

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 地球科學科

探究精神獎

080505

穹頂之下-四面「霾」伏

學校名稱：南投縣南投市光華國民小學

作者： 小六 廖鈞浩	指導老師： 林甫憲 吳正基
---------------	---------------------

關鍵詞：PM2.5、氣候與 PM2.5 關係、

口罩對 PM2.5 效用

## 摘要

透過閱讀報章雜誌，恍然發現 PM2.5 的重要性。針對這次 PM2.5 的研究，我透過氣象數據分析、實地觀測、實驗，三個方向來進行研究。探討住家附近區域近八年來的 PM2.5 數據，研究發現 PM2.5 平均以大里最低，竹山最高，南投市和埔里則為其次，不過目前都有逐年逐漸減緩的趨勢。接著探討天氣條件對 PM2.5 的影響，發現溫度高、雨量多、降雨天數多及風速大都會影響 PM2.5 的濃度，使其濃度降低。另外，交通工具也會影響周遭的 PM2.5 濃度，研究結果顯示車多，空氣品質較差。研究中也透過自製觀測器實際觀測校園，發現到了 12 月後期 PM2.5 明顯升高。對於口罩阻隔 PM2.5 的效用，活性碳口罩的效果最好，其次是醫用口罩，無戴口罩所吸入的 PM2.5 最高。期盼未來若可以再鑽研，能對這個議題做更深入的探究。

## 壹、研究動機

回想四年級上學期的自然課，當老師講解到第三單元「能源對環境的影響」時，因為課本上的圖示，配合影片的宣導，再加上課餘時見閱讀報章雜誌，才真正讓我深切的體會到地球的變遷對人類的影響。近年來，全球的空汙問題日漸嚴重，且空氣品質也一直是大家很關心的議題，甚至在報章雜誌上也時常出現討論關於 PM2.5 的議題，懸浮微粒更被 WHO 列為影響人體的致癌物。每回冬季上學經過小溪橋時，放眼望去，南投市的天空時常一片霧茫茫的，也令我產生了諸多的疑問，究竟是空氣污染？還是低層的雲霧呢？這麼多的疑問啟迪了我去做這一系列有趣的研究。

為了能呼吸到更新鮮空氣，我們要如何防治空氣汙染呢？標榜不同功能的口罩，是否可以有效過濾空氣中的髒空氣呢？所以我想利用在電腦課上學到的 IC 板及液晶螢幕的知識，自製「空氣品質監測器」，再配合一台學校借用的 PM2.5 檢測儀，以便宜又簡單的方式來監控空氣品質並雙重驗證，並透過實驗的分析與探討，揪出究竟誰是「四面霾伏」的罪魁禍首。

## 貳、研究目的

- 一、探討南投市周遭地理、人口及 2012-2019 年南投縣監測站 PM2.5 的變化
- 二、探討不同的天氣條件對南投市 PM2.5 的影響
- 三、探討南投監測站周遭車輛與 PM2.5 的關聯性
- 四、以自製空氣品質觀測器偵測校園 PM2.5 並進行分析
- 五、探討不同溫度之下對 PM2.5 濃度的影響
- 六、探討不同的口罩材質對 PM2.5 濃度的影響

## 參、文獻探究

### 一、了解 PM2.5

#### (一)定義

空氣中存在許多污染物，其中漂浮在空氣中類似灰塵的粒狀物稱為懸浮微粒 (particulate)，而懸浮微粒的粒徑大小可是條條分明呢!小於或等於 2.5 微米( $\mu\text{m}$ )的粒子，就稱為 PM2.5，通稱細懸浮微粒，單位以微克/立方公尺( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )表示之，它的直徑不到人的一根頭髮細的 1/28，可見得非常微細的它是可以藉由擴散作用直接穿透肺部上的氣泡，並直接進入血管中隨著血液循環全身，對人體及生態所造成之影響是不容忽視的。

#### (二)依照來源與性質區分:

依來源區分	自然因素產生	火山爆發、地殼岩石、沙塵暴等。
	人為因素產生	石化燃料及工業排放、汽機車等燃燒行為等。
依性質區分	原生性	直接從自然與人為活動所排放，在大氣環境中 <b>未經化學反應</b> ，例如:天然的海鹽飛沫、營建工地粉塵、車行揚塵及工廠直接排放。
	衍生性	自然與人為活動排放到大氣環境中的化學物質 <b>經過化學反應</b> 後生成例如:燃煤、燃油燃氣電廠、煉鋼廠、石化相關產業工廠、機動車輛、船舶、建物塗料、農業用施肥、禽畜排泄及生活污水等所衍生出來的。

#### (三)PM2.5 的分級

一般來說，根據環保署的空氣污染指標 (PSI)，是將每天監測所得的**懸浮微粒、二氧化硫、一氧化碳、臭氧、以及二氧化氮**等五種空氣中主要污染物的濃度值，依照對人體健康的影響程度，換算出空氣污染指標值，當(PSI)濃度大於 199，對於敏感族群會有明顯症狀惡化的現象，PSI 的分級結果如下表所示

空氣污染指標 (PSI) 與健康影響					
空氣污染指標 (PSI)	0~50	51~100	101~199	200~299	>=300
對健康的影響	良好	普通	不良	非常不良	有害
	Good	Moderate	Unhealthful	Very Unhealthful	Hazardous
狀態色塊					
人體健康影響	對一般民衆身體健康無影響。	對敏感族群健康無立即影響。	對敏感族群會有輕微症狀惡化的現象，如臭氧濃度在此範圍，眼鼻會略有刺激感。	對敏感族群會有明顯惡化的現象，降低其運動能力；一般大眾則視身體狀況，可能產生各種不同的症狀。	對敏感族群除了不適症狀顯著惡化並造成某些疾病提早開始；減低正常人的運動能力。

(參考圖片截自: 全民健康保險季刊 第 119 期)

除了有上表所顯示的空氣污染指標(PSI)，另一個指標則是細懸浮微粒 PM2.5，也就是這次研究的主題。所謂懸浮微粒是飄浮在空氣中，類似灰塵的粒狀物，主要來自道路揚塵、車輛、工廠、焚化爐排放的廢氣、露天燃燒及大陸索引來的沙塵暴等，至於懸浮微粒中，粒徑小於 2.5 微米的細懸浮微粒，與健康的關聯，已成為國際間關注的議題，分級結果如下表所示

細懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> ) 指標對照表與活動建議										
指標等級	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
分類	低	低	低	中	中	中	高	高	高	非常高
PM <sub>2.5</sub> 濃度 (μg/m <sup>3</sup> )	0-11	12-23	24-35	36-41	42-47	48-53	54-58	59-64	65-70	≥ 71
一般民衆活動建議	正常戶外活動。			正常戶外活動。			任何人如果有不適，如眼痛，咳嗽或喉嚨痛等，應該考慮減少戶外活動。		任何人如果有不適，如眼痛，咳嗽或喉嚨痛等，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。	
敏感性族群活動建議	正常戶外活動。			有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童感受到癢狀時，應考慮減少體力消耗，特別是減少戶外活動。			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。</li> <li>2. 老年人應減少體力消耗。</li> <li>3. 具有氣喘的人可能需增加使用吸入劑的頻率。</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童，以及老年人應避免體力消耗，特別是避免戶外活動。</li> <li>2. 具有氣喘的人可能需增加使用吸入劑的頻率。</li> </ol>	

(參考圖片截自: 全民健康保險季刊 第 119 期)

#### (四)監測 PM2.5 數據來源

##### 1.環保署中央空氣品質監測網

依據當時各地污染源排放資料、氣象及空氣品質濃度分布資料等，經環保署專家審慎規劃、設計後設置完成，主要目的在監控大區域範圍之空氣品質狀況及長期趨勢，站址選擇大多位於人口密集、盛行下風、工業區汙染及交通流量大之地方。

##### 2.地方監測空氣品質

環保署建置階層式空品監測體系，全面整合各單位空品監測站，強化資料分享及資訊服務，空氣品質監測目的包括瞭解空氣污染來源、污染物傳輸特性及形成原因，

以供空氣污染防治參考，同時瞭解民眾暴露在空氣污染物的情形，提供預警訊息。

### 3.空氣盒子

為市售的簡易空氣品質感測器，透過通訊模組傳輸，提供即時 PM2.5 監測資料、溫度與相對濕度資訊。隨著民眾對於空氣品質的關注程度增加，類似空氣盒子這類低成本微型化的空氣品質感測器數量持續上升，因為體積小，使用感測原理簡易，使得感測數據會與標準方法使用的設備產生誤差，準確度較不完整。

## 肆、研究設備與器材

### 一、實驗儀器:

(一)空氣 PM2.5 & 甲醛檢測儀

(二)藍芽溫濕度計

### 二、其他器材:

錄影機 1 台、照相機 1 台、線香 3 根、冰塊 600 公克、食鹽 50 公克、小型觀測箱 1 個、醫用口罩數個、活性炭口罩數個。

### 三、網路資源:

空氣品質監測網、南投縣環境保護局空氣品質監測管理中心、google earth、南投戶政事務所網站、行政院中央氣象局網站、行政院環保署空氣品質監測網資料。

### 四、自製 PM2.5 觀測器

(一)準備細電線 3 條、傳輸線 1 條、IC 版液晶螢幕套裝 1 套、電腦 1 台、行動電源 1 個及 SHARP 空氣品質觀測器 1 台。

(二)將細電線連接 SHARP 空氣品質測器和 ic 板液晶螢幕組，並透過電腦開啟 Arduino 編輯。

(三)透過網路上的查詢研究 PM2.5 電路程式與運用的資料說明，添加上自己覺得需要修正的地方。

(四)將 Arduino 程式透過傳輸線輸入到 ic 板液晶螢幕組。

(五)將行動電源電量貯滿，連接傳輸線至行動電源，確認電源能供給電流，確認螢幕可以顯示數據。

(六)攜帶自製的 PM2.5 監測器實際到戶外測量做試驗。

### 五、自製模擬人體呼吸觀測箱子

(一)小型觀測箱 1 個、迷你電風扇 1 台、魔鬼氈 1 包、美工刀 1 把、鉛筆 1 枝。

- (二)與老師探討研究分析人體呼吸時的構造，並用鉛筆繪製成設計圖。
- (三)首先利用美工刀將小型觀測箱中央裁切一個長 15cm 寬 6cm 的正方形。
- (四)接著利用魔鬼氈將迷你電風扇背面黏貼在觀測箱蓋上，並確認迷你電風扇可以運作。
- (五)最後再進行測試與記錄。



圖 4-1 進行實驗四低溫  
實驗所需器材



圖 4-2 實驗用溫度計、自製的  
PM2.5 檢測儀

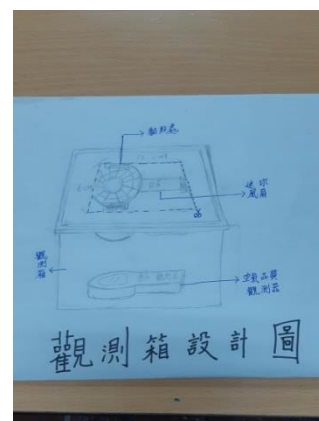


圖 4-3 口罩實驗箱設計圖

## 伍、研究過程與方法

### 一、探討南投市周遭地理、人口及 2012-2019 年南投縣監測站 PM2.5 的變化

#### (一)探討南投市的地理環境、人口變化

- 1.準備電腦設備。
- 2.透過網路 google earth、維基百科、南投縣戶政事務所等網站查詢南投市周遭的人口、地形。

#### (二)探討 2012-2019 年每月南投縣監測站監測 PM2.5 的變化情形。

- 1.南投縣的空氣品質觀測站有南投、竹山和埔里三座，但因南投第二大城鎮草屯鎮鄰近台中市都會區，因此在實驗中，我也將離草屯最近的台中大里站列為比較的對象，希望對南投 PM2.5 的來源、分布和變化能有更廣泛、更客觀的了解。
- 2.準備電腦設備。
- 3.搜尋行政院環保署空氣品質監測網，並探索南投、竹山、埔里及台中市大里觀測站從 2012 年到 2019 年的逐年 PM2.5 的資料。
- 4.將資料下載成 Excel 檔案後，將每年的 PM2.5 資料轉換成折線數據圖並加以分析。

## 二、探討不同的天氣條件對南投市 PM2.5 的影響

(一)準備電腦設備。

(二)透過上述實驗 1-2 結果，擷取自 2012-2019 年南投監測站的 PM2.5 資料同步驟拿出來和下方四個項目做比較。

1. 比較南投監測站八年來 PM2.5 的變化和溫度的關係
2. 比較南投監測站八年來 PM2.5 的變化和風速的關係
3. 比較南投監測站八年來 PM2.5 的變化和降雨量變化
4. 比較南投監測站八年來 PM2.5 的變化和降水天數的關係

(三)以上天氣資料取自中央氣象局觀測資料報表網站。

(四)將網站資料下載成 Excel 檔案後，將逐年 PM2.5 和天氣資料數據轉換成散佈圖並加以分析，提出推論。

## 三、探討南投監測站周遭車輛與 PM2.5 的關聯性

(一)準備電腦 1 台、照相機 1 台、錄影機 1 台、鉛筆 1 枝、實驗日誌 1 本。

(二)找出空氣品質 2019 年 6 月、9 月、12 月中，平均 PM2.5 值最高、最低及之相對應時段。

(三)因為時間運用的關係，僅利用寒假 1 月底到 2 月中的週一到週五(註:春節暫停測量)至距離南投觀測站約 280 公尺處交通流量較大的路口手持錄影機並進行錄影，紀錄當時不同車種的流量狀況。

(四)紀錄每次 10 分鐘，並重複步驟持續三週。

(五)再經由人工查驗影片，將不同車種利用鉛筆於實驗日誌上紀錄，並利用電腦 Excel 轉換為數據

(六)經由數據，探討與分析車量的多寡與 PM2.5 的濃度之間關係。



圖 5-3-1 觀測紀錄時的地點和街景



圖 5-3-2 觀測時正值廟會時期的南投市區

#### 四、以自製空氣品質觀測器偵測校園空氣品質進行分析

- (一)準備自製的空氣品質觀測器 1 台、藍芽溫濕度計 1 個及空氣 PM2.5 & 甲醛檢測儀 1 台  
鉛筆 1 枝、實驗日誌 1 本。
- (二)攜帶自製的空氣品質觀測器空氣及 PM2.5 & 甲醛檢測儀、藍芽溫濕度計於學校休息時  
段，分別為早上 10:20 分、中午 12:20 分、下午 15:05 分置校園操場中央測量 PM2.5、  
溫度、濕度及紀錄當天天氣的具體描述。(註:因學校時常有活動或課堂間上下課問  
題，有幾次亦無法進行測量)。
- (三)每次觀測時間為三分鐘，並連續觀測自 2019 年 10 月 7 日至 2019 年 12 月 26 日，  
共計 12 週又 2 天。
- (四)將觀測到的 PM2.5、溫度、濕度及當天天氣的具體描述結果記錄於紙本實驗日誌上。
- (五)數據彙整完成後利用 Excel 轉換成圖表，探討與推測學校校園的 PM2.5 污染情形。

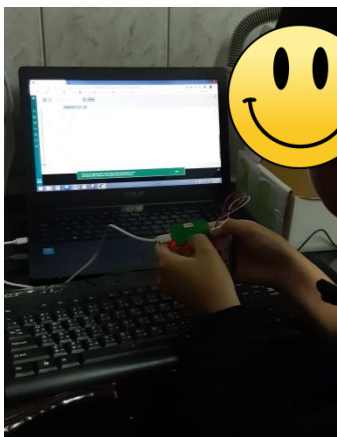


圖 5-4-1 組裝與電腦連接

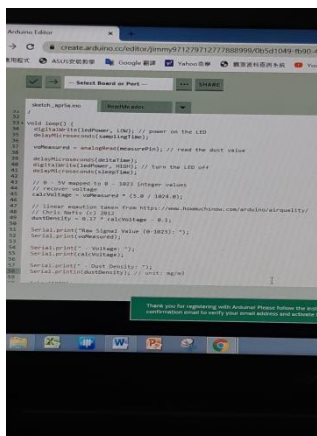


圖 5-4-2 程式碼設計一偶

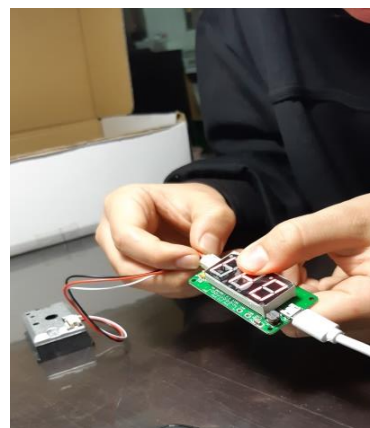


圖 5-4-3 研究 IC 電路板的組裝及構造

#### 五、探討不同溫度之下對 PM2.5 濃度的影響

##### (一) 高溫實驗

- 1.準備線香 10 根、500 毫升 102 度熱水 5 瓶、600 毫升玻璃杯 1 個、藍芽溫濕度計 1 個、空氣 PM2.5 & 甲醛檢測儀 1 台、觀測箱 1 個、空盒子 1 個、打火機 1 個。
- 2.先將 102 度熱水 500 毫升的 RO 逆滲透水裝入 600 毫升玻璃杯內，再將熱水倒入觀測箱中。
- 3.把藍芽溫濕度計及空氣 PM2.5 & 甲醛檢測儀放入空盒子中，使儀器和水分隔，以免儀器浸入水中。
- 4.將觀測箱蓋子蓋上靜置 2 分鐘，使箱內溫度升高。
- 5.利用打火機將線香於無風處點燃備用。



6. 打開觀測箱蓋子露一個縫隙，將線香伸入縫隙在箱子內進行計時，燃燒五秒鐘，隨後立即取出，並緊閉蓋子。
7. 靜置一分鐘後，將觀測箱蓋子打開，並立即將觀察數據紀錄在觀察日誌中。
8. 使用扇子搨風產生對流，待箱內的 PM2.5 的濃度降至平均  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  時，把箱內使用後的熱水倒掉，並且用 600 毫升玻璃杯再次裝入 102 度熱水 500 毫升的 Ro 逆滲透水。
9. 重複上述步驟(二)至(八)共計十次。



圖 5-5-1 高溫實驗環境布置



圖 5-5-2 高溫實驗熱水溫度



圖 5-5-3 實驗中點燃線香

## (二) 低溫實驗

1. 準備線香 5 根、冰塊 600 公克、食鹽 150 公克、薄塑膠袋 1 件、藍芽溫濕度計 1 個、空氣 PM2.5 & 甲醛檢測儀 1 台、觀測箱 1 個、打火機 1 個、電子秤 1 個、行動電源 1 個。
2. 將 600 公克的冰塊倒入實驗箱中，加入 150 公克的食鹽後攪拌食鹽與冰塊，讓盒內溫度降低。
3. 在藍芽溫濕度計及空氣 PM2.5 & 甲醛檢測儀下方鋪一層薄塑膠袋，使儀器和冰塊分隔，以防止儀器浸入冰況受熱融化的水中。
4. 將觀測箱蓋子蓋上靜置 2 分鐘，使箱內溫度降低。
5. 利用打火機將線香於無風處點燃備用。
6. 打開觀測箱蓋子一個縫隙，將線香伸入縫隙在箱子內燃燒五秒鐘，隨後立即取出，並緊閉蓋子。
7. 靜置一分鐘後，將觀測箱蓋子打開，並立即將觀察數據紀錄在觀察日誌中。

8.使用扇子搨風產生對流，待箱內的 PM2.5 的濃度降至平均  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，再重新製作實驗。

9.重複上述步驟(四)至(八)共計十次。



圖 5-5-4 低溫實驗環境布置

圖 5-5-5 進行低溫實驗

圖 5-5-6 進行低溫實驗日誌記錄

### (三)常溫實驗

- 1.準備線香五根、藍芽溫濕度計一個、空氣 PM2.5 & 甲醛檢測儀一台、觀測箱一個、打火機一個。
- 2.將觀測箱蓋子蓋上靜置 2 分鐘，使觀測箱內氣流穩定。
- 3.利用打火機將線香於無風處點燃備用。
- 4.打開觀測箱蓋子一個縫隙，將線香伸入縫隙在箱子內，並計時燃燒五秒鐘，隨後立即取出，並緊閉蓋子。
- 5.靜置一分鐘後，將觀測箱蓋子打開，並立即將觀察數據紀錄在觀察日誌中。
- 6.使用扇子搨風產生對流，待箱內的 PM2.5 的濃度降至平均  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，再重新製作實驗。
- 7.重複上述步驟(二)至(六)共計十次。

### 六、探討不同口罩材質對 PM2.5 的影響

- (一)準備活性炭口罩及醫用口罩各 2 個、空氣 PM2.5 & 甲醛檢測儀 1 台、自製人體呼吸觀測箱 1 個、線香 5 根、大紙箱 1 個。
- (二)把模擬人體呼吸觀測箱放置於大紙箱正中央。
- (三)將大紙箱和模擬人體呼吸觀測箱蓋上，使觀測箱內氣流穩定。
- (四)利用打火機將線香於無風處點燃備用。
- (五)打開大紙箱蓋子一個縫隙，將線香伸入縫隙在大紙箱箱子內燃燒五秒鐘，隨後立即

取出，並緊閉蓋子。

(六)靜置一分鐘後，將大紙箱和模擬人體呼吸觀測箱蓋子打開，將模擬人體呼吸觀測箱裡的 PM2.5 濃度記錄在觀察日誌中。

(七)經由扇子搨風讓空氣流通，待兩箱內的 PM2.5 的濃度降至平均  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，再重新製作實驗。

(八)在模擬人體呼吸觀測箱中，每種口罩第一輪七次實驗之後，便更換新口罩，第二輪八次實驗後更換。

(九)每種箱同款式的口罩實驗重複上述步驟(三)至(七)15 次，共計 45 次。



圖 5-6-1 口罩實驗環境布置



圖 5-6-2 口罩實驗內部觀測箱構造

## 陸、研究結果

一、探討南投市周遭地理、人口及 2012-2019 年南投縣監測站 PM2.5 的變化

(一)探討南投市周遭地理及人口變化

1.地形部分:

(1)南投市大致可以分成丘陵地形、平原地形及台地地形

◎**平原地形**:平原地形是目前整個南投市最為繁盛的地區，也是南投市區的核心之地:全市可細分為四大沖積扇：由北而南依序為烏溪沖積扇、樟平溪沖積扇、平林溪沖積扇、南投聯合沖積扇。

◎**台地地形**:主要為八卦山台地。橫山是台地上最高點所在。

◎**丘陵地形**:南投市丘陵地形是靠近虎山的一部，與平原間為車籠埔斷層所在。



圖 6-1-1 從自家後方的包尾山俯瞰南投市區

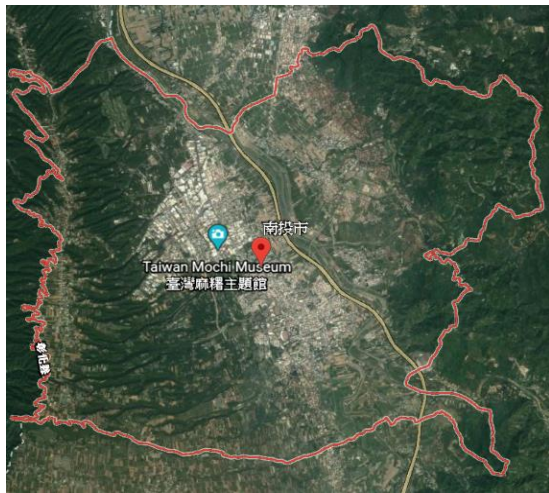


圖 6-1-2 南投市 google Earth 地形截圖



圖 6-1-3 手繪南投市地形圖

## 2.人口部分:

(1)南投市目前仍為南投縣人口最多的行政區，人口於 1992 年才開始在十萬人以上，2007 年是南投市人口最多的一年，人口統計有 105,671 人。

(2)自 2008 年其後又開始人口外流。2018 年底，南投市人口再次跌破十萬人，至今南投市人口統計共有 99,199 人。

(3)其埔里竹山的人口也逐年遞減，人口數分別為 79442 人和 54226 人。

## (二)探討 2012-2019 年每月南投縣監測站監測 PM2.5 的變化情形

1.至環保署空氣品質監測站網站下載空氣品質數據，但因儀器觀測項目太多，所以僅整理南投縣所有監測站及鄰近的大里站自 2012-2019 年的 PM2.5 數據，並以月為單位製作。

2.使用試算表比較南投市、竹山鎮、埔里鎮、台中市大里區的 PM2.5 數據，並分析自

2012-2019 年 PM2.5，以月為單位的統計圖，統計結果如下圖 6-1-1 至 6-1-8 所

示。

2019年PM2.5報表

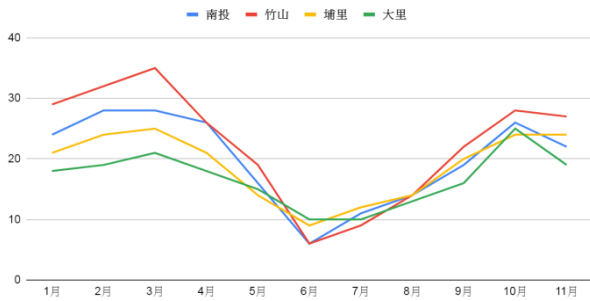


圖 6-1-1 2019PM2.5 報表

2018PM2.5報表

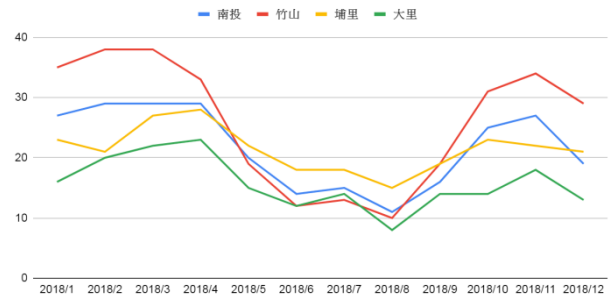


圖 6-1-2 2018PM2.5 報表

2017年PM2.5報表

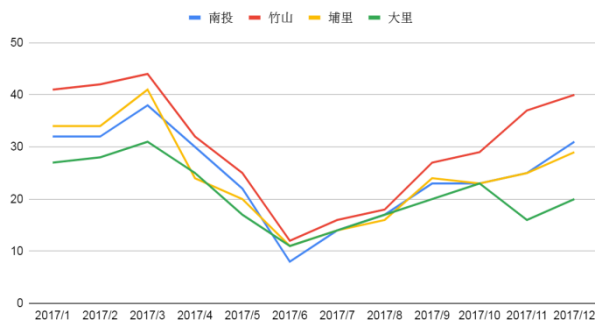


圖 6-1-3 2017PM2.5 報表

2016年PM2.5報表

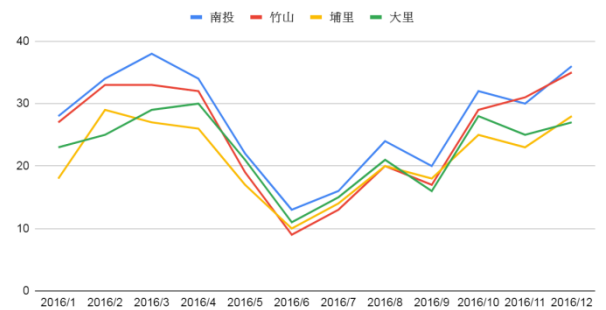


圖 6-1-4 2016PM2.5 報表

2015年的空氣汙染報表

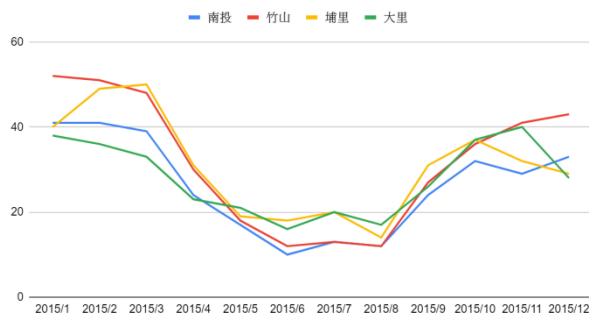


圖 6-1-5 2015PM2.5 報表

2014年空氣汙染報表

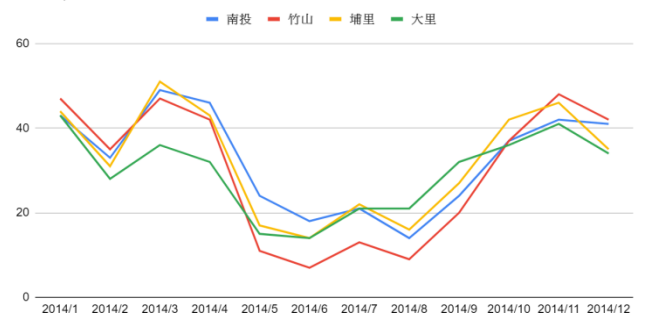


圖 6-1-6 2014PM2.5 報表

2013年空氣品質報表

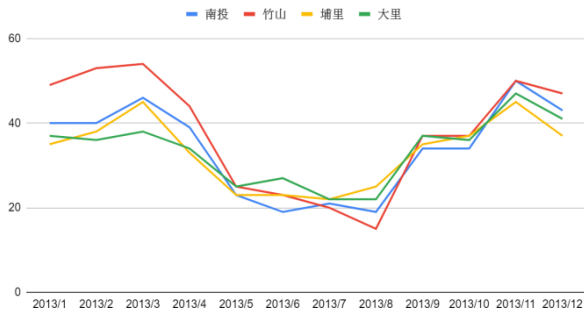


圖 6-1-7 2013PM2.5 報表

2012年空氣品質報表

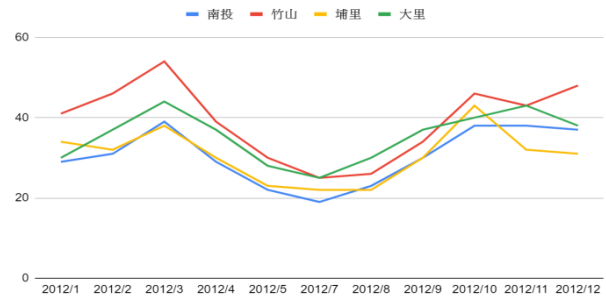


圖 6-1-8 2012PM2.5 報表

(三)由以上的觀察可以進一步分析與綜合統計，統計整理結果如下表 6-1-9、6-1-10，由此可知：

- 1.八年平均 PM2.5 值比較由大到小為竹山鎮>埔里鎮>南投市>大里區。
- 2.經比較後，四個監測站冬季的空氣品質比較差，尤其以三月最不好。
- 3.經比較後，**竹山鎮**的 PM2.5 每個月分皆高於其他區域，以 11-2 月冬季落差最大。
- 4.經比較後，埔里鎮的冬季除了 12 月之外 PM2.5 皆高於南投市，但夏季有時則比南投低。
- 5.經比較後，大里區在冬季的 PM2.5 濃度皆比其他區域低，整體空氣品質較佳。
- 6.四月開始下春雨、梅雨、接著吹西南季風和颱風直到 10 月，因此推測受到風向和雨量及溫度的影響。例如：11 月後東北季風增強，西南部進入枯水期，導致 PM2.5 的量居高不下嗎？溫度會影響分子擴散嗎？季風會吹入境外的污染嗎？種種問題值得討論，因此我們在實驗二則以此為主題，再進一步探究。
- 7.經由圖 6-1-10 可發現，四個監測站在近八年來的 PM2.5 都有逐漸降低的趨勢，其中以大里最為明顯，竹山其次。
- 8.經由圖 6-1-10 可發現，南投和埔里監測站在 2013 年至 2015 年有升高，但 2015 年後則有降低的趨勢。

四個觀測站8年來比較圖

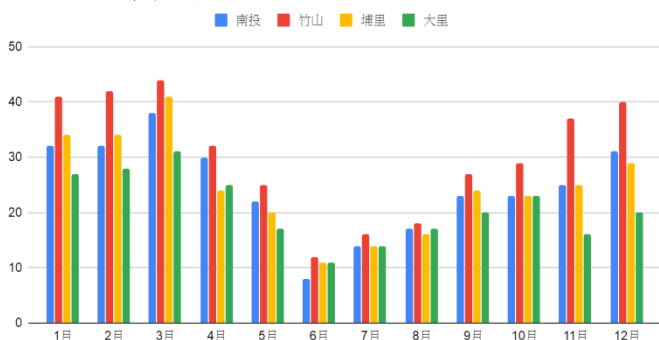


圖 6-1-10 四監測站 8 年來 PM2.5 的增減

四個觀測站八年來PM2.5的增減

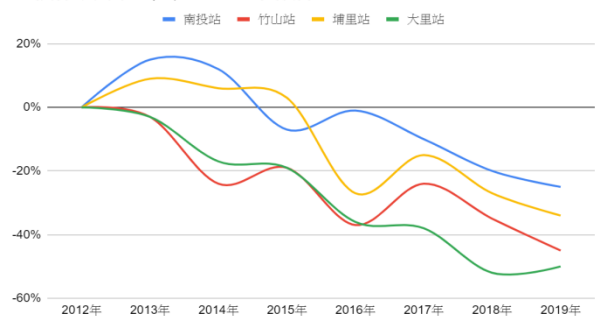


圖 6-1-9 四監測站 8 年各月份 PM2.5 比較圖

## 二、探討不同的天氣條件對南投市 PM2.5 的影響

(一)從實驗一的分析與探討，我發現 PM2.5 的濃度具有「冬多夏少」的變化，但不定時卻會有特別突出或降低，我覺得 PM2.5 的濃度除了受氣候因素，如:季風、颱風、寒流……影響外，還可能受許多天氣因子，如:氣溫、風速、雨量……的影響，於是我以南投市觀測站的數據為例，建立資料庫，分析出不同的天氣條件對 PM2.5 的影響，本實驗依序由溫度、風向及降雨的不同對 PM2.5 其分析結果。

(二)比較南投監測站八年來溫度不同對 PM2.5 濃度的影響

1.首先要明瞭溫度的不同會影響內部分子的流動速率，那究竟溫度高低的不同是否 PM2.5 擴散快，哪項比較不會沉積，使 PM2.5 的濃度下降呢?下圖我以南投市觀測站為主，分析八年來溫度的變化和 PM2.5 濃度的關係，列舉 2012 至 2019 年的 PM2.5 值和溫度關係圖，如圖 6-2-1 到 6-2-3 所示，並統整八年來 PM2.5 與溫度的散佈圖，如圖 6-2-4，探討其趨勢線發展。

2017年南投觀測站每月PM2.5的變化和平均溫度的關係

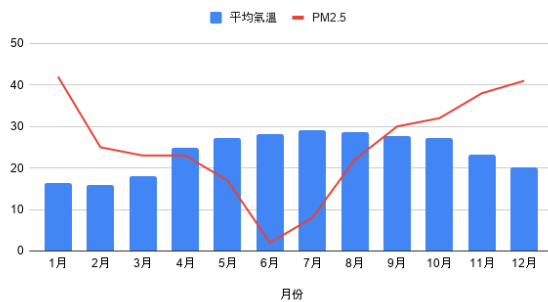


圖 6-2-1 2017 年南投觀測站 PM2.5 和溫度的關係

2018年南投觀測站每月PM2.5的變化和平均溫度的關係

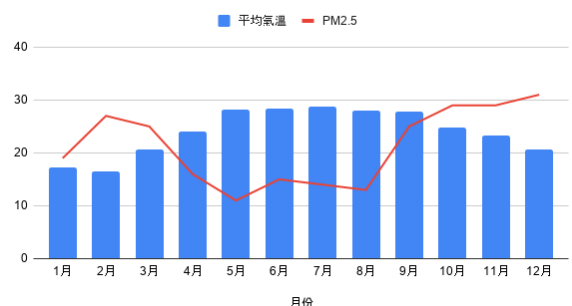


圖 6-2-2 2018 年南投觀測站 PM2.5 和溫度的關係

2019年南投觀測站每月PM2.5的變化和平均溫度的關係

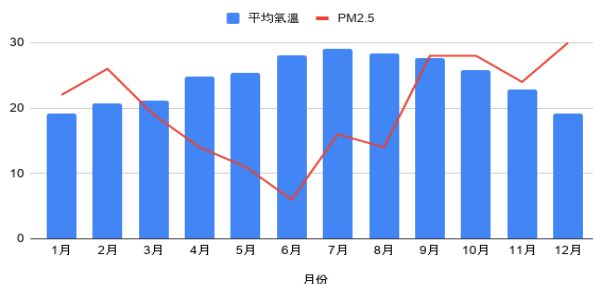


圖 6-2-3 2019 年南投觀測站 PM2.5 和溫度的關係

2012-2019年 南投市PM2.5與溫度關係圖

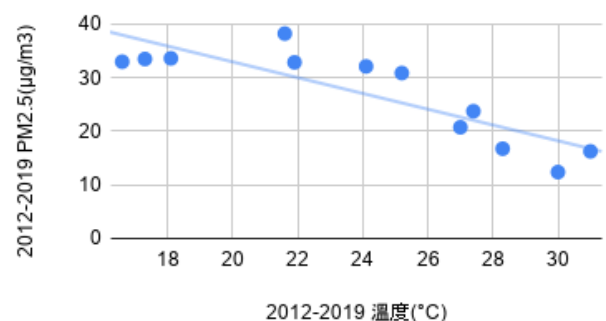


圖 6-2-4 2012-2019 年南投市 PM2.5 和溫度散佈圖

2.經由圖 6-2-4，我發現月平均溫度和 PM2.5 值呈現負相關的趨勢線。

3.經比較後，南投市近八年(2012-2019)的平均溫度對 PM2.5 濃度的影響為平均月溫度越高，PM2.5 的值就越低；平均月溫度越低，PM2.5 的值就越高。

4.經比較後，我發現在夏季 6 月時 PM2.5 濃度最低，反之在春季 3 月時卻是最高，而三月當時的平均溫度約落在 21 度左右，並不是最低的，值得和其他變因做比較。

## (二) 比較南投監測站八年來風速不同對 PM2.5 濃度的影響

1.風速的不同會帶來工業區及境外吹入的汙染，有時卻有助於 PM2.5 的擴散。不同的風速南投市監測站 PM2.5 的影響又是如何呢?下圖分析八年來南投市監測站周遭風向的不同對 PM2.5 濃度的影響，列舉 2012 至 2019 年的 PM2.5 值和風速關係圖，如圖 6-2-5 到 6-2-7 所示，並統整八年來 PM2.5 與風速的散佈圖，如圖 6-2-8 所示。

2017年南投觀測站每月PM2.5的變化和平均風速的關係

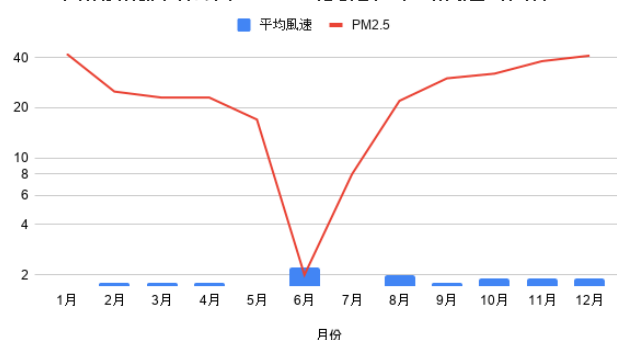


圖 6-2-5 2017 年南投觀測站 PM2.5 和風速的關係

2018年南投觀測站每月PM2.5的變化和平均風速的關係

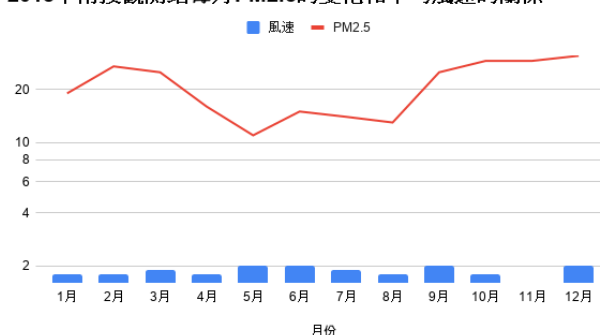


圖 6-2-6 2018 年南投觀測站 PM2.5 和風速的關係

2019年南投觀測站每月PM2.5的變化和平均風速的關係

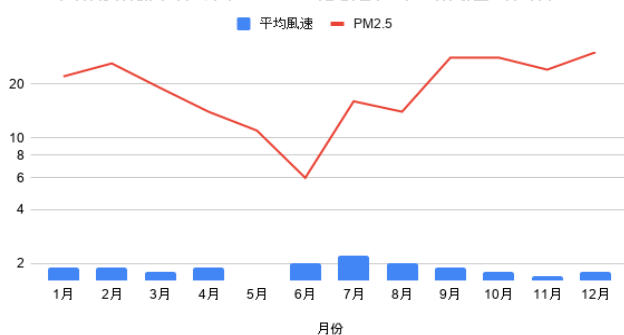


圖 6-2-7 2019 年南投觀測站 PM2.5 和風速的關係

2012-2019年 南投市PM2.5與風速關係圖

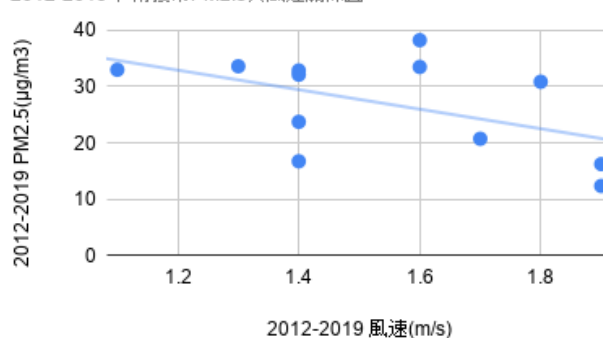


圖 6-2-8 2012-2019 年南投市 PM2.5 和風速散佈圖

2.經由圖 6-2-8，我發現平均風速和 PM2.5 值呈現負相關的趨勢線。

3.經比較後，南投市近八年(2012-2019)的平均風速對 PM2.5 濃度的影響為風速越大，PM2.5 的值就越低；風速越小，PM2.5 的值就越高。

4. 經比較後，7 月份的平均風速雖大於 6 月份，但 PM2.5 濃度卻相反，高出了  $10 \mu g/m^3$ ，值得和其他因素比較。

## (三) 比較南投監測站八年來雨量不同對 PM2.5 濃度的影響

1.平時雨後天晴，空氣品質通常比較好，但是我在報章雜誌上所看到的幾篇資料，有



些卻說降雨可能會帶來更多的 PM2.5，為了想更了解這個議題，分析八年來雨量的變化和 PM2.5 濃度的關係。列舉 2017 至 2019 年的 PM2.5 值和風速關係圖，如圖 6-2-9 到 6-2-11 所示，並統整 8 年來 PM2.5 與風速的散佈圖，如圖 6-2-12 所示。

2017年南投觀測站每月PM2.5的變化和雨量的關係

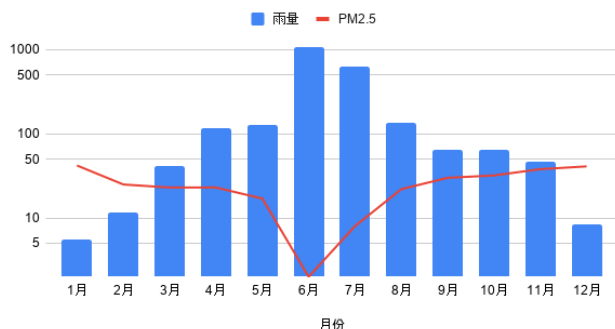


圖 6-2-9 2017 年南投觀測站 PM2.5 和雨量的關係

2018年南投觀測站每月PM2.5的變化和雨量的關係

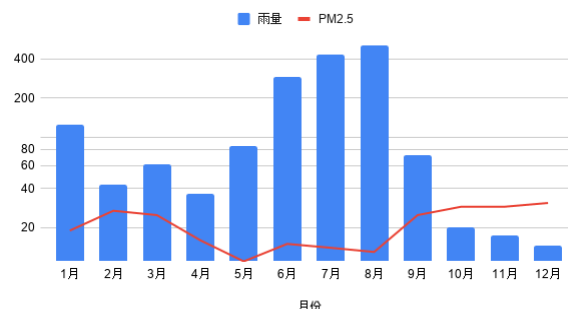


圖 6-2-10 2018 年南投觀測站 PM2.5 和雨量的關係

2019年南投觀測站每月PM2.5的變化和雨量的關係

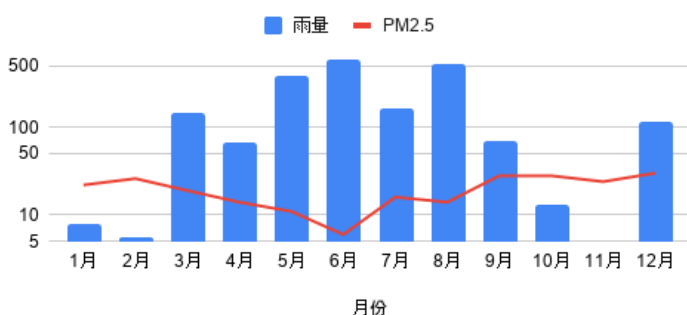


圖 6-2-11 2019 年南投觀測站 PM2.5 和雨量的關係

2012-2019年 南投市PM2.5與降雨量關係圖

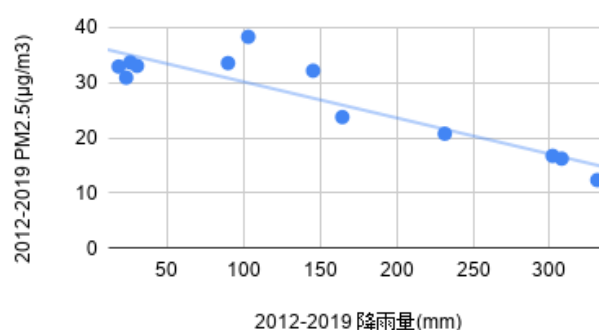


圖 6-2-12 2012-2019 年南投市 PM2.5 和雨量散佈圖

2.經由圖 6-2-12，我發現月降雨量和 PM2.5 值呈現負相關的趨勢線。

3.經比較後，南投市近八年(2012-2019)的平均雨量對 PM2.5 濃度的影響為平均月雨量越多，PM2.5 的值就越低；平均月雨量越少，PM2.5 的值就越高。

4.經分析比較後，我發現月降雨量和 PM2.5 值呈現負相關的數據中，有一個點特別高，當時是 3 月，而當時的平均降雨量也並未很高，值得和其他天氣條件做比較。

5.經由統計圖表的顯示，有一年的 6 月雨量為 1060mm，令我產生好奇心，經由上網查資料發現因為在當時有超扎實的梅雨鋒面襲台。因此光短短 10 日間，就降下了 985mm 的雨量，比對當時 PM2.5 的濃度，卻僅  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，可顯示當降下豪雨時的 PM2.5 的濃度極低。

6.經比較後，我發現當該月雨量超過 500mm 時，PM2.5 的濃度都不會超過  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

#### (四)比較南投監測站八年來降雨天數不同對 PM2.5 濃度的影響

1. 分析八年來降雨天數天數與 PM2.5 濃度關係。並列舉 2017-2019 之統計圖。

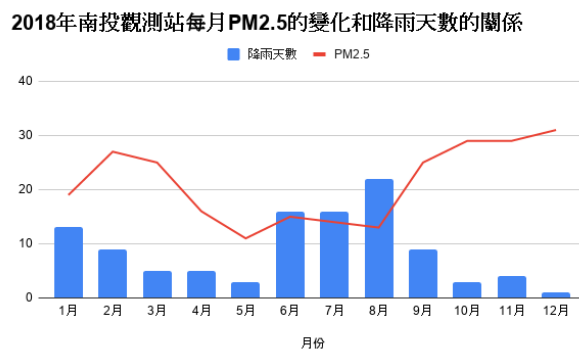
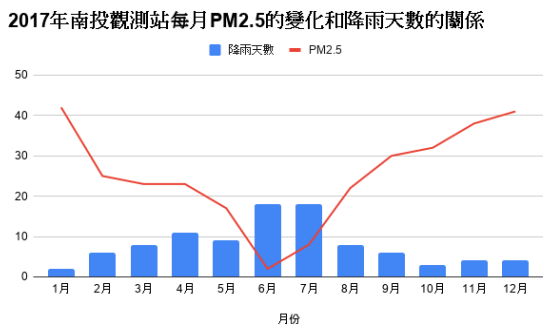


圖 6-2-13 2017 年南投觀測站 PM2.5 和降雨天數的關係

圖 6-2-14 2018 年南投觀測站 PM2.5 和降雨天數的關係

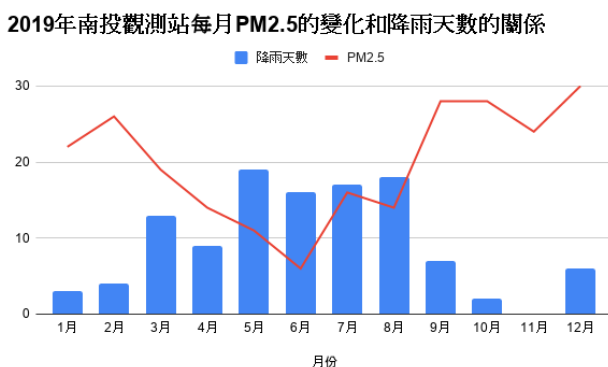


圖 6-2-15 2019 年南投觀測站 PM2.5 和降雨天數的關係

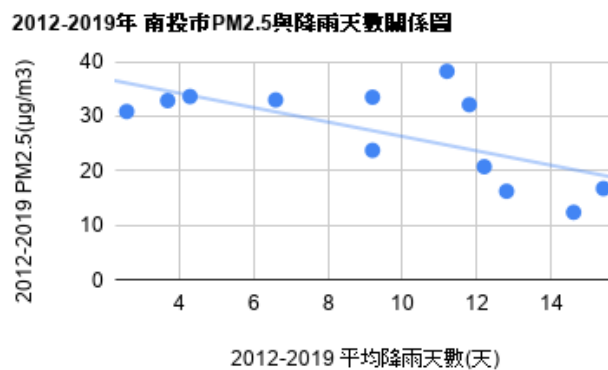


圖 6-2-16 2012-2019 年南投市 PM2.5 和降雨天數散佈圖

- 1.經由圖 6-2-16，我發現降雨天數和 PM2.5 濃度呈現負相關的趨勢線。
2. 經比較後，南投市近八年(2012-2019)的平均降雨天數對 PM2.5 濃度的影響為平均月降雨天數越多，PM2.5 的值就越低；而平均月降雨天數越少，PM2.5 的值就越高。
- 3.經比較後，我發現通常夏季雨多，冬季雨少，而 PM2.5 的濃度則正好相反，夏季少，冬季多。

(四)由上述四個實驗結果，彙整成一張淺顯易懂的表格，結果如下表 6-2-1 所示

天氣條件	Pm2.5 濃度低	Pm2.5 濃度高
溫度	溫度高	溫度低
風速	風速大	風速小
降雨量	雨量多	雨量少
降雨天數	降雨天數多	降雨天數少

表 6-2-1 天氣條件不同對 pm2.5 濃度的影響

### 三、探討南投監測站周遭車輛與 PM2.5 的關聯性

(一)造成空氣汙染的原因很多，天氣因素或是境外移入都是可能影響的分子之一，其中交通運輸的問題也是造成空氣汙染極為重要的一環，於是我們以南投市監測站為例，來呈現車輛的多寡對 PM2.5 的影響。另外本實驗地點位於南投市復興路民生街口觀測，距離南投觀測站(康壽國小)約 285 公尺處，如下圖 6-3-1 所示

(二)使用試算表分析南投監測站 2019 年的 6 月和 12 月和 9 的 PM2.5 以月為單位的統計圖，分析結果如下圖 6-3-1、6-3-2 所示



圖 6-3-1 南投監測站和紀錄地點位置圖

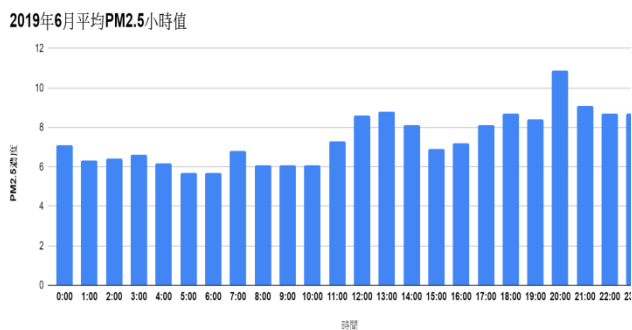


圖 6-3-2 南投監測站 6 月平均 PM2.5 小時值

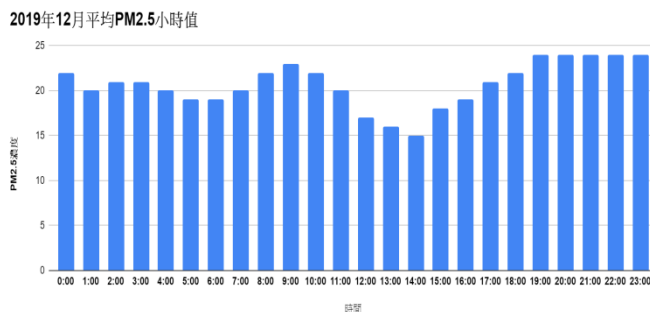


圖 6-3-3 南投監測站 12 月平均 PM2.5 小時值

(三)由上圖 6-3-2 和 6-2-3 可顯示兩者數據不同，在下午 2 時時差距甚大。因此我們又找 2019 年 9 月來做比較，統計資料如下圖所示

2019年9月平均PM2.5小時值

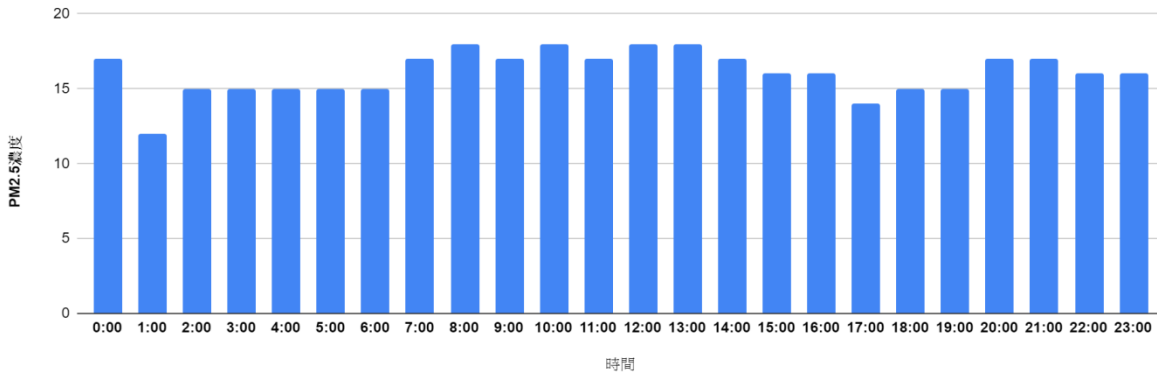


圖 6-3-4 南投監測站 9 月平均 PM2.5 小時值

(四)經過了三個圖的比較，我發現上午的 PM2.5 濃度比較高，尤其在 9:00-12:00，而下午 14:00-17:00 的 PM2.5 反而比較低，因此，實驗利用 9:00 和 16:00 做了一系列有關車輛的調查。

(五)車輛與 PM2.5 的對照表，如下表 6-3-5 所示

時間	平均 PM2.5 濃度 (µg/m <sup>3</sup> )	平均機車(台)	平均汽車(台)	平均行人(個)	平均電動、腳踏車(輛)
9:00	37.6	138.4	68.6	21	3.7
16:00	36.5	117.7	75.2	15.6	5

表 6-3-5 南投監測站周遭車輛及 pm2.5 的比較圖

(六)上圖示經由觀察三週以來的統整平均資料。經由圖 6-3-5 比較後，三週的車輛對 PM2.5 濃度的影響由小到大依序為車輛少<車輛多。

(七)兩者在紀錄上時呈現相反，早上 9:00 時機車較多，反而下午 16:00 是汽車比較多，影響來源應該是附近菜市場的關係，但早上的 PM2.5 濃度仍比下午高了 1.1 µg/m<sup>3</sup>。

(八)經比較後，我發現不太能比較出車輛對 PM2.5 的關聯性，僅能得知南投市早上機車較多，下午汽車較多。

#### 四、以自製空氣品質觀測器偵測校園空氣品質並進行分析

(一)空氣品質是校園內十分關心的議題，可能會影響孩童的身心，據說還可能會造成心情浮躁、功課退步等問題，這些種種的因素每個人來說都是一個警訊，於是我以自製和購買的儀器到校園做這個實驗。

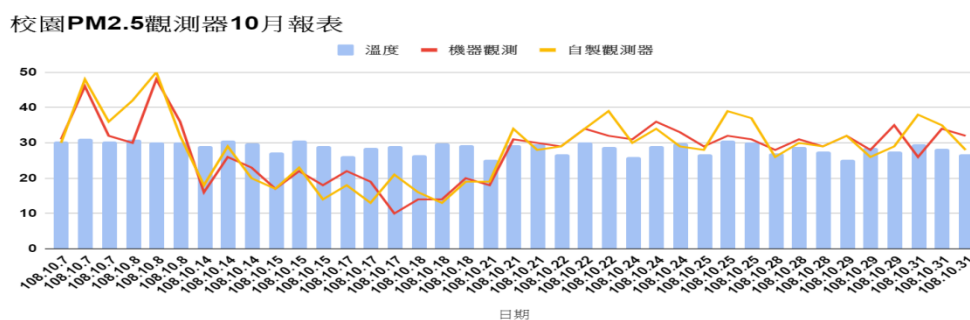
(二)以自製空氣品質觀測器的實驗觀察日期為 2019 年 10 月 7 日至 2019 年 12 月 26 日，觀察時間維持 12 週又兩天，因觀測數據太多，所以我擷取局部，再加上觀察的最後

一天的紀錄，如下表 6-4-1 所示

日期	溫度	機器觀測 PM2.5 值	自製觀測器 PM2.5 值	備註
108.10.7	30.4	31	30	第一週觀測 晴天
108.10.7	31.2	46	48	
108.10.7	30.4	32	36	
108.10.21	25.2	18	19	無 晴天
108.10.21	29.3	31	34	
108.10.21	29.6	30	28	
108.11.4	25.6	15	15	雨天 利用雨傘觀測
108.11.4	26.9	18	19	
108.11.4	26.3	23	21	
108.11.18	25.3	35	35	無 陰天
108.11.18	26.3	26	24	
108.11.18	24.9	34	36	
108.12.2	28.4	16	14	無 晴天
108.12.2	29.7	15	16	
108.12.2	27.3	24	24	
108.12.16	27.6	16	14	無 陰天 風強
108.12.16	25.4	24	26	
108.12.16	24.3	27	26	
108.12.26	19.7	49	48	最後一次紀錄 天氣霧濛濛一片
108.12.26	21.9	58	57	
108.12.26	17.9	54	54	

表 6-4-1 校園觀測紀錄

(二)以自製空氣品質觀測器實驗的觀察日期為 2019 年月 10 月 7 日至 2019 年 12 月 26 日，觀察時間維持 12 週又 2 天，觀察所有結果彙整成圖表如下表 6-4-2 至 6-4-4 所示



校園PM2.5觀測器11月報表

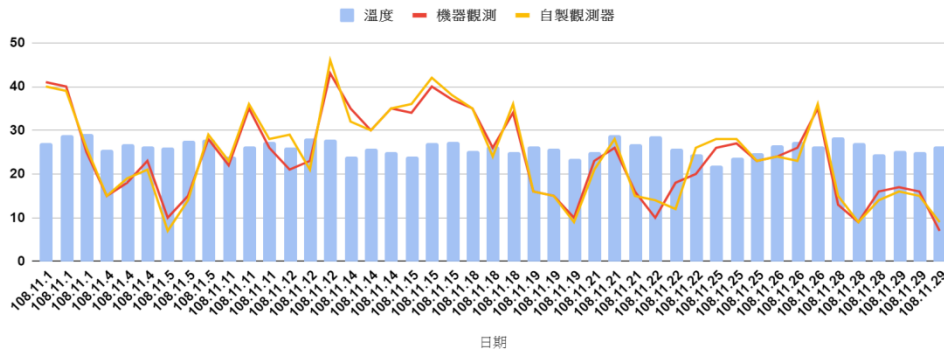


圖 6-4-3 校園觀測 11 月 PM2.5 及溫度趨勢圖

校園PM2.5觀測器12月報表

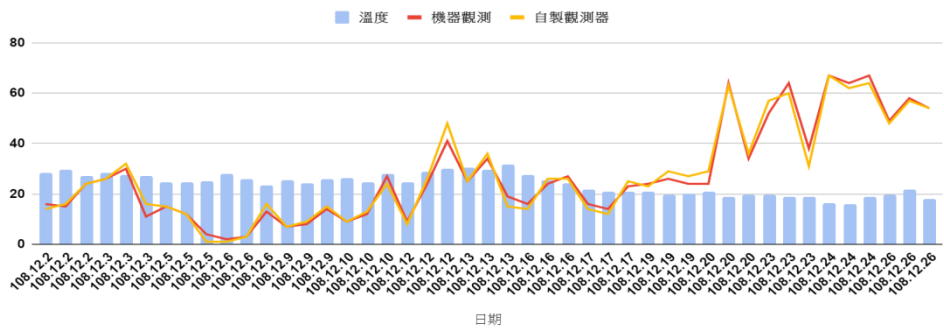


圖 6-4-4 校園觀測 12 月 PM2.5 及溫度趨勢

(二)經過比較後，自製的觀測器和機器所觀測到的 PM2.5 濃度大致相同，可以顯示程式碼建立與測試有達到效果。

(三)由 6-4-2 到 6-4-4 的圖可以顯示，到了 12 月後期，校園中 PM2.5 的濃度明顯偏高。

### 五、探討不同溫度之下對 PM2.5 濃度的影響

(一)以不同溫度之下對 PM2.5 的影響，觀察時間分次進行，共三周完成，觀察結果如下表 6-5-1 到 6-5-3 所示:

次數	溫度(°C)	PM2.5 濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	數據超過儀器(次)
1 次	15	17	×
	13.3	999	✓
2 次	13.2	25	×
	12.4	999	✓
3 次	12.2	19	×

	11.7	969	×
4 次	13.7	19	×
	14.2	999	✓
5 次	15.6	10	×
	14.3	956	×
6 次	16.7	14	×
	16.2	913	×
7 次	16.8	14	×
	16.1	992	×
8 次	17.2	13	×
	15.6	999	✓
9 次	15.3	15	×
	15.1	985	×
10 次	16.4	14	×
	16.8	997	×
平均	14.89 度	975 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4 次

表 6-5-1 低溫對 pm2.5 濃度的影響

次數	溫度(°C)	PM2.5 濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	數據超過儀器(次)
1 次	36.1	14	×
	39.8	972	×
2 次	35.7	9	×
	37.9	999	✓
3 次	34.3	16	×
	36.4	827	×
4 次	35.5	10	×
	38.9	738	×
5 次	35.8	18	×

	41.2	999	✓
6 次	38.1	12	×
	38.5	903	×
7 次	38.1	10	×
	39.2	986	×
8 次	39.1	11	×
	39.5	923	×
9 次	40.6	15	×
	43.9	942	×
10 次	39.3	19	×
	40.6	956	×
平均	38.4 度	924.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2 次

表 6-5-2 高溫對 pm2.5 濃度的影響

次數	溫度(°C)	PM2.5( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	數據超過儀器(次)
1 次	24.6	13	×
	24.8	999	
2 次	24.6	22	×
	24.7	986	×
3 次	24.8	21	×
	24.7	999	✓
4 次	24.9	12	×
	24.8	897	×
5 次	24.9	11	×
	24.8	939	×
6 次	25	23	×
	24.8	983	×



7 次	24.8	15	×
	24.7	956	×
8 次	24.8	18	×
	24.9	999	✓
9 次	24.6	14	×
	24.6	967	×
10 次	24.8	13	×
	24.7	999	✓
平均	24.5 度	972.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4 次

表 6-5-3 常溫對 pm2.5 濃度的影響

(二)經比較後，我發現環境越熱，PM2.5 的濃度比較低，反之周遭環境較冷，PM2.5 的濃度反而比較高。

(三)經比較後，當周遭溫度較低和常溫 25 度下的 PM2.5 濃度卻僅相差約  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，差很微小。

(四)經由三張圖第四格的「數據是否超過儀器」顯示，常溫和低溫分別都有 4 次、高溫有兩次 PM2.5 濃度達到  $999 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，儀器無法再往上測量。

(五)本實驗和實驗二溫度部分結果相符。

## 六、探討不同口罩材質對 PM2.5 的影響

(一)以不同口罩材質之下對 PM2.5 的影響，觀察時間分次進行，共三週完成，觀察結果如下表 6-6-1 所示

實驗次數	無口罩 PM2.5 濃度	醫藥口罩 PM2.5 濃度	活性炭 PM2.5 濃度
1 次	315	225	186
2 次	309	204	115
3 次	408	286	270
4 次	306	275	254
5 次	314	301	201
6 次	299	339	146
7 次	450	336	301

8 次	444	284	178
9 次	365	430	240
10 次	376	310	213
11 次	286	289	270
12 次	476	314	187
13 次	413	351	172
14 次	387	324	168
15 次	358	342	205
平均	367 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	305 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	207 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

表 6-6-1 不同口罩對 PM2.5 的過濾效果比較

- (二)經比較後，當周遭空氣品質相同時，沒戴口罩呼吸，吸入的 PM2.5 濃度是最高的。反之，戴活性碳口罩效果最好，但醫用口罩與沒戴口罩僅相差 62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

## 柒、討論

在這次的研究中，我遇到了許多問題，也提出看法，在此一並提出來討論

### 一、探討南投市周遭地理、人口及 2012-2019 年南投縣監測站 PM2.5 的變化

- (一)由於空氣污染嚴重地區可能來自其他行政區排放，因此若要徹底改善空氣品質，跨域污染問題必須獲得解決。臺灣 PM2.5 污染濃度最高的地區中，南投名列前茅。全臺灣 PM2.5 104 年平均濃度最高的測站便為位於南投的**竹山鎮 (32.2)**，第二名則是位於六輕工業區的**崙背鄉 (31.2)**，第三名為**埔里鎮 (30.8)**。PM2.5 前三高的測站中，南投佔了兩個。這結果真是讓我感到意外，在這個過去被認為是好山好水、沒有任何大型污染源存在的地方，南投 PM2.5 濃度竟在全臺灣位居前茅。

- (二)根據兩表比較後，我發現南投縣境內空氣品質的確受到臨近縣市擴散污染所影響。

因此我後來同整的圖 7-1，南投四周被中彰雲之工業區包圍，北方有來自臺中的全世界最大的燃煤火力發電廠；南則有雲林麥寮工業區。在季風的吹拂及高煙囪效應下，南投持續遭受到周邊縣市的污染影響。以南投周邊為例，跨域污染的可能定點污染源之一即是臺中火力發電廠。根據國際「碳監控行動組織」(CARMA)指出，臺中火力發電廠是**全世界排碳量最高**的發電廠。從表 7-1-2-也能看出，位於龍井區的臺中火力發電廠，其周遭地區的 PM2.5 與其他地區相較之下都偏高。其 PM2.5 的排放

量，甚至佔臺中、南投及彰化固定污染源 PM2.5 排放總量的 34%。

測站	104年PM <sub>2.5</sub> (微克/立方公尺)
南投	26.2
竹山	32.2
埔里	30.8

表 7-1-1 南投縣 108 年平均 PM<sub>2.5</sub> 濃度

污染物 (公噸/年)	PM <sub>2.5</sub>
中部污染物排放量 (臺中、南投、彰化)	3719
臺中電廠10個燃煤機組排放總量	1294

表 7-1-2 台中火力發電廠排放量

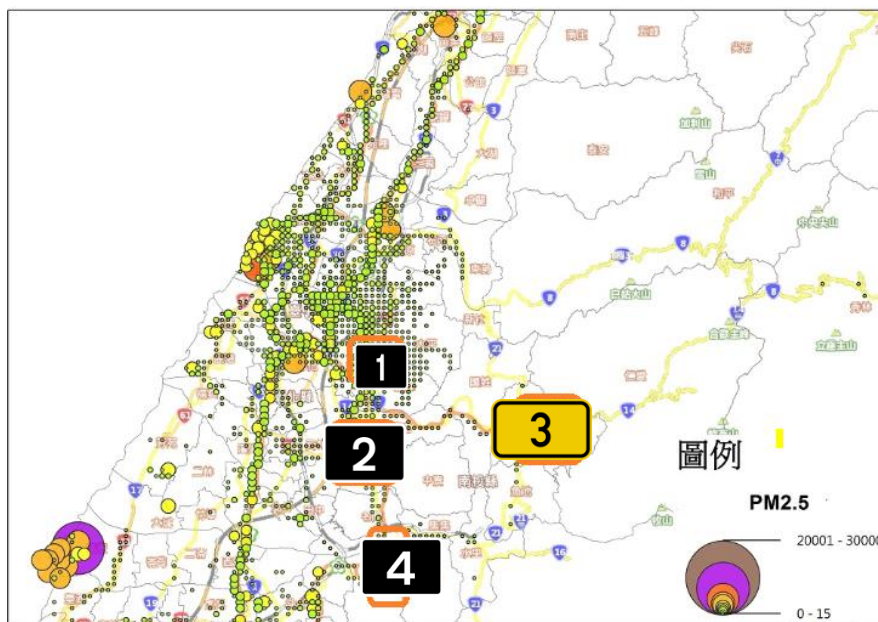


圖 7-1 中部地區 PM<sub>2.5</sub> 排放量

註:標示代號 1.為大里區  
2 為南投市 3 為埔里鎮  
4 為竹山鎮

(三) 由實驗結果比較，我推測台中市大里區是因為地理位置的關係，使外界揚塵吹入機會多停留在台中市區的屯區。而大里區的冬季都較其他南投縣的觀測站低，但夏季有時卻比其他地區還高。我推測是因為南投市、埔里鎮和竹山鎮皆為盆地地形，境外移入的 PM<sub>2.5</sub> 粒子隨季風容易在盆地地形沉積，導致南投縣的 PM<sub>2.5</sub> 濃度較高；而大里區夏季 PM<sub>2.5</sub> 較南投市高的原因推測可能是因當地為大城市，交通工具的排放量較大，因而影響 PM<sub>2.5</sub> 濃度。

(四) 在做實驗一時，因為從空氣品質監測網站下載的數據很多，為了統整並刪去只留下 PM<sub>2.5</sub> 以年做比較，因此花費了我大量的時間做整合。在一一比對的過程中有時會

刪去一些數據，導致數據有誤差的現象。

## 二、探討不同的天氣條件對南投市 PM2.5 的影響

- (一)我到網路上再次查詢資料比對實驗 2-3，我較符合邏輯的推理應該是雨水對於空氣中顆粒物的清洗還是有些微作用，首先我們要了解 PM2.5 實際就是微小顆粒物，其中重要的組成就是我們熟知的 PM2.5。而要使得這些顆粒物沉澱或移開，前者靠下雨、下雪，後者靠大風。所以我們常常感覺雨後空氣比較清新則也是有這方面的原因。
- (二)經比較後，溫度高低、風速大小、降雨天數多寡、雨量大小都會對 PM2.5 的濃度產生影響，且大致皆呈現負相關。

## 三、探討南投監測站周遭車輛與 PM2.5 的關聯性

- (一)在探討時間時，因為校園上課時間和觀測時間重疊，所以僅利用寒假完成此研究，又因新型冠狀病毒寒假延長，所以從原本的一週時間增長到三週，對於數據的取樣相對也較為準確。
- (二)由研究解果僅能顯示，南投市早上機車較多，下午的汽車比較多，而行人和電動車對於 PM2.5 的濃度推測應該沒有太大的影響，但若研究時間能拉長至一年為單位，研究應該會更完善。

## 四、以自製空氣品質觀測器偵測校園空氣品質並進行分析

- (一)經由研究四的結果可以發現，自製的觀測器和 PM2.5 機器的數據大約有 85%的相似度，但攜帶不方便，有時候手會碰觸到自製的觀測器，造成儀器數據偏高，可能是造成誤差的主因。
- (二)實驗快結束的十二月中旬，觀測到的 PM2.5 的數據偏高。當時在觀測時發現這個問題，透過風向計來測量風速和風向，測到的季風為東北風，風速平均 5km/hr，推測是主因是東北季風吹入的境外污染所導致的。
- (三)在進行研究目的四時，我遇到了諸多的困難。其中的剛開始所有儀器都放在草地上做測量，下雨天時很不方便，常常滿手都是儀器，很難紀錄。後來又因為後來爸爸提醒我說，在戶外做實驗時的溫度等觀測的資料應該離地 150 公尺處做測量是最準確的，所以我實驗了比照位置不同對溫度的影響(其中包括:離地 0 公尺，50 公尺，100 公尺，150 公尺)，果然發現同一時間放在草地上的儀器 溫度較高。我想了幾個方法，但都感覺不大妥當。例如:裝在箱內可能會影響數據，架設一個平台在操場中央會影響安全。所以到 11 月後，我採用在最快的速度每次觀測一個數據，觀測完後再拿另一個儀器觀測，數據應該會比較正確。

## 五、探討不同溫度之下對 PM2.5 濃度的影響

(一)根據實驗結果，可以推論出，冬季時的 PM2.5 濃度比較高不只是因為風向境外吹入，應該和溫度也有關係。

(二)在做本實驗的低溫時，因冰塊來源問題，所以只用一包 600g 加食鹽來製造低溫，造成實驗越後面，溫度有略為偏高的現象，可能導致 PM2.5 的濃度有變低的趨勢，推測這是使實驗四有一些誤差的原因。

## 六、探討不同口罩材質對 PM2.5 的影響

(一)進行實驗六時，因時間有所耽誤，或遇到其他情況，必需暫停實驗，又因室外的 PM2.5 濃度捉摸不定，為了要求準確度，維持一定的數據，所以進行時十分困難。起初設計時也遇到了很多的瓶頸，為了製作人體的呼吸模擬器，我絞盡腦汁思考，不斷繪製設計圖，最後再加上老師提供意見，才製作出一個簡單的人體呼吸模型及構造。

(二)另外一個嚴重的問題就是發生在實驗進行時，因為當初製作洞口時，忘記留一個關閉的空間縫隙讓線香放入，線香取出時，洞口就無法關閉。若風比較大時，數據感覺上就比較低，推測是因為風造成擴散作用的影響所造成的。

## 捌、結論

近年來日益嚴重的空氣污染不只改變了生活環境，更對民眾的生活、求職競爭力造成負面影響。空氣污染造成的問題不僅是有毒物體造成的生理損害，還會對心理健康、認知能力造成嚴重的傷害。在中年級時，曾經在自然課探討過「空氣汙染」的議題，我發現許多環境的破壞都是人為造成的，而且很難根除，還有細懸浮微粒如果過多，便會造成「酸雨」，會影響生物的生長。這些問題引發了我對環保的興趣，因此就將專題研究的主題決定為「穹頂之下-四面『霾』伏」。

統整實驗結果後發現夏季的 PM2.5 較佳，上網查詢後，得知與季風和沙塵的有關。其他影響的因素如:台中火力發電廠、人口密集、交通車輛、風向、溫度、燃燒氣體，推測主要和環境有關。

在製作這次的實驗過程中，我遇到了諸多的困難，也花費了許多時間，最大的瓶頸就是自製觀測器的濃度測試，由於事先購買多組需要自行研究和組裝的儀器，程式碼的設計甚有難度，因此我向專家請益，但多次皆顯示亂碼，較不準確，後來我和專家攜手研究，完成了這項作品，但是這項 pm2.5 觀測器則有特有的計算方式，和一般計算 pm2.5 的單位不同，這才讓我

改以購買整組套裝，程式的設計也是十分困難，但透過了許多次的修正並且測試，讓機器數據與問題大幅減少，才完成了這款製作過程相當艱難的觀測器。其次是實驗四的觀測，在製作本次實驗前，原先想進行的研究為「不同氣體對空氣品質的影響」，因受環境影響而改為「溫度不同對空氣品質的影響」，過程十分艱難。另外在紀錄實驗四時常發現數據會爆表，而無法再往上測量，也是可能造成實驗誤差的原因。

完成這次研究，要多虧了老師和家人們的協助與引導，才能順利的化險為夷完成研究。未來如果還有機會做類似的實驗，期望我可以設計出一個更多功能以及更精準的空氣品質觀測器，觀察更細微的資料，喚起全世界的環保意識。這次的研究讓我滿載而歸，因為透過研究，讓我了解一過程雖然看似簡單，但其實需要耗費許多時間，還需要解決數不勝數之問題，從決定研究主題開始到做研究，進而完成最後的報告撰寫，不僅培養出信心、耐心，更增進我的自信心。這次研究最重要的是讓頂天立地的穹頂之下，可以看見遠方的未來與希望。

自製觀測器的程式碼一偶和初次購買的完成品分別由下圖 8-1-1 和 8-1-2 所示。

```
TAINANJOT 搜尋... 所有分類 Q 首頁 聯絡科 LIN

int dustPin=0;
float dustVal=0;

int ledPower=2;
int delayTime=280;
int delayTime2=40;
float offTime=9680;
void setup()
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledPower,OUTPUT);
  pinMode(dustPin,INPUT);
}

void loop()
  //ledPower is any digital pin on the arduino connected to Pin 3 on the sensor
  digitalWrite(ledPower,LOW);
  delay(Microseconds(delayTime));
  dustVal=analogRead(dustPin);
  delay(Microseconds(delayTime2));
  digitalWrite(ledPower,HIGH);
  delay(Microseconds(offTime));

  delay(1000);
  if (dustVal>36.455)
    Serial.println((float(dustVal/1024)-0.0356)*120000*0.035);
```

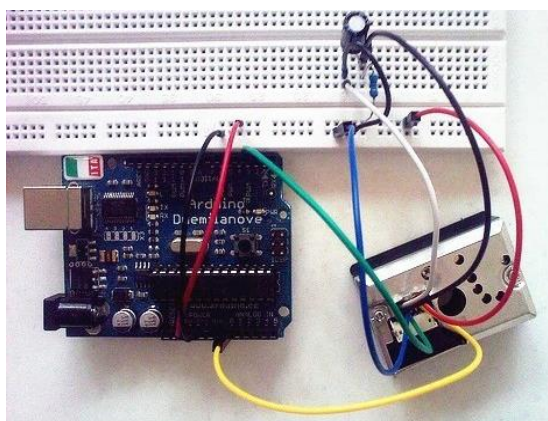


圖 8-1-1 初次購買時研究的程式一偶

圖 8-1-2 初次購買的儀器研究組裝

## 玖、參考資料

一、移動"塵寶"~PM2.5 影響因子初探-以鄰近屏東縣測站為例，(民國 108 年)，取自中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-030505.pdf>

二、空氣品質觀測器參考程式碼，取自夏普網站

<https://reurl.cc/8GokLb>

三、誠永立，下雨能減少霧霾嗎?(2017 年 11 月 16 日)，取自每日頭條

<https://kknews.cc/science/qoo3oyg.html>

四、高雄市環保局噪音防制科-認識 PM2.5

<https://air.ksepb.gov.tw/Article/Detail/3>

五、台灣空氣汙染 PM2.5 防治探討-學術文章

<http://www.cqvip.com/qk/97723x/200504/20164333.html>

六、PM2.5 系懸浮微粒防治，(2015 年 3 月 24 日) 取自低碳永續家園網

<https://reurl.cc/qd5E60>

七、洪俊智，PM2.5 跨域污染之改善研議：以臺灣南投為例，(2017 年 3 月 29 日)，取自風險社會研究中心

<https://rsprc.ntu.edu.tw/zh-tw/m01-3/air-pollution/624-0329-air-pollution-cross-regional-pollution-improvement-nantou.html>

## 【評語】 080505

研究主題可用科學方法檢驗。有系統地收集數據及分析。處理與執行作品獨立度高。回答問題大致清楚，不怯場。

該作品針對居住周邊環境的 PM2.5，進行文獻蒐集，整理相關數據，還進一步自行設計手持式空氣盒子，來量測生活周遭特定地點的 PM2.5 濃度，藉以探討影響空氣品質的汙染來源以及氣象因子對其濃度的影響。此外，也探討不同口罩材質對降低吸入 PM2.5 的差異。

從觀察、發想、設計實驗器具及研究流程，過程中的缺點與瑕疵也忠實記錄，並提出檢討，是非常好的科學態度，主題也與生活息息相關。實驗儀器建立具挑戰性，並已經開始懂得交相比較驗證的概念。空氣汙染與大氣的關係背景還不足以，雖然討論廣泛可能的氣象變因，但在成因解釋上偏弱，無法解釋溫度高，風速低，風向與高 PM2.5 的關係，較為可惜。



# 壹、研究動機

四年級的自然課，老師曾上有關 PM2.5 的議題，加上課餘時間閱讀報章雜誌，發現近年來 PM2.5 問題日漸嚴重，其中更有被 WHO 列為影響人體的致癌物。影響 PM2.5 的條件是什麼呢？標榜不同功能的口罩，是否能有效過濾髒空氣呢？所以我想利用在電腦課學到的 ic 板及液晶螢幕的知識，自製「空氣品質觀測器」，再配合一台學校借用的 PM2.5 檢測儀，揪出究竟誰是「四面霾伏」的罪魁禍首。

# 貳、研究目的

- 一、探討南投市周遭地理、人口及 2012-2019 年南投縣監測站 PM2.5 的變化
- 二、探討不同的天氣條件對 PM2.5 的影響
- 三、探討南投監測站周遭車輛與 PM2.5 的關聯性
- 四、以自製空氣品質觀測器偵測校園 PM2.5 並進行分析
- 五、探討不同溫度之下對 PM2.5 濃度的影響
- 六、探討不同的口罩材質對 PM2.5 濃度的影響

# 參、文獻研究

- ◎了解 PM2.5 的定義及來源
- (一)定義:懸浮微粒的粒徑小於或等於 2.5 微米( $\mu\text{m}$ )的粒子，就稱為 PM2.5。
  - (二)來源:
    - ※自然因素:火山爆發、沙塵暴等。
    - ※人為因素:石化燃料工業排放、工地及車行揚塵、燃燒行為等。

# 肆、研究設備與器材

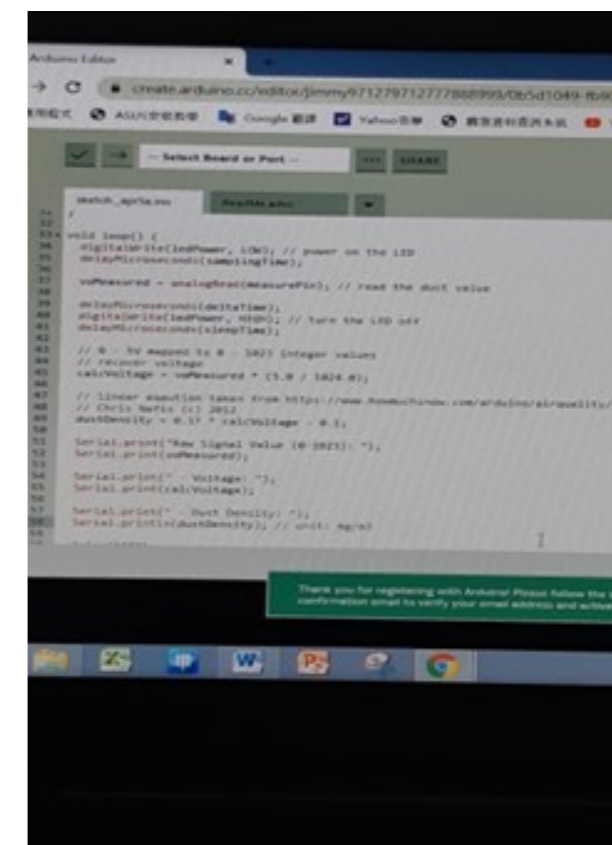
- 一、實驗儀器:空氣 PM2.5 & 甲醛檢測儀(學校借用)、藍芽溫濕度計。
- 二、其他器材:錄影機 1 台、線香 3 根、冰塊 600 公克、食鹽 50 公克、觀測箱 1 組、紙箱 1 個、活性炭及醫用口罩各 2 個。
- 三、網路資源:南投縣空氣品質監測中心、南投戶政事務所、中央氣象局網站、環保署空氣品質監測網資料等。
- 四、自製器材:PM2.5 觀測器及模擬人體呼吸觀測箱子。



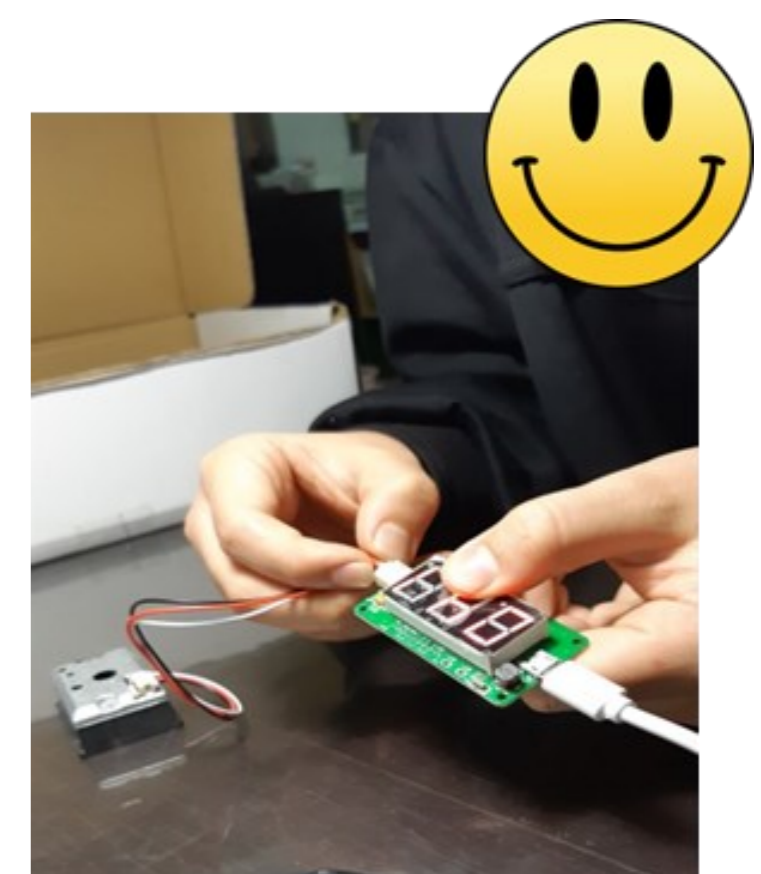
進行實驗五低溫實驗所需器材



實驗用溫度計、自製 PM2.5 觀測器



創建 PM2.5 觀測器程式碼一偶

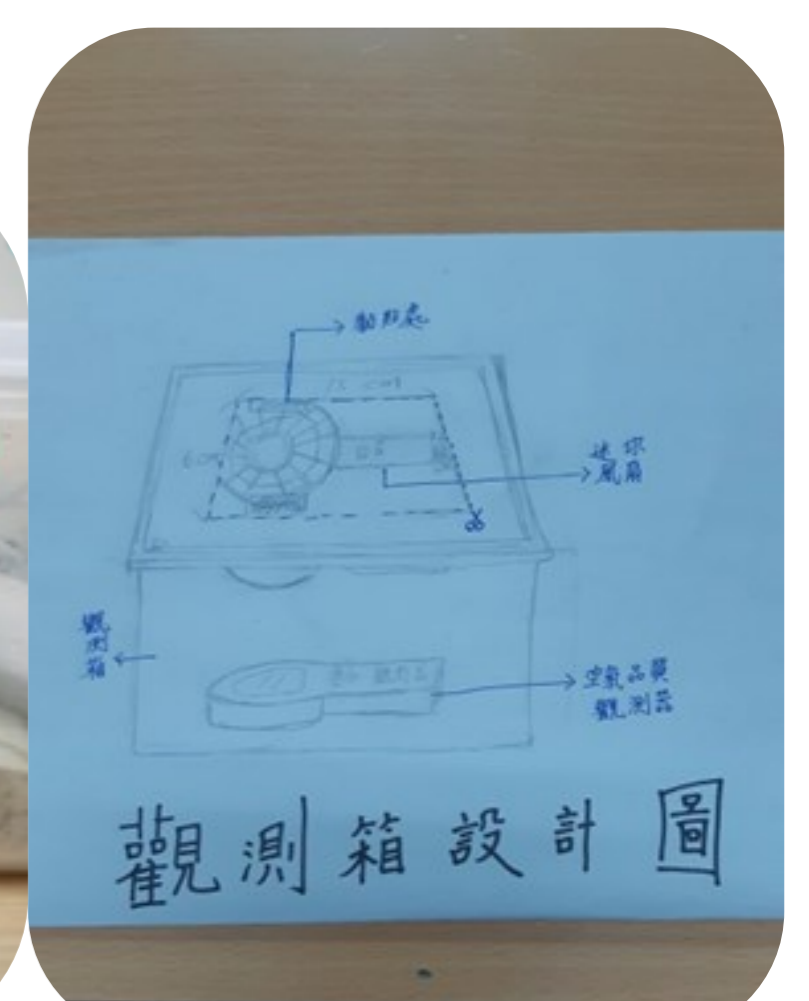


研究 IC 版構造

# 伍、研究過程及方法

- 一、探討南投市周遭地理、人口及 2012-2019 年南投縣監測站 PM2.5 的變化  
探討南投市的地理環境、人口，並搜尋空氣品質監測網，探索南投、竹山、埔里及大里監測站從 2012 年至 2019 年的逐年 PM2.5 的資料，並進行分析。
- 二、探討不同的天氣條件對南投監測站 PM2.5 的影響  
透過上個實驗，擷取 2012-2019 年南投監測站的 PM2.5 數據，並比較南投市 2012-2019 年的月平均溫度、風速、降雨量變化及降水天數與 PM2.5 之間的相關性。
- 三、探討南投監測站周遭車輛與 PM2.5 的關聯性  
利用寒假週一到週五至距離南投監測站約 280 公尺處路口進行錄影，每次 10 分鐘，重複 3 週，了解當時不同車種的流量狀況，並和 PM2.5 濃度比較。
- 四、以自製空氣品質觀測器偵測校園空氣品質進行分析  
攜帶自製的空氣品質觀測器及 PM2.5 檢測儀、溫溼度計在早上 10:20、中午 12:20、下午 15:05 於校園操場中央測量 PM2.5 濃度、溫度、濕度及當天天氣的具體描述，共計實驗時間為 3 個月。
- 五、探討不同溫度之下對 PM2.5 濃度的影響  
將觀測箱露出縫隙，讓線香在箱內燃燒五秒隨後立即取出，並緊閉蓋子。靜置一分鐘，將觀察數據紀錄在觀察日誌中，其每種溫度實驗 15 次，共計 45。
- 六、探討不同口罩材質對空氣污染的影響  
(一)同實驗五步驟，在實驗中，共有活性炭口罩、醫用口罩及沒戴口罩三項操作變因，其每種相同款式的口罩實驗 15 次，共計 45 次。

※低溫:約 15 度(利用冰塊加食鹽，上方鋪塑膠袋隔開)  
※高溫:約 35 度(利用 RO 逆滲透 102 度熱水倒入箱中，上方用空盒子乘載隔開)  
※常溫:約 25 度



# 陸、研究結果

## 一、探討南投市周遭地理、人口及 2012-2019 年南投縣監測站 PM2.5 的變化

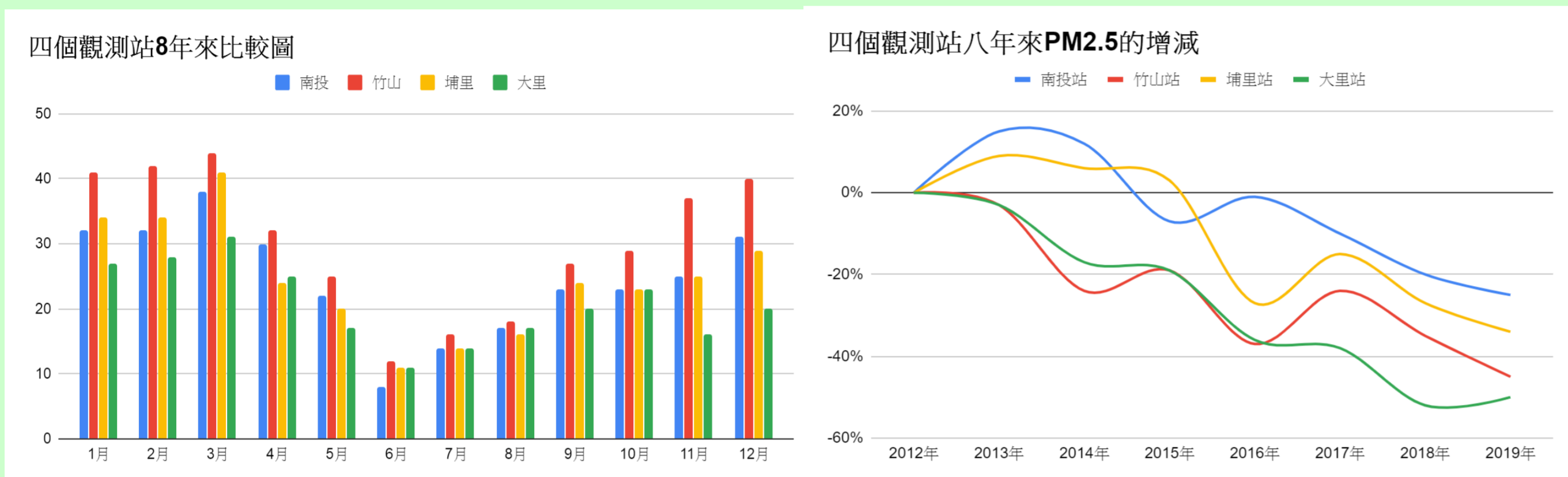
(一) 地形部分:南投市大致分成丘陵、平原及台地地形,並繪製成下方手繪地形圖。



(二)人口部分:南投市因人口外流,現今人口僅 99,199 人(2019)。

(三)PM2.5 數據:由實驗結果可知:

1. 八年平均 PM2.5 值大到小為竹山鎮>埔里鎮>南投市>大里區。並且在冬季的 PM2.5 比較差,尤其以三月最不好。
2. 四個監測站近八年來的 PM2.5 都有逐漸降低的趨勢,其中以大里區最為明顯,竹山鎮其次。



## 二、探討不同的天氣條件對南投監測站 PM2.5 的影響

(一)比較南投監測站八年來溫度不同對 PM2.5 濃度的影響

經比較後,溫度對 PM2.5 濃度的影響由小到大為高溫<低溫。

(二)比較南投監測站八年來風速不同對 PM2.5 濃度的影響

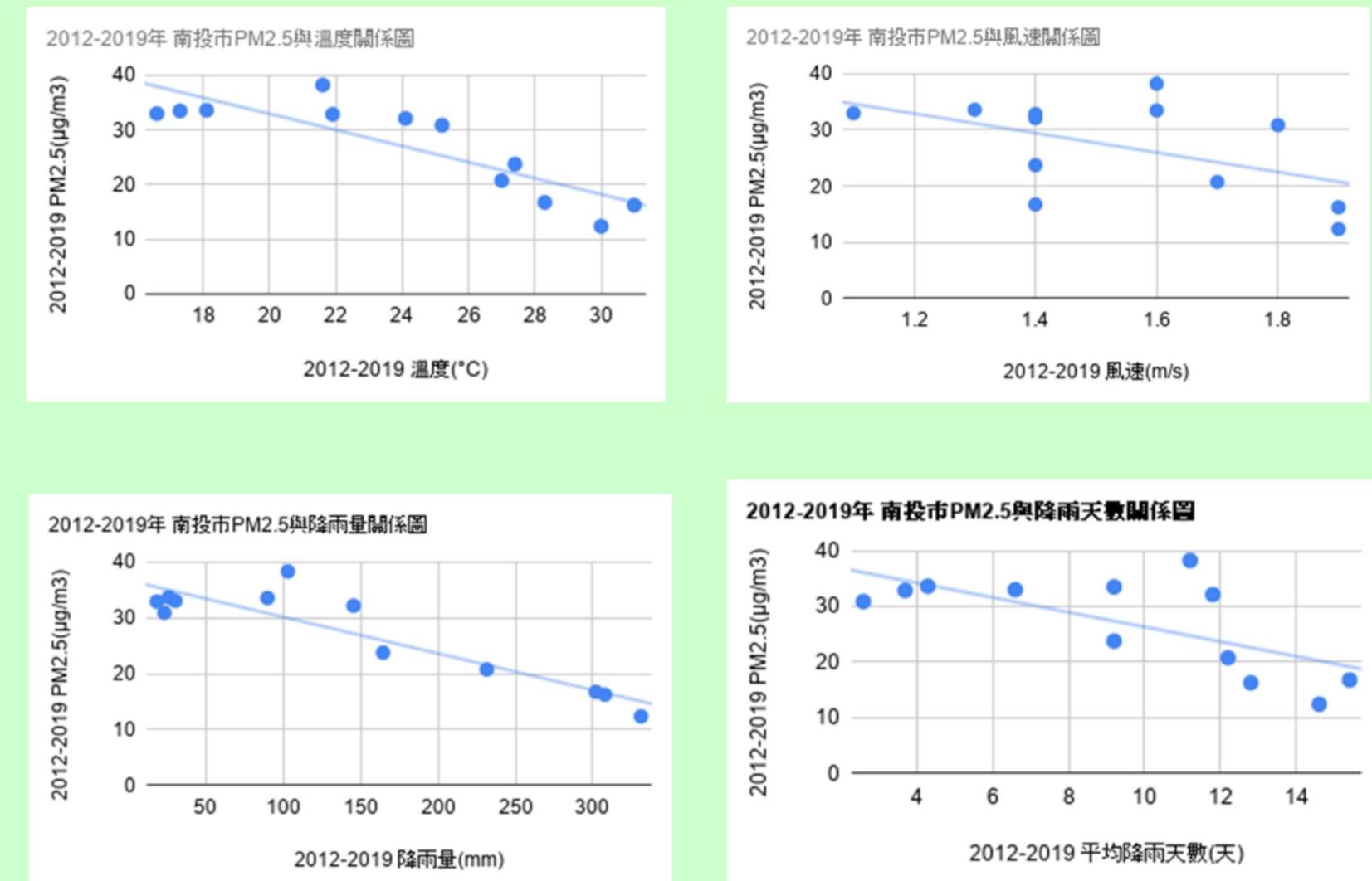
經比較後,風速對 PM2.5 濃度的影響由小到大為風速大<風速小。

(三)比較南投監測站八年來雨量不同對 PM2.5 濃度的影響

經比較後,雨量對 PM2.5 濃度的影響由小到大為雨量大<雨量小,

(四)比較南投監測站八年來降雨天數不同對 PM2.5 濃度的影響

經比較後,降雨天數對 PM2.5 濃度的影響則為降雨天數多<降雨天數少。



天氣條件	PM2.5 濃度低	PM2.5 濃度高
溫度	溫度高	溫度低
風速	風速大	風速小
降雨量	雨量多	雨量少
降雨天數	降雨天數多	降雨天數少

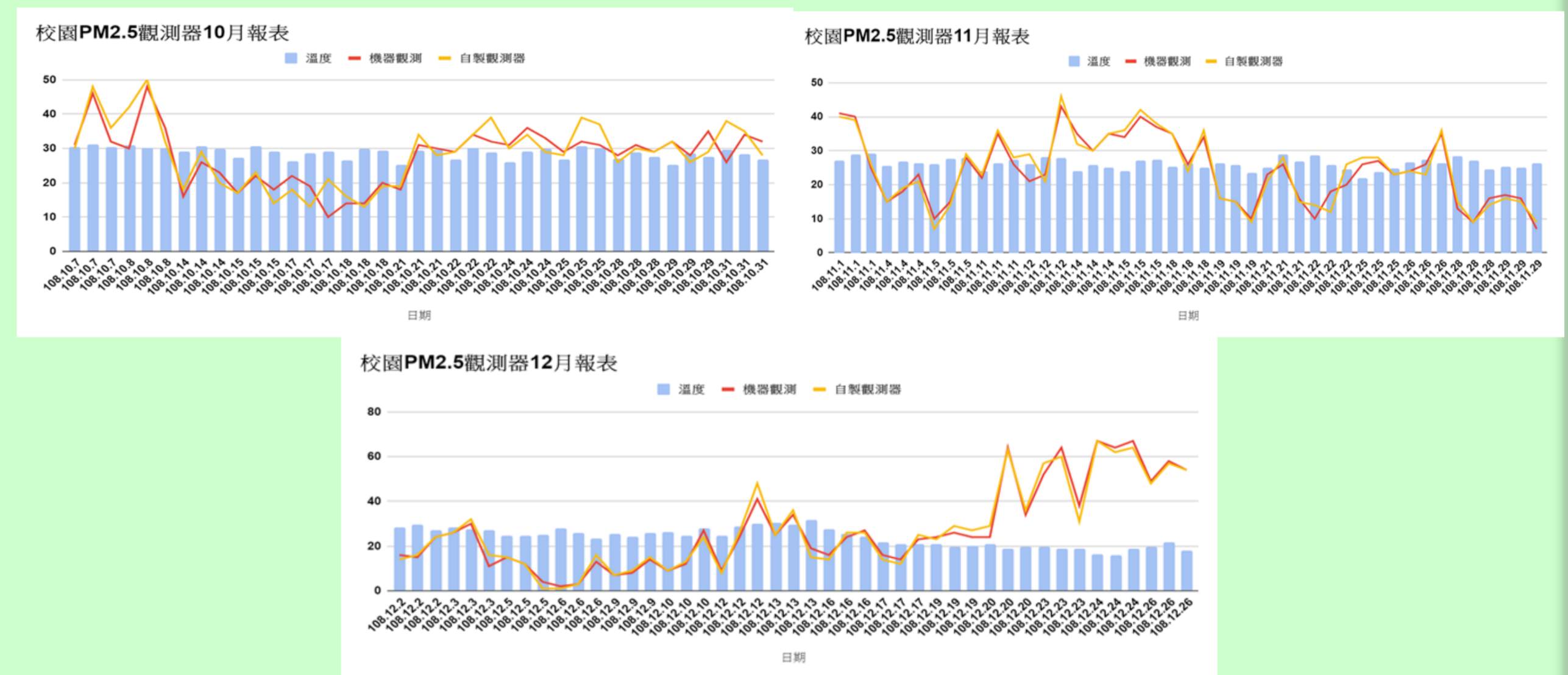
## 三、探討南投監測站周遭車輛與 PM2.5 的關聯性

時間	平均 PM2.5 濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	平均機車(台)	平均汽車(台)	平均行人(個)	平均電動、腳踏車(輛)
9:00	37.6	138.4	68.6	21	3.7
16:00	36.5	117.7	75.2	15.6	5

(一)經上圖比較後,三週的車輛對 PM2.5 濃度的影響由小到大依序為車輛少<車輛多。

(二)兩者在紀錄上時呈現相反,早上 9:00 時機車較多,反而下午 16:00 是汽車比較多,影響來源應是附近市場,但上午比下午的 PM2.5 濃度多出  $1.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

## 四、以自製空氣品質觀測器偵測校園空氣品質並進行分析



(一)經過比較後,自製的觀測器和機器所觀測到的 PM2.5 濃度大致相同,可以顯示程式碼建立與測試有達到效果。

(二)由上圖可以顯示,到了 12 月後期,校園中 PM2.5 的濃度明顯偏高。

## 五、探討不同溫度之下對 PM2.5 濃度的影響

名稱	平均溫度	平均 PM2.5	超過儀器數
低溫	14.89 度	$975\mu\text{g}/\text{m}^3$	4 次
高溫	38.4 度	$924.5\mu\text{g}/\text{m}^3$	2 次
常溫	24.5 度	$972.4\mu\text{g}/\text{m}^3$	4 次

(一)經比較後,我發現環境越熱,PM2.5 的濃度比較低,反之周遭環境較冷,PM2.5 的濃度反而比較高。

(二)經比較後,當周遭溫度較低和常溫 25 度下的 PM2.5 濃度卻僅相差約  $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,差很微小。

(三)經第四格的「數據是否超過儀器」顯示,常溫和低溫分別都有 4 次、高溫則有兩次 PM2.5 濃度達到。

## 六、探討不同溫度之下對 PM2.5 濃度的影響

實驗次數	無口罩 PM2.5 濃度	醫用口罩 PM2.5 濃度	活性炭 PM2.5 濃度
1 次	315	225	186
2 次	309	204	115
3 次	408	286	270
4 次	306	275	254
5 次	314	301	201
6 次	299	339	146
7 次	450	336	301
8 次	444	284	178
9 次	365	430	240
10 次	376	310	213
11 次	286	289	270
12 次	476	314	187
13 次	413	351	172
14 次	387	324	168
15 次	358	342	205
平均	$367\mu\text{g}/\text{m}^3$	$305\mu\text{g}/\text{m}^3$	$207\mu\text{g}/\text{m}^3$

經比較後,我發現當周遭空氣品質相同時,沒戴口罩呼吸,吸入的 PM2.5 濃度是最高的。反之,戴活性炭口罩效果最好,而醫用口罩與沒戴口罩相差  $62\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

# 柒、討論

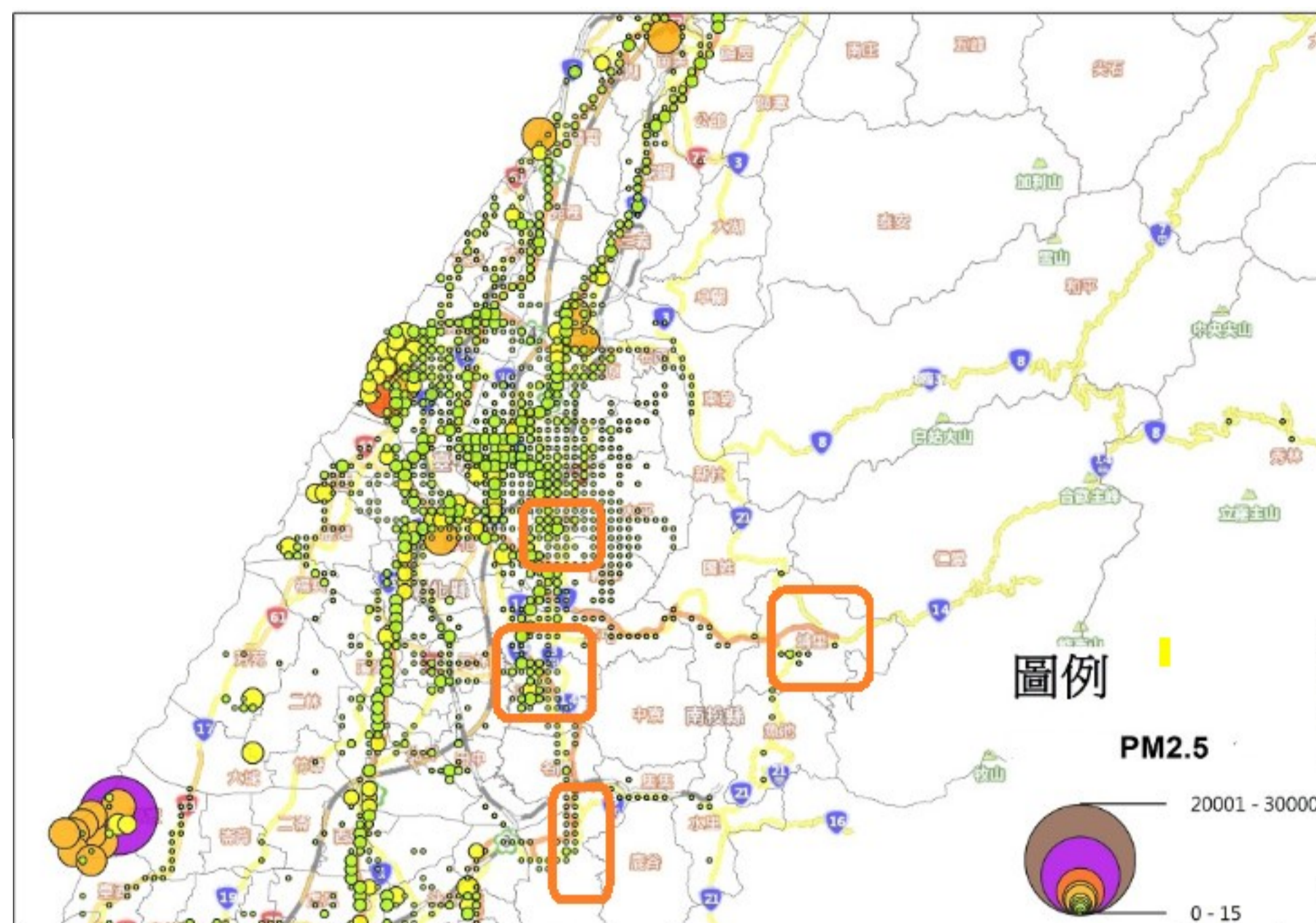
在這次的研究中，我遇到了許多問題，也提出看法，在此一並提出來討論

## 一、探討南投市周遭地理、人口及 101-108 年南投縣監測站 PM2.5 的變化

(一)令人意外且不解的是，在過去認為是好山好水的地方，**南投 PM2.5 濃度竟在全臺位居前茅。**

(二)根據下表及圖比較後，發現南投縣 PM2.5 受到臨近縣市污染影響。因此我後來統整成下圖和實驗結果比較:發現南投市、埔里鎮和竹山鎮皆為**盆地**，四周被中彰雲之工業區包圍，粒子隨季風易在盆地沉積，造成南投空氣不好的原因。大里區推測是因**地理**的關係，使冬季吹入的外界揚塵多停留在台中的屯區。而大里區夏季 PM2.5 較高些的原因推測是大城市**交通工具的排放量較大**，因而影響 PM2.5 濃度。

測站	104年PM2.5(微克/立方公尺)
南投	26.2
竹山	32.2
埔里	30.8



## 二、探討不同的天氣條件對 PM2.5 的影響

(一)我到網路上再次查詢比對，我覺得較符合邏輯的推理應該是雨水對於空氣中顆粒物的清洗還是有作用。霧霾實際就是微小顆粒物。而要使得這些顆粒物或移開，**前者靠下雨，後者靠大風**將其吹掉。

(二)經比較後，**溫度高低、風速大小、降雨天數多寡、雨量大小**會對 PM2.5 的濃度產生影響。

## 三、探討南投觀測站周遭車輛與 PM2.5 的關聯性

(一)因校園上課時間重疊，所以僅利用寒假完成此研究，後來因寒假延長，從原本的一週時間增長到三週，對於數據的取樣相對也較為準確。

(二)研究解果顯示，南投市早上機車較多，下午的汽車比較多，相差  $1.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。因此我不太能比較其關聯性。

## 四、以自製空氣品質觀測器偵測校園空氣品質進行分析

(一)經由研究四的結果可以發現，自製的觀測器和 PM2.5 機器的數據大約有 **85%相似度**。

(二)十二月觀測到的 PM2.5 的數據都偏高。利用風速計測到**東北風**，推測季風吹入的境外污染所導致的。

(三)剛開始都放在草地上做測量，但長期監測的資料應該**離地 150 公分**處是最準確的。所以到 11 月後，我採用每次監測完再拿另一個儀器觀測，數據應該會比較正確。

## 五、探討不同溫度之下對 PM2.5 濃度的影響

(一)根據實驗結果，可以推論出，冬季時的 PM2.5 濃度應該和溫度也有關係。

(二)在做本實驗的低溫時，因冰塊來源問題，所以只用一包 600g 加食鹽來製造低溫，造成實驗越後面，溫度有略為**偏高**的現象，可能導致 PM2.5 的濃度有變低的趨勢，推測這是使實驗四有一些誤差的原因。

## 六、探討不同材質的口罩對 PM2.5 的阻隔效果

(一)進行實驗六時，若時間有所耽誤，或遇到其他情況，必需暫停實驗，又因室外的 PM2.5 濃度捉摸不定，為了要求**準確度**，維持一定的數據，所以進行時十分困難。起初設計時也遇到了很多的瓶頸，為了製作人體的呼吸模擬器，我思考良久，不斷繪製設計圖，最後經由老師提供建議，才製作出一個簡單的人體呼吸模型及構造。



# 捌、結論

經過實驗結果比照後，我造成南投縣空氣不好因素如:台中火力發電廠、麥寮工業區、季風、地形、人口密集、交通車輛、風向、溫度、雨量、降雨天數、燃燒氣體等，推測主要和**環境及天氣**為最主要之因素。

在製作這次的實驗過程中，最大的瓶頸就是自製監測器，由於事先購買多組需要自行研究和組裝的儀器，程式碼的設計甚有難度，因此我向**專家請益**，但多次皆顯示亂碼，才讓我改以購買套裝，透過了許多次的修正並且測試，讓機器數據與問題大幅減少，才完成了這款製作過程相當艱難的監測器。另外是因儀器在做溫度不同對 PM2.5 的影響實驗時，時常**超過儀器數據**，無法往上測量。因此往後實驗皆對此修正，製作觀測箱，才有更精準之數據呈現。

完成這次研究，要多虧了老師和家人們的協助與引導。未來如果還有機會做類似的實驗，期望我可以設計出一個更精準的空氣品質觀測器，並喚起全世界的環保意識。這次的研究讓我滿載而歸，因為透過研究，讓我了解過程看似簡單，其實耗費許多時間，還需要解決問題，從決定研究主題到研究，完成最後的報告撰寫，不僅培養出信心、耐心，更增進我的自信心。