

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 化學科

最佳團隊合作獎

030215

寒暖霜晶透春秋~探索天氣瓶

學校名稱：高雄市立國昌國民中學

作者：  國二 黃奕愷  國二 邱正標  國二 謝秉均	指導老師：  陳惠玲
---	------------------

關鍵詞：天氣瓶、天然樟腦、對二氯苯

## 摘要

本篇報告從天氣瓶的基礎認知著手（第一部分），藉著增加天氣瓶的鹽類、藥用酒精之含量（第二部分），找出每一種物質對配方溶液的影響；接著減少水分，發現水分對天然樟腦藥用酒精溶液的析出溫度有增加的趨勢（第三部分）。由前方探索，我們用找到的規則性，製作對二氯苯藥用酒精溶液，並添加水分，增加析出溫度，做出第一種系列結晶溫度的水晶腦天氣瓶（第四部分），最後找到萘片結晶相關條件：在酒精中增加丙酮，減少析出溫度，終於得到第二種系列結晶溫度的萘片天氣瓶（第五部分）。

以原配方天氣瓶為主軸，統整查詢的資料，改變不同的物質，我們發現不同天氣瓶的內容物溶劑比例對析出溫度有規則性，可以推算公式，做出各具特色的美麗天氣瓶。

## 壹、實驗動機

在國二上理化 2-2 溶解度單元有個實驗「探討溫度對硝酸鉀溶解度的影響」中，我們發現飽和硝酸鉀水溶液在低於一定溫度時會有針狀的硝酸鉀結晶析出。老師在此帶了一叫做天氣瓶的物品，號稱「古時候的氣象局」可以利用瓶內結晶型態預測天氣，我們覺得十分特別也存疑，上網查閱相關資料，發現市售的天氣瓶以天然樟腦結晶為主，還添加了其他鹽類，結成美麗的羽狀結晶。看到這些讓我們更好奇了，單一物質降溫即可析出晶體，加入其他溶劑溶質用意為何？配方比例怎麼找出來的？為什麼簡單材料製成的藥用酒精水溶液天氣瓶，售價這麼貴？有沒有其他取代物質？為了解開這些疑惑，我們展開了一連串的研究。

## 貳、實驗目的

第一部分：配方天氣瓶 基礎探索

第二部分：探討配方瓶中添加各成分物質的影響

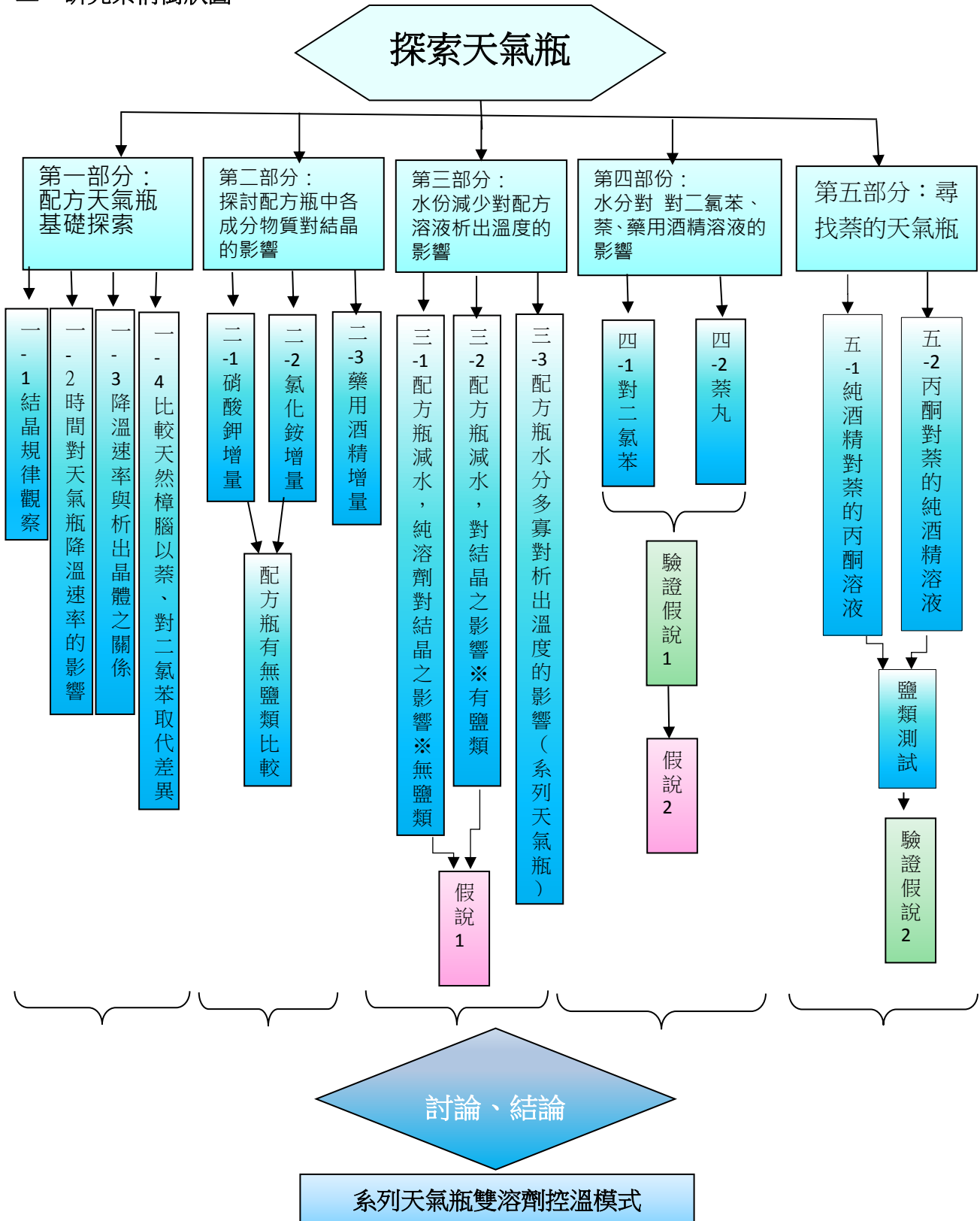
第三部分：水份減少對配方溶液析出溫度的影響

第四部分：水分對天然樟腦、對二氯苯、萘丸藥用酒精溶液的影響

第五部分：探討丙酮、純酒精、水 對萘結晶溫度的影響

## 參、研究設備器材與研究架構樹狀圖

- 一、器材、藥品類：燒杯、量筒、滴管、電磁加熱攪拌器、溫度計、玻璃瓶、電子秤、秤量紙、研鉢、玻棒、保鮮膜、標籤紙、奇異筆、恆溫槽。天然樟腦、萘丸、對二氯苯(市售水晶腦)、硝酸鉀、氯化銨、硝酸鈉、藥用酒精、熱水、純酒精(99.5%)、丙酮…等。
- 二、研究架構樹狀圖




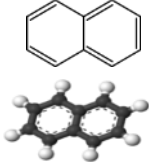
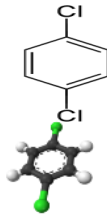
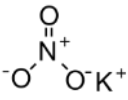
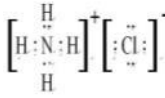
## 肆、文獻探討

**一、天氣瓶概論：**天氣瓶，又稱風暴瓶（Storm Glass），是一種在十九世紀時用於天氣預報工具。密閉的玻璃容器中，裝入數種化學物質組成的透明溶液。根據外界溫度、天氣的改變，瓶內會展現出不同型態的結晶，預報天氣的變化。瓶內結晶的變化，主要是由於溶液內的樟腦、硝酸鉀、氯化銨在水與乙醇混合溶劑內的溶解度會隨著溫度變化。溫度改變時，三種物質的結晶析出、溶解速度有差異而造成的交互作用。而溫度的變化速度，則會影響結晶的成長大小與結構。這些因素加總起來，造成瓶內晶體型態萬千的美麗變化。<sup>〔參一〕</sup>



**二、製作標準配方天氣瓶方法：**將硝酸鉀 2.5 公克以及氯化銨 2.5 公克溶於 33mL 水中；樟腦 10.0 公克溶於藥用酒精 40.0 毫升（31.6 公克）中，將水溶液倒入藥用酒精溶液中，微溫攪拌澄清後，密封於玻璃容器中，靜置降溫即成。（後文將此比例的天然樟腦藥用酒精水溶液稱為**配方瓶**）<sup>〔參一〕</sup>

### 三、本實驗使用主要結晶藥品基本條件

樟腦		樟腦，化學名為莨菪酮，分子式為 $C_{10}H_{16}O$ ，分子量為 152，分子結構為立體結構。易升華，有特殊香氣，刺鼻，可用於驅蟲。極易溶於藥用酒精，微溶於水〔1:598(14~17°C)〕。 <sup>〔參四〕</sup>
萘		萘，分子式為 $C_{10}H_8$ ，分子量為 128，是一種稠環芳香烴，為無色或白色有光澤的鱗片狀單斜結晶，有溫和芳香氣味。熔點 80.6°C，沸點 219.9°C。難溶於水，微溶於藥用酒精。 <sup>〔參二〕</sup>
對二氯苯		對二氯苯，分子式為 $C_6H_4Cl_2$ ，分子量為 111。熔點 53.5°C，沸點 174°C。常溫下易昇華並釋放刺激性氣味，氣味較強。難溶於水，不易被土壤生物分解。對二氯苯為樟腦丸中最常用的成分。 <sup>〔參三〕</sup>
硝酸鉀		硝酸鉀，實驗式 $KNO_3$ ，分子量為 101。外觀為透明無色或白色粉末。溶於水，稍溶於乙醇。 <sup>〔參五〕</sup>
氯化銨		氯化銨，分子式為 $NH_4Cl$ ，分子量為 53。外觀為無色立方晶體或白色結晶，其味咸涼有微苦。易溶於水和液態氨，並微溶於乙醇，但不溶於丙酮和乙醚。 <sup>〔參六〕</sup>

## 伍、研究過程及結果

### 第一部分：配方天氣瓶基礎探索

#### 實驗(一)-1 探討市售配方天氣瓶影響結晶形狀之規律

**源起**：對於天氣瓶的疑惑太多，於是從現成配方瓶找研究起點；從 103 年夏天到冬天，先長期觀察，找出規則性。




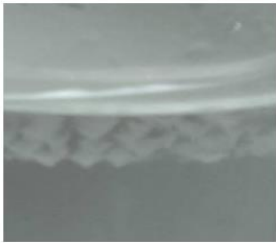

**步驟** 1.將硝酸鉀 2.5g 和氯化銨 2.5g 溶解於 33mL 熱水中

2.將天然樟腦 10g 溶解於 40mL 藥用酒精中

3.將步驟 2 的藥用酒精溶液，放置於電磁加熱攪拌器上，緩慢加熱至完全溶解。

4.將步驟 1 的水溶液分段加到步驟 3 的藥用酒精溶液中，加熱攪拌至完全澄清透明。

5.完成澄清液置於密封玻璃瓶中，隨天氣變化長期觀察結晶動靜，觀察過程如下

			
<p>1030929 入秋天冷，一早見昨日混濁液長成團簇羽狀晶，隨著入冬 1031120，晶簇漸大。</p>			
			
<p>將羽狀晶搖平，隨著白天升溫，入夜降溫，常在早晨看見羽狀晶上，長出錐狀晶體團簇</p>	<p>重新用熱水將整瓶溶勻，在寒冷的天氣自然降溫，發現 29°C 整瓶起霧，上層約 1 公分似有分層，為結晶前兆。</p>	<p>27.1°C 上赫然看見上方已出現一片錐形雪晶，瓶底也才開始長小小晶。</p>	<p>將瓶子放入冰箱，降溫過快時，像洗衣粉般的晶體大量析出。</p>

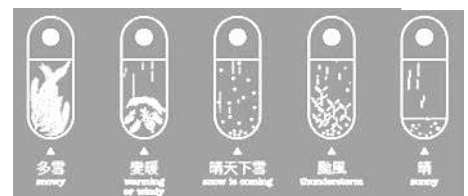
#### 觀察與討論：

1.長期觀察發現~結晶速度越慢，晶體形態**越大越清晰**。溫度越低，結晶**量**越多。

2.曾經在網路找過配方瓶結晶形狀與天氣之關係資料(圖 1)，

各種不同形狀的晶體似乎跟外在天氣條件有相關〔參 11〕。

圖 1



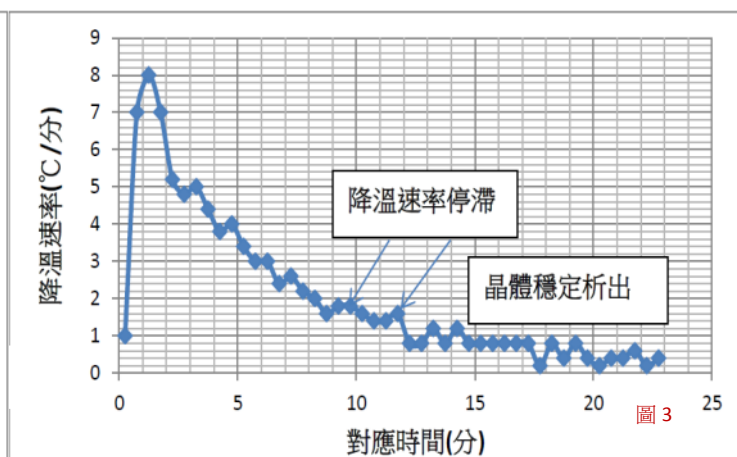
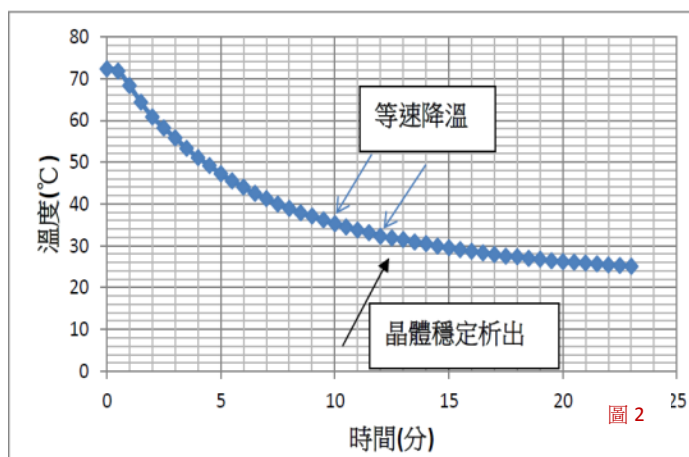
3.根據我們長期觀察，發現天氣可以影響結晶的形狀，只不過它只能依據降溫快慢與溫度高低而改變。密封的瓶子避免藥用酒精蒸發，氣壓、濕度…等都看不出對瓶內晶體有何影響，所以僅用小小天氣瓶來預測天氣是否為多雪、變暖、晴天、下雪、颱風…等等，有點誇大不實。〔參六〕

### 實驗(一)-2 天氣瓶降溫速率探索~時間對天氣瓶降溫速率的影響

**步驟** 1.準備標準配方水溶液(80g)裝於雞精瓶中以保鮮膜封瓶口，隔水加熱澄清後，室溫降溫。

2.將溫度計插入雞精瓶中，每 30 秒紀錄 1 次溫度，直到瓶內溫度不再變化時，停止紀錄。

**實驗結果**：將溫度-時間(圖 2)-任兩點取斜率即為降溫速率；再對應時間中點即成降溫速率-時間關係(圖 3)



### 觀察與討論

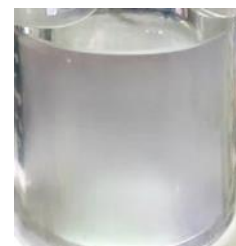
1.降溫愈久，降溫速率越慢。

2.配方水溶液剛開始降溫速率最快，逐漸遞減，大約在在 10-12 分鐘時，溶液變混濁，出現第一次的降溫速率停滯(降溫等速)。推測是因溶液結晶正在析出，有放熱現象，減緩了原本的降溫速率。

3.對照圖 2 圖 3，大約在 35°C~33.1°C，之後，晶體析出趨於明顯，降溫曲線與趨於平緩，然後 21 分鐘時與室溫熱平衡，最後維持在 25°C(室溫)。

4.降溫到發生起霧現象(圖 4)，是析出前兆，我們發現從溫度時間圖(圖 2)較不容易看出，從溫度速率圖(圖 3)較明顯。

圖 4



### 實驗(一)-3 降溫速率與析出晶體之關係

**源起**：實驗(一)-1 觀察發現，結晶析出速度越慢，晶體越大越美麗。是否真是如此，因此設計實驗驗證。

**實驗步驟**：1.準備 6 瓶雞精瓶，分別在瓶內裝入準備 0、40、60、80、100、120 的 40°C 溫水。  
2.準備 6 支試管，分別加澄清標準配方水溶液 3mL 後，立刻將管口以保鮮膜密封。  
3.將溫度計插入試管中，再將試管放入各玻璃瓶溫水中如圖 5，待其降溫至結晶析出，記錄其析出溫度與對應時間(表 1)，觀察結晶情形。

**實驗結果**：當日室溫：19°C



圖 5

表 1

外瓶水量(ml)	析出溫度(°C)	結晶晶型
0	29.1	粉末狀
40	30.3	粉末狀
60	29.7	顆粒狀
80	30.9	顆粒狀
100	30.8	針狀
120	31.2	針葉狀

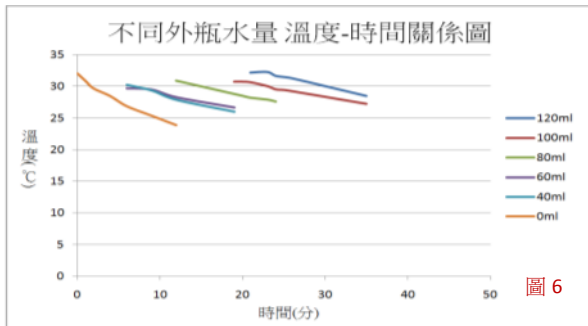


圖 6

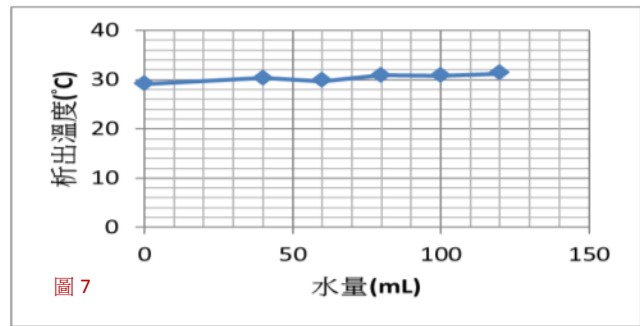


圖 7

**觀察與討論**：

- 1.根據實驗觀察(圖 6)，水量越多，降溫速率越慢的配方水溶液，結晶越大越完整透明。
2. 試管外瓶水少，降溫速率較快，內部物質分子來不及排列組合，晶體較為細小綿密(圖 8)；反之，若降溫時間較長，就能夠結出較完整的晶體。
- 3.裝有 0mL 40mL 水中的配方液試管結晶是粉狀，再降溫也長不出大晶體；而放在裝有 120mL 水的試管結晶則是針葉狀。
- 4.從實驗(一)-1 長期觀察，入秋時第一個晶體結的最完整漂亮(圖 9)，從實驗(一)2 解釋，應是降溫超慢，可惜白天溫度回升，晶體就溶化變小了。
- 5.同一瓶配方瓶溶液在各試管中，發現外圍水量少，晶體析出速度快的，析出溫度較低，有大約兩度的落差(表 1 圖 7)。



圖 8



圖 9

**小結論**

外瓶水量少，降溫速率快，溫度變化大，析出晶體較為細小綿密；

反之，外瓶水量多，降溫速率慢，溫度變化小，析出晶體較大而完整美麗。

**實驗(一)-4** 以配方瓶成分比例為準，將天然樟腦以市售萘丸、對二氯苯取代，比較差異。

**步驟** 1.以萘丸與對二氯苯，各取代實驗(一)-1 的天然樟腦，不改變其他成份，重複步驟 1-4

**實驗結果**：萘、對二氯苯、樟腦最終析出狀況(圖 10)



圖 10

**觀察與討論**：

1.我們共做 5 瓶萘取代的天氣瓶，幾乎水溶液與藥用酒精溶液一加在一起，就完全不能溶解。我們認為原配方瓶水量比例太多，於是取其中一瓶再加大量藥用酒精約 50mL，才勉強高溫溶解(酒精過量已非配方比例)，最後測得其析出溫度約為 65°C，冷卻後晶型是綿密片狀(圖 10)。

2.根據文獻探討及實做，我們發現對二氯苯的確比萘更容易溶於藥用酒精，混合後的溶液，重新加入揮發掉的藥用酒精至應有的克數，須達到高溫完全溶解，降到約 35°C 才會析出。

3.對二氯苯的熔點很低，約 53.5°C，因此在加熱溶解的過程中，尚未溶解的對二氯苯，意外融化了，而形成兩種液體分離的奇特景象。若逆回冷卻則



在下方凝固成毛狀結晶。將溶解液靜置一天，隔日來看發現長出巨大長形晶體(圖 11)。

圖 11

**小結論**：

1.原配方瓶藥用酒精與水體積比例(40：33)，不適合萘。儘管失敗了，卻發現萘片結晶閃耀七彩，是另一類型的美麗，也可以作為天氣瓶的材料，留待後方實驗，重新尋找最佳比例。

2.對二氯苯容易溶於藥用酒精，形成晶體長約數公分，形成速率快，看似壯觀，我們認為這也是可以取代天然樟腦成分的新種天氣瓶。

3.但是新種天氣瓶在室溫陸續結晶的**原理與規則性**如何找出，我們依然從基本配方天氣瓶更進一步探究。



## 第二部分：探討配方瓶中添加各成分物質的影響

**緣起**：配方瓶中除了天然樟腦、藥用酒精之外，還有水與硝酸鉀氯化銨，這些成分到底作用是什麼，令人好奇，於是設計以下實驗來探索。

### 實驗(二)-1 天氣瓶配方中硝酸鉀對結晶形成之影響

圖 12

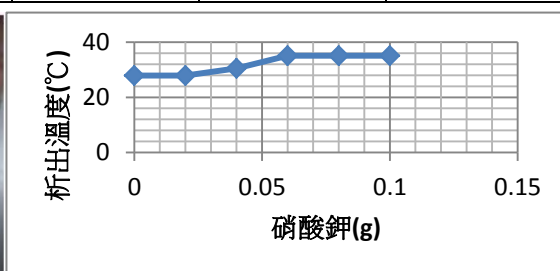
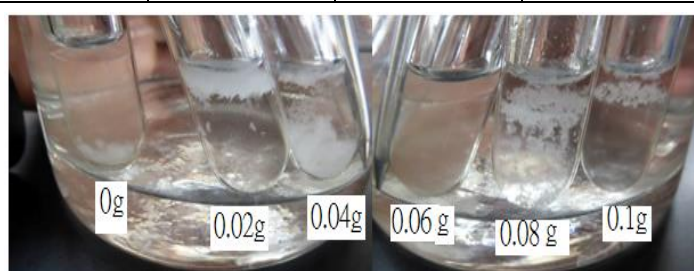


**實驗步驟**：準備 6 管 3mL 配方水溶液，分別再加入 0、0.02g、0.04g、0.06g、0.08g、0.1g 的硝酸鉀，全部溶解後置於溫水集體降溫並觀察其結晶情況(圖 12、13)。

**實驗結果**：試管天氣瓶加入不等量硝酸鉀降溫結果(表 2)

溫度(°C)	配方水溶液	配方水溶液 +0.02g 硝酸鉀	配方水溶液 +0.04g 硝酸鉀	配方水溶液 +0.06g 硝酸鉀	配方水溶液 +0.08g 硝酸鉀	配方水溶液 +0.1g 硝酸鉀
58.0	整管清澈	整管清澈	整管清澈	整管清澈	整管清澈	整管清澈
50.7	整管清澈	整管清澈	整管清澈	整管清澈	整管起霧	整管起霧
49.2	整管清澈	整管清澈	整管清澈	整管起霧	整管起霧	整管起霧
48.5	整管清澈	整管清澈	整管清澈	整管起霧	整管起霧	分 2 層
46.1	整管清澈	整管起霧	整管起霧	整管起霧	分 2 層	分 2 層
44.7	整管清澈	整管起霧	整管起霧	整管起霧	分 2 層	分 2 層
43.9	整管起霧	整管起霧	整管起霧	整管起霧	分 2 層	分 2 層
42.7	整管起霧	整管起霧	整管起霧	分 2 層	分 2 層	分 2 層
39.2	整管起霧	整管起霧	分 2 層	分 2 層	分 2 層	分 2 層
38.6	整管起霧	分 2 層	分 2 層	分 2 層	分 2 層	分 2 層
37.6	分 2 層	分 2 層	分 2 層	分 2 層	分 2 層	分 2 層
35.1	分 2 層	分 2 層	分 2 層	分層, 少量析出	分層, 少量析出	分層, 少量析出
30.5	分 2 層	分 2 層	分層, 少量析出	分層, 少量析出	分層+析出	分層+析出
27.9	分層, 少量析出	分層, 少量析出	分層+析出	分層+析出	分層+析出	分層+析出
25.8	分層+析出	分層+析出	分層+析出	分層+析出	分層+析出	分層+析出
24.5(結束)	分層+析出	分層+析出	分層+析出	分層+析出	分層+析出	分層+析出

表 2



**觀察與討論**：

圖 13

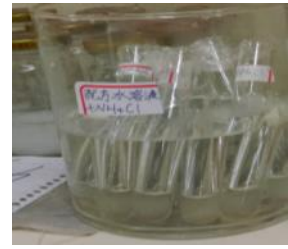
圖 14

1. 3mL 的配方水溶液，最初要加多少硝酸鉀？我們先多加入 0.1g 做測試。我們發現此試管在溶解時已經需要加熱高溫才能完全溶解，因此我們決定以低於 0.1g 的硝酸鉀進行實驗。

2. 由上表 2 與圖 14 發現，配方液再加入越多的硝酸鉀，晶體析出溫度越高，追加 0.06g 達 35°C 就已析出，不適合做天氣瓶。

## 實驗(二)-2 天氣瓶配方中氯化銨對結晶形成之影響

圖 15



**實驗步驟**: 準備 6 管 3mL 的配方水溶液，分別加入 0、0.02g、0.04g、0.06g、0.08g、0.1g 的氯化銨，隔熱水溶解後置於熱水中降溫並觀察其結晶情況。(圖 15、17)

**實驗結果**: 試管天氣瓶加入不等量氯化銨降溫結果(表三)

溫度 (°C)	配方水溶液	配方水溶液 +0.02g 氯化銨	配方水溶液 +0.04g 氯化銨	配方水溶液 +0.06g 氯化銨	配方水溶液 +0.08g 氯化銨	配方水溶液 +0.1g 氯化銨
44.3	整管起霧	整管清澈	整管清澈	整管清澈	整管清澈	整管清澈
43.7	整管起霧	溶液分層	整管清澈	整管起霧	整管起霧	整管起霧
42.6	整管起霧	溶液分層	整管清澈	整管起霧	整管起霧	出現少量結晶
42.2	整管起霧	溶液分層	整管清澈	整管起霧	出現少量結晶	出現少量結晶
41.6	整管起霧	整管起霧	整管起霧	整管起霧	出現少量結晶	出現少量結晶
40.3	溶液分層	整管起霧	整管起霧	分層, 有少量結晶	出現少量結晶	出現少量結晶
37.8	溶液分層	分層, 有少量結晶	分層, 有少量結晶	出現少量結晶	出現少量結晶	出現少量結晶
33.5	分層, 有少量結晶	出現少量結晶	出現少量結晶	出現結晶	出現少量結晶	出現少量結晶
25.9(結束)	大量結晶	大量結晶	大量結晶	大量結晶	大量結晶	大量結晶

表 3

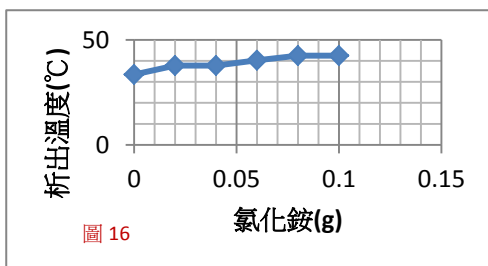


圖 16



圖 17

**觀察與討論**:

1. 與硝酸鉀一樣，因溶解少量氯化銨即需高溫，因此以低於 0.1g 進行實驗。
2. 若以配方水溶液為基準，氯化銨的量越多，析出的溫度就會越高。
3. 同質量的氯化銨比硝酸鉀能讓配方溶液析出的溫度升高更多，我們推測原因如下：

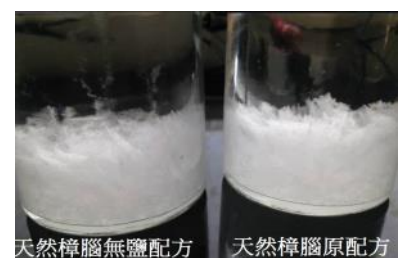
氯化銨在水中溶解度較硝酸鉀低 (30°C 溶解度分別為 41.4, 45.3)，因此兩者同溫度時，氯化銨因較難溶解而較早析出。

**小結論**: 配方液再加入越多的氯化銨，晶體析出溫度越高，不適合當天氣瓶。

**加碼小實驗**: 綜合以上 2 個實驗結果，我們想知道鹽類對配方瓶晶型的影響，我們加碼做一組除鹽天氣瓶對照原配方瓶，在冷氣房降溫一夜的小實驗。結果如圖 18，我們發現：

圖 18

- (1) 晶型幾乎相同 只有結晶量有小差異(除鹽組較少，配方瓶組較多)
- (2) 配方瓶比除鹽瓶較先析出(析出溫度：除鹽瓶<配方瓶)

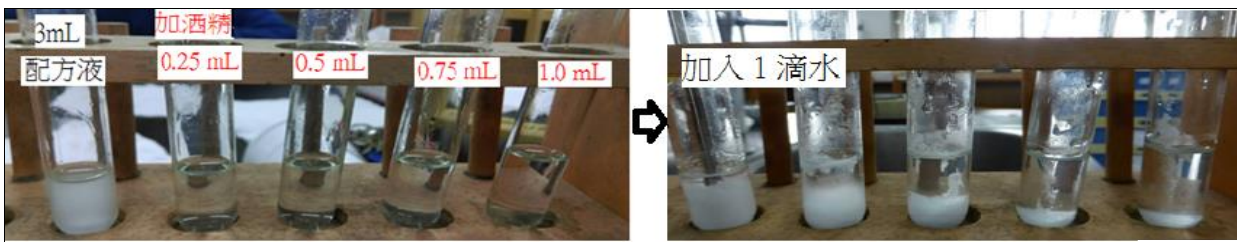


**小結論**：綜合以上各實驗，從有鹽無鹽的對照，增加美觀有限，增減析出溫度有限，減少過飽和析出皆不明顯，無法呼應網路傳言以鹽類為晶核易於析出之論點。10 克天然樟腦，添加 5 克鹽類，我們猜測有成本考量。

### 實驗(二)-3 天氣瓶配方中增加藥用酒精對結晶形成之影響

**實驗步驟**：分別準備 5 管 3mL 的配方水溶液，依序加入 0mL、0.25mL、0.5 mL、0.75mL、1.0mL 的藥用酒精，完全溶解後置於室溫水中降溫並觀察期結晶情況(圖 19，當時溫度 20°C)。

**實驗結果**：基礎配方瓶有析出，其他多加藥用酒精的試管，一直降到 20°C，都沒有析出。



**立即討論**：

圖 19

圖 20

- 1.天然樟腦為天氣瓶結晶中最主要的成分，很明顯加入藥用酒精是為了溶解天然樟腦，若藥用酒精多加一些，很明顯的溶解量大增，在低溫時更不易析出。
- 2.加入藥用酒精會使析出溫度降低，而且加一點點即有極大的變化。我們有嚐試拿冰塊冰鎮，結果發現加藥用酒精 0.25mL 的那一管，析出溫度低於 15°C，已不適合做為天氣瓶。
- 3.因為到非常低溫都沒有析出，因此我們在未析出的試管中各加入 1 滴水，結果一加入即有大量析出(圖 20)，析出量與酒精加入量呈遞減關係，可見天然樟腦難溶於水，析出溫度大大增高。(從維基查到，天然樟腦對水的溶解度只有 0.12g/100mL [參四])

**小結論**：藥用酒精對天然樟腦的溶解度超好，能降低析出溫度；從再加一滴水發現，水能提升晶體的析出溫度。

### 靈光一閃

水與藥用酒精交互作用?! 配方瓶中的水和藥用酒精的量，會不會只是為了控制天然樟腦的析出溫度? 若用其他物種做天氣瓶，能不能套用這方法，做出各種溫度都能析出的溫度計?

### 第三部分：水份減少對天然樟腦藥用酒精溶液與配方溶液析出溫度的影響

#### 實驗(三)-1 天氣瓶配方減少水分，純溶劑對天然樟腦結晶形成之影響(無添加氯化銨與硝酸鉀)

**步驟** 1.準備 10g 天然樟腦、40mL 藥用酒精，33mL 水裝瓶(除鹽配方瓶)，另一平為 10g 天然樟腦、40mL 藥用酒精、20mL 水裝瓶(少水除鹽配方瓶)。

2.置於室溫下觀察，紀錄時間和溫度。**結果**如圖 21-22

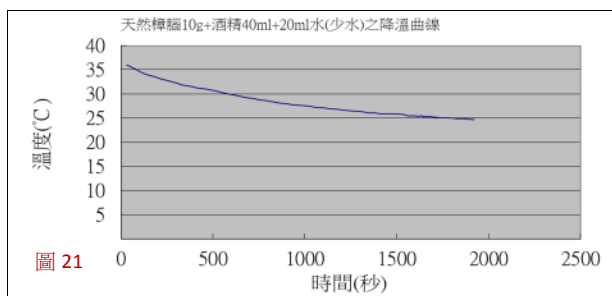


圖 21



圖 22

### 立即討論：

1. 10g 天然樟腦的純藥用酒精溶液，降溫到冰水共存尚未看見結晶。
2. 此減水配方瓶溶液天然樟腦很容易溶解，但半小時後直到 24.7°C 時仍未析出，因此停止降溫時間紀錄。(若晶體析出溫度過低，不適合用於測量南台灣的氣溫)。
3. 後來溶液在 19.5°C 與實驗室內的空氣達成熱平衡，依然未析出，因此我們更進一步使用冰水，讓溶液快速降溫，最後總算於 14.7°C 時溶液開始起霧，然後於 13.9°C 時已有細針狀結晶析出。
4. 晶體靜置析出，探針皆未有攀晶現象，確定探針對晶體析出較無影響。



圖 23

### 小結論：

1. 與原配方瓶比較，33mL 的水減少到 20mL，天然樟腦對藥用酒精 40mL 和水 20mL 的溶解性過高，晶體析出溫度過低。
2. 此瓶溶液的溶解與析出溫度之間的差距過大，而且結晶是**瞬間大量析出**並無慢慢飄雪之現象，因此推測溶液是有**過飽和狀態**。

### 靈光一閃

從實驗(二)1-2 得知，加入硝酸鉀和氯化銨能提高析出溫度，於是下一實驗添回配方瓶中原本就有的硝酸鉀和氯化銨，想看少水配方瓶析出溫度與晶型有什麼改變。

### 實驗(三)-2 天氣瓶配方中僅減少水分，對結晶之影響(有添加氯化銨與硝酸鉀)

**步驟** 1. 準備 10g 天然樟腦、40mL 藥用酒精、20mL 水、2.5g 硝酸鉀、2.5g 氯化銨，裝於雞精瓶中混合溶解。置於室溫下觀察，使用溫度計紀錄溫度。

**結果** 1. 加入鹽類一向非常難溶。此瓶溶液一直到於 51.5°C 完全溶解後，緩慢降溫至室溫 25°C 時，依然沒有結晶析出。

2. 我們取來冰塊繼續降溫，直到 15.1°C 時，出現一根根細小的毛狀晶體，接著便**快速大量**析出，像飄雪花般的結晶從溶液中一直冒出來。

3.在實驗過程中我們發現了一個奇特現象，當晶體出時會放熱，導致水溶液降溫時會有溫度回升的現象，回升的溫度範圍約於 0.5~1°C。

**立即討論：**

- 1.天然樟腦溶於藥用酒精水溶液要吸熱，反之，從溶液析出天然樟腦，會放熱。
- 2.此瓶溶液溶解鹽類的溫度雖然明顯比實驗(三)-1 的無鹽組 36.0°C 高出許多，但是析出溫度卻沒有提高很多，所以我們推測析出溫度低的主因還是在於水量減少，導致天然樟腦對配方溶液的溶解度提高。
- 3.綜合**實驗(三)-1-2**，同為 10g 的天然樟腦，在 4 種不同條件之下，各種異同結果如下。(表 3)

藥品條件	實驗(三) 無水配方(0mL 水，無鹽類)	實驗(三)-1 少水配方(20mL 水，無鹽類)	實驗(三)-2 少水配方(20mL 水，有鹽類)	實驗(一)-3 標準配方 (33mL 水，有鹽類)
溶解溫度	室溫	36.0°C	51.5°C	約 50-55°C
析出溫度	0 度以下	13.9°C	15.1°C	約 30°C
放熱回溫現象	無法測量	不明顯	明顯有回溫 1°C	溫度無明顯停滯。
晶體形狀	不可測	細針狀	細針狀	針葉狀

表 3

4.儘管實驗(一)-3 確定晶體析出有放熱現象，但若是在大量藥用酒精水溶液中一點一滴降溫析出，應該不至於會有回溫現象。因此當出現回溫現象時，代表晶體是大量析出，感覺很像網路影片熱冰醋酸鈉過飽和的現象〔參八〕，所以我們認為天氣瓶的析出，也有過飽和的現象。

**小結論：**

- 1.加入鹽類會讓析出溫度有些許的提高，但會加劇溶解與析出的溫度差異。
- 2.固定量的天然樟腦(10g)，溶於固定量的藥用酒精(40mL)，加了固定量的鹽類(各 2.5g 的硝酸鉀和氯化銨)，決定析出溫度的因素是水量，從 20mL-40mL，析出溫度由 14.4°C 升到 31.5°C。

**實驗(三)-3 配方瓶水分多寡對析出溫度的影響（系列天氣瓶）**

**實驗步驟：**準備 6 瓶配方水溶液（先不加任何水），再依序加入 20ml、25ml、30ml、33ml 及 37ml 的水，溶解後隔水降溫觀察析出溫度。

**實驗結果：**

表 4

水量(mL)	20	25	30	33	37
析出溫度(°C)	14.4	19.7	23.1	28.1	31.5

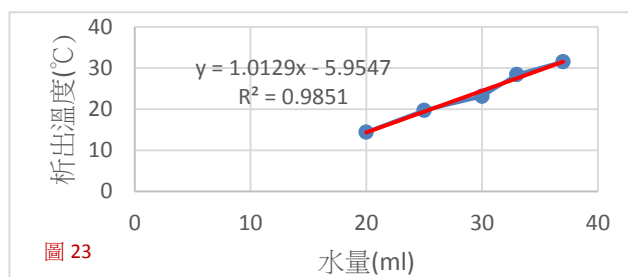


圖 23

### 立即討論

- 我們將表(4)製成了圖(23)，得到的經驗公式為  $y(\text{析出溫度}) = 1.0129x \text{ 水量} - 5.9547$ ，大約是每加 1mL 水，升高 1°C。
- 配方瓶的含水量似乎與晶體析出溫度，在常見天氣溫度範圍內成線性。

### 第四部份：水分對 對二氯苯、萘 藥用酒精溶液的影響

#### 實驗(四)-1 水分對對二氯苯藥用酒精溶液的影響

**實驗目的**：探討對二氯苯藥用酒精溶液，加入水量與結晶析出之溫度之關係

- 實驗步驟**：1. 準備好材料四份：每份為對二氯苯(5g)、95%藥用酒精(20mL)，各裝相同瓶子中。  
2. 一瓶為對照組不加水，另外三瓶，分別加入 1mL、4mL、5mL 的水。  
3. 將 4 瓶溶液皆加熱至瓶內清澈後，置於室溫下觀察溫度變化，每 30 秒為一單位記錄，紀錄時間與溫度，直到溫度不再變化為止。

**實驗結果**：1. 對二氯苯藥用酒精溶液晶體析出定性觀察(圖 24)

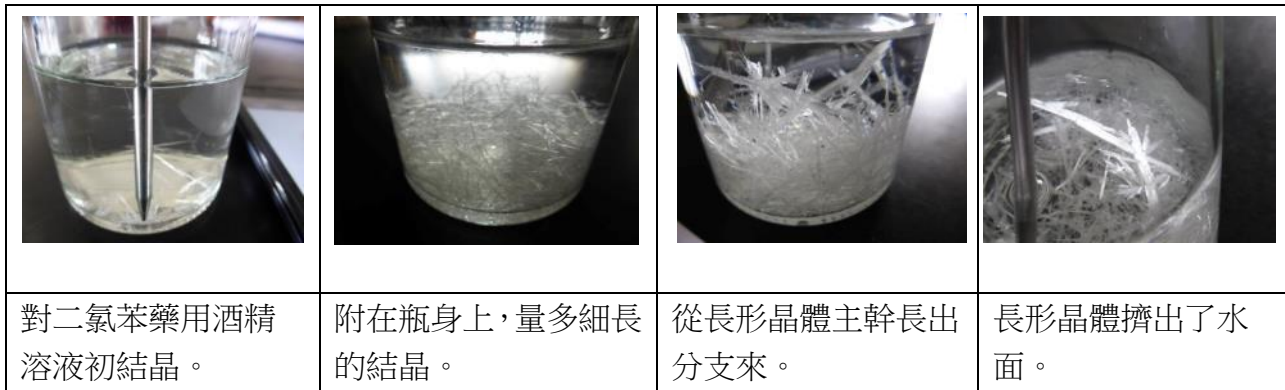


圖 24

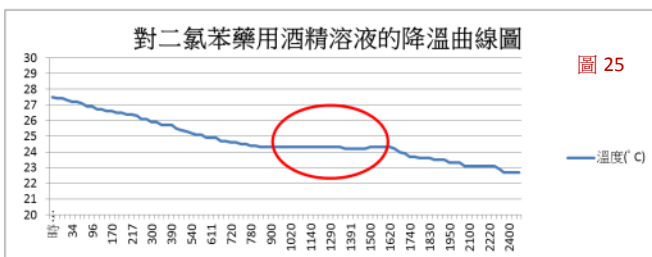


圖 25

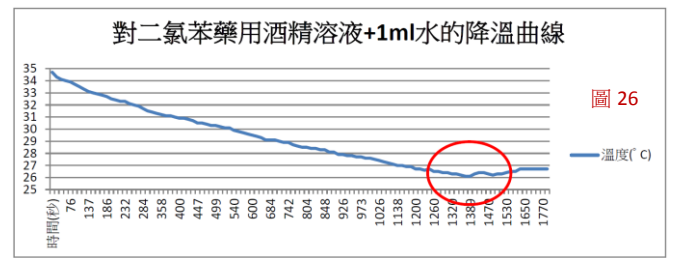


圖 26

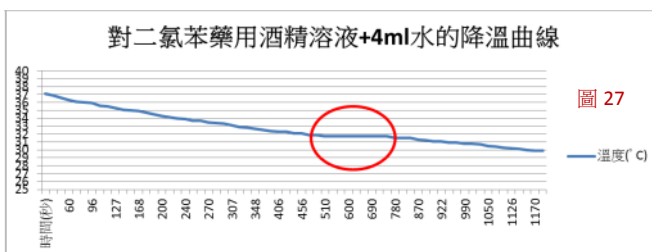


圖 27

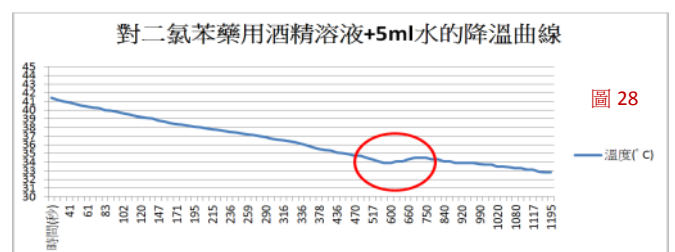


圖 28

- 對二氯苯純藥用酒精溶液在 24~25°C 間析出，析出時間將近 15 分鐘，降溫曲線為水平(圖 25)
- 對二氯苯藥用酒精溶液+1mL 水常溫下降溫曲線圖，圖中可得知析出溫度在 26~27°C 之間，因為加入了少量的水，因此析出溫度些微提高。析出時，回溫狀態變明顯。(圖 26)

3.對二氯苯藥用酒精溶液+4mL 水，由圖可得知析出溫度在 31~32°C 之間。(圖 27)

4.對二氯苯 + 5mL 水，由析出溫度在 34~35°C 之間，析出時段回升的溫度將近 1°C。(圖 28)

### 立即討論

1.結晶時放熱，使的原本降溫速率趨於平緩。又因為對二氯苯難溶於水，所以加入水最多的 5mL 實驗，除了析出溫度提高之外，從圖 29 也可看出，析出量也最多；結晶放熱變多，更有機會看見溫度明顯回升現象，符合預期規則性。

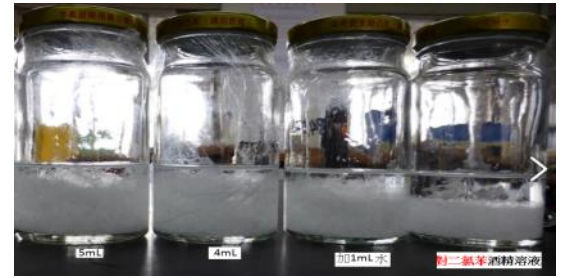


圖 29

2.加水多寡對於對二氯苯結晶型態沒有影響，都是針狀結晶。但純藥用酒精溶液的結晶較細。

3. 5g 的對二氯苯與 20mL 藥用酒精，做出加的水量，與析出溫度關係圖，結果如圖 30，我們發現，恰巧是這段範圍內，對二氯苯配方在一般溫度下，可析出長形晶體。析出溫度大抵以 24.5°C 起跳，每加 1mL 的水，析出溫度約上升 2 度的線性關係。

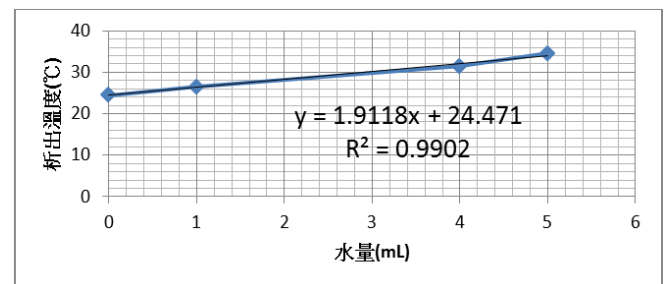


圖 30

4. 模仿標準配方瓶比例，取 5g 的對二氯苯溶質與 20mL 藥用酒精這比例，加了 1-5mL 的水，所呈現的析出溫度，恰巧是高雄市天氣變化最常見的溫度(25-35°C)。

### 小結論

1.由上述結果得知，5g 對二氯苯 20mL 藥用酒精溶液置於雞精玻璃瓶中，加入水後，析出溫度會提高，析出溫度公式為對二氯苯析出溫度 = 1.9118\*水毫升數 + 24.471 (°C)

2.加較多水的對二氯苯藥用酒精溶液，析出結晶變多，放熱多，溫度回升的現象較明顯。

3 我們以對二氯苯析出經驗公式，製作出新種系列結晶溫度天氣瓶如圖 31。



圖 31

4.值得一提的是當結晶瞬間，會長成縱貫上下的長形晶，過程連續快速。有別於配方天氣瓶整夜的緩慢析出，十多分鐘內的動態大長晶，非常有觀賞性。(如圖 32：此圖為 32 °C 會析出對二氯苯晶體的樣品瓶，在 27 度冷氣房中自然冷卻攝影，0-16 分鐘內每 1 分 45 秒取一格)

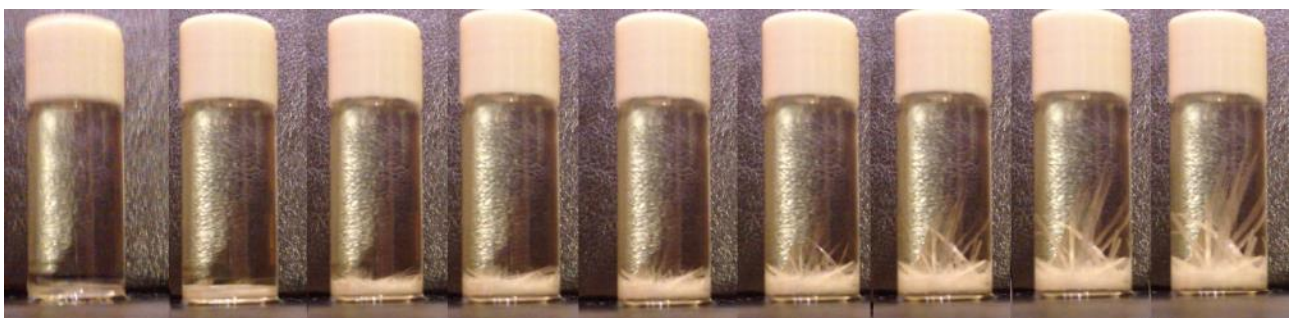


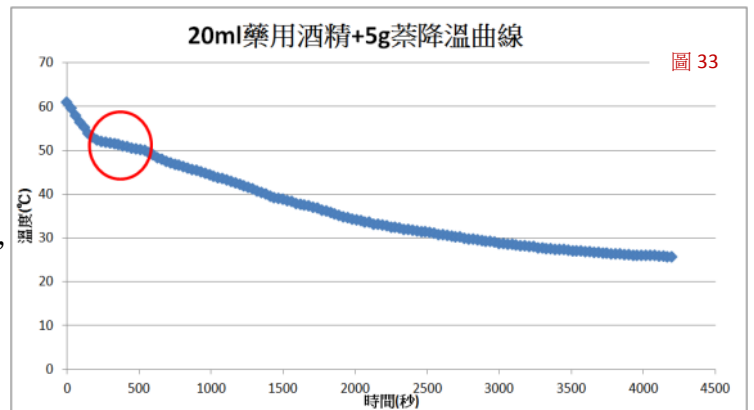
圖 32

## 實驗(四)-2 水分對萘丸藥用酒精溶液的影響

**實驗步驟**：將 5g 萘，20mL 藥用酒精混合，加熱至瓶內完全清澈後，作出原始萘的藥用酒精溶液。將加熱至清澈的萘藥用酒精溶液，置於室溫下觀察，每 30 秒為一單位記錄，記錄時間與溫度，直到瓶內溫度不再下降為止。

### 實驗結果

1.圖 33 為原始萘的天氣瓶(20mL 藥用酒精+5g 萘)析出溫度為 **53.0°C**，前段降溫快，析出時溫度下降有點停滯，後段邊降溫邊析出，降溫速率不大。晶體型態為片狀，如圖 34。



### 觀察與討論

- 1.以配方瓶溶質與藥用酒精比例為準，分量減半，將萘取代天然樟腦，溶於單一藥用酒精，發現萘很難溶，需要將溫度提升到 60°C，才完全溶完。
- 2.由於 20mL 藥用酒精+5g 萘溶液的析出溫度過高，因此我們決定增加藥用酒精的量(比例)。
- 3.將比例調為 50mL 藥用酒精+5g 萘，發現萘片析出溫度為 **41.9°C**，析出溫度依然過高，已經不適合作為天氣瓶。因此不再加水測量析出溫度。
- 4.若再將藥用酒精比例升高，則析出物濃度過於稀少，已經沒有觀賞的價值。



將研磨好的 10g 萘粉加入 50mL 藥用酒精中，發現並不像天然樟腦或對二氯苯，快速溶於藥用酒精。



高溫完全溶解後，室溫降溫，析出像矩形玻璃片般透明片狀結晶，有時會反射斑斕的彩光。



拿起瓶子，在手中輕晃幾圈，片狀的結晶散成了一片片極小的彩晶，在瓶中片片飛舞。 **圖 34**

## 第五部分：探討丙酮、純酒精、水對萘結晶溫度的影響

**源起**我們在實驗第四部分中以藥用酒精、水做出了以對二氯苯為主體的新種天氣瓶。而萘高溫析出，溫度範圍不適天氣瓶。但是萘片飛舞七彩析出的美麗模樣，令人印象深刻，因此我



們考慮用對萘溶解度更好的丙酮與純酒精與水，交叉測試結晶溫度，嘗試製作以**萘晶體**為主體的新種天氣瓶的可能性。

**前置實驗觀察與紀錄：**

5 克萘加 20mL 單一純溶劑基礎測試

溶劑	水	純酒精	丙酮
結果	很難溶	析出溫度 42.3°C	低於 0°C

表 5

**實驗(五)-1 純酒精對萘的丙酮溶液對結晶析出溫度的影響**

**實驗步驟** 1.準備好材料為萘（5g）、丙酮(20mL)，裝入雞精瓶中

2.在步驟一調配好的溶液中加入酒精 10mL，待溶液清澈後，降溫記錄其析出溫度

**實驗結果**：丙酮對萘的溶解度太好，以致於加入酒精後析出溫度依然過低，無法測量

**討論與觀察**：在我們發現只加 10mL 純酒精無法製成適溫天氣瓶時，我們再添加了 10mL 的純酒精，但是析出溫度仍然過低，因此我們認為萘的丙酮溶液加入純酒精，並不適合做為天氣瓶的配方。

**實驗(五)-2 丙酮對萘的純酒精溶液對結晶析出溫度的影響**

**實驗步驟**：1.將萘（5g）、純酒精(20mL)，裝入雞精瓶中，共製作 8 瓶。

圖 35

2.分別在瓶中加入不等量的丙酮，分別為 1mL、1.5mL、2mL、2.5mL、3mL、4mL、5mL、6mL，待溶液清澈後，置於大水缸水浴，外層水淹過瓶內水面，降溫記錄其析出溫度。(圖 35)



**實驗結果**

1.20mL 純酒精（99.5%）+ 5g 萘 + 不等量丙酮 析出溫度與晶形觀察 表 6

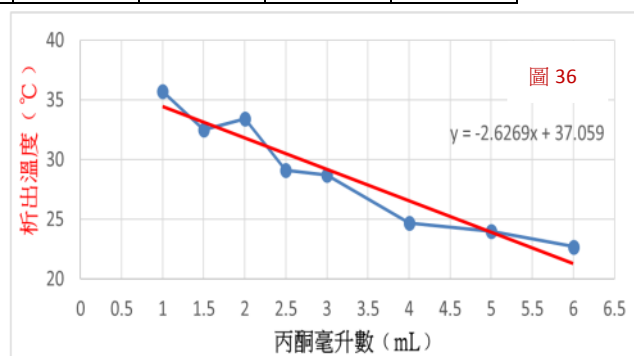
丙酮 (mL)	1	1.5	2.	2.5	3	4	5	6
析出溫度	35.7°C	32.5°C	33.4°C	29.1°C	28.7°C	24.7°C	24.0°C	22.7°C
晶形觀察	片狀	片狀晶簇 →四邊形	四邊形 片狀	細密而多 (過飽和)	片狀晶簇 →四邊形	片狀晶	細密而多	細密而多

表 6 為實驗結果，發現萘結晶在正常降溫下為片狀。若有過飽和現象，則會細而多。

我們將實驗結果製成萘的析出溫度經驗公式圖

(圖 36)，可得

**萘析出溫度為 = -2.6269 丙酮毫升數 + 37.059(°C)**



## 討論

### 1 丙酮對純酒精萘溶液的影響 (實驗(五)-2 主要實驗)

(1)經過實驗(五)-1 的實驗，我們決定改採萘的酒精溶液添加丙酮的方式，觀察晶體析出溫度，我們將加入不等量丙酮的系列萘純酒精溶液，置於水槽中集體降溫如圖 35。

(2)下圖 37 是萘的純酒精溶液析出時的影片擷取圖，發現析出微量小晶體後，從 1：00-3：00 每 20 秒擷取一張圖片。短短 3 分鐘，看見晶體析出動態蔓延，感受美麗與震撼。

圖 37



### 2 水加入萘的丙酮溶液的觀察 (實驗(五)-2 其他小測試)

圖 38

一開始使用萘丙酮溶液加入酒精及水，在加入水的配方瓶中發現，瓶內分層，上層混濁為丙酮層，下層清澈則為水層，我們認為是因為萘不溶於水，但是大量溶於丙酮，造成互溶的溶劑再度上下分層的情形 (如圖 38)



### 2. 純酒精加入萘的丙酮溶液影響 (實驗(五)-2 其他小測試)

圖 39

我們以 20mL 丙酮對 5g 萘製作出萘丙酮溶液，加入 10mL 的純酒精，還是保持清澈的狀態，因此我們再將添加酒精至 20mL，卻還是仍無

析出的現象。因此我們認定，丙酮中添加純酒精方式會需要使用過多純酒精，因此不適合作為萘天氣瓶的配方



### 3. 曾經想探討鹽類對對二氯苯天氣瓶及萘天氣瓶是否有影響，於是添加鹽類 0.1g (硝酸鉀、氯化銨) 到萘天氣瓶

(圖 41)與對二氯苯天氣瓶 (各取出 3mL，如圖 40) 置於試管中加入鹽類，觀察其析出情形。

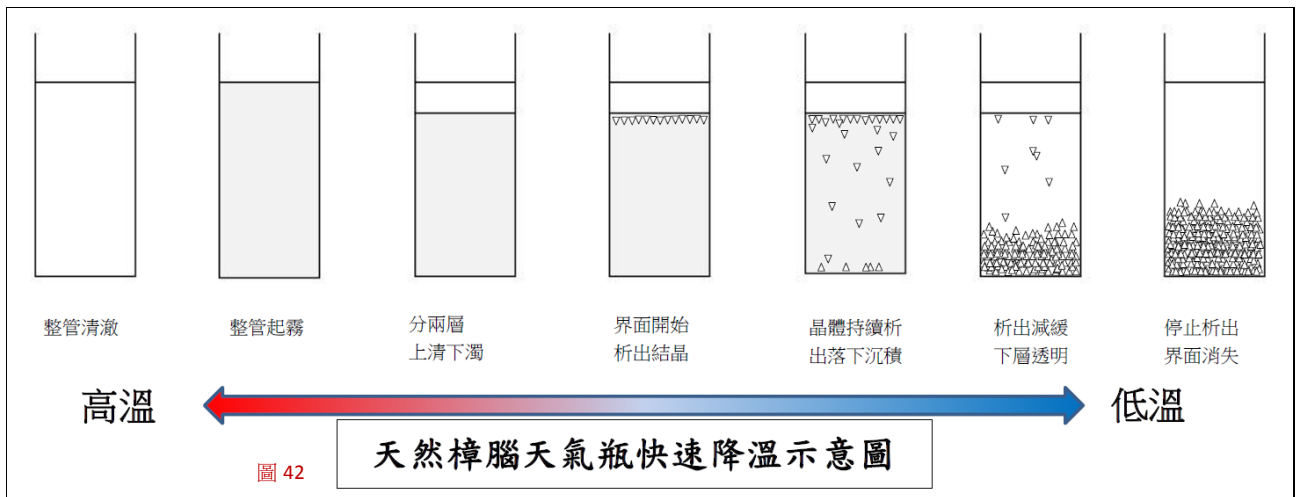


## 結果

我們發現因為蔡天氣瓶中水分過少，即使將鹽量減少至 0.04g 仍無法溶解，對二氯苯天氣瓶一樣因為水份過少而無法順利溶解鹽類，因此製作新種天氣瓶皆不考慮鹽類的影響。

## 陸、整體討論

### 一、配方瓶天氣瓶起霧分層探討：



從實驗(一)-1 與研究第二部分加鹽相片觀察，我們畫出含鹽配方瓶降溫晶體析出模示意圖 (圖 42)我們提出對分層起霧的解釋如下。

(一)原本高溫互溶的溶液，降溫時，酒精溶解天然樟腦的**非極性溶液**，與鹽類溶於水的**極性溶液分離**，細小不互溶的二均勻溶液讓整瓶像**乳化作用**起霧。

(二)**加鹽**可以**促進分層現象**，讓上方的界面溶液先析出天然樟腦凝結核，接著晶體沉降。

(三)下層之混濁溶液為**過飽和溶液** 一觸碰到上層飄落結晶，就會陸續附著析出針葉狀晶體，**析出晶體越多，混濁現象漸漸澄清**。

(四)因為結晶漸漸析出，溶液濃度漸漸減少，到某臨界點時，上下層溶液又會互溶在一起，**界面消失**。

二、年度月均溫：台灣區高雄市 103 全年度月平均氣溫變化圖(圖 43)，月平均溫度約在 19-30℃徘徊，早晚溫差約 10℃。來日天氣漸熱，若要探索配方天氣瓶的結晶，穩定降溫，須善用冬季〔參九〕。

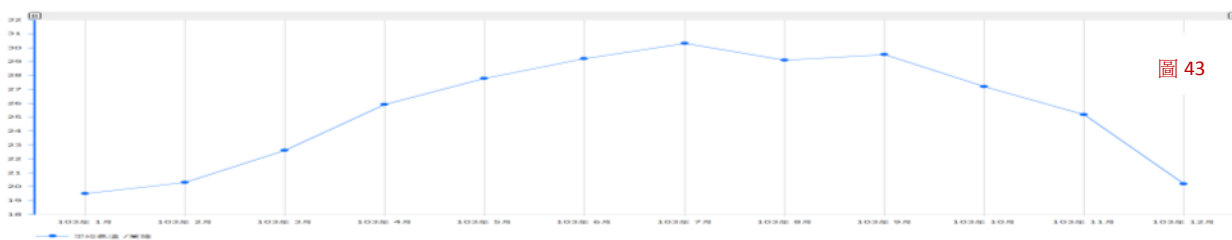


圖 43

三、**最初的樟腦**：實驗初期，到賣場購買「樟腦丸」。我們先按照配方比例做標準天氣瓶，卻是結出片狀結晶而非羽毛狀結晶，後來用再購買的水晶樟腦重做實驗，又長出大型長形晶體時，才發現同為驅蟲的香味物質，雖都俗稱樟腦丸，與天氣瓶成分天然樟腦並非相同的分子。不同物質，結晶型態當然不同，因此若想做出羽毛狀結晶，就必須得用天然樟腦。

四、**藥用酒精與水**：在系列配方天氣瓶中，藥用酒精是用來溶解主要結晶有機物質，水分是用析出有機化合物晶體，提高析出溫度，也可解釋成來溶解鹽類。水與藥用酒精牽制之下，有時可用來控制溶液的析出溫度。

五、**降溫停滯回溫**：有關樟腦晶體析出時，有滯溫甚至回溫的現象，我們認為有大量晶體析出放熱才會造成這結果。有可能降溫時，形成**過飽和**溶液。

圖 44

六、我們從國二上自然課本內的硝酸鉀實驗，保留一罐高濃度的硝酸鉀水溶液如圖 44。去年冬天，經過一夜寒冷天氣，發現液體下變出漂亮的大長形晶體。天氣瓶若要觀賞用，單一物種就可以辦到，為何需要兩種溶液、有機化合物樟腦與鹽類？經過一連串的實驗，我們確信任何溶質溶於易溶的溶劑中，用不溶的溶劑驅使析出，應該都可以找出常見天氣溫度析出的最佳配方比例。



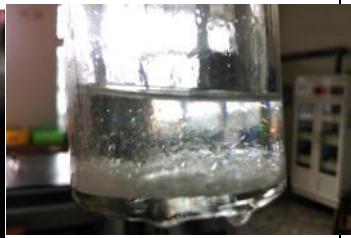


七、有關於**晶體的形狀**，僅摘錄參考資料十的部分內容，做為參考。

(一)由於樟腦晶體與冰一樣屬於六方晶系(六方晶體：三軸等長，且相交成 60 度角。另一不等長的軸則與此平面垂直)，因此當降溫速率較快時，結晶也為六瓣狀，有如雪花一般。

(二)配方溶液的初始狀態對於結晶也有著非常大的影響，當澄清溶液由 30°C 降溫到 20°C 時，結晶會逐步增加析出量，但當溶液由 20°C 升溫到 30°C 時，結晶卻沒有明顯減少，兩種方式的溫度變化幅度雖然都是 10°C，但溫度變化的起始點卻不同，初始狀態沒有結晶的那一瓶溶液需要在動盪多個周期後，才能達到與另一瓶溶液同等份量的結晶。

## 八、比較三種天氣瓶 30°C 析出晶體各配方之差異

主要結晶	天然樟腦 10g	對二氯苯 10g 對二氯苯	萘 10g
藥品比例	藥用酒精 40mL、水 33mL 硝酸鉀、氯化銨各 2.5g	40mL 藥用酒精 1.6mL 水	40mL 純酒精 5mL 丙酮
實際相片			
析出晶型	羽狀晶	長形晶	方形七彩片狀晶
析出速度	慢(一夜，晶型美麗)	快(十多分鐘內，晶型壯觀)	最快(數分鐘內，動態結晶)

## 柒、結論

### 第一部分：配方天氣瓶基礎探索

1. 結晶速度越慢，晶體形態越大越清晰。溫度越低，結晶量越多。
2. 外瓶水量少，降溫速率快，溫度變化大，析出晶體較為細小綿密；
3. 降溫愈久，降溫速率越慢。晶體析出前，溶液會混濁，降溫速率會停滯  
(溫度時間圖曲線有轉折)。
4. 原配方瓶藥用酒精與水比例，不適合萘。
5. 對二氯苯容易溶於藥用酒精，我們認為可以取代天然樟腦做成的新種天氣瓶。

### 第二部分：探討配方瓶中添加各成分物質的影響

1. 配方液再加入越多的硝酸鉀，晶體析出溫度越高，不適合天氣瓶。
2. 同質量的氯化銨比硝酸鉀，能讓配方溶液析出的溫度升高更多。
3. 藥用酒精對天然樟腦的溶解度超好，能降低析出溫度；從再加一滴水發現，水能提升晶體的析出溫度。

### 第三部分：水份增減對天然樟腦配方溶液析出溫度的影響

1.決定配方瓶，析出溫度的因素是水量（從 20mL-33mL，析出溫度可從 15.1°C 到 30°C）。

### 第四部份：水分對天然樟腦、對二氯苯、萘丸 藥用酒精溶液的影響

1.5g 對二氯苯 20mL 藥用酒精溶液，加入少量水後，析出溫度會提高，經驗公式為

$$\text{對二氯苯析出溫度} = 1.9118 \text{ 水毫升數} + 24.471 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

2.萘加藥用酒精，析出溫度過高，藥用酒精加太多降低結晶溫度又太稀，沒有做天氣瓶的實用價值。

3.單純天然樟腦藥用酒精溶液，析出溫度過低，不適合作為天氣瓶的配方。但是加入足夠的水量，一樣可將析出溫度控制在 25-30°C 之間。

### 第五部分：探討丙酮、純酒精、水對萘結晶溫度的影響

1.5g 萘 20mL 純酒精溶液，加入少量丙酮後，析出溫度會降低，經驗公式為

$$\text{萘析出溫度} = -2.6269 \text{ 丙酮毫升數} + 37.059 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

2.水加入萘的丙酮容易會分兩層，酒精加入萘的丙酮溶液，析出溫度過低，理論可行的配方皆做不成天氣瓶。

3.丙酮加入萘的酒精溶液，析出時刻有過飽和現象，瞬間析出結晶的動態蔓延，眼見震撼。

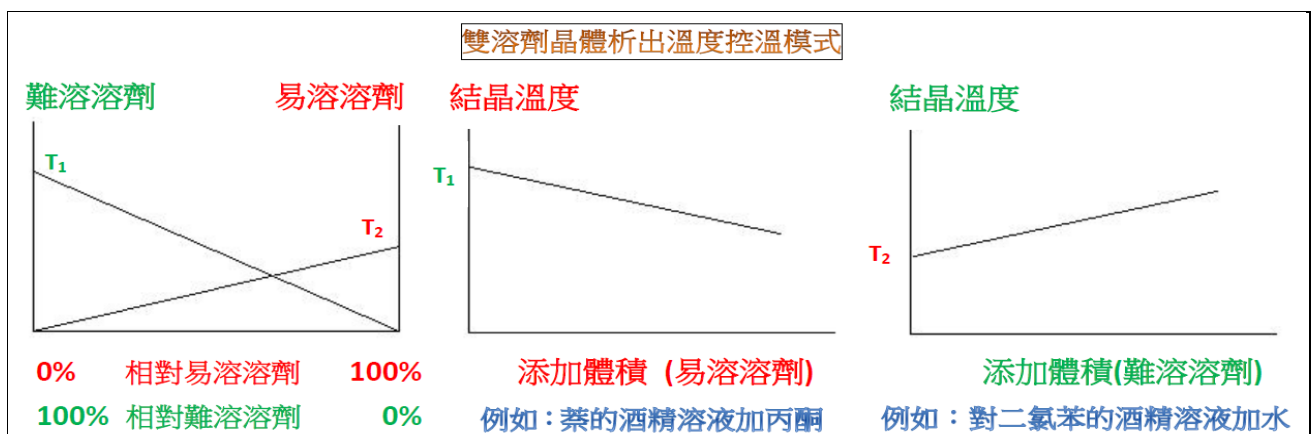
綜合以上探索，不同晶種系列天氣瓶的析出控溫方法，整理如下：

取一種溶質先溶於一種純溶劑，此溶液的析出溫度必須在 25-35°C 之外，

若低於 25°C → 加入第二種較不溶的溶劑；

若高於 35°C → 加入第二種較易溶的溶劑。

以適當比例將兩種溶劑混合，可製作出析出溫度在 25-35°C 之間的系列天氣瓶。



## 捌、參考資料

- 一、.維基百科(2015)。天氣瓶。線上檢索日期：2015年6月3日。網址：  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%A9%E6%B0%A3%E7%93%B6>
- 二、維基百科(2014)。禁。線上檢索日期：2015年6月3日。網址：  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%90%98>
- 三、維基百科(2014)。對二氯苯。線上檢索日期：2015年6月3日。網址：  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%AF%B9%E4%BA%8C%E6%B0%AF%E8%8B%AF>
- 四、維基百科(2015)。樟腦。線上檢索日期：2015年6月3日。網址：  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%A8%9F%E8%85%A6>
- 五、Yahoo!奇摩知識+(2007)。關於禁丸(樟腦丸)的一些問題。線上檢索日期：2015年6月3日。網址：<https://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1507071305734>
- 六、大人物網誌(2014)。【DIY OK】冬天快來吧！自製愈冷愈美麗的天氣玻璃瓶。線上檢索日期：2015年6月3日。網址：<http://www.damanwoo.com/node/85298>
- 七、國二上學期自然與生活科技(2014)。第二章-水溶液。檢索日期：2015年6月3日。出版社：南一書局企業股份有限公司
- 八、youtube(2012)。瞬間結冰-醋酸鈉實驗 Hot-ICE。線上檢索日期：2015年6月3日。網址：  
<https://www.youtube.com/watch?v=Ej24gkAIrVI>
- 九、交通部統計查詢網(2015)。平均氣溫常用資料查詢網頁。線上檢索日期：2015年6月3日。網址：<http://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100&funid=a8101>
- 十、科學人(2014)。天氣瓶：結晶好看，但與天氣無關。線上檢索日期：2015年6月3日。網址：<http://www.guokr.com/article/439657/>
- 十一、痞客幫。打造屬於自己的天氣瓶。線上檢索日期：2015年6月9日。網址：  
<http://yushi0519.pixnet.net/blog/post/219039928-%E6%89%93%E9%80%A0%E5%B1%AC%E6%96%BC%E8%87%AA%E5%B7%B1%E7%9A%84%E5%A4%A9%E6%B0%A3%E7%93%B6%EF%BC%81>

## 玖、實驗歷程心得

此研究原本只想交學期科學作業。直到校內科展的公告發布，代表班上參賽，此時才驚覺時間緊迫。我們開始每天犧牲午休時間討論、進行實驗，但過程卻沒有想像中順利。

我們一開始以為，用於驅蟲的樟腦丸似乎也是「樟腦」，因此起初做實驗時，誤將萘與對二氯苯當天然樟腦去做配方瓶，結果當然非常不一樣，高溫溶不掉？！與認知的網路資料差異很大。

實驗失敗後查證，原來有三種物質皆俗稱為樟腦，而配方中的天然樟腦並非賣場唾手可得，且單價最高的。因此決定暫時以似乎能用的替代品對二氯苯來進行實驗，但實驗結果依舊不盡理想。最後透過老師取得天然樟腦，果然順利多了。

明明就有三種樟腦，為什麼大家都選最貴的來製作天氣瓶？應該有原因。在摸不清頭緒時我們先以前人供的經驗為基礎，不任意更改配方比例，去探討基本物性。但若不是誤打誤撞，我們也沒有機會認識另外兩種物質。

在最初自己玩實驗時，我們常做出容易出現誤差的動作，像是將溫度計直接置於實驗桌上，使溫度計受到汙染；在製圖時，一開始只是交作業心態「圖形弄出來就好」，不會要求圖是否完全正確？拍照紀錄時也沒有拍到重點，因此校內科展的報告中，對照圖文與事實，常陷入一團迷霧……後來，從校內科展的經驗中，學到一件事，**含糊的作法只能得到含糊的結果。想要得到明確的結果，一切都需要細心，不可便宜行事，才會做出預期的結果。**

在縣市科展中，我們以實驗中找到的規則公式，進一步將對二氯苯製成類似伽利略溫度計的實體結晶溫度計，成功做出「看見結晶，就知道溫度」的系列天氣瓶。之後我們突發奇想，是否定量物種，皆能做天氣瓶？於是進一步修正溶劑，去測試當初認定失敗的萘片，當看見萘片瞬間結出，閃耀七彩光芒，當下實在很快樂。

源頭起於天氣瓶網路資料一切細節闕如，經過長串混亂的實驗探索，去蕪存菁，終於自行推導收斂變因，操控結晶溫度，作出美麗多樣的系列天氣瓶。

原來，每個天氣瓶當配方調對，慢慢等到屬於他的溫度，終將析出滿滿獨特晶體。



## 附錄一：相關表格(製圖數據)

### 實驗(一)-2 天氣瓶溫度梯度探索~時間對天氣瓶降溫速率的影響

(圖 2) 溫度-時間圖

時間(分)	溫度(°C)	時間(分)	溫度(°C)	時間(分)	溫度(°C)
0	72.3	8	38.9	16	28.7
0.5	71.8	8.5	37.9	16.5	28.3
1	68.3	9	37.1	17	27.9
1.5	64.3	9.5	36.2	17.5	27.5
2	60.8	10	35.3	18	27.4
2.5	58.2	10.5	34.5	18.5	27
3	55.8	11	33.8	19	26.8
3.5	53.3	11.5	33.1	19.5	26.4
4	51.1	12	32.3	20	26.2
4.5	49.2	12.5	31.9	20.5	26.1
5	47.2	13	31.5	21	25.9
5.5	45.5	13.5	30.9	21.5	25.7
6	44	14	30.5	22	25.4
6.5	42.5	14.5	29.9	22.5	25.3
7	41.3	15	29.5	23	25.1
7.5	40	15.5	29.1		

### 實驗(一)-2 (圖 3) 降溫速率-時間圖

對應時間(分)	降溫速率(°C/分)	對應時間(分)	降溫速率(°C/分)	對應時間(分)	降溫速率(°C/分)
0.25	1	8.25	2	16.25	0.8
0.75	7	8.75	1.6	16.75	0.8
1.25	8	9.25	1.8	17.25	0.8
1.75	7	9.75	1.8	17.75	0.2
2.25	5.2	10.25	1.6	18.25	0.8
2.75	4.8	10.75	1.4	18.75	0.4
3.25	5	11.25	1.4	19.25	0.8
3.75	4.4	11.75	1.6	19.75	0.4
4.25	3.8	12.25	0.8	20.25	0.2
4.75	4	12.75	0.8	20.75	0.4

5.25	3.4	13.25	1.2	21.25	0.4
5.75	3	13.75	0.8	21.75	0.6
6.25	3	14.25	1.2	22.25	0.2
6.75	2.4	14.75	0.8	22.75	0.4
7.25	2.6	15.25	0.8		
7.75	2.2	15.75	0.8		

### 實驗(一)-3 降溫速率與析出晶體之關係

(圖 6)

水量 (mL) 時間(分)	120	100	80	60	40	0
0						32.1
1						30.9
2						29.7
4						28.5
6				28.7	30.3	26.9
9				29.5	29.4	25.4
12			30.9	28.3	27.9	23.9
19		30.8	28.8	26.7	26	
20		30.8	28.5	26.5	25.8	
21	32.2	30.7	28.2	26.3		
23	32.3	30.1	27.9			
24	31.7	29.6	27.6			
25	31.5	29.5				
26	31.3					
35	28.5					

### 實驗(二)-1 天氣瓶配方中硝酸鉀對結晶形成之影響

(圖 14)

硝酸鉀(g)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
析出溫度(°C)	27.8	27.8	30.4	35	35	35

### 實驗(二)-2 天氣瓶配方中氯化銨對結晶形成之影響

(圖 16)

氯化銨(g)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
析出溫度(°C)	33.5	37.8	37.8	37.8	42.5	42.5

### 實驗(三)-1 天氣瓶配方中減少水分，純溶劑對天然樟腦結晶形成之影響(無添加鹽類)

(圖 21)

時間(秒)	溫度(°C)	時間(秒)	溫度(°C)	時間(秒)	溫度(°C)
30	36	690	29.2	1320	26.3
60	35.5	720	29.1	1350	26.1
90	34.9	750	28.8	1380	26.1
120	34.3	780	28.7	1410	25.9
150	33.9	810	28.5	1440	25.9
180	33.6	840	28.3	1470	25.9
210	33.2	870	28.1	1530	25.8
240	32.9	900	28	1560	25.5
300	32.3	930	27.8	1590	25.5
330	31.9	960	27.7	1620	25.4
360	31.7	990	27.6	1637	25.5
390	31.5	1020	27.5	1642	25.3
420	31.2	1050	27.3	1650	25.3
450	31.1	1080	27.2	1680	25.3
480	30.9	1110	27.1	1710	25.2
510	30.7	1140	26.9	1740	25.1
540	30.4	1170	26.9	1770	25.1
570	30.1	1200	26.7	1800	25
600	29.9	1230	26.6	1830	24.9
630	29.7	1260	26.5	1860	24.9
660	29.4	1290	26.4	1920	24.7

**實驗(四)-1 水分對對二氯苯藥用酒精溶液的影響**

(圖 32)

水量 mL	0.2	0.4	0.6	0.8	1.8	2.8	3.8
實際測量析出溫度°C	24.6	25.1	29	30.7	32.1	34.3	39.9

(圖 28)

時間(秒)	溫度(°C)	時間(秒)	溫度(°C)	時間(秒)	溫度(°C)	時間(秒)	溫度(°C)
30	41.4	190	38.3	378	35.7	870	34.1
33	41.2	195	38.2	390	35.5	900	34.1
41	41	205	38.1	427	35.4	920	33.9
48	40.9	210	38	436	35.3	930	33.9
56	40.7	215	37.9	450	35.1	960	33.9
61	40.5	225	37.8	466	35	990	33.9
70	40.4	230	37.7	470	34.9	995	33.8
74	40.3	236	37.6	480	34.7	1015	33.7
83	40.2	240	37.5	510	34.7	1020	33.7
88	40	254	37.4	517	34.5	1040	33.5
96	39.9	259	37.3	540	34.3	1050	33.5
102	39.8	270	37.2	568	34.1	1080	33.4
107	39.6	275	37.1	600	33.9	1096	33.3
113	39.5	290	37	630	33.9	1110	33.3
120	39.3	297	36.9	656	34.1	1117	33.1
132	39.2	307	36.7	660	34.1	1140	33.1
137	39.1	316	36.6	690	34.3	1170	32.9
147	39	323	36.5	720	34.5	1195	32.8
150	38.8	330	36.4	750	34.5	1200	32.8
159	38.7	336	36.3	780	34.5		
171	38.5	350	36.1	810	34.3		
180	38.4	365	35.9	840	34.3		

## 附錄二：相關資料

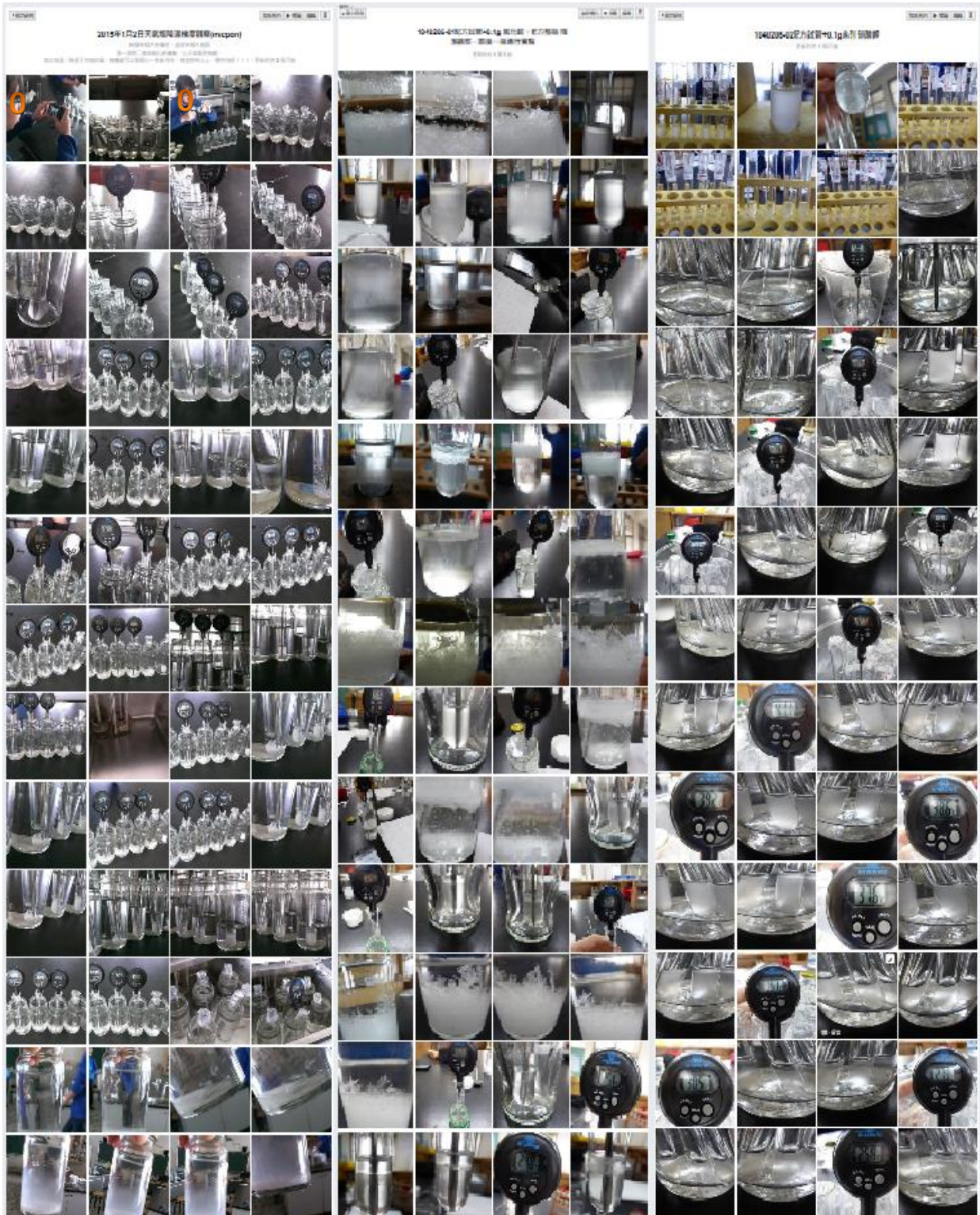
### 參、研究設備器材相片

器材	 <p>研鉢</p>	 <p>溫度計</p>	 <p>電子天平</p>	 <p>電磁加熱攪拌器</p>	 <p>燒杯</p>
藥品	 <p>天然樟腦</p>	 <p>萘丸 99.000%</p>	 <p>對二氯苯 99.27%</p>	 <p>藥用酒精 95%</p>	 <p>氯化銨、硝酸鉀</p>

### 附錄三：

### FB 平台~實驗數據影像~連續紀錄相簿輯(摘錄)

~當日資料與觀察，同步詳實記載~



## 【評語】 030215

以改變天氣瓶的鹽類，酒精含量等來調控樟腦之結晶析出度，以此製作在不同溫度下析出之天氣瓶，用以快速感測氣候變化。三位同學充分表現出團隊精神，使作品呈現清楚，回答問題亦能貫穿且一致。