

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

佳作

030504

溫度的逆襲-探討逆溫現象對埔里盆地空氣品質
的影響

學校名稱：南投縣立大成國民中學

作者： 國二 曾晉翊 國二 李咏琰	指導老師： 徐敏益 梁敏芳
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：逆溫、盆地、PM_{2.5}

摘要

我們發現埔里地區在 106 年 1 月到 3 月、107 年 3 月到 4 月期間，的空氣品質較差，再將埔里盆地 106、107 年 PM_{2.5} 超標的日子，與附近魚池氣象站資料比對，發現 106 年超標的日子中，有 90% 發生逆溫的現象，於 107 年有 83% 發生逆溫的現象，比較 106 年的 3、7 月逆溫現象出現的日子，發現當逆溫現象出現的時間越久，PM_{2.5} 就越容易超標。我們利用銅管和觀察箱，模擬逆溫現象下熱對流情形，在上熱下冷時(模擬逆溫)對流不易發生，不同層的温度分層且不易平衡，在上冷下熱時，容易產生對流，不同層的温度會漸漸平衡，但溫差小時會使平衡時間加長。在逆溫發生的空間注入煙霧，模擬煙霧流動的情形，發現，煙霧會下沉，不會對流，而使下層空氣更混濁。

壹.研究動機

埔里常被認為好山好水，但到了冬天，早上起床往窗外看去，就只見霧濛濛的一片，其他什麼都看不到，有幾次在上學途中還差點被車撞到，十分危險。而在這個季節，班上好多同學都有嚴重的過敏現象，常常噴嚏打不停、鼻塞、鼻水狂流，眼睛又紅又腫！我的家鄉究竟出了甚麼問題？為何每到冬天空氣就變得這麼不一樣呢？後來請教了自然老師後才知道有種現象叫做「逆溫」，特別容易發生在冬末初春的季節，尤其是四面環山的盆地地形。搜尋網路有關逆溫現象的資料，發現在 1952 年時所發生的倫敦煙霧事件造成許多傷亡，所以，我們和老師討論過後，決定和同學一起來研究這個逆溫現象。

貳.研究目的

- 一、分析埔里地區 106~107 的空氣污染資料
- 二、對比埔里地區 106~107 的氣象資料
- 三、模擬不同溫差溫度分層的現象
- 四、以煙霧模擬在逆溫條件下的氣體流動情形

參.研究器材

銅管、密閉防潮箱、熱對偶溫度計、水管、抽水馬達、玻璃缸、噴霧器、相機、冷氣保溫管、保麗龍、發壓機、冷凍劑、熱水

肆.研究方法

何謂逆溫現象

- (一)輻射逆溫:冬天或初春的夜晚，地面因輻射冷卻降溫，而上層的空氣降溫緩慢，因此低層大氣產生逆溫現象。一般日出後逆溫現象就逐漸消失了。
- (二)平流逆溫:由於暖空氣流到冰冷的地面上而形成的逆溫稱為平流逆溫。當暖空

氣流到地面上時，暖空氣與冷地面之間進行熱量交換，下層空氣降溫強烈，上層降溫緩慢，而形成逆溫現象。強度主要決定於冷暖空氣的溫差。

(三)湍流逆溫:指由於低層空氣的湍流混合作用而形成的逆溫。當氣層的氣溫直減率小於幹絕熱直減率時，經湍流混合後，氣層的溫度分佈逐漸接近幹絕熱直減率，因湍流上升的空氣按幹絕熱直減率降低溫度。空氣下沉時，情況相反，致使下層氣溫升高。這樣就在湍流減弱層，形成逆溫層。

(四)下沉逆溫:因整層空氣下沉而導致的逆溫稱為下沉逆溫。當某氣層產生下沉運動時，因氣壓逐漸增大以及由於氣層向水平方向擴散，使氣層厚度減小。若氣層下沉過程是絕熱過程，這時空氣層頂部下沉的距離比底部下沉的距離大，致使其頂部絕熱增溫的幅度大於底部。因此，氣層頂部的氣溫高於底部，而形成逆溫。

(五)鋒面逆溫:冷暖空氣團相遇時，較輕的暖空氣爬到冷空氣上方，在界面附近出現逆溫。鋒面逆溫是由於鋒面上下冷暖空氣的溫度差異而形成的逆溫。

(六)地形逆溫: 在山區，夜間山坡上的空氣冷卻很快，於是冷空氣順坡下沉到谷底，把谷地中原來的暖空氣抬擠上升，而形成上暖下冷的逆溫現象。這種逆溫是要在一定的地形條件下才會形成，故稱為地形逆溫。中國南部的山地，冬季常有地形逆溫，在谷底或山坡下方因為氣溫低，不宜種植熱帶經濟作物。

一、分析埔里地區民國 106、107 年的空氣污染資料

我們從行政院環境保護署空氣品質監測網找到埔里地區民國 106、107 年連續兩年的空氣品質資料，選取空氣品質指標中的 PM_{2.5} 資料，再從中找出空氣品質較不佳的日子(PM_{2.5} 超標)進行分析。



The screenshot shows the 'Air Quality Monitoring Network' website. The main content area displays a table titled '不良日數月報表 (AQI)' for January 2017. The table lists various monitoring stations and their corresponding AQI data for different pollutants. The pollutants listed are: 臭氧 8 小時 (Ozone 8h), 臭氧 (Ozone), 細懸浮微粒 (PM2.5), 懸浮微粒 (PM10), 一氧化碳 (CO), 二氧化硫 (SO2), and 二氧化氮 (NO2). The table shows that for most stations, the AQI is 0, indicating no exceedances for these pollutants in January 2017.

測站型態	站名	AQI 大於 100 日數	指標污染物別日數						
			臭氧 8 小時	臭氧	細懸浮微粒	懸浮微粒	一氧化碳	二氧化硫	二氧化氮
總計		374	0	0	365	0	0	0	0
一般測站	小計	284	0	0	275	0	0	0	0
	基隆	0	0	0	0	0	0	0	0
	汐止	0	0	0	0	0	0	0	0
	新豐	0	0	0	0	0	0	0	0
	土城	0	0	0	0	0	0	0	0
	樹林	0	0	0	0	0	0	0	0
	新莊	0	0	0	0	0	0	0	0
	蘆荊	0	0	0	0	0	0	0	0
	林口	0	0	0	0	0	0	0	0
	淡水	0	0	0	0	0	0	0	0
	土城	0	0	0	0	0	0	0	0

圖一、行政院環境保護署空氣品質監測網

空氣品質指標是依據監測資料將當日空氣中臭氧 (O₃)、細懸浮微粒 (PM_{2.5})、懸浮微粒 (PM₁₀)、一氧化碳 (CO)、二氧化硫 (SO₂) 及二氧化氮 (NO₂) 濃度等數

值，以其對人體健康的影響程度，分別換算出不同污染物之副指標值，再以當日各副指標之最大值為該測站當日之空氣品質指標值 (AQI)。

空氣品質指標 (AQI)							
AQI 指標	O ₃ (ppm) 8 小時平 均值	O ₃ (ppm) 1 小時平 均值 ⁽¹⁾	PM _{2.5} (µg/m ³) 24 小時平 均值	PM ₁₀ (µg/m ³) 24 小時平 均值	CO (ppm) 8 小時 平均值	SO ₂ (ppb) 1 小時 平均值	NO ₂ (ppb) 1 小時 平均值
良好 0~50	0.000 - 0.054	-	0.0 - 15.4	0 - 54	0 - 4.4	0 - 35	0 - 53
普通 51~100	0.055 - 0.070	-	15.5 - 35.4	55 - 125	4.5 - 9.4	36 - 75	54 - 100
對敏感族群 不健康 101~150	0.071 - 0.085	0.125 - 0.164	35.5 - 54.4	126 - 254	9.5 - 12.4	76 - 185	101 - 360
對所有族群 不健康 151~200	0.086 - 0.105	0.165 - 0.204	54.5 - 150.4	255 - 354	12.5 - 15.4	186 - 304 ⁽³⁾	361 - 649
非常不健康 201~300	0.106 - 0.200	0.205 - 0.404	150.5 - 250.4	355 - 424	15.5 - 30.4	305 - 604 ⁽³⁾	650 - 1249
危害 301~400	⁽²⁾	0.405 - 0.504	250.5 - 350.4	425 - 504	30.5 - 40.4	605 - 804 ⁽³⁾	1250 - 1649
危害 401~500	⁽²⁾	0.505 - 0.604	350.5 - 500.4	505 - 604	40.5 - 50.4	805 - 1004 ⁽³⁾	1650 - 2049

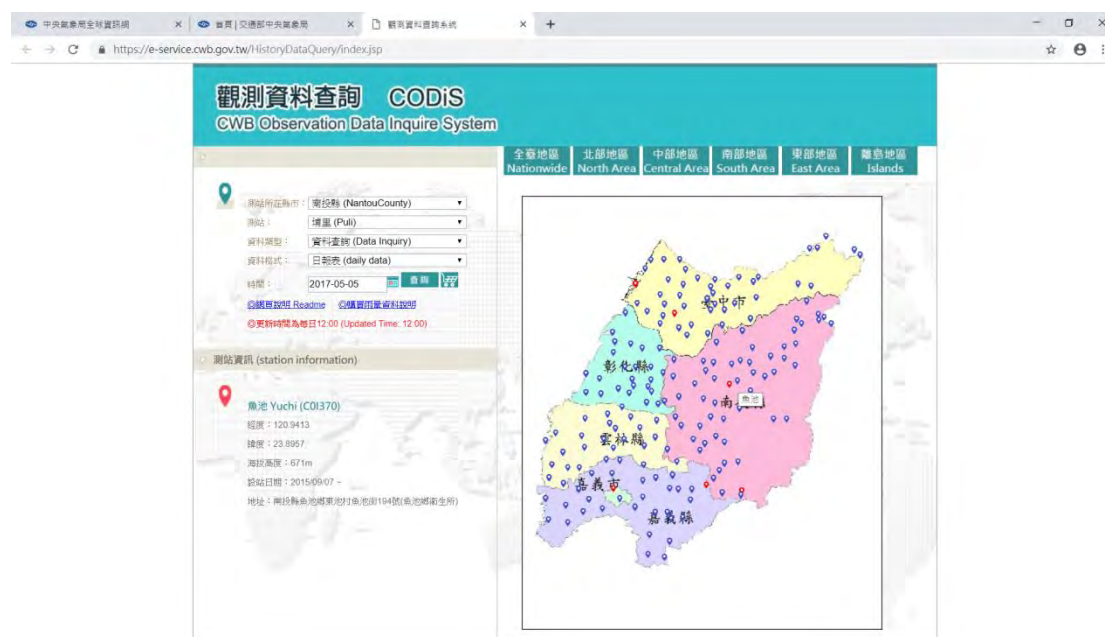
1. 一般以臭氧 (O₃) 8 小時值計算各地區之空氣品質指標 (AQI)。但部分地區以臭氧 (O₃) 1 小時值計算空氣品質指標 (AQI) 是更具有預警性，在此情況下，臭氧 (O₃) 8 小時與臭氧 (O₃) 1 小時之空氣品質指標 (AQI) 則皆計算之，取兩者之最大值作為空氣品質指標 (AQI)。
2. 空氣品質指標 (AQI) 301 以上之指標值，是以臭氧 (O₃) 1 小時值計算之，不以臭氧 (O₃) 8 小時值計算之。
3. 空氣品質指標 (AQI) 200 以上之指標值，是以二氧化硫 (SO₂) 24 小時值計算之，不以二氧化硫 (SO₂) 1 小時值計算之。

分類	良好	普通	對敏感族群不健康	對所有族群不健康	非常不健康	危害
指標等級	0~50	51~100	101~150	151~200	201~300	301~500
人體健康影響	空氣品質為良好，污染程度低或無污染。	空氣品質普通；但對非常少數之極敏感族群產生輕微影響。	空氣污染物可能會對敏感族群的健康造成影響，但是對一般大眾的影響不明顯。	對所有人的健康開始產生影響，對於敏感族群可能產生較嚴重的健康影響。	健康警報：所有人都可能產生較嚴重的健康影響。	健康威脅達到緊急，所有人都可能受到影響。

備註：AQI 預報為該預報日有效時間內（0 至 24 時），出現之可能最大即時 AQI 值及當時之指標污染物。但污染物濃度可能受其日夜變化影響，即時之指標污染物將有所變化。

二、分析埔里地區民國 106、107 年的氣象資料

我們從中央氣象局找到埔里地區在民國 106、107 年的氣象資料，並且依據空氣品質較不佳的日子，比對當日 24 小時的氣溫資料，來觀察有否發生逆溫或接近逆溫的現象。



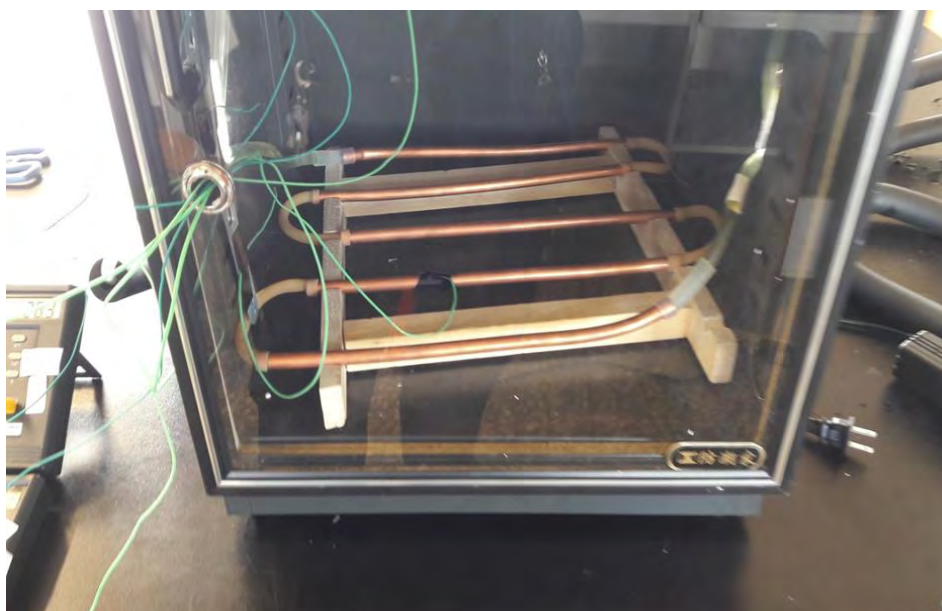
圖二、中央氣象局即時監測網

三、模擬不同溫差造成的溫度分層現象

我們將廢棄的防潮箱連接管線，再利用木架在箱子的頂部和底層，各裝置 5 根平行排列的銅管組，並連接外部的水槽，以沉水馬達帶動水流，改變上下層的溫度。我們使用五台的熱對偶溫度計，將感熱器固定在箱子內垂直方向的五個位置，用以同時測量不同高度的氣溫。為了讓實驗進行時減少熱量的損耗，我們在防潮箱、水槽、水管外側皆以保麗龍或保溫材質包覆，實驗裝置如下：



圖三、溫度分層觀察箱



圖四、觀察箱底部平行銅管裝置



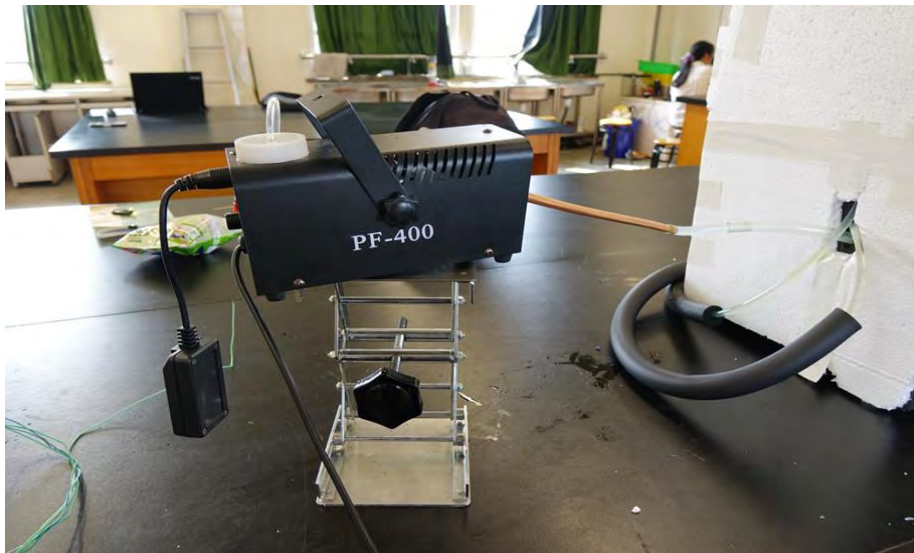
圖五、熱對偶溫度計，在箱內箱外的感應器上貼上標籤，區分五個分層的位置(底、下、中、上、頂)



圖六、水槽、觀測箱、水管接包覆保溫材質



圖七、沉水馬達可帶動水流循環



圖八、煙霧製造器及輸送的管道

我們控制兩個水槽的溫度，以沉水馬達造成水的循環流動，並利用平行銅管易導熱的特性，在觀測箱的底部和頂部，製造不同的氣溫環境。並藉由五個不同高度的感應器，分別偵測該位置的氣溫，即可獲得不同高度的氣溫資料。我們共做了四種不同的處理，在每次實驗後，皆要以空壓機將銅管系統裡的水吹乾，避免生鏽。

(一)上熱下常溫(模擬逆溫)

我們在觀測箱頂端以 50°C 的熱水循環通過銅管，讓觀測箱的頂部保持較高溫度，而下方保持室溫的狀態，每十分鐘記錄一次五個分層位置的氣溫，連續觀察四十分鐘，並記錄最後熱水的溫度。

(二)下熱上常溫(模擬非逆溫)

我們在觀測箱底端以 50°C 的熱水循環通過銅管，讓觀測箱的底部保持較高溫

度，而上方保持室溫的狀態，每十分鐘記錄一次五個分層位置的氣溫，連續觀察四十分鐘，並記錄最後熱水的溫度。

(三)上熱下冷 溫差(20、30、40 度) (模擬逆溫)

我們在觀測箱的頂端用銅管來讓熱水循環通過，並在底端讓冷水通過，來製造溫差，分別製造 20°C、30°C、40°C 的溫差，每十分鐘記錄一次五個分層位置的氣溫，連續觀察四十分鐘，並記錄最後冷熱水的溫度。

(四)上冷下熱 溫差(5、20、30、40 度) (模擬非逆溫)

我們在觀測箱的底部用銅管來讓熱水循環通過，並在頂端讓冷水通過，來製造溫差，分別製造 5°C、20°C、30°C、40°C 的溫差，每十分鐘記錄一次五個分層位置的氣溫，連續觀察四十分鐘，並記錄最後冷熱水的溫度。

四、模擬煙霧在逆溫現象下的流動情形

(一)模擬可對流環境

我們在觀測箱頂部以 20°C 的冷水通過銅管，底部則以 50°C 的熱水通過，製造一個上冷下熱易對流的環境，並利用噴霧器將煙霧導入觀測箱中，以攝影方式記錄煙的流動方式。

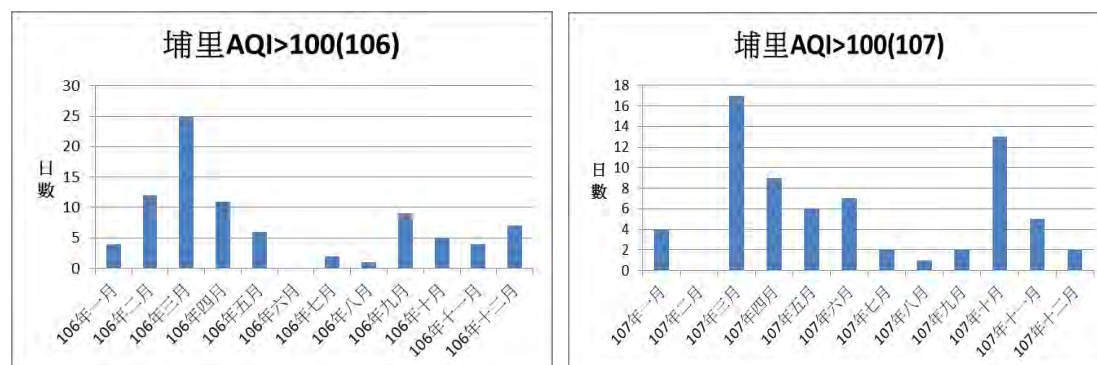
(二)模擬逆溫的環境

我們在觀測箱底部以 20°C 的冷水通過銅管，頂部則以 50°C 的熱水通過，製造一個上熱下冷的逆溫環境，並利用噴霧器將煙霧導入觀測箱中，以攝影方式記錄煙的流動方式。

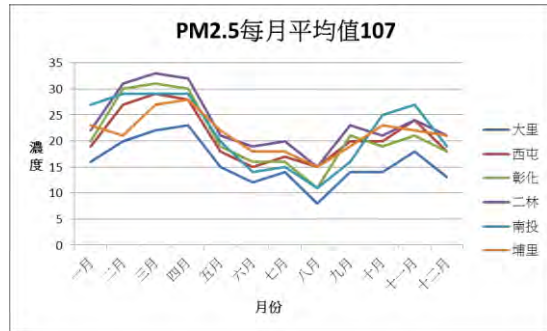
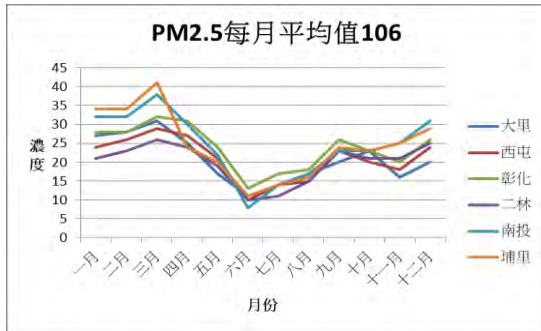
伍.研究結果

一、分析埔里地區的空氣污染資料

我們將民國 106、107 年的空氣汙染資料，進行整理後，發現埔里地區空氣品質不良的日子(AQI 指數大於 100)，以每年的三月份最為嚴重，三十天中一半以上的天數都呈現空氣品質不良的狀態(圖九)。PM_{2.5} 的濃度是影響空氣品質指標的要項之一，比對中部地區各監測站的資料也可發現 PM_{2.5} 濃度在十一月到隔年四月是空氣品質最差的時候，五月之後開始好轉，所以，空氣品質不好的時間大部分都落在氣溫偏低的季節，尤其在每年的三月(圖九)。

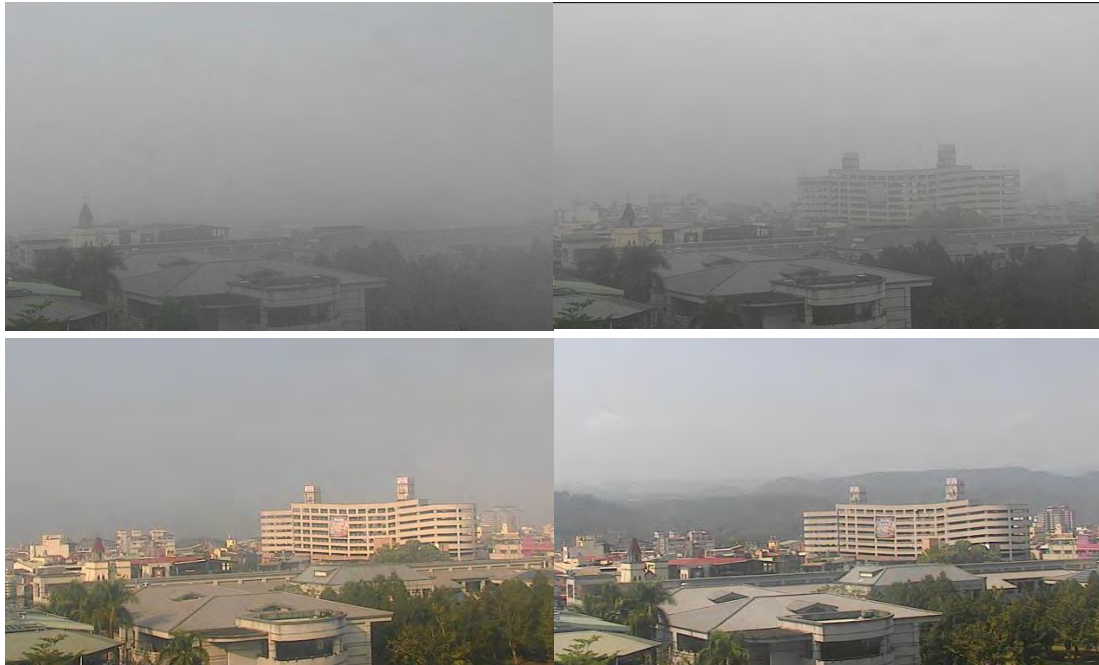


圖九、民國 106、107 年 AQI>100 的天數統計表



圖十、民國 106、107 年 PM_{2.5}濃度的月變化圖

在冬末春初時，在埔里地區的清晨常有濃霧發生，隨著氣溫上升濃霧也消散的快 (圖十一、圖十二)。但因為這個季節的空氣品質極差，因此，有許多的過敏族群深受其苦，既使戴上了口罩，仍無法免除過敏症狀的侵襲。



圖十一、同一個地點不同時間拍的相片(市區)(3月10日上午6點~下午13點)





圖十二:同一個地點不同時間拍的相片(虎頭山上)(濃霧壟罩時不易散去)

另外，我們將 106、107 年 PM_{2.5} 濃度最高的三月和七月份，統計當月每日每小時的 PM_{2.5} 濃度資料，將超標(環保署訂定標準)部分以紅色標示，發現，三月時大部分的時間都處於超標的狀況。

表一:106 年三、七月、107 年三月空氣品質資料

106年三月埔里監測站PM2.5(μ g/m3)資料																									
日期時間	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	平均
2017/03/01	67	63	64	63	59	57	59	57	57	59	46	29	27	37	41	45	55	59	59	59	55	51	44	37	52.0
2017/03/02	41	42	40	37	32	29	29	29	29	32	32	31	27	26	37	-5#	41	41	42	45	49	50	46	44	37.0
2017/03/03	48	47	45	43	38	37	40	40	42	45	39	33	36	43	53	58	53	44	44	51	55	48	43	48	44.7
2017/03/04	52	54	48	48	50	45	43	43	50	55	50	44	40	40	40	38	39	43	46	48	47	44	44	48	45.8
2017/03/05	46	47	49	45	44	43	44	44	48	54	47	44	46	47	50	54	60	55	48	48	51	48	46	47	48.1
2017/03/06	46	45	37	38	42	38	38	38	35	33	33	26	22	23	22	24	23	22	26	29	32	37	39	37	32.7
2017/03/07	32	35	39	39	41	39	36	37	39	44	43	41	40	40	41	38	42	51	58	53	44	43	44	45	41.8
2017/03/08	43	42	48	50	49	47	44	43	41	37	36	31	17	9		11	13	13	13	16	21	21	16	18	29.5
2017/03/09	20	23	24	24	27	23	21	24	29	29	25	25	24	32	46	54	54	54	55	56	53	50	53	49	36.4
2017/03/10	51	53	48	46	44	41	41	44	46	48	56	53	46	41	33	33	54	96	123	126	127	127	124	116	67.4
2017/03/11	101	95	99	98	90	89	84	86	102	91	58	33	19	20	30	41	51	58	58	54	55	56	54	48	65.4
2017/03/12	46	48	52	50	49	47	45	52	54	49	44	37	35	37	42	57	76	91	94	87	75	69	65	57	56.6
2017/03/13	53	52	46	34	27	28	31	31	28	29	35	31	27	30	35	34	35	42	45	49	61	69	71	71	41.4
2017/03/14	60	50	49	50	43	29	20	22	24	23	22	22	23	21	20	21	28	38	41	43	43	40	42	43	34.0
2017/03/15	41	45	46	43	44	44	38	32	33	33	29	27	28	32	33	34	38	47	60	64	62	62	65	65	43.5
2017/03/16	64	66	63	55	51	60	64	48		32	38	37	31	30	26	20	24	30	35	48	56	57	54	51	45.2
2017/03/17	53	57	58	59	60	57	55	55	59	51	35	-5#	52	51	57	62	65	68	67	70	67	65	71	74	59.5
2017/03/18	66	63	64	61	55	51	54	58	56	53	47	35	28	25	29	37	46	47	42	45	49	51	51	49	48.4
2017/03/19	48	48	51	50	47	51	51	49	52	50	47	48	45	37	33	37	37	33	37	46	43	39	43	43	44.4
2017/03/20	43	40	40	38	36	39	41	42	42	41	35	29	35	43	44		54	55	56	59	64	61	55	53	45.4
2017/03/21	54	61	58	57	54	46	46	48	49	49	47	39	34	38	39	34	31	30	31	29	26	35	40	36	42.1
2017/03/22	36	34	34	32	27	27	30	34	35	33	29	30	36	44	52	58	61	61	61	59	55	54	47	45	42.3
2017/03/23	49	52	52	49	49	50	48	49	54	50	42	34	27	23	19	14	16	23	26	28	34	34	33	34	37.0
2017/03/24	33	31	28	25	23	23	23	28	28	26	24	22	21	27	40	40	36	41	47	49	50	47	37	31	32.5
2017/03/25	26	25	29	30	33	38	36	36	39	39	32	26	28	23	21	26	27	29	27	21	21	24	26	22	28.5
2017/03/26	24	25	20	16	12	8	3	4	8	9	10	11	8	7	7	9	8	9	8	13	16	15	13	11.3	
2017/03/27	14	15	17	14	10	11	14	19	20	17	13	13	14	15	18	24	29	36	37	34	36	37	34	35	21.9
2017/03/28	34	30	26	29	29	24	24	29	32	37	35	30	32	35	42	54	60	55	43	36	40	39	37	40	36.3
2017/03/29	42	41	39	43	41	39	44	44	46	44	37	33	31	27		27	32	39	40	40	38	40	43	43	38.8
2017/03/30	40	38	39	41	38	37	36	35	42	43	36	33	32	37	46	58	62	53	42	37	35	33	32	35	40.0
2017/03/31	39	37	34	35	36	40	44	44	41	37	30	22	22	28	29	33	45	49	43	42	39	25	20	18	34.7
月平均																									41.4

從以上的資料(表一)可以看出，在冬末春初時埔里地區的空气品質很差，尤其在三月份，幾乎整個月的空气品質都很不好，到夏季時情況就能好轉。我們想知道空气品質特別糟的日子，大氣循環是否也出現了特別的狀況?所以我們再接著去找尋，這幾個月空气品質較不佳的日子，並比對當天的氣溫資料，看看是否產生逆溫現象。

二、分析氣象資料

我們找了 106 年三月、107 年三月空气品質較差的三天和其他月分超標日中數值最高的一天，比較埔里和魚池兩個氣象觀測站當日 24 小時的溫度資料，配合每小時的 PM2.5 濃度進行比較，埔里和魚池兩個氣象站的海拔高度差約為 231m，埔里站(東經 120 度 95'24"；北緯 23 度 97'22"，海拔 440m)和魚池站(東經 120 度 94'14"；北緯 23 度 89'57"，海拔 671m)兩地溫差約為 1.3°C 左右。我們將 106 年六月、七月、八月空气品質最好的那一天作為比較。可發現 PM2.5 濃度超標日，常會伴隨逆溫現象，且通常超過連續三小時以上。空气品質好的日子，有時也會出現逆溫，若是出現，持續時間通常較短(表二)。

表二:，埔里、魚池兩地氣溫比較(橘色溫差<0.5°C、黃色為出現逆溫)

2017.3.11				2017.3.12				2017.3.20			
PM2.5	埔里	魚池		PM2.5	埔里	魚池		PM2.5	埔里	魚池	
101	17.9	17.1	0.8	46	19.3	17.9	1.4	43	20.2	18.3	1.9
95	17.9	17	0.9	48	19.1	17.8	1.3	40	20	18.2	1.8
99	18	16.9	1.1	52	18.6	17.1	1.5	40	19.9	18.3	1.6
98	18	16.7	1.3	50	18.2	16.8	1.4	38	19.5	18.1	1.4
90	18	16.8	1.2	49	18.2	17	1.2	36	19.4	18.4	1
89	17.8	16.7	1.1	47	18.1	16.7	1.4	39	19.1	19.3	-0.2
84	17.8	16.6	1.2	45	18.1	16.2	1.9	41	19.6	18	1.6
86	19	18.9	0.1	52	18.9	18.9	0	42	19.9	19.7	0.2
102	20.4	21.8	-1.4	54	21.1	20.5	0.6	42	22.4	21.4	1
91	23.3	22.8	0.5	49	23.2	22.4	0.8	41	23.9	23.1	0.8
58	25.4	23.3	2.1	44	24.3	24.1	0.2	35	25.5	24.6	0.9
33	25.4	25.9	-0.5	37	26.3	24.7	1.6	29	26.2	25.1	1.1
19	24.7	24.8	-0.1	35	26.8	26.3	0.5	35	26.1	24.2	1.9
20	24.1	24	0.1	37	27.2	27	0.2	43	26.3	23.9	2.4
30	24.2	22.9	1.3	42	26.4	25.1	1.3	44	25.7	24.7	1
41	23.7	21.9	1.8	57	25.3	23.2	2.1		26.3	24.5	1.8
51	23.6	21.1	2.5	76	22.3	21.3	1	54	25.2	23.4	1.8
58	22.3	20.1	2.2	91	21.3	20.1	1.2	55	24	22.1	1.9
58	21.2	19.1	2.1	94	21	19.8	1.2	56	23.5	21.5	2
54	20.4	18.4	2	87	20.3	19.5	0.8	59	22.8	20.8	2
55	20.2	18.5	1.7	75	20.4	18.7	1.7	64	22.8	20.6	2.2
56	20.1	18.3	1.8	69	20.6	18.8	1.8	61	22.5	20.6	1.9
54	19.6	18.3	1.3	65	20.4	18.9	1.5	55	21.5	20.5	1
48	19.2	18	1.2	57	20.8	18.6	2.2	53	20.4	19.3	1.1
65.4				56.6				45.4			

2018.3.14				2018.3.26				2018.3.30			
PM2.5	埔里	魚池	溫差	PM2.5	埔里	魚池	溫差	PM2.5	埔里	魚池	溫差
37	14.6	13.6	1	37	15.8	14.2	1.6	40	18.1	15.9	2.2
36	14.5	13.6	0.9	39	15.4	13.3	2.1	39	17.1	15.6	1.5
35	14.5	12.6	1.9	41	14.8	12.9	1.9	36	16.8	15.1	1.7
36	14.3	12.8	1.5	40	14.2	13	1.2	35	16.6	14.6	2
38	14	12.9	1.1	37	13.8	12.3	1.5	35	16.1	14.7	1.4
39	14.2	13.3	0.9	35	13.5	12.4	1.1	33	15.8	14.4	1.4
39	14.6	13.9	0.7	35	14.8	13.5	1.3	32	16	15.7	0.3
39	15.5	16.1	-0.6	35	16.3	16.4	-0.1	35	18	18.1	-0.1
41	19.2	19.1	0.1	36	18.9	18.8	0.1	39	20.4	21	-0.6
41	20.8	21.2	-0.4	35	21.1	21.2	-0.1	35	23.3	22.3	1
35	24	22.6	1.4	34	22.9	20.2	2.7	27	25.3	23.3	2
24	25.2	23.5	1.7	29	24.1	21.8	2.3	25	25.7	23	2.7
21	24.6	23.3	1.3	30	24.5	22.8	1.7	28	26.1	23.8	2.3
28	23.3	22.1	1.2	32	24.7	22.1	2.6	34	26.5	23.6	2.9
41	23.2	22	1.2	32	25.3	23.5	1.8	40	26	24	2
46	23	21.8	1.2	36	24	21.8	2.2	43	25.8	24.5	1.3
40	22.4	21.3	1.1	42	21.9	19.9	2	46	25.3	23.5	1.8
34	21.4	19.7	1.7	42	20.8	18.7	2.1	41	24.2	22	2.2
33	20.5	18.9	1.6	38	20	18.1	1.9	35	23.5	20.6	2.9
33	19.1	17.3	1.8	35	19.6	17.4	2.2	35	22		
36	18.3	16.3	2	35		17.3		36	20.5	19.1	1.4
42	/	16.1		38	18.1	16.2	1.9	35	19.7	17.9	1.8
45	17.3	15.8	1.5	37		15.5		38	19	17.1	1.9
42	16.9	15.3	1.6	35	16.6	14.9	1.7	39	18.3	16.6	1.7
36.7				36.0				35.9			

2017.1.13				2017.2.7				2017.4.7			
PM2.5	埔里	魚池	溫差	PM2.5	埔里	魚池	溫差	PM2.5	埔里	魚池	溫差
50	18	16.5	1.5	55	14.5	13.5	1	52	19.3	17.9	1.4
54	17.9	17	0.9	56	14.5	13	1.5	52	19.5	18	1.5
55	18.1	16.7	1.4	58	15	13.8	1.2	56	19.2	18	1.2
52	17.9	16.5	1.4	54	14.2	13.3	0.9	56	18.9	17.5	1.4
50	17.8	16.3	1.5	53	13.8	12.8	1	53	19.1	17.4	1.7
47	17.5	16.3	1.2	51	13.3	12.3	1	50	18.9	18.4	0.5
52	17.9	16.2	1.7	44	13.3	12.8	0.5	49	19.2	18.9	0.3
62	18.1	17	1.1	39	15.3	14.8	0.5	57	20.3	19.4	0.9
65	19	18.4	0.6	42	17.4	16.3	1.1	55	21.7	20.2	1.5
67	20.2	20	0.2	45	19.6	19.1	0.5	48	21.8	21.2	0.6
68	21.6	22.2	-0.6	45	20.6	19.7	0.9	44	21.7	21.1	0.6
61	22	21.7	0.3	44	21.5	19.6	1.9	42	22.9	23.3	-0.4
54	22.2	21	1.2	42	21.2	19.5	1.7	40	23.5	23.4	0.1
50	21.1	20.4	0.7	49	21.7	19.3	2.4	31	24.6	24.5	0.1
44	20.8	20.3	0.5	59	21.2	19.6	1.6	26	25.9	24.5	1.4
44	20.1	19.3	0.8	66	20.6	19.2	1.4	28	26	24.2	1.8
45	19.6	18.8	0.8	70	20.1	18.5	1.6	25	25.4	23.5	1.9
49	19.2	18.6	0.6	69	19.2	16.7	2.5	27	24.4	22.9	1.5
50	18.8	18.5	0.3	75	17.7	15.4	2.3	31	23.6	21.9	1.7
44	18.8	18.1	0.7	80	16.2	14.3	1.9	38	22.6	21.1	1.5
47	18.4	18.1	0.3	80	15.4	13.9	1.5	41	21.2	19.8	1.4
48	17.9	17.4	0.5	80	14.8	13.2	1.6	38	20.4	19	1.4
42	17.8	16.8	1	76	14.4	12.7	1.7	36	19.7	18.3	1.4
39	16.9	16.6	0.3	69	13.8	12.4	1.4	32	19	17.9	1.1
51.6				58.4				41.96			

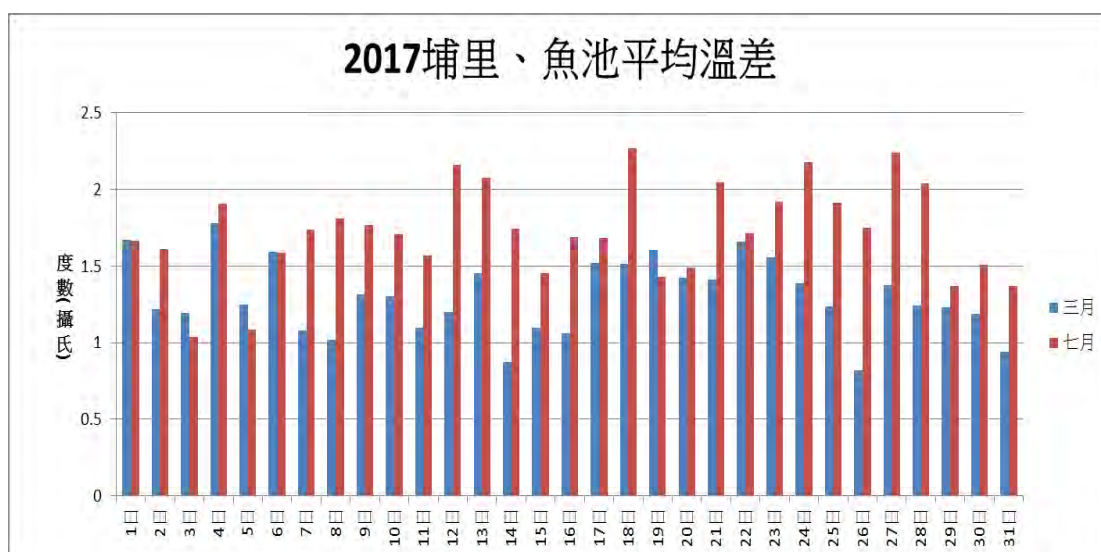
2017.7.29				2017.9.23				2017.10.9			
PM2.5	埔里	魚池	溫差	PM2.5	埔里	魚池	溫差	PM2.5	埔里	魚池	溫差
48	26.2	24.3	1.9	35	25.6	23.7	1.9	28	24.5	23.3	1.2
48	26	24.4	1.6	34	25.6	23.8	1.8	29	24.2	22.5	1.7
46	26.1	24.5	1.6	34	25.2	23.1	2.1	28	23.6	22.1	1.5
45	26.1	24.4	1.7	33	24.7	22.8	1.9	32	23.4	21.7	1.7
47	25.8	24.2	1.6	30	24.5	22.7	1.8	35	23.2	21.7	1.5
48	25.8	24.3	1.5	25	24.3	22.3	2	35	23	21.5	1.5
49	26.1	24.7	1.4	22	25.2	24.3	0.9	36	23.5	23.5	0
48	26.6	25.1	1.5	24	26.8	26.1	0.7	37	26.5	27.2	-0.7
45	27.1	25.3	1.8	29	29.3	28.4	0.9	37	31.1	31.7	-0.6
42	27.2	25.4	1.8	32	30.4	29.4	1	29	33.4	31.9	1.5
37	27.2	25.4	1.8	34	31.8	30.8	1	21	31.5	32.2	-0.7
40	27.4	25.8	1.6	31	33.3	30.8	2.5	26	30.2	32.7	-2.5
45	27	25.2	1.8	26	32.7	32	0.7	36	30.7	30.3	0.4
43	27.3	24.8	2.5	29	33.1	30.2	2.9	41	31.1	30	1.1
43	24.1	22.7	1.4	34	33.1	31.9	1.2	38	31.4	31	0.4
43	23.7	23	0.7	36	31.4	31.6	-0.2	39	30.7	28.7	2
37	23.6	22.5	1.1	41	30.8	28.9	1.9	40	29.6	27.7	1.9
30	23.4	22.4	1	44	29.4	27.6	1.8	44	28.3	26.5	1.8
27	23.3	22.4	0.9	44	29	26.4	2.6	53	27.9	25.7	2.2
21	23.6	22.9	0.7	42	28.2	26.2	2	55	26.9	25	1.9
12	24	23.2	0.8	40	27.7	25.6	2.1	56	25.9	24.4	1.5
4	23.2	22.6	0.6	44	27.3	25.4	1.9	50	25.2	23.7	1.5
2	23.4	22.9	0.5	48	26.6	24.9	1.7	47	24.5	23	1.5
1	23.9	22.8	1.1	49	26	24.3	1.7	47	24.1	22.7	1.4
35.5				35.0				38.3			

2017.11.29				2017.12.28				2018/01/01			
PM2.5	埔里	魚池	溫差	PM2.5	埔里	魚池	溫差	PM2.5	埔里	魚池	溫差
35	19.7	18.1	1.6	75	17.7	16.1	1.6	58	15.1	13.6	1.5
34	19.5	17.8	1.7	70	17.3	16.1	1.2	63	14.7	13.7	1
34	19.4	17.8	1.6	67	17.2	15.4	1.8	57	14.8	13.5	1.3
37	18.7	17.4	1.3	70	16.5	14.8	1.7	53	14.5	13.3	1.2
35	18.4	16.7	1.7	68	16.2	14.7	1.5	52	14.3	13.1	1.2
30	18	16.3	1.7	61	16.1	14.5	1.6	47	14.5	13.2	1.3
27	17.6	16.4	1.2	47	15.6	13.8	1.8	45	14.1	13.1	1
24	18.4	20.3	-1.9	38	16.5	14.9	1.6	46	15	14.2	0.8
26	20.7	22.4	-1.7	39	17.7	18.2	-0.5	47	16.3	17.6	-1.3
33	23.3	24.8	-1.5	41	19.5	19.2	0.3	47	19.4	19.6	-0.2
33	26.1	27.7	-1.6	37	20.4	20.2	0.2	40	21.6	21.8	-0.2
20	27.7	27	0.7	36	21.1	20.6	0.5	25	23.5	21.5	2
13	27.8	27.3	0.5	36	23.1	22.3	0.8	14	23	21	2
14	28.2	28.9	-0.7	29	22.3	20.6	1.7	17	22.9	20.3	2.6
23	27	26.7	0.3	29	21.7	20.8	0.9	20	23.5	20.4	3.1
47	25.8	25.1	0.7	40	21.4	19.6	1.8	19	22.3	20.1	2.2
62	24.4	22.9	1.5	56	20.1	18.5	1.6	21	20.9	19.1	1.8
65	23.6	22.5	1.1	80	19.7	17.7	2	25	19.5	17.2	2.3
74	22.3	21.3	1	96	18.9	17.2	1.7	28	17.7	15.7	2
77	22.2	21.2	1	97	18.6	17.1	1.5	35	16.5	15.2	1.3
74	22.2	20.9	1.3	97	17.6	16.4	1.2	35	16.6	15.6	1
75	21.8	21	0.8	83	16.6	15.4	1.2	32	16.6	15.6	1
61	21.4	20.6	0.8	56	16.1	14.9	1.2	30	16.3	15.4	0.9
37	20.6	20	0.6	35	15.7	14.2	1.5	28	16.1	15.2	0.9
41.3				57.6				36.8			

2018.4.21				2018.7.17				2018.11.6			
PM2.5	埔里	魚池	溫差	PM2.5	埔里	魚池	溫差	PM2.5	埔里	魚池	溫差
29	20.1	17.9	2.2	36	24.6	23.1	1.5	22	20.1	18.7	1.4
30	19.9	18.1	1.8	33	24	23.2	0.8	25	19.7	18.3	1.4
28	19.9	17.7	2.2	28	24	22.2	1.8	25	19.3	18.1	1.2
32	/	18		26	24	22	2	24	19.1	17.7	1.4
37	19.6	17.6	2	25	23.9	22.4	1.5	21	18.6	17.3	1.3
36	19.2	17.6	1.6	23	23.8	22.5	1.3	21	18.4	17.1	1.3
33	20.5	20	0.5	23	25.2	24.8	0.4	24	18.9	18.2	0.7
33	21.4	20.4	1	28	26.8	26.5	0.3	25	20.4	20.7	-0.3
34	23.4	23.2	0.2	33	29.6	28.9	0.7	26	23	23.5	-0.5
31	25	24.3	0.7	33	31.1	30.4	0.7	22	25.2	25.1	0.1
31	27	25.3	1.7	31	34.8	33	1.8	18	28.4	26.5	1.9
32	27.6	26.5	1.1	21	37.1	34.5	2.6	17	29.4	27.5	1.9
29	28	27	1	15	37.4	34.2	3.2	18	29.1	26.3	2.8
27	28.3	26	2.3	14	33.1	34.4	-1.3	25	28.7	26	2.7
28	27.8	27.8	0	28	32.5	32.5	0	34	28.2	27.8	0.4
34	26.7	25.4	1.3	52	32	30.9	1.1	39	27.6	26.2	1.4
45	25.5	24	1.5	60	31.3	30.7	0.6	46	25.9	24.2	1.7
52	25	23.7	1.3	65	30.3	28.4	1.9	59	25	23.2	1.8
49	24.4	22.7	1.7	60	29.7	27.5	2.2	69	24.3	22.8	1.5
49	24.3	22.3	2	52	28.7	26.9	1.8	71	23.9	21.9	2
49	23.6	22.3	1.3	54	27.6	25.9	1.7	71	23	21.7	1.3
45	23.3	21.6	1.7	53	27.1	25.4	1.7	69	22.3	21.1	1.2
42	22.7	21.4	1.3	49	26.2	25.1	1.1	64	21.7	20.4	1.3
43	21.8	21.2	0.6	35	26	24	2	60	21.3	20	1.3
36.6				36.5				37.3			

2017.6.17				2017.7.31				2017.8.23			
PM2.5	埔里	魚池	溫差	PM2.5	埔里	魚池	溫差	PM2.5	埔里	魚池	溫差
11	21.6	20.6	1	6	24.5	23	1.5	11	23.4	22.5	0.9
7	21.6	20.5	1.1	3	24.1	22.7	1.4	8	23.7	22.3	1.4
7	21.2	20.3	0.9	3	23.9	22.5	1.4	3	23.6	22.5	1.1
4	21.2	20.1	1.1	1	23.6	21.7	1.9	3	23.3	22.2	1.1
1	21.3	20.2	1.1	1	23.4	21.8	1.6	3	23.3	22.2	1.1
3	21.5	20.7	0.8	1	23.2	21.5	1.7	6	23.4	22.2	1.2
3	21.7	21.3	0.4	2	23	21.6	1.4	9	23.6	22.8	0.8
2	22.1	21.9	0.2	2	22.4	21	1.4	6	24.6	23.9	0.7
4	22.6	21.7	0.9	2	22	21.1	0.9	8	26.5	25.9	0.6
6	22.9	22.1	0.8	2	22.2	21	1.2	11	28.5	29.1	-0.6
3	23.4	22.4	1	4	22.5	21.3	1.2	11	30.5	29	1.5
3	23.3	22	1.3	4	22.7	21	1.7	11	30.3	28.1	2.2
1	23	22.2	0.8	2	22.9	21.7	1.2	7	29.6	24.9	4.7
1	22.7	22.1	0.6	3	23.1	22.3	0.8	4	28.4	26.9	1.5
6	22.6	22.4	0.2	1	23	22.1	0.9	7	28.2	27.1	1.1
6	22.6	21.8	0.8	1	23.4	22.6	0.8	8	27.2	25.4	1.8
2	22.6	21.6	1	4	23.6	22.9	0.7	9	27.1	25.1	2
6	22.6	21.9	0.7	3	23.6	22.6	1	8	27.1	24.9	2.2
8	22.6	21.6	1	1	23.6	21.8	1.8	9	26.5	24.5	2
7	22.2	21.3	0.9	1	23.5	21.5	2	16	25.5	24.2	1.3
2	22.3	21.3	1	7	22.9	21.4	1.5	19	25.6	23.7	1.9
2	22.2	21.2	1	12	23	21.4	1.6	19	25.5	24	1.5
4	22.1	21	1.1	10	22.9	21.3	1.6	16	25.1	23.9	1.2
6	22.1	21.1	1	7	22.7	21.1	1.6	16	25.1	23.9	1.2
4.4			0.86	3.5			1.37	9.5			1.43

我們比較 106 年三月和七月每日兩地的溫差平均值，發現三月時每日的溫差較小約在 0.8~1.8°C 之間，平均約為 1.3°C；七月時每日的溫差較大，約在 1.0~2.3°C 之間，平均約為 1.7°C，可見夏季時兩地溫差差異較大。從表二的結果發現空氣品質不良的日子，常伴隨溫度較低且有連續逆溫的現象，溫度低時氣體分子運動速度較小，擴散就較不易；在夏季時，氣溫高，氣體的運動也較劇烈，擴散也較容易，但有時也會發生逆溫現象，不過逆溫持續的時間都通常較短，此現象可能的原因為埔里溫度快速下降或魚池溫度快速上升，例如夏季常有午後雷陣雨的發生，若埔里降雨而魚池沒有降雨造成短時間的氣溫快速變化，就可能造成夏季的短暫逆溫現象。所以，可由圖十三發現夏季時兩地的溫差變化較大。



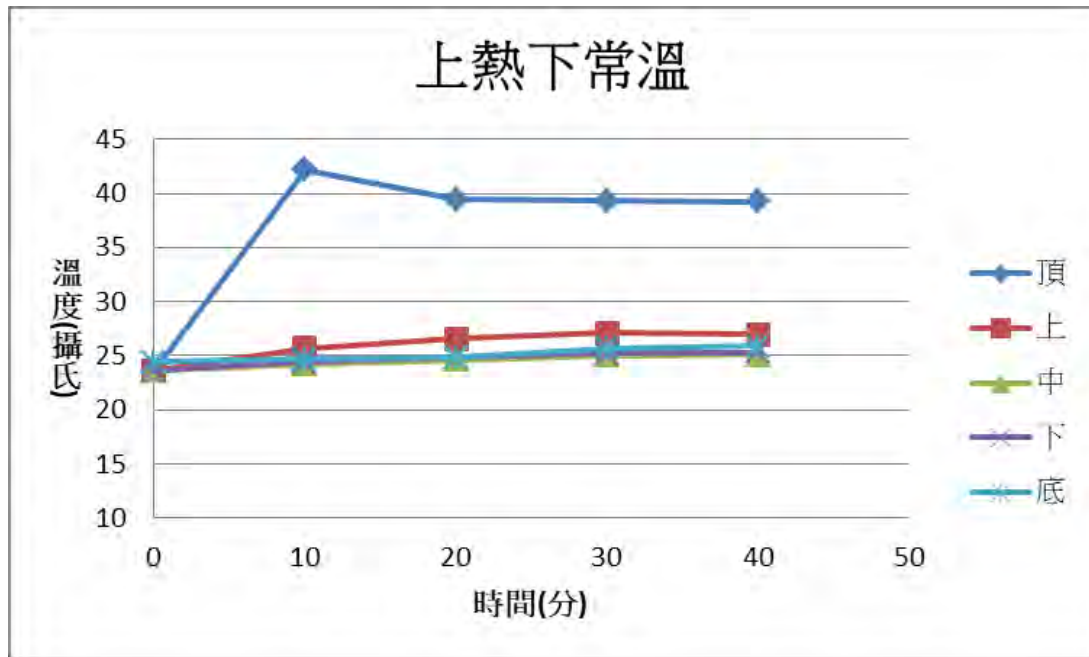
圖十三：106 三月和七月每日平均溫差變化圖

我們將 106、107 年所有 PM_{2.5} 超標的日子，加上未超標月 PM_{2.5} 的最高日，比對逆溫現象發生的機率，發現 106 年超標日伴隨逆溫發生的比率為 90%(61/68)，107 年超標日伴隨逆溫發生的比率為 83%(20/24)，可見 PM_{2.5} 超標與逆溫現象有關連性。

三、模擬不同溫差溫度分成的現象

(一)上熱下常溫

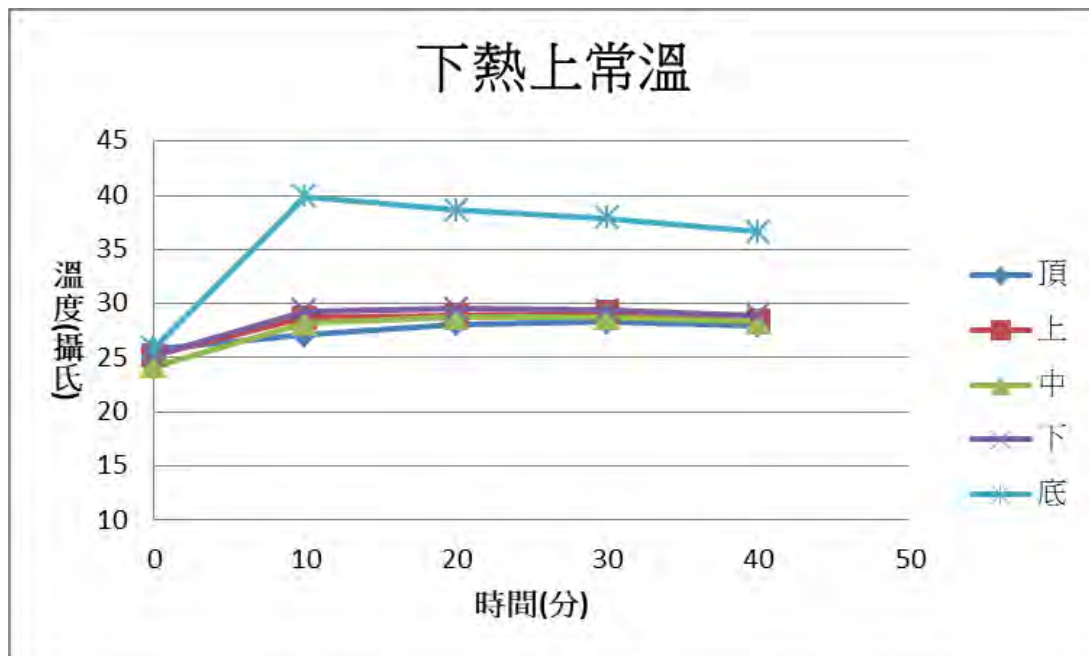
在上熱下常溫的條件下(逆溫)，可以發現只有靠近頂部的溫度偏高，而其他位置溫度並無顯著上升，幾乎皆維持室溫(圖十四)。由此可以推斷此時箱子內熱的傳播很慢，也可說是沒有顯著對流的情形。逆溫情形發生時，埔里盆地的氣層就如同箱子的底層，沒有顯著對流的情形時，汙染物不易以垂直方向擴散，容易堆積於埔里盆地。



圖十四、上熱下常溫五個測量高度的溫度變化圖

(二)下熱上常溫

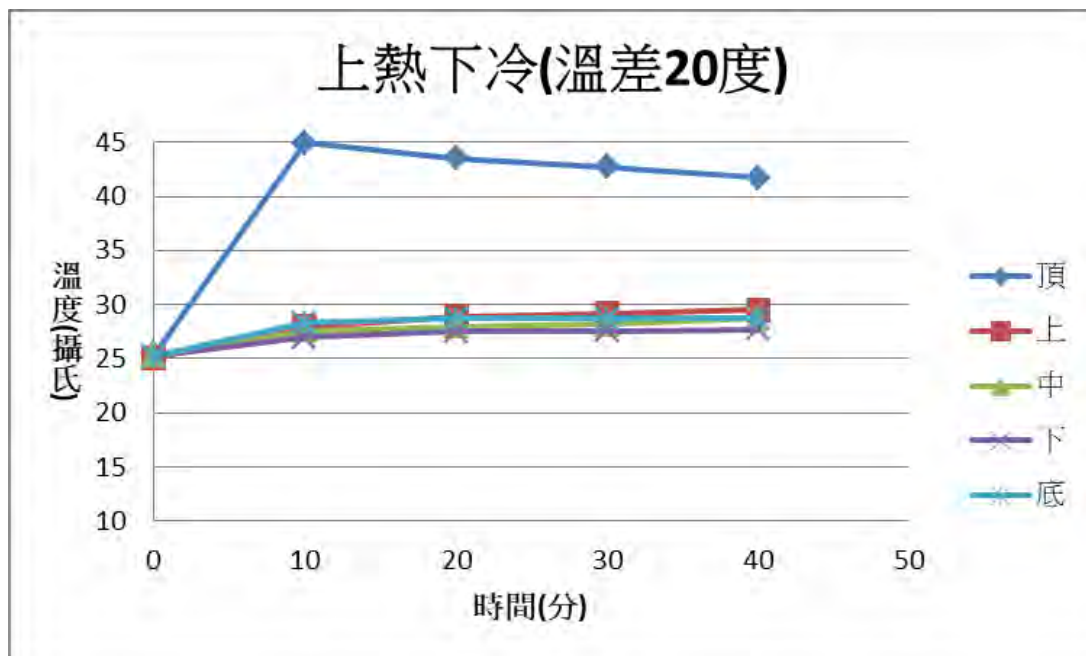
接著我們將高溫區移到觀測箱的下方，且使上方維持氣溫的狀態，並觀察內部不同層的氣溫變化。可以看出上、中、下、頂層的氣溫和上熱下常溫不同，溫度皆上升了 5°C，到最後都會達到一點熱平衡，而不是分散開來，說明裡面確實空氣可以對流 (圖十五)。



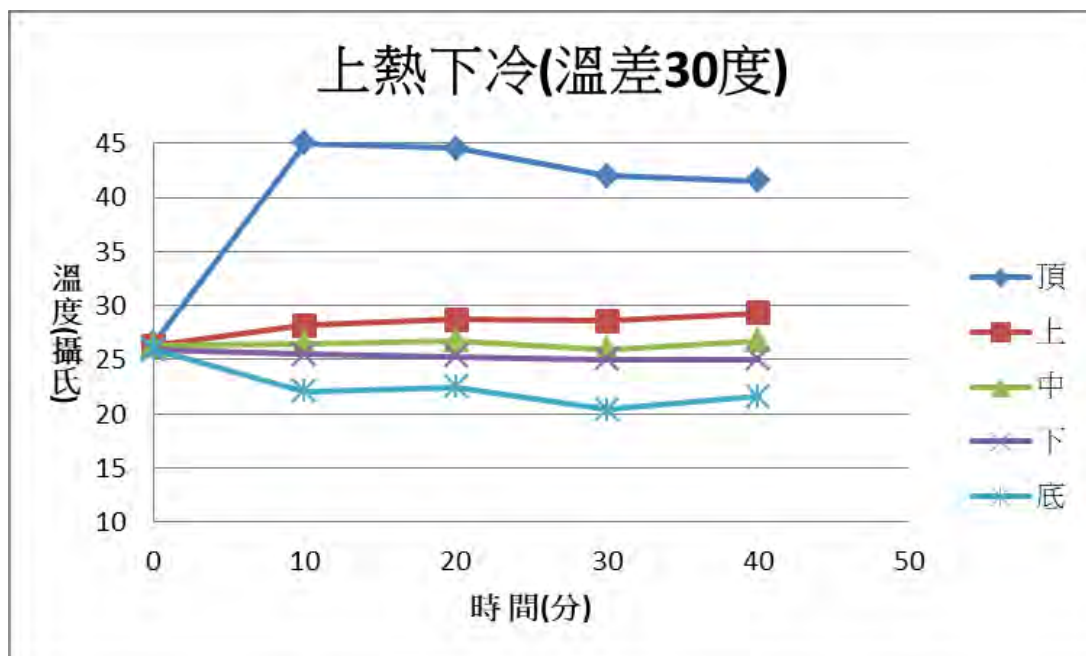
圖十五、上常溫下熱五個測量高度的溫度變化圖

(三)上熱下冷 溫差(20、30、40 度)

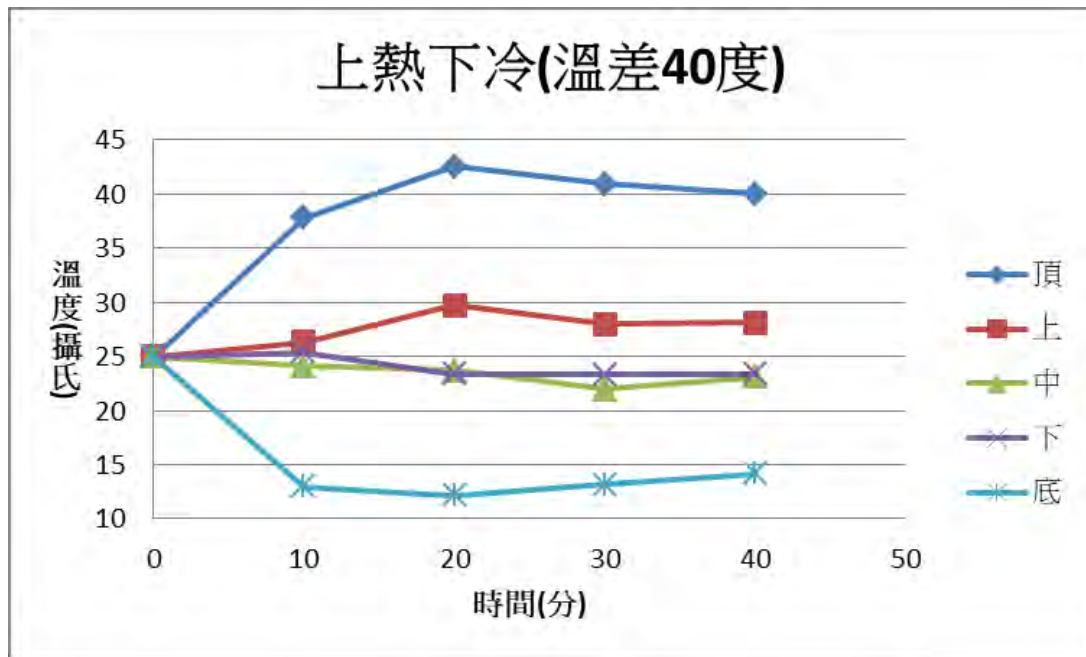
我們接著分別將熱水導入箱子上方、冷水導入下方，並將冷、熱水的溫差以 20 度、30 度、40 度，來進行實驗，觀察溫度是否容易達成平衡。由實驗結果可以發現當冷熱水間的溫差越高，溫度分層的現象越明顯，證明了當溫差越高，對流越不易發生，垂直方向熱傳播困難 (圖十六、圖十七、圖十八)。



圖十六、上熱下冷(溫差 20 度)五個測量高度的溫度變化圖



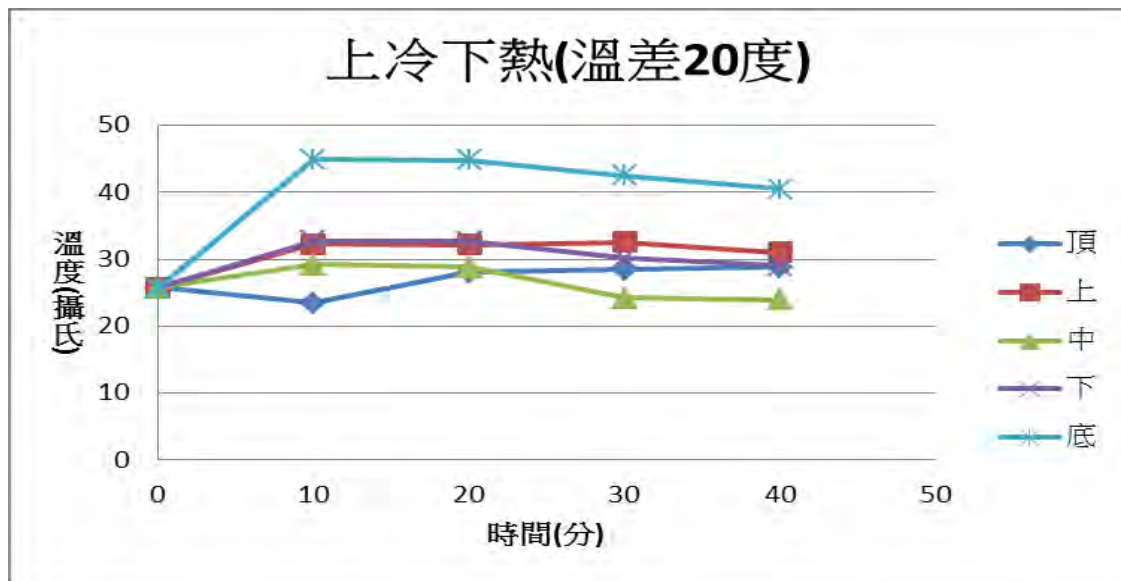
圖十七、上熱下冷(溫差 30 度)五個測量高度的溫度變化圖



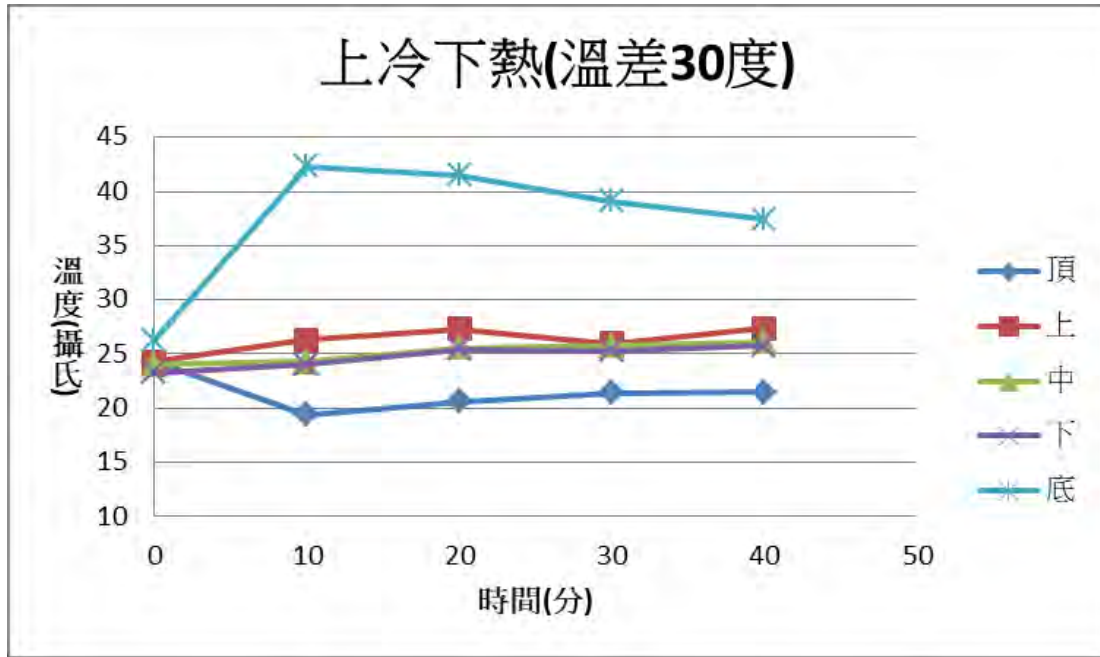
圖十八、上熱下冷(溫差 40 度)五個測量高度的溫度變化圖

(四)上冷下熱 溫差(5、20、30、40 度)

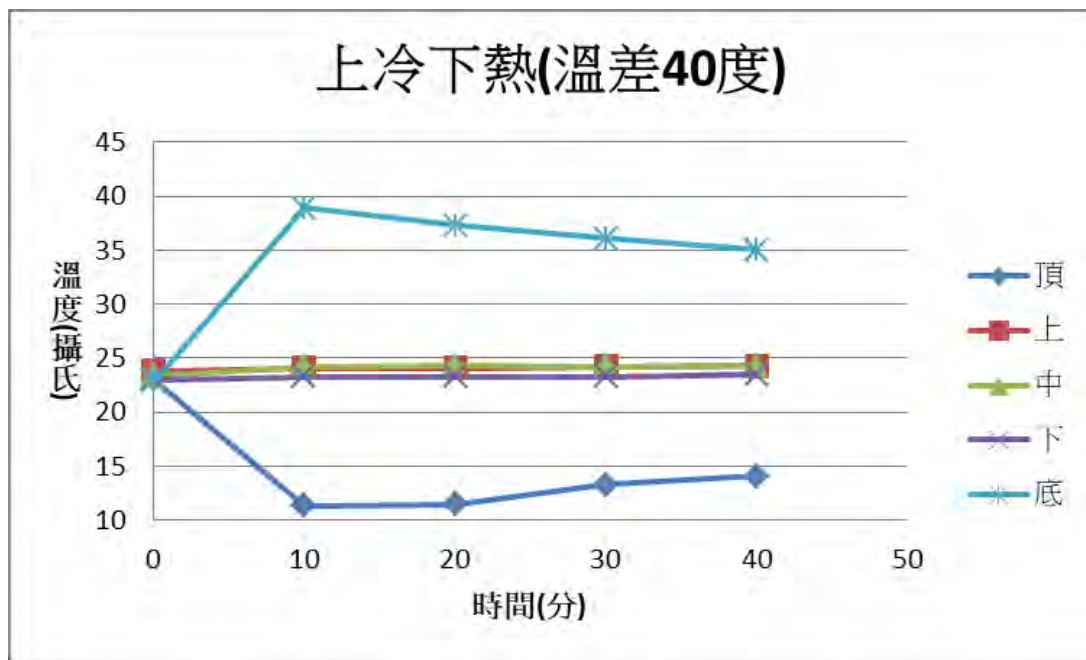
我們接著分別將冷水導入箱子下方、熱水導入上方，並將冷、熱水的溫差以 5 度、20 度、30 度、40 度，來進行實驗，觀察溫度是否容易達成平衡。發現溫差在 20~40 度時，都較容易達到平衡，**溫差越大，對流越旺盛**，越快達到熱平衡(圖十九、圖二十、圖二十一)。但是在溫差小於 5 度時垂直熱對流現象會變的不明顯，導致溫度不容易平衡，所以**溫差變小時也會發生類似逆溫的現象**(圖二十二)。



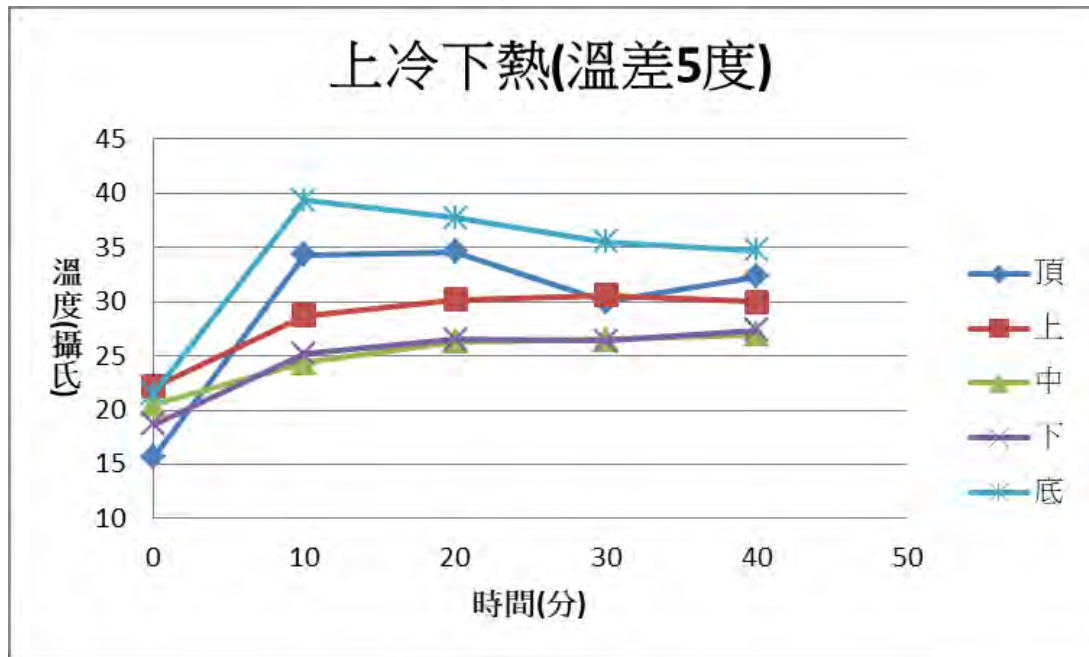
圖十九、上冷下熱 (溫差 20 度)五個測量高度的溫度變化圖



圖二十、上冷下熱 (溫差 30 度)五個測量高度的溫度變化圖



圖二十一、上冷下熱 (溫差 40 度)五個測量高度的溫度變化圖



圖二十二、上冷下熱 (溫差 5 度)五個測量高度的溫度變化圖

四、模擬煙霧在逆溫現象下的流動情形

(一) 模擬逆溫環境

我們在防潮箱內形成一個上熱下冷的空間，並且利用噴霧器將煙霧噴入防潮箱內，觀察煙霧的流動情形發現下方灌入煙霧時，因缺乏熱對流現象，煙霧很快就會落下。如圖二十三



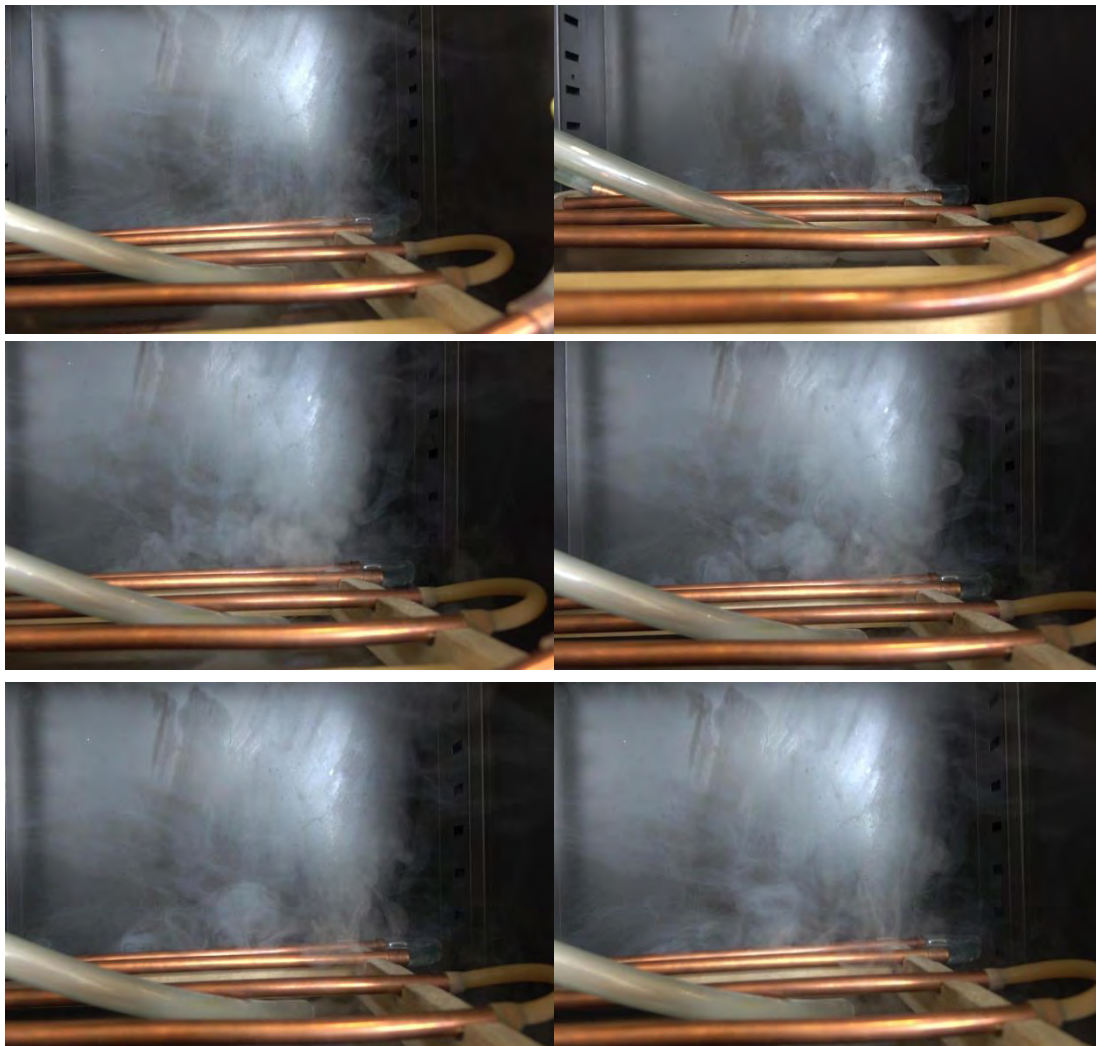


圖二十三、逆溫時(不可對流)的煙霧移動情形，煙霧停滯在底部

可以發現當煙霧往上流後，馬上就會被壓下來且只在底層流動，證實了逆溫發生時，會影響垂直方向的空氣擾動。我們也發現在冷熱之間溫差越近時，即使是下熱上冷，空氣對流會越來越慢，也會發生類似逆溫時空氣不易流動的現象。

(二)模擬非逆溫(可對流)環境

我們在防潮箱內形成一個下熱上冷的空間，並且利用噴霧器將煙霧噴入防潮箱內，觀察煙霧的流動情形來驗內部空氣是否可以對流，如圖二十四。由影片可發現當煙霧一噴進去箱子內，就立刻開始對流，並且進行上下的循環，由此可知箱子的內部確實可以讓空氣進行對流，此時垂直方向的氣體擴散佳。



圖二十四:非逆溫(可對流)環境，煙霧順利上升

陸.討論

空污問題已成為國家最緊迫的環境問題之一，而細懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 可能是造成的主因之一。近幾年來，因工業化與都市化結果，使得空汙事件頻傳，引起民眾與科學研究學者等的重視與關注。依據環保署 107 年資料分析，探討臺灣中部地區 $PM_{2.5}$ 平均含量之區域特性，發現中部地區不分都市與鄉村，空氣品質長達危害標準(圖十)。不同季節的 $PM_{2.5}$ 也有不同變化趨勢，一年當中以六~九月為台灣的雨季，隨著旺盛的對流及降雨，空氣污染物會降至地面，因此 $PM_{2.5}$ 值較低；十二~三月是台灣的乾季，降雨量少，污染物不易沉降，故 $PM_{2.5}$ 值也較高。

對流層大氣的溫度隨高度升高而降低，但有時候在某些地區會出現氣溫不隨高度變化或隨高度升高反而增加的現象。氣象上把溫度不隨高度變化的大氣層稱為等溫層，而把溫度隨高度升高而增加的大氣層稱為逆溫層。如果它們出現在地面附近，則會限制地表熱對流的發生，使得地面含汙染物氣流被半空較暖的氣層頂住，導致大氣的垂直移動能力受到限制，汙染物因而無法向上傳送，汙染物擴散不出去，就造成空氣品質不佳的狀況。埔里盆地屬於相對的低點，若發生逆溫現象時，造成對流不佳，容易使汙染物累積於下層，使得埔里 AQI 指數變高。

在陳律言等(2008)關於台北盆地熱島效應的研究中，提到在夏天時，逆溫層也是造成熱島現象的一大原因，逆溫層會使熱氣無法消散，且使地表的長波輻射難以散逸，並同時增加短波的吸收量，使晚上的溫度難以下降。根據萬寶康(1970)的研究，台北盆地在一、二月會出現逆溫層，這與埔里盆地在冬季有相似的結果，且在許凱崑等(2015)的研究，冬季的東北季風會經由淡水河吹至台北盆地，若此時出現逆溫層，可能會導致空氣品質下降。

由蔣婉婷等(2019)對四川之研究，大氣汙染以十二月、一月、二月(冬季)最嚴重，推測原因為汙染物在低層大氣混合，汙染物之存在，也減少了太陽到達地表之輻射，盆地內的邊界層降低，再加上盆地風速變慢，使空氣水平方向傳送減弱，且因為存在逆溫層，令空氣垂直方向傳送減弱，使得汙染物集中於地面，由於以上原因，造成四川盆地空汙嚴重，這與我們研究的埔里盆地有類似的情形，於 106 年一至三月時(冬季) $PM_{2.5}$ 超標的日數就達 49 天。

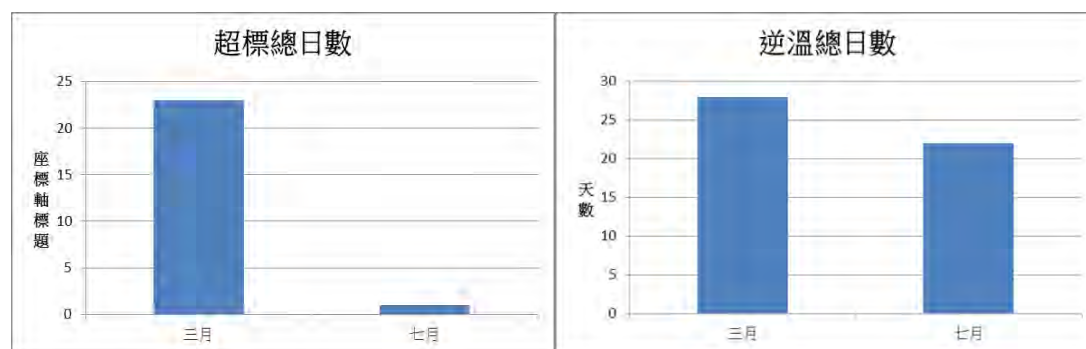
在台灣，冬季東北風增強，因為中央山脈阻隔，使得西半部天氣較穩定，所以汙染物不容易擴散，再加上埔里的盆地地形，造成冬天空氣汙染較嚴重，這時因為逆溫層出現容易造成混和層高度降低，讓汙染物擴散難度增加許多，而我們在實驗二中，發現在十二月、一月、二月、三月時， $PM_{2.5}$ 最常超標，逆溫也較容易出現。

我們將埔里與魚池的氣象資料比對，發現在盆地，逆溫是常見的現象，然而逆溫持續的時間對空氣品質的影響是很大的，逆溫現象就如同玻璃罩，使裏頭的空氣不易向外擴散，持續的時間越久，也意味著空氣汙染物(例如 $PM_{2.5}$)累積越多，相對的，若持續時間較短，汙染物也較容易因空氣流動而消散，使空氣品質較佳。

我們統計 106 年三月和七月的超標日數、逆溫日數、累積逆溫時數、總溫差值，發現三月 PM_{2.5} 超標日數為 23 天，七月則只有 1 天，兩者有顯著的差異(圖二十五)，但計算這兩個月的逆溫日數卻發現，三月與七月各有 27 天與 22 天(圖二十六)，三月雖有較多逆溫日數，但卻與七月時無太大差異。我們認為逆溫發生時會影響垂直方向的空氣擴散，會加劇空氣污染的情形，這與三月時的狀況十分吻合。但七月的空氣品質相對較好，卻也常發生逆溫情形，我們推測這與夏季天氣多變有關，埔里與魚池的觀測站海拔高度差約為 231m，溫差約在 1.3°C，若兩地發生較大的天氣變化，例如下雷陣雨，或地形風向變化等，則有可能出現短時間的逆溫現象，但夏季氣溫偏高，熱對流旺盛，短時間的逆溫對空氣品質的影響不大。

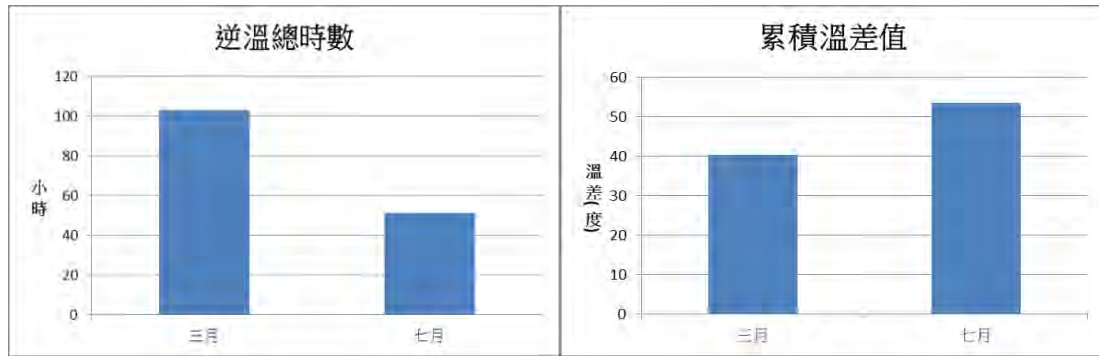
我們進一步將三月與七月出現逆溫的時數累加，發現三月有 103 小時為逆溫時間，七月則只有 51 小時為逆溫時間，由此可知，三月的逆溫總時數是多於七月的(圖二十七)。我們觀察三月與七月的逆溫持續時間，發現七月發生逆溫時，大約都只持續 1~2 小時，對於空氣品質影響較小，而三月時逆溫的持續時間常達 3~5 小時以上，對於空氣品質影響較大。我們認為發生逆溫不代表就會 PM_{2.5} 超標，但仍會影響空氣的對流情形，如果逆溫持續越久，容易累積汙染物質，就會影響空氣品質。

我們也將三月和七月每日兩地的每小時溫差計算平均值，發現三月的累積溫差值小於七月(圖二十八)，顯示在七月時兩地的溫差變化較大，氣流活動較旺盛，這也可能是夏季有時會出現短暫逆溫但空氣品質依然良好的原因之一。



圖二十五：106 三月、七月超標總日數

圖二十六:106 三月、七月逆溫總日數



圖二十七：106 三月、七月逆溫總時數 圖二十八：106 三月、七月累積溫差時數

我們從 106 年九月、十月、十一月、十二月中各選兩天(如表三)，觀察 24 小時的 PM_{2.5} 的濃度變化，發現空氣汙染最嚴重的是入夜之後到凌晨的時間，中午的空氣品質較好，隨著季節變化，越到接近冬天空氣品質越差，這種情況會持續到隔年的五月過後，空氣品質就會慢慢好轉。

表三:106 九到十二月中各兩天的 PM_{2.5} 變化

日期/時間	0	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2017/09/01	19	19	9	3	7	8	6	4	8	6	3	11	15	13	10	10	6	7	11	11	6	10	10	12
2017/09/02	14	12	9	11	11	8	9	11	11	15	15	12	12	12	13	17	14	7	7	4	7	9	10	9
2017/10/10	22	20	19	19	21	19	19	21	22	24	24	23	19	14	15	21	28	43	51	44	43	45	44	42
2017/10/11	36	37	36	32	32	26	21	24	30	32	27	25	28		43	50	59	56	54	59	59	52	43	35
2017/11/10	58	55	51	47	40	42	42	40	37	36	38	27	27	41	48	58	62	55	56	57	54	50	49	47
2017/11/11	51	50	43	42	41	39	36	35	37	37	40	41	33	27	30	35	33	30	29	24	17	13	11	11
2017/12/27	58	57	62	60	54	48	46	52	43	41	43	36	34	33	42	48	56	70	75	80	80	74	76	76
2017/12/28	75	70	67	70	68	61	47	38	39	41	37	36	36	29	29	40	56	80	96	97	97	83	56	35

我們將埔里和中部其他地區比較後(圖十)，發現埔里地區的空氣汙染常比其他地區更為嚴重，這是因為我們埔里是一個盆地地形，當在冬天的凌晨時，會因為輻射冷卻的關係，地面的溫度會大幅降低，且集中在底部，上空的氣溫就會變得比地面還要高，而產生逆溫現象，上下層空氣無法對流，使得 PM_{2.5} 和其他的汙染物無法散出。我們也發現當埔里地區和高度較高的魚池地區溫度接近時也會產生類似逆溫的結果，因為兩地溫度的相近，導致之間的空氣無法對流，產生逆溫現象，空氣汙染也無法自然的發散，使得 PM_{2.5} 和其他空氣汙染超標的天數變得更多，產生更多因為空氣汙染造成的影響，如同我們的實驗結果(圖二十二)，當冷熱溫差小時，逆溫現象也會更容易發生。

我們由銅管實驗發現，當上冷下熱時，會發生對流的現象，達到均溫，但若溫差較小，則會發生類似逆溫的現象，較不容易達到熱平衡；而當上熱下冷，也就是發生逆溫現象時，空氣不易對流，並在煙的實驗中得到證實。根據氣象資料，埔里於七月時溫差較大，也意味著對流較為旺盛，因此汙染物也較容易消逝，相反的，三月時因為溫差小，汙染物也較容易累積於埔里盆地，所以在發生逆溫時，就如同被鍋蓋罩住，裏頭的氣體不易向外流動，因此三月時，埔里空氣品質不佳。

未來我們或許可以以物聯網的概念，當氣象站觀測到逆溫現象時，可以限制工廠的排氣量，避免在盆地內，累積過多的汙染物質，並且通知民眾減少外出，以免汙染物對身體造成危害，但如果想要完全根除空氣汙染，仍需要靠每個人去努力了。

柒.結論

- 一、埔里地區在 106 年 1 月到 3 月、107 年 3 月到 4 月期間，空氣品質是一年中較差的時間。
- 二、將埔里盆地於 106、107 年 PM_{2.5} 超標的日子，與魚池的氣象資料比對，發現於 106 年超標的日子中，就有 90% 發生逆溫的現象，於 107 年時，有 83% 發生逆溫的現象。
- 三、由 106 年的 3、7 月比較逆溫現象出現的日子，發現當逆溫現象出現的越久，PM_{2.5} 就越容易超標。
- 四、我們在銅管模擬逆溫實驗中發現，當在上熱下冷時會產生逆溫現象，使不同層的溫度分層且不會熱平衡，在上冷下熱時不同層的溫度會逐漸達到熱平衡，且溫差越大逆溫的現象越明顯。
- 五、在煙霧實驗中發現在逆溫環境中煙霧一進到箱內就會下沉，使下層空氣混濁。

捌.參考書目及文獻

- (1) 王明星 (1991)。大氣科學，氣象出版社，北京，416pp。
- (2) 李建璋 (2007)。台北盆地低能見度受空氣汙染物及氣象條件影響之相關性分析，國立中山大學環境工程研究所碩士論文。
- (3) 林清和 (1989)。臺灣北部地區嚴重空氣汙染事件日分析，國立臺灣大學環境工程研究所碩士論文。
- (4) 林松錦、王君賢、王作臺和胡志文 (1994)。氣象環流對背景大氣成份傳送影響，大氣科學第 22 期第 4 號，pp565-583。
- (5) 周仲島 (2001)。台灣天氣研究計劃與綠島中尺度實驗簡介。科學發展月刊，29，568-578。
- (6) 梁嘉宏 (2004)。工業區有機性有害空氣汙染物排放特徵及變異分析研究，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系，碩士論文。
- (7) 楊宏宇 (1993)。台灣地區空氣品質與天氣型態分類相關性研究，博士論文，文化大學學研究所，312pp。
- (8) 劉復誠 (1984)。空氣汙氣象學簡介，科學月刊，0179 期。
- (9) 劉說安 (2004)。台灣地區逆溫現象型態之研究，第八屆全國大氣科學學術研討會。

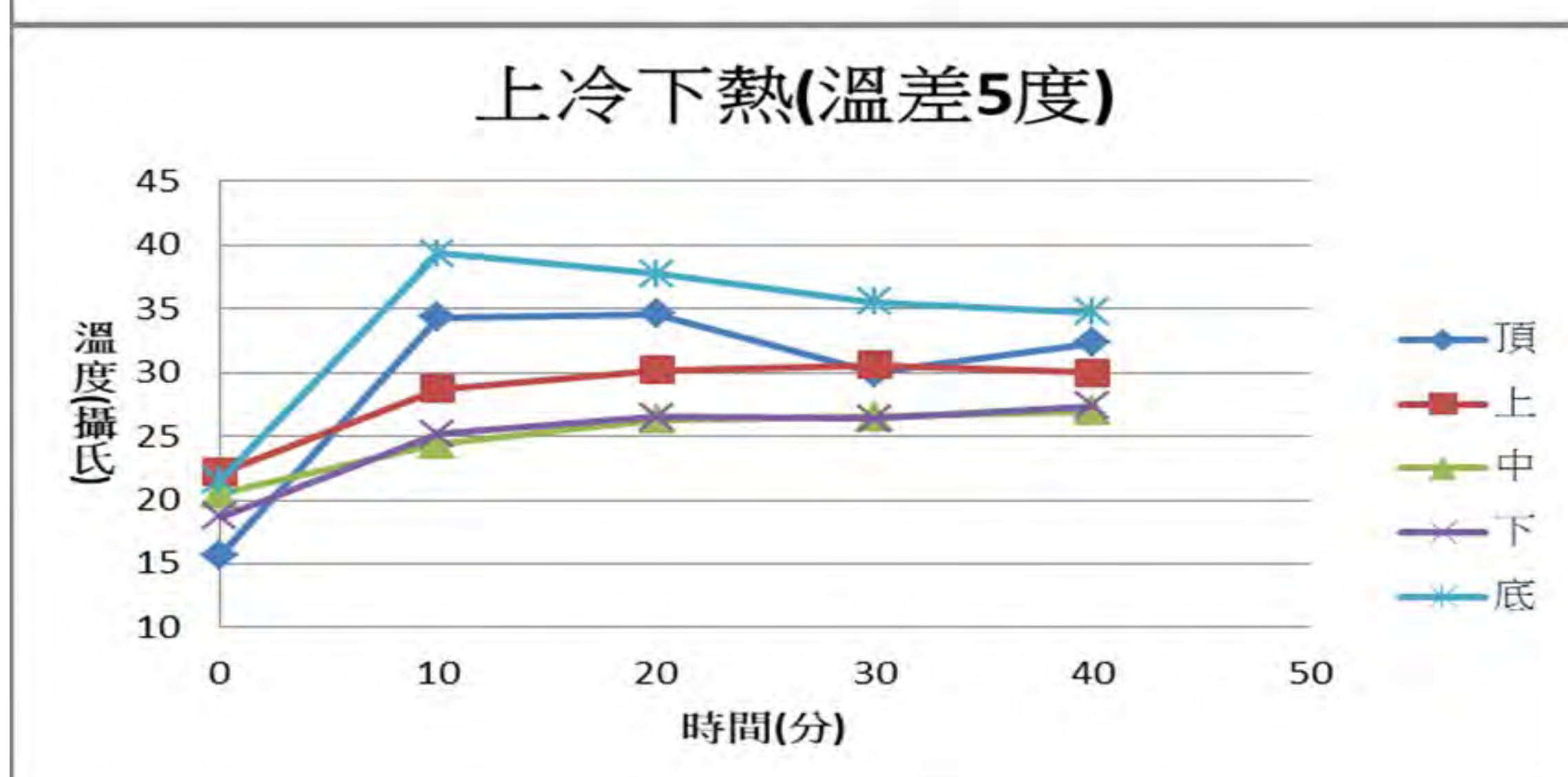
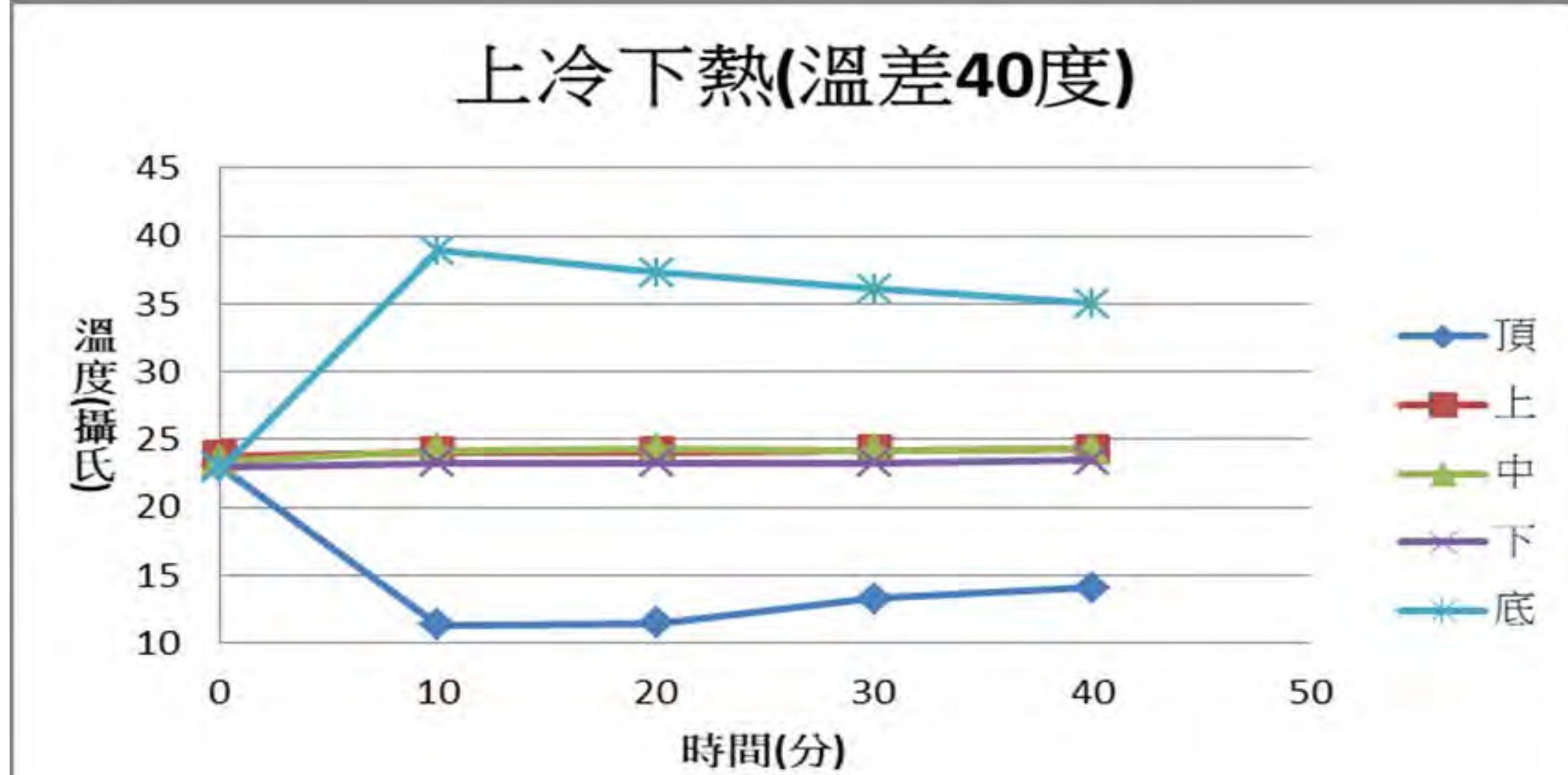
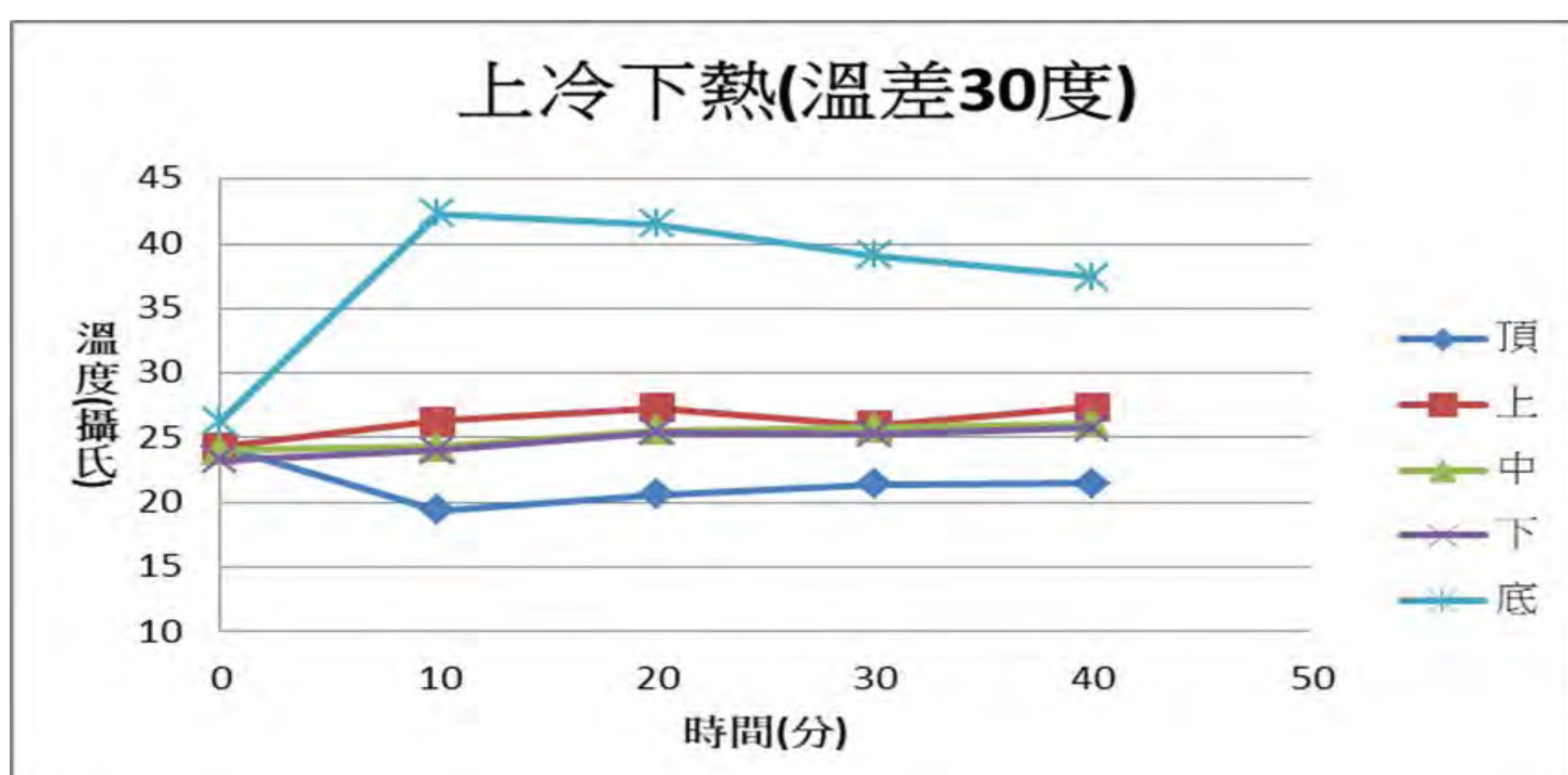
- (10) Hsin-Chung Lu, Tseng-Shuo Chang. (2005). Meteorologically adjusted trends of daily maximum ozone concentrations in Taipei, Taiwan.
- (11) 蔣婉婷、謝汶靜、王碧菡、王式功、龍啟超、廖婷婷(2019)。2014-2016 年四川盆地重污染大氣環流形勢特徵分析。
- (12) 行政院環境保護局。環境教育小百科－空氣汙染概念圖解。
- (13) 萬寶康(1970)。冬季臺北盆地低層大氣結構與天氣現象之研究。
- (14) 官岱煒、林博雄。台灣地區大氣探空剖面特徵分析。
- (15) 陳子玄、柯明賢、陳祖笙。地表性質與相對溼度，對逆溫現象的影響。
- (16) 陳律言、陳盈諭。台北盆地的熱島效應及其對環境的影響。
- (17) 許凱歲、鄧伊祐(2015)。台北盆地的海陸風特性及其對懸浮粒子濃度的影響

參、網路資源

- (18) 1952 年倫敦煙霧事件（無日期）。維基百科網。2012 年 2 月 19 日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/zh-hk/19E%E4%BA%8B%E4%BB%B6>
- (19) Inversion(meteorology)（無日期）。維基百科網。2012 年 2 月 20 日，取自：
http://en.wikipedia.org/wiki/Inversion_%28meteorology%29

【評語】 030504

由逆溫現象探討環境條件與空氣品質的關係，分析兩年的空品與氣象數據，模擬溫度分層效應，了解逆溫對空氣污染物擴散的影響。能對鄉土環境進行觀察，以實驗的方法驗證想法，實驗也符合預期，資料收集豐富，建議可以改善圖表呈現之方式，實驗條件設計應考慮實際可能發生之情況，較有說服力。



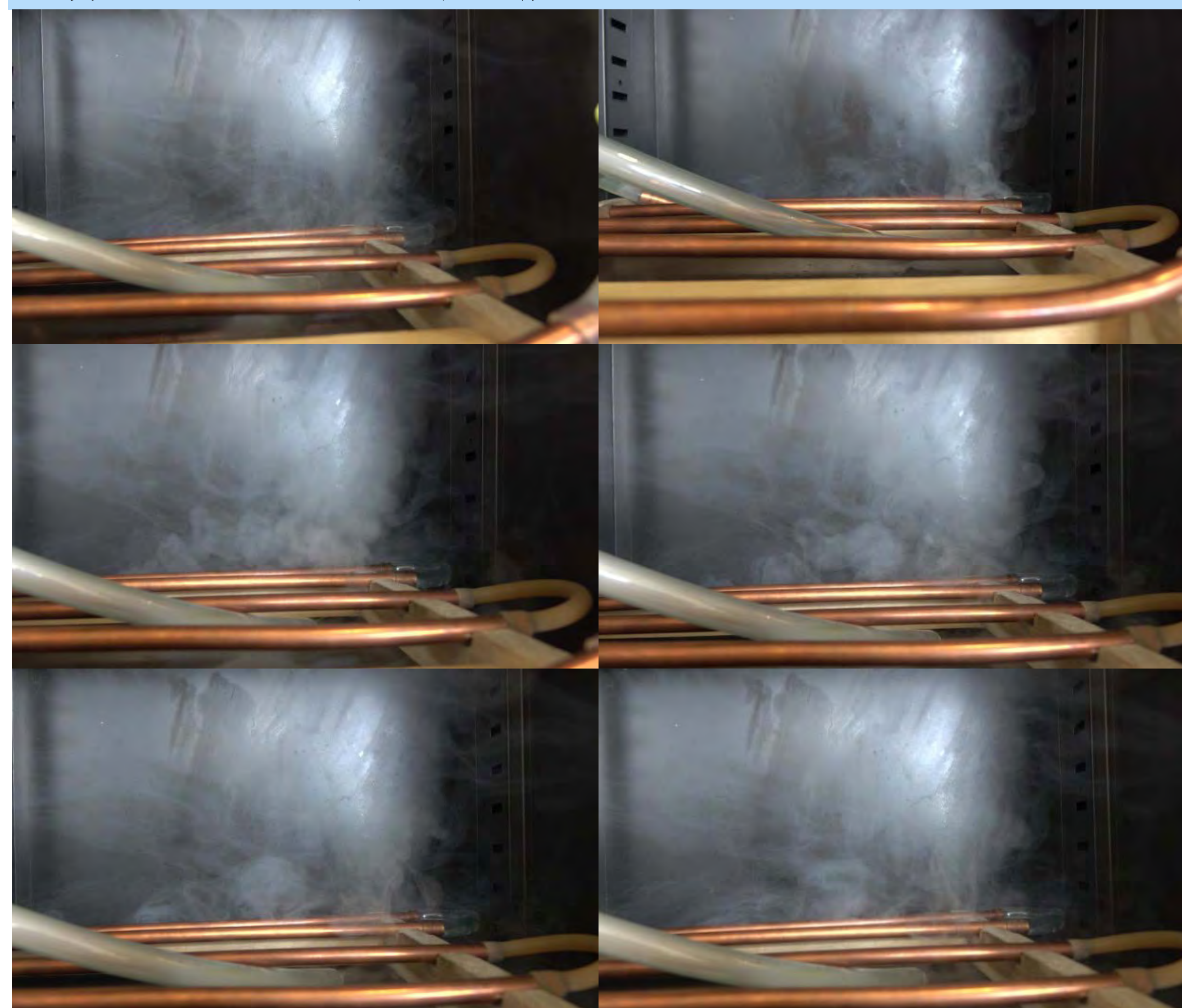
溫差大，對流越旺盛但溫差變小時會發生類似逆溫的現象。

四、模擬煙霧在逆溫現象下的流動情形



圖二十三、逆溫時的煙霧移動情形，煙霧停滯在底部

證實了逆溫發生時，會影響垂直方向的空氣擾動。



圖二十四：非逆溫(可對流)環境，煙霧順利上升

當煙霧一噴進去箱子內，就立刻開始對流，並且進行上下的循環，由此可知箱子的內部確實可以讓空氣進行對流，此時垂直方向的氣體擴散佳。

陸. 討論

一、空氣品質

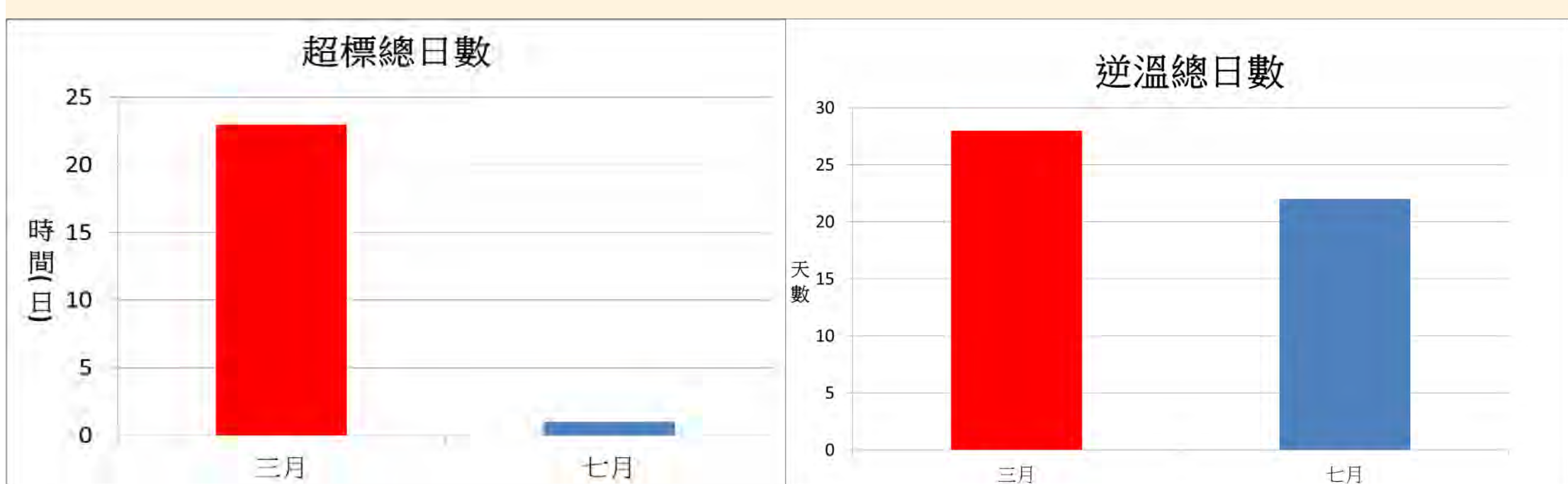
- 近年使空汙事件頻傳，六~九月為雨季，隨對流及降雨，空氣污染物會降至地面，PM2.5 值較低。
- 十二~三月乾季雨量少，污染物不沉降 PM2.5 值也較高。

二、逆溫現象對空氣品質的影響

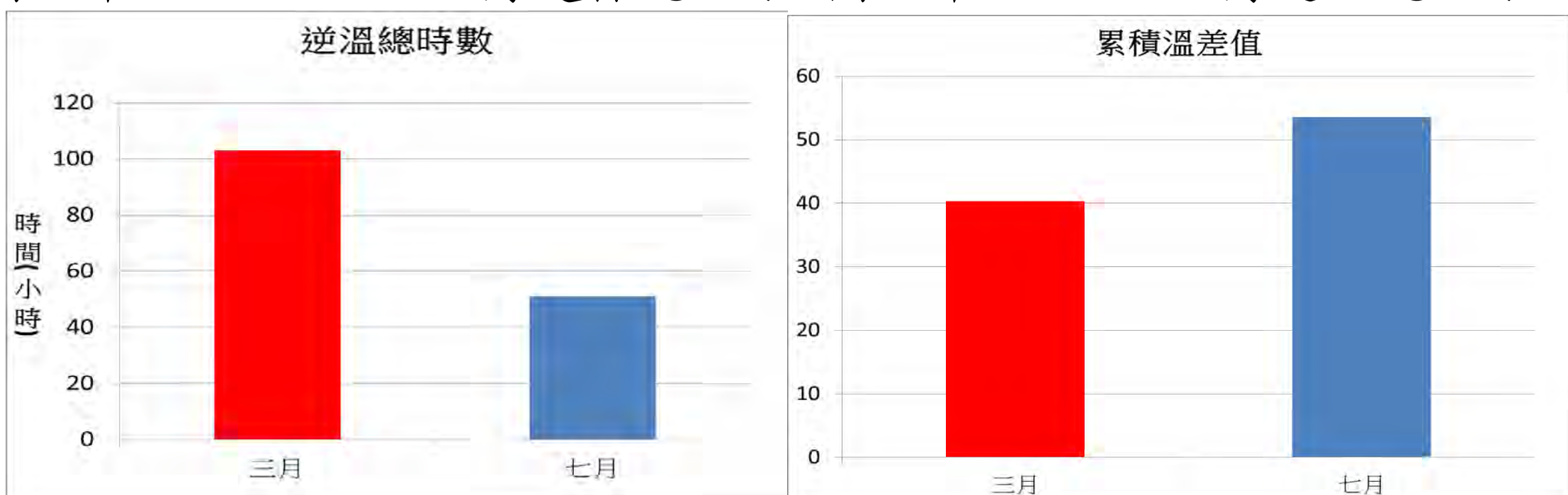
- 氣象上把溫度隨高度升高而增加的大氣層稱為逆溫層。
- 如果出現在地面附近，會限制地表對流的發生，使含汙染物氣流垂直移動能力受限，汙染物無法擴散出去。
- 埔里盆地屬於低點，若發生逆溫現象時，造成對流不佳，易使汙染物累積，使埔里AQI指數變高。
- 我們發現在盆地，逆溫是常見的現象，逆溫持續時間對空氣品質的影響很大，就如同玻璃罩，使空氣不易向外擴散，持續時間越久，意味著空氣汙染物(例如PM2.5)累積越多。
- 冬季的東北季風會經由淡水河吹至台北盆地，若此時出現逆溫層，可能會導致空氣品質下降。

三、統計106年三、七月超標日數、逆溫日數、累積逆溫時數、總溫差值

- 發現在十二、一、二、三月時，PM2.5最常超標，逆溫易出現。
- 統計超標日數發現三月PM2.5超標日為23天，七月只有1天，兩者有顯著差異(圖二十五)。
- 統計逆溫日數發現，三、七月各有27天與22天(圖二十六)，三月雖有較多逆溫日數，但與七月時無太大差異。
- 逆溫發生會影響垂直方向的空氣擴散，加劇空氣污染的情形，這與三月時的狀況十分吻合。
- 七月空氣品質相對好，卻也常發生逆溫情形，推測夏季若發生較大天氣變化，可能出現短時間的逆溫現象，但氣溫高，熱對流旺盛，短時間逆溫對空氣品質影響不大。
- 將逆溫的時數累加，發現三月有103小時，七月只有51小時為逆溫時間，三月逆溫時數多於七月的(圖二十七)。
- 七月發生逆溫時，只持續1~2小時，對空氣品質影響小，而三月時逆溫持續時間長達3~5小時以上，對空氣品質影響較大。
- 發生逆溫不代表PM2.5就會超標，但仍會影響空氣對流情形，如果持續越久累積汙染物，就會影響空氣品質。
- 將每日兩地的每小時溫差計算平均值，發現三月累積溫差值小於七月(圖二十八)。
- 七月時溫差變化大，氣流活動旺盛，這也可能是夏季會出現短暫逆溫但空氣品質良好的原因之一。



圖二十五：106三、七月超標總日數 圖二十六：三、七月逆溫總日數



圖二十七：三、七月逆溫總時數 圖二十八：三、七月累積溫差時數

- 從106年九月、十月、十一月、十二月中各選兩天(如表三)，觀察24小時的PM2.5的濃度變化

表三：106年九到十二月中各兩天的PM2.5變化

日期時間	0	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2017/09/01	19	19	9	3	7	8	6	4	8	6	3	11	15	13	10	10	6	7	11	11	6	10	10	12
2017/09/02	14	12	9	11	11	8	9	11	11	15	15	12	12	13	17	14	7	7	4	7	9	10	9	
2017/10/10	22	20	19	19	21	19	19	21	22	24	24	23	19	14	15	21	28	43	51	44	43	45	44	42
2017/10/11	36	37	36	32	32	26	21	24	30	32	27	25	28	43	50	59	56	54	59	59	52	43	35	
2017/11/10	58	55	51	47	40	42	42	40	37	36	38	27	27	41	48	58	62	55	56	57	54	50	49	47
2017/11/11	51	50	43	42	41	39	36	35	37	37	40	41	33	27	30	35	33	30	29	24	17	13	11	11
2017/12/27	58	57	62	60	54	48	46	52	43	41	43	36	34	33	42	48	56	70	75	80	80	74	76	76
2017/12/28	75	70	67	70	68	61	47	38	39	41	37	36	36	29	29	40	56	80	96	97	97	83	56	35

未來或許可以物聯網的概念，當觀測到逆溫現象時，可限制工廠排氣量，避免盆地內，累積過多汙染物，並通知民眾減少外出，以免汙染物對身體造成危害，但如果想要完全根除，仍需靠每個人去努力。

柒. 結論

- 埔里地區在106年1月到3月、107年3月到4月期間，空氣品質是一年中較差的時間。
- 將埔里盆地於106、107年PM2.5超標的日子，與魚池的氣象資料比對，發現106年超標的日子中，就有90%發生逆溫的現象，107年時，有83%發生逆溫的現象。
- 由106年的3、7月比較逆溫現象出現的日子，發現當逆溫現象出現的越久，PM2.5就越容易超標。
- 銅管模擬逆溫實驗中發現，當在上熱下冷時會產生逆溫現象，使不同層的溫度分層且不會熱平衡，上冷下熱時不同層的溫度會逐漸達到熱平衡，且溫差越大逆溫的現象越明顯。
- 在煙霧實驗中發現在逆溫環境中煙霧一進到箱內就會下沉，使下層空氣混濁。

捌. 參考書目及文獻

- 王明星(1991)。大氣科學，氣象出版社，北京，416pp。
- 李建璋(2007)。台北盆地低能見度受空氣汙染物及氣象條件影響之相關性分析，國立中山大學環境工程研究所碩士論文。

(其他詳見作品說明書)