

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 地球與行星科學科

佳作

051903

漫漫黃砂九芎城--宜蘭地區汙染物濃度的探討

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者：  高二 林華恩  高二 楊于晨  高二 葉家榮	指導老師：  林清正
---	------------------

關鍵詞：PM2.5、空氣汙染、懸浮粒子

# 摘要

本研究主要探討宜蘭地區各種空氣汙染物與濃度變化，利用宜蘭市測站與冬山鄉測站的觀測資料以繪製成圖表，並以現有的地科知識背景討論出各項汙染物形成原因與機制。為求更精確的了解各時間尺度下的濃度變化，我們將觀測資料經數學方法處理後，製成逐時、逐月與逐年的濃度變化圖。另外我們以 **PM2.5** 為主要探討對象，了解大氣的條件與變化對汙染濃度產生的影響。

## 壹、研究動機

近來 **PM2.5** 的議題在臺灣隨著中國紀錄片一穹頂之下的極力傳播，許多民眾也開始擔憂生活品質的問題。臺灣的環境保護署也即時提供民眾空氣汙染相關訊息，並監測臺灣各地的空氣品質。而身為學生的我們，對此項議題也頗感興趣，在地科的背景知識下，著手展開關於 **PM2.5** 的研究。常有人說宜蘭是個空氣品質良好之處，故有臺北後花園的美稱，然而如此的生活模式與傳統相較改變許多，再加上境外空氣汙染物的進入，其實空氣似乎也不再如同以往那般清淨，或多或少會聽聞土生土長的長輩們對宜蘭環境的變化有所感嘆。也因此我們希望能夠更仔細了解宜蘭的空汙問題，窺探宜蘭美之下那不為人知的真實面貌。

## 貳、研究目的

- 一、以不同時間尺度(日、月、年)探討宜蘭地區 **PM2.5** 與 **PM10** 濃度的時間變化。
- 二、比較宜蘭測站與冬山測站汙染物質(**NO<sub>x</sub>**、**SO<sub>2</sub>**、**O<sub>3</sub>**)差異性與濃度的變化。
- 三、建立溫度與雨量變因的 **PM2.5** 濃度模型，藉此進一步預測濃度值。
- 四、探討天氣系統與大氣的條件因素(溫度、雨量、風向)對宜蘭地區汙染產生的影響。

## 參、研究設備與器材

- 一、紀錄與分析軟體  
Word:文字紀錄  
Excel:資料統計、圖表彙整  
Google 地圖:觀察測站位置與周邊環境、繪製相關圖說  
Hysplit Trajectory Model:分析汙染物來源地與路徑

## 肆、研究過程與方法

- 一、本研究中，我們主要以 **PM2.5** 為研究對象分析宜蘭地區宜蘭與冬山測站的 **PM2.5** 濃度，並佐以其他汙染物質(包括 **PM10**、**NO<sub>x</sub>**、**SO<sub>2</sub>**、**O<sub>3</sub>**)，進行比較與對照，了解彼此間的相對趨勢，更進一步探究宜蘭地區的空汙汙染情形。為求深入了解汙染物的相關化學性質與形成機制，我們研究的第一步驟為文獻探討。
- 二、接著我們由行政院環境保護署中的環境資料庫中取得 2010~2014 年宜蘭地區各汙染物的詳細資訊，並製成圖表，輔以表格做對照與判斷。在圖表上，我們總共做了三大類型的濃度比較圖，包括逐時濃度、季節濃度、逐年濃度。逐時濃度主要探討一天之中濃度

極值所在之時刻；季節濃度主要了解的是一年之中污染最嚴重的所在月份；逐年濃度物主要分析五年內污染物是否有在控制之下而有逐漸降低的趨勢。

三、本研究中的分析物質簡稱與單位如下：

簡稱	名稱	單位
PM2.5	細懸浮微粒	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10	懸浮微粒	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
NOx	氮氧化物	ppb
SO <sub>2</sub>	二氧化硫	ppb
O <sub>3</sub>	臭氧	ppb

## 伍、研究結果與討論

研究一(1)PM2.5 的文獻探討

(一) 基本性質

PM2.5 是一種粒徑小於或等於 2.5  $\mu\text{m}$  的懸浮粒子，此粒子為空氣中的固體顆粒，是空氣污染的主要來源之一，由於其質量相當小，能夠在大氣中停留許久時間，因此可被輸送較長一段距離，甚至在低層空氣中也會隨著人類呼吸而進入體內。PM2.5 與較大的懸浮顆粒(如: PM10)做比較，其化學活性較強，容易攜帶重金屬及微生物。

(二) 來源及成分

PM2.5 的成分相當複雜，廣及生活中的大小事物。以化學成分而言，包含有機碳、元素碳、硝酸鹽、硫酸鹽、銨鹽、鈉離子等。依其來源，大致可分為以下三大類：

1. 自然來源

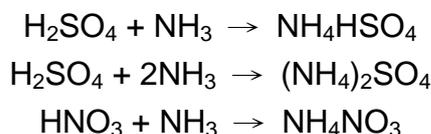
塵土(含有礦物的氧化物)、海鹽(與海水的主要化合物雷同，包括 NaCl、MgCl<sub>2</sub>)、其他粒子可能源自於沙塵暴、森林火災、火山爆發.....等自然現象

2. 人為來源

硫和氮的氧化物轉化而成(化石燃料、垃圾的燃燒)、塵蟎、菸草產品、焚香.....

3. 大氣化學反應

大氣中的氣體污染源會經由物理反應轉化成二次顆粒物，達成相位的轉換。如：



即由原本的 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(氣態)轉變成 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>(固態)。

(三) 影響與危害

人體有許多防衛機制能夠將部分粒子排出體外，如鼻腔中的鼻毛、咽喉中的纖毛等。若是 10 $\mu\text{m}$  的粒子很可能在鼻腔中即立刻藉由鼻毛運動排出體外，而 2.5 $\mu\text{m}$ ~10 $\mu\text{m}$  的懸浮粒子可能會進入至呼吸道，需藉由痰液的方式排出體外。然而要是 2.5 $\mu\text{m}$  以下的懸浮粒子飄進人體，就並非那麼容易阻擋了，它會直接進入支氣管，可能干擾肺部的氣體交換，引發哮喘、心血管病和支氣管炎等方面的疾病。若是 PM2.5 再夾帶著重金屬或微生物，對人體的影響必定相當深廣。

#### (四) PM2.5 的指標分級(臺灣)

指標等級	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
分類	低			中			高			非常高
PM2.5 濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0~11	12~23	24~35	36~41	42~47	48~53	54~58	59~64	65~70	$\geq 71$

#### 研究一(2)、氮氧化物的文獻探討(NO、NO<sub>2</sub>)

##### (一) 基本性質

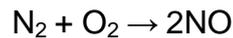
氮氧化物顧名思義是一種以氮元素與氧元素所構成的化合物，其中一般在大氣常見的空氣汙染分子包括一氧化氮(NO)與二氧化氮(NO<sub>2</sub>)。

NO:無色、無味、難溶於水之氣體，標準狀態下為氣體，其固體成藍色狀態

NO<sub>2</sub>:紅棕色、有刺激性臭味、易溶於水之氣體

##### (二) 來源

自然情況下所產生的 NO<sub>2</sub> 主要是在閃電下所產生。當大氣分子遭到閃電擊中後，因為產生大量的熱會將原本大氣中主要的氣體—N<sub>2</sub> 及 O<sub>2</sub> 反應形成 NO。



然後又進一步與 O<sub>2</sub> 反應後可形成 NO<sub>2</sub>。



除了以上自然情況以外，大部分最容易造成大量 NO<sub>2</sub> 累積於大氣的來源主要是人為因素，包括化石燃料的燃燒與城市汽機車廢氣的排放。

##### (三) 影響與危害

氮氧化物大部分都是神經毒氣。

如 NO<sub>2</sub> 在高劑量被吸入後會破壞中樞神經且產生肺水腫的現象，嚴重甚至會死亡，若是吸入的劑量較低很可能會使鼻子的嗅覺功能麻痺。

而 NO 的毒性相對而言較低，會對周圍神經的末梢產生作用。人體免疫系統中有 NO 的存在，其主要功能為殺傷細菌、病毒、腫瘤細胞等。然而若是 NO 與金屬離子形成錯合物時，可與血紅蛋白結合，嚴重可使人窒息。

#### 研究一(3)、SO<sub>2</sub> 的文獻探討

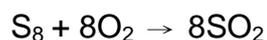
##### (一) 基本性質

硫氧化物有 SO、SO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub>、SO<sub>4</sub> 四種型式，其中 SO<sub>2</sub> 是大氣中所占比例最高的。它無色卻帶有強烈的刺激性氣味，可溶於水及極性溶液中。它也是大氣主要污染來源之一。

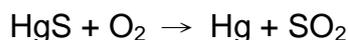
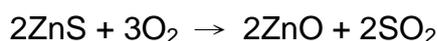
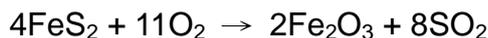
##### (二) 來源

在自然情況下，SO<sub>2</sub> 多是火山爆發時噴出，故在地球形成中期即有許多 SO<sub>2</sub> 的存在，然而今日隨著工業快速發展，SO<sub>2</sub> 的主要來源則變成人為的排放汙染。產生 SO<sub>2</sub> 的化學反應如下：

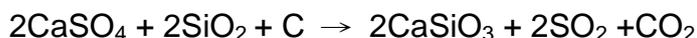
工廠燃燒煤或石油(含有高比例的 S 元素)



焙燒硫化物礦物(黃鐵礦、閃鋅礦、硃砂)產生  $\text{SO}_2$ 。



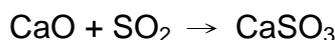
製造水泥時亦會產生  $\text{SO}_2$ 。



### (三) 影響與危害

當  $\text{SO}_2$  溶於水中，會形成  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ，為酸雨中的主要成分；或以空氣中的  $\text{NO}_2$  扮演催化劑的角色，並將  $\text{SO}_2$  進一步氧化，可大量生成  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ，兩者對環境皆造成不利之影響。因此近來擔憂燃燒此類化石燃料後的負面環境效果，科學家們積極了解  $\text{SO}_2$  的污染環境機制，並以美國為首展開了酸雨計劃，為求減少  $\text{SO}_2$  排放。其原理如下：

生成固體，將  $\text{SO}_2$  固化



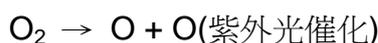
### 研究一(4)、 $\text{O}_3$ 的文獻探討

#### (一) 基本性質

$\text{O}_3$  氣體在常溫下呈淡藍色，常伴隨著特殊的刺激性臭味。 $\text{O}_3$  略溶於水，且更易溶於碳氟化合物或四氯化碳等極性溶劑內而呈現藍色。90%的  $\text{O}_3$  存於距地 15 到 50 公里之間的區域，可幫助吸收紫外線，減少穿入大氣對流層的量，其中又以離地面 20 到 30 公里處的臭氧層濃度為最高。但是在對流層中，臭氧卻是造成空氣污染的光化學煙霧中主要成分之一。

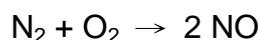
#### (二) 來源

自然情況下，於臭氧層中  $\text{O}_2$  會經紫外光照射，而分解為氧原子，而氧原子再與另一氧分子結合生成臭氧，持續的連鎖反應不斷進行。

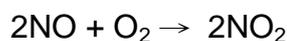


人為活動下，汽機車所產生的  $\text{O}_3$  尤為大量，其反應式如下：

在高溫引擎內，氧氣和氮氣發生反應。



在空氣中快速形成二氧化氮。



在強光下產生分解。



氧原子很容易與氧氣形成臭氧。



#### (三) 影響與危害

臭氧吸入過量會對人體有相當的危害，它主要損害呼吸道，甚至會影響中樞神經系統的運作，也對眼睛器官有重度的損害。臭氧濃度由低至高可能會產生以下病狀：鼻腔與喉嚨黏膜的破損、哮喘發作、視覺敏感度與視力降低、器官疼痛、腦部思維能力衰弱、肺氣腫和肺水腫。

## 研究一(5)、PM10 的文獻探討

### (一) 基本性質

PM10 即為空氣中固態與液態的懸浮顆粒物，其粒徑範圍有大有小，但大多都小於  $10\mu\text{m}$ 。依據各顆粒物受重力後的沉降快慢可分類七大種：

1. 塵粒:粒徑最大，超過  $75\mu\text{m}$ 。
2. 粉塵:粒徑為  $1\sim 75\mu\text{m}$  的顆粒。
3. 霧塵:過飽和蒸汽凝聚形成的液滴，粒徑小於  $10\mu\text{m}$ 。亦稱為霾。
4. 亞微粉塵:粒徑小於  $1\mu\text{m}$  的顆粒。
5. 煙塵:經昇華、冷凝等物理過程所形成粒徑小於  $1\mu\text{m}$  的固態顆粒。
6. 煙:由固體微粒和液滴組成的非均勻系，粒徑為  $0.01\sim 1\mu\text{m}$ 。
7. 化學煙霧:又分硫酸煙霧與化學煙霧兩種。硫酸煙霧是硫化物和霧塵作用產生；光化學煙霧則是汽機車廢氣中碳氫化合物和氮氧化物經化學反應所形成。

### (二) 來源

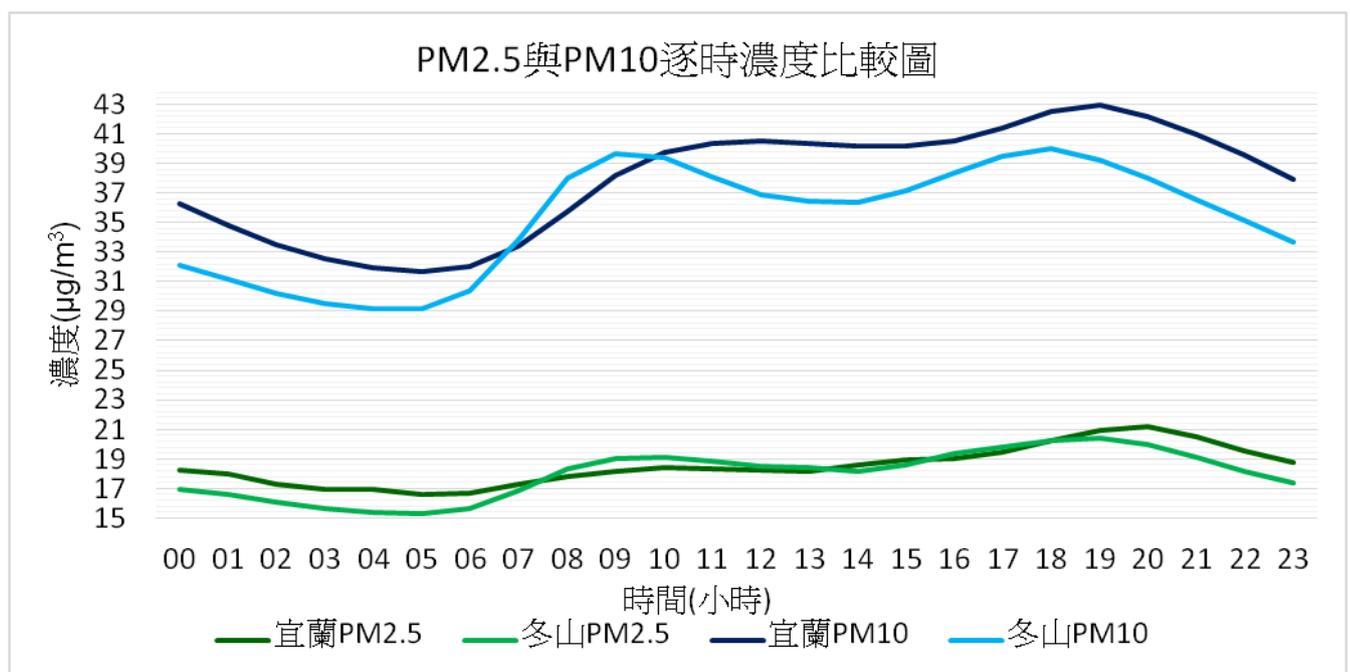
主要有兩個途徑:一是經工業排放與汽機車燃燒石油所形成，為目前的主要來源；另一則是，大氣中二次形成的超細顆粒物與氣溶膠。

### (三) 影響與危害

由於顆粒的來源相當多樣，會隨著排放的物質不同而對人體有不同的影響，故須經由儀器鑑定才有辦法分析其影響程度。顆粒物粗者易被鼻毛運動與咳嗽而排除體外，但嚴重時可能侵害呼吸系統而誘發哮喘病；顆粒物越細小者對人體危害就越大，可能隨著人的呼吸運動沉積肺部，進而進入肺泡與血液當中。

## 研究二、探討並比較宜蘭地區 PM2.5 與 PM10 濃度變化

### (一) 以小時為尺度



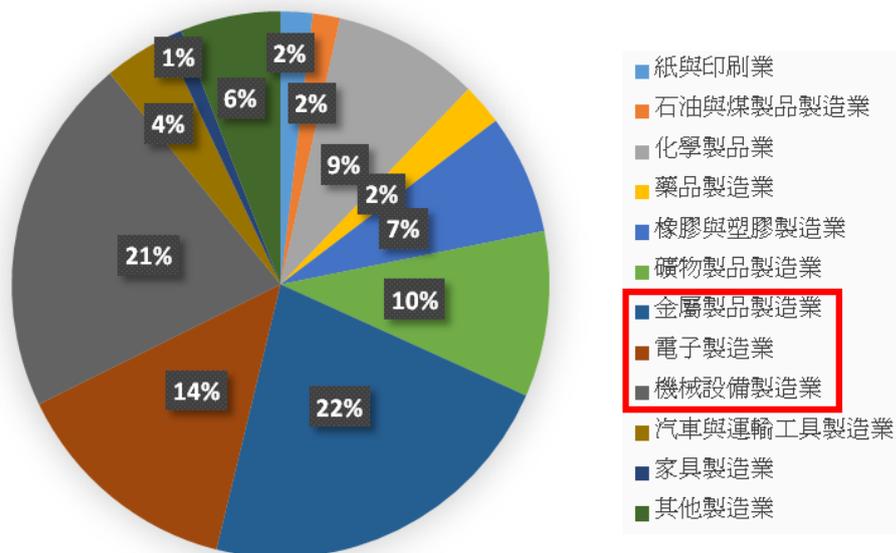
◎圖一

PM10 逐時濃度 變化標準差	宜蘭	冬山
	3.674	3.665

◎表一

1. 將 PM2.5 與 PM10 的五年觀測資料做平均後製成圖一，我們發現兩測站一天中 PM2.5、PM10 逐時濃度變化趨勢不大相同：宜蘭測站的趨勢較類似單峰型，亦即其濃度的最大值僅出現於某一個時間點；反之，冬山測站則出現雙峰型，一天之中具有兩個明顯波峰。
2. 冬山測站 PM2.5 的濃度在白天雖些微高於宜蘭測站，但晚上濃度卻明顯低於宜蘭測站，且冬山測站的 PM10 濃度長時間較宜蘭測站為少。上述兩者現象可能與當地的鄉村生活型態有關。由於 PM2.5 與 PM10 人爲的主要來源是石油或煤的燃燒，但龍德工業區與利澤工業區的製造業著重於金屬、機械工業與民生工業(食品製造)，而非石油或塑膠製造業，因此 PM2.5 與 PM10 在此情況下受都市的人爲活動影響較顯著，包括運輸工具的廢氣排放。圖二爲龍德與利澤工業區的製造業比例圖。

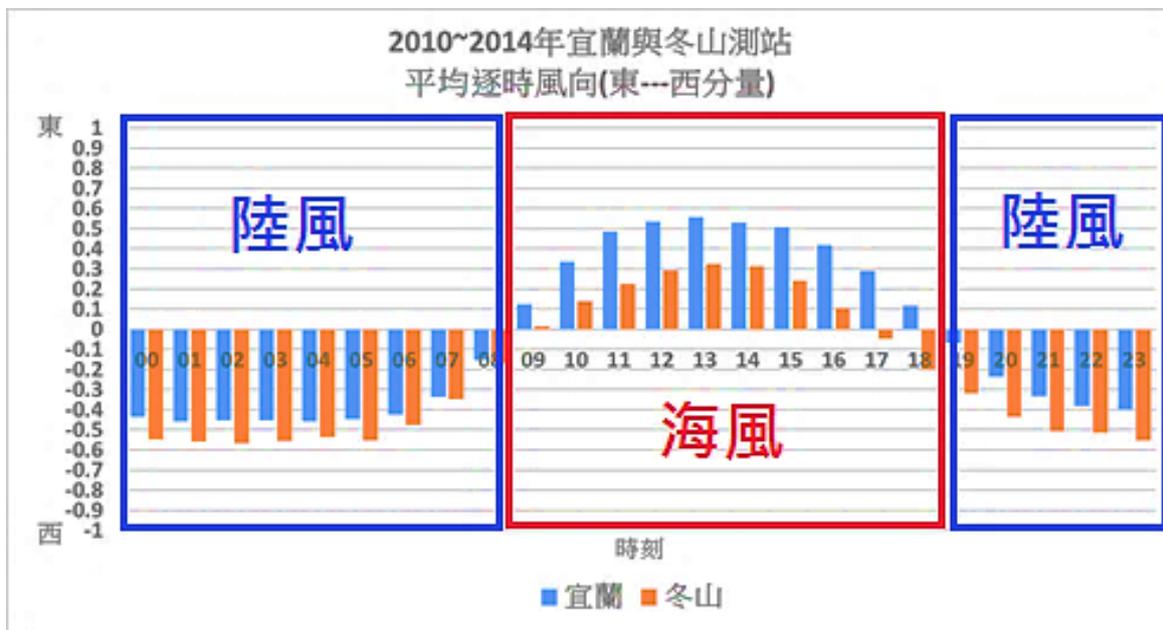
龍德、利澤工業區製造業比例圖



◎圖二(資料來源:宜蘭縣政府主計處)

3. 兩測站 PM2.5 與 PM10 濃度均是清晨 04~06 時達到最低，而在晚上 19~20 時達到最高，因此可證實清晨運動比傍晚運動更健康。
4. 以宜蘭測站濃度變化做討論，發現其 PM2.5 與 PM10 約在 20 時有最大值。推測造成此現象的原因是由於晚上期間，太陽輻射相對比白天弱許多，所以對流作用隨之微弱，造成空氣汙染分子難以藉由上升運動至高空，並藉平流層的水平運動使空氣散播至他處，反而是聚集於低空，加上白天的污染逐漸累積，造成了污染物質濃度較高。
5. 以冬山測站濃度變化做討論，一天中清晨至 5 點前爲 PM2.5 與 PM10 濃度較低的時刻，而後約於 9 點時攀升至一天中的最高值，正午後濃度持續下降，在 18 點上升至第二高峰，其值也略等於一天中的最大值。推測如此的趨勢發展可能與工業區的各工廠營運時間有關係。另外，我們可在圖一中發現，凌晨時的冬山測站濃度皆低於宜蘭測站，造成此現象之原因可能與海陸風的強弱也有關係：由於冬山測站較接近海岸，

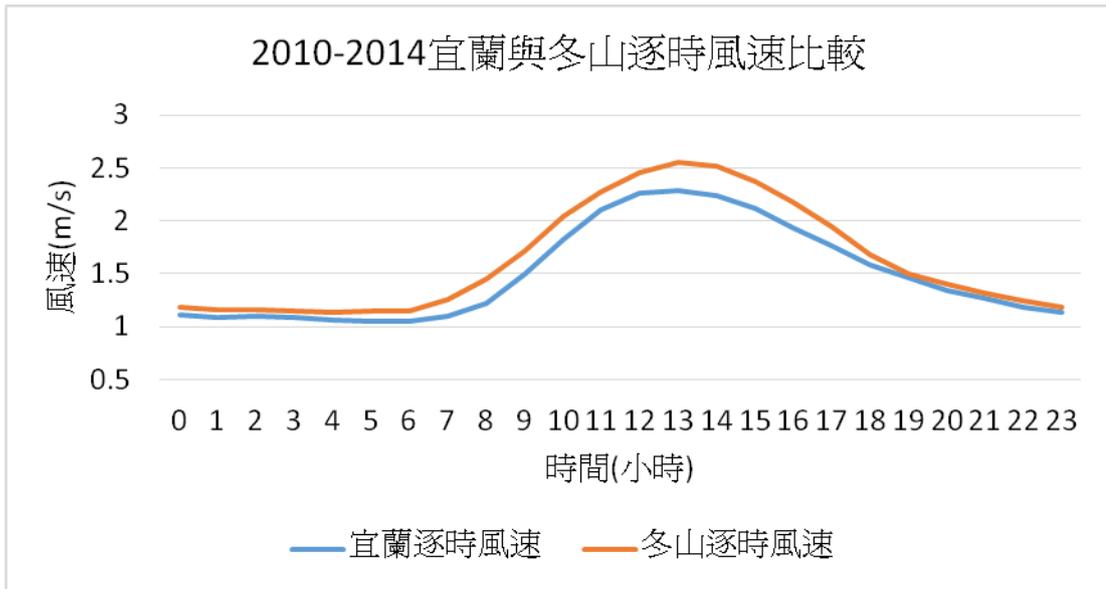
受海陸風的影響應該會較大，白天的海風將沿海工廠的污染物大量移入，而及至夜間，沿著山腳的陸風向海面吹拂，就難以將污染物帶入。上述文字敘述，以圖三、圖四與圖五作解釋：



◎圖三



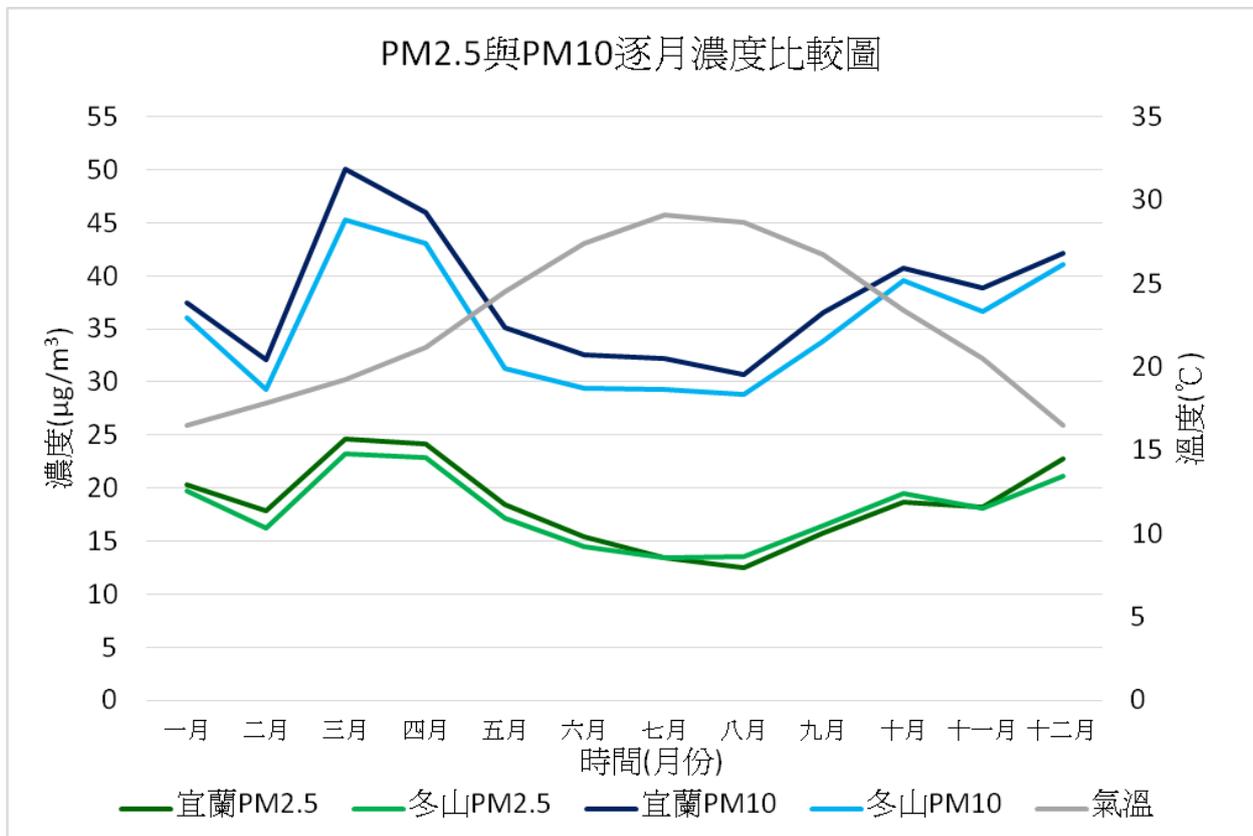
◎圖四



◎圖五

6. 宜蘭與冬山測站 PM10 的濃度在清晨 5~6 點時最低，7 點之後快速上升，大約在 10 點時上升漸趨緩，在 17~19 傍晚時刻達到最高，之後便持續下降。且冬山測站在清晨上升時濃度常會超過宜蘭測站，這樣的現象還需要更進一步的研究來做解釋。
7. 表一是利用標準差來分析各資料的波動幅度大小，發現宜蘭測站逐時濃度的標準差雖略大冬山測站，但只增加了約 0.25%，並無特別明顯，顯示兩測站的數據雖然波動性很大(即標準差值大)，但是兩數據所呈現的差異性並不那麼明顯。

(二) 以季節為尺度



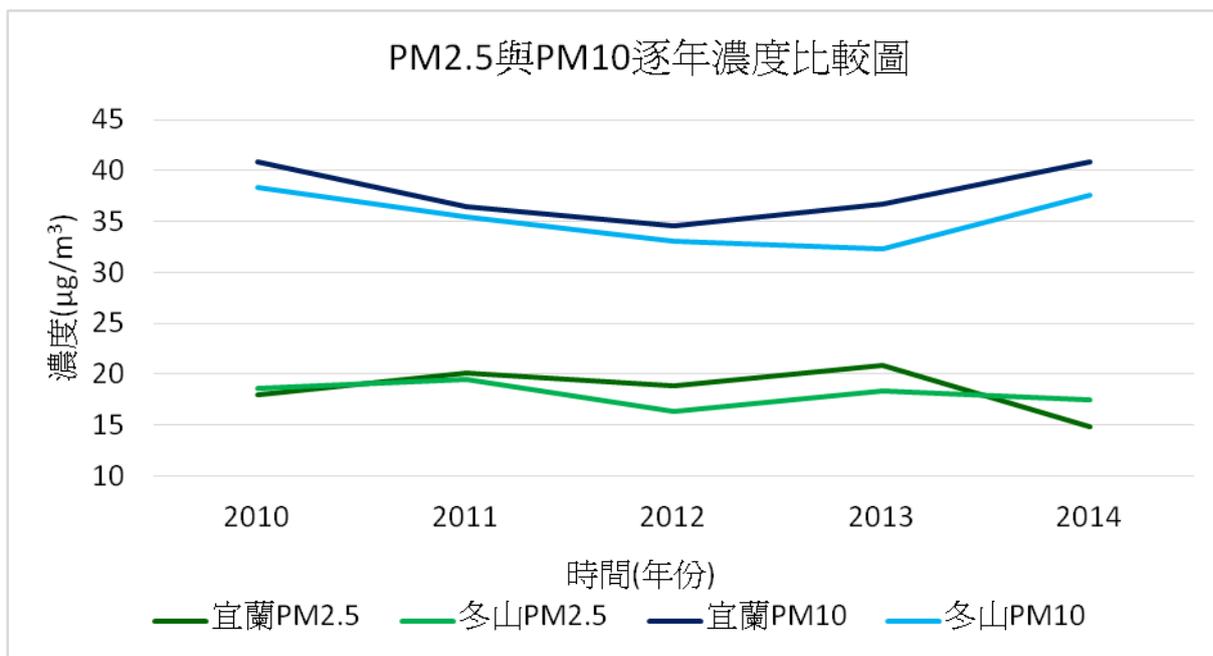
◎圖六

		PM2.5 濃度最大值月份	PM2.5 濃度最小值月份
2010	宜蘭	三月	九月
	冬山	八月	十二月
2011	宜蘭	四月	八月
	冬山	三月	六月
2012	宜蘭	十一月	六月
	冬山	十月	七月
2013	宜蘭	四月	七月
	冬山	四月	二月
2014	宜蘭	一月	七月
	冬山	十二月	七月

◎表二

- 由一年中的 PM2.5 濃度趨勢(圖六)可以發現兩測站濃度極值發生的月份大致相符，且由表一內容亦可得到略同的佐證：在三到四月份(即冬春之際)，PM2.5 濃度達最高值，而在七八月時濃度達到最低值。
- 對於一年中 PM2.5 所呈現的濃度變化，我們做了以下討論：
  - (1) 七到八月份，PM2.5 濃度達最低值，推測大氣擴散與穩定度是影響空氣污染很重要的因子，因此也發現宜蘭氣溫的高點是落在 7、8 兩月(如圖六所示)。所以在七、八月(夏天)為一年之中的最高溫，對流必比其他月份更強盛，PM2.5 遂容易隨著如此的大氣系統向高空而去，減少地面空汙的濃度。
  - (2) 若依上述因素探討，最低溫的一月應該是濃度最高值，然而並非如此，因此溫度因素無法完全解釋為何冬天非一年中濃度的最高值。因此我們推測 PM2.5 污染物可能與境外移入有關係。宜蘭冬季盛行東北季風，盛行風夾帶來自中國西北地區沙漠污染物。由於此區域緯度較高，冬天時可能降少許的雪，將原本的砂粒固著於地表上，因此華北地區的西北風就難以夾帶著大量風沙想海外移動。然而一到了冬末春初，雪已經融化甚至蒸發，使沙粒之間的黏滯性變得較低，再加上當時的季風尚未完全轉變，即有利於東北風將之帶入宜蘭地區。
- 若觀察圖六僅可了解 PM2.5 濃度整體的趨勢，難以考慮部分特殊結果，因此我們進一步研究表二的內容，發現極值出現的時間點對兩測站而言有差別。宜蘭測站各極值的資料較符合圖所呈現的趨勢，而冬山測站的資料卻有較多例外。
- 觀察圖五 PM10 的趨勢可發現冬末(2 月)、春末夏初(5~8 月)是宜蘭地區 PM10 濃度相較於其他月份較低的時間，冬季(10 月~1 月)及春季(3 月~4 月)則是 PM10 汙染較嚴重的時間。這與台灣地區沙塵暴好發時間(11-5 月)相近。且濃度較高時大約為較低時的 1.6 倍。以長期平均作觀察，宜蘭測站的 PM10 濃度較冬山測站為高。

(三) 以年為時間尺度



◎圖七

	宜蘭測站 (ug/m <sup>3</sup> )	冬山測站 (ug/m <sup>3</sup> )
2010	17.974233	18.5895
2011	20.048153	19.4466
2012	18.879112	16.2843
2013	20.798993	18.2854
2014	14.86841	17.457
五年平均	18.5137805	18.01257

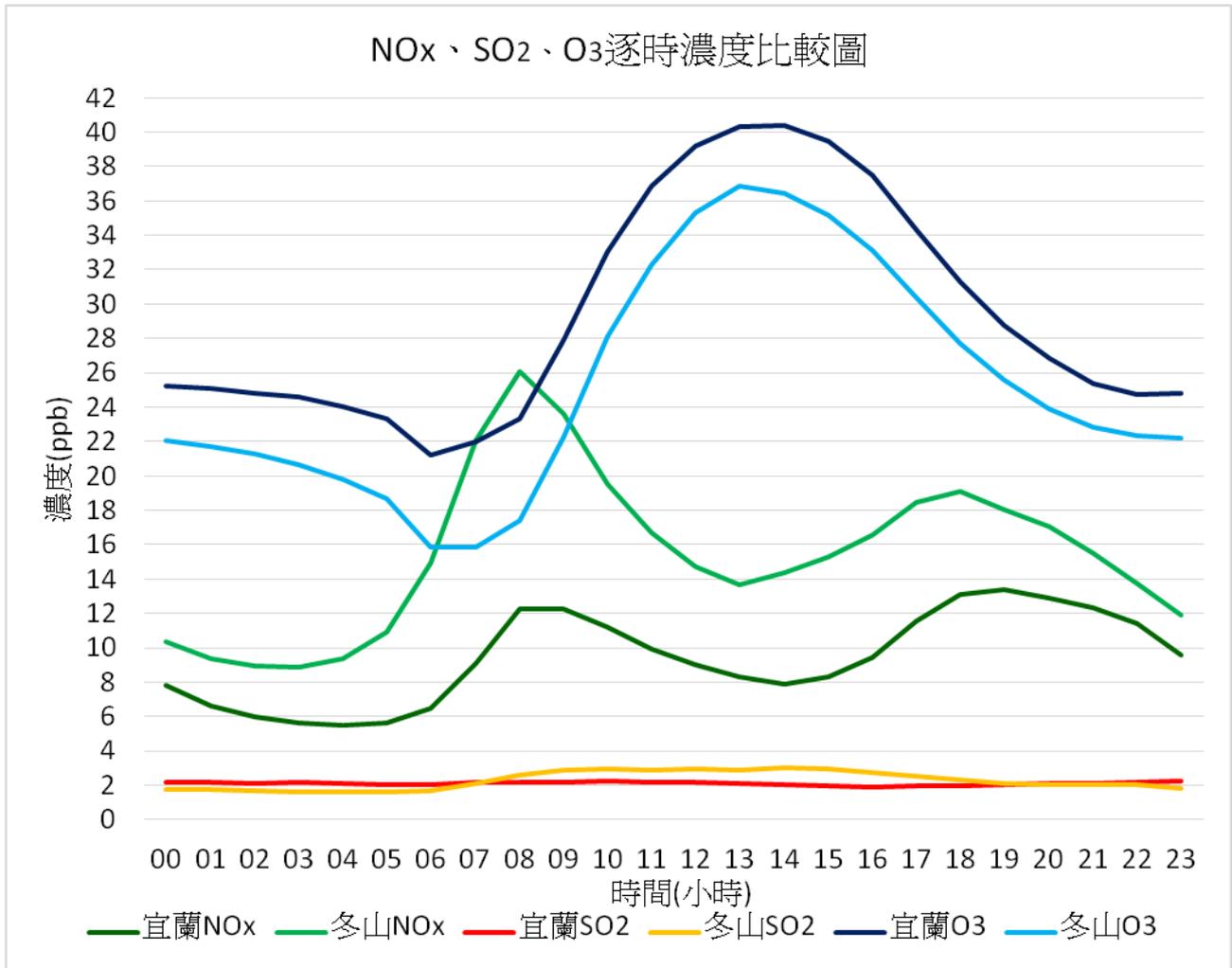
◎表三

1. 經過分析後發現：宜蘭測站與冬山測站的 PM2.5 在同一年中之平均值相當，年平均值在 18ug/m<sup>3</sup> 左右，且依據臺灣空氣汙染監測標準可發現，兩測站的空氣皆屬於第二等級(低)，可見宜蘭地區較台灣西部及南部地區的空气品質較優。
2. 宜蘭地區的 PM2.5 濃度下降幅度在 2013 年之後有明顯下降的趨勢，但是否有持續的現象，未來我們將持續追蹤注意。
3. 觀察圖七與表三可發現，宜蘭測站與冬山測站變化差異非常小。從濃度變化可發現，在 2013 年以前皆為逐年減少，與 2010 年相比減少了約 15%。但之後濃度回升，2014 年的數據已與四年前相近。

研究三、探討並比較宜蘭地區化學汙染物濃度變化

為了更進一步討論宜蘭地區汙染物(NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>)的濃度變化，並且對照研究一的 PM2.5 與 PM10 做更詳細的討論。我們針對 2010~2014 年宜蘭地區的宜蘭、冬山測站分別進行逐時、逐月、逐年濃度的統計，以下為研究結果：

(一) 以小時為尺度



◎圖八

NOx 逐時濃度 變化標準差	宜蘭	冬山
	2.569	4.569

◎表四

1. NOx 逐時濃度分析

(1) 觀察圖八可以發現宜蘭測站與冬山測站的氮氧化物濃度變化趨勢相近：一天中會有兩個濃度的高點，約在深夜時濃度最低，在日出後濃度快速攀升，直至約早上 8 點達到第一個高點，爾後在中午前持續下降，下午又緩慢上升，在 18~19 點時達到另一高點。如此的極值分布最有可能與尖峰時刻交通廢氣的排放有關。因為依據中華民國交通部公路總局的省道車流量報表中資訊，我們可以相對照：冬山地區省道(臺九線、臺二戊線、臺七丙線)的尖峰時段在 7~8 時及 17~18 時；而宜蘭市區內的省道(臺七線與臺九線)的尖峰時段是在 17~18 時。(如表五所示)

地點	路線編號	起訖	地形	里程	流量	尖峰時段
黎明國小	臺七線	宜蘭~壯圍	平原區	2.2	18643	17~18
辛仔罕橋 南端	臺九線	宜蘭市區~辛仔 罕橋南端	平原區	1.3	10203	17~18

金鼎橄社	臺七丙線	羅東~利澤簡	平原區	5.0	16586	17~18
隘丁	臺二戊線	龍德大橋~聖湖	丘陵區	4.3	7680	7~8

◎表五

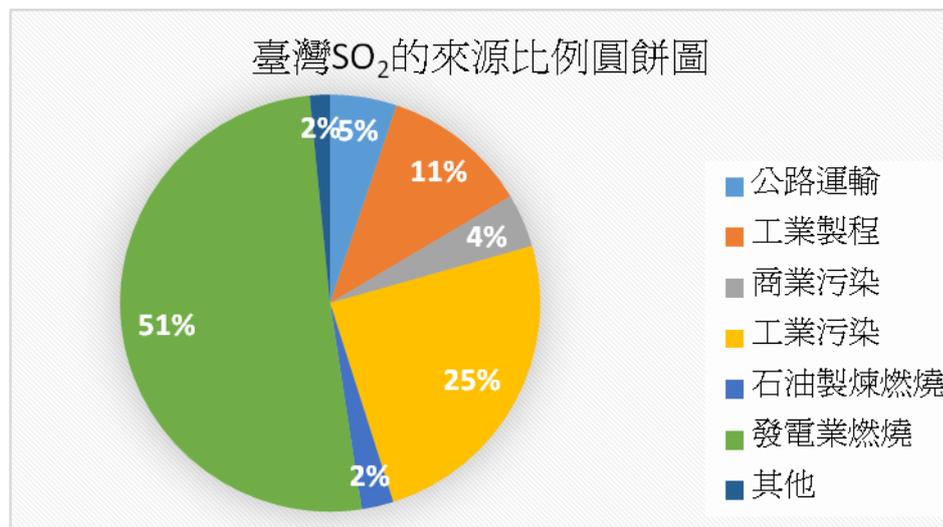
- (2) 由觀測資料可以發現冬山測站的氮氧化物濃度遠高於宜蘭測站，此種情況與工業區所帶來的空氣汙染應有一定的關連性。
- (3) 表四利用標準差來分析宜蘭與冬山測站資料的波動幅度大小，發現冬山測站氮氧化物平均逐時濃度的標準差大於宜蘭測站，幾乎增加了 78%，十分明顯。故可從中得知冬山的氮氧化物濃度變化幅度高於宜蘭。

SO <sub>2</sub> 逐時濃度 變化標準差	宜蘭	冬山
	0.101	0.528

◎表六

## 2. SO<sub>2</sub> 逐時濃度分析

- (1) 觀察圖八與表六，我們發現宜蘭及冬山測站一天的 SO<sub>2</sub> 逐時濃度變化趨勢明顯不同，宜蘭測站的 SO<sub>2</sub> 濃度在一天當中的變化幅度小於冬山測站(宜蘭測站的濃度標準差低於冬山)，且其一天中的最大值亦小於冬山測站。
- (2) 以宜蘭測站觀察，其濃度的最大值出現在 11 時至 12 時之間。以冬山測站觀察則發現 9 點至 16 點為其高峰期間，平均值為 2.905ppb。
- (3) 以兩測站的資料綜合觀察，可以發現在清晨時宜蘭測站 SO<sub>2</sub> 的濃度會高於冬山，到了早上 7~8 時開始出現轉折，反變成冬山測站的濃度高於宜蘭。直至 18 時~20 時，冬山測站的濃度又下降至比宜蘭測站低。我們推測這與冬山地區的工業汙染排放有關(圖九)，因為工業汙染站 SO<sub>2</sub> 的來源比例最高，故冬山測站的濃度值會較宜蘭高。



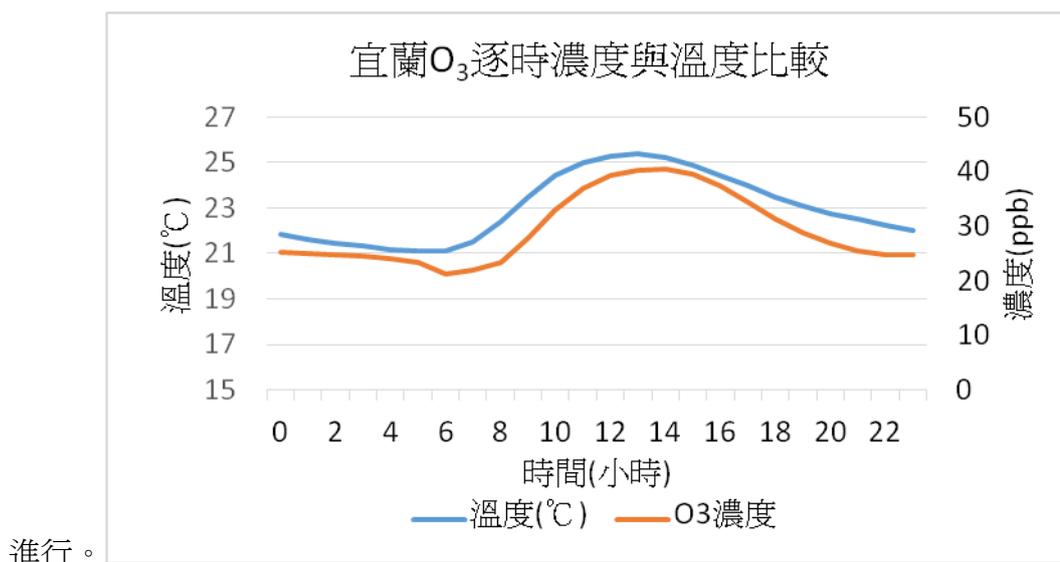
◎圖九

## 3. O<sub>3</sub> 逐時濃度分析

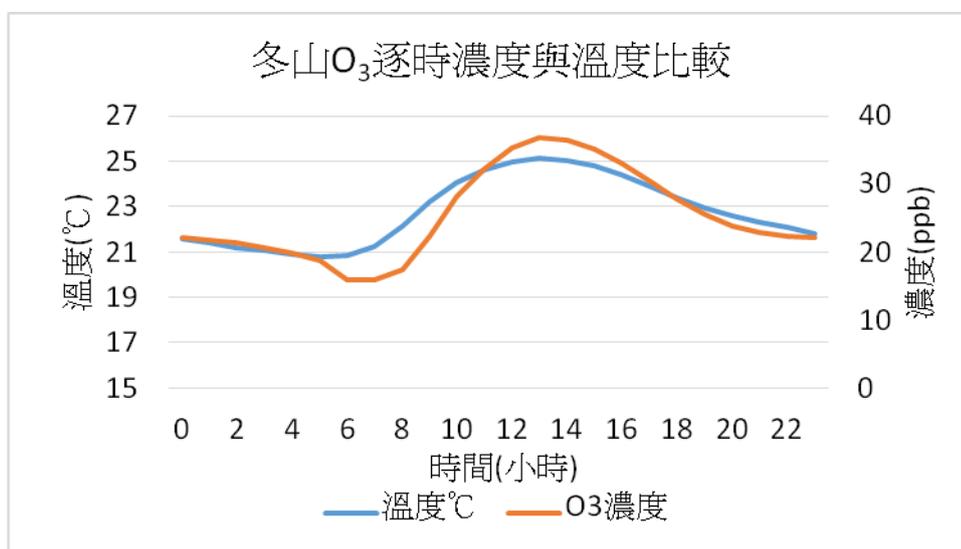
- (1) 由圖八資料而言，宜蘭測站的 O<sub>3</sub> 濃度數值始終比冬山測站的數值高，而宜蘭極值的差≒20ppb，冬山極值差也≒20ppb 可見 O<sub>3</sub> 濃度的變化量在不同環境，變化的差異是差不多的。
- (2) 綜觀五年資料，我們可以發現宜蘭地區宜蘭測站與冬山測站的臭氧濃度變化趨勢相

近:O<sub>3</sub>的濃度在清晨及午夜的都處於低值，且濃度大略固定，在早上 7 點到達最低值，此後逐時上升，在下午 1 點到達最高值，圖形皆屬於單峰形。由此分布，我們推測，臭氧濃度主要受到光照量影響，由於其來源主要就是來自光化學反應，造成下午 1 點日照最強時，臭氧濃度達到高峰。而臭氧濃度開始上升的時間點(6、7 點)，也正巧太陽剛剛升起，此後日照逐漸增強，更說明臭氧濃度主要受到光照量影響。

- (3) 由圖八資料顯示，宜蘭地區的臭氧濃度高於冬山，原因可能是都市人為活動的頻繁，導致氮氧化物、一氧化碳和揮發性有機化合物大量生成，影響了光化學反應的



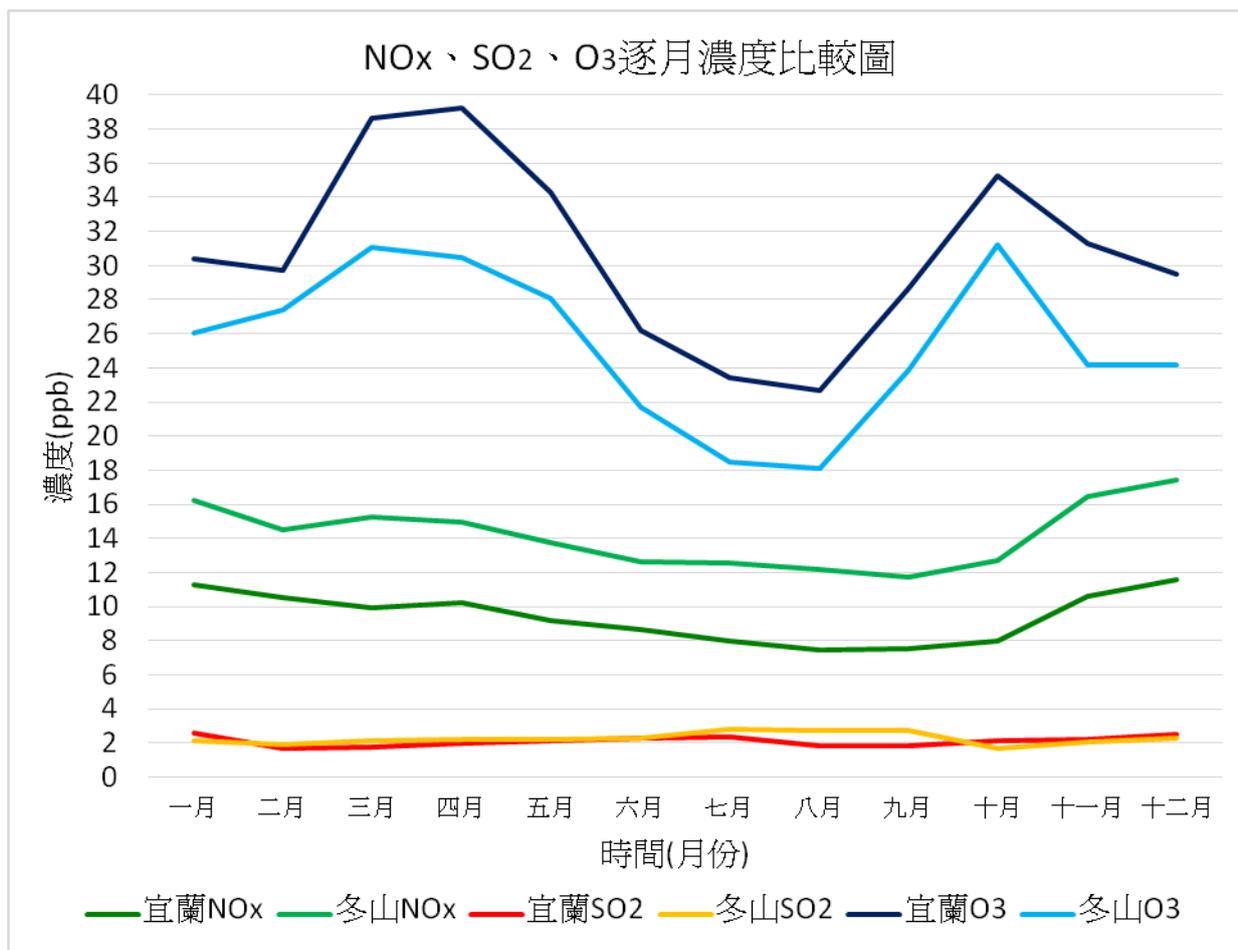
◎圖十



◎圖十一

- (4) 從圖十和圖十一可以看出，O<sub>3</sub>逐時濃度的變化和逐時溫度有相當高的關聯性，在溫度最高值出現的 13-14 點，也正是 O<sub>3</sub> 濃度達最大值的時段。此外，從圖中我們也發現 O<sub>3</sub> 濃度的趨勢和溫度的起伏相當吻合。
- (5) 另外，由於溫度普遍與紫外線強度正相關，根據光化學反應的機制，氮氧化物會吸收紫外光產生氧原子，再和大氣中的氧氣合成臭氧。由此，我們可以推論紫外光和溫度是影響 O<sub>3</sub> 濃度的因素之一。

(二) 以季節為尺度



◎圖十二

1. NOx 逐月濃度分析

		最大值出現月份	最小值出現月份
2010	宜蘭	十二月	十月
	冬山	十二月	五月
2011	宜蘭	十一月	八月
	冬山	十一月	八月
2012	宜蘭	十二月	八月
	冬山	一月	十月
2013	宜蘭	十二月	九月
	冬山	一月	九月
2014	宜蘭	一月	九月
	冬山	三月	七月

◎表七

- (1) 觀察圖十二可以發現，宜蘭與冬山測站濃度變化的移動趨勢是相近的，但冬山測站的濃度皆比宜蘭測站高了至少 5ppb，相當於多出約 60~70%
- (2) 討論濃度的季節性變化可發現(如表七所示)，宜蘭與冬山測站濃度最高的時間點出現於十一月至翌年一月，即是冬天；而最小值則出現於八月至十月，亦即夏秋之際。

## 2. SO<sub>2</sub>逐月濃度分析

		最大值出現月份	最小值出現月份
2010	宜蘭	十二月	十月
	冬山	八月	四月
2011	宜蘭	一月	二月
	冬山	八月	十二月
2012	宜蘭	一月	八月
	冬山	七月	九月
2013	宜蘭	十二月	二月
	冬山	八月	二月
2014	宜蘭	一月	二月
	冬山	八月	十月

◎表八

- (1) 由圖十二我們可觀察，宜蘭測站與冬山測站的 SO<sub>2</sub> 一年之中的濃度趨勢相關性不高(相關係數為-0.00259)，但是極值之差大致相同，而平均值則是冬山稍高於宜蘭。
- (2) 宜蘭測站的濃度在二月至十月皆低於冬山測站，僅在冬天的時候才會略高。
- (3) 由表八所示，無論是宜蘭測站還是冬山測站最大值的月份分布都非常集中，不過兩者的資料大相逕庭，宜蘭測站集中於十二月與一月(冬天)，而冬山測站則集中於七月與八月(夏天)。兩者的最小值卻相當沒有變化，不過大部分是介於秋冬之際。

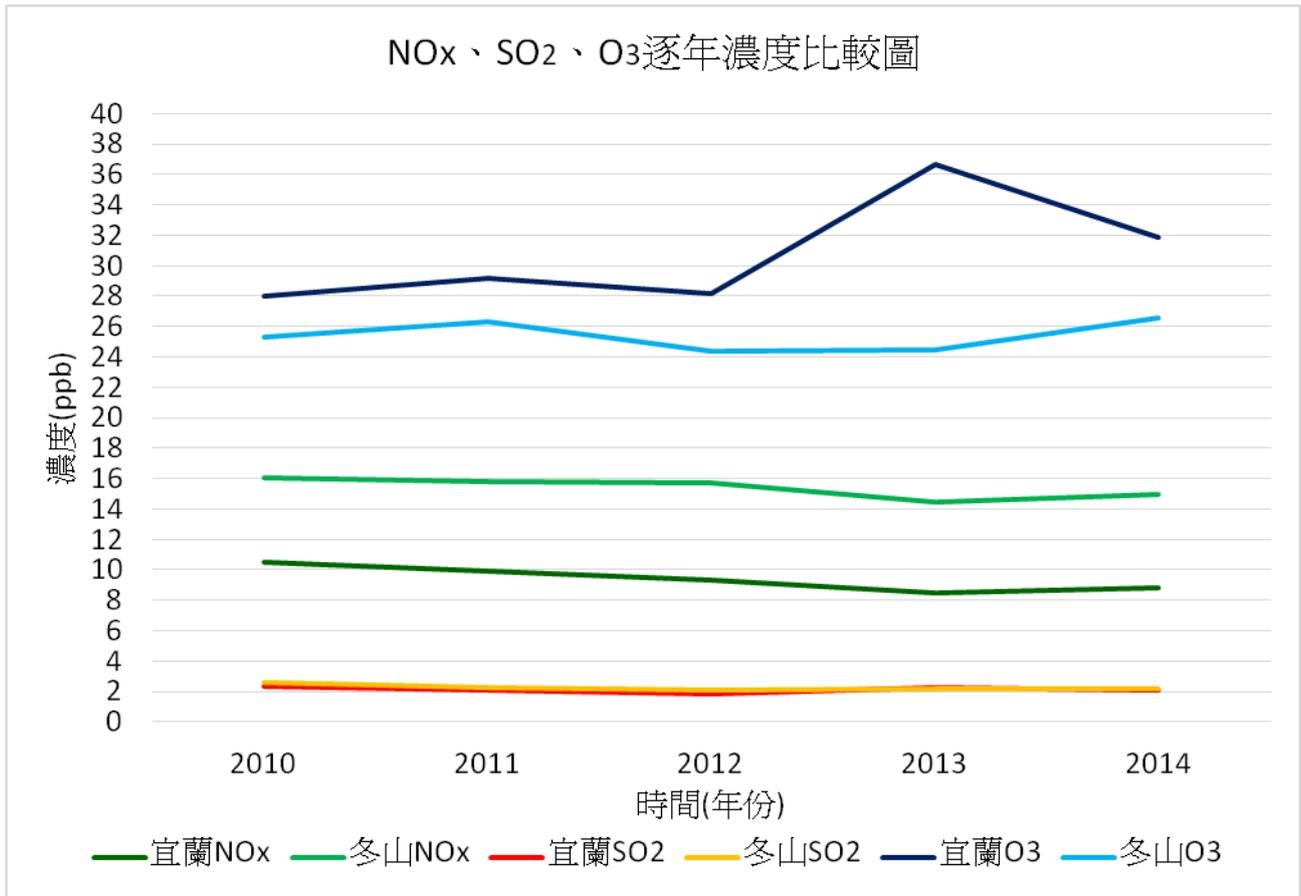
		最大值出現月份	最小值出現月份
2010	宜蘭	三月	八月
	冬山	五月	八月
2011	宜蘭	四月	六月
	冬山	四月	六月
2012	宜蘭	三月	十二月
	冬山	三月	十月
2013	宜蘭	三月	八月
	冬山	十月	七月
2014	宜蘭	四月	七月
	冬山	十月	七月

◎表九

## 3. O<sub>3</sub>逐月濃度分析

- (1) 由圖十二可以發現，O<sub>3</sub> 濃度的月份變化大致呈雙峰圖形，宜蘭和冬山大致上只有數值的區別，其中又以冬山地區的濃度變化更有週期性。
- (2) 從圖十二和表九中，我們發現 O<sub>3</sub> 濃度在三、四月以及十或十一月，也就是臺灣的春秋兩季，濃度達到高值，而在夏季七、八月，O<sub>3</sub> 的濃度則降到最低值。由此，我們推測，可能與夏季溫度上升，空氣擴散現象顯著有關。

(三) 以年份為尺度



◎圖十三

1. NOx 逐年濃度分析

	宜蘭 NOx 濃度(ppb)	冬山 NOx 濃度(ppb)
2010	10.51928	16.07564
2011	9.870572	15.78901
2012	9.31333	15.70326
2013	8.486658	14.43037
2014	8.815323	14.92257
五年平均	9.4010326	15.38417

◎表十

- (1) 由宜蘭測站與冬山測站 NOx 濃度變化趨勢圖可發現，兩者都有下降的趨勢，其中宜蘭測站(2.033ppb)下降的趨勢較冬山測站(1.645ppb)明顯。
- (2) 由圖十三可得知，近五年來 NOx 的濃度最低值在 2013 年達最低點，到了 2014 年時濃度又有緩緩上升的現象。

2. SO<sub>2</sub> 逐月濃度分析

	宜蘭 SO <sub>2</sub> 濃度(ppb)	冬山 SO <sub>2</sub> 濃度(ppb)
2010	2.30147	2.597277
2011	2.064958	2.282621

2012	1.821034	2.071738
2013	2.237622	2.193781
2014	2.097054	2.203853
五年平均	2.1044	2.26985

◎表十一

- (1) 觀察圖十三，我們發現 2010~2012 之間的濃度漸低，直至 2012 年後又有極微幅的上升，尤其又以宜蘭測站的變化較明顯，增加的幅度約 18.6%。
- (2) 如表十一所示，宜蘭測站與冬山測站的濃度平均值相近，不過冬山測站仍略高於宜蘭。

### 3. O<sub>3</sub> 逐月濃度分析

	宜蘭	冬山
2010	28.03205	25.28616
2011	29.20347	26.27749
2012	28.14680	24.40252
2013	36.66105	24.50718
2014	31.87008	26.54934
五年平均	30.78269	25.40454

◎表十二

- (1) 從圖十三與表十二可以得知，宜蘭測站的 O<sub>3</sub> 年平均大約比冬山測站高 3~5ppb，且冬山測站濃度的逐年變化很小，而宜蘭地區則有稍稍上升的趨勢。

#### (四) 各種污染物的相關性分析比較

上述(一)~(四)將宜蘭地區兩測站的各個污染物都進行了各尺度下的分析，然而從以上研究內容難以比較出相互應對的關係，因此就不易了解到底污染物之間是否存在著一定的趨勢或它們的相關性是高或低。於是將以上研究中的圖一、圖六、圖七、圖八、圖十二與圖十三進一步做相互應對的比較，以下為研究結果：

##### 1. 以小時為尺度

- (1) 五大濃度折線圖在兩測站的趨勢相當，大部分皆是宜蘭測站的濃度值會高於冬山測站，然而最大的差別在於 NO<sub>x</sub> 的濃度值，宜蘭測站較冬山測站低。
- (2) PM<sub>2.5</sub> 與 PM<sub>10</sub> 的起伏程度的一致性並不高，且可以發現 PM<sub>2.5</sub> 的濃度無論在哪一測站皆低於 PM<sub>10</sub> 的濃度。依兩者的物理性質作解釋:PM<sub>2.5</sub> 是指粒徑小於 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  的微粒，而 PM<sub>10</sub> 則是粒徑小於 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  的粒徑，也就是說在定義上 PM<sub>2.5</sub> 是包含於 PM<sub>10</sub> 內的。另一方面以漂浮的難易程度而言，PM<sub>2.5</sub> 因質量較輕容易隨著風而飄散，在地面的測站就難以測得最精確的數值。
- (3) NO<sub>x</sub> 與 PM<sub>10</sub> 的趨勢圖非常相近，兩者一天之中皆有兩個波峰，是出現於 8 時與 18 時。
- (4) SO<sub>2</sub> 在這五項污染物中的起伏是最小的，兩測站的濃度差異也不是很明顯。
- (5) NO<sub>x</sub> 與 O<sub>3</sub> 的濃度值依理論而言應該要有相同的趨勢，因為 NO<sub>x</sub> 的光照反應會將 O 分解為兩個氧原子，再互相結合成 O<sub>3</sub>。解釋此現象的原因可能須有更進一步的化學研究才有辦法討論。

## 2. 以季節為尺度

- (1) 以月份為尺度的資料對宜蘭與冬山測站而言圖形的趨勢幾乎雷同，這也意味著兩者各項因素所導致的空氣污染相當一致。我們猜測這可能與所選擇地區環境差異性小有關聯，若今將地域性的尺度放大至不同縣市的比較也許會有更大的差異。
- (2)  $\text{SO}_2$  在這五項污染物中的起伏是最小的，兩測站的濃度差異也不是很明顯。
- (3) 由化學污染物逐月濃度的分析中，可以明顯觀察到各污染物濃度的大小關係：

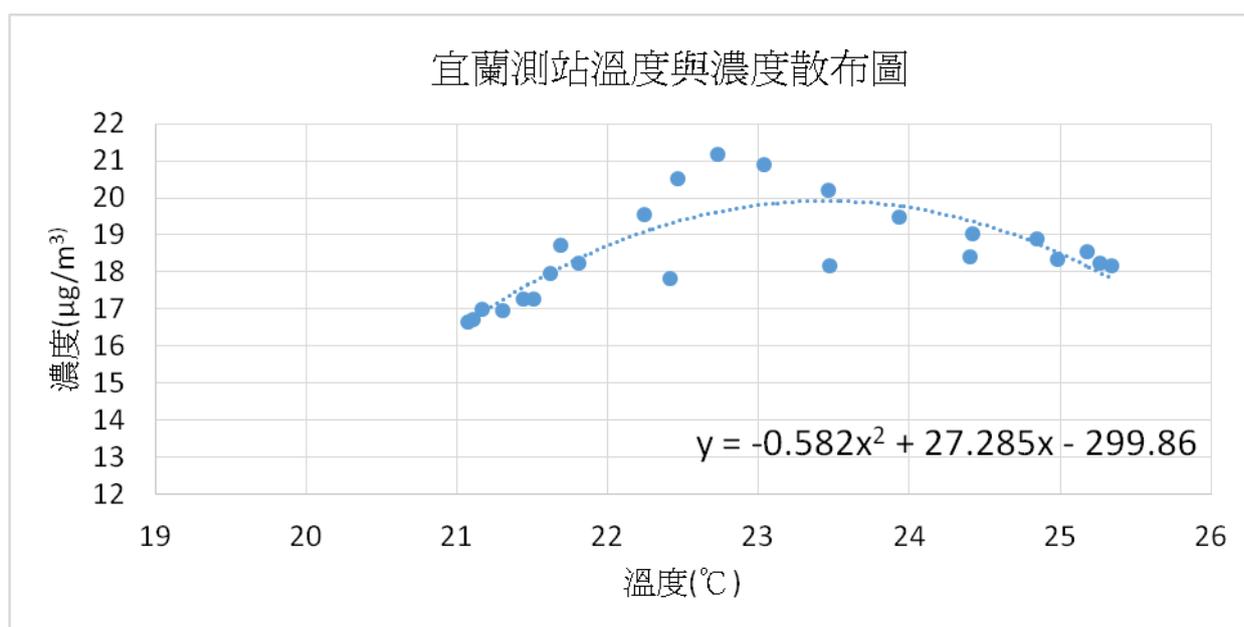
$$\text{NO}_x > \text{O}_3 > \text{SO}_2$$

### 研究四、建立溫度與雨量的 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度數學模型

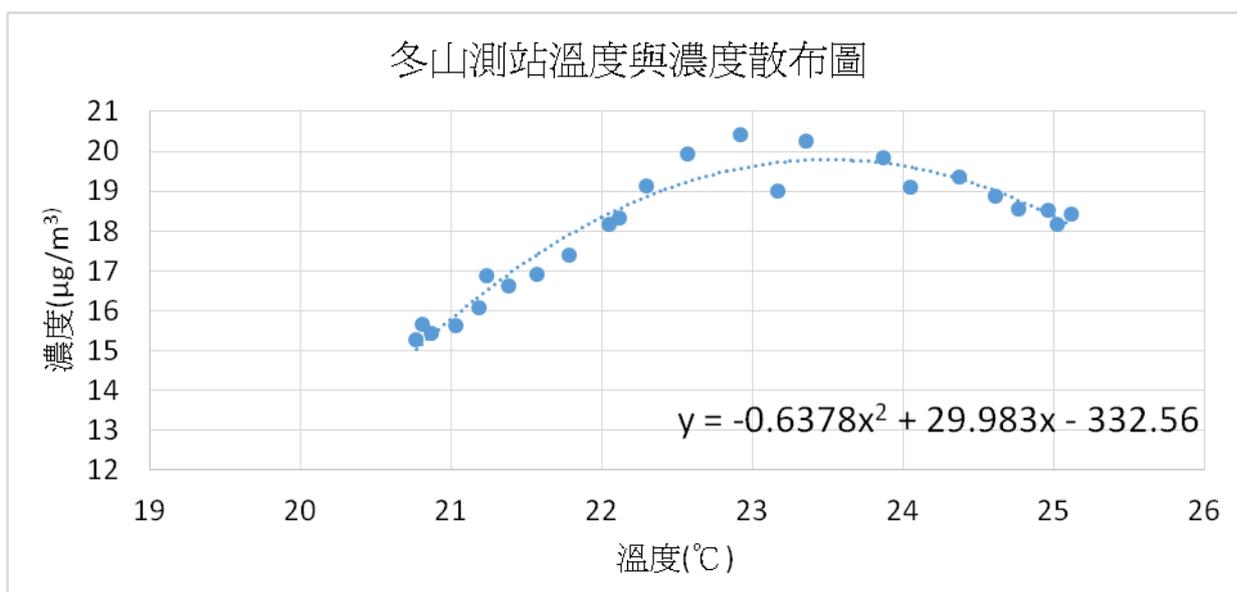
我們認為溫度與雨量是影響空氣中污染物多寡重要因素，因此我們嘗試藉由建構數學模型的方式，求得三者間的曲線方程式。然而在此必須先有初步的假設：不考慮整筆資料的極端值，因為極端值很可能是受到境外污染物的影響，因此須假設忽略其值，避免影響方程式的準確度。

#### (一) 探討溫度與濃度的關係

將所有的資料點(溫度與濃度)相互對應其值，並在 excel 中做出 x、y 散布圖，結果如圖十四與圖十五：



◎圖十四



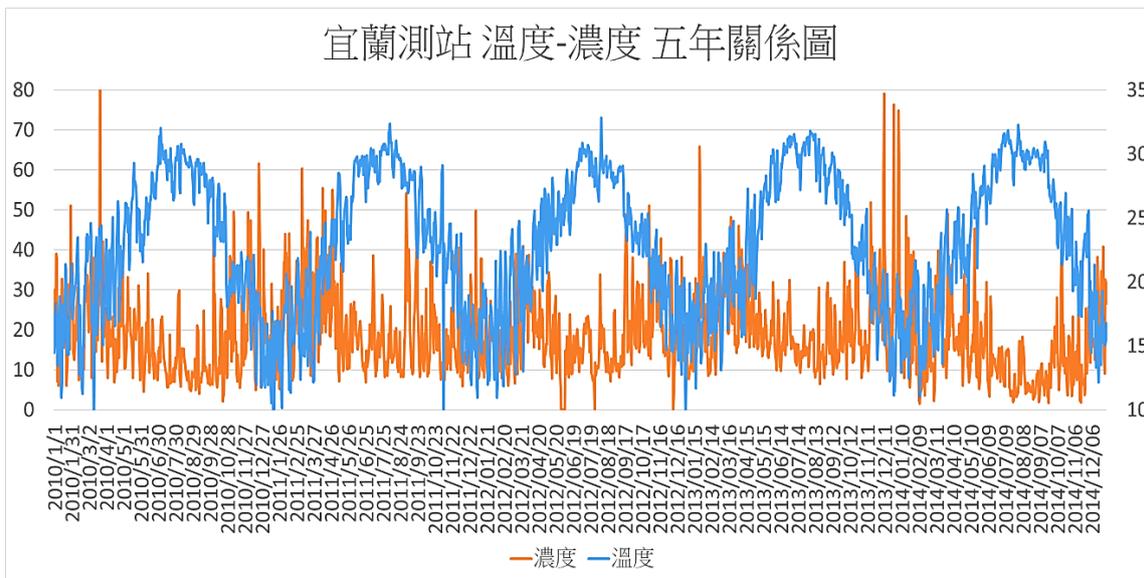
◎圖十五

1. 圖十四與圖十五是依照一天 24 小時中 PM2.5 濃度值與溫度的相對應資料所製成，故以上總共有 24 個資料點，可以反映一天的情況。然而此圖表僅單純考慮 24 小時的平均值，並未將月份納入考量，故並無法解釋季風或境外污染物的問題。
2. 由圖十四與圖十五中我們可以發現，溫度與濃度的關係圖最接近開口向下的拋物線，因此可以進一步推算出其二次曲線的數學式。以下是兩測站的溫度-濃度方程式：  
宜蘭測站:  $y = -0.582x^2 + 27.285x - 299.86$   
冬山測站:  $y = -0.638x^2 + 29.983x - 332.56$
3. 爲了瞭解兩測站的溫度-濃度關係有何不同，我們進一步分析兩測站的方程式，討論內容包括首項係數、最大值極其出現時的 x 座標值。由首項係數可以觀察濃度受到溫度影響的程度，如果首項係數的絕對值越大，意味著開口越小，x 一有稍微變動，y 值即有明顯的起伏；反之，首項係數的絕對值越小，意味著開口越大，y 值隨 x 值的變化較不明顯。由最大值的資訊我們可以知道濃度的最高值及其所對應的溫度。

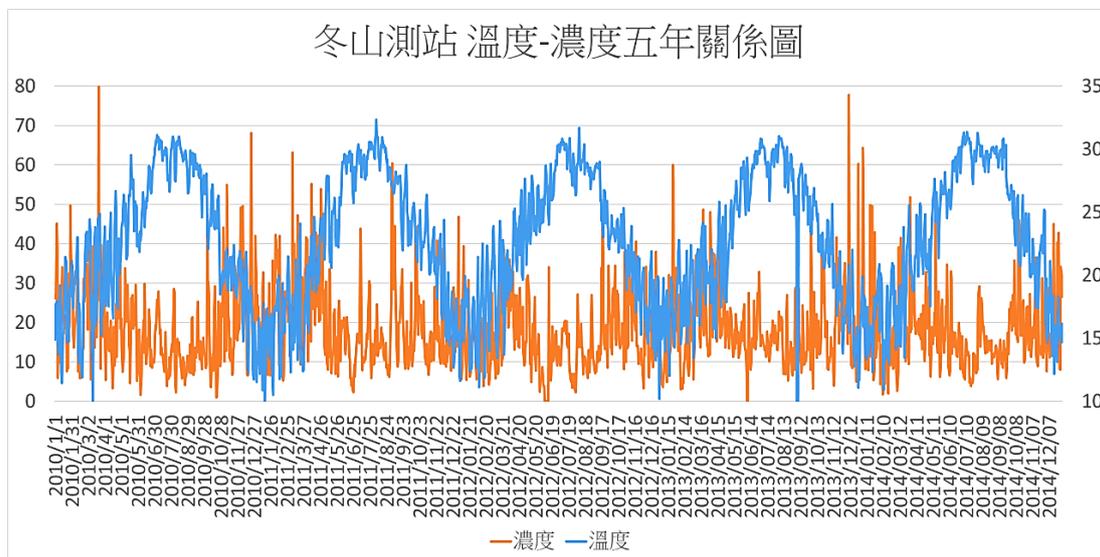
	首項係數(開口大小)	最大值	極值發生時的 x 值
意義	兩數據的關係程度	濃度最高值	濃度最高所在溫度
宜蘭測站	-0.582	19.930	23.441
冬山測站	-0.638	19.705	23.498

◎表十三

4. 由表十三我們發現宜蘭測站與冬山測站並無太大的差別，這可以做爲研究三(五)中 PM2.5 的濃度關係圖相較其他污染物而言並未有太大變化的一項佐證。
5. 從表十三可以發現兩測站達最大值時的溫度皆約爲 23.5°C，亦即一天之中的濃度最大值並非出現於最低溫，對應原始數據我們發現 23.5°C 約在 9:00 與 19:00 會出現(以年平均值計算)。藉由大氣系統的數據推算溫度與濃度的關係，正可佐證研究二的研究討論(PM2.5 濃度的最大值出現於 9:00 與 19:00)。
6. 另外，爲求以上研究所得結論更加精確，我們進一步製作了一整年的溫度-濃度的關係圖，以下圖十六與圖十七爲研究結果：



◎圖十六

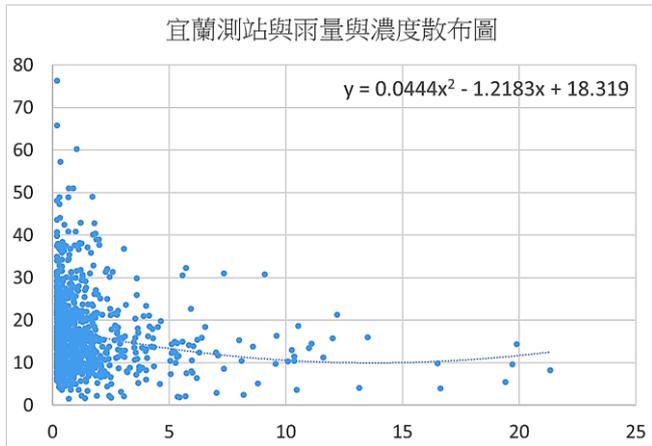


◎圖十七

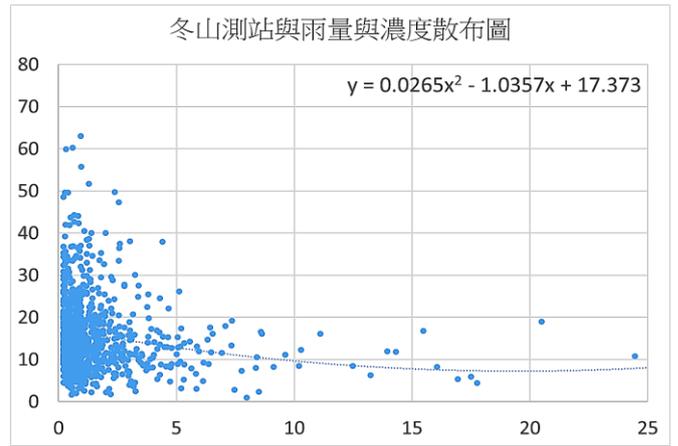
圖十六與圖十七有明顯的震盪週期，藍色折線是溫度的五年變化，橘色折線則是濃度的五年變化，兩者皆呈現明顯的週期循環。在這張圖中另外一點值得觀察的是兩數值週期性變動的關係，其中一方的波峰會與另外一者的波谷相互對應，亦即兩者呈現高度的負相關：溫度高時濃度會較低。此結果可以應證研究二的季節濃度變化，然而美中不足的是，因為初始假設此數學模型不考慮境外污染的問題，因此以上溫度-濃度圖不適用說明 PM2.5 的濃度最大值實際上是出現在每年的冬末春初。

## (二) 探討雨量與濃度的關係

將所有的資料點(雨量與濃度)相互對應其值，並在 excel 中做出 x、y 散布圖，結果如圖十八與圖十九：



◎圖十八



◎圖十九

1. 圖十八與圖十九是依據 2010~2014 年的所有雨量與 PM2.5 濃度的數據相對應所製成。資料點中爲了避免計算方程式時會有很大的誤差值，不宜使用整年雨量的平均值做相對應，原因是雨量很可能有極值的情況，若做整年的平均值，會忽略雨量大對濃度所造成的影響。
2. 由圖十八與圖十九可以發現當雨量相當稀少(近乎零)時，濃度對應值的級距非常廣，包含高濃度與低濃度，因此我們推測雨量稀少時尚有其他重要變因會控制 PM2.5 的濃度。不過，以趨勢線觀察可以發現，兩張圖最大的特徵是雨量越多，濃度值即會越低。
3. 將兩測站雨量-濃度關係製成 x、y 散布圖後，我們可以進一步求得兩測站的曲線方程式：

宜蘭:  $y = 0.0444x^2 - 1.2183x + 18.319$

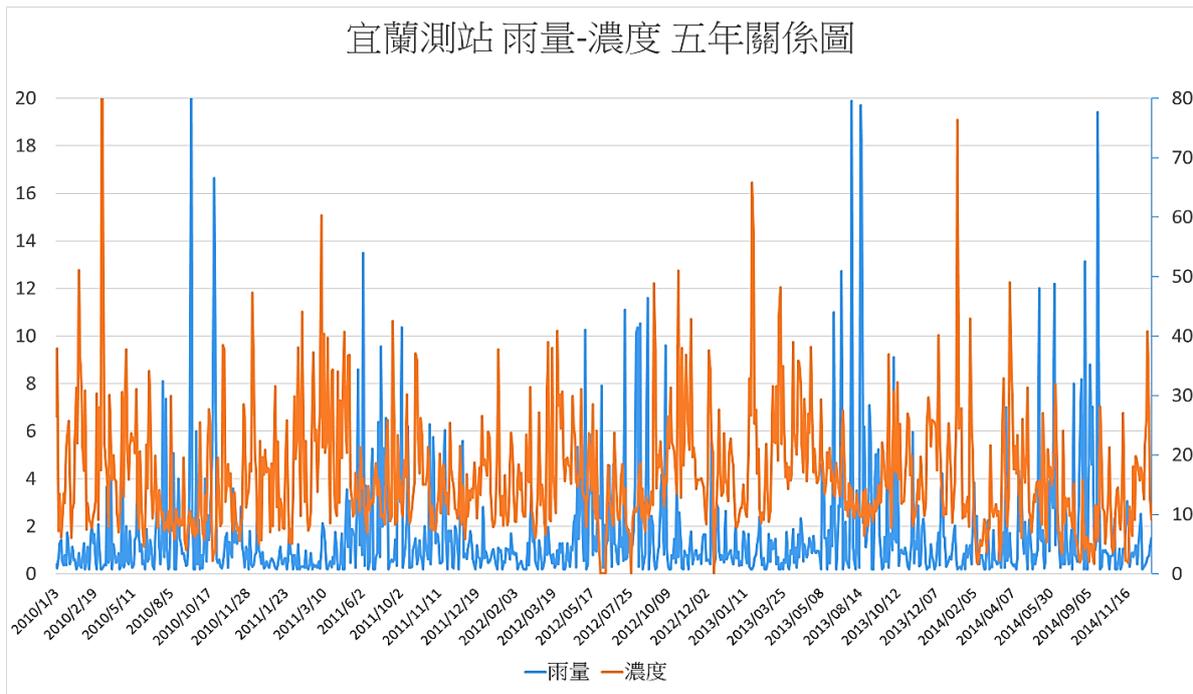
冬山:  $y = 0.0265x^2 - 1.0357x + 17.373$

由兩方程式與二次曲線的性質，我們將此方程式所表示的意義整理如表十二。

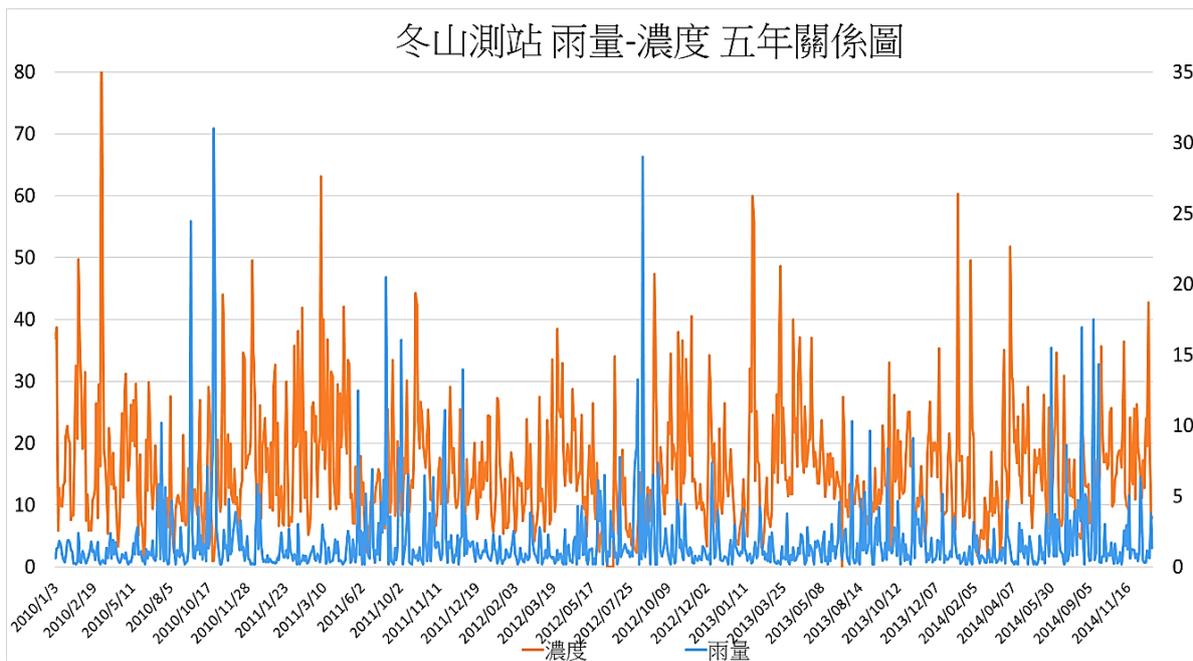
	首項係數(開口大小)	最小值	極值發生時的 x 值
意義	兩數據的關係程度	濃度最低值	濃度最低所在雨量
宜蘭測站	0.0444	13.720	9.962
冬山測站	0.0265	7.2534	19.542

◎表十四

4. 首項係數可以表示雨量與濃度的關係是否很顯著。相較於溫度而言，雨量影響濃度的程度並不如溫度明顯，因爲其開口大小遠大於溫度-濃度的關係曲線，因此我們推測大氣中主要影響 PM2.5 濃度的因子並非降雨而是溫度的高低，亦即該時候是否有明顯的垂直對流運動。觀察濃度最低值及其所在雨量可以發現，兩者的結果與研究二所計算出的 PM2.5 平均濃度大不同。
5. 爲了佐證上述的論點，我們將時間尺度放大至年的變化，以下爲研究結果：



◎圖二十



◎圖二十一

由圖二十與圖二十一中可以發現，PM2.5 濃度與雨量的關係亦呈現反向變動，然而此結果卻並不如溫度-濃度圖那麼明顯。此外我們也將兩個變數做相關係數，發現宜蘭測站雨量-濃度的相關係數為-0.1552，而冬山測站則是-0.1573，兩者的相關係數值相當接近，然而皆屬於超低負相關，更加佐證了雨量與污染濃度變數的相關性極低。這與我們直覺認為下雨會將空氣污染物質去除的效應並不大。

研究五：天氣系統與大氣的條件（風向、風速）對宜蘭地區污染產生的影響

從前文對各種污染物濃度變化的研究，我們發現季節性的高低變化以冬春季為高，對於本土污染源影響較少的宜蘭來說，這樣的結果極有可能與東北季風從中國大陸黃土高原帶來之污染有關。依環保署中國大陸監測網的說明，平時懸浮微粒濃度(PM10)多在  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  以下，一旦受到外來污染源影響，濃度會急速增加至  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  以上，故我們便據此為判斷境外污染物移入事件的標準，並探討事件與東北風的相關性。

定義：宜蘭或冬山測站任一測站 PM10 濃度連續 12 小時高於  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，便將該時段定義為一次境外污染物移入事件。

(一) 實驗步驟:

1. 篩選出濃度超過  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  的資料點並找出持續超過 12 小時的資料組，並記錄時間區間。
2. 擷取風向與風速資料，依前述時間區間找出資料組。
3. 綜合資料組製作風向與風速 X-Y 散布圖。
4. 依前述時間區間在大氣水文資料庫中下載地面天氣分析圖。

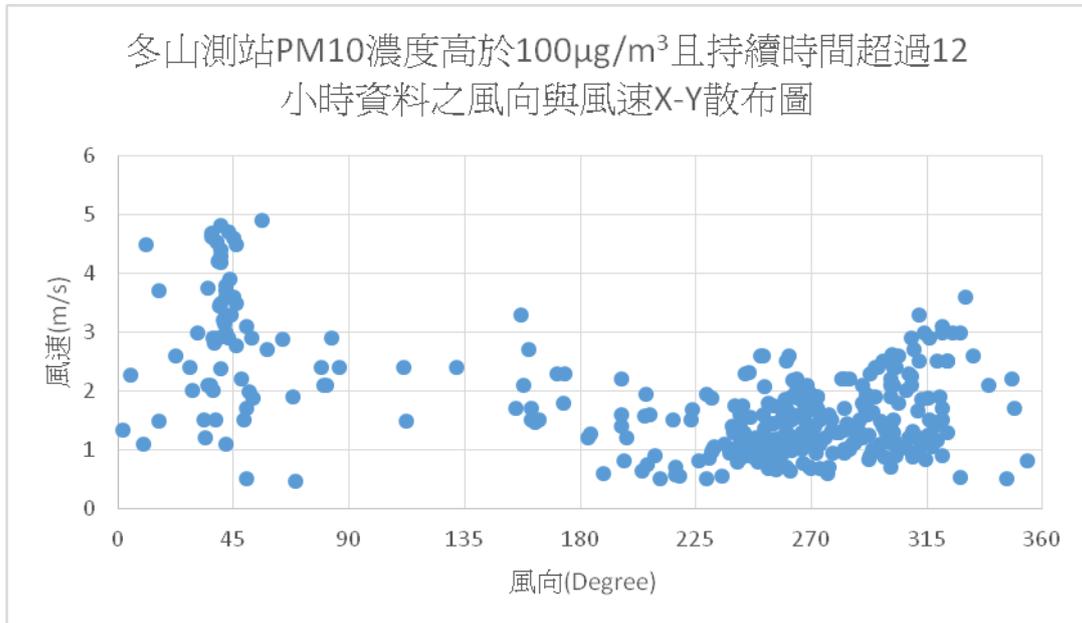
(二) 實驗結果與討論:

	宜蘭測站	冬山測站
2010	(1)010419-010506 (3)032604-032621 (4)042717-042813 (4)042906-042922 (5)110814-110903 (6) <b>120312-120423</b> (7)122209-122221 (8)123015-123100	(1)010419-010506 (2) <b>032105-032206</b> (2)032216-032303 (3)032605-032620 (4)042715-042804 (5)110814-110903 (6)120312-120406/120408-120420 (7)122208-122222 (8)123012-123100
2011	(9)031606-031618 (10)041907-042003	(9)031607-031620 (11)090312-090403
2012		
2013	(12)111708-111802 (13)112515-112606/112609-112620 (14)120919-121017 (15)122703-122714	(12)111710-111804 (13) <b>112514-112618</b> (14)120919-121016
2014	(16) <b>010408-010512</b> (17)011711-011722 (18)012103-012116 (19)033011-033104 (20)121614-121707	(16) <b>010406-010512</b> (18)012104-012118 (19)033011-033100 (20)121614-121708
1.時間碼(月月日日時時) 2. (X)為事件代碼，因宜蘭測站與冬山測站只要任一達到連續12小時濃度超過 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之定義，即可視為一次事件，故事件代碼不一定會同時在兩欄出現。 3.若兩次事件發生時間太過接近，便歸類為同一事件，以"/"分隔 4.紅字標記為持續時間超過24小時之事件		
◎表十五		

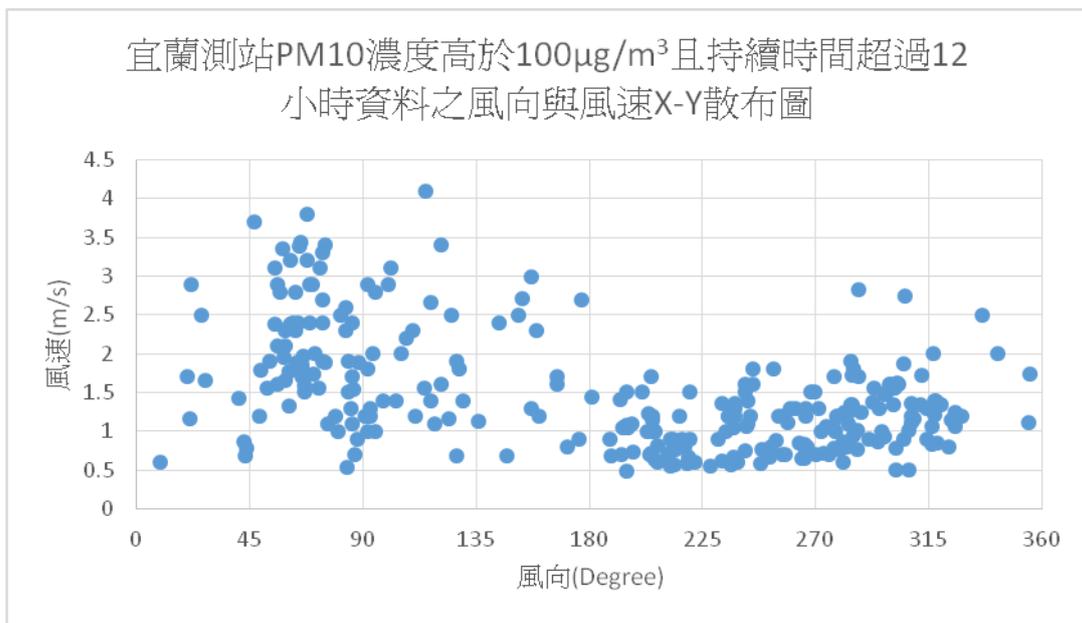
1. 由表十五可以看出宜蘭與冬山測站共有 20 個事件發生，主要集中於 2010 年、2013 年與

2014 年。

- 絕大多數事件發生於 1 月、3 月、4 月、11 月與 12 月，春季與冬季，與前文 PM10 逐月濃度所得出的結論相近。



◎圖二十二

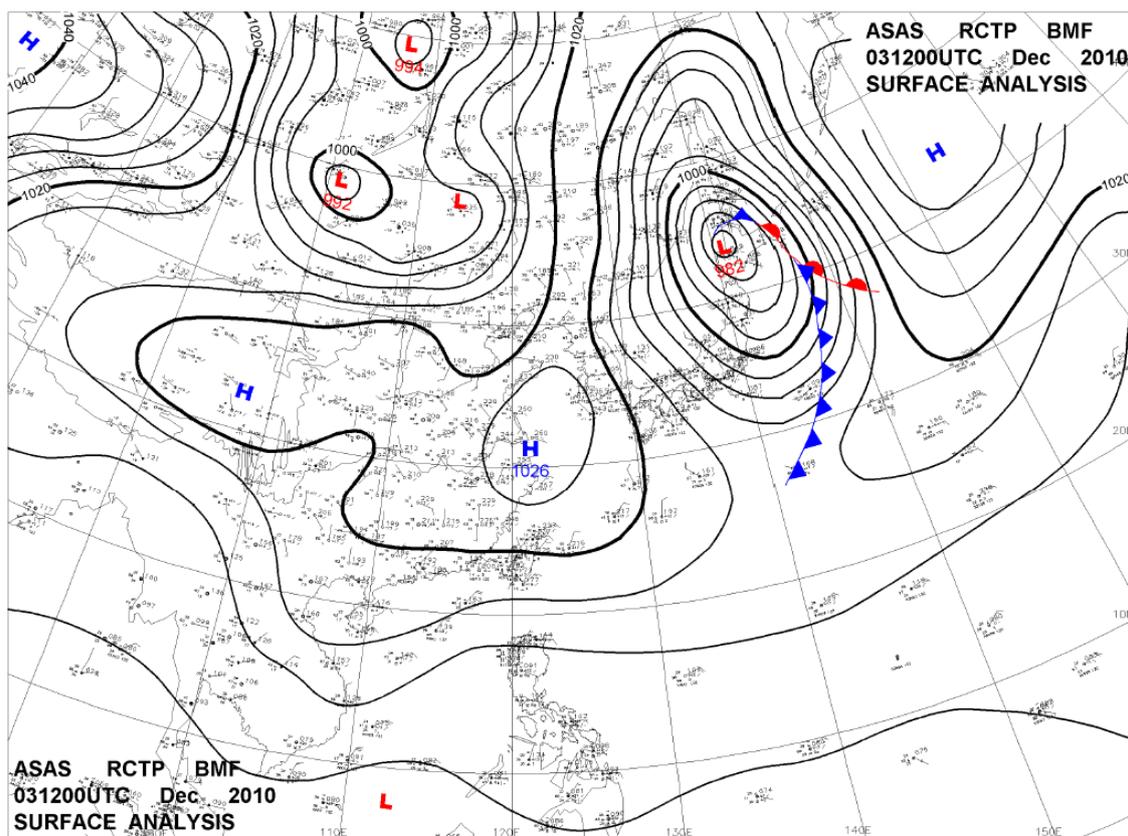


◎圖二十三

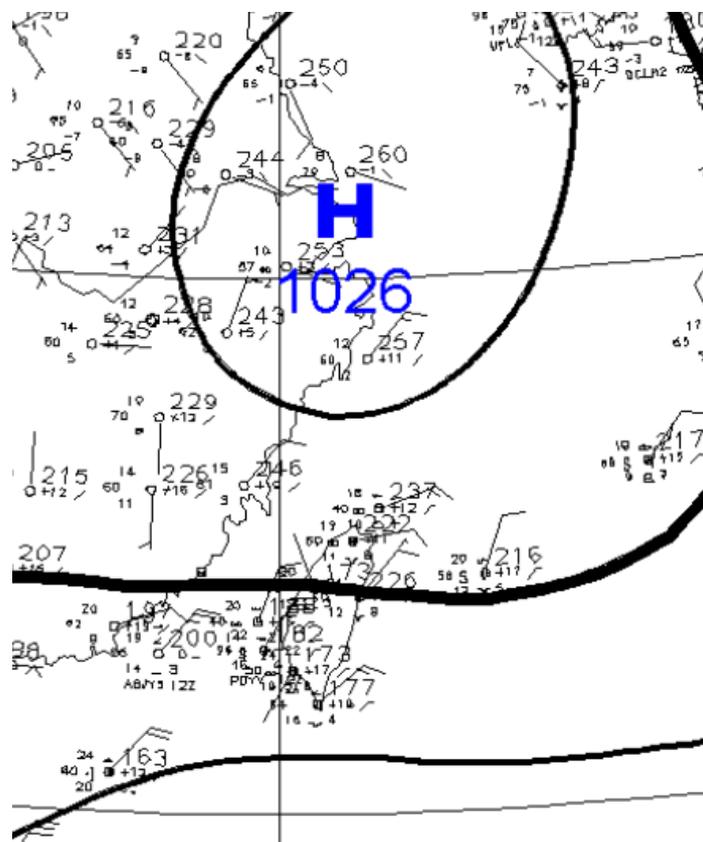
- 從圖二十二與圖二十三可以發現，結果與我們常認知的“東北季風”迥異，資料較集中於兩個區塊，分別為東北風及偏西風(西北、西、西南風)，且偏西風的時間大於東北風的時間(依資料點數判斷)。
- 在風速分布方面，我們發現，無論宜蘭測站或冬山測站，其吹東北風時風速都有較大的趨勢，而吹偏西風時風速多在 3 m/s 以下。

為了進一步分析宜蘭冬山測站在受到境外污染物影響時風向變化的原因，我們找尋表十三中事件發生時的東亞地面分析圖，分析當時的整體大氣環境：以 2010 年 12 月 3 日 18 時

(國際標準時 2010 年 12 月 3 日 12 時)之天氣圖為例，當時 PM10 濃度已連續 6 小時超過 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

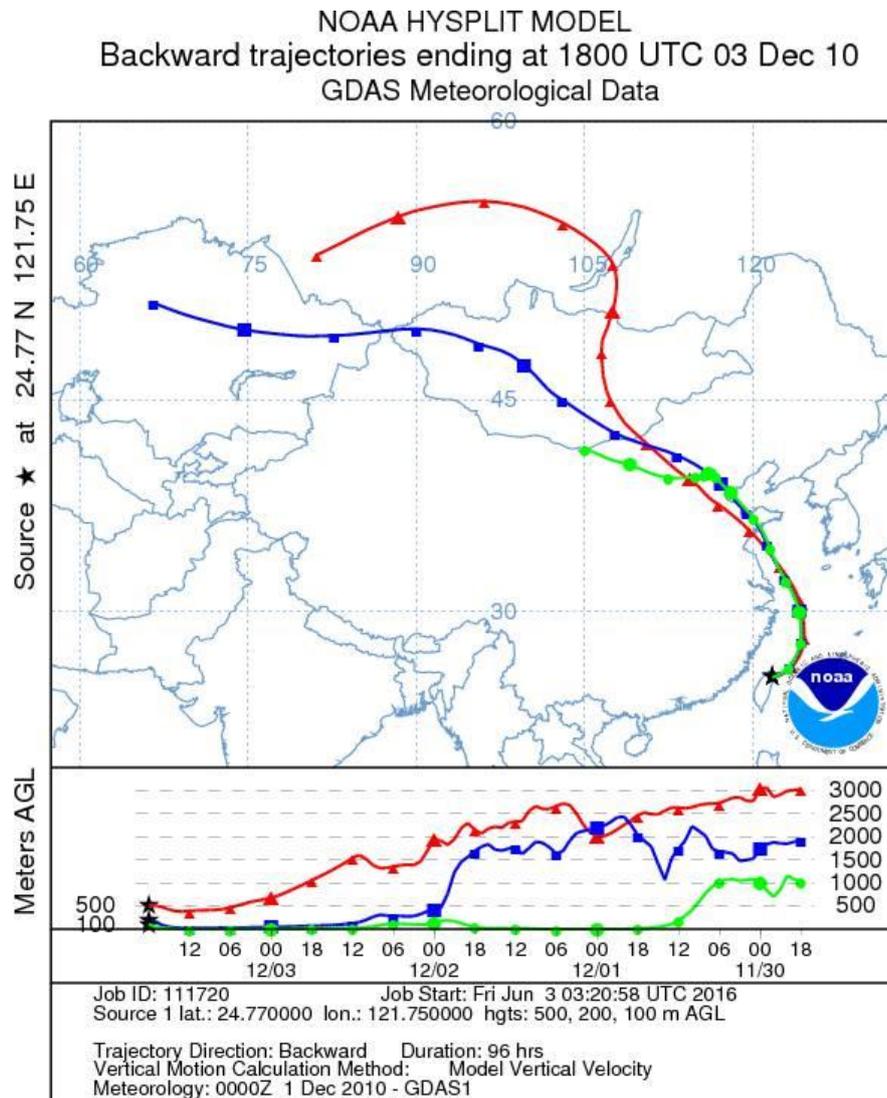


◎圖二十四



◎圖二十五

由圖二十四地面天氣圖與圖二十五(放大)可以發現：當時台灣附近的大氣環境確實受到大陸冷高壓影響，持續帶來污染物，可以很明顯的發現彭佳嶼、台北及花蓮的風向皆為偏東北風，而在同為受風面的宜蘭觀測資料卻顯現以西風為主的風向。探討其原因為與宜蘭特殊的畚箕狀地形有關，彭佳嶼測站位於基隆北部海面，受地形影響最小，而宜蘭三面環山，東北風吹入後容易受到山脈阻擋而轉向，在平原內偏轉成西風為主的風向(宜蘭地區東北季風降雨特性之研究：54 科展)。因此在宜蘭平原外的東北風將污染物吹進宜蘭平原，造成沙塵暴事件，當時宜蘭平原地區各地仍屬吹偏西風的風向。



◎圖二十六

如圖二十六，我們使用美國國家海洋暨大氣總署 ARL 實驗室(Air Resources Laboratory)所提供的分析軟體 Hysplit Trajectory Model，向前追溯在 UTC 2010 年 12 月 3 日 12 時前後，宜蘭地區不同高度(100m、200m、500m)的空氣來源。結果也可以證實，雖然宜蘭地區的地面風向大多是偏西風，但由圖中的長程輸送風向可以顯示，宜蘭地區境外污染物的來源仍然是源自中國華北及黃土高原等地，與我們一般認為東北季風帶來砂塵污染的情形相符。

## 陸、結論

- 一、 宜蘭測站 PM2.5 濃度的逐時趨勢圖屬於單峰型，而冬山測站則出現雙峰型，一天當中會 有兩個明顯的最大值。冬山測站白天濃度高於宜蘭測站，但晚上濃度卻低於宜蘭測站。兩測站 PM2.5 濃度均呈現在清晨 07 時之後開始增加，於晚上 20 時候濃度達到一天最高點後開始下降。
- 二、 宜蘭與冬山兩測站一年中的 PM2.5 在冬末春初達最大值，在夏季時濃度為最低值。此現象與東北季風將污染物由境外移入有密切關聯。
- 三、 NOx 逐時濃度分析發現兩測站濃度趨勢相近，一天中有兩個極高值，分別在 8 點與 18 點出現，如此的分布與交通廢氣排放有關。另由宜蘭測站與冬山測站年平均 NOx 濃度變化趨勢圖可發現，兩地都有下降的趨勢，其中宜蘭測站下降的趨勢較冬山測站明顯。
- 四、 宜蘭測站的 SO2 濃度在一天當中的變化幅度小於冬山測站，且其一天中的最大值亦小於冬山測站。此與冬山臨近工業區有密切關係。季節上差異為宜蘭測站濃度高時集中於十二月與一月(冬天)，而冬山測站則集中於七月與八月(夏天)。年平均的濃度分析發現 2010~2012 之間的濃度漸低，直至 2012 年後又有微幅的上升，尤其又以宜蘭測站的變化更加明顯，增加的幅度約 18.6%。
- 五、 PM10 逐時濃度在清晨 5~6 點時最低，在 17~19 傍晚時刻達到最高。季節上的變化為春末夏初(5~8 月)較低，冬季(10 月~1 月)及春季(3 月~4 月)則較嚴重，此現象與台灣地區沙塵暴好發時間(11-5 月)相近。
- 六、 宜蘭與冬山測站的 O<sub>3</sub> 濃度變化相近，在清晨及午夜皆處於低值，濃度亦大致固定，早上 7 點到達最低值，下午 1 點時因 O<sub>3</sub> 的光化學反應相當強盛而達最高值。O<sub>3</sub> 濃度在三、四月以及十或十一月，達到高值，而在夏季七、八月以及冬季降到低值。此現象可能空氣擴散條件較佳有關。
- 七、 PM2.5 濃度與雨量的關係亦呈反向變動，不如溫度-濃度的關係如此明顯。大氣中主要影響 PM2.5 濃度的因子並非降雨而是溫度。下雨降低污染物質濃度效應不大。
- 八、 統計宜蘭及冬山測站 2010 年到 2014 年 PM10 濃度超過 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，且持續時間超過 12 小時的事件，發現境外汙染物較嚴重的移入事件大多發生於 1 月、3 月、4 月、11 月與 12 月，即春季與冬季。
- 九、 宜蘭地區發生沙塵暴時東北季風將污染物吹進宜蘭平原，但宜蘭地區主要風向為偏西風，此西風與宜蘭平原地形效應有關。

## 柒、參考資料

### 壹、中文部分

#### 【科展文獻】

盧昱璇、郭怡彤、黃柏睿(2015)•穹頂之下--高雄地區三種空氣汙染物時空特徵之探討•第五十五屆全國中小學科展

呂函媛 邱羿蓁(2014)•宜蘭地區東北季風降雨特性之研究•54 屆中小學科學展覽會

#### 【學位論文】

許家綺(2015)•2011-2015 年臺灣都會區細懸浮微粒(PM2.5)成分濃度變化、污染來源推估及對能見度影響•國立中央大學環境工程學系

## 貳、網路資源

行政院環境保護署 空氣品質監測網 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/default.aspx>

行政院環境保護署 環境資源資料庫 <http://erdb.epa.gov.tw/ERDBIndex.aspx>

行政院環境保護署 中國大陸沙塵監測網 <http://taqm.epa.gov.tw/dust/tw/default.aspx>

宜蘭縣政府主計處 <http://bgacst.e-land.gov.tw/>

大氣水文研究資料庫 <https://dbahr.narlabs.org.tw/Default.aspx>

交通部公路總局 交通量統計表

[http://www.thb.gov.tw/sites/ch/modules/download/download\\_list?node=bcc520be-3e03-4e28-b4cb-7e338ed6d9bd&c=83baff80-2d7f-4a66-9285-d989f48effb4](http://www.thb.gov.tw/sites/ch/modules/download/download_list?node=bcc520be-3e03-4e28-b4cb-7e338ed6d9bd&c=83baff80-2d7f-4a66-9285-d989f48effb4)

## 【評語】 051903

以鄉土觀測資料分析宜蘭地區污染物與氣象條件之關係，作品完整。唯物理影響之討論可再加強，特別是長程輸送與局部污染和大尺度氣流，局部環流以及地形效應之關係，可以再深入討論。