

屏東縣第 60 屆國中小學科學展覽會

作品說明書

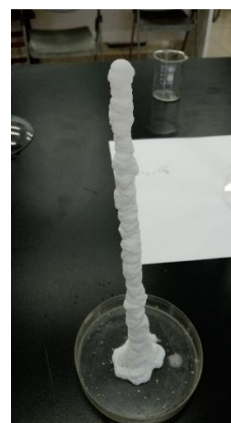
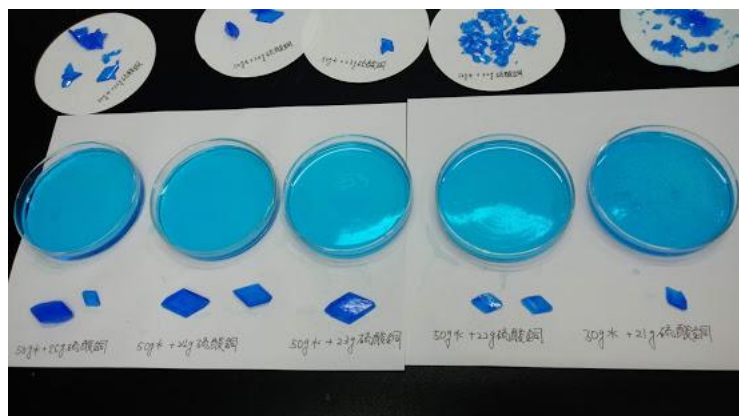
科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：晶好玩-硫酸銅養晶與熱冰實作探討

關鍵詞：硫酸銅、熱冰、結晶

編 號：



壹、研究動機

八上重量百分濃度的單元學到了飽和溶液，在網路上看到了許多養晶的影片，各色各樣的結晶非常美麗。其中，硫酸銅的結晶就像閃耀的藍寶石，讓我們不禁想親手做做看，但又擔心實驗後剩餘的硫酸銅溶液對環境造成很大的負擔。在查了許多做法之後，我們決定深入研究可以產生美麗平行四邊形結晶且廢液量少的培養皿養晶法。探討不同濃度跟不同容器下養晶的結果，找出能以最少的溶液量養出美麗結晶的比例(環境溫度 19-22°C)。我們嘗試以蒸發結晶法配合八下氧化還原章節學到的鋼絲絨還原銅離子的方式，處理養晶後剩餘的溶液，達到硫酸銅重複使用且盡量減少環境污染的目標。

在學到飽和溶液時，除了硫酸銅養晶，也看到了網路上許多熱冰結晶及熱冰鐘乳石影片，十分有趣。我們發現目前市面上可重複使用的“暖暖包”一按就熱，也是利用醋酸鈉過飽和溶液結晶放熱的特性。這麼好玩的熱冰，卻很容易提早結晶導致操作失敗，於是我們想藉由探討不同濃度下熱冰鐘乳石外觀狀態，及模擬熱冰暖暖包放熱的結果，找出一個適合同時操作不同熱冰實驗的濃度，進而設計出一套簡單易成功，且可重複使用的熱冰操作組。

貳、研究目的

- 一、利用需溶液較少的培養皿養晶法，製作硫酸銅結晶。研究相同濃度下，不同的容器形狀及溶液量對製作硫酸銅晶母的影響。
- 二、研究不同質量的硫酸銅晶母在相同濃度硫酸銅溶液中的質量成長曲線。
- 三、研究相同容器形狀及溶液量，硫酸銅結晶速度及結果是否起始受濃度影響。
- 四、由研究三得知，最適合濃度區間介於 50g 水加 20 至 25g 硫酸銅之間。研究 50g 水量分別加入 21、22、23、24、25g 的硫酸銅 5 天後的養晶結果。
- 五、觀察培養皿的硫酸銅結晶平行四邊形角度是否有相似性。
- 六、研究蒸發結晶法回收硫酸銅廢液的可行性。
- 七、研究熱冰鐘乳石在不同比例下的呈現結果。
- 八、使用燒杯作熱冰結晶，觀測在不同濃度下溫度對時間的變化情形。
- 九、使用夾鏈袋作熱冰暖暖包，觀測不同濃度下溫度對時間變化情形。
- 十、設計一套可重複使用的熱冰操作組。

參、研究設備及器材

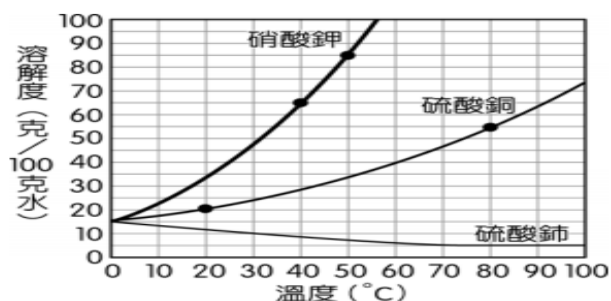
項目	數量	項目	數量
五合水硫酸銅 500g	1 瓶	玻棒	5
三合水醋酸鈉 500g	4 瓶	酒精溫度計	8
燒杯 1000ml	3	培養皿 (直徑 9.5)	5
燒杯 500ml	3	培養皿 (直徑 9)	5
燒杯 250ml	2	量筒 10ml	2
燒杯 100ml	4	量筒 25ml	2
燒杯 50ml	9	量筒 50ml	1
漏斗 90ml	2	量筒 100ml	1
滴管	4	錶玻璃	5
刮勺	2	耐熱夾鏈袋	10
塑膠盆	4	精確電子秤	1

肆、研究過程或方法

研究一、利用較省溶液的培養皿製作法，製作硫酸銅結晶。

研究相同濃度下，不同的溶液量及容器形狀對製作硫酸銅晶母的影響。

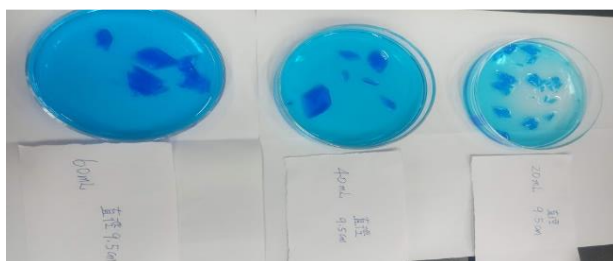
方法:



(一) 根據硫酸銅溫度對溶解度關係圖及參考網路資訊及影片，我們將硫酸銅的起始溶解度配置為 60°C 時的溶解度 40g/100g 水。

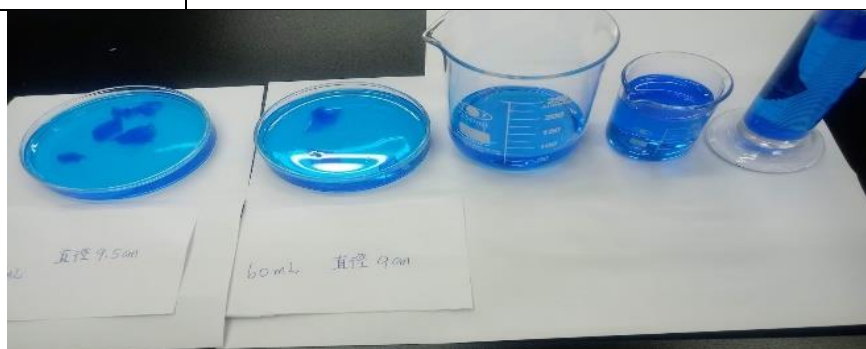
以 500g 熱水加入 200g 硫酸銅靜置冷卻 → 過濾溶液 → 於直徑 9.5CM 的培養皿中分別加入 20mL、40mL、60mL 硫酸銅溶液並蓋上紙蓋 → 靜置兩天觀察結晶情形

控制變因	溶液濃度 蒸發皿表面積 室內溫度(19-21°C)
操縱變因	溶液體積
應變變因	結晶狀況



(二) 以上述溶液皆 60mL 分別置於直徑 9.5cm 培養皿、直徑 9cm 培養皿、250m 燒杯、100mL 燒杯及 100mL 量筒中並蓋上紙蓋→靜置兩天觀察結晶情形

控制變因	溶液體積 溶液濃度 室內溫度(19-21°C)
操縱變因	容器表面積及形狀
應變變因	結晶狀況



研究二、研究不同質量的硫酸銅晶母在相同濃度同體積硫酸溶液中的質量成長曲線

方法: 將研究一的硫酸銅溶液過濾→取 0.1g、0.5g、2.2g 的硫酸銅結晶各加 60mL 硫酸銅溶液置於直徑 9.5cm 的培養皿中 →蓋上紙蓋靜置一天 →取出結晶秤重並將溶液過濾→重複前述步驟並記錄每日結晶質量

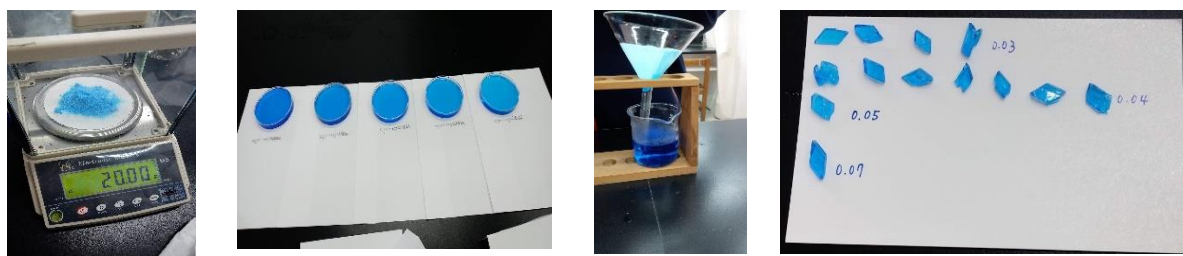
控制變因	溶液體積 溶液濃度 容器表面積及形 室內溫度(19-22°C)
操縱變因	硫酸銅晶母質量
應變變因	硫酸銅結晶成長曲線

研究三、研究相同容器形狀及溶液量，硫酸銅結晶速度是否起始濃度影響。

方法: 取 20、25、30、35、40g 硫酸銅加入加 50mL 熱水中分別配製為 A、B、C、D、E

溶液→過濾→取過濾後的溶液置於直徑 9.5cm 的培養皿中加蓋靜置一天→觀察記錄結晶狀況→過濾→取同為 0.04g 的晶母置於五溶液中繼續養晶→每天量取質量紀錄並過濾後再重複步驟至水面已至晶體頂部(三天)

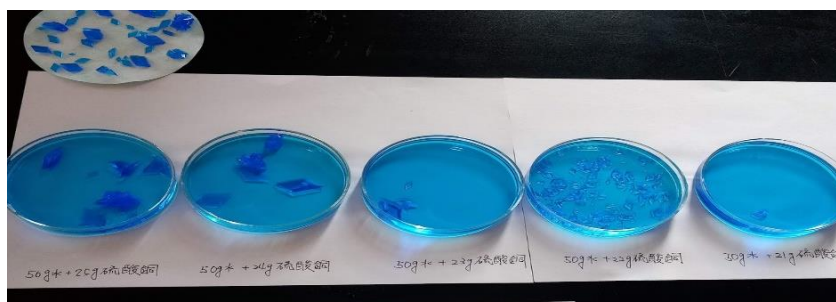
控制變因	溶液體積 溶液濃度 容器表面積及形狀 室溫環境(19-22°C)
操縱變因	硫酸銅溶液濃度
應變變因	硫酸銅結晶狀況



研究四、由研究三得知，最適合濃度區間介於 50g 水加 20 至 25g 硫酸銅之間。研究 50g 水量分別加入 21-25g 的硫酸銅 5 天後的養晶結果。

方法: 取 21、22、23、24、25g 硫酸銅置入分別 50mL 熱水中→過濾→取過濾後的溶液置於直徑 9.5cm 的培養皿中→靜置一天觀察結晶狀況→過濾→取出個培養皿中晶型最佳的結晶繼續進行養晶→每日量取晶體質量並紀錄→重複步驟

控制變因	溶液體積 溶液濃度 容器表面積及形狀 室溫環境(19-22°C)
操縱變因	硫酸銅溶液濃度 選取晶母的形狀及質量
應變變因	硫酸銅結晶的狀況



研究五、分析培養皿的硫酸銅結晶平行四邊形角度是否有相似性。

方法: 取實驗過程中較完整的平行四邊形硫酸銅晶體，將各晶體由小到大沿一長尺排列，觀察各平行四邊形之間是否有相似性。

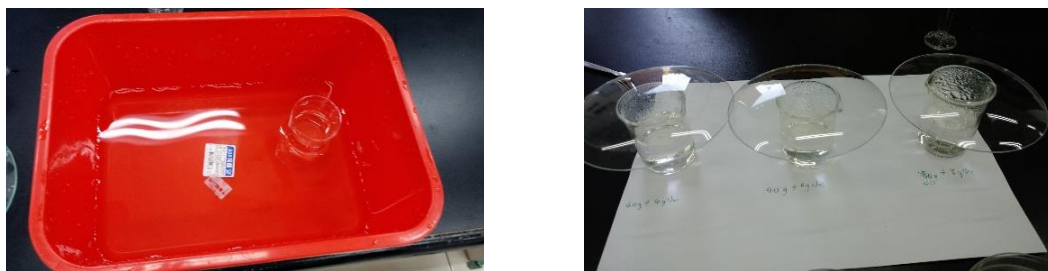
研究六、研究蒸發法回收硫酸銅廢液的可行性，將硫酸銅廢液量減到最低並可於課程中重複使用。

方法: (一) 養晶結束後量較少的澄清硫酸銅溶置入培養皿靜置蒸發(一周)→將培皿上晶體以刮勺刮下收集(結晶一)→準備一塑膠盆裝置清水約 200mL 養溶解過程中器材上的殘餘晶體→實驗結束後將塑膠盆置於室外靜置蒸發(約二周)→刮下塑膠盆底結晶(結晶二)
(二)實驗過程中以自來水浸泡清洗器材的混濁硫酸銅溶液經置數天後蒸發至少量後加入鐵粉及鋼絲絨靜置，使銅離子還原變成銅析出



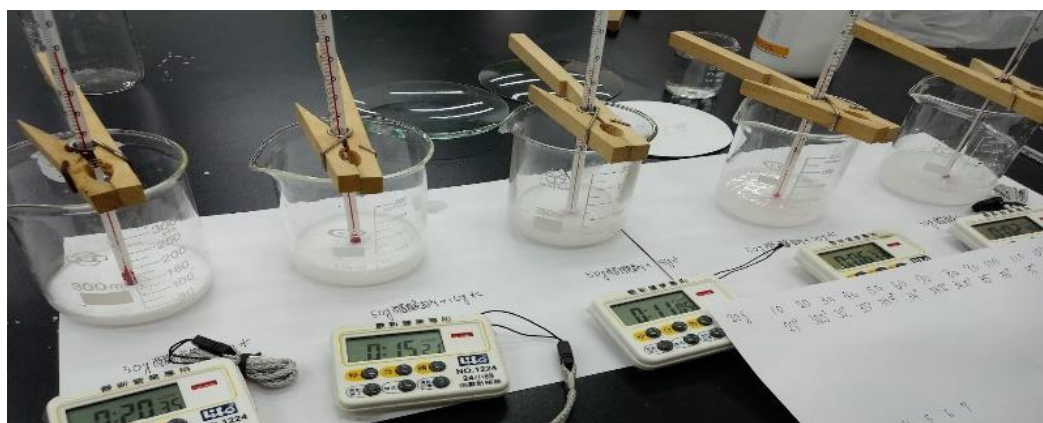
研究七、研究熱冰鐘乳石在不同比例下呈現的外觀質地，並在過程中研究避免提早結晶導致實驗失敗的方法。

方法: (一)在 20g 水中分別加入 2、4、6、8 g 三合水醋酸鈉→加熱溶解後蓋上錶玻璃靜以冷水水浴或靜置降溫→於培養皿中置入少量醋酸鈉晶體→將燒杯中過飽和溶液緩緩倒下形成熱冰柱狀體→分析記錄各濃度的形狀及外觀。
(二)由方法 1 得知適當比例介於 20g 水加入 2g-4g 醋酸鈉之間，將水量增加為 40g 醋酸鈉加入 4、6、8g 水，重複方法一步驟紀錄結果。



研究八、使用燒杯作熱冰結晶，觀測在不同濃度下溫度對時間的變化情形。

方法:將 50g 醋酸鈉分別加入 5、10、15、20、25g 水，加熱融化形成飽和溶液→蓋上錶玻璃靜置至室溫→一以溫度計沾取少量醋酸結晶至入燒杯中→紀錄各溶液結晶過程溫度對時間的變化情形，並觀察結晶外觀狀況。



研究九、使用耐熱夾鏈袋作熱冰暖暖包，觀測不同濃度下溫度對時間變化情形。

方法: 由研究八結果得知是當比例介於 50g 醋酸鈉加入 5-15g 之間。將 100g 醋酸鈉分別加入 10、15、20、25、30g 水，加熱融化形成飽和溶液→趁熱倒入夾鏈袋中並排出空氣後壓緊夾鏈袋→一以溫度計沾取少量醋酸結晶至入夾鏈袋中→紀錄各溶液結晶過程溫度對時間的變化情形，並觀察結晶外觀狀況。

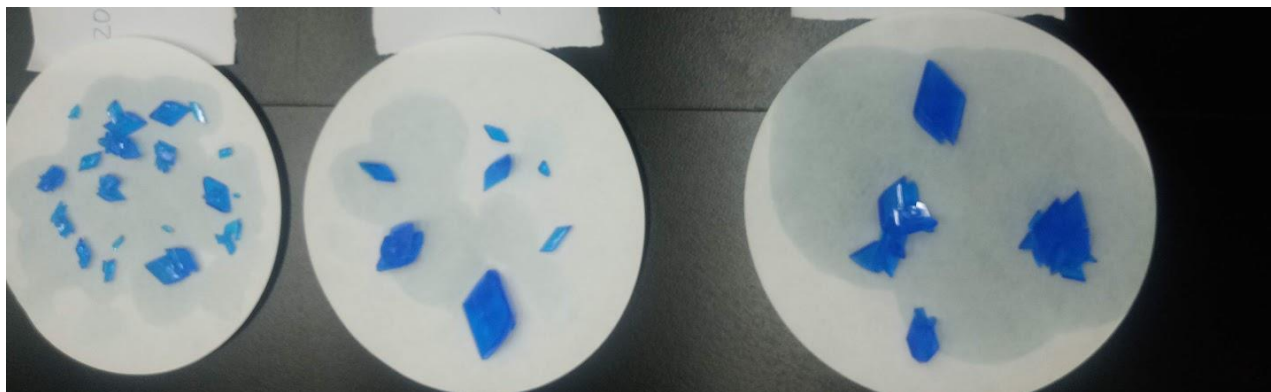


研究十、設計一套可重複使用的熱冰操作組。

方法：根據研究七、八、九的實驗結果，選用同時適合操作熱冰鐘乳石及暖暖包的濃度 (100g 醋酸鈉加入 20g 水) 並選擇適合的容器設計出可重複使用的操作組，詳細說明操作步驟。

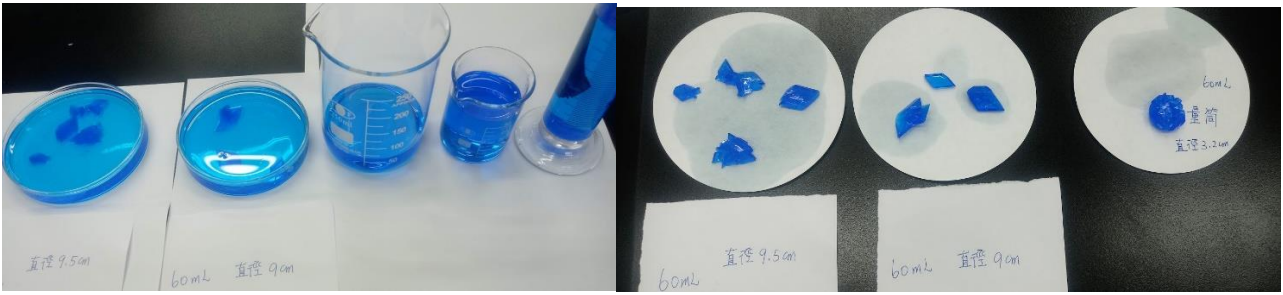
伍、研究結果

研究一、(一)以 500g 熱水加入 200g 硫酸銅靜置冷卻 → 過濾溶液 → 於直徑 9.5CM 的培養皿中分別加入 20mL、40mL、60mL 硫酸銅溶液並蓋上紙蓋 → 靜置兩天觀察結晶情形



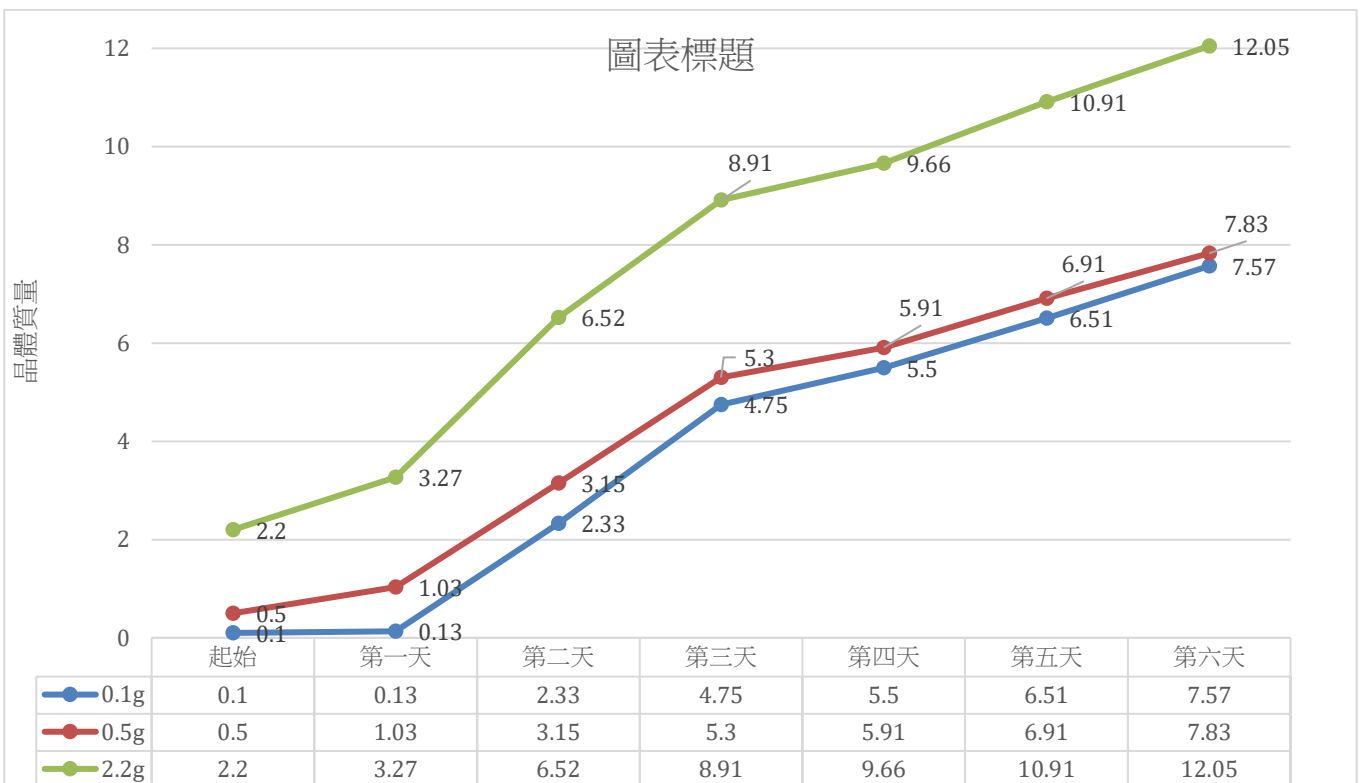
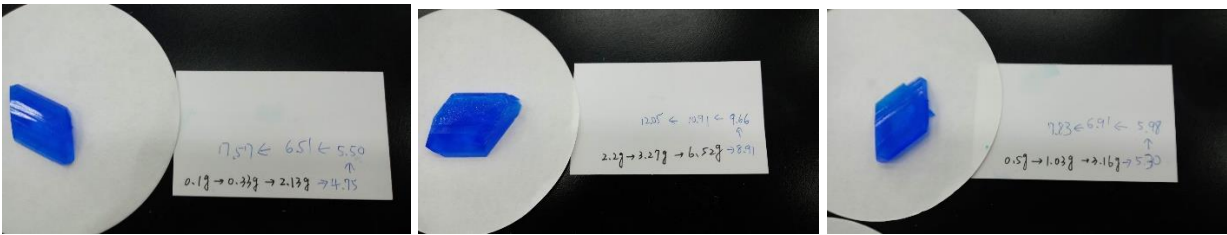
溶液	20mL	40mL	60mL
外觀	多為中至小碎晶	有大有小	多為大結晶
數量	多	居中	少

(二) 以上述溶液皆 60mL 分別置於直徑 9.5cm、直徑 9cm 培養皿、250mL 燒杯 50mL 燒杯及 100mL 量筒中並蓋上紙蓋→靜置兩天觀察結晶情形

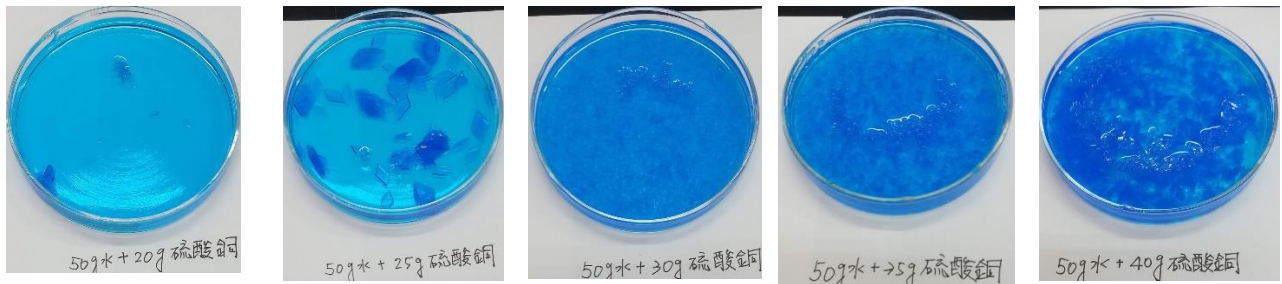


容器	直徑9.5cm	直徑9cm	250mL 燒杯	50mL 燒杯	100mL量筒
外觀	大結晶	大結晶	無	無	塊狀不規則
數量	4	3	無	無	1

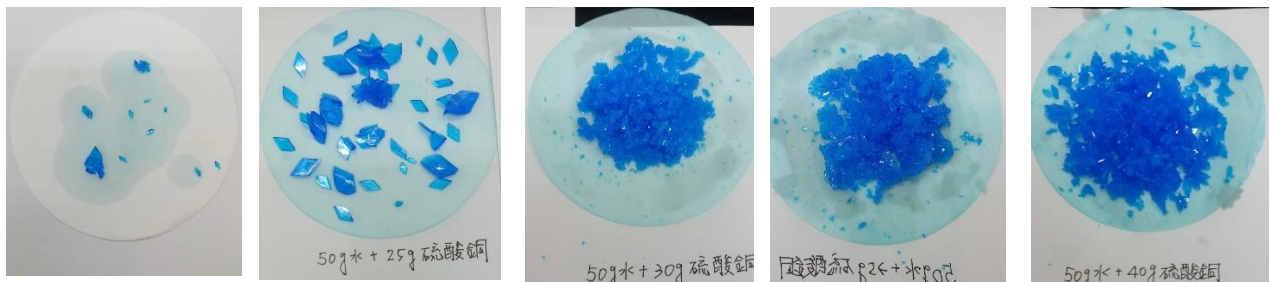
研究二：將研究一的硫酸銅溶液過濾→取晶形較近似平行四邊形的晶母分別為 0.1g、0.5g、2.2g 的硫酸銅結晶各加 60mL 硫酸銅溶液置於直徑 9.5cm 的培養皿中 → 蓋上紙蓋靜置一天 → 取出結晶秤重並將溶液過濾→重複前述步驟並記錄每日結晶質量。



研究三:(一)取 20、25、30、35、40g 硫酸銅加入加 50mL 熱水中分別配製為 A、B、C、D、E 溶液→過濾→取過濾後的溶液置於直徑 9.5cm 的培養皿中加蓋靜置一天→觀察記錄結晶狀況。

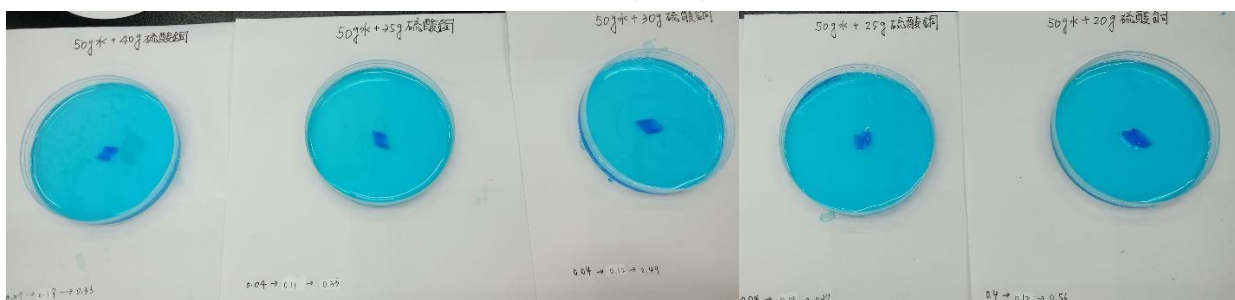


A B C D E

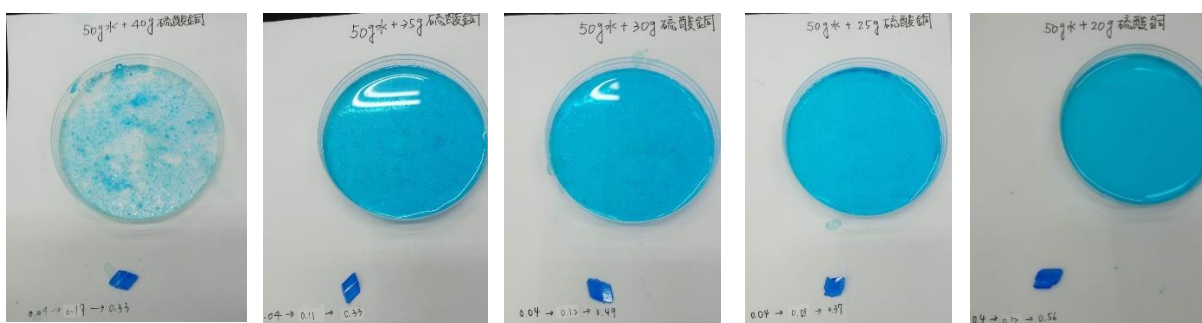


	外觀	數量
A	有中小 不規則	少
B	中型至大型 平行四邊形多	中等
C	多細砂型結晶	多
D	粗砂型結晶	多
E	多碟狀平行四邊形結晶	多

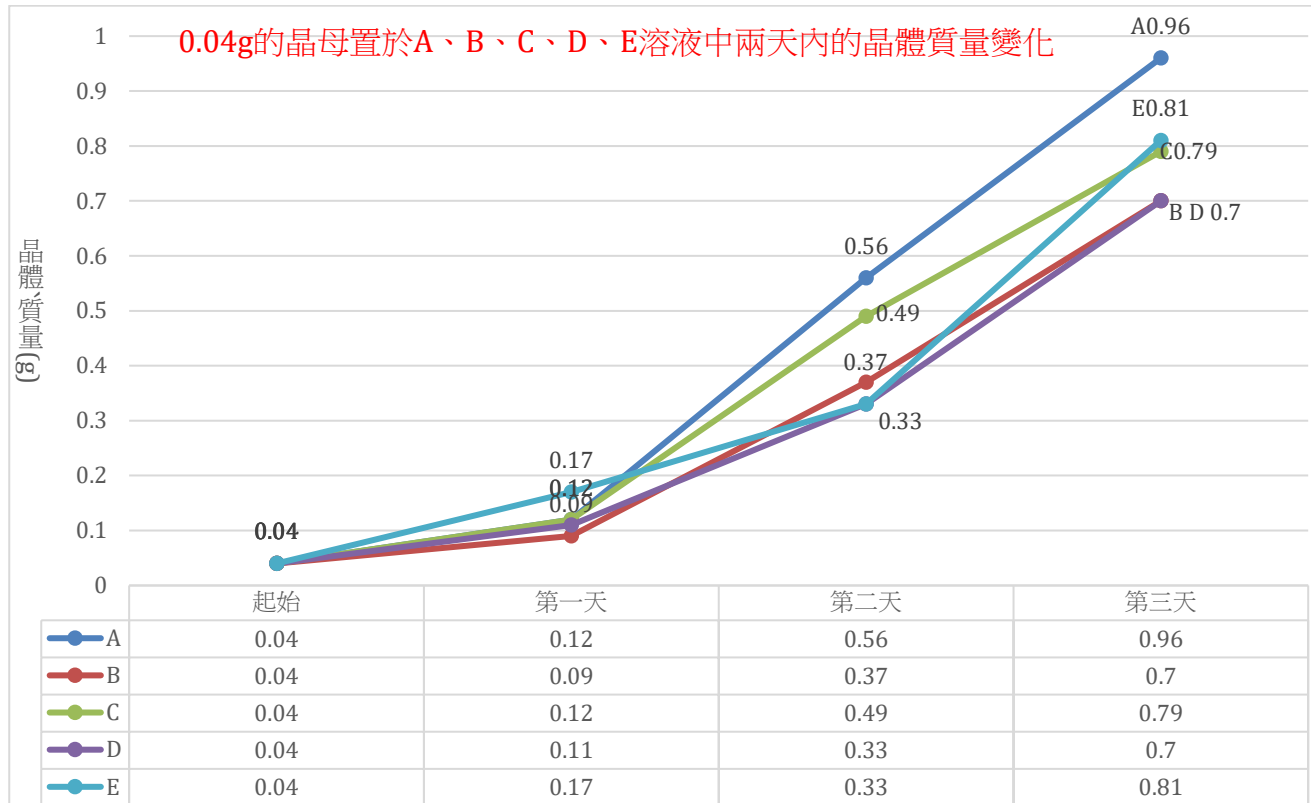
(三) 取同為 0.04g 的晶母置於過濾後溶液中繼續養晶→每天量取質量紀錄並過濾→重複步驟至水面已至晶體頂部(三天)



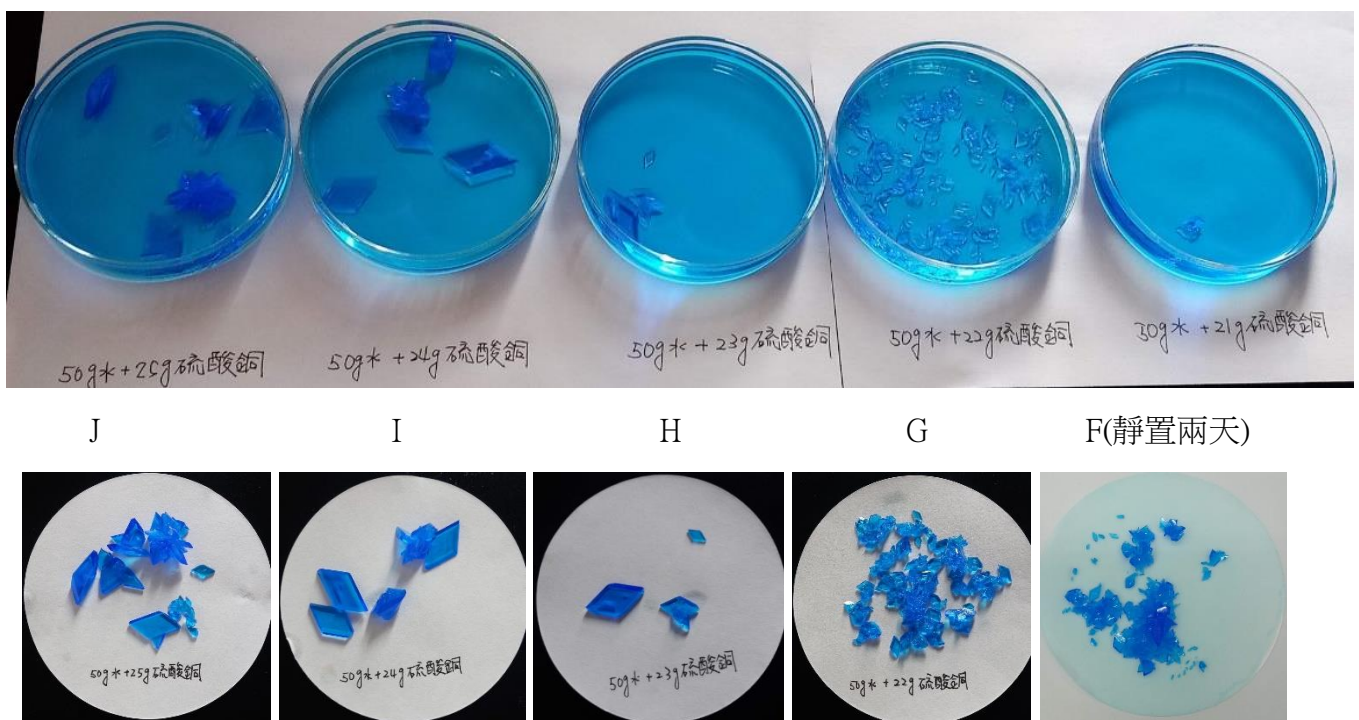
E D C B A



0.04g 的晶母置於 A、B、C、D、E 溶液中兩天內的結晶質量變化情形:



研究四: (一)取 21、22、33、24、25g 硫酸銅置入分別 50mL 熱水中配製為 F、G、H、I、J 溶液→過濾→取過濾後的溶液置於直徑 9.5cm 的培養皿中→靜置一天觀察結晶狀況

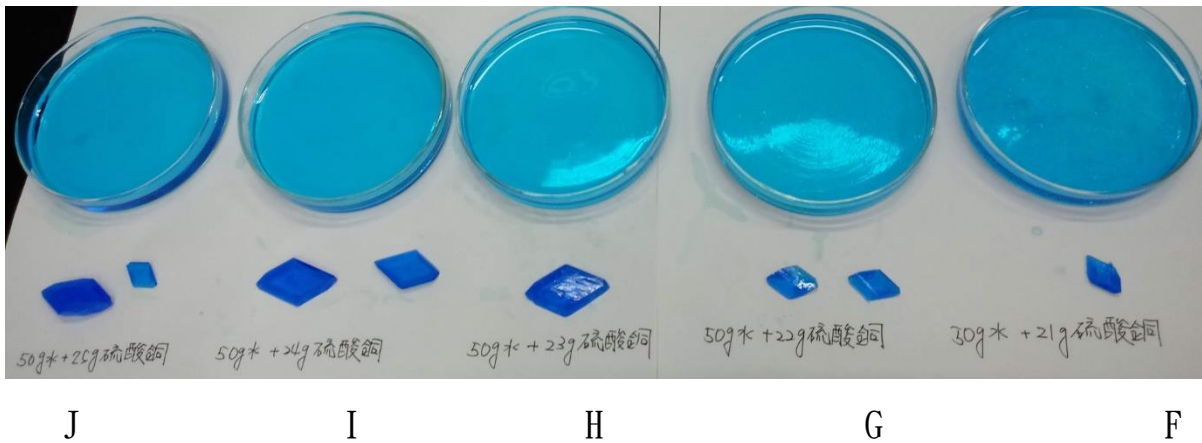


※其中 F 溶液靜置一天後結晶量過少無適用晶母，故再多靜置一天

	晶體外觀	晶體數量
F(兩天)	多不規則晶體 平行四邊形結晶偏小	多
G	多細小平行四邊形結晶 許多沾黏成塊	多
H	形成大型規則平行四邊形結晶 也有小結晶	3
I	形成數個大型規則平行四邊形結晶	5
J	多為不規則大型結晶 也有小結晶	7

(二)→過濾→取出個培養皿中晶型最佳的結晶繼續進行養晶→每日量取晶體質量並紀錄
→重複步驟直至液面低至結晶頂部(三天)

1.外觀結果



2.過程

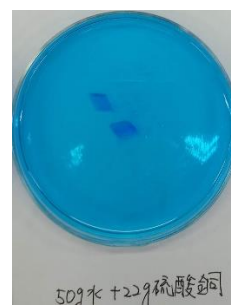
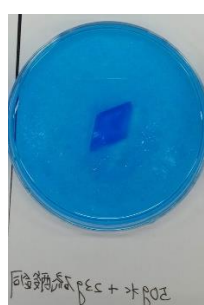
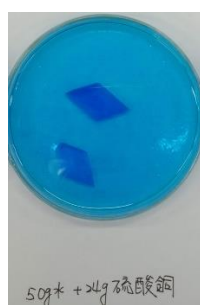
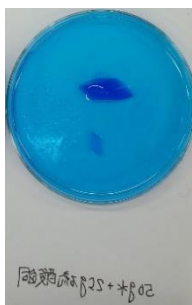
第一天 J

I

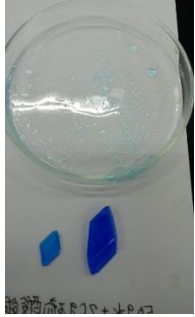
H

G

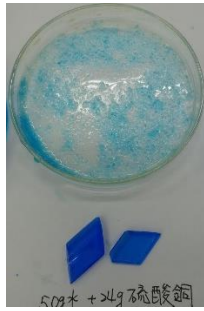
F多靜置一天



第二天 J



I



H(底部結晶多)



G



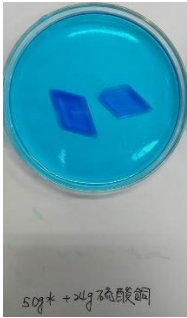
F



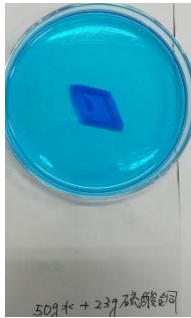
第三天 J



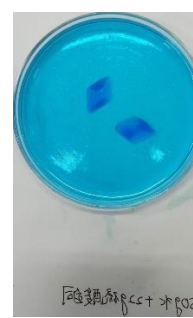
I



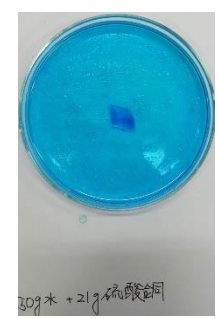
H



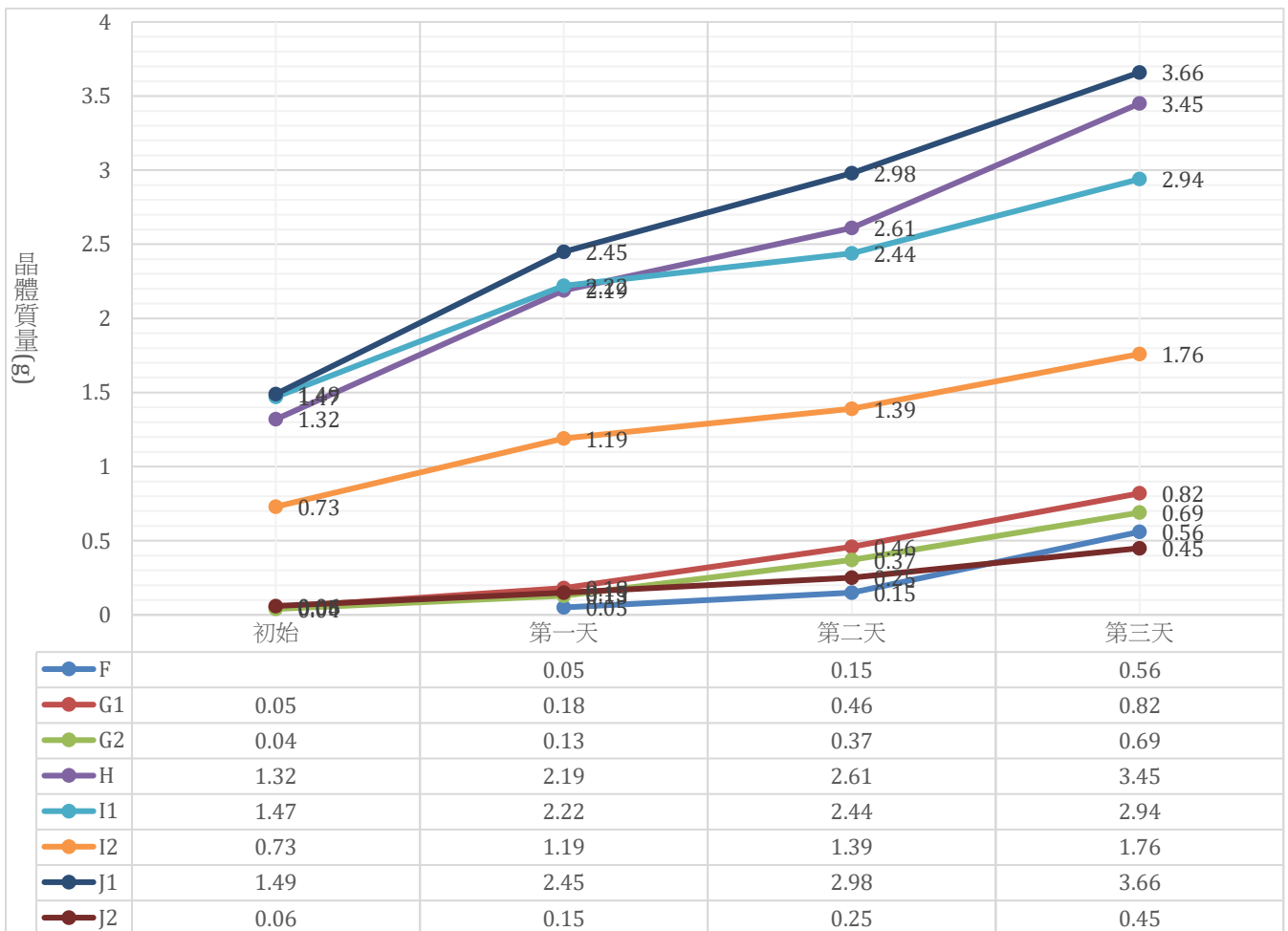
G



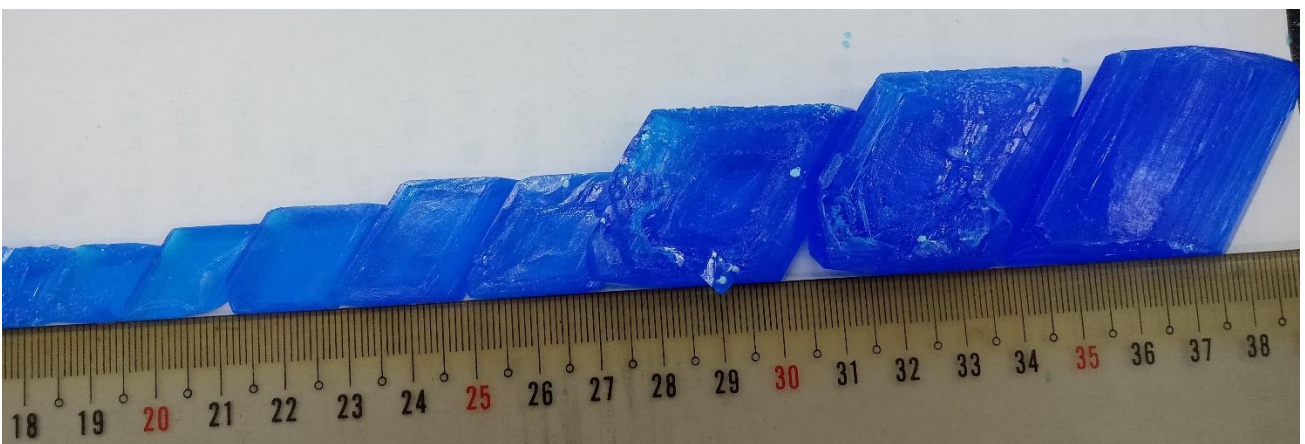
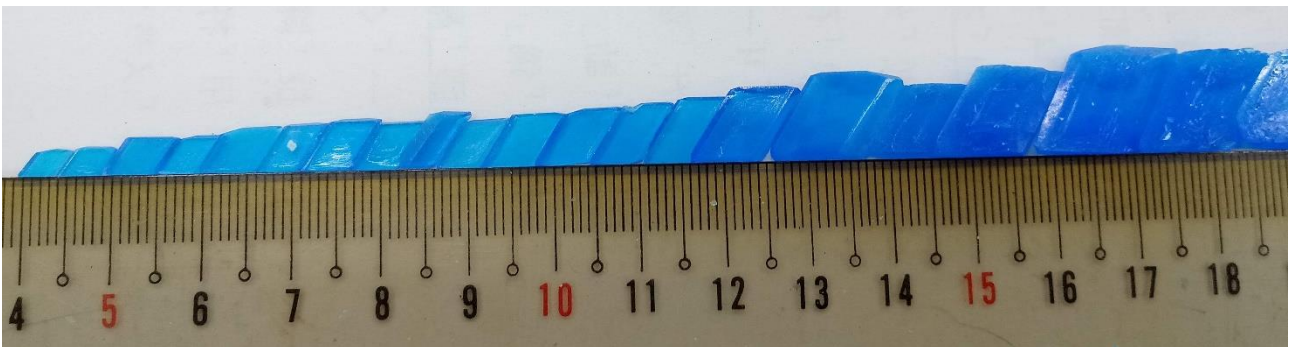
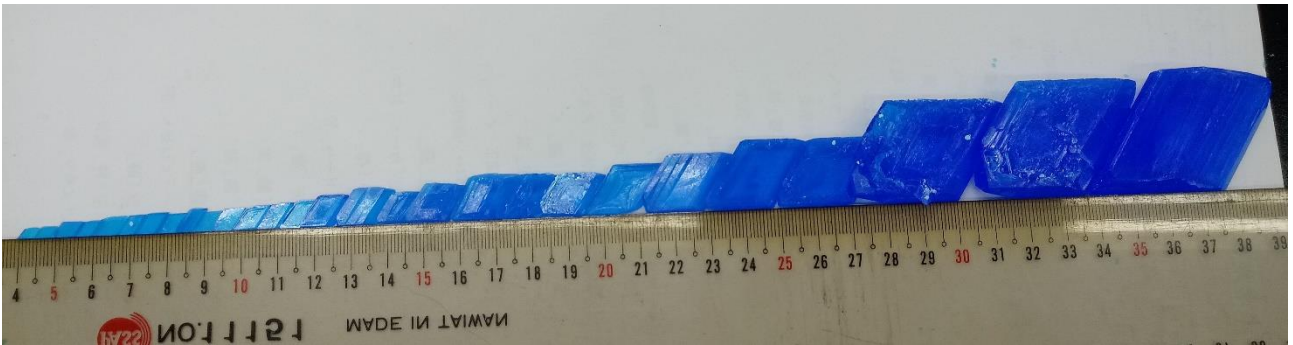
F




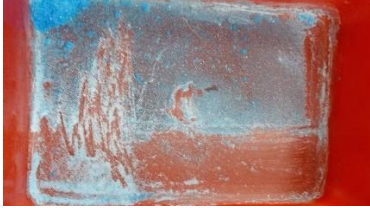

3. 質量變化



研究五: 取實驗過程中較完整的平行四邊形硫酸銅晶體，將各晶體由小到大沿一長尺排列
觀察各平行四邊形之間是否有相似性

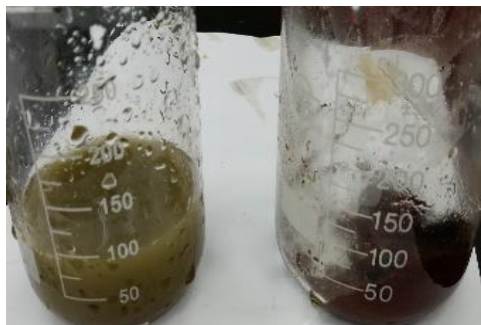
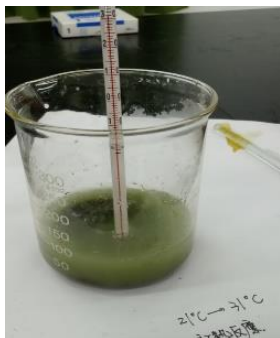


研究六：(一) 養晶結束後量較少的澄清硫酸銅溶置入培養皿靜置蒸發(一周)→將培養皿上晶體以刮勺刮下收集(結晶一)→準備一塑膠盆裝置清水約 200mL 清洗溶解過程中器材上的殘餘晶體→實驗結束後將塑膠盆置於室外靜置蒸發(約二周)→刮下塑膠盆底結晶(結晶二)





			
	結晶一		結晶二
外觀	不規則藍色砂粒狀結晶		顏色偏白夾帶雜質粉末狀結晶
適用	重複養晶 鋅銅電池		操作無水硫酸銅加水放熱實驗
結晶時間	較短 約一周		較長 約二周

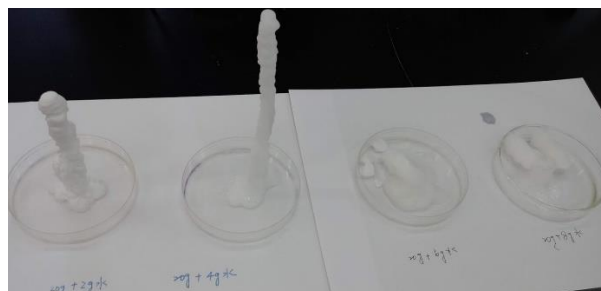
(二)實驗過程中以自來水浸泡清洗器材不適合回收的混濁硫酸銅溶液，經置數天後蒸發至少量後，加入鐵粉及鋼絲絨靜置使銅離子還原變成銅析出。

(此反應放熱明顯，測量溫度由 21°C 上升至 31°C)






研究七: (一)在 20g 三合水醋酸鈉中分別加入 2、4、6、8 g 水→加熱溶解後蓋上錶玻璃靜以冷水水浴或靜置降溫→於培養皿中置入少量醋酸鈉晶體→將燒杯中過飽和溶液緩緩倒下形成熱冰柱狀體→分析記錄各濃度的形狀及外觀。

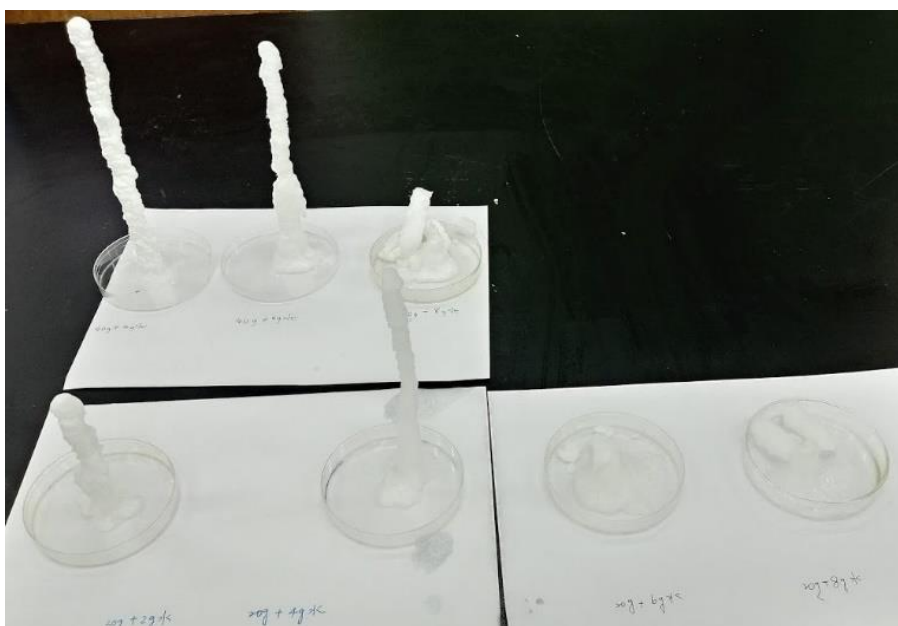
				
質地	硬 剝開無水分	剝開中間少量水分	少量水分	水分多 泥狀
結構	堅固	穩固	不穩	非常不穩
溶液	不穩定，搖晃易結晶表面易結成薄片結晶但不影響操作若使用水浴降溫很容易引發結晶	稍穩定，但傾倒過程若杯壁產生結晶引發結晶容易失敗	穩定，不易提早結晶	穩定，不易提早結晶



(四) 由方法(一)得知適當比例介於 20g 醋酸鈉加入 2g-4g 水之間，將水量增加為 40g 醋酸鈉加入 4、6、8g 水，重複方法一步驟紀錄結果。

			
質地	硬 剝開無水分	柱體中央有少量水分	柱體中央濕潤
結構	堅固 可向上延伸不倒塌	穩固 中途需停下等候固定	底部不穩 後來倒塌
溶液	加蓋靜置至室溫 穩定	加蓋靜置至室溫 穩定	穩定，不易提早結晶

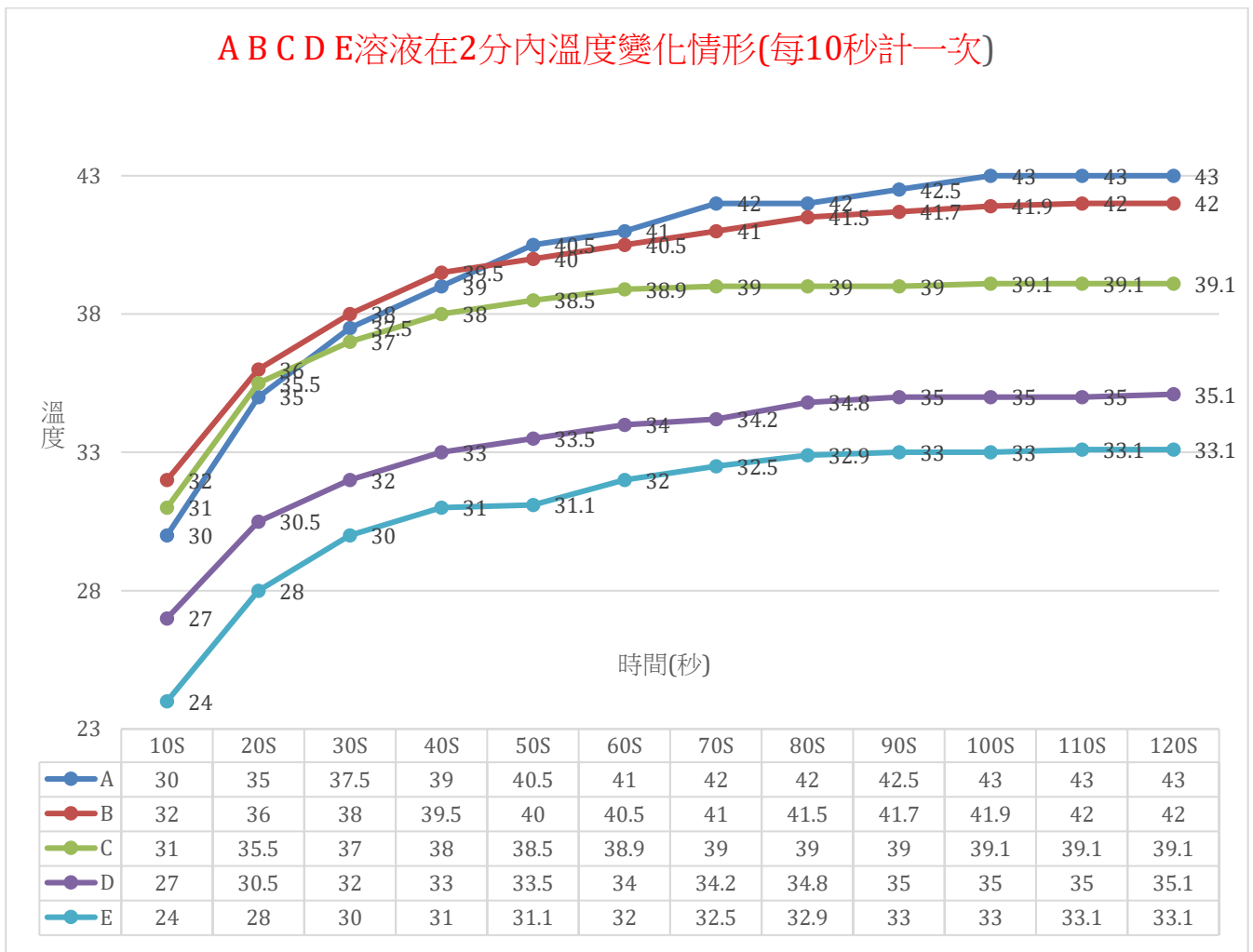
方法(一)(二)的結果比較：

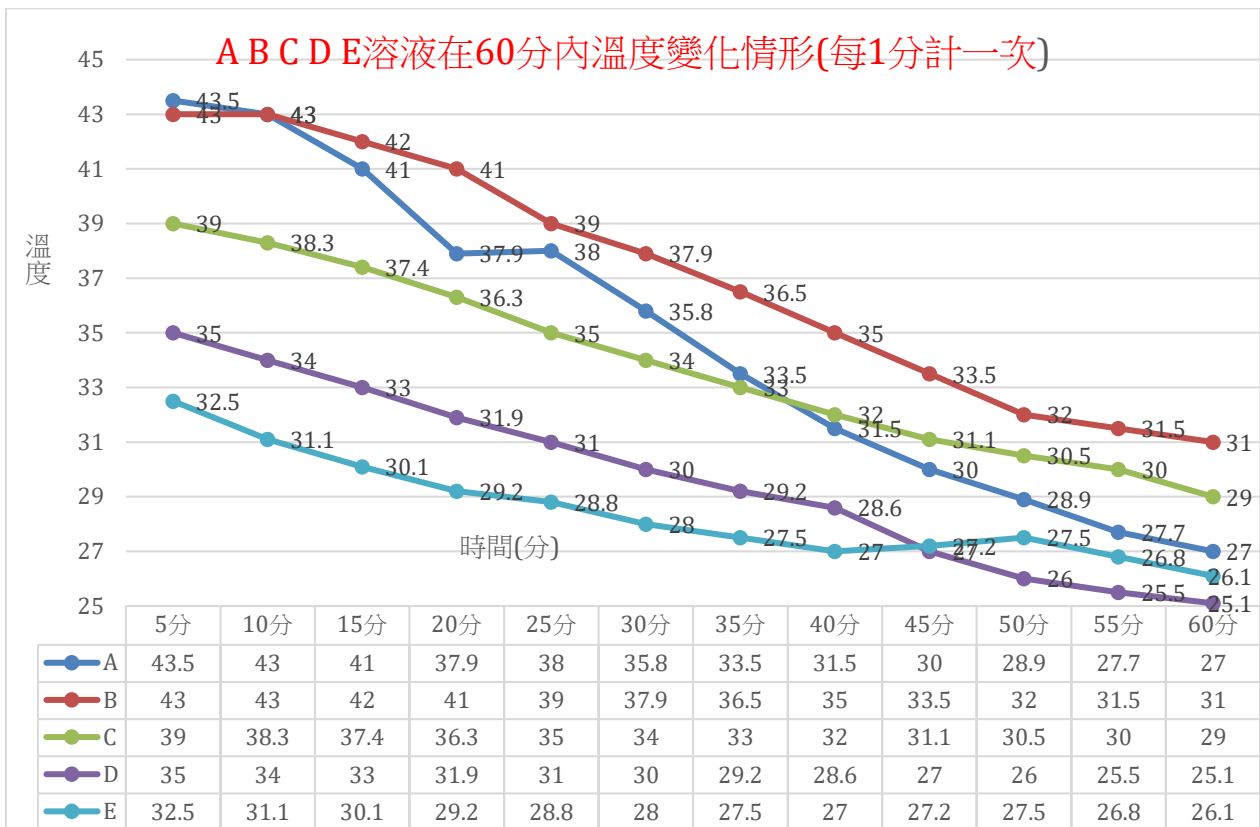


研究八: (一)將 50g 醋酸鈉分別加入 5、10、15、20、25g 水，加熱融化形成 A、B、C、D、E 飽和溶液，觀察結晶外觀狀況。

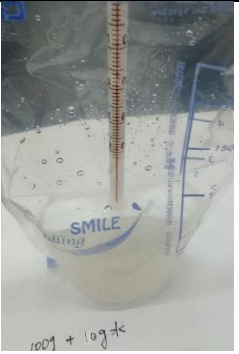
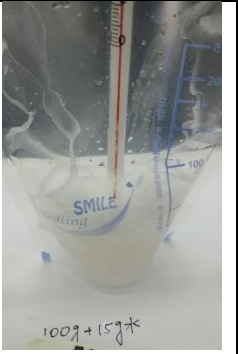
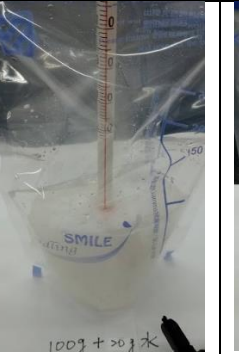
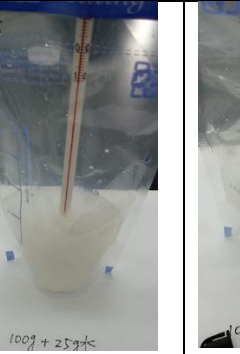

	A	B	C	D	E
外觀	表面白色 固態	表面白色 固態	呈半流體狀態	結晶不完全	結晶不完全
質地	硬 晶體不含水	硬 晶體含水量少	鬆軟 晶體含 水量稍多	晶體稍多 水狀	晶體較少呈水 稀狀

(二)紀錄各溶液結晶過程溫度對時間的變化情形：



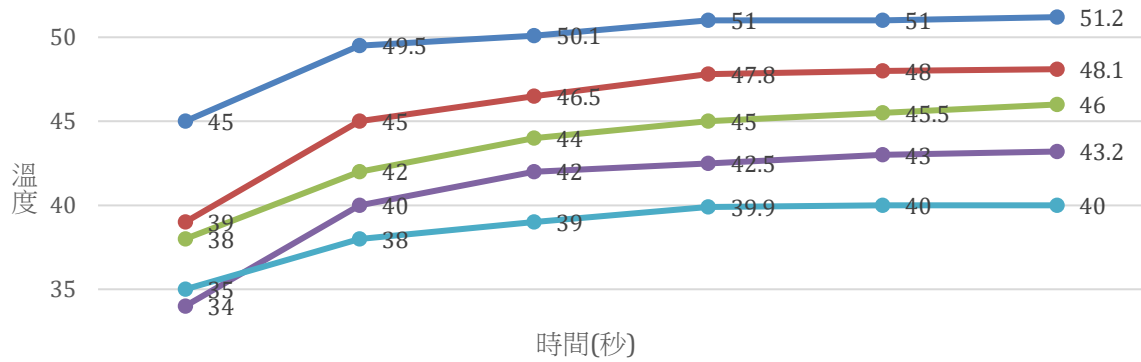


研究九: (一)將 100g 醋酸鈉分別加入 10、15、20、25、30g 水，加熱融化形成飽和溶液 F、G、H、I、J，並觀察結晶外觀狀況。

					
	F	G	H	I	J
外觀	表面白色 固態	表面白色 固態	表面白色 半流體	半流體	半流體
質地	硬 不含水	硬 不含水	較鬆軟 含少量水	較鬆軟 含水	易變形 含水

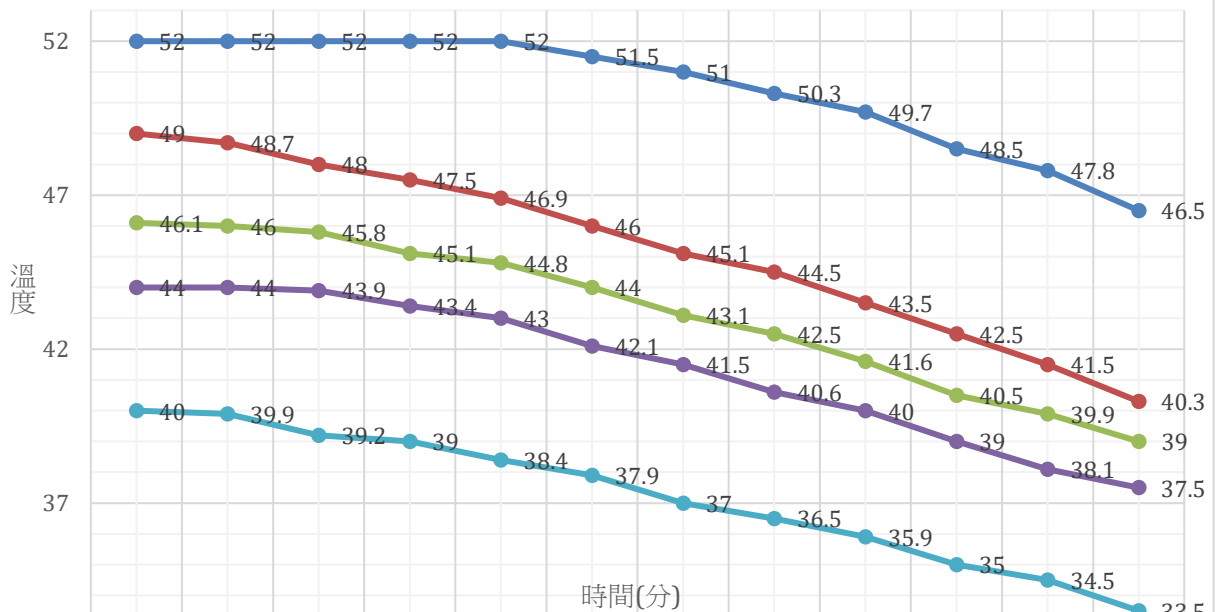
(二)紀錄各溶液結晶過程溫度對時間的變化情形：

FGHIJ 溶液在1分鐘內溫度變化(每10秒計一次)



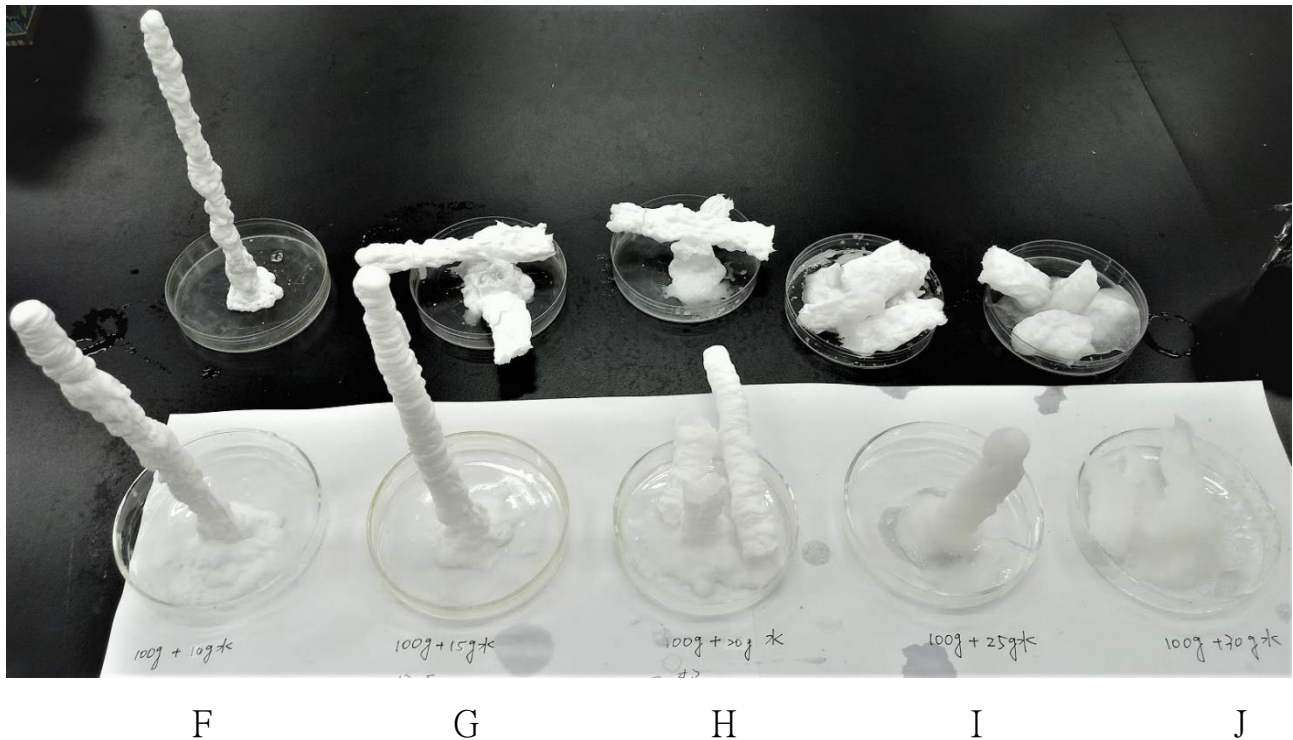
時間(秒)	10S	20S	30S	40S	50S	60S
F	45	49.5	50.1	51	51	51.2
G	39	45	46.5	47.8	48	48.1
H	38	42	44	45	45.5	46
I	34	40	42	42.5	43	43.2
J	35	38	39	39.9	40	40

FGHIJ 溶液在60分鐘內溫度變化(每5分鐘計一次)



時間(分)	5分	10分	15分	20分	25分	30分	35分	40分	45分	50分	55分	60分
F	52	52	52	52	52	51.5	51	50.3	49.7	48.5	47.8	46.5
G	49	48.7	48	47.5	46.9	46	45.1	44.5	43.5	42.5	41.5	40.3
H	46.1	46	45.8	45.1	44.8	44	43.1	42.5	41.6	40.5	39.9	39
I	44	44	43.9	43.4	43	42.1	41.5	40.6	40	39	38.1	37.5
J	40	39.9	39.2	39	38.4	37.9	37	36.5	35.9	35	34.5	33.5

(三)以研究九的F、G、H、I、J溶液做熱冰鐘乳石觀察結果，重複操作兩次的結果比較



研究十: 設計可重複使用的熱冰操作組

材料: 耐熱夾鏈袋、三合水醋酸鈉100g、水20g、含蓋塑膠杯 數個

操作方式: 將三合水醋酸鈉100g加入水20g，加熱溶解後裝入耐熱夾鏈袋中 靜置冷卻。

- (1) 操作熱冰暖暖包: 將夾鏈袋袋口打開接觸空氣→密封夾鏈袋→於封口交界處產生結晶
(若未結晶則加入少量晶母)→產生結晶放熱
- (2) 重複操作: 將(1)已結晶的夾鏈袋置入熱水中加熱→趁熱將溶液由中央倒入塑膠杯中→加蓋
→靜置冷卻至室溫→操作熱冰結晶或熱冰暖暖包
- (3) 將(2)操作完結晶裝入夾鏈袋中，將塑膠杯及蓋沖洗乾淨(可預留一些容器表面的結晶供下次使用)



陸、討論

1. 硫酸銅飽和溶液形成結晶受到許多因素影響，如溶液濃度、容器形狀、養晶方式、室溫以及加蓋方式…等。本實驗的操作室溫為19-22°C 室內通風環境，若在不同季節室溫下操作則會有不同的結果表現。初始濃度配置參考網路上硫酸銅養晶資料及硫酸銅溫度對溶解度關係圖。
2. 研究二中觀察圖表，發現不同質量的晶母在第一天至第三天成長趨勢最明顯，第三天後成長趨緩三個樣本的成長曲線有一致性，原因可能是室溫變化以及溶液蒸發情形影響。
3. 50ml的水量加入超過30g硫酸銅，在降至室溫的過程中就會有細小晶體析出，無法結成少量的中大型晶母，故不適合作為養晶的濃度。每日過濾再重新培養各溶液，除了目標晶母也會在底部結出少至多量的細小結晶，為影響實驗結果的一個額外變因。我們發現同一溶液若當天底部結晶量多，則隔天底部幾乎沒有結晶，呈現交替狀態。
4. 研究三(二)不同濃度溶液以同樣質量(0.04g)晶母做養晶，三天後質量與濃度並無正向關係。在降至室溫的過程，各溶液皆達到室溫下的飽和濃度，因此第一天結晶過濾後放入各晶母的溶液濃度差異不大，故三天後濃度最低的A溶液晶體質量反而最大。此實驗操作上的難為必需有足夠的晶母，並選取出質量恰相同樣本。若晶母質量較大則不太可能質量完全相同(小數下兩位)，故只能選取小數下兩位質量的晶母，也是造成實驗誤差的原因。
5. 研究四的實驗目標為研究F、G、H、I、J溶液五天後養晶結果，第一天選取晶母為形狀較規則且結晶較大一至兩個。此研究具有數個操作變因，目的主要在同時呈現比較相同條件下五個不同溶液的結果，並以養出形狀及大小最佳的結晶為目標。
6. 利用蒸發結晶法刮除蒸發皿上結晶時必須使用刮勺並戴手套，實驗過程徒手接觸尖銳細小結晶會割傷皮膚，這可能是因為硫酸銅結晶硬度較大。我們在硫酸銅結晶乾燥的過程中發現一個有趣的現象：在乾燥之後，硫酸銅晶體爬會滿整個蒸發皿，甚至延伸到桌面上。如果蒸發皿下方有鋪紙張，硫酸銅結晶甚至會延伸到紙張上方。於是我們嘗試以濾紙作上蓋進行養晶，靜置十天後濾紙上方布滿晶體(濾紙並未接觸溶液)，而液面雖已低於培養的結晶，但結晶仍以相似形狀繼續成長(也就是液面以上的部分仍繼續結晶)。由於這個現象非本次探討主題，故僅作為記錄不再深入研究。



- 7.操作熱冰實驗我們發現幾個容易導致實驗失敗的原因: (1)以冰浴法快速降溫 (2)操作過程若杯壁內部沾附少許溶液產生細小結晶，傾倒時溶液接觸細小結晶易導致實驗失敗 (3)濃度高且少量的溶液加熱過久或溫度過高導致水分蒸發，易在冷卻過程中就會結晶 (4)將已冷卻的過飽和溶液倒入玻璃容器中容易因接觸玻璃溶液突然降溫而產生結晶。
8. 以下做法可提高熱冰操做成功率: (1)準備另一個乾淨的燒杯 (2)以小火溶解三合水醋酸鈉過飽和溶液並在溶解後趁熱從中央倒入另一個容器(不可沿杯壁) (3)馬上蓋上錶玻璃靜置至室溫 (4)耐熱塑膠容器不易使溶液降溫，較玻璃容器佳。在操作實驗的過程中，我們發現高濃度的過飽和溶液表面易形成類似結晶的薄膜，但不會導致提早結晶。
- 9.研究七的熱冰鐘乳石實驗我們發現：水量越多溶液越穩定，不易提早結晶，但鐘乳石質地也越鬆軟而容易倒塌。比較(一)(二)的結果我們發現，相同濃度下質量加倍，表現結果並不完全相同。可能原因是在冷卻過程中會有水分蒸發，而溶液量少時蒸發水量佔整體比例較大。故操作熱冰鐘乳石時，若要表現出相同的結果，多量(醋酸鈉40g以上)的水分比例較低。
10. 研究八將50g醋酸鈉分別加入5、10、15、20、25g水，加熱融化形成A、B、C、D、E飽和溶液置於燒杯中測溫度變化，前30秒溫度最高為B溶液，升溫最快為A溶液，30秒後A溶液溫度超過B溶液，2分鐘末呈現濃度越高溫度越高情形。分析60分鐘內降溫的線圖，發現B溶液降溫最慢，末溫最高，保溫效果最佳。而A溶液降溫快，在10分鐘後溫度低於B溶液，在40分鐘後溫度低於C溶液，而度最低的E溶液則在40分之後溫度略為上升並高於D溶液，這樣的結果與水的比熱大，升溫較慢，保溫效果較佳，有一定程度的關係。
11. 100g醋酸鈉分別加入10、15、20、25、30g 水，加熱融化形成飽和溶液F、G、H、I、J置於密封夾鏈袋中，測量溫度變化。分析曲線，發現個溶液升降溫情形與濃度呈現正相關的狀況，而且走向十分一致，跟使用燒杯測量溫度結果不同。可能原因為使用密封夾鏈袋減少了水分蒸發，且質量放大為兩倍，使過程中水的蒸散影響較小。其中F溶液最高溫為52℃，最慢開始降溫(25分)，F、G溶液結晶後質地都十分堅硬且溫度過高，不適合做為暖暖包，H、I的最高溫及保溫效果較適合作為暖暖包，I溶液因溫度過低，故亦不適合。
12. 使用溶液F、G、H、I、J製作熱冰鐘乳石，其中F質地堅硬，在溶液質量大時可做出非常高聳的成品。G與F類似，惟可延伸高度較低。H的成品含少量水，結構亦穩固，但無法向上延伸太多，超過一定高度之後因鐘乳石內部含水，故容易倒塌。I質地過軟雖可向上延伸但高度較低，J則完全癱軟不成形。故適合作為熱冰鐘乳石的為F、G、H。

13. 綜合討論11跟12，我們選定濃度100g醋酸鈉加入20g水，配合不易導致結晶的加蓋塑膠杯設計出熱冰操作組(適用於室溫19-22°C的室內環境)。在重複使用的過程中，須注意冷卻時盡量將袋內空氣排出，並避免加熱時水分由夾鏈袋口進入導致濃度降低。如此可達到永續使用減少浪費。

柒、結論

以下結論在室溫19-22°C的室內環境中操作實驗探討獲得:

1. 以培養皿製作硫酸銅晶母，相同濃度下溶液量較少(淺)者形成較細碎的結晶，溶液量越多(深)產生的晶母越大。在同樣的溶液體積下，培養皿及量筒較易產生結晶，使用燒杯較不易結晶。
2. 不同質量的硫酸銅結晶，在同濃度、同體積、同表面積的飽和溶液中，有趨勢相似的質量成長曲線。
3. 取 20、25、30、35、40g 硫酸銅加入加 50mL 熱水中分別配製為 A、B、C、D、E 飽和溶液，靜置一天濾除結晶後，以0.04g晶母培養三天，得知最後結晶質量與溶液起始濃度並沒有正相關的現象。最後質量A>E>B>C、D。
4. 取21、22、23、24、25g硫酸銅置入分別50mL熱水中配製為F、G、H、I、J溶液，最後結果以H、I溶液最佳，兼顧美觀及質量。
5. 大小不同的平行四邊形的硫酸銅結晶角度以外觀分析，角度有非常大的的相似性，邊長的相似性則較低。
6. 以20g醋酸鈉製作熱冰鐘乳石適用濃度為加入2-4g水，以40g醋酸鈉製作熱冰鐘乳石適用濃度為加入4-6g水。若要製作出非常高的鐘乳石，適用濃度為醋酸鈉:水=10:1。
7. 使用100g的醋酸鈉製作暖暖包，適用濃度為加入20g及25g水。使用同樣的裝置加熱溶化後操作熱冰鐘乳石，適用濃度為加入20g水。因此100g醋酸鈉加入20g水，為熱冰操作組的最佳濃度。

捌、參考資料及其他

林宏明(100年7月)·戰勝科展II-化學實驗的第一本書·台北市:貓頭鷹出版

施建輝(2014年8月16日)·硫酸銅晶體的結構探討·台灣化學教育網站·取自

<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=2796>

Zfang(2017年1月8日)·我的藍色寶石夢~硫酸銅結晶·Zfang的科學小玩意·取自

<http://n.sfs.tw/content/index/10573>

才疏學淺的才淺(2019年7月11日)·單晶硫酸銅晶體製作寶石一般的硫酸銅·youtube·取自

https://www.youtube.com/watch?v=PQr_3ZZ8E_Y&list=PLpp100gM6zS09B_R2cZUYFqhg5YPzy_pZT&index=4&t=0s

DIY bama(2016年8月31日)·DIY Crystal at home(2)-Copper(II)Sulfate·youtube·取

自<https://www.youtube.com/watch?v=k3nClG-DT7w>

TVBS News·(2015年6月27日)·科學不一樣/反覆製作過飽和溶液 「晶體」也能養

出來·youtube·取自<https://www.youtube.com/watch?v=tDr1AhHsUiE>

黃仔卿(2019年6月25日)·熱冰·youtube·取自

https://www.youtube.com/watch?v=XD8y0Jl3W0A&list=PLpp100gM6zS09B_R2cZUYFqhg5YPzy_pZT&index=10&t=0s

Edbscience(2012年10月19日)·DIY 暖包教學·youtube·取自

https://www.youtube.com/watch?v=rcna5D2uxcc&list=PLpp100gM6zS09B_R2cZUYFqhg5YPzy_pZT&index=6&t=70s

妞妞TV(2016年10月29日)·會發熱的冰!?神奇化學魔術!·youtube·取自

https://www.youtube.com/watch?v=jhvbw9jPAfw&list=PLpp100gM6zS09B_R2cZUYFqhg5YPzy_pZT&index=13&t=15s

維基百科(2013年2月22日)·乙酸鈉·維基百科網頁·取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B9%99%E9%85%B8%E9%92%A0>

維基百科(2020年1月24日)·五合水硫酸銅·維基百科網頁·取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BA%94%E6%B0%B4%E5%90%88%E7%A1%AB%E9%85%B8%E9%93%9C>