



## 作者簡介



我是王瑀，目前就讀台中女中二年級。我對自然科學一直充滿興趣，其中地球科學更是我最喜愛的科目之一。而參加科展更進一步研究與自身息息相關的議題，對我而言更是邁向專業領域的第一步。在不斷的摸索中，我學到了解決問題的方法，也更激起了我對於自然科學研究的興趣。

我是梁婷瑋，目前就讀台中女中二年級。在理科老師影響下，自國中一年級起便積極參加科展。研究的過程難免出現棘手的難題與遭遇挫敗。然而，也正因為有這樣充滿未知的挑戰，讓我學習承當責任，面對不同的研究主題，我更有信心與勇氣，堅持努力不懈，期許自己研究的成果更臻完美。而有感於全球氣候變遷快速，台灣不能自絕於外，因而以此為主題研究。

這是一份由創意的擦撞起頭、經驗的沉澱累積、長時間的洗練、由衷付出的熱忱所完成的研究，亦是一篇追求數據就是真理的台灣氣候變遷探討的論文，希望對台灣氣象有進一步的研究與助益。且看……

## 摘要

本研究在探討台灣的黯化現象與形成因素，黯化現象為太陽輻射量到達地表的減少現象。我們藉由比較西元1961~2008年間，台北、台中、台南、大武、蘭嶼、花蓮六個測站的各項氣象因子進行分析處理並探討其變化情形與成因。

研究結果顯示，台灣地區的都市測站(台北、台中、台南)日照時數、日照率、全天空輻射量均呈現先下降後上升的趨勢，顯示1961至2000年間確實存在黯化現象，而在鄉村測站(大武、蘭嶼)則有微幅改變但較不顯著。並藉由可能影響黯化現象各氣象因子的比對，發現最高溫的增加幅度遠小於最低溫，可能表示黯化現象部分削弱了暖化現象。另外，溫度均較差也逐年縮小，亦可以當成黯化現象的一個顯著的指標。在造成黯化現象成因中，污染物和雲量最為明顯。在有雲量的影響下，台灣地區污染物濃度對黯化現象的影響程度，依序為硝酸鹽類>PM<sub>10</sub>>二氧化硫，此外少量污染物也會使雲量大幅增加，故兩者對黯化現象會產生交互影響。由雲量改變量對應日照時數改變量/雲量改變量的分析圖中，可看出都市地區年平均雲量改變量大於15%時，其雲量每減少10%，日照時數約減少3~22%；若年平均雲量改變量小於15%時，則對黯化現象不具統計意義。取每年十月中雲量在1以下的天數來分析各污染物對全天空輻射量影響，可發現雲量極低時，單位污染物濃度對黯化現象影響，SO<sub>2</sub>最大，NO<sub>x</sub>次之，PM<sub>10</sub>最小。

## **Abstract**

In this study, we explored the global dimming and its causes in Taiwan. Global dimming is the gradual reduction in the amount of radiation on the surface of the earth. With an idea to examine how global dimming affects Taiwan, we analyzed the meteorological data of Taipei station, Taichung station, Tainan station, Dawu station, Lanyu station, and Hualein station from 1961 to 2008.

We have found that global dimming in Taiwan indeed exists in major urban stations, including Taipei station, Taichung station and Tainan station, and may neutralize the effect of global warming. However, global dimming in Taiwan has no significant impact on rural stations, such as Dawu station and Lanyu station. Besides, it is found that a significant increasing of nighttime temperature is associated with global dimming in Taiwan. Moreover, the reduction of DTR (diurnal temperature range) suggests that global dimming in Taiwan was substantial between 1961 and 2000 in major urban areas, but the phenomenon leveled off after 2000. In regard to the causes of global dimming in Taiwan, considering the influence to cloudiness, the air pollutant NO<sub>x</sub> is the main factor, followed by aerosols of PM<sub>10</sub>, and then SO<sub>2</sub>. It is also found that cloudiness also highly affects the global dimming: for each 10% increase in cloudiness, the sunshine hours in urban areas decreases by 3~22%. Choosing the days in October with cloudiness beneath one to analyze the radiation related to the pollutants, we can conclude that SO<sub>2</sub> has the most significant influence, followed by NO<sub>x</sub>, and then aerosols of PM<sub>10</sub>. The results of this study are very valuable for further exploration of climate change and other related issues in Taiwan.

# 壹、前言

## 一、研究動機

全球目前因暖化現象加劇而造成地表氣溫急遽上升，然而卻有研究指出太陽入射地球的輻射量日益減少。我們回顧西元2001年9月中的新聞報導中，發現美國在911恐怖攻擊發生的後三天，氣象觀測人員大衛崔維斯（David J. Travis）觀測到此三天的日夜溫差竟比之前高出一度，而原因可能是由於美國境內飛機全部停飛的結果。這樣的研究資料引起了我們好奇與不解，因僅僅是飛機造成的凝結尾阻擋日照量，竟然可以造成這樣的溫差令我們感到十分的驚訝。再者據我們從書籍及網路、報章雜誌的報導，全球暖化近百年來的增溫將近攝氏0.74度，如果僅僅是美國上空的飛機停飛就造成攝氏1度的冷卻效應，那麼其他的空氣污染問題、懸浮微粒以及其他可能造成全球冷卻的效應，是否局部抵銷了我們戒慎恐懼的全球暖化增溫的現象，增加了全球暖化模式的複雜程度呢？換言之，就是我們遠遠低估了全球暖化的影響，若沒有全球黯化作用，全球增溫應該更嚴重才是。因此，在全球普遍重視解決空氣污染問題之際，是否會造成氣溫更劇烈的上升，更是各國應關心與解決的議題。

根據研究資料指出冷卻效應是大氣中的污染微粒所造成的因為雲中的雨滴需要微粒才能形成，污染微粒比自然微粒還要微小，因此污染微粒使得雨滴數量多直徑小，因而改變雲層的光學性質，讓雲層變成巨大的反射鏡，反射更多的太陽光回外太空。日間雲層吸收日光，使得雲層以下的氣溫降低；但夜間雲層則吸收地面散發的熱量，因而降低了地球散熱的速率，因此我們推測黯化現象與溫差、全天空輻射量、日照時數與日照率有關。且此種減弱效應可能也對農業有所影響，例如，一些像胡椒和番茄等嗜光植物的農產品會因為日光減少1%而減少產量1%

史坦希爾（Gerald Stanhill）（REFERENCE: Stanhill, G. and Moreshet, S. Global radiation climate changes in Israel.2004-11）在80年代末在以色列發現全天空輻射量減少。德國氣候學的研究生碧提里柏，在阿爾卑斯山也發現同樣結果。而1990年代，美國加州大學聖地牙哥分校的氣候學家拉曼納森（Veerabhadran Ramanathan）（REFERENCE: Ramanathan, V. (2006). Atmospheric Brown Clouds: Health, Climate and

Agriculture Impacts)比對了馬爾代夫南／北群島的空氣污染差距，分析顯示，從印度往南吹的污染微粒，竟然使得太陽光入射量減少大約10%，史坦希爾與以色列貝特達甘研究院的科恩（Shabtai Cohen）察覺到的日光減弱速率，在1958~1992年之間，每10年高達2.7%。換句話說，這相當於抵達地表的太陽輻射，每年在每平方公尺的面積內減少了0.5瓦特之多，或是抵消了地球大氣中二氧化碳所造成的暖化作用的1/3大小。美國哥倫比亞大學的氣候學家李伯特（Beate Liepert）(REFERENCE: Liepert, B. G. (2002). Observed Reductions in Surface Solar Radiation in the United States and Worldwide from 1961 to 1990)和同事的分析結果則顯示，1961~90年間的太陽輻射減弱率為每10年1.3%，且在北美洲減弱的程度最大。這相當於在地表每平方公尺的面積內，總共減少了高達18瓦特的太陽輻射，而到達地球表面的太陽輻射大約不過只有每平方公尺200瓦特左右而已。

台灣在60、70年代經濟起飛，大量的工業化使得空氣污染指標快速增加。因此我們推測，黯化現象在台灣應該也造成相當程度的影響，而在西元2000年左右污染防治法上路後，黯化現象是否有改善的現象？也是我們關心的議題。於是，我們選定了「台灣的黯化現象與形成因素探討」為主題，著手更深入的探究黯化現象對台灣的影響，及其形成的因素。

在尋找資料、研究的過程中，我們發現目前國內外學者對「黯化現象」沒有十分科學具體的定義，只有定性的描述。為了更能突顯黯化現象的科學性與量化其影響，因此我們將「黯化現象」定義為於地表單位面積，單位時間內接收之總太陽輻射量的降低變化，並以黯化現象可能影響的指標全天空輻射量、月平均較差溫度、A型蒸發量、高低溫度、日照時數與日照率進行分析，以此作為黯化的測定方式，以了解其對台灣氣候的影響。

## 二、 研究目的

- (一) 探討台灣是否存在黯化現象
- (二) 分析數個氣象指標值及其與台灣黯化的相關性
- (三) 分析黯化現象對台灣不同區域之影響
- (四) 分析台灣黯化現象之可能影響因素

## 貳、研究方法與步驟

### 一、蒐集資料方式及資料來源

#### (一) 蒐集相關黯化現象因素之各項數據

1. 中央氣象局1980~2008年間逐日全天輻射量
2. 中央氣象局1980~2007年間A型蒸發量、逐日平均較差氣溫、逐日氣溫、逐時氣溫
3. 中央氣象局1961~2007年間逐日日照時數
4. 中央氣象局1961~2007年間逐日日照率
5. 中央氣象局1961~2007年間逐日雲量(十分量)
6. 環保署空氣品質監測網1993~2007年間逐日PM<sub>10</sub>測量值
7. 環保署空氣品質監測網1993~2007年間逐日二氧化硫測量值
8. 環保署空氣品質監測網1993~2007年間逐日氮氧化物測量值

## (二) 測站之選取

選定台灣之北、中、南、東、外島之測站(台北、台中、台南、花蓮、大武、蘭嶼)，分析比較不同地區黯化現象之強弱。並將台北、台中、台南、花蓮等四站稱為都市測站，大武及蘭嶼則稱為鄉村測站。

### 1. 氣象局測站：

	站名	海拔高度	經度	緯度	地址	備註
都市測站	台北	5.3M	121°30' 24.15" E	25°02' 22.62" N	台北市中正區公園路64號	1993/1~1997/8 台北測站換站移至台北(師院)測站
	台中	34.0M	120°40' 33.31" E	24°08' 50.98" N	台中市精武路295號	
	台南	13.8M	120°11' 49.18" E	22°59' 42.81" N	台南市北區公園路21號	1998/5~2001年台南市測站停測移至台南縣測站觀測
	花蓮	16.0M	121°36' 17.98" E	23°58' 37.10"	花蓮市花崗街24號	
鄉村測站	大武	8.1M	120°53' 44.48" E	22°21' 27.26" N	台東縣大武鄉大武街129號	
	蘭嶼	324.0M	121°33' 02.10" E	22°02' 19.38" N	台東縣蘭嶼鄉紅頭村2號	

### 2. 環保署測站：

測站	環保署測站	測站種類	地目	地址
台北	中山	一般測站	住宅區	台北市中山區林森北路511號
台中	忠明	一般測站	住宅區	台中市台中港路一段414號
台南	台南	一般測站	住宅區	台南市中西區南寧街45號





圖一、各地區測站地圖

## 二、資料分析方式

### (一) 探討台灣是否存在黯化現象

--以日照時數變化圖、全天空輻射量變化圖分析台灣黯化現象情形

### (二) 分析數個氣象指標值及其與台灣黯化的相關性

#### 1. 以各指標值分析台灣黯化現象

- (1) 分析台北、台中、台南、花蓮、大武、蘭嶼1980~2008年全天空輻射量
- (2) 分析台北、台中、台南、花蓮、大武、蘭嶼1961~2007年間日照時數
- (3) 分析台北、台中、台南、花蓮、大武、蘭嶼1961~2007年間日照率
- (4) 分析台北、台中、台南、花蓮、大武、蘭嶼1961~2007年間平均溫度
- (5) 分析台北、台中、台南、花蓮、大武、蘭嶼1961~2007年間最高溫度
- (6) 分析台北、台中、台南、花蓮、大武、蘭嶼1961~2007年間最低溫度
- (7) 分析台北、台中、台南、花蓮、大武、蘭嶼1961~2007年間平均溫差(每日最高溫減每日最低溫)
- (8) 分析台北、台中、台南、大武、蘭嶼1980~2008年間A型蒸發量

#### 2. 討論各指標值的黯化現象分析

3.定義黯化現象分析最佳指標值，並將該指標值作為本報告黯化現象分析指標

### (三) 分析台灣黯化現象對不同區域之影響

#### 1.各測站分析

- (1)以台北1961~2007年間日照時數、日照率、平均每日最高溫、平均每日最低溫、每日平均較差分析台灣黯化現象對台北測站的影響
- (2)以台中1961~2007年間日照時數、日照率、平均每日最高溫、平均每日最低溫、每日平均較差分析台灣黯化現象對台中測站的影響
- (3)以台南1961~2007年間日照時數、日照率、平均每日最高溫、平均每日最低溫、每日平均較差分析台灣黯化現象對台南測站的影響
- (4)以花蓮1961~2007年間日照時數、日照率、平均每日最高溫、平均每日最低溫、每日平均較差分析台灣黯化現象對台南測站的影響
- (5)以大武1961~2007年間日照時數、日照率、平均每日最高溫、平均每日最低溫、每日平均較差分析台灣黯化現象對台南測站的影響
- (6)以蘭嶼1961~2007年間日照時數、日照率、平均每日最高溫、平均每日最低溫、每日平均較差分析台灣黯化現象對台南測站的影響

#### 2.比較台灣本島與外島測站黯化現象的差異

#### 3.比較台灣都市測站與鄉村測站黯化現象的差異

### (四) 分析台灣黯化現象之成因

#### 1.台灣各污染物濃度對黯化現象的影響

- (1)都市測站1994~2007年間全天空輻射量與懸浮微粒PM<sub>10</sub>濃度比較
- (2)都市測站1994~2007年間全天空輻射量與二氧化硫濃度曲線比較
- (3)都市測站1994~2007年間全天空輻射量與氮氧化物濃度曲線比較

#### 2.台灣雲量對黯化現象的影響

- (1)各測站1961~2007年間日照時數與雲量比較

※分析方式：在探討相關性部分我們使用 Liu *et al*(2009)計算相關性方法，以便使得相關係數更趨精準與具有意義性，方法如下：取各測站 1961~2007 年間任兩年全天空輻射量差值與雲量(十分量)差值，再將日照時數差值除以 1994~2008 年間日照時數平均值，並取每組數據的日照時數比率差值除以雲量差值(即  $\Delta\text{sunshine}/\Delta\text{cloud}$ )，依雲量排序後分為 20 組(54 對數據為一組)，平均每組數據( $\Delta\text{sunshine}/\Delta\text{cloud}$  及  $\Delta\text{cloud}$ )得 20 對平均值，以散佈圖繪出各組平均，並取每組一個標準差範圍繪於平均值的 y 方向上，取該組雲量最大值及最小值繪於平均值的 x 方向上，取標準差收斂極小值作為日照時數對該雲量對範圍的相關係數。

(2)取各測站 1994~2007 年十月雲量低於 1 天數的各污染物濃度與全天空輻射量，並以如上的分析法，分析在控制雲量極低影響、太陽季移變化與污染物季節性變化時，污染物變化對全天空輻射量的影響

### 3. 討論台灣黯化現象形成因素

## 三、研究設備及器材

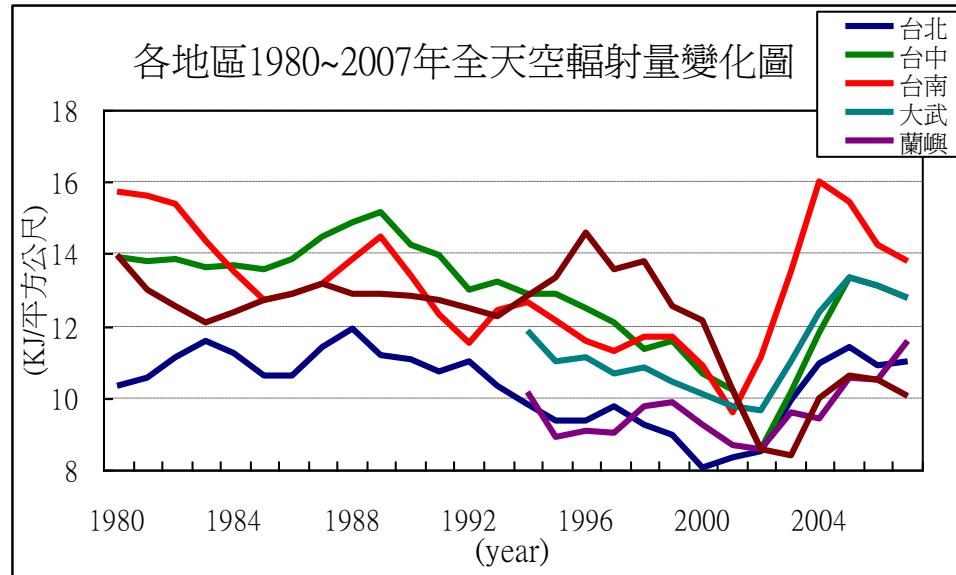
(一) 個人電腦

(二) 使用軟體：Microsoft Excel、Microsoft Word、MATLAB7.1

## 參、研究結果與討論

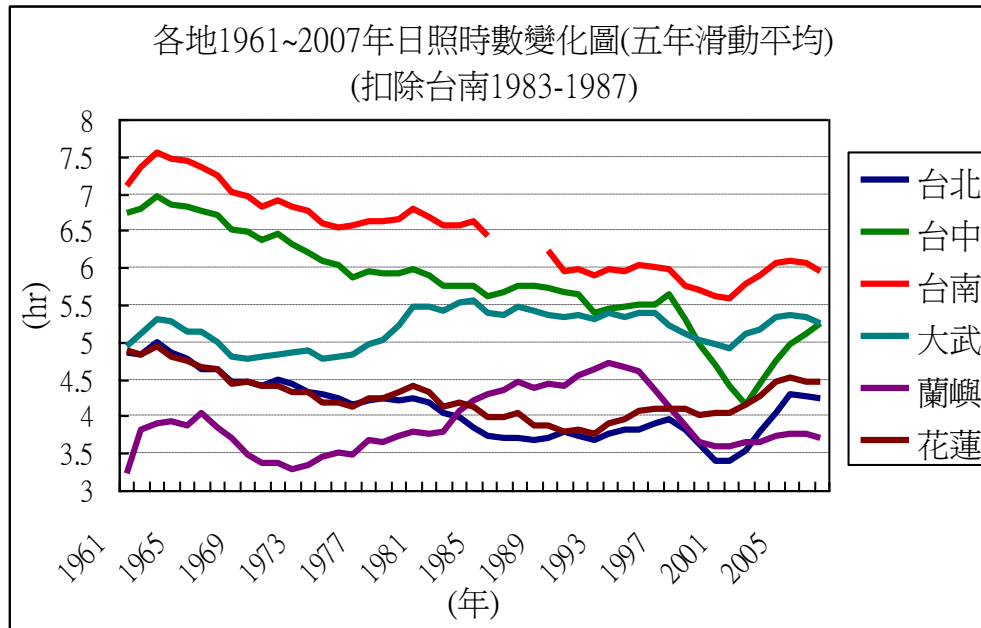
### 一、研究結果

#### (一) 探討台灣的黯化現象



圖二、各地區1980~2008年總全天空輻射量變化圖

我們以全天空輻射量當做黯化現象的一個代表性指標，分析各地此因子的逐年變化。圖二為各地區(台北、台中、台南、大武、蘭嶼、花蓮)1980~2008年總全天空輻射量變化圖，由此圖發現各測站1980~2003年間全天空輻射量均呈下降趨勢，大約2000年前後為各測站全天空輻射量最低轉折點，其中又以台南測站、台中測站、花蓮測站、台北測站全天空輻射量下降幅度較大；大武測站全天空輻射量亦有微幅下降；蘭嶼測站全天空輻射量下降情形較不顯著，各測站在2003~2008期間年全天空輻射量均呈現上升趨勢。



圖三、各地區 1961~2007 年日照時數變化圖

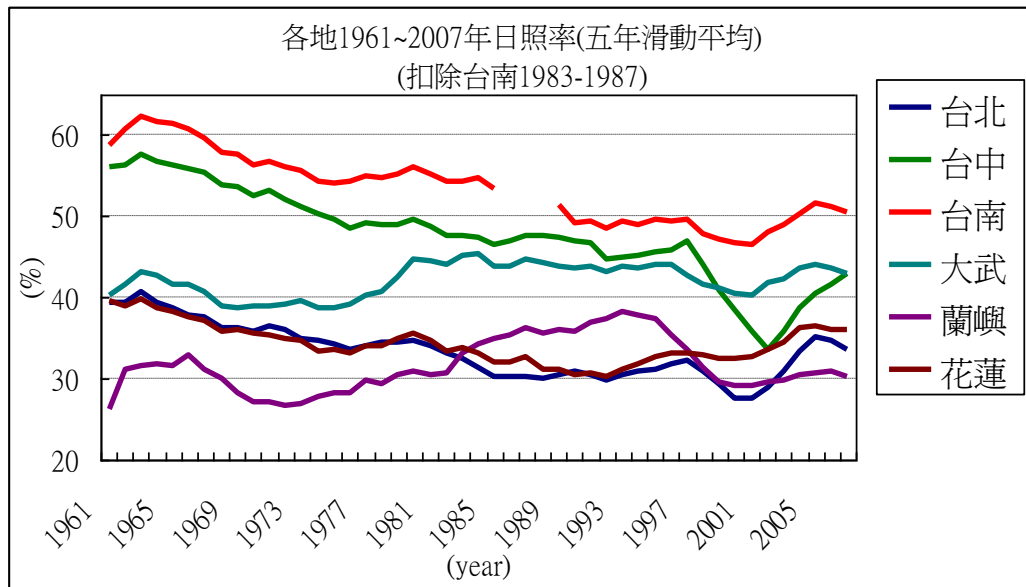
由於台灣對於全天空輻射量的觀測年份較短，所以我們選擇了日照時數進行分析。經試做後，因台南在1983-1987年間之資料異常，因此我們去除了台南在1983-1987年間之資料。圖三為各地區(台北、台中、台南、大武、蘭嶼、花蓮)1961~2007年平均日照時數變化圖，由此圖可發現台北測站、台中測站、台南測站於1961~2003年呈現下降趨勢，花蓮測站1961~1995年間日照時數微幅下降，其後呈上升趨勢；大武測站、蘭嶼測站於1961~2003年呈現上升趨勢，各測站日照時數於1997~2003年間均有趨勢下降情形，總體而言大武測站、蘭嶼測站日照時數趨勢變化不大。

## (二) 分析數個氣象指標值及其與台灣黯化的相關性

### 1. 全天空輻射量與日照時數：

由圖二與圖三全天空輻射量與日照時數得知台北測站、台中測站、台南測站均呈現先下降後上升的趨勢，且以2000年左右為一個轉折點。

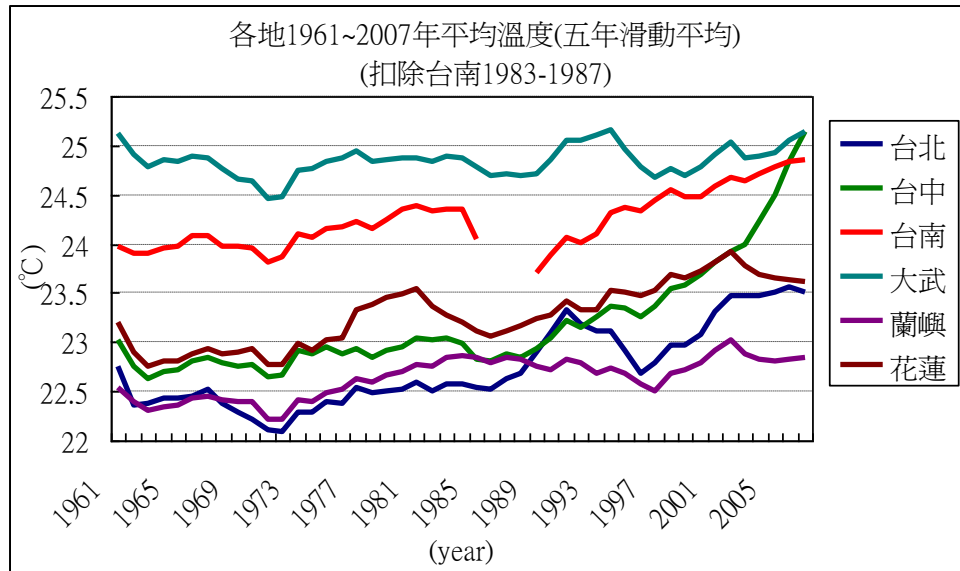
### 2. 日照率：



圖四、各地1961-2007年平均日照率變化圖

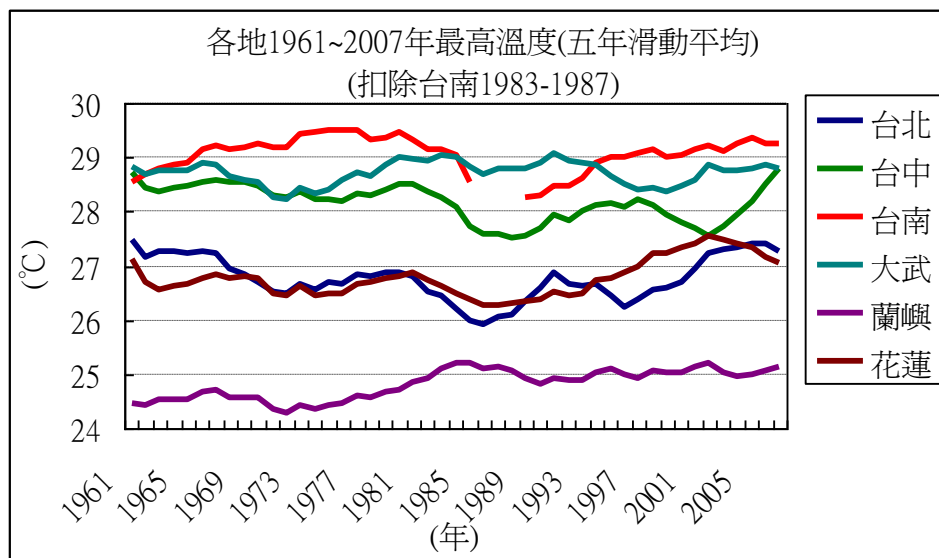
圖四為各地區(台北、台中、台南、大武、蘭嶼、花蓮)1961~2007年平均日照率變化圖，經試做後，因台南在1983-1987年間之資料異常，因此我們去除了台南在1983-1987年間之資料。由此圖發現，台北測站、台中測站、台南測站於1961~2003年呈現下降趨勢，花蓮測站呈現前段微幅下降後段微幅上升趨勢；大武測站、蘭嶼測站於1961~2003年呈現上升趨勢，各測站日照率於1997~2003年間均有趨勢下降情形，而台南測站於1983~1992年間達日照率最低值。大致而言，日照率與全天空輻射量、日照時數的趨勢一致

3.平均溫度、最高溫、最低溫、日夜極端較差：



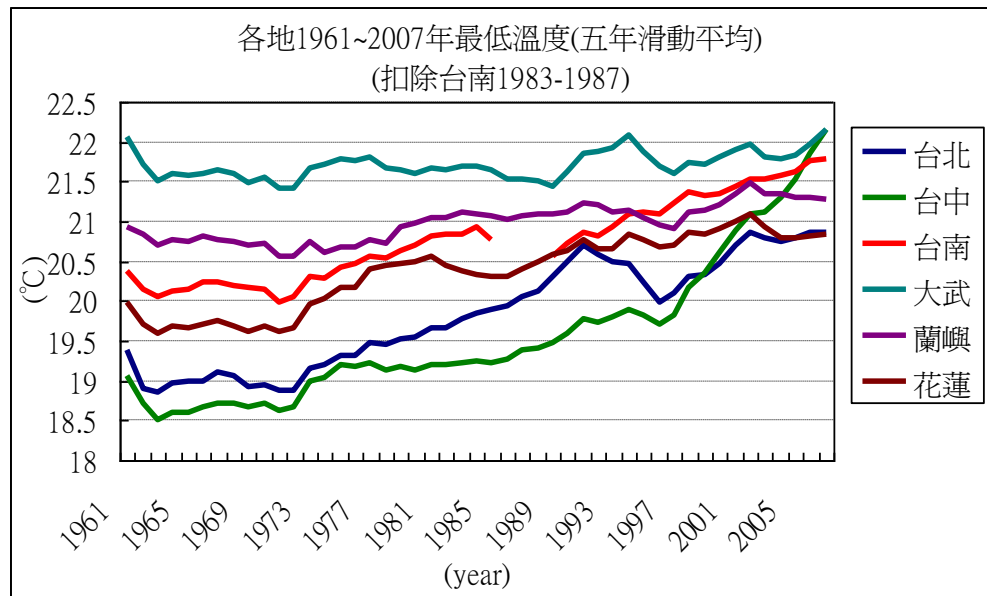
圖五、各地1961~2007年平均溫度變化圖

圖五為各地區(台北、台中、台南、大武、蘭嶼、花蓮)1961~2007年平均溫度變化圖，經試做後，因台南在1983-1987年間之資料異常，因此我們去除了台南在1983-1987年間之資料。其中，台北測站、台中測站、台南測站、花蓮測站年均溫均有明顯的上升，尤其以台中測站年均溫趨勢線上升最明顯。大武測站、蘭嶼測站則有微幅上升，其中各測站除蘭嶼外在此年間亦有微幅下降。



圖六、各地1961~2007年平均最高溫變化圖

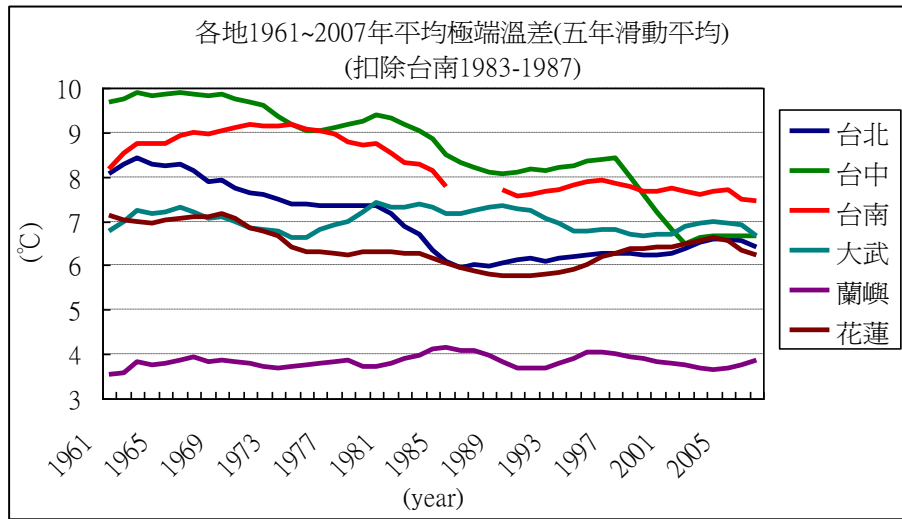
圖六為各地區(台北、台中、台南、大武、蘭嶼、花蓮)1961~2007年平均最高溫變化圖，經試做後，因台南在1983-1987年間之資料異常，因此我們去除了台南在1983-1987年間之資料。此圖趨勢線變動幅度較小，台北測站、台中測站、台南測站、花蓮測站於1961~2003年呈現微幅下降趨勢；大武測站、蘭嶼測站於1961~2003年呈現微幅上升趨勢，台北測站、大武測站平均最高溫於1993~2003年間均有趨勢下降情形，台中測站、台南測站、蘭嶼測站於1993~2003年間趨勢持平或略為上升。



圖七、各地 1961~2007 年平均最低溫度變化圖

圖七為各地區(台北、台中、台南、大武、蘭嶼、花蓮)1961~2007年平均最低溫變化圖，經試做後，因台南在1983-1987年間之資料異常，因此我們去除了台南在1983-1987年間之資料。由此圖可得知各測站在1961~2007年間年平均最低溫上升趨勢相當明顯，其中台北測站、台中測站、台南測站於1961~2003年呈現明顯上升趨勢；花蓮測站、大武測站、蘭嶼測站年平均最低溫上升趨勢較不顯著，而各測站在1997~2003年平均最低溫有相對低值。

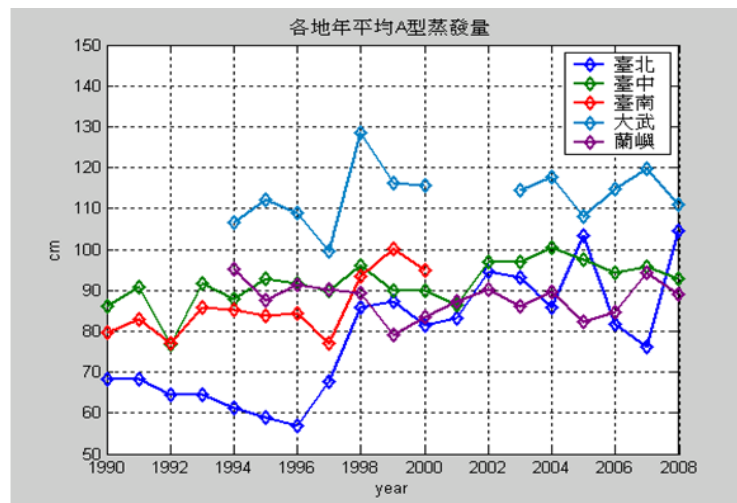




圖八、各地1961~2007年平均溫差變化圖

圖八為各地區(台北、台中、台南、大武、蘭嶼、花蓮)1961~2007年平均溫差(DTR)變化圖，經試做後，因台南在1983-1987年間之資料異常，因此我們去除了台南在1983-1987年間之資料。由此圖發現平均溫差趨勢1961~2007年台北測站、台中測站、台南測站、大武測站平均溫差趨勢下降，於1995~2003年各測站趨勢持平或略為上升，而花蓮測站、蘭嶼測站平均溫差則無明顯變動。

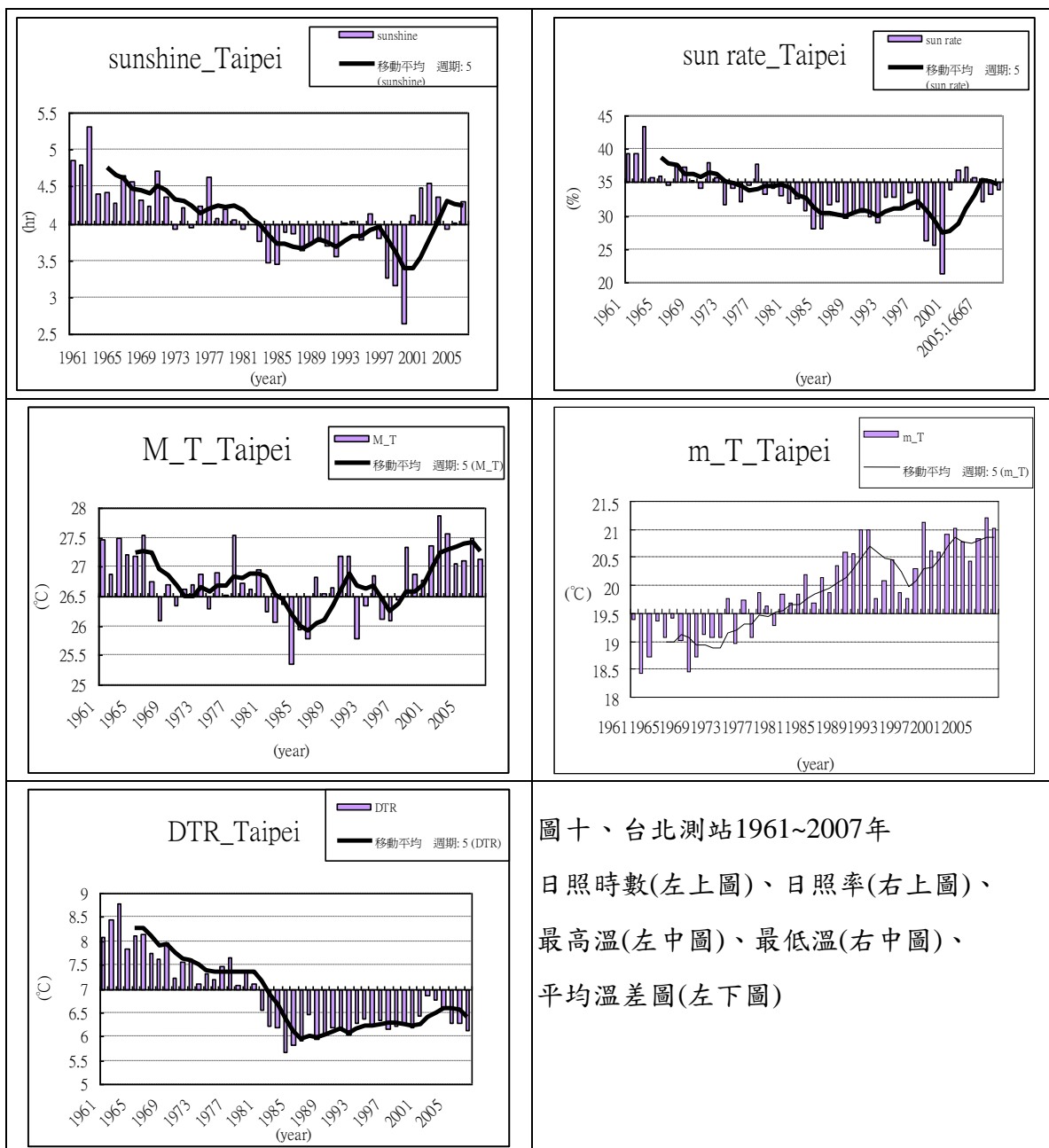
#### 4.A型蒸發量：



圖九、各地1990~2008年平均A型蒸發量變化圖

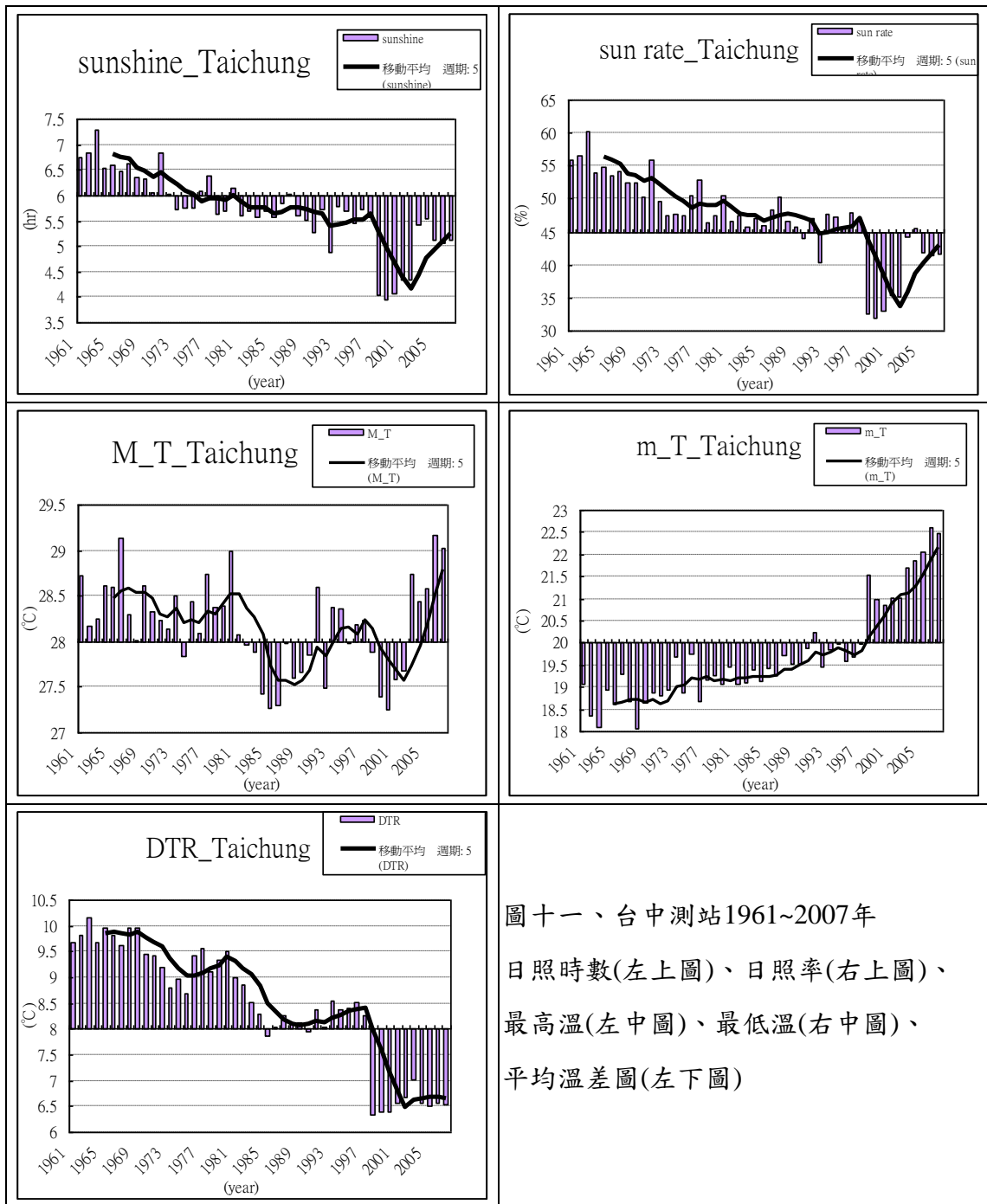
圖九為各地1990~2008年平均A型蒸發量變化圖，由此圖發現，A型蒸發量資料較不齊全且由趨勢分析不出變化規律，且變動幅度較為劇烈。

(三)分析台灣黯化現象對不同區域之影響



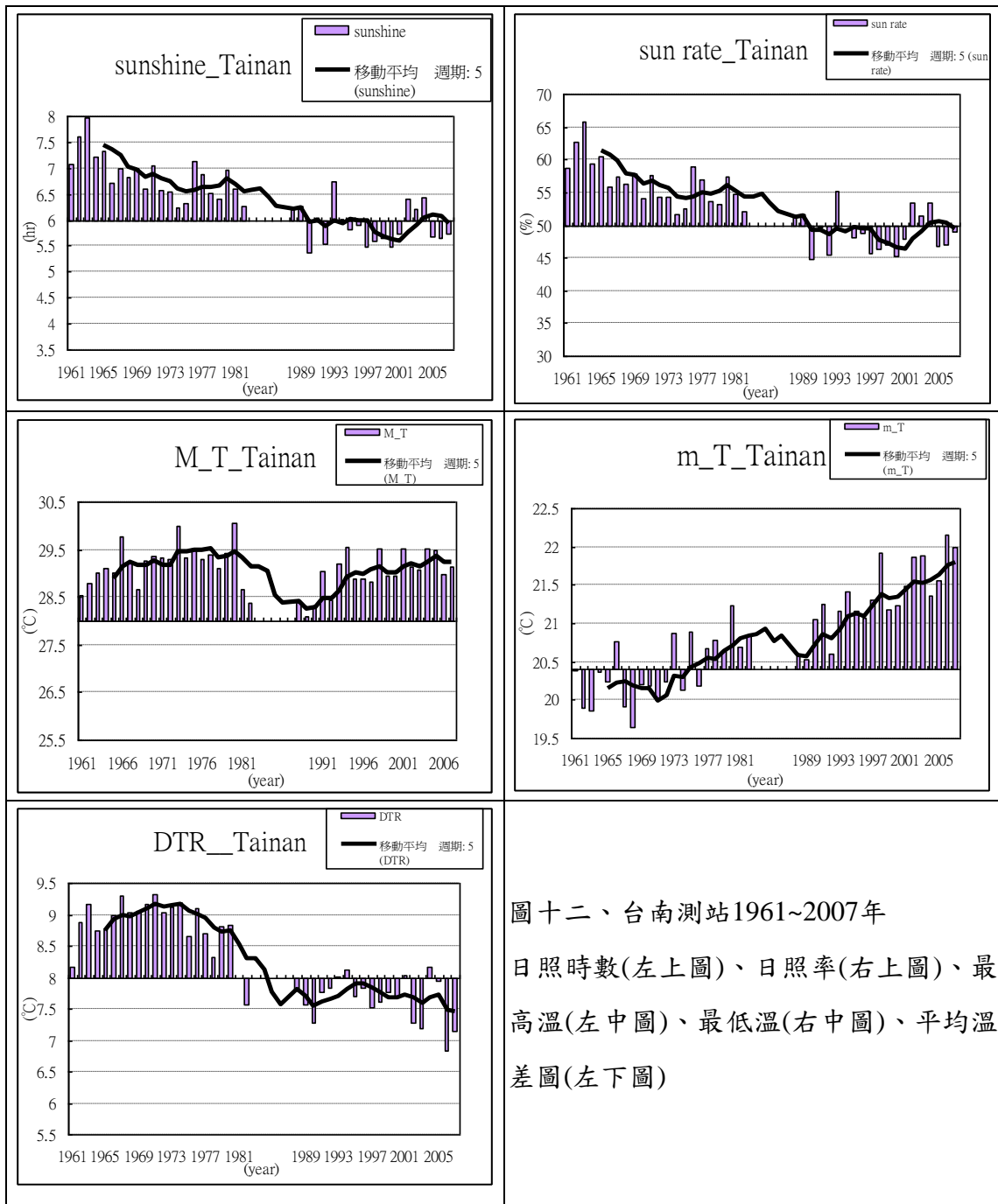
圖十、台北測站1961~2007年日照時數(左上圖)、日照率(右上圖)、最高溫(左中圖)、最低溫(右中圖)、平均溫差圖(左下圖)

圖十是台北測站1961~2007年日照時數、日照率、最高溫、最低溫、平均溫差圖，由此圖得知，台北測站1961~2003年日照時數呈下降趨勢，2003~2007年間日照時數呈上升趨勢；日照率亦有相同趨勢；台北測站年平均最高溫在1961~1997年有微幅升降，但總體而言並無明顯變化，年平均最高溫1997~2007年上升；台北測站年平均最低溫1961~2007年明顯上升，並於1993~2003年趨勢下降；平均溫差1961~1988年趨勢下降，1988~2007年平均溫差持平。



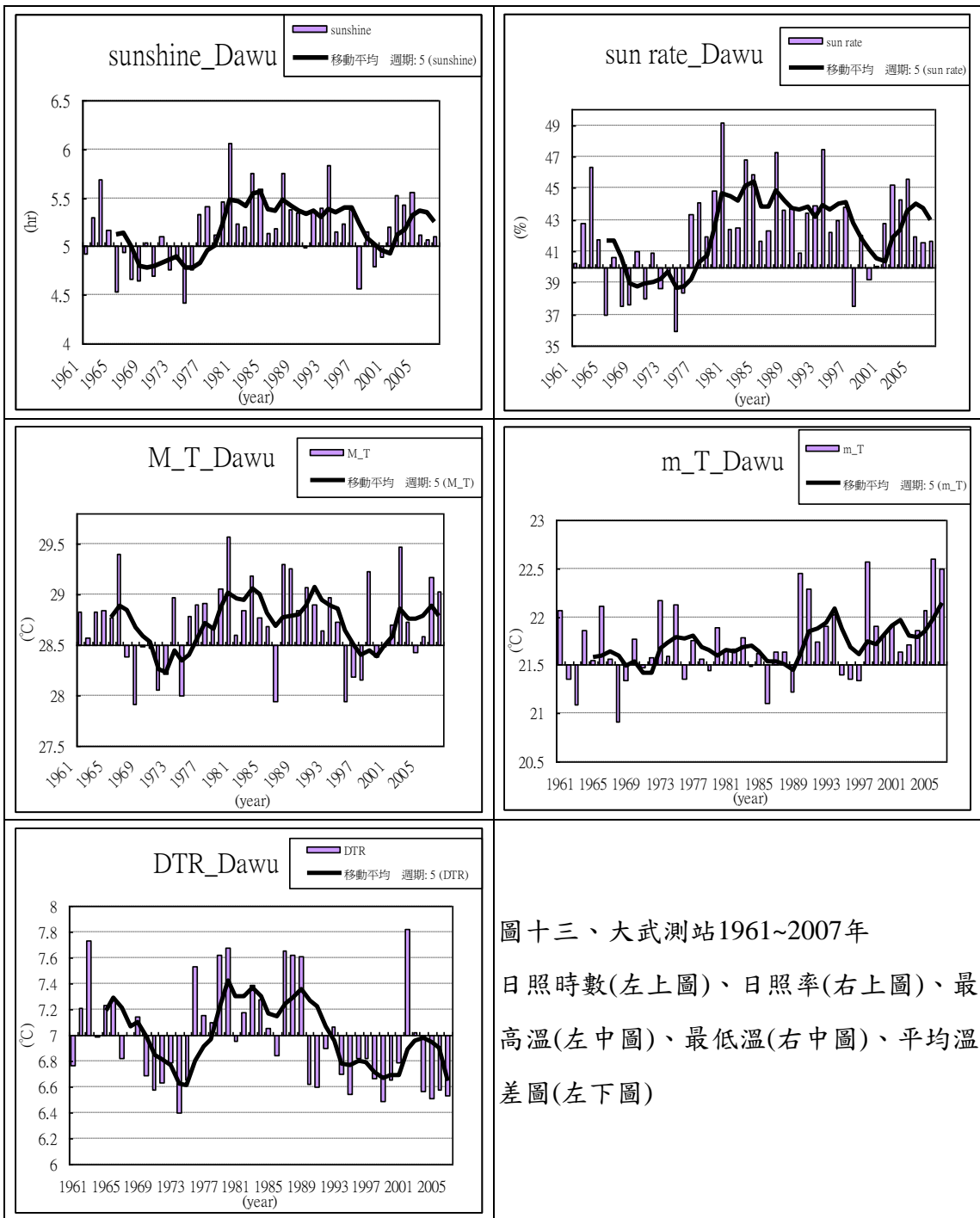
圖十一、台中測站1961~2007年日照時數(左上圖)、日照率(右上圖)、最高溫(左中圖)、最低溫(右中圖)、平均溫差圖(左下圖)

圖十一為台中測站1961~2007年日照時數、日照率、最高溫、最低溫、平均溫差圖，台中測站1961~2002年日照時數呈下降趨勢，2002~2007年間日照時數呈上升趨勢；日照率亦有相同趨勢；台中測站年平均最高溫在1987、2002年下降，而總體而言呈微幅下降，年平均最高溫2002~2007年上升；台中測站年平均最低溫1961~1997年緩慢上升，並於1997~2007年上升趨勢明顯；平均溫差1961~2002年趨勢下降，2002~2007年平均溫差持平。



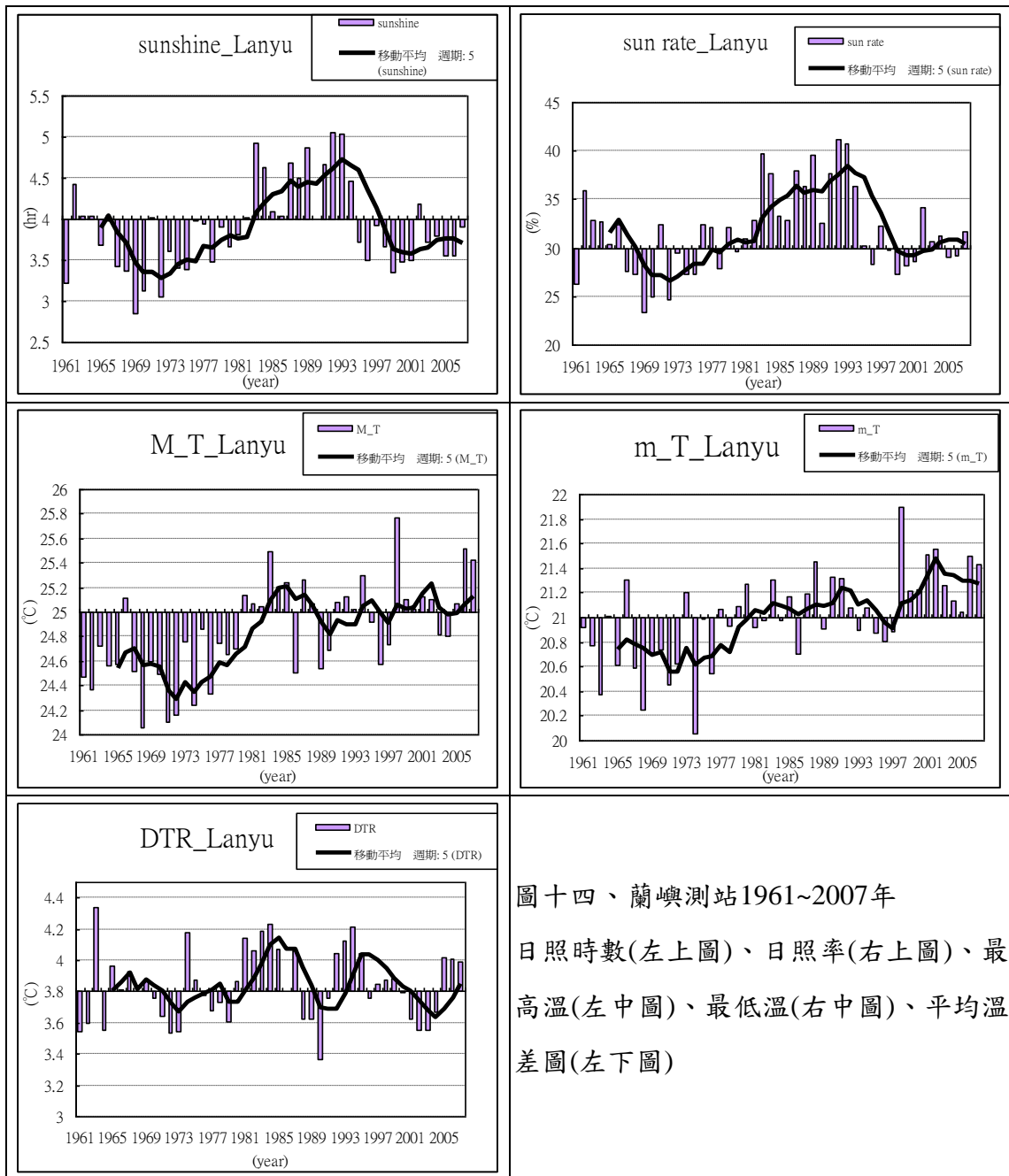
圖十二、台南測站1961~2007年日照時數(左上圖)、日照率(右上圖)、最高溫(左中圖)、最低溫(右中圖)、平均溫差圖(左下圖)

圖十二為台南測站1961~2007年日照時數、日照率、最高溫、最低溫、平均溫差圖，因台南在1983-1987年間之資料異常，因此我們去除了台南在1983-1987年間之資料。台南1961~2001年日照時數呈下降趨勢，2001~2007年間日照時數呈上升趨勢，總體而言趨勢下降；日照率亦有同趨勢；台南測站平均最高溫在1991年下降達最低值；台南測站平均最低溫1961~2007年趨勢上升顯著；平均溫差1961~2007年呈下降趨勢。



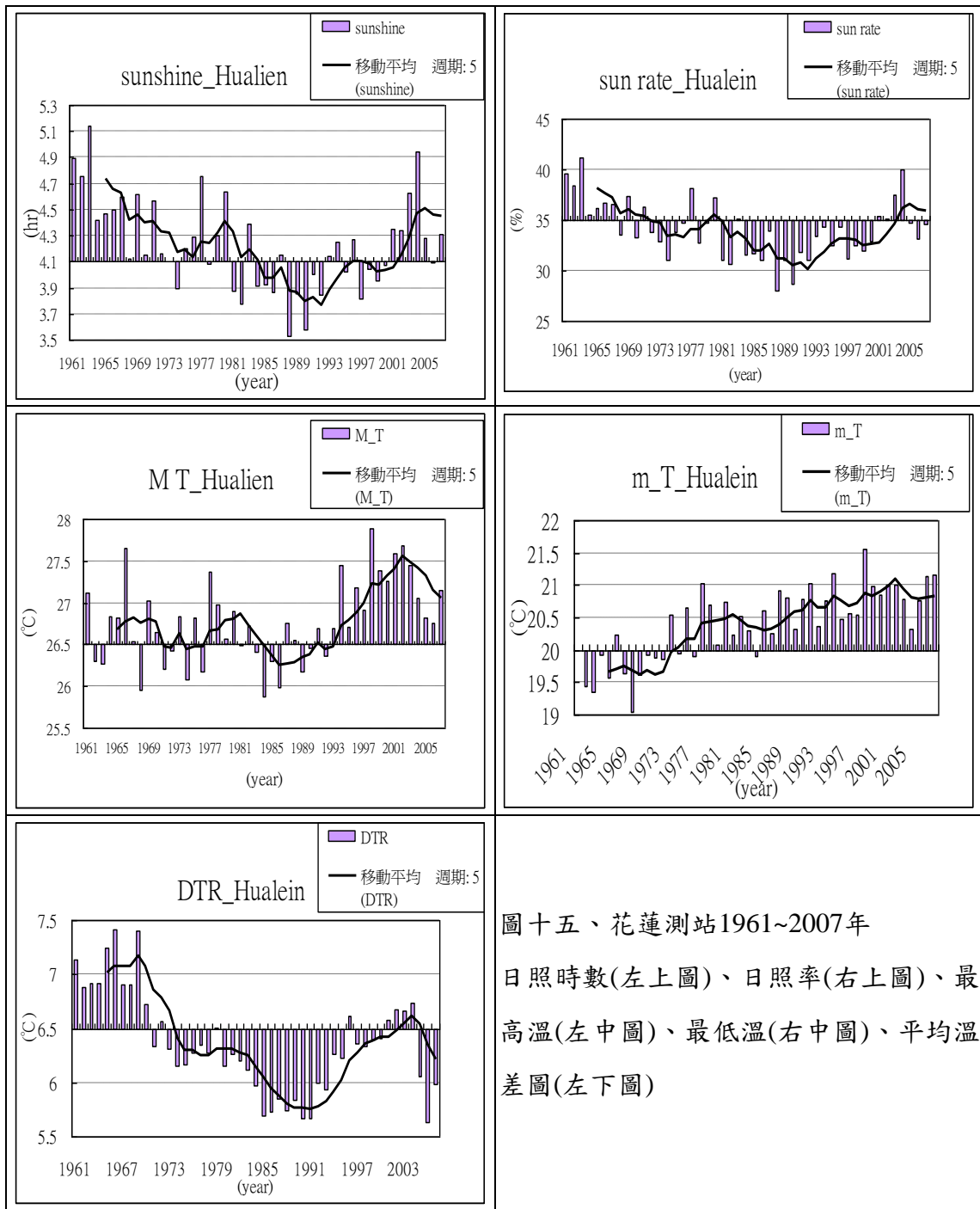
圖十三、大武測站1961~2007年  
日照時數(左上圖)、日照率(右上圖)、最  
高溫(左中圖)、最低溫(右中圖)、平均溫  
差圖(左下圖)

圖十三是大武測站1961~2007年日照時數、日照率、最高溫、最低溫平均溫差圖，由此圖得知，大武測站1961~1996年日照時數趨勢上升，1996~2002年間日照時數下降；日照率亦有相同趨勢；大武測站年平均最高溫在1961~1996年趨勢上升，1996~2002年間下降；大武測站年平均最低溫1961~2007年微幅上升，年平均最低溫1993~2002年間下降；平均溫差1961~1993年趨勢上升，1993~2001年間下降。



圖十四、蘭嶼測站1961~2007年日照時數(左上圖)、日照率(右上圖)、最高溫(左中圖)、最低溫(右中圖)、平均溫差圖(左下圖)

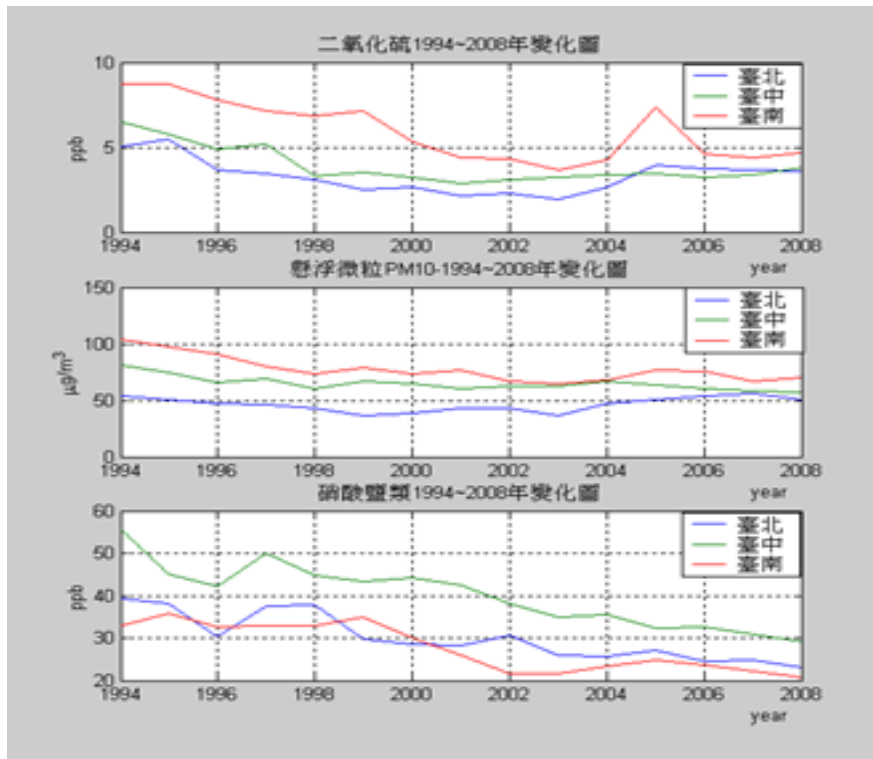
圖十四為蘭嶼測站1961~2007年日照時數、日照率、最高溫、最低溫、平均溫差圖，蘭嶼測站1961~1994年日照時數趨勢上升，1994~2002年間日照時數下降；日照率亦有相同趨勢；大武測站年平均最高溫在1961~1985年趨勢上升，1985~2007年間趨勢持平；大武測站年平均最低溫1961~1990年微幅上升，年平均最低溫1993~2001年間下降；平均溫差1961~1985年趨勢上升，1988~1994、2003年間平均溫差下降，總體而言呈微幅上升。



圖十五、花蓮測站1961~2007年日照時數(左上圖)、日照率(右上圖)、最高溫(左中圖)、最低溫(右中圖)、平均溫差圖(左下圖)

圖十五為花蓮測站1961~2007年日照時數、日照率、最高溫、最低溫、平均溫差圖，花蓮測站1961~1993年日照時數趨勢下降，1994年後日照時數回升；日照率亦有相同趨勢；花蓮測站年平均最高溫在1961~1989年趨勢為幅下降，1990~2001年間趨勢上升；花蓮測站年平均最低溫1961~2007年均呈上升趨勢；平均溫差1961~1990年趨勢下降，1991~2003年間平均溫差回升。

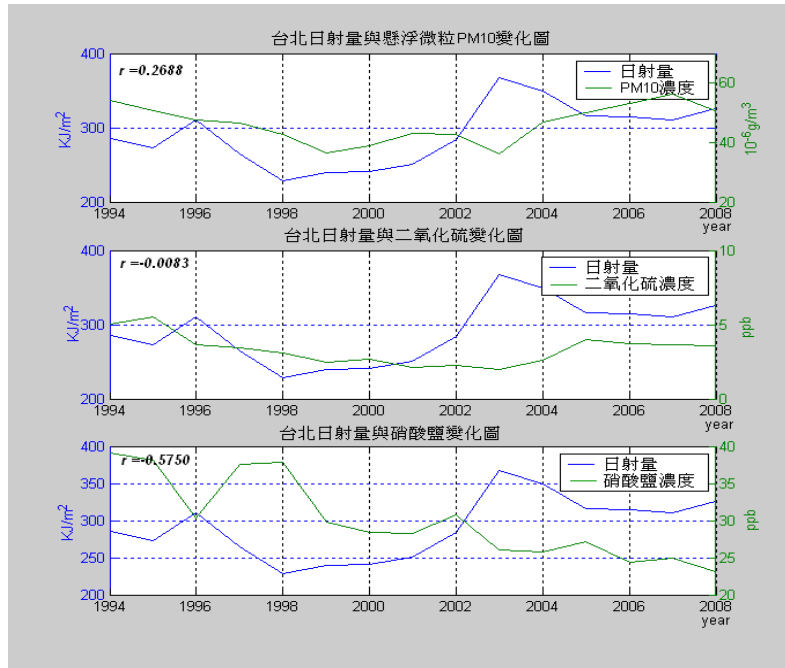
#### (四)分析台灣黯化現象之成因



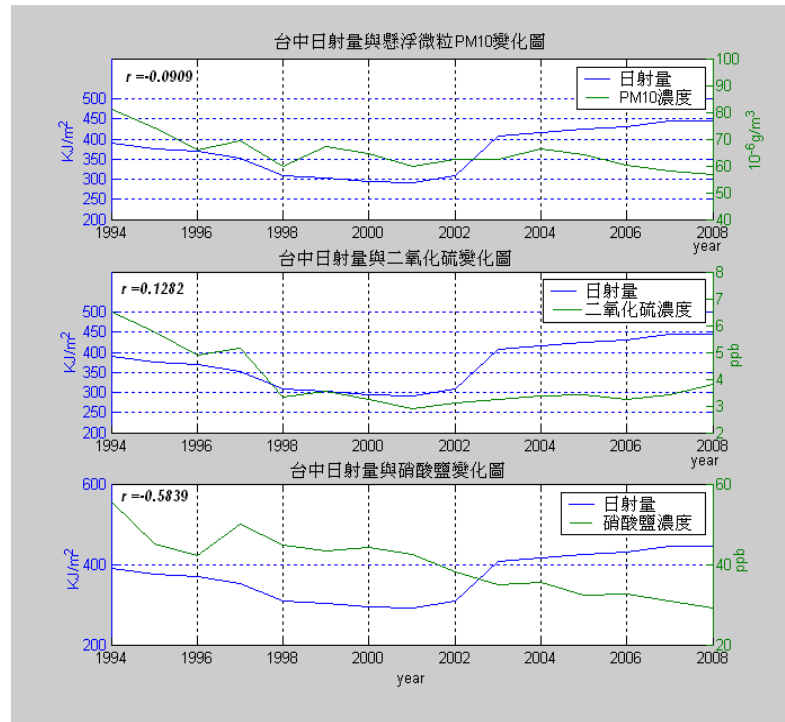
圖十六、台灣1994~2008年各污染物濃度變化圖

圖十六是台灣1994~2008年各污染物濃度變化圖，由此圖發現，二氧化硫在1994-2003年間下降，在2003達最低點，之後則微幅上升。PM<sub>10</sub>在1994-2003年間下降，之後則持平。氮氧化物約在1999年後逐年下降，其中又以氮氧化物下降幅度最大。

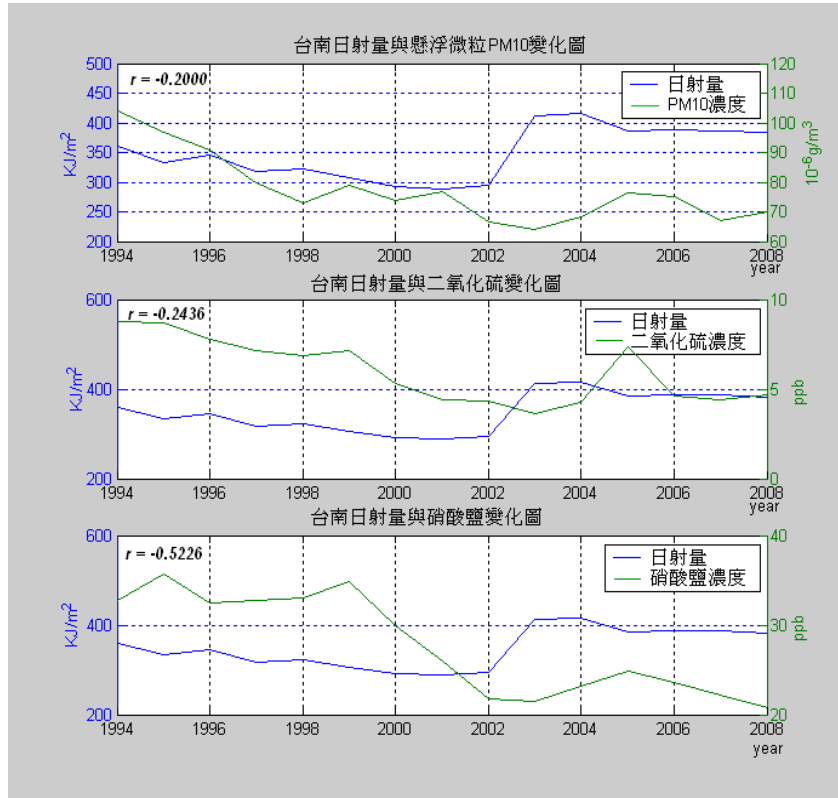




圖十七、台北總全天空輻射量  
與污染物濃度(PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>)變化圖

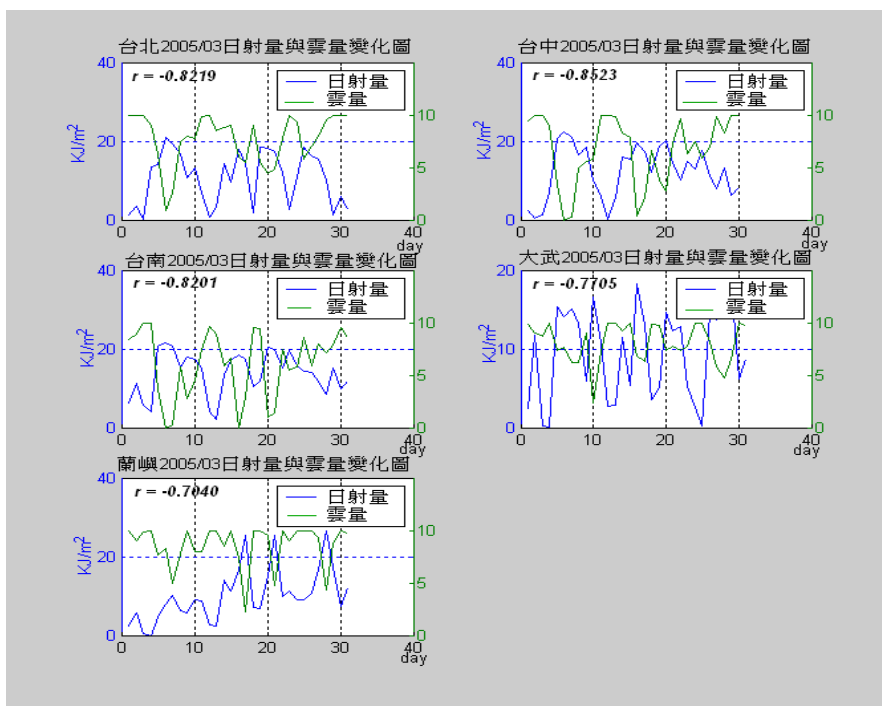


圖十八、台中總全天空輻射量  
與污染物濃度(PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>)變化圖



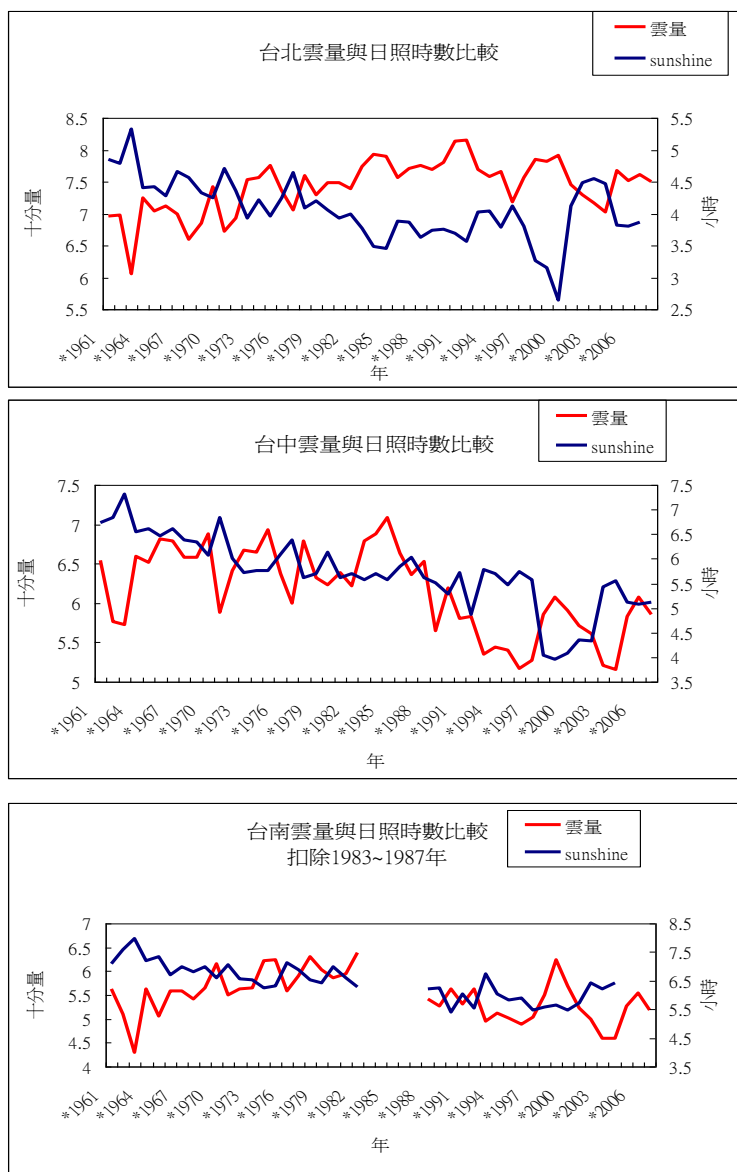
圖十九、台南總全天空輻射量與污染物濃度(PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>)變化圖

圖十七、十八、十九分別為台北、台中、台南總全天空輻射量與污染物濃度(PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>)變化圖，在污染物濃度對黯化現象影響分析中，我們取污染較嚴重之測站，分別為台北、台中、台南並選取1994-2008年間之資料進行分析。由於污染物時幅較短，因此選用與太陽輻射最直接相關之因子全天空輻射量進行比較。由圖十七得知，在台北方面，PM<sub>10</sub>、二氧化硫、氮氧化物與全天空輻射量的相關係數分別為0.26、-0.008、-0.57。由圖十八得知，台中的PM<sub>10</sub>、二氧化硫、氮氧化物與全天空輻射量的相關係數分別為-0.09、0.12、-0.58。由圖十九得知，台南的PM<sub>10</sub>、二氧化硫、氮氧化物與全天空輻射量的相關係數分別為-0.20、-0.24、-0.52。



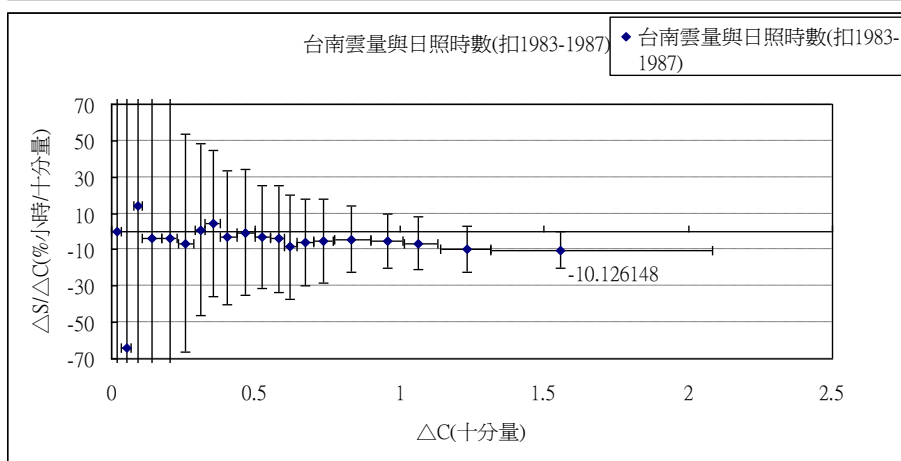
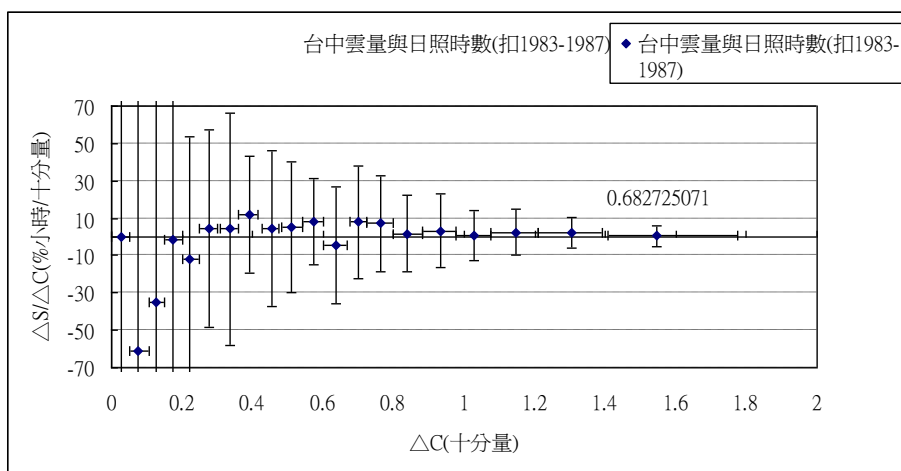
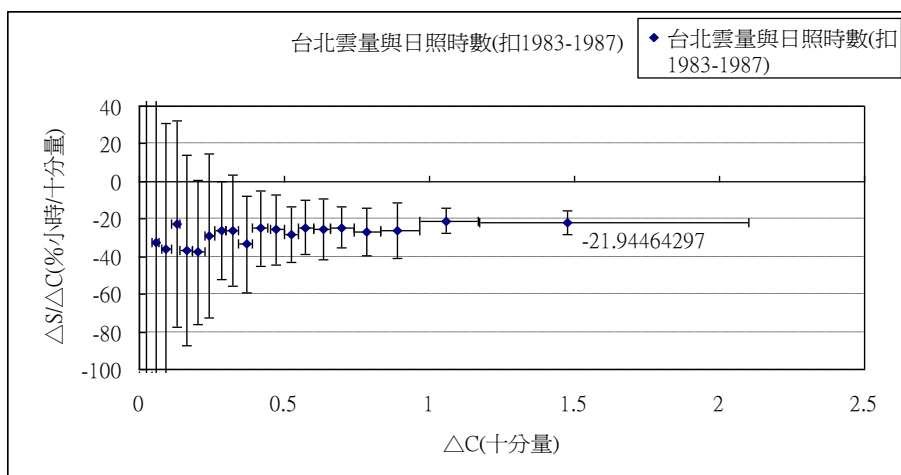
圖二十、各測站(台北、台中、台南、大武、蘭嶼)  
2005年3月全天空輻射量與雲量變化圖

圖二十為各測站(台北、台中、台南、大武、蘭嶼)2005年3月全天空輻射量與雲量變化圖，由於全天空輻射量亦會受到雲量的影響，因此以雲量作為挑選污染物濃度數值的標準。在短期雲量(2005年3月)各測站與全天空輻射量之相關係數均達-0.7至-0.9。台北、台中、台南、大武、蘭嶼之相關係數分別為-0.82、-0.85、-0.82、-0.77、-0.70。



圖二十一、台北、台中、台南測站雲量與日照時數變化圖

圖二十一都市測站(台北、台中、台南)雲量與日照時數變化圖，分析其相關性，得知短時幅的雲量與日照時數呈良好的負相關，表示短期雲量顯著影響黯化現象，但各地區長時間雲量對日照時數的關係則不若短期好，台北和台南測站負相關性較高，台中最差，顯示長時間日照時數亦會受其他影響因子影響，尤其是台中測站。



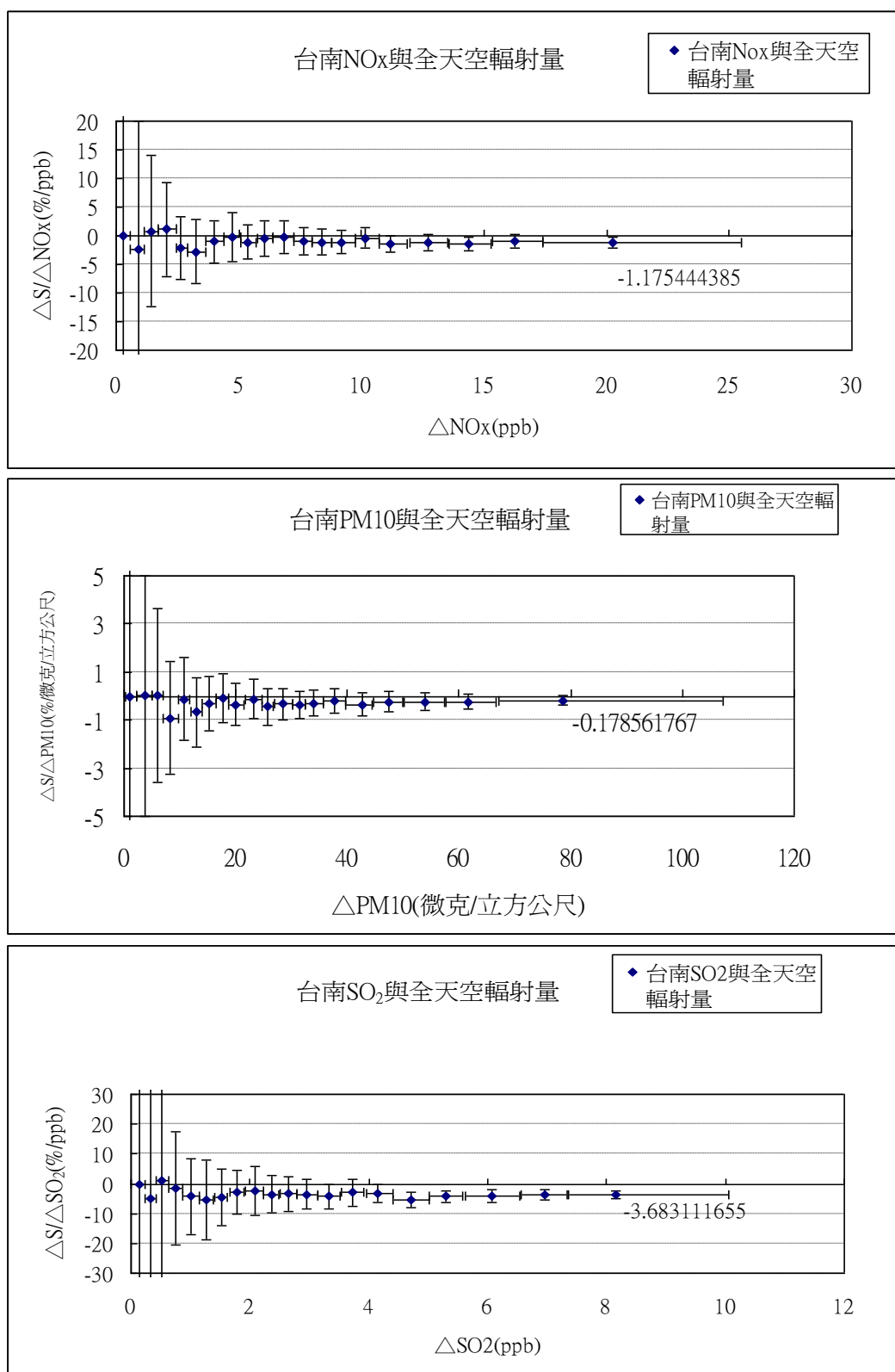
圖二十二、台北、台中、台南測站雲量對日照時數分析圖

圖二十二為台北、台中、台南測站雲量對日照時數分析圖，此三圖中，由於台南測站1983-1987年之資料異常，因此我們採用1961-1982年、1988-2007年間數據進行分析。任兩年份依大小排列，取43個相差值(其一為44個相差值)為一群組進行分析，豎線誤差為一個標準誤差，橫向誤差表該群組之最大與最小值，圖中共有20個群組。

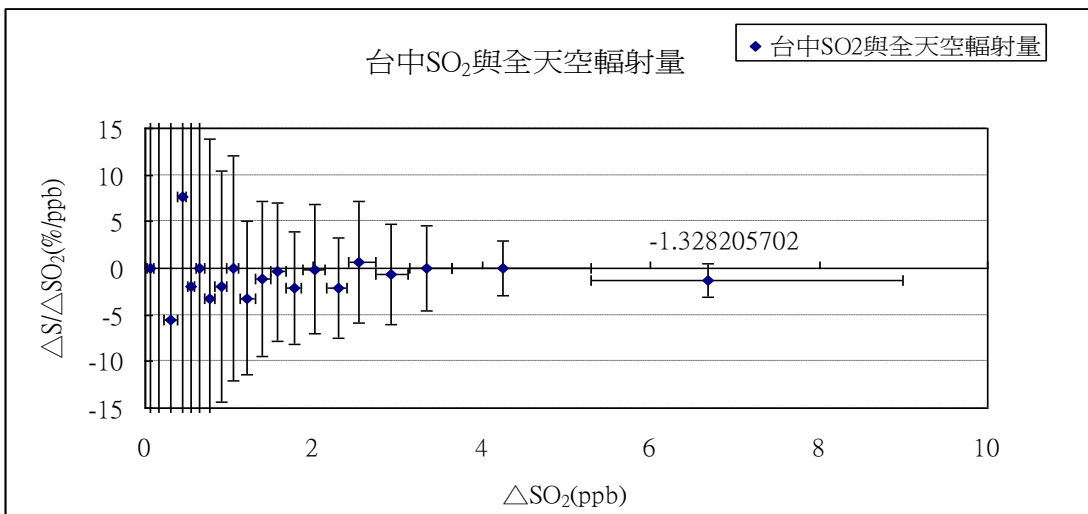
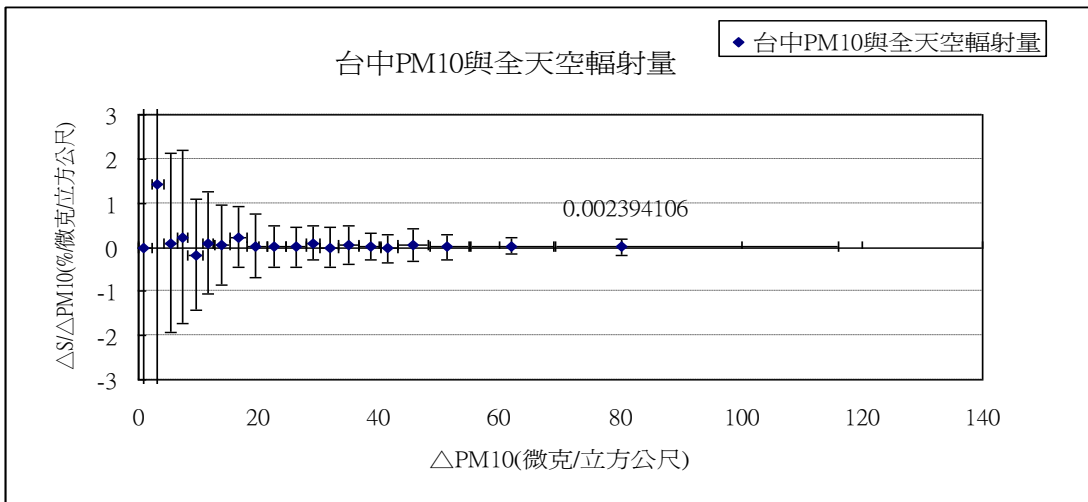
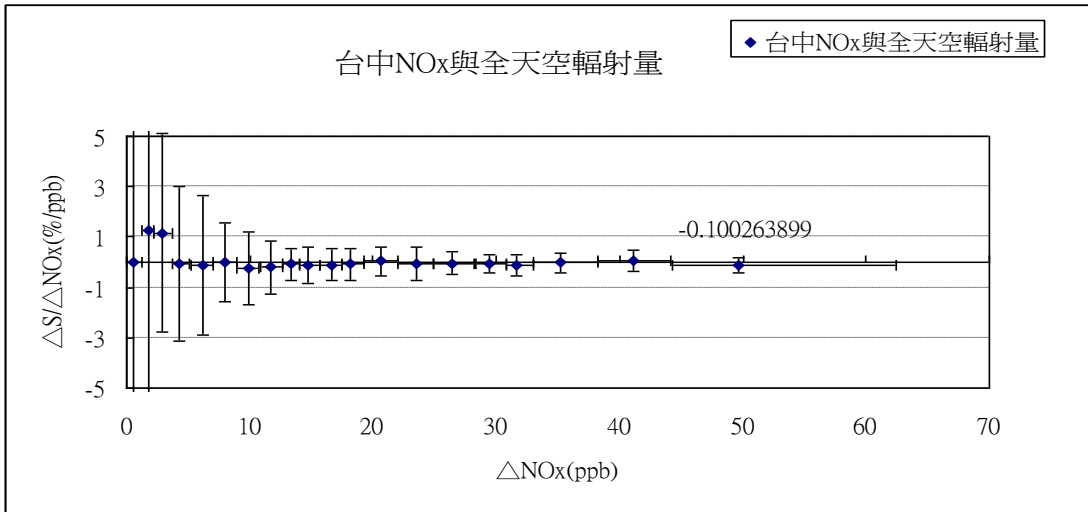
由三圖中皆可發現在雲量低時，Y軸誤差線發散，而在雲量高時，Y軸誤差收斂。而X軸誤差線則相反。因其在雲量低時，標準差過大，因此我們最後採用雲量最低之收斂值。

當台北測站雲量改變量之值為1.47(十分量)，日照時數對雲量收斂在-21.94 ( $\% \Delta S/\Delta C$ )，意指在雲量改變1.47十分量時，雲量每增加1十分量，日照時數會減少21.94%。而當台中測站雲量改變量之值為1.55(十分量)時，日照時數對雲量收斂在0.6 ( $\% \Delta S/\Delta C$ )，也就是當雲量改變1.55十分量時，雲量每增加1十分量，日照時數會增加0.6%。當台南測站雲量改變量之值為1.56，日照時數對雲量收斂在-10.12 ( $\% \Delta S/\Delta C$ )，意味著當雲量改變1.56十分量時，雲量每增加1十分量，日照時數會減少10.12%。

雲量對於三測站的日照時數影響並不相同，但就理論上而言三測站的雲量對於其日照時數的影響並不會有太大差異，故可推知應為各測站不同濃度的污染物所造成。



圖二十三、台南污染物變化與全天空輻射量分析圖



圖二十四、台中汙染物變化與全天空輻射量分析圖



圖二十三、圖二十四分別為台南與台中經雲量修正的污染物與全天空輻射量分析圖，圖二十三、圖二十四使用1994-2007年間十月的逐日污染物與全天空輻射量數值，並選取雲量1以下的各污染物與全天空輻射量數據。圖二十三為台南污染物(由上至下為NO<sub>x</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>)對全天空輻射量的XY散佈圖，在污染物變化值收斂時，每增加1ppbNO<sub>x</sub>，全天空輻射量會減少1.17%；每增加1μg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub>，全天空輻射量會減少0.17%；每增加1ppb SO<sub>2</sub>，全天空輻射量會減少3.68%，因此每單位濃度(ppb或μg/m<sup>3</sup>)影響為SO<sub>2</sub> > NO<sub>x</sub> > PM<sub>10</sub>。若將各污染物的收斂值乘上平均污染物濃度後為-36.6(ppb)、-17.4(μg/m<sup>3</sup>)、-26.4(ppb)，因此污染物對全天空輻射量實際影響為NO<sub>x</sub> > SO<sub>2</sub> > PM<sub>10</sub>。

圖二十四為台中污染物(由上至下為NO<sub>x</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>)對全天空輻射量的XY散佈圖，在污染物變化值收斂時，每增加1ppbNO<sub>x</sub>，全天空輻射量會減少0.10%；每增加1μg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub>，全天空輻射量會減少-0.002%；每增加1ppb SO<sub>2</sub>，全天空輻射量會減少1.32%，因此每單位濃度(ppb或μg/m<sup>3</sup>)影響為SO<sub>2</sub> > NO<sub>x</sub> > PM<sub>10</sub>。若將各污染物的收斂值乘上平均污染物濃度後為-3.9(ppb)、0.13(μg/m<sup>3</sup>)、-5.0(ppb)，因此污染物對全天空輻射量實際影響為SO<sub>2</sub> > NO<sub>x</sub> > PM<sub>10</sub>。

因此在台灣都會地區，造成黯化現象的影響因子中，以SO<sub>2</sub>每單位濃度(ppb)的變化值對黯化現象影響最大，但實際影響則需考慮各污染物在各地的濃度而定。

## 二、討論

### (一)探討台灣是否存在黯化現象

由圖二、圖三均發現全天空輻射量與日照時數趨勢呈現先下降後上升，其中又以都市測站(台北、台中、台南)在1961~2000年左右趨勢最為明顯，而降低趨勢在2000年後則漸弱。但比對圖五、圖六、圖七後可得知1961~2000年各地平均溫度、最高溫、最低溫均呈上升趨勢，故可推知台灣地區存在黯化現象，且以都會區的情形更為嚴重。

## (二)分析數個氣象指標值及其與台灣黯化的相關性

- 1.雖以全天空輻射量作為黯化現象的指標應較為準確，但氣候分析應以長時間的數據討論較具意義，而台灣氣象局的大武和蘭嶼測站的全天空輻射量只從1993年始有測值，且因全天空輻射量測量儀器易有誤差，故我們只取1980~2008年資料進行分析，我們另選擇了資料量足夠且與全天空輻射量最為相關的日照時數作為主要分析指標值，並取其觀測時間自1961年至2008年的資料。
- 2.日照率與日照時數趨勢大致相吻合，而日照率因為其定義(實際日照時數/理論日照時數)亦可扣除太陽季移因日照時數差異造成的誤差，故適合作為黯化現象季節分析指標值。
- 3.在探討溫度相關指標部分，發現年均溫、年平均最高溫趨勢與日照時數趨勢相似，尤以都會區溫度上升較為明顯，但年均溫較難單獨顯示出黯化現象影響程度。而平均最高溫上升幅度並不如年平均最低溫明顯，推測是由於各測站溫度因其不同地理位置與環境大致受太陽輻射量(日間明顯)、熱島效應、地表輻射能(夜間明顯)所影響，黯化現象可能降低白天太陽輻射量，但在夜間會造成地表不易散熱以致地表輻射能累積，因此造成年平均最高溫的增加不若年平均最低溫的上升趨勢。而年平均最高溫與年平均最低溫溫差，平均溫差(DTR)探討中，我們可發現平均溫差(DTR)在1961~2007年內呈現大致下降的趨勢，而其中又以都市測站的下降幅度較顯著，2000年後其影響趨緩，亦即黯化現象在1961~2000年間較為嚴重。換言之，平均溫差(DTR)亦可代表黯化現象的指標。
- 4.A型蒸發量除觀測時間較短造成資料量不足外，亦受日照量、風速、溼度、氣流及溫度等多項氣候因子影響，不適合作為黯化現象指標值分析。

### (三)分析台灣黯化現象對不同區域之影響

可發現都市測站1961~2003年間黯化現象較嚴重，反之，鄉村測站於同段時間內黯化現象並不嚴重，而各測站在1997~2003年黯化現象均有明顯增強趨勢，2003~2007年黯化現象影響漸小。

1. 台北：由台北測站日照時數與日照率1961~2003年間下降均明顯，得知台北測站黯化現象呈現先降後升趨勢，而由台北測站年平均最高溫與年平均最低溫分析圖中可得知，年平均最高溫變動幅度與日照時數趨勢相似，但年平均最低溫上升幅度十分明顯，代表黯化現象對台北測站溫度影響並造成其夜溫上升劇烈。台北測站平均溫差即說明了台北測站黯化現象程度由弱轉強並在1990年間影響便持平。
2. 台中：由台中測站日照時數與日照率1961~2003年間下降，之後便回升，即黯化現象呈現先降後升趨勢，而由台中測站年平均最高溫與年平均最低溫分析圖中可得知，年平均最低溫上升幅度相較年平均最高溫變動大，且相較於台北、台南測站其變化量更明顯，推測除黯化現象外，尚有熱島效應影響所致(劉等，台灣西部平原熱島效應，Taiwan Watch Vol.5, No.4 / Winter, 2003.)。台中測站平均溫差即說明了台中測站黯化現象程度由弱轉強趨勢相當明顯並在2001年後影響便持平。
3. 台南：由於台南在1983-1987的數值異常降低，因此我們將1983-1987年期間除去，以增加資料的可性度。台南測站日照時數與日照率1961~1982年間下降明顯，1987~1997年間有回升趨勢，1997~2003年亦有下降，得知台南測站黯化現象呈現先降後升趨勢，而由台南測站年平均最高溫與年平均最低溫分析圖中可得知，年平均最高溫變動幅度與日照時數趨勢相似，但年平均最低溫上升幅度十分明顯，代表黯化現象對台南測站溫度影響並造成其夜溫上升劇烈。台南測站平均溫差即說明了台南測站黯化現象程度1961~1982年增強，1987~1997年減弱，1997~2003年再度增強。

4. 大武：由大武測站日照時數與日照率1961~1996年間上升，並在1996~2002年間下降，但其幅度並不大，可得知大武測站黯化現象呈微幅先升後降趨勢但較不明顯，而由大武測站年平均最高溫與年平均最低溫分析圖中可得知，年平均最高溫、年平均最低溫變動幅度與日照時數趨勢相似，而年平均最低溫有微幅上升，代表黯化現象對大武測站溫度影響較小。大武測站平均溫差與其他測站相比變動幅度較小，即說明了大武測站黯化現象程度不強。
5. 蘭嶼：由蘭嶼測站日照時數與日照率1961~1994年間上升，並在1994~2002年間下降，但其幅度較小，可得知蘭嶼測站黯化現象呈微幅先升後降趨勢但不明顯，而由蘭嶼測站年平均最高溫與年平均最低溫分析圖中可得知，年平均最高溫、年平均最低溫變動幅度與日照時數趨勢相似，代表黯化現象對蘭嶼測站溫度影響小。蘭嶼測站平均溫差與其他測站相比變動幅度小，即說明了蘭嶼測站黯化現象程度小。
6. 花蓮：由花蓮測站日照時數與日照率1961~1993年趨勢微幅下降，並在1994年後日照時數回升，可得知花蓮測站黯化現象與都市測站先降後降趨勢但較不明顯，而由花蓮測站年平均最高溫與年平均最低溫分析圖中可得知，年平均最高溫、年平均最低溫變動幅度與鄉村測站趨勢較為接近。花蓮測站平均溫差與其他測站相比變動幅度小，即說明了花蓮測站黯化現象程度小。總體而言，花蓮測站在日照指標值部份趨勢與都市測站較為相似，溫度指標值則與鄉村測站較為相似，可知花蓮測站介於都市與鄉村測站受黯化影響程度之間。

#### (四)分析台灣黯化現象之成因

##### 1. 污染物分析：

在台中、台南測站污染物(PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>)的單獨年曲線中，可明顯看出三種污染物皆呈現下降趨勢，其中又以氮氧化物最為明顯。而在全天空輻射量與污染物的比較方面，若以相關係數進行分析，則PM<sub>10</sub>與二氧化硫的影響程度均不明顯，只

有氮氧化物較為明顯。因此推測在汙染物方面，氮氧化物的影響較為明顯。而雲量亦為影響全天空輻射量之一重要因子，並將全天空輻射量與雲量進行年平均之比較，發現其相關係數達-0.7~-0.9。因此我們將雲量做為對汙染物資料選取的修正值，在十分量的雲量單位中取雲量一以下之43個十月天數，藉以同時控制雲量、日照季節變化與汙染物的季節變化，再以XY散佈圖進行分析，得知在每單位濃度時，SO<sub>2</sub>影響皆最大，但實際影響則需考慮各汙染物在該測站的濃度。如在台南雖然每單位濃度的SO<sub>2</sub>影響大於每單位濃度的NO<sub>x</sub>，但由於台南測站NO<sub>x</sub>總濃度較大，因此台南測站NO<sub>x</sub>的影響大於SO<sub>2</sub>。

氮氧化物對於全天空輻射量影響的機制來自於氮氧化物會產生光化學煙霧及棕色雲；PM<sub>10</sub>是直徑10μm的懸浮微粒，然因為可見光的波長大約為0.4μm~0.74μm，懸浮微粒的直徑應要盡量接近光的波長，目前台灣環保署只測汙染微粒測到PM<sub>2.5</sub>，且其觀測時間不長，故不適合進行分析；二氧化硫與氧氣、水反應，形成由水、硫酸、塵埃、鹽粒或懸浮微粒組成的硫酸微滴，進而使硫酸與水凝結在微小液滴上，這些微小液滴可以散射陽光，使的全天空輻射量降低。總體而言，這些汙染物會造成雲的表面積大幅增加，反照率也隨之增加，反射了更多的陽光回太空。雖然全天空輻射量與汙染物各有其小型變動，但趨勢大致相符，汙染物值持續下降而全天空輻射量亦有上升趨勢，尤其2000年後更明顯，推測可能是由於空氣汙染防治法陸續實施的緣故。

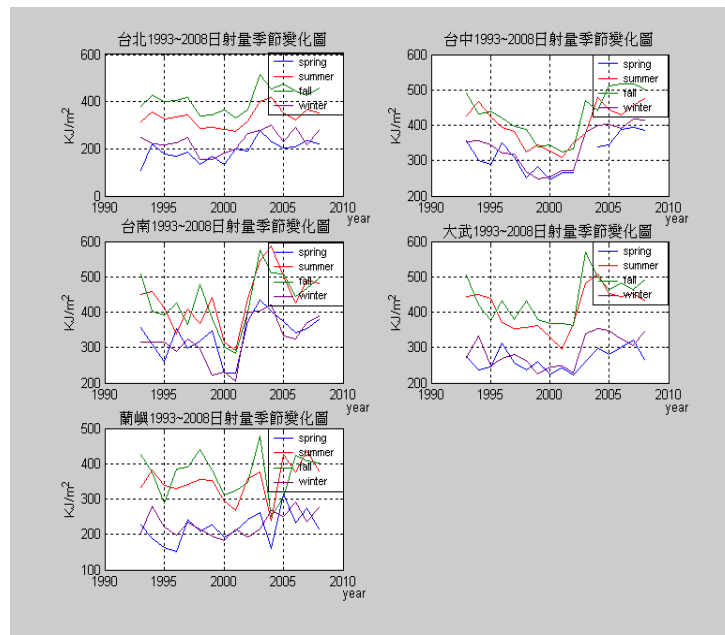
## 2.雲量分析：

圖二十一分析兩線的趨勢相關性，因此以時間順序兩因子進行排列比較，而由此圖得知雲量與日照時數的負相關相當明顯。

由圖二十二我們可以看出雲量與日照時數單獨關係的影響程度，且不會受到時間軸的影響。亦即此圖中並不討論雲量與日照時數的曲線關係，而是要求得雲量影響日照時數的真實數據。其中我們可看到在雲量差異小時，雲量的變動幅度範圍相當大，是由於在雲量變化小時，日照時數受其他因子的影響較為顯著，因此在單獨分析雲量影響時無法看到確切的收斂數字。相反的，雲量高時就可看出確切的收斂

值。雲量分析中可得知，雲量對於三測站的日照時數影響並不相同，但就理論上而言三測站的雲量對於其日照時數的影響並不會有太大差異，故可推知應為各測站不同濃度的污染物所造成。

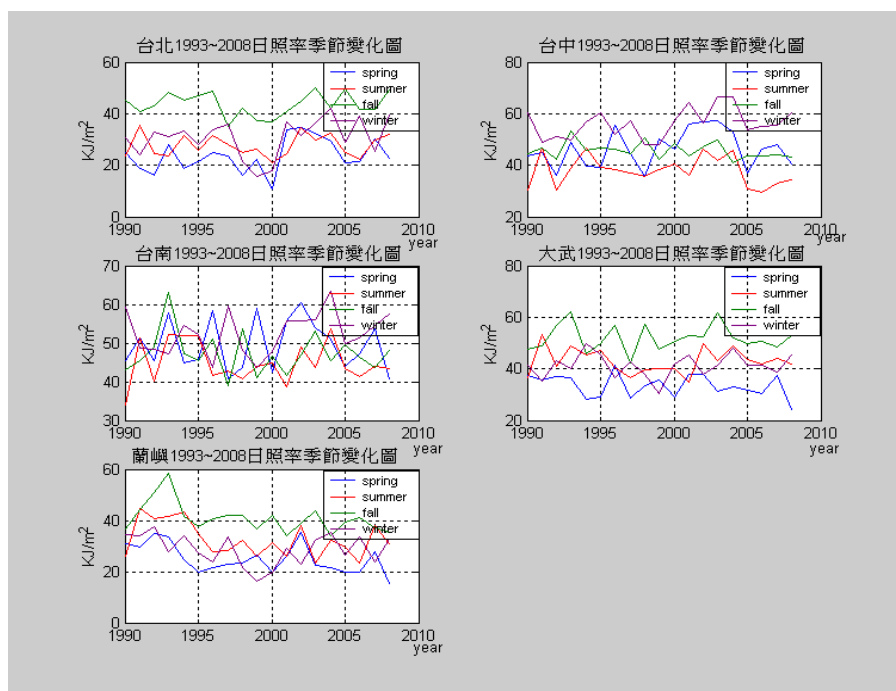
雖然雲量對於全天空輻射量或日照時數的影響相當大，但台中在1961-2007年間溫度急遽上升，且雲量在期間呈下降趨勢，然而日照時數卻呈上升趨勢，因此台中所受雲量的影響最少。



圖二十五、各測站1993~2008年全天空輻射量季節變

### 3. 季節分析：

因太陽季移造成各季節太陽輻射量均不相同，在季節分析時必須考慮此項誤差，故選擇日照率作為季節分析指標值，由圖二十四、圖二十五可得知秋季黯化現象較不明顯，春季則黯化現象較嚴重，推測是由於秋季天氣系統較少而使得雲量較少，故黯化現象較不明顯；而春季則是因為沙塵暴等其他天氣系統較複雜以致黯化現象嚴重。



圖二十六、各測站1993~2008年日照率季節變化圖

## 肆、研究結論與應用

- 一、觀察全天空輻射量與日照時數於時幅內下降趨勢並比對各溫度變化圖，證明台灣地區確實存在黯化現象，且其影響於各地區並不相同，以都市測站較為嚴重。
- 二、全天空輻射量為分析黯化現象最佳指標，唯觀測時間短，故日照時數可作為分析黯化現象良好指標值。
- 三、黯化現象對溫度影響甚大，藉由分析年平均最高溫與年平均最低溫得知黯化現象對最高溫與最低溫會造成截然不同的影響，並以平均溫差代表黯化現象程度。
- 四、台灣1961~2007年間都市與鄉村測站的黯化現象也明顯差異。都市測站在1961~2000年間黯化現象較為嚴重，鄉村測站則不明顯，然2000年後各測站均有黯化現象漸減弱的趨勢。

- 五、分析台灣黯化現象成因，單獨分析污染物(PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>)對台灣黯化現象影響，可發現在每單位濃度，SO<sub>2</sub>影響最大，NO<sub>x</sub>次之，PM<sub>10</sub>影響最小，但各測站實際影響則需考慮各污染物在各測站的濃度多寡而定。
- 六、雲量對台灣黯化現象影響顯著，而少量的污染物就會造成雲量大面積的增加，也增加了反照率，使得全天空輻射量與日照時數隨之降低。

## 伍、未來展望

- 一、本研究只選取台灣六個較具代表性且觀測時間夠長的測站進行黯化現象分析，未來將台灣18個測站分為五大區，分別是北部(台北、淡水、基隆、新竹、宜蘭)，中部(台中)，南部(台南、成功、恆春)，東部(花蓮、台東、大武)，離島(彭佳嶼、蘭嶼、澎湖)，山區(阿里山、玉山、日月潭)並分析各區域黯化現象之強弱。
- 二、完成台灣地區黯化現象分析後，將比對東亞地區黯化現象與台灣黯化現象異同，藉以得知小範圍地區性黯化現象與大範圍地區整體黯化現象是否存在一定關聯性。而也希望由此得知存在於台灣地區的特殊氣候是否會造成台灣地區性黯化現象異常。

## 陸、參考資料

- 一、行政院環保署空氣品質監測網 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/zh-tw/default.aspx>
- 二、中央氣象局全球資訊網 <http://www.cwb.gov.tw/>
- 三、大氣研究資料庫 <http://dbar.as.ntu.edu.tw/>
- 四、Shaw Chen Liu, Congbin Fu, Chein-Jung Shiu, Jen-Ping Chen, and Futing Wu . Received 27 July 2009; accepted 13 August 2009; published 5 September 2009. **Temperature dependence of global precipitation extremes.** GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 36, L17702, doi:10.1029/2009GL040218, 2009.
- 五、CHEIN-JUNG SHIU, SHAW CHEN LIU, JEN-PING CHEN. Manuscript received 6 March 2008, in final form 4 June 2009. **Diurnally Asymmetric Trends of Temperature, Humidity, and Precipitation in Taiwan.** JOBNAME:



JCLI 00#0 2009 PAGE: 1 SESS: 8 OUTPUT: Fri Sep 11 01:36:07 2009 Total No. of Pages: 15.

- 六、Chein-Jung Shiu, Shaw Chen Liu<sup>1</sup>, Jen-Ping, Chen. **Diurnally asymmetric trends of temperature, humidity and precipitation in Taiwan**
- 七、Shaw Chen Liu, Chung-Ho Wang, Chein-Jung Shiu, Hsiu-Wu Chang, Chang-Keng Hsiao, and Shuh-Haung Liaw. Manuscript received 14 December 2001, in final form 29 November 2002. **Reduction in Sunshine Duration over Taiwan: Causes and Implications.** TAO, Vol. 13, No. 4, 523-545, December 2002.
- 八、Stanhill, G. and Moreshet, S. **Global radiation climate changes in Israel.** 2004-11. Climatic Change 22: 121–138.
- 九、Ramanathan, V. (2006). **Atmospheric Brown Clouds: Health, Climate and Agriculture Impacts** .Pontifical Academy of Sciences Scripta Varia (Pontificia Academia Scientiarvm) 106 (Interactions Between Global Change and Human Health): 47–60.
- 十、Liepert, B. G. (2002). **Observed Reductions in Surface Solar Radiation in the United States and Worldwide from 1961 to 1990**
- 十一、劉紹臣、劉振榮、林傳堯、許乾忠、林文澤，**台灣西部平原熱島效應**，Taiwan Watch Vol.5, No.4 / Winter, 2003.