mg，溶於少量甲醇中，均勻混合後，以甲醇定量至100 mL，製成濃度為1,000 μ g/mL標準儲備溶液，於4 $^{\circ}$ C冰箱保存備用。

B. 檢量線製作

以甲醇將BPA儲備標準溶液稀釋為1000、500、100、50、25、10 ng/mL系列標準溶液，進行HPLC分析。將此系列標準溶液濃度與所得之BPA面積值進行迴歸分析，得到檢量線 r^2 值必須在0.995以上。

C. 空白分析

將玻璃纖維濾紙依空氣樣本前處理方法處理後，作空白分析，結果發現其值皆低於偵測極限以下(N.D.)。

D. 脫附效率

將0.1 ppm、0.5 ppm及1.0 ppm的BPA標準品添加於玻璃纖維濾紙上，放入脫附劑中，以Vortex搖動60分鐘脫附後，得到其脫附效率分別為93.7%、78.4%及86.8%，平均之脫附效率高於75%以上。

E. 偵測極限

本研究BPA空氣方法之偵測極限為5.18 ng/mL，換算成空氣濃度(25 $^{\circ}$ C, 1 atm)為0.01 ng/m³。

4. 健康風險

本研究以測得之勞工個人空氣暴露濃度計算作業勞工於此工作環境下的健康風險。

BPA在國際癌症研究署(IARC)將其歸類為第三類致癌物，顯示其對動物及人體的致癌性仍未有充分證據。因此，本研究進一步以健康風險評估計算PVC保鮮膜之作業勞工的非致癌風險度，以了解其潛在危害程度。危害指數(Hazard index, HI)為暴露劑量與參考劑量之比值，當危害指數小於1時，則表示無明顯非致癌健康效應；若危害指數大於1，則表示可能會產生非致癌的健康效應。

$$HI = \frac{I}{R_D}$$

I = 暴露劑量(mg/kg/day)

R_D = 參考劑量(mg/kg/day)

參考US EPA, R_D為50 μ g/kg/day

在健康風險評估過程中，由於數據不足、呈非常態分布及有許多未知數存在，因此對於模式、參數除了應詳加說明其合理性外，可以利用蒙地卡羅模擬法進行不確定性分析。蒙地卡羅模擬是以抽樣機率為基礎，通常會結合暴露劑量分布與效應評估，為能滿足先前針對每一個參數所設定的變異特徵，蒙地卡羅模擬至少需要進行1,000次抽樣才能產生足夠樣本，以符合當初設定的分布型態與描述性統計值，因此經由蒙地卡羅模擬，以95%百分位數作為風險描述之估計值。

5. 統計分析

在不同廠區作業環境所捕集到之BPA濃度皆以算術平均數及其標準差計算。空氣樣本之濃度若低於偵測極限，則以1/2之偵測極限計算。以SPSS 15.0統計軟體進行統計分析與檢定。

結果

1. 研究對象基本資料描述

本研究於2012年針對BPA作業、PVC保鮮膜、及收縮膜等4家工廠進行研究，其中對照組有17位，暴露組有103位，合計總共有120位，平均年齡分別為 43.18 ± 10.10 與 43.65 ± 8.44 歲；身體質量指數BMI值分別為 $24.40 \pm 3.09 \text{ kg/m}^2$ 與 $24.85 \pm 3.52 \text{ kg/m}^2$ ；工作年資分別為 17.48 ± 10.51 年與 15.82 ± 7.96 年。使用Student's t test比較2組的年齡、BMI、工作年資，結果顯示對照組與暴露組之間皆沒有達統計上顯著差異。個人生活習慣方面，喝酒($p=0.012$)在2組有達統計上顯著差異，如表1所示，且研究也發現其暴露組在吸菸的比率較對照組高。

飲食習慣方面，有攝取瘦肉類在對照組為12人(70.6%)、暴露組為82人(79.6%)；有攝取肥肉類在對照組為8人(47.1%)、暴露組為51人(49.5%)；有攝取海水魚類在對照組為14人(82.4%)、暴露組為67人(65.0%)；有攝取淡水魚類在對照組為12人(70.6%)、暴露組為63人(61.2%)；有攝取蝦蟹貝類在對照組為10人(58.8%)、暴露組為54人(52.4%)；有攝取蛋類在對照組為13人(76.5%)、暴露組為80人(77.7%)；有攝取牛奶類在對照組為11人(64.7%)、暴露組為55人(53.4%)；有攝取乳製

品類在對照組為9人(52.9%)、暴露組為45人(43.7%)；有攝取動物內臟類在對照組為8人(47.1%)、暴露組為38人(36.9%)，以Chi-square test和Fisher's Exact test比較對照組與暴露組飲食習慣，以上結果皆顯示沒有達統計上顯著差異，因此，對照組與暴露組飲食習慣是沒有不同的，詳列於表2。

表1 研究對象人口學特性描述

變項	對照組	暴露組	總人數	p-value
	n=17	n=103	n=120	
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	
年齡(歲) ^a	43.18 ± 10.10	43.65 ± 8.44	43.58 ± 8.65	0.839
BMI(kg/m ²) ^a	24.40 ± 3.09	24.85 ± 3.52	24.78 ± 3.45	0.591
工作年資(年) ^a	17.48 ± 10.51	15.82 ± 7.96	16.06 ± 8.34	0.542
	n(%)	n(%)	n(%)	
性別 ^b				
男	14 (82.4%)	100 (97.1%)	114 (95.0%)	0.037*
女	3 (17.6%)	3 (2.9%)	6 (5.0%)	
戴手套 ^c				
否	11 (64.7%)	37 (35.9%)	48 (40%)	0.225
是	6 (35.3%)	66 (64.1%)	72 (60%)	
使用呼吸防護具 ^b				
否	15 (88.2%)	59 (57.3%)	74 (61.7%)	0.017*
是	2 (11.8%)	43 (41.7%)	45 (37.5%)	
吸菸 ^c				
否	13 (76.5%)	54 (52.4%)	67 (55.8%)	0.064
是	4 (23.5%)	49 (47.6%)	53 (44.2%)	
嚼檳榔 ^b				
否	17 (100%)	98 (95.1%)	115 (95.8%)	1
是	0 (0%)	5 (4.9%)	5 (4.2%)	
喝酒 ^b				
否	17 (100%)	75 (72.8%)	92 (76.7%)	0.012*
是	0 (0%)	28 (27.2%)	28 (23.3%)	

^a 以Student's t test比較分析所得之p-value

^b 以Chi-square test比較分析所得之p-value

^c 以Fisher's Exact test比較分析所得之p-value

* $p < 0.05$

表2 研究對象飲食習慣

變項	對照組 n=17 (14.2%)	暴露組 n=103 (85.8%)	總人數 n=120 (100%)	p-value
瘦肉類攝取 ^a				
否	5 (29.4%)	20 (19.4%)	25 (20.8%)	0.349
是	12 (70.6%)	82 (79.6%)	94 (78.3%)	
肥肉類攝取 ^b				
否	9 (52.9%)	51 (49.5%)	60 (50.0%)	0.822
是	8 (47.1%)	51 (49.5%)	59 (49.2%)	
海水魚類攝取 ^b				
否	3 (17.6%)	35 (34.0%)	38 (31.7%)	0.172
是	14 (82.4%)	67 (65.0%)	81 (67.5%)	
淡水魚類攝取 ^b				
否	5 (29.4%)	39 (37.9%)	44 (36.7%)	0.485
是	12 (70.6%)	63 (61.2%)	75 (62.5%)	
蝦蟹貝類攝取 ^b				
否	7 (41.2%)	48 (46.6%)	55 (45.8%)	0.652
是	10 (58.8%)	54 (52.4%)	64 (53.3%)	
蛋類攝取 ^a				
否	4 (23.5%)	22 (21.4%)	26 (21.7%)	0.856
是	13 (76.5%)	80 (77.7%)	93 (77.5%)	
牛奶類攝取 ^b				
否	6 (35.3%)	47 (45.6%)	53 (44.2%)	0.408
是	11 (64.7%)	55 (53.4%)	66 (55.0%)	
乳製品類攝取 ^b				
否	8 (47.1%)	57 (55.3%)	65 (54.2%)	0.499
是	9 (52.9%)	45 (43.7%)	54 (45.0%)	
動物內臟類取 ^b				
否	9 (52.9%)	64 (62.1%)	73 (60.8%)	0.442
是	8 (47.1%)	38 (36.9%)	46 (38.3%)	

^a 以Fisher's Exact test比較分析所得之p-value

^b 以Chi-square test比較分析所得之p-value

2. BPA工廠空氣中BPA濃度

(1) 研究對象工廠環境空氣中BPA濃度

本研究分析結果發現，除A廠外，B、C以及D廠之BPA測定濃度在混和區、製粒區、抽膜區、分條區與行政辦公區均低於偵測極限(0.01 ng/m³)。至於A廠，本研究在現場作業區、行政區、實驗室以及盤控室共收集35個空氣樣本，各作業現場空氣中BPA濃度分布詳見圖3。其

中，混合區、製粒區與成品區統稱為現場作業區，空氣樣本數共計22個，根據圖3顯示，現場作業區空氣中BPA濃度變異相當大，平均濃度達52.81 ± 138.80 μg/m³，中位數為7.04 μg/m³。其中，行政區 (n=4) 之平均濃度為0.51 μg/m³、實驗室 (n=6) 為0.26 μg/m³，盤控室 (n=3) 為0.25 μg/m³，3個部門之間空氣中BPA濃度差距不大，現場作業區空氣中BPA濃度則顯著高於其他三區 (p = 0.003)，詳見表3。

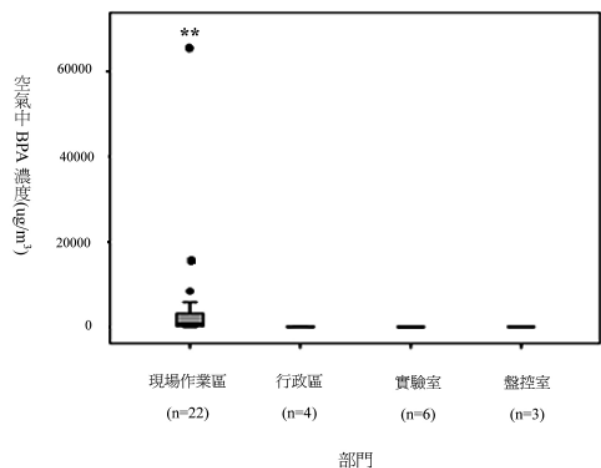


圖3 A廠各部門空氣中的BPA濃度 (** p < 0.01)

表3 各部門空氣樣本中BPA濃度比較

部門	n	平均值±標準差	中位數	最小值-最大值	p-value
現場作業區	22	52.81 ± 138.80	7.04	0.01-652.02	0.003**
行政區	4	0.51 ± 0.85	0.11	0.02-1.78	
實驗室	6	0.26 ± 0.35	0.07	N.D.-0.72	
盤控室	3	0.25 ± 0.20	0.30	0.03-0.41	
總和	35	33.32 ± 112.08	1.50	N.D.-652.02	

^a 各部門空氣中BPA濃度以Kruskal-Wallis test比較分析所得之p值
** p < 0.01

(2) A廠勞工個人空氣中BPA濃度

在A廠，有16位勞工身上配戴個人採樣器以測定個人作業環境空氣中BPA之暴露情形 (表4)，其平均濃度為12.18 μg/

m³，中位數為1.99 μg/m³，最小值與最大值分別為0.04和81.97 μg/m³。

表4 A廠勞工個人空氣採樣結果

單位: μg/m ³			
n	平均值±標準差	中位數	最小值-最大值
16	12.18±24.14	1.99	0.04-81.97

3. 勞工BPA暴露之健康風險評估

(1) 利用勞工經由空氣中BPA暴露濃度推估暴露之健康風險

將有限的空氣中BPA採樣濃度，透過蒙地卡羅模擬法，得到其濃度分布，再推算出勞工第95百分位數（風險上限）之暴露濃度為52.18 μg/m³，與德國之BPA標準-TLV=10 mg/m³相比，得到危害指數小於1，無明顯之非致癌健康效應，如圖4。

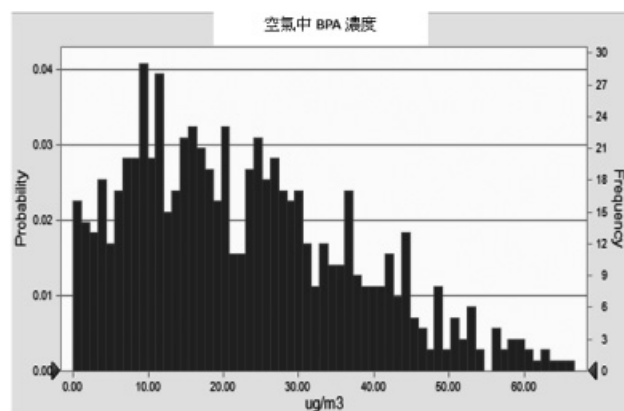


圖4 A廠勞工經由空氣中BPA暴露濃度推估之健康風險 (n=22)

(2) 利用勞工工作8小時，經由呼吸道吸入環境空氣中BPA總量推估暴露之健康風險

假設經由呼吸道吸入之BPA 100%被吸收，再參考國民健康局國人的暴露參數資料-呼吸速率以12.7 m³/day計，將A廠接

受個人採樣勞工的空氣中BPA暴露濃度換算成勞工每公斤體重每日工作所暴露之劑量，最後經由蒙地卡羅模擬法，推算出勞工第95百分位之8小時工作暴露劑量為3.22 μg/kg/day。若與一般民眾之參考劑量-50 μg/kg/day相比，危害指數小於1，亦無明顯之非致癌健康效應，如圖5。

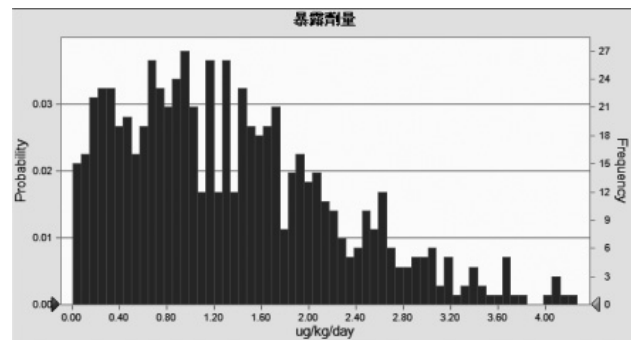


圖5 由呼吸道吸入作業環境空氣中之BPA總量評估工作暴露的健康風險 (n=22)

討論

1. 研究對象工廠勞工暴露BPA之情形

本研究結果顯示，4家工廠中僅A廠之環境空氣與個人空氣採樣測得BPA，平均濃度分別為33.32 ± 112.08 μg/m³與12.18 ± 24.14 μg/m³，而B、C、D廠空氣中BPA濃度均低於偵測極限(0.01 ng/m³)。顯然，4家工廠中只有A廠勞工經每日風險暴露量推估為BPA的職業暴露族群，B、C、D廠則非BPA之職業暴露族群。其中A廠維修人員暴露濃度高（如表3所示），主要是由於A廠管線易阻塞，勞工在高溫下進行維修的過程中，粉塵瞬間大量噴出，除了造成空氣中BPA濃度上升而吸入之外，亦可能經由勞工飲食、吸菸途徑進入體內。同時研究也發現，由於A廠與BPA作業有高度相關，而B、

C、D廠則是PVC保鮮膜或收縮膜製造工廠，進而導致A廠與其他3廠之製程及產品均不相同，使得採樣結果有顯著的差異。

本研究針對A廠現場作業勞工有無配戴呼吸防護具進行分析，結果發現有顯著差異(表1)，顯示勞工若有配戴防護具應能降低BPA的暴露。但根據現場訪視發現，勞工不是未配戴，就是配戴不適合或密合度差之吸呼防護具，且因廠區內粉塵暴露明顯，故發現A廠暴露組勞工與行政人員均有較高的BPA暴露，因此，A廠有必要在製程或工程控制部分進行改善，例如有效的局部排氣，並同時要求勞工配戴密合度高的呼吸防護具，故能有效降低勞工BPA之暴露。

根據歐盟資料顯示[13]，BPA在PVC工業中有許多主要用途包括：(1)在PVC生產的聚合階段中當作抑制劑或終結物質(killing agent)；(2)在PVC加工製程中作為抗氧化劑(anti-oxidant)；(3)提供配料廠使用作為PVC添加劑配方(additive package)之原料，可當成PVC加工製程中類似BPA之抗氧化劑；(4)作為在PVC生產過程所需塑化劑(plasticiser)的抗氧化劑。而國外之研究報導均表示PVC保鮮膜之製造為BPA的用途之一，且可於保鮮膜產品中測得BPA [7]。然而，根據本研究之結果顯示，在台灣，PVC保鮮膜或是收縮膜之製程可能未添加BPA，為本研究之重要發現，因此，PVC保鮮膜或是收縮膜製造作業勞工毋須過度擔心BPA之職業暴露。

2. 與國外文獻比較BPA之職業暴露

He曾調查中國4間環氧樹脂製造工廠與2間BPA製造工廠作業勞工之BPA暴露情形，研究發現環氧樹脂製造廠之勞工，工作日時量得之平均濃度為 $492 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (中位數 $7.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，BPA

製造廠勞工則為 $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (中位數 $4.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$) [14]。

Li亦於中國針對一間BPA生產工廠與3間環氧樹脂的製造工廠進行作業勞工BPA之暴露評估，研究發現，工作期間作業區域空氣中BPA平均暴露濃度以材料包裝組勞工為最高，幾何平均濃度達 $15.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，顯著高於工廠其他作業勞工，如物料調配或裝填之勞工 [15]。

在本研究僅A廠作業場所中有測得BPA，其中以現場作業區之濃度最高，平均值為 $52.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，中位數為 $7.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，略高於中國的2項研究結果。顯示，A廠勞工的健康危害與風險值得重視。

結論

本研究在2012年針對BPA作業工廠、PVC收縮膜及保鮮膜塑膠等4家工廠之作業勞工進行作業場所空氣採樣，同時進行問卷訪視與時間活動模式調查，以評估作業場所勞工暴露現況及其相關危害風險。

4家工廠，僅A廠空氣中量測到高濃度的BPA，其餘3廠之濃度則均為N.D.。若單就A廠勞工的工作類別來看，可發現現場作業區域空氣中BPA的濃度範圍介於 $0.01 \sim 652.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，平均濃度為 $52.81 \pm 138.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，顯著高於其他區域(濃度範圍介於N.D.~ $1.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。此外，本研究推估A廠暴露組勞工BPA暴露之健康風險，其危害指數均小於1，並無明顯之非致癌健康效應。不過，研究卻也發現A場作業勞工的暴露量顯著高於一般民眾與國內外等相關文獻的調查。因此，A廠作業勞工BPA的暴露風險值得關注。

有鑑於A廠作業勞工有高濃度的BPA暴露，本研究認為有效降低勞工之暴露方法，包括：1.個人方面-勞工需配戴有效的呼吸防護

具，如防塵口罩，並且避免洩漏（尤其是維修人員）、不在廠區內飲食與吸菸、養成良好衛生習慣，吃東西前一定要使用清潔劑洗手，如肥皂；2.廠務衛生管理方面，應在粉塵產生區加裝有效之局部排氣裝置，並且定期以濕式清潔方式進行作業環境區域整潔，以避免揚塵。至於在防制BPA的健康危害方面，則可向醫療單位進行諮詢，此外，勞工平時即應注重均衡營養、適度運動、戒菸、戒檳榔、紓解壓力等，均有助於減少慢性疾病，甚至是職業病發生的機率。本研究之結果亦可提供給相關單位參考，以作為日後訂定相關作業環境標準之依據。

結論

本研究由行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所101年度研究計畫(101-A321)經費支持，僅此敬表謝忱

參考文獻

- [1] Huang YQ, Wong CKC, Zheng JS, Bouwman H, Barra R, Wahlström B, et al. Bisphenol A (BPA) in China: A review of sources, environmental levels, and potential human health impacts. *Environment International* 2012; 42: 91-9.
- [2] Brotons JA, Olea-Serrano MF, Villalobos M, Pedraza V, Olea N. Xenoestrogens released from lacquer coatings in food cans. *Environmental Health Perspectives* 1995;103: 608-12.
- [3] Brede C, Fjeldal P, Skjevrak I, Herikstad H. Increased migration levels of bisphenol A from polycarbonate baby bottles after dishwashing, boiling and brushing. *Food Additives & Contaminants* 2003; 20: 684-9.
- [4] Olea N, Pulgar R, Perez P, Olea-Serrano F, Rivas A, Novillo-Fertrell A, et al. Estrogenicity of resin-based composites and sealants used in dentistry. *Environmental Health Perspectives* 1996; 104: 298-305.
- [5] Nerin C, Fernandez C, Domeno C, Salafranca J. Determination of potential migrants in polycarbonate containers used for microwave ovens by high performance liquid chromatography with ultraviolet and fluorescence detection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2003; 51: 5647-53.
- [6] LC J, PL P. Determination of bisphenol A in, and its migration from, PVC stretch film used for food packaging. *Food Additives and Contaminants* 2003; 20: 596-606.
- [7] Krishnan AV, Stathis P, Permuth SF, Tokes L, Feldman D. Bisphenol-A: an estrogenic substance is released from polycarbonate flasks during autoclaving. *Endocrinology* 1993; 132: 2279-86.
- [8] Rudel RA, Brody JB, Spengler JD, Vallarino J, Geno PW, Sun G, et al. Identification of selected hormonally active agents and animal mammary carcinogens in commercial and residential air and dust samples. *Journal of the Air&Waste Management Association* 2001; 51: 499-513.
- [9] Li DK, Zhou Z, Miao M, He Y, Wang JT, Ferber J. Urine bisphenol-A (BPA) level in relation to semen quality. *Fertility and Sterility* 2011; 95: 625-30.
- [10] Lang IA, Galloway TS, Scarlett A, HenleyWE,

- Depledge M, Wallace RB, et al. Association of urinary bisphenol A concentration with medical disorders and laboratory abnormalities in adults. *Journal of the American Medical Association* 2008; 300: 1303-10.
- [11] OSHA(Occupational Safety and Health Administration). Bisphenol A and Diglycidyl ether of Bisphenol A measurement support branch analytical method. *P and CAM* 1980;333: 1-6.
- [12] 楊文都、吳幸娟：聚碳酸脂製造廠空氣中雙酚A粒徑分佈採樣分析及呼吸區域暴露量推估工作。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，2011。
- [13] European Chemicals Bureau. European Union Risk Assessment Report- bisphenol-A risk assessment. 2003.
- [14] He Y, Miao M, Wu C, Yuan W, Gao E, Zhou Z, et al. Occupational Exposure Levels of Bisphenol A among Chinese Workers. *Journal of Occupational Health* 2009; 51: 432-36.
- [15] Li DK, Zhou Z, Qing D, He Y, Wu T, Miao M, et al. Occupational exposure to bisphenol-A (BPA) and the risk of Self-Reported Male Sexual Dysfunction. *Human Reproduction* 2010; 25 : 519-27.

Research Articles

Characteristics of Bisphenol A Exposure for Workers in Workplaces

Mei-Lien Chen¹ Yi-Ting Hsu¹ I-Fang Mao² Yi-Ju Chen¹
Yi-Han Yu¹ Lien-Hsiung Lee³ Chih-Hung Lin³

¹ Institute of Environmental and Occupational Health Sciences, College of
Medicine, National Yang-Ming University

² Department of Occupational Safety & Health and Graduate Program,
Chung-Shan Medical University

³ Institute of Occupational Safety and Health, Council of Labor Affairs,
Executive Yuan

Abstract

Bisphenol A (BPA) has been demonstrated to be both estrogenic and anti-androgenic, leading to a decrease in sperm production in humans and abnormal development of puberty in experimental animals. It may also increase carcinogenic risk, prevalence of cardiovascular diseases and diabetes in humans. As the production and consumption of BPA is growing dramatically around the world, more and more workers expose to BPA in workplace. Given the potential adverse effects of BPA on human health, it is necessary to assess the occupational exposure levels of workers and establish exposure limits to protect them. The purposes of this study are to determine the ambient BPA levels for workers in PVC film manufacturing industry and to evaluate the workers' health risk.

Four plants were chosen as sampling sites, and 120 workers were invited to participate in the study. A structured questionnaire was distributed to collect demographic and exposure data. All workers were divided into BPA-exposure group and control group, containing 103 and 17 workers respectively. Air samples were collected by using 3-piece filter cassettes, which loaded glass-fiber fibers. BPA were measured by means of HPLC with fluorescence detector. The results showed that the possibility of exposing BPA occupationally could be excluded in PVC film plants (B, C, and D)

Accepted 13 January, 2014

Correspondence to: Chih-Hung Lin, Institute of Occupational Safety and Health, Council of Labor Affairs, Executive Yuan,
E-mail: mimic2200@mail.iosh.gov.tw

in this study. Nevertheless, we also found that the workers in plant A exposed high level of BPA. The mean concentration in operation area was $52.81 \pm 138.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, with concentrations ranging from 0.01 to $652.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, while the levels of other areas were N.D.- $1.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Furthermore, the BPA concentrations in plant A were also much higher than those in previous studies. We recommend that occupational permissible exposure limit and effective prevention measures should be established to protect the health of workers.

Keywords: Bisphenol A, Personal exposure level, Exposure assessment, Health risk