

2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：鹽の煉晶術師

一、摘要

本研究主要是探討不同條件對食鹽結晶的情形，包含不同溫度的飽和食鹽水降溫時，所析出的食鹽晶體形狀是否相同、添加不同種類的有機溶劑對食鹽晶體形狀的影響、色素與食鹽晶體分子之間的交互作用、晶體表面結構出現凹痕，以及凹痕出現深淺不一的原因。實驗結果顯示，食鹽晶體的養晶溫度需恆定，若放置在室溫下，會因養晶溫度變化會導致結晶較細小，不易形成結晶核。晶體一層層由下而上堆積形成小結晶核後，而外層也是由下而上一層層堆積並包覆小結晶核，多包覆幾層後可形成較大的結晶核。晶體外圍一層層包覆或略高於上層晶體，導致其出現斜面，並產生凹陷。斜面與斜面之間會出現一直線，而此直線即是我們所觀察到的 X 紋路，X 紋路是由多層斜面交線堆疊而出現。若用棉繩做為附著物，其生成的晶體並不會出現 X 紋路與凹陷，晶體形狀更接近立方體，使用顯微鏡觀察仍可發現矩形紋路。

二、探究題目與動機

化學課時我們學到了化合物的分類方式與性質。講到離子化合物時，老師提到了食鹽的結晶結構為面心立方堆積，而其晶體的形狀是一個立方體，所以我們便想趁著專題研究的機會去驗證課堂上所學的理论，了解隱藏在平常隨手可得食鹽到底是怎樣的結晶形狀。經過一番討論後決定將食鹽水加熱煮沸至飽和後，降溫使食鹽逐漸析出。在觀察食鹽晶體時，發現許多晶體表面結構出現完整的 X 狀凹陷痕跡，與收集到的文獻資料有雷同之處，於是決定藉由食鹽養晶的過程來研究晶體分子間的鍵結與交互作用。另外，在我們也嘗試在食鹽飽和溶液中加入藍色食用色素，發現晶體可以成功染色，希望藉由這次的專題研究探討食鹽水在不同條件下析出晶體的情況，了解食鹽晶體如何堆積與生成。

三、探究目的與假設

- 一、不同溫度的飽和食鹽水所產生的食鹽晶體形狀是否相同
- 二、氯化鈉晶體如何堆積
- 三、晶體結構出現凹痕的原因
- 四、晶體結構出現 X 紋路的原因
- 五、利用懸吊棉線養晶的結果，與培養上養晶的晶體形狀做比較

四、探究方法與驗證步驟

一、實驗流程圖



二、名詞定義：(自訂)

- (一) 結晶核：長寬大於 0.5cm 可用於養晶的晶體
- (二) 小結晶核：為一假設，假設結晶核的生成是先因小結晶核堆積而成

三、養晶的溫度

在養晶的過程中，我們以培養皿為實驗裝置進行晶體，由表一可知，無論是 45°C 或 25°C 的飽和食鹽水放置於冰箱 10 日後，都能成功結晶出大的結晶核(長寬大於 0.5cm，非一粒粒細砂狀)，而擺放在常溫下的飽和食鹽水，卻只能析出細沙狀的微小晶體。由於放置於常溫的食鹽水並沒有恆定的溫度控制，氣溫會因氣候變化而有較大的差異，而冰箱能維持固定溫度 4°C，因此推論產生結晶核的其中之一條件為生成時的溫度必須是恆定的。

表一 不同溫度的飽和食鹽水，養晶 10 日結果之比較

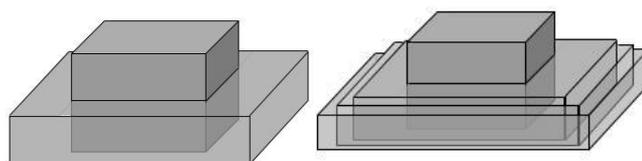
實驗條件	實驗結果	
45°C 的飽和食鹽水放置於常溫		
45°C 的飽和食鹽水放置於冰箱		
25°C 的飽和食鹽水放置於冰箱		

四、養晶的水位高度

實驗操作的過程中，倒入 100mL 的飽和食鹽水進行養晶，培養皿內水位高度為 18mm，養晶 10 日後可得長 9.58mm、寬 9.43mm、高 2.51mm 的長方體結晶，待重新更換新的飽和食鹽水繼續養晶，實驗結果顯示結晶的過程會由第一週的晶體往外繼續包覆，但可能由於水位高度不足，導致晶體無法堆積到前結晶核的高度，如圖一所示，而晶體堆積示意圖如圖二、圖三所示，因此我們推論欲得到長、寬、高等長的立方體結晶水位高度造成的水壓會是影響因素之一。



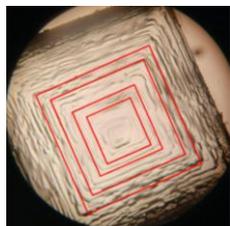
圖一 養晶二週的食鹽結晶



圖二 晶體堆積示意圖

五、晶體如何堆積

在探討晶體如何堆積的過程中，我們觀察到部分結晶出現一層層的矩形堆積紋路，雖然線條不平整，但仍可判斷其為密閉矩形，如圖三所示。由圖一為第二層尚未結晶完成的晶體，可觀察到結晶是由下層開始堆積後逐漸往上增厚，直到包覆晶體或齊平(依水位高度而定)。為了進一步證實我們的推論，因此將飽和食鹽水加入藍色食用色素進行染色，實驗過程中，長時間觀察可發現藍色色素的確會因結晶由下層往上堆積時不均勻被包覆在食鹽晶體內，且散佈在晶體一層層的縫隙，如圖四所示。

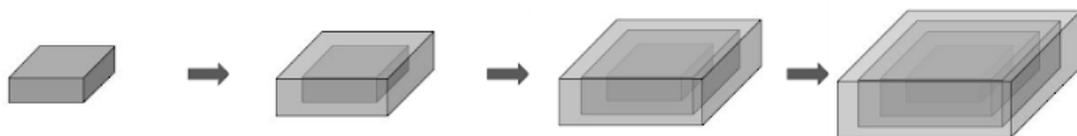


圖三 矩形紋路



圖四 染色之食鹽水析出的結晶

由我們實驗過程可推論晶體堆積過程是一層一層包覆原晶體，其過程如圖五所示。



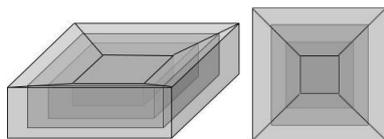
圖五 晶體堆積示意圖

六、出現凹陷的原因

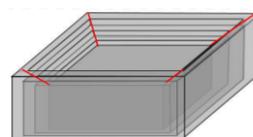
我們假設食鹽結晶是先堆積出一小結晶核後，再開始由下而上，從外圍一層層包覆上一層，因此若使用顯微鏡觀察，甚至是肉眼皆看能看見一層層矩形。但實驗過程中，我們卻發現結晶中央有凹陷的現象，如圖六所示，若晶體是一層層完全包覆，會與觀察到的結果不相符，因此推論結晶確實是在外側由下至上包覆，但是並不會完全包覆至頂層，而是結晶到略高於結晶核頂層，一層疊的比上一層高，因此出現斜面與凹陷，從肉眼巨觀以及顯微鏡微觀示意圖，如圖七、圖八所示。



圖六 凹陷的食鹽晶體



圖七 巨觀凹陷示意圖



圖八 微觀凹陷示意圖

七、晶體出現 X 紋路

養晶的過程中，我們發現在不同溫度的飽和食鹽水降溫至 4°C 時，皆能明顯觀察到食鹽晶體上出現 X 紋路，選取數個食鹽結晶拍攝結果如圖九所示。



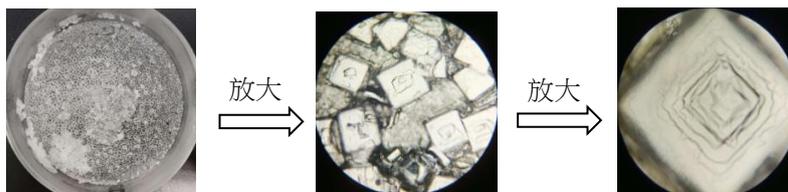
圖九 食鹽晶體 X 紋路

依照先前的假設，推論會出現 X 紋路是因為晶體一層層疊上去在晶體外造成的現象，因而出現一條條斜線，如上圖八之紅色線，此處即為兩斜面之間的摺線，利用紙張加以模擬，如圖十所示，晶體在形成立體結構的同時，折線處自然會有明顯線條，因此推論結晶 X 紋路與晶體凹陷有關，而凹陷又與晶體堆積方式有關。



圖十 紙張模擬食鹽晶體 X 紋路之模型

這也進一步證實為何一開始較細小的結晶核，或是較小的結晶無明顯的凹陷與 X 紋路，甚至無法觀察到，待結晶長到一定大小之後，即可輕易觀察到 X 紋路。較小的晶體或小結晶核由於堆積層數不多，從巨觀上看並沒有矩形紋路，也沒有凹陷與 X 紋路，且大多呈現透明光滑，利用顯微鏡放大倍率觀察，才能看到幾層矩形，但層數也不多，如圖十一所示，推論這時晶體堆積還是一層層完全包覆，因此沒有凹陷，也因為沒有凹陷，所以無法觀察到晶體 X 紋路，所以在圖十示意圖雖然有清晰可見的矩形形狀，但此區塊矩形層數還不多，觀察到的是應是無凹陷的晶體中心。



圖十一 細小的食鹽結晶

八、利用棉繩作為附著物養晶

我們改變養晶的方式，利用棉繩做為養晶的附著物，實驗結果觀察到晶體仍會是呈現矩形堆積，大致會沿著棉線形成數個立方體不規則地堆積在其他晶體上，不像用培養皿養晶可收集到完整的單晶，且棉繩為附著物的晶體並不會出現凹陷或是 X 紋路，其晶體大部分長寬高較接近正立方體，而用顯微鏡觀察時，仍可發現有一層層矩形，如圖十二所示，偶而也會出現如圖十三的長方體結構。



圖十二 棉繩作為附著物養晶之正方體結晶



圖十三 棉繩作為附著物養晶之長方體結晶

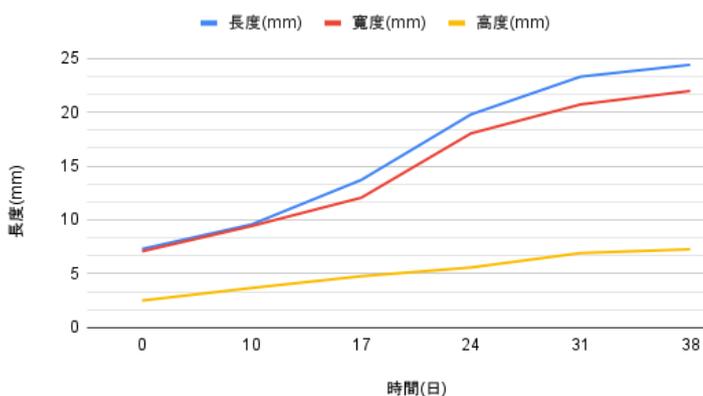
九、養晶過程與結果

選取代表性的兩個晶體做為結晶核進行養晶，觀察晶體大小隨時間變化的情形，將長、寬、高記錄於表二、表三、表四、表五，繪製相關曲線如圖十四、圖十五、圖十六、圖十七所示。我們以 45°C 的飽和食鹽水進行實驗，為減少溶劑中其他雜質的影響，以蒸餾水為溶劑溶解食鹽。

(一) 晶體一 (蒸餾水為溶劑，加熱至 45°C)

表二 晶體一晶體大小隨時間變化的情形

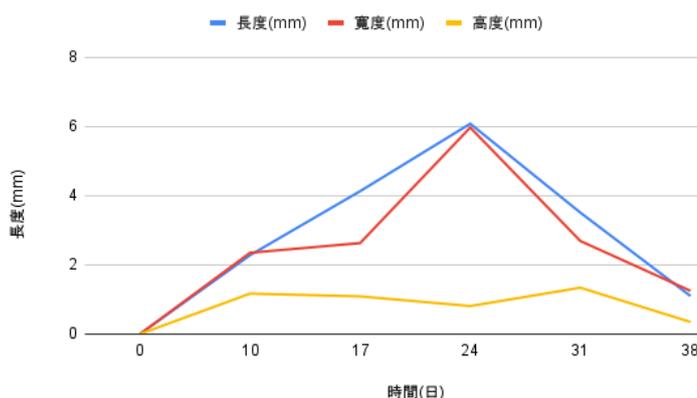
Day (天)	長度 (mm)	寬度 (mm)	高度 (mm)
0	7.3	7.08	2.51
10	9.58	9.43	3.68
17	13.71	12.06	4.77
24	19.79	18.03	5.58
31	23.3	20.72	6.92
38	24.4	21.97	7.27



圖十四 晶體一長寬高隨時間變化折線圖

表三 晶體一長寬高隨時間之增加量

Day (天)	長度 (mm)	寬度 (mm)	高度 (mm)
0	0	0	0
10	2.28	2.35	1.17
17	4.13	2.63	1.09
24	6.08	5.97	0.81
31	3.51	2.69	1.34
38	1.1	1.25	0.35

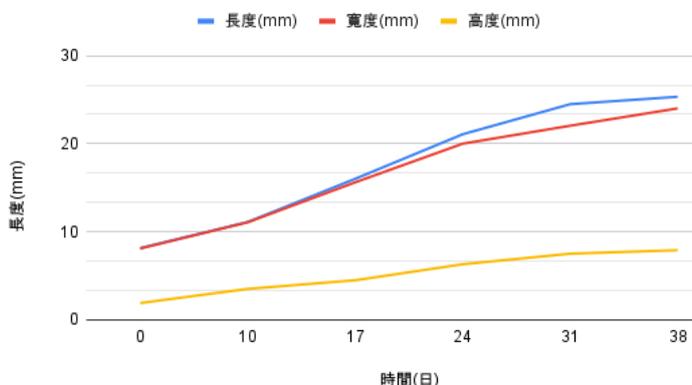


圖十五 晶體一長寬高隨時間變化量折線圖

(二) 晶體二 (蒸餾水為溶劑·加熱至 45 度)

表四 晶體二晶體大小隨時間變化的情形

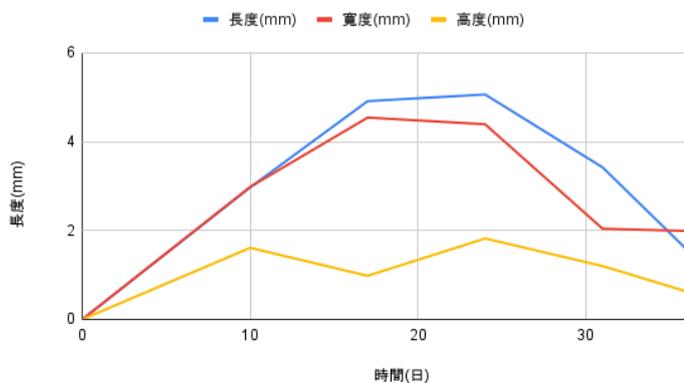
Day (天)	長度 (mm)	寬度 (mm)	高度 (mm)
0	8.14	8.1	1.9
10	11.11	11.08	3.51
17	16.02	15.62	4.49
24	21.08	20.01	6.31
31	24.5	22.05	7.51
38	25.34	24.02	7.91



圖十六 晶體二長寬高隨時間變化折線圖

表五 晶體二長寬高隨時間之增加量

Day (天)	長度 (mm)	寬度 (mm)	高度 (mm)
0	0	0	0
10	2.97	2.98	1.61
17	4.91	4.54	0.98
24	5.06	4.39	1.82
31	3.42	2.04	1.2
38	0.84	1.97	0.4



圖十七 晶體二長寬高隨時間變化量折線圖

隨著養晶天數增加，晶長、寬、高不斷增加，然而晶體主要是長、寬的擴展，高度相對增加幅度較小，驗證我們先前的假設，晶體結晶的過程是長、寬一層層堆疊，故成長速率較快，而高度每一層只會略高於前一層，因此堆積速率較慢，由圖十五、圖十七顯示，晶體成長速率隨時間的變化是先增後減在約 24 天達最大值。

十、參考文獻與本實驗晶體生成假設之比較

參考中華民國第四十五屆中小學科展作品「食鹽結晶的 X 檔案」，比較對 X 紋路的生成假設與凹陷分析。

	我方的假設	食鹽結晶的 X 檔案(45 屆中小學科展)
晶體如何堆積	晶體一層層由下而上堆積形成小結晶核後，而外層也是由下而上一層層堆積並包覆小結晶核，多包覆幾層後結成結晶核。	晶體先形成一薄晶體後，再出現第二層薄膜，依此類推，逐漸堆積成晶體。
凹陷之原因	晶體外圈一層層包覆或略高於上層晶體，導致其出現斜面，並產生凹陷。	底層第一層薄晶體生成時表面會出現水膜，因為水膜中間位置水高度較高，而四邊較淺，因此晶體易堆積，因此出現凹陷。
X 紋路之原因	斜面與斜面之間自然會出現一直線，而此直線即是我們所觀察到的 X 紋路，推測 X 紋路是由多層斜面交線堆疊而出現。	因為淺碟的表面張力，導致出現水珠中間較高，因而出現堆積速率不一，而出現 X 溝槽。
結論	以培養皿養晶，養晶溫度恆定且水位高度足夠，即可生成有凹陷、X 紋路的結晶核。利用棉繩當附著物放置於燒杯中養晶，生成晶體不會出現 X 紋路以及凹陷，但是利用顯微鏡放大仍有一層層矩形紋路。	利用較高的水位養晶，並不會出現水膜，各邊的堆積速率相同，因此也不會有出現 X 紋路與凹陷。

五、結論與生活應用

- 一、食鹽晶體的養晶溫度需恆定，若放置在室溫下，會因養晶溫度變化會導致結晶細小，無法成結晶核。
- 二、晶體一層層由下而上堆積形成小結晶核後，而外層也是由下而上一層層堆積並包覆小結晶核，多包覆幾層後可形成軌大的結晶核。
- 三、晶體外圈一層層包覆或略高於上層晶體，導致其出現斜面，並產生凹陷。
- 四、斜面與斜面之間會出現一直線，此直線即是我們觀察到的 X 紋路，X 紋路是由多層斜面交線堆疊而出現。
- 五、若用棉繩做為附著物，其生成的晶體並不會出現 X 紋路與凹陷，晶體形狀更接近立方體，使用顯微鏡觀察仍可發現矩形紋路。

參考資料

盧裕欣、張哲維、廖思評、吳孟霖、陳盈昌、曾祿喜(2005)。食鹽結晶的 X 檔案。

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0316/031626.pdf>