中華民國第58屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　化學科

佳作

080204

鈣多晶球

學校名稱：臺南市東區復興國民小學

作者：	指導老師：
小六 伍亭蓉	蔡佳錚
小六 黃子恒	李孟娟
小六 葉小嘉	
小六 陳苡亘	

關鍵詞：海藻酸鈉、交聯作用、鈣液促凝劑

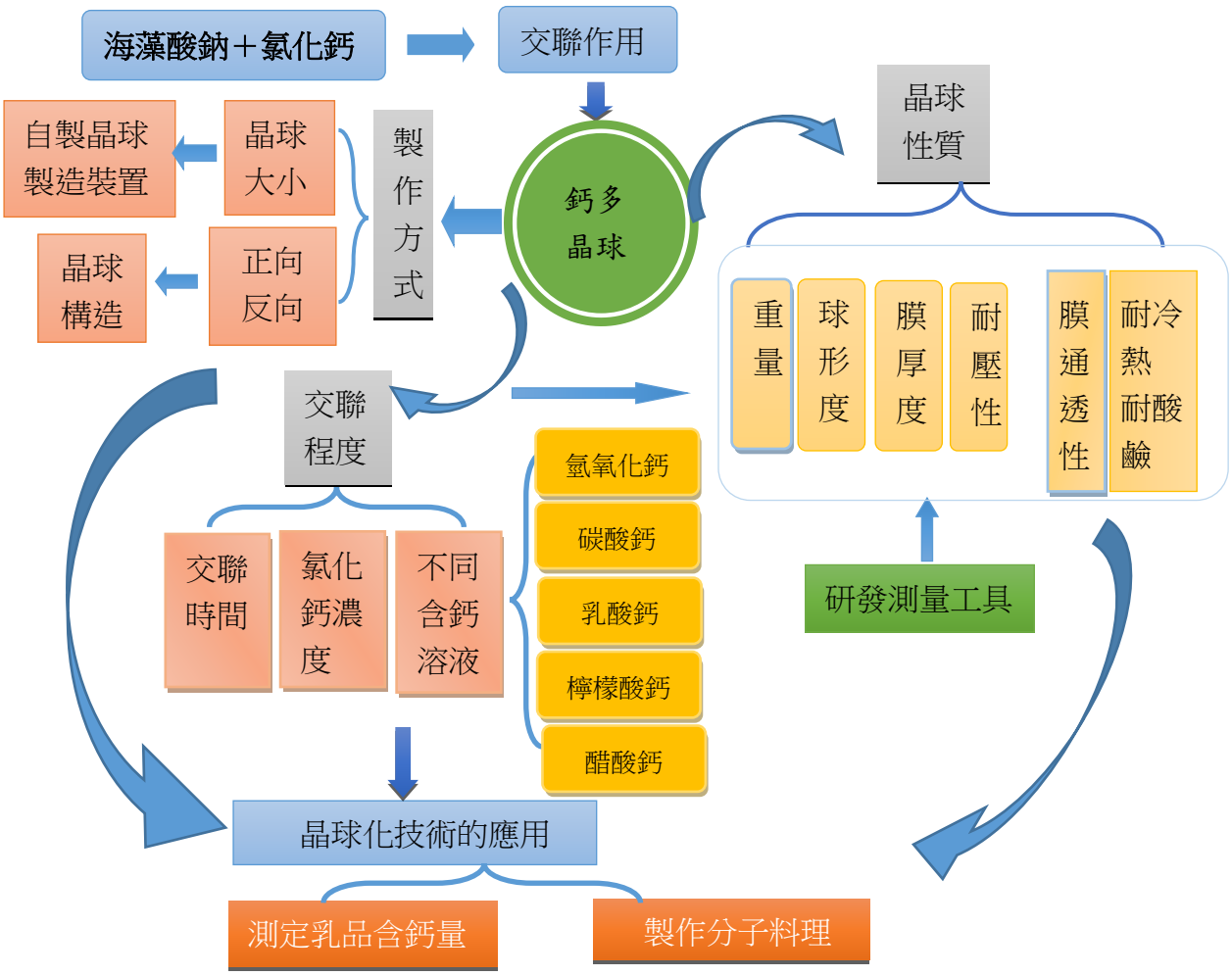
摘要

本研究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。這些鈣液的鈣離子越容易解離、鈣離子含量愈高，愈容易使海藻酸鈉晶球化。因此可以晶球化程度做為測試乳品的含鈣量，也可以利用晶球的結構與特性製作各式分子料理和變色晶球飲品，並利用蛋殼水果醋等天然鈣源製作晶球。

壹、研究動機

最近在飲料店常推出彈珠檸檬、彈珠紅茶、爆彈汽水等等。外表像珍珠一樣晶瑩剔透，咬破之後裡頭流出酸酸甜甜的的汁液，引起我們好奇它是如何製成的？查資料後發現是將海藻酸鈉加氯化鈣晶球化而形成的，所以我們想進一步探討晶球的構造、特性以及是否有其他的含鈣溶液可以取代，並把晶球化技術作更多應用。

貳、研究架構圖



參、研究目的

一、研究海藻酸鈉晶球的製作方式

一-1 改良製作海藻酸鈉晶球的方式

一-2 探討反向晶球化技術的可行性

二、探討海藻酸鈉晶球的構造

三、研究交聯作用時間對海藻酸鈉晶球膜厚度的影響

四、研究海藻酸鈉晶球的特性

四-1 探討海藻酸鈉晶球的耐受性

四-2 探討海藻酸鈉晶球膜的通透性

五、探討不同含鈣物質對海藻酸鈉晶球化的影響

六、海藻酸鈉晶球化技術的應用

六-1 測定乳品的含鈣量

六-2 製作分子料理

六-2-1 利用正向晶球法技術製作火龍果晶球

六-2-2 利用反向晶球法製作有料晶球

六-2-3 利用晶球通透性製作蝶豆花變色晶球飲品

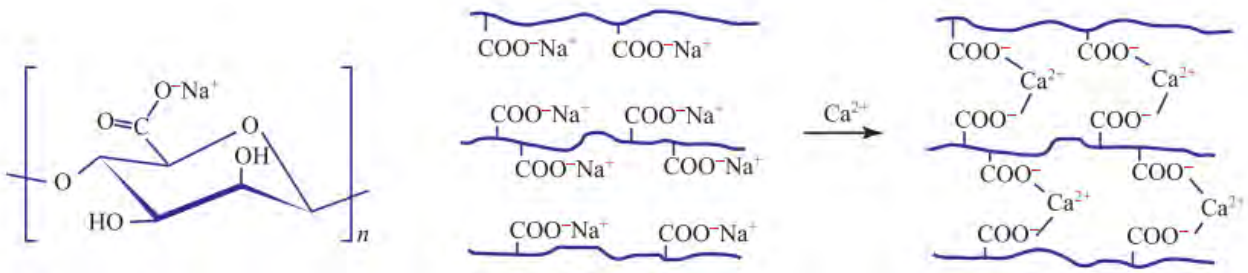
六-2-4 利用天然鈣源製作波霸晶球

肆、研究原理

一、分子料理：一種創造食物的技術，透過物理或化學變化的作用來改變食材的分子結構，使其重新組合，創造出新食物的型態。

二、晶球化：做分子料理的其中一個技術，用 A 物質和 B 物質透過交聯作用，形成球形物質。

三、**交聯反應：晶球化是交聯反應的一種**，當海藻酸鈉滴入氯化鈣中，碰到鈣離子，鈣離子會取代海藻酸鈉的鈉離子，並且抓住海藻酸鈉分子之間的羧酸離子，發生交聯反應，含鈣物質就是一種促凝劑，將原本的鏈狀聚合物變成網狀聚合物，使分子間的聯結性更強，流動性降低而固化，形成一種半透膜的晶球薄膜。如下圖。



四、原料介紹：

(一)海藻酸鈉：海藻酸鈉提煉自褐藻的化學物質，它是鏈狀的高分子聚合物，分子式為 $(C_6H_7O_6Na)_n$，對人體及皮膚無毒、無刺激，配製成水溶液時狀態黏稠，經常應用在食品業、醫

藥、紡織、造紙，作為增稠劑、乳化劑、穩定劑、粘合劑、上漿劑等。例如：當作冰淇淋、麵條的增稠劑或是穩定劑。

(二)氯化鈣：由氯和鈣構成，化學式為 $CaCl_2$。它是典型的離子型鹵化物，室溫為白色固體。因為它在空氣中易吸水潮解，故無水氯化鈣應在容器中密封儲藏。氯化鈣及其水合物和溶液在食品製造、建築材料、醫學和生物學等多個方面均有重要的應用價值。

(三)常見鈣質補充劑：鈣鹽種類不同，溶解度也不同，常見的鈣片中主成分有：碳酸鈣、磷酸鈣、檸檬酸鈣及乳酸鈣…等。

1.碳酸鈣：碳酸鈣是市面上最普遍的鈣質補充劑多由珍珠、貝殼或動物骨頭等萃取而來，碳酸鈣難溶於水

2.磷酸鈣：多由貝殼、蛋殼萃取而來，在酸性環境下溶解度較碳酸鈣高

3.檸檬酸鈣：檸檬酸鈣是經由化學合成而來，

4.乳酸鈣：乳酸鈣是由牛奶及優酪乳製成

伍、研究方法

為了量化海藻酸鈉晶球的特性，本研究研發以下測定晶球性質的項目、工具與方法。

一、測量晶球性質 A：**形成晶球的量。**

(一)測量項目：**測量晶球的重量。**　　(二)測量方法：

利用電子秤量晶球的克數

二、測量晶球性質 B：**晶球外形的大小、晶球接近球形的程度。**

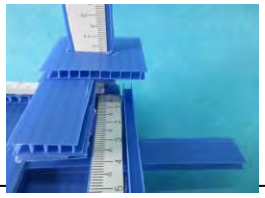
(一)測量項目：**測量晶球長寬高、計算晶球的球形度。**

計算球形度：

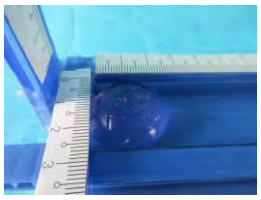
(長高的比例+寬高比例+長寬比例)/3 為球形度，數值愈接近 1 表示晶球形狀愈接近球形。

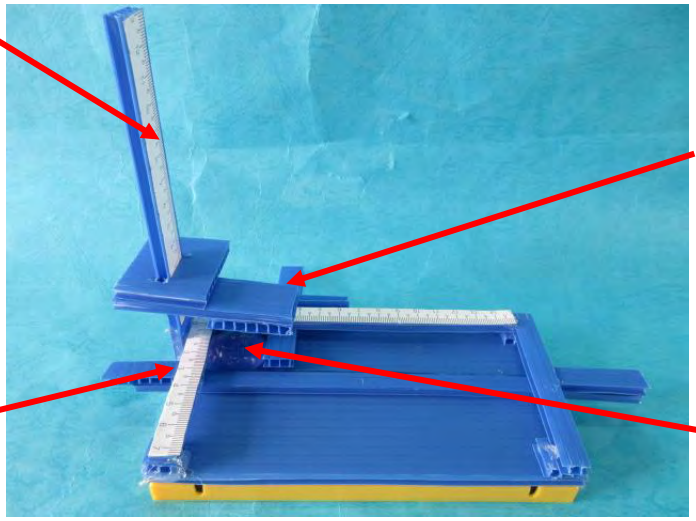
(二)測量方法：**自製測量工具，測量晶球的長寬高。**

測量高度：移動高度尺標測量晶球的高度。

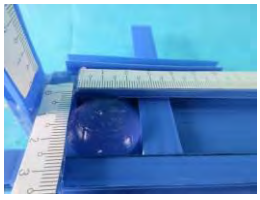


測量長度：移動長度尺標測量晶球的長度。

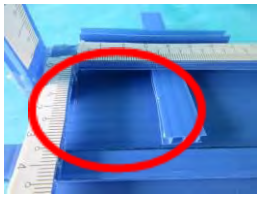




測量寬度：移動寬度尺標測量晶球的寬度。



晶球放置處：固定晶球位置用。

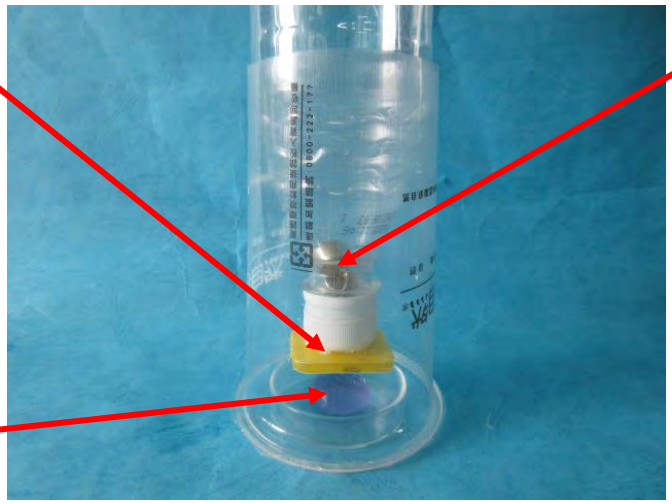


三、測量晶球性質 C：**膜的堅固性**

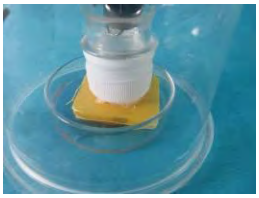
(一)測量項目：**測量晶球外膜的耐壓性。**

(二)測量方法：**自製耐壓性測試工具測試晶球的耐壓性。**

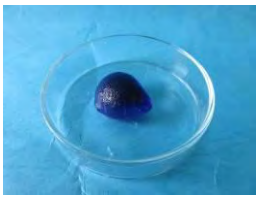
加壓器：將加壓器具放在晶球



法碼放置地方：在加壓器上放入砝碼直到晶球破裂。



晶球放置地方：將晶球放置在培養皿上。



計算砝碼的重量，了解晶球膜的耐壓性。

四、測量晶球性質 D：**交聯程度。**

(一)測量項目：**測量晶球外膜的厚度。**

(二)測量方法：**利用數位游標尺測量晶球外模的厚度。**

利用數位游標尺測量晶球外膜的厚度

陸、研究設備和材料

一、實驗設備：電子秤、數位游標尺、pH 值測定儀、電熱水壺、冰箱、計算機、果汁機。

二、實驗材料：番薯粉、鹽、糖、油、茶、優酪乳、牛奶、紅蘿蔔、火龍果。

三、實驗藥品：食品級海藻酸鈉、食品級氯化鈣、食用色素、蛋殼、檸檬酸、醋、水果醋、石灰水、小蘇打粉、市售複方檸檬酸鈣、氫氧化鈣、碳酸鈣、乳酸鈣。

四、實驗器材：湯匙、燒杯、針筒、標籤紙、酒精燈、三腳架、陶瓷纖維網、打火機、濾網、培養皿、保鮮膜、箱子、尺、筷子、美工刀、鑷子、保特瓶。

柒、研究過程與結果

研究一、研究海藻酸鈉晶球的製作方式

實驗一-1 改良製作海藻酸鈉晶球的方式

實驗發想：蒐集相關資料，探討如何將海藻酸鈉和氯化鈣製作成晶球的方式。

(一) 實驗步驟：

A 製作海藻酸鈉溶液

方式一：將粉狀海藻酸鈉 6 克加入 400ml 水中進行攪拌。

方式二：將粉狀的海藻酸鈉 6 克加入 400ml 水中利用果汁機攪拌。

B 製作氯化鈣溶液

方式一：將 10g 的氯化鈣加入 1500ml 的水中攪拌即可溶解。

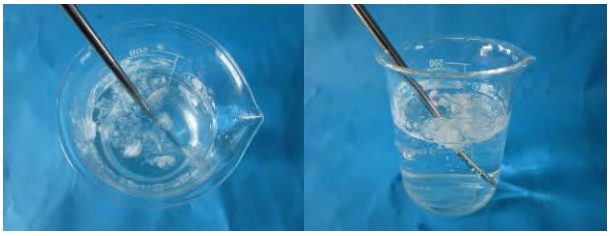
C 製作成晶球的方式

製作小晶球：將海藻酸鈉溶液裝在針筒中，直接擠壓滴入氯化鈣溶液中。

製作大晶球：先用針筒取 0.5ml 氯化鈣溶液擠入圓形湯匙，再將 5ml 海藻酸鈉溶液擠入湯匙中，初步定形後再放入氯化鈣溶液中用篩網搖晃成形。

(二) 實驗結果：

表一-1-1 海藻酸鈉晶球的製作方式

過程	方式	照片	優缺點
溶解海藻酸鈉	利用攪拌棒直接攪拌		形成較多的泡泡且不易溶解，海藻酸鈉雖然可溶於水，但是溶解速度很慢，一開始會有結塊的現象。
	利用果汁機攪拌		海藻酸鈉可以均勻溶解在水中且泡泡不多溶解後的水溶液如同膠水般的凝膠溶液。
形成晶球	在針筒內裝入海藻酸鈉膠狀溶液 按壓入氯化鈣溶液中		可以形成球體，晶球的體積小。

	海藻酸鈉在圓湯匙中塑形 篩網繞圈搖動塑形		可以形成球體，晶球的體積大。

(三)、發現與討論：

1.海藻酸鈉溶液配置方式，將海藻酸鈉加入水中利用果汁機攪拌均勻，再放入冰箱中冷藏去除泡泡即可。

2.氯化鈣溶液配製方式，直接將氯化鈣加入水中即可。

3.海藻酸鈉和氯化鈣交聯作用後會形成球狀，要製作較小的球體，要使用針筒；要製作較大的球體，要使用湯匙和篩網。為了進行晶球性質的相關測量，晶球太小無法測量，大晶球才可以測量。但是篩網的搖晃頻率會影響球形，因此設計晶球成型機，以固定搖晃頻率。

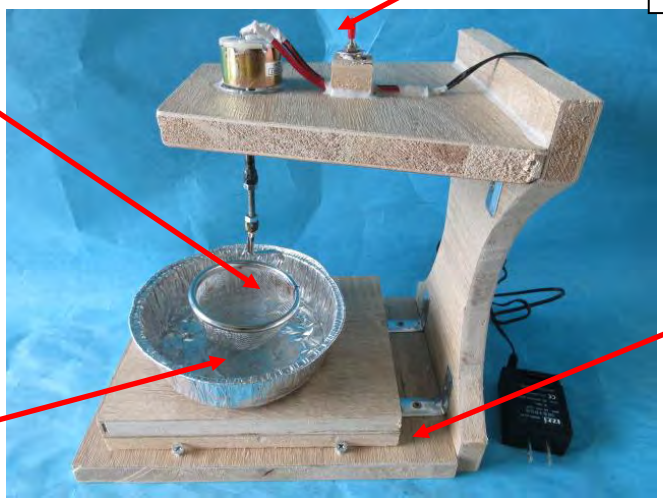
4.工具的選用與設計會影響晶球的形狀和大小。

實驗一-2：設計製作晶球成型裝置-----製作大晶球

A 裝置外觀圖：

小馬達：由小馬達等速控制，製作晶球。

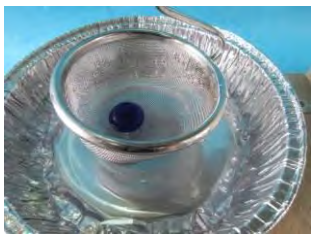
篩網：放入製作晶球溶液，由小馬達等速控制，製作出晶球。



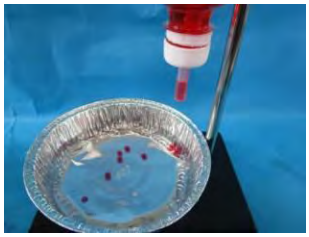
木材架子：固定整體裝置用。

鋁箔盤：放入氯化鈣溶液。

B 裝置使用方式：

			
將氯化鈣溶液倒入鋁盤中	5ml 海藻酸鈉溶液加入 1ml 氯化鈣中塑型	將塑型後的溶液放入篩網中	等速搖動篩網製作晶球

實驗一-3：製作小晶球的方式

			
將海藻酸鈉溶液裝入瓶蓋有滴管的寶特瓶	將寶特瓶倒立固定在架上，固定瓶身的角度和高度使海藻酸鈉等量滴入氯化鈣溶液中		製作成小晶球

實驗一- 4：探討反向晶球化技術的可行性

實驗發想：

如果反向操作，將氯化鈣加入海藻酸鈉中，也可以形成晶球嗎？實驗後發現氯化鈣會浮在海藻酸鈉上，無法進行交聯形成晶球。因此想到將氯化鈣製作成黏稠物使其沉入海藻酸鈉中，測試晶球化的可行性。，設計不加氯化鈣的勾芡物做為對照組。

(一)、實驗步驟：

1.將依據下列三種方式配製混合物，

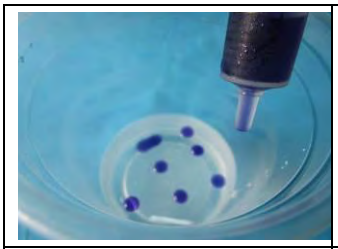
方式一：將 1 克的氯化鈣＋20ml 的染色水，配製成氯化鈣水溶液。

方式二：將 1 克的番薯粉＋20ml 的染色水，加熱到呈現勾芡狀，製成番薯粉勾芡物。

方式三：將 0.5 克的氯化鈣＋0.5 克的番薯粉＋20ml 的染色水，加熱到呈現勾芡狀。

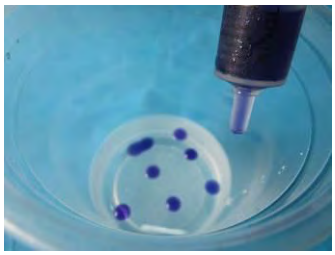
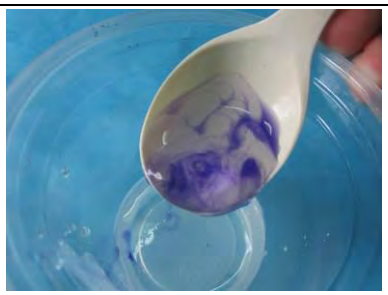
2.分別將步驟 1 中三種配製的混合物放入海藻酸鈉中(6 克/400ml)，進行反向操作。

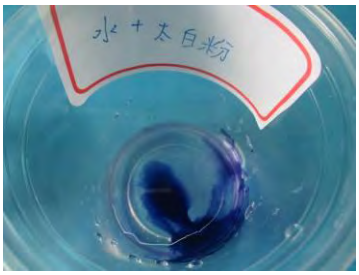
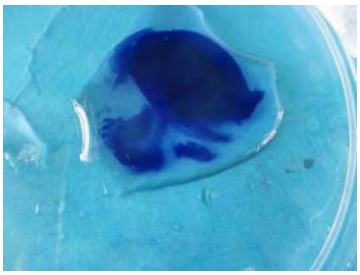
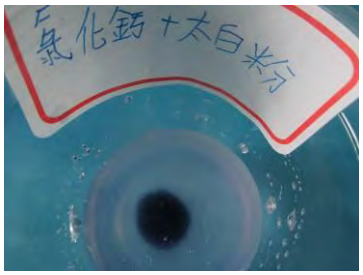
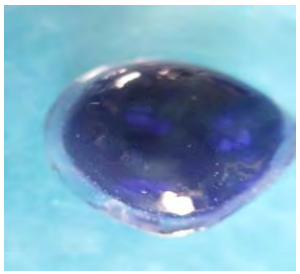
3.用圓形湯匙分別取勾芡物作初步塑形後加入海藻酸鈉溶液中浸泡 3 分鐘，觀察晶球化情形。

			
染色的氯化鈣滴入海藻酸鈉	A 番薯粉+水 B 番薯粉+水 +氯化鈣	分別將 A、B 加熱勾芡	取勾芡物加入海藻酸鈉溶液中浸泡 3 分鐘

(二)、實驗結果：

表一-4-1　反向晶球化操作結果

反向晶球化的操作方式	過程	結果
氯化鈣滴入海藻酸鈉中	 氯化鈣浮在海藻酸鈉溶液上呈圓形	 撈起時圓形散開無法成晶球

勾芡法	A.番薯粉加水勾芡物	 勾芡物滴入海藻酸鈉溶液中散開	 無法成晶球
	B.番薯粉加氯化鈣加水勾芡物	 氯化鈣勾芡物被海藻酸鈉包覆	 勾芡法反向晶球技術做成的晶球

(三)、發現與討論：

1.氯化鈣溶液加入海藻酸鈉溶液中，氯化鈣會浮在海藻酸鈉溶液上，無法交聯形成晶球。

2.番薯粉加水溶液的勾芡物不能與海藻酸鈉形成晶球，勾芡物會散開，證明不是勾芡造成晶球化。

3.利用番薯粉把氯化鈣溶液變成黏稠物，使它能沉入海藻酸鈉，讓海藻酸鈉包覆它，便能形成晶球。

4.發現利用反向法製作的晶球，包覆在晶球內層物質會是氯化鈣，那正向法製作出來的晶球內層物質為何呢？進行下面實驗。

研究二、探討海藻酸鈉晶球的構造

實驗發想：

正向晶球破掉後，流出的液體黏黏的，那是海藻酸鈉嗎？發現只有外圍是固化的膠膜，包覆在裡面的是還沒固化的海藻酸鈉嗎？利用原料染色方法進行探究。

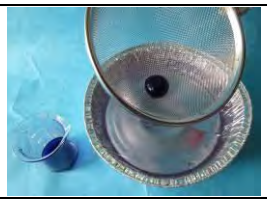
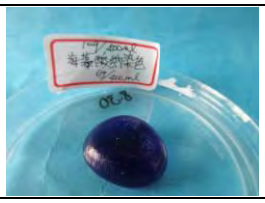
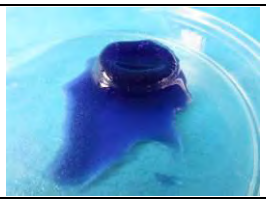
(一)實驗步驟：

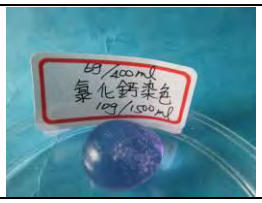
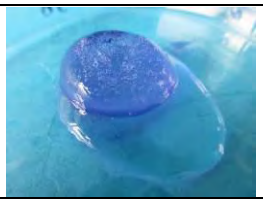
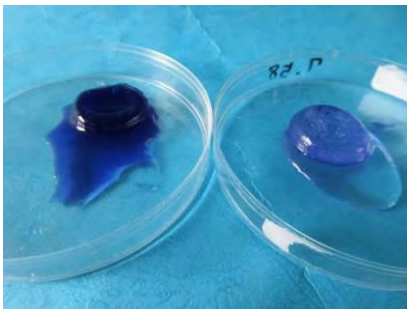
1.將海藻酸鈉溶液利用色素染色，將染色的海藻酸鈉放入氯化鈣中製作晶球。

2.將氯化鈣溶液利用色素染色，將海藻酸鈉放入染色的氯化鈣中製作晶球。

3.將上述製作完成的晶球捏破，觀察流出的物質狀態。

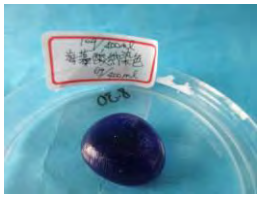
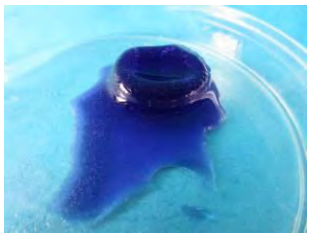
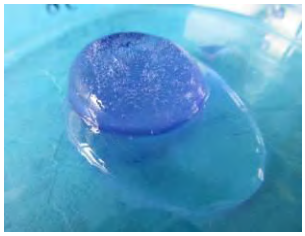
4.將上述製作晶球切開清洗球內容物，觀察所形成外膜的狀態。

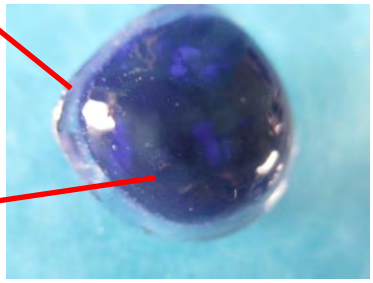
實驗步驟	製作晶球		捏破晶球使內含物流出	觀察外膜的狀態
海藻酸鈉染色				

氯化鈣染色				
				

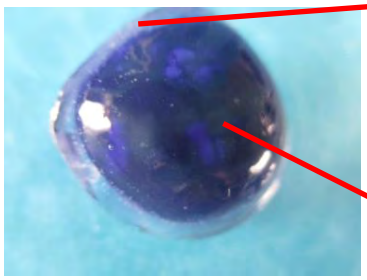
(二)實驗結果：

表二-1 海藻酸鈉晶球的構造

不同溶液染色	晶球外型	晶球內流出液體顏色	摸起來	外膜狀態	推論
海藻酸鈉染色	 藍色晶球	 流出有染色的黏液	像海藻酸鈉的黏液	晶球外皮的顏色較透明	染色的海酸藻鈉被包覆在裡面
氯化鈣染色	透明淡藍色晶球	 流出未染色的黏液	像海藻酸的黏液	晶球外皮的顏色是淡藍色	未染色的海藻酸鈉被包覆在裡面



正向晶球結構示意圖



反向晶球結構示意圖

(三)發現與討論：

1.我們發現，將海藻酸鈉染色，晶球外皮的顏色較透明，流出來的汁是藍紫色的，表示裡面包覆是染過色的海藻酸鈉。

2.我們發現，將氯化鈣染色，晶球的顏色會較淺(氯化鈣和海藻酸鈉起作用時的顏色沾染在晶球外皮所造成的)，汁流出來是透明的，再次證明包覆在晶球裡面的溶液是沒有染色的海藻酸鈉。

3.不管是海藻酸鈉加入氯化鈣或是氯化鈣加入海藻酸鈉都可以形成晶球，正、反向方式不同晶球內層物質不同。

研究三：探討交聯作用時間對晶球膜厚度的影響

實驗發想：

晶球浸泡在氯化鈣的反應時間愈久，戳破後流出的海藻酸鈉就會愈少，這表示氯化鈣會續與海藻酸鈉產生交聯作用，使晶球膜厚度增厚，以下驗證膜厚度和交聯作用時間的相關性。

(一)、實驗步驟：

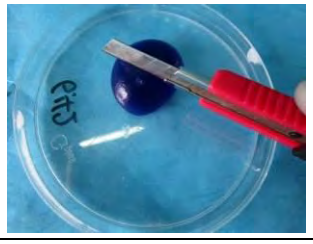
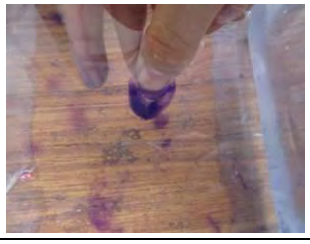
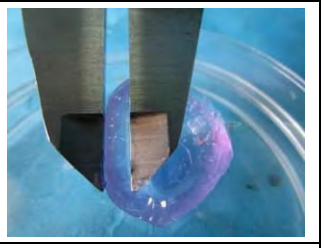
1.將 4 克的海藻酸鈉和 600ml 的水，利用果汁機配製成海藻酸鈉溶液。

2.秤 10 克的氯化鈣，加入 1500ml 的水，配製成氯化鈣溶液。

3.將海藻酸鈉溶液各 5ml 分別放入步驟 2 中氯化鈣溶液中作用 2、5、10 分鐘，製作成晶球。

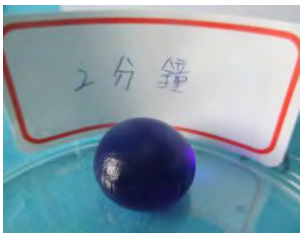
4.測量與觀察各個晶球的重量、長寬高、球形度、耐壓度、膜厚度和外觀等。

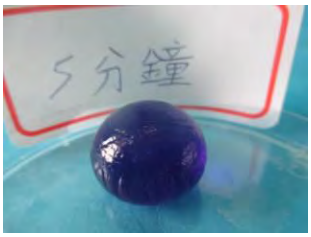
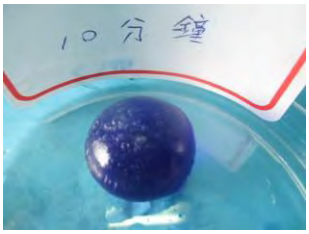
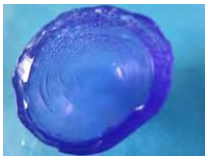
5.每次實驗都製作三顆晶球，並且把晶球性質的實驗數據取平均值。

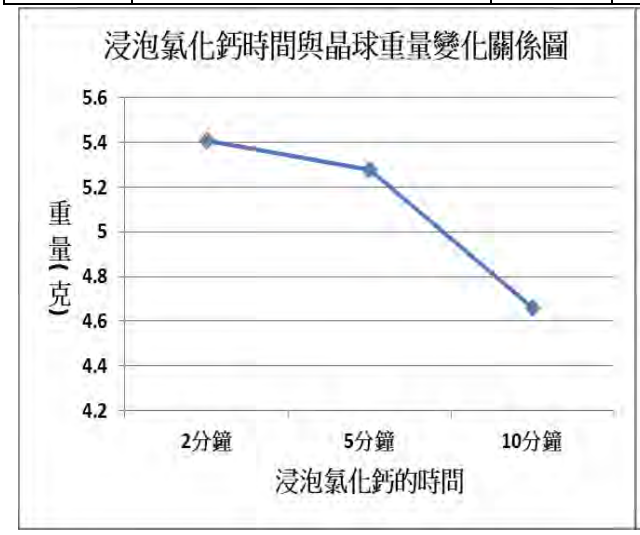
			
記錄海藻酸鈉在氯化鈣中作用的時間	將晶球切開	將切開晶球清洗乾淨	利用游標尺測量晶球外膜厚度

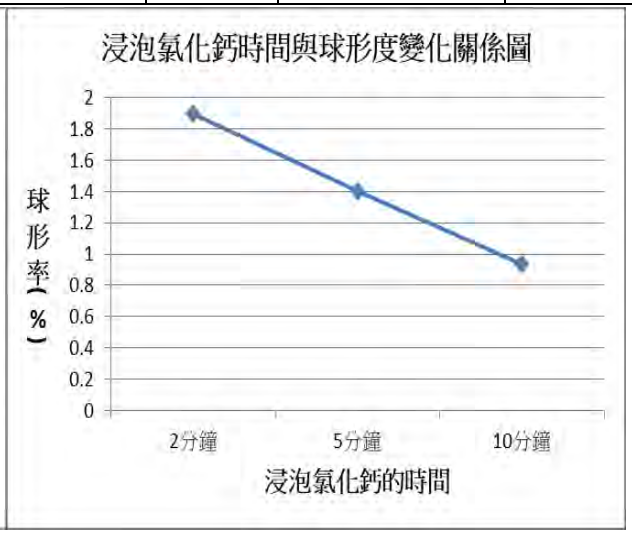
(二)、實驗結果：

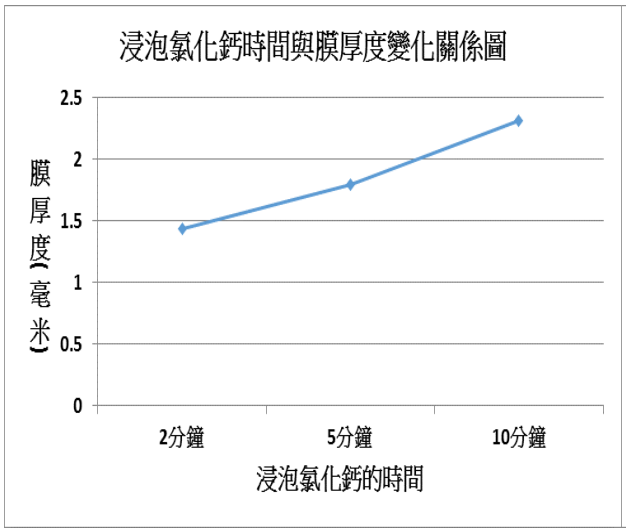
表三-1 浸泡氯化鈣時間對晶球的影響

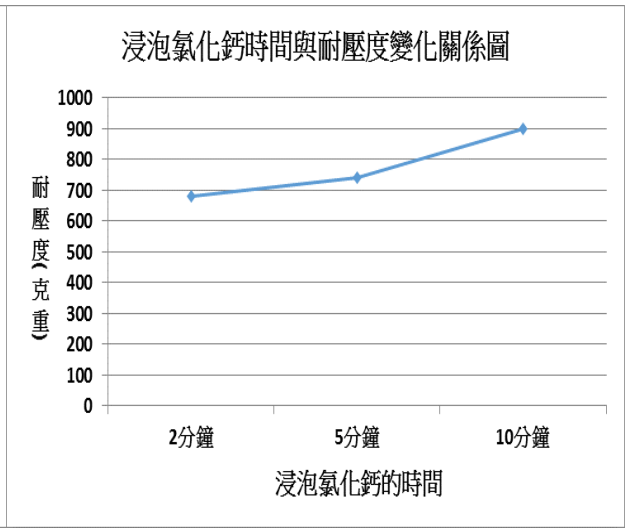
浸泡在氯化鈣的時間	結果	重量(克)	大小(cm)	球形度	膜厚度(mm)	耐壓度(克重)
2 分鐘		5.41	長:2.0 寬:2.0 高:1.2 1.6/1.6/1	1.40	1.44 	680

5 分鐘		5.28	長:2.0 寬:2.0 高:1.4 1.4/1.4/1	1.26	1.80 	740
10 分鐘		4.66	長:1.5 寬:1.5 高:1.6 0.94/0.94/ 1	0.96	2.31 	900









(三)、發現與討論：

1.晶球浸泡在氯化鈣的時間愈久，重量越輕，晶球的長、寬都會比較短，高度比較高，球形度愈接近 1，表示晶球愈容易成球狀。

2.浸泡在氯化鈣的時間愈久，膜愈厚愈硬，耐壓度也愈高。

3.海藻酸鈉和氯化鈣作用時間較長，外表就會變成膠膜狀，作用時間越久膜會越厚，相對晶球內的汁就會越少，流出的汁也就變少。

研究四、研究海藻酸鈉晶球的特性

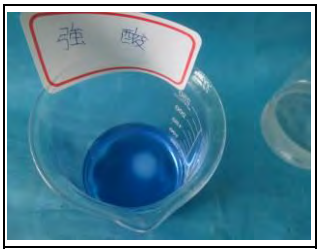
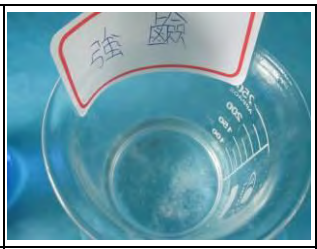
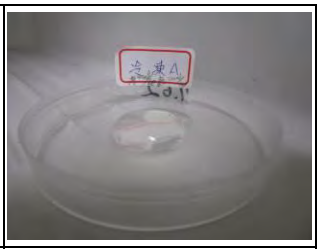
實驗四-1 探討海藻酸鈉晶球的耐受性

實驗目的：測試晶球膜是否會被強酸強鹼分解，或被高溫低溫破壞

(一) 實驗步驟：

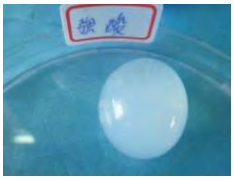
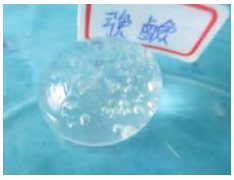
1.將海藻酸鈉晶球放入強酸(鹽酸)pH2、強鹼(氫氧化鈉)pH12 中、水中加熱至水沸騰、冷凍至水結冰。

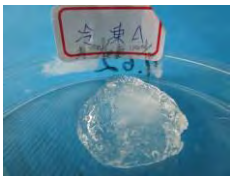
2.比較不同處理前後晶球的重量、長寬高、球形度、膜厚度、耐壓度。

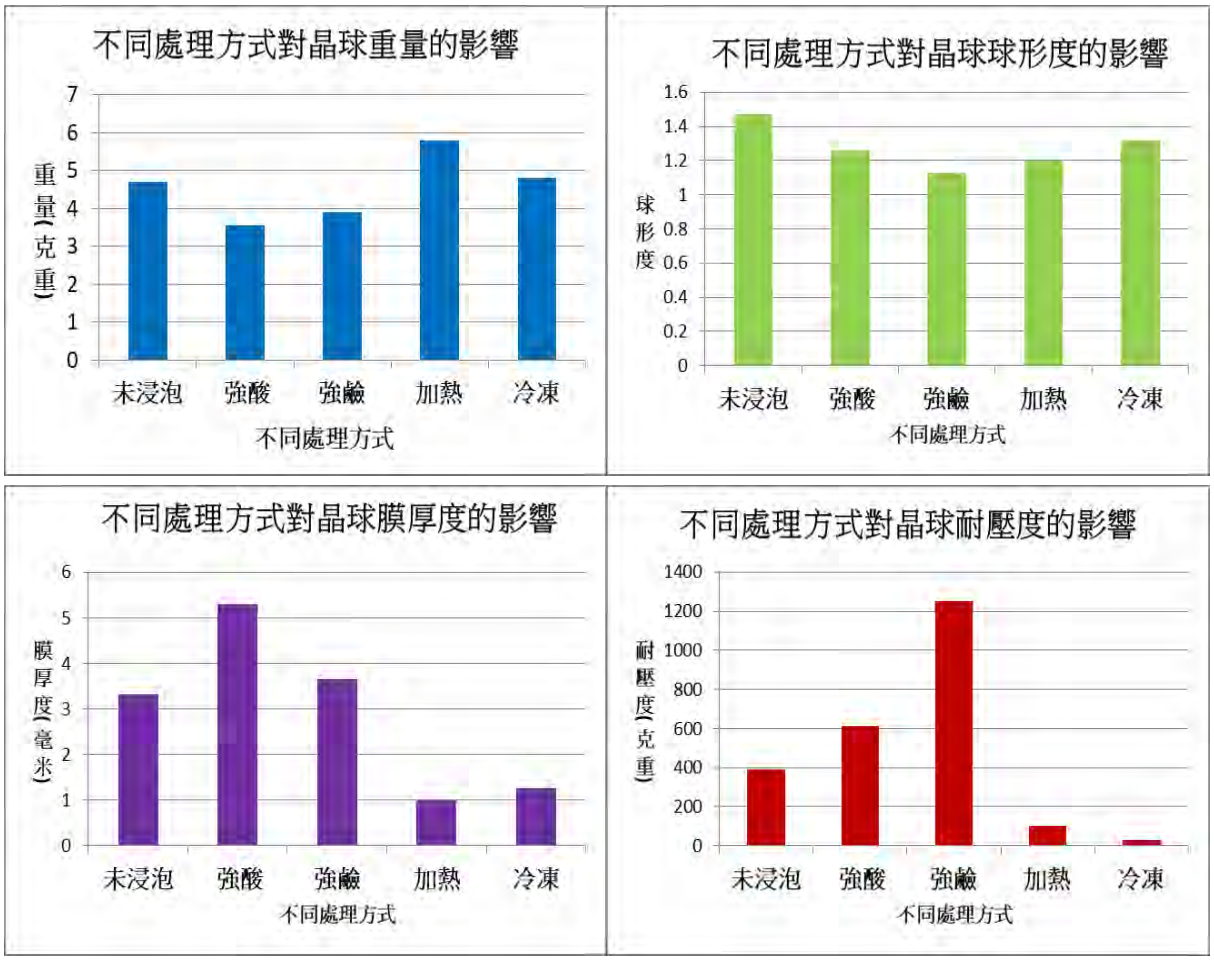
			
浸泡在強酸中	浸泡在強鹼中	進行加熱	放入冷凍庫

(二)實驗結果：

表四-1-1 四種破壞性處理對晶球的影響

項目	重量(克)	大小(cm)	球形度	膜厚度(mm)	耐壓度(克重)
未處理前	4.70	長：2.48 寬：1.93 高：1.40 1.77/1.37/1.28	1.47	3.33	390
強酸(浸泡後) 	3.55	長：1.41 寬：1.34 高：1.00 1.41/1.34/1.05	1.26	5.29	610
強鹼(浸泡後) 	3.89	長：2.04 寬：1.67 高：1.70 1.20/0.98/1.20	1.13	3.65	1250
高溫(加熱後)	5.80	長:2.36 寬:2.22 高:1.80 1.31/1.23/1.06	1.20	0.99	100

低溫(冷凍後) 	4.80	長:2.41 寬:2.10 高:1.60 1.50/1.30/1.15	1.32	0.25	30



(三)、發現與討論：

1.強酸使晶球的重量變輕、更接近球形、膜厚度變厚、耐壓度變高。

2.強鹼使晶球的重量變輕、更接近球形、膜厚度變化不大、晶球變較軟，更耐壓。

3.加熱與冷凍使晶球的重量變重、更接近球形、膜厚度變薄、耐壓度變低。

4.以重量來看，加熱使晶球重量增加最多；浸泡強酸使晶球重量減少最多。

6.以球形度來看，浸泡強鹼使晶球最接近球形，其次是加熱、浸泡強酸、冷凍。

7.以膜厚度來看，浸泡強酸＞浸泡強鹼＞加熱的＞冷凍的，浸泡強酸的膜最厚。

8.以耐壓性來看，浸泡強鹼＞浸泡強酸＞加熱的＞冷凍的，浸泡強鹼的最耐壓。

結論：

1.晶球膜的耐受性很強，不易被弄破，不但耐強酸、強鹼、高溫、低溫，強酸還會使膜增厚，強鹼使晶球最耐壓。酸鹼性對晶球的破壞性較低，溫度變化對晶球的破壞性較強，使晶球膜變薄，耐壓性變弱。

研究四-2：海藻酸鈉晶球膜的通透性

實驗構思：

晶球膜會讓哪些液體通過呢？晶球浸泡在不同溶液中有什麼變化呢？哪些溶液有利於晶球的保存呢？進行下面實驗探究。

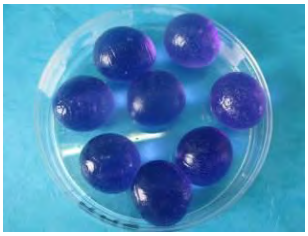
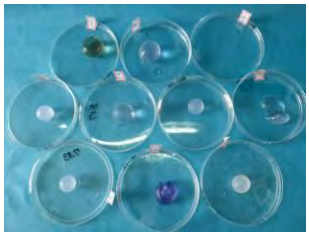
(一)、實驗步驟：

1.準備水、氯化鈣、糖水、鹽水、沙拉油、小蘇打粉、石灰水、茶、檸檬酸、醋等溶液，濃度比例為 3 克/200ml。

2.製作海藻酸鈉晶球(6 克/400ml)，分別放入步驟 1 各個溶液中靜置 24 小時。

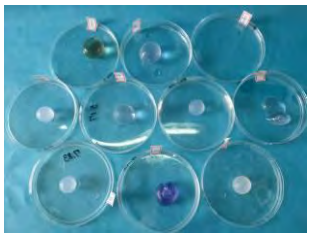
3.測量各個晶球的重量、長寬高、球形度、通透性、顏色等。

4.每次實驗製作都會用三顆晶球，取實驗結果平均值。

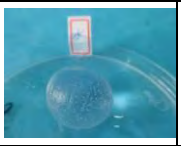
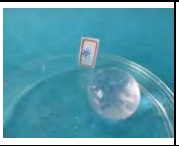
			
準備不同種材料配製成溶液	製作大小相近的晶球	將晶球泡入各溶液當中，靜置一天	浸泡後撈起晶球，測試各項特性

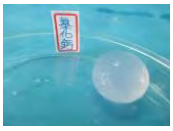
(二)、實驗結果：

表四-2-1 浸泡溶液後的晶球變化

			
浸泡後晶球性質不同	大小不同	空心晶球	實心晶球

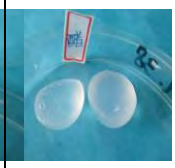
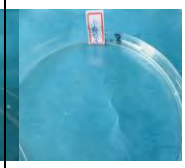
表四-2-2 浸泡不同溶液後的晶球性質之一

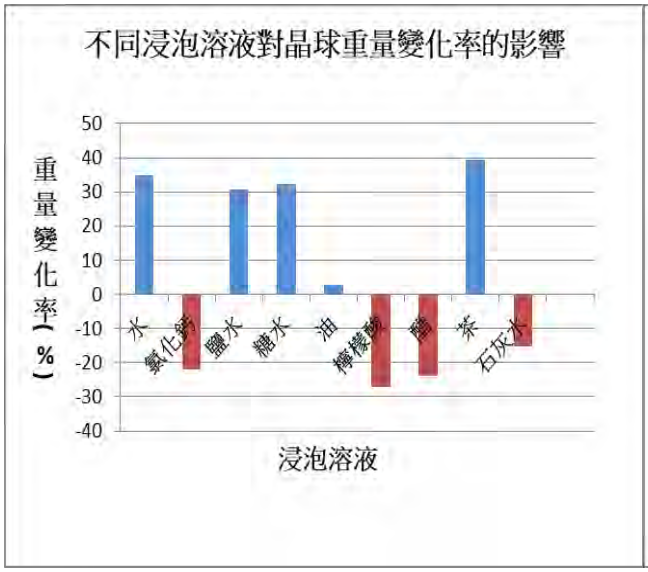
溶液名稱		水	氯化鈣	鹽水	糖水	油
浸泡晶球溶液		pH7.9	pH6.8	pH7.3	pH7	pH7
浸泡後的晶球						
重量 (g)	浸泡前	4.97	4.78	5.03	4.84	5.16
	浸泡後	6.70	3.73	6.57	6.40	5.30
重量變化率(%)		+34.81	-21.97	+30.62	+32.23	+2.713

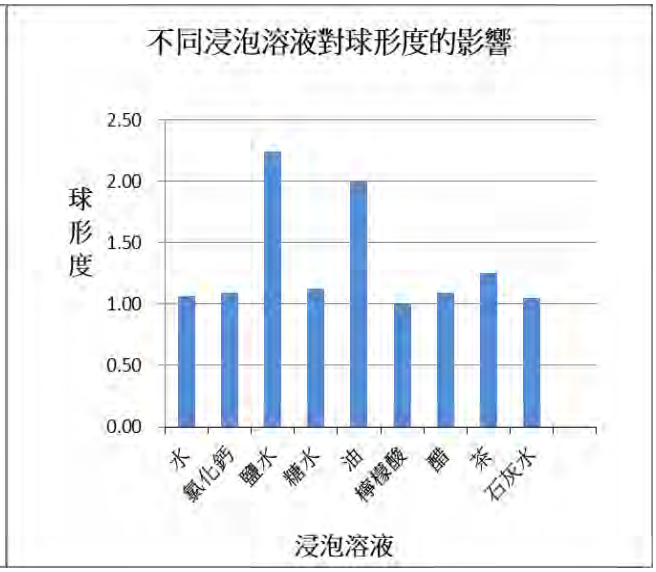
大小與形狀 長寬高（cm）	浸泡前	長:2.40 寬:1.85 高:1.70 1.41/1.08/1.29	長:2.20 寬:1.95 高:1.82 1.21/1.07/1.12	長:2.35 寬:1.90 高:1.70 1.38/1.11/1.23	長:2.15 寬:2.00 高:1.35 1.59/1.48/1.59	長:2.30 寬:2.00 高:1.80 1.27/1.11/1.15
	球形度	1.26	1.136	1.24	1.55	1.17
	浸泡後	長:2.65 寬:2.20 高:2.40 1.10/0.92/1.2	長:1.98 寬:1.85 高:1.72 1.15/1.08/1.07	長:4.15 寬:3.80 高:1.75 2.37/2.17/2.17	長:2.50 寬:2.20 高:2.05 1.21/1.07/1.13	長:4.00 寬:3.80 高:1.55 2.5/2.45/1.05
	球形度	1.07	1.09	2.24	1.13	2
晶球內部		空心 	實心 	空心 	空心 	空心
顏色		透明	白色	透明	透明	仍保持紫色

表四-2-3 浸泡不同溶液後的晶球性質之二

溶液名稱		檸檬酸	醋	茶	石灰水	小蘇打水
浸泡晶球溶液		pH2.3 	pH2.4 	pH8 	pH12 	pH8.5
浸泡後的晶球						
重量（g）	浸泡前	5.03	5.33	5.26	5.40	5.18
	浸泡後	3.67	4.05	7.34	4.58	0
重量變化率(%)		-27.04	-24.02	+39.54	-15.19	100
大小與形狀 長寬高（cm）	浸泡前	長 2.25 寬 1.85 高 1.85 1.22/1/1.22	長 2.25 寬 2.10 高 1.95 1.15/1.08/1.07	長 2.40 寬 1.90 高 1.70 1.41/1.12/1.26	長 2.60 寬 1.95 高 2.05 1.27/0.95/1.33	長 2.3 寬 2 高 1.8 1.27/1.1/1.15
	球形度	1.15	1.1	1.26	1.52	1.17

	浸泡後	長 2.00 寬 2.00 高 2.00 1/1/1	長 2.20 寬 2.20 高 1.95 1.13/1.13/1	長 3.00 寬 2.50 高 2.15 1.4/1.16/1.2	長 2.15 寬 2.05 高 2.00 1.08/1.03/1.05	長 0 寬 0 高 0 0/0/0
	球形度	1	1.09	1.25	1.05	0
晶球內部		實心 	實心 	空心 	實心 	消失 
顏色		白色	透明	淡褐色	透明無色	晶球完全溶解，不見了





(三)、發現與討論：

1.晶球泡在小蘇打水中，晶球會完全分解，消失不見了。表示小蘇打水對晶球膜的破壞力最大，應該是小蘇打是碳酸氫鈉，會使交聯膜的鈣被鈉置換出來，膜就被分解了。

2.晶球重量增加最多的，依序是浸泡在茶、水、糖水、鹽水、油等溶液中，而且這些晶球切開之後，內部液體流出後呈現空心，晶球顏色也從染色的藍色變淡、變透明。其中浸泡茶的晶球呈現茶的褐色。這些現象都代表這些溶液會穿透晶球膜進入膜內，也代表液體滲透的難易度排序，其中浸泡油的晶球顏色變化最少，表示油不易滲透進入膜內。

3.晶球重量減少最多的，依序是浸泡在檸檬酸、醋、氯化鈣、石灰水，而且這些晶球切開之後是實心的。

4.我們推論石灰水是氫氧化鈣，應該和氯化鈣一樣會和海藻酸鈉產生交聯作用，產生實心晶球。而檸檬酸、醋應該是晶球內的水分滲透出來造成重量減少且變實心。

5.以球形度來看，最接近球形的依序是浸泡在檸檬酸、石灰水、水、糖水、氯化鈣、醋、茶、油、鹽水。

研究五、探討不同含鈣物質對海藻酸鈉晶球化的影響

實驗構思：

石灰水是氫氧化鈣，和氯化鈣一樣會和海藻酸鈉產生交聯作用，產生實心晶球，所以想測試其他不同含有鈣物質是否也和氯化鈣一樣，能與海藻酸鈉形成晶球。

(一)、實驗步驟：

1.準備含鈣的物質，包含碳酸鈣、氫氧化鈣、市售食用檸檬酸鈣、自製檸檬酸鈣和醋酸鈣。以及含鈣的食物，包含乳酸鈣、牛奶、優酪乳等。

2.將步驟 1 中的物質，以比例 10 克加入 1500ml 的水。

3.把 6 克/400ml 海藻酸鈉溶液放入步驟 2 各種溶液中分別製作小、中、大三種晶球，觀察晶球成形的狀態。

4-1.自製檸檬酸鈣方式一如下，水垢的主要成份之一是碳酸鈣（$CaCO_3$），和檸檬酸作用可以產生檸檬酸鈣，反應如下：碳酸鈣＋檸檬酸 → 檸檬酸鈣＋二氧化碳＋水

(1).先將檸檬酸和 300 毫升的水放進含水垢的熱水瓶裡。

(2).蓋上蓋子，按檸檬酸洗淨。

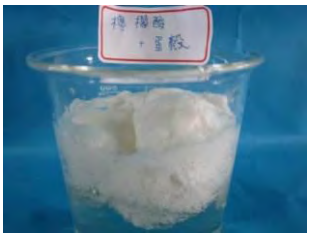
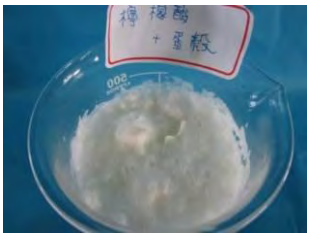
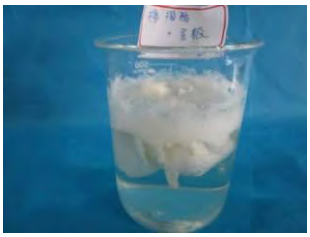
(3).過數分鐘即可將自製檸檬酸鈣倒出，即完成。

水垢		檸檬酸洗淨	倒出檸檬酸鈣

4-2.自製檸檬酸鈣方式二如下，蛋殼的成分是碳酸鈣，和檸檬酸作用可以產生檸檬酸鈣，反應如下：碳酸鈣＋檸檬酸 → 檸檬酸鈣＋二氧化碳＋水。

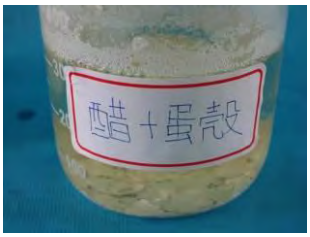
(1).配置 300 毫升檸檬酸飽和溶液。

(2).秤 20 公克重的蛋殼，將蛋殼放入步驟(1)中的檸檬酸飽和溶液浸泡 24 小時。

		
將蛋殼浸入檸檬酸飽和溶液	反應中，產生檸檬酸鈣	浸泡 24 小時

5-1.自製醋酸鈣方式一如下，蛋殼的成分是碳酸鈣，和醋酸作用可以產生醋酸鈣，反應如下：碳酸鈣＋醋酸 → 醋酸鈣＋二氧化碳＋水。

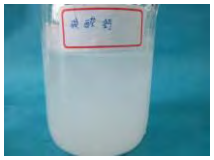
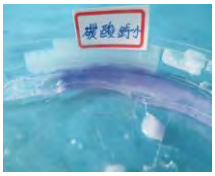
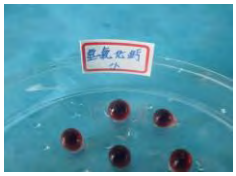
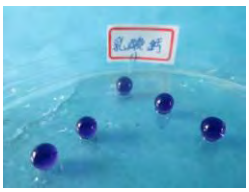
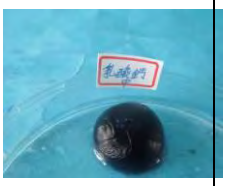
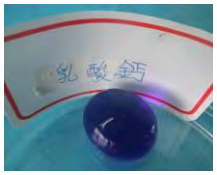
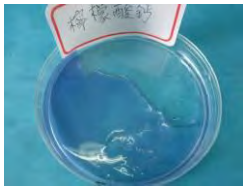
(1).秤 20 公克重的蛋殼，將蛋殼放入 300 毫升的工研醋中淨泡 24 小時。

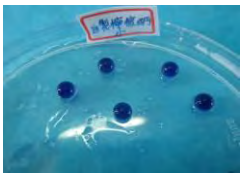
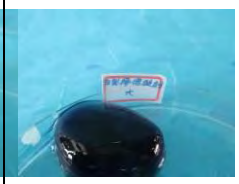
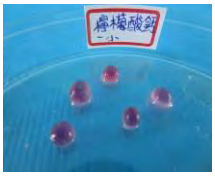
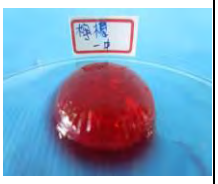
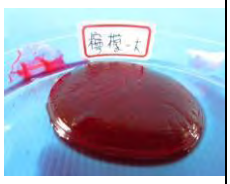
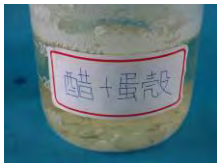
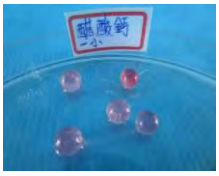
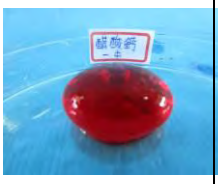
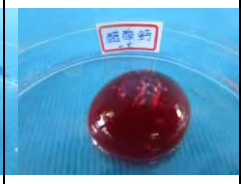
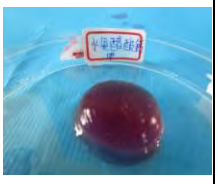
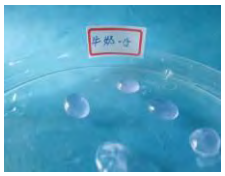
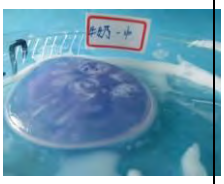
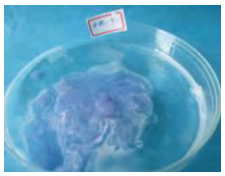
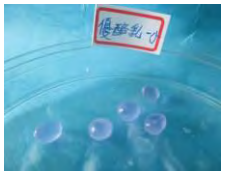
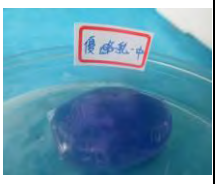
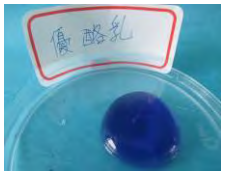
		
將蛋殼放入工研醋中	反應產生醋酸鈣	浸泡 24 小時

5-2 自製醋酸鈣方式二，利用水果醋替代工研醋自製醋酸鈣。

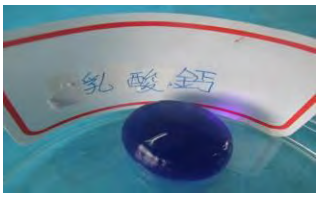
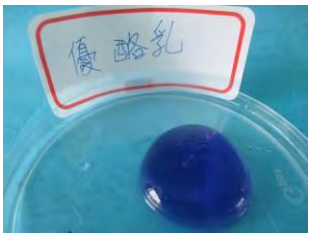
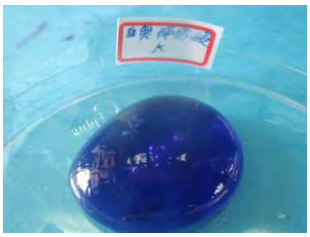
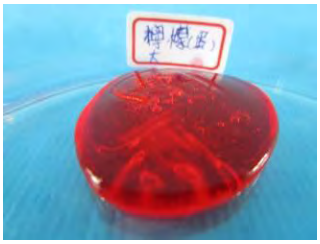
(二)、實驗結果：

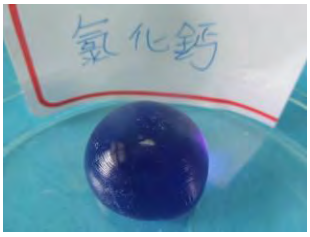
表五-1 不同含鈣水溶液替代氯化鈣製作晶球的結果

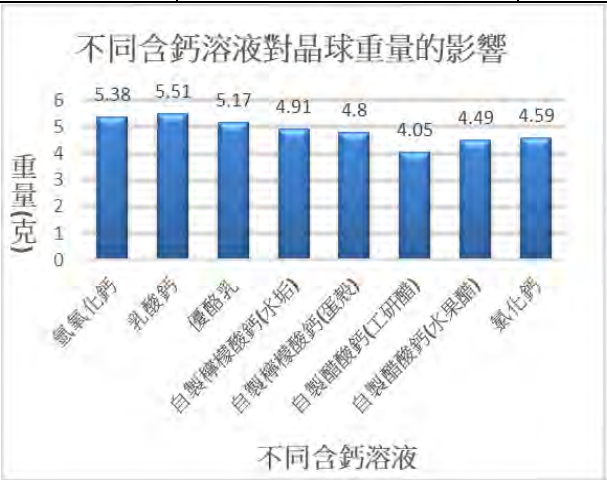
含鈣水溶液	溶解性	顏色	pH 值	形成的晶球大小		
				小	中	大
碳酸鈣 	不易溶	混濁	9.8	 無法形成	無法形成	無法形成
氫氧化鈣	微溶	混濁	11.3			
乳酸鈣	不易溶	澄清	6.4			
食品級檸檬酸鈣	不易溶	混濁	6.2	 無法形成	無法形成	無法形成
藥品級檸檬酸鈣	不易溶	混濁	6.8	浸泡很長時間形成	無法形成	無法形成

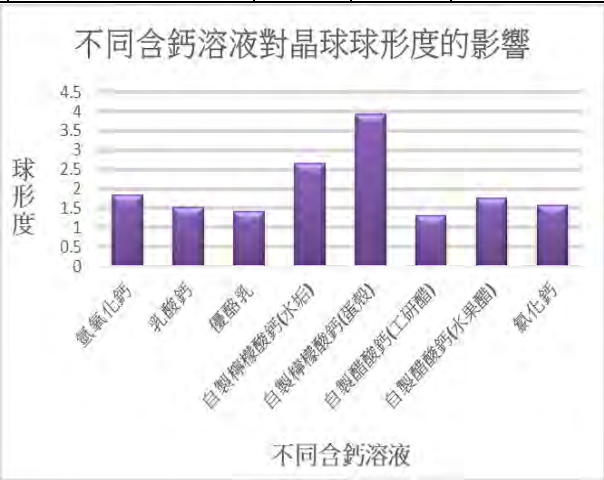
自製檸檬酸鈣 (水垢)(檸檬酸) 	液體狀	澄清	5.0			
自製檸檬酸鈣 (蛋殼) (檸檬酸) 	液體狀	混濁	2.2			
自製醋酸鈣 (蛋殼)(工研醋) 	液體狀	澄清	5.2			
自製醋酸鈣 (蛋殼)(水果醋) 	液體狀	澄清	2.8			
牛奶 	液體狀	乳白色	7.0			
優酪乳 	液體狀	乳白色	5.5			

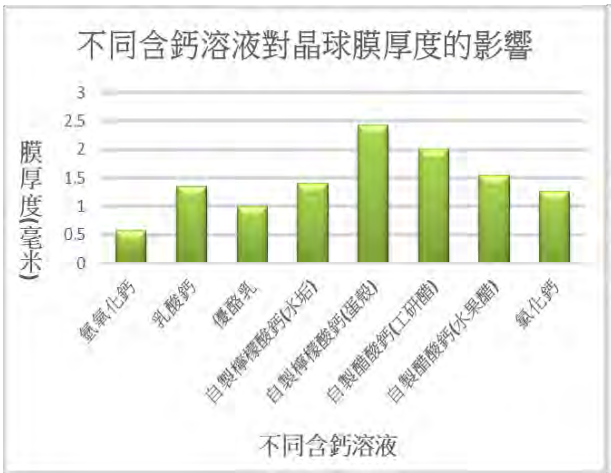
表五-2 不同含鈣物質做成的大晶球性質比較表

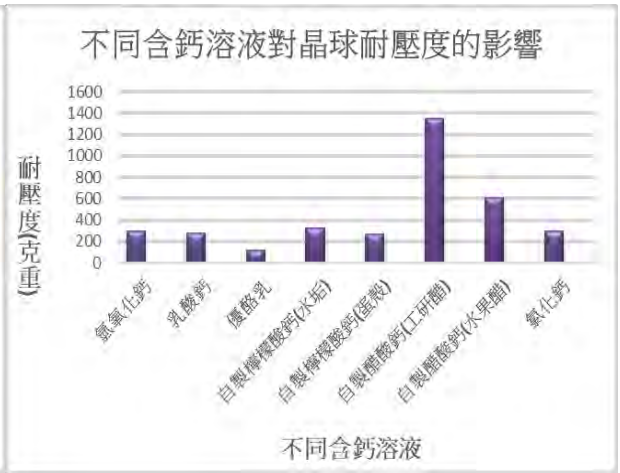
含鈣物質	照片	重量(gw)	大小(cm)	球形度	厚度(mm)	耐壓度(g)
氫氧化鈣		5.38	長:3.10 寬:2.60 高:1.30 2.38/2/1.19	1.85	0.57	300
乳酸鈣		5.51	長:2.60 寬:2.20 高:1.40 1.85/1.57/1.18	1.53	1.35	280
優酪乳		5.17	長:2.30 寬:2.20 高:1.40 1.64/1.57/1.04	1.41	0.99	120
自製 檸檬酸鈣 (水垢)		4.91	長:3.03 寬:2.34 高:0.80 3.79/2.93/1.29	2.66	1.40	330
自製 檸檬酸鈣 (蛋殼)		4.80	長:3.20 寬:3.30 高 0.60 5.33/5.5/0.97	3.93	1.72	550
自製 醋酸鈣 (蛋殼) (工研醋)		4.05	長:1.90 寬:1.80 高:1.30 1.46/1.38/1.05	1.3	2.00	>1350

自製 醋酸鈣 (蛋殼) (水果醋)		4.49	長:2.90 寬:2.50 高:1.30 2.23/1.92/1.16	1.77	1.55	610
氯化鈣		4.59	長:2.30 寬:2.20 高:1.20 1.92/1.83/1.04	1.59	1.26	300









(三)、發現與討論：

1.發現可以和海藻酸鈉形成晶球的含鈣物質有氫氧化鈣、兩種自製醋酸鈣，食品類的乳酸鈣和優酪乳也可以。

2.碳酸鈣、食品級檸檬酸鈣無法形成晶球；藥品級檸檬酸鈣在長時間浸泡後可以形成小晶球，但無法形成較大晶球。檸檬酸鈣的促凝效果不佳，水垢檸檬酸鹽中含有鈣和鎂，所以促凝效果不單純是檸檬酸鈣產生，檸檬酸鎂也參與作用。

2.以晶球重量來看，用乳酸鈣＞氫氧化鈣＞優酪乳＞自製檸檬酸鈣(水垢)＞自製檸檬酸鈣(蛋

殼)>氯化鈣>自製醋酸鈣(水果醋)>自製檸檬酸鈣(工研醋)，但是差異量不大，其中以乳酸鈣製作的晶球重量最重，以自製檸檬酸鈣(工研醋)製作的晶球重量最輕。

3.以球形度來看，自製醋酸鈣(工研醋) >優酪乳＞乳酸鈣>氯化鈣＞氫氧化鈣＞自製醋酸鈣(水果醋)＞自製檸檬酸鈣(水垢) >自製檸檬酸鈣(蛋殼)，以自製醋酸鈣(工研醋)製作的晶球最接近球形，自製檸檬酸鈣(蛋殼)製作的晶球最扁。

4.以厚度來看，自製檸檬酸鈣(蛋殼) ＞自製醋酸鈣(工研醋) > 自製醋酸鈣(水果醋)> 自製檸檬酸鈣(水垢)＞乳酸鈣＞氯化鈣＞優酪乳＞氫氧化鈣，以自製檸檬酸鈣(蛋殼)製作的晶球膜厚度最厚，氫氧化鈣製作的晶球膜厚度最薄。

5.以耐壓度來說，自製醋酸鈣(工研醋)> 自製醋酸鈣(水果醋)> 自製檸檬酸鈣(蛋殼)＞自製檸檬酸鈣(水垢)>氫氧化鈣=氯化鈣＞乳酸鈣＞優酪乳，以自製醋酸鈣(工研醋)製作的晶球最耐壓，堅固性最高。

結論：

1.各種含鈣的水溶液中，氫氧化鈣、自製醋酸鈣(工研醋)、自製醋酸鈣(水果醋)、自製檸檬酸鈣(水垢)、和食品類的乳酸鈣和優酪乳可以取代氯化鈣讓海藻酸鈉形成晶球狀。

2.醋酸鈣的促凝效果很好，以自製醋酸鈣(工研醋)促凝的晶球最接近球形，而且膜厚度也最厚、最耐壓。

3.使用蛋殼和醋酸作用產生的醋酸鈣來做海藻酸鈉晶球，不僅效果好而且天然。

研究六：海藻酸鈉晶球化技術的應用

研究六-1：測定奶製品的含鈣量

實驗構思：

研究氯化鈣濃度與晶球成形的關係，做為測定奶製品鈣質含量的對照標準。

實驗目的：分析氯化鈣濃度與晶球外形的關係

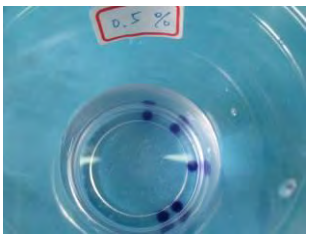
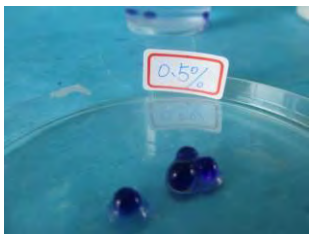
(一)、實驗步驟：

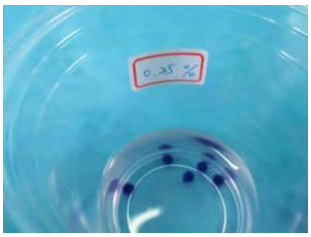
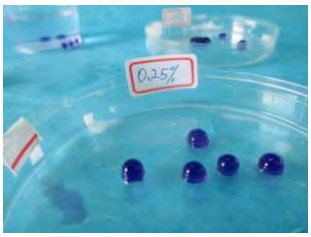
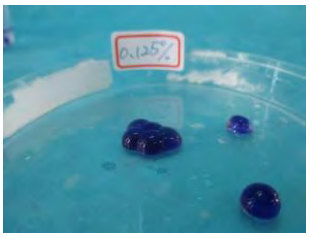
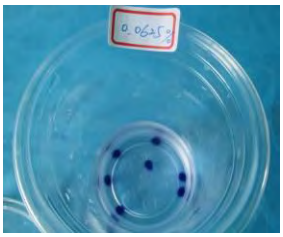
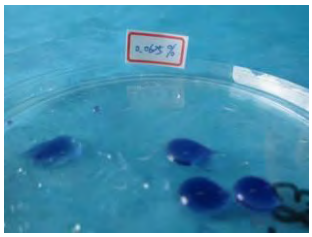
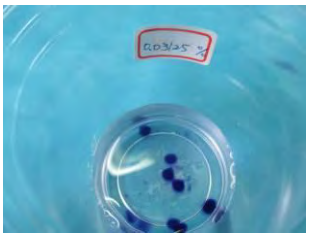
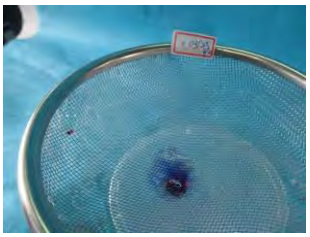
1.配製濃度 0.5%的氯化鈣，逐次稀釋成 0.25 %、0.125%、0.0625%、0.03125%、0.015625%等不同濃度。

2.海藻酸鈉(6 克/400ml)放入上述各濃度的氯化鈣中浸泡 10 秒後撈起，觀察晶球成形的情形。

(二)、實驗結果：

表六-1-1 氯化鈣濃度對晶球成形的影響

氯化鈣濃度	海藻酸鈉滴入情形	晶球形成情形	說明
0.5%			晶球在所有濃度裡最圓的，晶球也是最硬的。

0.25 %			晶球在所有濃度裡稍微圓一點，但沒比 0.5%的接近球形。
0.125%			晶球呈現稍扁的狀態，但看得出有成球形。
0.0625%			晶球成形的樣子呈現扁平狀，非呈現球形狀。
0.03125%			撈起後晶球不太成形
0.015625%			撈起後無法成晶球

(三)、發現與討論：

1.氯化鈣的濃度不同，製作出來的晶球形狀不同，濃度愈高晶球形狀愈圓，愈穩固。

2.氯化鈣濃度在 0.125%以上大概可以成球形狀，0.25%以上就可以製作出很圓的晶球。

3.可以用氯化鈣濃度與晶成形的關係，做為測定鈣質含量的對照標準。

實驗目的：利用各廠牌牛奶和優酪乳對海藻酸鈉晶球化的情形，比對氯化鈣濃度來判斷乳品的含鈣量

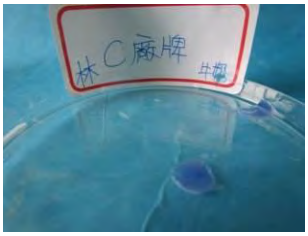
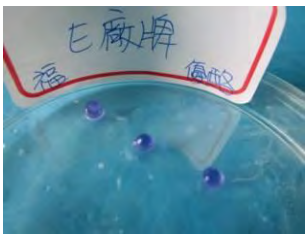
(一)、實驗步驟：

1.準備各廠牌牛奶，一共有 3 種，編號由 A 到 C；不同廠牌的優酪乳，一共有 3 種，編號由 D 到 F。

2.將海藻酸鈉(6 克/400ml)滴入各廠牌牛奶、優酪乳，觀察晶球成形情形並對照氯化鈣的鈣濃度。

將海藻酸鈉溶液放入不同含鈣溶液中製成晶球		

表六-1-2 不同廠牌飲品測試鈣離子含量情形

測試物品		海藻酸鈉滴入情形	晶球形成情形	鈣離子濃度
鮮奶類	A 廠牌			大約是 0.03125%氯化鈣的鈣濃度
	B 廠牌			大約是 0.0625%氯化鈣的鈣濃度
	C 廠牌			大約是 0.0625%氯化鈣的鈣濃度
優酪乳類	D 廠牌			大約是 0.25%氯化鈣的鈣濃度
	E 廠牌			大約是 0.25%氯化鈣的鈣濃度

	F 廠牌			大約是 0.5%氯化鈣的鈣濃度

(三)、發現與討論：

1.海藻酸鈉滴入三種鮮奶和三種優酪乳中的晶球成形狀況有差異性。

2.各廠牌鮮奶和優酪乳含鈣量，由多到少為優酪乳 F>優酪乳 E=優酪乳 D>鮮奶 C=鮮奶 B>鮮奶 A。

3.發現 F 廠牌的優酪乳含鈣量最多，含鈣量最少的是 A 廠牌的牛奶。

結論：

1.氯化鈣的濃度不同，製作出來的晶球不同，濃度 0.125%以上大概可以成球形狀， 0.25%以上就可以製作出很圓的晶球。

2.利用海藻酸鈉晶球化的晶球成形狀況可以做為測試液體的含鈣量。

3.優酪乳類比牛奶類更容易讓海藻酸鈉晶球化，推論優酪乳類的含鈣量比牛奶類多。

研究六-2：製作分子料理

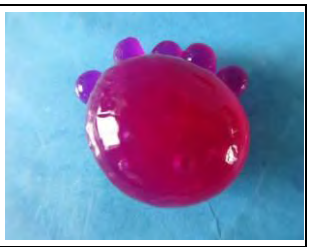
實驗目的：利用以上實驗結果應用在分子料理的研發

研究六-2-1：利用正向晶球法技術製作火龍果粉圓

(一) 製作方式：

1.準備火龍果，將火龍果打成液體狀。將火龍果汁液加入海藻酸鈉溶液(4 克/600ml)中。

2.將步驟 1 混合的溶液放入氯化鈣溶液中製作成小晶球。且利用製作晶球裝置製作大晶球。

			
火龍果汁加入海藻酸鈉溶液	**製作成大晶球**	**製作成小晶球**	**火龍果大小粉圓成品**

(二)製作成品：**火龍果粉圓**

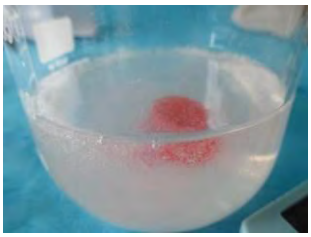
研究六-2-2：利用反向晶球法製作有料晶球

A.冰凍法：爆汁晶球

(一)製作方式：

1.將蔓越莓果汁加入氯化鈣溶液中，用針筒注入球形製冰盒，放入冷凍庫結成冰塊。

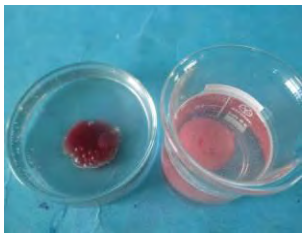
2.將步驟 1 的冰塊放入海藻酸鈉溶液中製作成晶球。冰塊外層會先融化，與海藻酸鈉形成交聯膜，再包住膜內融化的汁液，形成有汁晶球。

			
蔓越莓果汁液 加入氯化鈣	將混合溶液製作成冰塊		將冰塊放入海藻酸鈉中，製作成爆汁晶球

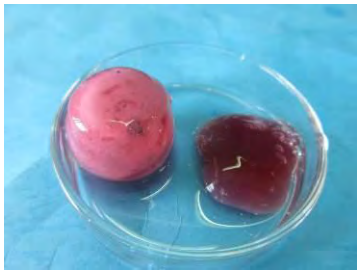
(二)製作成品：**爆汁晶球成品**

B.勾芡法：爆泥晶球

(一)製作方式：

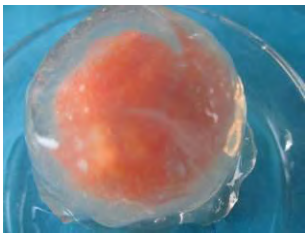
			
將番薯粉＋桑葚汁＋氯化鈣	**加熱製作成勾芡狀態**	**勾芡物放入海藻酸鈉溶液中**	**靜置一天**

(二) 製作成品：**爆泥晶球成品**



C.泥物法：爆泥晶球

(一)製作方式：

			
配製蘿蔔泥加上乳酸鈣	將蘿蔔泥塑形成球狀	放入海藻酸鈉	爆泥晶球成品

(二)製作成品：**爆泥晶球成品**

研究六-2-3：利用晶球通透性製作蝶豆花變色晶球飲品

實驗概念：利用蝶豆花汁遇到不同酸鹼性會變色的原理，以及利用晶球的通透性，讓不同酸鹼溶液通過晶球膜進入球內，使含有蝶豆花汁的海藻酸鈉變色，製成變色晶球飲品。

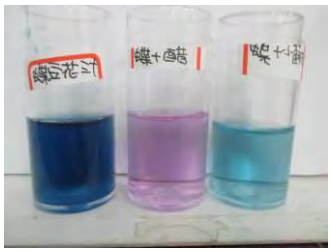
(一)製作方式：

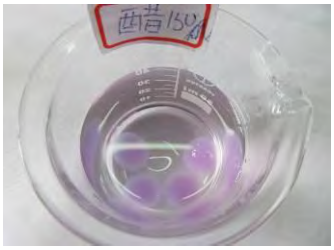
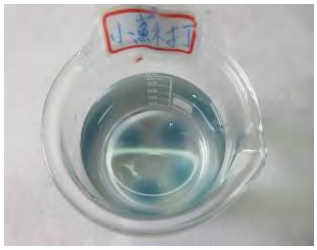
1.將蝶豆花 1 克加入 100ml 的純水中攪拌，製作成蝶豆花汁液。

2.利用步驟 1 中的蝶豆花汁液配製成海藻酸鈉溶液，比例為 4 克的海藻酸鈉加入 600ml 蝶豆花汁液。

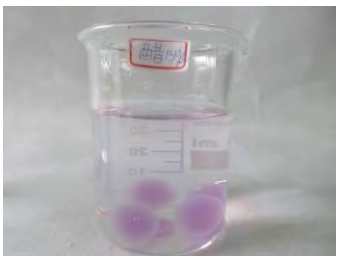
3.將步驟 2 中的溶液放入小湯匙，浸泡在氯化鈣中，製作成蝶豆花汁海藻酸鈉晶球。

4.將步驟 3 中的晶球分別放入酸性的醋酸和鹼性小蘇打水，觀察晶球的顏色變化。

		
蝶豆花汁液	蝶豆花汁在不同酸鹼性的變色情形	蝶豆花汁配製海藻酸鈉溶液

		
蝶豆花汁海藻酸鈉晶球	蝶豆花汁海藻酸鈉晶球放入**酸性**液體中變**紫色**	蝶豆花汁海藻酸鈉晶球放入**鹼性**液體中變**綠色**

(二)製作成品：**蝶豆花變色晶球飲品**



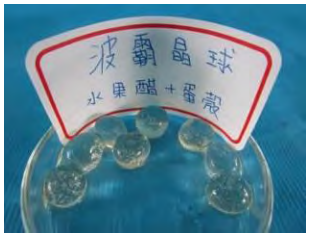
研究六-2-4：利用蛋殼加水果醋，自製醋酸鈣晶球波霸飲品

實驗概念：蛋殼加上工研醋可以製作出海藻晶球，因此將工研醋改成可口的水果醋以製作海藻晶球。

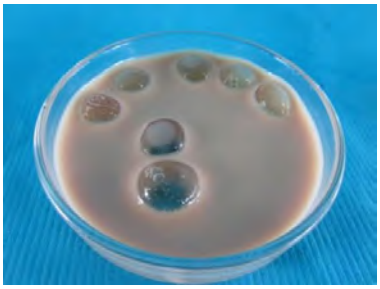
(一)製作方式：

1.利用蛋殼加入水果醋中，自製成醋酸鈣。

2.將海藻酸鈉放入醋酸鈣中製做成波霸晶球。

			
蛋殼加上水果醋	將海藻酸鈉放入醋酸鈣中製作晶球		波霸晶球成品

(二)製作成品：**醋酸鈣晶球波霸飲品**



捌、研究結論

一、海藻酸鈉晶球的製作方式為何呢？

將海藻酸鈉溶液加入氯化鈣溶液中會產生交聯作用形成晶球狀交聯物，而工具的選用與設計會決定晶球的形狀和大小。晶球的性質包含重量、球形程度、膜厚度、耐壓度。

二、可以用反向的方法，把氯化鈣放入海藻酸鈉製成反向化晶球嗎？

將氯化鈣勾芡變成黏稠物，或冰凍變成固體，使它能沉入海藻酸鈉溶液中，讓海藻酸鈉包覆它，也能形成晶球。

三、海藻酸鈉晶球的構造為何呢？

1.正向晶球的結構為外層是海藻酸鈉與氯化鈣交聯作用形成的透明晶球膜，內層則是還沒交聯完成的液態海藻酸鈉。固化後形成的膠膜包住了海藻酸鈉溶液，所以切開晶球會流出海藻酸鈉。

2.反向晶球的結構為外層是海藻酸鈉與氯化鈣交聯作用形成的透明晶球膜，內層則是還沒交聯完成的氯化鈣固狀物。

四、影響晶球膜厚度的因素為何呢？

1.交聯作用時間：海藻酸鈉和氯化鈣作用時間越久，膜會越厚，愈容易成球狀，耐壓度也愈高。

2.含鈣物質的濃度：濃度愈高，膜會越厚，愈容易成球狀。

3.含鈣物質的種類

五、海藻酸鈉晶球的特性為何呢？

(一)海藻酸鈉晶球的耐受性為何呢？

1.晶球膜的耐受性很強，不易被強酸、強鹼、高溫、低溫弄破，強酸還會使膜增厚，強鹼使晶球最耐壓。

2.酸鹼性對晶球的破壞性較低，溫度變化對晶球的破壞性較強，使晶球膜變薄，耐壓性變弱。

(二)海藻酸鈉晶球膜的通透性為何呢？

1.從晶球的重量變化及顏色變化可以判斷溶液對晶球膜的通透性。重量愈重、顏色變化愈大，表示這種溶液對晶球膜的通透性愈好。最容易通過晶球膜的液體依序是茶、水、糖水、鹽水、油，進入後晶球變大變軟。

2.檸檬酸、醋、氯化鈣、石灰水，使晶球重量減輕而且變實心。石灰水是氫氧化鈣，和氯化鈣一樣會和海藻酸鈉產生交聯作用，產生實心晶球。而檸檬酸、醋應該是晶球內的水分滲透出來造成的。

3.對膜的破壞性來說，小蘇打水會分解海藻酸鈉晶球的膠膜。

六、不同含鈣溶液對晶球化的影響為何呢？

1.各種含鈣的水溶液中，除了氯化鈣之外，氫氧化鈣、自製醋酸鈣(蛋殼加工研醋)、自製醋酸鈣(蛋殼加水果醋)、自製檸檬酸鈣(水垢加檸檬酸)、以及食品類的乳酸鈣和優酪乳也可以讓海藻酸鈉晶球化。

2.醋酸鈣的促凝效果很好，以自製醋酸鈣(蛋殼加工研醋)促凝的晶球最接近球形，而且膜厚度也最厚、最耐壓。

3.使用蛋殼和水果醋作用產生的醋酸鈣來做海藻酸鈉晶球，不僅效果好而且天然可食用。

七、海藻酸鈉晶球化技術的應用

(一)、測定奶製品的含鈣量

利用各廠牌乳品對海藻酸鈉晶球化的情形，比對氯化鈣濃度與晶球外型的關係，可以 做為測定奶製品鈣質含量的對照標準。結果發現優酪乳類比牛奶類更容易讓海藻酸鈉晶球化。

(二).製作分子料理

1.利用正向晶球化技術，用果汁溶解海藻酸鈉再與氯化鈣晶球化，可以製成水果口味膠膜的晶球。

2.利用反向晶球化技術，將材料加入乳酸鈣溶液做成勾芡物、泥狀物或冰球，放入海藻酸鈉溶液可以製作成有料晶球。

3.利用晶球通透性，將蝶豆花汁晶球分別放入不同酸、鹼性飲品，可以製作蝶豆花變色晶球飲品，增加飲料趣味性。

4.利用蛋殼加水果醋，自製醋酸鈣晶球波霸

玖、參考資料

1.顏世枋等(2018)。水溶液的性質。自然與生活科技五下。台南市：南一。

2.分子料理。維基百科。取自 https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%88%86%E5%AD%90%E9%A3%9F%E7%89%A9。

3.小小晶球真奇妙 ，全國科展第四十三屆。

4.目不轉「晶」 —探討海藻酸鈉薄膜的形成與其相關應用，全國科展第五十六屆。

5.不「球」「滲」「解」，全國科展第五十七屆。

【評語】080204

本研究著重在以海藻酸鈉與鈣離子交聯製成之晶球的特性與應用，並探討影響晶球成形的因素及晶球膜厚度的因素，也研究了晶球形成的機制及通透性，並將研究結果應用在乳製品中鈣含量的檢測以及如何利用正、反相晶球來包覆食物，其中又以利用晶球的通透性質來製備變色碟豆花晶球最為有趣。海藻酸鈉與鈣液交聯作用並不算新穎，但是此研究實驗觀察與紀錄詳盡完整，且為了更精確量測晶球的物理性質也製作多樣簡易工具，在探究晶球生成機構上也展現了思辨的能力，值得鼓勵。但是，由於海藻酸鈉與鈣液交聯作用已是非常成熟的現象，應在研究背景中加入文獻報告，並點出此研究的創新處。此外，雖然多組實驗都有三組重複，但是數據結果中並沒有實驗誤差值的呈現，以至於無法說明實驗的再現性。

作品海報

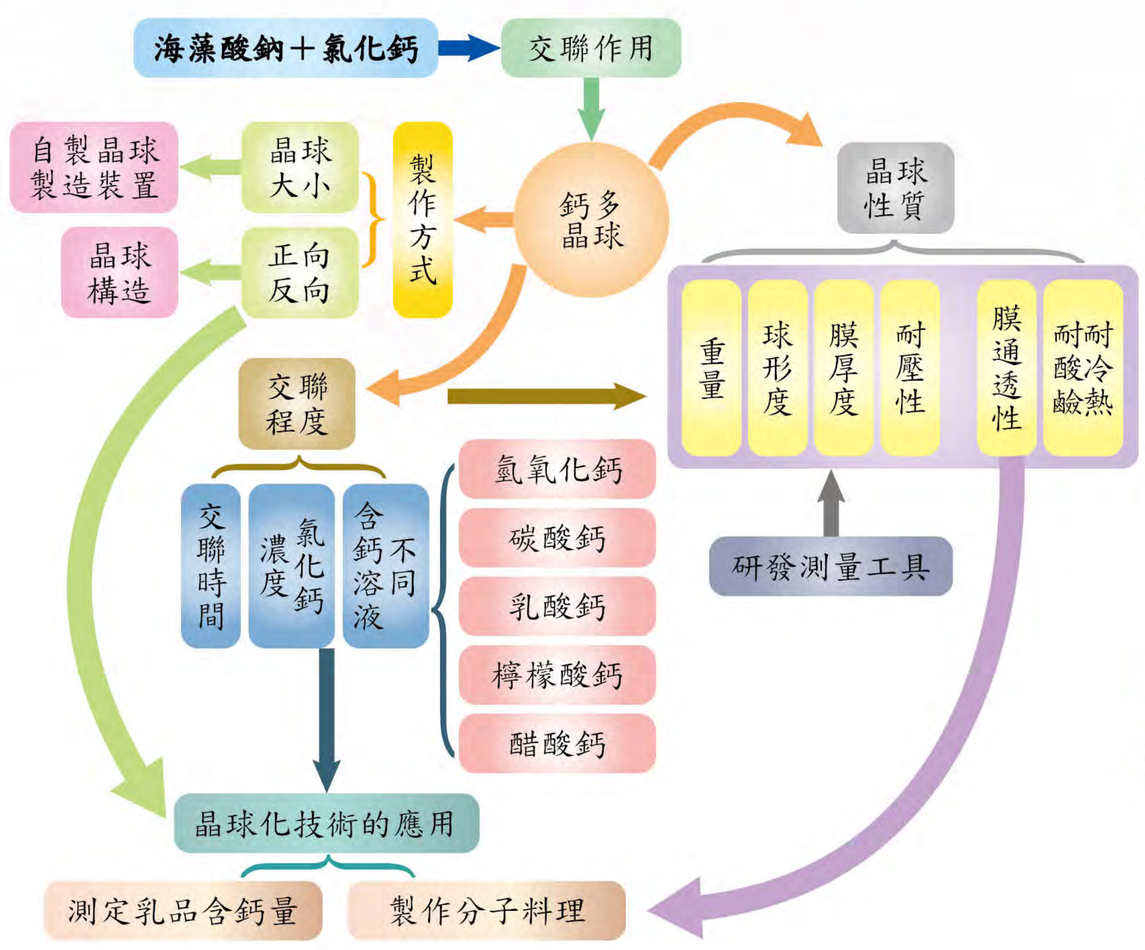
摘要

本研究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。這些鈣液的鈣離子越容易解離、鈣離子含量愈高，愈容易使海藻酸鈉晶球化。因此可以晶球化程度做為測試乳品的含鈣量，也可以利用晶球的結構與特性製作各式分子料理和變色晶球飲品，並利用蛋殼水果醋等天然鈣源製作晶球。

壹、研究動機

最近在飲料店常推出彈珠檸檬、彈珠紅茶、爆彈汽水等等。外表像珍珠一樣晶瑩剔透，咬破之後裡頭流出酸酸甜甜的的汁液，引起我們好奇它是如何製成的？查資料後發現是將海藻酸鈉加氯化鈣晶球化而形成的，所以我們想進一步探討晶球的構造、特性以及是否有其他的含鈣溶液可以取代，並把晶球化技術作更多應用。

貳、研究架構圖

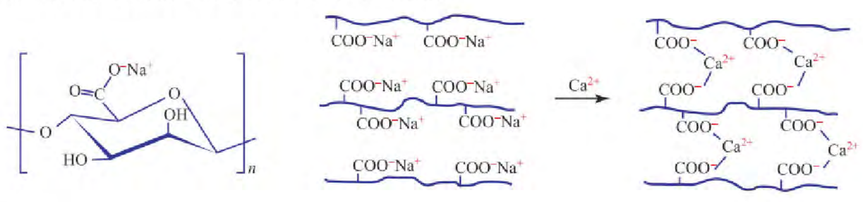


參、研究目的

一、研究海藻酸鈉晶球的製作方式
　一-1改良製作海藻酸鈉晶球的方式
　一-2探討反向晶球化技術的可行性
二、探討海藻酸鈉晶球的構造
三、研究交聯作用時間對海藻酸鈉晶球膜厚度的影響
四、研究海藻酸鈉晶球的特性
　四-1探討海藻酸鈉晶球的耐受性
　四-2探討海藻酸鈉晶球膜的通透性
五、探討不同含鈣物質對海藻酸鈉晶球化的影響
六、海藻酸鈉晶球化技術的應用
　六-1測定乳品的含鈣量
　六-2製作分子料理
　　六-2-1利用正向晶球法技術製作火龍果晶球
　　六-2-2利用反向晶球法製作有料晶球
　　六-2-3利用晶球通透性製作蝶豆花變色晶球飲品
　　六-2-4利用天然鈣源製作波霸晶球

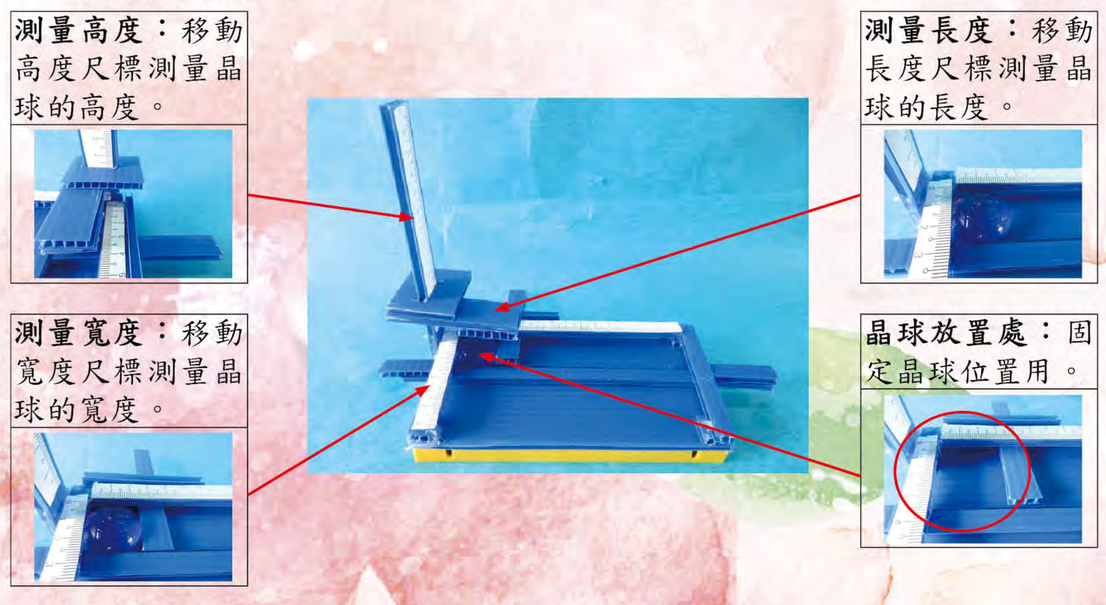
肆、研究原理

一、**分子料理**：一種創造食物的技術，透過物理或化學變化的作用來改變食材的分子結構，使其重新組合，創造出新食物的型態。
二、**晶球化**：做分子料理的其中一個技術，用A物質和B物質透過交聯作用，形成球形物質。
三、**海藻酸鈉與鈣液促凝劑的交聯反應**：

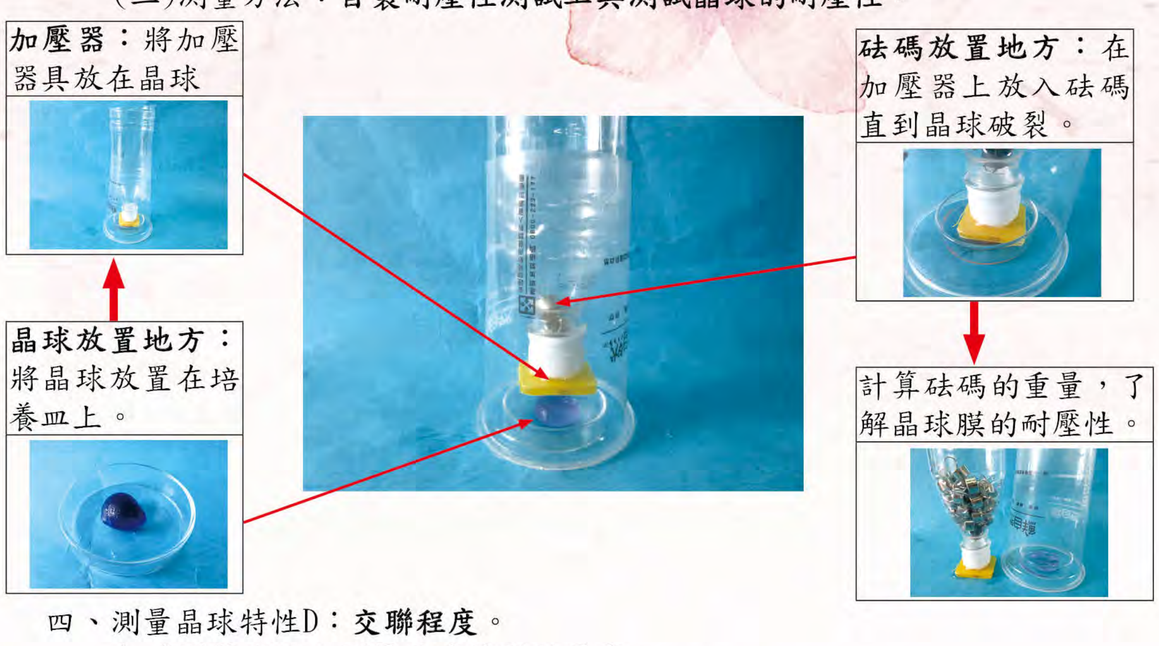


實驗發想：
因為製作過程中發現交聯作用後，會呈現晶球化現象，為了量化晶球的特性，本研究研發以下測定晶球特性的項目、工具與方法。
一、測量晶球特性A：**形成晶球的量**。
　(一)測量項目：**測量晶球的重量**。
　(二)測量方法：

二、測量晶球特性B：**晶球外形的大小、晶球接近球形的程度**。
　(一)測量項目：**測量晶球長寬高、計算晶球的球形度**。
　　計算球形度：
　(長高的比例+寬高比例+長寬比例)/3為球形度，數值愈接近1表示晶球形狀愈接近球形。



三、測量晶球特性C：**膜的堅固性**
　(一)測量項目：**測量晶球外膜的耐壓性**。
　(二)測量方法：**自製耐壓性測試工具測試晶球的耐壓性**。



四、測量晶球特性D：**交聯程度**。
　(一)測量項目：**測量晶球外膜的厚度**。
　(二)測量方法：**利用數位游標尺測量晶球外模的厚度**。

伍、研究設備和材料

一、**實驗設備**：電子秤、數位游標尺、pH值測定儀、電熱水壺、冰箱、計算機、果汁機。
二、**實驗材料**：番薯粉、鹽、糖、油、茶、優酪乳、牛奶、紅蘿蔔、火龍果。
三、**實驗藥品**：食品級海藻酸鈉、食品級氯化鈣、食用色素、蛋殼、檸檬酸、醋、水果醋、石灰水、小蘇打粉、市售複方檸檬酸鈣、氫氧化鈣、碳酸鈣、乳酸鈣。
四、**實驗器材**：湯匙、燒杯、針筒、標籤紙、酒精燈、三腳架、陶瓷纖維網、打火機、濾網、培養皿、保鮮膜、箱子、尺、筷子、美工刀、鑷子、滴管、保特瓶。

陸、研究過程與結果

研究一　研究海藻酸鈉晶球的製作方式

實驗一-1：改良製作海藻酸鈉晶球的方式

實驗發想：蒐集相關資料，探討如何將海藻酸鈉和氯化鈣製作成晶球的形式。
(一)實驗結果：

表一-1-1 海藻酸鈉晶球的製作方式

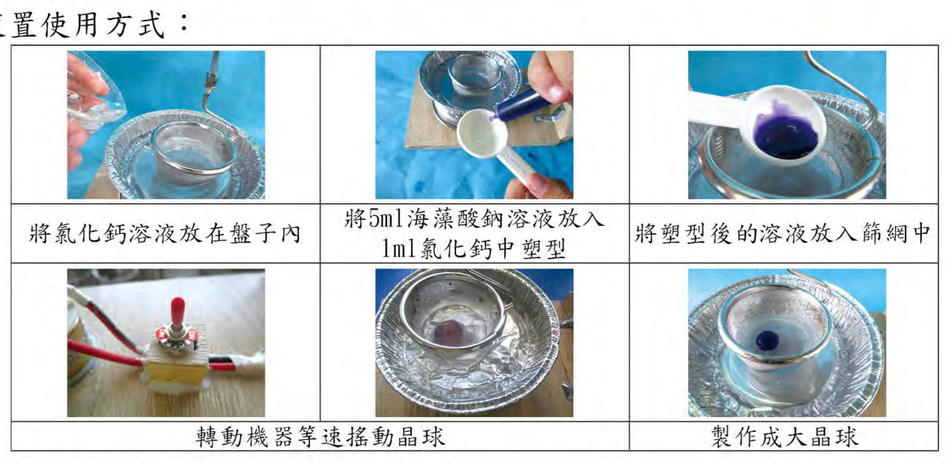
過程	方式	照片	優缺點
溶解海藻酸鈉	利用攪拌棒直接攪拌		形成較多的泡泡且不易溶解，海藻酸鈉雖然可溶於水，但是溶解速度很慢，一開始會有結塊的現象。
	利用果汁機攪拌		海藻酸鈉可以均勻溶解在水中且泡泡不多溶解後的水溶液如同膠水般的凝膠溶液。
形成晶球	在針筒內裝入海藻酸鈉膠狀溶液 按壓入氯化鈣溶液中		可以形成球體，晶球的體積小。
	海藻酸鈉在圓湯匙中塑形 篩網繞圈搖動塑形		可以形成球體，晶球的體積大。

(二)發現與討論：
1. 發現海藻酸鈉和氯化鈣交聯作用後會形成球狀，要製作較小的球體，要使用針筒；要製作較大的球體，要使用湯匙和篩網。為了進行晶球特性的相關測量，晶球太小無法測量，大晶球才可以測量。但篩網的搖晃頻率會影響球形，因此設計晶球成型機，以固定搖晃頻率。

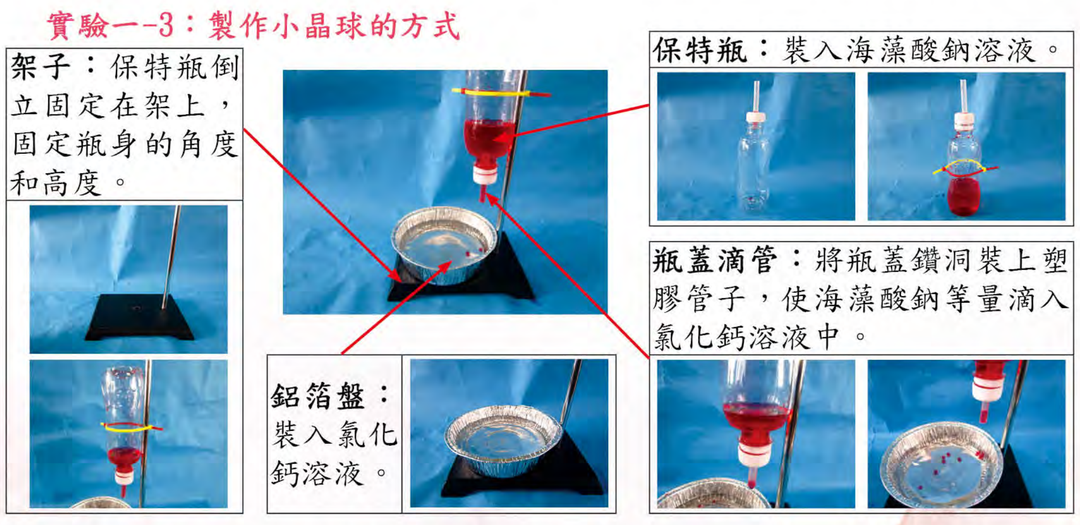
實驗一-2：設計製作晶球成型裝置-----製作大晶球

A. 裝置外觀圖：

B. 裝置使用方式：



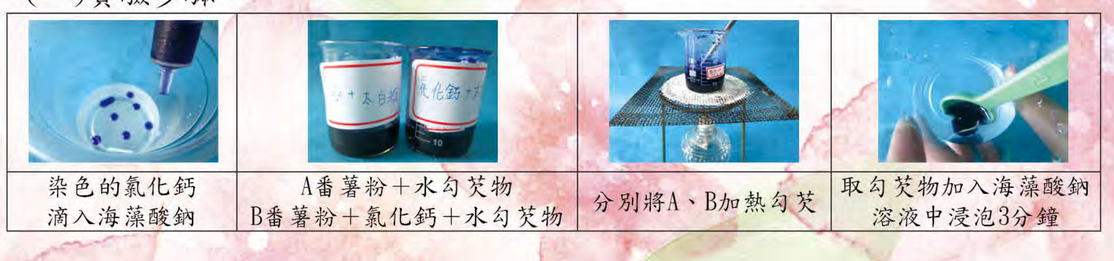
實驗一-3：製作小晶球的方式



實驗一-4：探討反向晶球化技術的可行性

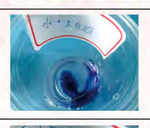
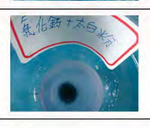
實驗發想：氯化鈣加入海藻酸鈉中反向操作也可以形成晶球嗎？實驗後發現氯化鈣會散掉，無法製作成晶球。因此將氯化鈣製作成黏稠物再加入海藻酸鈉，進行晶球的製作。

(一)實驗步驟：



(二)實驗結果：

表一-4-1 反向晶球化操作結果

反向晶球化的操作方式		過程	結果
氯化鈣滴入海藻酸鈉中		氯化鈣浮在海藻酸鈉溶液上呈圓形	撈起時圓形散開無法成晶球
勾芡法	番薯粉加水勾芡物	勾芡物在海藻酸鈉溶液中散開 	無法成晶球
	番薯粉加氯化鈣加水勾芡物	勾芡物被包覆在海藻酸鈉溶液中 	勾芡法反向晶球技術做成的晶球

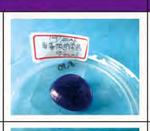
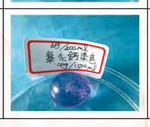
(三)發現與討論：

1. 發現利用反向法製作的晶球，包覆在晶球內層物質會是氯化鈣，那正向法製作出來的晶球內層物質為何呢？進行下面實驗。

研究二 探討海藻酸鈉晶球的構造

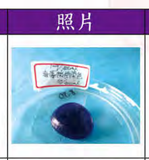
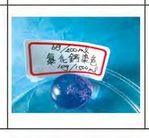
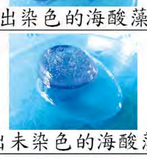
實驗發想：正向晶球破掉後，流出的液體黏黏的，是海藻酸鈉嗎？發現只有外圍是固化的，裡面是還沒固化的海藻酸鈉嗎？包覆在裡面的是什麼呢？利用原料染色進行觀察。

(一)實驗步驟：

實驗步驟	製作晶球		捏破晶球使內含物流出	觀察外膜的狀態
海藻酸鈉染色				
氯化鈣染色				

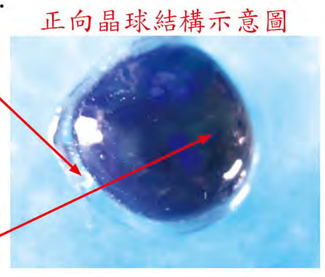
(二)實驗結果：

表二-1 海藻酸鈉晶球的構造

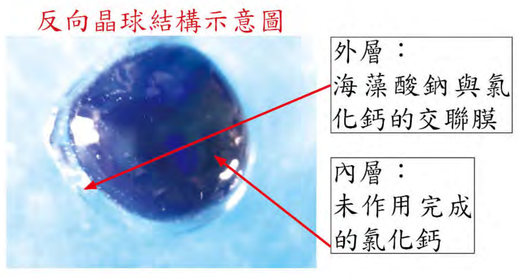
不同溶液染色	照片	晶球內流出液體顏色	摸起來	外膜狀態	推論
海藻酸鈉染色		流出染色的海酸藻鈉	像海藻酸鈉的黏液	晶球外皮的顏色是透明	海酸藻鈉被包覆在裡面
氯化鈣染色		 流出未染色的海酸藻鈉	像海藻酸的黏液	晶球外皮的顏色是淡藍色	海藻酸鈉被包覆在裡面

(三)發現與討論：

正向晶球結構示意圖



反向晶球結構示意圖

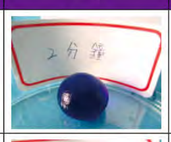
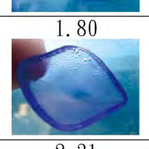
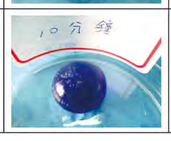
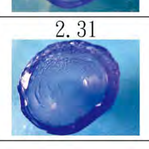


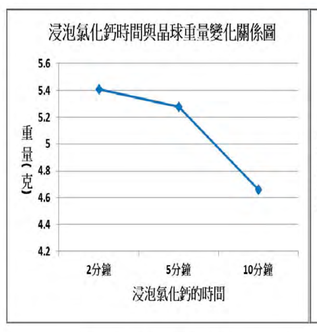
研究三 探討交聯作用時間對晶球膜厚度的影響

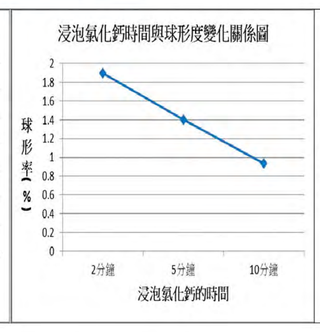
實驗發想：晶球反應時間愈久戳破流出的汁就會愈少。是否表示氯化鈣繼續與海藻酸納鈉產生交聯作用，探討膜厚度和交聯的關係為何呢？

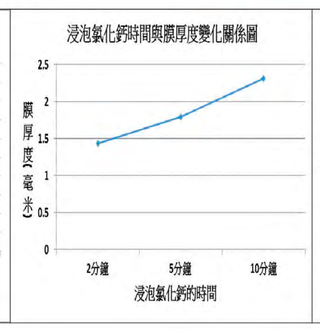
(一)實驗結果：

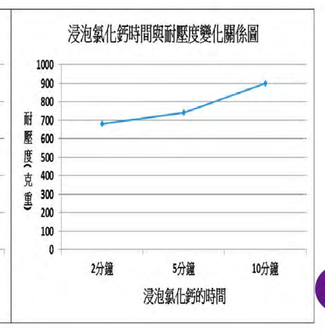
表三-1 浸泡氯化鈣時間對晶球的影響

浸泡在氯化鈣的時間	結果	重量(克)	大小(cm)	球形度	膜厚度(mm)	耐壓度(克重)
2分鐘		5.41	長:2.0 寬:2.0 高:1.2 1.6/1.6/1	1.40	1.44	680
5分鐘		5.28	長:2.0 寬:2.0 高:1.4 1.4/1.4/1	1.26	1.80 	740
10分鐘		4.66	長:1.5 寬:1.5 高:1.6 0.94/0.94/1	0.96	2.31 	900









(二)發現與討論：

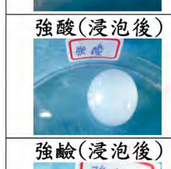
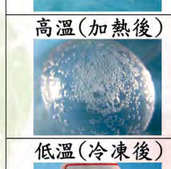
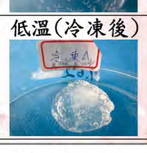
海藻酸鈉和氯化鈣作用時間越久，膜會越厚，愈容易成球狀，耐壓度也愈高，晶球內的汁就會越少，流出的汁也就變少。

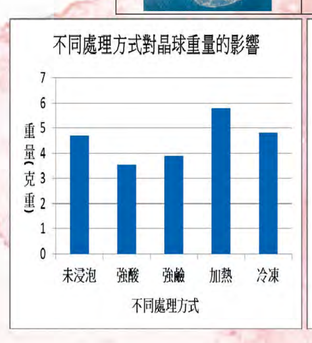
研究四 研究海藻酸鈉晶球的特性

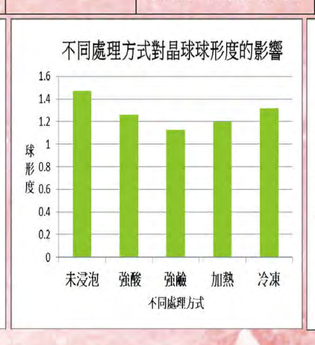
實驗四-1：探討海藻酸鈉晶球的耐受性

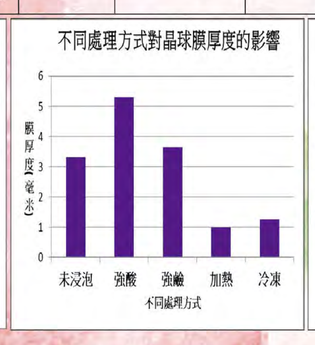
(一)實驗結果：

表四-1-1 四種破壞性處理對晶球的影響

項目	重量(克重)	大小(cm)	球形度	膜厚度(mm)	耐壓度(克重)
未處理前	4.70	長：2.48 寬：1.93 高：1.40 1.77/1.37/1.28	1.47	3.33	390
強酸(浸泡後) 	3.55	長：1.41 寬：1.34 高：1.00 1.41/1.34/1.05	1.26	5.29	610
強鹼(浸泡後)	3.89	長：2.04 寬：1.67 高：1.70 1.20/0.98/1.20	1.13	3.65	1250
高溫(加熱後) 	5.80	長:2.36 寬:2.22 高:1.80 1.31/1.23/1.06	1.20	0.99	100
低溫(冷凍後) 	4.80	長:2.41 寬:2.10 高:1.60 1.50/1.30/1.15	1.32	0.25	30







(二)發現與討論：

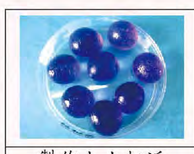
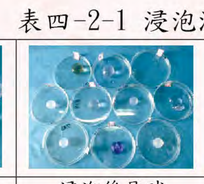
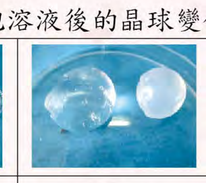
1. 浸泡強酸和強鹼後重量都會變輕、更接近球形、膜厚度變厚、耐壓度變高。
2. 加熱和冷凍重量都會變重、更接近球形、膜厚度變薄、耐壓度變低。

實驗四-2：海藻酸鈉晶球膜的通透性

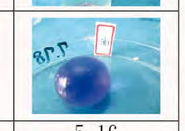
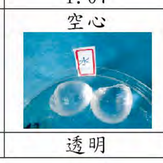
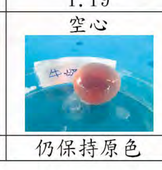
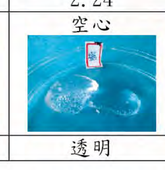
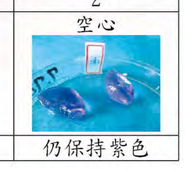
實驗構思：破壞晶球化的物質，是不是也不利於晶球的保存？晶球膜會讓哪些液體通過？晶球浸泡在不同溶液中的影響為何呢？進行下面實驗。

(一)實驗結果：

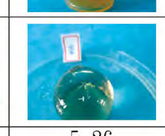
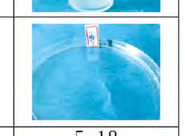
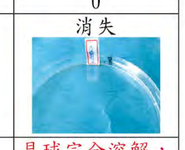
表四-2-1 浸泡溶液後的晶球變化

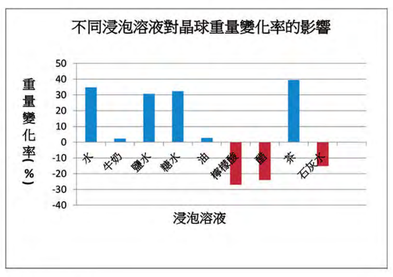
					
製作大小相近的晶球	晶球泡入各溶液中四小時	浸泡後晶球性質不同	大小不同	空心晶球	實心晶球

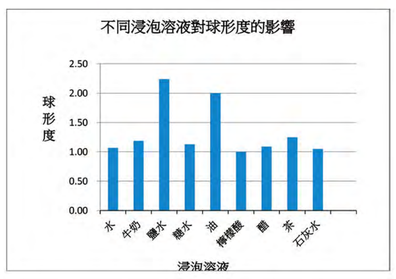
表四-2-2 浸泡不同溶液後的晶球性質之一

溶液名稱		水	牛奶	鹽水	糖水	油
浸泡晶球溶液		pH7.9	pH7.0	pH7.3	pH7	pH7
浸泡後的晶球						
重量(g)	浸泡前	4.97	4.83	5.03	4.84	5.16
	浸泡後	6.70	4.94	6.57	6.40	5.30
重量變化率(%)		+34.81	+2.28	+30.62	+32.23	+2.713
大小與形狀長寬高（cm）	浸泡前	長:2.40 寬:1.85 高:1.70 1.41/1.08/1.29	長:2.20 寬:2.00 高:1.50 1.47/1.3/1.1	長:2.35 寬:1.90 高:1.70 1.38/1.11/1.23	長:2.15 寬:2.00 高:1.35 1.59/1.48/1.59	長:2.30 寬:2.00 高:1.80 1.27/1.11/1.15
	球形度	1.26	1.29	1.24	1.55	1.17
	浸泡後	長:2.65 寬:2.20 高:2.40 1.10/0.92/1.2	長:2.20 寬:2.00 高:1.70 1.29/1.18/1.10	長:4.15 寬:3.80 高:1.75 2.37/2.17/2.17	長:2.50 寬:2.20 高:2.05 1.21/1.07/1.13	長:4.00 寬:3.80 高:1.55 2.5/2.45/1.05
	球形度	1.07	1.19	2.24	1.13	2
晶球內部		空心 	空心 	空心 	空心	空心 
顏色		透明	仍保持原色	透明	透明	仍保持紫色

表四-2-3 浸泡不同溶液後的晶球性質之二

溶液名稱		檸檬酸	醋	茶	石灰水	小蘇打水
浸泡晶球溶液		pH2.3	pH2.4	pH8	pH12	pH8.5
浸泡後的晶球						
重量(g)	浸泡前	5.03	5.33	5.26	5.40	5.18
	浸泡後	3.67	4.05	7.34	4.58	0
重量變化率(%)		-27.04	-24.02	+39.54	-15.19	100
大小與形狀長寬高（cm）	浸泡前	長2.25 寬1.85 高1.85 1.22/1/1.22	長2.25 寬2.10 高1.95 1.15/1.08/1.07	長2.40 寬1.90 高1.70 1.41/1.12/1.26	長2.60 寬1.95 高2.05 1.27/0.95/1.33	長2.3 寬2 高1.8 1.27/1.1/1.15
	球形度	1.15	1.1	1.26	1.52	1.17
	浸泡後	長2.00 寬2.00 高2.00 1/1/1	長2.20 寬2.20 高1.95 1.13/1.13/1	長3.00 寬2.50 高2.15 1.4/1.16/1.2	長2.15 寬2.05 高2.00 1.08/1.03/1.05	長0 寬0 高0 0/0/0
	球形度	1	1.09	1.25	1.05	0
晶球內部		實心	實心	空心	實心	消失 
顏色		白色	透明	淡褐色	透明無色	晶球完全溶解，不見了





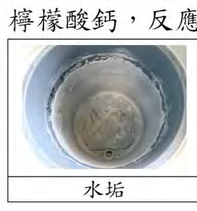
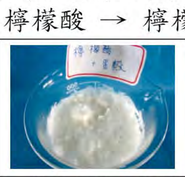
(三)發現與討論：

1. 晶球泡在小蘇打水中，晶球會完全分解。
2. 晶球重量增加最多的，依序是浸泡在茶、水、糖水、鹽水、油、牛奶等溶液中。
3. 晶球重量減少最多的，依序是浸泡在檸檬酸、醋、氯化鈣、石灰水，而且這些晶球切開之後是實心的。

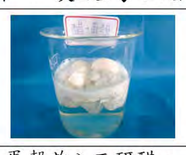
研究五 探討不同含鈣物質取代氯化鈣對晶球化的影響

(一)實驗步驟：

1. 自製檸檬酸鈣，利用含有碳酸鈣（$CaCO_3$）的水垢、蛋殼，和檸檬酸作用可以產生檸檬酸鈣，反應如下：碳酸鈣＋檸檬酸 → 檸檬酸鈣＋二氧化碳＋水。

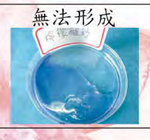
			
水垢	檸檬酸洗淨	將蛋殼浸入檸檬酸飽和溶液24小時	

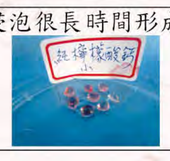
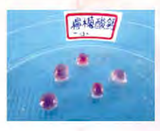
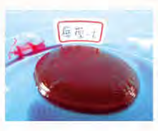
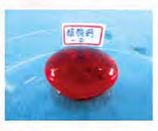
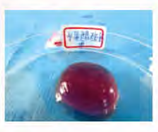
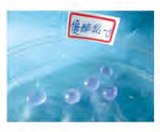
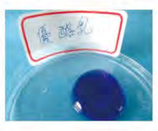
2. 自製醋酸鈣，蛋殼的成分是碳酸鈣，和醋酸、水果醋作用可以產生醋酸鈣，反應如下：碳酸鈣＋醋酸 → 醋酸鈣＋二氧化碳＋水。

		
蛋殼放入工研醋、水果醋中	反應產生醋酸鈣	浸泡24小時

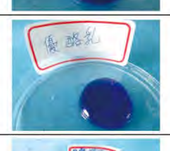
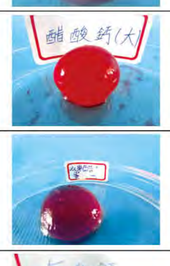
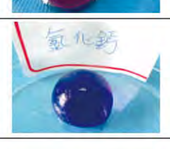
(二)實驗結果：

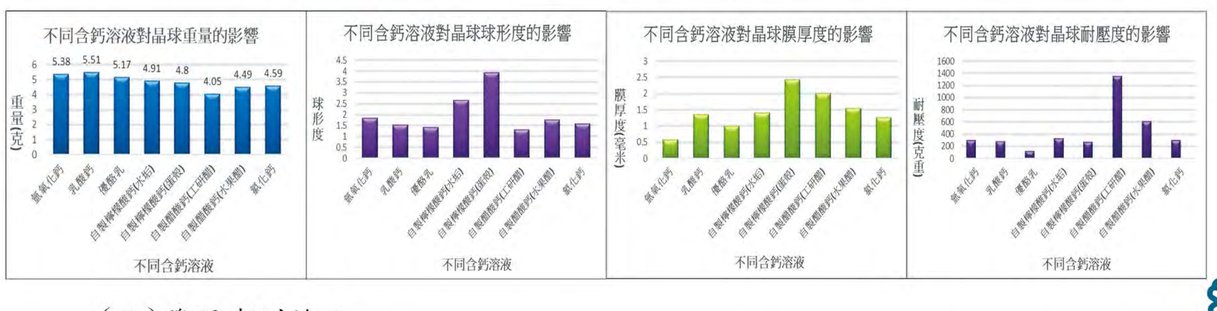
表五-1 不同含鈣水溶液替代氯化鈣製作晶球的結果

含鈣水溶液	溶解性	顏色	pH值	形成的晶球大小		
				小	中	大
碳酸鈣	不易溶	混濁	9.8	無法形成	無法形成	無法形成
氫氧化鈣	微溶	混濁	11.3			
乳酸鈣	易溶	澄清	6.4			
食品級檸檬酸鈣	不易溶	混濁	6.2	無法形成 	無法形成	無法形成

藥品級檸檬酸鈣	不易溶	混濁	6.8	浸泡很長時間形成 	無法形成	無法形成
自製檸檬酸鈣（水垢）（檸檬酸）	液體狀	澄清	5.0			
自製檸檬酸鈣（蛋殼）（檸檬酸）	液體狀	混濁	2.2			
自製醋酸鈣（蛋殼）（工研醋）	液體狀	澄清	5.2			
自製醋酸鈣（蛋殼）（工研醋）	液體狀	澄清	2.8			
牛奶	液體狀	乳白色	7.0			
優酪乳	液體狀	乳白色	5.5			

表五-2 不同種類含鈣水溶液替代氯化鈣製作晶球的結果

含鈣物質	照片	重量(gw)	大小(cm)	球形度	厚度(mm)	耐壓度(g)
氫氧化鈣		5.38	長:3.10 寬:2.60 高:1.30 2.38/2/1.19	1.85	0.57	300
乳酸鈣		5.51	長:2.60 寬:2.20 高:1.40 1.85/1.57/1.18	1.53	1.35	280
優酪乳		5.17	長:2.30 寬:2.20 高:1.40 1.64/1.57/1.04	1.41	0.99	120
自製檸檬酸鈣（水垢）		4.91	長:3.03 寬:2.34 高:0.80 3.79/2.93/1.29	2.66	1.40	330
自製檸檬酸鈣（蛋殼）		4.80	長:3.20 寬:3.30 高0.60 5.33/5.5/0.97	3.93	1.72	550
自製醋酸鈣（蛋殼）（工研醋）		4.05	長:1.90 寬:1.80 高:1.30 1.46/1.38/1.05	1.3	2.00	>1350
自製醋酸鈣（蛋殼）（水果醋）		4.49	長:2.90 寬:2.50 高:1.30 2.23/1.92/1.16	1.77	1.55	610
氯化鈣		4.59	長:2.30 寬:2.20 高:1.20 1.92/1.83/1.04	1.59	1.26	300



(三)發現與討論：

1. 各種含鈣的水溶液中，氫氧化鈣、自製醋酸鈣(工研醋)、自製醋酸鈣(水果醋)、自製檸檬酸鈣(水垢)、和食品類的乳酸鈣和優酪乳可以取代氯化鈣讓海藻酸鈉形成晶球狀。
2. 醋酸鈣的促凝效果很好，使用蛋殼和醋酸作用產生的醋酸鈣，不僅效果好而且天然。

研究六　海藻酸鈉晶球化技術的應用

研究六-1：測定奶製品的含鈣量

研究六-1-1：分析氯化鈣濃度與晶球外型的關係

(一)實驗步驟：

1. 配製濃度0.5%的氯化鈣，逐次稀釋成0.25 %、0.125%、0.0625%、0.03125%、.015625%等不同濃度。將海藻酸鈉放入各濃度氯化鈣中浸泡10秒後撈起，觀察晶球成形的情形。

(二)實驗結果：

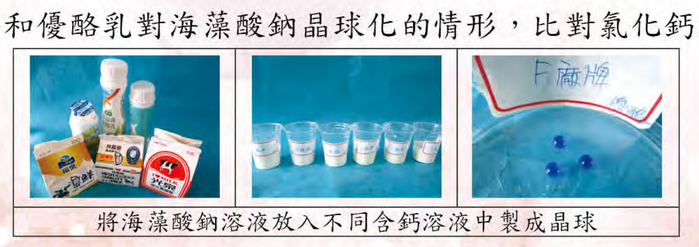
表六-1-1 氯化鈣濃度對晶球成形的影響

氯化鈣濃度(%)	海藻酸鈉滴入情形	晶球形成情形	說明	氯化鈣濃度(%)	海藻酸鈉滴入情形	晶球形成情形	說明
0.5%			晶球在所有濃度裡最圓的，晶球也是最硬的。	0.0625			晶球成形的樣子呈現扁平狀，非呈現球狀。
0.25 %			在所有濃度裡稍微圓一點，但沒比0.5%的接近球形。	0.03125			撈起後晶球不太成形
0.125%			晶球呈現稍扁的狀態，但看得出有成球形。	0.015625			撈起後無法成晶球

研究六-1-2：判斷乳品含鈣量

(一)實驗步驟：

利用各廠牌牛奶和優酪乳對海藻酸鈉晶球化的情形，比對氯化鈣濃度，判斷乳品含鈣量。



將海藻酸鈉溶液放入不同含鈣溶液中製成晶球

(二)實驗結果：

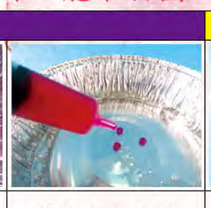
表六-1-2 不同廠牌飲品測試鈣離子含量情形

牛奶類	A廠牌	B廠牌	C廠牌
晶球形成情形			
鈣離子濃度	大約是0.03125%氯化鈣的鈣濃度	大約是0.0625%氯化鈣的鈣濃度	大約是0.0625%氯化鈣的鈣濃度
優酪乳類	**D廠牌**	**E廠牌**	**F廠牌**
晶球形成情形			
鈣離子濃度	大約是0.25%氯化鈣的鈣濃度	大約是0.25%氯化鈣的鈣濃度	大約是0.5%氯化鈣的鈣濃度

研究六-2：製作分子料理

實驗目的：利用以上實驗結果應用在分子料理的研發

研究六-2-1：利用正向晶球法技術製作火龍果粉圓

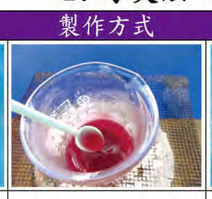
製作方式			成品
			
火龍果汁加入海藻酸鈉溶液	製作成大晶球	製作成小晶球	**火龍果大小粉圓**

研究六-2-2：利用反向晶球法製作有料晶球

A. 冰凍法：爆汁晶球

製作方式			成品
蔓越莓果汁液加入氯化鈣	將混合溶液製作成冰塊	將冰塊放入海藻酸鈉中，製作成爆汁晶	**爆汁晶球（冰凍法）**

B. 勾芡法：爆泥晶球

製作方式			成品
			
將番薯粉＋桑葚汁＋氯化鈣	加熱製作成勾芡狀態	勾芡物放入海藻酸鈉溶液中，靜置一天	**爆泥晶球（勾芡法）**

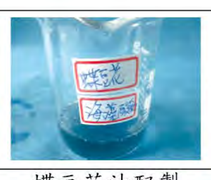
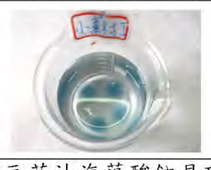
C. 泥物法：爆泥晶球

製作方式			成品
配製蘿蔔泥加上乳酸鈣	將蘿蔔泥塑形成球狀	放入海藻酸鈉	**爆泥晶球（泥物法）**

研究六-2-3：利用晶球通透性製作蝶豆花變色晶球飲品

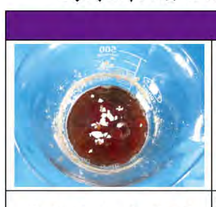
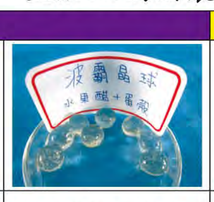
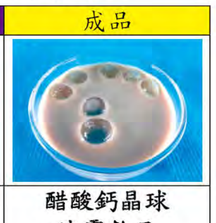
實驗概念：利用蝶豆花汁遇到不同酸鹼性會變色的原理，以及利用晶球的通透性，讓不同酸鹼溶液通過晶球膜進入球內，使含有蝶豆花汁的海藻酸鈉變色，製成變色晶球飲品。

(一)製作方式與成品：

			
蝶豆花汁液	蝶豆花汁在不同酸鹼性的變色情形	蝶豆花汁配製海藻酸鈉溶液	蝶豆花汁海藻酸鈉晶球
			
蝶豆花汁海藻酸鈉晶球放入**酸性**液體中變**紫色**	蝶豆花汁海藻酸鈉晶球放入**鹼性**液體中變**綠色**	**蝶豆花變色晶球飲品**	

研究六-2-4：利用蛋殼加水果醋，自製醋酸鈣晶球波霸飲品

實驗概念：蛋殼加上工研醋可以製作出海藻晶球，因此將工研醋改成可口的水果醋以製作海藻晶球。並加入的奶製品當中。

製作方式			成品
			
蛋殼加上水果醋	將海藻酸鈉放入醋酸鈣中製作晶球	波霸晶球成品	**醋酸鈣晶球波霸飲品**

柒、研究結論

一、海藻酸鈉晶球的製作方式為何呢？
將海藻酸鈉加入氯化鈣產生交聯作用後會形成球狀，而工具的選用與設計會影響晶球的形狀和大小。

二、可以用反向的方法，把氯化鈣放入海藻酸鈉製成反向化晶球嗎？
將氯化鈣勾芡變成黏稠物，或冰凍變成固體，使它能沉入海藻酸鈉溶液中，讓海藻酸鈉包覆它，也能形成晶球。

三、海藻酸鈉晶球的構造為何呢？
1. 正向晶球結構為外層是海藻酸鈉與氯化鈣交聯作用形成的透明晶球膜，內層則是還沒交聯完成的液態海藻酸鈉。固化後形成的膠膜包住了海藻酸鈉溶液。
2. 反向晶球結構為外層是海藻酸鈉與氯化鈣交聯作用形成的透明晶球膜，內層則是還沒交聯完成的氯化鈣固狀物。固化後形成的膠膜包住了氯化鈣固狀物。

四、交聯作用時間對晶球膜的影響為何呢？
海藻酸鈉和氯化鈣作用時間越久，膜會越厚，愈容易成球狀，耐壓度也愈高。

五、海藻酸鈉晶球的特性為何呢？
(一)海藻酸鈉晶球的耐性為何呢？
1. 浸泡強酸和強鹼後都是重量會變輕、更接近球形、膜厚度變厚、耐壓度變高；加熱和冷凍都是重量會變重、更接近球形、膜厚度變薄、耐壓度變低。
2. 酸鹼性對晶球的破壞性較低，溫度的變化反而會破壞晶球的結構性。
(二)海藻酸鈉晶球膜的通透性為何呢？
1. 不同溶液對膜的通透性不同，最容易通過晶球膜的液體依序是糖水、茶、水、醋，油、牛奶。進入後晶球變大變軟。
2. 檸檬酸、醋、石灰水進入膜內促進晶球內的海藻酸鈉繼續產生凝膠作用的是，使晶球變小變實心。
3. 小蘇打水會完全分解海藻酸鈉晶球的膠膜。

六、不同含鈣溶液對晶球化的影響為何呢？
乳酸鈣，氫氧化鈣、自製茶垢檸檬酸鈣和食品類的乳酸鈣和優酪乳可以取代氯化鈣讓海藻酸鈉晶球化。表示這些含鈣化合物在水中容易解離出鈣離子，都是海藻酸鈉的最佳促凝劑。

七、海藻酸鈉晶球化技術的應用
1. 測定奶製品的含鈣量
利用各廠牌乳品對海藻酸鈉晶球化的情形，比對氯化鈣濃度與晶球外型的關係，可以做為測定奶製品鈣質含量的對照標準。結果發現優酪乳類比牛奶類更容易讓海藻酸鈉晶球化，推論優酪乳類的含鈣量比牛奶類多。
2. 製作分子料理
(1)利用正向晶球化技術，用果汁溶解海藻酸鈉再與氯化鈣晶球化，可以製成水果口味膠膜的晶球。
(2)利用反向晶球化技術，將材料加入乳酸鈣溶液做成勾芡物、泥狀物或冰球，放入海藻酸鈉溶液可以製作成有料晶球。
(3)利用晶球通透性，將蝶豆花汁晶球分別放入不同酸、鹼性飲品，可以製作蝶豆花變色晶球飲品，增加飲料趣味性。
(4)利用蛋殼加水果醋，自製醋酸鈣晶球波霸。

捌、參考資料

1. 顏世枋等(2018)。水溶液的性質。自然與生活科技五下。台南市：南一。
2. 分子料理。維基百科。取自 HTTPS://ZH.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/%E5%88%86%E5%AD%90%E9%A3%9F%E7%89%A9。
3. 小小晶球真奇妙 ，全國科展第四十三屆。
4. 目不轉「晶」 —探討海藻酸鈉薄膜的形成與其相關應用，全國科展第五十六屆。
5. 不「球」「滲」「解」，全國科展第五十七屆。