

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組化學科

040211

國立彰化女子高級中學

指導老師姓名

張國志

鄭茜如

作者姓名

賴佩婷

吳泓儀

陳涵瑜

張靜妮

壹、摘要

本研究以市售可重複使用熱敷包之結晶觸發與結晶成長為研究主體。由實驗推測此熱敷包中之醋酸鈉水溶液應為一過飽和之過冷溶液，以手折金屬片，可能因其裂隙釋出品種，使其結晶；同時溶液迅速轉變為固體並放熱。

實驗結果顯示，在結晶觸發及成長的過程中：(1) 醋酸鈉的濃度越高，越容易觸發結晶、結晶成長速率較快，且結晶後熱敷包升高至較高溫度。(2) 在熱敷包中添加醋酸鈉之同離子，發現較難觸發其結晶、結晶後溫度上升程度較低且結晶成長速率亦明顯減緩。(3) 在不同溫度下，嘗試觸發熱敷包結晶，發現高溫下極難觸發，在結晶成長過程中，在 5~45°C 間以 25°C 時結晶成長速率最快。

貳、研究動機

在一寒流來襲的日子，我向同學借了一個熱敷包來驅寒。只要折此熱敷包中的金屬片，內含液體立刻結晶成白色固體，這讓我們感到好奇。化學老師說其溶液為過飽和溶液，折金屬片會使溶液結晶並放熱。

過飽和液體，應是極不穩定。可是此熱敷包，不管怎麼搖晃，都不會結晶。要讓溶液結晶只有折金屬片。而且只要醋酸鈉過飽和的部分析出，讓溶液由過飽和變為飽和，應該就不會再繼續結晶；為什麼熱敷包結晶時是整包都結晶呢？

出於好奇心的驅使，我們開始進行熱敷包的研究。

參、研究目的

- (一) 嘗試以實驗室藥品自製熱敷包。
- (二) 討論熱敷包中金屬片造成結晶的原因。
- (三) 影響結晶觸發的各種因素探討。
- (四) 影響結晶成長的各種因素探討。

肆、器材 設備、藥品

一、器材、設備、藥品

CH₃COONa·3H₂O、醋酸銨、硝酸鈉、乾冰、丙酮、食鹽、銅片、鋅片、砂紙 (800cω、600cω、400cω、240cω)、AB 膠、市售熱敷包、絕熱裝置、封口機、厚 PE 袋 (15.5×11cm)、酒精

溫度計、熱電偶溫度計、照度計、日光檯燈、40W 燈泡、自製壓克力盒 (17.5×10×13.5cm) 、保麗龍球、電子天平、恆溫振盪槽、各式髮夾、燒杯、試管 (粗試管：3×20cm、細試管：1.3×10cm) 、瓦斯爐及瓦斯瓶、錐形瓶、PE 膜、碼錶、解剖顯微鏡



圖 1 照度計

伍. 研究過程及方法

第一部份：自製熱敷包 (並與市售熱敷包比較)

1. 以 $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 配製成 54.82 % (w/w) 的過飽和醋酸鈉溶液。
2. 以無水醋酸鈉配製成 54.82 % (w/w) 的過飽和醋酸鈉溶液。
3. 市售熱敷包內的溶液取出。
4. 將上述三溶液分別裝入三 PE 袋中。
5. 取出三個市售熱敷包中的金屬片，分別放入上述袋中，以封口機封住袋口，製成三種熱敷包。
6. 將熱敷包於沸水中加熱 20 分鐘後，置於 25°C 的恆溫槽中降溫至達熱平衡後取出。
7. 折金屬片，使上述三種熱敷包結晶。並觀察比較其溶液與結晶之過程、形態、顏色。

第二部分：金屬片觸發熱敷包結晶原因的探討

一、金屬片的觀察

取出市售熱敷包中之金屬片，用肉眼及解剖顯微鏡仔細觀察。

二、震動的影響

(一) 不同頻率震盪是否觸發熱敷包結晶

1. 自製熱敷包 (含 54.82 % 的醋酸鈉溶液 20g) ，於室溫以下列方法嘗試觸發結晶：(1) 用手大力搖晃熱敷包、(2) 於恆溫振盪槽中以振盪頻率 0、50、100、200 rpm 振動、(3) 置於 3MHz 超音波中。

- 2.分別在 30、40、50°C 下以手搖晃 60.29 % (w/w) 的熱敷包。
3. 觀察 1 分鐘內是否發生結晶。

(二) 扳動髮夾是否觸發熱敷包結晶

以各種可彈式的髮夾取代金屬片自製熱敷包 (含 54.82 % 的醋酸鈉溶液 20g) 扳動髮夾並觀察 10 秒鐘內是否發生結晶。

三、金屬片表面裂隙或突起對結晶的影響

分別以(一)被磨去一半表面積、全部之表面積的金屬片；(二)砂紙磨出刮痕的方形銅片、鋅片及鐵片；(三)對折的砂紙 (800 μ m、600 μ m、400 μ m、240 μ m) (四)以 AB 膠封住裂隙/突起處之金屬片，取代市售熱敷包中的金屬片，觀察 10 秒鐘內是否發生結晶。

第三部分：影響結晶觸發的各項因素探討。

一、結晶過程中溫度的變化

1. 將 54.82 % (w/w) 的醋酸鈉溶液 5ml 倒入試管中，將試管上方以保鮮膜蓋後，於沸水中隔水加熱至完全變為液態後取出。
2. 在試管內插入電熱偶溫度計後封住管口，將此試管放入一粗試管中。
3. 以丙酮加乾冰做為冷劑置於一燒杯中 (過程中保持冷劑溫度維持-68°C)，並將步驟 2 中裝置放入，此時醋酸鈉溶液的液面高度應低於燒杯中冷劑的高度。
4. 每隔 30 秒測定一次醋酸鈉溶液的溫度。

二、影響金屬片觸發結晶的各項因素探討

- (一) 以 54.82 % (w/w) 的醋酸鈉溶液 20g 自製熱敷包，於沸水中加熱後降溫至 25°C，折金屬片，觀察熱敷包內的醋酸鈉溶液在 10 秒鐘內是否發生結晶。重複 30 次後，記錄在此 30 次中溶液結晶的次數。
- (二) 改變變因：(1)溫度：在沸水中加熱後分別降溫至 25、35、45、55、65°C (2)濃度：將醋酸鈉溶液濃度分別改為 57.28、51.25、45.22、39.19% (3)添加其他離子化合物：在醋酸鈉溶液中分別添加不同量之硝酸鈉、醋酸銨。

第四部分：影響熱敷包溶液結晶成長之變因探討

一、結晶成長速率與各項變因的關係

- (一) 以 54.82 % (w/w) 的醋酸鈉溶液 80ml 自製熱敷包，於沸水中加熱後降溫至 25°C，觸發結晶後，測量經過 PE 袋對角線所需的時間。
- (二) 變變因：(1)溫度：在沸水中加熱後分別降溫至 5、15、25、35、45°C (2)濃度：醋酸鈉溶液濃度改為 57.28、51.25、45.22、39.19% 及(3)添加其他離子化合物：在醋酸鈉溶液中分別添加不同量之硝酸鈉、醋酸銨。

二、結晶後上升之最高溫度

(一) 溫度測量儀器之設計。

1. 將一卡計之銅杯及頂蓋卸除、留下木殼、保麗龍部分 (如下圖 a 所示)。
2. 將一球形保麗龍切割出頂蓋的部分 (如下圖 a 所示)。
3. 將兩個小型保利龍杯疊在一起後 (如下圖 b 所示)，置入卡計中 (如下圖 c 所示)。
4. 使用時，將藥品置入保麗龍杯中，蓋上保麗龍頂蓋、木蓋、並插入溫度計 (如下圖 d)。

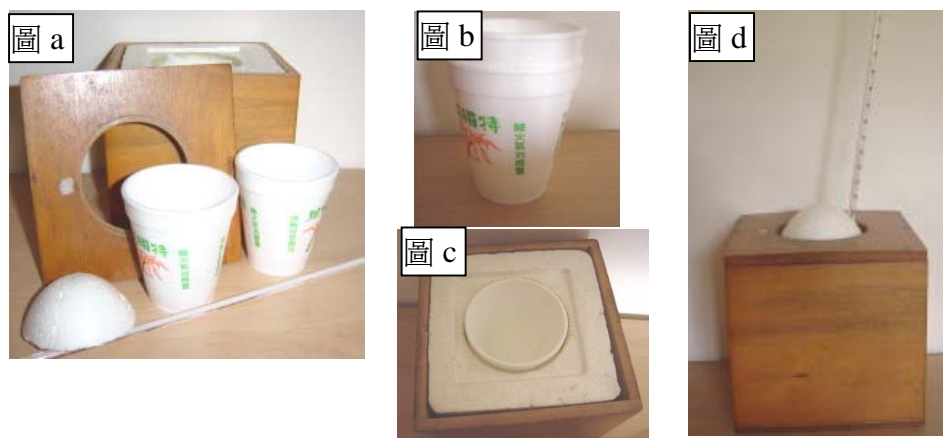


圖 2 絕熱裝置

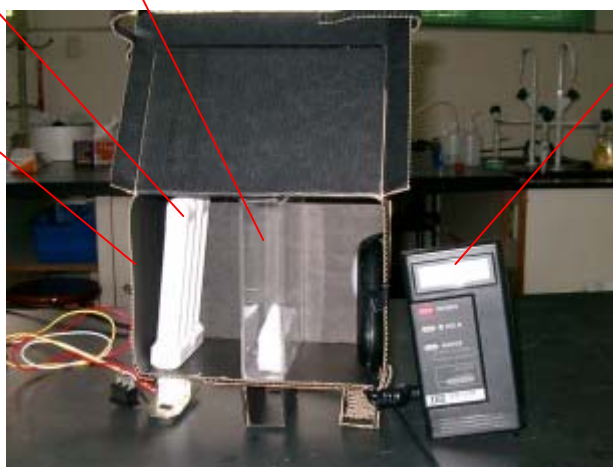
- (二) 分別以(1)濃度 57.28、51.25、45.22、39.19% 之醋酸鈉溶液 80 g；(2)於 54.82 %之醋酸鈉溶液中分別添加不同量之硝酸鈉、醋酸銨。觸發結晶，記錄結晶後上升之最高溫度。

第五部分：結晶過程照度的變化

一、照度測量儀器之設計

甲、設計裝置一。

乙、分別將日光燈管、壓克力盒 (下面以保利龍塊墊高，方便樣品置入)、照度計置入自製暗箱中。如圖 3 所示。



丙、設計裝置二。如圖 4 所示將 40W 的燈泡、壓克力盒、照度計置於實驗桌下的櫃子中，人進入櫃子裡面 (櫃子作為一暗室)，測定醋酸鈉結晶過程中之照度變化圖。



圖 4 照度測定裝置二

二、醋酸鈉結晶生長過程的照度變化

- (一) 以 54.82 % 的醋酸鈉溶液 160 mL 自製熱敷包，於沸水中加熱後降溫至 25°C，觸發結晶，並測量結晶後每 5 秒之照度變化。
- (二) 改變變因：(1)溫度：在沸水中加熱後分別降溫至 5、25、35、45°C (2)濃度：將醋酸鈉溶液濃度分別改為 57.28、51.25、45.22、39.19% (3)添加其他離子化合物：在醋酸鈉溶液中分別添加不同量之硝酸鈉、醋酸銨。

陸、研究結果

第一部份：自製熱敷包 (並與市售熱敷包比較)



圖 5：自製熱敷包及過程中醋酸鈉溶液之變化



圖 6：市售熱敷包，結晶狀況

結果：

觀察結果	未結晶時		結晶時		
	溶液顏色	穩定性	結晶情形	形狀	顏色
市售熱敷包 & 以含結晶水醋酸鈉配製之熱敷包	無色透明	搖晃不結晶	以金屬片為中心，向外結晶	針狀	白色
以含無水醋酸鈉配製之熱敷包	淡黃色透明				

◎ 後續實驗選擇以 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 自製熱敷包。

一、第二部分：金屬片觸發熱敷包結晶原因的探討

金屬片的觀察

結果：

	型態	描述
1		形狀為：1.圓形 2.橢圓形 3.似長方狀的八角形
2		<p>相同點</p> <p>(a) 金屬片中心凹下，扳動時有清脆的金屬聲響。</p> <p>(b) 扳動金屬片，以金屬片為中心，向外結晶。</p>
3		<p>相異點</p> <p>(a) 其中圓形與八角形的兩面皆有完全相同之裂隙/突起；而橢圓形則為一面為突起、另一面為裂隙。</p> <p>(b) 其中圓形與八角形的金屬片扳動後，金屬片翻面</p> <p></p> <p>而橢圓形的金屬片扳動後，又會彈回原狀</p> <p></p>

◎ 藉由觀察由金屬片，我們推測其造成結晶的因素可能有二：(1) 扳動造成之震動，使其結晶 (2) 裂隙/突起的影響使其結晶。依此觀察設計後續實驗。

(一) 不同頻率震盪是否觸發熱敷包結晶

結果：

各種震盪 機制	以手搖晃	振盪恆溫槽震盪頻率 (rpm)			超音波 (3MHz)
		50	100	200	
結晶情形	均不結晶				

(二) 扳動髮夾是否觸發熱敷包結晶

結果：均無法造成溶液結晶



圖 7：裝入熱敷包中之各式可彈式髮夾



圖 8：裝入髮夾之熱敷包

(三) 以手搖晃 60.29 % (w/w) 的熱敷包

想法：網路上資料提及，搖晃是觸發結晶的重要關鍵，但我們怎麼搖晃都不曾結晶。懷疑可能是溫度或濃度所造成的偏差，故將熱敷包配製成最濃的濃度(將 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 直接隔水加熱溶解)，以手大力搖晃一分鐘，觀察是否結晶。

結果：

溫度	30°C	40°C	50°C
重複3次中結晶次數	3次		

◎ 與實驗(一)比較，發現於高濃度下搖晃會造成溶液結晶；且溫度是影響搖晃是否結晶的重要因素。

三、金屬片表面裂隙或突起對結晶的影響

(一) 以砂紙磨金屬片是否觸發熱敷包結晶

結果：

金屬片	外觀 (磨過之處)	室溫下 (約 25°C) 以手輕搓金屬片
未磨	光滑	不結晶
磨一半	粗糙較不光滑	結晶
磨全部		



圖 9：以砂紙磨過之金屬片放大圖

- ◎ 砂紙無法將金屬片上突起/裂隙完全磨平。尤其是裂隙，我們幾乎要將金屬片磨穿了，裂隙的痕跡仍在，故無法評估突起/裂隙是否與結晶有關（如上圖 9）。
- ◎ 磨過的金屬片容易造成醋酸鈉溶液結晶，故表面的不光滑應與結晶有關。

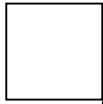
(二) 以砂紙製造各種材質金屬之裂隙/突起，是否觸發熱敷包結晶

想法：為確認是否表面不光滑即可造成結晶，改為不同材質金屬片，觀察是否亦會觸發熱敷包結晶。

結果：

	以手磨擦金屬片刮痕處	以手磨擦金屬片尖角處
銅片	不結晶	結晶
鋅片		
鐵片		

- ◎ 以手磨擦銅、鋅、鐵金屬片僅在磨擦金屬片尖角處時會產生結晶。



尖角處

(三) 以砂紙取代金屬片模擬裂隙/突起，是否觸發熱敷包結晶

結果：

將砂紙對折後互磨	800cω	600cω	400cω	240cω
自製熱敷包	不結晶			



圖 10：將砂紙裝入熱敷包中互磨

圖 11：各式小珠子

- ◎ 推測不平整的表面是觸發結晶的重要因素。但我們設計的數種試驗，包括磨金屬片、以砂紙取代，甚至也曾於熱敷包中丟擲入各種形狀、型態的珠子，嘗試觸發結晶。但都無法歸結出何種裂隙/突起可能產生結晶。可能需將這些觸發結晶的不平整面以電子顯微鏡加以詳細觀察每一個不平整面，才能得知。

(四) 以黏著劑封住金屬片之裂隙/突起處觀察此金屬片是否觸發熱敷包結晶

想法：因無法磨平金屬片，故嘗試將金屬片上突起/裂隙以 AB 膠塗佈覆蓋。



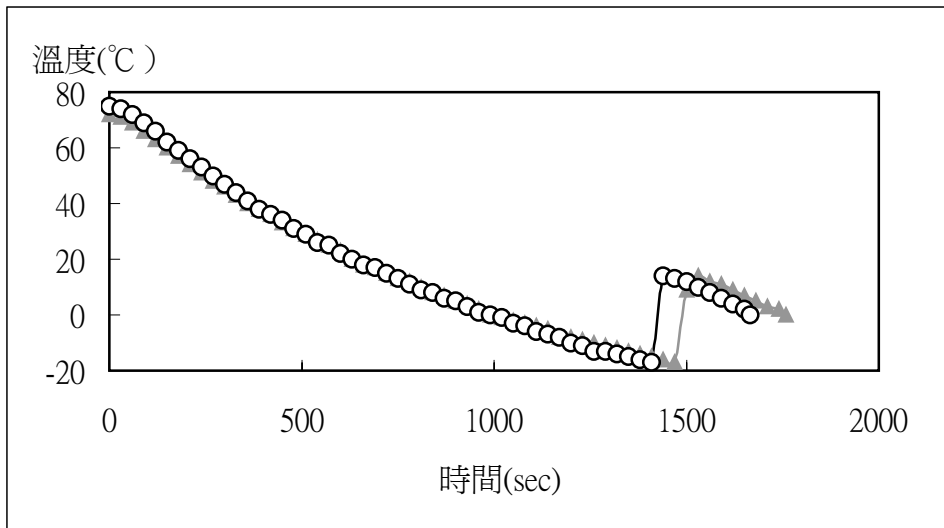
圖 12 以 AB 膠粘著金屬片的表面

結果：

- ◎ 無論金屬片怎麼折，熱敷包皆不結晶。故突起/裂隙在觸發結晶的過程中，應扮演了關鍵性的角色。

第三部分：影響結晶觸發的各項因素探討

一、結晶過程中溫度的變化。



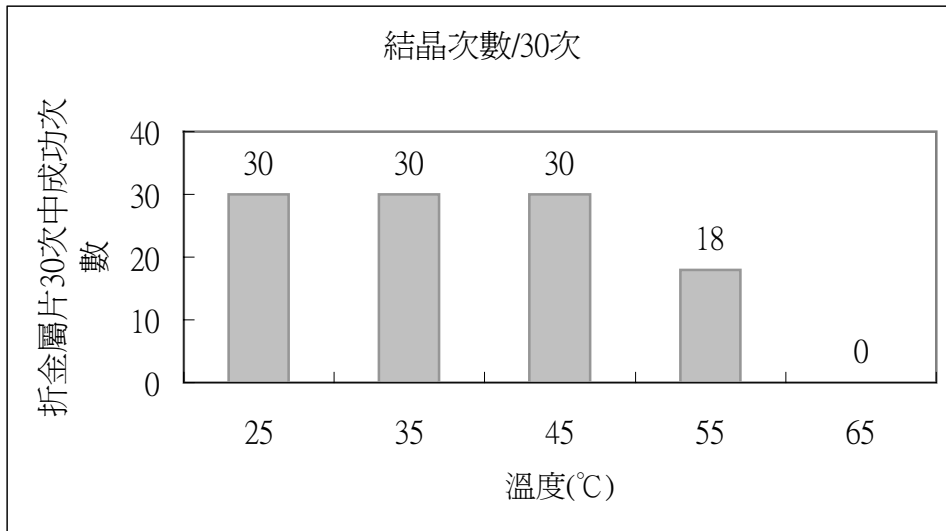
- ◎ 將醋酸鈉溶降溫，觀察得隨時間變化圖形如上圖所示；當溫度降至-17°C，溶液即發生結晶現象，同時，溫度迅速上升；其圖形與過冷液體溫度上升的圖形吻合。

三、影響金屬片觸發結晶的各項因素探討

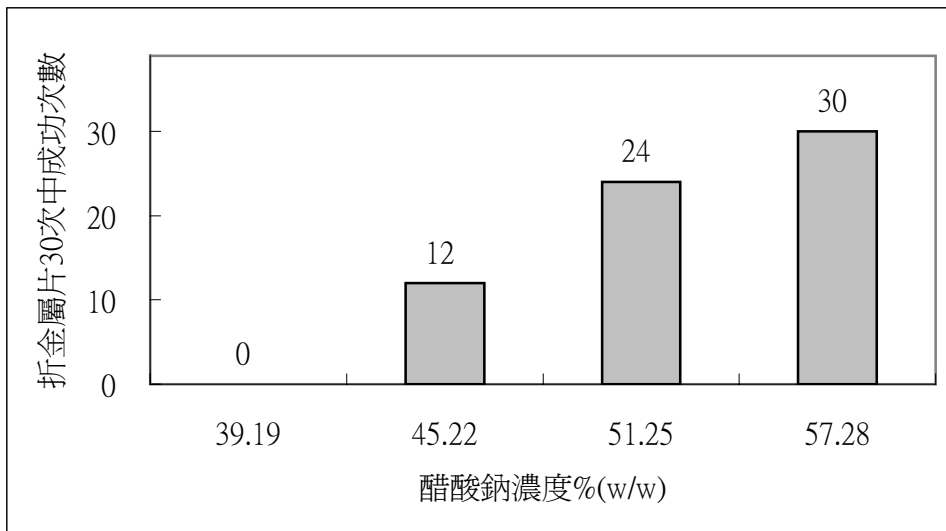
(一) 溫度

	高溫 (約 80°C)	室溫 (約 25°C)	冷藏庫 (約 10°C)	冷凍庫 (約 -10°C)
以手輕搓 金屬片	不結晶	不結晶	結晶	結晶
折金屬片		結晶		

◎我們將熱敷包於設定之溫度下平衡後，折金屬片 30 次，以熱敷包結晶的次數，作為觸發結晶難易度的指標。



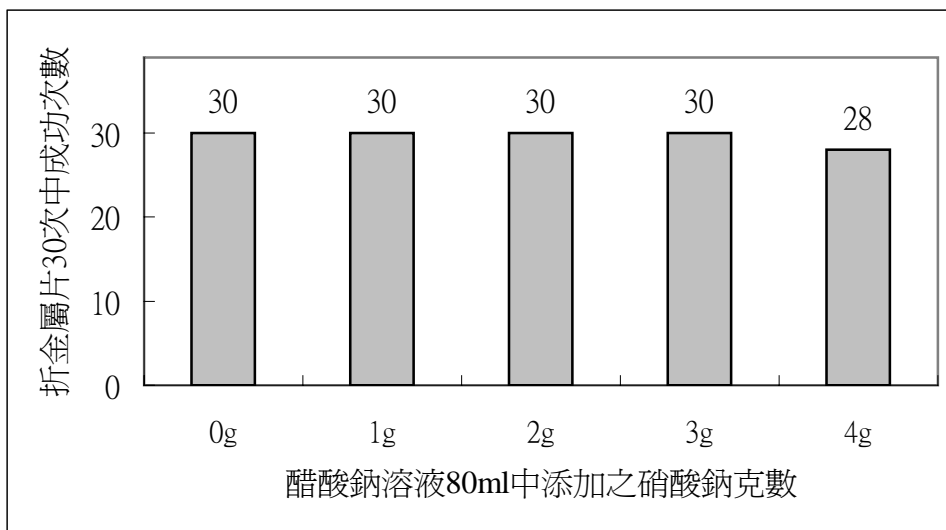
(二) 醋酸鈉濃度



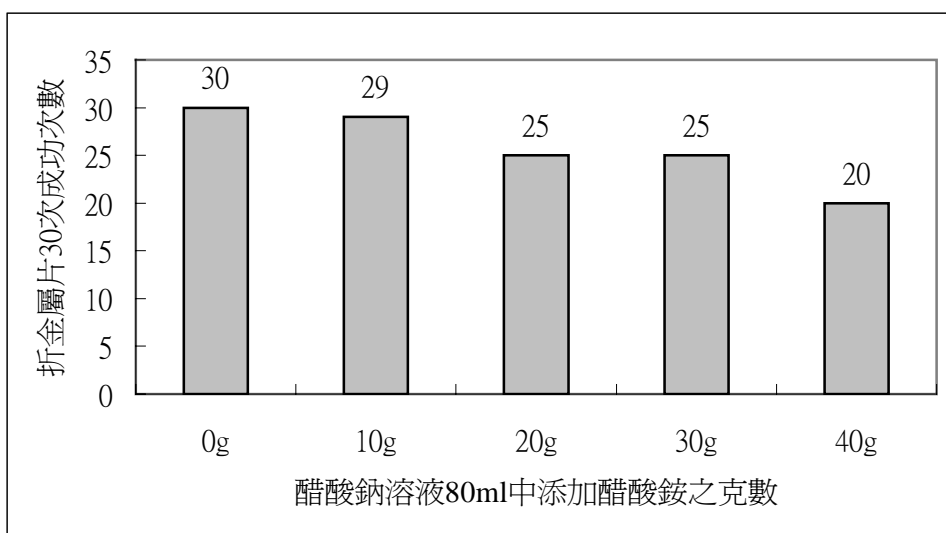
◎濃度越高的醋酸鈉溶液黏稠度越大，且越容易觸發結晶，結晶硬度亦較高。

(三) 添加其他離子化合物對觸發結晶的影響

(A) 添加硝酸鈉



(B) 添加醋酸銨



第四部分：影響熱敷包溶液結晶成長之變因探討

一、對結晶成長速率的影響

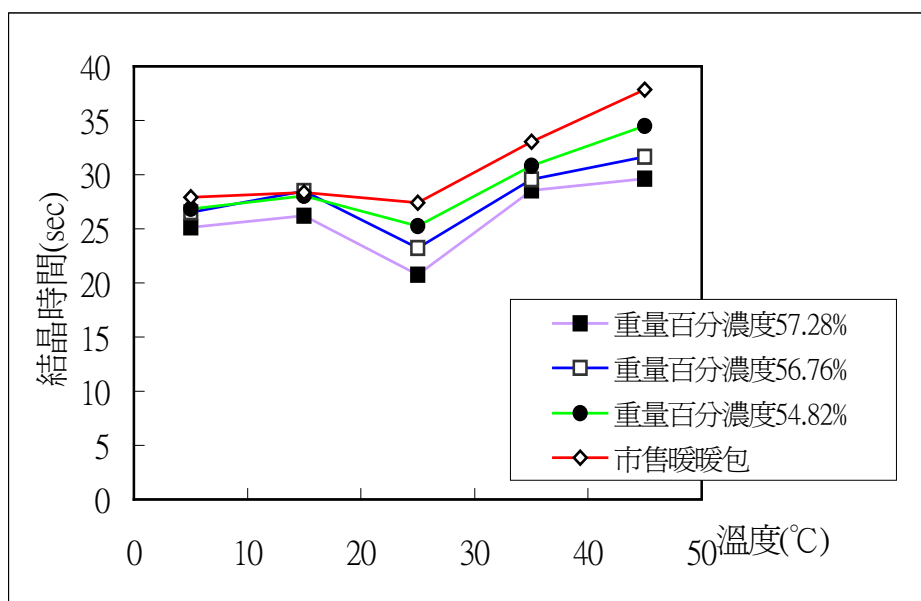
(一) 溫度

過程：



圖 13：結晶成長速率的測定

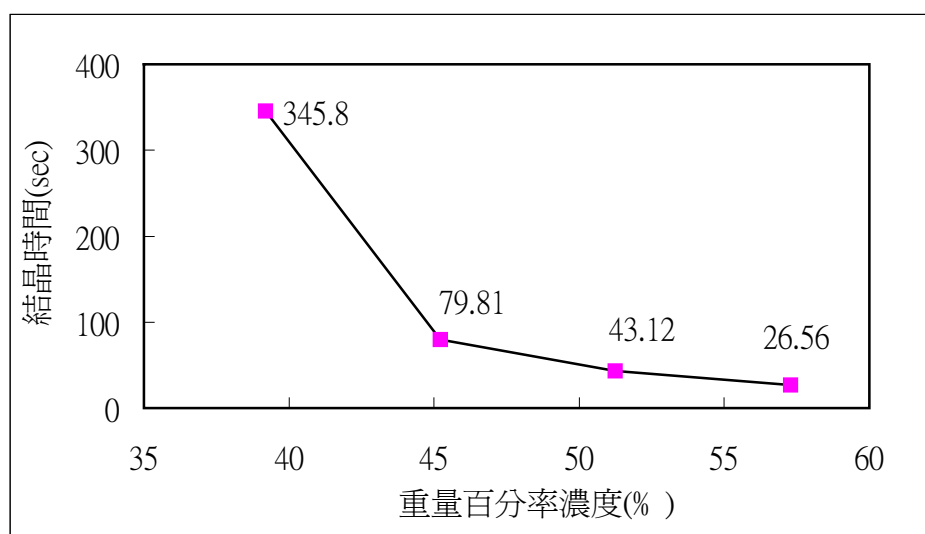
結果：



◎ 為了確認上述趨勢，以不同濃度醋酸鈉溶液與市售熱敷包做重複確認，發現趨勢完全相同。

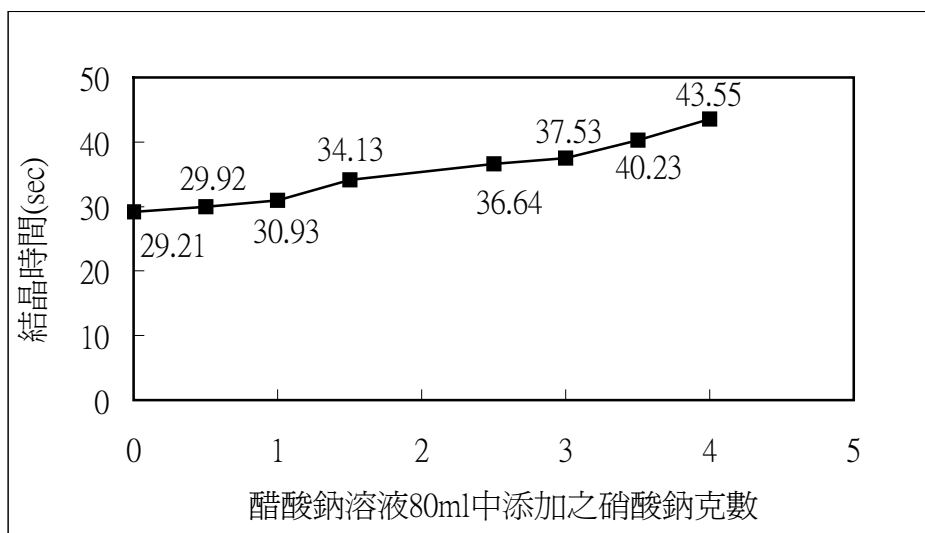
(二) 濃度

結果：

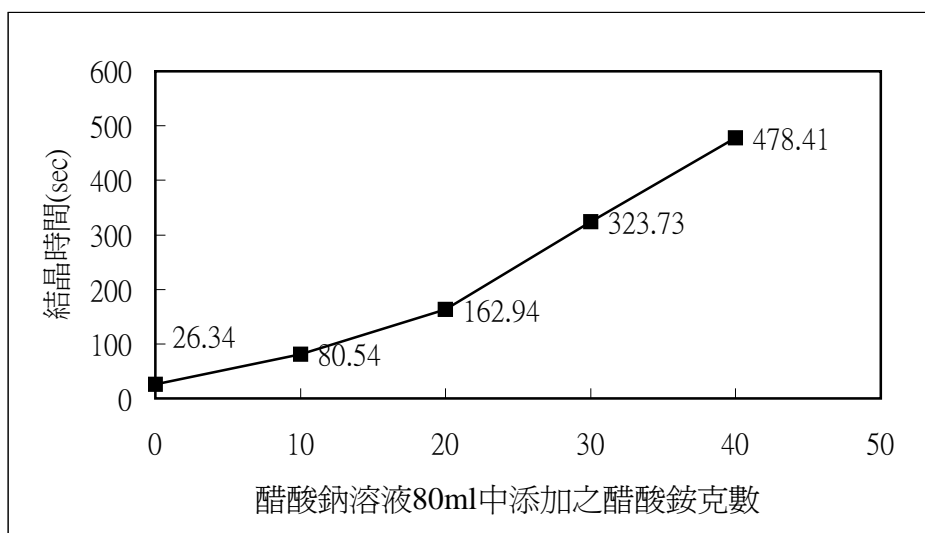


(三) 添加其他離子化合物

(A) 添加硝酸鈉

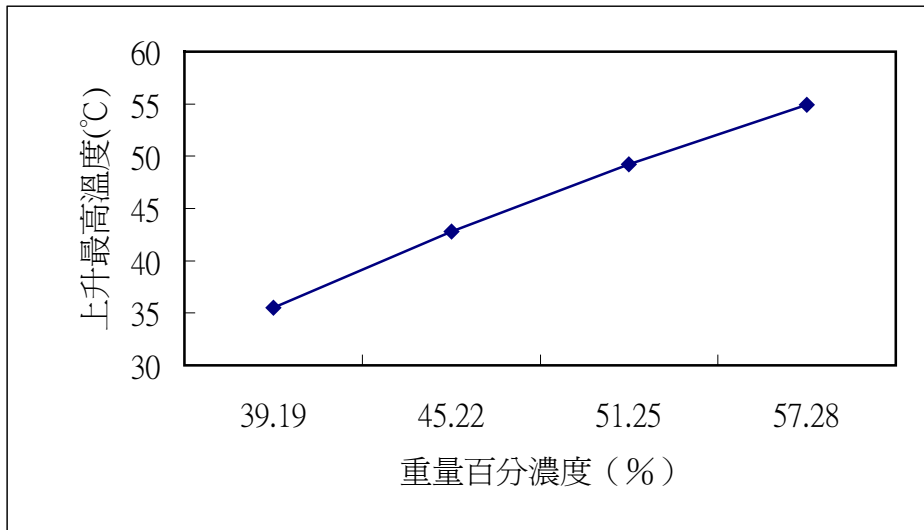


(B) 添加醋酸銨。



二、對結晶成長速率的影響

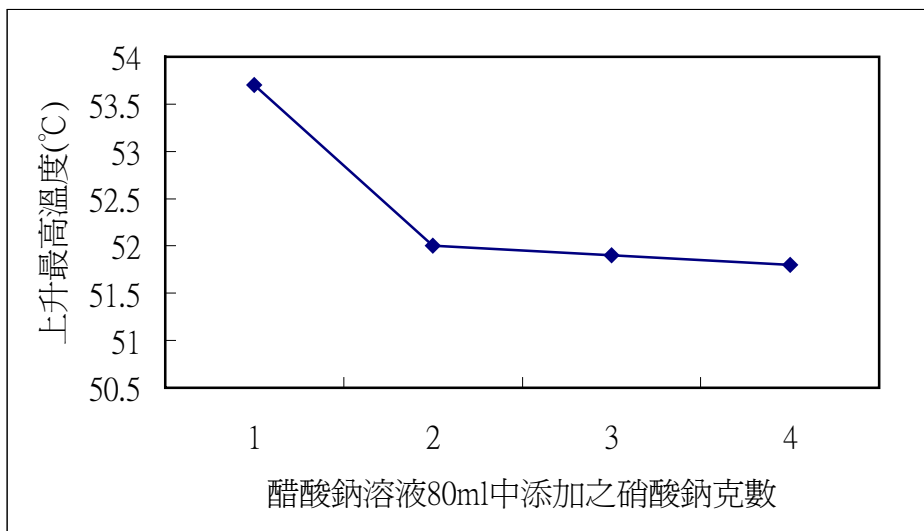
(一) 醋酸鈉濃度



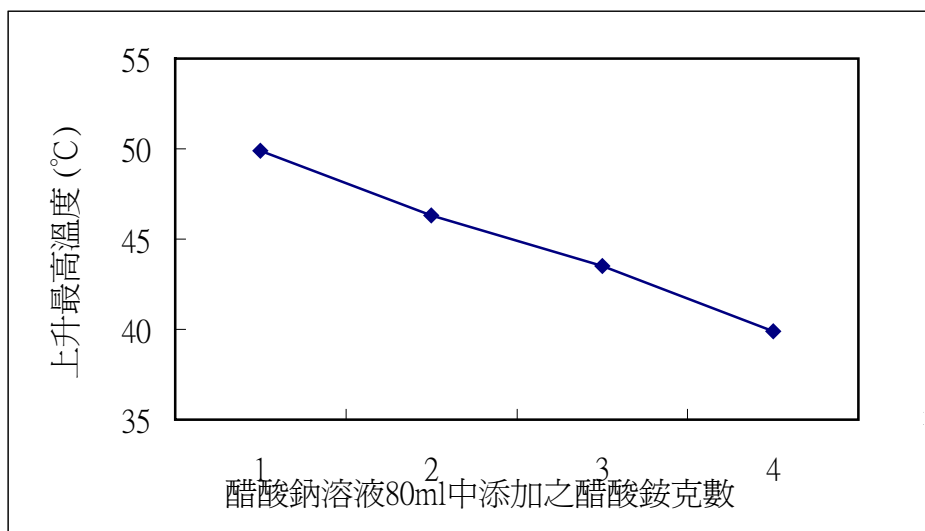
◎ 樣品濃度越濃，溫度上升較多。可能是因為其中所含之醋酸鈉莫耳數較多，而放出較多熱量。

(一) 添加其他離子化合物

(A) 添加硝酸鈉



(B) 添加醋酸銨

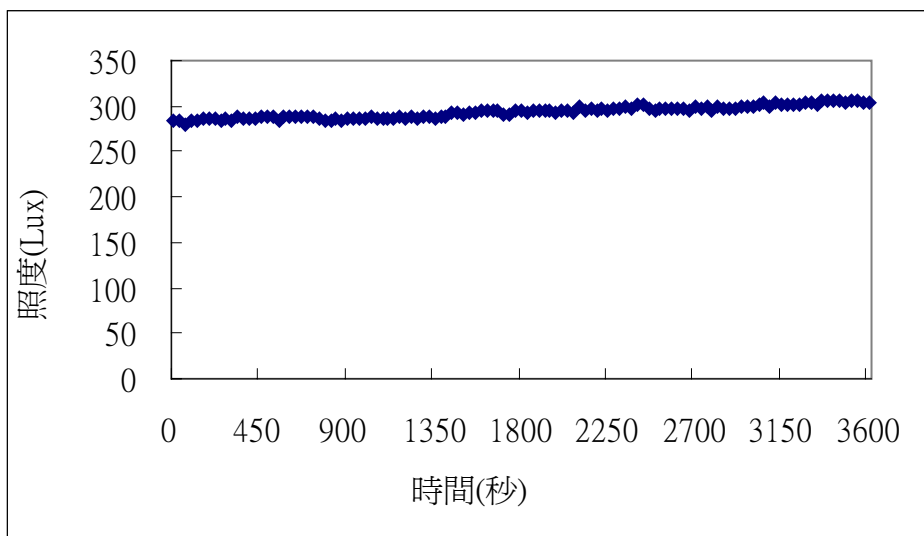


- ◎ 添加硝酸鈉、醋酸鉍於醋酸鈉溶液中，添加量越多，則熱敷包上升溫度較少，表示結晶量較少。
- ◎ 硝酸鈉及醋酸鉍之添加可能抑制熱敷包之結晶。

第五部分：結晶過程照度的變化

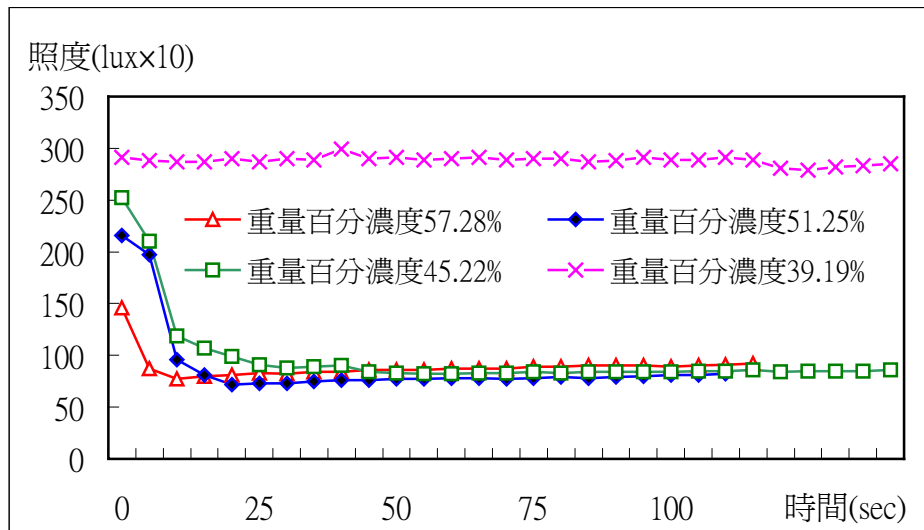
一、照度測量儀器之設計

- ◎ 使用日光燈為光源，使得照度數值在測定過程中會不斷大幅跳動，改以燈泡代替日光燈作為光源後，照度數值僅微幅上升。



二、不同濃度之醋酸鈉結晶過程的照度變化

結果：



觀察：

◎ 以肉眼和照度計觀察醋酸鈉結晶過程的外觀和數值變化。整理如下：

順序	操作與觀察	照度變化
1	溶液為透明無色液體→照度極大	照大極大，並維持穩定
2	丟晶種使熱敷包由晶種處開始結晶	照度急速下降
3	整個溶液結晶，呈乳白色	照度極小，並維持穩定
4	放置數星期後，結晶逐漸變大且漸趨完全，乳白色結晶變較透明，如下圖	照度值微緩上升

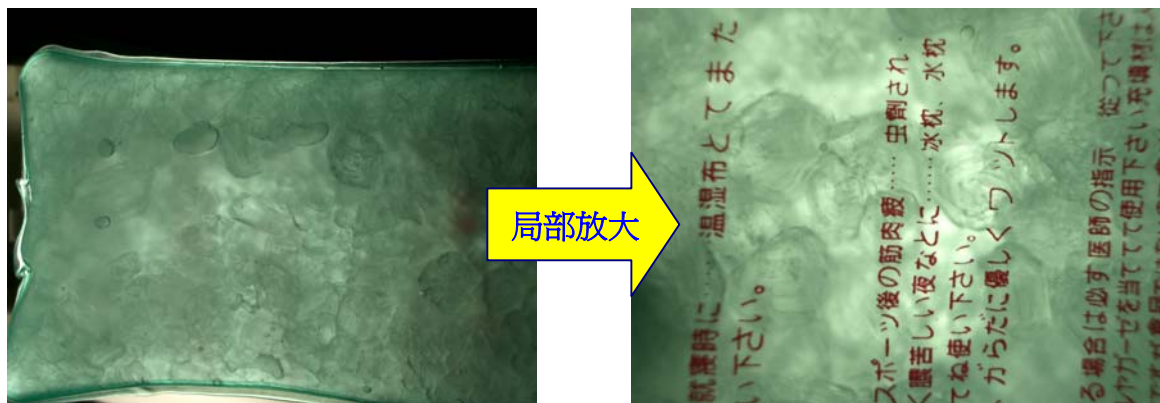
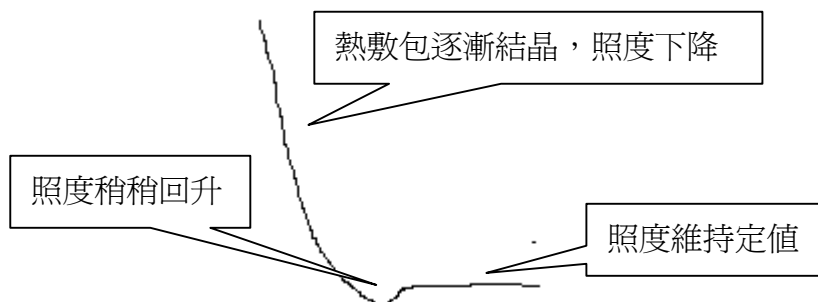
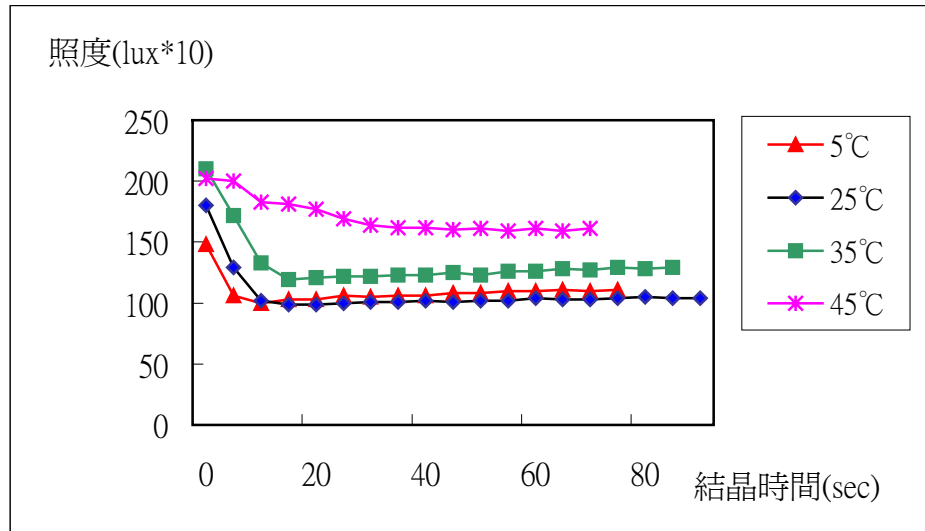


圖 14：放置數星期後，市售熱敷包結晶變大

- ◎ 各濃度之熱敷包完全結晶後，照度均相同，代表結晶之程度沒有太大的差異。
- ◎ 仔細觀察各濃度之照度值，發現在結晶後，照度逐漸下降後，會非常微小的上升一小段數值，方維持定值。其趨勢如下圖所示。



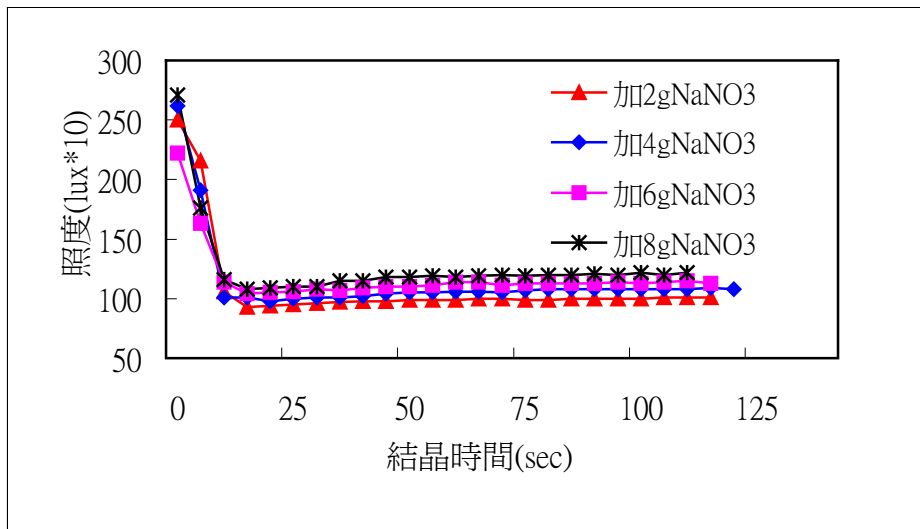
三、不同溫度下醋酸鈉溶液結晶過程的照度變化



◎ 溫度越高，照度值由下降至較穩定所需的時間越長。

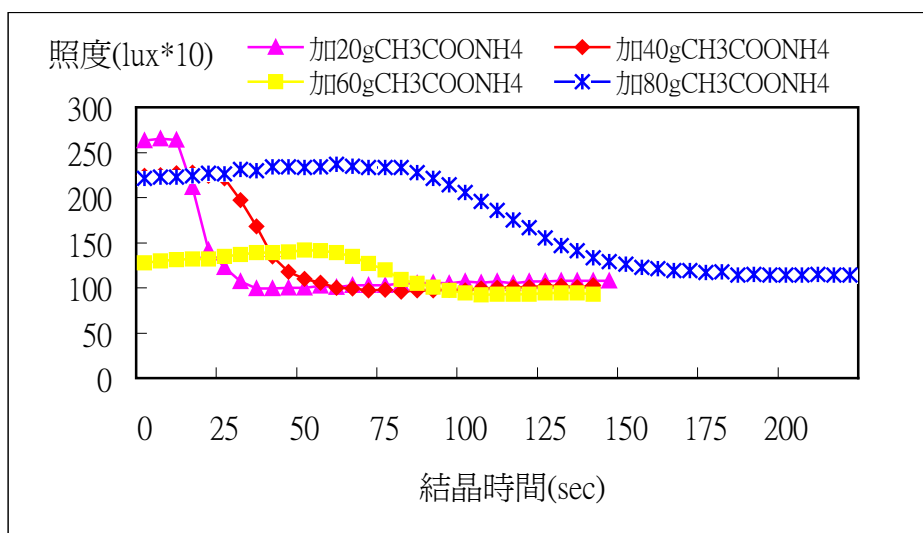
四、添加其他離子化合物對結晶過程照度變化的影響

(A) 添加硝酸鈉



◎ 硝酸鈉的添加對照度影響較小。

(B) 添加醋酸銨



- ◎ 醋酸銨添加越多，在丟晶種後，照度值經較長時間才開始下降，且降至較穩定的時間較長。
- ◎ 承上，丟晶種後，晶體須先成長一小段，才到達照度計量測範圍。故時間越長，代表晶體成長速率越慢。

柒、討論

(一) 實驗設計部分：

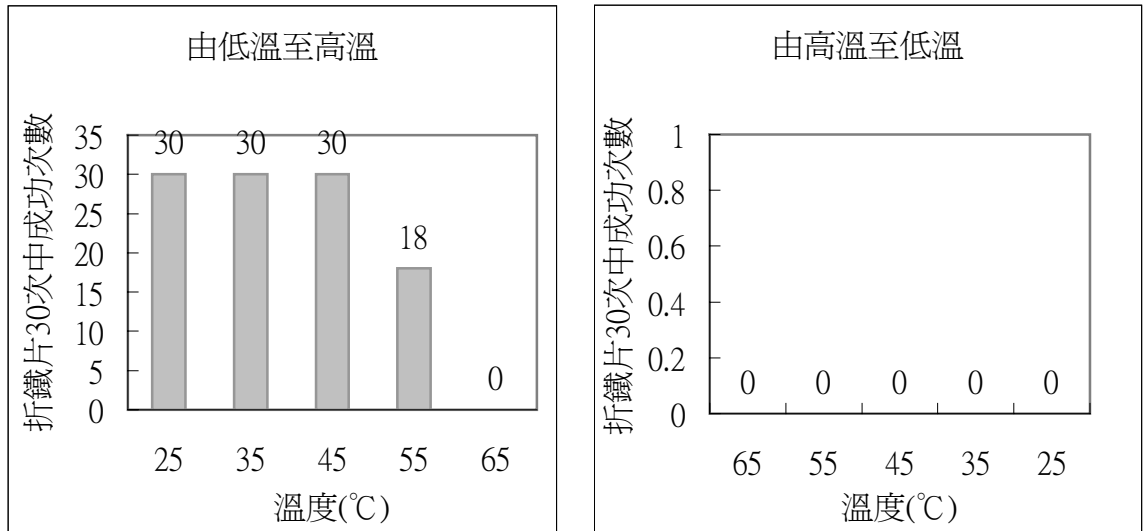
起初實驗以 $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 與蒸餾水的質量比為 19:1、16:1、13:1、10:1、10:3、10:6 來進行各種不同濃度的醋酸鈉溶液之相關實驗，但因其重量百分濃度為 57.28、56.76、56、54.82、46.38、35.47%，相差不大，故改以 $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 與蒸餾水重量比 95:5、85:15、75:25、65:35（其重量百分濃度為 57.28、51.25、45.22、39.19%）。

(二) 金屬片如何觸發結晶：

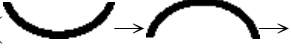

1. 在進行此項研究前，我們找了很多的文獻。每一篇文獻對於為什麼熱敷包折金屬片後會產生結晶現象的解釋都不同。
2. 在進行過實驗後，我們認為震動導致結晶及表面突起/裂隙作為異質成核的位置而使結晶生成的可能性較小。
3. 下面幾個實驗使我們認為裂隙放出晶種較有可能是熱敷包結晶觸發的主因。
 - i. 將金屬片從市售熱敷包中取出後，在熱水中反覆扳折、沖洗金屬片後再放入自製熱敷包中，即使在常溫下折金屬片亦極難使溶液結晶。若一旦金屬片觸使溶液結晶後，則在常溫下，非常容易使其結晶。
→推測一旦溶液產生結晶，金屬片的裂縫即卡有晶種；以熱水反覆扳動沖洗金屬片，則裂縫中的晶種將釋出溶解。
 - ii. 多次只摳金屬片的裂痕處，便會造成溶液結晶。
→摳金屬片的同時，使金屬片稍稍變形，釋出品種。
 - iii. 若將裂痕處以 AB 膠封住，則無論如何折金屬片不會產生結晶。

→無法釋出品種。

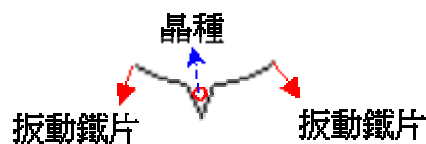
- iv. 測結晶難易度時發現，若從 65°C 依序往下做至 25°C，發現各個溫度結晶的機率為零，到室溫 25°C 仍不結晶，而從 25°C 依序往上做時，除了 65°C 不結晶外其他溫度都會結晶。



→高溫下迫使裂隙中晶種溶解，故無法觸發結晶。

- v. 在觀察金屬橢圓形的金屬片，折完後會彈回原狀 ()，將裂隙的那一面將封住。圓形的金屬片兩面皆有裂隙，故無論向那個方向折，均可造成某一面的裂隙變大；每次折完金屬片，不會彈回原狀 ()。

因金屬片的震動模式，不會因裂縫被 AB 膠封住或用熱水洗滌過而不同，所以我們推測在室溫下金屬片觸發結晶的主因並非震動。可能是金屬片上的小裂隙中卡有一些小晶種，扳動時，裂隙被強力扳開，使原本卡在其中的晶種釋放至液體中，造成溶液結晶。



(三) 結晶：物質結晶可以分為 2 個步驟：成核→結晶成長

(1) 成核

本研究涉及成核的實驗多為異質成核 (成核位置均在溫度計上、試管壁上或金屬片上)。除了極高濃度的醋酸鈉溶液 (直接將 $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 加熱溶解為液體) 外，我們未曾觀察過均質成核；要發生均質成核需要很大的過飽和度及過

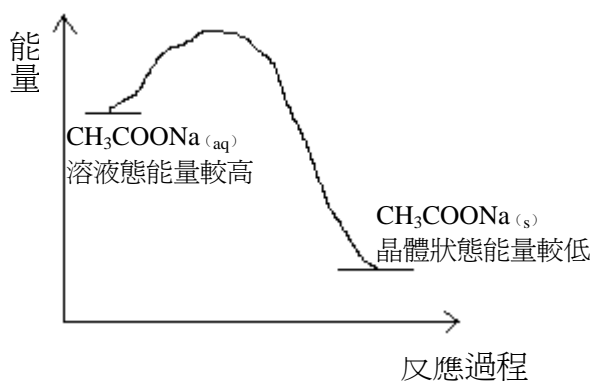
冷度，較為困難。

(2) 晶體成長

甲、溫度的影響

對成長中的晶體，其成長速率受到兩個因素的影響。

(a) 醋酸鈉由溶液狀態→晶體狀態反應的發生，需克服能障。



溫度升高，具高能的分子數越多，物質較易克服能障而結晶。

(b) 溫度降低醋酸鈉溶解度變小，使同一濃度的醋酸鈉溶液過冷度增加，結晶驅動力變大，變得更易結晶。

上述二因素相爭，可能使得 25°C 時結晶成長速率最快。

乙、添加其他離子化合物的影響

於醋酸鈉溶液中添加不同量之 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 及 NaNO_3 後，發現結晶所需的時間變長、結晶放出熱量減少。推測其原因為溶液中增加了其他離子於 Na^+ 與 CH_3COO^- 之間，導致 Na^+ 與 CH_3COO^- 碰撞機會變小，且成為 Na^+ 與 CH_3COO^- 跨越固液界面結晶的阻礙，加的離子越多，結晶成長速率越慢。測量結晶過程中照度變化及原因解釋如下：

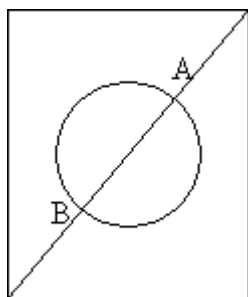
照度值	原因
極大	溶液透明
急速下降	生成乳白色結晶，阻擋光的通過
非常微小的上升一小段	原本針狀結晶持續變大，使透光度增加
維持穩定	幾乎完全結晶
略增 (數星期後)	醋酸鈉結合成較大之晶體，透光度增加

(四) 照度變化和結晶成長關係

1. 將測照度時放置熱敷包的壓克力盒標上感光器所照射到的面積。
2. 於壓克力盒中的熱敷包截角處剪開丟入晶種後，溶液結晶開始長成至感光器所照射到之面積的第一位置定為 A 點。(如下圖)
3. 溶液中結晶的部分持續生長至離開感光器所能照射到的面積，此時的位置定為 B

點。(如下圖)

4. 分別將 57.28、45.22% (w/w)之熱敷包放入此壓克力盒中，以一碼表測量由 A 點→B 點此段的時間。



重量百分濃度	57.28%	45.22%
平均時間 (A 點→B 點)	8''51	25''86
時間 (照度值開始下降 →較穩定)	10''00	45''00

A 點→B 點的時間比照度值開始下降到較穩定的這段時間短，即雖 (A 點→B 點)，但是照度值仍然持續下降，表示即使肉眼已經觀察到溶液中結晶全部長成，其內部仍然在持續結晶中，直到完全結晶。此現象說明了不能夠以肉眼來定義是否已經結晶完全。

捌、結論

- 一、以 $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 配製醋酸鈉溶液並置入 PE 袋中製成熱敷包，其結晶過程、形狀、顏色與一般市售熱敷包相同。
- 二、在室溫下，市售熱敷包及自製 54.82% 的醋酸鈉水溶液以各種形式之震動 (以振盪恆溫槽震盪、手搖、超音波 3MHz) 或扳動髮夾均無法觸使熱敷包在 20 分鐘內結晶。
- 三、直接將 $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 加熱溶解，在低於 50°C 的環境下，大力搖晃可造成結晶。
- 四、以砂紙磨金屬片，造成金屬片表面粗糙部分增加，只要輕搓金屬片上的凹痕處，即可觸發溶液在 10 秒內結晶，表示溶液結晶與金屬片表面的凹凸程度有關。
- 五、以 AB 膠將金屬片之裂痕及突起處封住，觸發金屬片時不會造成溶液結晶，表示溶液結晶應該與金屬片的裂痕或突起有關。
- 六、醋酸鈉溶液的濃度越稀、溫度越高及添加 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 的量越多越不容易造成溶液結晶，而添加 NaNO_3 量的多少並沒有造成結晶難易度明顯的差異。
- 七、將醋酸鈉溶液逐漸降溫，觀察溫度-時間之變化圖形與過冷圖形吻合。
- 八、結晶成長速率與濃度成正相關，而醋酸鈉溶液中添加硝酸鈉或醋酸銨的量越多結晶成長速率越慢。
- 九、在結晶成長速率與溫度關係的實驗中，以 25°C 時結晶成長速率最快。
- 十、醋酸鈉溶液的濃度越稀、於醋酸鈉溶液中添加硝酸鈉或醋酸銨的量越多結晶後，上升的溫度越低。
- 十一、測量結晶過程中照度值的變化如下：極大→急速下降→非常微小的上升一小段→維持穩定→數星期後透光度增加。

玖、參考資料

1. 物質科學化學篇(上)，台南市，南一書局。p.36~37，2004。
2. 曾國輝，化學，第二版，台北縣，藝軒出版社。p.402~404，2002。
3. 陳光旨，物態，初版，新竹市，凡異初版社。p.111~118。1997。
4. 郭琇鳳，中學化學示範實驗【醋酸鈉過飽和溶液及其結晶】，
<http://163.23.211.30/laboratory/chemdemo/84/8424011/過飽溶液和及結晶.htm>。
5. 物質科學物理篇(下)實驗活動手冊，台北縣，龍騰書局。p.1~3，2004。
6. Mansel A. Rogerson and Silvana S. S. Cardoso. Sodification in Heat Packs : I. Nucleation Rate. AIChE Journal. 2003. Vol. 49, No.2 : 505-515.
7. Mansel A. Rogerson and Silvana S. S. Cardoso. Sodification in Heat Packs : II. : Role of Cavitation. AIChE Journal. 2003. Vol. 49, No.2 : 516-521.
8. Mansel A. Rogerson and Silvana S. S. Cardoso. Sodification in Heat Packs : III. : Metallic Trigger. AIChE Journal. 2003. Vol. 49, No.2 : 522-529.

評語

040211 高中組化學科 佳作

神奇暖暖包—醋酸鈉結晶之研究

能闡述鹽類結晶過程之驅動力。