

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

第三名

080202

魔幻「膜換」洗潔晶球-點「冰」成品之旅

學校名稱：屏東縣屏東市鶴聲國民小學

作者： 小四 郭丞婕 小四 朱家蕨 小四 陳靚霓 小四 黃允欣	指導老師： 陳美燕 洪正泰
---	---------------------

關鍵詞：交聯反應、反轉球化、二次凝膠

摘要

本實驗想透過海藻酸鈉與乳酸鈣的交聯反應包覆清潔劑，做出晶瑩剔透的洗潔晶球，並結合「無瓶水」概念改善晶球成型方式，運用反轉球化、二次凝膠球化，做出薄又堅韌的水球外膜；為克服洗潔劑影響海藻酸鈉與乳酸鈣的交聯反應，及鈣離子會減弱洗潔劑起泡力等因素，我們絞盡腦汁嘗試，成功運用自創「核殼結構」、「全冰球」、「鍋蓋法」製程，也就是先用水結成冰球並燒熔出一中空洞後形成“冰殼”，再灌入洗劑做“核”，此核殼冰球再冰回球形冰晶時外裹乳酸鈣，再置入海藻酸鈉溶液，並運用二次膠化技巧再次與乳酸鈣溶液反應，製作包覆清潔劑的水球，使其在兼具環保、美觀、實用的角度下，呈現薄膜、擁有洗潔力並減少罐裝塑料的洗潔晶球。

壹、研究動機

就讀低年級時看到晶瑩剔透的水精靈寶寶，五顏六色且滑溜溜的，好玩又漂亮。後來詢問老師之後才知道那是利用海藻酸鈣包覆各種顏色的水所形成的，因此我們就突發奇想詢問老師是否可以改成包覆清潔劑呢？老師笑了笑說也許可以唷！你們要不要試試看，於是我們就開啟了這次的魔幻晶球之旅。我們希望運用海藻酸鈉能包覆多種物質特色，結合清潔劑，再與乳酸鈣反應，做成洗手晶球、沐浴晶球、洗髮晶球、洗衣晶球…等，應該可減少外出時攜帶瓶瓶罐罐的不方便。之後看到網路示範製作「無瓶水」的作法，更激發我們聯想是否有可能做出沒有瓶罐裝的洗潔晶球，不只可以減少塑膠瓶使用量，還可因產品環保，不會對環境產生影響造成衝擊，這樣應該可以讓地球更加美好減輕對環境的衝擊，減少對塑料的需求。

貳、研究目的

- 一、探討海藻酸鈉與乳酸鈣溶液不同濃度下的交聯反應。
- 二、運用反轉球化技術，將不同洗潔劑與海藻酸鈉結合，探討洗潔球的起泡效果。
- 三、運用「反轉球化技術」，探討不同濃度乳酸鈣冰球與不同濃度海藻酸鈉交聯反應，形成之水球狀態討論。
- 四、運用「二次凝膠球化技術」，探討冰球浸泡不同乳酸鈣溶液，包膜水球之膜厚、承重力、水質。
- 五、探討洗潔劑如何填充至包膜水球內，形成洗潔晶球之技術。

參、文獻探討及名詞解釋

一、依據理論及原理

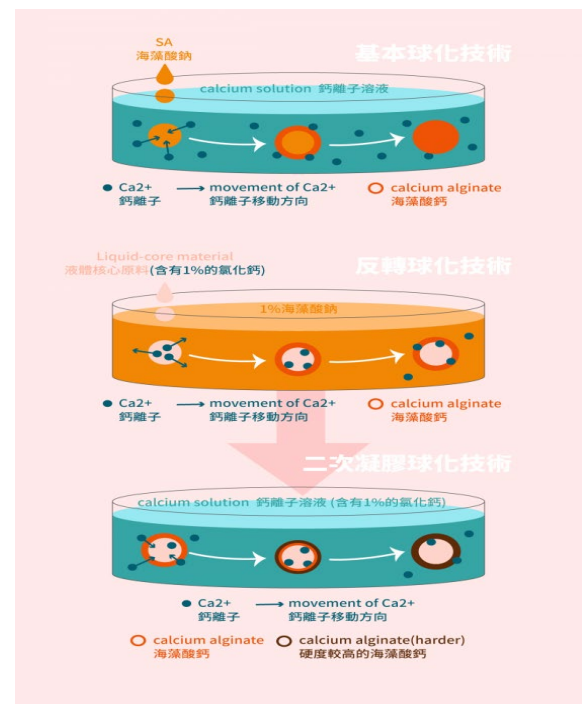
(一) **交聯反應**：海藻酸鈉是透過主鏈上的醣醛酸單元的羥基(-OH)或羧基(-COOH)與其他交聯劑或其他聚合物的活性官能發生化學反應，製備出以共價鍵交聯為主、具有三維網絡結構的海藻酸鈉水凝膠。其中使用二價陽離子的離子交聯法是最常見的，例如使用 Ca^{2+} ，其會取代兩個海藻酸鈉中的鈉離子進行交聯作用(cross-linking)而構成網狀結構形成膠球或膠條。

(二) **核殼結構**：核殼是由一種奈米材料通過化學鍵或其他作用力將另一種奈米材料包覆起來形成的奈米尺度的有序組裝結構。製備核殼結構的策略有兩種：一種是先成核，後包覆殼；另一種是一次性形成核殼結構。

(三) **基本球化**：基本球化技術採用直接滲透，在食品(溶液，如果汁等)中加入海藻酸鈉，然後滴入含有鈣離子的溶液中。操作簡單，但成膠速度會受鈣離子擴散影響，長時間反應甚至會變成整顆球體凝膠，因此較適用於餐廳廚房快速製備上桌的分子料理。

(四) **反轉球化技術**：反轉球化很類似基本球化，只是要球化的成分改成含有鈣離子的溶液，可能是本身含鈣或是另外加入乳酸鈣的混合物。將混合物滴入海藻酸鈉溶液，讓液滴周圍膠化形成球殼，而其厚度通常比基本球化形成的球殼再厚一點，因此比較容易維持球形，但比較不脆而且不易爆開。

(五) **二次凝膠球化**：將反轉球化交聯反應形成之膠球或膠條，再次置入含鈣水溶液產生二次交聯反應。

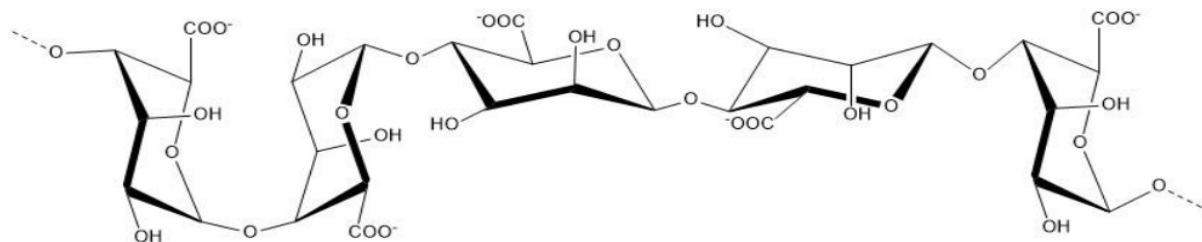


原圖參考資料 Tsai et al 2017

二、名詞解釋

(一) **海藻酸鈉**：又名褐藻酸鈉、海帶膠、褐藻膠、藻酸鹽，其分子式為 $(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6\text{Na})_n$ 。海藻酸鈉結構如圖(一)所示，是海藻酸的鈉鹽，由甘露醣醛酸(D-mannuronic acid, M)和葛蘿酸

(L-guluronic acid, G)通過 α -1,4 糖苷鍵鏈接所組成。海藻酸鈉是由海帶中提取的天然多糖碳水化合物，廣泛應用於食品、醫藥、紡織、印染、造紙、日用化工等產品，作為增稠劑、乳化劑、穩定劑、粘合劑、上漿劑等使用。自八十年代以來，褐藻酸鈉在食品應用方面得到新的拓展。褐藻酸鈉不僅是一種安全的食品添加劑，而且可作為仿生食品或療效食品的基材。日本人把富含褐藻酸鈉的食品稱為「長壽食品」，美國人則稱其為「奇妙的食品添加劑」。



(參考：A+ 醫學百科)

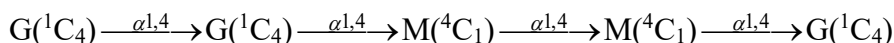


圖 (一) 海藻酸鈉分子結構式(圖取自化學通報 2015 年第 78 卷 03 期)

(二) **乳酸鈣**：分子結構簡式為 $((\text{CH}_3\text{CHOHCOO})_2\text{Ca}\cdot 5\text{H}_2\text{O})$ 。外觀的呈現白色顆粒或粉末。易溶於水，但不溶於酒精。無臭，無味，具有溶解度高、溶解速度快，生物利用率高。廣泛應用於乳製品、飲料、營養保健品等領域。常作為強化劑它與其他鈣類容易被吸收，也作為藥物使用，可防治缺鈣症。

三、全國科展參賽作品參考文獻：

(一) 第五十六屆全國科展作品：吃我一顆水球

此研究在找出海藻酸鈉水溶液與含鈣水溶液濃度組合及各項檢測。歸納出：1.海藻酸鈉水溶液應選擇 0.5%~2%濃度；2.含鈣水溶液：氯化鈣水溶液濃度至少 1%、乳酸鈣水溶液濃度至少要 2%較易製作出水球膜；3.保存應浸泡於純水並置冰箱冷藏，連續 200 小時紀錄無瓶水的流失率可降至 19%以下；4.物理測試發現 1%海藻酸鈉水溶液所製造出的無瓶水球在耐壓、拉力及自由落體表現均好；5.化學測試無瓶水質都符合臺灣自來水公司「飲用水水質標準」之相關檢驗標準。

(二) 第五十六屆全國科展作品：目不轉「晶」

該實驗在探討不同價數陽離子溶液與海藻酸鈉溶液來做結合成形，結果發現正二價離子效果最好，其中更以 Ca^{2+} 較為穩定。將乾燥後晶球再行泡水一天。所呈現的海藻酸鈉晶球，

已經跟原本的海藻酸鈉晶球不同，無法回復原本的型態。反向操作時，晶球的形狀得依照倒入溶液的方式來判斷形狀，所以反向操作形成的晶球為不規則形狀。而最佳的溫度條件則為 20~30℃，但若要使晶球硬度最佳化則必須將晶球浸泡在離子溶液中 90 分鐘以上最好。

(三) 第五十八屆全國科展作品：鈣多晶球







此實驗主要在探討海藻酸鈉與鈣液交聯作用形成的晶球所具有的特性與應用。發現影響晶球成形及晶球膜厚度的因素是含鈣物質的種類、濃度及作用時間。並驗證晶球的構造以及研究正向、反向晶球的方式與差異性，藉以研發不同型態的分子料理。此外探討膜的通透性，尋找晶球的保存方法。也發現做為海藻酸鈉促凝劑的鈣液，除了氯化鈣之外還可以用乳酸鈣、自製的檸檬酸鈣、自製的醋酸鈣、牛奶、優酪乳等較適合食用的含鈣溶液取代。

(四) 第五十九屆全國科展作品：這“膜”厲害：此作品發現水球膜可保存水分、包覆物質、通過強酸考驗，並將所包裹的分子緩慢釋放，研究成果：

- 一、保存水球的最佳溫度是 30℃，酸或中性的環境比鹼性好。
- 二、碘分子進出水球的速度受溫度和酸鹼的影響。
- 三、水球膜可讓分子量約 10000 以下的分子通過。
- 四、水球膜包裹下的酵母菌，推測應可通過胃酸的考驗。
- 五、水球膜包裹下的酵母菌通過模擬消化道後，37℃ 活性較 25℃ 差，但唾液澱粉酶和香蕉酵素則較好。

肆、研究設備及器材

一、交聯反應	(一)配製溶液：滴管、燒杯、藥杓、玻棒、電子天平、小藥杯、RO水。 (二)藥品：海藻酸鈉、乳酸鈣、草酸鈉溶液。 (三)其他器具：攪拌器、針筒、製冰盒、湯杓、冰箱、電鍍筆、酒精燈、自攻螺絲、菜瓜布、抹布。
二、測量工具	TDS 測量筆、游標卡尺、電子天平、砝碼、PH 酸鹼度計。

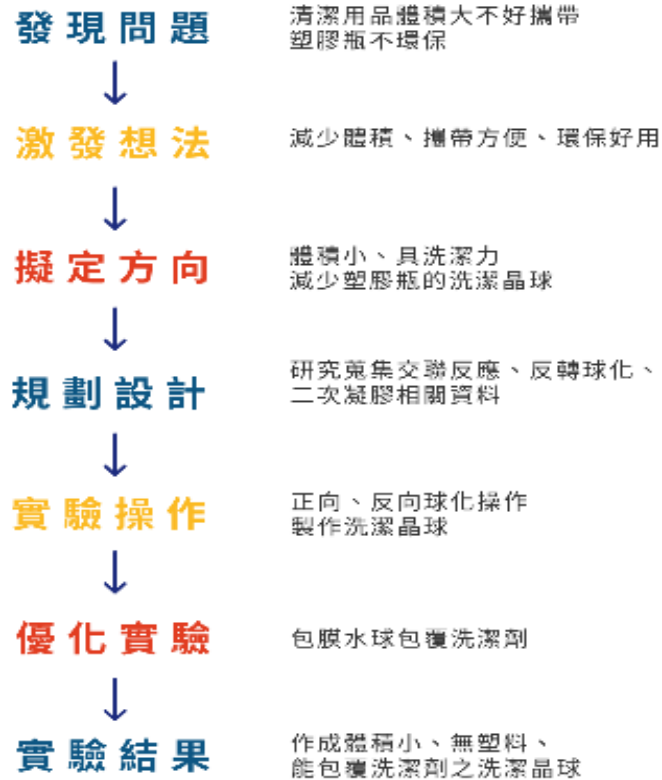
		
攪拌器	總溶解固體量(TDS)測量筆	自製承重力測試裝置
		
球形製冰盒	游標卡尺	PH 酸鹼度計

伍、研究過程或方法

一、研究架構：



二、研究過程



三、基本配製及操作：

以下實驗藥品，由精密電子秤秤量，RO 水溶解後，再利用燒杯配製重量百分比濃度備用；海藻酸鈉溶液必須是當天實驗時才配製，其在空氣中容易產生變異。

(一)海藻酸鈉溶液配製：取海藻酸鈉粉末 5 克、10 克、15 克、20 克、25 克、30 克置於燒杯中，加入純水至 1000 克，使用攪拌器攪拌均勻，靜置至溶液沒有顆粒，即可配置成重量百分比濃度 0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0% 的海藻酸鈉溶液。

(二)乳酸鈣溶液配製：取乳酸鈣粉末各 2.5 克、5 克、10 克、15 克、20 克、25 克置於燒杯中，加入純水至 1000 克，攪拌至完全溶解，即可配置成重量百分比濃度 0.25%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5% 的乳酸鈣溶液。

(三)基本球化技術：將配置好的海藻酸鈉溶液，以滴管、針筒或量杯，滴入或倒入乳酸鈣溶液成球形。

(四)反轉球化技術：將含有鈣離子溶液或冰球，放入海藻酸鈉溶液成球型。

(五)二次凝膠球化技術：將反轉球化製成之晶球再浸入乳酸鈣溶液中搖晃後，用勺子取出，以清水沖洗。

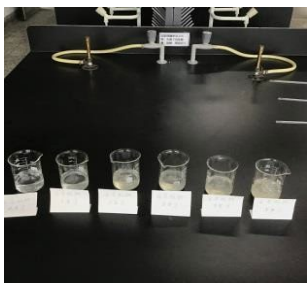

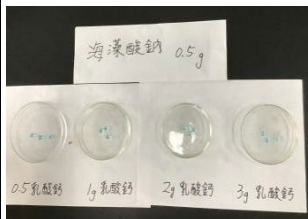
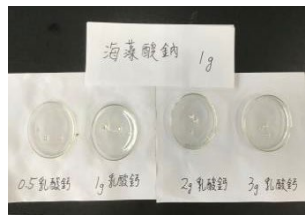
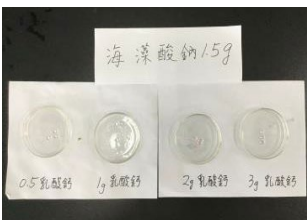
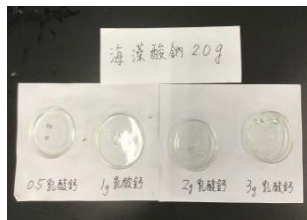
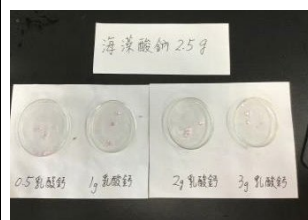
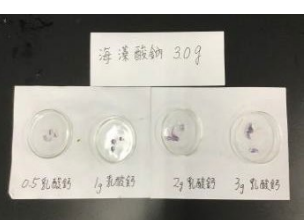
第一部分：魔幻晶球

實驗一 迷你水晶寶寶

(一) 實驗步驟：

1. 室溫下，以「針筒」吸取不同濃度的海藻酸鈉溶液。
2. 直接擠壓滴入不同濃度的乳酸鈣水溶液中。
3. 10 分鐘後，以勺子將晶球取出，置於培養皿中觀察。

(二)實驗結果：

			
配置不同濃度海藻酸鈉	與不同濃度乳酸鈣作用	濃度 0.5%海藻酸鈉與 不同濃度乳酸鈣反應	濃度 1.0%海藻酸鈉與 不同濃度乳酸鈣反應
			
濃度 1.5%海藻酸鈉與 不同濃度乳酸鈣反應	濃度 2.0%海藻酸鈉與 不同濃度乳酸鈣反應	濃度 2.5%海藻酸鈉與 不同濃度乳酸鈣反應	濃度 3.0%海藻酸鈉與 不同濃度乳酸鈣反應

(三)發現與討論：

1. 海藻酸鈉溶液，若以冷水調配不易溶解，易有塊狀物，需用玻棒攪拌 20 分鐘以上。
2. 水晶寶寶體積小很可愛，可能無法包覆太多洗劑。
3. 乳酸鈣濃度 0.5%與不同濃度海藻酸鈉交聯反應，所做出水晶球的外膜偏軟不易成形。
4. 乳酸鈣濃度 2%與海藻酸鈉濃度 2%交聯反應，所做出水晶球軟硬適中。
5. 海藻酸鈉溶液與乳酸鈣溶液交聯反應後所形成的水晶球，搓破後，膜不易溶解，未妥善處理，可能導致阻塞排水管。

實驗二

基本/反轉球化製作晶球

(一)實驗步驟

1. 分別取 1.0%、1.5%、2.0%海藻酸鈉溶液 10ml 置於小量杯，分別加入 1.0%、1.5%、2.0%乳酸鈣溶液 10ml，順時鐘搖晃 5 分鐘至成圓球狀。
2. 分別取 1.0%、1.5%、2.0%乳酸鈣溶液 10ml 置於小量杯，分別加入 1.0%、1.5%、2.0%海藻酸鈉溶液 10ml，順時鐘搖晃 5 分鐘至成圓球狀。

(二)實驗結果：


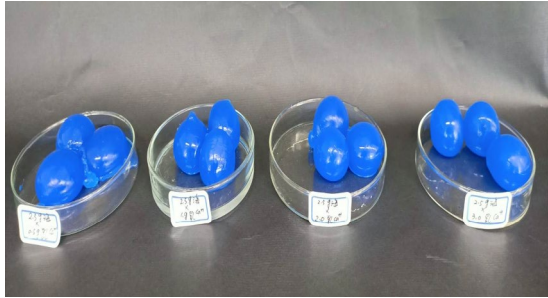


	
<p>製作品球的方法</p>	<p>基本球化形成之晶球</p>
	
<p>反轉球化形成之晶球</p>	<p>基本球化和反轉球化的晶球比較</p>

表 1: 基本球化晶球膜厚、承重力統計表

		乳酸鈣濃度	1.0%	1.5%	2.0%
海藻酸鈉濃度	1.0%	外膜厚度(mm)	1.0	1.8	1.7
		承重力(g)	295	656	745
	1.5%	外膜厚度(mm)	0.9	1.3	1.2
		承重力(g)	599	865	967
	2.0%	外膜厚度(mm)	0.7	1.5	1.2
		承重力(g)	457	721	434

表 2：基本球化晶球承重力統計表

重量 (g)	乳酸鈣			
	1.0%	1.5%	2.0%	
海藻酸鈉	1.0%	295	656	745
	1.5%	599	865	967
	2.0%	457	721	434

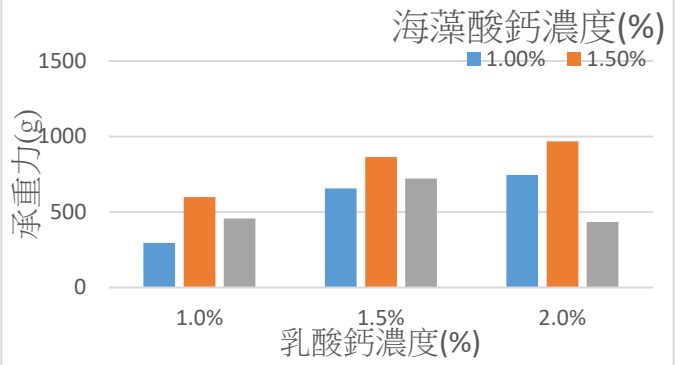


圖 1：基本球化晶球承重力長條圖

表 3：基本球化晶球膜厚統計表

膜厚 (g)	乳酸鈣			
	1.0%	1.5%	2.0%	
海藻酸鈉	1.0%	1	1.8	1.7
	1.5%	0.9	1.3	1.4
	2.0%	0.7	1.3	1.2

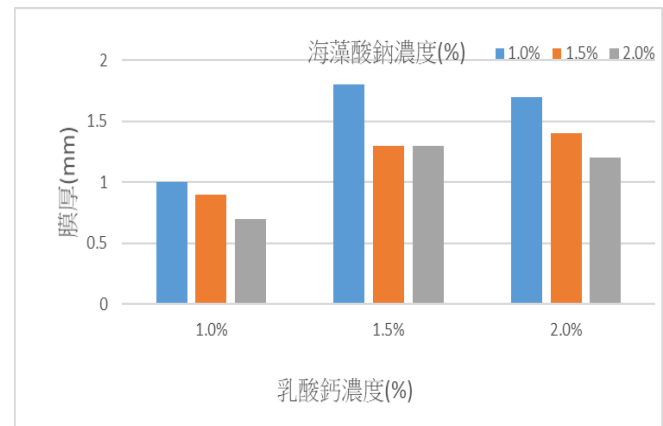


圖 2：基本球化晶球膜厚長條圖

表 4:反轉球化晶球膜厚、承重力統計表

		乳酸鈣濃度	1.0%	1.5%	2.0%
海藻酸鈉濃度	1.0%	外膜厚度(mm)	1.2	1.7	1.9
		承重力(g)	395	544	866
	1.5%	外膜厚度(mm)	1.0	1.3	1.2
		承重力(g)	785	867	1417
	2.0%	外膜厚度(mm)	0.8	0.9	1.2
		承重力(g)	550	638	555

表 5 :反轉球化晶球最大承重統計表

重量 (g)	海藻酸鈉			
	1.0%	1.5%	2.0%	
乳酸鈣	1.0%	395	544	866
	1.5%	785	867	1417
	2.0%	550	638	555

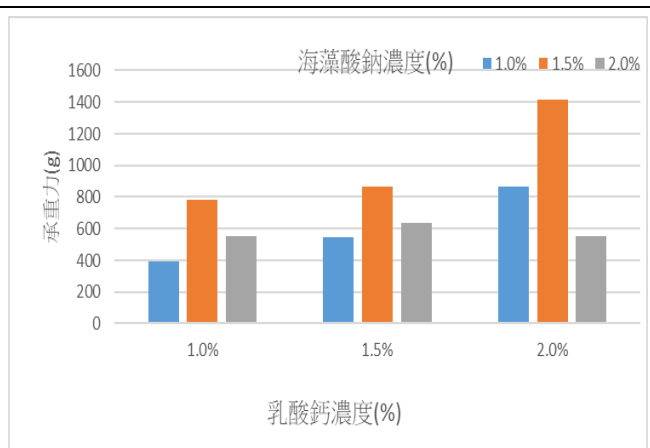


圖 3：反轉球化晶球最大承重長條圖

表 6:反轉球化晶球膜厚統計表

膜厚 (g)	海藻酸鈉			
	1.0%	1.5%	2.0%	
乳酸鈣	1.0%	1.2	1.7	1.9
	1.5%	1	1.3	1.2
	2.0%	0.8	0.9	1.2

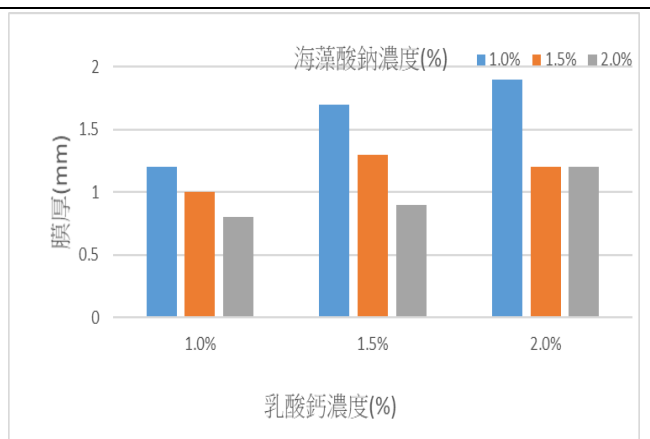


圖 4：反轉球化晶球膜厚長條圖

(三)實驗發現與討論：



1. 膜厚討論：因本實驗著重在洗潔球製作，故若能在洗滌過程減少殘留的晶球薄膜，較能帶給使用者方便與舒適，所以晶球薄膜的厚薄及承重力，則在本實驗中被重視，但若太薄或太軟則不易形成晶球，將無法包覆適量的洗滌劑，最後選擇厚薄度較適中及承重力較佳的溶液配置，即選擇 1.5%濃度海藻酸鈉水溶液和 2.0% 濃度乳酸鈣水溶液，為下次實驗的溶液配置。
2. 形狀討論：因要製作適當的洗潔球，針筒所製作的晶球太小，無法包覆適量的洗滌劑，故選擇適度大小的湯匙。但要製造出球狀體，就稍有困難，因交聯後反應會因浸泡時間愈長則產生較原模型較小的晶球體，往往不如預期，也無法每次都得到漂亮的球形體。

實驗三 反轉球化洗潔晶球

(一)實驗步驟

1. 各取 1.5g、2g、2.5g 的沐浴乳分別與 10g 的 1.5%海藻酸鈉充分攪拌混合。
2. 分別取 10ml 步驟 1 混合液置於小量杯，再加入 2.0%乳酸鈣溶液 10ml，順時鐘搖晃 5 分鐘製成圓球狀。

(二)實驗結果

			
以小量杯順時鐘搖晃	製成洗潔晶球	晶球試洗	具洗潔力、泡沫少

(三)實驗發現與討論：

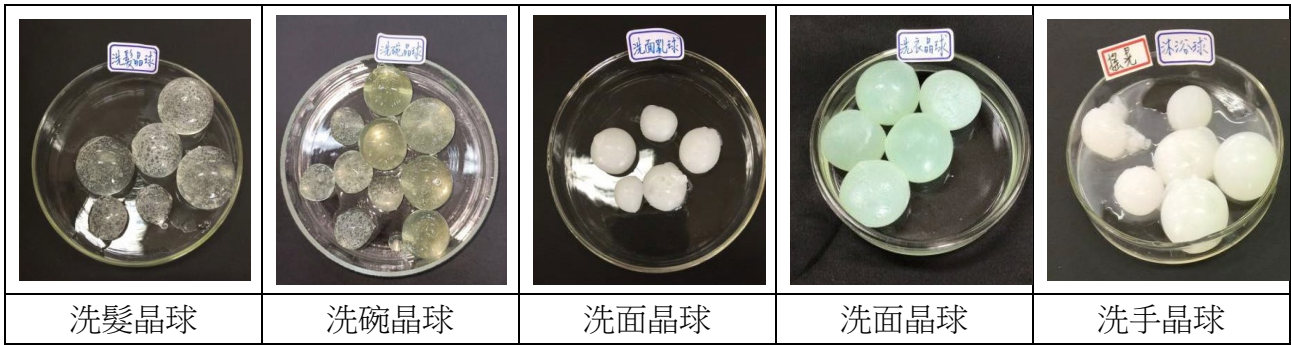
1. 洗潔劑的濃稠與否也影響了與海藻酸鈉及乳酸鈣的交聯反應，原以為量較多的洗潔劑可製作較高清潔力的洗潔球，但發現較少量的洗潔劑加入配置的溶液中，反而較可形成洗潔球，最後選擇以洗潔劑：海藻酸鈉溶劑為 1：5作為下次實驗參考。
2. 形狀討論：因要製作適當的洗潔球，針筒所製作的晶球太小，無法包覆適量的洗滌劑，故選擇適度大小的小量杯順時鐘搖晃 5 分鐘成球形。

實驗四 洗潔晶球大集合

(一) 實驗步驟

1. 分別各取洗髮乳、洗手乳、洗面乳、洗碗精、洗衣精與 1.5%海藻酸鈉，依 1：5 的比例充分攪拌混合。
2. 分別將步驟 1 的混合溶液各 10ml、15ml 放入圓形小漱口杯內。
3. 將 2.0%乳酸鈣水溶液 10ml 分別輕輕倒入步驟 2 混合液中的小量杯搖晃至成圓球狀。

(二)實驗結果：



(三) 實驗發現與討論：

1. 每個清潔劑配方皆能形成完整晶球，但由於不同人搖晃手法有差別，有的人做出來的球大顆，有的人做出來的球小顆。
2. 具洗潔效果，洗時能產生泡沫。
3. 用力搓揉後，薄膜可分解成較小碎片。
4. 放置多天後，晶球膠球化，洗淨效果不如預期。

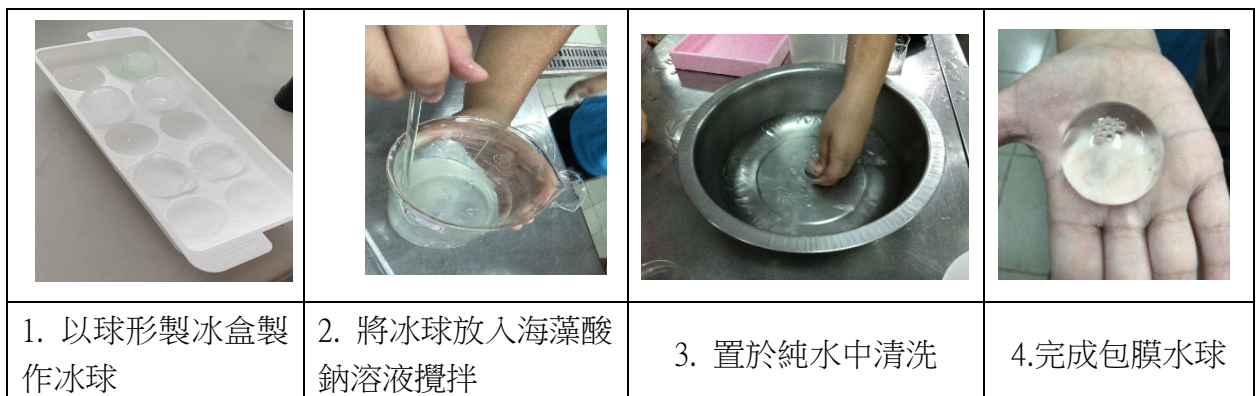


第二部分：膜換晶球

實驗五 製作包膜水球

(一)實驗步驟：

1. 先用較小製冰盒(直徑約 2.6 公分)製作純水冰球，取出，再放入大製冰盒(直徑約 3 公分)，注入乳酸鈣(濃度為 0.25%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%)溶液，冰凍後即成乳酸鈣包純水冰球。
2. 將【步驟 1】冰球分別放入海藻酸鈉濃度 1.0%、1.5%、2.0%的燒杯中。
3. 將燒杯傾斜 45 度後以玻棒以同一方向沿燒杯內壁攪動 5 分鐘。
4. 撈起包膜水球置於純水清洗。



(二)實驗結果：

表 7 不同濃度乳酸鈣包純水冰球浸入不同濃度海藻酸鈉溶液形成包膜水球之成功數量

(實驗數量：各 5 顆)

	濃度	乳酸鈣 (包純水冰球)	0.25%	0.5%	1%	1.5%	2%
海藻酸鈉	1.0%	可否形成(數量)	×	×	○(3)	○(5)	○(5)
	1.5%	可否形成(數量)	×	×	○(4)	○(5)	○(5)
	2.0%	可否形成(數量)	×	×	○(5)	○(5)	○(4)

(三)實驗發現與討論：

1. 乳酸鈣濃度低於 0.5%，搭配任何濃度海藻酸鈉，皆無法做出包膜水球；乳酸鈣濃度 1.0% 以上搭配三種不同濃度的海藻酸鈉皆可以成功做出。
2. 乳酸鈣、海藻酸鈉濃度愈高成功率愈高。但海藻酸鈉濃度愈高、流動性愈差，做出包膜水球會拖出小尾巴，外觀不佳。
3. 這次實驗測試 0.25%、0.5%如此低濃度的乳酸鈣，目的是為了找出最低的乳酸鈣濃度，進而降低交聯反應後鈣離子濃度，讓包膜水球水質(TDS)更低，我們要做的洗潔晶球才會有更好的起泡度、清潔力。
4. 由於濃度低於 1.0%的乳酸鈣包純水冰球完全無法成功，所以捨棄。在接下來的實驗的樣本，只採用乳酸鈣 1.0%、1.5%、2.0%三種濃度。

實驗六 測試水球膜厚、承重力、TDS 值

(一)實驗步驟：

1. 將【實驗五】做出的包膜水球以我們自製的承重力測試裝置測承重力，利用游標卡尺測膜厚，以及 TDS 測量筆測水質。



(二)實驗結果：

表 8 不同濃度乳酸鈣包純水冰球浸入不同濃度海藻酸鈉溶液形成包膜水球三種數值之比較

總表(實驗數量：各 5 顆之平均值)

		乳酸鈣濃度 (包純水冰球)	1.0%	1.5%	2.0%
海藻酸鈉濃度	1.0%	外膜厚度(mm)	0.15	0.19	0.36
		承重力(g)	410	500	480
		TDS 值(ppm)	693	706	695
	1.5%	外膜厚度(mm)	0.14	0.17	0.32
		承重力(g)	1790	2020	1750
		TDS 值(ppm)	980	1020	977
	2.0%	外膜厚度(mm)	0.11	0.15	0.32
		承重力(g)	2100	2340	1610
		TDS 值(ppm)	1510	1560	1530

表 9:包膜水球膜厚統計表

膜厚 (mm)	海藻酸鈉		
	1.0%	1.5%	2.0%
乳酸鈣			
1.0%	0.15	0.19	0.36
1.5%	0.14	0.17	0.32
2.0%	0.11	0.15	0.32

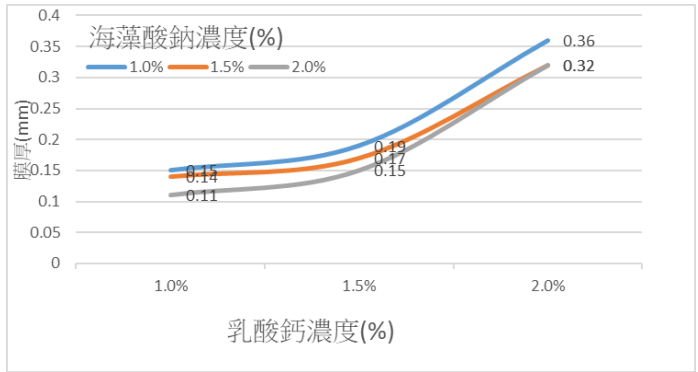


圖 5:包膜水球膜厚折線圖

表 10:包膜水球最大承重統計表

重量 (g)	海藻酸鈉		
	1.0%	1.5%	2.0%
乳酸鈣			
1.0%	410	500	480
1.5%	1790	2020	1750
2.0%	2100	2340	1610

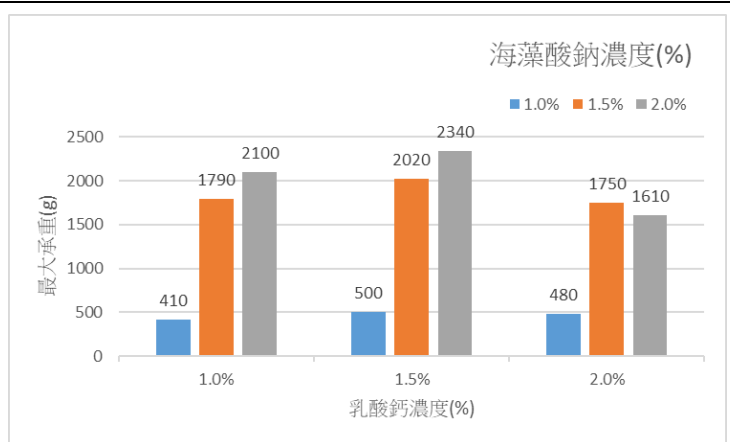


圖 6:包膜水球最大承重長條圖

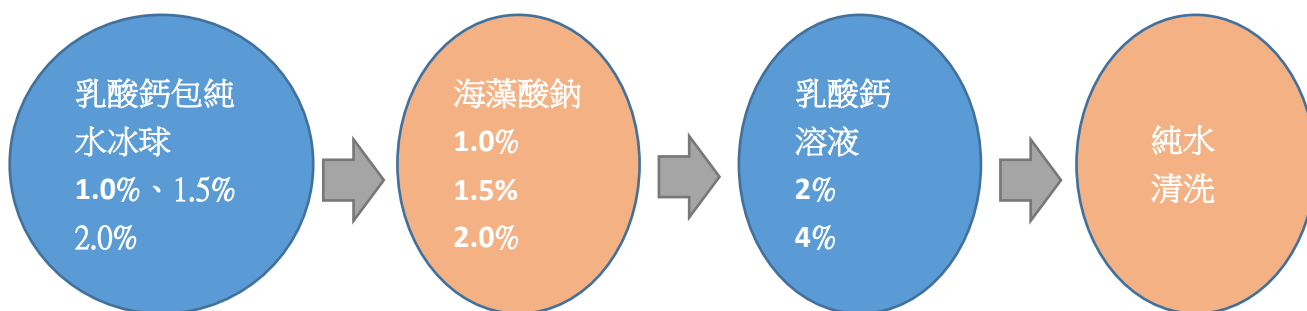
(三)實驗發現與討論：

1. 從海藻酸鈉溶液撈出剛形成交聯反應的包膜水球，球表面會殘留海藻酸鈉溶液所以黏糊糊的，濃度愈高的海藻酸鈉溶液，殘留量愈多。
2. 丟入純水裡清洗後，可以把大部分附著於球表面沒有形成交聯反應的海藻酸鈉溶液洗掉。
3. 清洗或後的包膜水球，表面不光滑，有類似刮痕的粗糙面；浸泡於濃度低的海藻酸鈉溶液，完成後的包膜水球球形完整，浸泡於愈高濃度的海藻酸鈉溶液，完成後的包膜水球球形較不完整，會有拖著小尾巴的情況。
4. 整體包膜水球的觸感軟軟的，外膜似乎不是很強韌，水球會有些塌扁。
5. 我們發現：乳酸鈣、海藻酸鈉濃度較低，做出包膜水球的成功率較低，好多顆都脫膜了；乳酸鈣、海藻酸鈉的濃度較高，做出包膜水球的成功率較高，幾乎都有成功，但是水球就會拖著小尾巴。

實驗七 二次凝膠製作水球


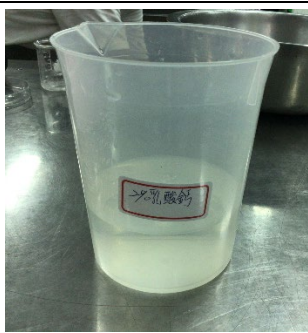


(一) 實驗步驟：

1. 同【實驗五】的步驟 1~3。
2. 撈起包膜水球置於裝有乳酸鈣溶液(2%、4%)燒杯中浸泡並搖晃 1 分鐘。
3. 撈起包膜水球置於純水清洗。(以上步驟流程圖如下)



4. 將做出的包膜水球以我們自製的承重力測試裝置測承重力，利用游標卡尺測膜厚，以及 TDS 測量筆測水質。

(二) 實驗結果：

			
乳酸鈣冰球於海藻酸鈉溶液攪拌成球形	置於高濃度乳酸鈣溶液二次凝膠	二次凝膠後的水球晶瑩透亮	二次凝膠水球有雙層薄膜

(三) 實驗發現與討論：

1. 其實 1% 乳酸鈣溶液包覆的純冰球依然可以做成晶亮的水球，但一段時間後水球內水分容易滲透到球外。
2. 為了降低水球內的含鈣離子濃度，我們棄原來最佳配比，考慮以 1.5% 海藻酸鈉與 1.5% 乳酸鈣測試，發現可突破 2% 乳酸鈣最低濃度的魔咒，只要在二次凝膠製程，再次置入高濃度 2% 及 4% 乳酸鈣溶液，即可獲得穩定膜厚、承重及晶亮度。
3. 發現二次凝膠後水球有雙層薄膜，未來製作包覆洗潔劑水球應有更好的包覆效果。

實驗八 二次凝膠測試水球膜厚、承重力、TDS 值

(一) 實驗步驟：

1. 將實驗七做出的包膜水球以我們自製的承重力測試裝置測承重力，利用游標卡尺測膜厚，以及 TDS 測量筆測水質。

(二) 實驗結果：

表 11 二次凝膠球化技術包膜水球的膜厚、承重力、TDS 值統計表

海藻酸鈉	乳酸鈣濃度 (包純水冰球)	1%		1.5%		2%	
	乳酸鈣濃度	2%	4%	2%	4%	2%	4%
濃度 1.0 %	外膜厚度(mm)	0.23	0.21	0.23	0.18	0.30	0.11
	外膜承重力(g)	350	1530	1320	2160	1470	2380
	TDS 值(ppm)	821	992	1120	1240	1500	1550
	外觀描述	球形圓 表面平滑 包覆水量多		球形圓又飽滿 表面平滑 包覆水量多		球形較不圓 表面略有小突起 包覆水量較少	
濃度 1.5 %	外膜厚度(mm)	0.38	0.40	0.29	0.43	0.22	0.22
	外膜承重力(g)	1290	2910	2780	3450	1680	2530
	TDS 值(ppm)	803	834	1220	1160	1550	1280
	外觀描述	球形圓又飽滿 表面平滑 包覆水量多		球形圓又飽滿 表面平滑 包覆水量多		球形較不圓 表面有小突起 包覆水量中等	
濃度 2.0 %	外膜厚度(mm)	0.41	0.40	0.52	0.56	×	×
	外膜承重力(g)	1120	1860	1960	2870	1130	1750
	TDS 值(ppm)	804	878	1360	1160	1390	1400
	外觀描述	球形完整 表面平滑 包覆水量多		球形完整 表面有些不平滑 包覆水量中等		球形不完整 表面不平滑 包覆水量少	

註： × 球外膜太不規則，厚度無參考價值。

表 12:水球放入 2.0%乳酸鈣溶液最大承
重統計表

重量 (g)	1%	1.5%	2%
1.0%	350	1320	1470
1.5%	1290	2780	1680
2.0%	1120	1960	1130

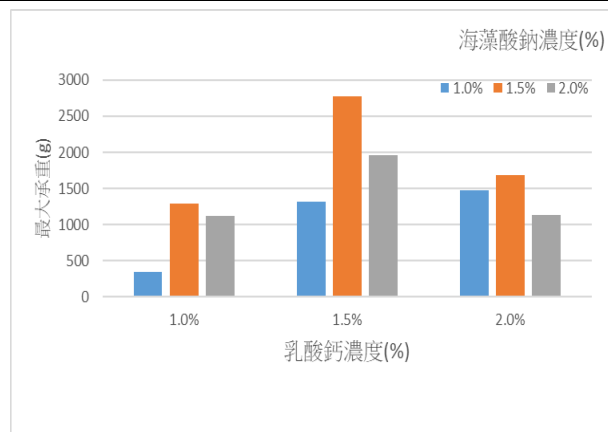


圖 7:水球放入 2.0%乳酸鈣溶液最大承重長條圖

表 13:水球放入 4.0%乳酸鈣溶液最大承重統
計表

重量 (g)	1.0%	1.5%	2%
1.0%	1530	2160	2380
1.5%	2910	3450	2530
2.0%	1860	2870	1750

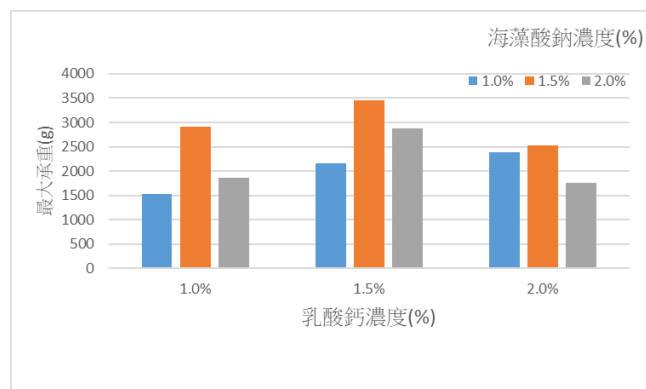


圖 8:水球放入 4.0%乳酸鈣溶液最大承重長條圖

表 14：包膜水球放入 2.0%、4.0%乳酸鈣溶液總溶解固體量(TDS)下降率統計表

總溶解固體量 (TDS)(ppm)	乳酸鈣 1.0%		乳酸鈣 1.5%		乳酸鈣 2.0%	
	2400	2400	3100	3100	3600	3600
二次凝膠球化 後水質平均值	2%	4%	2%	4%	2%	4%
下降數值	809	901	1233	1187	1480	1410
下降率	1591	1499	1867	1913	2120	2190
	66%	62%	60%	62%	59%	61%

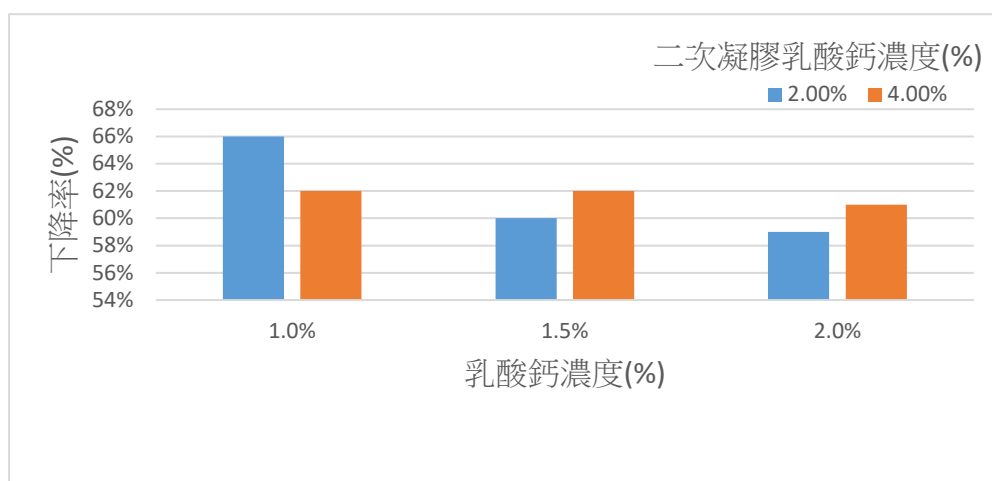


圖 9：包膜水球放入 2.0%、4.0% 乳酸鈣溶液總溶解固體量(TDS)下降率長條圖

(三) 實驗發現與討論：


1. 外膜厚度與強韌度與海藻酸鈉濃度(1%、1.5%)有正相關，海藻酸鈉濃度較高，外膜較厚、承重力較好，整體外膜厚度較一致；但海藻酸鈉濃度為 2% 時相關性就降低了，外膜厚度沒有變得更厚，膜厚薄不一的狀況很明顯，可承受的重力反而下降。
2. 二次膠球化浸泡在 2%、4% 乳酸鈣濃度，外膜厚度差異不大，反而是外膜承重力有明顯差異，乳酸鈣濃度愈高，外膜承重力愈大，所以之後的實驗我們選擇 4% 乳酸鈣濃度作為二次凝膠的反應溶液。
3. 球形完整、飽滿者，包覆的水量較多(約 15~16 毫升)；球形外觀不佳者，包覆的水量較少(約 5~13 毫升)。
4. 乳酸鈣溶液總溶解固體量(TDS)數值很高，但經過交聯反應，海藻酸鈉羧基與鈣離子結合，大大降低 TDS 值，但水質仍屬於硬水，且要填充的洗潔劑是有所限制的，只能選擇 PH 值以中性偏弱酸清潔劑為佳。
5. 乳酸鈣溶液 1.5% 包覆的純水冰球與 1.5% 海藻酸鈉溶液在二次凝膠反應後，承重力表現最佳。

第三部分：漂流之旅

實驗九 洗潔劑全球法

(一) 實驗步驟：如下表

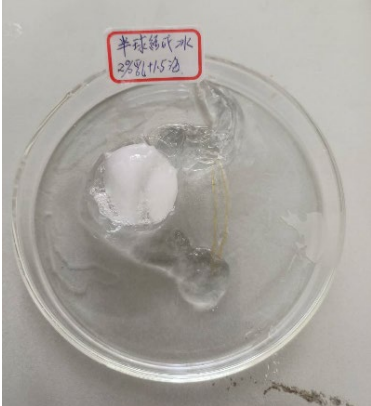
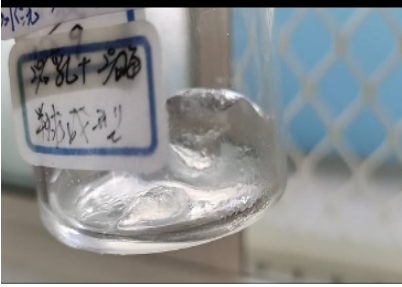
(二) 實驗結果：如下表


實驗項目	實驗步驟	實驗結果
實驗九-1： 洗潔劑加水 結冰	<ol style="list-style-type: none"> 依 1：5 比例將洗潔劑與水混合結成冰球。 將【步驟 1】之冰球取出於室溫下溶化約為原來三分之二大小。 將 2%的乳酸鈣溶液注滿【步驟 2】之製冰盒中，再次結冰。 將【步驟 3】冰球取出放入濃度 1.5 %海藻酸鈉燒杯中，沿冰球外圍輕輕攪動 5 分鐘。 	無法形成晶球狀 
實驗九-2： 乳酸鈣加洗 潔劑結冰	<ol style="list-style-type: none"> 依 1：5 比例將洗潔劑與 2%乳酸鈣混合後置入結冰盒結成冰球。 將【步驟 1】冰球取出放入濃度 1.5%海藻酸鈉燒杯中，將燒杯傾斜 45 度後以玻棒以順時鐘方向沿冰球外圍輕輕攪動 5 分鐘。 	無法形成完整晶球 
實驗九-3： 乳酸鈣加 洗潔劑結 冰外包海 藻酸鈉	<ol style="list-style-type: none"> 依 1：5 比例將洗潔劑與 2%乳酸鈣混合後置入結冰盒結成冰球。 將【步驟 1】的冰球淋上濃度 1.5%海藻酸鈉溶液，放入冰箱結凍。 將【步驟 2】冰球取出放入濃度 2%乳酸鈣溶液燒杯中，輕輕攪動 5 分鐘。 	不能成完整球形 
實驗九-4： 海藻酸鈉 加洗潔劑 結冰外包 乳酸鈣	<ol style="list-style-type: none"> 依 1：5 比例將洗潔劑與濃度 1.5 %海藻酸鈉溶液混合後置入結冰盒結成冰球。 將【步驟 1】之冰球取出放入濃度 2.0%乳酸鈣溶液燒杯中，輕輕攪動 5 分鐘。 	可以形成晶球，但膜厚洗 潔力不佳。 

(三) 實驗發現與討論：

1. 裹住乳酸鈣溶液之冰球進入海藻酸鈉溶液中攪拌 5 分鐘，清潔劑流散在溶液中。
2. 【實驗九-1】和【實驗九-3】雖然有產生薄膜，但無法包住冰球，膜流失在外。
3. 【實驗九-2】不能成完整球形且無法包住洗劑，洗潔劑散失在海藻酸鈉中。
4. 【實驗九-4】海藻酸鈉包住的洗潔晶球，球膜厚洗潔力不佳。
5. 本以為已成功做成水球就可以完成包洗潔劑的晶球，但發現並不容易。

實驗十 洗潔劑半球法

實驗項目	(一)實驗步驟	(二)實驗結果
實驗十-1： 純水結半球	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將純水置入下層結冰盒結成半顆冰球。 2. 將【步驟 1】之冰球取出，並兩兩合成一顆冰球，再放入冰盒中， 3. 將濃度 2.0% 乳酸鈣溶液注入【步驟 2】溶化成原來的三分之二大的冰球盒，至完全充滿後乳酸鈣溶液後，再冷凍結球。 4. 將【步驟 3】之冰球，放入濃度 1.5% 海藻酸鈉溶液燒杯中，輕輕攪動 5 分鐘。 	可以形成完整水球， 但不漂亮 
實驗十-2： 乳酸鈣結 半球	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將 2.0% 乳酸鈣溶液置入下層結冰盒結成半顆冰球。 2. 將【步驟 1】之冰球取出，並兩兩合成一顆冰球，再放入冰盒中。 3. 將【步驟 2】冰球取出後，放入濃度 1.5% 海藻酸鈉溶液燒杯中，輕輕攪動 5 分鐘實驗。 	無法形成完整水球 

<p>實驗十-3： 純水半球 加洗潔劑</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將純水與洗潔劑依 1:5 比例混合，置入下層結冰盒結成半顆冰球。 2. 將【步驟 1】之冰球取出，並兩兩合成一顆冰球，再放入冰盒中。 3. 將濃度 2.0% 乳酸鈣溶液注入【步驟 2】冰盒，至完全充滿後，再冷凍結球。 4. 將【步驟 3】之冰球，放入濃度 1.5% 海藻酸鈉溶液燒杯中，輕輕攪動 5 分鐘。 	<p>無法形成完整水球。</p> 
---------------------------------	---	--

(三) 實驗發現與討論：

1. 在上一個實驗，以整顆水球包覆洗潔劑並無法成功，所以嘗試半球的結球方式，發現純水結冰球可以成功，也許可以使用核殼結構嘗試包覆。
2. 發現只要純水冰球中含有乳酸鈣溶液和清潔劑，則無法和海藻酸鈉交聯反應成一個完整的水球。

第四部分：點冰成晶

實驗十一 核殼結構半冰球法

(一) 實驗步驟：

1. 將純水置入下層結冰盒結成半顆冰球。
2. 將【步驟 1】之冰球取出，以熔冰法將水球中央熔出約直徑 1 公分深度的小孔洞。
3. 以滴管吸取 1 毫升洗劑，置入【步驟 2】冰球之小孔洞。
4. 將未熔洞的半顆冰球，與【步驟 3】的冰球兩兩合成一顆冰球，再放入冰盒中結凍。
5. 將【步驟 4】冰球稍微溶成約原來 2/3 球形製冰盒大小，再將濃度 1.5% 乳酸鈣溶液注入製冰盒完全充滿後，再冷凍結球。
6. 取【步驟 5】之冰球，放入濃度 1.5% 海藻酸鈉溶液燒杯中，輕輕攪動 5 分鐘。

(二) 實驗結果：無法形成完整水球。

(三) 實驗發現與討論：

1. 經文獻探討找到「核殼結構」，試著將水結成冰球做成核殼，隔絕洗潔劑包成冰球。

2. 要製成中空的核心洞，試過鑽洞法及熔冰法，發現熔冰法較可行。
3. 熔成的小孔洞可置放的清潔劑不多，且容易溢漏出來，因此要結合另一個半球時，容易沾附洗潔劑，導致結成球後，有溢漏問題。

實驗十二 核殼結構全冰球法

(一)實驗步驟：

1. 將純水置入結冰盒結成整顆冰球。
2. 將【步驟 1】之冰球取出，以融冰法從冰球頂端熔約直徑 1 公分、深約 2 公分之小孔洞以滴管吸取 1 毫升洗劑，置入【步驟 2】冰球之小孔洞。
3. 將碎冰填入【步驟 2】冰球之小孔洞，放入冷凍結球。
4. 將濃度 1.5% 乳酸鈣溶液注入【步驟 3】，溶約原 2/3 大之冰球的冰盒，至完全充滿後，再冷凍結球。
5. 將【步驟 4】之冰球，放入濃度 1.5% 海藻酸鈉溶液燒杯中，輕輕攪動 5 分鐘。

(二)實驗結果：不易形成完整水球。

(三)實驗發現與討論：

1. 運用熔冰法，將整顆冰球，熔成小孔洞，雖然可以包覆較多洗劑，但仍然有溢漏問題且不容易將小孔洞密封起來。
2. 熔冰過程常因室溫度太高導致溶冰太快，導致冰球滑動不易冰封，再次結冰後，就算裹上乳酸鈣溶液，拿出與海藻酸鈉溶液反應，清潔劑仍然溢漏，導致不易形成洗潔水球。

實驗十三 核殼結構鍋蓋法

(一)實驗步驟：

1. 將純水裝入球形製冰盒，分別結出，3/4 冰球與 1/4 冰球。
2. 將【步驟 1】的四分之三冰球取出，用電焊筆和燒熱的自攻螺絲釘從冰球頂端熔約直徑 1 公分、深約 2 公分之小孔洞，完成後再冷凍。
3. 以滴管吸取 2 毫升清潔劑填入冰球之孔洞，完成後再冷凍。
4. 將【步驟 1】的四分之一冰球當鍋蓋，蓋住【步驟 3】之冰球，完成後再冷凍。
5. 【步驟 4】冰球稍微融成約原來三分之二球形製冰盒大小，將濃度 1.5% 乳酸鈣溶液注入製冰盒完全充滿後，再冷凍結球。

- 將【步驟5】之冰球，放入濃度 1.5%海藻酸鈉溶液，輕輕攪動 5 分鐘。
- 撈取【步驟6】之水球置入 4.0%乳酸鈣溶液 30 秒使二次凝膠化。
- 將【步驟7】水球丟入純水中清洗。



(二)實驗結果：可以形成完整水球。

- 洗潔晶球搓破或撕破，放在海綿菜瓜布上。
- 不須加水，直接搓揉即可起泡。
- 加點水繼續搓揉，可以搓出更多的泡泡。



(三)實驗發現與討論：

- 做出的洗潔水球實在太令人驚喜了！泡沫量與洗感跟原本清潔劑相當接近，效果極佳。
- 製作洗潔水球過程相當繁瑣，每個步驟完成後都要再冷凍至完全固態，才能再進行下一個步驟；而最困難之處就是填入清潔劑這個步驟，清潔劑若不小心滴到純水冰球上，要擦乾淨，而且封蓋時，要確定密合，不可以有縫隙。
- 我們選擇洗碗精、沐浴露、洗衣精，每顆洗潔晶球內清潔劑約 2 毫升，搓出的泡泡估計可以洗：小家庭一餐的碗筷、一個人洗澡、洗個人一天貼身衣物是足夠的。
- 實驗過程中，我們曾經嘗試填入鉀皂、鈉皂自製的手工皂，但肥皂類清潔劑因為界面活性劑易受水質硬度影響，以致於做出來的洗潔晶球內白色沉澱物(皂垢)很多，而且手工皂屬於鹼性，容易破壞交聯反應形成的外膜，洗潔晶球沒多久就破了。

伍、討論

- 一、我們一開始運用交聯反應做出像化學粉圓、魚子醬……等分子料理般，小小顆的晶球，甚至試著包裹果汁做出果汁晶球，並品嚐它們在口腔內「爆漿」的口感、滿嘴果汁香甜味。試想，若將內容物改為洗潔劑，洗潔劑隨著晶球外膜破裂釋放出來，就可以使用洗潔劑了。
- 二、我們運用基本球化與反轉球化技術製作洗潔晶球，發現反轉球化做出來的洗潔晶球承重力較好，膜厚較薄，但當洗潔劑混雜著海藻酸鈉、乳酸鈣，容易膠球化，洗潔力就大大下降，所以我們仿照「無瓶水」製成薄膜晶球的交聯反應作法，試著找出最佳比例，盡可能降低交聯反應後鈣離子的濃度，以提高洗潔劑的起泡度與洗潔力。
- 三、我們曾經試著將海藻酸鈉結成冰球，再放入乳酸鈣水溶液，進行交聯反應，形成的冰球表面相當粗糙，且不透明，但外膜很厚。像海藻酸鈉這類膠狀類液體不適合冷凍，冷凍過後分子三維網絡結構間距加大，與乳酸鈣交聯反應後結構間隙大，外膜不僅厚無透明感，彈性、承重力也變差。
- 四、乳酸鈣冰球放入海藻酸鈉溶液會稍微浮在液體表面，不一定要按照文獻中的「澆淋法」。我們發現若只用攪拌棒水平攪動，燒杯內溶液成漩渦狀轉動，乳酸鈣冰球只會水平轉動。**若將燒杯傾斜約 45 度，使用攪拌棒或藥杓細端沿著燒杯內緣攪動，則冰球會在溶液內滾動、翻轉；此方法可以讓海藻酸鈉均勻的包裹住乳酸鈣冰球，不但節省海藻酸鈉用量，更能做出厚薄一致的外膜。**
- 五、經多次作包膜水球包住洗潔劑過程，發現雖然可以包住洗潔劑，如包住固態的皂基、液態的洗潔劑，但洗潔力仍然不佳，探究其原因可能因水質中含鈣離子太高形成硬水，所以嘗試降低水球內含鈣離子濃度。
- 六、文獻探討「吃我一顆水球」中，並未使用到二次凝膠的技巧，經我們實驗突破，使用二次凝膠後的水球承重力更好，甚至可多了一層薄膜保護水球，效果更佳。
- 七、「核殼結構鍋蓋法」乃是本實驗中自創最成功的「洗潔水球」製作方法，經實驗發現，唯有將水結成冰球做成核殼，讓洗潔劑與海藻酸鈉、乳酸鈣溶液隔絕，如此冰球便能包覆洗潔劑，製成晶瑩剔透的洗潔水球。

陸、結論

- 一、運用乳酸鈣溶液加入海藻酸鈉溶液的反轉球化技術，製成的洗潔晶球，剛做好的成品馬上試用、清洗，是具有洗潔效果的，但放置一段時間，洗潔晶球整顆完全膠化成固態，洗潔力幾乎就消失了，這不是我們預期想要的結果。
- 二、我們實驗找出「包膜水球」最佳配方：以 1.5% 乳酸鈣溶液外包純水冰球與 1.5 %海藻酸鈉溶液反應，做成水球，突破文獻中乳酸鈣溶液至少 2%的底線。
- 三、二次凝膠球化製程中，將反轉球化所形成的水球，再放入較高濃度(4%)乳酸鈣溶液中，可形成更強的交聯反應。
- 四、「反轉球化技術」形成的外膜結構像半透膜一樣具有許多極小孔洞，所以水分子慢慢擴散出來，而我們做出的包膜水球和洗潔水球，放置一段時間後，水分漸漸蒸發，而變得扁塌、癱軟，不如最初的渾圓、飽滿。如何使水球中水分不逸散，有待後續再深入探討。
- 五、製作包膜水球的過程中，運用二次凝膠球化製程，發現放入較高濃度乳酸鈣溶液中(濃度 4%)，可將黏有海藻酸鈉溶液的冰球塑形成外表晶瑩剔透的水球，提升外膜穩定度及透亮度，做出具有起泡力與清潔力的洗潔晶球。
- 六、我們此次實驗最佳的方式是「核殼結構鍋蓋法」：先將純水製成四分之三和四分之一冰球，並在四分之三冰球上熔出深約 2 公分的小孔洞，注入洗潔劑，接著將四分之一冰球當成鍋蓋蓋上，再次結冰。當結成固態冰球後，將 1.5 %乳酸鈣溶液倒入溶化約為三分之二的冰球，第三次結冰後，取出冰球置入 1.5% 海藻酸鈉溶液中，攪拌五分鐘撈起，再放到 4%乳酸鈣溶液塑形，撈起並置入純水中清洗即可完成洗潔水球。
- 七、洗潔水球包覆的清潔劑，選擇上有所限制，只能選擇 PH 值以中性偏弱酸清潔劑為佳。清潔劑外要有一層純水冰層阻隔，因為乳酸鈣與清潔劑混合在一起，就無法與海藻酸鈉產生交聯反應。



柒、參考文獻資料


- 一、國小綜合活動第七冊，第三單元我家的大小事，翰林出版社。
- 二、吳佳蓉、陳彥劭、吳郁婷(2016)目不轉「晶」－探討海藻酸鈉薄膜的形成與其相關應用，中華民國第五十六屆中小學科學展覽會。
- 三、廖哲立、隋典融、陳俊豪(2016) 吃我一顆水球-探討無瓶水製造方式和性質檢測，中華民國第五十六屆中小學科學展覽會。
- 四、伍亭蓉、黃子恒、葉小嘉、陳苡亘(2018)鈣多晶球，中華民國第五十八屆中小學科學展覽會。
- 五、吳珈彤、侯雅晴、王子芸(2018)這“膜”厲害~探討海藻酸鈉水球保存及包覆的種種特性，中華民國第五十八屆中小學科學展覽會。
- 六、張睿哲、蔡宗諺、陳侶恩(2018)大吃一「晶」－探討藥物分子料理鐵劑晶球的緩釋作用現象，中華民國第五十八屆中小學科學展覽會。
- 七、李羿昌、鄭佳昀(2019)「混」是「膜」王－探討海藻酸鈉及澱粉混和薄膜的特性， 中華民國第五十九八屆中小學科學展覽會。
- 八、盧禹安、王定康(2020) 好膜成雙-幾丁聚醣複合保鮮膜製作之探討，中華民國第六十屆中小學科學展覽會。
- 九、Tsai, F. H., Chiang, P. Y., Kitamura, Y., Kokawa, M., & Islam, M. Z. (2017). Producing liquid-core hydrogel beads by reverse spherification : Effect of secondary gelation on physical properties and release characteristics. *Food Hydrocolloids*, 62, 140-148.

【評語】 080202

將包膜水球改進變成洗潔晶球，想法深具創意，協助解決疫情期間的潔手問題，是不錯的研究方向，主題實用有趣。透過海藻酸鈉與乳酸鈣的交聯反應包覆清潔劑製成洗潔晶球，能找出讓洗潔精球經處理後強度變得足夠的條件，運用「鍋蓋法」製程，先用水結成冰球並燒熔出一中空洞後形成“冰殼”，再灌入洗劑做“核”，再蓋鍋蓋去製作含洗劑的水球，頗具獨創性。但請注意「核殼結構」是奈米科技專屬的科學名詞，本研究所使用的方法完全不符合，本研究中不宜使用本科學名詞，以免引起誤解。以下是一些提議：

(1) 同學雖有耐性，但「鍋蓋法」的再現性是否每一次都能成功？冰球製程必須使用更精細的工具與方式，才能測出更精準有效的數據。(2) 器材應標明規格型號。(3) PH 應改成 pH。(4) 報告中步驟的陳述不宜太過簡略。(5) 每個小實驗宜有小結論。(6) 部分圖表是重複的，擇一即可。(7) 第 23 頁的溶是否為熔之誤。(8) 參考文獻七，是第幾屆要寫清楚。(9) 洗潔晶球的洗潔能力研究宜補強。

作品簡報



魔幻點
「膜換」洗潔晶球
「冰」成晶之旅

國小組 化學科

編號：080202

如何做出 晶瑩剔透的洗潔晶球

- 摘要

交聯反應

「無瓶水」概念

反轉球化

二次凝膠球化

- 實驗亮點

「核殼結構-鍋蓋法」製程

薄膜、擁有洗潔力

減少塑料罐裝的洗潔晶球



研究動機與目的

• 動機

水晶寶寶

分子料理

包覆清潔劑

環保、減少塑膠瓶

攜帶方便

• 目的

一. 運用交聯反應

二. 製反轉球化洗潔球

三. 討論不同濃度冰球

二次凝膠狀態

四. 探討包膜水球

膜厚、承重力、水質

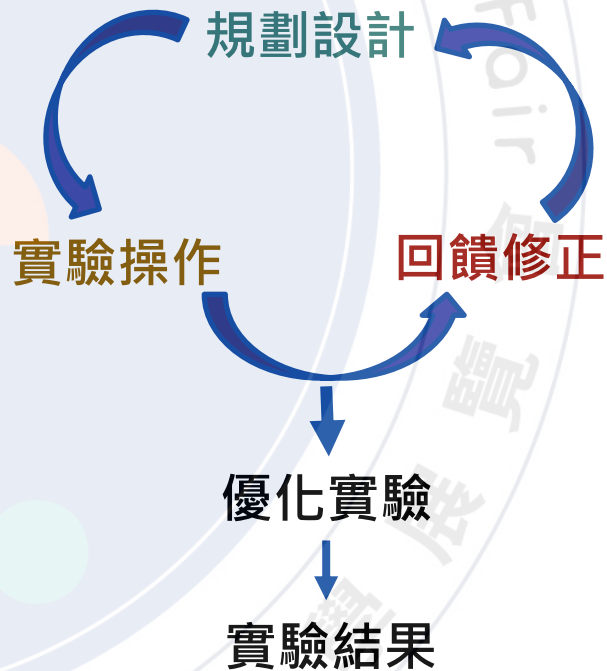
五. 探討包膜水球內

填洗潔劑技術

研究架構與過程



發現問題 → 激發想法 → 擬定方向

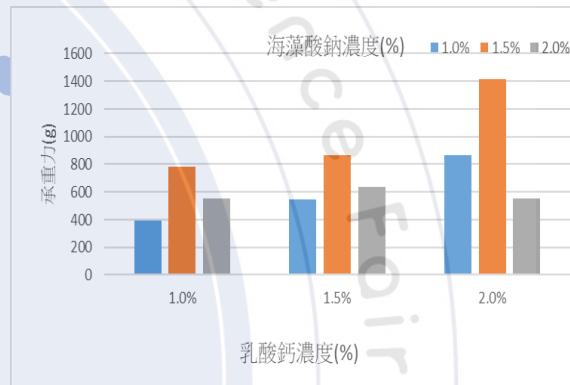


第一部分：魔幻晶球

- 基本球化濃度：乳酸鈣2%與海藻酸鈉2%
- 晶球軟硬適中
- 反轉球化：厚薄適中、承重力佳的溶液
配製濃度：乳酸鈣2.0% 海藻酸鈉1.5%

實驗發現：

1. 晶球洗潔劑：海藻酸鈉溶劑為 1 : 5 比例
2. 用力搓揉後，薄膜可分解成較小碎片
3. 放置多天，晶球膠球化，效果不如預期

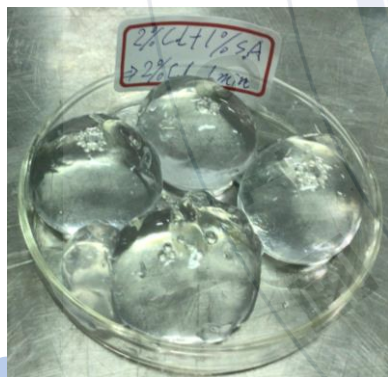
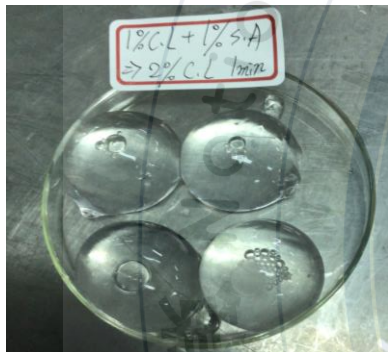




反轉球化晶球最大承重長條圖



第二部分：膜換晶球

製作包膜水球



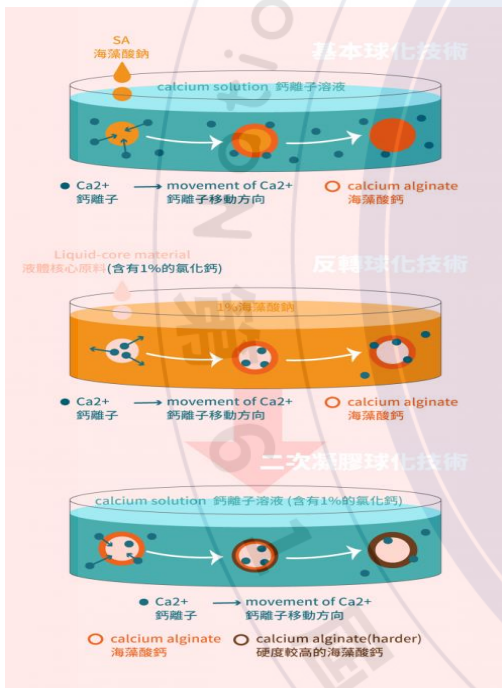
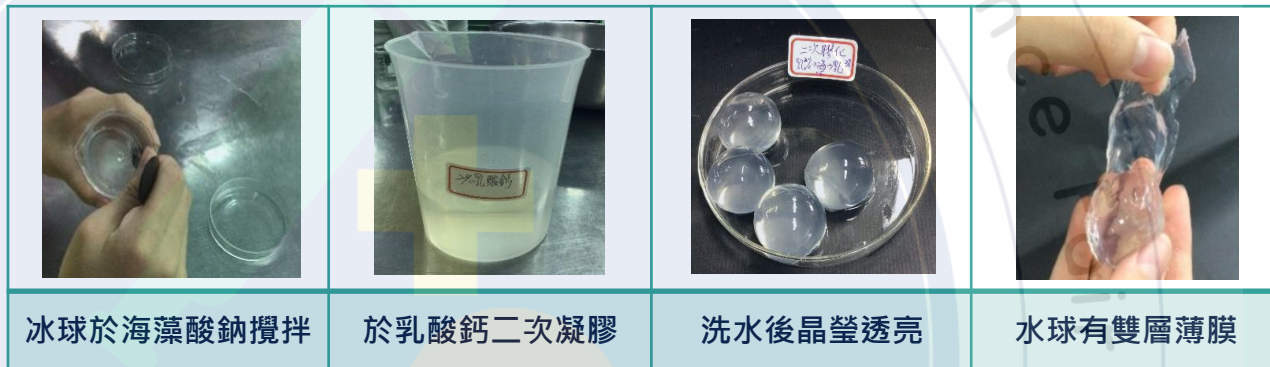
			
1. 球形製冰盒製冰	2. 放入海藻酸鈉攪拌	3. 純水中清洗	4. 完成包膜水球

實驗發現與討論：

- 乳酸鈣濃度1.0%以上可以成功做出水球
- 包膜水球外膜不夠強韌，水球會漸漸塌扁
- 乳酸鈣、海藻酸鈉濃度低，水球成功率低；濃度較高，成功率較高，但水球會有小尾巴
- 純水清洗可把冰球表面海藻酸鈉洗掉

第二部分：膜換晶球

• 二次凝膠製作水球



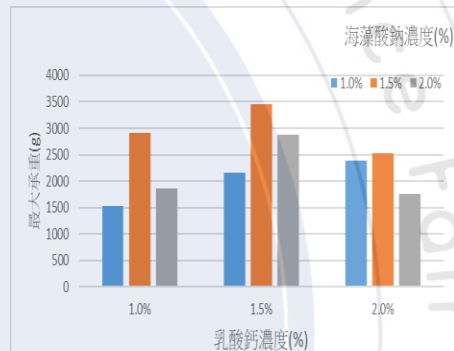
實驗發現與討論：

- 突破濃度限制
- 低濃度海藻酸鈉溶液，容易攪拌
- 降低乳酸鈣溶液濃度，得較佳膜厚、承重及晶亮程度
- 最佳配比：1.5%海藻酸鈉與1.5%乳酸鈣
- 二次凝膠製程，置入4%乳酸鈣溶液

第二部分：膜換晶球

- 二次凝膠測試水球膜厚、承重力、TDS值

		
<p>最大承重力測量</p>	<p>膜厚測量</p>	<p>測量總溶解固體量</p>



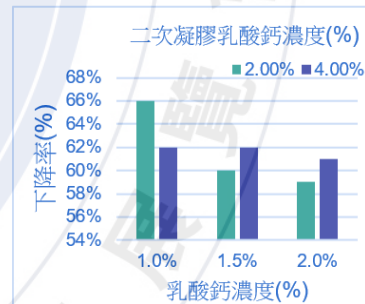
水球放入4.0%乳酸鈣最大承重長條圖

實驗發現與討論：

- 膜厚薄不一承重力反而下降
- 二次凝膠球化外膜承重力提高
- 選擇PH值以中性偏弱酸清潔劑為佳
- 二次凝膠球化降低總溶解固體量



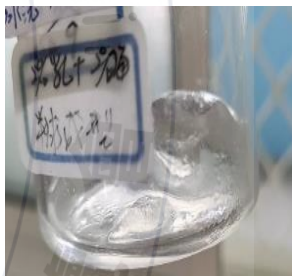
包皂基水球



二次凝膠 TDS下降率長條圖

第三部分：漂流之旅

實驗項目(洗潔劑全球法)	實驗結果
洗潔劑加水結冰	脫膜無法形成晶球狀
乳酸鈣加洗潔劑結冰	無法形成完整晶球
乳酸鈣加洗潔劑結冰外包海藻酸鈉	不能形成完整球形
海藻酸鈉加洗潔劑結冰外包乳酸鈣	形成晶球 但膜厚洗潔力不佳



實驗項目(洗潔劑半球法)	實驗結果
純水結半球	可以形成拖尾水球
乳酸鈣結半球	無法形成完整水球
純水半球加洗潔劑	無法形成完整水球



第四部分：點冰成晶-核殼結構

半冰球法

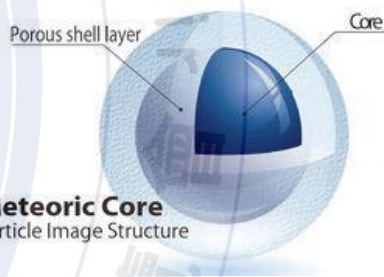
實驗結果：失敗

發現與討論：

1. 將水結成冰球做成殼
2. 以熔冰法製中空核心洞
3. 小孔洞置放清潔劑少，且容易溢漏



• 先成殼再結核



圖片引用自：<https://www.easyatm.com.tw/wiki/%E6%A0%B8%E6%AE%BC>

全冰球法

實驗結果：不易形成

發現與討論：

1. 熔成小孔洞可以包覆較多洗劑
2. 有溢漏問題
3. 溶冰太快
4. 不容易密封



第四部分：點冰成晶-自創鍋蓋法

				
<p>1/4 冰球</p>  <p>3/4 冰球</p>	<p>3/4 冰球熔洞</p>	<p>填充清潔劑</p>	<p>乳酸鈣 包清潔劑冰球</p>	<p>成功包覆清潔劑</p>

實驗結果：環保、薄膜、洗潔力佳



結論

- 「魔幻晶球」放置一段時間，洗潔力降低
- 「包膜水球」最佳配方：以1.5% 乳酸鈣與1.5 %海藻酸鈉反應
- 二次凝膠球化:將製成水球，放入4%乳酸鈣溶液，形成更強交聯反應使水球外膜晶瑩透亮，提升穩定度
- 清潔劑外需有冰層阻隔
- 洗潔水球包覆的清潔劑:PH值以中性偏弱酸
- 本實驗最佳方式：「核殼結構鍋蓋法」— 環保、薄膜、洗潔力佳

文獻參考

- 一. 吳佳蓉、陳彥劭、吳郁婷(2016)目不轉「晶」 - 探討海藻酸鈉薄膜的形成與其相關應用，中華民國第五十六屆中小學科學展覽會。
- 二. 廖哲立、隋典融、陳俊豪(2016) 吃我一顆水球-探討無瓶水製造方式和性質檢測，中華民國第五十六屆中小學科學展覽會。
- 三. 伍亭蓉、黃子恒、葉小嘉、陳苡亘(2018)鈣多晶球，中華民國第五十八屆中小學科學展覽會。
- 四. 吳珈彤、侯雅晴、王子芸(2018)這“膜”厲害~探討海藻酸鈉水球保存及包覆的種種特性，中華民國第五十八屆中小學科學展覽會。

