

摘要

環保署以污染物標準指標 (Pollutant Standards Index, PSI)，提供民眾及政府單位於發生嚴重空氣污染時能有所因應。目前所使用之 PSI 乃大體沿用美國之標準指標，主要由五個副指標污染物(PM₁₀、SO₂、CO、NO₂及 O₃)中選取最大值作為當日之 PSI 指標。但 PSI 值之設定卻無法同時反應多種污染物達有害程度及其持續性。PSI 值大於 100 定義為空氣品質不良，但其污染物濃度之換算值卻與空氣品質標準與發布各級空氣品質惡化警告之污染物濃度條件有所差異，容易造成認知上之誤解。例如懸浮微粒(PM₁₀)大於 125 $\mu\text{g m}^{-3}$ 時即超過空氣品質標準之定義，但其換算為 PSI 值約為 88，屬於空氣品質普通，兩者對空氣品質之界定即有所出入。再加上各國對同一空氣污染物濃度標準之訂定不盡相同，故尋求一最適宜台灣之濃度標準值自當深思。

本計畫考慮各污染物濃度值間對空氣品質之影響，並依據過去監測資料；提出一修正現行之空氣品質指標(Revised Air Quality Index, RAQI)加以探討。結果顯示，利用熵函數試算發現以 1999 年至 2000 年為例 RAQI 與現行 PSI 差異性顯著；另一方面運用 RAQI 於高屏空品區高污染測站上，比較結果發現與 PSI 之指標值分布能加以區隔，並使指標值較為擴散；涵蓋範圍加大。換言之 RAQI 較具充分代表性，與提供民眾對空氣品質另一參考。

關鍵詞：污染物標準指標 (Pollutant Standards Index, PSI)、熵函數、
修正現行之空氣品質指標(Revised Air Quality Index, RAQI)

ABSTRACT

The Environmental Protection Administration of Taiwan has been providing air quality service by the reporting of the Pollutants Standard Index (PSI) since 1997. This standard was developed by US Environmental Protection Authority to estimate air quality by comparing concentrations of the main five common pollutants (PM₁₀, SO₂, CO, NO₂, and O₃). For each pollutant, a sub-index was calculated from a segmented linear function that transforms ambient concentrations onto a scale extending from 0 to 500. The standard index based on the sub-index with the highest. The main disadvantage of the PSI can only identify one pollutant at a time in the acceptable level. Hence, it cannot show if there is more than one pollutant that exceeds the standard level on the daily PSI. When the PSI scale reaches 100, the region may be regarded as polluted, however, this transformation could be misleading. For example, when the standard level for PM₁₀ concentration reaches $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$, it could only convert to the PSI scale of less significant 88. The confusion is further increased as the standard pollution concentration level varies among different countries. To work out the most suitable concentration level for those pollutants in Taiwan, more significant consideration standard has to be given.

Based on the original PSI and entropy function, it is suggesting a Revised Air Quality Index (RAQI). RAQI can rectify the current deficiencies of the PSI, which has the side effects of making the “real” pollution concentration diagrams ambiguous, and eclipsed. It considers the association of the five pollutants, and has the comparative index function. According to the tentative result, RAQI should be able to provide amply a representative, to supply the public better reference in air quality. RAQI can present “local” environment and offer the effective assessment.

Keywords : Pollutants Standard Index (PSI) ; Entropy function ; Revised Air Quality Index (RAQI)

目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	IV
圖目錄.....	V
一、前言.....	1
二、文獻回顧.....	1
2.1 我國空氣品質指標.....	1
2.2 美國空氣品質指標制度.....	2
2.3 加拿大空氣品質指標.....	2
2.4 英國空氣品質指標制度.....	2
2.5 澳洲空氣品質指標制度.....	3
2.6 紐西蘭空氣品質指標制度.....	3
2.7 香港空氣污染指標制度.....	4
2.8 各國空氣品質標準之比較.....	4
三、新空氣品質指標之研究方法.....	11
四、結果與討論.....	13
4.1 空氣品質指標值 RAQI 與 PSI 差異比較.....	13
4.2 RAQI 公式演算探討.....	15
4.3 高污染事件日案例探討.....	17
五、結論.....	26
六、參考文獻.....	27

表目錄

表 2-1	污染物濃度轉換 PSI 對照表.....	5
表 2-2	PSI 值對健康效應說明.....	6
表 2-3	美國污染物濃度轉換 AQI 對照表.....	6
表 2-4	AQI 值與對人體健康之影響.....	6
表 2-5	加拿大污染物濃度值與指標值轉換表.....	8
表 2-6	加拿大安大略省污染物標準值.....	8
表 2-7	英國污染物濃度與指標值轉換表.....	8
表 2-8	澳洲污染物濃度標準值.....	9
表 2-9	紐西蘭空氣品質標準值.....	9
表 2-10	紐西蘭空氣品質狀況說明.....	9
表 2-11	香港污染物濃度對應指數值與質素指標.....	10
表 2-12	各國空氣品質標準值比較.....	10
表 2-13	各國空氣品質指標系統之比較.....	11

圖目錄

圖 4-1	1999 年高屏空品區 PSI 與 RAQI 月均值.....	17
圖 4-2	2000 年高屏空品區 PSI 與 RAQI 月均值.....	17
圖 4-3	1999 及 2000 年高屏空品區 PSI 與 RAQI 分布頻率圖.....	20
圖 4-4	高屏空品區監測站分布圖.....	21
圖 4-5	1999 年各測站 PSI & RAQI 值日數分布圖.....	22
圖 4-6	1999 年潮州與恆春之平均指標熵值比較圖.....	23
圖 4-7	1999 年大寮與恆春之平均指標熵值比較圖.....	23
圖 4-8	潮州測站 RAQI 之各項函數值比較.....	24
圖 4-9	恆春測站 RAQI 之各項函數值比較.....	24
圖 4-10	1999 年潮州測站 RAQI 各項函數結合分布比較圖.....	25
圖 4-11	2000 年 O ₃ 高污染事件日 RAQI 與 PSI 之比較.....	26
圖 4-12	2000 年 PM ₁₀ 高污染事件日 RAQI 與 PSI 之比較.....	26

一、前言

環境保護署以污染物標準指標 (Pollutant Standard Index, PSI) 來評估空氣品質狀況，以提供民眾及政府單位於發生空氣污染事件日時能有所因應。目前環保署以 PSI 大於 100 之站日數比例訂定未來空氣品質目標。台灣地區每日 PSI 值主要以五種主要污染物副指標值之最大值表示，因此 PSI 並無法同時反應多種污染物之危害程度，尤其特別是對敏感族群(Radojevic and Hassan, 1999)。

PSI 值之訂定為利用污染物平均濃度換算為副指標所得，大致架構沿用美國環保署之指標，故欠缺本土化的影響因素。由歷年統計資料顯示，PSI 大於 100 之站日數發生率受季節及空間性 (地理位置) 之影響顯著。許多學者研究指出綜觀天氣與出現高污染物濃度值有密切相關(Cheng, 2001^a; Cheng et al, 2001; Cheng, 2000; Pont and Fontan, 2000; Chan et al, 1998; Harrison et al, 1997)，氣象因子之差異亦影響每日之空氣品質，如風速及溫度等因子會影響污染物擴散及生成轉化 (Cheng, 2001^b; Cogliani, 2001; Perrino et al, 2001; Wu and Chan, 1997; Ludwig and Tulbure, 1996; Anthes and Warner, 1978)。高屏地區由於工業、交通與人口密集，空氣污染嚴重惡化，尤其是懸浮微粒 (PM₁₀) 與臭氧 (O₃) 的污染為全台最嚴重 (陳穩至與吳義林, 1998)，故本研究針對我國 PSI 系統在高屏地區受環境條件的影響。

本研究將研擬以污染物平均濃度為基礎之空氣品質指標，透過蒐集其他國家使用的空氣品質指標系統，就其污染物濃度轉換指標基準、副指標結合方式、及架構方面進行探討比較，參考適合本土的方式，並依據過去監測資料以建立多元空氣品質指標，評估空氣污染防治績效。

二、文獻回顧

2.1 我國空氣品質指標

我國自民國 73 年參考美國環保署使用之污染標準指標，建立我國空氣品質指標，民國 78 年起，參考美國修正之 PSI 系統以修訂我國系統並沿用至今。空氣品質監測站分為一般、交通、工業、國家公園及背景等五類測站，主要污染物分為五種：PM₁₀、SO₂、CO、NO₂ 及 O₃，將監測所得污染物濃度轉換副指標值，選取當日最大副指標值為當日指標污染物，表 2-1 即污染物濃度轉為 PSI 值之對照表。PSI 值在 100 以下表示當日空氣品質符合美國環境空氣品質標準中之短期 (24 小時或更短) 之平均值，PSI 值 100 以上，依美國環保署研究，對身體狀況較不好或較敏感族群，會使症狀惡化，PSI 值對健康影響效應說明如表 2-2 所示。

2.2 美國空氣品質指標制度

污染標準指標 (Pollutant Standard Index, PSI) 是 1976 年美國政府建立一空氣品質指標制度 (Ott and Thom, 1976)，該制度是美國環保署與環境品質諮詢會 (Council on Environmental Quality, CEQ) 因調查發現 55 個城市中，各環保單位各自引用不同指標與不同污染物約有 14 種，以提供當地空氣品質狀況，常令民眾混淆，故計畫建立一個具全國統一之指標，該指標需容易被民眾了解且須包含主要污染物及適用於未來之污染物。PSI 採用國家環境空氣品質標準 (National Ambient Air Quality Standards, NAAQS) 及空氣污染事件標準顯著之有害污染濃度，以線性內插函數來計算污染物之副指標值。表 2-3 為污染物濃度轉換 AQI 對照表。

美國環保署於 1999 年依據清靜空氣法案第 319 節，對空氣品質之指標進行修正，修正內容為：(1) 增加對敏感族群不健康之描述 (2) 當副指標值超過 100 時，必須說明對此污染物特別敏感之族群的說明 (3) 以顏色報導空氣品質時，分別以 6 種不同顏色代表 (4) O₃ 副指標新增 8 小時平均濃度轉折點 (5) 新增 PM_{2.5} 副指標項目 等等，並將指標名稱 PSI 改名為 AQI (Air Quality Index)。AQI 各指標污染物對應之濃度值及對健康效應之說明等列於表 2-4 所示。

2.3 加拿大空氣品質指標

加拿大空氣指標(AQI)所代表的五種指標污染物分別為：臭氧(O₃)、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO₂)及懸浮微粒(SP)五種，以當日污染物換算對應的指標，指標之數值是依據國家周界空氣品質目標 (National Ambient Air Quality Objectives, NAAQO) 中規範之污染物與加拿大國家空氣污染監視網(National Air Pollution Surveillance Network, NAPS) 的空氣品質監測站監測數據，表 2-5 為污染物轉換指標對照表。每日 AQI 值為當日最嚴重之污染物，其劃分的等級為 4 等級，0~25 表示空氣品質良好，26~50 表示空氣品質普通，51~100 表示空氣品質不良，100 以上表示空氣品質極差。

加拿大安大略省 (Ontario) 於 2000 年起使用新空氣品質指標制度，由地區空氣品質監測網監測數據估算空氣品質指標，以提供當地空氣品質狀況，主要污染物為周界空氣品質標準 (Ambient Air Quality Criterion, AAQC) 規範之 6 種污染物：CO、NO₂、O₃、fine particulate matter 及 total reduced sulphur，其對人體健康及動植物危害之效應如表 2-6 所示。安大略省空氣品質指標尺度與加拿大政府制定不同於將指標值 50 以下再細分三等級，0~15 表示非常良好，16~31 表示為良好，32~49 表示普通。

2.4 英國空氣品質指標制度

英國空氣品質指標是利用空氣污染對健康效應之醫學與科學所研究的結

果，為英國空氣污染資訊服務局（Air Pollution Information Service）用來描述空氣污染程度之狀況，劃分四個等級，指標值為 0~10，其代表意義：指標值 1~3 表示低污染，4~6 表示中度污染，7~9 表示高污染，10 以上代表非常嚴重。

空氣品質的指標污染物及等級設定主要是依據英國國家空氣品質對策（UK National Air Quality Strategy）公佈空氣品質標準，及英國衛生署之空氣污染物健康效應委員會（Department of Health's Committee on the Medical Effects of Air Pollutant）的建議。各種污染物污染程度轉換成空氣品質級段說明於表 2-7。

區域性預報及摘要由英國空氣污染資訊服務局提供，主要分為三種區域型態：鄰近繁忙道路的城市及城鎮、城市其他地區、鄉村地區，針對每一個特定區域提供整體的污染程度，各污染物中只要一個污染物污染程度嚴重則代表該區域污染程度為嚴重，而預測報告上將三種區域型態的污染程度狀況同時顯示以供大眾明瞭。

2.5 澳洲空氣品質指標制度

澳洲空氣品質指標是評估空氣污染情況是否會造成健康危害，計算方法是將空氣品質監測站所監測之污染物最大濃度與污染物標準求百分比，該百分比值即為副指標值，方程式如下：

$$\text{副指標值} = \frac{\text{污染物濃度}}{\text{污染物標準}} * 100$$

所有污染物副指標值中最大者為當日空氣品質之指標污染物，指標之尺度範圍 0~150 劃分 5 等級，0~33 表示空氣品質非常良好，34~66 表示空氣品質普通，67~99 表示空氣品質不良，100~149 表示空氣品質惡化，150 以上表示空氣品質極惡化，當副指標為 100 時，表示空氣品質濃度等於國家環境保護計量（National Environment Protection Measure, NEPA）或（State Environment Protection Policy, SEPP）中空氣標準等級。此系統污染物換算對照表如表 2-8 所示。

2.6 紐西蘭空氣品質指標制度

紐西蘭之空氣品質指標制度是將副指標污染物依照各污染物濃度基準，依不同比值予以分級，其計算方式與澳洲相似，以監測之污染物濃度值與污染物標準值之百分比值作為副指標值，以最大副指標值為當日該測站之指標值，轉換表如表 2-9 所示。

紐西蘭目前正研議規劃第二階段空氣品質指標系統，未來將增加 PM_{2.5}、能見度、苯、苔蘚種類/被覆率等副指標污染物，其對照之指標濃度值尚在研議中。對健康效應說明如表 2-10 所示。

2.7 香港空氣污染指標制度

香港的空氣污染指數是由數種空氣污染物的監測數據換算轉為介於 0~500 的指標值。該指標係根據國際標準所制訂，以評估香港的空氣質素管理情況。

空氣污染指數的數值由 0~500，根據對健康影響不同程度而分為 5 級，其中 100 值與短期香港空氣質素指標(即每小時和每 24 小時指標)是相應。當空氣污染指數超過 100 時，即表示有一種或多種污染物的濃度高於健康水平，一些敏感族群的健康可能會即時受到影響，污染物濃度對應指數值與質素指標如表 2-11。

香港環保署每小時會公佈最新的「一般」和「路邊」空氣污染指數，將監測所得的空氣污染物濃度，與空氣質素指標互相比較。主要污染物包括：二氧化氮、二氧化硫、臭氧、一氧化碳和可吸入懸浮粒子。環保署先計算出這 5 類污染物各自對應的空氣污染指數，然後選取最高的數值作為該小時的空氣污染指數。

空氣污染指數的預測可以警示嚴重的空氣污染情況，提醒大眾，尤其是敏感族群的人，如患有心臟病或呼吸系統毛病者，在必要時採取預防措施。

2.8 各國空氣品質標準之比較

綜合以上蒐集之各國空氣品質指標系統可以歸納分析出其差異性。由於各國的空氣品質標準定義不同，如美國、香港及我國將空氣品質標準訂定副指標值 100 為標準值，而加拿大、英國、澳洲及紐西蘭則有其訂定之標準，故針對各國符合空氣品質標準副指標值所對應的濃度值，分別整理於表 2-12，並就其計算方式、類型與標準尺度彙整於表 2-13。本計畫將各國空氣品質指標制度之差異整理如下：

- a. 標準濃度不同：各國空氣品質指標對應濃度標準不一，如 PM₁₀ 基準濃度以英國、澳洲 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 最嚴格，香港 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 標準最為寬鬆；SO₂ 基準濃度以紐西蘭 0.04ppm 較嚴格；NO₂ 基準濃度以澳洲較嚴格；CO 基準濃度以紐西蘭及香港 8.7ppm 最為嚴格，加拿大 15ppm 最為寬鬆；王秋森（1999）指出，成年人在一般活動狀態下暴露 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （約 0.08ppm）之 O₃ 濃度下，肺功能會降低，低於此濃度孩童會產生相同健康效應，故 O₃ 基準濃度以紐西蘭 0.047ppm 最為嚴格，英國次之，而我國 O₃ 較為寬鬆。
- b. 採用平均時間不同：如加拿大、澳洲、香港及我國 O₃ 採 1 小時平均，而美國、英國、紐西蘭採 8 小時平均值。
- c. 計算方式：各國指標轉換方式不同，我國、美國、加拿大、英國及香港是將污染物濃度對應空氣品質指標值轉換，而澳洲與紐西蘭為污染物濃度與污染物標準值之百分比。

- d.數學計算類型：美國、加拿大、英國、香港及我國皆採用線段線性函數，即以線性內插函數來計算副指標值，澳洲及紐西蘭則採用線性函數法計算（袁君秋，2002）。
- e.指標代表不同區域之空氣品質：美國、加拿大、澳洲及紐西蘭直接報導各測站之空氣品質狀況，英國及香港各測站之指標值即代表該測站所在地區之空氣污染狀態，而我國除了以測站報導外，也以空氣品質區為報導單位。

綜合以上結果有關 NO₂ 之標準，目前我國 NO₂ 於 PSI 值為 100 時，並無對應之值，而 5 種污染物中以 NO₂ 對呼吸道疾病門診率的相關強度最大（黃景祥，2000），而國外研究指出 NO₂ 與上呼吸道疾病及氣喘的發作有顯著相關（Pershagen et al., 1995），林瑞雄（1999）認為 NO₂ 的短時暴露限制為 0.11ppm，長期健康觀點則降至 0.023ppm，而目前我國法規規定之空氣品質標準值訂為小時平均值 0.25ppm，年平均值為 0.05ppm，至目前為止，NO₂ 年平均值為 0.021ppm，小時平均值之最高值為 0.272ppm，小時值曾超過法規標準值但 PSI 卻無法顯示其空氣品質不良狀況。現行法規標準值與各研究報告之值也不同，而人類每日暴露於環境中，因此法規標準值的合理性與訂定出一個安全暴露值值得探討。

表 2-1 污染物濃度轉換 PSI 對照表

PSI	污染物				
	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (ppm)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)
	24hr	24hr	8hr	1hr	1hr
50	50	0.03	4.5	--	0.06
100	150	0.14	9.0	--	0.12
200	350	0.30	15.0	0.6	0.20
300	420	0.60	30.0	1.2	0.40
400	500	0.80	40.0	1.6	0.50
500	600	1.00	50.0	2.0	0.60

註：「--」表示無對應之值

資料來源：環保署（2003）

表 2-2 PSI 值對健康效應說明

PSI	定義	健康影響說明
0~50	良好	此指標範圍內，不影響健康，民眾不需要採取預防措施
51~100	普通	對身體較弱族群，如心臟病患呼吸器官疾病患者等，健康無影響
101~199	不良	較敏感族群會有輕微惡化現象
200~299	極不良	心肺疾病患者明顯惡化，一般民眾可能有不適症狀，應都待在室內並減少活動
300~399	有害	對身體除症狀顯著惡化並減低一般人活動能力
400~500	有害	可能造成疾病患者及老人提早死亡，一般民眾將出現影響生活情況

資料來源：環保署（2003）

表 2-3 美國污染物濃度轉換 AQI 對照表

AQI	24-hrPM ₁₀ μg/m ³	24-hrPM _{2.5} μg/m ³	24-hrSO ₂ ppb	8-hrCO ppm	1-hrNO ₂ ppb	8-hrO ₃ ppb	1-hrO ₃ ppb
0~50	50	15	30	4	--	60	--
51~100	150	40	140	9	--	80	--
101~150	250	65	220	12	--	100	160
151~200	350	150	300	15	--	120	200
201~300	420	250	600	30	650-1240	400	400
301~400	500	350	800	40	1250-1640	--	500
401~500	600	500	1000	50	1650-2040	--	600

註：(1) 一般地區 O₃ 以 8 小時平均值計算，有些地區以 1 小時平均值計算。

(2) NO₂ 沒有短期的 NAAQS 值，故只計算 AQI 值 200 以上。

(3) 8-hr O₃ AQI 大於 300 以上沒有定義，須以小時平均為基準。

表 2-4 AQI 值與對人體健康之影響

AQI	定義	說明					
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO ₂	O ₃
0~50	良好	無	無	無	無	無	無
51~100	普通	無	無	無	無	無	敏感族群應考慮限制長時間戶外活動
101~150	對敏感	呼吸疾病者，如氣喘患者應	呼吸及心臟疾病者，老人	氣喘患者應考慮限制戶外活	有循環系統疾病者如心絞	無	小孩、成人及呼吸系統疾病

	族群不健康	限制長時間戶外活動	及小孩應都限制長時間戶外活動	動	痛，應限制繁重活動避免受來源影響		者應避免長時間戶外活動
151~200	不健康	呼吸及心臟疾病者，老人及小孩應避免限制長時間戶外活動，每個人都應限制長時間戶外活動	呼吸及心臟疾病者，老人及小孩應避免限制長時間戶外活動，每個人都應限制長時間戶外活動	小孩、氣喘患者和心肺疾病者應限制戶外活動	有循環系統疾病者如心絞痛，應限制一般活動	無	小孩、成人及呼吸系統疾病者，應避免長時間戶外活動，尤其是小孩
201~300	非常不健康	呼吸及心臟疾病者，老人及小孩應避免限制所有戶外活動，每個人都應限制戶外活動	呼吸及心臟疾病者，老人及小孩應避免限制所有戶外活動，每個人都應限制長時間戶外活動	小孩、氣喘患者和心肺疾病者應待在室內，每個人應避免戶外活動	有循環系統疾病者如心絞痛，應限制活動	小孩、呼吸疾病患者應限制一般或激烈的戶外活動	小孩、成人及呼吸系統疾病者，應避免所有戶外活動，尤其是小孩
301~500	有害	每個人都應避免所有任何活動	每個人都應避免所有任何活動		有循環系統疾病者如心絞痛，應限制一般活動，每個人應限制激烈活動		每個人都應避免所有戶外活動

資料來源：美國環保署網頁（2003）

表 2-5 加拿大污染物濃度值與指標值轉換表

指標值	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ (ppb)	CO (ppm)	NO ₂ (ppb)	O ₃ (ppb)
	24hr	24hr	8hr	1hr	1hr
25	---	57	5	---	51
50	120	115	13	213	82
100	400	306	17	532	153

資料來源：加拿大環保署網頁（2003）

表 2-6 加拿大安大略省污染物標準值

污染物	標準值	平均時間	說明
TSP	120 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24hr	能見度
SO ₂	275 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24hr	健康、植物
CO	36200 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8hr	健康
NO _x	400 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1hr	健康
O ₃	165 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1hr	健康、植物
TRS	40 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1hr	臭度

資料來源：Standards Development Branch Ontario Ministry of the Environment
(2001)

表 2-7 英國污染物濃度與指標值轉換表

指標值	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ (ppb)	CO (ppm)	NO ₂ (ppb)	O ₃ (ppb)
	24hr	15min	8hr	1hr	8hr
1	0~16	0~32	0~3.2	0~49	0~16
2	17~32	33~66	3.3~6.6	50~99	17~32
3	33~49	67~99	6.7~9.9	100~149	33~49
4	50~57	100~132	10.0~11.5	150~199	50~62
5	58~66	133~166	11.6~13.2	200~249	63~76
6	67~74	167~199	13.3~14.9	250~299	77~89
7	75~82	200~266	15.0~16.5	300~332	90~119
8	83~91	267~332	16.6~18.2	333~366	120~149
9	92~99	333~399	18.3~19.9	367~399	150~179
10	100~	400~	20~	400~	180~

資料來源：英國環保部網頁（2003）

表 2-8 澳洲污染物濃度標準值

NEPM 指標等級		
污染物	平均時間	最大濃度
PM ₁₀	24hr	50.00µg/m ³
SO ₂	1hr	0.20ppm
CO	8hr	9.00ppm
NO ₂	1hr	0.12ppm
O ₃	1hr	0.10ppm

資料來源：澳洲環保署網頁（2003）

表 2-9 紐西蘭空氣品質標準值

污染物	標準值	平均時間	效應
PM ₁₀	120µg/m ³	24hr	對人體健康影響效應及能見度降低
SO ₂	125µg/m ³	24hr	對人體健康影響效應及植物損害
CO	10mg/m ³	8hr	對人體健康影響危害
NO ₂	300µg/m ³	1hr	對人體健康影響危害及產生棕色煙霧
O ₃	100µg/m ³	8hr	對人體健康影響效應及植物損害

資料來源：澳洲環保署網頁（2003）

表 2-10 紐西蘭空氣品質狀況說明

等級	定義	說明
非常良好	與空氣品質標準比值在 10%以下	沒有影響
良好	介於空氣品質標準 10%~33%間	沒有影響
可接受	介在空氣品質標準 33%~66%間	最大值影響敏感地區，但並無應變行動
警戒	介於空氣品質標準 66%~100%間	警戒等級，若未控制住將導致超出標準
行動	超過空氣品質標準值	授權進行重大應變行動

資料來源：紐西蘭環保署（2003）

表 2-11 香港污染物濃度對應指數值與質素指標

指數值	TSP	SO ₂		CO		NO ₂		O ₃
	24hr	24hr	1hr	8hr	1hr	24hr	1hr	1hr
0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	28	40	200	2500	7500	40	75	60
50	55	80	400	5000	15000	80	150	120
100	<u>180</u>	<u>350</u>	<u>800</u>	<u>10000</u>	<u>30000</u>	<u>150</u>	<u>300</u>	<u>240</u>
200	350	800	1600	17000	60000	280	1130	400
300	420	1600	2400	34000	90000	565	2260	800
400	500	2100	3200	46000	120000	750	3000	1000
500	600	2620	4000	57000	150000	940	3750	1200

註：加底線之值係香港空氣質素指標短期（1 小時或 24 小時）濃度值
單位：μg/m³

資料來源：香港環保署（2003）

表 2-12 各國空氣品質標準值比較

污染物		台灣	美國	加拿大	英國	澳洲	紐西蘭	香港	
PM ₁₀	濃度值	150 μg/m ³	150 μg/m ³	120 μg/m ³	50 μg/m ³	50 μg/m ³	120 μg/m ³	180 μg/m ³	
	平均時間	24hr	24hr	24hr	24hr	24hr	24hr	24hr	
SO ₂	濃度值	0.14 ppm	0.14 ppm	0.3 ppm	0.1 ppm	0.2 ppm	0.04 ppm	0.13 ppm	0.30 ppm
	平均時間	24hr	24hr	24hr	15min	1hr	24hr	24hr	1hr
CO	濃度值	9.0 ppm	9.0 ppm	15.0 ppm	10.0 ppm	9.0 ppm	8.7 ppm	8.7 ppm	26.2 ppm
	平均時間	8hr	8hr	8hr	8hr	8hr	8hr	8hr	1hr
NO ₂	濃度值	--	0.053 ppm	0.4 ppm	0.15 ppm	0.12 ppm	0.15 ppm	0.07 ppm	0.15 ppm
	平均時間	1hr	annual	1hr	1hr	1hr	1hr	24hr	1hr
O ₃	濃度值	0.12 ppm	0.08 ppm	0.08 ppm	0.05 ppm	0.10 ppm	0.047 ppm	0.12 ppm	
	平均時間	1hr	8hr	1hr	8hr	1hr	8hr	1hr	

PM _{2.5}	濃度值	--	65 μg/m ³	--	--	--	--	--	--
	平均時間	--	24hr	--	--	--	--	--	--

註：(1) 各國符合空氣品質標準副指標值所對應的濃度值

(2) 「--」表示無對應之值

表 2-13 各國空氣品質指標系統之比較

項目		台灣	美國	加拿大	英國	澳洲	紐西蘭	香港
指標值轉換方式	污染物濃度對應指標值轉換	√	√	√	√			√
	污染物濃度與污染物標準值之百分比					√	√	
數學計算	線段線性函數法	√	√	√	√			√
	直線線性函數法					√	√	
指標值	指標尺度	0-500	0-500	0-100	1-10	0-150	0-100%	0-500
	標準等級	100	100	50	4	66%	66%	100
	指標值代表之區域	各地區測站	各地區測站	各地區測站	交通繁忙區 一般城市區 鄉村地區	各地區測站	各地區測站	一般與道路地區

註：「√」表示該國採用此方式

三、新空氣品質指標之研究方法

熵函數方程式 (Entropy Function) 多年來已運用於大氣能量平衡模式，其分析結果廣泛引人注意 (North et al., 1983；林振山與楊修群，1995)。模式之最大優點在於其能簡潔的表達，還可用來研究參數化技術與敏感性評估。不可諱言，正因為如此使得模式的物理真實性受到了一些模糊，此意正是指標之長處。

Entropy 「熵」代表的是物理量 Q/T 之「商」； Q 表示流動之熱量，而 T 則代表溫度 (以絕對溫度表示)。熱力學上，萬物間對於能量之轉變或傳送，其前後之量雖不變，但是隨之改變並有持續增加的是 Entropy，當有效能量轉變成機械功時同時產生熱量而釋放於環境。此熱量即代表對於做功無效之部分而所謂之 Entropy 系一種尺度，用來表示其無效值此部分之程度，亦表示代表能量之效率

(Entropy 愈大，則轉換效率愈低)。這種代表紊亂程度，在熱力學上稱為熵 (Entropy)。熵雖源自熱力學，但除熱力學之熱熵(Thermal Entropy)以外，尚應用在資訊學上，稱為資訊熵 (Information Entropy)。熱力學之熵係依能量品質之高低，而資訊熵又是物質熵 (Matter Entropy) 的一種，並一物質對於某種目的所具「有用性」之程度。本研究利用 Shannon's Entropy Function 為工具，集合一些國內、外學者針對 PSI 值制定，提出一空氣品質指標建議方案(李俊毅與丘依樞，1996)。建立一修正現行空氣品質指標(Revised Air Quality Index, RAQI)其結合函數如下：

$$RAQI = \text{Max}[I_1, I_2, \dots, I_5] \times \frac{\sum_{j=1}^5 \text{Ave}_{\text{daily}} [I_j]}{\text{Ave}_{\text{annual}} \left[\sum_{j=1}^5 \text{Ave}_{\text{daily}} [I_j] \right]} \times \frac{\text{Ave}_{\text{annual}} \{ \text{Entropy}_{\text{daily}} [\text{Max}[I_1, I_2, \dots, I_5]] \}}{\text{Entropy}_{\text{daily}} [\text{Max}[I_1, I_2, \dots, I_5]]}$$

其中 I_1, I_2, \dots, I_5 ；與 I_j 分別為 PM₁₀，SO₂，CO，NO₂ 及 O₃ 五種副指標值；根據 PSI 值之盲點加以修正公式細說如下：

方程式之首項 $\text{Max}[I_1, I_2, \dots, I_5]$ ，稱為最大操作型函數，即為各副指標之最大值，其可減少遮蔽偏差的產生，此為空氣污染對人體的基本效應，乃目前現行

PSI 之取值。方程式之第二項 $\frac{\sum_{j=1}^5 \text{Ave}_{\text{daily}} [I_j]}{\text{Ave}_{\text{annual}} \left[\sum_{j=1}^5 \text{Ave}_{\text{daily}} [I_j] \right]}$ ，稱為背景算術平均指標

值，用以當作該測站之現況比較，其中概括五種污染物之污染程度，分子項為各副指標之每日算術平均值，分母項為各副指標之日平均值後再取年平均。方程式

之第三項 $\frac{\text{Ave}_{\text{annual}} \{ \text{Entropy}_{\text{daily}} [\text{Max}[I_1, I_2, \dots, I_5]] \}}{\text{Entropy}_{\text{daily}} [\text{Max}[I_1, I_2, \dots, I_5]]}$ ，稱為背景算術平均指標熵值，分

母項為每日之各副指標取 log 以 10 為底之熵值，即為熵函數之日平均值，分子項為每日之熵值平均後再取年平均。簡單說，當指標值較平均時即表示污染相對較不嚴重 (Entropy Value 愈大)，反之當指標值較分散時即污染相對較嚴重

(Entropy Value 愈小)。由於一般指標值往往會產生偏差情形，包含模糊 (Ambiguity) 與遮蔽 (Eclipse) 兩個現象，而模糊現象即污染物危害環境不至於如指標值所顯示般嚴重，發生於利用副指標值線性相加來決定總指標值，亦指產生誇張污染損害之慮；遮蔽現象即污染損害應較指標值嚴重，發生於利用副指標值之權重相加或以算數平均來決定總指標值，易使指標值低於最大可能污染損害(Ott and Thom, 1976；United Nations, 1984；Swamee and Tyagi, 1999)。由上述三項函數之優點是可以站在污染物最低效應的基礎，進一步的考慮其他污染的存在，並區分歧分布狀況，以此物理推論為開始，此指標不但具有比較性的功能，

且考慮了可能產生之偏差令其降到最低。

本指標仍沿用美國原 PSI 指標值與污染物濃度對照及空氣品質等級劃分，由於本指標考慮了基本效應與聯合效應，並利用背景項比較控制指標值使得指標值在基本效應下之合理分布，應更適合原空氣品質等級劃分，所以利用均值函數與熵值函數的 RAQI 考慮了其他污染物的資訊使得類似 PSI 之最大指標值間能加以區隔；亦使得指標值較為擴散。

四、結果與討論

由環保署空氣品質資料統計顯示(1993 年 9 月~2002 年 8 月)，在台灣七個空品區中以高屏空品區空氣品質不良占總監測日數比例最高，而在 1999 年前其不良比例高達 40%以上，在 1999 年後空氣品質不良占總監測日數比例為 30%並逐年下降。而高屏空品區全區十六個監測站(前金、美濃、鳳山、楠梓、屏東、潮州、仁武、林園、大寮、左營、小港及三民)，除了橋頭(背景測站)、前鎮(工業測站)、復興(交通測站)及恆春(公園測站)外，其餘十二個為大氣測站；根據資料統計分析結果，在 1997~2001 年間 PSI 年均值介於 62~68.5 之間，並且有逐年下降趨勢，由於資料龐大彙整不易加上缺值日數多，故選定 1999 及 2000 年為案例，探討比較 RAQI 與 PSI 之分布比較。

4.1 空氣品質指標值 RAQI 與 PSI 差異比較

如圖 4-1 及 4-2 中以 1999 及 2000 年高屏空品區空氣品質指標值為案例，在低污染期間(6~8 月) RAQI 與 PSI 指標值分布差異並不太大，而在春、秋及冬季高污染季節期間其兩者指標值分布差異較為明顯，並且發現 RAQI 指標值較高於 PSI 指標值。經由統計變異數分析結果，1999 年全年 RAQI 與 PSI 指標值兩者 p 值小於 0.00001，表示兩指標值間有顯著的差異，而 RAQI 指標值平均數為 110，標準誤差 (Std Error) 為 3.15，標準差 (Std Dev) 為 60.2；PSI 指標值平均數為 85，標準誤差為 1.61，標準差為 30.7，顯示出 RAQI 指標值較高且指標值分布較為寬廣。2000 年全年 RAQI 與 PSI 指標值兩者 p 值小於 0.00001，亦表示兩指標值間有顯著的差異，但不及 1999 年來得顯著差異，而 RAQI 指標值平均數為 99，標準誤差為 2.43，標準差為 46.6；PSI 指標值平均數為 84，標準誤差為 1.39，標準差為 26.6，亦顯示出 RAQI 指標值較高且指標值分布較為寬廣。若以夏季(低污染)及秋季(高污染)兩者比較 PSI 與 RAQI 之分布頻率(如圖 4-3)，比較 1999 年及 2000 年結果顯示夏季(低污染)之 PSI 與 RAQI 之分布頻率趨勢相似度高，表示 PSI 與 RAQI 於低污染期間差異並不大，高頻率(0.04~0.08)均出現在指標值為 40~60 左右；而於高污染期間 RAQI 分布範圍較 PSI 寬廣，所顯示高指標值甚至出現超過 200 以上，分布頻率趨勢亦明顯不同，由於 PSI 只取當日最大之副指標為該日空氣品質指標值，雖可避免遮蔽偏差現象，但無法同時反應出其他影響人體健康之污染物；而 RAQI 考量五種副指標 (PM₁₀, SO₂, CO, NO₂ 及 O₃)，並結合其他函數考量，所突顯的是五種副指標影響空氣品質的程度，並

且站在污染物最低效應的基礎，進一步的考慮其他污染的存在，所以使得 PSI 與 RAQI 其指標值於高污染期間發生分歧分布狀況。

以 RAQI 與 PSI 指標值分布比較而言，現行台灣 PSI 採用污染物濃度與指標值對照，並輔以線性內插函數來計算各污染物的副指標值後，依最大操作型函數選取 PSI (李俊毅, 1996; Malakos and Wong, 1999), PSI 並無法同時反應多種污染物之危害程度，尤其特別是對敏感族群 (Radojevic and Hassan, 1999)。1999 年 PSI 與 RAQI 分布比較 (如圖 4-5)，由圖可見由於利用均值函數與熵值函數的 RAQI 考慮了不只 PM₁₀ 與 O₃ 兩個主要嚴重污染物，而加入其它污染物的資訊使得以最大指標值 (PSI) 能加以區隔分布，也就是讓指標值較為擴散，涵蓋範圍加大，如此 RAQI 能擴及範圍至 200 以上，指標值也不似 PSI 集中於特定區間，以較擴散與寬廣範圍表示出空氣品質情形，而圖 4-5 中 RAQI 折線分布均有於低污染之指標值 10~20 區間發生較高日數，乃由於熵函數運算是以取指標值 log 值以 10 為底之數理觀念，而 PSI 值大多集中於 100 左右，導致取 log 值後 RAQI 會於指標值 10~20 區間發生日數較多之特性現象，但整體各測站 RAQI 實算指標值之分布比 PSI 涵蓋範圍寬廣，尤其在指標值顯示空氣品質不良之情形。由於高屏空品區十六個監測站中，均具有不同地理特性及不同測站屬性，故將其分為以下三點討論：

a. 測站位置：

由高屏空品區監測站分布圖顯示 (如圖 4-4)，美濃、屏東及大寮均屬於地區相對內陸之監測站，而林園及前金屬於沿海之監測站，內陸地區除大寮測站的污染特性為工業排放為主外，美濃及屏東卻出現空氣品質不良之現象，由於美濃測站因受河谷地形與其他地區外來傳輸之污染物影響，以臭氧為主要污染物 (謝季燕等, 2001; 羅詩源等, 1997)。而依據宋偉國等 (2002) 針對高雄地區臭氧擴散之影響研究指出，運用中尺度氣象模式 MM5 與空氣污染模式 CAMx 結合以秋季個案，在綜觀環境天氣為微弱東北季風型態，東北季風遇到南台灣地形時，於背風坡產生低壓環流，使得高屏地區除了受海陸風環流影響外，尚有受此低壓環流效應影響。在上午高雄地區風向為西南風時，內陸之屏東及美濃有較高臭氧濃度；中午以後風向轉為西北，受西北風傳送影響，林園出現高濃度。

而由圖 4-5 中 RAQI 與 PSI 分布除了不似 PSI 集中於特定區間，以較擴散與寬廣範圍表示出空氣品質情形外，另外也發現內陸測站其空氣品質不良之情形並不亞於沿海的工業測站，圖 4-5(B) 中沿海之林園測站 RAQI 值分布大致在 70~130 範圍，而圖 4-5(G) 中內陸之美濃測站 RAQI 值分布介於 30~130，有別於現行 PSI 之分布情形，此與江世民與賈愛玫 (2001) 之研究符合，其更指出內陸測站 (美濃及潮州) O₃ 尖峰濃度與其他高屏地區鄰近測站 O₃ 之相關性呈現中度至高度的相關，其尖峰時間也有延遲效應。由此可見高屏地區空氣品質不良問題是與整個空品區有相關的，而局部下風地區可能導致 O₃ 的問題更為顯著。

b. 測站屬性：

高屏空品區各測站依屬性不同分為一般、工業 (前鎮)、交通 (復興)、背景

(橋頭)及公園(恆春)測站,由於不同屬性測站污染來源及污染情形皆不相同,由圖 4-5(A)中大寮一般測站 RAQI 數值分布大致範圍在 50~130 之間,以現行 PSI 值卻大多顯示於 80~100 間,並無法顯示出由於大寮受工業排放及鄰近林園工業區影響之真實空氣品質之情形,而前鎮工業測站亦然;在橋頭背景測站方面,雖環保署將其定為背景測站,但其污染情形卻與其他一般及工業測站相當,如圖 4-5(J)中 RAQI 數值分布大致範圍在 50~100 之間,但 100~130 指標值日數亦有 60 天以上,主要原因可能是高屏地區冬天受到綜觀環境天氣微弱東北風型態,由於半屏山地形,氣流於該區有低壓形成,使氣流往低壓輻合,於南測形成東南氣流所致(宋偉國等,2002),故推測橋頭污染可能受其東南側之楠梓及仁武所影響。而在圖 4-5(H)復興交通測站 RAQI 數值分布較為平均不似現行 PSI 所顯示空氣品質差異大;在圖 4-5(F)恆春測站由於屬性公園測站,當地位處偏僻,空氣品質相對良好,故 RAQI 與 PSI 分布較為一致,指標值大約都在 20~50 之間。

c. 空氣品質良莠測站差異:

根據統計分析 1999 年高屏空品區十六個監測站 PSI 年平均,以潮州(78.6)最為不良,而屬於公園測站的恆春(34.7)最為良好,而由圖 4-5 (I)(F)中明顯發現潮州測站指標值呈現不良的日數遠超過恆春測站,並發現 RAQI 與 PSI 分布差異在高污染(空氣品質不良)的測站較為明顯,反觀在低污染(空氣品質良好)之測站差異便較不明顯;依據江世民與賈愛玫(2001)研究指出潮州站的 O₃ 不良發生日為全省之冠最為嚴重,特別是春季及秋季;倘若有微弱西風的傳送(如海風),則可將污染源自沿海開始傳送至內陸,在靠內陸因風速較小而使污染物累積。而溫度是生成 O₃ 的主要因素之一,溫度與臭氧尖峰濃度有其相關性,越靠近內陸之測站,溫度越高,每日臭氧尖峰濃度則越高(羅詩源,1997)。

4.2 RAQI 公式演算探討

本研究試圖導入熵值函數觀念修正空氣品質指標(PSI),而導入熵函數運算即將該測站每日之指標值取 log 值以 10 為底之熵值,目的是用以區別同一平均指標值的不同資訊涵義,具體說明意義是當指標值較平均時(污染相對較不嚴重)熵值越大,反觀當指標值較為擴散時(污染相對較嚴重)熵值越小。

由 1999 年高屏地區空氣品質指標資料統計指出,以潮州(78.6)為最高其次是大寮(71.7),而屬於公園測站的恆春(34.7)最低,由於恆春測站屬性公園測站,當地位處偏僻,空氣品質相對良好,故以恆春測站與 PSI 相對不良之兩測站(潮州與大寮)作比較。1999 年中潮州測站為高屏空品區較相對嚴重之測站,而恆春(公園測站)為污染相對低的測站,由圖 4-6 平均指標熵值比較圖中顯示,潮州平均指標熵值明顯高於恆春平均指標熵值,顯示潮州污染較為嚴重;圖 4-7 中顯示大寮平均指標熵值亦高於恆春,亦顯示出恆春測站空氣品質較大寮測站良好。

以季節而言,由於夏季期間由於台灣主受太平洋高壓控制,吹溫暖潮濕的西南風,上升氣流其所帶來之降雨不利污染物之累積,導致各地污染情形均較不嚴重(Cheng, 2002);影響空氣品質之主要污染物(PM₁₀及 O₃)高污染情形大約

都出現在秋末至春初（林能暉，2000；蔡詠安，2001；Cheng, 2002），由圖 4-6 與圖 4-7 均可發現夏季（6~8 月）期間平均指標熵值均較高，表示污染情形較為趨緩，春季、秋季及冬季期間則平均指標熵值較低，代表意義是污染情形較為嚴重。

針對本研究利用 RAQI 公式演算，其中各項函數值均具其個別意義，而現行 PSI 簡單而言是利用最大操作型函數（Maximum Value）來作為指標值考量（Malakos and Wong, 1999），故將 RAQI 所運用之三項函數逐一比較。結果發現（如圖 4-8~圖 4-9）當在較為嚴重之潮州測站時，平均函數值與最大操作函數之數值分布相關性甚高，數值趨勢線幾乎重疊；而在相對較低污染之恆春測站時，平均函數值與最大操作函數之數值分布相關性偏低，並在高污染期間（春季、秋季及冬季）數值分布情形差異更大；然而熵函數卻與上述兩者呈反向之線性關係，其可彌補現行 PSI 現況預警之相對模糊與遮蔽現象，使平均函數值與最大操作函數不致於因為污染嚴重情況下造成空氣品質指標極端化，而由圖 4-8 與圖 4-9 發現熵函數在高污染時較能具有修正 PSI 之實質效果。如此運用 RAQI 修正空氣品質指標可站在污染物最低效應之基礎下，進而考量其他污染物之存在，並區分其分布概況，此指標除有現況預警功能外，更能做為比較性指標。

在 1999 年高屏空品區空氣品質中，以潮州測站為高屏空品區污染最為嚴重之測站，就單一測站而言以潮州為例，若將 RAQI 所運用之三項函數逐一加入比較，圖 4-10 (a) 表示最大操作型函數（Maximum Value）亦即現行 PSI 指標值，而圖 4-10 (b) 為最大操作型函數（Maximum Value）加入背景算術平均指標值函數（Average Value）之函數值分布圖，而圖 4-10(c) 為最大操作型函數（Maximum Value）加入背景算術平均指標值函數（Average Value）及背景算術平均指標熵值（Entropy Value）之函數值分布圖，亦即修訂後之 RAQI 指標值。由圖 4-10 (a) 與圖 4-10 (c) 兩圖可明顯發現指標值分布曲線差異甚大，而三項函數值經過統計變異分析結果發現相互間 p 值均遠小於 0.05，表示三項函數值差異明顯，而圖 4-10(a)(b)(c) 標準差分別為 35.9、69.4 及 63.3，顯示最大操作型函數（Maximum Value）亦即現行 PSI 指標值分布較為集中，而納入背景算術平均指標值函數（Average Value）之函數值後分布明顯分散，最後再納入背景算術平均指標熵值（Entropy Value）之函數值後標準差變小，亦即修正偏差效應。

4.3 高污染事件日案例探討

依據環保署空氣品質資料，本研究選定 2000 年 9 月 18 日至 9 月 22 日作為臭氧之高污染事件日，另一高污染事件日是 2000 年 11 月 24 日至 11 月 28 日其污染物為懸浮微粒，本研究嘗試利用假設之修正現行空氣品質指標與目前我國所使用 PSI 值針對該事件日分別進行探討比較，由圖 4-11 及 4-12 明顯發現 RAQI 值大於 PSI，在探討空氣品質污染事件日時顯示出 RAQI 對於修正短期間之空氣品質指標較不適宜，當處於高污染狀態下時由本研究所假設之修正現行空氣品質指標容易造成誇張化，此乃因為公式之計算是利用一長期之污染物平均值以達到將指標值範圍擴大，故 RAQI 較適用於修正長時間所推估之空氣品質指標。

環保署空氣品質預報基本假設之一為每日污染源排放之變化遠小於天氣之變化，在此條件下，以氣象因素之改變來預測未來空氣品質；目前環保署之預報作業係採用污染物指標（PSI）預報，而非污染物濃度，預報所需資料氣象方面計有：風向、風速、溫度、露點、能見度、混合層高度、逆溫層強度、不穩定度等因子；污染物方面計有：PM₁₀，SO₂，CO，NO₂及O₃等濃度資料；以當日氣象資料與前一日之污染物濃度，利用複回歸模式預測當日之污染物濃度，並換算成PSI以預報當日之空氣品質。目前我國現行採用之空氣品質指標大體係沿用美國之PSI，故難避免模糊與淡化現象造成不具比較性指標的功能。然而本研究之RAQI結合其他函數考量，著重於指標值運用之合理性，與PSI之功能類似亦即並非以現況預警為重點考量，以較長期間之監測資料以得客觀性結果，對於推估未來年之空氣品質狀況，RAQI能客觀及有效反應空氣品質。

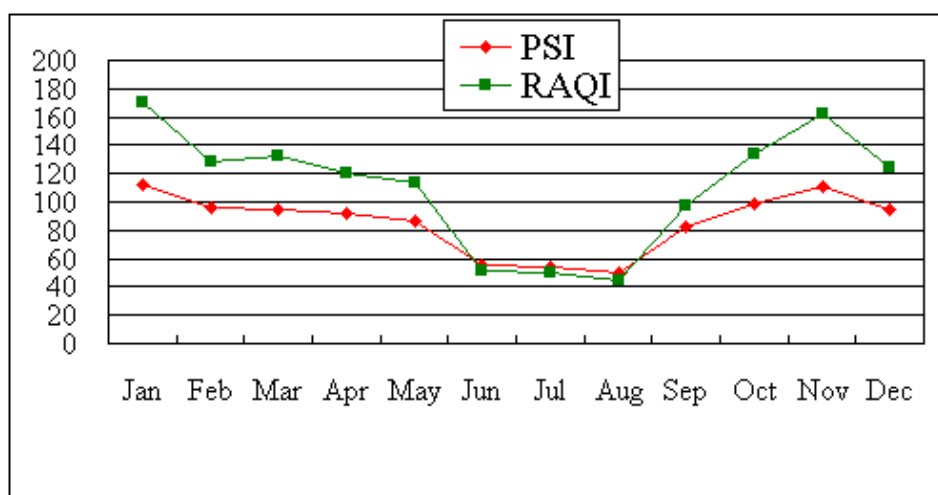


圖 4-1 1999 年高屏空品區 PSI 與 RAQI 月均值

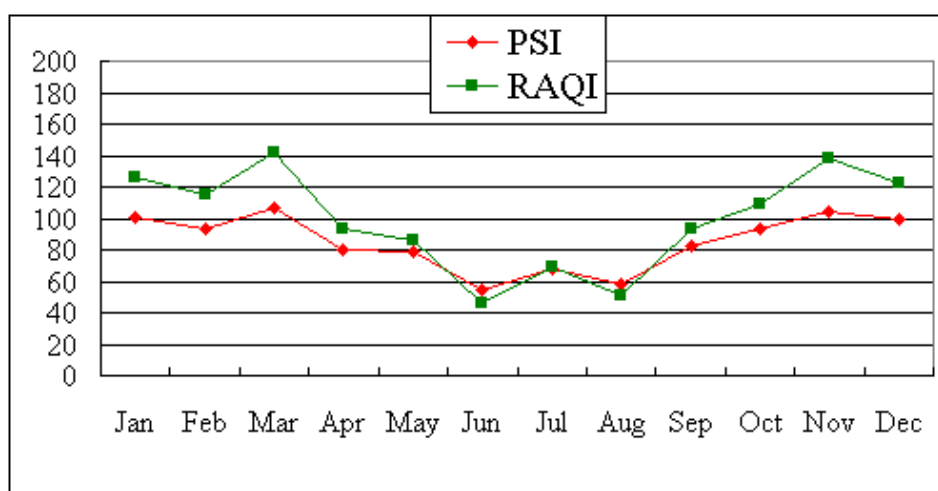
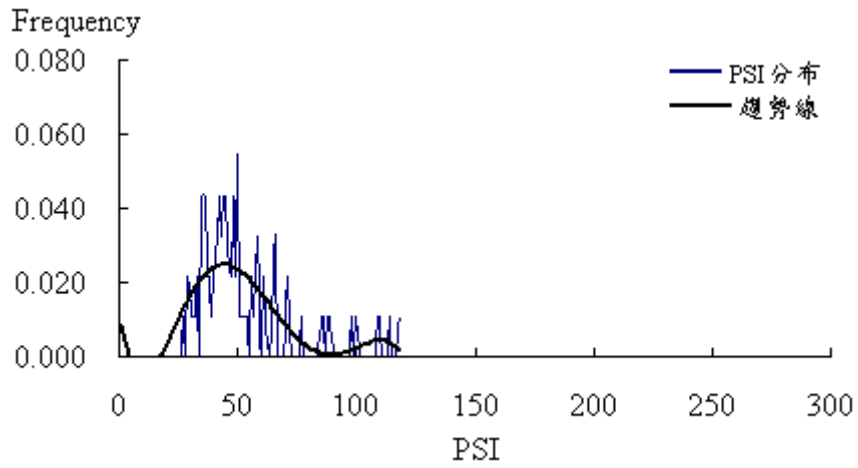
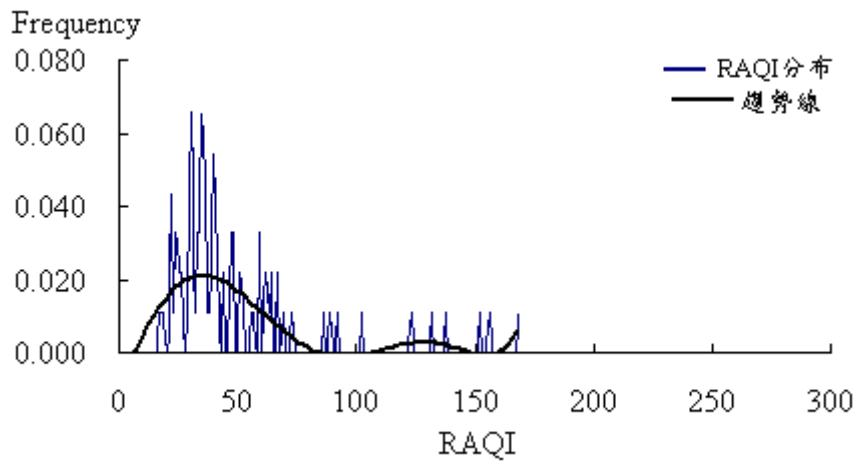


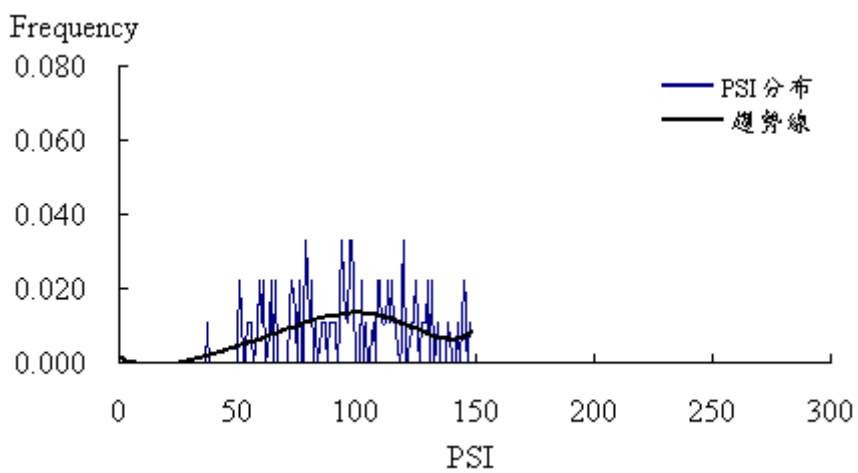
圖 4-2 2000 年高屏空品區 PSI 與 RAQI 月均值



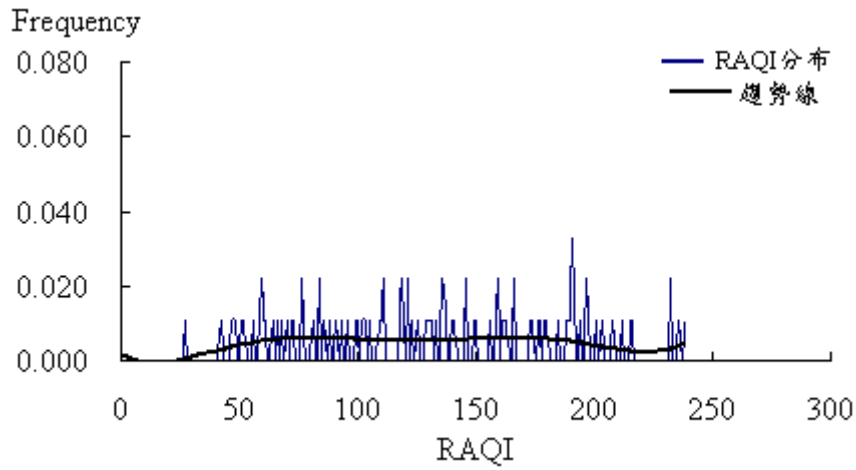
(A) 1999 年夏季 PSI 值



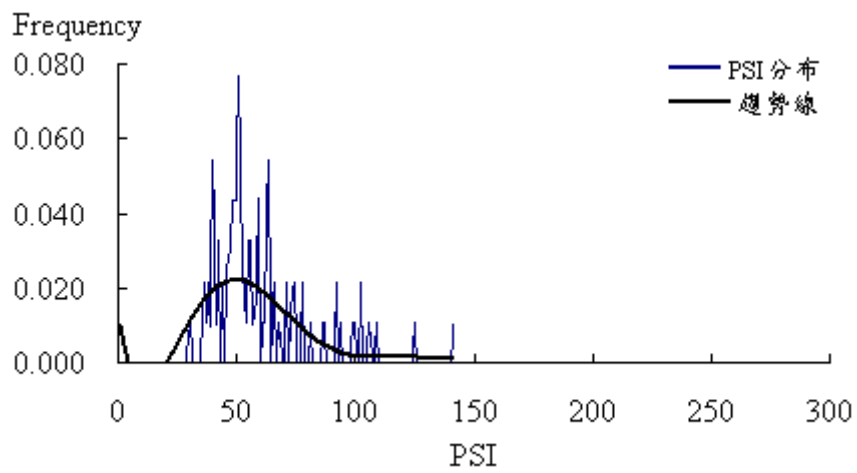
(B) 1999 年夏季 RAQI 值



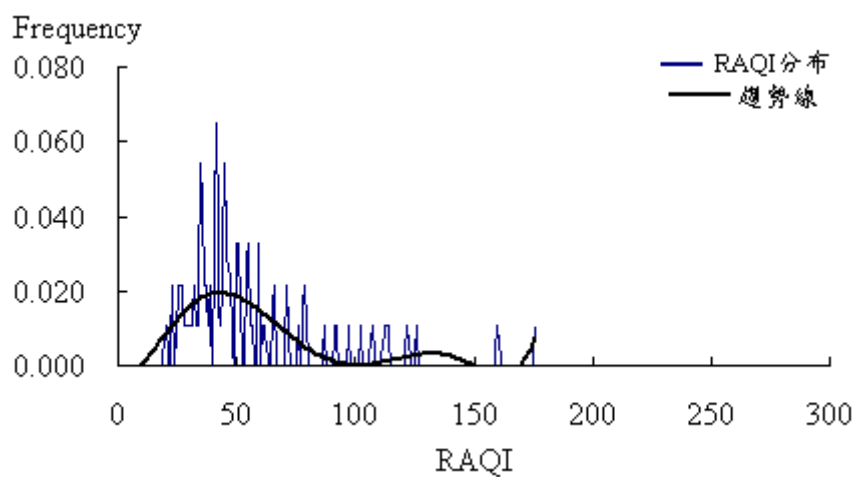
(C) 1999 年秋季 PSI 值



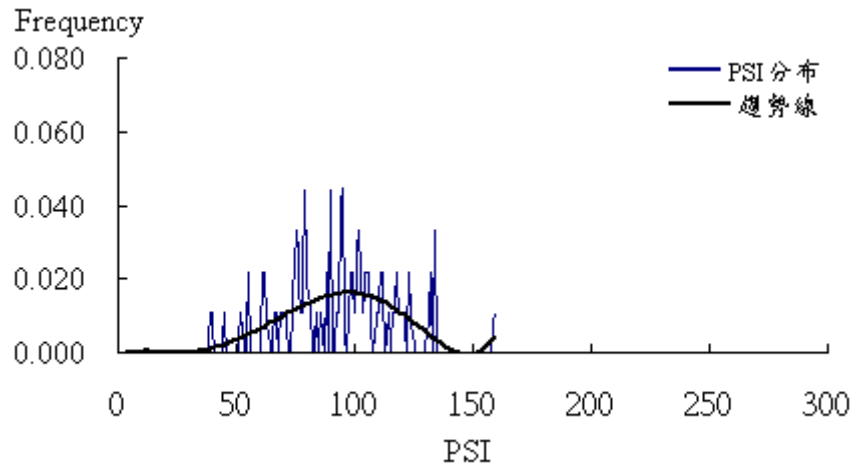
(D) 1999 年秋季 RAQI 值



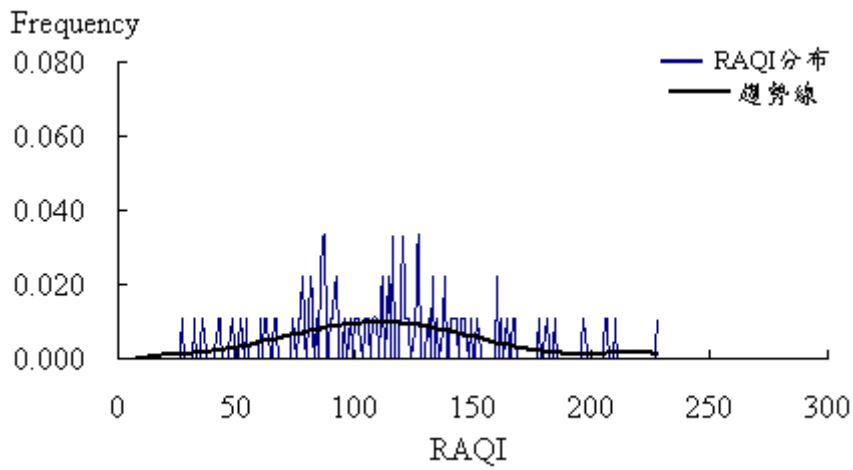
(E) 2000 年夏季 RSI 值



(F) 2000 年夏季 RAQI 值



(G)2000 年秋季 PSI 值



(H)2000 年秋季 RAQI 值

圖 4-3 1999 及 2000 年高屏空品區 PSI 與 RAQI 分布頻率圖

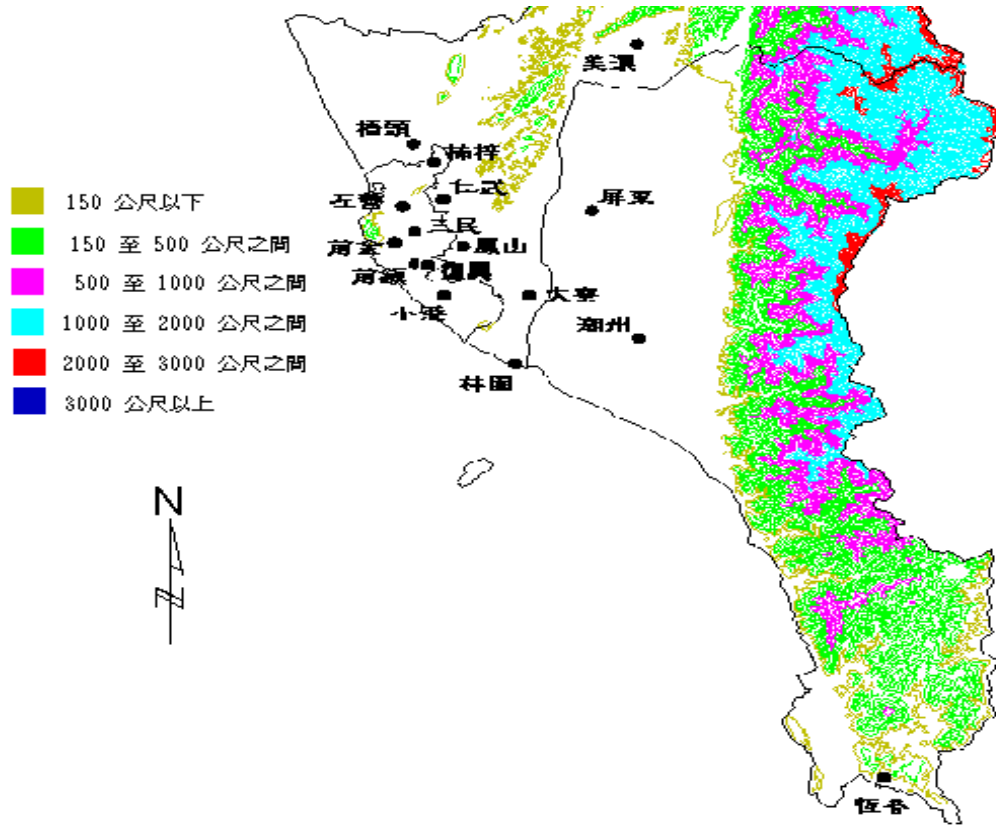
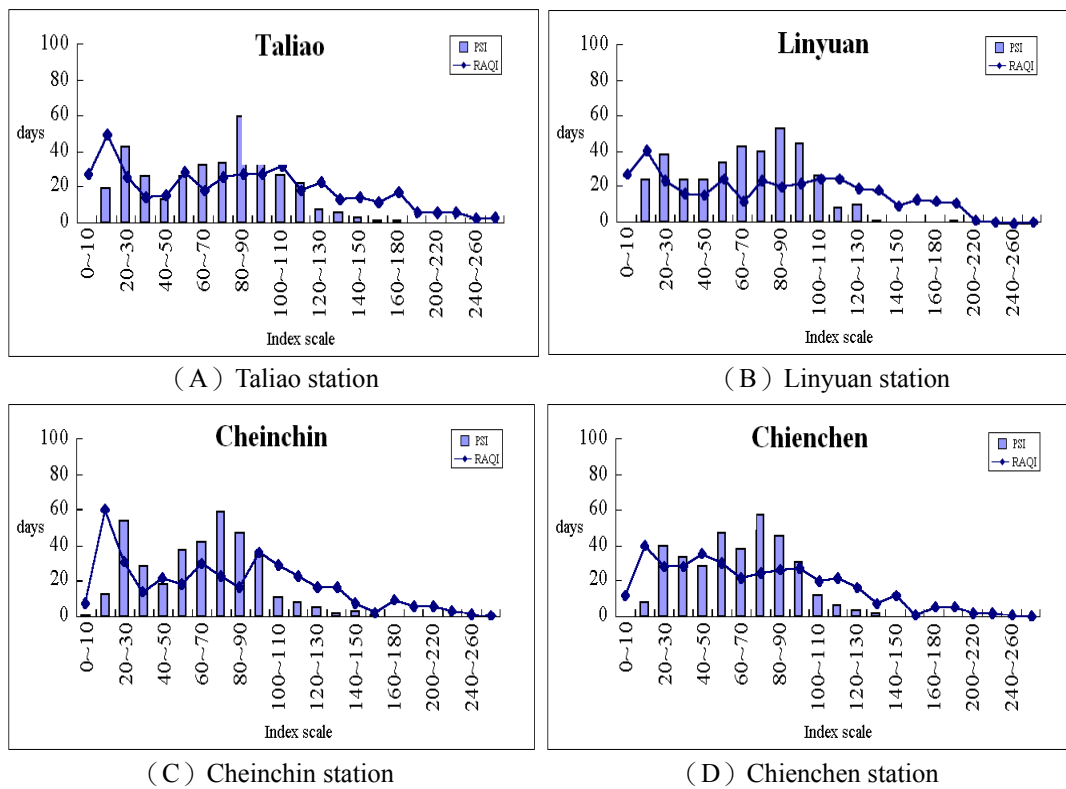
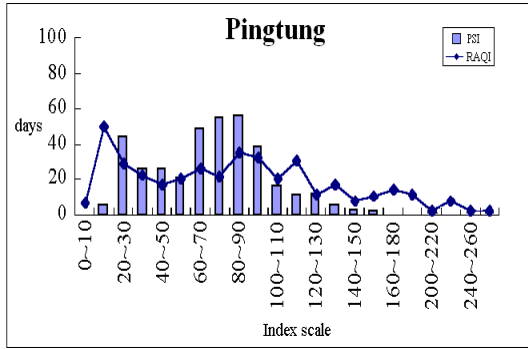
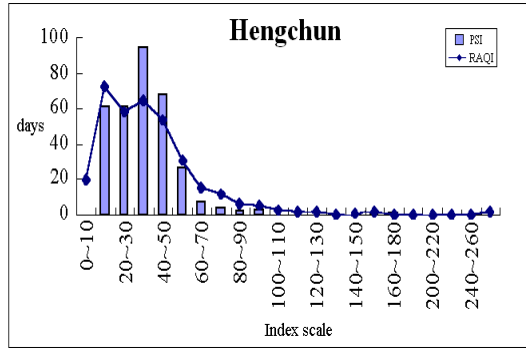


圖 4-4 高屏空品區監測站分布圖 (圖片來源:環保署 2003)

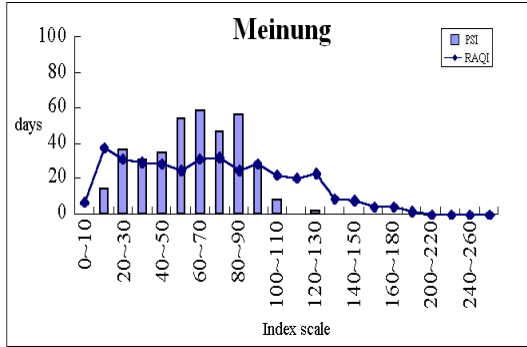




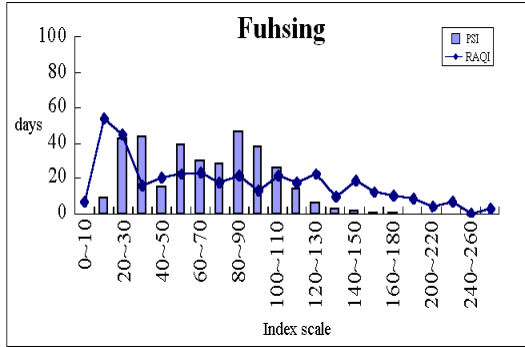
(E) Pingtung station



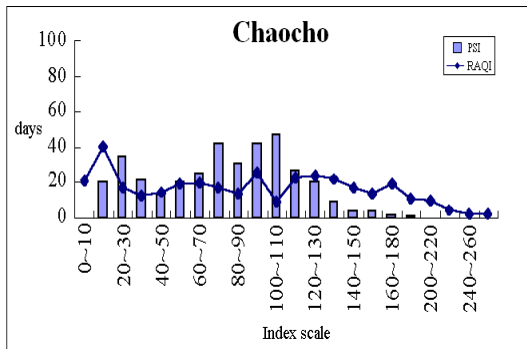
(F) Hengchun station



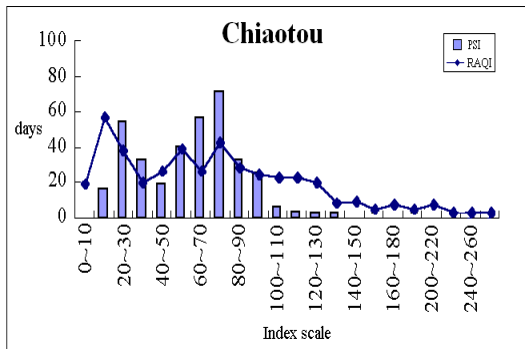
(G) Meinung station



(H) Fuhsing station



(I) Chaochou station



(J) Chiaotou station

圖 4-5 1999 年各測站 PSI & RAQI 值日數分布圖

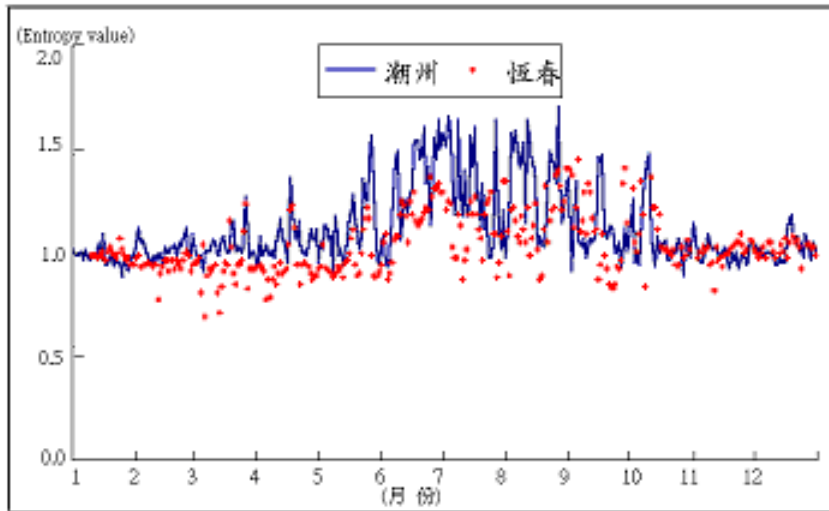


圖 4-6 1999 年潮州與恆春之平均指標熵值比較圖

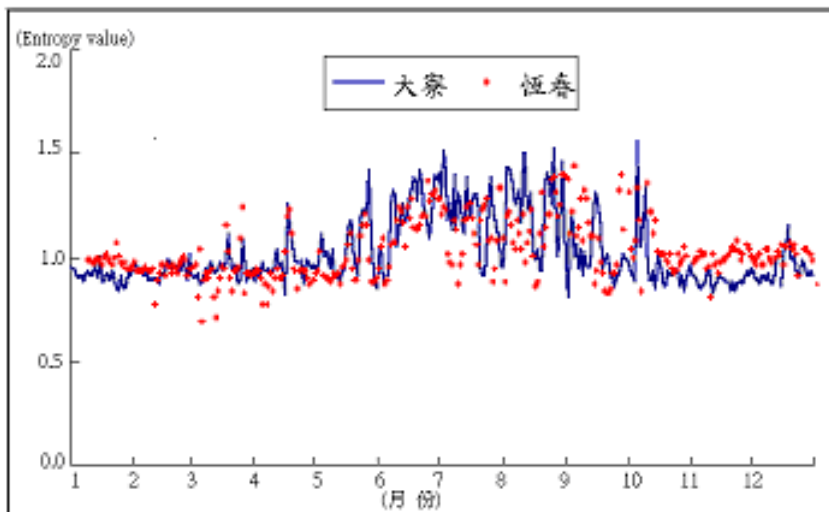


圖 4-7 1999 年大寮與恆春之平均指標熵值比較圖

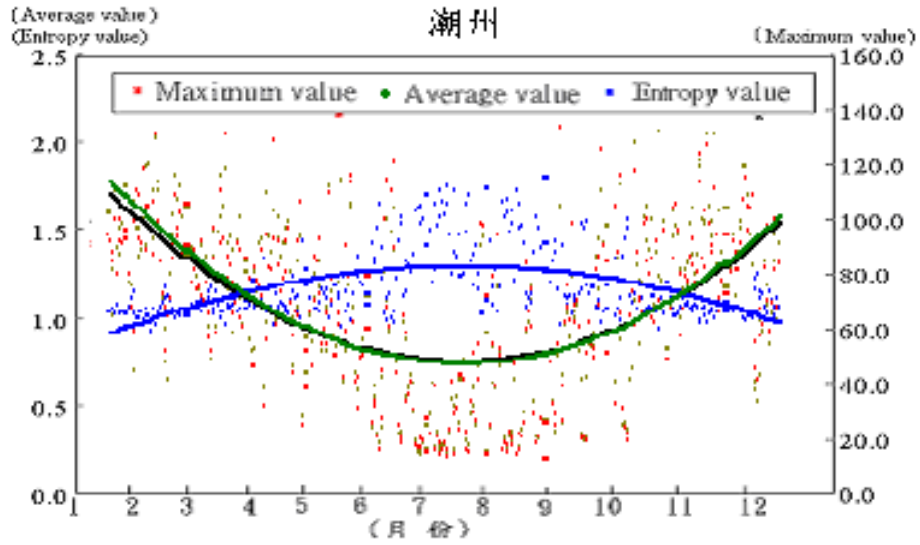


圖 4-8 潮州測站 RAQI 之各項函數值比較

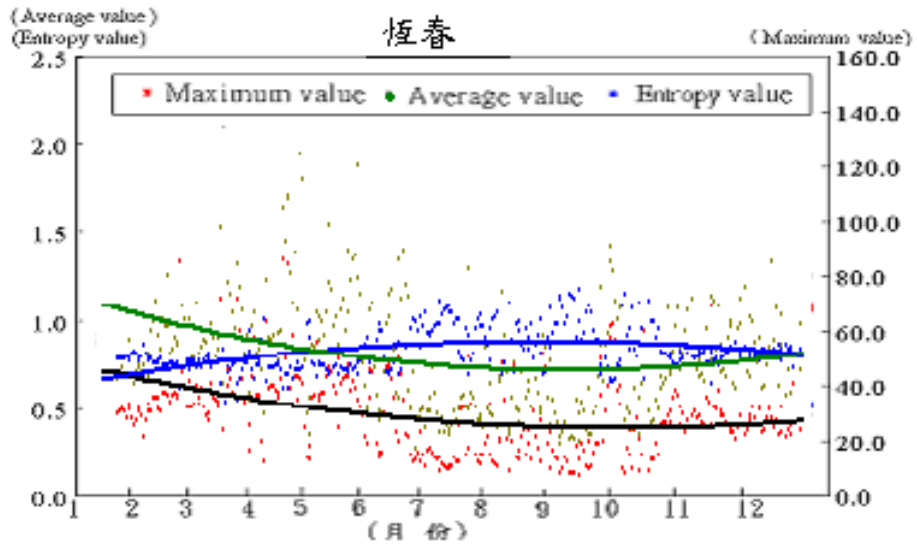
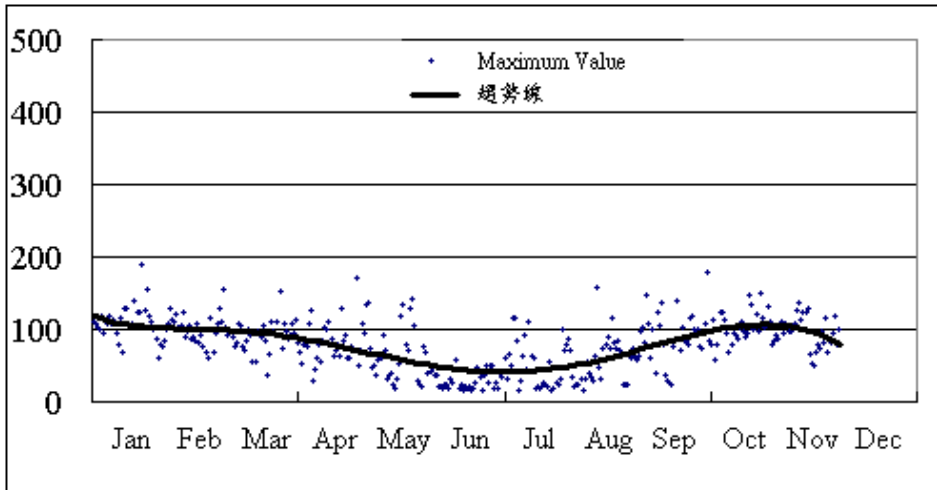
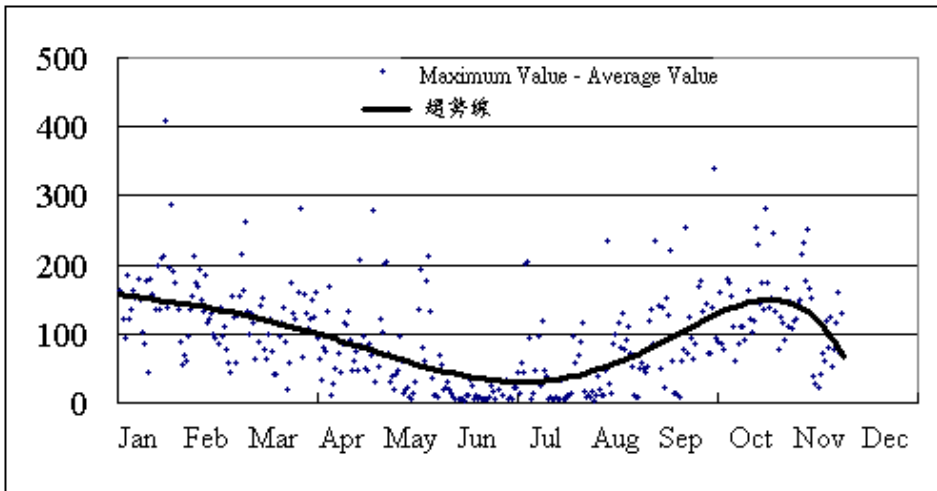


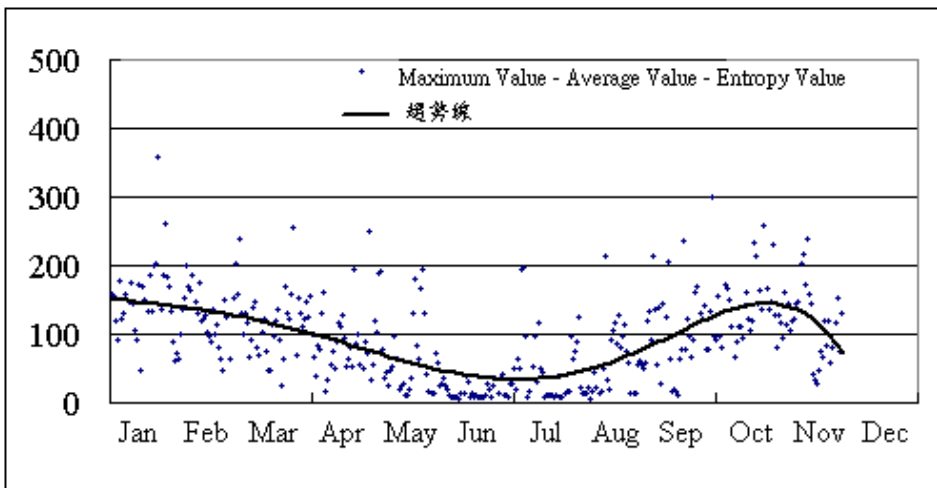
圖 4-9 恆春測站 RAQI 之各項函數值比較



(a)



(b)



(c)

圖 4-10 1999 年潮州測站 RAQI 各項函數結合分布比較圖

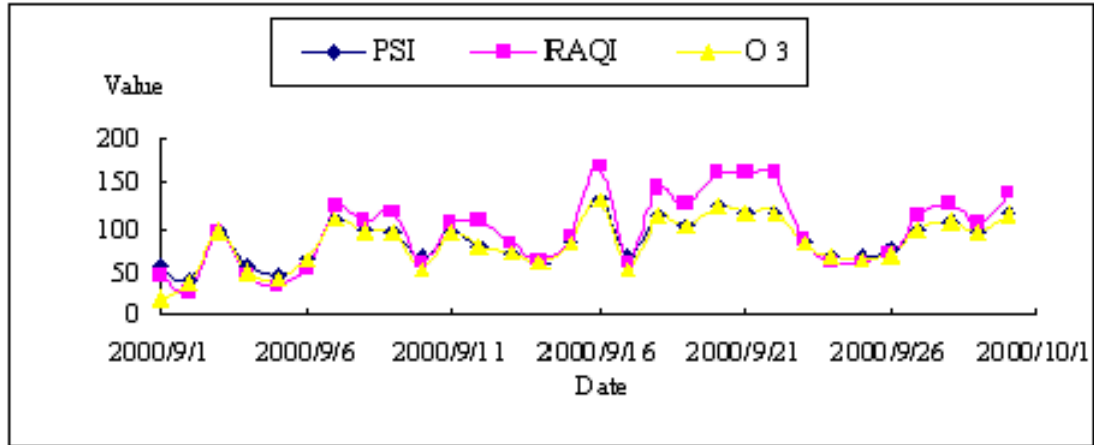


圖 4-11 2000 年 O₃ 高污染事件日 RAQI 與 PSI 之比較

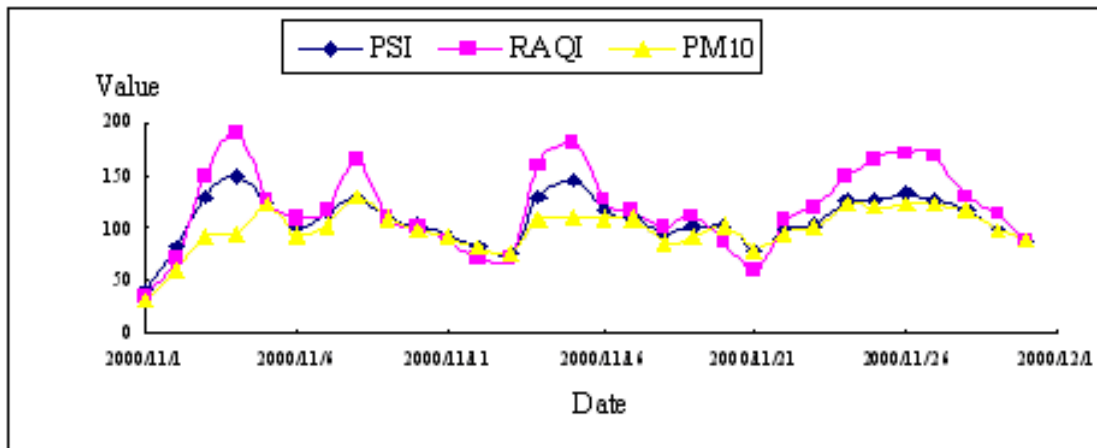


圖 4-12 2000 年 PM₁₀ 高污染事件日 RAQI 與 PSI 之比較

五、結論

1. 由 1997~2001 年高屏地區之 16 處環保署空氣品質測站監測資料可發現高屏空品區比台灣其他空品區空氣品質嚴重，但有逐年改善的趨勢，主要指標值污染物為 PM₁₀ 與 O₃，而近內陸地區如美濃、屏東、大寮及潮州等地由於位處局部下風地區之相關地理位置之影響造成污染物累積，空氣品質不良之問題攸關整個高屏空品區。
2. 本研究 RAQI 與現行環保署 PSI 於高污染日期間其指標值較具差異，而於低污染日期間則較無法有所區隔；並且 RAQI 所結合之其他函數於高污染季節修正現行 PSI 所產生的偏差現象之結果較顯著。
3. 目前我國現行採用之空氣品質指標大體係沿用美國之 PSI，但仍難避免模糊與淡化現象所造成不具比較性指標的功能，故本研究擬定結合其他函數考量，以建立修訂之空氣品質指標 (RAQI) 作為另一參考。
4. 修訂之空氣品質指標 (RAQI) 著重於指標值運用之合理性，並非以現況預警為重點考量；然若以較長期間之監測資料應可得客觀性結果。

六、參考文獻

- Anthes, R.A., Warner, T.T., 1978, "Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies", *Monthly Weather Review*, 106, 1045-1078.
- Chan, L.Y., Chan, C.Y., Qin, Y., 1998, "Surface ozone pattern in Hong Kong", *Journal of Applied Meteorology*, 37, 1153-1165.
- Cheng, W-L., Pai, J.L., Tsuang, B.J., Chen, C.L., 2001, "Synoptic Patterns in Relation to Ozone Concentration in West-Central Taiwan", *Meteorology and Atmospheric Physics*, 78, 11-21.
- Cheng, W-L., 2001^a, "Synoptic Weather Patterns and their Relationship to High Ozone Concentration in the Taichung Basin ", *Atmospheric Environment*, 35, 4971-4994.
- Cheng, W-L., 2001^b, "Spatio-Temporal Variations of Sulphur Dioxide Patterns with Wind Conditions in Central Taiwan ", *Environmental Monitoring and Assessment*, 66, 77-98.
- Cheng, W-L., 2000, "A Vertical Profile of Ozone Concentration in the Atmospheric Boundary Layer over Central Taiwan ", *Meteorology and Atmospheric Physics*, 75, 251-258.
- Cheng, W-L., 2002, "Ozone distribution in coastal central Taiwan under sea-breeze conditions", *Atmospheric Environment*, 36, 3445-3459.
- Cogliani, E., 2001, "Air pollution forecast in cities by an air pollution index highly correlated with meteorological variables ", *Atmospheric Environment*, 35, 2871-2877
- Harrison, R.M., Deacon, A.R., Jones, M.R., 1997, "Sources and processes affecting concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} particulate matter in Birmingham(U.K.)", *Atmospheric Environment*, 31, 4103-4117.
- Ludwig, B., Tulbure, I., 1996, "Contributions to an aggregated environmental pollution index ", *Proceedings of Intersociety Energy Conversion Engineering Conference 31st*, 2144-2149.
- Malakos, M., Wong, K., 1999, "Proposed pollutant index to incorporate synergistic effects", *International Journal of Environment and Pollution*, 12(1), 73-80.
- North, G.R., Mengel, J.G. Short, D.A., 1983 "Simple energy balance model resolving the seasons and the continents. Application to the astronomical theory of the ice ages. " *J. Geophys. Res.*, 88, 6576-6586.
- Ott, W.R., Thom, W.R., 1976, "A critical review of air pollution index systems in the United States and Canada", *Journal of the Air Pollution Control Association*, 26, 460-470.
- Perrino, C., Pietrodangel, A., Fevo, A., 2001, "An atmospheric stability index based on radon progeny measurements for the evaluation for primary urban pollution ", *Atmospheric Environment*, 35, 5235-5244.
- Pershagen, G., Rylander, E., Norberg, S., Eriksson, M., Nordvall, S.L., 1995, "Air pollution involving nitrdgen dioxide exposure and wheezing bronchitis in children. ", *Internation*

- Journal of Epidemiology, 24,1147-1153.
- Pont, V., Fontan J., 2000, "Local and regional contributions to photochemical atmospheric pollution in southern France ", Atmospheric Environment, 34, 5209-5223
- Radojevic, M., Hassan, H., 1999, "Air quality in Brunei Darussalam during the 1998 haze episode", Atmospheric Environment, 33, 3651-3658.
- Swamee, P. K., Tyagi, A., 1999, "Formation of an air pollution index", Journal of the Air & Waste Management Association, 49, 88-91.
- United Nations, 1984, "A framework for the development of environment statistics", Series M 78, UN, New York.
- Wu, H. W. Y., Chan, L. Y., 1997, "Comparative study of air quality surveillance networks in Hong Kong", Atmospheric Environment, 31, 935-945.
- 王秋森，1999，"AQI 與 PSI 制度之比較探討與研析"，行政院環境保護署 EPA-88-FA31-03-010。
- 江世民、賈愛玫，2001，"高屏空品區臭氧尖峰濃度之時空關聯性分析—以潮州測站為例"，第十八屆空污研討會。
- 李俊毅，1996，"都市空氣品質與指標之研究-以台中縣市為例"，東海大學環境科學研究所碩士論文。
- 李俊毅、丘依樞，1996，"都市空氣品質與指標之探討-特別以熵函數為觀點"，第四屆海峽兩岸環境保護學術研討會，643-650。
- 宋偉國、楊宏宇、洪崇軒、巫美儀，2002，"氣象條件對於高雄地區臭氧擴散之影響性研究"，第十九屆空污研討會。
- 林能暉，2000，"北中南空品區 O3 與 PM10 污染之氣象條件研究"，國科會/環保署科技合作研究計劃報告。
- 林瑞雄，1999，"不同空氣污染地區之人體肺功能及血液形態"，空污費計畫報告。
- 林振山、楊修群，1995，"理論氣候學"，南京大學出版社。
- 陳穩至、吳義林，1998，"高屏地區空氣品質不良原因之分析"，第十五屆空污研討會，575-581。
- 袁君秋，2002，"台灣地區空氣品質指標之探討"，台灣大學環境工程研究所碩士論文。
- 蔡詠安，2001，"氣象條件與臭氧事件日相關性之探討"，中山大學環境工程研究所碩士論文。
- 黃景祥，2000，"空氣污染健康影響分析方法的研究"，國科會/環保署科技合作研究計畫報告。
- 謝季燕、謝輔宸、楊東錦、黃招斌，2001，"高雄縣空氣品質監測站之代表性探討"，第十八屆空污研討會。
- 羅詩源、沈信旭、張良輝，1997，"台北地區臭氧空氣品質之趨勢分析"，第十四屆空污研討會，17-24。
- 行政院環保署網頁 (2003) : <http://www.epa.gov.tw>
- 美國環保署網頁 (2003) : <http://www.epa.gov>

加拿大環保署網頁 (2003) : <http://www.airqualityontario.com>

英國環境部網頁 (2003) : <http://www.environment-agency.gov.uk>

澳洲環保署網頁 (2003) : <http://www2.epa.nsw.gov.au/airqual/web24hsum.asp>

紐西蘭環保署網頁 (2003) : <http://indicators.niwa.cri.nz>

香港環境保護署網頁 (2003) : <http://www.epd.gov.hk/epd/cindex.html>

