

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

080208

「晶」彩萬分—探討結晶在自製偏光顯微鏡下的形態

學校名稱：臺中市西區中正國民小學

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 小六 胡瀚升 小六 蔡佩芸 小六 陳彥妤 小六 賴荷婷 | 指導老師： 蕭莉琴 顏福勇 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：偏光顯微鏡、結晶形態、鹽結晶

摘要

每種物質都會結晶嗎？它們的結晶形態都相同嗎？在偏光鏡檢下是否都能呈現旋光性？如何培養出鹽的大結晶？鹽的結晶能做什麼應用呢？本研究利用**自製**的偏光顯微鏡和科學 maker 手機偏光顯微鏡的觀察得知：不是所有物質都能產生結晶，像白醋、米酒、蛋白、麥芽糖等無法產生結晶，而能產生結晶的鹽和醬油類沒有旋光性；糖、味精、紅酒和清潔類物質則有不同程度的旋光性。每一類的結晶形態也都不相同，可以用來判斷溶液中可能含有什麼成分。實驗中還發現，容器中的細小鹽結晶會跟主要培養的晶體競爭鹽分子，勤於更換容器才能養出大結晶。利用鹽的結晶可以做成具有療癒效果的偏光萬花筒、鹽燈、晶洞和鑽石樹等。

壹、研究動機

四年級「光的折射」實驗，老師讓我們在兩片偏光鏡片中間貼上一些透明膠帶，旋轉偏光片就能產生絢麗的色彩，原來光線經過第一片偏光鏡的光柵欄，只剩單一方向的光能透過，再經過**不同厚度**的透明膠帶**折射**，就能讓光以不同角度透過第二片偏光鏡，因此能產生彩色玻璃般的色彩。五年級做過「鹽的結晶」，對於液體能結晶這件事感到很好奇，日常生活中的所有物品是不是都能產生結晶？是不是所有的結晶型態都跟鹽一樣呢？如果不同物品的結晶型態都不相同，我們是不是可以做一個結晶資料庫，以後如果有不知名的調味料或溶液，就能利用結晶的形態來分辨裡面含有哪些成分。另外我們也想利用偏光鏡的特性，來**輔助觀察**透明的結晶是否有**旋光性**，**增加判斷結晶種類的依據**。

貳、研究目的

為了探討結晶的形成與形態，我們設計了兩個實驗來驗證與應用。分別是：

實驗一、探討生活中的結晶形態

實驗二、探討鹽結晶的成長過程與應用

參、研究設備及器材

載玻片、滴管、燒杯、攪拌棒、一般光學顯微鏡、科博館立體劇場的偏光眼鏡、科學 maker 的手機偏光顯微鏡和手機微距鏡、方格紙、生活中的物品(A-鹽、B-糖、C-醬油類、D-味精、E-紅酒、F-清潔類、G-其他)

| 編號 | 品項 | 編號 | 品項 | 編號 | 品項 |
|-----|------------|-----|-----------|-----|--------|
| A-1 | 科蘭克玫瑰鹽(岩鹽) | C-1 | 香菇王香菇醬油 | F-1 | 硼砂 |
| A-2 | 台鹽高級碘鹽 | C-2 | 李錦記舊庄特級蠔油 | F-2 | 檸檬酸 |
| A-3 | 深滋味海鹽 | C-3 | 西螺丸莊黑豆蔭油膏 | F-3 | 過碳酸鈉 |
| A-4 | 粗鹽 | C-4 | 瑞春蘭級清油 | F-4 | 小蘇打 |
| B-1 | 科蘭克楓糖 | C-5 | 味全淬釀醬油露 | F-5 | 漂白水 |
| B-2 | 台糖黃細砂 | C-6 | 味全水餃醬汁 | G-1 | 口水 |
| B-3 | 台糖白細砂 | C-7 | 工研烏酢 | G-2 | 汗水 |
| B-4 | 耆盛食品糖粉 | D-1 | 味王傳統味精 | G-3 | 眼淚 |
| B-5 | 冰糖 | D-2 | 味全高鮮味精 | G-4 | 派滴兒點眼液 |
| B-6 | 冰紅糖 | D-3 | 康寶鮮味炒手 | G-5 | 柴魚高湯 |
| B-7 | 黑糖 | E-1 | 紅酒 | G-6 | 東泉辣椒醬 |

肆、研究過程或方法

一、實驗前的測試：

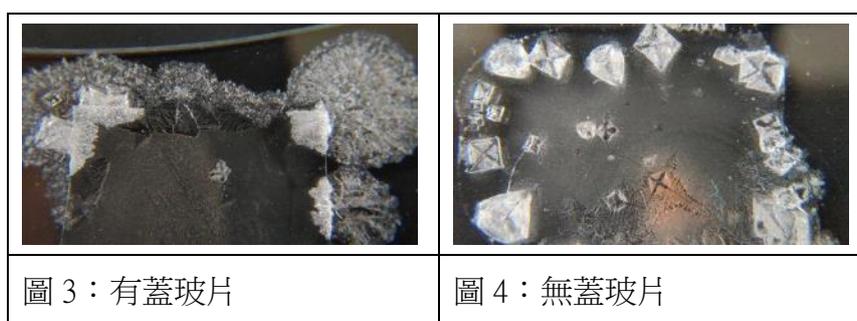
(一)將立體劇場的偏光眼鏡剪開，在一片偏光鏡其中一面貼上數條透明膠帶，另一片偏光鏡疊上旋轉，能觀察到色彩的變化(圖 1)。



(二)將收集到的各式鹽和糖溶解，滴在載玻片上，每一種材料分三種方式製作結晶玻片：
a.滴在一般載玻片上，蓋上蓋玻片、b.滴在凹玻片上，蓋上蓋玻片、c.直接滴在凹玻片上
(圖 2)。



➡發現蓋上蓋玻片，結晶的成長空間有限，溶液會滲透到蓋玻片周圍(圖 3)，且結晶型態異於沒有蓋玻片的完整晶型(圖 4)，所以決定正式進行實驗時，所有的材料都不蓋蓋玻片。



二、正式進行實驗：

(一) 實驗一：探討生活中的結晶形態

1.製作各種結晶玻片：

將收集到的各種調味料、清潔品等物質，固態的加水溶解，液態的直接滴在載玻片上，置於收納盒中等待結晶形成。(圖 5)

2.自製偏光顯微鏡：

偏光顯微鏡有兩個偏振鏡，一個裝置在光源與被檢物體之間的叫“起偏鏡”；另一個裝置在物鏡與目鏡之間的叫“檢偏鏡”。在使用偏光顯微鏡檢時，原則上要使起偏鏡與檢偏鏡處於正交檢偏位的狀態下進行，也就是視場完全黑暗。

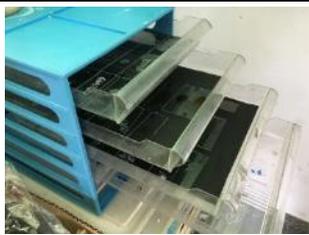
(參考資料[1])

將科博館立體劇場的 3D 立體眼鏡中的偏光片，剪成大小適合放入接目鏡中的圓形(圖 6)，再將另一眼的偏光片做成口字形，置於光源上方。偏光觀察時，轉動

接目鏡，直到背景顏色變成黑色，表示起偏鏡和檢偏鏡處於正交檢偏位，就可以拍照記錄(圖 7)。

3.組裝科學 maker 的偏光顯微鏡：

觀察時，可以旋轉光源上方的起偏鏡，直到視場完全黑暗，就可以拍照記錄。(圖 8)

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 圖 5：收納盒 | 圖 6：自製檢偏鏡 | 圖 7：偏光鏡檢 | 圖 8：科學 maker 鏡檢 |

(二) 實驗二：探討鹽結晶的成長過程與應用

1.鹽結晶的成長過程

分三梯將台鹽高級碘鹽溶解成過飽和溶液，濃度約 35%以上，放入小顆方形鹽結晶當作晶種，靜置等待結晶成長。每週置於方格紙上拍照、測量結晶長寬，製作結晶面積成長長條圖。

第一梯的結晶主要觀察晶體**翻身**(每週換一面當底)跟**不翻身**(固定一面當底)對於結晶成長速度與形狀是否有差異，因此控制不更換容器，只把要觀察測量的主結晶附近細小的結晶撥開，盡量不要干擾到主結晶的成長(圖 9)。

第二梯的結晶都不翻身，因為過飽和食鹽水蒸發，溶液變少，因此在第 69 天時**添加過飽和食鹽水**。以及當主結晶成長幾乎停止時，選擇部分樣本在不同時間**更換容器**，只留下主結晶跟上層過飽和食鹽水澄清液，其餘細小的多餘結晶移除。

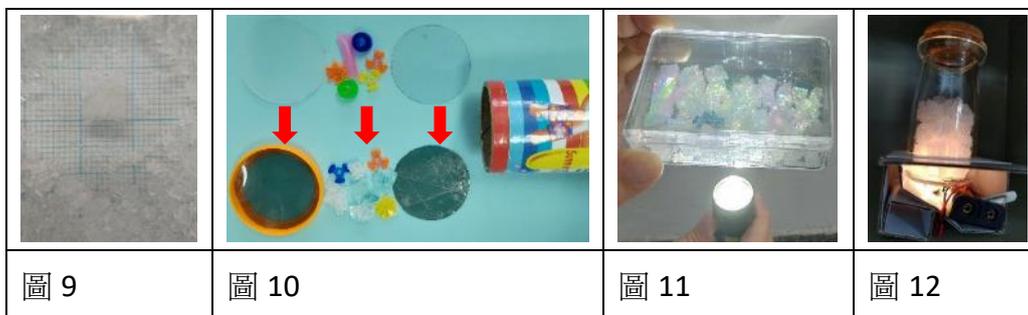
第三梯的結晶不翻身也不添加過飽和食鹽水溶液，分別在不同天開始每週**更換容器**，只留下主結晶跟上層過飽和食鹽水澄清液。

2.用培養出的鹽結晶做應用

(1)偏光萬花筒：將萬花筒玩具的透明塑膠片換成偏光片，在 2 片偏光片相對的一面貼上數條透明膠帶，中間放入數顆鹽晶體及裝飾物(圖 10)。

(2)偏光鹽燈：將多顆鹽的大晶體放在塑膠盒中，在塑膠盒的上下各貼上偏光片，底下打光(圖 11)。

(3)一般鹽燈：將多顆鹽的大晶體放在透明的小容器中，應用四年級學到的電路，用小紙盒和厚紙板做出可以擺放電池盒和小燈泡的底座(圖 12)。

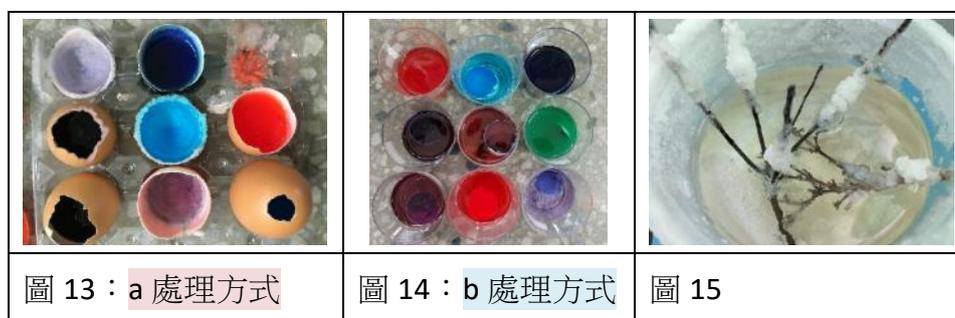


3.用鹽結晶做晶洞

將台鹽高級碘鹽的過飽和溶液加顏料染色，用兩種方式處理，a.倒入去掉內膜的蛋殼中(圖 13)及 b.去掉內膜的蛋殼浸泡在染色的過飽和食鹽水中，等待鹽結晶形成。(圖 14)

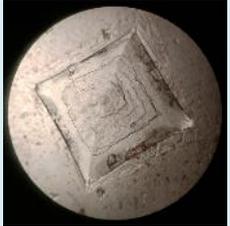
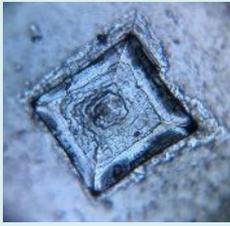
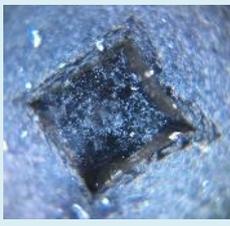
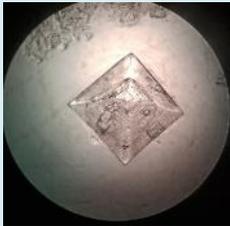
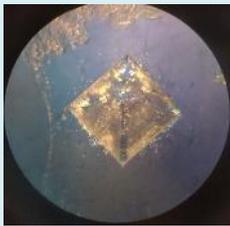
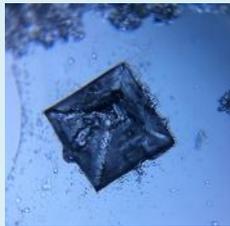
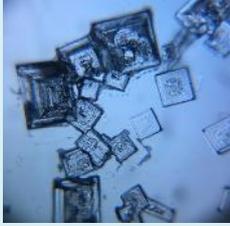
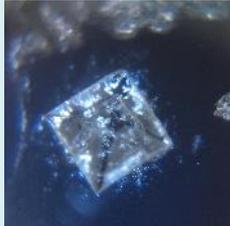
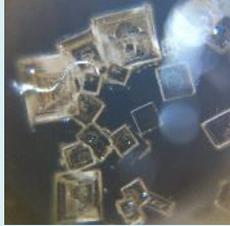
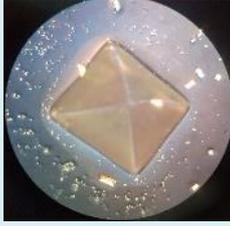
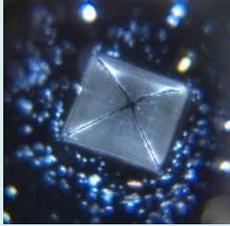
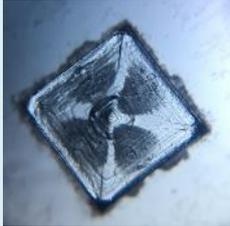
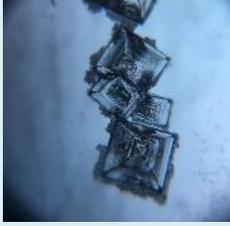
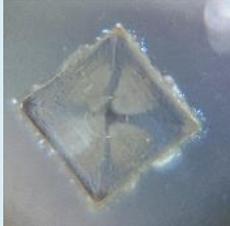
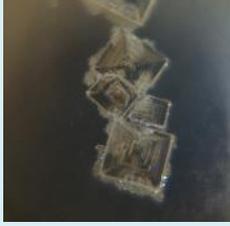
4.製作鑽石樹

將小樹枝靜置在過飽和食鹽水中，等待結晶形成。(圖 15)



伍、研究結果與討論

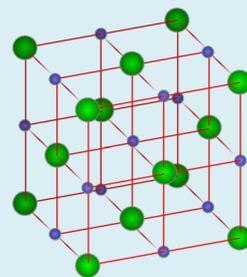
一、實驗一：探討生活中的結晶形態

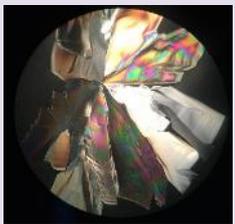
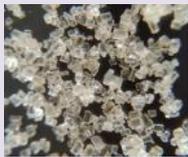
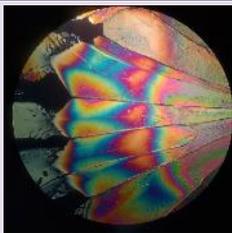
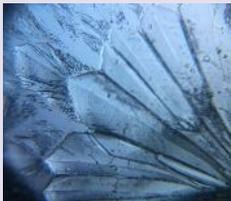
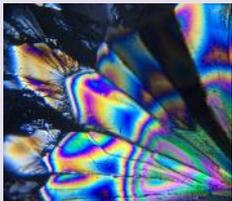
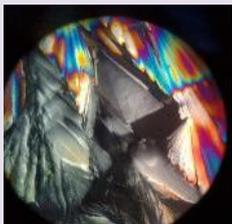
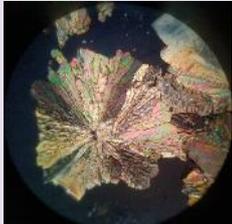
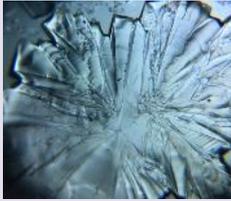
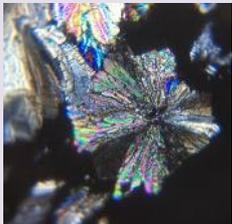
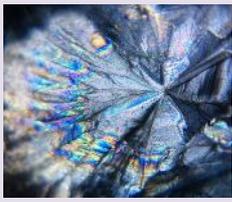
| 編號 | 品項 | 一般光學顯微鏡 | 光學加偏光鏡 | 手機顯微鏡 | 手顯加偏光鏡 |
|-----|--|--|--|--|--|
| A-1 | 科蘭克玫瑰鹽  |  |  |  |  |
| A-2 | 台鹽高級碘鹽  |   |   |   |   |
| A-3 | 深滋味海鹽  |  |  |  |  |
| A-4 | 粗鹽  |   |   |   |   |

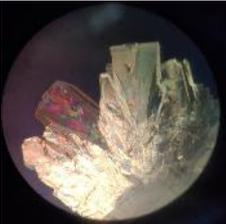
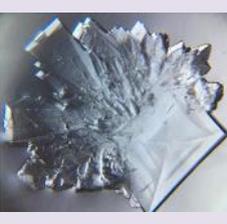
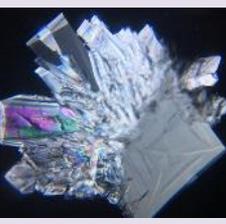
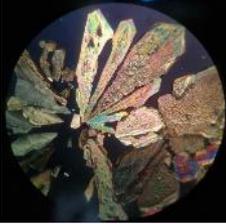
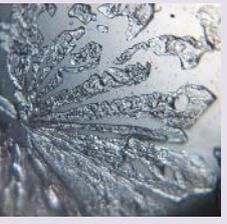
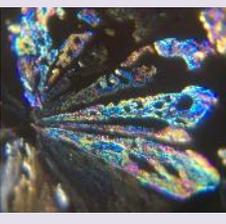
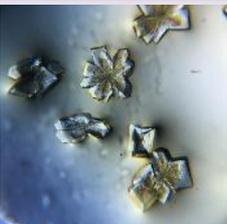
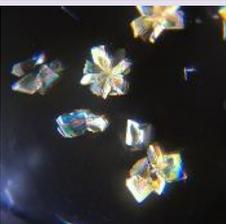
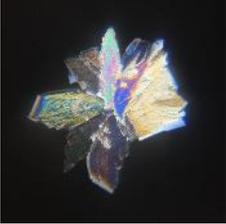
➡ (一)四種鹽都是方形結晶，大部分結晶中央有十字圖案，少部分結晶整體透明無色，如 A-2。

相鄰的結晶會互相干擾，導致晶形不方正，有的長方形，有的有缺陷，如 A-4。

(二)鹽結晶沒有旋光性，在偏光顯微鏡下依然透明無色彩，從維基百科得知食鹽的主要成分是氯化鈉 NaCl ，氯化鈉的晶體形成立體對稱，每個離子有六個相鄰的離子，組成一個八面體，如右圖，所以食鹽結晶才沒有旋光性(參考資料[2])，無旋光性的晶體在偏光顯微鏡下的效果並沒有比在一般光學顯微鏡下好，因為形態上的細節會被模糊掉。



| 編號 | 品項 | 一般光學顯微鏡 | 光學加偏光鏡 | 手機顯微鏡 | 手顯加偏光鏡 |
|-----|---|--|--|--|--|
| B-1 | 科蘭克楓糖  |  |  |  |  |
| B-2 | 台糖黃細砂  |  |  |  |  |
| B-3 | 台糖白細砂  2 個月後→ (結晶潮解過) |   |   |   |   |
| B-4 | 耆盛食品糖粉  |  |  |  |  |

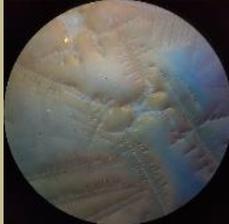
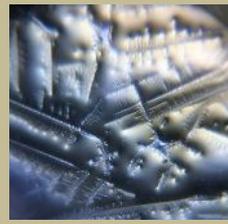
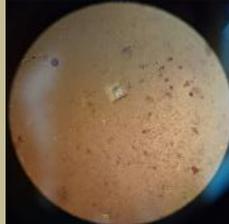
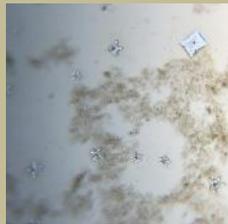
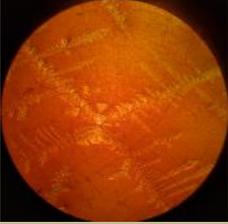
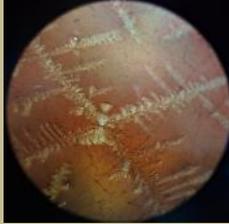
| | | | | | |
|-----|--|---|---|---|---|
| B-5 | 冰糖  |  |  |  |  |
| B-6 | 冰紅糖 2 個月後→ (結晶潮解過) |   |   |   |   |
| B-7 | 黑糖  |   |   |   |   |

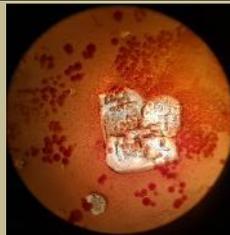
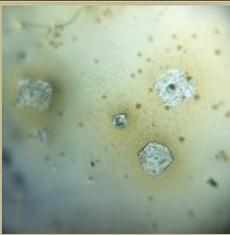
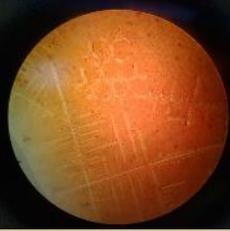
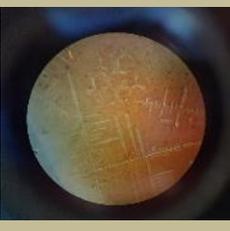
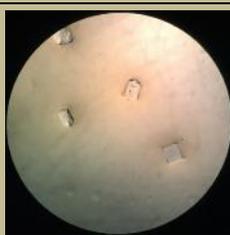
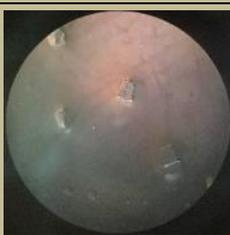
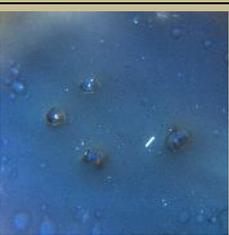
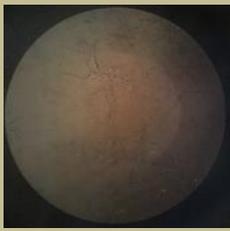
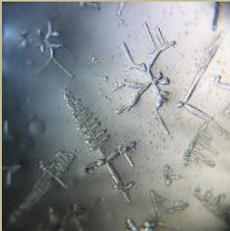
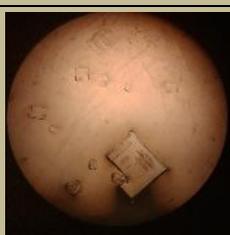
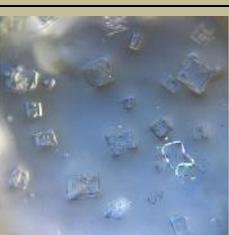
➡ (一)食用糖結晶的形成會從結晶中心慢慢往外成長，如果沒有遇到阻礙，彼此沒有干擾，最後的形狀會像朵花。結晶透明無色，在一般光學顯微鏡下要調整光圈、加強對比才容易看到，但是在偏光顯微鏡下就像一朵朵神奇的彩色花朵，很容易觀察，可見偏光顯微鏡對具有旋光性的結晶，具有輔助觀察的功能。

(二)以上這七種食用糖的主要成分都是蔗糖(參考資料[3])，而蔗糖具有旋光性，因此在偏光顯微鏡下呈現繽紛色彩。

(三)從 B-3、B-6 可以看到糖結晶經過長時間保存，期間濕度過高曾經潮解過再結晶，因此晶形呈現破碎的樣子，所以要觀察完整結晶最好是糖形成結晶後，兩週內觀察拍照。

(四)做了麥芽糖和蜂蜜玻片，都沒有觀察到結晶形成。

| 編號 | 品項 | 一般光學顯微鏡 | 光學加偏光鏡 | 手機顯微鏡 | 手顯加偏光鏡 |
|-----|--|--|--|--|--|
| C-1 | 香菇王香菇醬油  |   |   |   |   |
| C-2 | 李錦記蠔油  |  |  |  |  |
| C-3 | 西螺丸莊黑豆蔭油膏  |   |   |   |   |
| C-4 | 瑞春蘭級清油  |   |   |   |   |

| | |
|---|---|
| <p>C-5</p> <p>味全淬釀醬油</p> <p>露</p>  |         |
| <p>C-6</p> <p>味全水餃醬汁</p>  |         |
| <p>C-7</p> <p>工研烏酢</p>  |         |

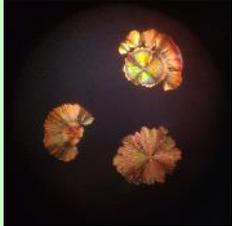
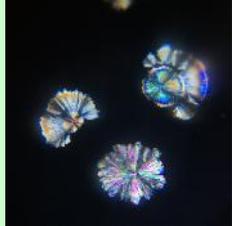
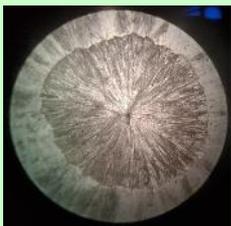
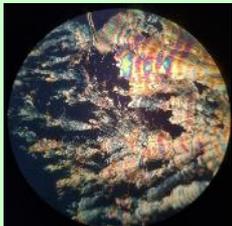
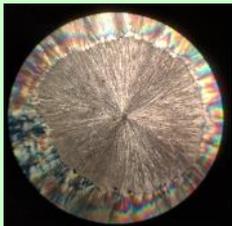
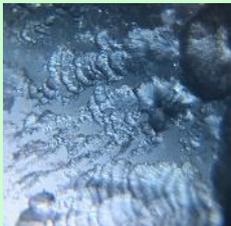
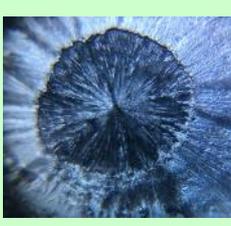
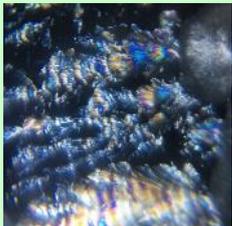
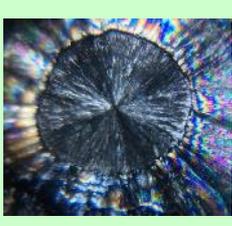
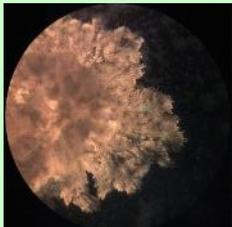
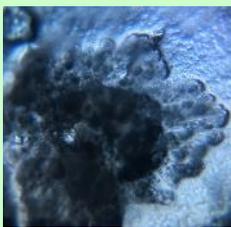
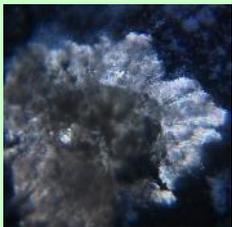
➡ (一)醬油結晶的形成，所需時間較久，約 1 週左右，結晶顏色比醬油本身淡，醬油經過 100 天也沒有乾掉，結晶就在液態的醬油中。當濕度超過 60%時，結晶會越來越少，濕度超過 80%時，結晶都消失不見了，等濕度再降低到 60%以下時，結晶又會再次出現。

(二)C-1 到 C-6 的各式醬油中，都可以觀察到鹽的方形結晶和十字形或樹枝狀的結晶，也有像花一樣的結晶，這些結晶在偏光顯微鏡下都沒有旋光性。

(三)C-7 工研烏醋的結晶中，也可觀察到鹽的方形結晶，和十字形的結晶，這兩種結晶跟醬油

結晶一樣沒有旋光性，但是其中有觀察到少量的結晶呈現七彩色光，具有偏光性，而烏醋的成份裡有糖，推測這是少量的糖結晶。而 C-1 到 C-6 的各式醬油成份裡也有糖，但是在所有的醬油玻片中都沒有觀察到具有旋光性的糖結晶。

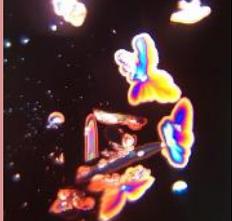
(四)做了糯米醋的玻片，沒有觀察到結晶形成。

| 編號 | 品項 | 一般光學顯微鏡 | 光學加偏光鏡 | 手機顯微鏡 | 手顯加偏光鏡 |
|-----|--|--|--|--|--|
| D-1 | 味王傳統味精  →濃度太高時，結晶球不透光 |   |   |   |   |
| D-2 | 味全高鮮味精  →中央結晶較厚，不透光 |   |   |   |   |
| D-3 | 康寶鮮味炒手  |   |   |   |   |

➡ (一)D-1 味精也稱為 L-麩酸鈉，其中 L 指的是一種逆時針旋轉的左旋結構，具有旋光性，因此在偏光顯微鏡中可以看到七彩色光。結晶形成從結晶中心向外輻射成長，形成一朵朵花般的樣子。當結晶越來越厚，光無法透過結成球狀的結晶球時，就只有球體邊緣較薄的地方能看到彩色的旋光性。

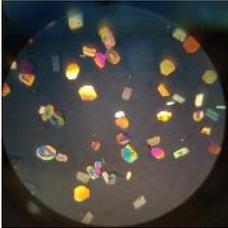
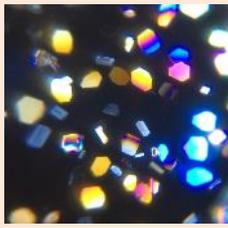
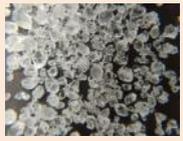
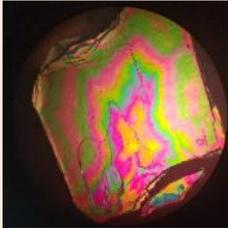
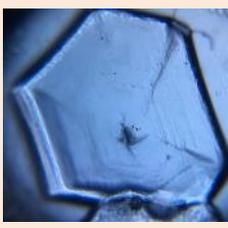
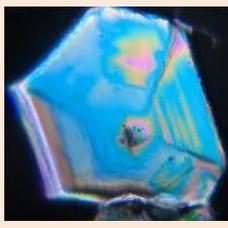
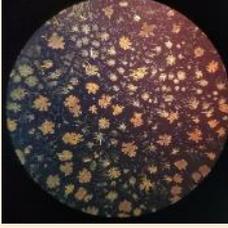
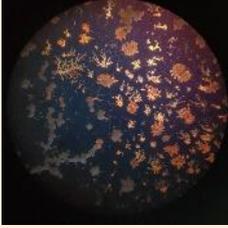
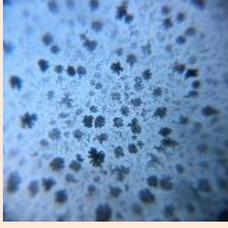
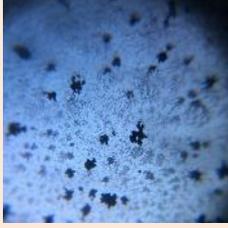
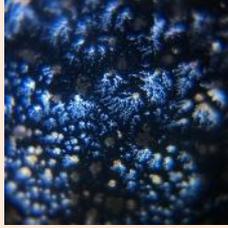
(二)D-2 高鮮味精其主要成分也是 L-麩酸鈉。簡單的說，高鮮味精就等於傳統味精再加其他調味劑的意思(參考資料[4])。因此在偏光顯微鏡中也可以看到七彩色光，結晶也是從結晶中心向外輻射成長，形成一朵朵花般的樣子。當中心部分的結晶太厚時，無法透光就沒有偏光效果了。

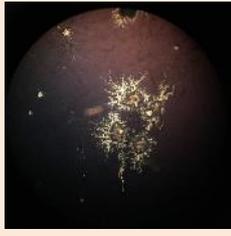
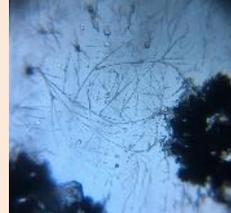
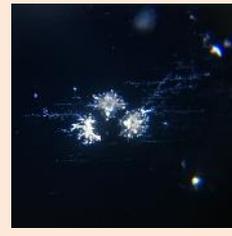
(三)D-3 康寶鮮味炒手的主要成分有鹽、L-麩酸鈉、玉米澱粉、糖、香料、羥丙基磷酸二澱粉、調味劑(5'-次黃嘌呤核苷酸二鈉、5'-鳥嘌呤核苷酸二鈉)、濃縮蛋白質、雞油、雞肉粉、β-胡蘿蔔素等多種成分，因此結晶無法像 D-1、D-2 這麼單純。可以看到不具有旋光性的方形鹽結晶、也看到有旋光性的味精結晶，還有許多不透光沒有結晶形態的物質。

| 編號 | 品項 | 一般光學顯微鏡 | 光學加偏光鏡 | 手機顯微鏡 | 手顯加偏光鏡 |
|-----|---|---|---|--|---|
| E-1 | 紅酒  |  |  |  |  |
| | |  |  |  |  |
| | |  |  |  |  |

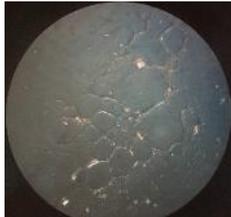
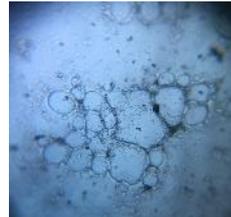
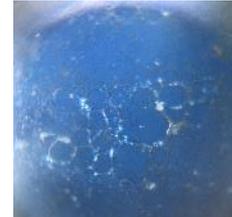
➡ (一)紅酒的結晶是酒石酸，結晶時間大約 5 天，型態有兩大類，第一類像兩頭流線型的梭子有長有短，第二類像蝴蝶翅膀一樣，兩類結晶在偏光顯微鏡下都呈現色彩繽紛的樣子，但是在一般光學顯微鏡下，第二類蝴蝶狀的結晶邊緣模糊，看起來不像結晶，像濃稠的液體，如果沒有用偏光顯微鏡觀察，會忽略了它。將結晶細部放大觀察，還能看到結晶上面有破碎寶石般的細小結晶。

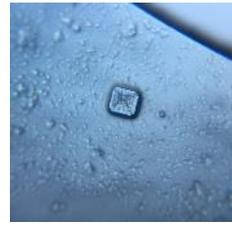
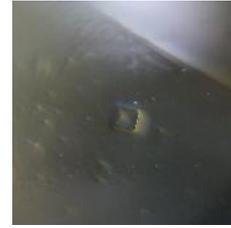
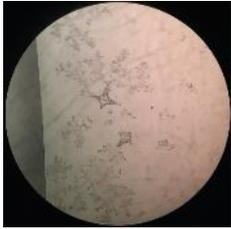
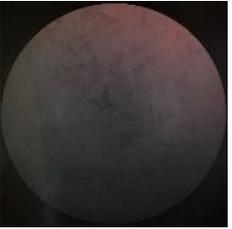
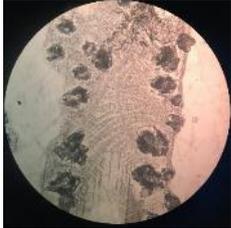
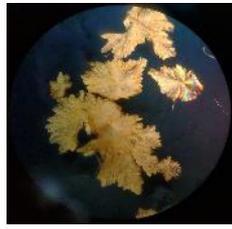
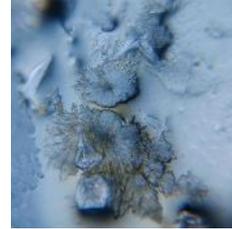
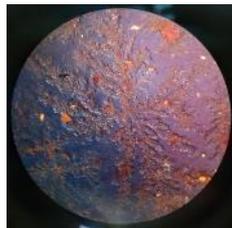
(二)也做了米酒玻片，但是沒有觀察到結晶形成。

| 編號 | 品項 | 一般光學顯微鏡 | 光學加偏光鏡 | 手機顯微鏡 | 手顯加偏光鏡 |
|-----|---|--|--|--|--|
| F-1 | 硼砂  |  |  |  |  |
| F-2 | 檸檬酸  |  |  |  |  |
| F-3 | 過碳酸鈉  |  |  |  |  |
| F-4 | 小蘇打  |   |   |   |   |

| | | | | | |
|-----|--|--|--|--|--|
| F-5 | 漂白水  |   |   |   |   |
|-----|--|--|--|--|--|

- ➔ (一)F-1 硼砂和 F-2 檸檬酸的結晶以一般光學顯微鏡看都是透明無色的，硼砂結晶呈現細小顆粒，檸檬酸結晶呈現較大片狀的多角形結晶。兩者在偏光顯微鏡下都是色彩繽紛，像七彩寶石一樣。
- (二)F-3 過碳酸鈉的結晶呈現樹枝狀，在偏光顯微鏡下具有微旋光性。
- (三)F-4 小蘇打的結晶有三種形式：第一種像一朵朵小花，光學顯微鏡下不透光，在偏光顯微鏡下具有微旋光性；第二種像樹枝狀珊瑚一樣，從第一種小花邊緣生長出來，在光學顯微鏡下半透光，在偏光顯微鏡下呈現接近白色的微旋光性；第三種是白色顆粒聚集成樹枝狀，在光學顯微鏡下不透光，在偏光顯微鏡下呈現白色。整體一起看很像花布的感覺。
- (四)F-5 漂白水的結晶也有三種形式：第一種很像鹽的結晶，透明無色沒有偏光性；第二種結晶包覆在第一種結晶的周圍，結晶中心在光學顯微鏡下不透光，伸展出去的觸手狀分枝半透明，在偏光顯微鏡下呈現微旋光性；第三種結晶呈現細枝狀，偏光下具有微旋光性。

| 編號 | 品項 | 一般光學顯微鏡 | 光學加偏光鏡 | 手機顯微鏡 | 手顯加偏光鏡 |
|-----|----|---|---|--|---|
| G-1 | 口水 |  |  |  |  |

| | | | | | |
|-----|--|---|---|--|---|
| G-2 | 汗水 |  |  |  |  |
| G-3 | 眼淚 |  |  |  |  |
| G-4 | 派滴兒點眼液  |  |  |  |  |
| G-5 | 柴魚高湯  |  |  |  |  |
| G-6 | 東泉辣椒醬  |  |  |  |  |

➡ (一) G-1 口水沒有發現結晶，觀察到的圓形圈圈推測是口水泡泡造成的。

G-2 汗水中觀察到鹽的方形結晶，沒有旋光性。

G-3 眼淚結晶有些中心部分觀察到鹽的方形結晶，外圍有雪花狀分枝，有些沒有方形結晶直接呈現雪花狀的分枝，眼淚結晶沒有旋光性。

G-4 派滴兒點眼液的結晶有兩種：第一種跟眼淚結晶類似，像雪花的分枝狀，只是比眼淚

結晶更細小，一樣沒有旋光性；第二種結晶有微旋光性，形狀有成堆的以及像煙花般放射狀的。

(二)G-5 柴魚高湯的結晶可以看到沒有旋光性的鹽結晶，也有具旋光性的味精結晶。

(三)G-6 東泉辣椒醬的結晶像樹枝狀，沒有旋光性，推測因為辣椒醬的成分中有醬油，所以結晶類似醬油。結晶約一週可以形成，二週辣椒醬會乾掉，結晶形狀依然存在，不像醬油經過四個月了還沒乾燥。

二、實驗二：探討鹽結晶的成長過程與應用

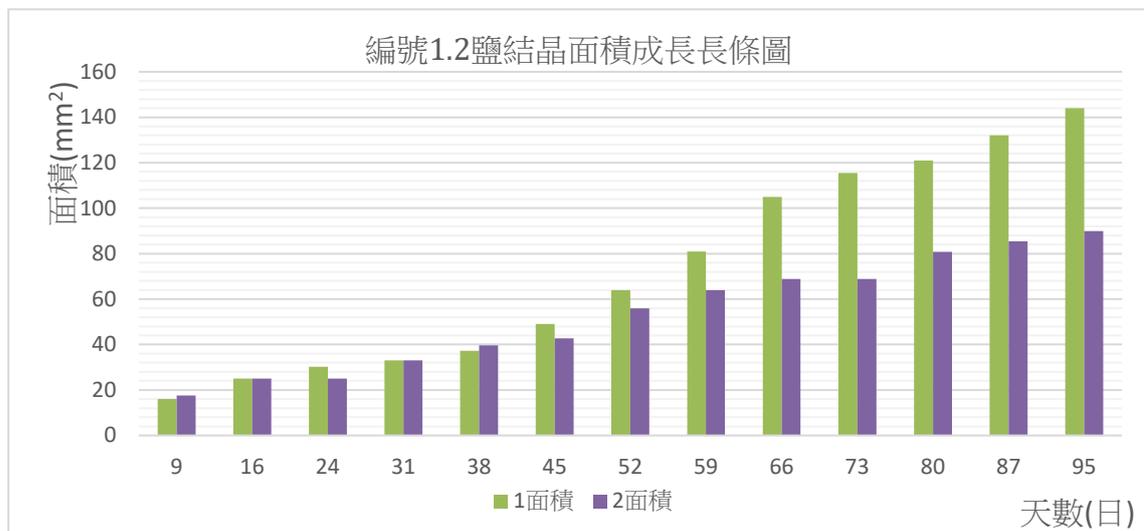
(一)鹽結晶的成長過程

1.第一梯鹽結晶成長—比較結晶不翻身和翻身的差異

表(一)編號 1、2 鹽結晶面積成長表(單位平方毫米)(紫底表示主結晶每週翻身)

| 天 編號 | 9 | 16 | 24 | 31 | 38 | 45 | 52 | 59 | 66 | 73 | 80 | 87 | 95 |
|---------|------|----|------|----|------|------|----|----|------|------|------|------|-----|
| 編號 1 | 16 | 25 | 30.3 | 33 | 37.2 | 49 | 64 | 81 | 105 | 116 | 121 | 132 | 144 |
| 編號 2 | 17.6 | 25 | 25 | 33 | 39.7 | 42.7 | 56 | 64 | 68.9 | 68.9 | 80.8 | 85.5 | 90 |

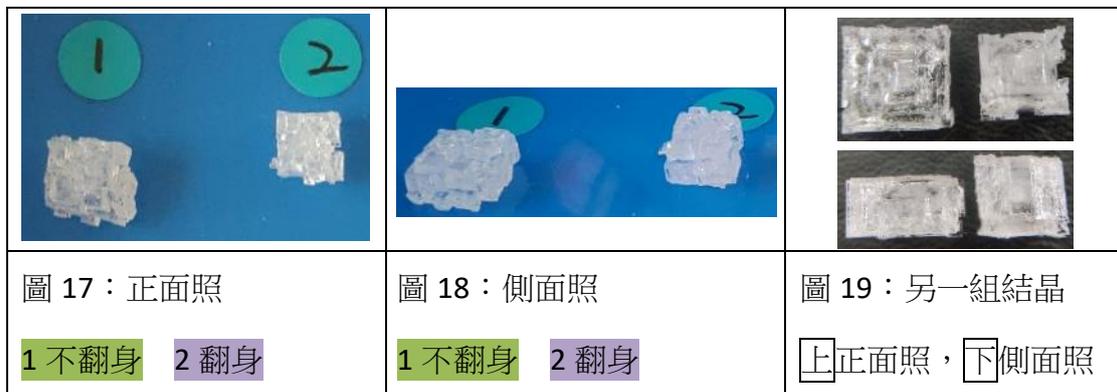
圖 16：編號 1.2 鹽結晶面積成長長條圖



➔ (1) 編號 1 不翻身固定同一面當底，編號 2 翻身每週隨意換一個面當作底，從圖 16 可以看到鹽晶體一開始面積大小差不多，第 95 天時面積大小有了明顯差異，不翻身的晶體面積較大，翻身的晶體面積較小(圖 17)。

(2) 從兩顆晶體的側面圖可以看到編號 1 的厚度較薄；編號 2 的厚度較厚，整顆晶體較接近正立方體(圖 18)。

(3) 由此推論，晶體成長時需要空間，編號 1 不翻身，一直是同一面當底，當底的那一面沒有空間成長，所以上下方向成長速度緩慢，前後左右成長速度較快，才形成較扁的正方形柱體。編號 2 每週翻身，平均每一面都有當底成長速度緩慢的機會，因此正面面積比編號 1 小，但整體比較趨近於正立方體。此現象從另一組的晶體也可證實(圖 19)。

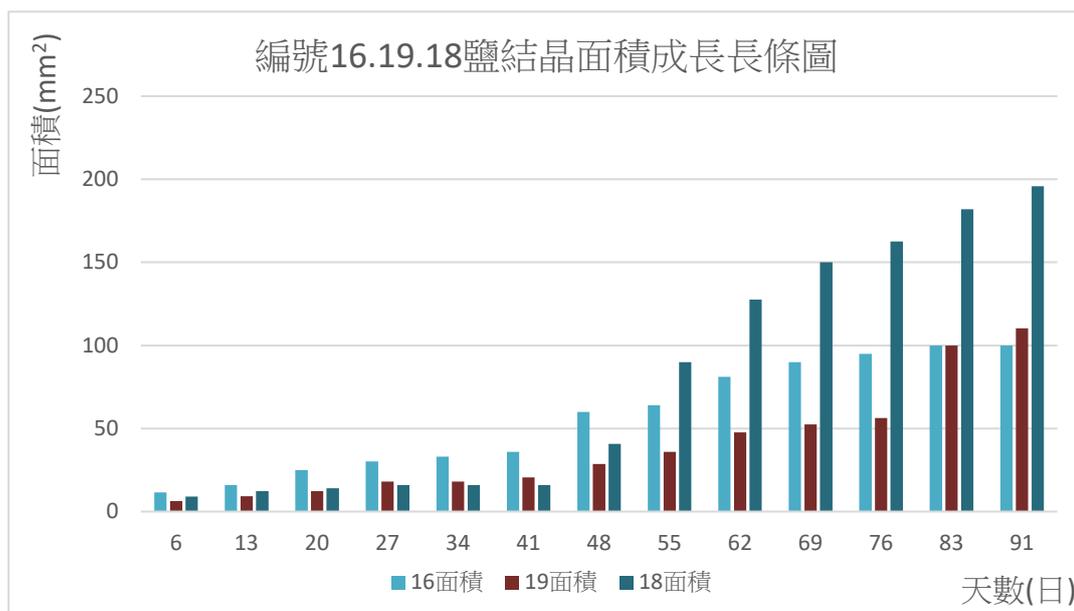


2. 第二梯鹽結晶成長一比較添加過飽和食鹽水和更換容器是否影響結晶成長

表(二)編號 16、19、18 鹽結晶面積成長表(單位平方毫米)(黃底表示當週添加過飽和食鹽水；綠底表示主結晶開始每週更換容器。)

| 天 編號 | 6 | 13 | 20 | 27 | 34 | 41 | 48 | 55 | 62 | 69 | 76 | 83 | 91 |
|---------|------|------|------|------|----|------|------|----|------|------|------|-----|-----|
| 編號 16 | 11.6 | 16 | 25 | 30.3 | 33 | 36 | 60 | 64 | 81 | 90 | 95 | 100 | 100 |
| 編號 19 | 6.25 | 9.3 | 12.3 | 18 | 18 | 20.5 | 28.6 | 36 | 47.6 | 52.5 | 56.3 | 100 | 110 |
| 編號 18 | 9 | 12.3 | 14 | 16 | 16 | 16 | 40.8 | 90 | 128 | 150 | 163 | 182 | 196 |

圖 20：編號 16.19.18 鹽結晶面積成長長條圖



- ➔ (1)第 69 天添加過飽和食鹽水溶液，比較長條圖第 69 天到 76 天，可以看到鹽結晶沒有明顯的成長，因此得知**添加過飽和食鹽水溶液不會影響鹽結晶的成長**。
- (2)編號 16 的結晶**沒有更換新容器**，周圍細小的鹽結晶一直與主結晶共存，可以看到第 6 天到第 48 天，結晶面積是三個中最大的，雖然持續成長但速度緩慢，在第 91 天時，已經是三個中最小的。我們推測**成長速度緩慢是因為周圍的小結晶跟主結晶競爭鹽分子所導致**。
- (3)編號 19 在第 76 天時**更換容器**，只留下主結晶和澄清的上層過飽和食鹽水，沒有其餘的小結晶與主結晶競爭鹽分子，所以觀察第 76 天到第 83 天的長條圖(圖 20)可以看到明顯的成長，快速超越起始面積大它約 2 倍的編號 16。
- (4)編號 18 在第 41 天時開始**更換容器**，每週只留下主結晶和澄清的上層過飽和食鹽水，從長條圖中可以看到從第 48 天開始，結晶快速成長，遠遠超過其它結晶，由此可知，**越早開始更換容器，可以培養出更大顆的結晶**。

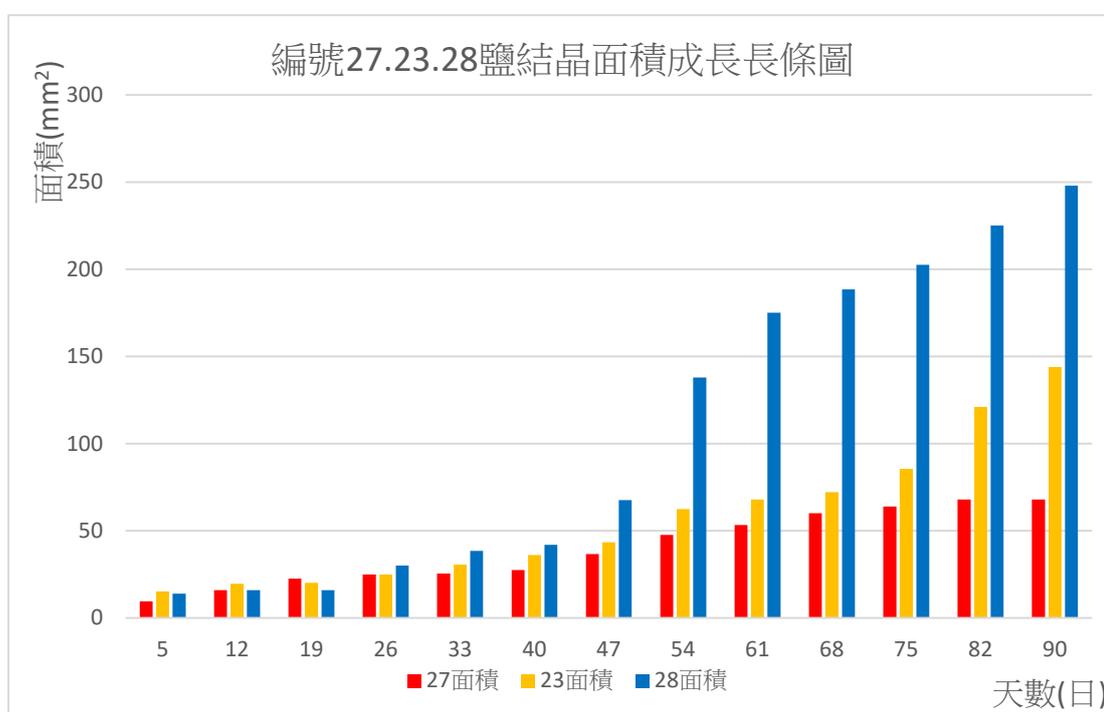
3.第三梯鹽結晶成長—確認**更換容器**能加速結晶成長

為了驗證第二梯實驗得到的推論：**小結晶會跟主結晶競爭鹽分子，影響主結晶成長速度**。因此再做第三梯實驗，這次一開始就準備較多的過飽和食鹽水，避免培養中途因為蒸發而需要額外添加過飽和食鹽水。

表(三)編號 27、23、28 鹽結晶面積成長表(單位平方毫米)(綠底表示主結晶更換容器)

| 天 編號 | 5 | 12 | 19 | 26 | 33 | 40 | 47 | 54 | 61 | 68 | 75 | 82 | 90 |
|---------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|-------|-------|-----|-----|
| 編號 27 | 9.61 | 16 | 22.5 | 25 | 25.5 | 27.5 | 36.6 | 47.6 | 53.3 | 60 | 64 | 68 | 68 |
| 編號 23 | 15.2 | 19.6 | 20.1 | 25 | 30.6 | 36 | 43.4 | 62.4 | 68 | 72.3 | 85.5 | 121 | 144 |
| 編號 28 | 14 | 16 | 16 | 30 | 38.5 | 42 | 67.5 | 138 | 175 | 188.5 | 202.5 | 225 | 248 |

圖 21：編號 27.23.28 鹽結晶面積成長長條圖



- ➔ (1) 編號 27 沒有更換容器，因此成長緩慢，到了後期幾乎沒有長大。
- (2) 編號 23 的成長速度到第 75 天都跟編號 27 差不多一樣緩慢，從第 75 天更換容器後就快速超越編號 27 的結晶了。
- (3) 編號 28 的結晶前 19 天幾乎沒有成長，第 19 天更換一次容器後，隔週可看到第 26 天的面積就變大了，之後兩週沒有更換容器，成長速度就比較緩慢，第 40 天開始每週更換容器，可以看到第 47 天結晶面積變大很多，且持續快速成長。
- (4) 從這次實驗可以驗證我們的推論是正確的，小結晶會跟主結晶競爭鹽分子，勤於更換容器可以養出大結晶。

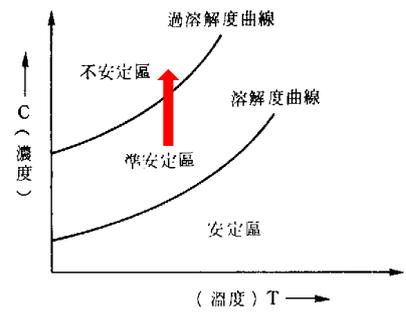
(5)結晶之邁耶理論：(參考資料[5])

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。

不安定區：會有大量微小晶體析出，分享了過飽和溶質的量，使晶體無法長大，故成為微小的晶體。

參考邁耶理論，解釋了培養過程中，為什麼有越來越多的微小晶體析出，原來是水分蒸發後，食鹽水濃度越來越高，從準安定區過渡到不安定區，因此有大量微小晶體析出。而食鹽溶質不斷被微小晶體分享，導致主結晶成長趨緩。

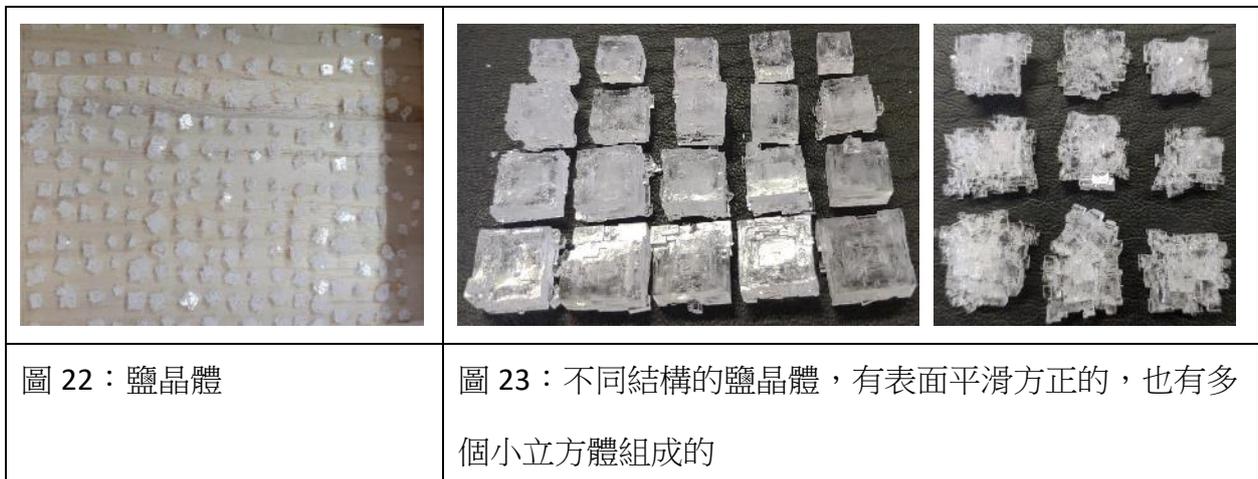


(二)用培養出的鹽結晶做應用

最後將培養得到的鹽晶體取出(圖 22)，觀察後發現有兩大類結構，第一種表面平滑方正，第二種由多個小立方體組合起來(圖 23)。

結合偏光片的特性，如果在兩片偏光片中間，擺上不同厚度的鹽晶體代替不同厚度的透明膠帶，是不是也能產生不同色彩呢？結果沒有旋光性的鹽晶體無法取代透明膠帶(圖 24)。

最後利用它們做出的成品：1.偏光萬花筒(圖 25)、2.偏光鹽燈(圖 26)、3.一般鹽燈(圖 27)，看起來都很療癒。



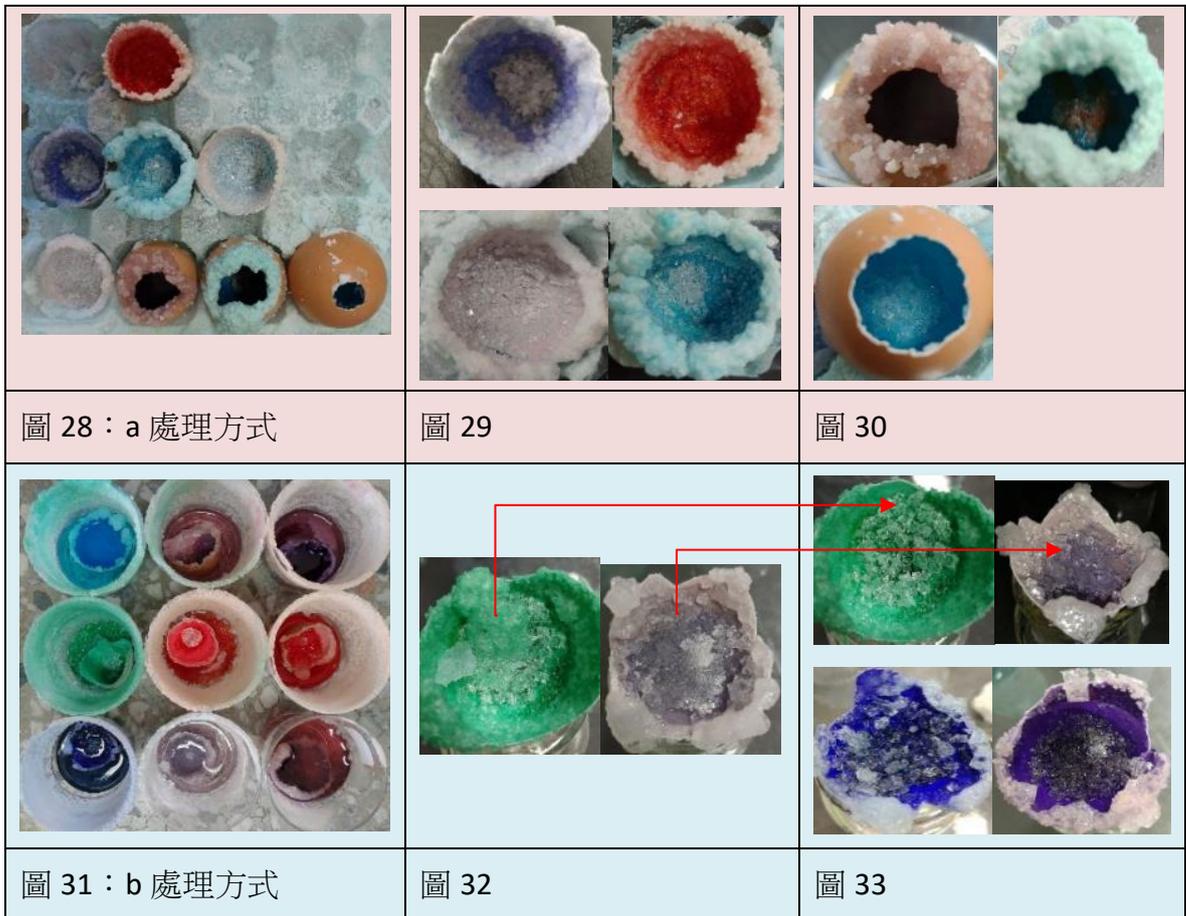


- ➡ (1)造成鹽晶體具有不同結構的原因，我們推測是過飽和食鹽水濃度不同所導致，同一個容器內培養的多個晶體，一般都是全部平滑方正，不然就全是多個小立方體組成的。如果晶體全部平滑方正的容器內，幾乎不會看到細小的結晶出現，推測這種容器內的食鹽水處於邁耶理論的準安定區。由多個小立方體組成的晶體所在的容器，會有很多細小的結晶出現，推測這種容器內的食鹽水處於不安定區。
- (2)為什麼不同厚度的鹽晶體無法取代透明膠帶，產生色彩呢？原來因為鹽沒有旋光性，但是透明膠帶的成分是高分子聚丙烯 PP(參考資料[6])，本身是有機物具有旋光性。因此想利用鹽晶體來製作偏光萬花筒，就要先在偏光片上貼上數條透明膠帶；偏光鹽燈的製作也得用到透明有厚度的塑膠盒 PS，來讓上下方的偏光片產生作用，才能呈現絢麗的色彩。
- (3)做成鹽燈的優點除了療癒外，還能較好的保存鹽晶體，因為濕度高時，鹽晶體很容易潮解，點燈加熱可以除濕，讓鹽晶體不容易潮解變小顆。

(三)用鹽結晶做晶洞

a.處理方式在靜置過程中，不斷有攀晶現象產生，導致蛋殼內的過飽和食鹽水不斷利用毛細現象漏到外面(圖 28)，蛋殼內的過飽和食鹽水很快就會乾枯，需要常常添加過飽和食鹽水，結果無法製作出晶體較大的晶洞(圖 29)。為了防止過飽和食鹽水太快蒸發，因此有三個蛋殼的開口較小，實驗過程中果然不用常常添加過飽和食鹽水，但是結晶只能看到洞口明顯的一圈和最底部一點點小結晶，因為洞口小也不容易觀察到內部的結晶。(圖 30)

b.處理方式在靜置過程中，也產生攀晶現象(圖 31)，但是乾枯速度較慢，不用常常補充過飽和食鹽水，但是水面上成片的細小結晶會沉到蛋殼內，蓋住蛋殼上的完整晶體(圖 32)，要移開才能觀察到蛋殼內的完整晶體(圖 33)。



- ➡ (1)做晶洞的蛋殼最好是切一半的，做好晶洞後比較容易觀察。
- (2)將整個蛋殼浸泡在染色的過飽和食鹽水溶液中的 b 處理方式效果比較好，能得到較大顆晶體的晶洞，過程中也比較不用常常添加過飽和食鹽水，當杯壁產生攀晶現象時，將它剝除，就能防止溶液利用毛細現象漏到外面了。

(四)製作鑽石樹

「法國小說家斯湯達爾曾經在論愛情裡提到一個很有趣的概念：「結晶」。這是他對一個叫做馬爾蒂女子單戀後的作品。斯湯達爾說在薩爾斯堡有一根禿樹枝掉到廢棄的鹽礦裡。幾個月後，樹枝被拉出來，上面都被鹽的結晶所覆蓋。很小的一支樹枝，突然間像是鑲滿鑽石的一條銀河。斯湯達爾再也看不出這是一根樹枝。斯湯達爾進一步將這種物理的過程跟人類的心理過程類比：想像將所愛的人形象改變。斯湯達爾認為人在熱戀的過程就是一個「結晶」的過程，宛如把愛人全身都鑲滿了鑽石，然後愛人蒙上了一層魅人的光暈。」(參考資料[7])

因為這段敘述，我們嘗試做了鑽石樹，浸泡過程中，會因為攀晶讓過飽和食鹽水溶液不斷經由毛細現象從杯壁溢出(圖 34)，只要把杯壁的鹽結晶剝掉就能解決。實驗中發現樹枝選擇表面粗糙、分枝多的效果比較好，鹽結晶比較容易附著在上面；浸泡在過飽和食鹽水中的樹枝能結出透明如鑽石般的方形鹽結晶，像棵鑽石樹(圖 35.37.38)；露出水面部分的結晶是不透明白色的攀晶，像一棵結霜的樹(圖 36.37.39)，效果較差。

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| <p>圖 34：攀晶現象</p> | <p>圖 35：鑽石樹</p> | <p>圖 36：結霜的樹</p> |
|  |  |  |
| <p>圖 37：上半部浸泡食鹽水中，下半部露出水面</p> | <p>圖 38：放大鑽石樹</p> | <p>圖 39：放大結霜的樹</p> |

陸、結論

實驗一：探討生活中的結晶形態

一、自製一般光學偏光顯微鏡和科學 maker 手機偏光顯微鏡的比較

| | 自製一般光學偏光顯微鏡 | 科學 maker 手機偏光顯微鏡 |
|--------|---------------|------------------|
| 移動玻片 | 較方便，可以使用調整鈕微調 | 手動，目標較容易跑掉 |
| 視野大小 | 範圍較小 | 範圍較大 |
| 清晰度 | 優良 | 優良 |
| 加偏光鏡效果 | 優良 | 優良 |
| 拍照 | 懸空，對焦不易 | 手機平放，方便對焦 |

二、不是所有東西都能產生結晶，我們觀察過白醋、米酒、蛋白、麥芽糖等都沒有結晶，而能產生結晶的鹽和醬油類沒有旋光性，在偏光顯微鏡下透明無色；糖、味精、紅酒和清潔類則有不同程度的旋光性。每一類的結晶構造也都不相同，可以用來判斷溶液中可能含有什麼成分。

三、偏光鏡檢確實可以輔助觀察透明的結晶是否有旋光性，增加判斷結晶種類的依據。

實驗二：探討鹽結晶的成長過程與應用

一、要培養方正的鹽晶體須注意的事項：

(一)容器內不要同時培養多個晶體，容易競爭鹽分子，讓成長速度緩慢。

(二)根據邁耶理論，容器內有細小結晶出現表示食鹽水濃度太高，處於不安定區，就該更換容器，甚至更換過飽和食鹽水，除了能讓成長快速，也能讓主要晶體表面平滑方正。

二、偏光片和萬花筒及鹽燈的結合，能讓色彩更絢爛繽紛。萬花筒、鹽燈、晶洞和鑽石樹的製作方法簡單，成品美觀還具有療癒效果。

柒、參考資料

1. 偏光顯微鏡的基本原理與特點(2017)。取自
<https://dfgagsdfbtgiyuk.pixnet.net/blog/post/217962810-%E5%81%8F%E5%85%89%E9%A1%AF%E5%BE%AE%E9%8F%A1%E7%9A%84%E5%9F%BA%E6%9C%AC%E5%8E%9F%E7%90%86%E5%8F%8A%E7%89%B9%E9%BB%9E>
2. 維基百科。氯化鈉。取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%AF%E5%8C%96%E9%92%A0>
3. 維基百科。蔗糖。取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%94%97%E7%B3%96>
4. 食力(2018)。味精和高鮮味精產品有何差異？取自
<https://www.foodnext.net/science/knowledge/paper/5234258100>
5. 結晶之邁耶理論(2000)。取自
http://163.28.10.78/content/vocation/chemical_engineering/tp_ss/content-wa/wchm2/wpage2-5.htm
6. 每日頭條(2019)。透明膠帶是如何製造的。 <https://kknews.cc/zh-tw/news/kyl33mv.html>
7. 斯湯達爾的結晶理論。(2008)取自 <https://blog.xuite.net/gto19781018/twblog/173926291>
8. 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會作品(2011)。水滴中的晶靈。取自
<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=8932&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=4&sid=8951>
9. 金門地區第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書(2019)。奇妙的食鹽結晶。
10. 自然與生活科技(第五冊)(2020)。溶解現象。臺北市。康軒文教事業股份有限公司。

【評語】 080208

1. 結晶在自製偏光顯微鏡下的形態，主題有趣。
2. 自製偏光顯微鏡的動機為何?應說明。
3. 自製與市售的偏光顯微鏡有何不同，尤其是就本實驗結果作比較。
4. 參考資料如取自網站，應標明上網日期。
5. 引用參考資料，有於本文中依序標示。很好。但，8 以後未標示。
6. 觀察紀錄作得詳實完整，相片拍得清楚細緻，是科學研究的好材料。惟需增加更多的科學探究歷程，更多的變因探討，並獲得更多的量化數據，方便做更有效的歸納分析。
7. 結晶在偏光顯微鏡下呈現美麗圖案，可謂化學之美。

作品簡報



晶

彩萬分

—探討結晶在自製偏光顯微鏡下的形態

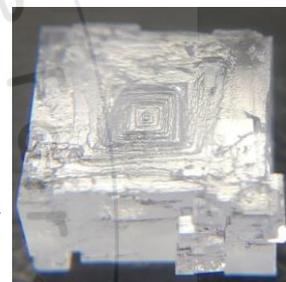
國小組化學科

研究動機

四年級「光的折射」實驗



五年級做過「鹽的結晶」，對於結晶感到好奇，因此想製作各種結晶的資料庫，以後如果有不知名的溶液，就能利用結晶的形態來分辨裡面含有哪些成分



另外我們也想結合偏光鏡的特性，來輔助觀察透明的結晶是否有旋光性，增加判斷結晶種類的依據。

研究目的

【實驗一】

探討生活中的結晶形態

【實驗二】

探討鹽結晶的成長過程與應用

研究方法

【實驗前的測試】發現蓋上蓋玻片，結晶的成長空間有限，溶液會滲透到蓋玻片周圍(圖1)，且結晶型態異於沒有蓋玻片的完整晶型(圖2)，所以決定正式實驗時，所有的材料都不蓋蓋玻片。

【正式實驗】【實驗一】探討生活中的結晶形態

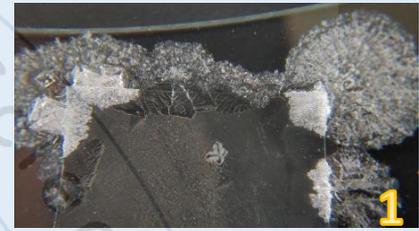
(一)製作各種結晶玻片

(二)自製偏光顯微鏡：

偏光顯微鏡有兩個偏振鏡，光源與被檢物體之間的叫“起偏鏡”；另一個在物鏡與目鏡之間叫“檢偏鏡”。使用偏光鏡檢時，原則上要使起偏鏡與檢偏鏡處於正交檢偏位的狀態下進行，也就是視場完全黑暗。

將3D立體眼鏡中的偏光片，剪成大小適合放入接目鏡中的圓形(圖3)，再將另一眼的偏光片做成口字形，置於光源上方。偏光觀察時，轉動接目鏡，直到背景顏色變成黑色，就可以拍照記錄(圖4)。

(三)組裝科學maker的偏光顯微鏡(圖5)



研究方法

【實驗二】探討鹽結晶的成長過程與應用

(一)鹽結晶的成長過程

分三梯培養大顆鹽結晶。每週置於方格紙上拍照、測量結晶大小(圖6)。

(二)用培養出的鹽結晶做應用

(1)偏光萬花筒：將萬花筒玩具的透明塑膠片換成偏光片，在2片偏光片相對的一面貼上數條透明膠帶，中間放入數顆鹽晶體及裝飾物(圖7)。

(2)偏光鹽燈：將鹽晶體放在塑膠盒中，在塑膠盒的上下各貼上偏光片，底下打光(圖8)。

(3)一般鹽燈：將多顆鹽晶體放在透明的小容器中，用厚紙板做出可以擺放電池盒和小燈泡的底座(圖9)。

(三)用鹽結晶做晶洞

兩種方式處理，a.染色的過飽和食鹽水直接倒入蛋殼中(圖10)及b. 蛋殼浸泡在染色的過飽和食鹽水中，等待鹽結晶形成。(圖11)

(四)製作鑽石樹

將小樹枝靜置在過飽和食鹽水中，等待結晶形成。(圖12)



6



7



8



9



10



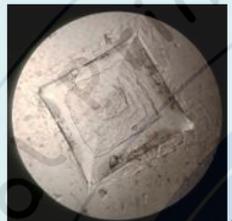
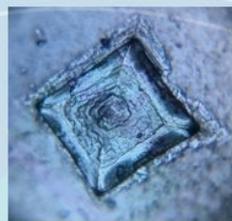
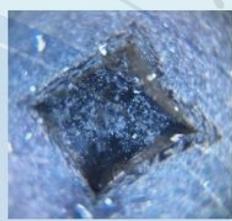
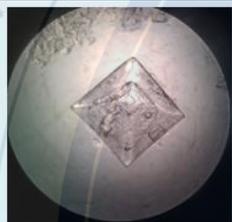
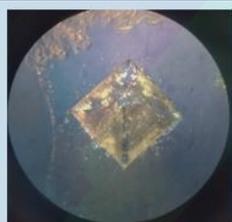
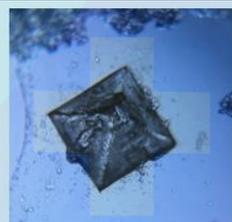
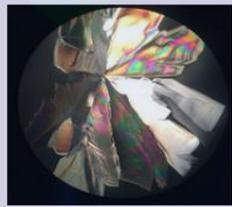
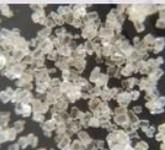
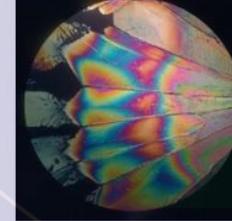
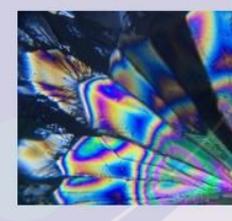
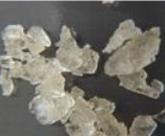
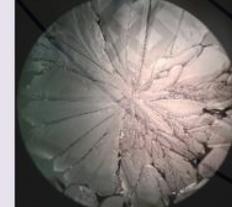
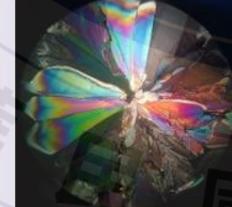
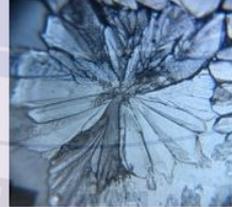
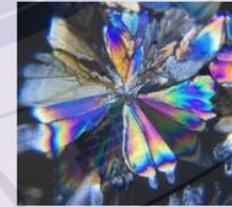
11



12

實驗一

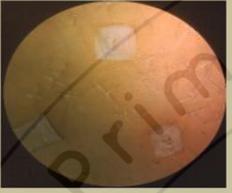
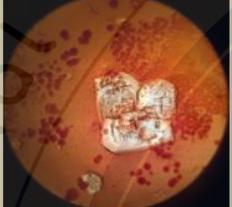
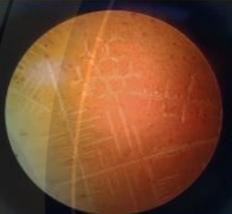
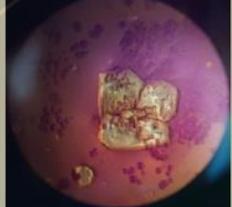
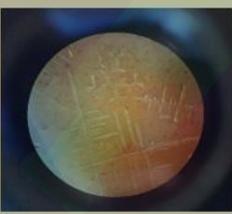
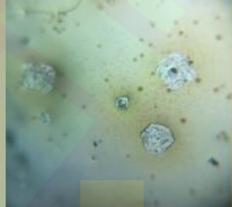
研究結果與討論

| 編號 | 品項 | 一般光學顯微鏡 | 光學加偏光鏡 | 手機顯微鏡 | 手顯加偏光鏡 |
|-----|--|---|---|--|---|
| A-1 | 科蘭克玫瑰鹽  |  |  |  |  |
| A-2 | 台鹽高級碘鹽  |  |  |  |  |
| B-1 | 科蘭克楓糖  |  |  |  |  |
| B-2 | 台糖黃細砂  |  |  |  |  |
| B-6 | 冰紅糖  |  |  |  |  |

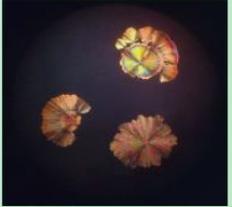
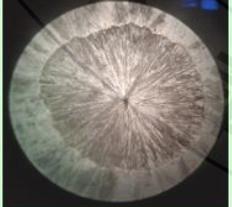
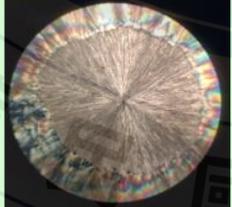
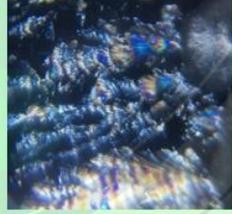
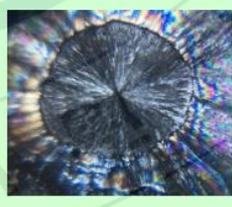
(一)食用鹽都是方形結晶，**結晶中央有十字圖案**。

(二)鹽結晶**沒有旋光性**，無旋光性的晶體在偏光下效果不好，因為形態上的細節會被模糊掉。

(一)食用糖結晶像朵花。在**一般光學顯微鏡**下結晶透明無色，但是在**偏光顯微鏡**下色彩繽紛，很容易觀察。可見**偏光顯微鏡對具有旋光性的結晶，具有輔助觀察的功能**。

| 編號 | 品項 | 一般光學顯微鏡 | 光學加偏光鏡 | 手機顯微鏡 | 手顯加偏光鏡 |
|-----|--|--|--|--|--|
| C-1 | 香菇醬油  |  |  |  |  |
| C-5 | 味全淬釀醬油露  |   |   |   |   |

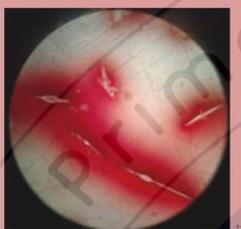
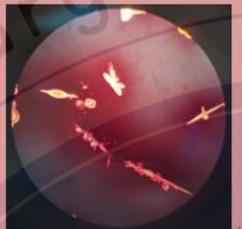
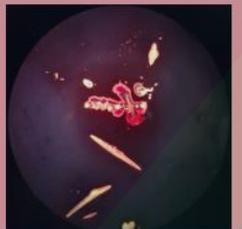
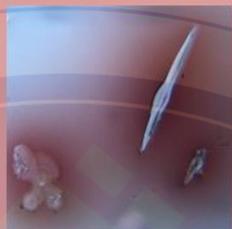
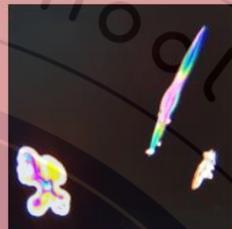
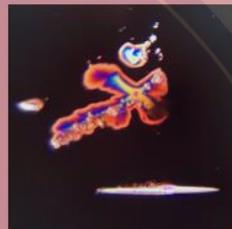
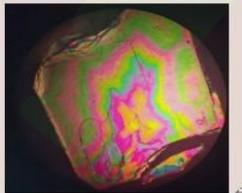
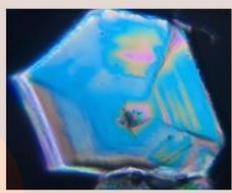
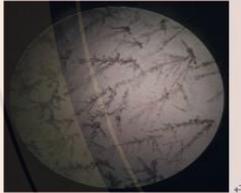
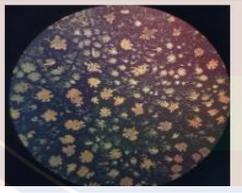
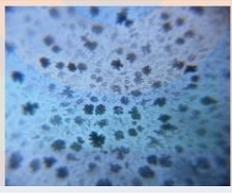
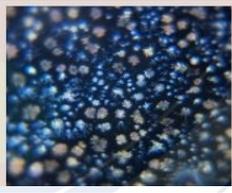
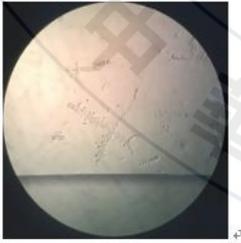
(一)各式醬油中，可以觀察到**沒有旋光性的鹽方形結晶**，也有像花和樹枝狀的結晶，這些結晶都沒有旋光性，我們猜測會不會是鹽在不同基質中形成的結晶型態不一樣造成的呢？

| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|
| D-1 | 味王傳統味精  |  |  |  |  |
| D-2 | 味全高鮮味精  |   |   |   |   |

→中央結晶較厚，不透光。

(一) **味精**成分是麩酸鈉，**具有旋光性**，因此在偏光顯微鏡中可以看到七彩色光的**花狀結晶**。

(二) 當中心部分的結晶太厚時，無法透光就沒有偏光效果了。

| 編號 | 品項 | 一般光學顯微鏡 | 光學加偏光鏡 | 手機顯微鏡 | 手顯加偏光鏡 | |
|-----|--|---|---|---|---|--|
| E-1 | 紅酒  |   |   |   |   | (一)紅酒的結晶是酒石酸，型態有兩類， 兩頭尖的棒子 和 蝴蝶翅膀狀 ，在偏光下都色彩繽紛。在一般光學下，蝴蝶狀的結晶邊緣模糊，如果沒有用偏光顯微鏡觀察，容易忽略了它。 |
| F-2 | 檸檬酸  |  |  |  |  | (一)不同清潔類的結晶型態各異，有的像 寶石 ，有的呈現 樹枝狀 ，有的像一朵朵 小花 。 |
| F-3 | 過碳酸鈉  |  |  |  |  | (二)在偏光顯微鏡下依面積大小，而呈現 不同程度的旋光性 。 |
| F-4 | 小蘇打  |  |  |  |  | |
| G-3 | 眼淚  |  |  |  | (一)其他類中比較特別的是眼淚結晶，呈現 雪花狀的分枝 ，沒有旋光性。 | |

實驗二：探討鹽結晶的成長過程與應用

(一) 鹽結晶的成長過程

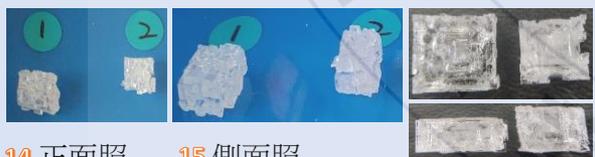
1. 第一梯鹽結晶成長—比較結晶不翻身和翻身的差異

| 天 | 9 | 16 | 24 | 31 | 38 | 45 | 52 | 59 | 66 | 73 | 80 | 87 | 95 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 編號 1 | 16.0 | 25.0 | 30.3 | 33.0 | 37.2 | 49.0 | 64.0 | 81.0 | 105.0 | 116.0 | 121.0 | 132.0 | 144.0 |
| 編號 2 | 17.6 | 25.0 | 25.0 | 33.0 | 39.7 | 42.7 | 56.0 | 64.0 | 68.9 | 68.9 | 80.8 | 85.5 | 90.0 |

編號1,2鹽結晶面積成長長條圖



- 編號1不翻身固定同一面當底，編號2翻身每週隨意換一個面當作底。從圖中可以看到鹽晶體一開始面積大小差不多，第95天時面積大小有了明顯差異，不翻身的晶體面積較大，翻身的晶體面積較小(圖14)。
- 從兩顆晶體的側面圖可以看到編號1的厚度較薄；編號2的厚度較厚，整顆晶體較接近正立方體(圖15)。
- 由此推論，晶體成長時需要空間，編號1不翻身，當底的那一面沒有空間成長，所以上下方向成長速度緩慢，才形成較扁的正方形柱體。編號2每週翻身，平均每一面都有當底成長速度緩慢的機會，因此正面面積比編號1小，但整體比較趨近於正立方體。此現象從另一組的晶體也可證實(圖16)。



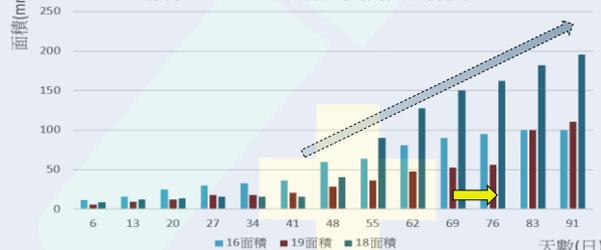
14 正面照 15 側面照

16 另一組結晶

2. 第二梯鹽結晶成長—比較添加過飽和食鹽水和更換容器是否影響結晶成長

| 天 | 6 | 13 | 20 | 27 | 34 | 41 | 48 | 55 | 62 | 69 | 76 | 83 | 91 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 編號 16 | 11.6 | 16.0 | 25.0 | 30.3 | 33.0 | 36.0 | 60.0 | 64.0 | 81.0 | 90.0 | 95.0 | 100.0 | 100.0 |
| 編號 19 | 6.25 | 9.3 | 12.3 | 18.0 | 18.0 | 20.5 | 28.6 | 36.0 | 47.6 | 52.5 | 56.3 | 100.0 | 110.0 |
| 編號 18 | 9.0 | 12.3 | 14.0 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 40.8 | 90.0 | 128.0 | 150.0 | 163.0 | 182.0 | 196.0 |

編號16,19,18鹽結晶面積成長長條圖



- 第69天添加過飽和食鹽水，比較長條圖第69天到76天，可以看到鹽結晶沒有明顯的成長，因此得知添加過飽和食鹽水溶液不會影響鹽結晶的成長。
- 編號16的結晶沒有更換新容器，周圍細小的鹽結晶一直與主結晶共存，可以看到第6天到第48天，結晶面積是三個中最大的，雖然持續成長但速度緩慢，在第91天時，已經是三個中最小的。我們推測成長速度緩慢是因為周圍的小結晶跟主結晶競爭鹽分子所導致。
- 編號19在第76天時更換容器，只留下主結晶和澄清的上層過飽和食鹽水，沒有其餘的小結晶與主結晶競爭鹽分子，所以第83天可以看到明顯的成長。
- 編號18在第41天時開始更換容器，每週只留下主結晶和澄清的上層過飽和食鹽水，從長條圖中可以看到從第48天開始，結晶快速成長，遠遠超過其它結晶，由此可知，越早開始更換容器，可以培養出更大顆的結晶。

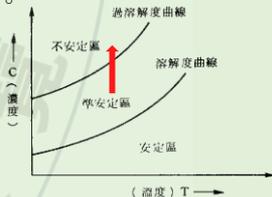
3. 第三梯鹽結晶成長—確認更換容器能加速結晶成長

| 天 | 5 | 12 | 19 | 26 | 33 | 40 | 47 | 54 | 61 | 68 | 75 | 82 | 90 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 編號 27 | 9.61 | 16.0 | 22.5 | 25.0 | 25.5 | 27.5 | 36.6 | 47.6 | 53.3 | 60.0 | 64.0 | 68.0 | 68.0 |
| 編號 23 | 15.2 | 19.6 | 20.1 | 25.0 | 30.6 | 36.0 | 43.4 | 62.4 | 68.0 | 72.3 | 85.5 | 121.0 | 144.0 |
| 編號 28 | 14.0 | 16.0 | 16.0 | 30.0 | 38.5 | 42.0 | 67.5 | 138.0 | 175.0 | 188.5 | 202.5 | 225.0 | 248.0 |

編號27,23,28鹽結晶面積成長長條圖



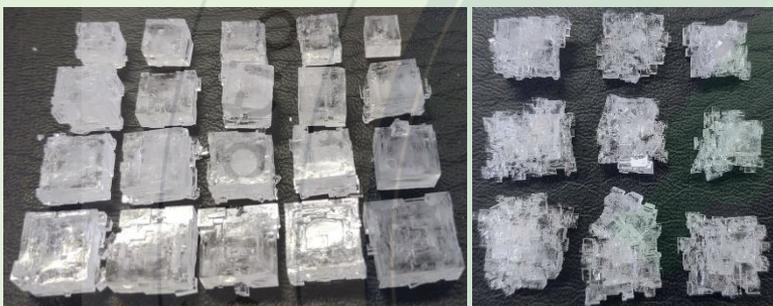
- 編號27沒有更換容器，因此成長緩慢。
- 編號23從第75天更換容器後就快速成長。
- 編號28第40天開始每週更換容器，可以看到結晶面積變大很多，且持續快速成長。
- 從這次實驗可以驗證我們的推論是正確的，小結晶會跟主結晶競爭鹽分子，勤於更換容器可以養出大結晶。
- 結晶之邁耶理論：
 準安定區：只能成長晶體不能生成晶體，故需加入少數微小晶體，作為晶種；如控制得當，可得較大之晶體。



- 不安定區：會有大量微小晶體析出，分享了過飽和溶質的量，使晶體無法長大，故成為微小的晶體。
- 參考邁耶理論，解釋了培養過程中，為什麼有越來越多的微小晶體析出，原來是水分蒸發後，食鹽水濃度越來越高，從準安定區過渡到不安定區，因此有大量微小晶體析出。而食鹽溶質不斷被微小晶體分享，導致主結晶成長趨緩。

(二)用培養出的鹽結晶做應用

1. 培養得到的鹽晶體有兩大類結構，第一種表面平滑方正，第二種由多個小立方體組合起來(圖17)。
2. 結合偏光片的特性，如果在兩片偏光片中間，擺上不同厚度的鹽晶體代替不同厚度的透明膠帶，是不是也能產生不同色彩呢？結果沒有旋光性的鹽晶體無法取代透明膠帶(圖18)。
3. 最後利用它們做出的成品：(1)偏光萬花筒(圖25)、(2)偏光鹽燈(圖26)、(3)一般鹽燈(圖27)，看起來都很療癒。



17 不同結構的鹽晶體，有表面平滑方正，也有多個小立方體組成的



18 鹽晶體不能產生色彩



19 偏光萬花筒



20 偏光鹽燈



21 一般鹽燈

(1)造成鹽晶體具有不同結構的原因，我們推測是**過飽和食鹽水濃度不同所導致**，同一個容器內培養的多個晶體，一般都是全部平滑方正，不然就全是多個小立方體組成的。如果晶體全部平滑方正的容器內，幾乎不會看到細小的結晶出現，推測這種容器內的食鹽水處於邁耶理論的**準安定區**。由多個小立方體組成的晶體所在的容器，會有很多細小的結晶出現，推測這種容器內的食鹽水處於不安定區。

(2)為什麼不同厚度的鹽晶體無法取代透明膠帶，產生色彩呢？原來**因為鹽沒有旋光性，但是透明膠帶的成分是高分子聚丙烯PP，本身是有機物具有旋光性**。因此想利用鹽晶體來製作偏光萬花筒，就要先在偏光片上貼上數條透明膠帶；偏光鹽燈的製作也得用到透明有厚度的塑膠盒PS，來讓上下方的偏光片產生作用，才能呈現絢麗的色彩。

(三)用鹽結晶做晶洞

a.處理方式在靜置過程中，不斷有攀晶現象產生，導致蛋殼內的過飽和食鹽水不斷利用毛細現象漏到外面(圖22)，蛋殼內的過飽和食鹽水很快就會乾枯，需要常常添加過飽和食鹽水，結果無法製作出晶體較大的晶洞(圖23)。為了防止過飽和食鹽水太快蒸發，因此有三個蛋殼的開口較小，實驗過程中果然不用常常添加過飽和食鹽水，但是結晶只能看到洞口明顯的一圈和最底部一點點小結晶，因為洞口小也不容易觀察到內部的結晶。(圖24)

b.處理方式在靜置過程中，也產生攀晶現象(圖25)，但是乾枯速度較慢，不用常補充過飽和食鹽水，但是水面上成片的細小結晶會沉到蛋殼內，蓋住蛋殼上的完整晶體(圖26)，要移開才能觀察到蛋殼內的完整晶體(圖27)。



22



23



24



25



26



27

(1)做晶洞的蛋殼最好是切一半的，做好晶洞後比較容易觀察。

(2)將整個蛋殼浸泡在染色的過飽和食鹽水溶液中的**b處理方式效果比較好**，能得到較大顆晶體的晶洞，過程中也比較不用常常添加過飽和食鹽水當杯壁產生攀晶現象時，將它剝除，就能防止溶液利用毛細現象漏到外面了。

(四)製作鑽石樹

「法國小說家斯湯達爾曾經在《論愛情》裡提到一個很有趣的概念：「結晶」。這是他對一個叫做馬爾蒂女子單戀後的作品。斯湯達爾說在薩爾斯堡有一根禿樹枝掉到廢棄的鹽礦裡。幾個月後，樹枝被拉出來，上面都被鹽的結晶所覆蓋。很小的一支樹枝，突然間像是鑲滿鑽石的一條銀河。斯湯達爾再也看不出這是一根樹枝。斯湯達爾進一步將這種物理的過程跟人類的心理過程類比：想像將所愛的人形象改變。斯湯達爾認為人在熱戀的過程就是一個「結晶」的過程，宛如把愛人全身都鑲滿了鑽石，然後愛人蒙上了一層魅人的光暈。」

因為這段敘述，我們嘗試做了鑽石樹，浸泡過程中，會因為攀晶讓過飽和食鹽水溶液不斷經由毛細現象從杯壁溢出(圖28)，只要把杯壁的鹽結晶剝掉就能解決。實驗中發現**樹枝選擇表面粗糙、分枝多的效果比較好**，鹽結晶比較容易附著在上面；浸泡在過飽和食鹽水中的樹枝能結出透明如鑽石般的方形鹽結晶，像棵鑽石樹(圖29.30)；露出水面部分的結晶是不透明白色的攀晶，像一棵結霜的樹(圖31)，效果較差。



結論

實驗一：探討生活中的結晶形態

一、自製一般光學偏光顯微鏡和科學maker手機偏光顯微鏡的比較

| | 自製一般光學偏光顯微鏡 | 科學maker手機偏光顯微鏡 |
|--------|---------------|----------------|
| 移動玻片 | 較方便，可以使用調整鈕微調 | 手動，目標較容易跑掉 |
| 視野大小 | 範圍較小 | 範圍較大 |
| 清晰度 | 優良 | 優良 |
| 加偏光鏡效果 | 優良 | 優良 |
| 拍照 | 懸空，對焦不易 | 手機平放，方便對焦 |

二、**不是所有東西都能產生結晶**，我們觀察過白醋、米酒、蛋白、麥芽糖等都沒有結晶，而**能產生結晶的鹽和醬油類沒有旋光性**，在偏光顯微鏡下透明無色；**糖、味精、紅酒和清潔類則有不同程度的旋光性**。每一類的結晶構造也都不相同，可以用來判斷溶液中可能含有什麼成分。

三、**偏光鏡檢確實可以輔助觀察透明的結晶是否有旋光性，增加判斷結晶種類的依據。**

實驗二：探討鹽結晶的成長過程與應用

一、要培養方正的鹽晶體須注意的事項：

(一)**容器內不要同時培養多個晶體**，容易競爭鹽分子，讓成長速度緩慢。

(二)根據邁耶理論，容器內有細小結晶出現表示食鹽水濃度太高，處於不安定區，就該**更換容器**，甚至更換過飽和食鹽水，除了能讓成長快速，也能讓主要晶體表面平滑方正。

二、偏光片和萬花筒及鹽燈的結合，能讓色彩更絢爛繽紛。萬花筒、鹽燈、晶洞和鑽石樹的製作方法簡單，成品美觀還具有療癒效果。