

民俗活動期間社區大氣懸浮微粒濃度變化 —以嘉義縣朴子市為例

黃淑倫^{1,2,3*} 陳玟諭¹

- 1 長庚科技大學嘉義分部護理學系
- 2 長庚科技大學慢性疾病暨健康促進中心
- 3 長庚紀念醫院嘉義分院胸腔腫瘤科

(中華民國 109 年 4 月 14 日收稿；中華民國 109 年 10 月 15 日定稿)

摘 要

民俗活動期間拜香、燃燒金紙與鞭炮，可能影響大氣懸浮微粒 (particulate matters, PM) 濃度。本研究探討民俗活動期間社區大氣 PM 濃度變化。以嘉義縣朴子市為研究地區，分析環保署空氣品質監測網(朴子測站)懸浮微粒濃度及氣象因子資料(氣溫、相對濕度、風速)。以描述性統計(平均值、中位數、四分位數與標準差)及單因子變異數分析了解「天上聖母聖誕」、「虎爺聖誕」活動期間社區大氣 PM 濃度及氣象資料變化趨勢。以廣義估計方程式(Generalized Estimating Equation, GEE)，分析民俗活動時間及氣象因子對 PM 濃度的影響。結果顯示「天上聖母聖誕」與「虎爺聖誕」活動當日社區大氣 PM_{2.5}(粒徑 2.5 微米以下)濃度最高分別為 38.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 11.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；PM₁₀(粒徑 10 微米以下)濃度最高分別為 86.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 42.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。民俗活動舉辦時間(月份)不同、大氣條件不

* 通訊作者：黃淑倫，長庚科技大學嘉義分部護理系，slhuang@mail.cgust.edu.tw
Tel:(05)362-8800 ext 2506

同，影響社區大氣 PM 的因子可能有所差異。相對濕度對社區大氣 PM 濃度的影響較為明顯；風速則僅對 PM_{10} 有顯著影響。探討民俗活動期間社區大氣 PM 濃度變化應考量大氣條件的影響。研究成果可提供政府相關單位瞭解民俗活動期間社區大氣 PM 濃度變化並重視氣象因子的影響，教育民眾參與民俗活動應做好個人健康管理。

關鍵字：懸浮微粒、民俗活動、氣象因子

一、前言

世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 所屬國際癌症研究署 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 在 2013 年發表的「室外空氣污染導致癌症」報告指出，「室外空氣污染物 (含懸浮微粒)」納入「人類致癌物第一類(Group 1)」，空氣污染是全球性的公共衛生危機(IARC 2013)。細懸浮微粒(粒徑小於或等於 2.5 微米) (fine particulate matters, PM_{2.5}) 容易透過呼吸氣流直接穿透肺泡進入血液循環系統中，對健康造成更大威脅，成為全球關注的環境焦點議題(辜美安、蔡坤維、林詩淳 2017)。長期暴露於 PM_{2.5} 環境中，可能引發心血管疾病、呼吸道疾病以及增加肺癌的危險。老年人、兒童、孕婦、肥胖者、心血管疾病患者、慢性呼吸道疾病患者、糖尿病患者皆是易受 PM_{2.5} 影響之

危險族群 (Hwang et al. 2016、2017、2020; 辜美安、蔡坤維、林詩淳 2017)。國內研究發現，大氣 PM_{2.5} 的暴露對人體健康會產生危害，包括高血壓、心肺疾病、呼吸系統疾病、第二型糖尿病、卵巢癌與系統性自體免疫疾病，並增加住院率及總死亡風險 (王建楠、李璧伊 2017；辜美安、蔡坤維、林詩淳 2017)。

台灣因城鄉差異、南北部氣候與地形特徵造成細懸浮微粒濃度呈現高度的地理性差異；中南部 PM_{2.5} 濃度高於北部及東部。台灣西部地區因地勢平坦，人口密集，多數經濟活動(如工業區及工廠)集中於此，造成西部地區 PM_{2.5} 濃度高於其它地區 (Hwang et al. 2017)。根據行政院環保署 2018 年的空品監測報告顯示，2018 年 PM_{2.5} 年平均濃度為 17.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，仍未達空品標準(年平均值為 15

$\mu\text{g}/\text{m}^3$)，是世界衛生組織標準值的 1.75 倍(年平均值為 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。以雲嘉南空品區年平均濃度 $23.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 最高，其次依序為高屏空品區($22.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、中部空品區($20.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、竹苗空品區($19.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、北部空品區($15.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、宜蘭空品區($11.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，花東空品區 $7.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 最低(環保署 2018a)。國內研究發現 $\text{PM}_{2.5}$ 對健康效應存在區域性及季節差異的現象。計算 2008-2015 年台灣地區各縣市可歸因於 $\text{PM}_{2.5}$ 之疾病死亡負擔，結果顯示可歸因於 $\text{PM}_{2.5}$ 之疾病死亡負擔在不同縣市之間有明顯差異，中部及西南部有較高相關疾病死亡人數可歸因於 $\text{PM}_{2.5}$ 的暴露(Hwang et al. 2020)。分析全民健康保險研究資料庫發現， $\text{PM}_{2.5}$ 濃度對於呼吸系統疾病住院率、急診就醫率的影響具有延遲效應，嘉

南地區 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度每增加 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，COPD 住院率風險增加 25% (春天，2 月至 4 月) 與 24% (冬天，10 月至隔年 1 月)，急性惡化慢性阻塞性肺病 (acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease, AECOPD) 急診就醫風險增加 5% (熱季，5 月到 10 月)，氣喘及肺炎急診就醫風險均增加 15% (冷季，11 月到隔年 4 月)；對於高屏空品區的民眾，急診就醫風險分別增加 23% (AECOPD)、7% (氣喘) 與 7% (肺炎)(Hwang et al. 2016、2017)。

亞州地區研究顯示民俗活動期間因燃放煙火及炮竹可能產生過量懸浮微粒(PM) (Song et al., 2017; Lai et al., 2015)。台灣因文化與宗教信仰因素，每年各地會舉辦特定具地方特色的民俗活動，大甲媽祖遶境進香活動是台灣最具規模的大型宗教活動，更躍上國際版面，被推薦為世界上值得

參與的年度新鮮事。研究發現臺中大甲媽祖遶境活動過程產生之PM_{2.5}濃度最高可達 2,307 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (賴溫狠 2017)。中央研究院研究發現廟內 PM₁₀ (粒徑小於或等於 10 微米)及PM_{2.5}的濃度遠超出居家環境的 5-16 倍，且高於當時廟外環境的 4-5 倍；特殊宗教節日(農曆初一、十五)PM₁₀ 及 PM_{2.5}瞬時濃度分別比平日約高出 230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及 153 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (高玫鍾、龍世俊 2000a、2000b)。參與鹽水蜂炮與大甲媽祖活動民眾的暴露健康危害評估，發現民俗活動過程中會使環境懸浮微粒濃度增高，增加大氣中重金屬濃度，但不致於產生立即性的急性健康風險(戴郁涵 2014)

環保署於民國 106 年通過「空氣污染防治策略」，首次將「民俗活動」列入改善空污的策略。在臺灣，隨著環保意識抬頭，「民俗空氣污染」(民俗空污)議題逐漸被

重視。許多寺廟及民眾開始自發性降低紙錢焚燒量，或配合環保單位推動「紙錢集中焚燒」、「以功德金」及「環保金爐」等方式降低環境負擔。遠見雜誌進行全臺民眾空污認知調查，結果顯示，59.1% 民眾認為台灣空氣污染來自「工業污染」、其次是「交通工具排放廢氣」(58.3%)，第三是「境外污染」(30.8%)。值得注意的是，僅 7% 的受訪者認為「社區污染」[例如宮廟(燒香)、餐飲業(油煙)及建築工地(揚塵)] 是主要污染源，實際上這些隱藏在社區裡的 PM_{2.5} 污染源因更貼近民眾生活環境，可能對健康造成更直接的威脅 (遠見雜誌 2016)。

民俗活動是台灣重要的文化，活動舉辦期間焚燒金紙與鞭炮及煙火的燃放對當地社區環境 PM 濃度的影響是值得關注且探討的議題。朴子市宗教信仰興盛並擁

有百年的媽祖古廟，保有具地方特色之民俗活動。民俗活動對大氣 PM 濃度造成的影響為短期效應，國內已發表之民俗空污研究主要探討活動過程中產生 PM 的化學組成與粒徑分佈特性，較少納入氣象因子進行探討。因此本研究以嘉義縣朴子市為研究地區，探討民俗活動不同期間及氣象因子對社區大氣 PM 濃度的影響，研究成果可提供政府相關單位瞭解民俗活動期間社區大氣 PM 濃度變化，期望藉此提升民眾環保意識及教育民眾參與民俗活動應做好個人健康管理。

二、研究方法

2.1 研究地區

嘉義縣位處臺灣西南部嘉南平原地區，縣內廟宇活動興盛，寺廟比例高達 90.3%，香煙繚繞的百年寺廟古蹟與歷史悠久之傳統宗

教活動的舉辦，極具重要的文化教育意義，更是吸引國內外遊客信徒前來觀光朝聖的重要因素(行政院內政部 2017)。位於縣內西部的朴子市，是一因信奉媽祖而興盛的地區，位處市街內的配天宮為三級古蹟，該市著名的宗教祭祀慶典，主要有每年遵循古禮且定期舉辦的「天上聖母」聖誕與「虎爺」聖誕之遶境活動等。

本研究以嘉義縣朴子市為研究地區，探討民俗活動過程中拜香、金紙與鞭炮的燃放對大氣懸浮微粒濃度的影響。朴子市位處臺灣嘉義縣西部，是嘉義海線各鄉鎮的交通、經濟、文化、教育、醫療中心。人口數約 42,112 人(中華民國內政部戶政司 2018)，是一個信奉媽祖而興盛的小鎮。本研究分析朴子市重要例行性民俗活動「天上聖母聖誕」(國曆四月 19 日)與「虎爺聖誕」(國曆六月 29

日)，探討活動期間社區大氣懸浮微粒濃度的變化。研究區域如圖 1 所示。

2.2 懸浮微粒濃度與氣象因子資料來源

蒐集、整理與分析 2017 年 4 月 14-24 日(天上聖母聖誕)、6 月 24 日至 7 月 4 日(虎爺聖誕)行政院環保署空氣品質監測站-嘉義縣朴子測站 (地址：嘉義縣朴子市公所，嘉義縣朴子市光復路 34 號)，PM (PM_{2.5}、PM₁₀)濃度與氣象因子(氣溫、相對濕度、風速)資料。分析活動當日、活動日前(1-5 天)及活動結束後(1-5 天)(共計 11 天)，社區大氣 PM_{2.5}、PM₁₀濃度、氣溫、相對濕度(relative humidity, RH)及風速資料。

2.3 資料分析方法

環保署監測站之數據資料以 SPSS for Windows 20.0 版統計套裝軟體進行資料建檔與分析。以平

均值、中位數、四分位數與標準差進行嘉義縣朴子市區民俗活動過程社區大氣 PM (PM_{2.5}、PM₁₀)及氣象資料(氣溫、相對濕度、風速)之描述性資料分析。以單因子變異數分析(One-Way ANOVA)比較活動當日、活動日前(1-5 天)及活動結束後(1-5 天)社區大氣 PM、氣溫、相對濕度及風速差異性。進一步以廣義估計方程式 (Generalized Estimating Equation, GEE)，探討不同民俗活動期間、氣象因子對社區大氣 PM 濃度之影響。

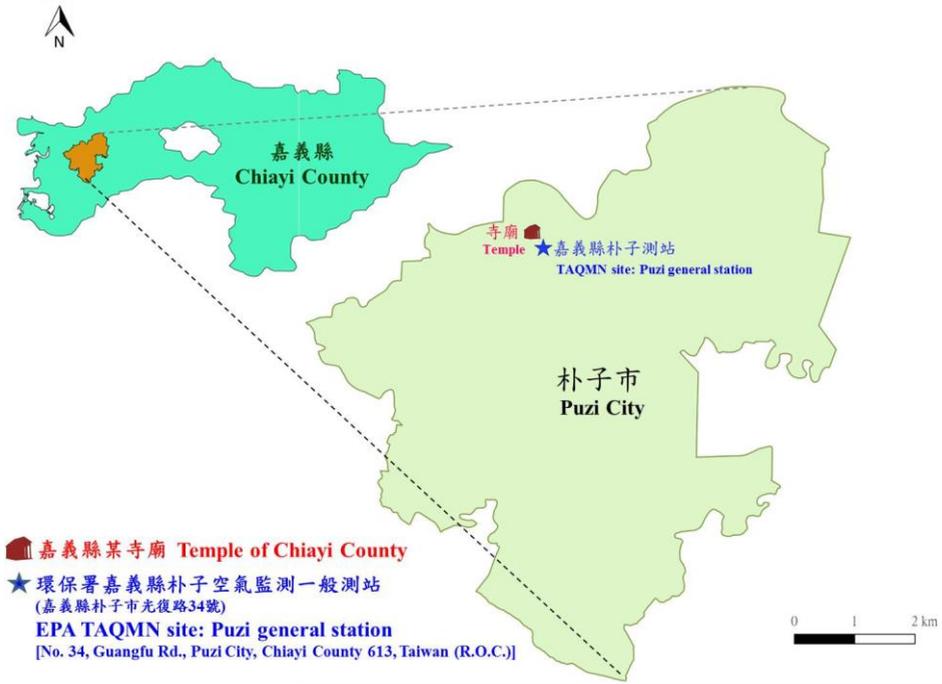


圖 1 研究區域圖

表 1 朴子市「天上聖母聖誕」及「虎爺聖誕」活動期間社區大氣 PM 濃度與氣象因子(氣溫、相對濕度、風速)之描述性統計資料

活動名稱	日期	PM _{2.5} (µg/m ³)			PM ₁₀ (µg/m ³)			氣溫 (°C)			相對濕度 (%)			風速 (m/s)			
		M ± SD	Min	Max	M ± SD	Min	Max	M ± SD	Min	Max	M ± SD	Min	Max	M ± SD	Min	Max	
	2017/4/14	37.50±16.56	8.00	57.00	77.96±9.80	62.00	89.00	24.58±3.03	21.00	30.00	81.21±13.83	57.00	96.00	0.82±0.32	0.40	1.70	
	2017/4/15	30.67±11.48	8.00	47.00	65.00±15.35	39.00	95.00	26.79±3.06	23.00	31.00	77.00±14.88	52.00	95.00	0.90±0.52	0.10	2.30	
	2017/4/16	32.08±13.08	8.00	58.00	69.79±14.22	48.00	98.00	27.83±2.32	25.00	32.00	76.38±12.28	56.00	90.00	1.06±0.66	0.50	2.60	
	2017/4/17	23.00±11.64	4.00	41.00	60.58±25.35	29.00	112.00	28.67±2.88	25.00	33.00	77.33±15.20	53.00	94.00	1.92±1.13	0.50	4.20	
	2017/4/18	18.50±13.72	2.00	46.00	49.75±26.16	22.00	103.00	28.00±1.67	26.00	31.00	80.75±10.53	64.00	93.00	2.26±0.84	0.60	3.50	
「天上聖母聖誕」 (4月)	2017/4/19 活動當日	38.22±10.66	18.00	56.00	86.52±20.19	54.00	121.00	28.71±2.29	26.00	32.00	80.00±11.53	64.00	94.00	2.29±1.36	0.50	4.50	
	2017/4/20	17.08±7.48	4.00	32.00	44.29±11.61	26.00	65.00	27.67±2.10	25.00	31.00	80.04±12.33	63.00	98.00	1.56±0.54	0.70	2.50	
	2017/4/21	7.52±3.20	4.00	13.00	33.65±5.09	25.00	44.00	28.00±2.25	25.00	32.00	76.46±11.64	53.00	93.00	2.03±1.06	0.30	3.90	
	2017/4/22	11.08±4.18	5.00	20.00	37.38±7.05	25.00	50.00	21.54±1.72	19.00	24.00	82.33±12.74	63.00	97.00	1.03±0.42	0.30	1.70	
	2017/4/23	24.46±4.95	15.00	33.00	63.38±10.00	44.00	79.00	22.79±2.45	19.00	27.00	79.04±11.44	59.00	93.00	0.99±0.54	0.30	2.20	
	2017/4/24	34.33±8.86	20.00	61.00	77.21±11.90	60.00	116.00	24.96±2.37	22.00	29.00	75.92±13.23	55.00	92.00	0.72±0.25	0.10	1.20	
	活動期間^a	24.95±10.53	7.52	38.22	60.50±17.35	33.65	86.52	26.32±2.48	21.54	28.71	78.77±2.24	75.92	82.33	1.42±0.61	0.72	2.29	
	4月	26.43±11.60	7.52	52.46	64.81±18.89	32.96	106.21	24.92±3.06	18.58	28.71	72.83±12.03	43.79	91.13	1.39±0.57	0.70	2.54	
	「虎爺聖誕」 (6月)	2017/6/24	7.33±3.24	2.00	15.00	31.42±6.46	22.00	45.00	30.83±2.30	27.00	34.00	75.21±11.29	58.00	90.00	2.44±1.00	1.10	4.40
		2017/6/25	7.33±3.71	2.00	17.00	33.17±7.84	16.00	50.00	30.92±2.21	28.00	34.00	73.29±11.68	56.00	87.00	2.57±0.87	1.30	4.20
2017/6/26		8.58±4.44	2.00	17.00	35.46±9.41	21.00	54.00	31.08±2.24	28.00	35.00	75.42±11.78	57.00	89.00	2.51±1.00	1.10	4.30	
2017/6/27		7.17±3.06	2.00	13.00	33.67±4.34	25.00	41.00	30.79±2.21	28.00	34.00	77.38±11.89	60.00	92.00	2.04±0.77	1.00	3.40	
2017/6/28		6.58±3.03	2.00	14.00	33.46±7.27	22.00	50.00	31.08±2.10	28.00	34.00	74.96±13.34	55.00	92.00	1.42±0.96	0.10	2.90	
2017/6/29 活動當日		11.21±4.75	2.00	20.00	42.38±7.36	30.00	60.00	30.46±2.54	28.00	35.00	75.25±15.21	49.00	94.00	1.11±0.76	0.20	2.90	
2017/6/30		10.96±4.80	3.00	19.00	40.35±10.66	20.00	61.00	29.67±3.27	27.00	35.00	75.79±15.48	49.00	91.00	1.63±1.02	0.30	4.20	
2017/7/1		9.00±4.75	1.00	18.00	40.71±12.47	26.00	74.00	31.38±3.42	27.00	36.00	69.42±17.55	45.00	94.00	2.46±1.46	0.50	5.50	
2017/7/2		8.04±4.10	1.00	20.00	28.38±6.47	17.00	39.00	29.92±2.81	26.00	34.00	77.21±13.26	58.00	99.00	2.11±0.89	1.10	4.20	
2017/7/3		9.83±6.12	1.00	22.00	27.17±6.72	13.00	41.00	30.46±3.26	26.00	35.00	76.83±15.99	55.00	99.00	1.87±1.09	0.20	3.70	
2017/7/4	7.46±4.34	1.00	18.00	29.92±6.49	16.00	39.00	29.29±3.01	26.00	35.00	82.04±14.96	54.00	99.00	1.36±0.83	0.10	3.40		
活動期間^a	8.50±1.58	6.58	11.21	34.19±5.10	27.17	42.38	30.53±0.66	29.29	31.38	75.71±3.05	69.42	82.04	1.96±0.52	1.11	2.57		
6月	10.02±4.12	5.38	24.33	36.64±7.21	23.54	53.33	29.68±1.68	26.29	32.21	81.07±8.54	67.63	97.71	2.14±0.66	1.04	3.65		

註：^a: 活動期間，「天上聖母聖誕」(4月14-24日)；「虎爺聖誕」(6月24至7月4日)。

三、結果

3.1 民俗活動期間社區大氣懸浮微粒 (PM_{2.5}、PM₁₀)濃度變化

(1) 天上聖母聖誕

綜合表 1 與圖 2 顯示，整體而言，「天上聖母聖誕」期間社區大氣 PM 略高於「虎爺聖誕」。表 1 顯示，活動期間 PM_{2.5} 與 PM₁₀ 平均濃度分別為 24.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 60.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，低於四月份平均值 (PM_{2.5} : 26.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM₁₀ : 64.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。活動當日 (4 月 19 日)，PM_{2.5} 與 PM₁₀ 日平均濃度分別為 38.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 86.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，顯示 PM_{2.5} 濃度超過環保署空氣品質標準 (日平均 : 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，且高於活動期間 (共計 11 天) 的平均濃度與當月平均濃度。圖 3 (A) 為活動當日大氣 PM 24 小時濃度變化。PM_{2.5} 濃度範圍為 18-56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM_{2.5} 較高值分別出現在 10 時 (51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、15 時 (54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 與 17 時 (56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。PM₁₀ 濃度範圍為 54-121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM₁₀ 最高值出現在 13 時 (121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。

(2) 虎爺聖誕

活動期間 PM_{2.5} 與 PM₁₀ 平均濃度

分別為 8.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 34.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。活動當日 (6 月 29 日)，PM_{2.5} 與 PM₁₀ 日平均濃度分別為 11.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 42.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，高於活動期間 (共計 11 天) 的平均濃度 (PM_{2.5} : 8.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM₁₀ : 34.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 與當月平均濃度 (PM_{2.5} : 10.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM₁₀ : 36.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，但並未超過環保署空氣品質標準 (PM₁₀ 日平均 : 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (表 1)。圖 3 (B) 為活動當日大氣 PM 24 小時濃度變化。PM_{2.5} 濃度範圍為 2-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM_{2.5} 較高值分別出現在 10 時 (18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 與 21 時 (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。PM₁₀ 濃度範圍為 30-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，白天時段 (11-13 時) 高於日平均值的波峰出現 (54-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，於 12 點達至高峰 (60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。

3.2 民俗活動期間社區氣象因子 (氣溫、相對濕度、風速) 變化

(1) 天上聖母聖誕

活動期間，平均氣溫、相對濕度、風速分別為 26.32 $^{\circ}\text{C}$ (範圍 21.54-28.71 $^{\circ}\text{C}$)、78.77 % (範圍 75.92-82.33 %)、1.42 m/sec (範圍 0.72-2.29 m/sec)，高於四月份平均氣溫 (24.92 $^{\circ}\text{C}$)、相對濕度 (72.83 %)、風速 (1.39 m/sec)；活動當日氣溫、

相對溼度、風速分別為 28.71 °C、80 %、2.29 m/sec (表 1)。圖 3 (C)為活動當日氣象因子 24 小時濃度變化。

(2) 虎爺聖誕

活動期間，平均氣溫、相對濕度、風速分別為 30.53 °C (範圍 29.29-31.38 °C)、75.71 % (範圍 69.42-82.04 %)、1.96 m/sec (範圍 1.11-2.57 m/sec)，氣溫高於六月份平均氣溫(29.68 °C)，相對濕度(81.07 %)及風速(2.14 m/sec)則低於六月份平均；活動當日氣溫、相對溼度、風速分別為 30.46 °C、75.25 %、1.11 m/sec (表 1)。圖 3 (D)為活動當日氣象

因子 24 小時濃度變化。

3.3 民俗活動期間社區大氣 PM_{2.5}/PM₁₀ 比值

整體而言，「天上聖母聖誕」活動期間 PM_{2.5}/PM₁₀ 比值(平均值 0.39、中位數 0.41)高於「虎爺聖誕」(平均值 0.25、中位數 0.24)。顯示「天上聖母聖誕」活動期間大氣懸浮微粒中 PM_{2.5} 佔 PM₁₀ 的比例高於「虎爺聖誕」。「天上聖母聖誕」活動當日，PM_{2.5}/PM₁₀ 比值(平均值 0.44)略高於活動期間的平均值 (表 2)。由於 PM_{2.5} 更易進入人體造成健康傷害，「天上聖母聖誕」活動期間社區大氣懸浮微粒濃度值得被重視。

表 2 朴子市「天上聖母聖誕」及「虎爺聖誕」活動期間 PM_{2.5}/PM₁₀ 比值

活動名稱	日期	PM _{2.5} /PM ₁₀			
		Median (Q1-Q3)	Mean ±SD	Min	Max
「天上聖母聖誕」	2017/4/14 (前 5 天)	0.58 (0.25-0.61)	0.47±0.19	0.11	0.69
	2017/4/15 (前 4 天)	0.49 (0.38-0.55)	0.46±0.12	0.21	0.72
	2017/4/16 (前 3 天)	0.47 (0.38-0.54)	0.45±0.13	0.16	0.63
	2017/4/17 (前 2 天)	0.41 (0.28-0.46)	0.37±0.13	0.12	0.56
	2017/4/18 (前 1 天)	0.40 (0.23-0.44)	0.35±0.14	0.05	0.59
	2017/4/19 活動當日	0.45 (0.37-0.48)	0.44±0.07	0.30	0.56
	2017/4/20 (後 1 天)	0.40 (0.31-0.43)	0.38±0.11	0.10	0.57
	2017/4/21 (後 2 天)	0.19 (0.14-0.32)	0.23±0.11	0.10	0.48
	2017/4/22 (後 3 天)	0.32 (0.19-0.38)	0.31±0.15	0.12	0.71
	2017/4/23 (後 4 天)	0.42 (0.31-0.44)	0.40±0.10	0.21	0.58
	2017/4/24 (後 5 天)	0.45 (0.39-0.48)	0.44±0.06	0.33	0.53
	活動期間 (共 11 天)	0.41 (0.30-0.49)	0.39±0.14	0.05	0.72
	4 月(共計 30 天)	0.40 (0.31-0.49)	0.39±0.13	0.01	0.72
	「虎爺聖誕」	2017/6/24 (前 5 天)	0.23 (0.18-0.26)	0.23±0.08	0.07
2017/6/25 (前 4 天)		0.22 (0.14-0.26)	0.22±0.11	0.07	0.53
2017/6/26 (前 3 天)		0.22 (0.18-0.31)	0.24±0.10	0.08	0.47
2017/6/27 (前 2 天)		0.19 (0.15-0.28)	0.21±0.09	0.07	0.43
2017/6/28 (前 1 天)		0.19 (0.14-0.24)	0.20±0.07	0.06	0.35
2017/6/29 活動當日		0.26 (0.20-0.36)	0.27±0.11	0.06	0.49
2017/6/30 (後 1 天)		0.28 (0.21-0.33)	0.27±0.08	0.08	0.42
2017/7/1 (後 2 天)		0.23 (0.11-0.33)	0.24±0.13	0.02	0.50
2017/7/2 (後 3 天)		0.28 (0.21-0.40)	0.29±0.14	0.03	0.69
2017/7/3 (後 4 天)		0.32 (0.19-0.52)	0.35±0.20	0.05	0.81
2017/7/4 (後 5 天)		0.23 (0.16-0.30)	0.25±0.15	0.03	0.63
活動期間 (共 11 天)		0.24 (0.17-0.31)	0.25±0.12	0.02	0.81
6 月(共計 30 天)		0.26 (0.18-0.35)	0.28±0.15	0.02	1.13

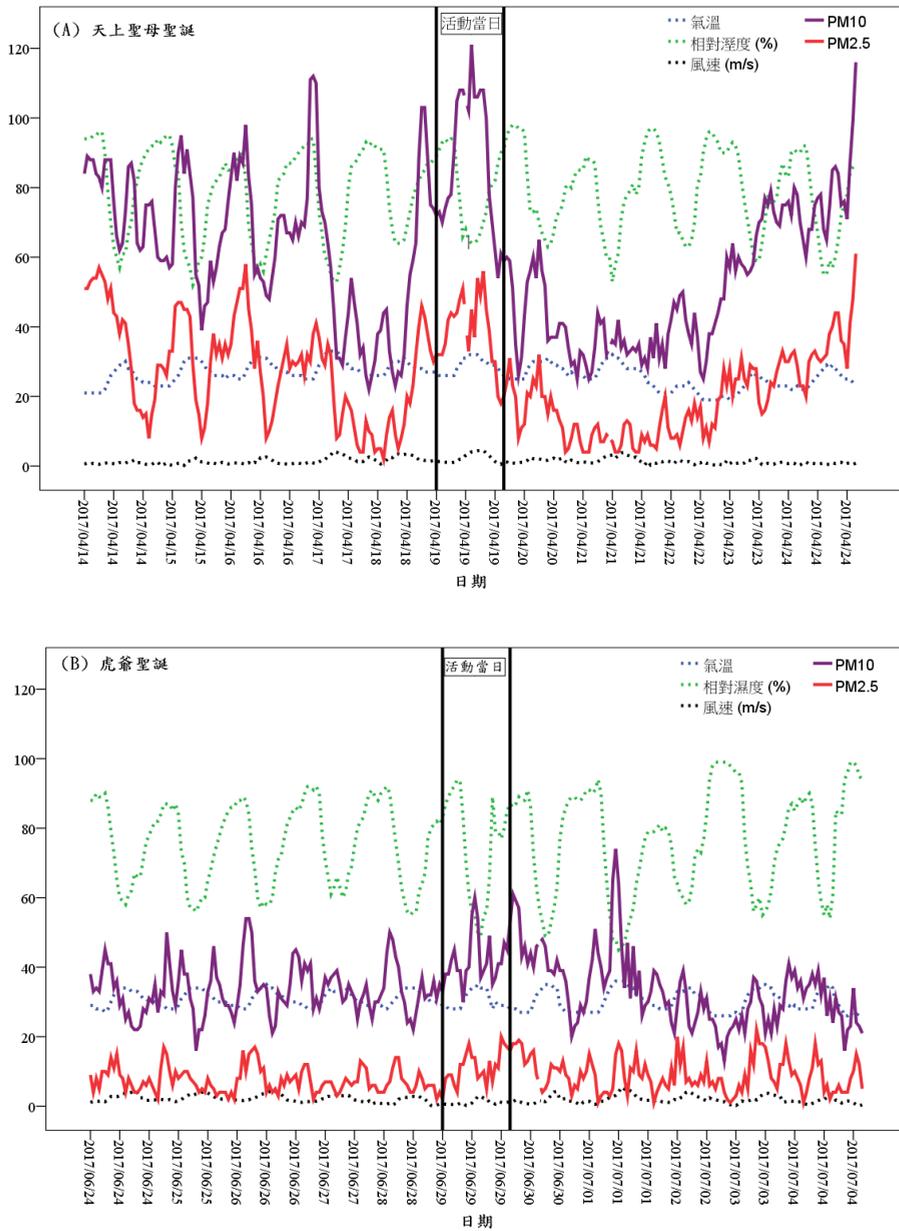
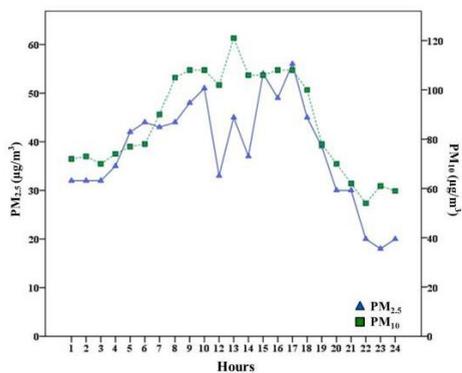
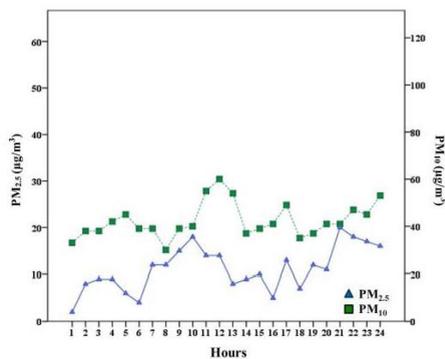


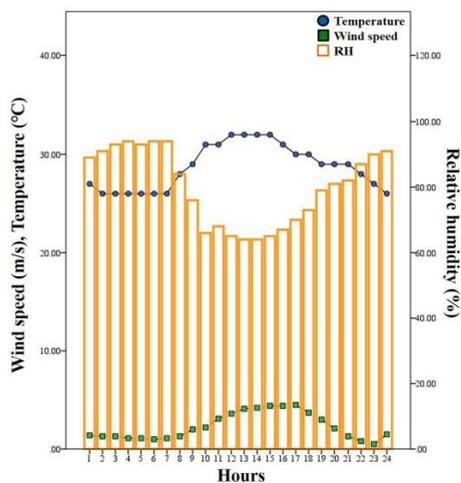
圖 2 民俗活動期間社區大氣懸浮微粒濃度及氣象因子變化



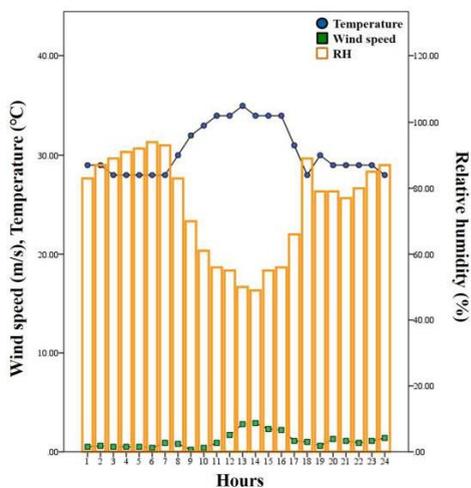
(A) 「天上聖母聖誕」



(B) 「虎爺聖誕」



(C) 「天上聖母聖誕」



(D) 「虎爺聖誕」

圖 3 民俗活動當日社區大氣懸浮微粒濃度及氣象因子 24 小時濃度變化

3.4 比較民俗活動當日、活動日前(1-5 天)及活動結束後(1-5 天)社區大氣 PM_{2.5}、PM₁₀ 及氣象因子(氣溫、相對濕度、風速)差異性

表 3 顯示,活動當日社區大氣 PM_{2.5}、PM₁₀ 濃度顯著高於活動日前與活動結束後;PM_{2.5}、PM₁₀ 分別為 38.22 及 86.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (「天上聖母聖誕」), 11.21 及 42.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (「虎爺聖誕」)。氣象因子分析結果顯示,「天上聖母聖誕」活動當日氣溫(28.71 °C)顯著高於活動日前(27.18 °C)與活動結束後(24.99 °C) ($F = 22.64$, $p < 0.001$),「虎爺聖誕」則無此現象;「天上聖母聖誕」與「虎爺聖誕」活動當日風速顯著低於活動日前與活動結束後,活動當日平均風速分別為 2.29 與 1.11 m/sec。相對濕度於兩個民俗活動不同期間(活動日當、活動日前與活動結束後)無統計上顯著差異(F

$= 0.13$, $p = 0.876$; $F = 0.17$, $p = 0.846$)。

3.5 民俗活動於不同期間及氣象因子(氣溫、相對濕度、風速)對社區大氣 PM 之影響

表 4 顯示,不同民俗活動舉辦期間及氣象因子對社區大氣 PM_{2.5}、PM₁₀ 濃度的影響具差異性。「天上聖母聖誕」,控制氣象因子(氣溫、相對濕度、風速)的影響,活動當日 PM_{2.5} 濃度較活動日前高 16.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 且達統計上顯著意義 ($p < 0.001$);活動結束後 PM_{2.5} 濃度較活動日前減少 12.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 且達統計上顯著意義 ($p = 0.003$)。活動當日 PM₁₀ 濃度較活動日前高 31.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 且達統計上顯著意義 ($p < 0.001$);活動結束後 PM_{2.5} 濃度較活動日前減少 16.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 且達統計上顯著意義 ($p = 0.006$)。相對溼度增加會造成 PM_{2.5} 及 PM₁₀ 濃度下降且達統計上顯著意義,相對濕度

每增加 1%，PM_{2.5} 下降 0.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p = 0.040$)。

= 0.042)，PM₁₀ 下降 0.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p =$

表 3 比較「天上聖母聖誕」及「虎爺聖誕」活動當日、活動日前(1-5 天)、活動結束後(1-5 天)社區大氣 PM_{2.5}、PM₁₀ 及氣象因子(氣溫、相對濕度、風速)差異性

活動名稱			M \pm SD	F	p	Post Hoc ^a
天上聖母聖誕	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	①活動當日	38.22 \pm 10.66	28.45	< 0.001	① > ②
		②活動前	28.35 \pm 14.84			① > ③
		③活動結束後	18.99 \pm 11.37			② > ③
	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	①活動當日	86.52 \pm 20.19	33.95	< 0.001	① > ②
		②活動前	64.62 \pm 21.18			① > ③
		③活動結束後	51.33 \pm 19.08			② > ③
	氣溫 ($^{\circ}\text{C}$)	①活動當日	28.71 \pm 2.29	22.64	< 0.001	① > ②
		②活動前	27.18 \pm 2.97			① > ③
		③活動結束後	24.99 \pm 3.36			② > ③
	相對濕度 (%)	①活動當日	80.00 \pm 11.53	0.13	0.876	
		②活動日前	78.53 \pm 13.38			
		③活動日後	78.76 \pm 12.32			
	風速 (m/sec)	①活動當日	2.29 \pm 1.36	12.63	< 0.001	① > ②
		②活動日前	1.39 \pm 0.94			① > ③
		③活動日後	1.27 \pm 0.77			
虎爺聖誕	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	①活動當日	11.21 \pm 4.75	9.45	< 0.001	① > ②
		②活動前	7.40 \pm 3.54			① > ③
		③活動結束後	9.04 \pm 4.95			③ > ②
	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	①活動當日	42.38 \pm 7.36	11.16	< 0.001	① > ②
		②活動前	33.43 \pm 7.25			① > ③
		③活動結束後	33.24 \pm 10.60			
	氣溫 ($^{\circ}\text{C}$)	①活動當日	30.46 \pm 2.54	2.61	0.08	
		②活動前	30.94 \pm 2.18			
		③活動結束後	30.14 \pm 3.19			
	相對濕度 (%)	①活動當日	75.25 \pm 15.21	0.17	0.846	
		②活動前	75.25 \pm 11.89			
		③活動結束後	76.26 \pm 15.78			
	風速 (m/sec)	①活動當日	1.11 \pm 0.76	11.23	< 0.001	② > ①
		②活動前	2.19 \pm 1.01			② > ③
		③活動結束後	1.89 \pm 1.13			③ > ①

註: M \pm SD: Mean \pm Standard Deviation (平均值 \pm 標準差)。^a 事後檢定: Fisher's Least Significant Difference。

表 4 朴子市「天上聖母聖誕」及「虎爺聖誕」活動期間(活動當日、活動日前、活動結束後)及氣象因子(氣溫、相對濕度、風速)對社區大氣 PM 之影響^a

活動名稱	PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		β	p
天上聖母聖誕	PM _{2.5}	活動當日 ^b	16.32**	< 0.001
		活動結束後	-12.19**	0.003
		氣溫 (°C)	-1.02	0.411
		相對濕度 (%)	-0.37*	0.042
		風速 (m/sec)	-4.93	0.061
	PM ₁₀	活動當日 ^b	31.80**	< 0.001
		活動結束後	-16.94**	0.006
		氣溫 (°C)	-1.21	0.510
		相對濕度 (%)	-0.55*	0.040
		風速 (m/sec)	-8.20	0.097
虎爺聖誕	PM _{2.5}	活動當日 ^b	2.99**	< 0.001
		活動結束後	1.52*	0.034
		氣溫 (°C)	-0.10	0.835
		相對濕度 (%)	-0.10	0.153
		風速 (m/sec)	-0.71	0.106
	PM ₁₀	活動當日 ^b	5.73**	< 0.001
		活動結束後	-1.58	0.558
		氣溫 (°C)	-1.39	0.100
		相對濕度 (%)	-0.47*	0.012
		風速 (m/sec)	-2.34**	< 0.001

註：^a：以廣義估計方程式(Generalized Estimating Equation, GEE)進行分析。^b：「活動日前(1-5 天)」為參考組。 **： $p < 0.01$ 。 *： $p < 0.05$ 。

「虎爺聖誕」，控制氣溫及相對濕度的影響，活動當日 $PM_{2.5}$ 濃度較活動日前高 $2.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 且達統計上顯著意義 ($p < 0.001$)；活動結束後 $PM_{2.5}$ 濃度較活動日前增加 $1.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 且達統計上顯著意義 ($p = 0.034$)。活動當日 PM_{10} 濃度較活動日前高 $5.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 且達統計上顯著意義 ($p < 0.001$)。相對濕度及風速僅對 PM_{10} 濃度的影響達統計上顯著意義，相對濕度每增加 1%， PM_{10} 減少 $0.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p = 0.012$)、風速每增加 1 m/sec， PM_{10} 減少 $2.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($p < 0.001$)。

四、討論

研究分析民俗活動期間社區大氣PM濃度的變化並同時考量氣象因子(氣溫、相對濕度、風速)的影響，國內相關民俗空污研究較少納入氣象因子進行分析。民俗活動期間大氣條件對社區大氣懸

浮微粒濃度與成份的影響值得深入探討。研究顯示，2017年朴子市舉辦「天上聖母聖誕」活動當日 $PM_{2.5}$ 濃度超過環保署標準，「虎爺聖誕」則無此現象。為瞭解本研究觀察結果在其它年是否也成立，作者分析其它年度資料(未納入結果表格中)顯示2015、2016年「天上聖母聖誕」與「虎爺聖誕」活動期間社區大氣 $PM_{2.5}$ 濃度資料與本研究結果有相同的現象。「天上聖母聖誕」活動當日 $PM_{2.5}$ 濃度最高(2015年： $55.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、2016年： $51.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (此資料未納入結果表格中) 且均超過環保署標準，「虎爺聖誕」則無超過環保署的標準。推論「天上聖母聖誕」活動期間對當地社區大氣 $PM_{2.5}$ 濃度可能較具影響性。此外，環保署自2009年提倡減香減金減炮以改善空氣品質，自2017年更將「民俗活動」納入空污改善要點之一。各地方政府單位亦紛紛

響應推動改善空污的行動，如嘉義市政府自2007年起推動「寺廟神壇空氣污染自主管理」政策。由朴子市民俗活動舉辦期間社區大氣PM濃度資料可發現PM_{2.5}濃度有下降的現象，「天上聖母聖誕」：25.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2015年)、35.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2016年)及24.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2017年)；「虎爺聖誕」：12.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2015年)、12.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2016年)及8.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2017年)(2015、2016年資料未納入結果表格)，顯見政府推動相關空污改善措施確實達成空氣品質改善之成效。

由PM_{2.5}/PM₁₀比值發現，「天上聖母聖誕」活動期間PM_{2.5}/PM₁₀比值較「虎爺聖誕」高，顯示PM來源可能具差異性。「天上聖母聖誕」活動時間為四月，「虎爺聖誕」則為六月底至七月初，活動時間不同大氣條件有所差異，因此可能導致社區大氣懸浮微粒濃度及微

粒組成成份的差異。國內研究證實，台灣因受地形及氣候型態的影響，大氣懸浮微粒濃度及組成成份存在明顯地理與季節性差異，中南部地區於秋末至春初期間大氣懸浮微粒濃度不易擴散造成濃度增高現象(曾韋勳 2012；曾秉澤 2014；黃淑倫 2016)。黃等人研究指出季節與氣象因子對雲嘉南地區的PM_{2.5}濃度變化有所影響，溫度與PM_{2.5}濃度呈現顯著負相關，於2015年雲嘉南地區冷季(11-4月)的平均濃度為35.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，高於熱季(5-10月)的平均濃度17.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (黃淑倫等 2019)。分析2014年中國190個城市945個測站PM_{2.5}的資料發現，各城市間具有顯著的差異，且亦會因季節而有所變化，以冬季最高而夏季最低(Wang et al. 2017)。民俗活動可能因舉辦時間(月份、季節)、活動屬性不同進而影響民俗參與人數、規模大小與

焚燒物品，對大氣PM濃度與所含組成成份進一步造成不同程度的影響。探討民俗活動對社區空污的影響建議應納入氣候條件及活動內容屬性進行探討。

研究發現，相較於民俗活動日前與活動結束後，活動日當天社區大氣PM濃度測得最高值(天上聖母聖誕：PM_{2.5}與PM₁₀分別為38.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、86.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；虎爺聖誕：PM_{2.5}與PM₁₀分別為11.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、42.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，與國內、香港及中國研究結果相似(李德綸 2005；林伯勳 2019；Lai and Brimblecombe 2017；Song et al. 2017；Zhang et al. 2017)，推論民俗活動可能對社區大氣PM濃度造成影響。臺中大甲媽祖遶境與臺南元宵鹽水蜂炮慶典活動期間，因煙火炮竹燃放而產生大量的PM_{2.5}與PM₁₀(李德綸 2005；林伯勳 2019)。中國慶祝農曆新年活動期間，燃放鞭炮煙火

的2-4小時內，環境中PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、O₃濃度會急速增加至平時的4-6倍(Song et al. 2017；Zhang et al. 2017)。臺灣、香港與中國於農曆跨年前幾小時環境中PM₁₀濃度甚至超過1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lai and Brimblecombe 2017)。Greven等人分析1995-2012年荷蘭跨年期間燃放煙火慶祝活動大氣PM的變化發現，PM₁₀濃度短時間內有急劇增加的趨勢(Greven et al. 2019)。印度排燈節研究也指出排燈節當天PM₁₀與PM_{2.5}濃度達到最高值，分別為900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與950 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Nigam et al. 2016)。泰國清邁地區探討特殊節慶與平常生活中燃燒拜香PM_{2.5}產生情形，研究發現特殊節慶從8和24小時均可監測到高濃度PM_{2.5}之現象(Bootdee, Chantara and Prapamontol 2016)。Bootdee等人研究指出，泰國清邁市中心神社於中國農曆新年間，因大量燃

燒拜香導致大氣 $PM_{2.5}$ 與 PAHs 濃度出現顯著增加趨勢，且 PAHs 與 $PM_{2.5}$ 的相關性高，其所含的致癌物質毒性強，易提高對人體健康風險 (Bootdee and Chantara 2014)。

不同氣象因子的變化可能影響空氣污染物傳輸與前驅物質反應生成機制，而影響污染物濃度與組成。研究發現， $PM_{2.5}/PM_{10}$ 存在民俗活動的差異性(「天上聖母聖誕」高於「虎爺聖誕」)，由於研究納入分析之民俗活動舉辦時間(季節)不同，國內研究亦顯示PM所含組成成份受季節影響 (Hwang et al. 2018)，因此推測造成 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值差異的原因可能與季節有關。學者研究發現季節會影響 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值的差異，於秋冬寒冷季節測得之比值會高於春夏溫暖季節 (Speranza et al. 2016)與本研究結果相似。另外，相較於中國大陸地區的研究(Xu et al. 2006)，本

研究顯示 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值相對較低。Xu等人研究指出2003年春節期間北京市區因鞭炮燃燒使得大氣中 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比值增加至0.9 (Xu et al. 2006)。本研究PM濃度資料為環保署空氣品質監測站之數據資料，並非活動現場實際採樣資料，可能導致 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值低於Xu等人研究。

探討民俗活動對社區大氣懸浮微粒濃度的影響應同時考量氣候型態、氣象條件與地理環境的效應。台灣受到東北季風與地形條件的影響(嘉南平原位處中央山脈背風面，污染物容易滯留累積)，每年十月到隔年五月，是空氣品質較差的時候。本研究「天上聖母聖誕」於四月份舉行(春季)，「虎爺聖誕」則於六月份舉行(夏季)，季節差異存在不同氣候型態可能因此造成不同民俗活動對社區大氣PM濃度不同影響程度的原因。研

究發現民俗活動期間，相對濕度上升造成PM₁₀濃度下降，與國內研究結果有一致的結論(張立農等 2015；黃淑倫等 2016)。相對濕度增加會使懸浮微粒增加質量，使大氣中懸浮微粒濃度下降，張等人研究指出主要影響臺灣PM₁₀濃度的氣象因子為氣溫與相對濕度，氣象因子(氣溫、相對濕度)對大氣PM₁₀濃度的影響存在季節差異性；熱季期間，氣溫及相對濕度對大氣PM₁₀濃度具統計上顯著影響，氣溫上升、相對濕度上升皆可能造成PM₁₀濃度下降(張立農等 2015)。黃等人探討嘉南地區大氣PM_{2.5}濃度與氣象因子之相關性，指出嘉南地區PM_{2.5}與氣溫($r = -0.446$)及相對濕度($r = -0.327$)呈現統計上顯著負相關；非東北季風期間(三月到九月)，氣溫與PM_{2.5}濃度之相關係數絕對值最大($r = -0.525$) (黃淑倫等 2016)。

風速大小可能影響大氣中PM的擴散效果，國內及大陸學者提出風速是影響室內外PM濃度的重要因素(張立農等 2015；錢滄海、陳奕愷 2012；黃淑倫等 2016；焦家海等 2019)。國內研究發現風速低於5 m/sec的情況下，風速愈大則PM₁₀濃度愈低(張立農等 2015)；風速超過5 m/sec時可能因容易捲起揚塵，造成風速上升PM₁₀濃度上升的現象(錢滄海、陳奕愷 2012)。本研究期間平均風速皆低於2 m/sec(「天上聖母聖誕」1.42 m/sec、「虎爺聖誕」1.96 m/sec)，結果發現「虎爺聖誕」活動風速上升社區大氣PM₁₀濃度顯著下降；「天上聖母聖誕」雖有下降但未達統計顯著。黃等人研究指出，嘉南地區大氣PM_{2.5}濃度與風速($r = -0.173$)呈現統計上顯著負相關；東北季風期間(十月到隔年二月)，風速與PM_{2.5}濃度之相關係數絕對值最大($r = -0.371$)

(黃淑倫等 2016)。研究結果顯示風速雖與PM ($PM_{2.5}$ 、 PM_{10})濃度呈現負相關但卻未達統計顯著。國內學者提出， PM_{10} 與氣象因子相關性較高，但 $PM_{2.5}$ 與各氣象因子間相關性差異不大(錢倉海、陳奕愷 2012)，可能為本研究結果無法觀察到 $PM_{2.5}$ 濃度與風速間顯著關係的原因。焦等人研究指出不同相對濕度(RH)條件下，風速對室內外 $PM_{2.5}$ 濃度影響不同。RH $\leq 20\%$ ，室外風速小於4 m/sec 時，室外 $PM_{2.5}$ 濃度呈現逐步上升的趨勢，在風速3-4 m/sec 濃度達到最高，而後隨著風速增加 $PM_{2.5}$ 濃度明顯降低。RH為20%~40%，室外風速小於5 m/sec 時，室外 $PM_{2.5}$ 濃度變化幅度不明顯。當風速 ≥ 5 m/sec 時，室外 $PM_{2.5}$ 平均濃度明顯低於風速 < 5 m/sec 時的濃度。當RH為40%~60%，室外風速小為1~2 m/sec 時，室外 $PM_{2.5}$ 濃度升至最高；而後

隨著風速增加，室外濃度下降。當RH為60%~80%，隨著風速增加，室外 $PM_{2.5}$ 濃度逐漸下降。當RH $> 80\%$ ，當風速 ≥ 3 m/sec 時，室外 $PM_{2.5}$ 濃度隨風速增加而降低。分析本研究兩個民俗活動於活動期間相對濕度資料，顯示兩者相對濕度有統計上顯著差異，推測相對濕度可能造成風速對PM濃度影響呈現差異的原因。

現階段行政院環境保護署公告之「大型民俗(宗教)活動空氣污染預防指引」僅針對慶典規模制定相關活動規劃辦理之規定(環保署 2018b)。台灣過去研究顯示，大氣 $PM_{2.5}$ 濃度容易受氣象因子的影響。嘉南地區研究指出，氣候型態(如，東北季風)與氣象因子(如，風速與溫度)可能影響大氣 $PM_{2.5}$ 濃度(黃淑倫等 2016、2019)。探討台灣地區舉辦民俗活動對大氣空氣污染的影響應納入氣候型態及

氣象因子的影響。另外，建議政府可進一步針對民俗活動舉辦時間(月份)擬定相對應之空氣污染防治措施，並對民眾加強宣導健康自主管理的重要性，將可降低民眾對「民俗空污」的疑慮。

國內調查資料顯示，雖然多數台灣民眾認同「民俗空污」對環境及人體健康的影響；且明白政府推行環保祭祀政策的目的。然而由於民眾根深蒂固的傳統民俗祭祀觀念、習慣及政府與民間團體缺乏有效溝通等因素，可能影響政府相關環保政策的推動。民眾居住地區的不同(如南北差異)及個人特質可能影響對「民俗空污」的認知、態度與行為。為達成民俗信仰文化與環境品質的永續發展，建議可利用透過多重管道方式[舉辦說明會、辦理各項競賽活動、多媒體宣導(電視、網路)、於社區辦理各式活動、將民俗空

污議題融入學校上課內容]對民眾及學生進行「民俗空污」相關環境教育，教育一般民眾與學生具備對「民俗空污」正確風險認知，應有助於政府單位推動相關環保政策之可行性。

本研究有以下研究限制：(1) 僅分析該社區兩個民俗活動，無法代表所有民俗活動的情況，可能導致研究結果推論上受限。(2) 納入分析的氣象因子相對較少且缺乏納入氣候型態資料進行分析，相關氣象因子對民俗活動期間社區大氣PM濃度的影響仍具科學意義及參考價值，但於推論上建議採取更謹慎的態度。(3) 建議納入大氣擴散模式進行分析可提升研究結果的準確性。(4) 研究採用分析之PM濃度資料為行政院環保署空氣品質監測站(朴子測站)資料，非民俗活動現場實際採樣資料。PM濃度可能無法準確代表民俗活

動過程中實際PM濃度，分析結果雖可能存在些微誤差但仍具代表性。(5)受限於資料的限制，民俗活動過程中燃放金紙與鞭炮的數量、成份、時間長短與時間點並未納入資料分析，可能導致研究成果無法做進一步推論。建議未來研究可同時結合民俗活動現場環境PM濃度與成分實測，連結環保署測站或其他政府與民間團體監測的資料，期能提供更加精確的資訊給予政府相關單位、社區民眾作為規劃政策、推廣保護措施的參考。

五、結論

民俗活動期間相關人為活動可能對社區大氣懸浮微粒濃度或組成造成影響，而影響社區居民健康，是重要的公共衛生議題。本研究顯示，氣象因子(相對濕度、風速)對民俗活動期間社區大氣懸

浮微粒濃度可能存在影響力，可做為後續社區懸浮微粒濃度研究的參考。探討民俗活動對大氣PM濃度的影響應同時納入氣象因子、氣候條件與地理環境因素的影響。建議政府或民間舉辦民俗活動應考量環境因素並納入環境污染預防作為，提升環境友善度，將使民俗活動能永續經營。民俗活動所產生的空氣污染物排放量與其它工業或交通污染源相比雖然較低，但燒香祭拜、燒紙錢、燃放鞭炮可能產生具致癌性之物質(例如PM_{2.5}、苯、甲苯、甲醛、多環芳香烴)對社區民眾健康造成更大的損害，實不容忽視。藉由電視與網路或空氣汙染相關APP等傳媒資訊傳播方式，引發社會及民眾對「民俗空汙」議題的關注。最重要的是，教導民眾具備對「民俗空汙」正確健康風險認知、做好自主健康管理(例如即時掌握空汙資訊、適當運

動、作息規律)，教育民眾於參與民俗活動過程中採取個人保護措施行為(如佩戴口罩、遠離鞭炮施放點)，有效達到自我防護之效果。

致謝

本研究感謝長庚科技大學跨校(域)計畫(ZRRPF6J0011、ZRRPF6K0011)、長庚紀念醫院計畫(CMRPF6J0061、CMRPF6J0031)與科技部(MOST108-2635-B-255-001)補助專題研究計畫的經費補助，特此致謝。

參考文獻

中華民國內政部戶政司，2018：全國人口資料庫統計地圖，2019年4月26日取自，<https://gis.ris.gov.tw/index.html>
王建楠、李璧伊，2017：環境與職業化學物暴露相關之心臟血管疾病：系統性回顧，中華職

業醫學雜誌，24，215-226頁。
行政院內政部，2017：中華民國86-106年各宗教教務概況統計，2019年5月14日取自<https://religion.moi.gov.tw/Home/ContentDetail?ci=1&cid=Report>
行政院環境保護署，2018a：中華民國空氣品質監測報告107年年報，臺北：行政院環境保護署。
2018b〈大型慶典及民俗(宗教)活動空氣污染預防指引〉。臺北：行政院環境保護署。
李德綸，2005：鹽水蜂炮等民俗活動對空氣品質之影響，國立成功大學環境工程學系博士論文。
林伯勳，2019：元宵節鹽水蜂炮節慶之大氣微粒分階濃度增量潛勢及其化學特性研究，嘉南藥理大學環境工程與科學系碩士論文。
高玫鍾、龍世俊，2000a：香客在寺

- 廟中懸浮微粒曝露濃度之探討，中華公共衛生雜誌，19，138-143 頁。
- 高玫鍾、龍世俊，2000b：不同通風狀態室內燒香產生 PM₁₀ 濃度變化之研究，中華公共衛生雜誌，19，214-220 頁。
- 黃淑倫、林裕清、郭素娥、紀妙青、林玠模、周姜廷、黃友珊，2016：嘉南地區細懸浮微粒濃度與氣象因子相關性分析：2006-2014，台灣衛誌，5，575-586 頁。
- 黃淑倫、林裕清、蕭光佑、林玠模、紀妙青、黃友珊，2019：雲嘉南地區大氣細懸浮微粒濃度與交通污染源相關性分析，台灣衛誌，38，19-30 頁。
- 張立農、江孟玲、林昭遠，2015：台灣交通空氣品質監測站 PM₁₀ 變異影響因素之研究，水土保持學報，47，1235-1246 頁。
- 焦家海、李國柱、牛倩、謝琳娜、孟沖、張然，2019：風速對室內外空氣 PM_{2.5} 濃度關係的影響，環境與健康雜誌，36，639-643 頁。
- 辜美安、蔡坤維、林詩淳，2017：細懸浮微粒暴露對健康的影響，醫學與健康期刊，6，13-22 頁。
- 遠見雜誌，2016：國人空汙觀念大調查，2019 年 4 月 30 取自 <https://www.gvm.com.tw/article.html?id=31391>
- 賴溫狼，2017：環保瓦斯炮相迎-大甲媽遶境 PM_{2.5} 峰值減半，2019 年 5 月 22 取自 <https://e-info.org.tw/node/204065>
- 錢滄海、陳奕愷，2012：濁水溪下游懸浮微粒與氣象因子關係之研究，水土保持學報，44，391-406 頁。
- 戴郁函，2014：參與民俗活動之民眾重金屬暴露與康風險評估，

- 弘光科技大學職業安全與防災研究所碩士論文。
- Bootdee, S. and S. Chantara, 2014: Emission of fine particulate matter and nitrogen dioxide from incense burning in Shrines, Chiang Mai, Thailand, *Int. J. Environ. Sci. Dev.*, **5**, 228-232.
- Bootdee, S., S. Chantara, and T. Prapamontol, 2016: Determination of PM_{2.5} and polycyclic aromatic hydrocarbons from incense burning emission at shrine for health risk assessment, *Atmos. Pollut. Res.*, **7**, 680-689.
- Greven, F. E., J. M. Vonk, P. Fischer, F. Duijm, N. M. Vink, and B. Brunekreef, 2019: Air pollution during New Year's fireworks and daily mortality in the Netherlands, *Sci. Rep.*, **9**, 5735.
- Hwang, S. L., S. E. Guo, M. C. Chi, C. T. Chou, Y. C. Lin, C. M. Lin, and Y. L. Chou, 2016: Association between atmospheric fine particulate matter and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in southwestern Taiwan: a population-based study, *Int. J. of Environ. Res. Publ. Health*, **13**, 366.
- Hwang, S. L., Y. C. Lin, S. E. Guo, M. C. Chi, C. T. Chou, and C. M. Lin, 2017: Emergency room visits for respiratory diseases associated with ambient fine particulate matter in Taiwan in 2012: a population-based study, *Atmos. Pollut. Res.*, **8**, 465-473.
- Hwang, S.L., M. C. Chi, S.E. Guo, Y.C. Lin, C.T. Chou and C.M. Lin, 2018: Seasonal variation and

- source apportionment of PM_{2.5}-bound trace elements at a coastal area in southwestern Taiwan. *Environ Sci. Pollut. Res Int.*, **25**, 9101-9113.
- Hwang, S. L., Y. C. Lin, K. Y. Hsiao, C. M. Lin, and M. C. Chi, 2020: Spatiotemporal assessment of mortality attributable to ambient PM_{2.5} exposure in Taiwan during 2008 - 2015, *Air Qual. Atmos. Health*, **13**, 233-245.
- International Agency for Research on Cancer (IARC), 2013: *IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths*. International Agency for Research on Cancer, https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr221_E.pdf (last accessed 3 October 2019)
- Lai, Y., and P. Brimblecombe, 2017: Regulatory effects on particulate pollution in the early hours of Chinese New Year, 2015, *Environ. Monit. Assess.*, **189**, 467.
- Nigam, S., N. Kumar, N. K. Mandal, B. Padma, and S. Rao, 2016: Real time ambient air quality status during Diwali Festival in Central, India, *J. Geoscience and Environ Protect.*, **4**, 162-172.
- Song, Y., X. Wan, S. Bai, D. Guo, C. Ren, Y. Zeng, Y. Li, and X. Li, 2017: The characteristics of air pollutants during two distinct episodes of fireworks burning in a valley city of North China, *PLoS One*, **12**, e0168297.
- Speranza, A., R. Caggiano, S. Margiotta, V. Summa, and S. Trippetta, 2016: A clustering approach based on triangular diagram to study the seasonal

- variability of simultaneous measurements of PM_{10} , $PM_{2.5}$ and PM_1 mass concentration ratios, *Arab. J. of Geosci.*, **9**, 132.
- Wang, S. J., C. S. Zhou, Z. B. Wang, K. S. Feng, and K. Hubacek, 2017: The characteristics and drivers of fine particulate matter ($PM_{2.5}$) distribution in China, *J. Clean. Prod.*, **142**, 1800-1809.
- Xu, J., G. A. Ding, P. Yan, J. C. Zhang, S. F. Wang, Y. M. Zhang, Z. Y. Meng, Y. C. Liu, and X. L. Zhang, 2006: Effect of firecracker setting-off on the fine particle pollution in Beijing downtown areas, *J. Safety Environ.*, **6**, 79-82.
- Zhang, J., L. Yang, J. Chen, A. Mellouki, P. Jiang, Y. Gao, Y. Li, Y. Yang, and W. Wang, 2017: Influence of fireworks displays on the chemical characteristics of $PM_{2.5}$ in rural and suburban areas in Central and East China, *Sci. Total Environ.*, **578**, 476-484.

Temporal Changes in Atmospheric Concentration of Particulate Matter during the Festival Activities -A Case Study in Chiayi County

Su-Lun Hwang^{1,2,3*} Wen-Yu Chen¹

- 1 Department of Nursing, Chang Gung University of Science and Technology, Chiayi Campus, Puzi City 613, Chiayi County, Taiwan
- 2 Chronic Diseases and Health Promotion Research Center, Chang Gung University of Science and Technology, Puzi City 613, Chiayi County, Taiwan
- 3 Division of Thoracic Oncology, Chang Gung Memorial Hospital Chiayi Branch, Puzi City 613, Chiayi County, Taiwan

(manuscript received 14 April 2020 ; in final form 15 October 2020)

ABSTRACT

Burning incense, joss paper and firecrackers during the festival activities could affect the atmospheric concentrations of particular matters (PM). This study was to investigate the temporal changes in atmospheric PM level during the period of festival activities in Puzi, Chiayi County. Hourly concentrations of PM and meteorological variables [temperature, relative humidity (RH), and wind speed (WS)] were obtained from the Taiwan Air Quality Monitoring Network. Descriptive statistics (mean, median, quartile and standard deviation) and one-way ANOVA were applied to investigate the effects of festival activities [Tianshang shengmu (天上聖母聖誕), Hu Ye (虎爺聖誕)] on the atmospheric concentrations of PM in the community. The Generalized Estimating Equation was applied to analyze the effects of the different period of religious activities and meteorological variables on the atmospheric concentrations of PM. The highest level of PM_{2.5} (particles with an aerodynamic size of $\leq 2.5 \mu\text{m}$) was 38.22 (Tianshang shengmu) and 11.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hu Ye) on the day of activities, respectively; moreover, the highest level of PM₁₀ (particles with an aerodynamic size of $\leq 10 \mu\text{m}$) was 86.52 and 42.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on the day of activities, respectively. The different time on festival activity and climatic conditions could have different effects on the PM levels in the community. RH had significant effects on the PM levels in the community in both festival activities; however, WS only had significant effects on the PM₁₀ levels. Exploring the effects of festival activities on the atmospheric concentrations of PM, it should be better to consider the climatic conditions. The information provided by this study may be helpful to better understand the effects of festival activities on the PM in the community and play value on the effects of meteorological variables for the government-related units; moreover, to educate the public should make personal health management when take part in the festival activities.

Keywords: particular matter, festival activities, meteorological variables, doi: 10.3966/025400022020124802001