

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 化學科

080216

水中「晶」靈-探討硫酸銅結晶大小的變因

學校名稱：桃園市桃園區桃園國民小學

作者： 小六 吳書昊 小六 黃上睿 小六 許芷睿 小六 何雨溱	指導老師： 徐慧雯 羅嘉慧
---	---------------------

關鍵詞：硫酸銅、晶體、晶核

摘要

上自然課時，曾觀察到鹽的結晶，也曾看過使用過飽和溶液長出結晶的影片，特別是硫酸銅晶體型態明顯且吸睛，激起我們研究的興趣。從硫酸銅的溶解度曲線知道溫度愈高，硫酸銅溶解度愈大，配置過飽和硫酸銅溶液後，藉由溫度的變化，可以得到硫酸銅結晶。首先配置濃度 33.3%硫酸銅水溶液，經過濾後倒入培養皿中，以取得型態良好的晶體，再將晶體取出作為晶核，綁上釣魚線，放入濃度 33.3%過濾硫酸銅水溶液中，盛裝容器改為燒杯並於上方加蓋或用保鮮膜封住，以防異物掉入產生雜晶。隔天若發現底部出現結晶，將此溶液加熱溶解，或再補充同濃度的硫酸銅水溶液，等待溶液降溫後再將晶核放入，七天內即可得到 5 公分長的硫酸銅晶體，以水晶膠包覆後達到保存效果。

壹、研究動機

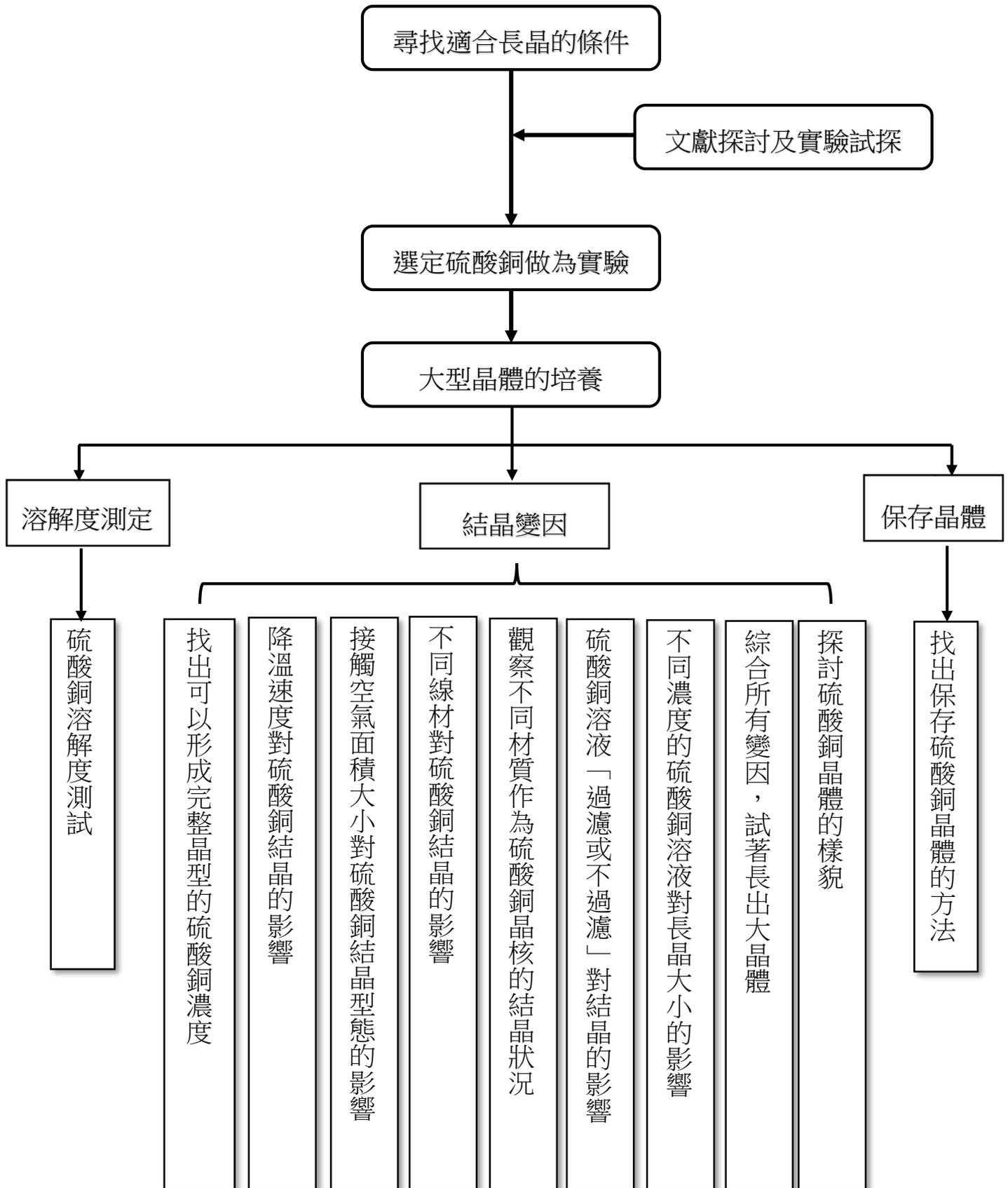
五年級在上自然課時，做過食鹽水的蒸發實驗，我們觀察到鹽的結晶，結晶中間有 X 的形狀，跟原本的食用鹽粒長得差異真大。後來老師又在課堂上放過飽和溶液長出結晶的影片，令人感到十分驚奇，再加上一些知識型的 Youtuber 做明礬的結晶，我們也想仿效跟著長晶。一開始我們測試很多不同的溶質(鉍明礬、硫酸銅、硝酸鉀、氯化鈉、硼酸)，實驗過程中發現有些溶質不適合長出大結晶，後來發現硫酸銅的結晶呈現藍色比較吸睛而且結晶明顯，因此選定五水硫酸銅($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)做為實驗對象。

雖然硫酸銅結晶的實驗在歷屆的科展中已經有很多探討，但是本實驗的目的在於短時間養出超過 5 公分大的硫酸銅晶體，藉由探討硫酸銅結晶的眾多變因，希望可以此本報告書變成硫酸銅的「養晶指南手冊」。

貳、研究目的

- 一、繪出硫酸銅的溶解度曲線
- 二、找出形成硫酸銅晶核的最有利條件
- 三、探討影響硫酸銅結晶的變因
- 四、探討短期內將硫酸銅晶體長成超過 5 公分的步驟及方法
- 五、探討將硫酸銅晶體保存的方法

參、研究架構



肆、科展歷屆相關作品探討

歷屆科展結晶相關作品之名稱、成果及本研究之差異處等，說明列於表 1。

表 1、歷屆科展相關研究主題分析與整理

屆次	作品名稱	相關研究成果	本研究
60	晶晶相擁—探究多樣態結晶及顯微縮時攝影在結晶之應用	<p>1.將溶液控制在準安定區，讓溶液不會長出新的晶核，但可使晶核長成大粒晶體的區間，盡量維持溫度的恆定，減少碎晶，也利用室溫下換水，讓晶體不要太快成長，利用過濾減少雜質，避免太多晶種產生碎晶，影響大型晶體的成長。</p> <p>2.不論是大、中、小型晶體，其晶角都符合晶面角守恆定律。</p> <p>3.晶面修正可由控制晶面生長速率進行</p>	<p>1.過飽和溶液、飽和溶液哪一種較符合我們需要的完整結晶（呈現平行四邊形又無碎晶）？濃度又為何？</p> <p>2.驗證晶面角守恆定律</p> <p>3.養晶過程可參考晶面修正的培養方法，使晶體呈現完整形狀。</p>
58	藍晶閃耀~探索單結晶、雙結晶、包心結晶形成的條件	<p>1.以過飽和溶液 39%所得的結晶重量最多、飽和溶液 33.5%次之，未飽和溶液 18%結晶量最少，結晶所需時間也較長。飽和液的結晶為硫酸銅標準的單一顆完整晶形平行四邊形。</p> <p>2.急速降溫可最快得到結晶、緩慢降溫可得較多結晶。濃度在短時間 2~3 天耗盡，要再有結晶有限。</p> <p>3.將結晶後的硫酸銅液體集中於容器內曬乾，挑除雜質，調配溶液並濾過雜質。再製品的體積明顯的都比新製品的體積小很多再製品的體積、密度、硬度、顏色都降低很多，故新藥品結晶後之液體不適合再拿來製品。</p> <p>4.廢液處理:回收的硫酸銅水溶液結合回收鋁罐再利用來處理重金屬廢液毒性。</p>	<p>1.繪製硫酸銅水溶液的溶解度曲線，找出飽和、過飽和的濃度。</p> <p>2.找出可結出單一完整晶型(平行四邊形)的最適濃度。</p> <p>3.再製結晶是否能快速長晶？</p> <p>4.回收的硫酸銅水溶液的處理方法？</p>
57	藍色夢幻—硫酸銅結晶的研究	<p>1.適合培養硫酸銅晶體的濃度 24 ~ 26°Brix (39.9~44.4g)。</p> <p>2.硫酸銅多次培養，晶體形狀維持不變，且晶面多為成對平行出現</p>	<p>1.要形成晶核的濃度為何？適合的養晶的濃度呢？</p> <p>2.硫酸銅結晶不管大小都會呈現平行四邊形嗎？</p>
56	晶晶計較-明礬結晶的奧秘	<p>1.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。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。</p> <p>2.析明礬晶體的晶面角守恆的現象，發現</p>	<p>1.找到適合的準安定區濃度來培養硫酸銅晶體是最合適的。</p> <p>2.硫酸銅晶體是否也會遵循晶面角守恆現象？</p>

		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° 。	
53	聲聲不息？探討各種變因對硫酸銅晶體的影響	<p>1.晶種形狀與結晶出來的晶體形狀相似，無太大變化，而硫酸銅的晶體形狀大部分為斜方形。</p> <p>2.放置晶核的位置，以試管中間區域即距離試管底部 4 公分，結晶量較佳。因為離子移動形成的沉澱較不規律，統計學上，以中間位置機率較大，恰為中間地帶，結晶量為最多。</p> <p>3.不同頻率，結晶量與晶形均有很大差異，頻率高，撞擊次數較多，產生的振動比較大，故結晶量少，晶形較為尖銳針狀，頻率低，撞擊次數少，產生的振動和緩，結晶量多、晶形較為整齊斜方，結晶量以 300Hz 的頻率最大，1200Hz 的結晶量最少，但沒有規律性。</p>	<p>1.培養晶核的最適合濃度為何？</p> <p>2.養晶時，晶核的放置位置以中間為佳。</p>
51	水滴中的「晶」靈	晶體的生長可分為晶體的晶核的生成與晶面上的堆疊成長。食鹽的過飽和度小，晶體有延緩析出的現象。但晶核一旦生成，晶面的成長就會降低過飽和度，而使其他晶核不易生成。過濾是在去除殘留的晶種，讓晶體的生長以晶核的生成為主。	<p>1.培養晶體的水溶液經由過濾可以去除殘留的晶種，讓晶體的生長以晶核為主。那晶核的生成，需要過濾嗎？</p> <p>2.其他物質可以當作品核來養晶嗎？</p>
43	晶體聯合國的高峰會議	<p>1.結晶會因材料不同而附著生長的方式也會不同，塑膠、玻璃、金屬線等光滑的物體，結晶不易附著生長；棉線、筷子等表面粗糙的材料結晶比較容易附著生長。</p> <p>2.溶液降溫的速度會影響結晶的形成。急速降溫時，結晶生成速度快，所得的晶體較小；慢慢降溫時，結晶速度較慢，但最後生成的結晶較大。</p> <p>3.在結晶過程中搖晃溶液，會使結晶互疊，生成的結晶會比較亂，所以要將容器擺放在固定的地方，避免晃動，長出的晶體較大且結晶較漂亮。</p>	<p>1.以手邊易於取得的線材來做實驗，線材的光滑、粗糙、材質、吸附力都會影響晶體結晶，所以養晶時希望線材不要長晶，盡量都集中長在晶核上。</p> <p>2.晃動會影響結晶過程，所以在養晶時應避免搖晃。</p>

伍、研究設備及器材

本實驗使用之設備、軟體及器材列於表 2。

表 2、實驗用設備、軟體與器材

觀察器材	手機、手機微距鏡
實驗器材	五水硫酸銅($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)、試管、培養皿、燒杯、不鏽鋼盆、攪拌棒、濾紙、漏斗、電磁爐、冰塊、保麗龍箱、溫度計、保鮮膜、游標尺
紀錄器材	手機、實驗記錄簿、電腦
測量器材	電子秤、尺、手機 app(Angle Meter 360)

傳統試管架為鐵架，若要觀察結晶實驗，鐵架會阻隔在試管中間，不利完整觀察、比較與拍照，又學校缺乏大試管架做實驗，因此我們利用校內既有的智高積木組了兩組試管架。

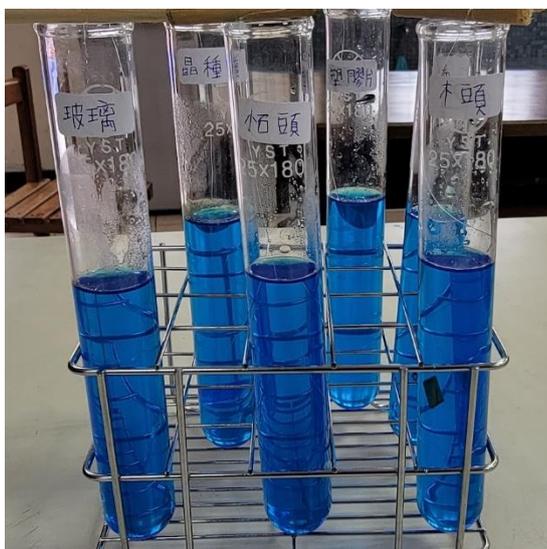


圖 1、傳統試管架

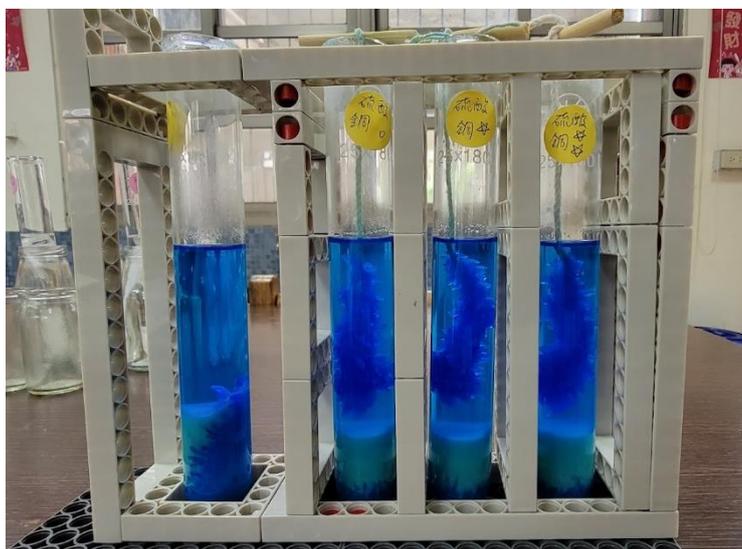


圖 2、智高積木組成的試管架

陸、研究過程、方法、研究結果及討論

研究一、硫酸銅溶解度測試

一、**動機**：從文獻中知道硫酸銅的溶解度會隨著溫度上升而提高，而結晶的產生是利用溫度降低，溶解度也跟著降低，無法溶解的硫酸銅便會析出長成晶體。因此我們先進行硫酸銅的溶解度實驗，並繪製溶解度曲線，才能找到室溫下合適的結晶濃度。

二、**實驗假設**：溫度會影響硫酸銅在水中的溶解度，在高溫時，溶解度較大；在低溫時，溶解度較小。

三、**實驗器材與實驗操作**：

(一)準備硫酸銅粉末及試管 5 隻。

- (二)分別稱取質量為 1 克、2 克、3 克、4 克及 5 克的硫酸銅各一份，並倒入試管中。
- (三)分別秤取 5 克的水五小杯，加入以上的五隻試管中。
- (四)取一不鏽鋼鍋，裝入適量的冷水，將步驟 2 試管放入燒杯中，隔水加熱，並以玻棒攪拌溶液。直至溶質全部溶解後，則停止加熱。
- (五)取出試管在室溫中冷卻，並將溫度計置於試管中，並以玻棒慢慢攪拌，直到有溶質開始析出，記下溫度，此為 5 克水溶解 1 克硫酸銅達到飽和溶液狀態的溫度。
- (六)將硫酸銅依序換成 2 克、3 克、4 克及 5 克，分別重複步驟 2-4，測量並記錄每次溶質析出時的溫度。
- (七)將各組數據換算成溶解度單位(硫酸銅克數/100 克水)，繪出溶解度與溫度的關係。

四、實驗結果：實驗結果由下列圖表敘述。

表 3、硫酸銅溶解度測試

硫酸銅(g)／水(g)	1/5	2/5	3/5	4/5	5/5
溶解度(溶質重/100g 水)	20/100	40/100	60/100	80/100	100/100
換算成重量百分濃度	16.6%	28.5%	37.5%	44.4%	50%
開始析出溶質時的溫度	15°C	31°C	43°C	57°C	70°C

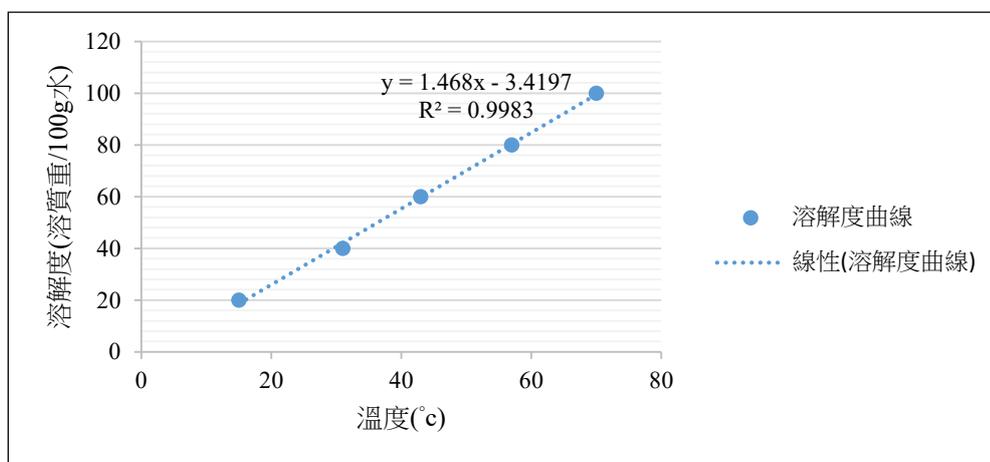


圖 3、硫酸銅溶解度曲線圖

五、討論：

- (一)配置五管不同濃度硫酸銅水溶液，在室溫下都無法全部溶解，經由隔水加熱後，發現隨著溫度的上升，溶解度也增加，最後硫酸銅都能溶解於水中。
- (二)完全溶解的硫酸銅水溶液，放置在室溫中降溫，隨著溫度降低，溶液中所能溶解的硫酸銅克數減少，在某一溫度開始發現有硫酸銅的結晶析出，濃度愈高的析出結晶的溫度點愈高，濃度愈低的析出結晶的溫度也愈低。
- (三)從繪製的硫酸銅溶解曲線發現：溫度與溶解度之間的關係，趨近於線性關係 $y = 1.468x - 3.4197$ ($R^2 = 0.9983$)。意即溫度愈高，硫酸銅溶解度愈大。

研究二、找出可以形成完整晶型的硫酸銅溶液濃度

一、**動機**：由「硫酸銅溶解度測試」的實驗可以了解硫酸銅溶解度與溫度的關係，但是實驗過程中產生的結晶多為在試管底部找到的形狀不規則的晶體(圖 4)。因此我們想了解在過飽和溶液的狀態下，那一種硫酸銅溶液的濃度可以形成結晶形狀完整的單一晶體(平行四邊形)。



圖 4、不規則的硫酸銅晶體

二、**實驗假設**：從濃度 28.5%、33.3%、40%、50%硫酸銅溶液中找出適合結晶出單一晶體的濃度。

表 4、硫酸銅溶液濃度配置表

硫酸銅溶液濃度(%)	28.5%	33.3%	40%	50%
硫酸銅：水(比值)	2:5	1:2	2:3	1:1
硫酸銅(g)/水(g)	16g/40g	15g/30g	20g/30g	20g/20g

三、**實驗器材與實驗操作**：

- (一)準備硫酸銅粉末及培養皿 4 個。
- (二)配置濃度分別為 28.6%、33.3%、40%、50%的硫酸銅溶液各 40g 倒入培養皿中。
- (三)在室溫下不加蓋，靜置一天後，觀察培養皿中的硫酸銅結晶情形。

四、**實驗結果**：實驗結果由下列圖表敘述。

表 5、不同硫酸銅溶液濃度對結晶型態的影響

實驗結果 圖示				
	濃度	28.5%	33.3%	40%
觀察結果	0.5cm 大小的單一晶體約 15 顆	0.5~1cm 大小的單一晶體約 25 顆	粉狀的結晶佈滿整個培養皿	碎晶佈滿整個培養皿，且在自然降溫過程中即產生結晶

五、討論：實驗結果可以明顯的看出，硫酸銅溶液濃度在 33.3%，靜置一天後可得結晶形狀良好的單一晶體，高於此濃度的結晶為粉狀或碎晶型態，不利後續取出作為晶核之用；低於 33.3%濃度則結晶小且數量少。

研究三、降溫速度對硫酸銅結晶的影響

一、動機：經由文獻資料可以知道飽和溶液在溫度下降速度慢的情況下可以形成一顆較大的晶體，如果溫度急遽下降，則會形成粉狀的小晶體。我們想要知道降溫速度對硫酸銅結晶的影響，因此實驗設計緩慢降溫、自然降溫及快速降溫以觀察硫酸銅溶液的結晶型態。

二、實驗假設：緩慢降溫、自然降溫及快速降溫對結晶型態的影響

三、實驗器材與實驗操作：配置濃度 42.85%硫酸銅溶液 210g，並均分到三個燒杯內。

(一)緩慢降溫：將燒杯放置到保麗龍盒裡面盛裝熱水的鋼盆內，並記錄燒杯內硫酸銅溶液的溫度變化。

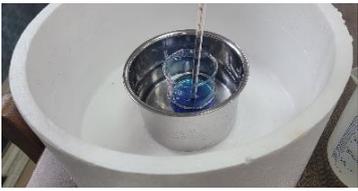
(二)自然降溫：放置在一般環境中，並記錄燒杯內硫酸銅溶液的溫度變化。

(三)快速降溫：將燒杯放入保麗龍盒裡面盛裝水的鋼盆內，鋼盆外則放滿冰塊，並記錄燒杯內硫酸銅溶液的溫度變化。

(四)每 5 分鐘記錄一次溫度變化，持續記錄 30 分鐘。

(五)將全部實驗器材放入教室櫃子內，靜置一天，觀察燒杯內結晶情形。

表 6、降溫速度對結晶的影響

實驗圖示			
操作變因	緩慢降溫(鋼盆內水溫 55°C)	自然降溫(環境溫度 18°C)	快速降溫(鋼盆內水溫 16°C)
0min	49.5°C	49°C	48°C
5min	43°C	38.5°C	16°C(出現結晶)
10min	41°C	34.5°C	12.5°C
15min	40°C	30.5°C	10°C
20min	38°C	27.5°C(出現結晶)	9°C
25min	36°C	26°C	8°C
30min	35°C	25°C	7°C

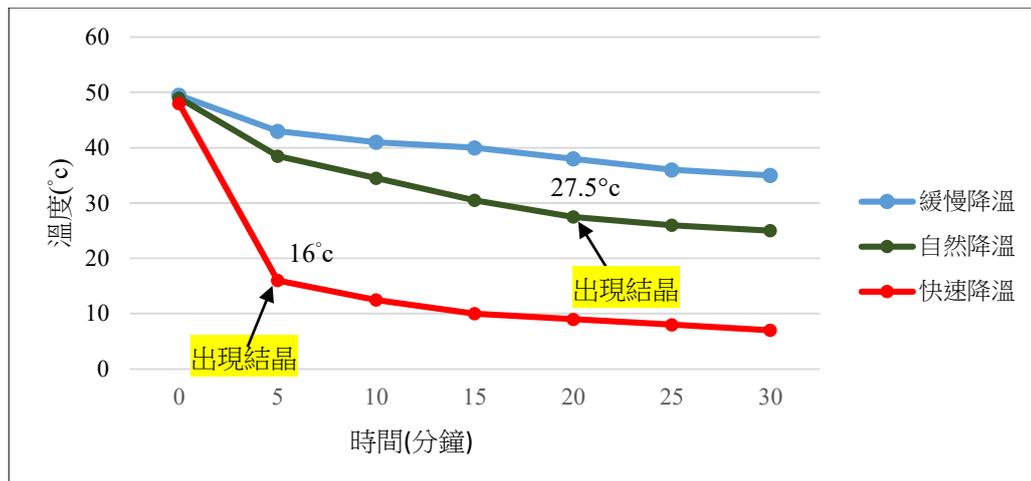


圖 5、緩慢、自然及快速降溫的溫度變化

四、實驗結果：

(一)在記錄溫度的同時觀察燒杯內硫酸銅的結晶情況可以發現，緩慢降溫在 30 分鐘內並無結晶產生；自然降溫在 26°C 時觀察到有結晶產生；快速降溫在 5 分鐘後溫度降至 16°C 時產生結晶現象。

(二)靜置一天後，燒杯內結晶情形如圖 6。緩慢降溫的結晶量最少，快速降溫則結晶量最多，且杯壁因為直接接觸到冰水，因此晶體沿著杯壁生長的情形非常明顯。

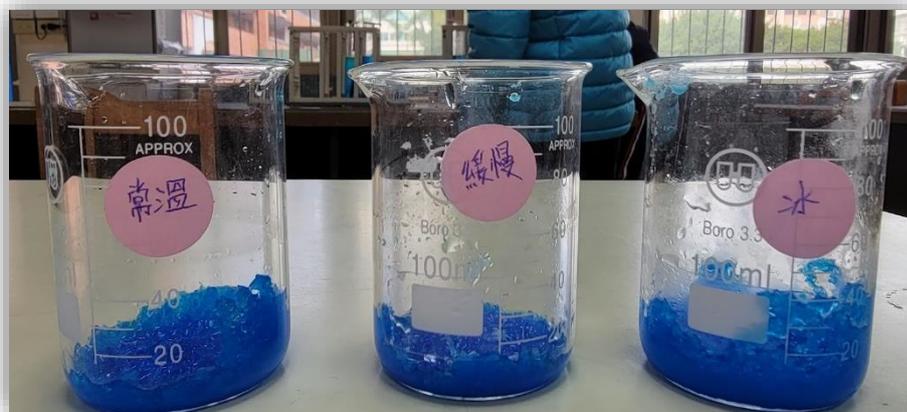


圖 6、常溫、緩慢和快速降溫結果圖示

五、討論：三個燒杯內因為硫酸銅配置的濃度較高，因此在燒杯底部形成的結晶皆為碎晶。

降溫速度影響結晶的數量，急速降溫雖然短時間內就可以析出結晶，且有沿著杯壁結晶的狀況，但因為降溫太快所以多為小顆的晶體；緩慢降溫則結晶量最少但晶體較其他兩種大。

研究四、接觸空氣面積大小對硫酸銅結晶型態的影響

一、**動機**：硫酸銅水溶液接觸空氣面積大小是否會影響結晶型態及其大小，我們設計用保鮮膜封在培養皿上，觀察其結晶變化。

二、**實驗假設**：裝有硫酸銅溶液的培養皿用保鮮膜全部封住、封一半及完全不封對結晶型態是否有影響？

三、**實驗器材與實驗操作**：

(一)配置濃度 33.3%硫酸銅溶液，準備三個大小一樣的培養皿並在每個培養皿中倒入 50g 的硫酸銅溶液。

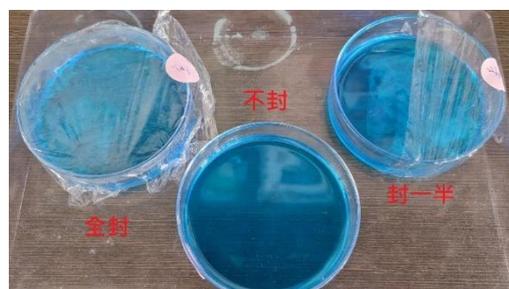


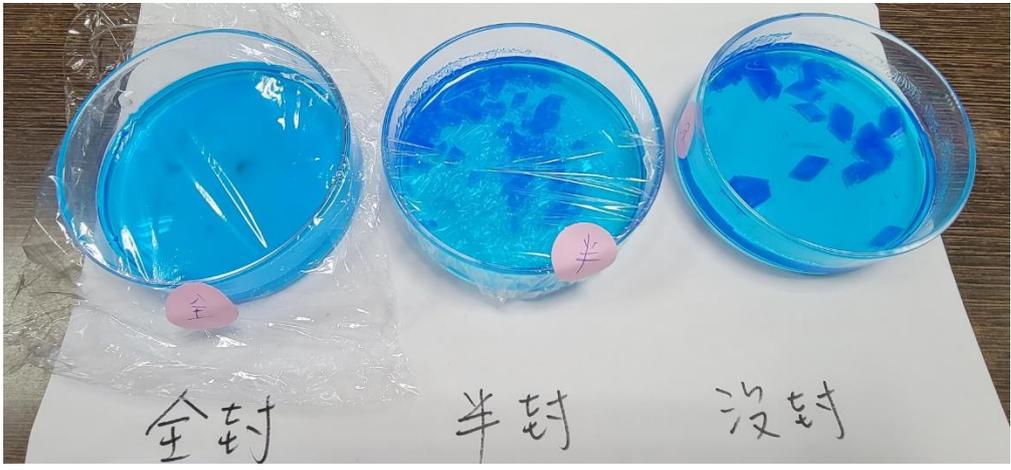
圖 7、實驗圖示

(二)一個培養皿用保鮮膜全部封起來、一個培養皿用保鮮膜封約一半、另一個培養皿則完全不封保鮮膜。

(三)靜置 1 日後，觀察三個培養皿中的硫酸銅結晶變化。

四、**實驗結果**：實驗結果由下列圖表敘述。

表 7、接觸空氣面積大小對硫酸銅結晶型態影響之實驗結果

<p>實驗結果圖示</p> 			
<p>實驗操作變因</p>	<p>保鮮膜全部封住</p>	<p>保鮮膜封約一半</p>	<p>完全不封保鮮膜</p>
<p>結晶型態觀察</p>	<p>完全沒有結晶</p>	<p>小顆結晶(0.5cm)和碎晶密集出現在未封到的那一半</p>	<p>出現 12 顆型態良好的結晶(1.0cm)</p>

五、**討論**：由此實驗得知完全不封保鮮膜的培養皿中所形成的結晶是最完整且大的，此表示硫酸銅水溶液接觸空氣面積大，水分蒸發速度較快，溶液濃度因此增加，所以可以得到型態良好的結晶。

研究五、不同線材對硫酸銅結晶的影響

一、**動機**：為了之後想要長出大結晶，需要使用線材綁住晶核以便結晶長大，因此我們對線材會否影響結晶型態產生好奇，討論後決定使用手邊容易取得的六種線材：毛根、漆包線、塑膠繩、釣魚線、毛線、棉線作為本實驗對象。

二、**實驗假設**：觀察不同線材對硫酸銅結晶的影響。

三、**實驗器材與實驗操作**：

(一)準備試管 6 支、硫酸銅溶液、15cm 長的毛根、漆包線、塑膠繩、釣魚線、毛線及棉線各一條。

(二)配置濃度 33.3%硫酸銅溶液，每支試管倒入 50g 重的硫酸銅溶液。

(三)將不同材質的線材放入硫酸銅溶液中，不加蓋(試管口徑小)，靜置兩天後觀察線上的結晶狀況。

四、**實驗結果**：實驗結果整理成下列圖表。

表 8、六種線材在硫酸銅溶液中的結晶情形

線材	毛根	漆包線	塑膠繩	釣魚線	毛線	棉線
線徑	0.20cm	0.05cm	0.50cm	0.01cm	0.30cm	0.20cm
實驗結果圖示						
說明	無結晶	線上無結晶，試管底部有結晶	線上及試管底部皆有結晶	線上和試管底部皆有結晶	線上和試管底部皆有結晶	線上和試管底部皆有結晶

表 9、六種線材結晶型態和結晶重量

取出線材 觀察結晶 型態						
線材	毛根	漆包線	塑膠繩	釣魚線	毛線	棉線
結晶情形	毛根斷了，且無結晶，水面呈藍綠色	線上無結晶	結晶大且形狀完整	碎晶且分三段聚晶	碎晶聚集多且密	碎晶聚集但較毛線的結晶小顆
結晶後重量(含線材)	0g	0g	6.0g	4.5g	8.5g	5.5g

五、討論：

- (一)實驗結果可知毛根無法作為硫酸銅結晶的線材，因為毛根中央為鐵的材質會與硫酸銅溶液進行氧化還原反應($\text{Fe} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu} + \text{FeSO}_4$)，導致其完全無法結晶並腐蝕斷裂。漆包線為絕緣漆包覆銅線，因此表面光滑無法結晶。
- (二)塑膠繩為本實驗中產生結晶型態最完整的材質，塑膠繩與釣魚線材質類似，但因為塑膠繩的線徑較寬(0.5cm)面積較大，且塑膠繩表面粗糙、有皺褶，因此可以在上面產出較大且形狀完整的結晶。反觀釣魚線，僅有三段聚集的碎晶。
- (三)毛線(4股)與棉線(3股)因為該材質為好幾股的線搓成一條毛線或棉線，因此線上的縫隙很多，加上毛線表面存在大量細小的纖維，因此形成比棉線多且大的晶體。從結晶重量觀察，也是六種材質中結晶最多的線材。但毛線的結晶型態為碎晶且滿滿聚集在一條線上，比塑膠繩的結晶型態差。

研究六、觀察漆包線刮不刮絕緣漆是否會影響其結晶

一、**動機**：前揭實驗我們發現毛根因為為材質為鐵與硫酸銅水溶液進行氧化還原反應斷掉且無結晶外，漆包線上則毫無結晶產生。我們在六年級「電與磁」單元習得漆包線為銅線外表覆蓋絕緣漆，銅線可以導電，但外層的漆不導電，所以連接電池或電線時，應先將漆包線上的漆磨除才能通電。所以我們好奇如果將漆包線的絕緣漆刮除，是否會在上面產生結晶。

二、**實驗目的**：觀察刮除絕緣漆的漆包線放入硫酸銅溶液中是否會產生結晶。

三、**實驗器材與實驗操作**：

(一)準備 2 支試管、硫酸銅溶液、15cm 漆包線 1 條、15cm 刮除絕緣漆的漆包線 1 條。

(二)配置濃度 33.3%硫酸銅溶液，每支試管倒入 50g 重的硫酸銅溶液。

(三)將刮漆與不刮漆的漆包線分別放入硫酸銅溶液中，靜置一天後觀察漆包線上的結晶狀況。

四、**實驗結果**：實驗結果可由圖 8 明顯看出，漆包線無論刮不刮除絕緣漆，漆包線上都無法產生結晶。

五、**討論**：前揭實驗討論沒刮絕緣漆的漆包線上無結晶形成是因為其表面光滑致無結晶產生。此實驗刮除絕緣漆的漆包線材質為銅，推測 1.銅離子無法附著於銅線上 2.銅線較易吸引硫酸根 (SO_4^{2-}) 靠近，因而降低硫酸根與銅離子結合。



圖 8、有刮與沒刮絕緣漆的實驗結果

研究七、觀察不同材質作為硫酸銅晶核的結晶狀況

一、**動機**：我們知道硫酸銅形成的晶體可以當作晶核，是否其他材質也可以作為硫酸銅的晶核再次結晶呢？找出生活中易取得的材質，放入硫酸銅溶液中，觀察它的結晶變化。

二、**實驗假設**：假設使用非硫酸銅晶體的材質當作晶核，也能在該材質上形成硫酸銅結晶。

三、實驗器材與實驗操作：

- (一)準備試管 6 支、硫酸銅溶液、大小相近(底邊 0.8cm)之硫酸銅晶體、玻璃、木片、石頭、塑膠片與菜瓜布各 1 個。

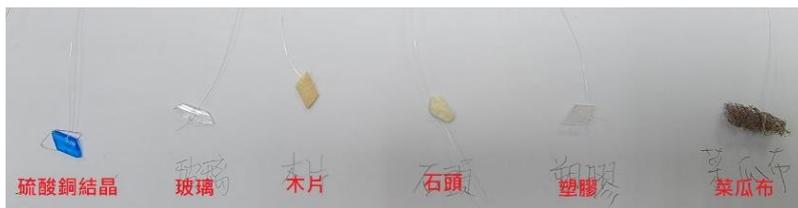


圖 9、作為晶核的材質種類

- (二)配置濃度 33.3%硫酸銅溶液，每支試管倒入 50g 重的硫酸銅溶液。
 (三)用釣魚線綁六種不同材質的晶核，長度約 15cm。
 (四)將不同材質晶核放入試管中，並在試管架外面加蓋，隔兩天後觀察其結晶狀況。

四、實驗觀察及結果：實驗結果整理成下列圖表。

表 10、不同材質作為長晶之晶核實驗結果

實驗結果圖示						
晶核材質	硫酸銅晶體	玻璃	木片	石頭	塑膠片	菜瓜布
結晶情形	結晶變大	玻璃上無結晶	木片上無結晶	有結晶	有結晶	有結晶
結晶位置	包覆原有的晶核且變大，且結晶形狀完整	無	無	雜晶包覆石頭	在塑膠片邊緣結晶	在菜瓜布上方結晶，且結晶形狀完整
晶體重量(含材質重)	3.9g	無	無	2.2g	1.7g	2.9g

五、討論：

- (一)實驗結果可知以玻璃和木片當晶核，無法在上述兩種材質結晶。
 (二)石頭上的結晶為雜晶，並非完整的晶型。塑膠片及菜瓜布可以觀察到為在其邊角或上方形成結晶，形狀雖完整，但未將塑膠片及菜瓜布包覆。
 (三)使用培養的硫酸銅晶體當晶核，其結晶形狀為最完美且重量由 1.0g 增加到 3.9g，長邊則從 0.8cm 增加至 1.5cm。

研究八、硫酸銅溶液「過濾或不過濾」對結晶型態的影響

一、**動機**：一開始在做溶解度實驗時，我們發現底部很多白色的沉澱物，經了解原來硫酸銅純度有分別，詢問化工行老闆得知一開始可能使用工業用的硫酸銅，才會雜質比較多。因此我們好奇，硫酸銅粉末中純度不一、摻有雜質，那有過濾跟沒有過濾的硫酸銅溶液是否會影響結晶成果？再加上我們沒有做過過濾的硫酸銅溶液不封保鮮膜，一併於此次實驗了解其中差異。

二、**實驗假設**：假設過濾的硫酸銅溶液加上封上保鮮膜可以形成型態良好的晶體做為晶核使用。

三、**實驗操作**：

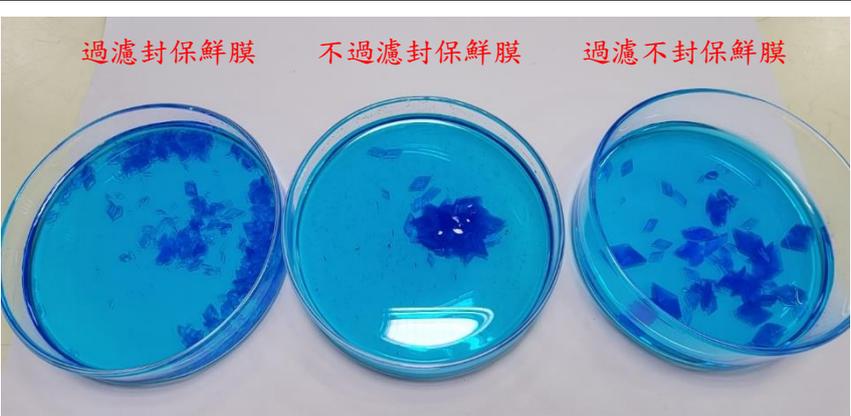
(一) 配置濃度 33.3% 硫酸銅水溶液總重 150g。

(二) 先將 50g 倒入培養皿中(不過濾並蓋上保鮮膜)，剩餘的硫酸銅水溶液則經過濾紙過濾後倒入至另兩個培養皿中(一個蓋上保鮮膜，另一個不蓋保鮮膜)。

(三) 三個培養皿靜置至隔日觀察其結晶狀況。

四、**實驗結果**：實驗結果整理成下列圖表。

表 11、過濾和不過濾硫酸銅溶液對結晶型態的影響

實驗結果圖示			
	過濾封保鮮膜	不過濾封保鮮膜	過濾不封保鮮膜
實驗變因	過濾封保鮮膜	不過濾封保鮮膜	過濾不封保鮮膜
結晶情形	小碎晶分散在培養皿中	在培養皿中間聚集成一大塊晶體	結晶形狀完整且獨立一顆一顆的晶體

五、**討論**：由本實驗可以得出過濾且不封膜(不加蓋)可以形成結晶形狀完整、大顆且獨立的結晶型態，適合作為後面想長出大晶體的晶核使用。過濾封保鮮膜雖然有結晶但型態為小碎晶，比較不利作為之後想要長出大晶體的條件。

研究九、不同濃度的硫酸銅溶液對長晶大小的影響

一、**動機**：我們藉由「找出可以形成完整晶型的硫酸銅濃度」實驗找出濃度 33.3% 為長出型態完整的最佳硫酸銅溶液結晶濃度，於是想要知道將晶體做為晶核再放入不同濃度的硫酸銅溶液後，晶核是否會因硫酸銅溶液濃度的提高或降低，而產生什麼樣的變化。

二、**實驗目的**：找出適合晶核長大的最適硫酸銅溶液濃度。

三、**實驗操作**：

(一) 從濃度 33.3% 硫酸銅溶液中找出三顆大小相近的晶體作為實驗用晶核。

(二) 分別配置濃度 28.5%、33.3% 和 37.5% 硫酸銅溶液各 70g 重，上述三種濃度水溶液用濾紙過濾後，將綁好釣魚線的晶核放入燒杯中。

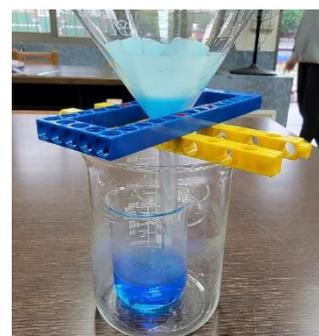


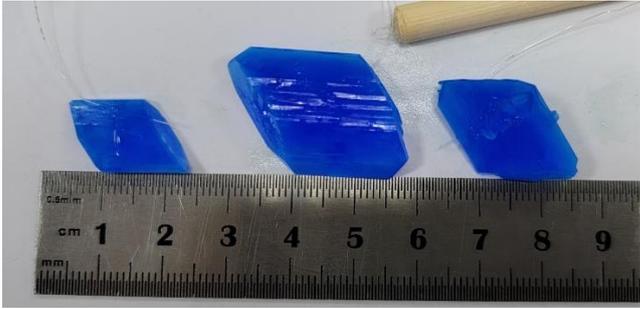
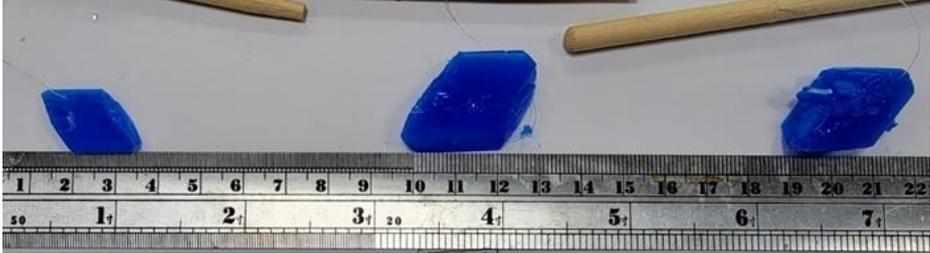
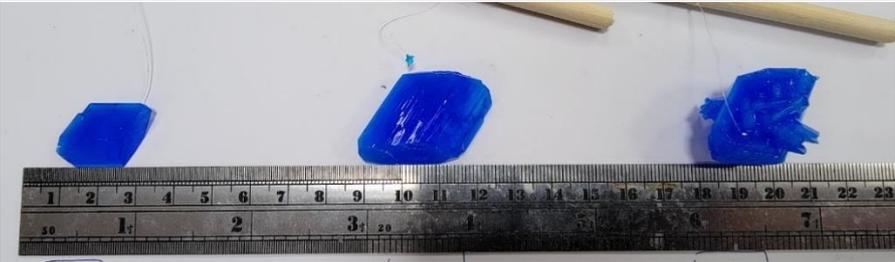
圖 10、自製過濾架以固定漏斗

(三) 將三個燒杯用透明塑膠箱倒扣蓋住，以防止異物掉入，靜置一天後觀察三種濃度硫酸銅溶液下的結晶大小變化。

四、**實驗結果**：實驗結果整理成下列圖表。

表 12、不同濃度的硫酸銅溶液對長晶大小的影響

硫酸銅溶液濃度		28.5%	33.3%	37.5%
第 0 天	圖示			
	長度	1.0cm	1.0cm	1.0cm
	厚度	0.2cm	0.2cm	0.2cm
	重量	0.4g	0.5g	0.3g

第 1 天	圖示			
	長度	1.3cm	2.0cm	1.5cm
	厚度	0.3cm	0.4cm	0.3cm
	重量	0.9g	3.8g	3.1g
第 2 天	圖示			
	長度	1.3cm	2.2cm	1.5cm
	厚度	0.5cm	0.7cm	0.7cm
	重量	1.8g	6.2g	5.9g
第 3 天	圖示			
	長度	1.7cm	2.5cm	2.4cm
	厚度	0.5cm	0.7cm	1.0cm
	重量	2.4g	7.6g	10.4g

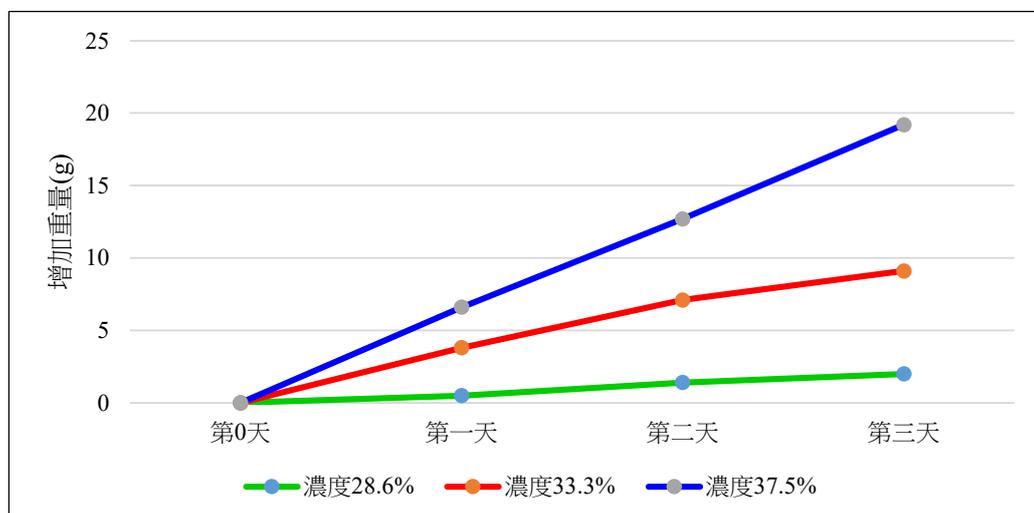


圖 11、不同硫酸銅濃度結晶重量增加量

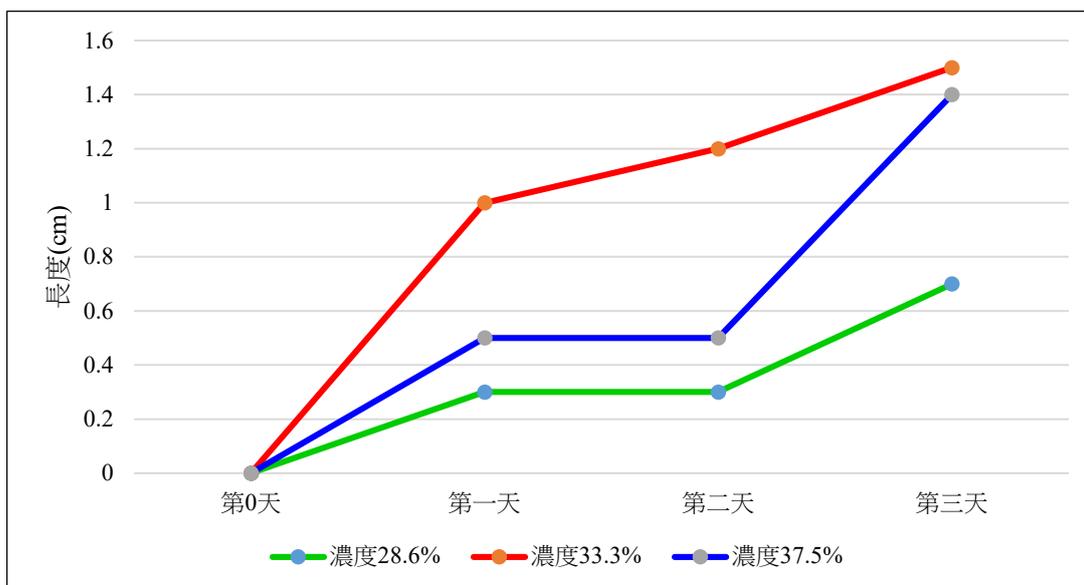


圖 12、不同硫酸銅濃度結晶長度增加量

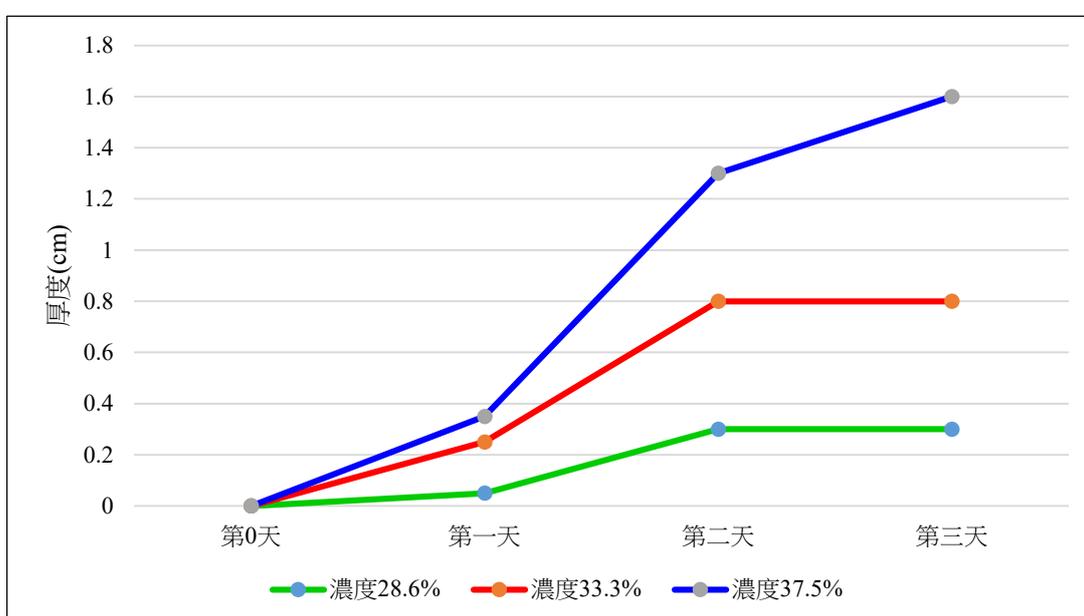


圖 13、不同硫酸銅濃度結晶厚度增加量

五、討論：

由實驗結果可以明顯看出，若使用濃度 33.3% 硫酸銅溶液形成的晶體作為晶核，後續想讓晶核快速長大且得出型態良好的晶體，則需使用原晶核結晶時所配置的硫酸銅溶液濃度。高於原本晶核結晶的濃度雖然成長較迅速，但是易有雜晶附著在晶體表面；低於原本晶體結晶的濃度則結晶成長緩慢。

研究十、按照前述所有硫酸銅結晶實驗的變因，試著長出大晶體

一、**動機**：經過一連串的實驗之後，我們想知道綜合前述實驗結果能否在七日內養出長邊超過 5cm 以上的硫酸銅大晶體。

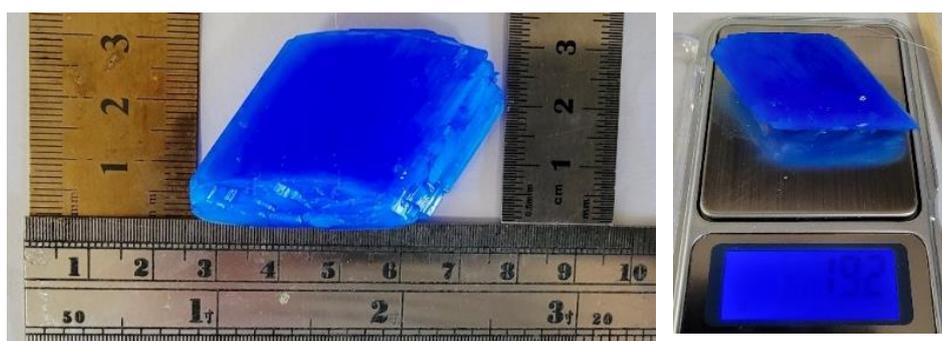
二、**實驗操作**：我們使用前次「不同濃度的硫酸銅溶液對長晶大小的影響」中濃度 33.3% 溶液及晶體，再加入 60g 同樣濃度且過濾的硫酸銅溶液。

三、**實驗觀察與結果**：實驗用晶核大小為長邊 2.5cm、重量 7.6g，厚度 0.7cm

(一)靜置 1 日後：長邊 5cm，重量 19.3g，厚度 1cm



(二)靜置 3 日後：長邊 5cm，重量 19.2g，厚度 1.16cm



(三)靜置 4 日後：長邊 4.6cm，重量 18.2g，厚度 1.15cm，我們發現晶體重量不增反減，重量不增反減，推測與當日室溫較高因而提高溶解度有關。採取水浴法將燒杯底部的碎晶溶解，待杯中溫度下降，再放入晶體。

(四)靜置 5 日後：長邊 5.5cm，重量 25.9g，厚度 1.26cm。



四、討論：若想在七日內養出長邊超過 5cm 的硫酸銅大晶體，可按照下列步驟操作：

(一)配置濃度 33.3%硫酸銅水溶液 50g 重，經過濾後倒入培養皿中，以取得型態良好的晶體。(所需時間：1 天)

(二)將晶體取出作為晶核並放入濃度同為 33.3%硫酸銅水溶液中(需過濾)，盛裝容器改為燒杯並於上方加蓋或用保鮮膜封住，以防異物掉入產生雜晶。(所需時間：1~3 天)

(三)秤重後若發現晶體重量不再增加，可採取將原有燒杯中的硫酸銅溶液用水浴法加熱溶解底部產生的晶體，或是再次配置 33.3%濃度的硫酸銅水溶液倒入燒杯中，並可以淹蓋過晶體。

(四)持續不斷重複第三步驟，即可取得超過 5 公分大的硫酸銅晶體。



圖 14、七日內長出長度超過 5cm 硫酸銅晶體的流程圖

研究十一、罐裝硫酸銅粉末與回收硫酸銅晶體之結晶速度比較

一、**動機**：實驗中產生很多硫酸銅晶體及硫酸銅液體，我們好奇如果把收集的晶體再溶解，並配置成 33.3%濃度的硫酸銅溶液。比較回收再利用的晶體與罐裝粉末配置的硫酸銅溶液誰的長晶速度會比較快？

二、實驗操作：

(一)收集 70g 硫酸銅晶體，將其溶解在 140g 的水中；從瓶罐中取出 70g 的硫酸銅粉末，將其溶解在 140g 水中，兩杯硫酸銅溶液濃度皆為 33.3%。



圖 15、收集實驗後產生的硫酸銅晶體

(二)將兩杯硫酸銅溶液進行過濾。

(三)用漆包線將兩顆晶體綁住並分別放入燒杯中。

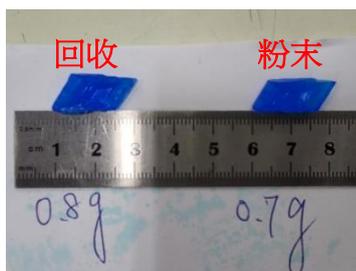
(四)用透明塑膠箱將兩個燒杯蓋住，以防止異物掉入。

(五)每天進行實驗記錄，並將燒杯底部產生的晶體用水浴法溶解，靜置冷卻後再將兩顆晶體放入。

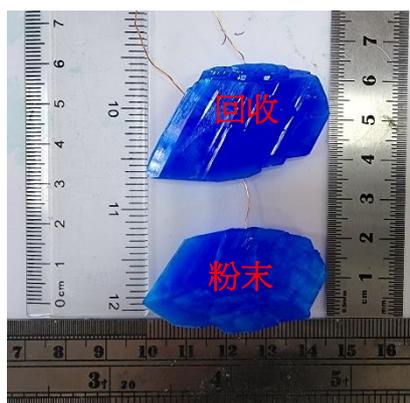
三、**實驗觀察與結果**：實驗結果整理成下列圖表。

表 13、罐裝硫酸銅粉末與回收硫酸銅晶體的長晶速度

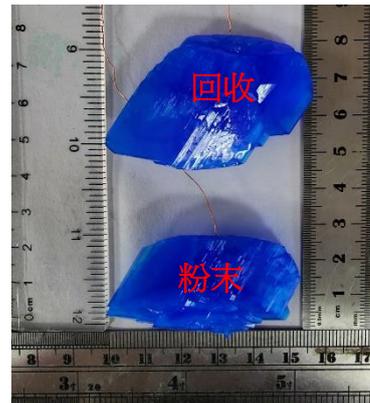
	罐裝硫酸銅粉末		回收的硫酸銅晶體	
	重量(g)	長度(cm)	重量(g)	長度(cm)
第 0 天	0.7g	2.0 cm	0.8g	2.0 cm
第 1 天	1.9g	2.5cm	2.2g	2.7cm
第 2 天	7.6g	3.6 cm	9.5g	3.8cm
第 3 天	10.3g	4.4 cm	14.6g	4.5cm
第 4 天	12.0g	4.6 cm	16.5g	4.7cm
第 5 天	15.3g	4.9 cm	20.8g	5.2cm
第 6 天	17.8g	5.2 cm	22.3g	5.4cm



第 0 天



第 3 天



第 6 天

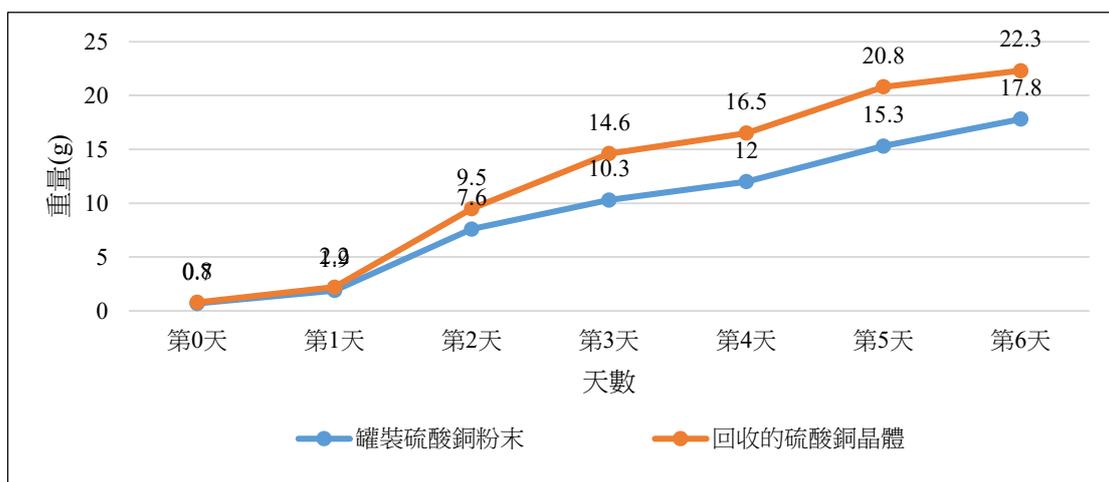


圖 16、罐裝硫酸銅粉末與回收硫酸銅晶體長晶重量趨勢圖

四、討論：

罐裝硫酸銅粉末與回收硫酸銅晶體長晶實驗經六天後，兩者的晶體在長度增加方面最後皆超過 5cm 大小，但在重量增加方面，很明顯的回收再結晶的晶體重量增加較罐裝粉末多。推測結晶後之硫酸銅純度較粉末硫酸銅高，因此重量增加較快。

研究十一、探討硫酸銅晶體的樣貌

一、**動機**：在實驗過程中，從硫酸銅小晶體到大晶體，它的樣貌從小晶體的平行四邊形到大晶體的六面體，差異很大。經查資料我們知道結晶有「面角守恆定律」，也就是晶體生長過程中，無論型態如何改變，同種晶體間，對應晶面夾角是恆定的(固定不變)。於是我們很好奇是否實驗出來的大、小晶體也遵守此定律呢？隨著科技及軟體的進步，我們可以用手機拍照搭配 app 來測定晶體角度，增加角度量測的準確性。

二、實驗操作：

(一)大小晶體各找 4 顆，並測量其同一斜面的各個夾角。小晶體利用手機微距鏡拍攝其斜面放大觀察。

(二)使用手機軟體 Angle Meter 載入照片並在上面拉線量測硫酸銅晶體的各個角度。

三、**實驗觀察與結果**：實驗結果整理成下列圖表。

表 14、使用 Angle Meter 量測晶體的角度並繪出

晶體重量	用 Angle Meter 量測每顆晶體的同一直面	電繪示意圖(GeoGebra)
<1g		

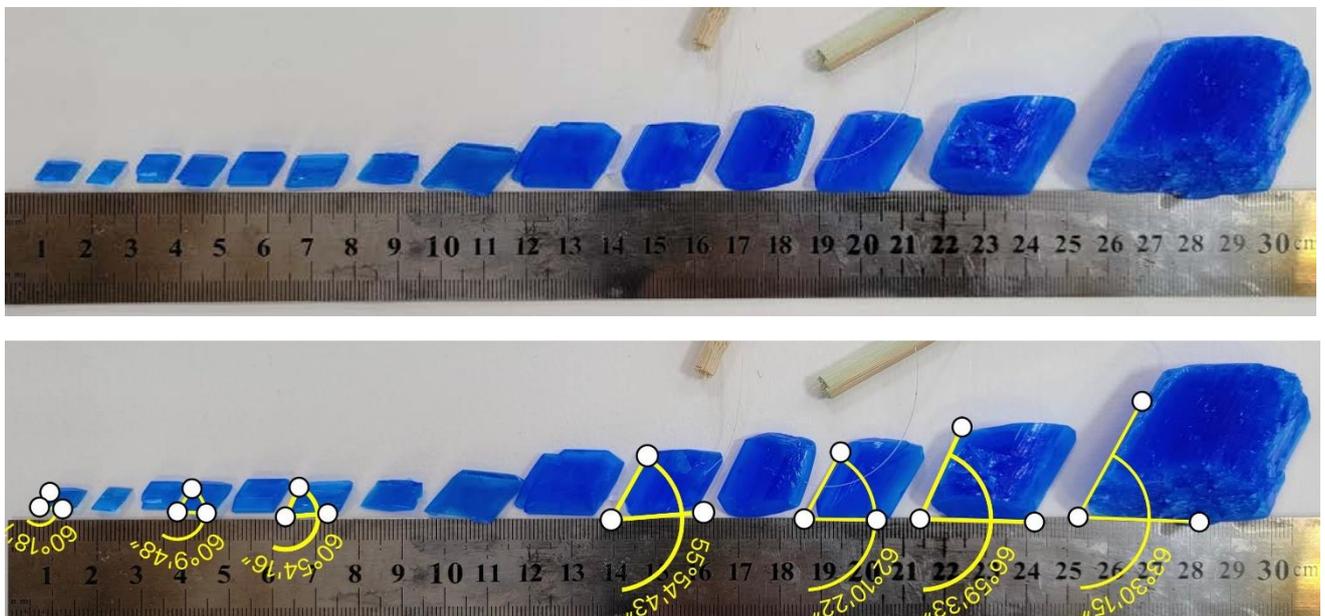
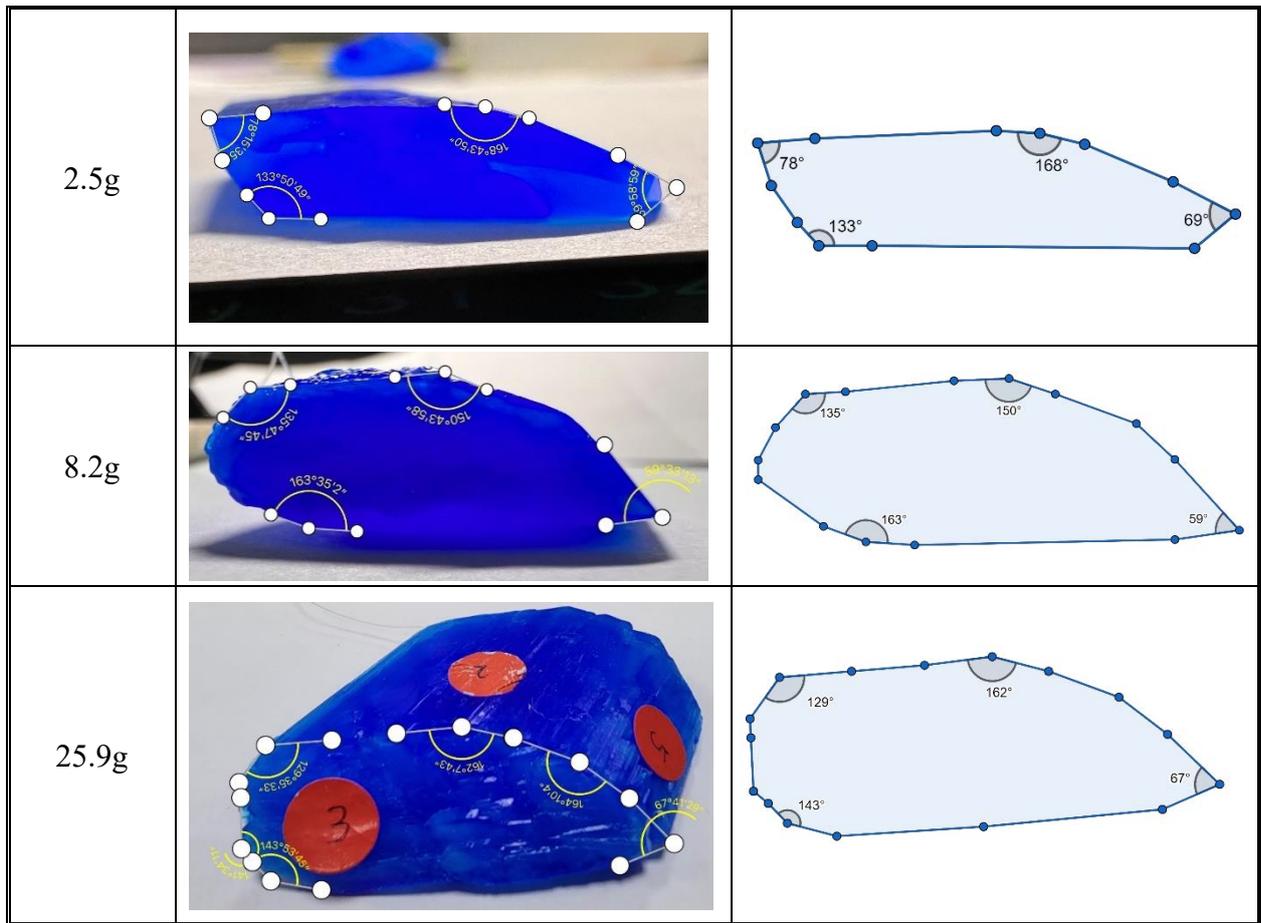


圖 17、測量大小不同的晶體的特定角度

四、討論：

從小晶體到大晶體的斜面及由上往下拍的大小晶體可以看出，硫酸銅析出之晶體均呈現幾何相似，且晶體的夾角角度誤差約在 ± 10 度的範圍內，晶面角度大約相似，可推論硫酸銅結晶不論大小皆遵守面角守恆定律。

研究十二、找出保存硫酸銅晶體的方法

一、**動機**：取得藍色夢幻的硫酸銅結晶之後，因為晶體容易受到風化脫水或受潮解，所以我們想要知道保存它的方式，因此想到美術課常使用亮光漆、透明噴漆來保護畫作，防水噴霧在生活中用來防潑水用、彩繪指甲的透明指甲油以及手作用的水晶膠，這些材質都具有一定的防水效果且是透明無色，是不是可以用作保存硫酸銅結晶之用，或者是可以把硫酸銅結晶當作藝術創作。

二、**實驗假設**：假設亮光漆、指甲油、透明噴漆、防水噴霧、保麗龍膠及水晶膠(環氧樹脂及固化劑)塗抹在硫酸銅結晶上可以防水。

三、**實驗操作**：

(一)挑選 6 顆結晶形狀良好的硫酸銅晶體。

(二)在結晶上分別均勻塗抹亮光漆、指甲油；在走廊通風處使用透明噴漆、防水噴霧在晶體上均勻噴灑；按比例調和水晶膠 A、B 劑後，將結晶放入矽膠膜中，再倒入調和後的水晶膠。



圖 18、將晶體塗上透明指甲油

(三)將 6 顆硫酸銅結晶放入 60ml 自來水的燒杯中，靜置 1 天後觀察其變化。

四、**實驗觀察與結果**：實驗結果整理成下列圖表。

表 15、不同材質保存硫酸銅晶體的效果

	亮光漆	透明指甲油	透明噴漆	防水噴霧	保麗龍膠	水晶膠
實驗結果圖示						
實驗結果說明	硫酸銅晶體溶解於水中，可以於燒杯中找晶體形狀的膜狀物	硫酸銅晶體溶解於水中，可以於燒杯中找結晶形狀的薄膜	硫酸銅晶體完全溶解於水中	硫酸銅晶體完全溶解於水中	硫酸銅晶體完全溶解於水中，但在杯底看到一塊有晶體形狀的膠狀物	水晶膠可在杯底看到完整的硫酸銅晶體



圖 19、硫酸銅晶體的水晶膠創作

五、討論：

本實驗前後共操作兩次，第一次操作時，塗抹亮光漆、透明指甲油和透明噴漆的硫酸銅晶體隔天皆溶解在水中，致燒杯中的水呈現淡藍色。因與假設不符，討論後決定多上幾層塗料，第二次實驗操作後仍得到相同結果，確定亮光漆、透明指甲油和透明噴漆無法防水，後又再嘗試保麗龍膠及防水噴霧，最後僅有水晶膠可以達到較好的防水保存效果。水晶膠又可以因灌注的矽膠膜不同而創作出不同的硫酸銅晶體藝術品，讓科學與藝術結合，也讓科學實驗變得更有趣。

研究十三、實驗後硫酸銅水溶液的處理方式

一、**動機：**實驗過程中產生很多硫酸銅水溶液，因為銅為重金屬，不可任意倒入下水道，會汙染環境，於是我們想知道除了將硫酸銅水溶液放入回收桶後交由環保單位處理外，是否有其他方式可以處理實驗後的硫酸銅水溶液。

二、處理方式：

1. 自然蒸發，將形成之硫酸銅結晶蒐集再利用。實驗完畢後，我們將硫酸銅水溶液集中倒入大的塑膠箱中，隔三個星期後可發現箱子內部有攀晶現象，且隨著水分的蒸發，硫酸銅溶液濃度提高，底部開始出現結晶現象，我們將結晶收集起來回收再利用。



圖 20、實驗後硫酸銅溶液倒入透明塑膠箱中

2. 在進行線材對結晶實驗的影響時，我們發現硫酸銅跟毛根會起氧化還原反應，經查資料，發現若少量硫酸銅廢液要處理時，可利用鋼絲絨(Fe)將活性大的銅離子置換成亞鐵離子。於是我們使用 50ml 的硫酸銅溶液放入鋼絲絨做實驗，可觀察到鋼絲絨馬上變成紅銅色(鋼絲絨將銅離子還原成紅銅)，並有氣泡不斷冒出，燒杯內壁有凝結的小水珠，且摸燒杯外壁時感覺到溫溫的，用溫度計量測為 54°C，取出鋼絲絨後可以發現原本湛藍色的硫酸銅溶液變淡綠色了。但水溶液中還是含亞鐵離子(硫酸亞鐵)，不宜隨意倒入下水道中。



圖 21、鋼絲絨放入硫酸銅溶液後的變化

3. 我們好奇廚房中隨手可得的鋁箔紙是否也會跟鋼絲絨一樣跟硫酸銅水溶液起反應，因此將鋁箔紙(Al)剪成一片片的丟入硫酸銅水溶液中。一開始反應不像鋼絲絨的快速，但過 10 分鐘後，可以觀察到與鋼絲絨一樣，杯中有氣泡不斷冒出，且有煙霧往上飄，將溫度計放入溶液中，測得水溶液溫度達 93°C。將鋁箔紙從硫酸銅水溶液取出後，可發現比放入鋼絲絨後的水溶液清澈(肉眼觀察為透明)。因為鋁的活性大於銅，所以會進行置換反應將銅析出，成為硫酸鋁(無色)。硫酸銅溶液原為藍色，當銅離子減少，藍色將變淡；而銅金屬(紅色)則將被析出。

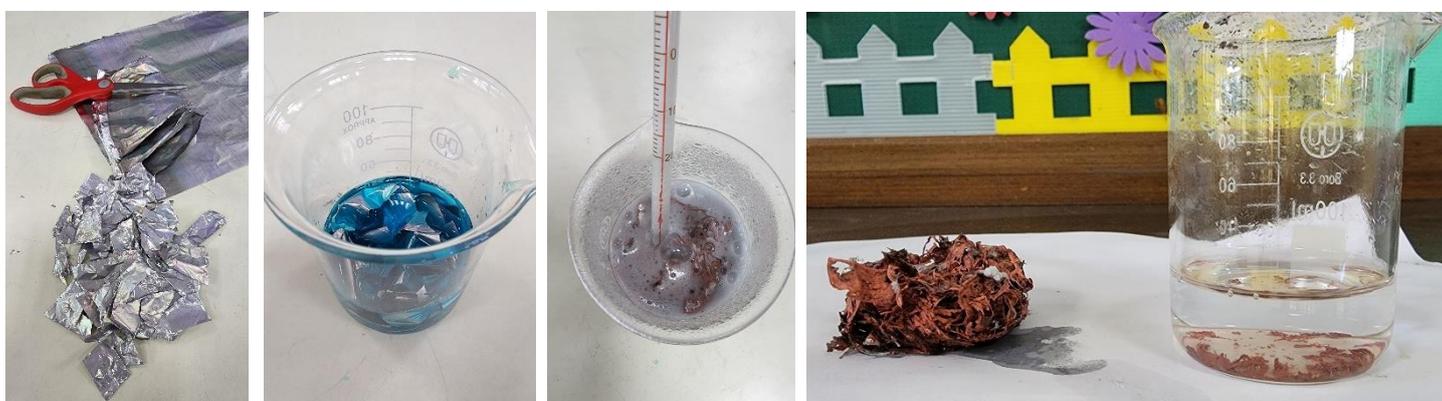


圖 22、鋁箔放入硫酸銅溶液後的變化

4. 我們還查到硫酸銅與石灰水可以製成農業用的殺菌劑，稱為「波多爾液」，傳統波多爾液配置比例為 1g 的硫酸銅加上 2g 的生石灰加入 200g 的水，用於果樹殺菌用。因為學校開心農場並無栽種果樹，且此溶液得於 10 小時內使用完畢，所以用此方式處理硫酸銅液體在都市型學校較不切實際。

三、**討論**：經實驗及資料查詢後，我們仍採用自然蒸發方式，將硫酸銅結晶收集再利用，待整個實驗完成後，剩餘之硫酸銅水溶液將交由環保單位處理。

柒、結論

- 一、實驗得出硫酸銅溶液濃度在 33.3%時(硫酸銅：水=1：2)，靜置一天後可得結晶形狀良好的單一品體作為晶核之用。高於此濃度的結晶為粉狀或碎晶型態，低於此濃度則結晶形狀小且數量少。
- 二、硫酸銅溶液急速降溫雖然短時間內就可以析出結晶，且有沿著杯壁結晶的狀況，但因為降溫太快所以多為小顆粒的晶體；緩慢降溫則結晶量最少但晶體較其他兩種大。
- 三、若想要一開始培養作為晶核的晶體，硫酸銅溶液在完全不封保鮮膜的培養皿中可以形成結晶型態良好且為長度為 0.5~1.0cm 的晶體。
- 四、綁晶核的線材，經實驗研究，以釣魚線或漆包線或是縫紉線皆不會有碎晶產生。但若未綁晶核的狀態下，毛線因為纖維較多的關係，聚晶情形較棉線更佳，但塑膠繩因為表面粗糙且面積大，因此產生的結晶型態較良好，可得到完整晶體。
- 五、以硫酸銅晶體、玻璃、木片、石頭、塑膠片、菜瓜布作為晶核使用，玻璃與木片皆無法結晶，石頭因為有小縫隙關係，因此產生碎晶包覆在上面，塑膠片與菜瓜布雖有完整晶型產生，但結晶並未將塑膠片與菜瓜布包覆起來，僅在邊角或在材質上方結晶。實驗後，以硫酸銅晶體作為晶核，是為最佳材質。
- 六、過濾硫酸銅溶液且不封保鮮膜(或不加蓋)可以形成結晶形狀完整、大顆且獨立的結晶型態，適合作為後面想長出大結晶的晶核使用。過濾硫酸銅溶液並封保鮮膜雖然有結晶產生但為小碎晶，不利作為晶核使用。
- 七、由實驗結果可以明顯看出，若使用濃度 33.3%硫酸銅溶液形成的晶體作為晶核，後續想讓晶核快速長大且得出型態良好的結晶，則需使用原晶核結晶時所配置的硫酸銅溶液濃

度。高於原本晶核結晶的濃度雖然成長較迅速，但是易有雜晶附著在晶體表面；低於原本晶體結晶的濃度則結晶成長緩慢。

八、若想在短期內養出底邊超過 5cm 的硫酸銅大結晶，可按照下列步驟操作：(1)配置濃度 33.3%硫酸銅水溶液 50g 重，經過濾後倒入培養皿中，以取得型態良好的晶體。(2)將晶體取出作為晶核並放入濃度同為 33.3%硫酸銅水溶液中(需過濾)，盛裝容器改為燒杯並於上方加蓋或用保鮮膜封住，以防灰塵掉入產生雜晶。(3)秤重後若發現晶體重量不再增加，可採取將原有燒杯中的硫酸銅溶液用水浴法加熱溶解底部產生的晶體，或是再次配置 33.3%濃度的硫酸銅水溶液倒入燒杯中，並可以淹蓋過晶體。(4)重複第 3 步驟即可取得超過 5cm 大的硫酸銅晶體。

九、從小晶體到大晶體的斜面及由上往下拍的大小晶體可以看出，硫酸銅析出之晶體均呈現幾何相似，且晶體的夾角角度誤差約在 ± 10 度的範圍內，晶面角度大約相似，可推論硫酸銅結晶不論大小皆遵守面角守恆定律。

十、亮光漆、指甲油、透明噴漆、防水噴霧、保麗龍膠皆無法讓硫酸銅晶體防水、防潮解，實驗中僅有水晶膠可以完整封住硫酸銅晶體並可做藝術創作，讓科學實驗更有趣。

捌、參考資料

1. 高中一年級化學課本(化學全)第3章。出版社：南一書局企業股份有限公司。
2. 蔡宇軒等(2003)。晶體聯合國的高峰會議。中華民國第43屆中小學科學展覽會。
3. 葉宗儒等(2011)。水滴中的「晶」靈。中華民國第51屆中小學科學展覽會。
4. 鄭謹譯等(2013)。聲聲不息？探討各種變因對硫酸銅晶體的影響。中華民國第53屆中小學科學展覽會。
5. 范升維等(2016)。晶晶計較—明礬結晶的奧秘。中華民國第56屆中小學科學展覽會。
6. 吳思穎等(2017)。藍色夢幻—硫酸銅結晶的研究。中華民國第57屆中小學科學展覽會。
7. 陳郁心等(2018)。藍晶閃耀 ~探索單結晶、雙結晶、包心結晶形成的條件。中華民國第58屆中小學科學展覽會。
8. 魏呈亦等(2020)。晶晶相擁—探究多樣態結晶及顯微縮時攝影在結晶之應用。中華民國第60屆中小學科學展覽會。

【評語】 080216

探討硫酸銅晶體，主題好像以前就探討過。但研究短時間養出超過5公分大的硫酸銅晶體，這主題就有趣了。此外並希望將報告書編成變成硫酸銅「養晶指南手冊」，真有大志，值得嘉許。養晶的作品相當多，單比養晶部分沒有很大的特色。但是在後續的應用上，將所得之硫酸銅晶體封在水晶膠的成品相當引人注目，而且是少數考慮到實驗廢液回收問題的作品，在這個地方上，相當值得鼓勵。本工作實驗詳細討論各種變因對硫酸銅結晶的影響，詳細找出資料並整合實驗數據，以找出快速得到硫酸銅結晶，且實驗得到保存硫酸銅結晶的方法，可以長久保存。但硫酸銅的溶解度曲線及影響硫酸銅結晶的因素，以前就有研究過。為何沒能短時間得到大晶體？希望能說明短時間得到大顆晶體的合理說辭，並能眼見為憑。

作品簡報

水中「晶」靈

—探討硫酸銅結晶大小的變因

國小組化學科



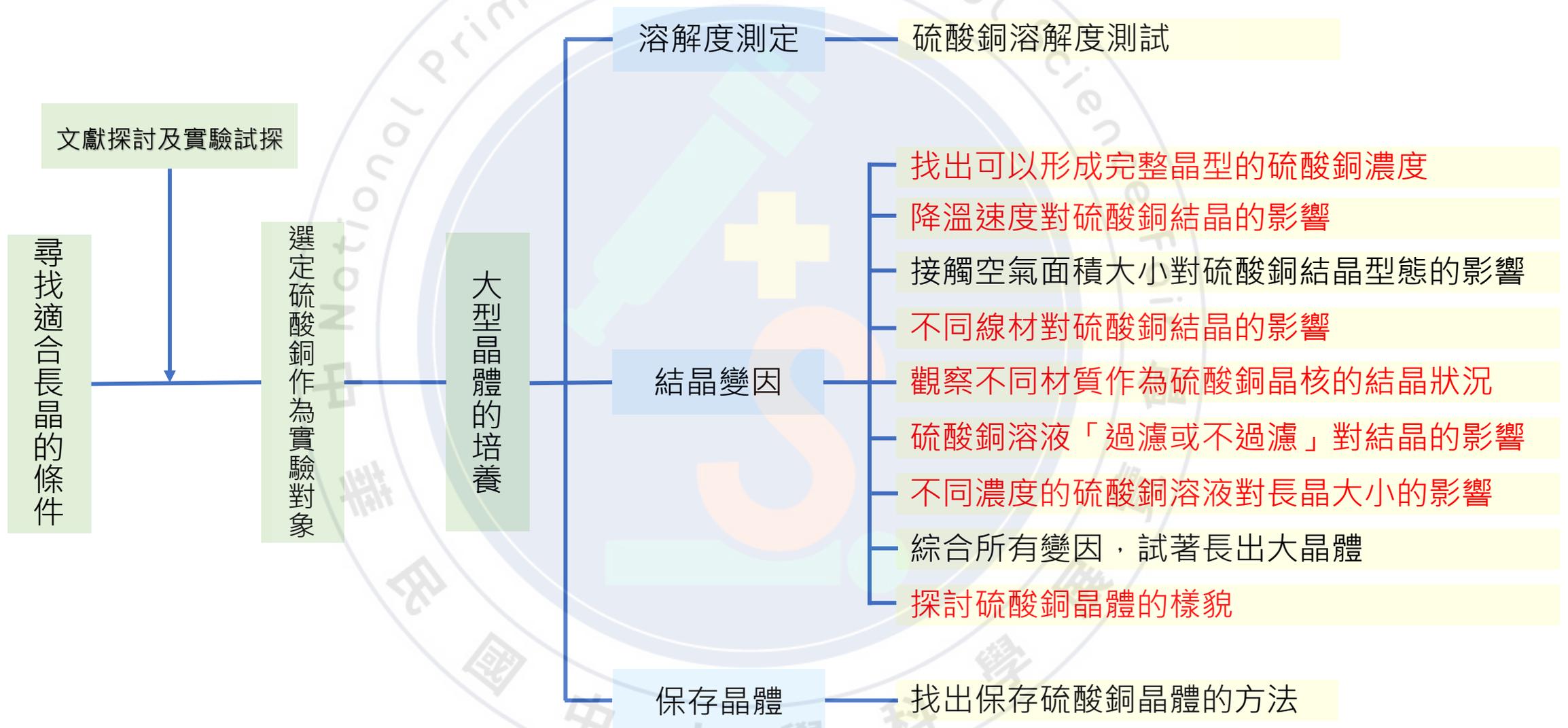
研究動機

- 溶解實驗、岩石礦物單元加上網路搜尋資料，讓我們想動手試著自己長晶。
- 測試很多不同的溶質，但實驗過程中發現有些溶質不適合長出大晶體。
- 選定硫酸銅為實驗對象的原因：顏色吸睛、結晶明顯
- 希望本實驗可以成為「養晶指南手冊」(結晶大且型態良好)

研究目的

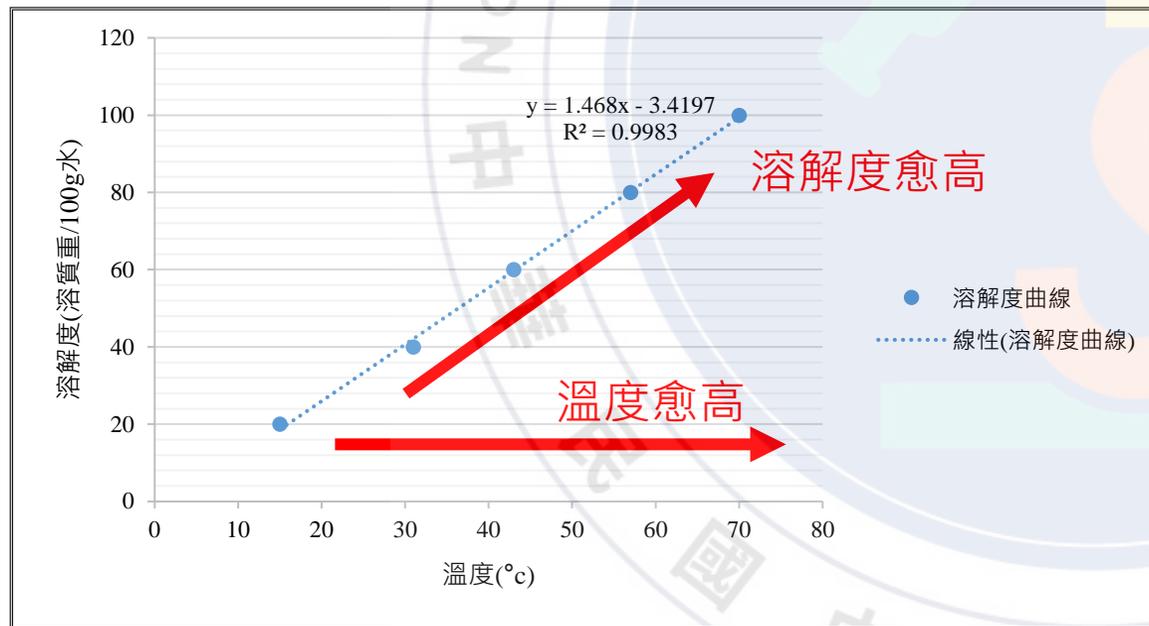
- 繪出硫酸銅的溶解度曲線
- 找出形成硫酸銅晶核的最有利條件
- 探討影響硫酸銅結晶的變因
- 探討短期內將硫酸銅晶體長成超過5公分的步驟及方法
- 探討硫酸銅晶體的樣貌

研究架構



硫酸銅溶解度測試

硫酸銅(g) / 水(g)	1/5	2/5	3/5	4/5	5/5
溶解度(溶質重/100g 水)	20/100	40/100	60/100	80/100	100/100
換算成重量百分濃度	16.6%	28.5%	37.5%	44.4%	50%
開始析出溶質時的溫度	15°C	31°C	43°C	57°C	70°C



硫酸銅溶解度曲線圖

- 溫度上升，溶解度增加
- 濃度愈高的析出結晶的溫度點愈高，濃度愈低的析出結晶的溫度也愈低
- 從繪製的硫酸銅溶解曲線發現：溫度愈高，硫酸銅溶解度愈大。

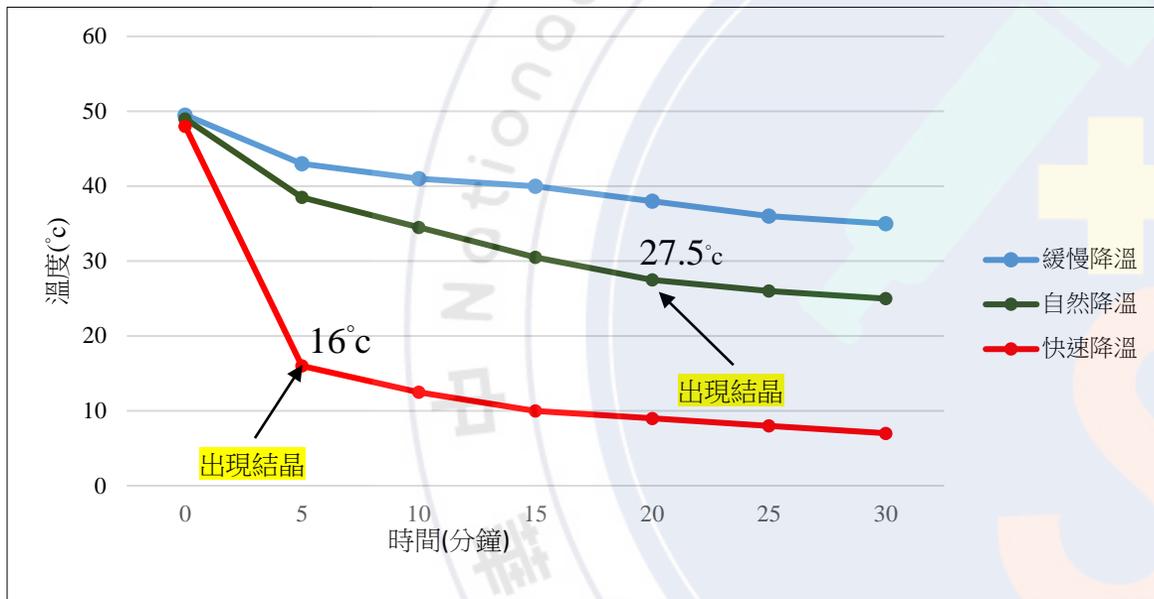
找出可以形成完整晶型的硫酸銅溶液濃度

硫酸銅溶液濃度(%)	28.5%	33.3%	40%	50%
硫酸銅：水(比值)	2:5	1:2	2:3	1:1
硫酸銅(g)/水(g)	16g/40g	15g/30g	20g/30g	20g/20g

實驗結果 圖示				
	濃度	28.5%	33.3%	40%
觀察結果	0.5cm 大小的 單一晶體	0.5~1cm 大小 的單一晶體	粉狀的結晶	碎晶

硫酸銅溶液濃度在 **33.3%**，靜置一天後可得結晶形狀良好的單一晶體。

降溫速度對硫酸銅結晶的影響



緩慢、自然及快速降溫的溫度變化

快速降溫：結晶顆粒小且多
慢速降溫：結晶顆粒大且少

不同線材對硫酸銅結晶的影響

取出線材 觀察結晶 型態						
	線材	毛根	漆包線	塑膠繩	釣魚線	毛線
結晶後重量 (含線材)	0g	0g	6.0g	4.5g	8.5g	5.5g



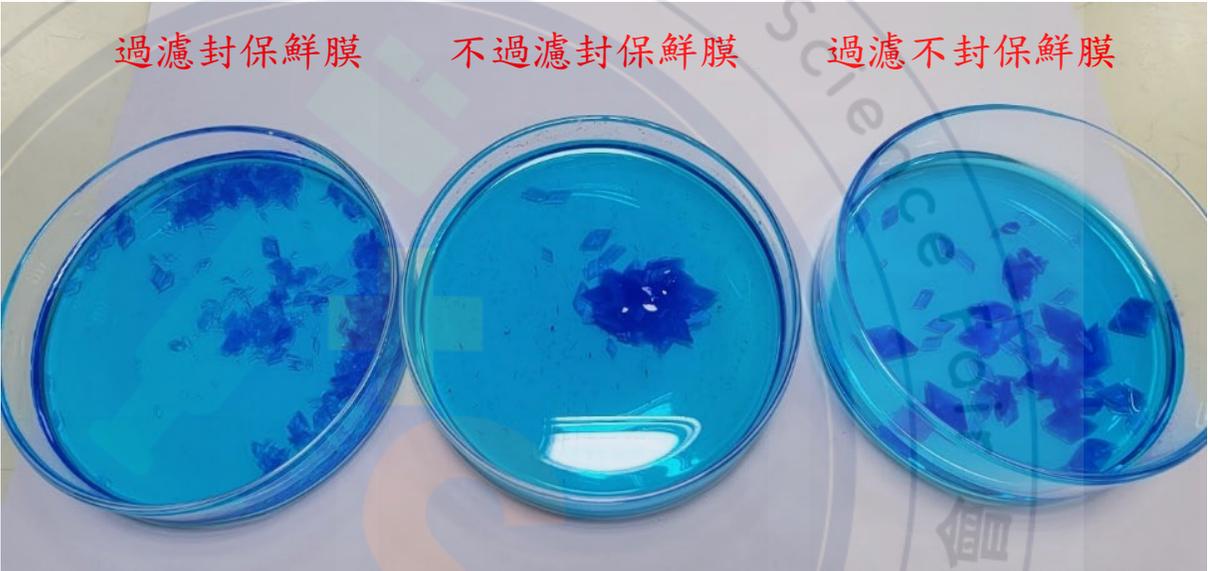
➤線材：毛根、漆包線、漆包線(刮除絕緣漆)無法結晶

不同晶核材質對硫酸銅結晶的影響

<p>實驗結果 圖示</p>						
<p>晶核材質</p>	<p>硫酸銅晶體</p>	<p>玻璃</p>	<p>木片</p>	<p>石頭</p>	<p>塑膠片</p>	<p>菜瓜布</p>
<p>結晶情形</p>	<p>結晶變大</p>	<p>玻璃上 無結晶</p>	<p>木片上 無結晶</p>	<p>有結晶</p>	<p>有結晶</p>	<p>有結晶</p>
<p>晶體重量 (含材質重)</p>	<p>3.9g</p>	<p>無</p>	<p>無</p>	<p>2.2g</p>	<p>1.7g</p>	<p>2.9g</p>

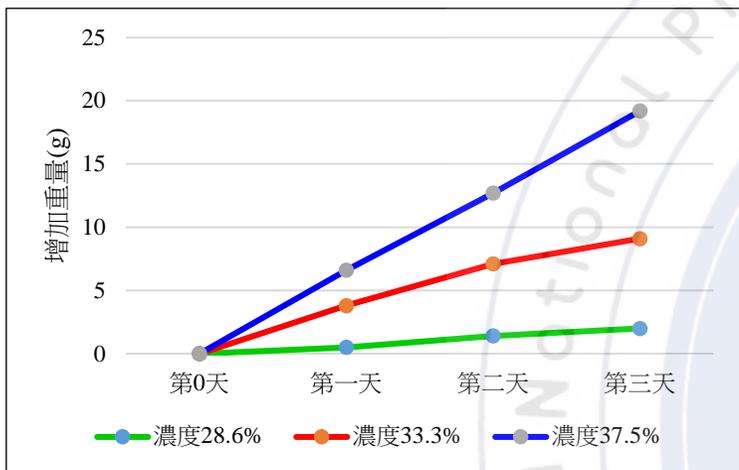
➤晶核材質：玻璃、木片無法長晶

硫酸銅溶液「過濾或不過濾」對結晶型態的影響

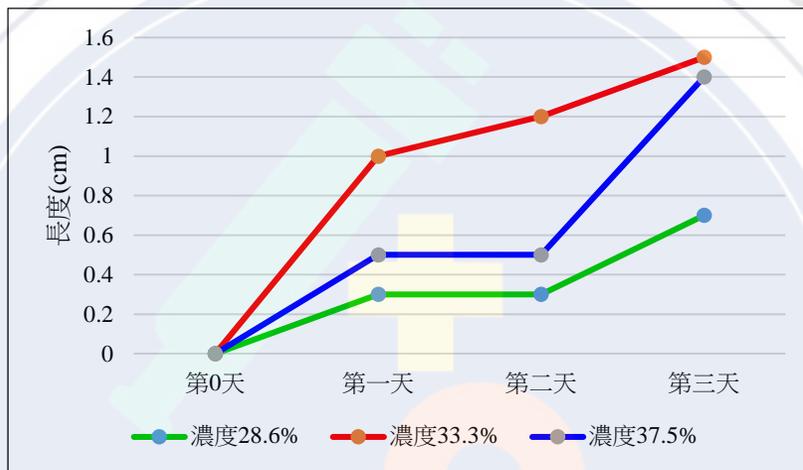
<p>實驗結果圖示</p>	 <p>過濾封保鮮膜 不過濾封保鮮膜 過濾不封保鮮膜</p>		
<p>實驗變因</p>	<p>過濾封保鮮膜</p>	<p>不過濾封保鮮膜</p>	<p>過濾不封保鮮膜</p>
<p>結晶情形</p>	<p>小碎晶分散在培養皿中</p>	<p>在培養皿中間聚集成一大塊晶體</p>	<p>結晶形狀完整且獨立一顆一顆的晶體</p>

➤ 過濾且不封膜(不加蓋)可以形成結晶形狀完整、大顆且獨立的結晶型態，適合作為晶核使用。

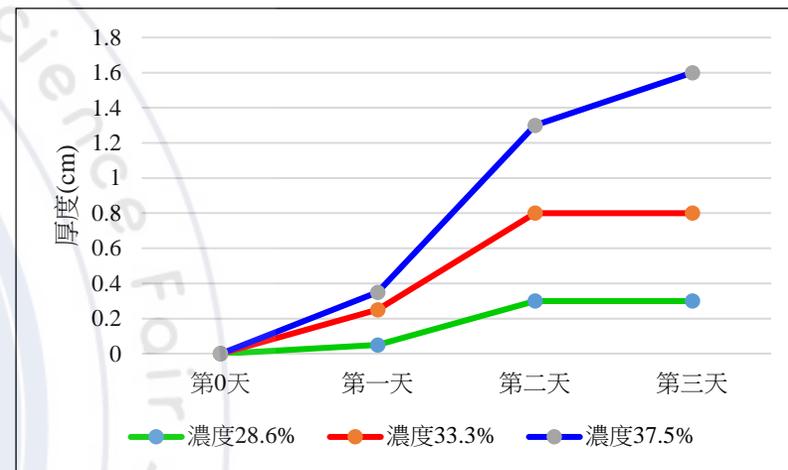
不同濃度的硫酸銅溶液對長晶大小的影響



不同硫酸銅濃度結晶重量增加量

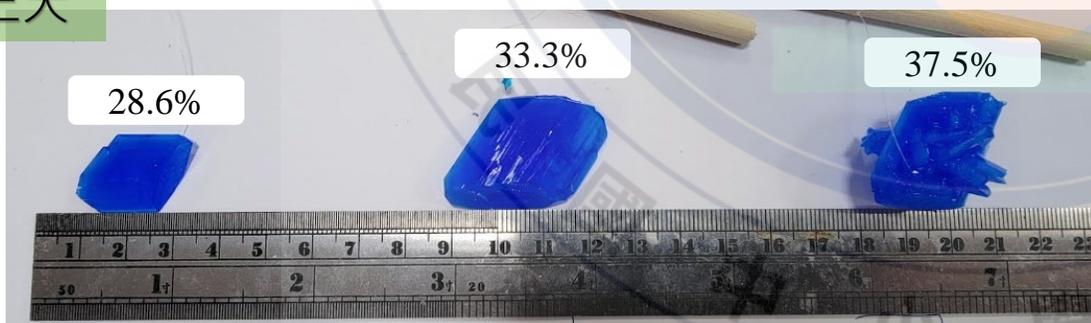


不同硫酸銅濃度結晶長度增加量



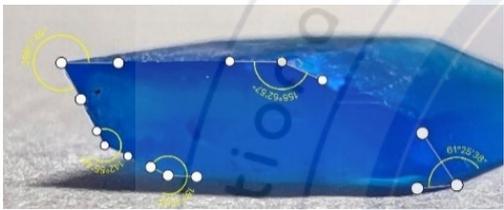
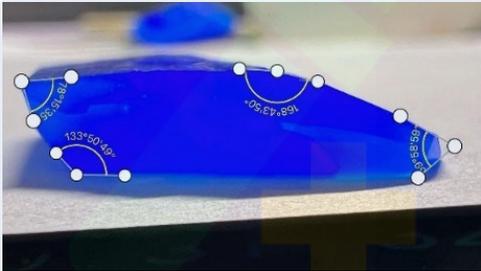
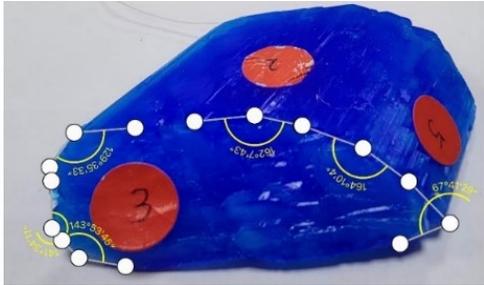
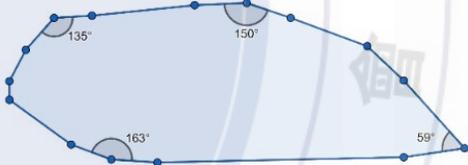
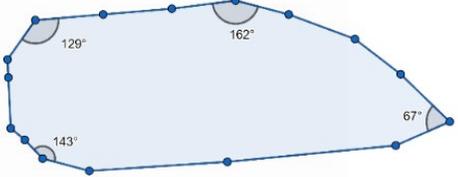
不同硫酸銅濃度結晶厚度增加量

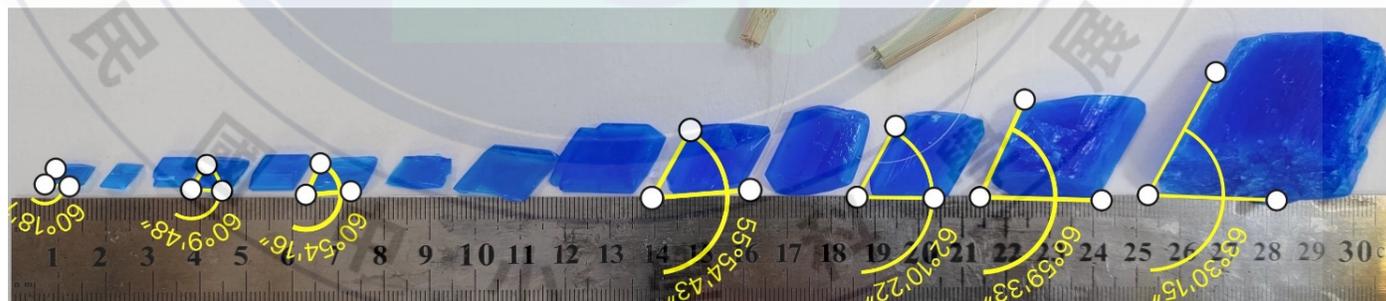
第三天



濃度高：重量、厚度增加快速，但有雜晶產生
 濃度低：重量、長度、厚度增加慢

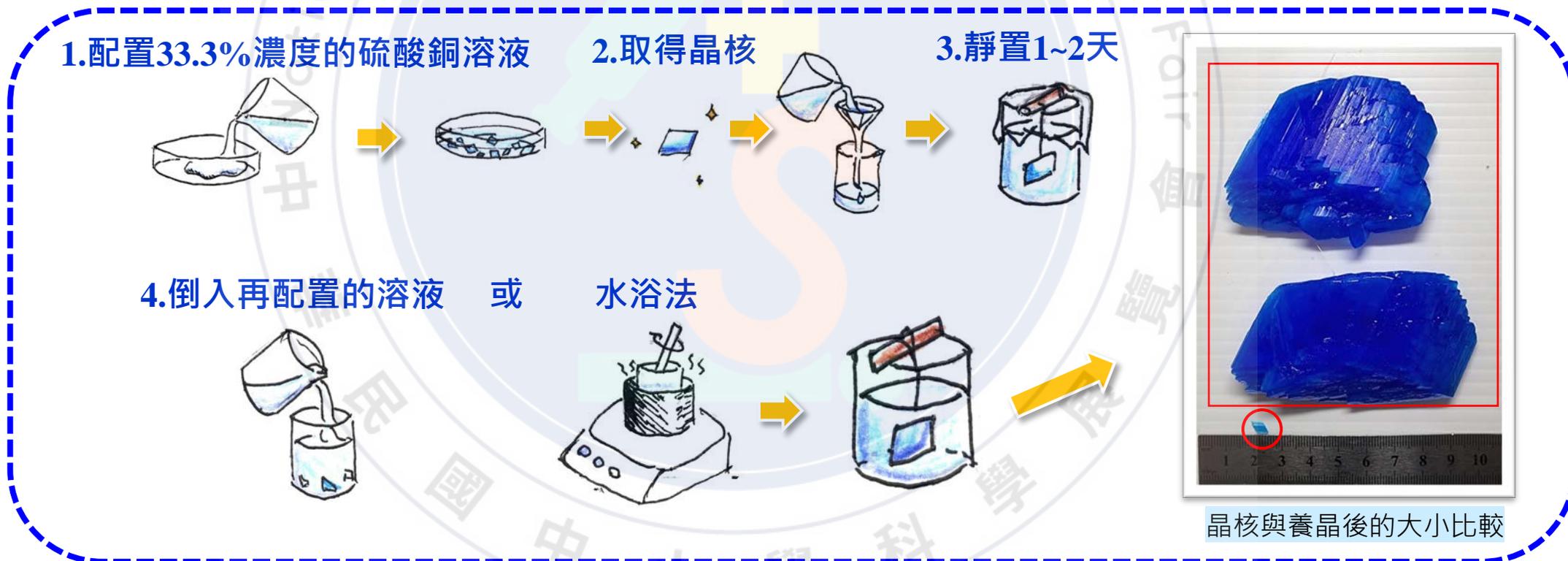
探討硫酸銅晶體的樣貌

晶體重量	<1g	2.5g	8.2g	25.9g
用 Angle Meter 量測每顆晶體的 同一斜面				
電繪示意圖 (GeoGebra)				



結論

- 溫度愈高、硫酸銅溶解度愈大
- 33.3% 硫酸銅溶液濃度可以形成四邊形結晶
- 溫度、濃度、接觸空氣面積大小、過濾不過濾、線材、晶核材質皆會影響結晶
- 七天內養出超過五公分的大晶體流程如下圖：



- 硫酸銅結晶不論大小皆遵守面角守恆定律