

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 化學科

第二名

080220

晶晶計較-明礬結晶的奧秘

學校名稱：桃園市桃園區建國國民小學

作者：	指導老師：
小五 范升維	許秀桃
小五 黃亮宸	韓桂娟
小五 吳思穎	
小五 秦書涵	
小五 黃庭瑜	
小五 黃庭禎	

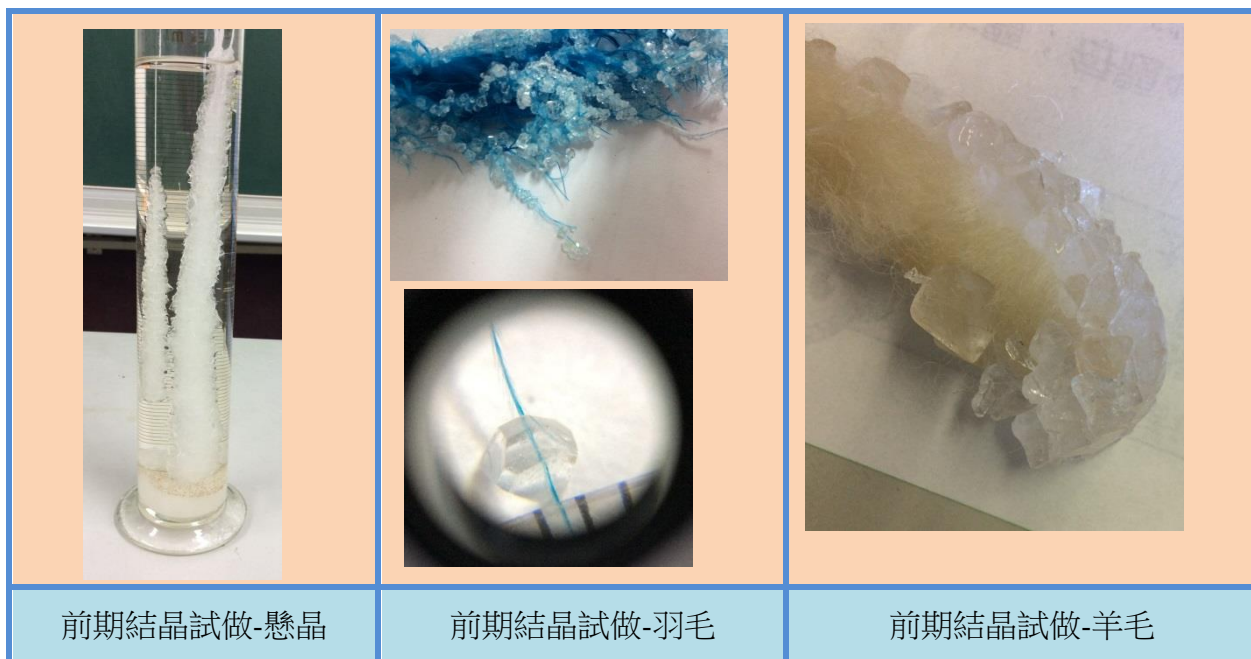
關鍵詞：明礬、結晶

## 摘要

我們發現糖度計刻度和明礬溶液的濃度呈線性正比關係，且相同濃度的明礬水溶液在不同液溫時，糖度計刻度相同，可以用糖度計來測量明礬濃度。濃度 10~20g/100ml 的熱明礬水，降至室溫 15℃ 未搖晃的情形下，沒有均勻成核的現象，搖晃後則有均勻成核現象。以透明度和晶種完整性考慮，在液溫 30~60℃，濃度 13~14g/100ml (8~8.5°Brix) 的熱明礬水，不搖晃的情形下適合做晶體的二次培養。每次換水的晶形會記錄在晶體的底部，多次培養側邊有階梯狀，六邊形晶體長大後會有 Y 字型圖案。發現所有金字塔型晶體，斜面與底部夾角約 55 度，進而分析明礬晶體的晶面角守恆的現象，發現晶面夾角皆為 105° 與 125°。

## 壹、研究動機

我們在五上自然課之水溶液的課程中，看到鹽的結晶，亮晶晶的很漂亮，還有各式各樣的實驗，吸引了我們的好奇心，希望能做出更完美多樣式的結晶。討論完之後，老師開始教我們做明礬的結晶，引起我們的興趣，讓我們決定更深入的研究明礬結晶的奧秘。



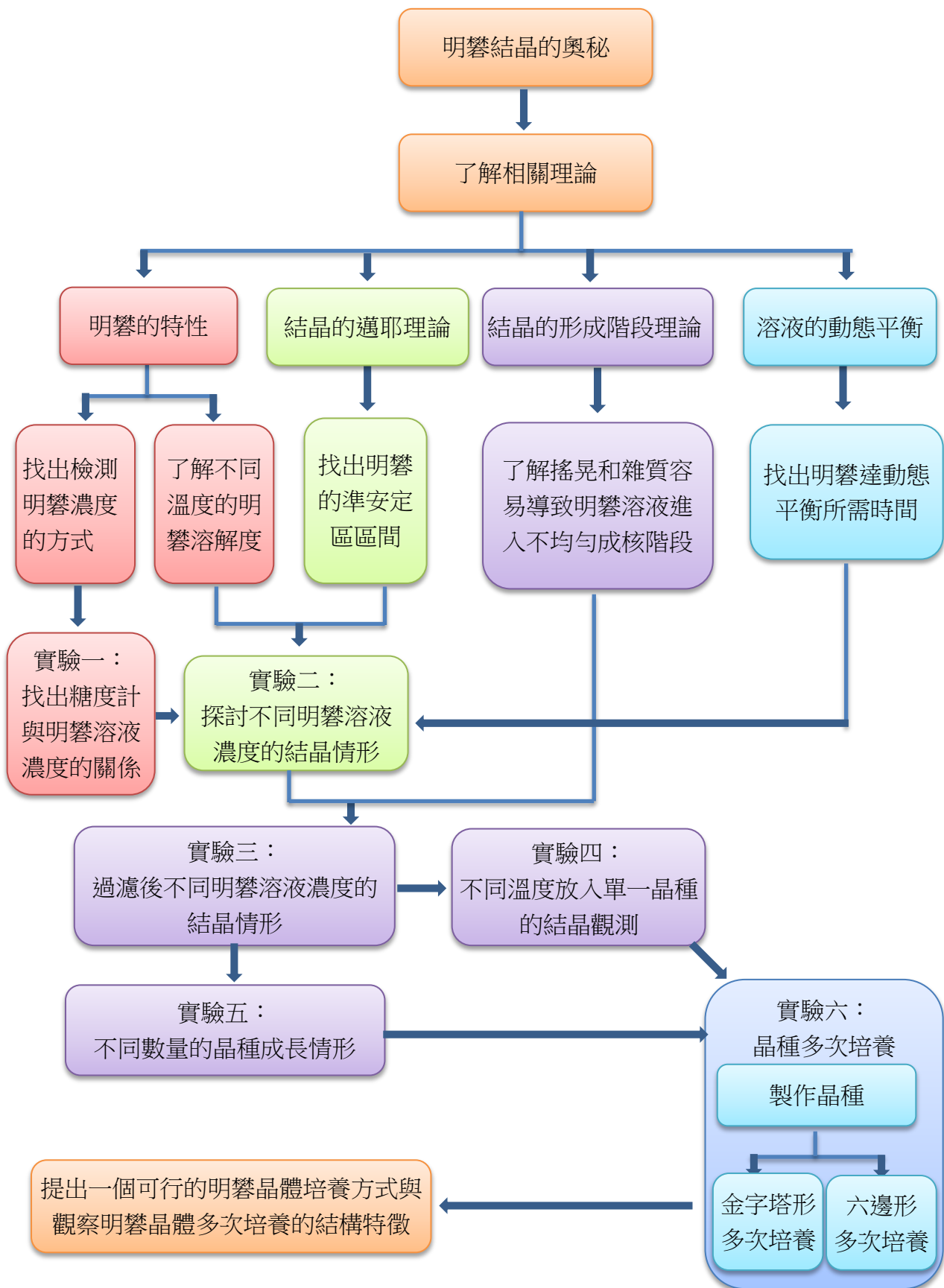
## 貳、研究目的

- 一、找出糖度計與明礬濃度的關係
- 二、探討不同濃度的明礬溶液晶體成長情形
- 三、探討相同濃度下，不同溫度放入晶種的結晶情形
- 四、探討置入不同數量的晶種的結晶情形
- 五、探討晶種多次培養的成長情形

## 參、研究設備及器材

		
明礬	酒精燈、三腳架、石棉網	電鍋
		
溫度計	糖度計	電動攪拌器
		
濾紙	燒杯	天平
		
直尺	塑膠水盆	電子秤

## 肆、研究流程

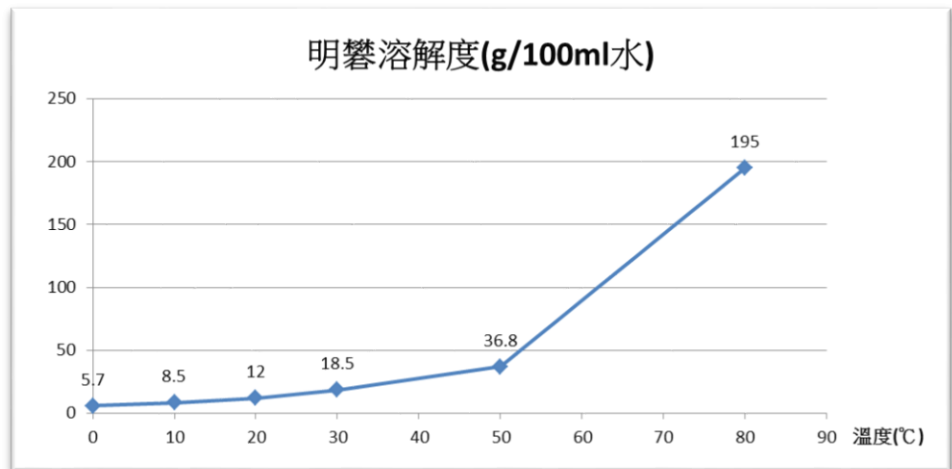


## 伍、研究過程與結果

### 一、了解明礬的性質

明礬 $[K \cdot Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$ ，化學名稱為硫酸鋁鉀，又稱鉀明礬，是一種水合化合物，明礬溶解度如下：

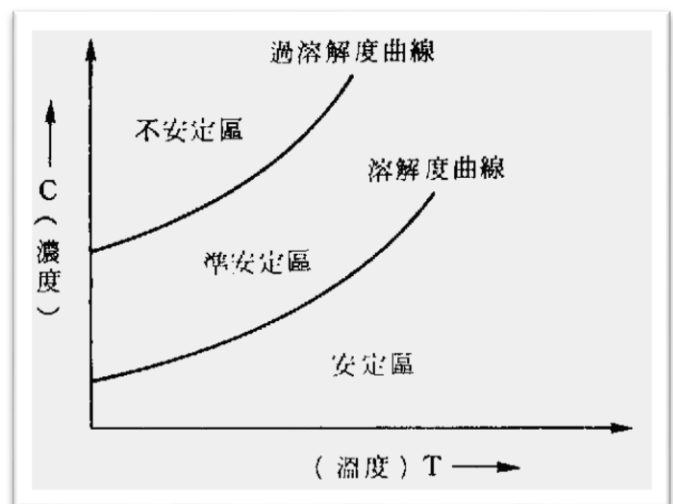
溫度(°C)	溶解度(g)
0	5.7
10	8.5
20	12.0
30	18.5
50	36.8
80	195.0



### 二、了解結晶之邁耶理論

邁耶提出在溶解度曲線以上的過飽和區，再以過溶解度曲線分為不安定區及準安定區。

1. 準安定區：只能成長晶體不能生成晶體，故需加入少數微小晶體，作為晶種；如控制得當，可得較大之晶體。
2. 不安定區：會有大量微小晶體析出，分享了過飽和溶質的量，使晶體無法長大，故成為微小的晶體。



### 三、了解晶體的生長階段

晶體從液相中的生長會經歷三個階段：

1. 基質達到過飽和或過冷階段。由於溫度或濃度的局部變化，在此階段粒子仍散亂的排列。
2. 成核階段，形成結晶微顆粒的作用稱之為成核作用。可再分為「均勻成核作用」與「不均勻成核作用」。「均勻成核作用」是指基質體系內的質點同時進入不穩定狀態而形成新相，此類作用過程牽涉到粒子需要移動到正確的位置與方向才能開始發生堆積，因此需克服相當大的表面能障礙才能成核，即需要相當大的過冷程度才能成核。「不均勻成核作用」是指體系中已經存在某種不均勻性，例如懸浮的雜質微粒，容器壁上凹凸不平等，它們都有效地降低了表面能成核時的表面能障礙，會優先在

這些具有不均勻性的地點形成晶核。

3. 生長階段，結晶微顆粒的表面逐漸沉積更多的固體，最後生長成為大型的晶體顆粒。

#### 四、了解溶液中的動態平衡

達到溶解平衡狀態的溶液就是飽和溶液。此時，在一定條件下單位時間內擴散到溶劑中的溶質微粒數等於回到溶質表面的微粒數，即物質溶解速率與結晶速率相等。

### 實驗一：找出糖度計與明礬溶液濃度的關係

因為我們想了解在結晶過程，明礬溶液的濃度變化情形，而查詢資料發現糖度計可以利用光線穿透不同濃度的液體時，折射角度會產生改變的原理，來測量不同濃度的糖水，鹽水，或其他物質的折射率變化，以換算出他的實際濃度，單位為 **Brix**。所以我們也想找出糖度計的刻度與明礬溶液濃度的關係，以用來推估明礬溶液的濃度。

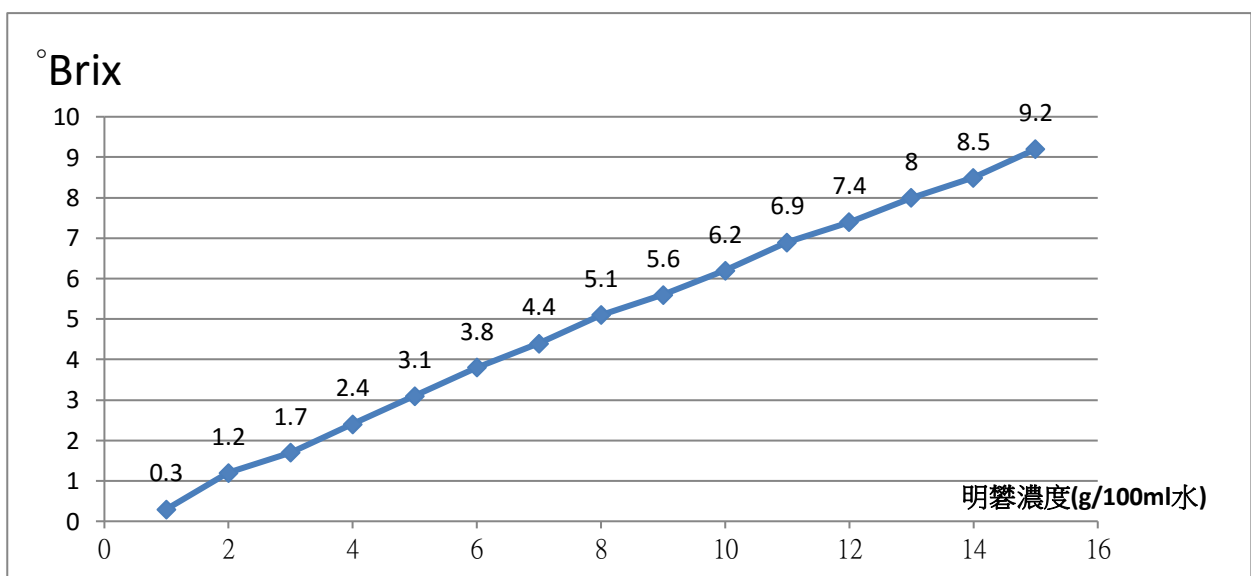
#### 實驗方法：

1. 取 100ml 熱水（室溫 18℃），分別加入 1~15g 明礬，用攪拌器攪拌至完全溶解，用糖度計測量刻度變化。
2. 取 100ml 水，用酒精燈加熱至 60℃ 加入 15g 明礬溶解，分別降溫至 50℃、40℃、30℃ 用糖度計測量刻度變化。

#### 實驗結果

1. 室溫 18℃ 溫度下，100ml 熱水中，明礬溶解量和糖度計刻度的關係

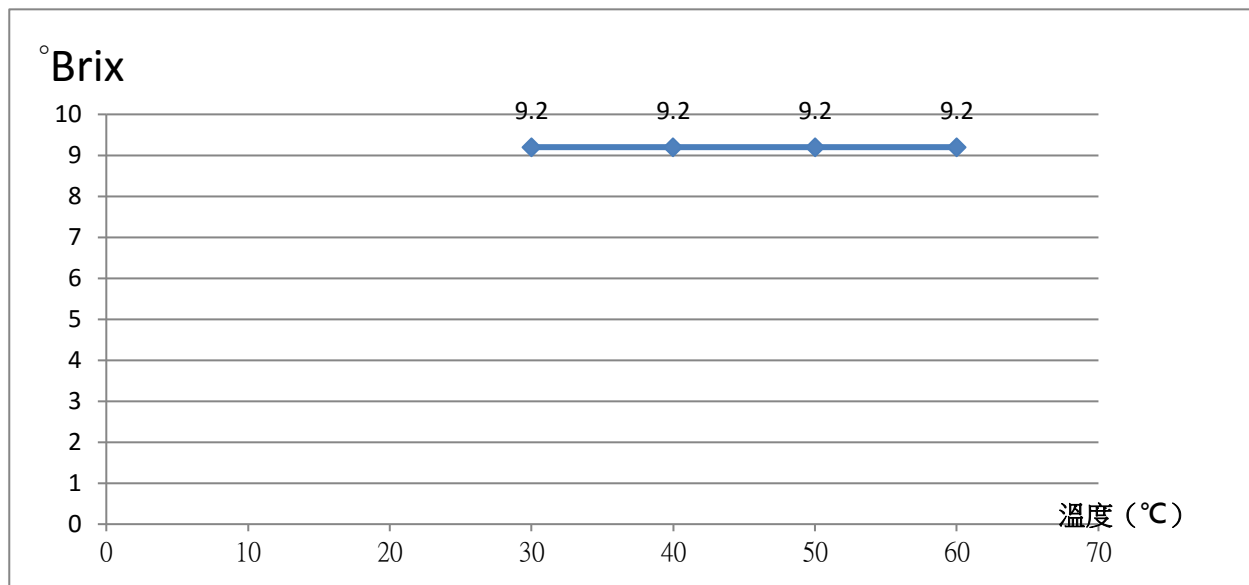
明礬質量(g)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
糖度計刻度(°Brix)	0.3	1.2	1.7	2.4	3.1	3.8	4.4	5.1	5.6	6.2	6.9	7.4	8	8.5	9.2





2. 相同濃度下(15g/100ml)，不同溶液溫度的糖度計刻度

溫度 (°C)	60	50	40	30
糖度計刻度(°Brix)	9.2	9.2	9.2	9.2

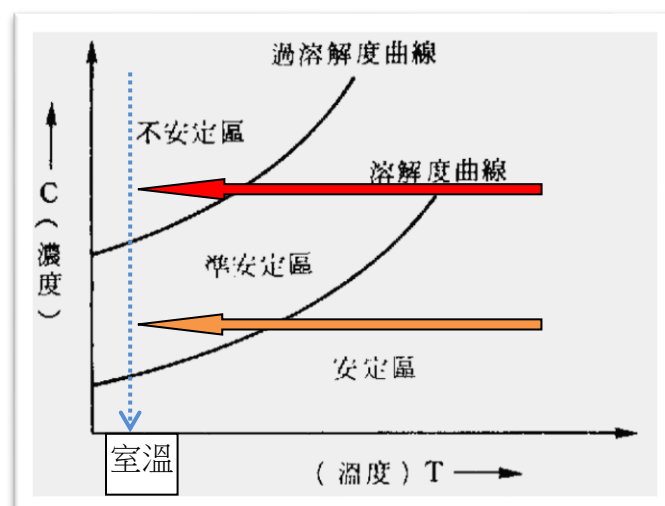


發現：

1. 明礬濃度愈高時，糖度計刻度愈大，兩者呈線性正比關係。
2. 相同濃度的明礬水溶液在不同液溫時，糖度計刻度相同，所以在不同液溫下，我們也可以用明礬溶解量和糖度計刻度的對照表，來估計明礬溶液的濃度。

實驗二：探討不同明礬溶液濃度的結晶情形

由結晶之邁耶理論，可以得知晶體成長分為安定區、準安定區和不安定區，我們將明礬溶液由高溫降至室溫的過程，可由未達飽和的安定區降至準安定區，若濃度較高之溶液，還有可能會降至不安定區。不安定區之溶液，容易有碎晶產生，準安定區會使晶體成長，安定區會使晶體溶解。所以我們想由實驗得知，找出較適合之濃度來培養明礬結晶。

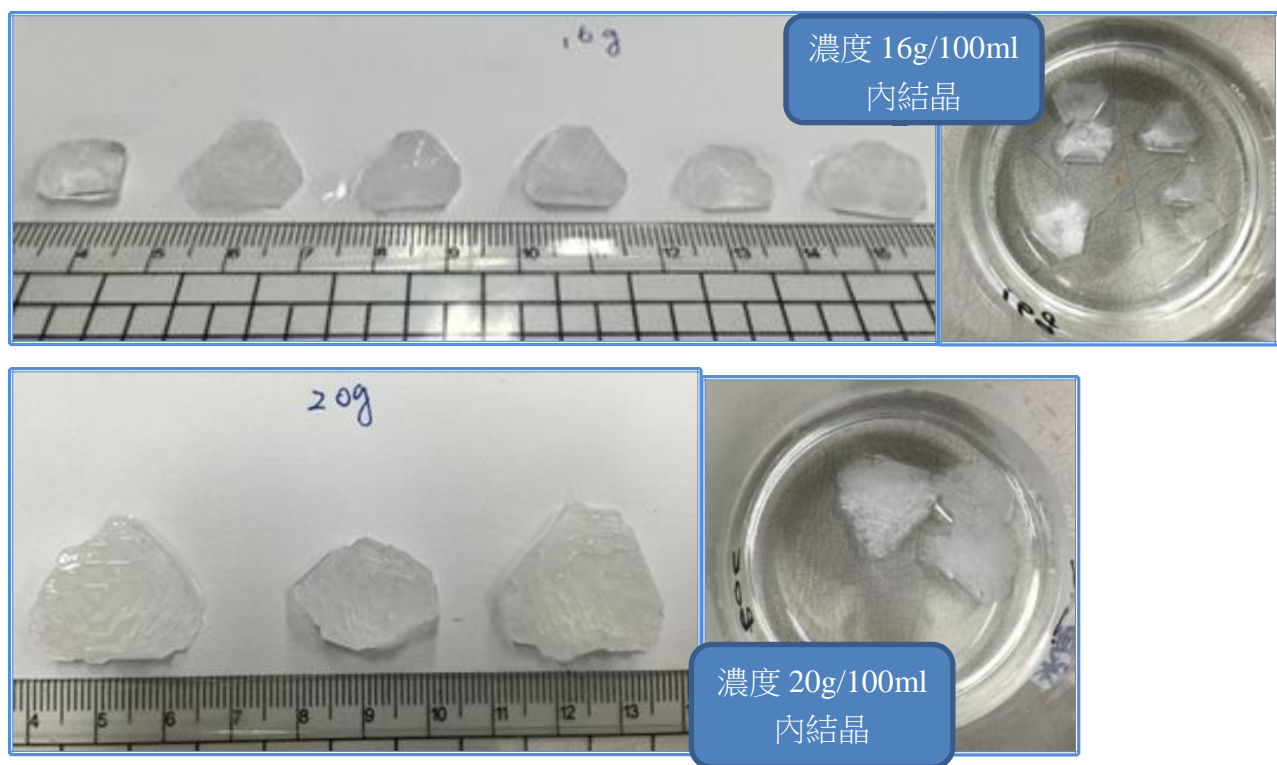


### 實驗方法：

1. 配置 100ml 不同濃度的熱明礬水，放在室溫降至 15°C，16 小時後紀錄明礬結晶情形。
2. 輕度微晃後 30 分鐘，記錄結晶情形。

### 實驗結果：

溶解量 (g)	原°Brix	16 小時後結晶情形	16 小時後結 晶重量(g)	16 小時後°Brix	微晃 30 分鐘後
10	6.2	無結晶	0	6.2	無結晶
12	7.4	無結晶	0	7.4	少量微晶
14	8.4	無結晶	0	8.4	少量微晶
16	9.4	6 顆結晶，邊長約 10mm	5.4	6.5	6 顆結晶，無明顯差異
18	10.4	大量小結晶	8.8	6.0	大量小結晶，無明顯差異
20	11.6	3 顆結晶，邊長約 20mm	10.3	6.1	3 顆結晶，無明顯差異



### 發現：

- 1、濃度 14g/100ml 以下的明礬水溶液，從高溫降至室溫 15°C，16 小時後無結晶出現，所以我們推估濃度 10~14g/100ml 的明礬水，應該在降溫到 15°C 時，雖過飽和但仍在準安定區，適合培養結晶。但輕微搖晃後，12~14g/100ml 的明礬水，30 分鐘則出現大量微小結晶。我們推測應該是搖晃會讓過飽和明礬水溶液形成結晶核，而進入結晶生長階段的「成核階段」快速形成明礬結晶，與水的瞬間結冰原理相同。
- 2、濃度 16g/100ml 和 20g/100ml 的明礬水溶液，從高溫降至室溫 15°C，16 小時出現 6 和 3



顆大小相似的較大結晶，我們推測應該是降溫過程中找到或形成的凝結核數量不同，而結成的結晶，而結晶的大小類似，應該是成長的時間相同，所以應該是同一時間形成的凝結核，一但有凝結核形成，過飽和的明礬有晶種可依附，進入「生長階段」則不再形成新的結晶。20g/100ml 的明礬水溶液結晶形狀較不規則且不透明，表示濃度高，不適合培養完整晶體。

- 3、而 18g/100ml 的明礬水溶液，則出現大量小結晶在杯底成片相連，為何這杯可以形成如此多的凝結核呢？是不是水中有別的雜質？我們決定再做一次實驗，增加將高溫明礬水過濾的步驟，以確定水中較無別的雜質。
- 4、分析 16 小時後的溶液濃度，發現當濃度 18g/100ml 的明礬水溶液出現大量小結晶時，糖度計刻度為 6°Brix，與當時呈現動態平衡的飽和明礬水刻度相同，表示當結晶量大時，明礬溶液可較快達到動態平衡。

溶解量 (g)	原 °Brix	16 小時後結晶重量 (g)	16 小時後°Brix	16 小時後溶液濃度 (g/100ml)
16	9.4	5.4	6.5	10.5
18	10.4	8.8	6.0	9.2
20	11.6	10.3	6.1	9.7

### 實驗三：過濾後不同明礬溶液濃度的結晶情形


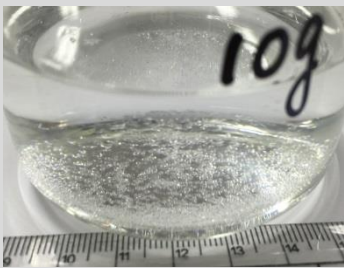


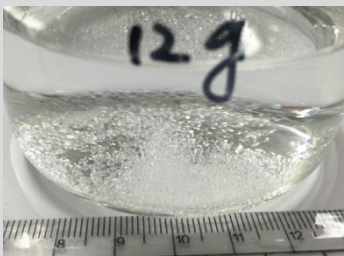
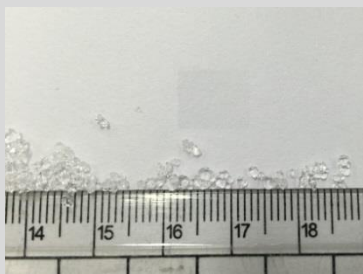
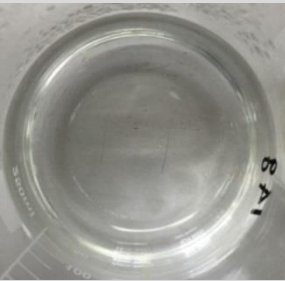
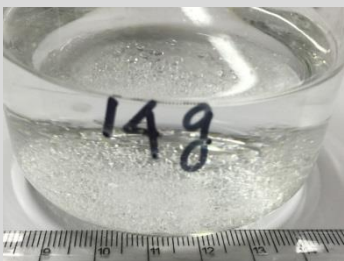


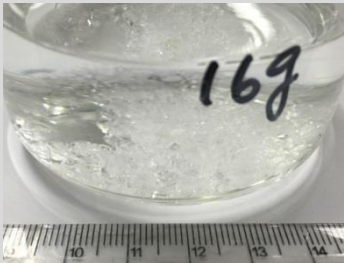
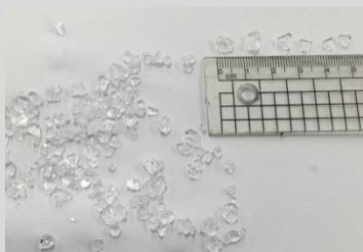

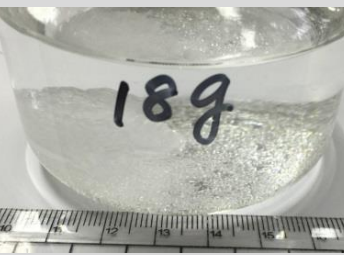



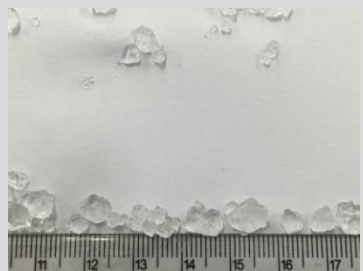
#### 實驗方法：

- 1、配置 100ml 不同濃度的熱明礬水，過濾後放在室溫降至 15°C，16 小時後紀錄明礬結晶情形。
- 2、輕度微晃後 24 小時，記錄結晶情形。



#### 實驗結果：

溶解量(g)	原 °Brix	16 小時後結 晶情形	16 小時後結 晶重量(g)	16 小時 後°Brix	輕微擾動 24 小時 後結晶情形	輕微擾動 24 小時後°Brix	擾動 24 小時結 晶重量(g)
10	6.2	無結晶	0	6.2	小粉晶(1mm 以下)	6.2	0.3
12	7.5	無結晶	0	7.2	粉晶+小結晶(1mm ~2mm)	6.2	1.8
14	8.9	無結晶	0	8.7	小結晶(1mm~ 2mm)，透明	6.2	4.5
16	10.1	無結晶	0	9.8	中結晶(3mm~ 5mm)，微白	6	6.5
18	10.9	1 大顆結晶 (16mm)	5.9	7.4	粉晶+小結晶+大 結晶(23mm)	6	大結晶重 7.5， 小結晶未測
20	11.6	無結晶	0	10.9	中結晶(3mm~ 8mm)，微白成片	6.2	9.4

溶解 量(g)	原 °Brix	16 小時後	擾動 24 小時後	擾動 24 小時後結晶取出
10	6.2			
12	7.5			
14	8.9			
16	10.1			
18	10.9			
20	11.6			

#### 發現：

1. 經過過濾的高溫明礬水，在，未搖晃的情形下，靜置 16 小時降溫後皆未有大量粉晶出現，表示沒有均勻成核的現象。
2. 輕微擾動後的 10~20g/100ml 不同濃度明礬水，24 小時後皆有大量結晶出現，表示擾動會讓過冷的過飽和明礬水進入「成核作用」階段，再進入晶體的成長階段。
3. 輕微擾動 24 小時，用糖度計測量濃度皆為 6~6.2°Brix 之間，而當時的動態平衡飽和明礬水糖度計測量為 6°Brix，表示在開始結晶 24 小時後，各明礬水能趨近動態平衡。
4. 冷卻的過飽和 14g/100ml 濃度的明礬水擾動後 24 小時，在室溫 15°C 下結晶效果最為晶瑩剔透。
5. 經過過濾的 20g/100ml 濃度高溫明礬水，靜置 16 小時降溫後，出現的結晶大且形狀較不規則，呈現不透明白色混濁。
6. 若產生大量結晶，晶體之間彼此相接，不適合完整的晶形成長，所以我們決定放入晶種不搖晃再觀察結晶情形。

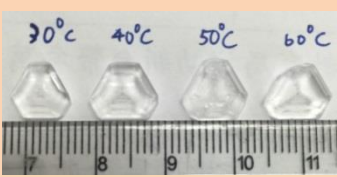



#### 實驗四：不同溫度放入晶種的結晶觀測

##### 實驗方法：

1. 回收使用過的明礬水，用糖度計測量，配製濃度 8°Brix (13g/100ml) 的熱明礬水 100ml 過濾。
2. 取邊長 4~5mm，形狀完整的六邊形晶種 1 顆，分別在溫度 30~60°C 平放入燒杯底部，45 小時後降至室溫 22°C，記錄明礬結晶情形。

##### 實驗結果：

溫度(°C)	°Brix	45 小時後結晶情形	45 小時後°Brix	晶體成長
30	8	保持單一晶種成長	7	5mm→11mm
40	8	保持單一晶種成長	7.2	6mm→7mm
50	8	保持單一晶種成長	7.2	5mm→9mm
60	8	保持單一晶種成長	7.2	6mm→10mm

原晶種長邊 4~5mm	晶種形狀	45 小時後晶體邊長 7~11mm	45 小時後晶體形狀
			

## 發現：

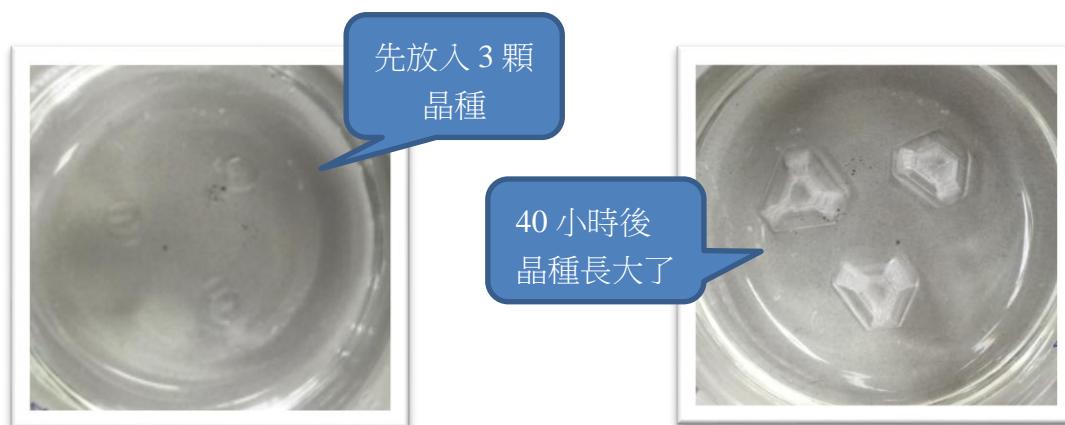
1. 溫度 30~60℃ 各放入 1 個晶種，靜置 45 小時後，晶種長大，邊長由 4~5mm，長至 7~11mm，形狀由不等長六角形變為趨近於等邊六角形。
2. 13g/100ml 濃度(8°Brix)的熱明礬水，溫度 30~60℃ 放入晶種，皆無雜晶出現，而處於穩定的成長階段，表示 13g/100ml 濃度的明礬水溶液，適合用來培養晶體，且從 30~60℃ 皆適合放入晶種。

## 實驗五：不同數量的晶種成長情形

### 實驗方法：

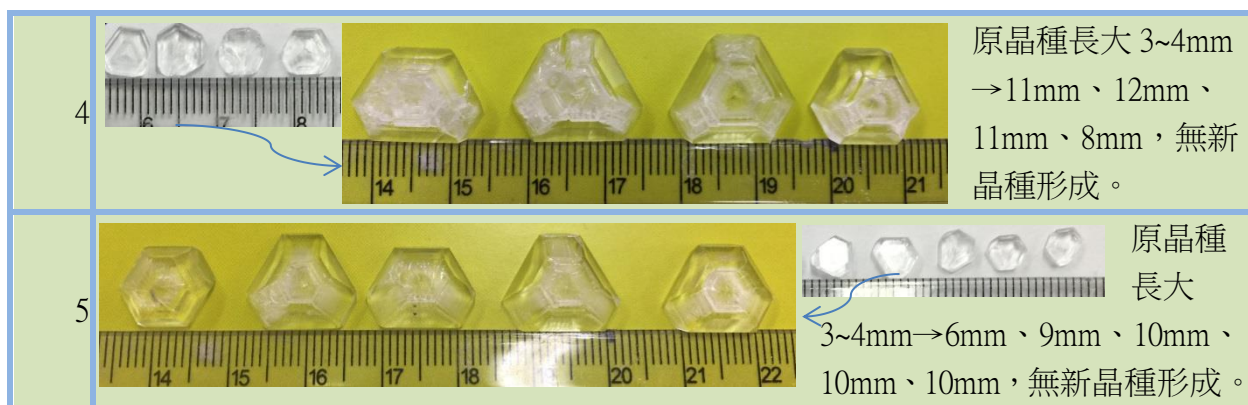
1. 回收使用過的明礬水，用糖度計測量，配製 40℃ 濃度 8.5°Brix (14g/100ml) 的熱明礬水。
2. 過濾後取邊長 3~4mm(最長邊)，晶種 1~5 顆，平放入燒杯底部，降溫至 22℃，40 小時後紀錄明礬結晶情形。

### 實驗結果：

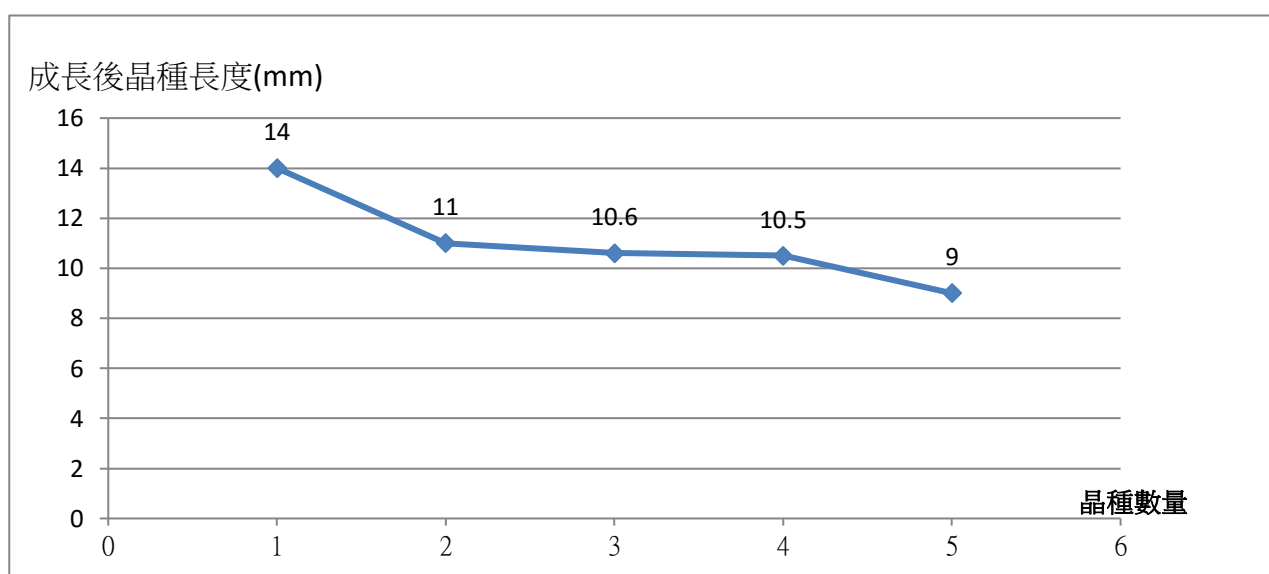


晶種數量	結晶變化情形	
1		原晶種長大 3mm→14mm，無新晶種形成。
2		原晶種長大 3~4mm→10mm、12mm，無新晶種形成。
3		原晶種長大 3~4mm→11mm、11mm、10mm，無新晶種形成。





晶種數量	1	2	3	4	5
晶種平均長度(mm)	14	11	10.6	10.5	9



#### 發現：

1. 在 14g/100ml 濃度，40℃ 的熱明礬水，過濾後置入不同數量晶種 1~5 顆，無雜晶形成，適合晶種生長。
2. 晶種數量越多，平均成長的長度越小。

### 實驗六：晶種多次培養

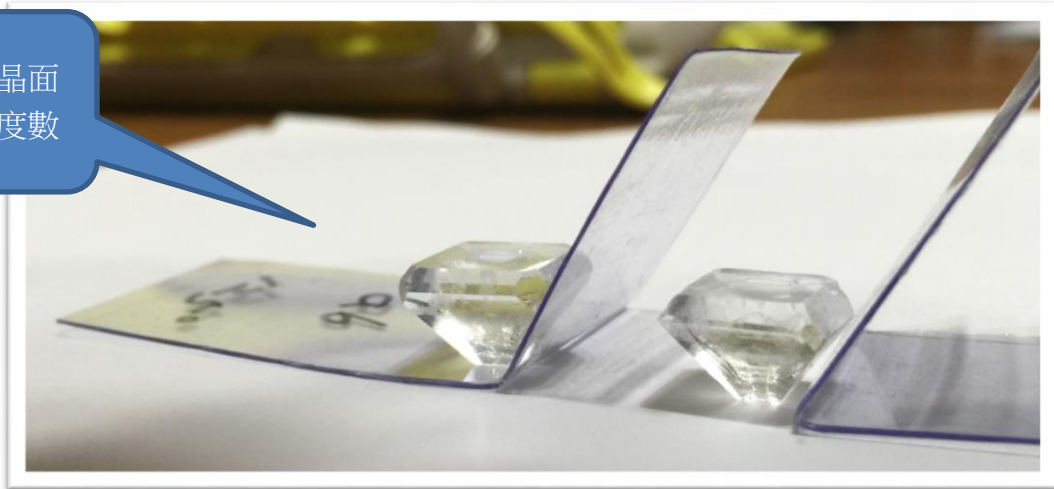
我們要先製作出可多次培養的完整晶種，所以我們根據實驗二的結果，調配濃度在 16g/100ml~20g/100ml(9.4~10.6°Brix 之間)未過濾的熱明礬水，冷卻後收集完整的晶體作為晶種。

由前面的實驗，我們知道晶種成長時，若晶種量多或大，約 24 小時可達飽和度動態平衡，若晶種量小，則需要較久時間，我們想要將晶種養大，則必須在濃度降低時提高濃度，但提高濃度時為避免大量粉晶出現，應避免在室溫的過飽和濃度下搖晃，所以我們使用高溫換水法。

### 實驗方法：

1. 用糖度計調配濃度 9.5、10、10.5°Brix 的熱明礬水，置入方形水盆中，40℃ 後不再搖晃，靜置 24 小時後，收集所形成的完整晶體。
2. 選擇形狀完整的四邊形的晶種，放入 13g/100ml 濃度(8°Brix)的 40℃ 明礬水溶液培養 24 小時。
3. 晶種取出，將培養過後的低濃度明礬水溶液用電鍋加溫，再加入少量明礬，用糖度計測量調整濃度至 8~8.5°Brix。
4. 將取出的單晶，再放入 13~14g/100ml 濃度(8~8.5°Brix)的 40℃ 明礬水溶液，繼續培養 24~48 小時，觀察晶體變化。
5. 選擇不同形狀的晶種多次培養，觀察結晶生長情形。
6. 用自製量晶面量角器，檢驗晶面夾角度數。

檢驗晶面  
夾角度數



### 實驗結果：

1. 不同濃度的晶種培養

明礬 濃度	9.5°Brix	10°Brix	10.5°Brix
24 小 時後 晶種 形成 情形			
數量	可用晶種約 42 顆	可用晶種約 60 顆	可用晶種約 84 顆



2. 金字塔型晶體連續培養二次結果

天數	晶種圖片	晶種大小
晶種置入		大:8mm 中:5mm 小:3mm
第一次換水		大:15mm 中:10mm 小:8mm
第二次換水		大:19mm 中:15mm 小:10mm

3. 六角形晶體培養結果

天數	晶種圖片	晶種大小
晶種置入		3-4mm
第一次換水		10-11mm
第二次換水		14-16mm

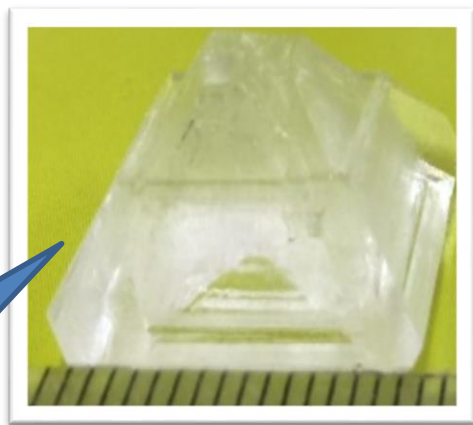
### 發現：

1. 濃度 9.5、10、10.5°Brix 的 40°C 明礬水皆可製作品種，濃度越高品種數量越多，但也容易因空間有限，互相干擾，而無法形成完整品種。濃度較小的數量少，品種較大顆，濃度大的數量多，品種較小顆。
2. 高溫換水法可以培養出較大晶體，但換水的次數會記錄在晶體的底部。底部四邊形的金字塔型晶體多次培養後側邊多有 2 層階梯狀，若透明度夠，往內可發現不同次培養的晶型。我們推估應該是濃度由淡轉濃差距大，生長速度不同造成。

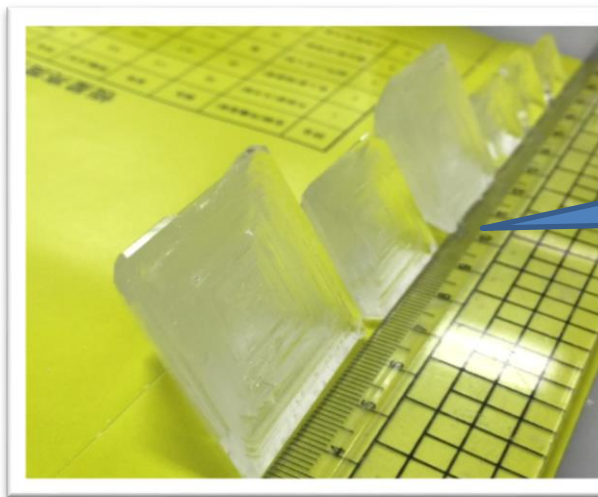


晶種底部有紋路，記錄晶種改變。

金字塔型斜面有 2-3 層階梯狀。

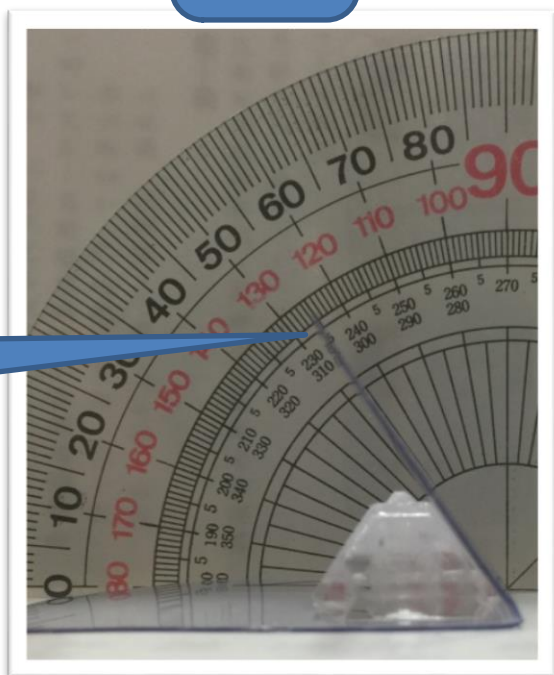


3. 發現所有金字塔型晶體，斜面與底部夾角約 55 度，不同培養次數培養出的晶體斜面角度相同。我們查詢資料，發現晶體有晶面角守恒的現象，屬於同種晶體的兩個對應晶面之間的夾角固定不變，所以我們更進一步分析明礬晶體的晶面夾角。

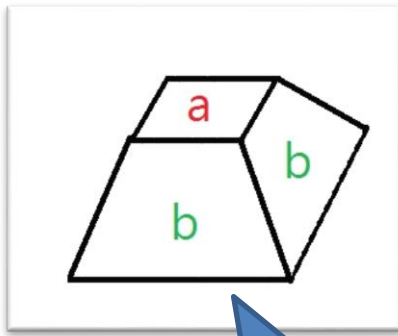


金字塔型晶體斜面角度相同

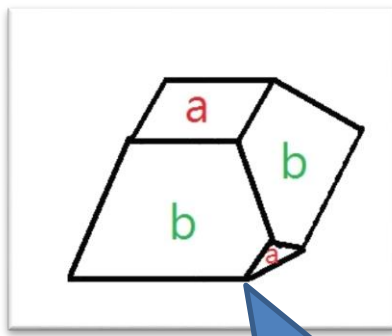
斜面與底部夾角約 55 度



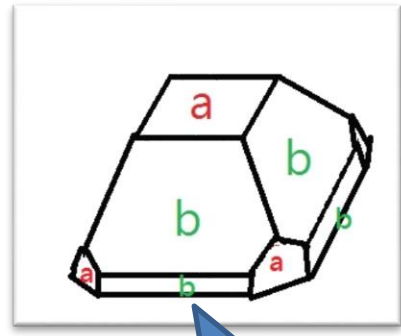
4. 我們發現每一個金字塔型的明礬晶體面 a 與面 b 的夾角  $125^\circ$ ，面 b 與面 b 夾角  $105^\circ$ ，有缺角的金字塔型也是。



完整形金字塔

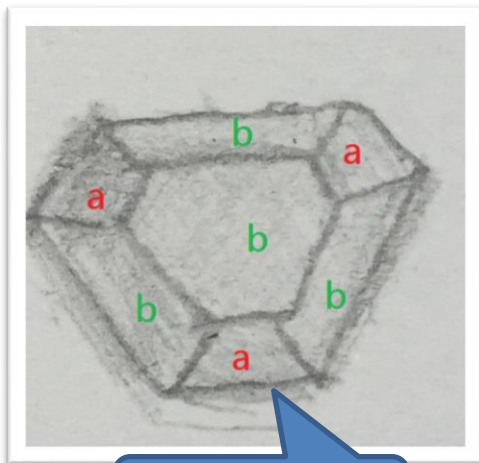


缺角形金字塔

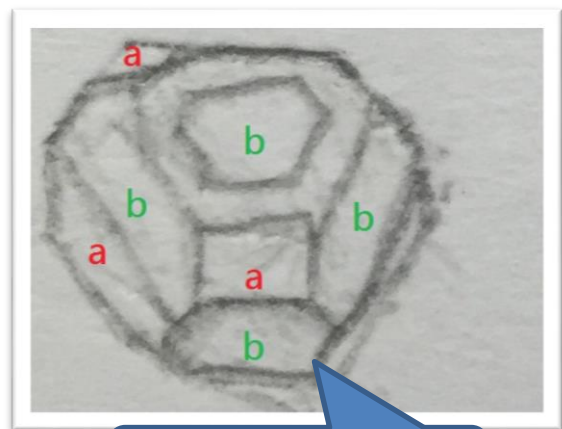


長高形金字塔

5. 培養六邊形晶體，發現而六邊形晶體的晶面夾角也是面 a 與面 b 的夾角  $125^\circ$ ，面 b 與面 b 夾角  $105^\circ$ ，有些六邊形晶種長大後會有 Y 字型圖案出現在 a 面的三個方向，此時的 a 面則較不光滑，我們推測應該是此時 a 晶面成長快速，而結構不緊密，造成霧霧的顏色。若繼續培養，則斜面一樣會出現階梯狀，且較不透明，Y 字型圖案漸不明顯。



基本六邊形晶體



長高形六邊形晶體

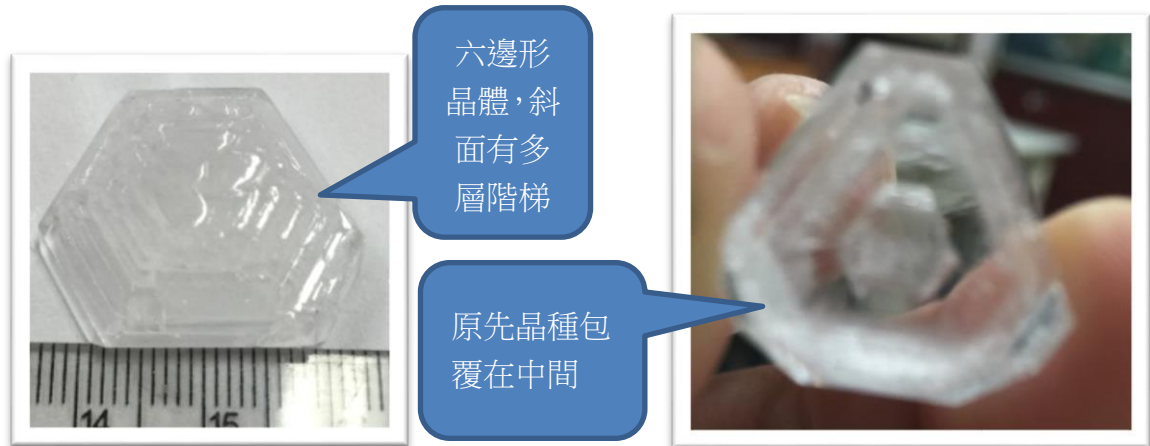


Y 字底部照



Y 字上部照

6. 反向培養六邊形晶體，發現晶體變厚，明顯將原先晶種包覆在中間。



## 陸、結論

- 一、 明礬濃度與糖度計刻度呈線性正比關係，相同明礬濃度在不同液溫時，糖度計刻度相同，可以用糖度計刻度(°Brix)來估計明礬溶液的濃度。
- 二、 濃度 10~20g/100ml 的熱明礬水，降至室溫 15°C 未搖晃的情形下，沒有均勻成核的現象，搖晃後則有均勻成核現象。搖晃或擾動會讓過飽和明礬水形成大量明礬結晶核，而不利於培養單晶，所以要培養晶體時要避免晃動。
- 三、 以透明度和晶種完整性考慮，在液溫 30~60°C，濃度 13~14g/100ml (8~8.5°Brix) 的熱明礬水，降至室溫 15°C 不搖晃的情形下適合做晶體的二次培養。
- 四、 放入晶種數量越多，平均成長的長度越小。
- 五、 高溫換水法可以培養出較大晶體，但每次換水的晶形會記錄在晶體的底部，多次培養側邊有階梯狀，六邊形晶體長大後會有 Y 字型圖案，長更大時較不透明，Y 字型圖案漸不明顯。
- 六、 發現所有金字塔型晶體，斜面與底部夾角約 55 度，進而分析明礬晶體的晶面角守恒的現象，發現晶面之間的夾角固定不變，不同培養次數培養出的晶體晶面夾角皆為 105° 與 125°。

## 柒、參考資料

- 一、 葉名昌 (2008 年 11 月 8 日)。晶體的生長。科學 Online—科技部高瞻自然科學教學資源平台。取自 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3425>
- 二、 結晶。松山工農化工科。取自 [https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/chemical\\_engineering/tp\\_ss/content-wa/wchm2/wpage2-5.htm](https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/chemical_engineering/tp_ss/content-wa/wchm2/wpage2-5.htm)
- 三、 動態平衡。維基百科。取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8B%95%E6%85%8B%E5%B9%B3%E8%A1%A1>

- 四、 柯湘滢、林佩瑩、阮翊玳(2015)。養晶就像養魚一樣簡單。全國高職學生 104 年度專題暨創意製作競賽作品。取自 <https://www.slvs.tc.edu.tw/125/20150416111107.docx>
- 五、 蔡宇軒、蕭逸凡、翁定暉(2003)。晶體聯合國的高峰會議—探討結晶與各種變因的相互關係。第 43 屆全國中小學科展報告。取自 <http://science.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=1000000&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=794>

## 【評語】 080220

歷屆科展作品不乏晶體培養之相關研究，但本作品探討明礬結晶長大長好的秘訣，確屬少見，而竟終能以重複種晶（將析出晶體移置新飽和溶液培養）手法獲得數公分大之碩大完整單晶，實屬不易！是原理應用結合技術和耐心多方法結合之產物！長晶技術堪稱藝術即因其變因眾多，不易掌握。本作品能掌握原理生出晶面清楚，形狀統一之單晶且印證晶角守恆定律，實屬難得之作品！