

# 新竹市第四十一屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別： 物理類

組 別：

作品名稱：一閃一閃亮晶晶－探討冰晶糖結晶成果

關 鍵 詞：冰晶糖、結晶、過飽和溶液

編 號：

# 目錄

摘要 .....	1
壹、 前言 .....	2
一、 研究動機 .....	2
二、 研究目的 .....	2
三、 文獻回顧 .....	2
貳、 研究設備與器材 .....	3
一、 器材 .....	3
二、 食材 .....	4
參、 研究過程和方法 .....	5
一、 研究方法流程圖 .....	5
二、 實驗過程圖 .....	6
.....	錯誤! 尚未定義書籤。
肆、 研究結果 .....	7
一、 觀察不同糖濃度溶液的結晶快慢 .....	7
二、 觀察糖溶液在不同環境溫度下的結晶快慢 .....	10
三、 觀察糖溶液在加熱到不同溫度時的結晶快慢 .....	14
四、 比較用不同號數的砂紙和裹糖棒的結晶關係 .....	16
五、 比較用不同糖時的結晶快慢 .....	18
六、 觀察不同酸鹼性的糖溶液對冰晶結晶量的關係 .....	20
伍、 結果推論 .....	23
一、 觀察不同糖濃度溶液的結晶快慢 .....	23
二、 觀察糖溶液在不同溫度下的結晶快慢 .....	23
三、 觀察糖溶液在加熱到不同溫度時的結晶快慢 .....	23
四、 比較用不同號數的砂紙和裹糖的棒的結晶關係 .....	23
五、 比較用不同糖時的結晶快慢 .....	23
六、 觀察不同酸鹼性的糖溶液對冰晶產量的關係 .....	23
陸、 後續規劃 .....	24
一、 量測地點、時間地點的選擇 .....	24
二、 未來的想法 .....	25
柒、 參考文獻資料 .....	26

## 摘要

本次研究在探討冰晶糖在不同溫度、濃度、酸鹼…等變因的結晶情形，初衷就是找到產生又快又大的再結晶環境與控制方法。

首先，我們透過含糖的溶液持續加熱達到 100°C。加熱是因為我們利用此過程來蒸發掉水分，藉此增加糖水的濃度。

如果糖和水的比例正確，此溶液加熱後冷卻會變成過飽和溶液，而這飽和溶液即可自然形成晶粒。因為糖結晶會出現在糖水濃度最高及溫度低的地方，所以當我們將裹上糖的木棒插入溶液中後，結晶就會開始在木棒周圍形成，而這些步驟正是本次實驗冰晶棒棒糖的製作過程。

25°C 糖水溶解度=210g 糖：100g 水，將糖水加熱到 110°C 時，糖水濃度就會超過 80%。這晶粒從液體變成晶體的過程就是利用熱的過飽和溶液冷卻後，溶質再以晶體的形式析出，也就是所謂的「結晶」。因為糖本身就是一種結晶，因此我們又將此現象稱為「再結晶」，這就是糖的特性。而影響結晶的關鍵正是我們這實驗要探討的。

# 壹、前言

## 一、研究動機

國二上學期理化課上到過飽和溶液時，恰巧網路與市售流行一種很紅的糖，當時我被它那五顏六色的外貌所吸引，於是我上網查了一下，原來這糖就叫冰晶糖。而這種冰晶糖就是利用過飽和溶液加熱再冷卻後形成的。這種自然形成的糖粒大小不均，想著能不能控制糖的生成速度與形狀等，於是改變不同條件進行研究，使用不同濃度、溫度、酸鹼性的糖溶液時，都會使糖的結晶在圓木棒上的速度、形狀、狀態不太一樣，而怎麼做才能有好看的外表和快速形成的糖呢？

## 二、研究目的

- (一) 探討不同濃度糖水溶液的結晶快慢。
- (二) 探討糖水溶液在不同環境溫度下的結晶快慢。
- (三) 探討糖水溶液在加熱到不同溫度時的結晶快慢。
- (四) 比較用表面性質的結晶關係。
- (五) 比較不同種類糖溶液的結晶快慢。
- (六) 探討不同酸鹼性的糖溶液對冰晶結晶量的關係。

## 三、文獻回顧

- (一) 了解糖的結晶、再結晶、飽和度
  1. 糖在 25°C 時，溶解度為 210 克。即當糖和水的比例大約是 2:1 時，此溶液就會達到飽和。
  2. 我們發現只要超過 100°C，此杯溶液即可再結晶，只是加熱到不同溫度，結晶的快慢就會差了許多。而當此溶液加熱到 110°C 正是結晶最容易產生再結晶的溫度。
  3. 想要糖能再結晶只需要達到溶液 80% 的飽和度即可成功。
  4. 想要棒子上能再結晶，棒子上就得裹上一層糖。糖要黏的上木棒得先煮一杯糖和水比例 2:1 的溶液。煮到 105°C 時，把已經畫好線的木棒裹上一層糖漿接著再裹糖粉。裹糖漿的用意是因為要有糖粉的地方，糖才会有再結晶的產生。
  5. 我們透過《Tinrry 下午茶》這個 youtube 頻道的步驟來製作。

## 貳、研究設備與器材

### 一、器材

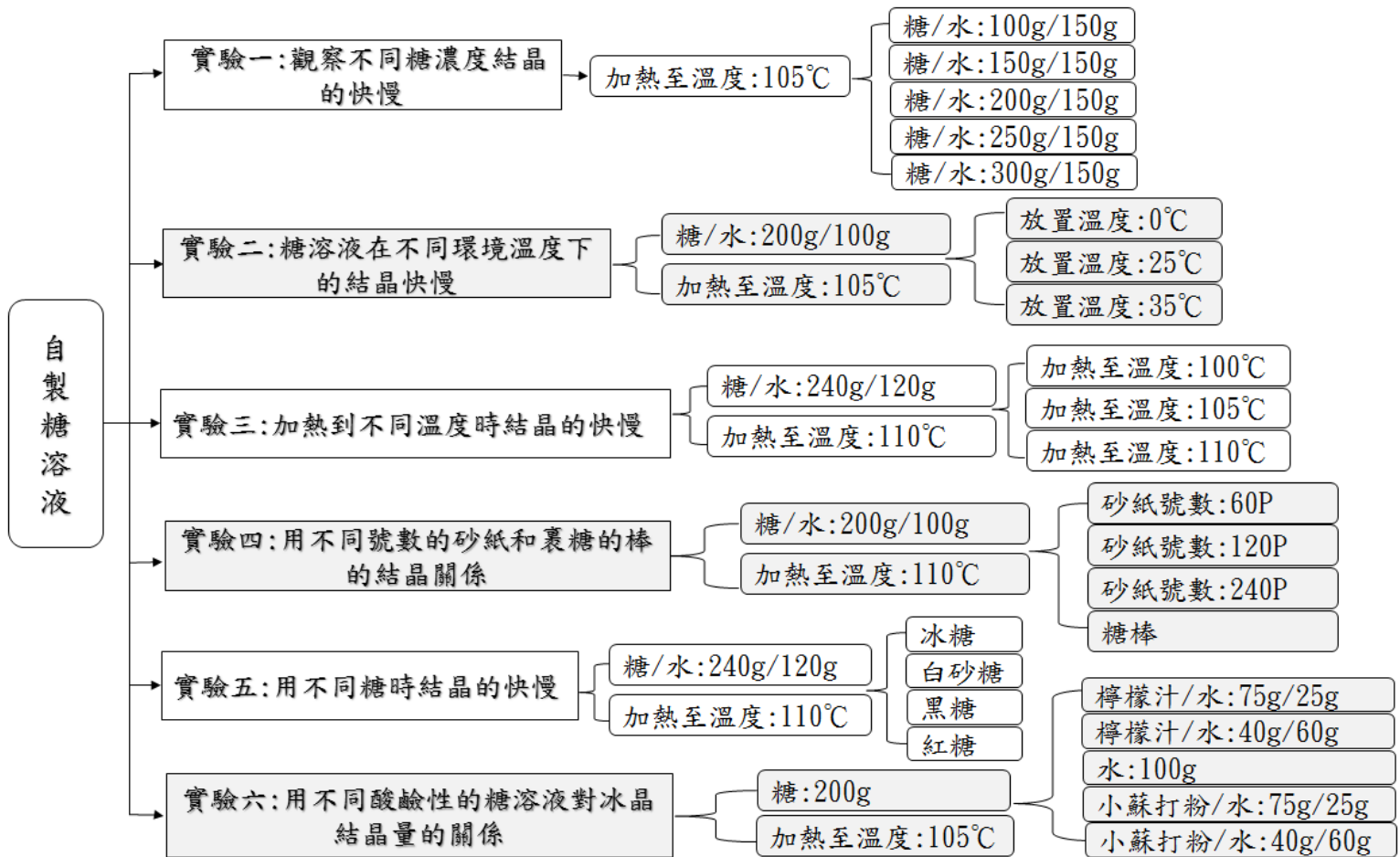
不鏽鋼鍋	榨汁機	電子秤 ( ATK-668 )	燒杯 ( 250ml )
			
檯燈	溫度計	量杯	酸鹼試紙
			
竹筷	冰箱	紙箱	木衣夾
			
砂紙 60p	砂紙 120p	砂紙 240p	厚紙板
			

## 二、食材

白砂糖	紅糖	黑糖	冰糖
			
小蘇打 (可食用)	飲用水	檸檬	
			

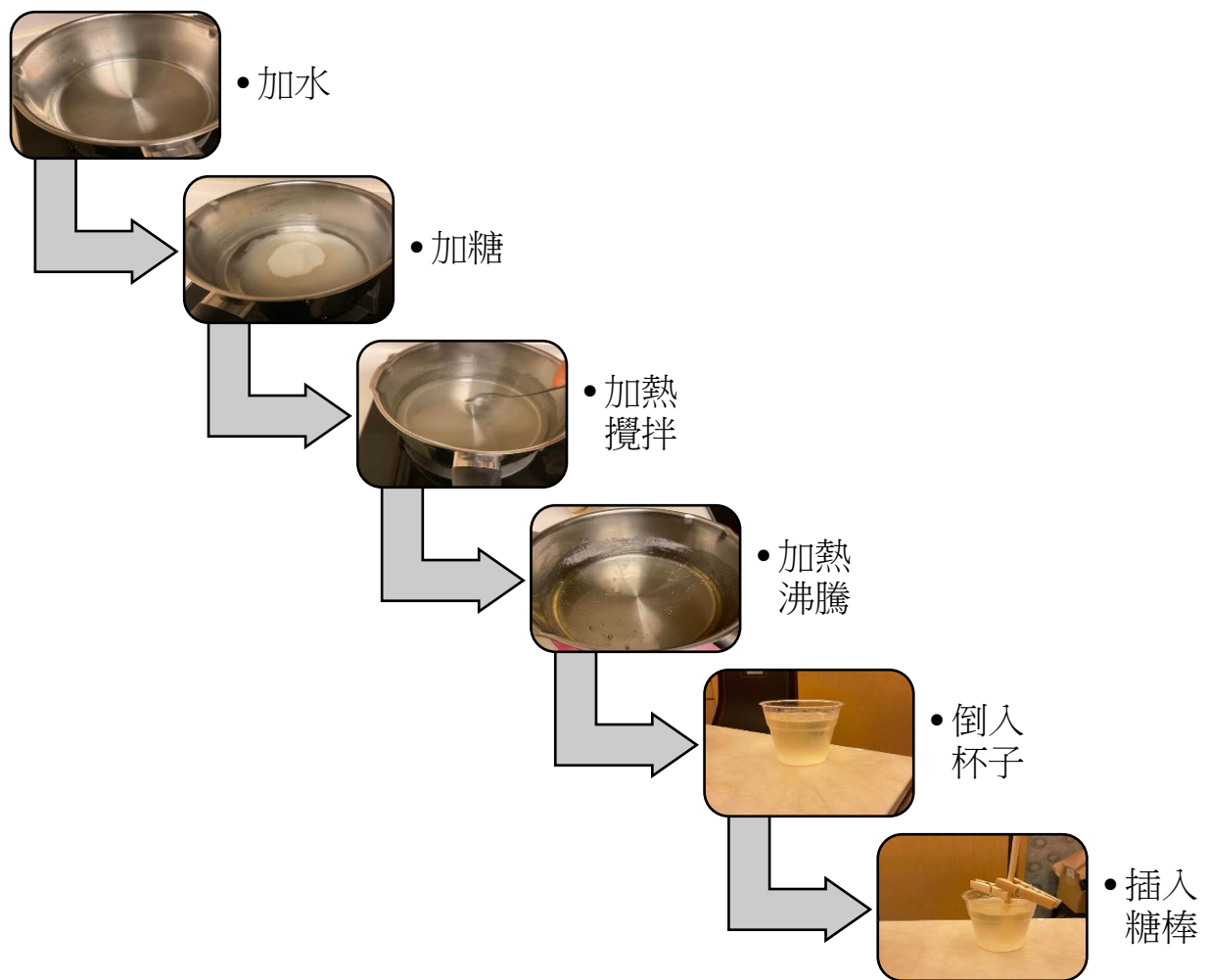
## 參、研究過程和方法

### 一、研究方法流程圖



(圖 1) 研究方法流程圖

影響結晶的因素很多，從資料中找出幾個關鍵或有疑問的變因進行實驗設計，如(圖 1)我們探討在不同糖濃度的溶液的結晶關係、糖溶液在不同環境溫度下的結晶快慢、糖溶液在加熱到不同溫度時的結晶快慢、研究一開始結晶表現性質與結晶形狀快慢，我們使用不同號數的砂紙和裹糖的棒的結晶關係、比較用不同種類糖時糖溶液的結晶快慢、不同酸鹼性的糖溶液與冰晶結晶量的關係，藉由各個實驗的控制變因和操作變因，找到冰晶棒棒糖結晶的速度更快、結晶更厚甚至控制結晶形狀的條件。



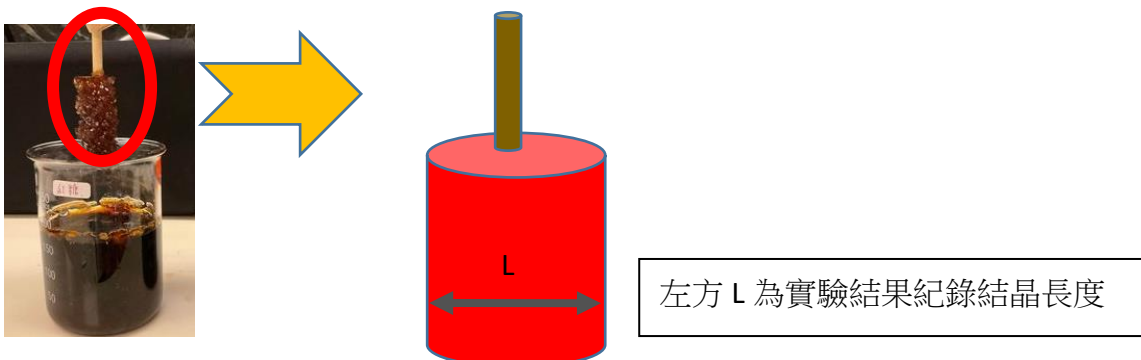
## 二、實驗流程圖

(圖 2) 實驗過程圖

如上圖為實驗步驟，加水後再加入糖，接著加熱攪拌至糖溶解，一直到糖完全溶解後停止攪拌，並繼續加熱沸騰至一定溫度，將高溫糖水倒入杯子裡，插入事先做好的糖棒(初始結晶核)，每隔 24 小時就記錄一次實驗結果。

## 三、實驗記錄

實驗紀錄，由於冰晶糖會放入木棒進行結晶，故在實驗紀錄上我們以木棒為圓心，木棒上結晶的最外緣兩端(類似直徑)作為實驗的結果紀錄。





## 肆、研究結果

### 一、觀察不同濃度糖水溶液的結晶快慢

(表 1) 不同糖濃度溶液的結晶快慢結果 (單位: cm), 如 (圖 7) 所示

糖 (g) / 水 (g)	濃度 (%)	第一天 (cm)	第二天 (cm)	第三天 (cm)
100 / 150	≈ 40%	0.5	0.5	0.5
150 / 150	≈ 50%	0.5	0.5	0.5
200 / 150	≈ 57%	0.7	0.9	1.1
250 / 150	≈ 63%	1.0	1.2	1.7
300 / 150	≈ 67%	0.8	1.1	1.4

註 1: 每根糖棒子粗約 0.5 公分, 故表中 0.5 公分表示未結晶。



糖 100g

糖 150g

(圖 3) 不同濃度糖水溶液的結晶快慢結果 (第一天: 糖 100g, 糖 150g)

根據（圖 3）所示，可以發現第一天糖 100g、糖 150g 的溶液，原本裹在棒子上的糖已完全溶解，可以推測因為此溶液未達到飽和，所以糖還可以在此溶液中溶解，因此無法結晶。



糖 200g

糖 250g

糖 300g

（圖 4）不同糖濃度溶液的結晶快慢結果（第一天：糖 200g，糖 250g，糖 300g）

根據（圖 4）所示，可以發現第一天糖 200g、糖 250g、糖 300g 的溶液，棒子上已有些許地方結晶，而且可發現結晶厚度糖 200g < 糖 250g < 糖 300g。從此可以發現糖只要加超過 200g，此溶液就可達到飽和。



糖 100g

糖 150g

糖 200g

糖 250g

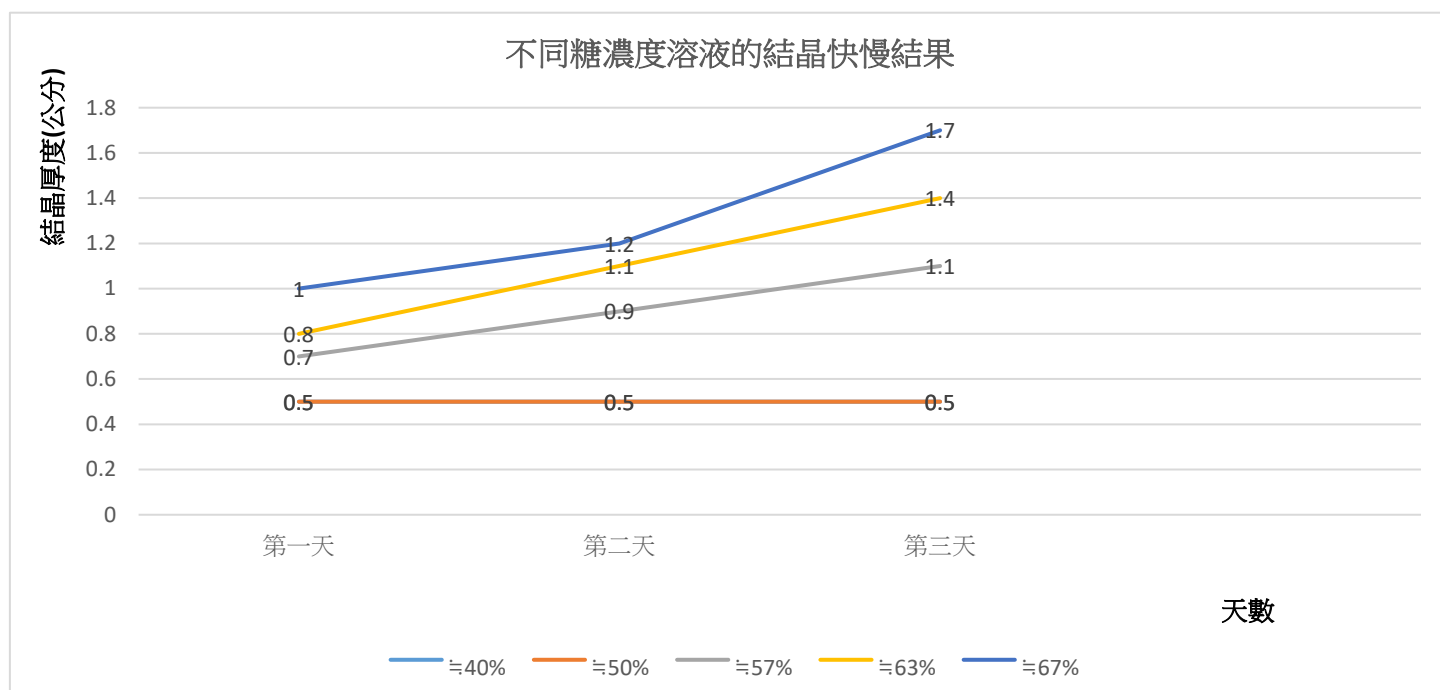
(圖 5) 不同糖濃度溶液的結晶快慢結果 (第二天：糖 100g，糖 150g，糖 200g，糖 250g)

根據 (圖 5) 所示，可以發現第二天糖的結晶厚度糖 200g < 糖 250g。且糖 100g、糖 150g 的溶液沒有結晶。



(圖 6) 不同糖濃度溶液的結晶快慢結果 (第二天：糖 300g)

根據（圖 6）和（圖 5）糖 250g 溶液對比，同天內，可發現糖 300g 結晶厚度 > 糖 250g。



（圖 7）不同糖濃度溶液的結晶快慢結果（單位：cm），如（表一）所示

根據（圖 7）和（表一）告訴我們溶液的濃度越大，結晶越快，但濃度過低則無法結晶。例如：濃度 40%（糖 100g）和濃度 50%（糖 150g）因為都無法結晶所以圖中的線重疊在一起。

## 二、觀察糖溶液在不同環境溫度下的結晶快慢

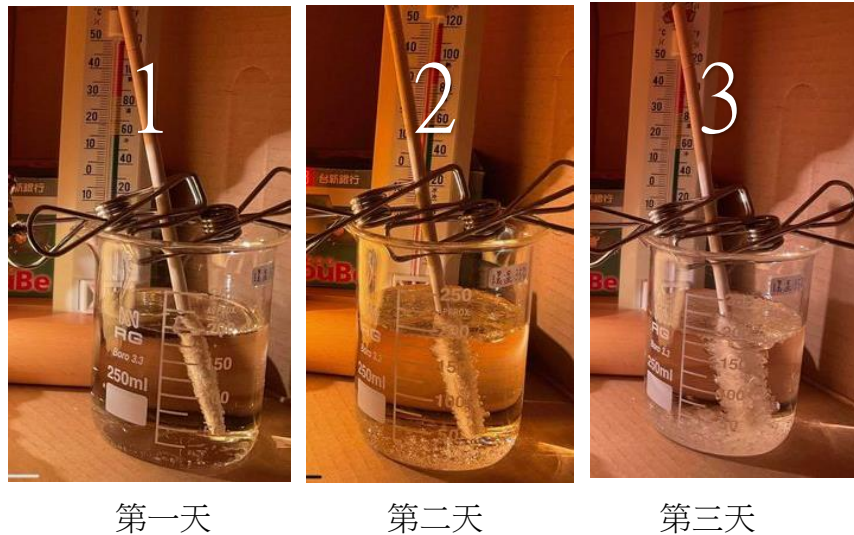
（表 2）糖溶液在不同環境溫度下的結晶結果（單位：cm），如（圖 14）所示

溫度	第一天		第二天		第三天	
	冰晶粗度	晶粒粗細	冰晶粗度	晶粒粗細	冰晶粗度	晶粒粗細
0°C( 冰箱 )	1.0	細	1.4	細	1.8	細
20°C( 室溫 )	1.1	細	1.3	微粗	1.6	微粗
35°C( 箱子內 )	0.7	細	1.0	微粗	1.6	粗

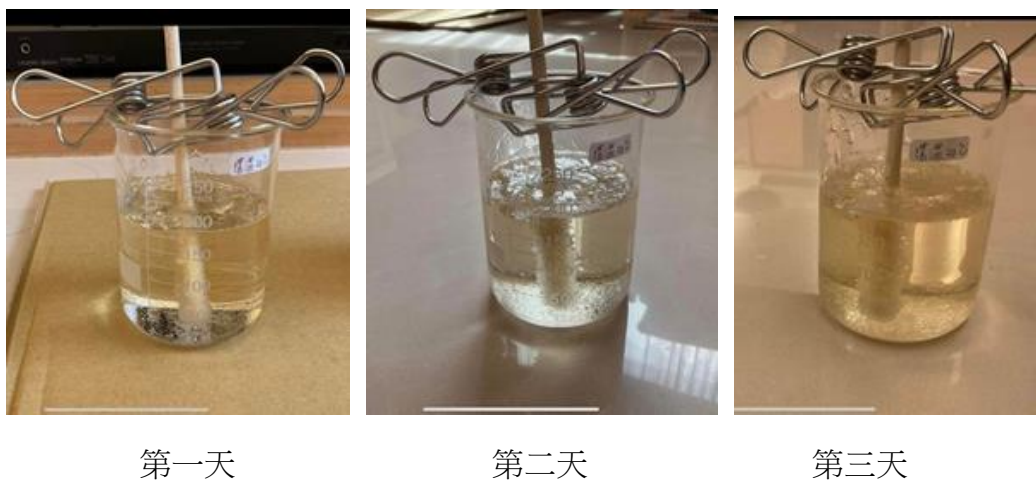
註 1：每根糖棒子粗約 0.5 公分。

註 2：晶粒「細」為粒徑 0.1~0.2 cm，「微粗」為粒徑 0.2~0.3 cm、「粗」為粒徑 0.3 cm 以上

根據（表 2）可以發現溫度越高，晶粒粗度就越粗。

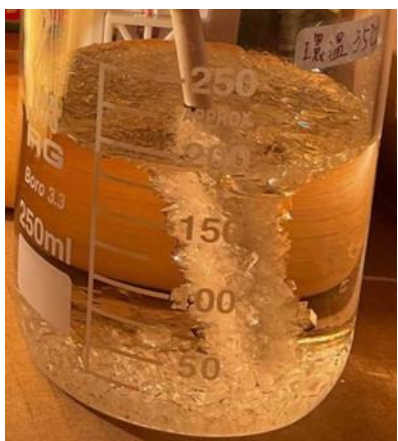


（圖 8） 在環境溫度 35°C 下，糖溶液三天的結晶變化；放置環境如（圖 29）所示

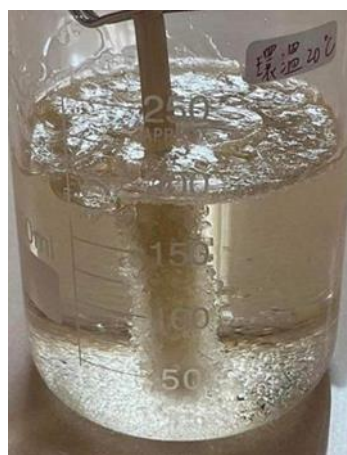


（圖 9） 在環晶溫度 20°C 下，糖溶液三天的結晶變化；放置環境如（圖 28）所示

根據（圖 8）和（圖 9）可以發現在環溫 20°C 下結晶厚度比在環境溫度 35°C 下的結晶厚度厚。



(圖 10) 環溫 35°C



(圖 11) 環溫 20°C

根據 (圖 10) 和 (圖 11) 可以發現在環溫 35°C 時的結晶晶粒較環溫 20°C 時的粗。



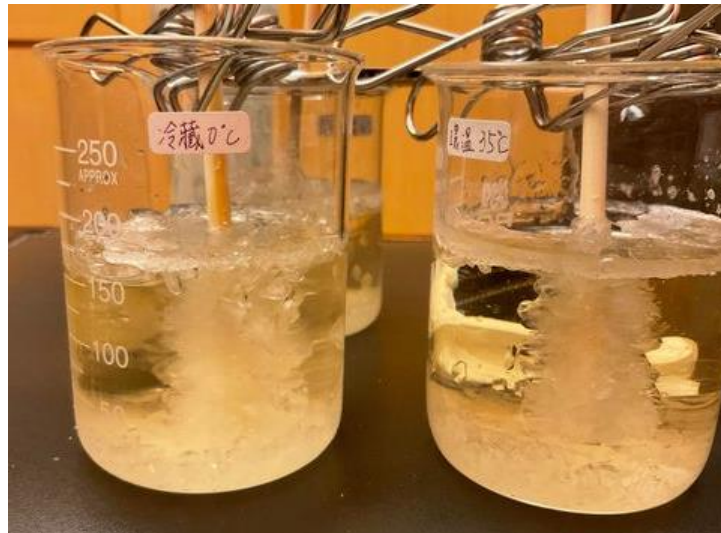
冷藏 0°C ; 放置環境如 (圖 27)

環境溫度 20°C

環境溫度 35°C

(圖 12) 糖溶液在不同環境溫度下的結晶結果 (20 天後)

根據 (圖 12) 可以發現在 20 天後環溫 0°C 時的結晶較環溫 20°C、環溫 35°C 時的結晶厚度還要厚。從此圖也可發現晶粒粗度是環溫 0°C > 20°C > 35°C。

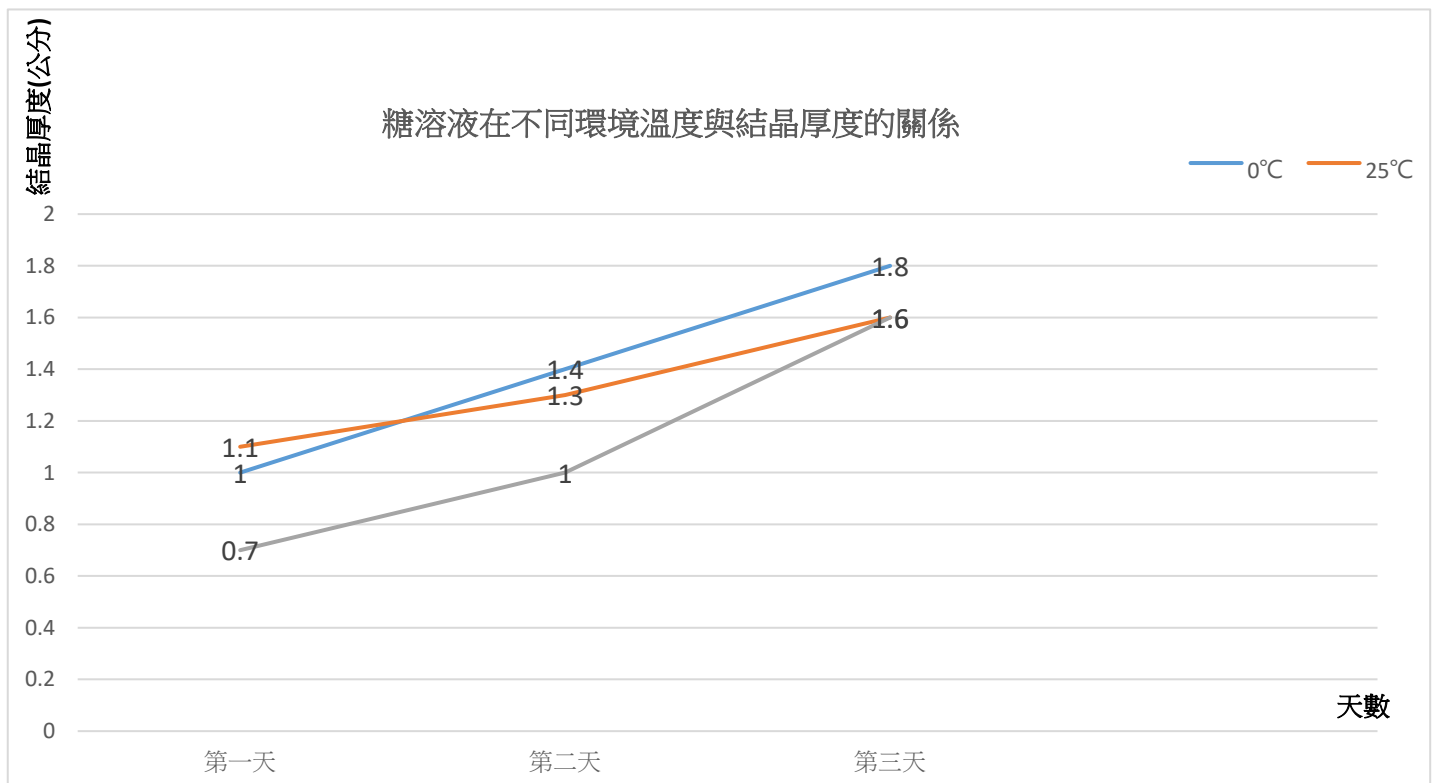


冷藏 0°C

環境溫度 35°C

(圖 13) 糖溶液在冷藏 0°C 和環境溫度 35°C 下的結晶結果：20 天後比較晶粒粗度

根據 (圖 13) 可以發現環溫 0°C 的結晶厚度 > 環溫 35°C 的結晶厚度。環溫 35°C 的晶粒粗度 > 環溫 0°C 的晶粒粗度。



(圖 14) 糖溶液在不同環境溫度與結晶厚度的關係，如 (表 2) 所示

根據（圖 14）和（表 2）可以發現其實第一天環溫 25°C 的結晶厚度比環溫 0°C 的厚，但一天後環溫 0°C 則超越環溫 25°C 的結晶厚度。由此觀察出放置溫度越低，結晶厚度越厚。

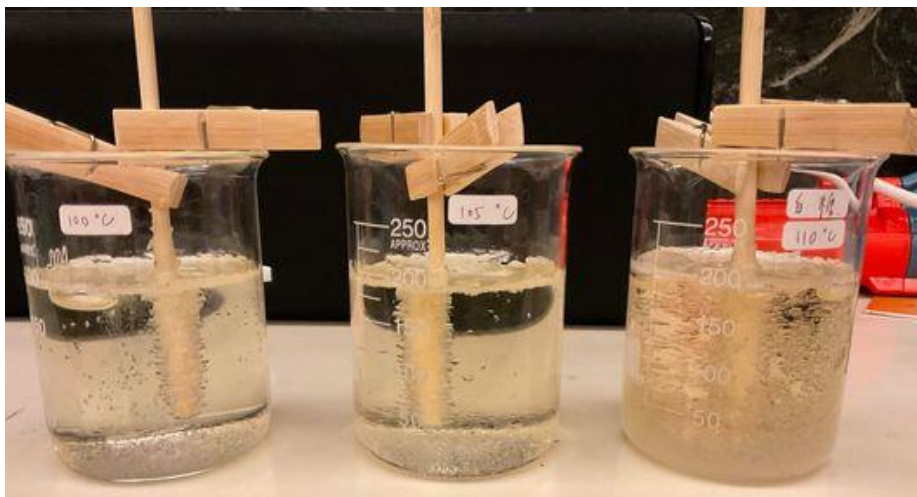
### 三、觀察糖溶液在加熱到不同溫度時的結晶快慢

（表 3）糖溶液在加熱到不同溫度時的結晶結果（單位：cm），如（圖 18）所示

加熱到達溫度	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天
100°C	1.7	1.8	2	2.2	2.3
105°C	1.9	2	2.2	2.4	2.5
110°C	1.8	2.2	2.5	2.7	2.8

註 1：量測距離：15 公分

註 2：每根糖棒子粗約 0.5 公分



（圖 15）糖溶液在加熱到不同溫度時的結晶結果（第一天）

根據（圖 15）可以發現第一天的結晶厚度是加熱至 110°C 的溶液和加熱至 105°C 的溶液差不多，但都大於加熱至 100°C 的溶液。





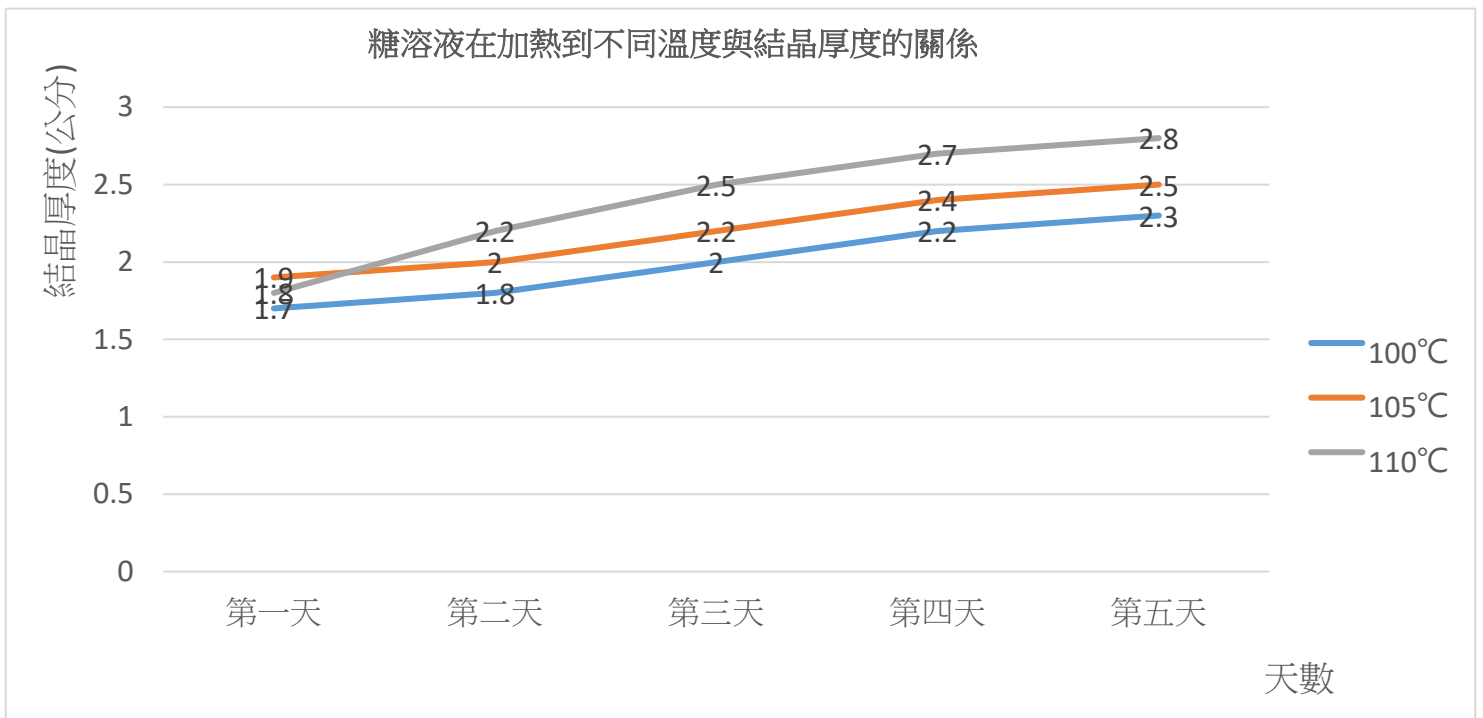
(圖 16) 糖溶液在加熱到不同溫度時的結晶結果 (第二天)

根據(圖 16)可以發現第二天的結晶厚度是加熱至 110°C 的溶液>加熱至 105°C>加熱至 100 °C。



(圖 17) 糖溶液在加熱到不同溫度時的結晶結果 (第三天)

根據(圖 17)可以發現第二天的結晶厚度是加熱至 110°C 的溶液>加熱至 105°C>加熱至 100°C。而且可以看出加熱至 110°C 的結晶晶體大小適中，菱角也比較平滑；相反的，加熱至 100°C 的溶液結晶的晶體較粗大，菱角也比較鋒利。



(圖 18) 糖溶液在加熱到不同溫度與結晶厚度的關係，如 (表 3) 所示

根據 (圖 18) 和 (表 3) 可以發現加熱至 110°C 的溶液結晶厚度 > 加熱至 105°C > 加熱至 100°C。而且第一天其實加熱至 105°C 的結晶厚度還比加熱至 110°C 的溶液結晶厚度厚，但經過一天後，加熱至 110°C 的溶液結晶厚度就大於加熱至 105°C 的結晶厚度。

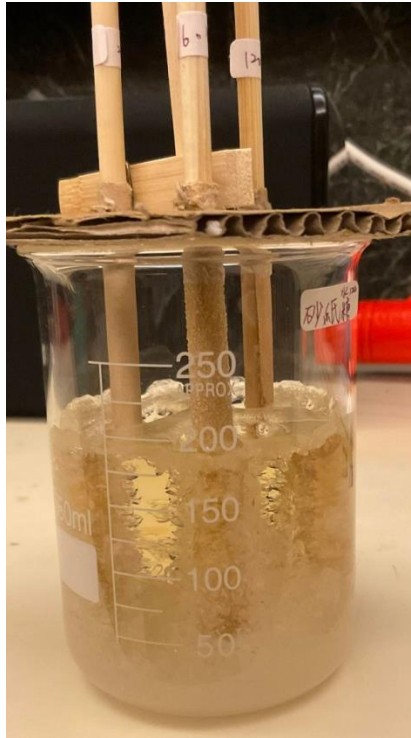
#### 四、比較用不同號數的砂紙和裹糖棒的結晶關係

(表 4) 用不同號數的砂紙和裹糖棒的結晶結果，如 (圖 20) 所示

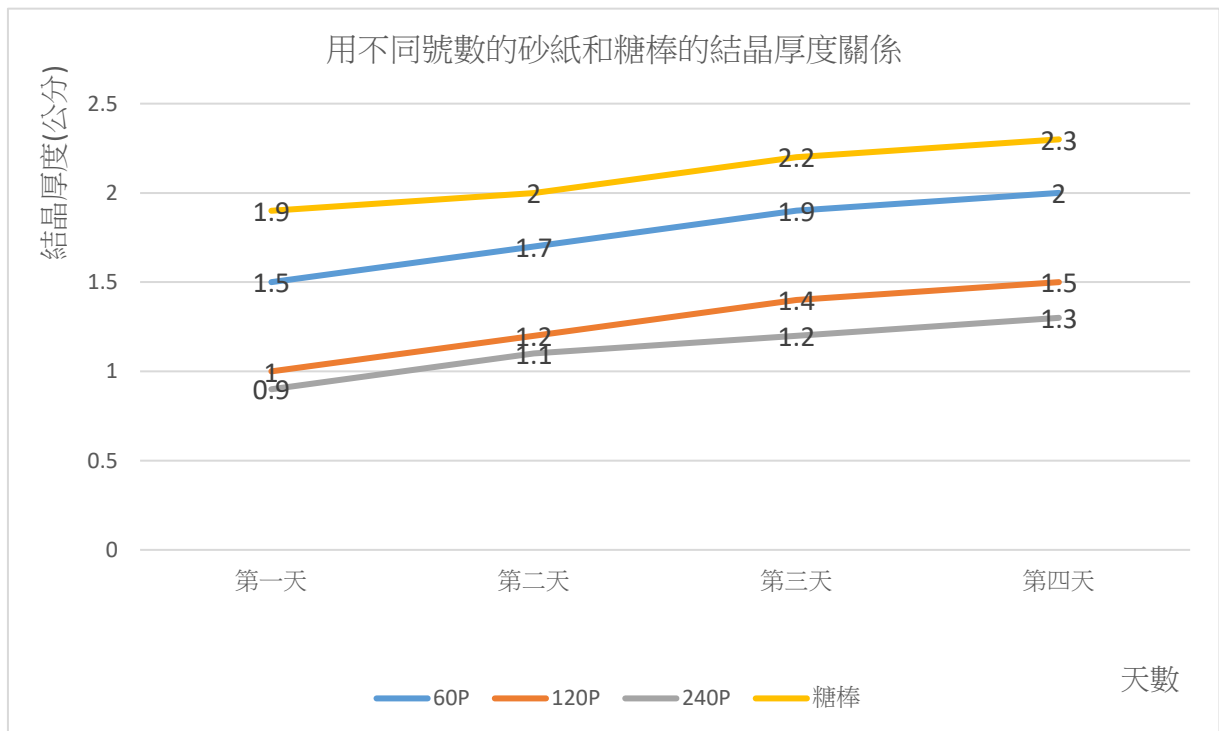
砂紙/裹糖棒	第一天	第二天	第三天	第四天
60P	1.6	1.7	1.9	2.0
120P	1	1.2	1.4	1.5
240P	0.9	1.1	1.2	1.3
糖棒	1.9	2	2.2	2.3

註 1：量測距離：15 公分

註 2：糖棒子粗約 0.5 公分



(圖 19) 不同號數的砂紙 (60P, 120P, 240P) 和裹糖棒的結晶結果 (第二天)  
 根據 (圖 19) 我們可以發現第二天糖的結晶厚度糖棒 > 60P > 120P > 240P。



(圖 20) 結晶在用不同號數的砂紙和糖棒的結晶厚度關係，如 (表 4) 所示

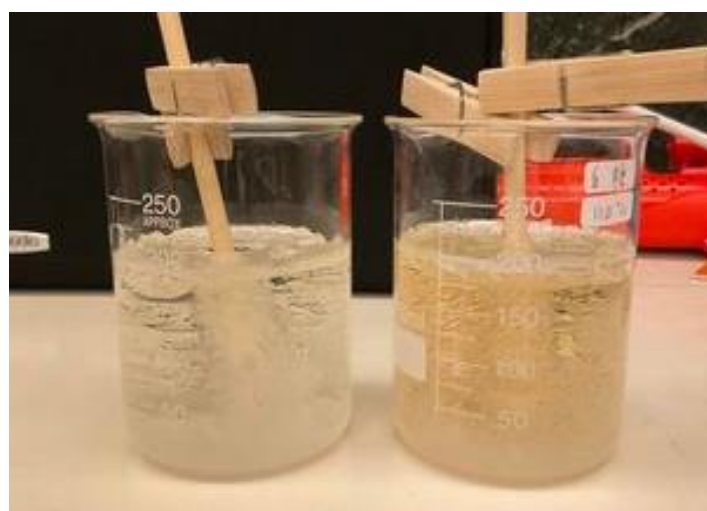
根據（圖 20）和（表 4）我們可以發現糖棒的結晶最快。再來就是號數越小的砂紙結晶厚度越厚。但可以發現砂紙號數 120P 和 240P 的結晶厚度差不了多少。

### 五、比較用不同糖時的結晶快慢

（表 5）用不同號數的砂紙和裹糖棒的結晶結果（單位：cm），如（圖 24）所示

糖的種類	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天
冰糖	2	2.3	2.6	3	3.2
白砂糖	1.8	2.2	2.5	2.7	2.8
紅糖	1.4	1.4	1.5	2.2	2.3
黑糖	1.2	1.3	1.5	1.9	2.1

註 1：每根糖棒子粗約 0.5 公分

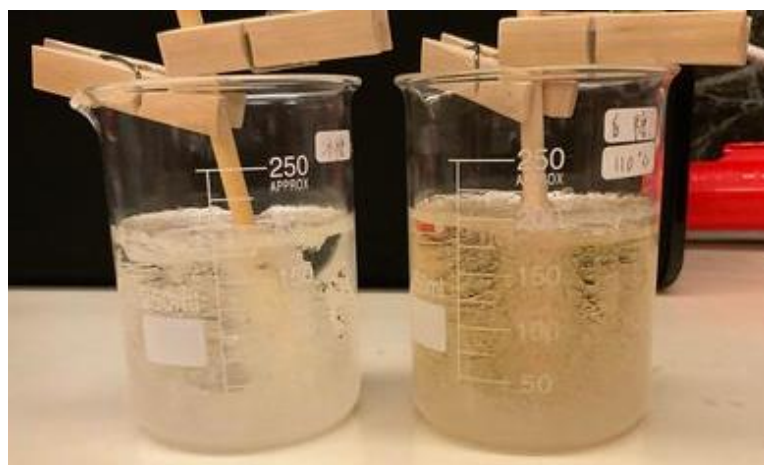


冰糖

白砂糖

（圖 21） 冰糖和白砂糖的結晶結果 （第三天）

根據（圖 21）我們可以發現在第三天冰糖的結晶厚度比白砂糖厚。



冰糖

白砂糖

(圖 22) 冰糖和白砂糖的結晶結果 (第四天)

根據 (圖 22) 我們可以發現在第四天冰糖的結晶厚度比白砂糖厚。

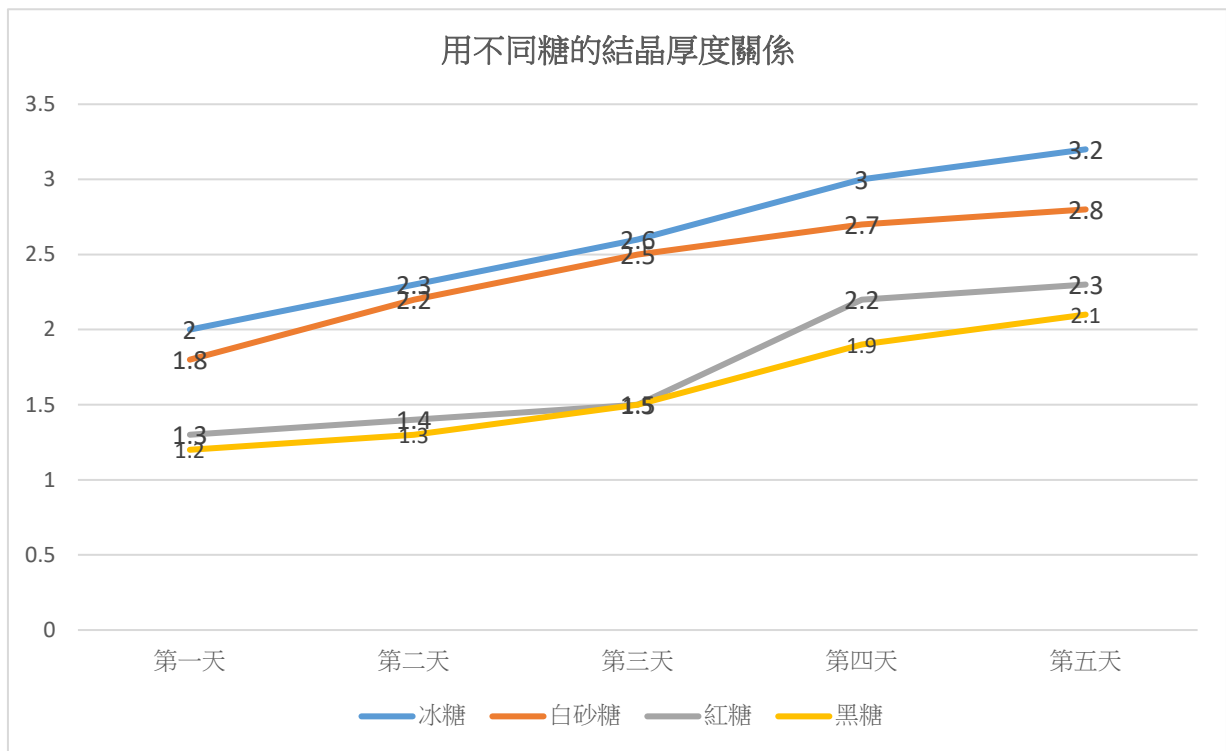


紅糖

黑糖

(圖 23) 紅糖和黑糖的結晶結果 (第四天)

根據 (圖 23) 我們可以發現在第四天紅糖的結晶厚度比黑糖的糖的結晶厚。



(圖 24) 用不同糖的結晶厚度關係，如 (表 5) 所示

根據 (圖 24) 和 (表 5) 可以發現當不同糖時冰糖的結晶厚度 > 白砂糖 > 紅糖 > 黑糖。並且冰糖和白糖的結晶厚度差不多，紅糖和黑糖的結晶厚度也差不多。

#### 六、觀察不同酸鹼性的糖溶液對冰晶結晶量的關係

(表 6) 不同酸鹼性的糖溶液的結晶結果 (單位: cm)

如 (圖 26) 所示

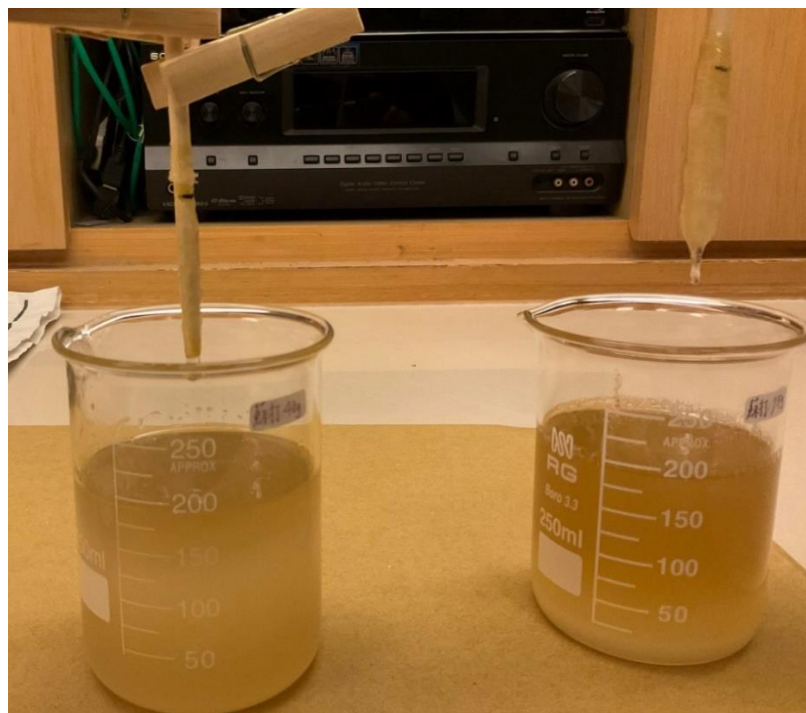
溶液 (糖 / 溶劑) (單位: 克)	第一天	第二天	第三天
200 / 75 檸檬汁 + 25 水	0.4	0.4	0.4
200 / 40 檸檬汁 + 60 水	0.4	0.4	0.4
200 / 100 水	0.8	1.1	1.4
200 / 40 小蘇打粉 + 60 水	0.4	0.5	0.5

200 / 75 小蘇打粉 + 25 水	0.4	0.5	0.7
-------------------------	-----	-----	-----

註 1：每根糖棒粗約 0.5 公分



因為我寧明水溶液沒有拍攝到，所以我拿（圖 3）示意，因為那們的結晶棒呈現出來是一樣的。含檸檬水的溶液，結晶棒上的糖都已經消失。

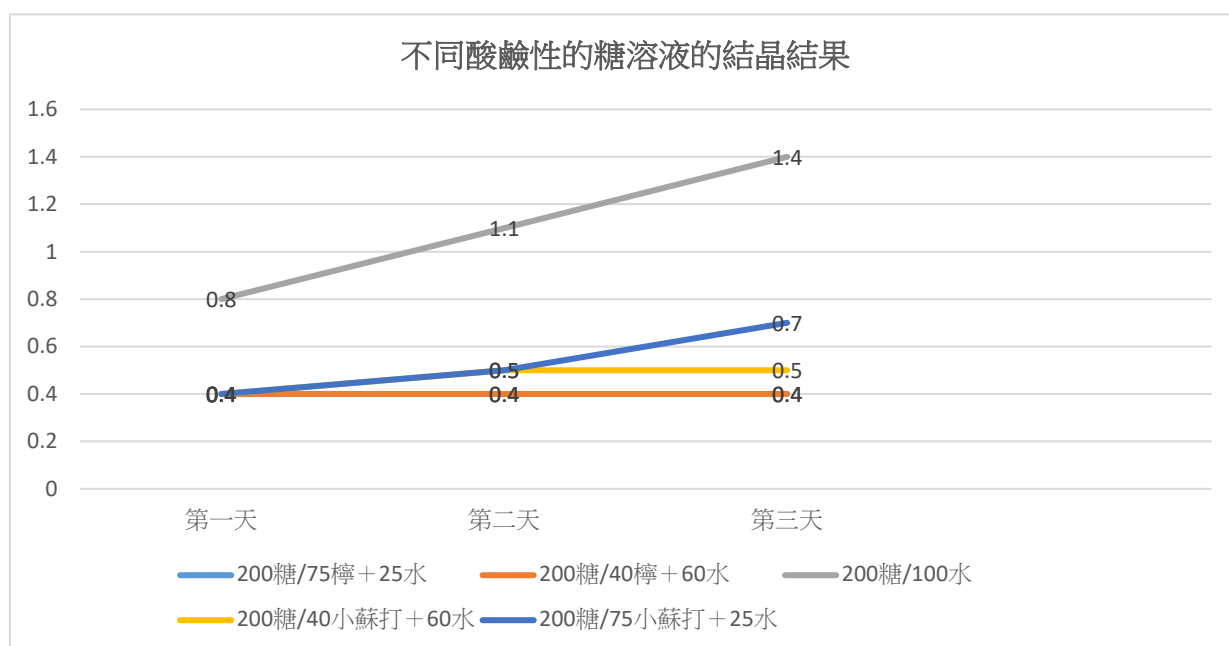


含小蘇打粉 40g

含小蘇打粉 75g

（圖 25） 含小蘇打粉鹼性的糖溶液的結晶結果

根據（圖 25）可以發現加小蘇打粉的溶液有些許的結晶，只是含小蘇打粉 75g 的結晶厚度較含小蘇打粉 40g 的結晶厚度還要厚。



（圖 26） 不同酸鹼性的糖溶液的結晶結果，如（表 6）所示

根據（圖 26）和（表 6）可以發現含小蘇打粉的溶液有些許結晶，但含檸檬水的的溶液完全沒有結晶產生，所以在此折線圖中，線的部分是重疊在一起的。而結晶快慢是純水 > 小蘇打粉 > 檸檬水溶液，由此推測純水的結晶厚度 > 鹼性溶液 > 酸性溶液。



## 伍、結果推論

### 一、觀察不同濃度糖水溶液的結晶快慢

- (一) 濃度越高，結晶越多。
- (二) 濃度太低，沒到達溶液飽和度的約 80%時，是無法結晶的。

### 二、觀察糖溶液在不同溫度下的結晶快慢

- (一) 溫度太低反而會使結晶速度變慢。
- (二) 溫度越高，晶粒越粗。

### 三、觀察糖溶液在加熱到不同溫度時的結晶快慢

- (一) 加熱至 110°C 時，結晶最快最多。
- (二) 加熱至 100°C 時，結晶最慢最少。
- (三) 加熱至 110°C 的溶液，晶體大小適中，菱角較平滑；加熱至 100°C 的溶液，晶體較粗大，菱角也較鋒利。

### 四、比較用不同號數的砂紙和裹糖的棒的結晶關係

- (一) 結晶速度：糖棒 > 60P > 120P > 240P。
- (二) 如果只單純比砂紙號數的話，砂紙表面越粗糙，結晶的厚度越厚。

### 五、比較用不同糖時的結晶快慢

- (一) 結晶速度：冰糖 > 白砂糖 > 紅糖 > 黑糖。

### 六、觀察不同酸鹼性的糖溶液對冰晶產量的關係

- (一) 加入檸檬水的溶液不會結晶。
- (二) 小蘇打粉加入水後，溶液會變黏稠，所需要結晶的天數會增加。
- (三) 結晶厚度：純水 > 鹼性溶液 > 酸性溶液。
- (四) 由於天然食材本身的酸鹼值會影響糖的結晶進入，酸味阻礙結晶進入，酸味的水果或蔬菜不適合製作。

## 陸、後續規劃

### 一、量測地點、時間地點的選擇

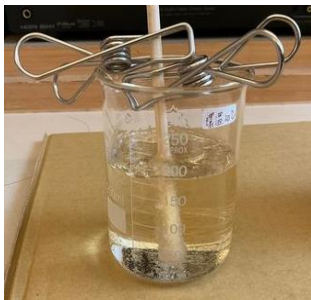
我們為了方便，在家裡做實驗。至於研究二，我們三個不同溫度分別放在冰箱、一般環境、還有拿一個紙箱接延長線進去，使裡面有一個檯燈在發熱。

#### (一) 0°C (冰箱內)



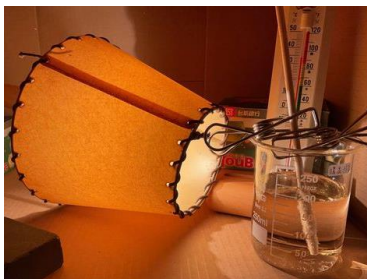
(圖 27)

#### (二) 20°C (室內)



(圖 28)

#### (三) 35°C (箱子內)



箱內



箱外

(圖 29)

## 二、未來的想法

這次科展製作，有一些想法，但由於時間不足，以致無法完成操作。如果以後還有機會，我們希望完成以下幾點：

- (一) 我們希望多測試一點不同酸鹼性的溶劑來驗證是不是只有鹼性溶液可以是木棒上的糖結晶。。
- (二) 因為買不到真正用來做冰晶糖的木棒，所以我們就拿了竹筷，自己在上面割洞，使它表面變粗糙，跟市面上一樣。下次如果有看到冰晶棒棒糖專用的木棒，可以買來試試區別。
- (三) 因為買不到足夠長的木衣夾，所以我們是拿兩個木衣夾把棒子夾在中間，所以可能再放木棒有稍微攪到溶液，會使數據有些微誤差。下次有看到更長的夾子可掛在燒杯上會更好。
- (四) 我覺得可以試試把加糖在水中，自己不停地攪拌，使糖溶解，都不利用火加熱，觀察此溶液是否也會在裹糖的木棒上結晶。

## 參考文獻資料

《Tinrry 下午茶》教你做冰晶棒棒糖。參考日期：2022 年 1 月 18 日

取自：<https://www.youtube.com/watch?v=07cXgJ4nY1c>

天然色素，冰晶棒棒糖。參考日期：2022 年 1 月 18 日

取自：<https://www.beanpanda.com/49916/natural-colour-rock-candy>

最常見的糖-二砂、特砂、細砂、糖粉怎麼選。參考日期：2022 年 1 月 18 日

取自：<https://fullfood.tw/sugar-sucrose-01/>

為什麼鹽水加熱式結晶，糖水加熱是糖漿呢？參考日期：2022 年 1 月 18 日

取自：<https://www.zhihu.com/question/263679652/answer/2753106493>

自製冰晶棒棒糖，安全又健康，快和孩子一起來製作吧。參考日期：2022 年 1 月 18 日

取自：<https://read01.com/zh-tw/jEePRGL.html><https://read01.com/zh-tw/jEePRGL.html#.ZB1NpXZBzIU>

煮一鍋糖水就能自制出冰晶棒棒糖。參考日期：2022 年 1 月 18 日

取自：<https://kknews.cc/zh-tw/food/eggpkkq.html>

2019 全國科學探究競賽-這樣教我就懂。參考日期：2022 年 1 月 18 日

取自：<http://sciexplore2019.colife.org.tw/Upload/37328235-9cd6-4367-be4c-225632b1e7d0-20190424221948132.pdf>

說糖解惑—結晶（煮糖）操作。參考日期：2022 年 1 月 18 日

取自：<https://www.taisugar.com.tw/Monthly/CPN.aspx?ms=1385&p=13384996&s=13385025>

一閃一閃糖結晶。參考日期：2022 年 1 月 18 日

取自：<https://vtedu.mt.ntnu.edu.tw/uploads/1608709605982BeLMq0qY.pdf>

糖業技術。參考日期：2022 年 1 月 18 日

取自：<http://www.taiwan-news.com.tw/bisouth.com.tw/taisugar/index.php/2016-10-09-02-50-53/2016-11-09-15-51-09>