

# 2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 國中組成果報告表單

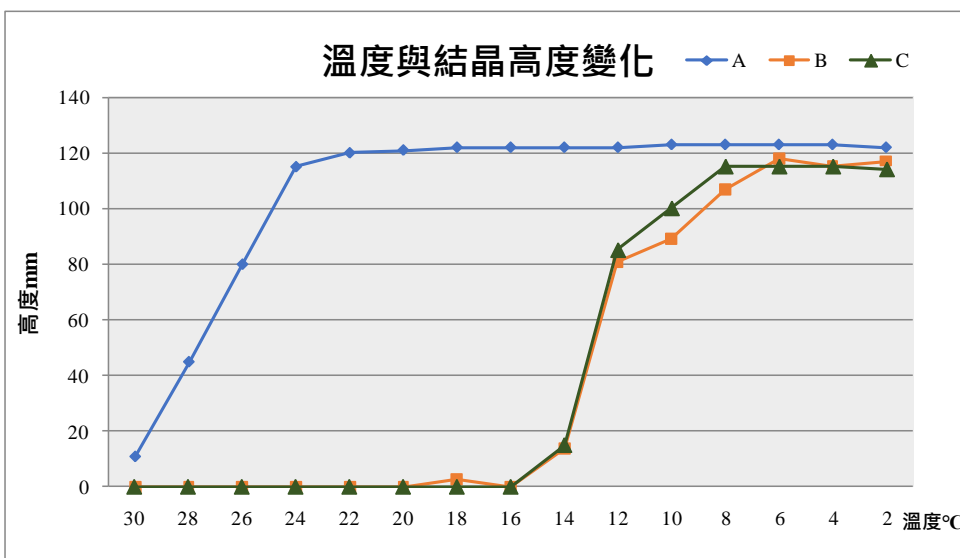
題目名稱：冷氣團的結晶風暴
<b>一、摘要</b> <p>天氣瓶內美麗的結晶有時多有時少，冷氣團來襲時結晶會變多，所以我們以較低的氣溫來研究天氣瓶結晶變化。我們用不同的樟腦量和溫度變化為變因，觀察天氣瓶的結晶狀況，實驗發現在溫度低、降溫速率快的時候結晶量會明顯增加，而且會出現結晶量大爆發的情況。在 14°C 以下（大陸冷氣團等級或更強）時，8.5~10g 的樟腦量都會整瓶結晶。14°C ~ 25°C 結晶的量則會受到樟腦含量的影響。可是若降溫速率太快，則 20°C 就有大量的結晶。若降溫到 -4°C，瓶內的液體和慢慢的結晶晶體會全部結凍。所以天氣瓶對台灣的氣候來說，氣溫變化比較劇烈的季節，結晶比較能看出明顯差異。</p>
<b>二、探究題目與動機</b> <p>在老師的桌上看到一排的天氣瓶，裡面有很美麗的結晶，很漂亮的樹枝狀。聽老師說，天氣瓶會隨著不同的溫度和條件有不同的結晶情形，溫度高的時候結晶很少，溫度低的時候結晶會變多。可是連續兩週觀測下來，結晶量確有時候多有時候少，可是有時候相同的氣溫，結晶的狀況卻不相同，而且有一瓶不知道是為什麼一直都沒有結晶，所以我們在老師的鼓勵下想來探究看看天氣瓶結晶的變化。</p>
<b>三、探究目的與假設</b> <p>根據文獻資料，天氣瓶內的樟腦量一般為 10 克配 40ml 酒精，可是我們也查到建議 8.5g 樟腦量即可，可以避免結晶量太多不易觀察，所以我們做了 8.5、9.0、9.5、10.0 克 4 種樟腦量的天氣瓶溶液先做觀察。可是 8.5 克的不知為何在室溫 20~25°C 好幾天一直都沒有結晶出現，所以我們也增加了研究這個項目。其他的項目都用 9.0、9.5、10.0 克的樟腦量來比較氣溫變化的天氣瓶結晶狀況。</p> <p>研究目的有四：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 一直都不結晶的天氣瓶要什麼溫度才能結晶？找出 8.5g 樟腦含量的結晶溫度和變化</li><li>2. 不同季節的天氣瓶結晶量是否真的有差異？ 假設(1)冬季結晶量應該最多，夏季結晶量應該最少(2)樟腦含量越多的，結晶量比較多</li><li>3. 東北季風~寒流等特定溫度時，天氣瓶結晶量變化： 假設(1)氣溫越低，結晶量越多(2)樟腦含量越多的，結晶量比較多</li><li>4. 降溫速率對天氣瓶結晶量的影響： 假設(1)降溫速率越快，結晶量越多(2)樟腦含量越多的，結晶量比較多</li></ol>
<b>四、探究方法與驗證步驟</b> <p>天氣瓶配方：(2.5g 氯化銨+2.5g 硝酸鉀+33ml 水) · ( 四種不同樟腦含量 ( 8.5g、9.0g、9.5g、10.0g ) +40ml 酒精 ) 兩種溶液分別調配好之後，倒入錐形瓶中混合。將錐形瓶置入</p>

50°C以上的熱水浴並不停搖晃，使瓶中的結晶全部溶解消失，再分裝到平底試管中，每個試管中分裝 20ml 天氣瓶溶液，封住管口，共可分成 ABC 三個試管進行實驗。而且每次溫度和結晶測量完之後，都會重新把試管泡在熱水使所有結晶消失，然後再重新降溫到實驗溫度，以求每次都是從完全沒有結晶的狀態開始。

(一) 一直都不結晶的天氣瓶

1.樟腦含量 8.5g 的那一瓶一直沒有什麼結晶，因此想找出溫度與結晶量的對應關係。根據文獻資料，樟腦 10.0g 時，溫度高於 31.4°C天氣瓶內的不會有結晶，我們樟腦只有 8.5g，而且之前 20~25°C一直沒有結晶，所以設計了從 30 度開始降溫，實驗結果如下：

攝氏溫度	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
A結晶高度mm	11	45	80	115	120	121	122	122	122	122	123	123	123	123	122
B結晶高度mm	0	0	0	0	0	底部微小	3	底部小群	14	81	89	107	118	115	117
C結晶高度mm	0	0	0	0	0	底部微小	底部微小	底部小群	15	85	100	115	115	115	114
形狀	粒(砂糖)	冰晶	冰晶	冰晶	冰晶	冰晶	冰晶	冰晶	冰晶	冰晶	冰晶	冰晶	冰晶	冰晶	冰晶



很奇怪的是，明明是同一份調配溶液分裝到三個試管，A 試管在 30°C就開始有結晶，到了 22°C時 A 試管的結晶幾乎全滿，BC 試管卻還沒有結晶。BC 試管卻到 20°C才開始有少量結晶，到 12°C時，BC 試管的結晶量大增，溫度越低，結晶量越大。不同溫度的結晶形狀也不大相同，如照片所示，10°C結晶為冰晶狀，30°C結晶非常細小，比較像砂糖的形狀。



圖 1 10°C結晶形狀為冰晶狀



圖 2 30°C結晶形狀很細，像砂糖

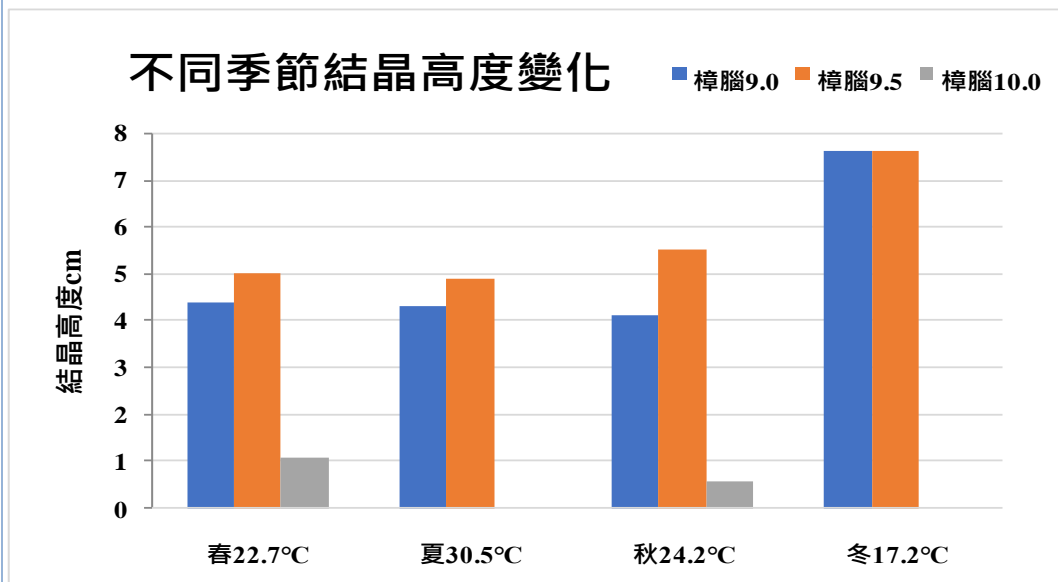
再比較結晶出現的位置，最先結晶的 A 試管，結晶位置是由試管的中上區結晶再往下掉。而 BC 試管溫度高時，底部先結一點點，溫度低時，由試管的中上區結晶再往下掉。

(二) 不同季節的結晶量變化：

我們從中央氣象局查詢到台北站 2018 年 ~ 2022 年每個月的平均溫度，然後依照春夏秋冬季節的範圍重新標示，數據整理如下：

年\月	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	一	二
2018	20.6	23.5	28.2	28.5	30.3	29.5	28.2	23.3	22.7	18.5	16.9	15.7
2019	19.8	24.2	25	28.5	30.3	30.5	27.3	25.3	22	19.1	18.5	18.8
2020	20.8	20.9	26.9	30.5	30.9	30.2	27.8	24.3	23.3	18.1	17.6	18.7
2021	20.3	22.4	28.2	29.3	30.3	28.9	29.5	25.7	21.2	18.3	16	19.1
2022	21.1	22.5	23.4	28.1	30.8	30.6	27.3	24.2	23.6	16.6	17.2	16.4
平均	20.5	22.7	26.3	29	30.5	29.9	28	24.6	22.6	18.1	17.2	17.7
	春			夏			秋			冬		

根據上表數據，取季節的第二個月平均溫度為代表（春季四月、夏季七月、秋季十月、冬季一月），以減少季節前期和後期受另一個季節的天氣系統影響。另外使用溶液內的樟腦量也有 9.0、9.5、10.0 克，進行同溫度不同樟腦量的比較，觀察結晶狀況。



在實驗過程中 10.0 克的試管不小心被打碎了，所以 10.0 克的資料就出現了問題，如照片所示，因此忽略不計。若以 9.0 和 9.5 克樟腦量的結晶高度數據來分析，可得知：

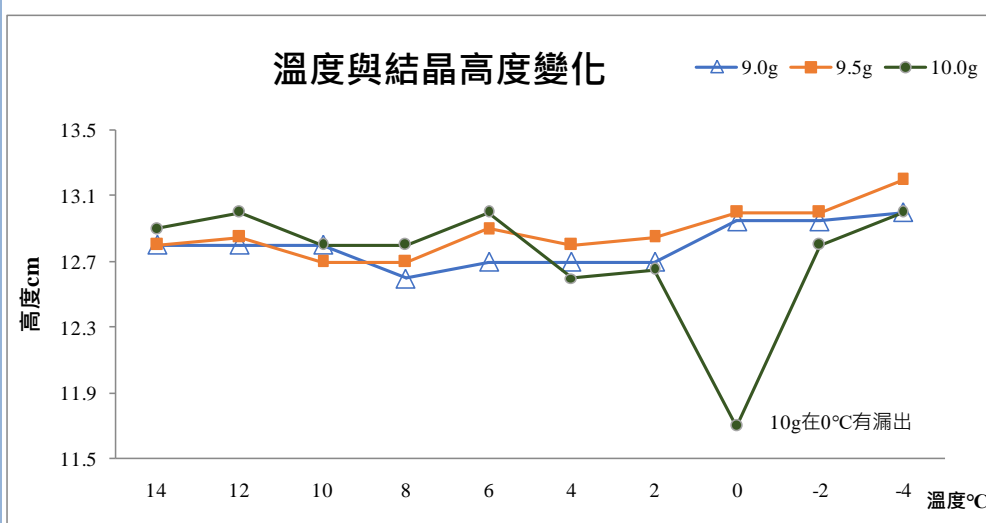
- (1) 9.5 克樟腦量結晶高度會比較高，可是溫度到 17.2 度時，兩者的結晶量相等。
- (2) 9.0 克和 9.5 克相比，春夏結晶高度都差 0.6 公分，但秋季差 1.4 公分，秋季的結晶量差異比較大，冬季的結晶量則相等。
- (3) 氣溫高的夏季結晶量雖然略少，但是似乎不足以到可以用結晶量來判斷季節的程度。

而我們的假設(1)氣溫越低，結晶量越多，冬季符合，但是其他季節不符合，推測溫度在 22 度以上的結晶量變化差異不太明顯，溫度低的時候結晶量會有明顯的變化。所以下個實驗我們以溫度較低的冬季溫度來觀察結晶量變化。假設(2)樟腦含量越多的，結晶量比較多：這個是符合的。

### (三) 低溫時的天氣瓶結晶變化 (14°C ~ -4°C)

中央氣象局規定的氣象發佈，以台北平地測站為準，秋冬季節最低溫 14 度以上，稱為「東北季風」，12~14 度為「大陸冷氣團」，10~12 度是「強烈大陸冷氣團」，低於 10 度稱為「寒流」。而在歷史記錄中，台北平地最低溫出現在 1901 年，測到-0.2°C。既然天氣瓶結晶在低溫時結晶量比較多比較明顯，我們想試試看依照氣象局發佈的這個冷度準則，看看天氣瓶的結晶狀況有何差別。因此從 14 度開始，在每個溫度放置 5 分鐘，觀測紀錄天氣瓶的結晶高度。也想試試看到幾度天氣瓶的溶液會結凍。實驗結果紀錄如下表：

溫度	14	12	10	8	6	4	2	0	-2	-4
9.0g	12.8	12.8	12.8	12.6	12.7	12.7	12.7	12.95	12.95	13
9.5g	12.8	12.85	12.7	12.7	12.9	12.8	12.85	13	13	13.2
10.0g	12.9	13	12.8	12.8	13	12.6	12.65	11.7	12.8	13



從照片和數據中可發現，從 14°C 開始，結晶量都非常的多，結晶位置從中下開始長，結晶形狀為雪花狀，到-2°C、-4°C 時天氣瓶整根結晶都結凍了，搖晃也不會動，讓我們知道了天氣瓶的極限，太冷的時候天氣瓶結凍就分不出溫度了。因為幾乎都是滿滿的結晶，所以樟腦含量差異對結晶高度的影響還是有，但是差異不太大。我們看之前的文獻資料很少做到滿滿結晶的低溫，這一次我們做的實驗都強調在低溫的部分，所以結晶也是多又多。

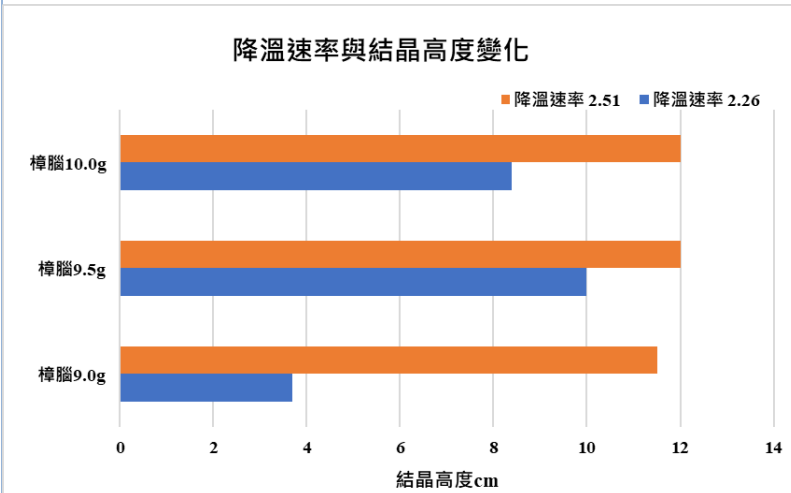


圖 3 14°C 以下試管內都是結晶

### (四) 降溫速率對天氣瓶結晶量的影響：

- (1) 將天氣瓶放入溫水，不加冰塊自然降溫 10 分鐘，降溫速率為每分鐘 2.26°C。
  - (2) 將天氣瓶放入溫水，加 5 顆冰塊降溫 10 分鐘，降溫速率為每分鐘 2.51°C。
- 實驗結果如下：

初始溫度	47.5	最終溫度	24.9	初始溫度	45.2	最終溫度	20.1
降溫時間	10分鐘	降溫速率	2.26	降溫時間	10分鐘	降溫速率	2.51
	結晶高度(cm)	結晶位置	結晶形狀		結晶高度(cm)	結晶位置	結晶形狀
樟腦9.0g	3.7	上1下2.7	雪花	樟腦9.0g	11.5	上1下10.5	雪花
樟腦9.5g	10	下7	雪花	樟腦9.5g	12	全	雪花
樟腦10.0g	8.4	上1.4下7	雪花	樟腦10.0g	12	全	雪花



假設：(1)降溫速率越快的，結晶量越多；(2)樟腦含量越多的，結晶量比較多

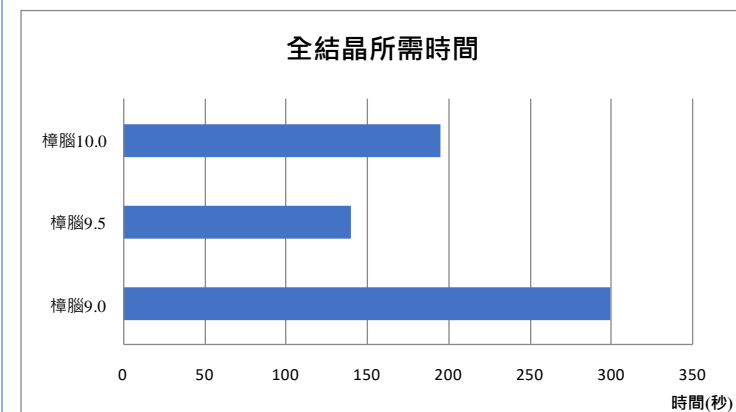
結果：(1)降溫速率快的結晶量大很多，而且還出現整根試管都是結晶的狀態（整個天氣瓶液面 12 公分高）。(2)樟腦量少似乎結晶會少一點但不太明顯，但是如果降溫速率快，結晶量大，樟腦量對結晶量的差別就不太明顯了。

(3)嘗試天氣瓶多快會全部結晶：

因為加 5 顆冰塊降溫 10 分鐘，最後天氣瓶幾乎整根結晶，所以我們想試試看不同樟腦量時，天氣瓶多快可以整根結晶？

將天氣瓶內先置放於 55 度熱水中，使所有結晶消失。放入 10 塊冰塊開始降溫計時，紀錄下全部結晶時的時間和溫度，實驗數據如下：

初始溫度	55	最終溫度	11.3	樟腦10.0	全結晶所需時間	195秒	降溫速率	13.6
初始溫度	55	最終溫度	12.1	樟腦9.5	全結晶所需時間	140秒	降溫速率	19.9
初始溫度	55	最終溫度	10.8	樟腦9.0	全結晶所需時間	300秒	降溫速率	8.8



樟腦 9.5 克最先全部結晶；樟腦 9.0 克的最晚才全部結晶。在冰水里待的越久，末溫越低，但是差不多在 10~12°C 之間三種就會全部結晶了。因此在低溫時，樟腦含量對結晶量的影響並不那麼明顯。

## 五、結論與生活應用

根據我們研究結果，可以得到以下結論：

1. 一直都不結晶的天氣瓶(8.5g 樟腦含量)，從 20°C 開始有很少量的結晶，14°C 以下會有明顯的結晶，12°C 結晶暴增，6°C 下整瓶結晶結滿。可是有一瓶卻 30°C 就開始有結晶，22°C 以下就幾乎整瓶結滿。造成這個情況的原因，可能需要進一步探究。
2. 不同季節的天氣瓶結晶量，低溫的冬季 17.2°C 結晶比較明顯變多，春、夏、秋的差異並不是很明顯。所以不能用結晶量來推測溫暖的季節。
3. 東北季風~寒流等特定溫度時，天氣瓶結晶量變化：14°C 以下的結晶量都很多，但是結晶量太多幾乎整個液體都結滿，反而是看不出溫度減少兩度的差別，但是到了 -4°C 會結凍，整個試管是白色不透明晶體。讓我們知道了天氣瓶的低溫極限。
4. 降溫速率對天氣瓶結晶量的影響：降溫速率快，結晶量也會比較多，9.5g 在兩種不同的降溫速率中，結晶量都是最多的。用更快的降溫速率來比，9.5g 的也很快就全部結晶。並不是我們原先假設的 10.0g 樟腦第一名。

綜合而言，天氣瓶的結晶量在溫度低、降溫速率快的時候結晶量會明顯增加。在 14°C 以下（大陸冷氣團等級或更強）時，8.5~10g 的樟腦量都會整瓶結晶。14°C~25°C 結晶的量則會受到樟腦含量的影響。可是若降溫速率太快，則 20°C 就有很大的結晶。若降溫到 -4°C，瓶內的液體和慢慢的結晶晶體會全部結凍。

因此，天氣瓶在生活應用中，除了觀賞美麗的結晶之外，可以反應人體舒適的溫度（20~26°C）到低溫之間的結晶變化，以及氣溫變化較為劇烈時，結晶也會明顯增加，對台灣的氣候來說，氣溫變化比較劇烈的季節，天氣瓶結晶比較能看出明顯差異。

另外，本研究中的結晶幾乎都是細小的雪花狀，沒有像老師桌上的天氣瓶呈現樹枝狀結晶。結晶的形狀和位置可以成為下次探究的主題。而本實驗（1）的同一份溶液分裝，卻出現 A 組結晶特別多，BC 組結晶狀況則比較相似，也是下次可以繼續研究的主題。

## 參考資料

- 寒暖霜晶透春秋-探索天氣瓶。高雄市立國昌國民中學，中華民國第 55 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 中央氣象局天氣排行榜：[https://www.cwb.gov.tw/V8/C/W/OBS\\_Top.html](https://www.cwb.gov.tw/V8/C/W/OBS_Top.html)
- 中央氣象局每月氣象：<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/C/Statistics/monthlydata.html>
- 天氣瓶。國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系科學遊戲實驗室。  
<http://scigame.ntcu.edu.tw/chemistry/chemistry-033.html>