

結晶知多少

摘要

本研究旨在探討影響結晶的因素，並藉由深入觀察，瞭解結晶的過程與特性。經過一連串實驗，我們找到以下的答案：結晶一開始的成長速度最快，長到一定大小就不再增加。明礬單晶呈現去角的三角形，也就是六邊形，中間有一層層相同形狀所組成的透明痕跡，三個角的邊緣呈現白色塊狀，中間有類似風扇似的黑色陰影。要使明礬結晶效果佳，其秘訣是：降溫的過程越緩慢越好、溶液的濃度要適中、不能太稀也不宜太濃、放在飽和溶液的中下方，不易碰到沈晶處、較大顆的晶種、保持靜置狀態、不加磁場與其他物質等，運用這樣的方法結出來的明礬晶體，會又大又亮喔！

壹、研究動機

上自然課時，老師告訴我們結晶的原理，瞭解到溶質溶於溶液當中，當水分乾了或是溶解度下降時，就會產生結晶。對於這個主題我們感到非常有興趣，尤其看到那一顆顆晶瑩剔透像是寶石般的結晶時，心裡更是產生不少疑問，到底，如何使結晶的效果最好？又哪些因素會影響結晶？我們不禁興起一股研究的動力，想要一探究竟。

貳、研究目的

- 一、觀察明礬結晶的過程。
- 二、探討影響結晶的因素。
- 三、嘗試做出一顆又大又亮的明礬結晶。
- 四、培養科學研究的態度與方法。

參、研究器材與設備

- 一、藥品：明礬、色素、醋酸溶液、氫氧化鈉溶液
- 二、器材：燒杯（1000、500、250、100c.c.）、玻棒、漏斗、濾紙、溫度計、結晶娃娃
- 三、設備：水槽式恆溫震動箱（Incubater）、相機、冰箱、PH 值檢測儀、電子顯微鏡、瓦斯爐
- 四、其他：RO 純水



肆、研究過程與方法：

研究一：觀察明礬結晶的過程。

實驗（一）：觀察明礬單晶的成長過程。

實驗（二）：觀察明礬結晶時，晶體相連的成長過程。

方法：1.配置 50°C 的明礬飽和溶液一小杯，滴一滴在載玻片上。

2.放在顯微鏡上，以 100 倍的放大倍率尋找一顆成長中的單晶、兩顆成長中的單晶。

3.用碼表計時，每 2 分鐘拍照一次，觀察記錄其結果。

實驗（三）：觀察記錄一顆完整的明礬單晶。

方法：1.配置 50°C 明礬飽和溶液一小杯，靜置桌面上。

2.待其有小顆的沈晶出現，將其取出，並仔細觀察明礬單晶的外型。

實驗（四）：觀察整杯明礬飽和溶液結晶的過程。

方法：1.配置 50°C、120c.c 的明礬飽和溶液。

2.室溫下靜置，觀察記錄其結晶的過程。

研究二：探討影響結晶的因素。

※實驗（一）先瞭解明礬溶液的飽和度。

取 70°C、50°C、30°C 的自來水各 60c.c，慢慢加入明礬攪拌，直到不能溶解為止，記錄重量。

環境

實驗（二）環境溫度對結晶形狀的影響

取 50°C 的明礬飽和溶液分別滴在四片載玻片上。一片以吹風機吹乾、一片放在室溫下、一片放在冷藏室、一片放在冷凍庫。十分鐘後，以顯微鏡放大 100 倍觀察其結果。

實驗（三）環境降溫速度對結晶量的影響

取 70°C 的明礬飽和溶液四杯各 300c.c。取四顆同重量的晶種分別以漆包線綁好。將漆包線以竹筷懸掛在四杯飽和溶液中，一杯放在恆溫槽中（每小時降溫 2 度）、一杯放在保利龍箱中一杯放在室溫下、一杯放在冰箱冷藏室。靜置 8 小時後觀察結晶情形，並秤出結晶總重。

晶種

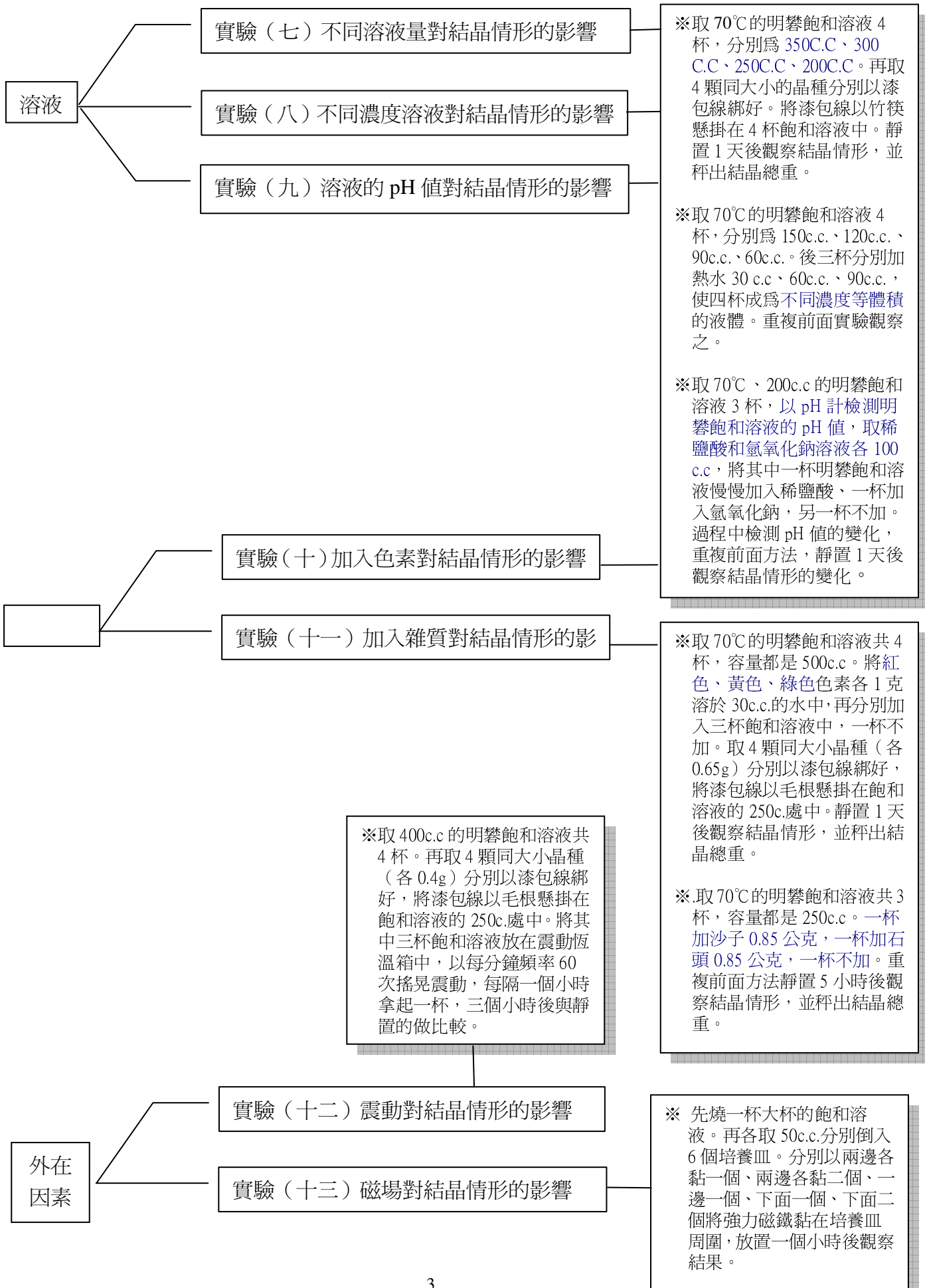
實驗（四）不同大小晶種對結晶情形的影響

※取 70°C 的明礬飽和溶液 3 杯各 700c.c。取 3 顆不同重量的晶種分別以漆包線綁好。將漆包線以竹筷懸掛在 3 杯飽和溶液中，靜置 1 天後觀察結晶情形，並秤出結晶總重。

實驗（五）不同晶種形狀對結晶情形的影響

※同方法改變晶種的形狀與晶種放置位置，（飽和溶液量改為各 300c.c），觀察其結晶情形的不同。













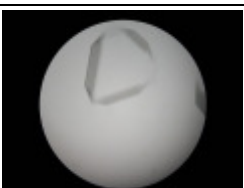







實驗（六）晶種放置位置對結晶情形的影響







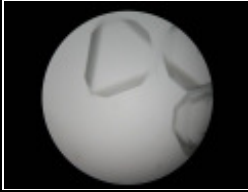

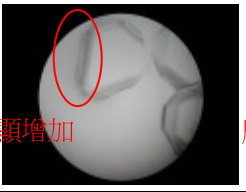

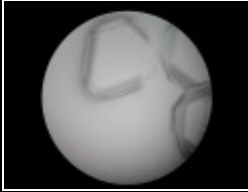
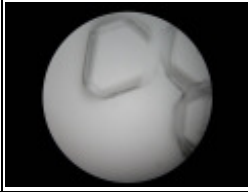
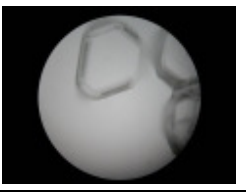
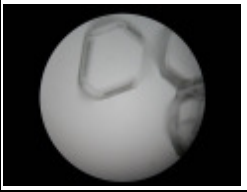


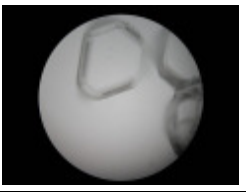
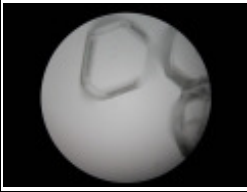
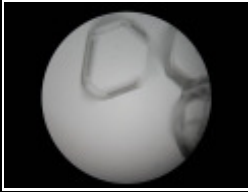
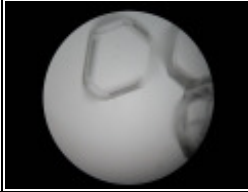
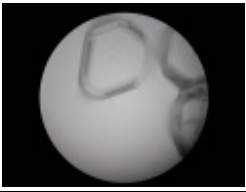





伍、研究結果：

實驗（一）：觀察明礬單晶的成長過程。






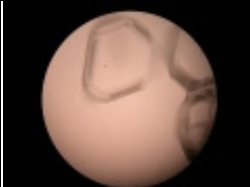
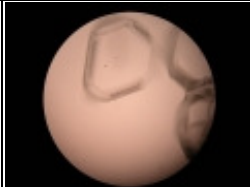


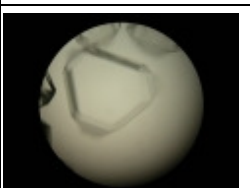

說明：我們先以方格紙放大 100 倍做基準，每一個小方格的寬度是 1mm，拍攝下來的方格在電腦螢幕上顯示是 10cm，如此，我們測量明礬結晶最寬的一邊，並以 $10\text{cm} : 1\text{mm} = \square\text{cm} : ?\text{mm}$ 的比例，換算其大小。

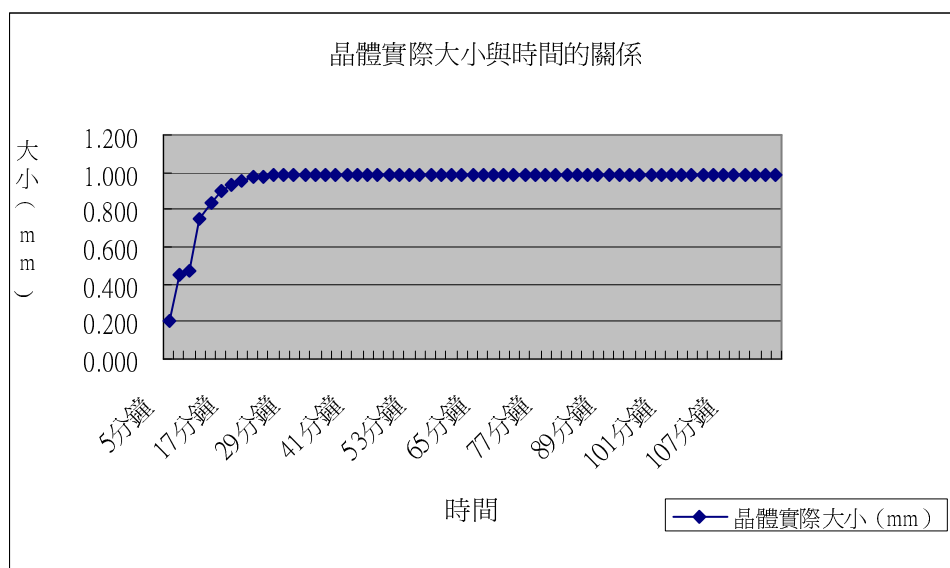
結果				
時間	5 分鐘	7 分鐘	9 分鐘	11 分鐘
大小	0.2mm	0.45mm	0.47mm	0.75mm
結果				
時間	13 分鐘	15 分鐘	17 分鐘	19 分鐘
大小	0.84mm	0.9mm	0.93mm	0.95mm
結果				
時間	21 分鐘	23 分鐘	25 分鐘	27 分鐘
大小	0.97mm	0.98mm	0.99mm	0.99mm
結果				
時間	29 分鐘	31 分鐘	33 分鐘	35 分鐘
大小	0.99mm	0.99mm	0.99mm	0.99mm
結果				
時間	37 分鐘	39 分鐘	41 分鐘	43 分鐘
大小	0.99mm	0.99mm	0.99mm	0.99mm

結果				
時間	45 分鐘	47 分鐘	49 分鐘	51 分鐘
大小	0.99mm	0.99mm	0.99mm	0.99mm
結果				
時間	53 分鐘	55 分鐘	57 分鐘	59 分鐘
大小	0.99mm	0.99mm	0.99mm	0.99mm
結果				
時間	61 分鐘	63 分鐘	65 分鐘	67 分鐘
大小	0.99mm	0.99mm	0.99mm	0.99mm
結果				
時間	69 分鐘	71 分鐘	73 分鐘	75 分鐘
大小	0.99mm	0.99mm	0.99mm	0.99mm
結果				
時間	77 分鐘	79 分鐘	81 分鐘	83 分鐘
大小	0.99mm	0.99mm	0.99mm	0.99mm
結果				
時間	85 分鐘	87 分鐘	89 分鐘	91 分鐘
大小	0.99mm	0.99mm	0.99mm	0.99mm

厚度明顯增加

厚度明顯增加

結果				
時間	93 分鐘	95 分鐘	97 分鐘	99 分鐘
大小	0.99mm	0.99mm	0.99mm	0.99mm
結果				
時間	101 分鐘	103 分鐘	105 分鐘	107 分鐘
大小	0.99mm	0.99mm	0.99mm	0.99mm
結果				
時間	109 分鐘	150 分鐘	170 分鐘	
大小	0.99mm	0.99mm	0.99mm	









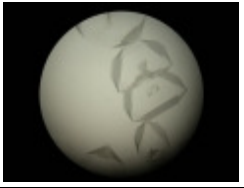

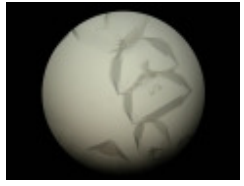
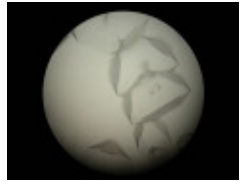







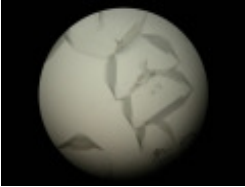
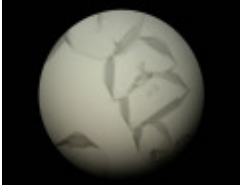





發現：1.明礬結晶的形狀是去角的正三角形，也就是六邊形。

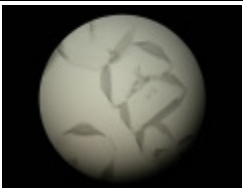



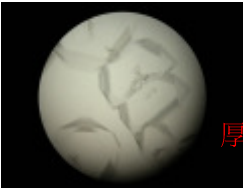
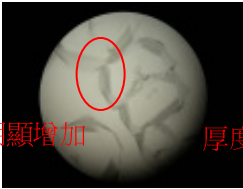
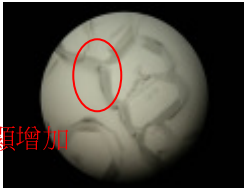
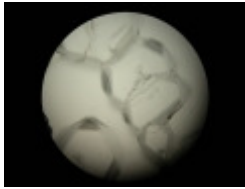
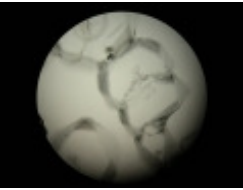
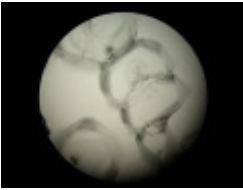
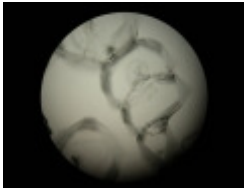
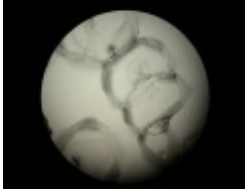
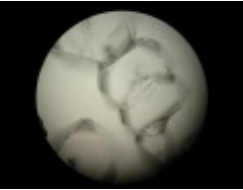
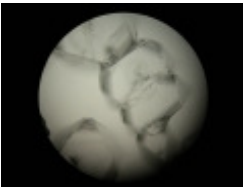
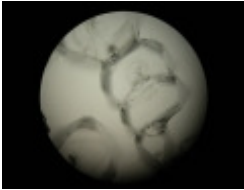
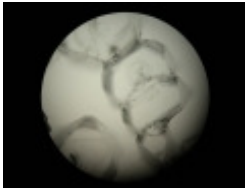

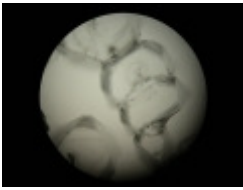
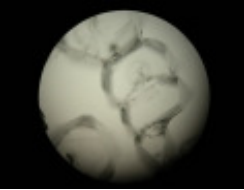
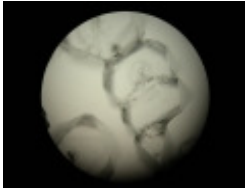
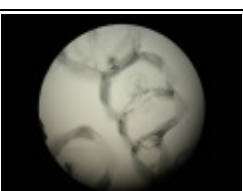

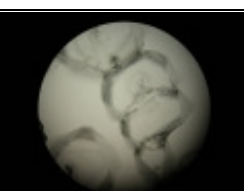
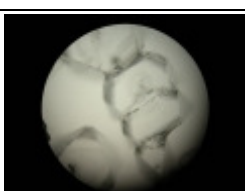
2.明礬結晶一開始的結晶速度比較快，半個小時後結晶速度就會放慢許多，到了一小時後，結晶幾乎都已經不再長大，只是邊緣變厚，我們推測此時是在增加厚度。


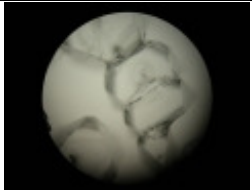
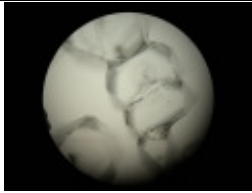
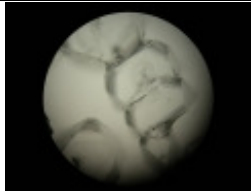
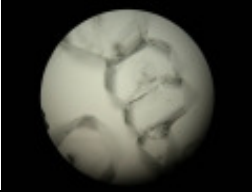
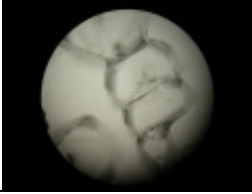
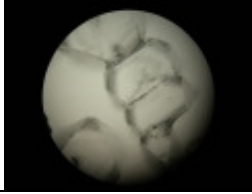
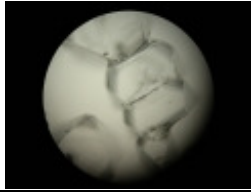
3.明礬一開始並不是成完整的形狀開始結晶，而是缺了一角，這一角在成長的過程中並不明顯長出來，直到最後接近第三個小時時，才完全長出來，一顆完整的明礬結晶才真正呈現。

實驗 (二): 觀察明礬結晶時，晶體相連的成長過程。

結果：

結果				
時間	5 分鐘	7 分鐘	9 分鐘	11 分鐘
大小	0.002mm	0.071mm	0.1mm	0.286mm
結果				
時間	13 分鐘	15 分鐘	17 分鐘	19 分鐘
大小	0.393mm	0.5mm	0.607mm	0.671mm
結果				
時間	21 分鐘	23 分鐘	25 分鐘	27 分鐘
大小	0.729mm	0.757mm	0.771mm	0.8mm
結果				
時間	29 分鐘	31 分鐘	33 分鐘	35 分鐘
大小	0.8mm	0.8mm	0.8mm	0.8mm
結果				
時間	37 分鐘	39 分鐘	41 分鐘	43 分鐘
大小	0.8mm	0.8mm	0.8mm	0.8mm
結果				
時間	45 分鐘	47 分鐘	49 分鐘	51 分鐘
大小	0.8mm	0.8mm	0.8mm	0.8mm

結果				
時間	53 分鐘	55 分鐘	57 分鐘	59 分鐘
大小	0.8mm	0.8mm	0.814mm	0.814mm
結果				
時間	61 分鐘	63 分鐘	65 分鐘	67 分鐘
大小	0.814mm	0.814mm	0.814mm	0.814mm
結果				
時間	69 分鐘	71 分鐘	73 分鐘	75 分鐘
大小	0.814mm	0.814mm	0.814mm	0.814mm
結果				
時間	77 分鐘	79 分鐘	81 分鐘	83 分鐘
大小	0.814mm	0.814mm	0.829mm	0.829mm
結果				
時間	85 分鐘	87 分鐘	89 分鐘	91 分鐘
大小	0.829mm	0.829mm	0.829mm	0.829mm
結果				
時間	93 分鐘	95 分鐘	97 分鐘	99 分鐘
大小	0.829mm	0.829mm	0.829mm	0.829mm

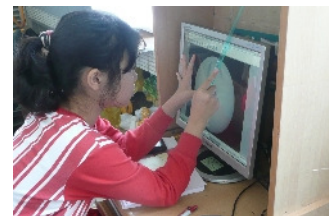
結果				
時間	101 分鐘	103 分鐘	105 分鐘	107 分鐘
大小	0.843mm	0.843mm	0.843mm	0.843mm
結果				
時間	109 分鐘	119 分鐘	159 分鐘	171 分鐘
大小	0.843mm	0.843mm	0.843mm	0.843mm

發現：1.距離太接近，受擠壓的明礬結晶不能長成原來單晶時去角正三角形（六邊形）的樣子，而會變得比較扁。

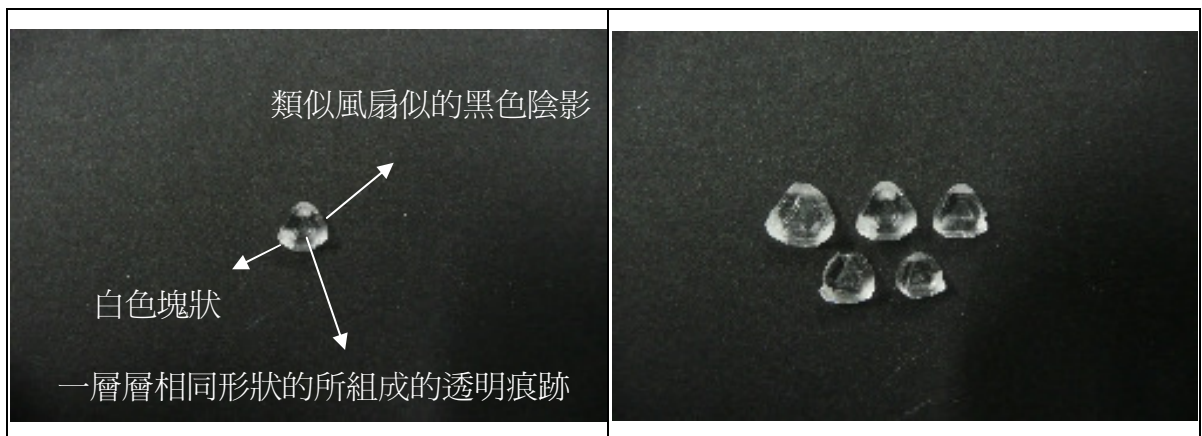
2.開始結晶時的速度還是比較快，一下子兩顆原來有點距離的明礬結晶就相連在一起了。半個小時左右結晶速度放慢許多，一小時後，結晶幾乎還是都不再長大，只是邊緣變厚，在增加結晶的厚度。

推論：1.明礬結晶之所以一開始成長速度比較快，應該是因為飽和溶液在降溫或蒸發的過程中，一下子就可析出許多溶質，因此結晶長得特別快。等一段時間後，結晶形狀已經定型，溶質也析出得差不多了，結晶就會開始停止長大，變成慢慢增加其厚度而已。

2.結晶的過程應該是先以片狀長成大致的晶形後，再往厚度成長。



實驗（三）：觀察記錄一顆完整的明礬單晶。



發現：明礬單晶呈現去角的三角形，也就是六邊形。中間有一層層相同形狀所組成的透明痕跡，三個角的邊緣呈現白色塊狀，中間有類似風扇似的黑色陰影，這種現象是不是表面張力造成的，值得討論。

實驗（四）：觀察整杯明礬飽和溶液結晶的過程。

結果：

30 秒	底部開始有第一顆結晶。
1 分鐘	有 10 顆左右的晶體，慢慢變大了（0.1cm~0.2cm）。
2 分鐘	有 5 顆變得更大（0.2cm）。
3 分鐘	杯底大約有 30 顆結晶。
6 分鐘	結晶全部變大（0.22cm）
7 分鐘	約有 50 顆以上的晶體，並發現水面有結晶。
9 分鐘	全部又變大（0.23cm）。
10 分鐘	水面上的結晶都合在一起。
12 分鐘	結晶約 70~110 顆之間，有些像六角形。
15 分鐘	水面上的結晶變大顆（0.3cm）。
18 分鐘	發現結晶從水面掉下，結晶變大（0.32cm）。
20 分鐘	結晶變多變大，約 80~100 顆之間（0.32cm~0.34cm）。
24 分鐘	結晶有 4、5、6 邊形。（應該是還沒長完整）
27 分鐘	有似煙狀的液體在溶液中往上飄。
30 分鐘	水面的結晶都不見了。（都往下掉了）
31 分鐘	水面又出現結晶。
34 分鐘	水面結晶出現更多了，水底的結晶也變大變多（0.4cm~0.42cm）
37 分鐘	水面結晶合在一起，也變細小了。
39 分鐘	水底結晶多了一層，並變大顆，約 100~130 顆之間（0.43cm~0.45cm）。
41 分鐘	結晶形狀都成六邊形了。
43 分鐘	水面結晶變多，也全合在一起。
45 分鐘	底部結晶有第二層，且變多，約 130~170 顆之間。
51 分鐘	水面的結晶整塊掉下來，約長 1.05cm 寬 0.15cm。
56 分鐘	水面又出現結晶，底下結晶長出第三層，約 120~150 顆之間。
58 分鐘	水面結晶合起來，長 0.5cm 寬 0.15cm。
62 分鐘	底部結晶變大（0.48cm）
64 分鐘	水面上結晶變大，長 0.52cm 寬 0.2cm。
66 分鐘	結晶變大（0.5cm）、變多，約 150~180 顆之間。
70 分鐘	水面結晶變多並合在一起。

發現：

以整杯飽和溶液結晶的過程來說，結晶出現時，底部和水面都同時出現，而溶液中會有似煙狀的液體，飄上水面，液體會慢慢形成結晶，當重量足夠時，結晶就會掉下。同時底部大部分的沈晶都結在杯子的邊緣，再慢慢延伸到杯子的中間。結晶太多時，會使結晶原本的六邊形而變形。



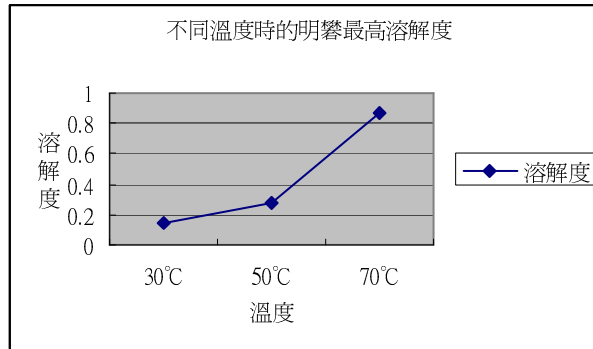
研究二：探討影響結晶的因素。

說明：為了方便配置明礬飽和溶液，我們先嘗試測出明礬溶液的最高溶解度。

實驗（一）：瞭解不同溫度時，明礬溶液的最高溶解度。

結果：60c.c 的水

溫度	30°C	50°C	70°C
溶解量	9g	16.9g	51.8g
溶解度	$9/60=0.15\text{g/ml}$	$16.9/60=0.282\text{g/ml}$	$51.8/60=0.863\text{g/ml}$

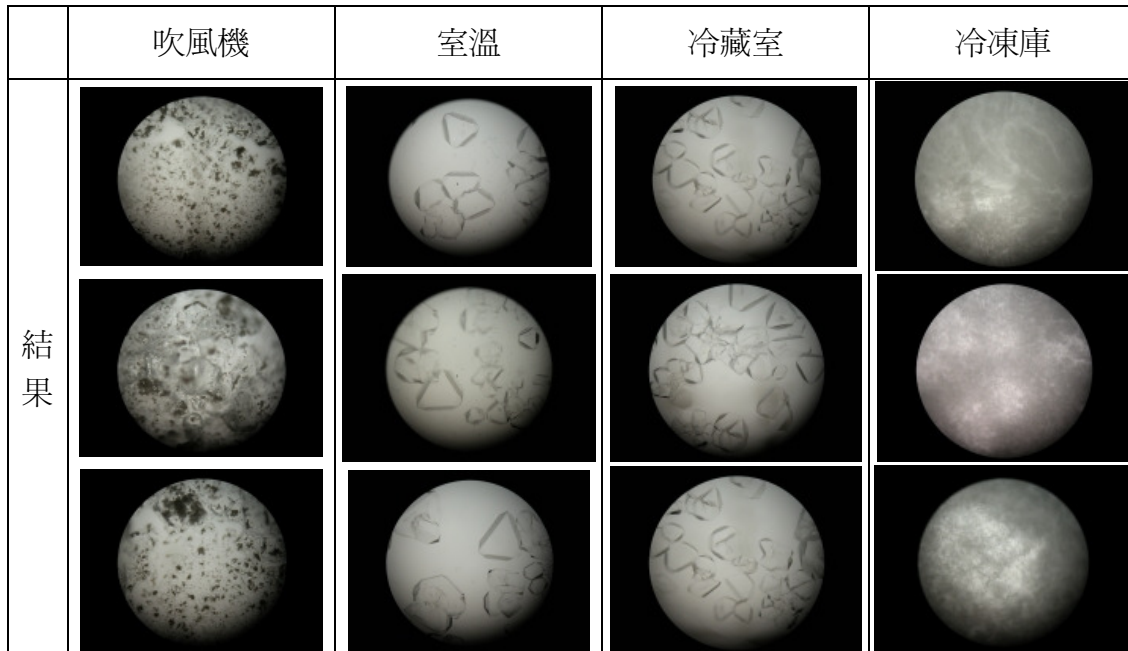


發現：（一）**30°C**時的明礬最高溶解度為 **9g/60ml**、**50°C**時的明礬最高溶解度為 **16.9g/60ml**、**70°C**時的明礬最高溶解度為 **51.8g/60ml**。

（二）水溫越高，溶解明礬的量越多。

實驗（二）：探討環境溫度對結晶形狀的影響。

結果：



發現：1.吹風機烘出來的明礬結晶呈現類似發黴似的恐怖晶體，看起來很噁心。

2.室溫下成長的明礬結晶晶形比較完整，顆粒比較大。

3.冷藏室中的明礬結晶顆粒較小些，但晶形也算完整。

4. 冷凍庫中的明礬結晶呈現細碎雪花狀，晶形不明顯。



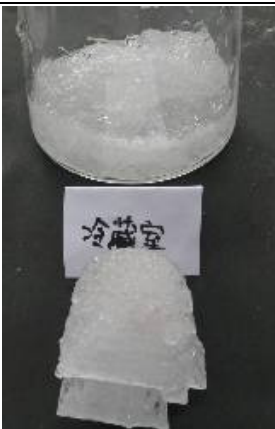
推論：1. **結晶降溫的過程越緩慢越好**，以冷凍方式急速降溫的明礬晶體十分細碎，幾乎看不出完整晶形；這可能是因為**快速降溫的過程，會產生很多晶核，因此產生非常多的晶體，且結晶非常細碎**，而在室溫下成長的明礬晶體，不會產生過多的晶核，晶體成長不會那麼密集，且有充裕的時間長成完整晶形。

2. **結晶的過程是需要時間的，加熱烘乾的方式水分會快速流失，進而破壞晶體的成長**，導致幾乎看不見完整晶形。



實驗（三）：探討環境降溫速度對結晶量的影響。

結果：

環境	恆溫槽	室溫	冷藏室
懸晶重	38.43g	48.97g	46.12g
沈晶重	123.5g	102.2g	104.53g
結晶總重	150.65g	151.17g	150.65g
結果			


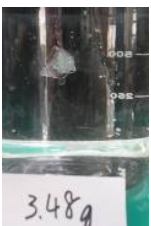




發現：

- （一）在室溫下成長的晶體，所產生的懸晶比較大，總結晶量也比較多。
- （二）恆溫槽和冷藏室所產生的結晶量相同，但冷藏室的懸晶大於恆溫箱，恆溫箱的沈晶則多於冷藏室。
- （三）冷藏室所產生的結晶，晶體十分細碎；而恆溫槽中的晶體雖然不是最大的，但卻晶瑩剔透，顆粒也比較大顆，看起來很漂亮。

推論：**緩慢降溫可以使晶體長得更大、更透明，而急速降溫晶體來不及成長，結晶就會變得細碎。**

實驗（四）：探討不同晶種大小對結晶情形的影響。

結果：

原來晶種	0.28g 	3.48g 	47.46g 
懸晶重	38.24g	55.95g	148.55g
沈晶重	175.8g	161.9g	115.7g
結晶總重	209.5g	210.32g	212.11g
懸晶成長比例	136.57 倍	16.07 倍	3.13 倍
一天後結晶情形			

發現：1.三顆不同大小的晶種，所結出來的結晶總重都差不多。

2.較小顆的晶種所結出來的懸晶比較沒有那麼大顆，但沈晶量卻比較多；最大的晶種懸晶雖然大顆，但沈晶相對減少許多。

3.就成長倍率而言，雖然小顆的晶種，其結出來的懸晶重量是最輕的，但成長倍率卻是原來的 136 倍，居三者之冠。

推論：不管原來的晶種多大，**只要飽和溶液的量一樣，結晶的總重量也會差不多**，這是因為**等量且相同濃度的飽和溶液，其所含的溶質量是一樣的**，因此所結出來的晶體量自然也會差不多，不會受原來晶種大小不同而有所不同。

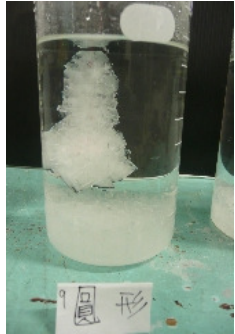





實驗（五）：探討不同晶種形狀對結晶情形的影響。



以紙黏土做成等重量的不同形狀晶種，在塗上亮光漆，避免溶解。

結果：

晶種形狀	圓球體	三角體	圓柱體	正方體
懸晶重	69.03g	67.84g	69.03g	66.4g
沈晶重	135.5g	131.1g	131g	133g
結晶總重	198.61g	198.94g	200.03g	199.4g
一天後 結晶情形				

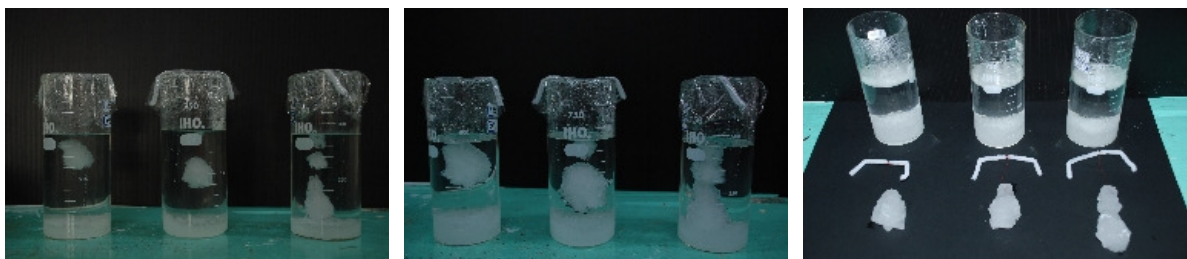
發現：同樣重量的晶種，雖然有不同形狀，但其結晶的情形都差不多，結晶重量也差異不大。

推論：結晶會慢慢包覆晶種，因此**原來的晶形其實影響不大**，但因為是等量的明礬飽和溶液，所以結出來的晶體重量都差不多。

實驗（六）：探討晶種放置位置對結晶情形的影響。

結果：

晶種位置	上(350c.c.)	中(250c.c.)	下(150c.c)
懸晶重	69.44g	82.57g	101.22g
沈晶重	177g	170.6g	144.6g
結晶總重	246.44g	253.17g	245.82g



發現：1.三杯飽和溶液所產生的結晶量相差不大，但以晶種位置在中間的稍多一些。

2.晶種位置在上方，所產生的懸晶比較小，但沈晶比較多；晶種位置在下方，容易產生長串的懸晶，造成晶體重量較重，但相對的沈晶便減少許多。

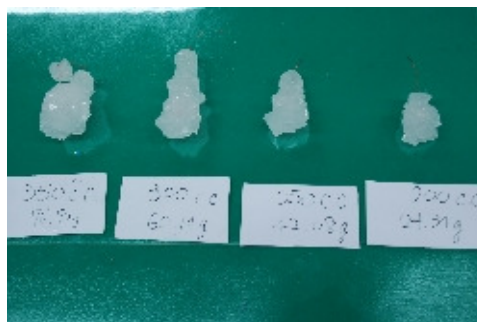
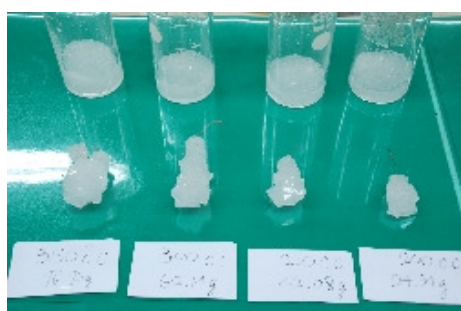
推論：1.不管晶種位置在何處，只要是相同溫度相同濃度的飽和溶液，因為溶質量是相同的，因此所產生的結晶量都差不多。

2.晶種位置不同，所影響的只是懸晶與沈晶大小多寡的差異。由於溶質有重量會下降，飽和溶液的上方濃度便較淡，因此所產生的懸晶較小，但相對的沈晶量較多；反之，亦然。

實驗（七）：探討不同溶液量對結晶量的影響。

結果：

溶液量	350c.c	300c.c	250c.c	200c.c
懸體重	76.75g	62.14g	42.08g	24.34g
沈晶重	125.2g	94.3g	71.8g	44.5g
結晶總量	201.95g	156.4g	113.88g	68.84g



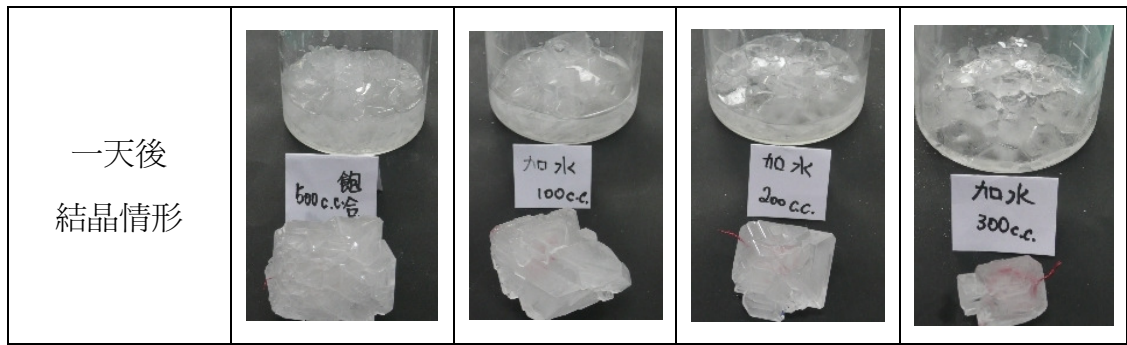
發現：不論是懸晶或是沈晶，其結晶量的多寡都是：350c.c.>300c.c.>250c.c>200c.c

推論：相同濃度的飽和溶液量越多，其所含的溶質也越多，因此所產生的結晶自然量也越多。

實驗（八）：探討不同濃度的溶液對結晶情形的影響。

結果：

加水量	不加水 (100%)	+100c.c (83.33%)	+200 c.c (71.83%)	+300c.c (62.5%)
懸晶重	67.79g	57.15g	28.08g	12.87g
沈晶重	157.2g	111.7g	84.9g	47.9g
結晶總重	224.99g	168.65g	112.98g	60.77g



註：想法：

飽和明礬溶液加了 100ml 的水之後，濃度變成原來濃度的 $83.33\% \quad 500/(500+100) \times 100$

加了 200ml 的水之後，濃度變成原來濃度的 $71.83\% \quad 500/(500+200) \times 100$

加了 300ml 的水之後，濃度變成原來濃度的 $62.5\% \quad 500/(500+300) \times 100$

發現：1.結晶速度的快慢依序為：不加水>加 100c.c>加 200 c.c >加 300 c.c

2.懸晶顆粒的大小依序為：不加水>加 100c.c>加 200c.c >加 300c.c

3.結晶量的多寡依序為：不加水>加 100c.c>加 200c.c >加 300c.c

4.濃度 100%的明礬飽和溶液，所結成的結晶雖然比較大比較重，但其實仔細一看，它的顆粒是比較細小的。當濃度稍微稀釋，大約飽和溶液的 83.33%左右，結晶顆粒反而會比較大些。

推論：1.濃度越濃的飽和溶液所含的溶質量越多，越快析出晶體，且所結晶的量也越多。

2.越濃的溶液，其結晶速度自然快，因此會有產生許多晶核，結晶顆粒多但晶形較小。相反的，稍微稀釋過的溶液，其結晶速度會比較慢，晶體可以慢慢產生，自然結晶顆粒就比較大，但是太稀的溶液可能無法析出溶質，就不能產生結晶了。

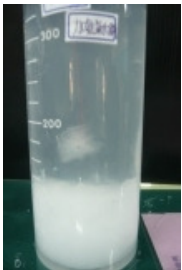




實驗（九）：探討飽和溶液的 pH 值對結晶情形的影響。

結果：1.pH 值變化：（註：70°C 的明礬飽和溶液 pH 值是 1.31）

pH 值	NaOH (pH 值 13.96)	Hcl(pH 值 0.14)
加 10 滴	1.64	1.19
加 20 滴	1.45	1.14
加 30 滴	1.43	0.96
加 40 滴	1.30	0.86
加 50 滴	1.26	0.8
加 60 滴	1.22	0.76
加 70 滴	1.18	0.71
加 100c.c.	2.1	0.23

2.結晶情形：

加入溶液	加氫氧化鈉溶液	加稀鹽酸	不加
結晶重	4.57g	47.35g	95.23g
沉晶重	126.8g	86.4g	126.8g
結晶總重	131.37g	133.75g	222.03g
結晶情形			

發現：1.70°C 時的明礬飽和溶液為強酸，pH 值約為 1.31。

- 2.加入稀鹽酸後的明礬飽和溶液 pH 值會往下降，但下降幅度很慢，加了 100c.c 之後 pH 值會變成 0.23。
- 3.加入氫氧化鈉後的明礬飽和溶液 pH 值不太會上升，上升幅度相當有限，加了 100c.c 之後 pH 值才變成 2.1。
- 4.加入氫氧化鈉後的明礬飽和溶液瞬間會有白色沈澱物產生，之後整杯飽和溶液都有白色的沈澱。
- 5.加入稀鹽酸的明礬飽和溶液與加入氫氧化鈉的明礬飽和溶液，結晶量比起不加的明顯少很多，而且加入氫氧化鈉的晶種長大很少，大部分為杯底沈晶。



推論：**明礬會和酸鹼起反應，造成結晶總量明顯減少。**

實驗（十）：探討加入色素的明礬飽和溶液對結晶情形的影響。

結果：

加入色素	紅	黃	綠	不加
懸晶重	70.71g	52.79g	56.3g	61.61g
沉晶重	142.6g	151.1g	138.6g	177.4g
結晶總重	213.31g	203.89g	194.9g	239.01g



發現：1.不加色素的結晶量最多，其餘的都相對少一些。

2.所結成的懸晶顏色會改變，但我們把它拿到水龍頭下沖洗，發現表面的顏色會被洗掉，造成看起來表面是透明的，但裡面仍然是有顏色的。我們推測結晶是將色素包在裡面，並非產生的結晶是有顏色的。

3.所結成的沈晶亦是有顏色的，但從杯底看上去，最底層仍是透明的。

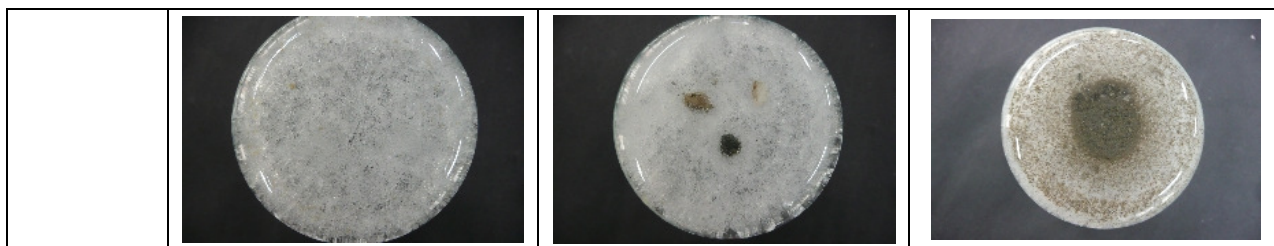
推論：1.不加任何物質的明礬結晶，可以完全析出明礬晶體，因此結晶量最多。

2.色素分子滲透到明礬結晶縫隙當中，造成彩色的外觀受到影響，但其實明礬所結成的晶體仍是透明的。

實驗（十一）：探討雜質對明礬結晶的影響影響。

結果：

加入物	不加	加石頭	加沙子
懸晶重	9.97g	9.53g	8.66g
沉晶重	41.26g	41.6g	46.14g
結晶總重	50.53g	49.58g	54.1g
5小時後的結晶情形			



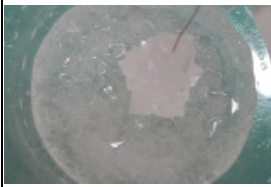
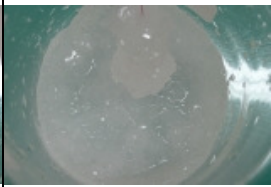

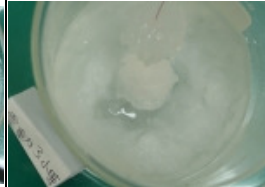
發現：1.三杯的結晶重量相差不大，但加入沙子的沈晶稍微多一些，懸晶小一點。
2.沙與石頭都會沈在底部被包覆，加入沙子的明礬結晶雖然仍是透明的，但因為沙土的關係使呈現土狀的顏色。

推論：**沙子與石頭都有重量，加入飽和溶液中會沈在底部，結晶本身受影響不大，只是會將其包覆住。**



實驗（十二）：探討震動對結晶情形的影響。

結果：

震動情形	無震動	震動 1 小時	震動 2 小時	震動 3 小時
結晶重	19.7g	26.3g	34.7g	26.3g
沉晶重	109.7g	133g	134.9g	149.7g
總重	129.4g	159.3g	169.6g	176g
照片				

發現：1.結晶量的多寡依序為：震動 3 小時 > 震動 2 小時 > 震動 1 小時 > 無震動。

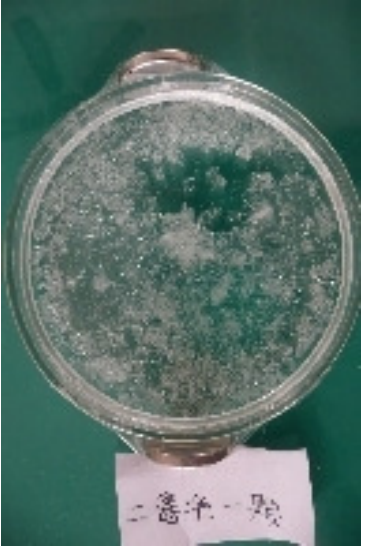

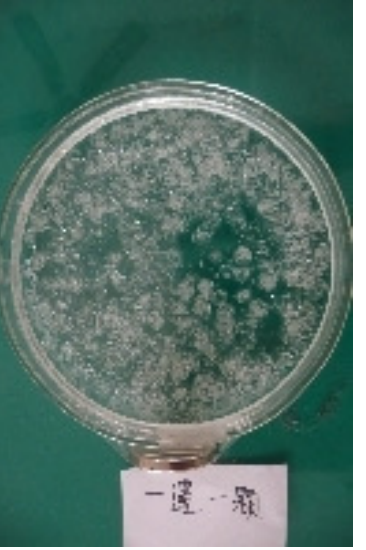
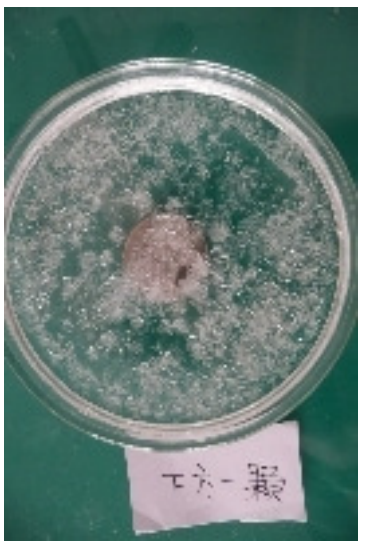
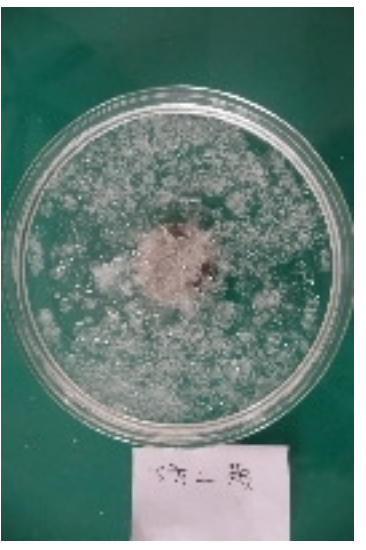
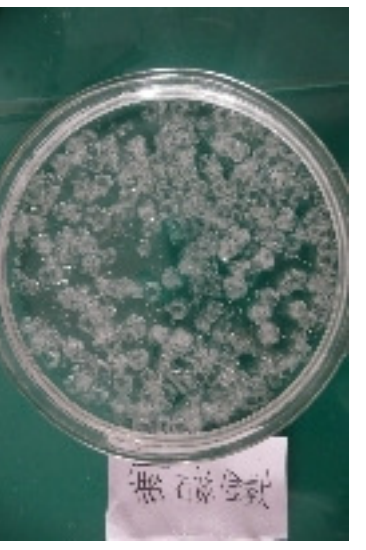
2.結晶顆粒的大小依序為：無震動 > 震動 3 小時 > 震動 2 小時 > 震動 1 小時。

推論：**震動似乎可以加速結晶，也可以產生較多的結晶量，但卻會使結晶顆粒十分細碎。**



實驗（十三）：探討磁場對結晶的影響。

結果：

磁場狀態	兩邊各一個	兩邊各二個	一邊一個
結晶情形			
磁場狀態	下面一個	下面二個	無磁場
結晶情形			

發現：無磁場的結晶顆粒比較大顆，而只要靠近強力磁鐵的結晶都比較細密。

推論：**磁場會影響結晶的生長，使結晶顆粒較小。**



研究三：嘗試製作一顆又大又亮的明礬結晶。

根據以上實驗，我們瞭解要使明礬結晶結得又大顆又漂亮，必須具備：(一) 溶液的濃度要適中、不能太稀也不宜太濃（太濃會產生很多晶核，使結晶顆粒小又多，太稀又無法析出結晶。根據研究二、實驗八得知**濃度 83.33%~71.83%結晶顆粒會比飽和溶液大**）、(二) 降溫的過程要很緩慢（以在恆溫槽慢慢降溫的效果最佳）、(三) 放在飽和溶液的中下方（不易碰到沈晶處）(四) 較大顆的晶種 (五) 保持靜置狀態 (六) 不加磁場與其他物質等

依據這樣的原理，我們想要找一顆明礬單晶來做一顆又大又亮的明礬鑽石，目前這個計畫因為時間的關係還在持續進行中，希望比賽當天可以做好一顆又大又亮的明礬結晶。

伍、結論：

- (一) 明礬結晶一開始的結晶速度比較快，半個小時後結晶速度就會放慢許多，到了一小時後，結晶幾乎都已經不再長大，只是邊緣變厚，我們推測此時是在增加厚度。
- (二) 受擠壓的明礬結晶不能長成原來單晶時去角正三角形（六邊形）的樣子，而會變得比較扁。
- (三) 明礬結晶之所以一開始成長速度比較快，應該是因為飽和溶液在降溫或蒸發的過程中，一下子就可析出許多溶質，因此結晶長得特別快。
- (四) 30°C時的明礬最高溶解度為 9g/60ml、50°C時的明礬最高溶解度為 16.9g/60ml、70°C時的明礬最高溶解度為 51.8g/60ml。
- (五) 水溫越高，溶解明礬的量越多。
- (六) 結晶降溫的過程越緩慢越好，快速降溫的過程，會產生很多晶核，因此產生非常多的晶體，且結晶非常細碎。
- (七) 結晶的過程是需要時間的，加熱烘乾的方式水分會快速流失，進而破壞晶體的成長，導致幾乎看不見完整晶形。
- (八) 緩慢降溫可以使晶體長得更大、更透明，而急速降溫晶體來不及成長，結晶就會變得細碎。
- (九) 不管原來的晶種多大，只要飽和溶液的量一樣，結晶的總重量也會差不多。
- (十) 不管原來晶種是什麼形狀，最後結晶會包覆全部，結晶情形沒有很大的影響。
- (九) 不管晶種位置在何處，所產生的結晶量都差不多，但以懸晶本身來說，放在溶液中下方，結晶顆粒會比較大。
- (十) 濃度越濃的飽和溶液所含的溶質量越多，越快析出晶體，且所結晶的量也越多。
- (十一) 結晶速度越快，則結晶的顆粒就越小；相反的，結晶速度越緩慢，則結晶顆粒越大。
- (十二) 明礬會和酸鹼起反應，造成結晶總量明顯減少。
- (十三) 不加任何物質的明礬結晶，可以完全析出明礬晶體，因此結晶量最多。
- (十四) 色素分子滲透到明礬結晶縫隙當中，造成彩色的外觀受到影響，但其實明礬所結成的晶體仍是透明的。
- (十五) 加入沙子與石頭的飽和溶液，其結晶量差異不大，但因為他們具有重量，加入飽和溶液中會沈在底部，結晶會將其包覆住。
- (十六) 震動似乎可以加速結晶，也可以產生較多的結晶量，但卻會使結晶顆粒十分細碎。
- (十七) 磁場會影響結晶的生長，使結晶顆粒較小。

(十八) 要使明礬結晶結得又大顆又漂亮，必須具備：(一) 溶液的濃度要適中、不能太稀也不宜太濃 (二) 降溫的過程要很緩慢 (三) 放在飽和溶液的中下方 (不易碰到沈晶處) (四) 較大顆的晶種 (五) 保持靜置狀態 (六) 不加磁場與其他物質等

陸、討論：

- (一) 製作明礬飽和溶液時，要先溶解、加熱、過濾、之後再加熱，才能避免有雜質產生。
- (二) 使用顯微鏡觀察明礬結晶時，要從低倍率開始找起。
- (三) 要怎麼算出結晶顆粒實際的大小？我們先以方格紙放大 100 倍做基準，每一個小方格的寬度是 1mm，拍攝下來的方格在電腦螢幕上顯示是 10cm，如此，我們測量明礬結晶最寬的一邊，並以 $10\text{cm} : 1\text{mm} = \square\text{cm} : ?\text{mm}$ 的比例，換算其大小。
- (四) 為什麼明礬單晶三個角的邊緣會呈現白色塊狀，中間有類似風扇似的黑色陰影？我們推測是表面張力的關係。
- (五) 製作明礬結晶的過程，要儘量減少誤差，我們每次都以保鮮膜覆蓋住杯口，避免外在因素的干擾。
- (六) 反覆進行實驗，可使結晶越來越大顆。
- (七) 明礬溶液是強酸，加了強鹼 NaOH 後卻很難達成中和，並且會有白色沈澱產生，這究竟是什麼原因？值得後續作探討。

柒、參考資料：

- (一) 點水成晶：中華民國第四十三屆科展作品。
- (二) 食鹽結晶的 X 檔案：中華民國第四十五屆科展作品。
- (三) 結晶：<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1004122402276>
- (四) 晶核：<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1005040800640>

捌、心得感想：

結晶的學問真的很大，透過一次又一次的實驗，我們終於找到一些方法，對結晶有更深入的瞭解與認識。結晶的過程是很需要耐心與恆心的，希望在這次研究之後，我們能繼續努力，做出一顆又大又亮的明礬鑽石！

玖、研究與展望：

我們本來也嘗試作電場對結晶的影響，但因為時間的關係，器材與方法都在尋找之中，就放棄了這個想法。另外，如果加入不同的溶液，結晶情形會如何？這些我們這次都來不及深入探討，希望以後有機會能再繼續鑽研結晶這神秘的世界。