

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

第三名

031726

空氣"霧"染

學校名稱：桃園縣立新屋國民中學

作者：	指導老師：
國二 魏良憲	彭燕鈴
國二 古浩璋	詹智傑
國二 謝鎮鴻	

關鍵詞：相對濕度 空氣污染指標 懸浮微粒

空氣「霧」染

壹、摘要

霧的形成與空氣中的濕度、凝結核有關。爲了瞭解霧的成因，我們取得特定氣象站 1996 至 2005 年的 10 年氣象資料及環保署網站的空氣品質監測數據，整理與分析資料後發現：

- 一、空氣品質不佳時（空氣污染指標值或懸浮微粒值較高），隔日產生霧的時間點較早。
- 二、當濕度接近飽和且空氣品質不佳時，霧的濃度增加，能見度較低。

在資料分析後，我們自製一觀霧箱，模擬與觀察霧產生的條件，發現霧產生與水汽量有關，溫度越高越不易飽和。若水汽達到飽和時，加入污染粒子 SO_2 、 CO_2 、 O_3 皆會加快霧產生的速度，但比較 SO_2 、 CO_2 、 O_3 之間產霧的速度並無差異。

貳、研究動機

因爲我們住在離海不遠的地方，所以每天早上上學時常看到白茫茫的霧。前一陣子看到報紙上標題「大霧爲何頻頻『光顧』中國」，仔細一看原來跟北京工業發展所產生的污染物及懸浮粒子有關，於是就引起我們的好奇，想了解霧與空氣污染粒子之間的關係。

參、研究目的

- 一、瞭解霧的產生與溫度、濕度之間的關係。
- 二、探討霧的產速、產量與空氣污染粒子的關係。
- 三、實驗模擬污染粒子對於霧形成快慢的影響。

肆、研究設備及器材

- 一、我們向台灣大學大氣系大氣研究資料庫網站取得嘉義氣象站 1996 年至 2005 年逐時氣象資料，再於環保署取得嘉義空氣品質監測數據，利用電腦試算軟體整理與分析資料（如附件一）。
- 二、實驗設備及藥品有：自製觀霧箱（如圖 1），電湯匙、潛水馬達、溫濕度計、酒精燈、臭氧製造機、硫粉、碳粉。
- 三、爲了模擬霧的形成以便於觀察，我們用壓克力板製作一個觀霧箱，長 40cm、寬 40cm、高 80cm。爲製造恆溫的效果，在觀霧箱外設計一加熱系統（如圖 2）及一冷卻系統，並用潛水馬達製造循環水流，以達到穩定控制箱內溫度的效果。

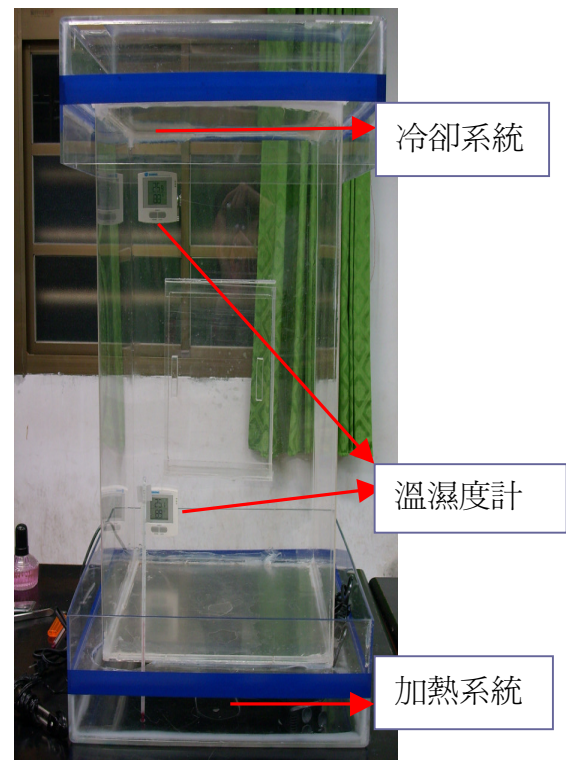


圖 1 觀霧箱

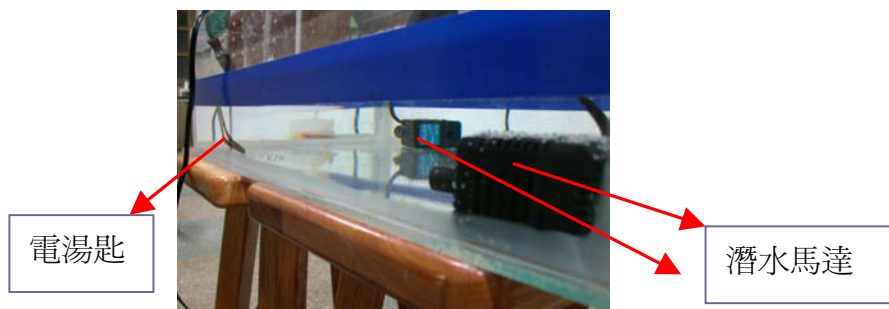


圖 2 加熱系統

伍、研究過程與方法

研究方法分兩大主軸：霧的天氣資料分析、霧形成的模擬實驗，簡述如下：

一、霧的天氣資料分析—分析嘉義的霧

我們未以本地桃園為分析標的，而決定以嘉義為分析對象，原因是：

- (一) 嘉南地區多霧。
- (二) 雲嘉南空氣品質區的懸浮微粒年平均濃度最高（資料採自 94 年環保署空氣品質監測結果報告）。
- (三) 嘉義氣象站為大型測站，天氣記錄有溫度、濕度、能見度、視障等詳細資料。而環保署在嘉義市設有空氣品質監測站，直線距離嘉義氣象站約 4 公里（查詢地圖得知）。但是桃園地區未設有大型氣象站，故未以桃園為分析對象。

資料蒐集、整理與分析過程如下所述：

- (一) 初期我們自中央氣象局網站、行政院環保署、維基百科及課本蒐集有關「霧」、「濕度」、「空氣污染指標 PSI」、「懸浮微粒 PM」等相關知識。
- (二) 我們向中央氣象局申購氣象 C 表資料，內含逐時天氣資料如氣溫、濕度、能見度、雨量、視障…等。但因申購費用頗高，故轉往台灣大學大氣科學系大氣研究資料庫網站登錄註冊，在學術用途下取得嘉義氣象站逐時資料。
- (三) 接著我們從環保署環境資料庫蒐集嘉義空氣品質監測站的逐日空氣污染指標 (PSI)、懸浮微粒(PM)的數據。
- (四) 最後我們利用電腦試算軟體(Excel)整合氣溫、相對濕度、能見度、空氣污染指標、懸浮微粒等數值(如附件一)，並進行次數、百分比、平均值等統計分析。
- (五) 因為霧通常於凌晨、清晨形成，空氣中懸浮微粒照理多是昨日所殘留，故資料分析以「昨日空氣污染指標」、「昨日懸浮微粒」為主要分析參數。

資料分析相關名詞說明：

(一) 能見度

氣象站一天觀測能見度 10 次，分別在 2、5、8、9、11、14、17、20、21、23 時，原則上 3 小時觀測記錄 1 次。

(二) 霧

我們依 3 個步驟判斷天氣現象為「霧」時刻：

- 1、能見度小於或等於 1 公里。
- 2、刪除雨量大於 0 的時刻。
- 3、刪除相對濕度小於 75%的時刻。

(三) 空氣污染指標(Pollutant Standards Index, PSI)

空氣污染指標為依據監測資料將當日空氣中懸浮微粒(PM₁₀)、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、一氧化碳(CO)及臭氧(O₃)濃度等數值，以其對人體健康的影響程度，分別換算出當日之空氣污染指標值(PSI)。PSI 低於 100 表示該測站當日空氣品質符合標準，PSI 大於 100 表示對健康有不良影響。本報告引用的 PSI 數據取自環保署環境資料庫網站，並視「PSI>80」為空氣品質不佳。

(四) 懸浮微粒(Particulate Matters, PM)

空氣中的微粒物通稱為懸浮微粒。本報告引用的 PM 數據取自環保署環境資料庫網站，以 10 微米以上的浮游粒子(PM₁₀)為主，並視「PM>120」為空氣品質不佳。

二、霧形成的模擬實驗

我們將模擬實驗分成 2 個階段。

(一)「控制溫度、濕度以產生霧」階段

我們在觀霧箱下方鐵板分別倒入 10ml、20ml 的水，在加熱系統中以電湯匙加熱，以增加箱內空間的水汽量，並在觀霧箱內上層下層各放置 1 個溫濕度計，當箱內濕度達到飽和時，在上方冷卻系統加入冰塊，使箱內上層空氣冷卻，觀察霧產生的情形，每隔 5 分鐘記錄一次溫度、濕度，並拍照片。(如圖 3、圖 4、圖 5)



圖 3 觀霧箱上層未起霧時



圖 4 觀霧箱冷卻系統加入冰塊



圖 5 鐵板加水，上方加冰塊，起霧狀

(二)「控制溫度、濕度，加入污染微粒以產生霧」階段

我們以 10ml 的水置於鐵板加熱，在觀霧箱濕度達到飽和後，於箱距上端約 8 公分處挖個小洞，連接一塑膠管接頭(如圖 7)，分別燃燒 3 克的硫(S)、3 克的碳(C)、及臭氧製造機(如圖 8)，分別將 3 種污染物導入觀霧箱中(如圖 6)。每五分鐘紀錄其濕度、溫度，並觀察起霧時間的變化。(本階段未於使用到箱上的冷卻系統)

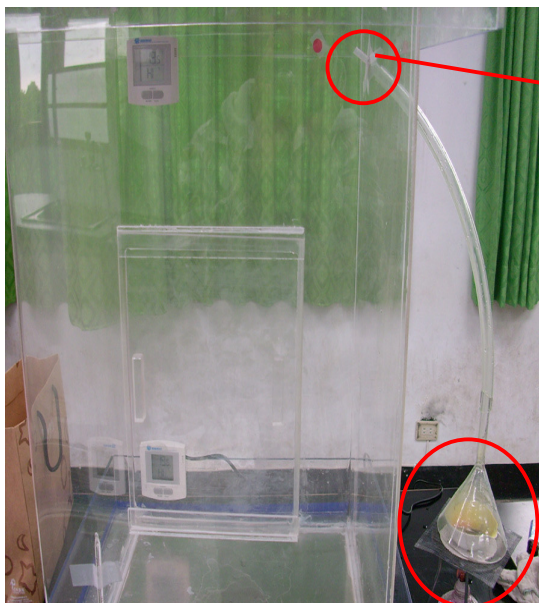


圖 6 製造污染物，導入觀霧箱



圖 7 塑膠管接頭



圖 8 污染物燃燒裝置

陸、研究結果

研究結果分兩類陳述：霧的氣象資料與空氣品質分析、霧的產生模擬實驗，簡要描述之。

一、霧的氣象資料與空氣品質分析－嘉義的霧、空氣品質指標值與懸浮微粒數值

統整嘉義 1996 年至 2005 年的溫度、溼度、能見度、空氣品質指標值(PSI，文後直述 PSI)、懸浮微粒(PM，文後直述 PM)等 10 年資料後，發現幾個現象：

(一)在所有起霧時刻中，當昨日空氣品質不佳，2 時起霧的比例有增加的情況(表 1、2)。

表 1 起霧時刻次數與 PSI 的關係(n=123)

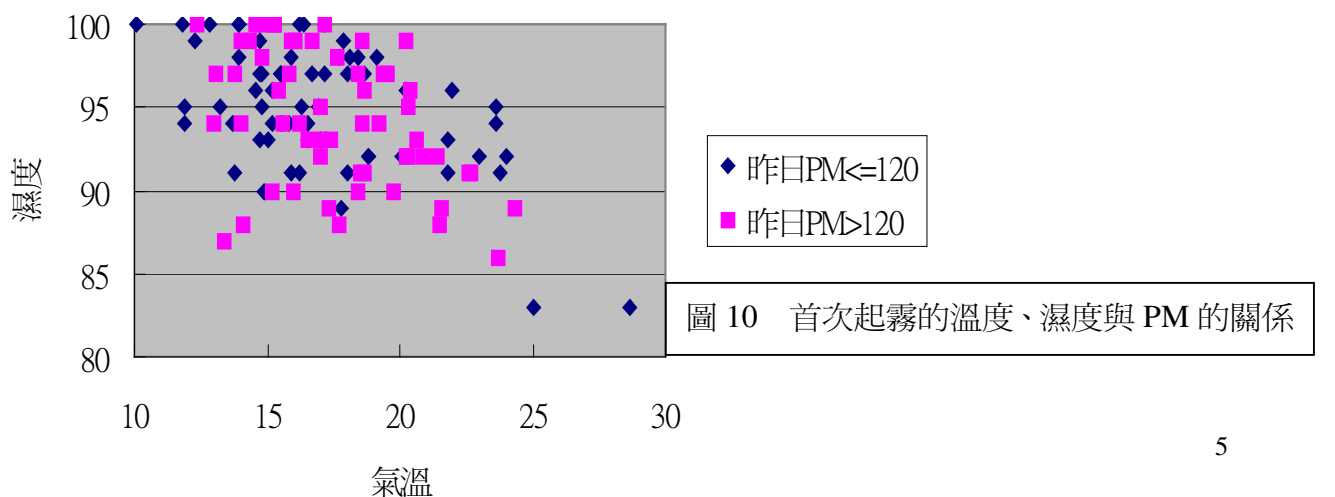
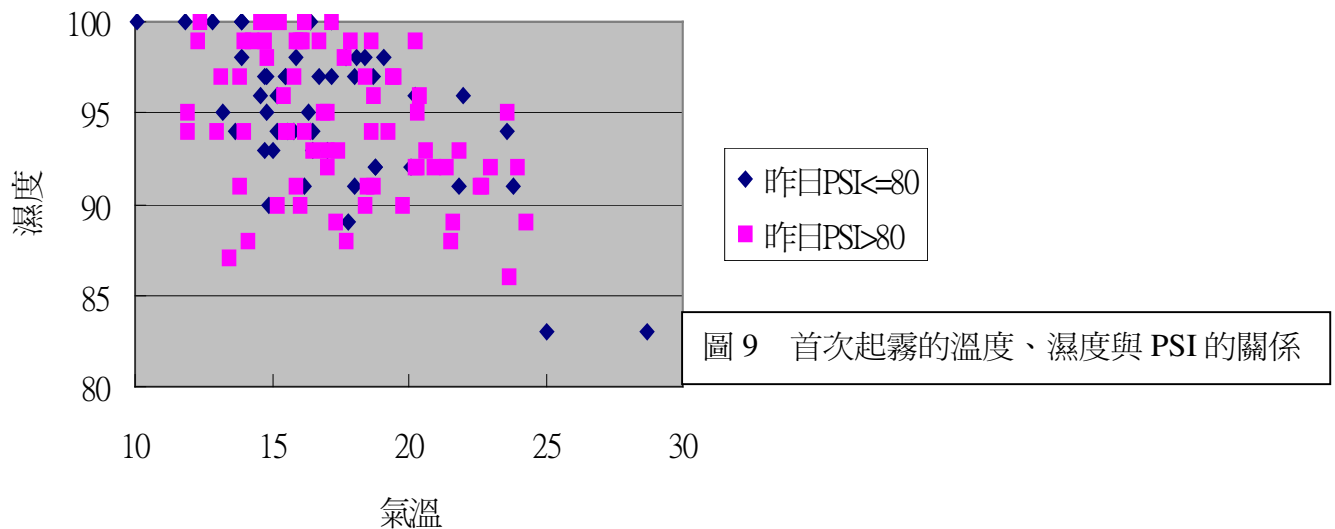
	2 時	5 時	8 時	9 時	11 時	23 時	小計
昨日 PSI≤80	6(12%)	16(32%)	23(46%)	3(6%)	0	2(4%)	50(100%)
昨日 PSI>80	22(30%)	22(30%)	27(37%)	2(3%)	0	0	73(100%)

註：起霧時刻表示當日首次測到能見度低於 1 公里的時間。

表 2 起霧時刻次數與 PM 的關係(n=123)

	2 時	5 時	8 時	9 時	11 時	23 時	小計
昨日 PM≤120	11(17%)	22(34%)	27(42%)	3(5%)	0	2(3%)	65(100%)
昨日 PM>120	17(29%)	16(28%)	23(40%)	2(3%)	0	0	58(100%)

(二)即使當日濕度低於 90%，若昨日空氣品質不佳，也較易起霧(圖 9、圖 10)。



(三)將濕度區分為「100%」、「95-99%」、「90-94%」、「80-89%」4個角度，觀察空氣品質對產霧濃度的影響。結果發現當濕度100%時，昨日空氣品質不佳可能會增加霧的濃度(表3)。但當濕度在99%以下時，較沒有或完全沒有影響。

表3 濕度、空氣品質與平均能見度(n=245)

空氣品質 濕度	整體能見度	昨日 PSI≤80	昨日 PSI>80	昨日 PM≤120	昨日 PM>120
100%(n=41)	0.40	0.57	0.33	0.54	0.33
95-99%(n=93)	0.61	0.63	0.60	0.62	0.58
90-94%(n=79)	0.68	0.68	0.68	0.66	0.69
80-89%(n=32)	0.89	0.89	0.89	0.88	0.89

註：能見度單位為公里(km)。

(四)當數據量足夠時，霧的濃度愈高，一般也代表著濕度愈高，表4可驗證此論點。但是從另一個角度觀察，當霧的濃度愈高，能見度較低，似乎也可推測昨日的空氣品質不佳，這項觀察只適於能見度低於0.3公里的時刻(霧愈濃的時間)。需注意表4數值之間的差距不大。

表4 依能見度觀察濕度、空氣品質的關係(m=245)

能見度	平均溫度(°C)	平均濕度(%)	昨日 PSI 平均值	昨日 PM 平均值
<0.3 (n=58)	15.9	97.0	92.1	129.5
0.4-0.6(n=62)	16.8	95.3	86.6	123.1
0.7-0.9(n=68)	17.5	94.3	86.0	120.8
1(n=57)	19.3	91.4	86.9	122.8

(五)當濕度大於95%且固定時，昨日空氣品質跟霧的濃度似乎相關(表5)，即空氣品質愈差，霧愈濃，能見度愈低。

表5 濕度固定下，能見度與空氣品質的關係

濕度(%)	能見度(km)	昨日 PSI 均值	昨日 PM 均值
100*	≤1 (n=41)	89.9	129.0
	≤2, >1(n=13)	80.2	110.4
99*	≤1 (n=22)	92.9	135.0
	≤2, >1(n=7)	87.1	122.0
98*	≤1 (n=18)	86.4	122.8
	≤2, >1(n=13)	79.9	109.2
97*	≤1 (n=20)	90.8	128.2
	≤2, >1(n=19)	85.2	119.7
96*	≤1 (n=20)	84.0	118.0
	≤2, >1(n=31)	78.9	106.3

95	<=1 (n=13)	83.5	115.0
	<=2 , >1(n=32)	82.8	115.3
94	<=1 (n=23)	84.2	115.1
	<=2 , >1(n=46)	81.5	113.2
93	<=1 (n=23)	83.2	115.9
	<=2 , >1(n=48)	82.7	114.9
92	<=1 (n=13)	87.0	116.3
	<=2 , >1(n=41)	122.0	195.0
91	<=1 (n=12)	92.7	127.1
	<=2 , >1(n=44)	85.8	118.5
90	<=1 (n=8)	84.1	118.3
	<=2 , >1(n=33)	90.6	126.8

註：*表空氣品質與能見度似有關係。

二、霧的產生模擬實驗

(一)箱內分別放置 10ml、20ml 的水，個自進行 3 次實驗，求其平均數據製圖如下。發現 10ml 水的實驗未產生任何霧(如圖 11)，而 20ml 水的實驗確有霧的產出(如圖 12、圖 13)。詳細實驗數據請參閱附件二。

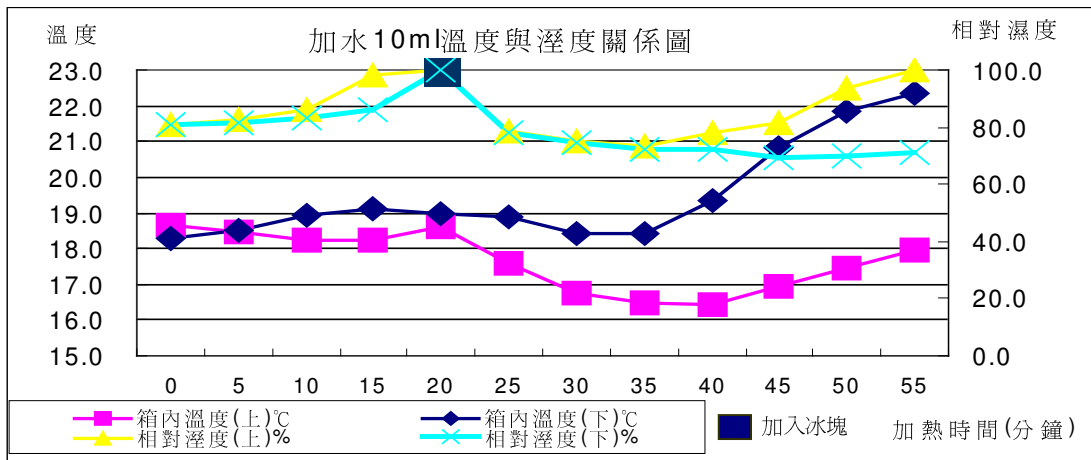


圖 11 箱內放 10ml 水的實驗溫度與濕度圖(未產生霧)

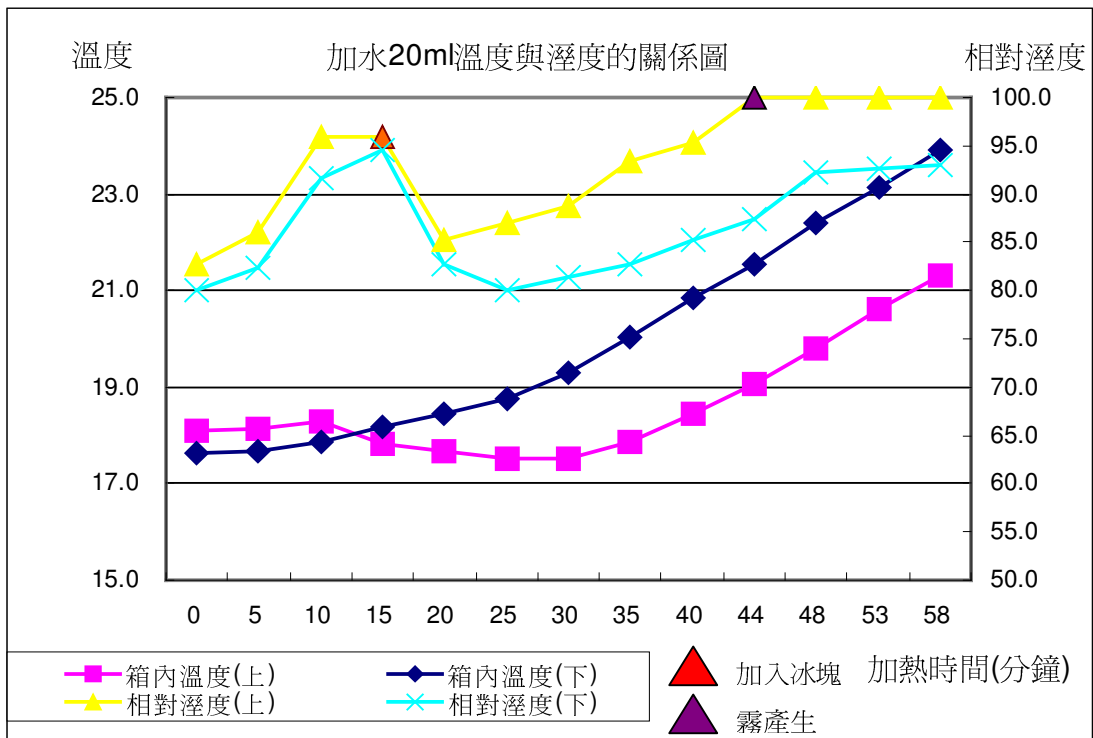


圖 12 箱內放 20ml 水的實驗溫度與濕度圖

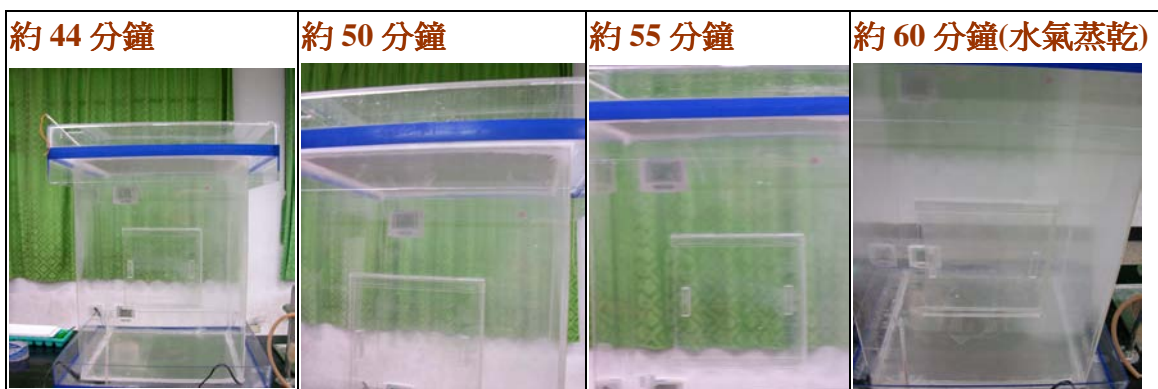


圖 13 箱內放 20ml 水的實驗形成霧的過程圖

由上圖中可觀察到：

1、箱內放 10ml 水的實驗中，濕度達到飽和，上層加冰冷卻，卻未產生霧，推測是空氣中的水汽量不足。而冰塊放入後(約 20 分鐘左右)，上下層的相對濕度皆降低，推測因水汽在上面鐵板上凝結成小水滴(如圖 1-4)，導致濕度下降所致。

2、箱內放 20ml 水的實驗達到第一次飽和的時間，比 10ml 水的實驗較快，推測原因是水汽多較快飽和。

3、箱內放 20ml 水的實驗在加入冰塊後約 30 分鐘就有霧的形成，與 10ml 水的實驗截然不同。雖然一樣放入冰塊也會使箱內相對濕度降低，但在 20ml 的水汽不斷的供給下，促使箱內上方濕度再度達到飽和，所以可以觀察到霧。



圖 1-4 鐵板上的水滴圖

(二) 在觀霧箱內放置 10ml 的水，分別於箱內導入 SO_2 、 CO_2 、 O_3 等污染物，個自進行 3 次實驗，求其平均數據製圖如下(圖 2-1、圖 2-2、圖 2-3)。詳細實驗數據請參閱附件三、實驗過程拍照結果請參閱附件四。

在 3 種不同污染物的實驗中，觀察霧的產生時間，得到如下實驗結果：

1、導入 SO_2 的確會加速霧的形成，從開始加入 SO_2 到產出霧，平均 8 分鐘。

2、加入 CO_2 一樣可以加速霧的形成，從開始加入 CO_2 到霧產出，平均 6.7 分鐘。

3、加入 O_3 產生霧的速率和 SO_2 相仿，從開始導入 O_3 到產生霧，平均 7 分鐘。

4、這個實驗因為沒有加入冰塊冷卻觀霧箱內上層空氣，所以說霧是因為凝結核(懸浮微粒)的增加而加速形成的。

5、實驗中雖然 SO_2 、 CO_2 、 O_3 微粒對於霧的產生均有加快的結果，但這 3 種微粒之間的速度差異並不大，推測原因是這 3 種微粒的晶種大小或性質相距不大所致，仍需深入探究。而我們也不否認有其它更複雜的因素導致這個實驗結果。

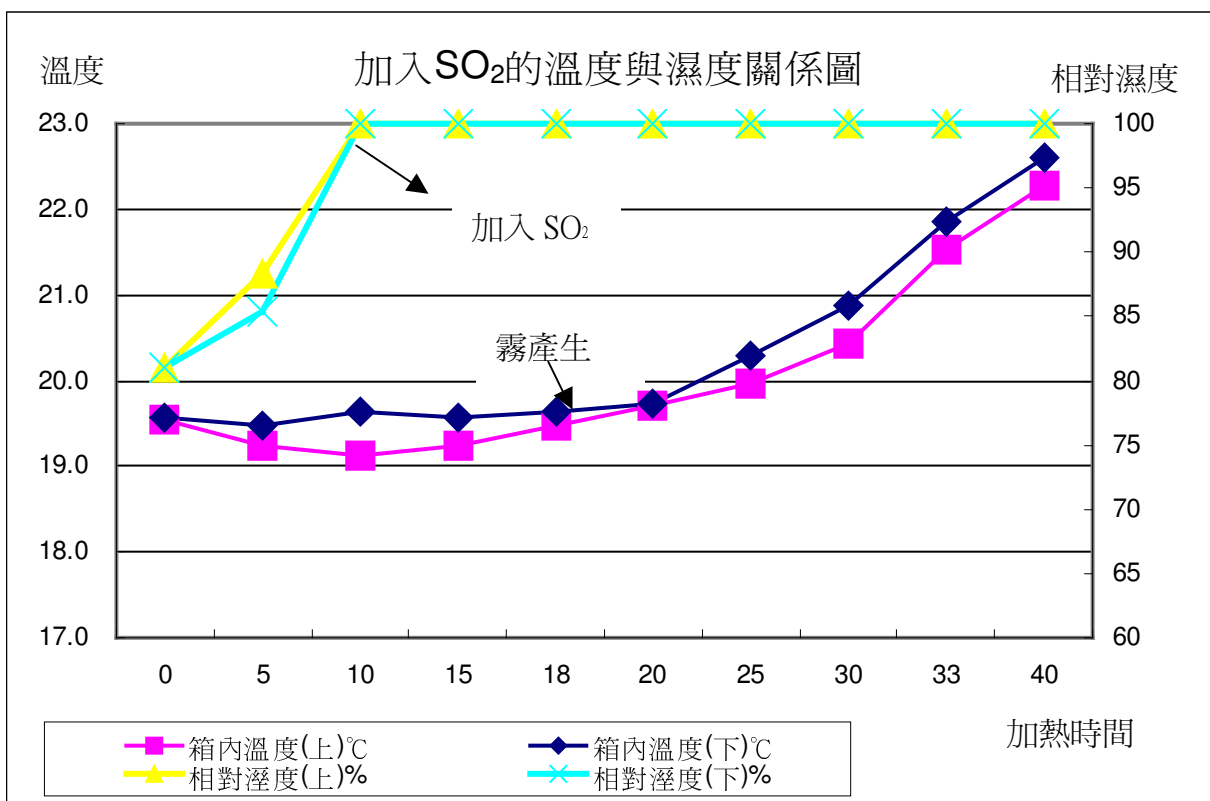


圖 2-1 加入 SO_2 (3g) 的溫度、溼度及產霧時間圖(霧於 18 分鐘形成)

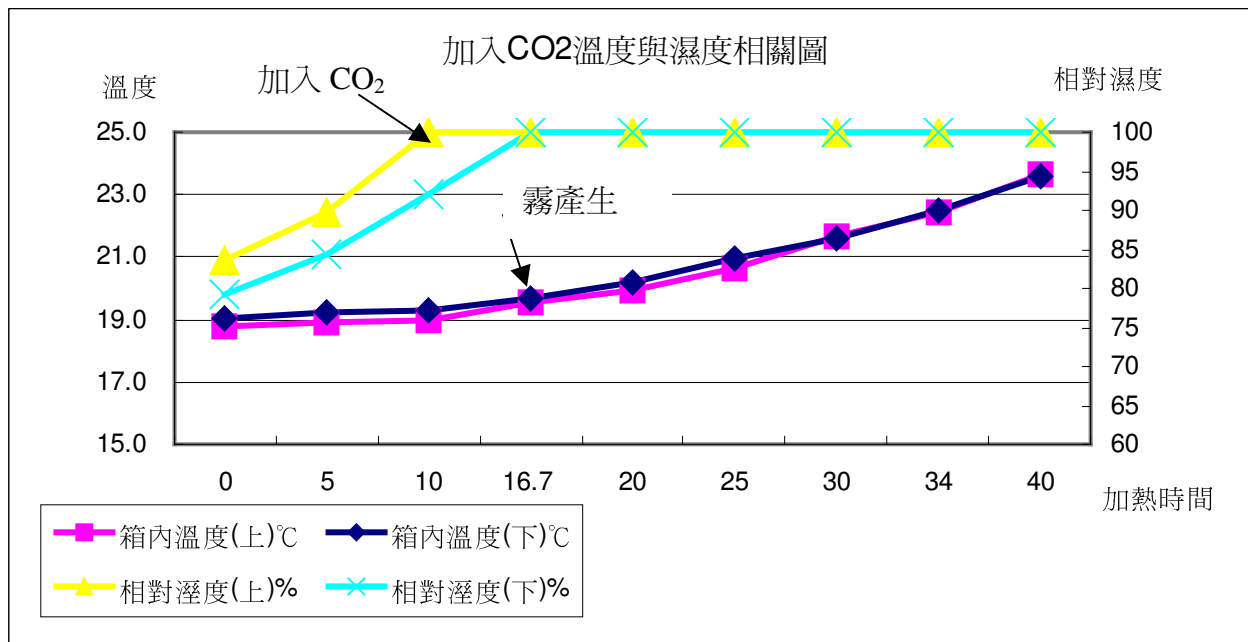


圖 2-2 加入 CO₂(3g)的溫度、溼度及產霧時間圖(霧於 16.7 分鐘形成)

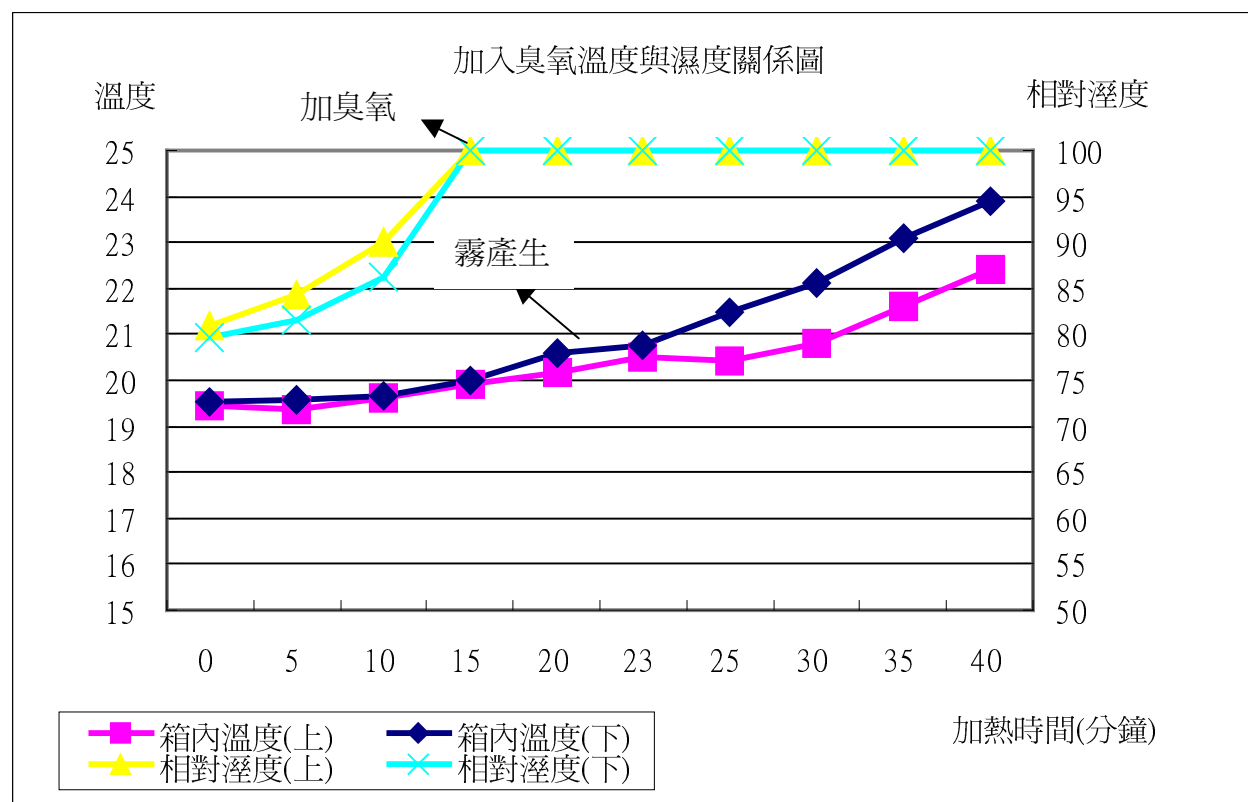


圖 2-3 加入 O₃的溫度、溼度及產霧時間圖(霧於 22 分鐘形成)

柒、討論

我們將研究過程與結果分成「霧的資料分析」、「霧的實驗模擬」兩項討論之。

一、霧的氣象資料與空氣品質分析討論

- (一) 空氣品質可能會影響起霧時刻(即當天首次觀測到霧的時間)。我們發現在所有起霧的時刻中，當前一日空氣品質不佳時，凌晨 2 時起霧的比例有增加的現象。霧的形成需充足的水汽，並藉由空氣中的凝結核吸附水汽而成霧。故懸浮微粒較多的空間中，水汽易附著於粒子上，故成霧的時間可能提早。
- (二) 空氣品質可能會影響霧的濃度(即能見度下降)。資料分析得知當濕度愈高(接近 100%)，且前一日空氣品質不佳，霧的濃度也同樣較高。當空氣中懸浮粒子數量較多，且濕度接近飽和或達到飽和，水汽逐漸與粒子結合，再日上微風徐吹，這些含水分的粒子彼此碰撞增大，慢慢形成肉眼可見的霧。故空氣中微粒子較多時，霧也可能較濃較多。

二、霧的產生模擬實驗

- (一) 霧的產生與水汽的量有關。實驗中 10ml 的水在未加污染粒子時是沒有形成霧的，而 20ml 的水會在 2 次飽和時成霧。
- (二) 污染粒子會加速霧的產生。雖然 SO_2 、 CO_2 、 O_3 微粒對於霧的產生均有加快的效果，但這 3 種微粒之間的速度差異並不大，推測原因是這 3 種微粒的晶種大小或性質相距不大所致，仍需要進一步探討研究。而我們也不能否認有其它更複雜的因素導致這項實驗結果。

捌、結論

- 一、在所有起霧的時刻中，當前一日空氣品質不佳時，凌晨 2 時起霧的比例有增加的現象，起霧的時間較早。
- 二、當濕度愈高接近飽和，且前一日空氣品質不佳時，霧的濃度也有增加的情況。
- 三、污染粒子會加速霧的形成，唯實驗結果得到 SO_2 、 CO_2 、 O_3 這 3 種污染粒子對於霧的形成速度未有差異，需要進一步探究。

玖、參考資料及其他

- 一、國中自然生活科技第六冊(2007 年 2 月出版)。翰林出版事業股份有限公司。
- 二、若隱若現，朦朧之美—冬春之夜，嘉義地區輻射霧之研究。中華民國第 42 屆中小學科學展覽作品。
- 三、中央氣象局資訊網(<http://www.cwb.gov.tw/>)
- 四、行政院環保署(<http://www.epa.gov.tw/>)
- 五、行政院環保署環境資料庫(<http://edb.epa.gov.tw/>)
- 六、感謝國立台灣大學大氣科學系免費提供氣象資料(大氣研究資料庫)。
- 七、感謝中央氣象局及新竹氣象站同仁提供諮詢服務。

附件一：中央氣象局 C 表資料、Excel 分欄處理後資料。

一、原始氣象局 C 表資料(逐時資料，以 2001 年 1 月 1 日 1~5 時為例)

46748020010101011013.31016.7	11.9	7.2	73	10.2	1.6	10.0	3.6	40.0	0.00.0											2	0.00113.9	
46748020010101021013.41016.8	12.1	7.5	73	10.4	1.8	10.0	4.2	40.0	0.00.0	4.0	1.20	2	5	2.0						0	2	0.00114.1
46748020010101031013.21016.6	11.2	7.4	77	10.3	1.6	30.0	3.9	40.0	0.00.0											92	0.00013.3	
46748020010101041012.91016.3	11.1	7.8	80	10.6	1.8	10.0	3.9	40.0	0.00.0											9	0.00813.2	
46748020010101051012.91016.3	10.4	7.3	81	10.2	1.2	50.0	3.4	50.0	0.00.0	4.0	1.20	2	5	2.0	15.6	17.2	18.1	20.2	21.00	9	0.00512.6	

二、原始環境資料庫空氣品質監測資料(逐日資料，以 2001 年 1 月 1~3 日為例)

監測日期	PSI	指標污染物	空氣品質等級	SO2(ppb)	NO2(ppb)	O3(ppb)	CO(ppm)	懸浮微粒(µg/m3)
20010101	63	懸浮微粒	普通	5	31.4	18.7	0.79	76
20010102	70	懸浮微粒	普通	4.7	34.8	17.8	0.97	90
20010103	76	懸浮微粒	普通	6.3	35.8	19.5	0.83	102

三、擷取上述兩類資料部分欄位，並用試算軟體合併、整理之。

測站號碼	年月日	時	乾球氣溫	露點	相對濕度	水汽壓	平均風速	累積雨量	降雨時數	能見度	液態降水	液態降水	視障	視障	平均飽和水汽壓	PSI	指標污染物	空氣品質	懸浮微粒(µg/m3)
467480	20010101	01	11.9	7.2	73	10.2	1.6	0.0	0.0					2	13.9	63	懸浮微粒	普通	76
467480	20010101	02	12.1	7.5	73	10.4	1.8	0.0	0.0	4.0				2	14.1	63	懸浮微粒	普通	76
467480	20010101	03	11.2	7.4	77	10.3	1.6	0.0	0.0				9	2	13.3	63	懸浮微粒	普通	76
467480	20010101	04	11.1	7.8	80	10.6	1.8	0.0	0.0				9		13.2	63	懸浮微粒	普通	76
467480	20010101	05	10.4	7.3	81	10.2	1.2	0.0	0.0	4.0			9		12.6	63	0普通		76

附件二：實驗記錄數據表—10ml、20ml 水的製造霧實驗。

表 箱內放 10ml 水的溫度與濕度關係表(未產生霧)

加水 10ml	第一次實驗											
	※放入冰塊											
加熱時間	0	5	10	15※	20	25	30	35	40	45	50	55
箱內溫度(上)°C	18.9	18.4	18	18	18	17.3	16.6	16.4	16.4	16.9	17.5	18.4
箱內溫度(下)°C	18.5	18.3	18.1	18.1	18.5	18.5	18.6	19	19.5	20.3	21.3	22.3
相對溼度(上)%	80	82	86	100	100	77	75	75	77	80	100	100
相對溼度(下)%	80	81	83	86	100	76	73	72	73	69	72	71
箱外水溫°C	17	21	26	31	37	41	45	49	53	57	60	60

加水 10ml	第二次實驗											
	※放入冰塊											
加熱時間(分鐘)	0	5	10	15※	20	25	30	35	40	45	50	55
箱內溫度(上)°C	18.5	18.3	18.2	18.3	18.3	17.4	16.5	16.3	16.4	17	17.5	18.4
箱內溫度(下)°C	18.3	18.2	18.1	18.1	18.5	18.4	18.2	18.8	19.5	21.2	22.2	22.3
相對溼度(上)%	81	82	84	100	100	78	75	74	77	82	100	100
相對溼度(下)%	81	82	83	87	100	75	73	72	73	70	73	71
箱外水溫°C	17	20	24	30	36	42	44	50	53	58	60	60

加水 10ml	第三次實驗											
	※放入冰塊											
加熱時間	0	5	10	15	20※	25	30	35	40	45	50	55
箱內溫度(上)°C	18.5	18.7	18.5	18.4	19.5	18.1	17.2	16.8	16.5	16.9	17.3	17.1
箱內溫度(下)°C	18.1	19	20.6	21.1	20	19.8	18.5	17.5	19.1	21	22.1	22.4
相對溼度(上)%	82	84	88	95	100	80	75	72	80	82	81	100
相對溼度(下)%	82	81	83	86	100	83	78	73	70	69	65	72
箱外水溫°C	18	20	24	29	35	40	42	46	50	53	55	60

加水 10ml	平均值											
	※放入冰塊											
加熱時間	0	5	10	15	20※	25	30	35	40	45	50	55
箱內溫度(上)°C	18.6	18.5	18.2	18.2	18.6	17.6	16.8	16.5	16.4	16.9	17.4	18.0
箱內溫度(下)°C	18.3	18.5	18.9	19.1	19.0	18.9	18.4	18.4	19.4	20.8	21.9	22.3
相對溼度(上)%	81.0	82.7	86.0	98.3	100.0	78.3	75.0	73.7	78.0	81.3	93.7	100.0
相對溼度(下)%	81.0	81.3	83.0	86.3	100.0	78.0	74.7	72.3	72.0	69.3	70.0	71.3
箱外水溫°C	17.3	20.3	24.7	30.0	36.0	41.0	43.7	48.3	52.0	56.0	58.3	60.0

表 箱內放 20ml 水的溫度與濕度關係表(有產生霧)

加水 20ml	第一次實驗 *霧產生的時間 ※表示加入冰塊的時間												
加熱時間	0	5	10※	15	20	25	30	35	40	45*	50	55	60
箱內溫度(上)	17.5	18	18.1	17	17.1	17.4	17.6	18.1	18.8	19.5	20.4	21.4	22.4
箱內溫度(下)	16.5	16.8	17.1	17.3	17.4	17.5	17.9	18.6	19.4	20.1	20.9	22	23.3
相對溼度(上)	82	89	100	88	89	100	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)	80	85	100	84	85	87	100	100	100	100	100	100	100
箱外水溫	18	23	29	34	38	42	47	52	57	60	61	61	61

加水 20ml	第二次實驗 *霧產生的時間 ※表示加入冰塊的時間													
加熱時間	0	5	10	15※	20	25	30	35	40	45*	50	55	60	65
箱內溫度(上)	19.4	18.9	18.9	18.4	18	17.8	17.9	18.1	18.6	19.3	19.9	20.6	21.1	21.9
箱內溫度(下)	18.8	18.4	18.5	18.8	19	19.4	20	20.6	21.4	21.9	22.8	23.4	24	24.6
相對溼度(上)	82	84	100	100	86	85	89	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)	77	79	89	100	80	78	75	78	84	88	100	100	100	100
箱外水溫	20	23	29	34	37	43	47	51	55	59	61	62	63	62

加水 20ml	第三次實驗 *霧產生的時間 ※表示加入冰塊的時間													
加熱時間	0	5	10	15※	20	25	30	35	40	43*	45	50	55	60
箱內溫度(上)	17.4	17.5	17.9	18.1	17.9	17.4	17.1	17.4	17.9	18.4	19.1	19.9	20.4	20.6
箱內溫度(下)	17.6	17.8	18	18.4	18.9	19.4	20	20.9	21.8	22.6	23.5	24	24.4	24.9
相對溼度(上)	84	85	88	100	81	76	77	80	86	100	100	100	100	100
相對溼度(下)	83	83	86	100	83	75	69	70	72	74	77	78	79	80
箱外水溫	18	23	28	32	37	41	45	49	53	58	61	61	61	60

加水 20ml	平均值 *霧產生的時間 ※表示加入冰塊的時間												
加熱時間	0	5	10	15※	20	25	30	35	40	44*	48	53	58
箱內溫度(上)	18.1	18.1	18.3	17.8	17.7	17.5	17.5	17.9	18.4	19.1	19.8	20.6	21.3
箱內溫度(下)	17.6	17.7	17.9	18.2	18.4	18.8	19.3	20.0	20.9	21.5	22.4	23.1	23.9
相對溼度(上)	82.7	86.0	96.0	96.0	85.3	87.0	88.7	93.3	95.3	100.0	100.0	100.0	100.0
相對溼度(下)	80.0	82.3	91.7	94.7	82.7	80.0	81.3	82.7	85.3	87.3	92.3	92.7	93.0
箱外水溫	18.7	23.0	28.7	33.3	37.3	42.0	46.3	50.7	55.0	59.0	61.0	61.3	61.7

附件三：實驗記錄數據表—在觀霧箱內分別導入 SO₂、CO₂、O₃的霧形成模擬實驗

表 觀霧箱導入 SO₂的溫度、濕度、產霧時間紀錄

加入硫(3g)	第一次實驗					*霧產生的時間		※加入 SO ₂		
加熱時間(分鐘)	0	5	10※	15	17*	20	25	30	35	40
箱內溫度(上)°C	19.4	19.1	19	19	19.1	19.4	19.9	20.4	21.4	22.1
箱內溫度(下)°C	19.6	19.4	19.4	19.4	19.5	19.6	20.3	20.9	21.9	22.5
相對溼度(上)%	81	88	100	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)%	81	85	100	100	100	100	100	100	100	100
箱外水溫°C	23	26	29	33	35	38	43	47	53	56

加入硫(3g)	第二次實驗					*霧產生的時間		※加入 SO ₂		
加熱時間(分鐘)	0	5	10※	15	18*	20	25	30	34	40
箱內溫度(上)°C	19.5	19.3	19	19.2	19.5	19.7	20.1	20.5	21.5	22.3
箱內溫度(下)°C	19.7	19.4	19.7	19.4	19.5	19.8	20.3	20.8	21.8	22.6
相對溼度(上)%	82	89	100	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)%	82	86	100	100	100	100	100	100	100	100
箱外水溫°C	23	28	30	34	37	38	41	45	55	60

加入硫(3g)	第三次實驗					*霧產生的時間		※加入 SO ₂		
加熱時間(分鐘)	0	5	10※	15	19*	20	25	30	33	40
箱內溫度(上)°C	19.7	19.3	19.4	19.5	19.8	20	19.9	20.4	21.7	22.4
箱內溫度(下)°C	19.4	19.6	19.8	19.9	19.9	19.8	20.3	20.9	21.9	22.7
相對溼度(上)%	80	88	100	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)%	80	85	100	100	100	100	100	100	100	100
箱外水溫°C	25	28	29	36	38	40	43	47	53	60

加入硫(3g)	平均值					*霧產生的時間		※加入 SO ₂		
加熱時間(分鐘)	0	5	10※	15	18*	20	25	30	33	40
箱內溫度(上)°C	19.5	19.2	19.1	19.2	19.5	19.7	20.0	20.4	21.5	22.3
箱內溫度(下)°C	19.6	19.5	19.6	19.6	19.6	19.7	20.3	20.9	21.9	22.6
相對溼度(上)%	81	88.3	100	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)%	81	85.3	100	100	100	100	100	100	100	100
箱外水溫°C	23.7	27.3	29.3	34.3	36.7	38.7	42.3	46.3	53.7	58.7

表 觀霧箱導入 CO₂ 的溫度、濕度、產霧時間紀錄

加入碳(3g)	第一次實驗 *霧產生的時間 ※加入 CO ₂								
加熱時間(分鐘)	0	5	10※	15*	20	25	30	36	40
箱內溫度(上)°C	18.9	18.9	18.9	19.4	19.9	20.6	21.5	22.3	23.4
箱內溫度(下)°C	19.5	19.4	19.4	19.6	20.3	20.9	21.5	22.4	23.4
相對溼度(上)%	83	88	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)%	78	82	88	100	100	100	100	100	100
箱外水溫°C	22	27	32	36	41	45	50	54	58

加入碳(3g)	第二次實驗 *霧產生的時間 ※加入 CO ₂								
加熱時間(分鐘)	0	5	10※	16*	20	25	30	37	40
箱內溫度(上)°C	18.5	18.9	19.1	19.4	20.1	20.8	21.6	22.6	23.7
箱內溫度(下)°C	18.7	19.4	19.6	19.6	20.4	21.3	21.5	22.6	23.6
相對溼度(上)%	85	92	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)%	81	88	100	100	100	100	100	100	100
箱外水溫°C	23	26	32	36	43	47	52	54	60

加入碳(3g)	第三次實驗 *霧產生的時間 ※加入 CO ₂								
加熱時間(分鐘)	0	5	10※	19*	20	25	30	34	40
箱內溫度(上)°C	18.9	18.9	18.9	19.8	19.9	20.6	21.9	22.5	23.8
箱內溫度(下)°C	19.5	19.4	19.4	19.7	20.3	20.9	21.8	22.7	23.9
相對溼度(上)%	83	89	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)%	79	83	88	100	100	100	100	100	100
箱外水溫°C	24	27	34	35	42	46	51	55	59

加入碳(3g)	平均 *霧產生的時間 ※加入 CO ₂								
加熱時間(分鐘)	0	5	10※	16.7*	20	25	30	34	40
箱內溫度(上)°C	18.8	18.9	19.0	19.5	20.0	20.7	21.7	22.5	23.6
箱內溫度(下)°C	19.0	19.2	19.3	19.7	20.2	20.9	21.6	22.5	23.6
相對溼度(上)%	83.7	89.7	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)%	79.3	84.3	92.0	100	100	100	100	100	100
箱外水溫°C	23.0	26.7	32.7	35.7	42.0	46.0	51.0	54.3	59.0

表 觀霧箱導入 O₃ 的溫度、濕度、產霧時間紀錄

加入臭氧	第一次實驗 *霧產生的時間 ※加入 O ₃									
加熱時間	0	5	10	15※	20*	25	30	35	40	
箱內溫度(上)	19.4	19.1	19	19.3	19.6	20	20.8	21.6	22.4	
箱內溫度(下)	19.6	19.4	19.3	19.9	20.6	21.5	22.1	23.1	23.9	
相對溼度(上)	80	83	89	100	100	100	100	100	100	
相對溼度(下)	78	80	85	100	100	100	100	100	100	
箱外水溫	20	25	30	36	40	43	47	52	56	

加入臭氧	第二次實驗 *霧產生的時間 ※加入 O ₃									
加熱時間	0	5	10	15※	20	22*	25	30	35	40
箱內溫度(上)	19.7	19.5	19.9	20.1	20.4	20.5	20	20.8	21.6	22.4
箱內溫度(下)	19.7	19.6	19.8	20	20.6	20.7	21.5	22.1	23.1	23.9
相對溼度(上)	81	85	89	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)	81	82	85	100	100	100	100	100	100	100
箱外水溫	22	28	32	37	43	45	45	49	53	58

加入臭氧	第三次實驗 *霧產生的時間 ※加入 O ₃									
加熱時間	0	5	10	15※	20	23*	25	30	35	40
箱內溫度(上)	19.2	19.5	19.9	20.3	20.5	20.5	20.7	20.8	21.6	22.4
箱內溫度(下)	19.3	19.7	19.9	20.1	20.6	20.8	21.5	22.1	23.1	23.9
相對溼度(上)	82	85	92	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)	80	83	89	100	100	100	100	100	100	100
箱外水溫	23	29	33	36	41	45	46	49	55	60

加入臭氧	平均值 *霧產生的時間 ※加入 O ₃									
加熱時間	0	5	10	15 ※	20	22 *	25	30	35	40
箱內溫度(上)	19.4	19.4	19.6	19.9	20.2	20.5	20.2	20.8	21.6	22.4
箱內溫度(下)	19.5	19.6	19.7	20.0	20.6	20.8	21.5	22.1	23.1	23.9
相對溼度(上)	81.0	84.3	90.0	100	100	100	100	100	100	100
相對溼度(下)	79.7	81.7	86.3	100	100	100	100	100	100	100
箱外水溫	21.7	27.3	31.7	36.3	41.3	45.0	44.7	48.3	53.3	58.0

附件四：實驗記錄照片－在觀霧箱內分別導入 SO₂、CO₂、O₃的霧形成模擬實驗

<p>0 分鐘</p> 	<p>約 5 分鐘</p> 	<p>約 10 分鐘</p> 	<p>約 18 分鐘</p> 
<p>約 20 分鐘</p> 	<p>約 25 分鐘</p> 	<p>約 30 分鐘</p> 	<p>約 30 分鐘(側面圖)</p> 
<p>約 40 分鐘</p> 	<p>約 40 分鐘(正面圖)</p> 	<p>約 40 分鐘(另一側圖)</p> 	

圖 導入 SO₂ 加速霧的形成實驗過程照片

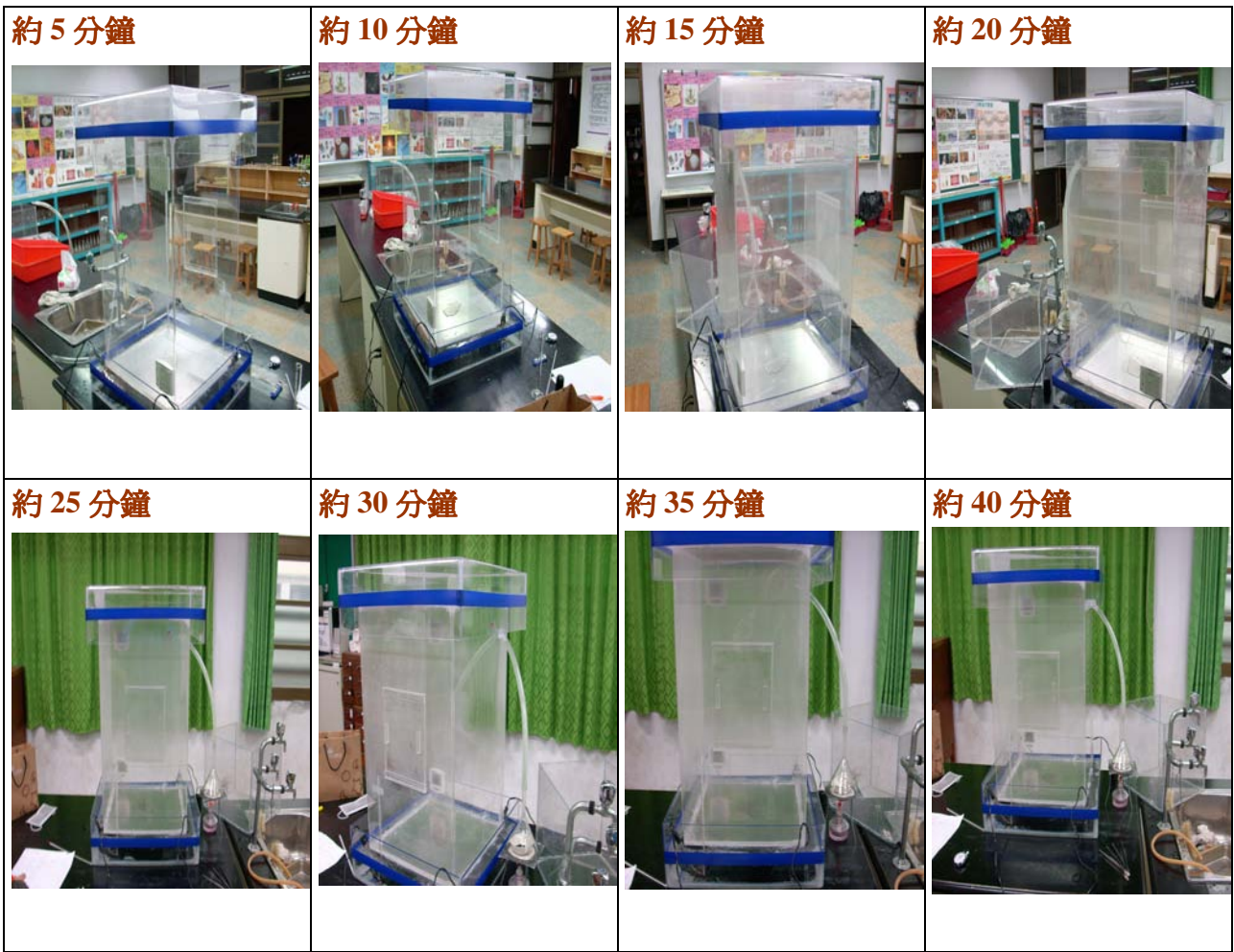


圖 導入 CO₂ 加速霧的形成實驗過程照片

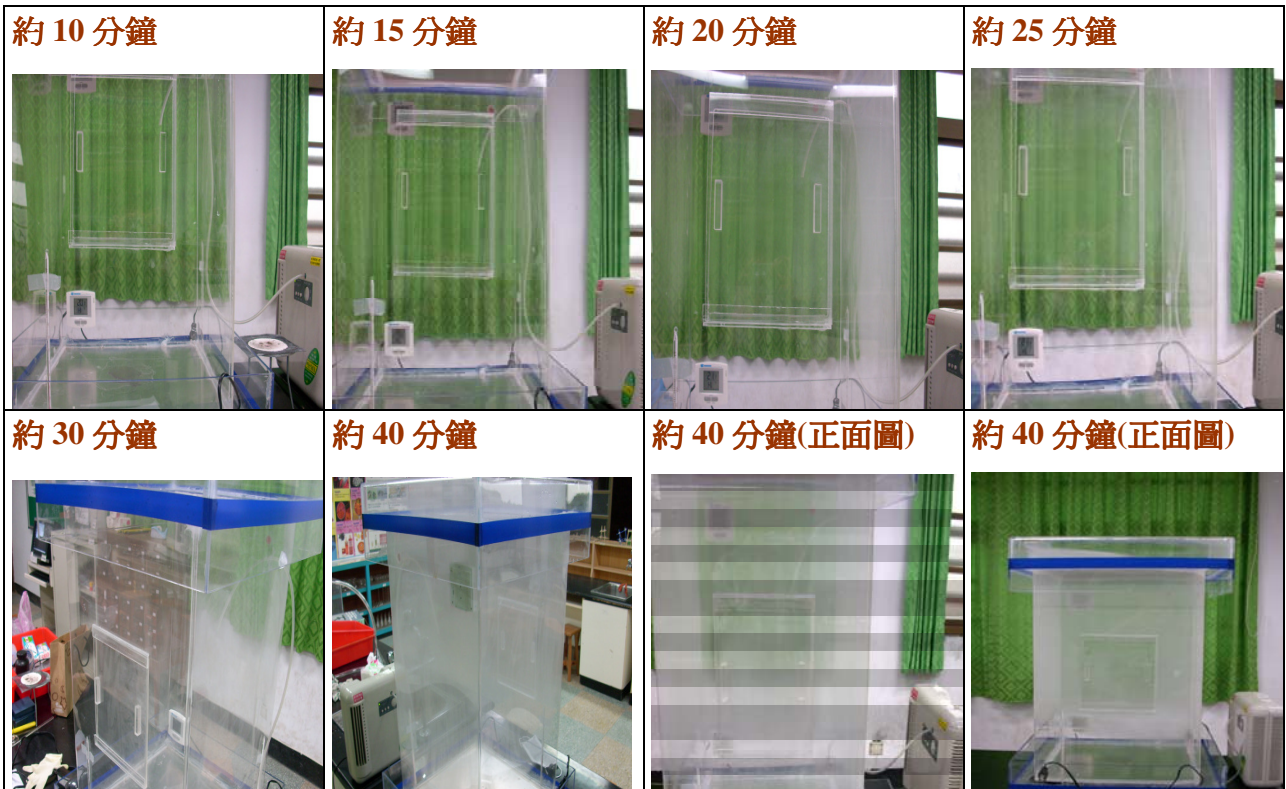


圖 導入 O₃ 加速霧的形成實驗過程照片

【評語】

031726 空氣"霧"染

1. 實驗設計簡單明瞭，能充分把實際大氣發生的現象在實驗中模擬。並與大氣觀測相比較，相當有創意。
2. 以能見度 1 公里和相對濕度 75%作為判斷起霧標準，仍有可斟酌之處。低層大氣要起霧，其相對濕度肯定相當高，若考慮觀測點及觀測誤差等因素，相對濕度對不至於低到 75%。
3. 利用加入 SO_3 、 CO_2 、 O_3 的方式製造凝結核的方法略顯粗糙，無法與實際的大氣狀況相擬。
4. 實驗中對有否起霧的狀況並無實際的觀測。