

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030221

目不轉「晶」

—探討海藻酸鈉薄膜的形成與其相關應用

學校名稱：臺南市立歸仁國民中學

作者： 國二 吳佳蓉 國二 陳彥劭 國二 吳郁婷	指導老師： 楊凌宜
---	------------------

關鍵詞：晶球、海藻酸鈉、分子料理

摘要

我們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，而吸水度則以 Co^{2+} 最佳。但二價離子中我們發現，氯化鎂溶液和海藻酸鈉溶液所形成的晶球不便觀察，故將氯化鎂不列入其他實驗當中。在實驗中我們發現，不同的溶液和不同的離液面高度，每一種晶球的直徑都會不同，但是重量卻不相差太多。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 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，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。

壹、研究動機

某日在電視上看見海藻酸鈉和氯化鈣再加上各種食品添加物的調味後，竟能做成神奇的分子食物，於是啟發了我們的好奇心，想要一窺分子食物的神祕面罩。在幾番地找尋資料後，我們發現利用海藻酸鈉保護膜，可以在 3 分鐘之內疏緩胃食道逆流不適。海藻酸鈉是一種可以重複再生的天然物質，無毒且取得容易，是一種價值性高的環保產品。海藻酸鈉是廣泛地存在地球的自然材料，可利用多醣體與凝膠產品的特性，用於製作成各種食品添加劑、醫療用材料、創傷敷材、廢水處理劑、保鮮等等。海藻酸鈉原料具備良好的生物相容性，發展為敷材、濕潤性傷口癒合產品、創傷照護性產品、創傷縫合性產品都很理想。於是我們開始研究海藻酸鈉和各種化學溶液所會發生的現象，進而透過實驗觀察晶球成膜時的機制，並探究利用其他金屬離子是否也會造成不同的效果呢？試圖找出晶球成型時的最佳條件，在何種酸鹼環境下可以穩定存在或者破壞晶球外膜的構造呢？如此一來，是否就可在不同需求下客製不同晶球保護膜，將其功效加以推廣呢？

貳、研究目的

整理歸納過去文獻對於海藻酸鈉薄膜之研究，分析比較各因素影響的情形。所以經由本次實驗我們期望透過不同化學條件的改變作更深入的研究與探討，試圖找出影響晶球形成的相關機制。目的如下：

一、探討海藻酸鈉的特性與用途並了解晶球形成時的相關反應機制。

- 二、研究海藻酸鈉在不同價數的離子溶液中形成晶球的情形。
- 三、探討海藻酸鈉在不同高度下滴入對於晶球的形成會有什麼影響。
- 四、研究海藻酸鈉在不同溫度中形成晶球的情形。
- 五、藉由晶球在各離子溶液中固化時間不同，歸納出晶球形成的最佳條件。
- 六、探討不同酸鹼值(pH 值)對晶球之影響，試圖找出晶球在人體中適合的環境。
- 七、探討乾燥後的晶球吸附效果，找尋其更多的利用價值。

參、研究設備及器材

一、 實驗器材：

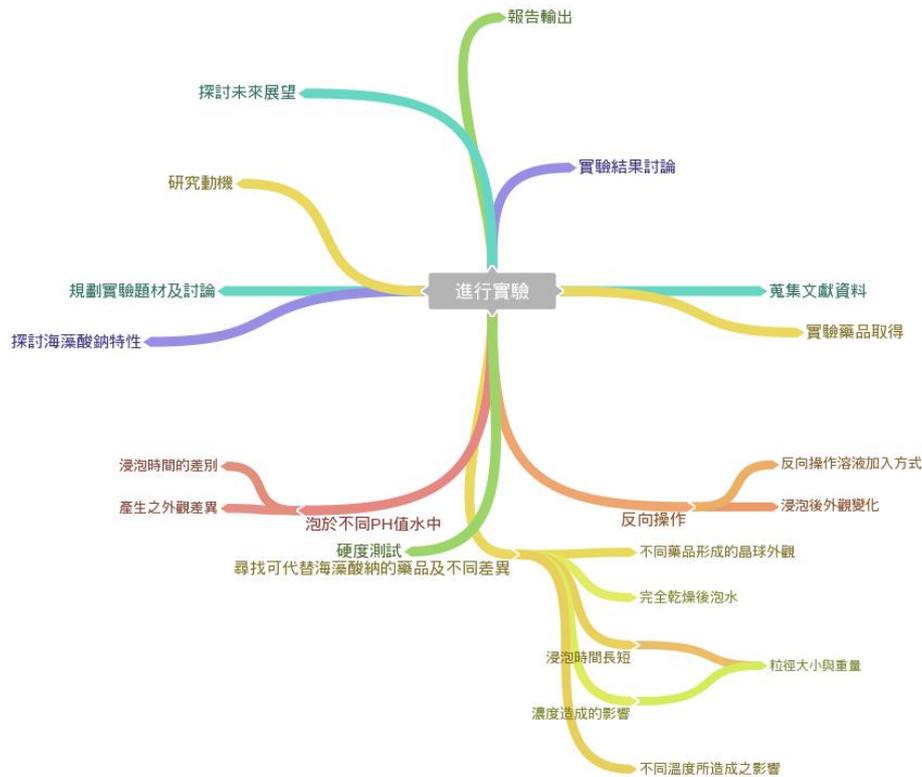
				
游標卡尺	解剖顯微鏡	電子式溫度計	pH值測定儀	電子天平
				
實驗玻璃器材	濾紙、秤量紙	容量瓶	邵氏A型硬度計	熱風槍

二、實驗藥品：

				
海藻酸鈉 (食用級)	氯化鈣	氯化銀	氯化鎂	硫酸銅
				
硫酸鋅	硫酸鐵	氯化銨	氯化鉀	氯化亞鈷

肆、研究過程或方法

*實驗架構圖



一、不同濃度之海藻酸鈉的製備與晶球形成時的相關反應機制

(一) 不同濃度之海藻酸鈉的製備

- 1、配製海藻酸鈉濃度為 0.5%、1%、2% 等不同濃度之海藻酸鈉溶液各 50 mL，攪拌並且以保鮮膜封住容器瓶口，讓其靜置一天，使其緩慢地完全溶解成膠著狀。
- 2、待海藻酸鈉完全解後，滴入數滴染劑於上步驟所配製的 50 mL 各濃度之海藻酸鈉溶液，進行染色工作。
- 3、利用滴管吸取已配製好的各濃度海藻酸鈉溶液，將其緩慢的滴入 2% 的氯化鈣溶液，並同時小心緩慢以玻璃棒攪拌氯化鈣溶液。
- 4、觀察並記錄其各種不同濃度的海藻酸鈉晶球之外觀結構。

(二) 反向操作，觀察若將氯化鈣溶液滴入海藻酸鈉時晶球形成的情形

1、實驗藥品及器材：

2% 氯化鈣水溶液、2% 氯化鋇水溶液、1% 海藻酸鈉水溶液、50 mL 燒杯 4 個、

滴管 2 個、漏斗 2 個、濾紙 4 張。

2、實驗步驟：

- (1) 兩燒杯中各倒入 20 mL 海藻酸鈉溶液。
- (2) 分別倒入 20 mL 氯化鈣溶液進兩燒杯。
- (3) 觀察兩燒杯裡，形成晶球形狀變化，發現兩燒杯內晶球形狀差異大。
- (4) 再取另外兩個燒杯，兩燒杯中各倒入 20 mL 海藻酸鈉溶液。
- (5) 以從燒杯邊緣倒入方式倒入 20 mL 氯化鈣溶液進入燒杯三，燒杯四則以從中直接倒入方式倒入溶液。

二、海藻酸鈉在不同價數的離子溶液中形成晶球的情形

(一) 實驗藥品及器材：

2% 氯化鈣水溶液、2% 氯化鋇水溶液、2% 氯化鎂水溶液、2% 硫酸銅水溶液、2% 硫酸鋅水溶液、2% 氯化亞鈷水溶液、2% 氯化鉀水溶液、2% 氯化銨水溶液、2% 硫酸鐵水溶液、2% 硼砂水溶液、2% 海藻酸鈉水溶液、50 mL 燒杯 10 個、滴管 1 支、漏斗 5 支、濾紙 10 張。

(二) 實驗步驟：

- (1) 將各種溶液倒入 20 mL 到燒杯中。
- (2) 利用滴管把 2% 海藻酸鈉溶液滴入各種溶液中。
- (3) 放置 30 秒，利用漏斗及濾紙將其濾出，以便觀察。

三、海藻酸鈉在不同高度下滴入對於晶球形成時的影響

(一) 實驗藥品及器材：

2% 氯化鈣水溶液、2% 氯化鋇水溶液、2% 硫酸銅水溶液、2% 硫酸鋅水溶液、2% 海藻酸鈉水溶液、50 mL 燒杯 8 個、滴管 4 支、漏斗 4 個、濾紙 12 張、游標卡尺 1 支、電子天平 1 台、衛生紙數張。

(二) 實驗步驟：

- (1) 取出 20 mL 氯化鈣水溶液放入燒杯。

- (2) 在離液面 5cm 處，滴入 10 滴海藻酸鈉溶液。
- (3) 放置 30 秒後，將海藻酸鈉晶球瀘出，用衛生紙擦拭乾淨，利用游標卡尺和電子天平測其直徑與重量。
- (4) 利用相同作法，再離液面 15cm 處和 30cm 處，測量出重量及直徑。
- (5) 另外 3 種水溶液也利用相同作法，在離液面 5cm、15cm、30cm 處，測量其重量與直徑。

四、研究海藻酸鈉在不同溫度中形成晶球的情形

(一) 實驗藥品及器材：

2% 氯化鈣水溶液、2% 氯化鋇水溶液、2% 硫酸銅水溶液、2% 硫酸鋅水溶液、
2% 氯化亞鈷水溶液、2% 海藻酸鈉水溶液、100 mL 燒杯 30 個、滴管 1 支、瀘網
2 個、瀘紙 30 張、熱水 1000 mL、冰塊數塊、電子溫度計 1 台、游標卡尺 1 支、
電子天平 1 台。

(二) 實驗步驟：

- (1) 將各種溶液溫度調配成 0°C、10°C、20°C、30°C、40°C、50°C。
- (2) 分別滴入海藻酸鈉 10 滴，使成為晶球。
- (3) 將晶球瀘出，觀察其直徑與重量變化及硬度測量。

五、探討晶球在各離子溶液中固化時間不同，歸納出晶球形成的最佳條件

(一) 實驗藥品及器材：

氯化鈣水溶液 2%、氯化鋇水溶液 2%、硫酸銅水溶液 2%、硫酸鋅水溶液 2%、
2% 氯化亞鈷水溶液、海藻酸鈉水溶液 2%、燒杯 16 個、滴管 4 支、秤量紙 20 張、
瀘紙 20 張、游標卡尺 1 支、電子天平 1 台、藍色色素 2 滴。

(二) 實驗步驟：

- (1) 將每一種溶液倒置燒杯 20 mL，每種各三杯。

- (2) 將 2% 的海藻酸鈉水溶液滴入 2 滴藍色色素，以便觀察。
- (3) 在離液面 15 公分處每個燒杯中滴入 10 滴海藻酸鈉溶液。
- (4) 分別靜置 30 分鐘、60 分鐘、90 分鐘、120 分鐘。
- (5) 將靜置過後的海藻酸鈉晶球濾出，利用游標卡尺和電子天平分別測出直徑和重量及硬度測量。

六、研究不同酸鹼值(pH 值)對晶球之影響

(一) 實驗藥品及器材：

2% 氯化鈣水溶液、2% 氯化鋇水溶液、2% 硫酸銅水溶液、2% 硫酸鋅水溶液、1% 海藻酸鈉水溶液、50 mL 燒杯 8 個、滴管 4 支、漏斗 4 支、濾紙 8 張、蒸餾水 80 mL、濃鹽酸 1 瓶、氫氧化鈉 1 瓶、藍色色素 2 滴。

(二) 實驗步驟：

- (1) 將 1% 海藻酸鈉滴 10 滴進各種溶液中，使其成為晶球。
- (2) 將晶球濾出，並拭乾表面水分。
- (3) 將以拭乾之晶球放入已調配好的稀鹽酸及氫氧化鈉溶液中。
- (4) 靜置一天後濾出，觀察晶球產生的變化。

七、觀察乾燥後的晶球吸附效果

(一) 實驗藥品及器材：

2% 氯化鈣水溶液、2% 氯化鋇水溶液、2% 硫酸銅水溶液、2% 硫酸鋅水溶液、2% 氯化亞鈷水溶液、2% 海藻酸鈉水溶液、50 mL 燒杯 10 個、滴管 4 支、漏斗 4 支、濾紙 8 張、蒸餾水 300 mL、藍色色素 2 滴。

(二) 實驗步驟：

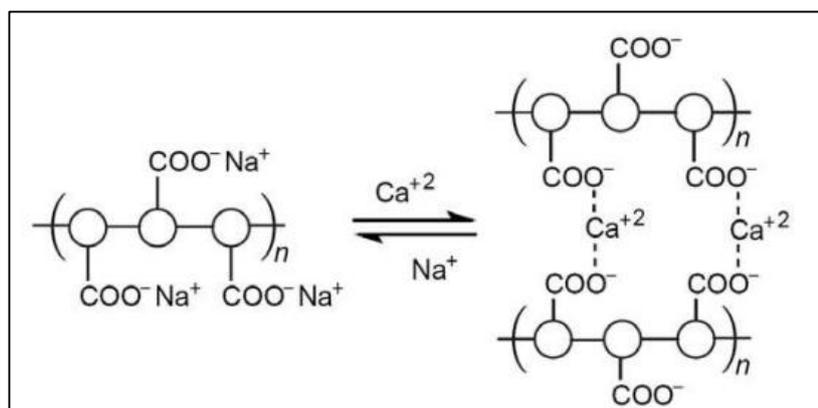
- (1) 將 2% 海藻酸鈉滴進各種溶液中，使成為晶球。
- (2) 把晶球濾出，以熱風槍乾燥，使成為乾晶球。
- (3) 將放置空氣中的海藻酸鈉晶球，放置蒸餾水中 24 小時，觀察其變化。

伍、研究結果與討論

一、海藻酸鈉的特性與晶球形成時的相關反應機制

(一) 海藻酸鈉液加鈣液的成膜原理

將海藻酸鈉液滴加入氯化鈣溶液裡時，海藻酸鈉液滴的表面會如下圖一，氯化鈣(CaCl_2)中的 Ca^{2+} 取代海藻酸鈉的鈉進行交聯作用 (cross-linking) 而形成半透膜的膠囊，此膠囊可以包住海藻酸鈉和水分子，因為膠囊結構像半透膜一樣具有許多極小孔洞，所以水分子是可以進行選擇性慢慢擴散出來，而膠囊外的鈣離子也會慢慢穿過半透膜滲入膠囊裡，但膠囊內的海藻酸鈉大分子是無法穿過孔洞擴散出去，所以在剛將海藻酸鈉液滴加入鈣液時所形成的膠囊，是可以將它捏爆噴出海藻酸鈉液的，不過若此膠囊放在鈣液裡四天以上就變得像粉圓一樣無法捏爆噴汁了，因為膠囊內的海藻酸鈉都已經和滲入半透膜膠囊內的鈣離子進行交聯作用了。



圖一、氯化鈣(CaCl_2)中的 Ca^{2+} 取代海藻酸鈉的 Na^+ 示意圖

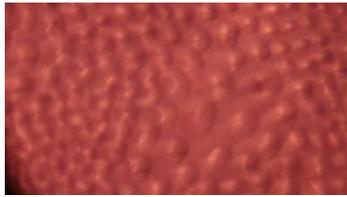
(資料來源：NTCU 科學遊戲 Lab)

海藻酸鈉(Alginate)是一種天然高分子材料，別名褐藻酸鈉、褐藻膠、藻膠，其分子式為 $(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6\text{Na})_n$ ，相對分子量在(32000-200000)，是典型的親水性溶膠。廣泛應用於食品、印染、醫藥、造紙等行業。海藻酸鈉微溶於水，不溶於大部分有機溶劑。它溶於鹼性溶液，使溶液具有黏性。然後微粒迅速粘合在一起形成團塊，團塊很緩慢的完全水化並溶解。1% 的海藻酸鈉在蒸餾水溶液中的 pH 值約為 7.2。

乾燥的海藻酸鈉在密封良好的容器內於 25°C 及以下溫度儲存相當穩定。海藻酸鈉溶液在 pH5~9 時穩定。聚合度 (DP) 和分子量與海藻酸鈉溶液的黏性直接相關，儲藏時黏性的降低可用來估量海藻酸鈉去聚合的程度。小於 2 或大於 6 時，即使在室溫下黏性也會很快降低。加熱至 80 °C 以上時則黏性降低，1881 年，英國化學家 E.C.Stanford 首先對褐色海藻中的海藻酸鹽提取物進行科學研究。他發現該褐藻酸的提取物具有幾種很有趣的特性，它具有濃縮溶液、形成凝膠和成膜的能力。

(二) 反向操作，觀察若將氯化鈣溶液滴入海藻酸鈉時晶球形成的情形

由圖(二)結果可得知，依前三步驟製成的晶球形成形狀不同，因此我們猜測是否為滴入方式不同而造成影響。再以步驟四五來證實是否為形狀不同因素。而實驗中，我們也發現：溶液倒入處受到氯化鈣溶液衝擊的海藻酸鈉溶液會因此散開，進而影響形成形狀，結果如圖(三)。

燒杯一	燒杯二
不規則狀 	圓形球狀 
顯微鏡下晶球表面情形: 	顯微鏡下晶球表面情形: 

圖二、燒杯一與燒杯二晶球形成情形

	燒杯三	燒杯四
滴入方式	從燒杯邊緣倒入	從中間倒入
結果	 <p>從杯緣倒入時，氯化鈣溶液衝撞到海藻酸鈉溶液，使得倒入的那一側海藻酸鈉溶液往另一側擠壓</p>	 <p>從中間倒入，氯化鈣溶液衝撞到海藻酸鈉溶液，使得中間的海藻酸鈉溶液往四周擠壓</p>

圖三、燒杯三與燒杯四晶球形成情形

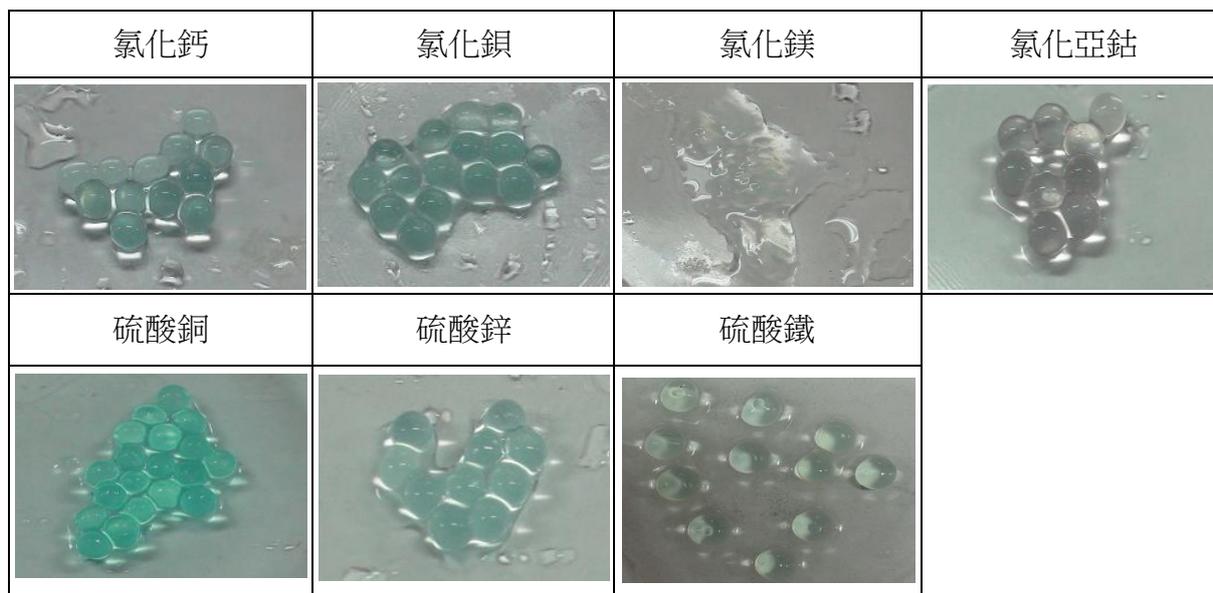
由此實驗發現，反向操作可以做出海藻酸鈉晶球，但是不能控制晶球的形狀，而由反向操作所做出來的海藻酸鈉晶球的形狀，會由倒入的型態不同而有所不同，與溶液先碰觸到的海藻酸鈉會先成形，因表面被碰撞，而改變形狀。因此我們知道反向操作會受到溶液倒入方式不同，形狀就會有所不同。

二、海藻酸鈉在不同價數的離子溶液中形成晶球的情形

海藻酸鈉溶液滴入各種溶液中再濾出後，會發現將海藻酸鈉滴入氯化鎂水溶液中雖然能作用，但是所形成的薄膜太不穩定，太過於軟，以至於一接觸到濾紙表面就破裂，而無法觀察到形成的海藻酸鈉晶球，故將氯化鎂不列入其他實驗當中。而其他六種水溶液，濾出後都能清楚的觀察到海藻酸鈉晶球，只是有大小及軟硬的差別(如圖四)。

表一、海藻酸鈉滴入正 1 價離子溶液的成膜狀態

	氯化鉀	氯化銨
滴入後在水中的狀態	無形成晶球	無形成晶球
濾出後晶球的狀態	無法觀察到晶球	無法觀察到晶球
晶球的硬度	無法測量	無法測量
晶球的質量	無法測量	無法測量
晶球的直徑	無法測量	無法測量



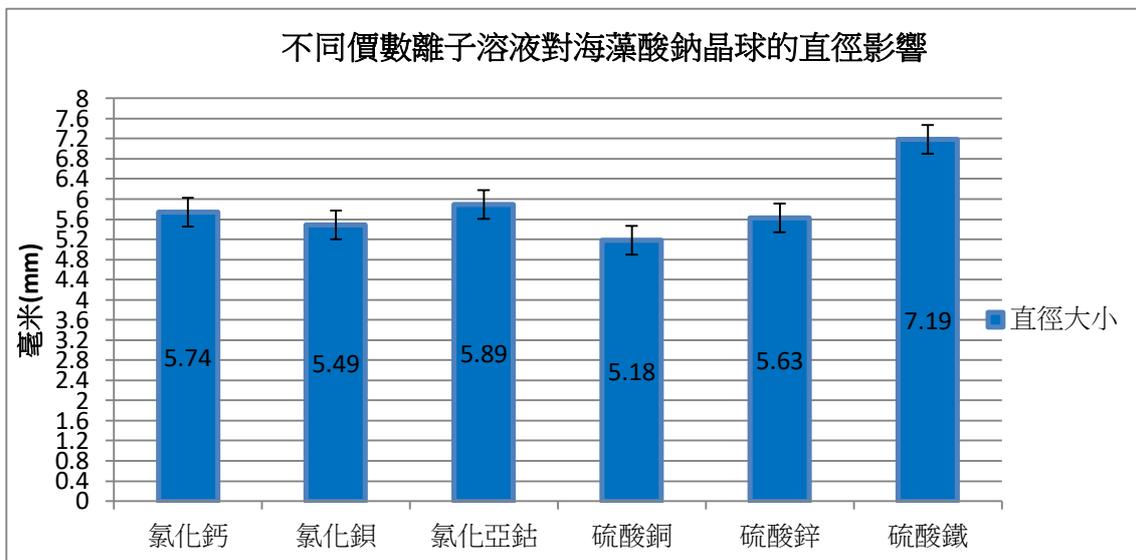
圖四、海藻酸鈉滴入正 2 價及正 3 價離子溶液所形成的晶球形狀

表二、海藻酸鈉滴入正 2 價離子溶液的成膜狀態

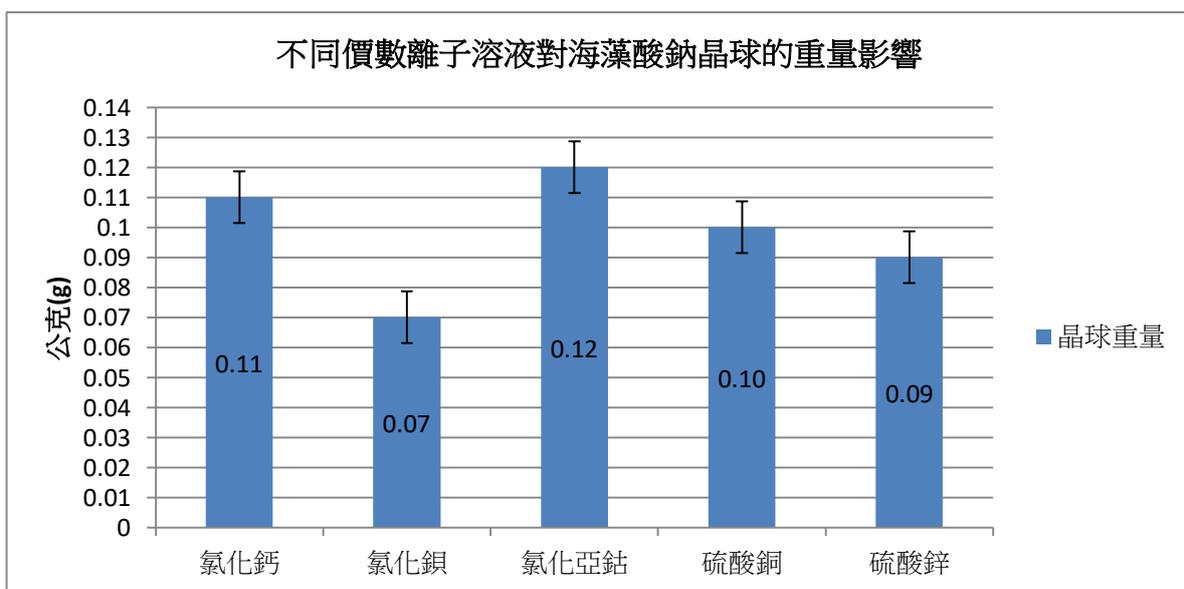
	氯化鈣	氯化鋇	氯化鎂	氯化亞鈷	硫酸銅	硫酸鋅
滴入後在水中的狀態	形成晶球	形成晶球	形成晶球	形成晶球	形成晶球	形成晶球
濾出後晶球的狀態	晶球清晰可見	晶球清晰可見	太過於軟，晶球已經破裂	晶球清晰可見	晶球清晰可見	晶球清晰可見
晶球的硬度	8.0HA	9.5HA	無法測量	7.5HA	11.5HA	9.0HA
晶球的質量	0.11g	0.07g	無法測量	0.12g	0.10g	0.09g
晶球的直徑	5.74 mm	5.49 mm	無法測量	5.89mm	5.18 mm	5.63 mm

表三、海藻酸鈉滴入正 3 價離子溶液的成膜狀態

	硫酸鐵	硼砂
滴入後在水中的狀態	形成晶球	無形成晶球
濾出後晶球的狀態	晶球清晰可見	無法觀察到晶球
晶球的硬度	一碰就破，無法測量	無法測量
晶球的質量	無法測量	無法測量
晶球的直徑	7.19 mm	無法測量



圖五、分析不同價數離子溶液對海藻酸鈉晶球的直徑影響



圖六、分析不同價數離子溶液對海藻酸鈉晶球的重量影響

從上述實驗中發現，海藻酸鈉加入正一價溶液中皆無法與海藻酸鈉進行交聯作用；而正二價離子溶液雖然都可以形成晶球，但是晶球的軟硬程度卻不一樣。氯化鎂所形成的海藻酸鈉晶球因為太過於軟，所以根本無法觀察和更進一步的實驗，氯化亞鈷所形成的海藻酸鈉晶球，雖然容易觀察晶球，但是和其他四種溶液形成的海藻酸鈉晶球比較，硬度還是偏軟。由結果來看，我們發現不是全部能製造海藻酸鈉晶球的溶液，硬度都一樣，晶球的硬度會隨著溶液中陽離子的不同而所改變，其中我們更發現正三價的鐵離子雖然能夠形成晶球，但由於交聯作用時的立體空間不足，導致形成的外膜不穩定，容易破裂。而在正二價離子溶液中所形成的晶球以氯化亞鈷最重、體積也最大，我們推測和其易吸水的化學性質相關，也因此造成硬度最小。

三、海藻酸鈉在不同高度下滴入對於晶球形成的影響

表四、從不同高度滴入的 10 顆海藻酸鈉晶球，測量出的平均直徑

單位：mm

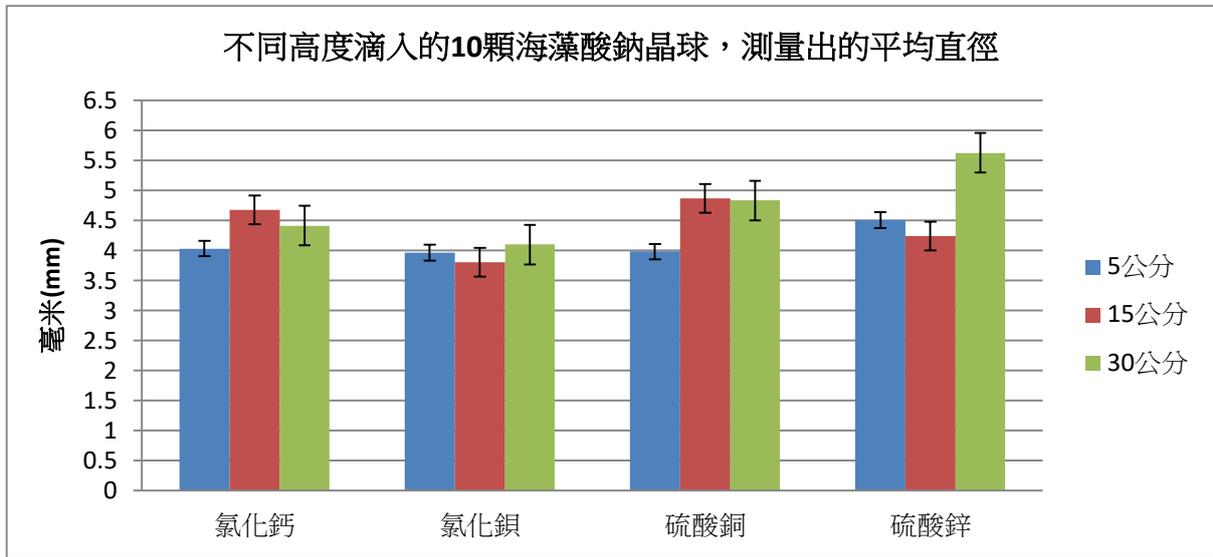
	氯化鈣	氯化鋇	硫酸銅	硫酸鋅
5cm	4.04±0.18	3.97±0.20	3.99±0.47	4.51±0.17
15cm	4.68±0.33	3.81±0.23	4.87±0.21	4.25±0.27
30cm	4.42±0.30	4.10±0.25	4.84±0.18	5.63±0.23

表五、從不同高度滴入的 10 顆海藻酸鈉晶球，測量出的平均重量

單位：g

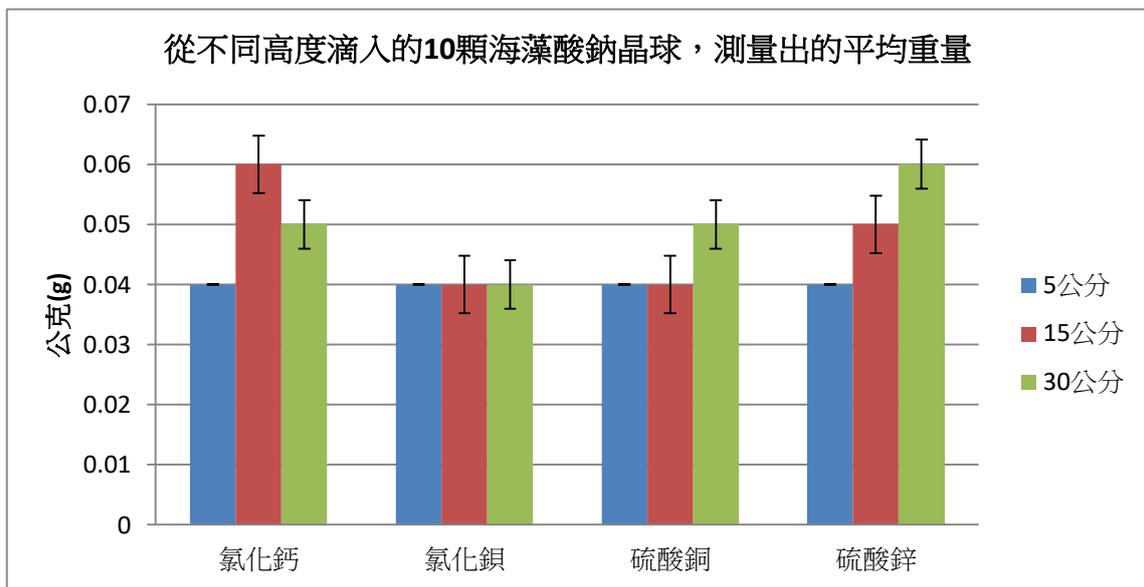
	氯化鈣	氯化鋇	硫酸銅	硫酸鋅
5cm	0.04	0.04	0.04	0.04
15cm	0.06	0.04	0.04	0.05
30cm	0.05	0.04	0.05	0.06

由實驗所知，氯化鈣和硫酸銅水溶液在 15 公分時，直徑為最大，其次是 30 公分；再來是 5 公分；而氯化鋇和硫酸鋅則是 30 公分時直徑為最大，接著是 5 公分和 15 公分(如表四)。而四種不同的水溶液，所測出來的重量無太大差異，相差值不大於 0.02g(如表五)。



圖七、不同高度滴入的 10 顆海藻酸鈉晶球，測量出的平均直徑

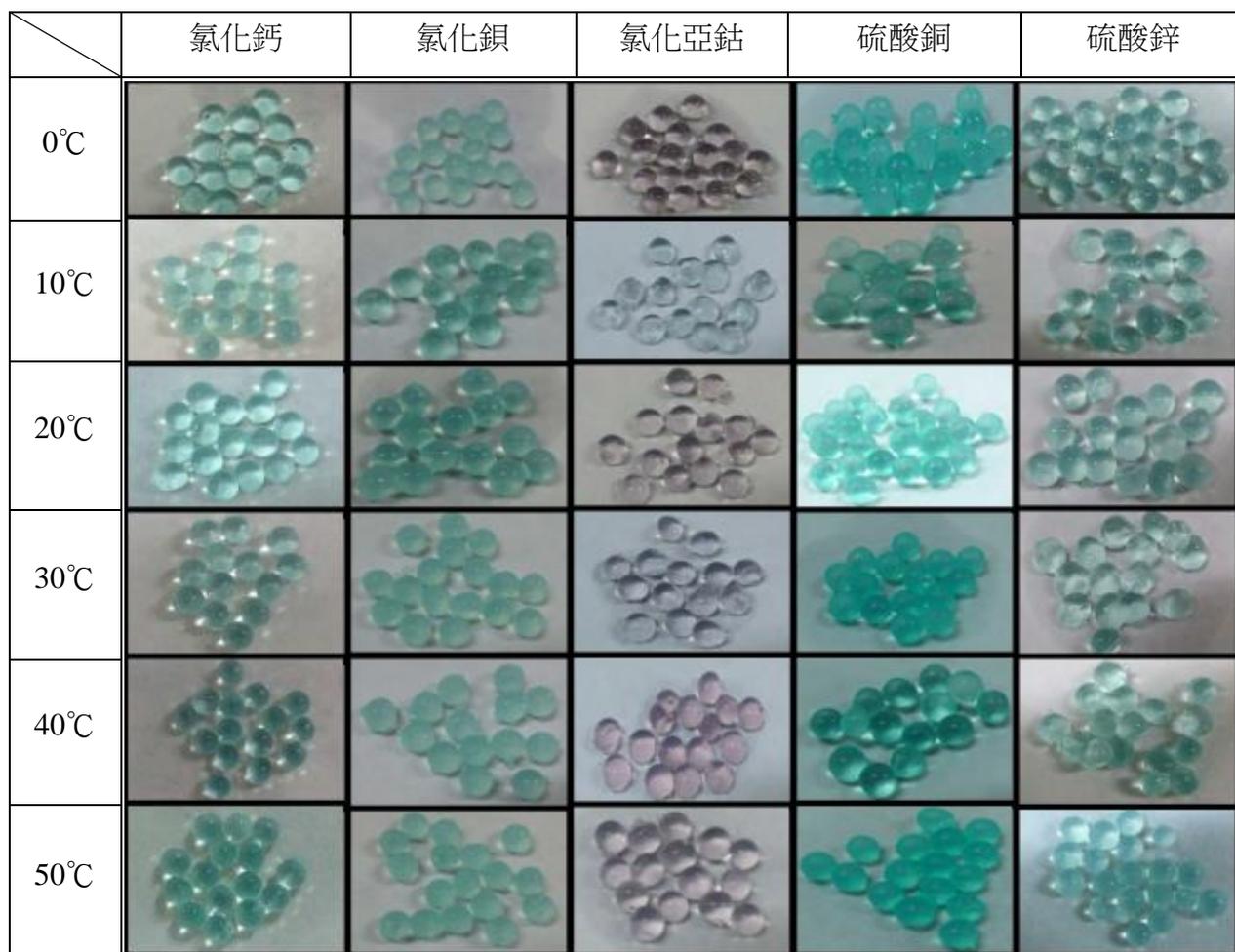
由圖七所知，不同溶液在相同高度的情況下，海藻酸鈉晶球的直徑不相同；而相同溶液但不同高度情況下，海藻酸鈉晶球的直徑也不相同。而海藻酸鈉在距離氯化鈣和硫酸銅液面 15 公分處滴入所形成的晶球直徑最大；氯化鋇和硫酸鋅則是在離液面 30 公分處海藻酸鈉晶球的直徑為最大。我們推斷是溶液所造成的差異，不同的溶液在和海藻酸鈉接觸時，包覆的快慢和方式不同，所產生如此的差異，再加上高度愈高，所產生的速度愈大，因而導致晶球直徑變大。



圖八、從不同高度滴入的 10 顆海藻酸鈉晶球，測量出的平均重量

由圖八來看，我們發現了不論是哪一種高度滴入海藻酸鈉溶液，都不會對重量有相當大的影響，相差值十分的小。我們推斷高度不會間接影響到重量的大小，甚至有可能不會影響到重量的變化，而相差值有可能為其他外在因素影響，才會造成有誤差。

四、研究海藻酸鈉在不同溫度中形成晶球的情形

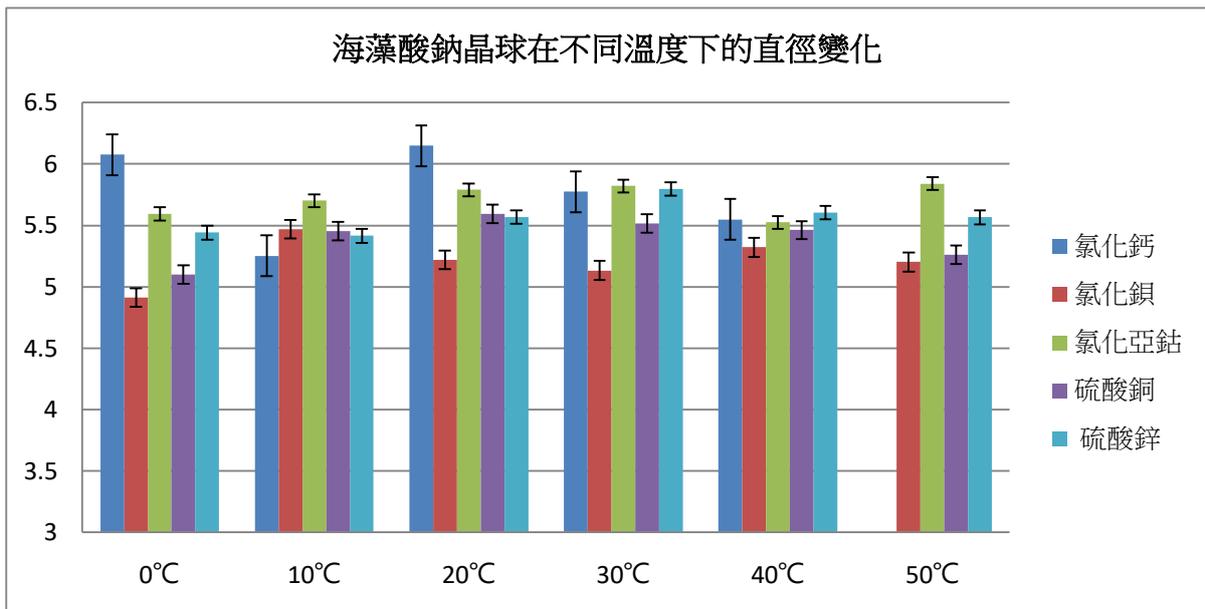


圖九、記錄海藻酸鈉在不同溫度中形成晶球的情形

表六、比較海藻酸鈉晶球在不同溫度下的平均直徑變化

單位：mm

	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
氯化鈣	6.08±0.14	5.25±0.28	6.15±0.13	5.55±0.1	5.55±0.1	5.68±0.14
氯化鋇	4.91±0.26	5.47±0.31	5.22±0.19	5.32±0.33	5.32±0.33	5.2±0.24
氯化亞鈷	5.59±0.21	5.7±0.34	5.79±0.3	5.53±0.29	5.53±0.29	5.84±0.16
硫酸銅	5.10±0.21	5.45±0.23	5.60±0.38	5.46±0.4	5.46±0.4	5.26±0.21
硫酸鋅	5.44±0.23	5.42±0.23	5.57±0.15	5.61±0.41	5.61±0.41	5.57±0.27

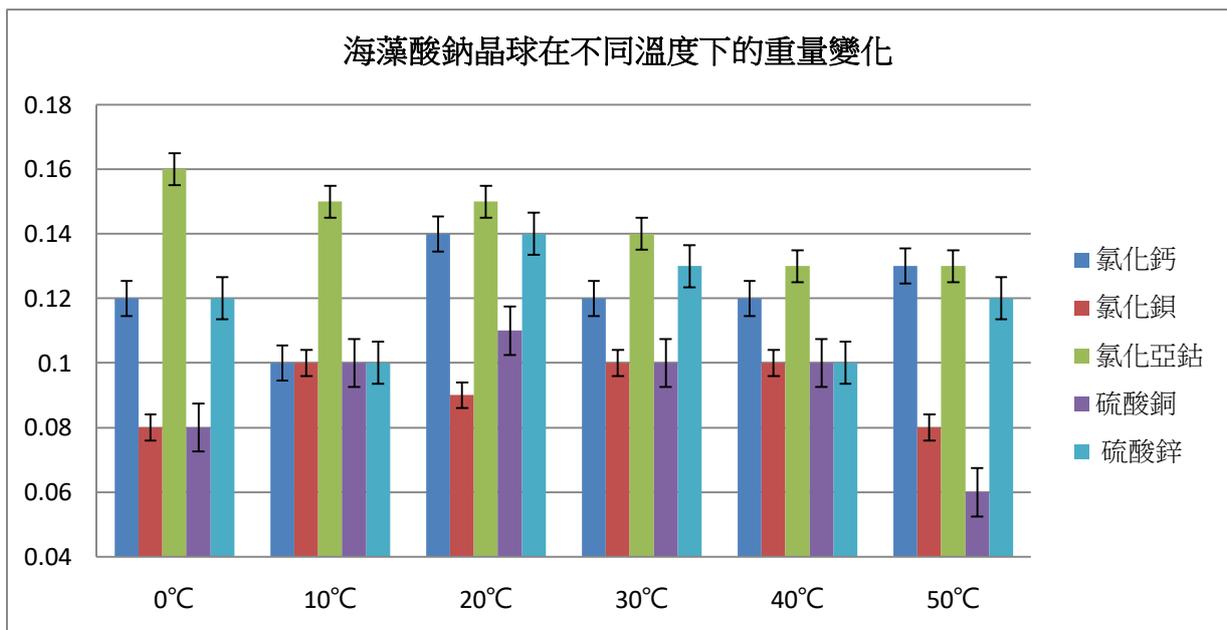


圖十、分析海藻酸鈉晶球在不同溫度下的直徑變化

表七、海藻酸鈉晶球在不同溫度下的重量變化

單位：g

	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
氯化鈣	0.12	0.10	0.14	0.12	0.12	0.13
氯化鋇	0.08	0.10	0.09	0.10	0.10	0.08
氯化亞鈷	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13
硫酸銅	0.08	0.10	0.11	0.10	0.10	0.06
硫酸鋅	0.12	0.10	0.14	0.13	0.10	0.12

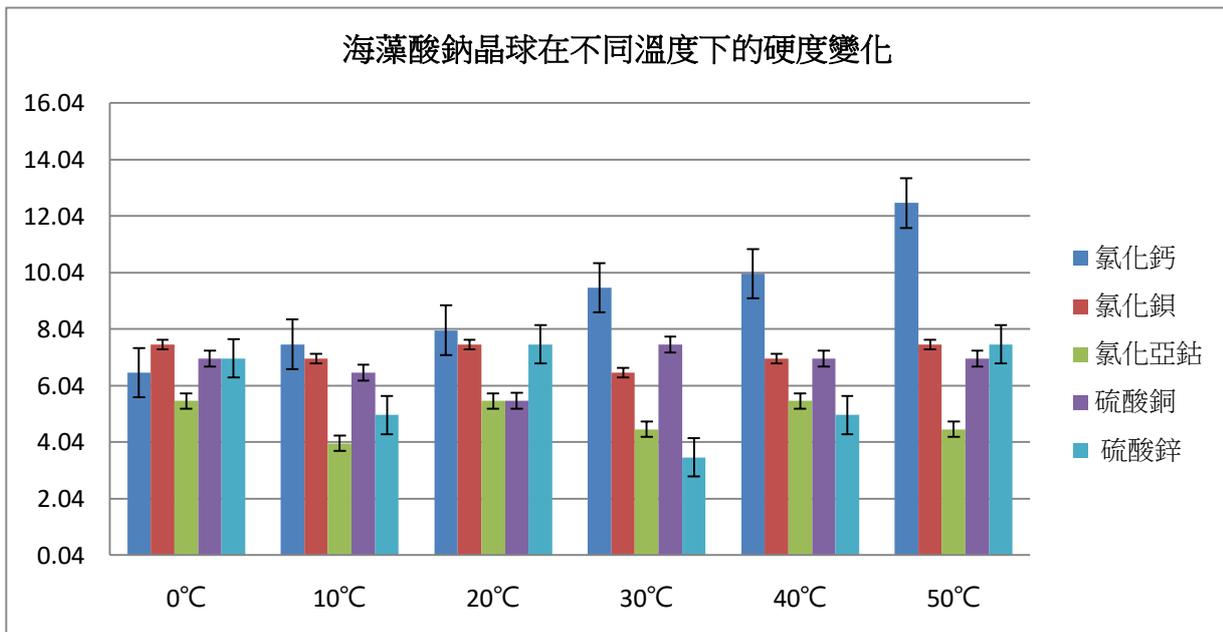


圖十一、分析海藻酸鈉晶球在不同溫度下的重量變化

表八、海藻酸鈉晶球在不同溫度下的硬度變化

單位：HA

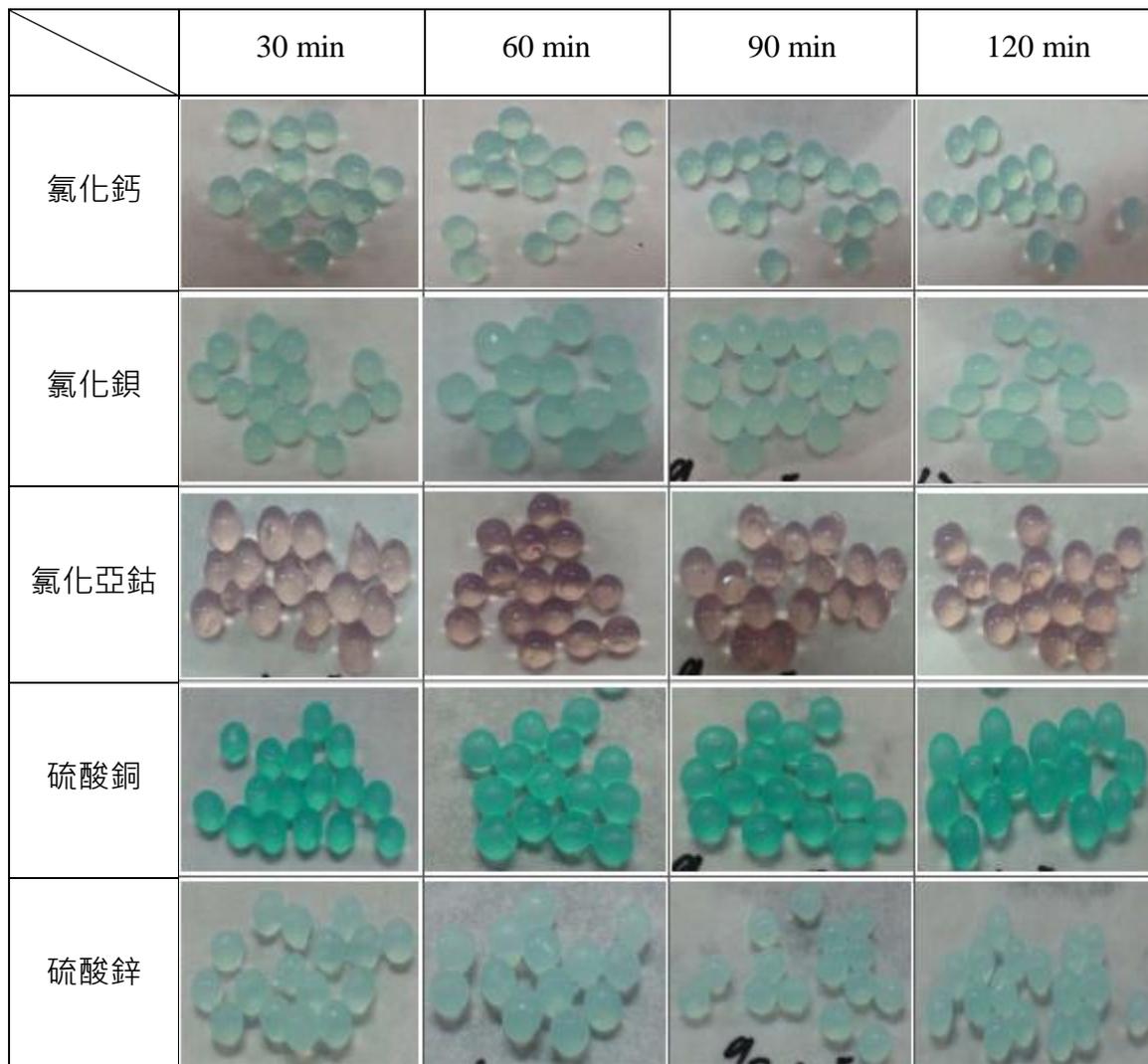
	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
氯化鈣	6.5	7.5	8.0	9.5	10.0	12.5
氯化鋇	7.5	7.0	7.5	6.5	7.0	7.5
氯化亞鈷	5.5	4.0	5.5	4.5	5.5	4.5
硫酸銅	7.0	6.5	5.5	7.5	7.0	7.0
硫酸鋅	7.0	5.0	7.5	3.5	5.0	7.5



圖十二、分析海藻酸鈉晶球在不同溫度下的硬度變化

由此實驗可以得知海藻酸鈉晶球在溫度的變因下，發現 30°C 時各種類晶球的硬度最低，然而隨著溫度越高則有些微的上升趨勢。其中以氯化鈣溶液最為明顯，呈現出溫度越高，硬度越大的趨勢；在直徑方面，我們亦發現在 20°C 時，各類晶球平均直徑最大；而在重量方面，我們可以發現 20°C 的條件下所得到的晶球總重量較大。因此推測若要形成直徑最大、重量最重、硬度最軟 Q 的晶球則選擇在 20°C~30°C 為最佳。

五、藉由晶球在各離子溶液中固化時間不同，找出晶球形成的最佳條件



圖十三、靜置不同時間的海藻酸鈉晶球其外觀變化

由實驗結果所示，氯化鈣、氯化鋇、硫酸鋅，在溶液中靜置越久，海藻酸鈉的直徑越小。而硫酸銅在 15 分鐘時直徑變大，但在 60 分鐘時直徑又變小(如表九)，而重量無論在哪一個時間點，重量的改變都不會太大，雖然會變小，但是變小值不會超過 0.01g，而硫酸銅水溶液的海藻酸鈉晶球，重量都沒有改變(如表十)。而顏色變化上，我們發現浸泡越久，海藻酸鈉晶球的色素會越來越淡，甚至硫酸銅水溶液形成的海藻酸鈉晶球，會逐漸失去原本海藻酸鈉的顏色，變成與硫酸銅水溶液相同顏色。(如圖十三)

表九、比較靜置不同時間 10 顆海藻酸鈉晶球，測量出的平均直徑

單位:mm

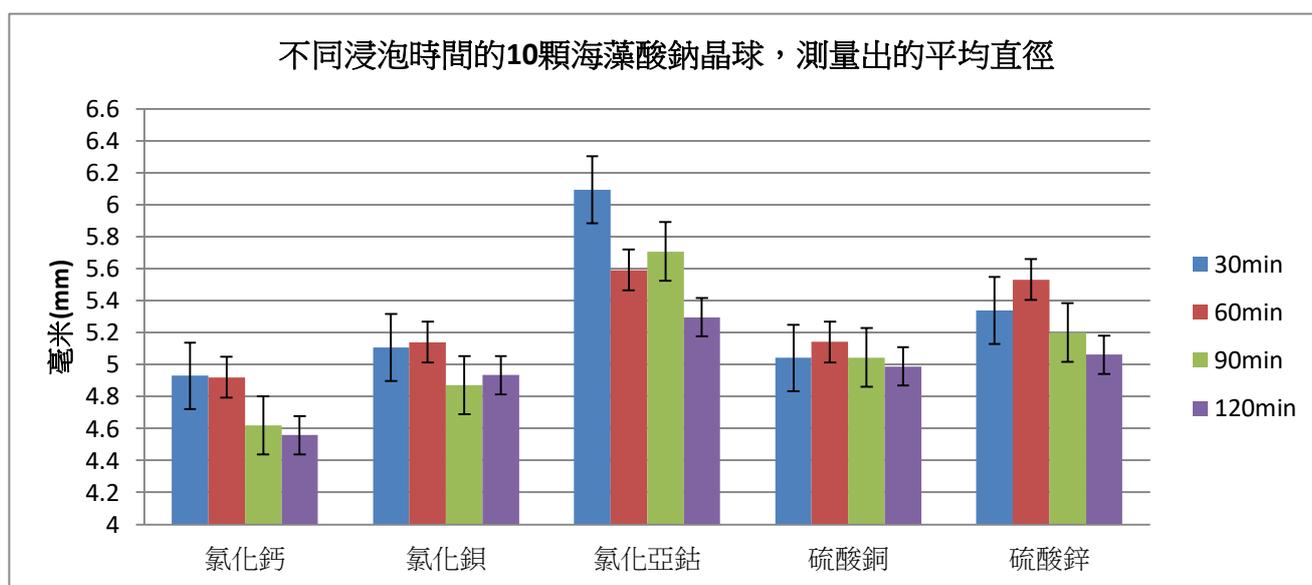
	氯化鈣	氯化鋇	氯化亞鈷	硫酸銅	硫酸鋅
30 min	4.93±0.09	5.11±0.14	6.09±0.11	5.04±0.08	5.34±0.12
60 min	4.92±0.05	5.14±0.06	5.59±0.19	5.14±0.08	5.53±0.17
90 min	4.62±0.10	4.87±0.13	5.71±0.12	5.04±0.10	5.20±0.05
120 min	4.56±0.11	4.93±0.14	5.30±0.15	4.99±0.06	5.06±0.10

表十、靜置不同時間 10 顆海藻酸鈉晶球，測量出的平均重量

單位：g

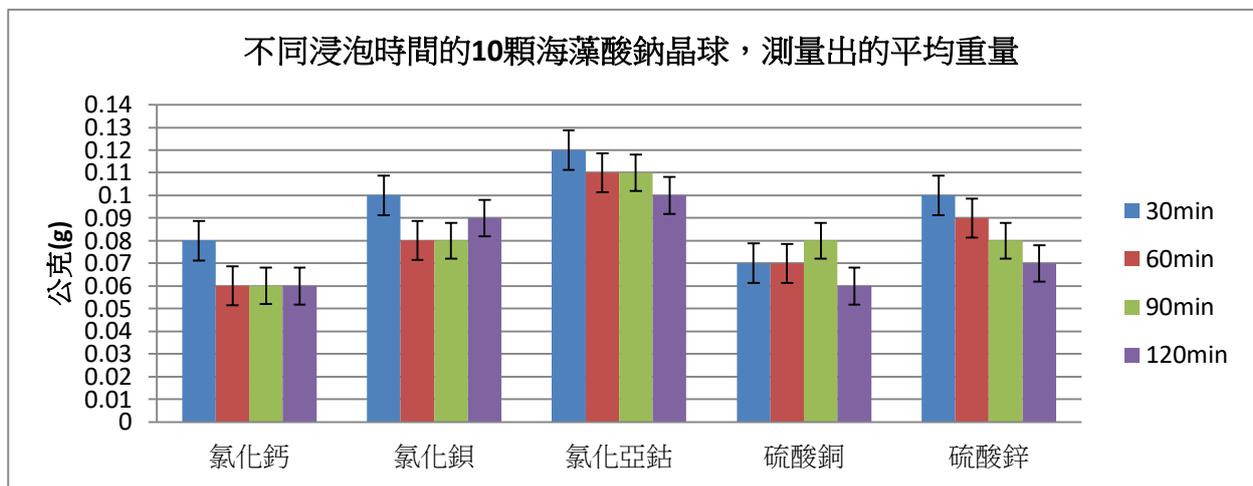
	氯化鈣	氯化鋇	氯化亞鈷	硫酸銅	硫酸鋅
30 min	0.08	0.10	0.12	0.07	0.10
60 min	0.06	0.08	0.11	0.07	0.09
90 min	0.06	0.08	0.11	0.08	0.08
120 min	0.06	0.09	0.10	0.06	0.07

不同浸泡時間的10顆海藻酸鈉晶球，測量出的平均直徑



圖十四、不同浸泡時間的 10 顆海藻酸鈉晶球，測量出的平均直徑

由圖七所示，浸泡的時間越久，晶球的直徑也會越來越小。而硫酸銅在 60 分鐘時直徑變大，在 90 分鐘時變小。所以我們推斷，由於晶球的半透膜在溶液中靜置時，會先吸取溶液，快速成膜，接著溶液中的陽離子便藉由滲透作用進入膜內，再與內部的海藻酸鈉進行交聯作用，導致晶球內部分子間引力增強而內縮，因此我們觀察到固化時間增加晶球直徑先變大再變小的現象。

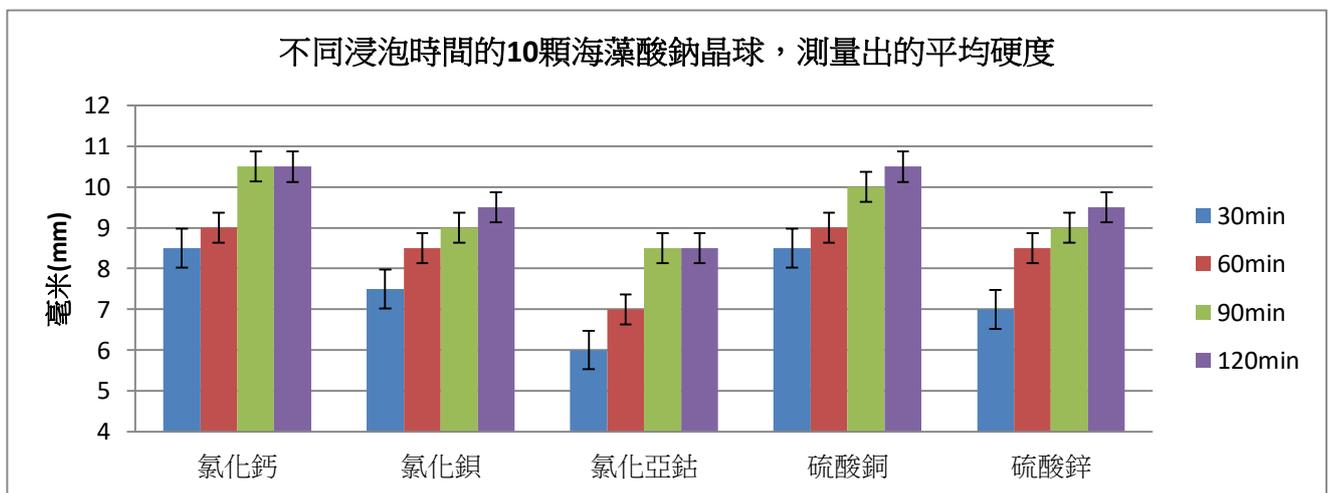


圖十五、不同浸泡時間的 10 顆海藻酸鈉晶球，測量出的平均重量

由圖十五所知，雖然浸泡時間越長，重量也會逐漸變小。但是變小的程度不會太大，相差值十分的小。所以我們推論，浸泡的時間會使晶球重量越來越小，可是變小的程度沒有十分顯著。

表十一、靜置不同時間 10 顆海藻酸鈉晶球，測量出的平均硬度 單位：HA

	氯化鈣	氯化鋇	氯化亞鈷	硫酸銅	硫酸鋅
30 min	8.5	7.5	6.0	8.5	7.0
60 min	9.0	8.5	7.0	9.0	8.5
90 min	10.5	9.0	8.5	10	9.0
120 min	10.5	9.5	8.5	10.5	9.5



圖十六、不同浸泡時間的 10 顆海藻酸鈉晶球，測量出的平均硬度

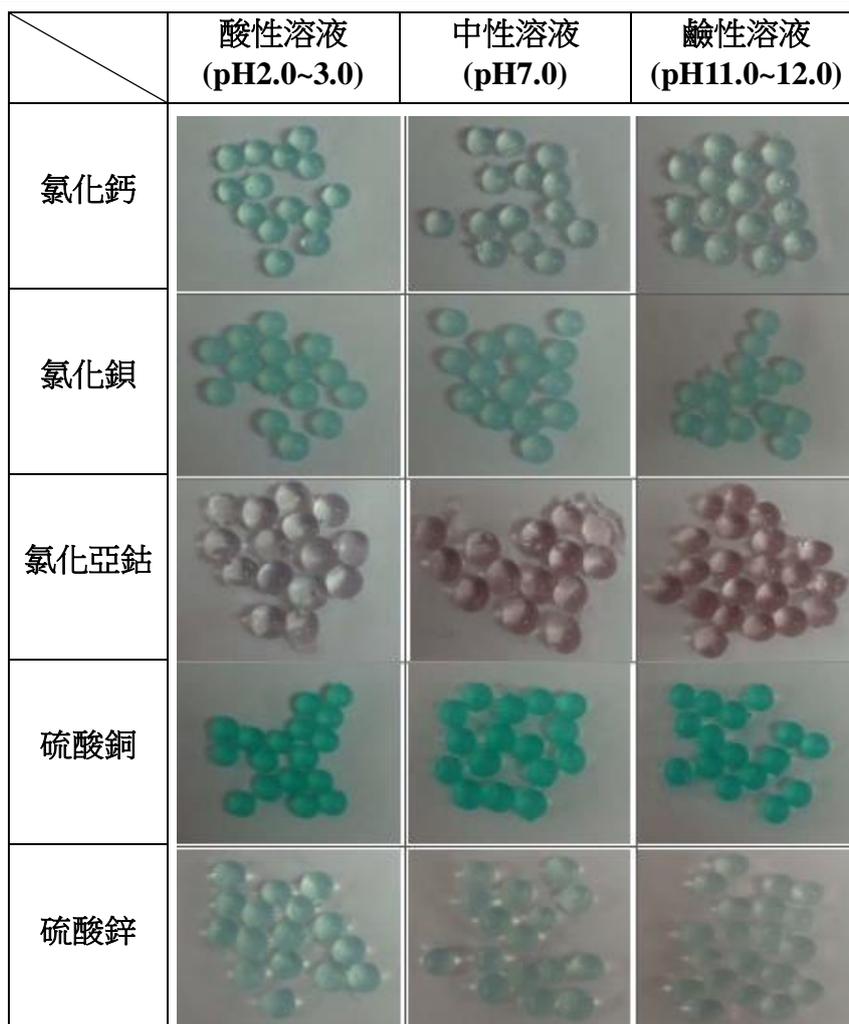
由此結果可以得知，浸泡時間越久，固化程度越明顯，因此硬度越大。其中氯化鈣和氯化亞鈷則在 90 分鐘後便達到一定值，硬度不再改變，因此若需要製成硬度較高的晶球可以將期浸泡在溶液中 90 分鐘即可過濾取出。

六、不同酸鹼值(pH 值)對晶球之影響

由表(十二)結果可得知，海藻酸鈉晶球置放於鹼性環境中比置放於酸性環境中更容易使晶球外膜液化，但置放於中性環境中的晶球則無明顯變化，各類海藻酸鈉晶球在酸性中表面會產生黏滯性且顏色大部分變淡，而鹼性環境下較易軟化，硫酸銅溶液所形成的晶球僅在鹼性環境下會在表面起些許皺褶，氯化鈣溶液所形成的晶球於鹼性環境中會略為軟化，氯化鋇溶液所形成的晶球則皆無明顯變化。

表十二、海藻酸鈉晶球在不同酸鹼溶液中浸泡一天後的變化

	氯化鈣	氯化鋇	氯化亞鈷	硫酸銅	硫酸鋅
浸泡溶液的顏色變化	不變	不變	變綠色	變藍色	不變
晶球的黏滯性(酸中)	有黏滯性	沒有黏滯性	有黏滯性	沒有黏滯性	有黏滯性
晶球的顏色變化(在酸性溶液中)	變淡	變淡	變淡	變深	變淡



圖十七、海藻酸鈉晶球在不同酸鹼溶液中浸泡一天後的狀態

表十三、海藻酸鈉晶球在不同酸鹼溶液中浸泡一天後的平均直徑 單位：mm

	稀鹽酸 pH 2.0~3.0		純水 pH 7.0		氫氧化鈉溶液 pH 11.0~12.0	
	直徑 (mm)	硬度 (HA)	直徑 (mm)	硬度 (HA)	直徑 (mm)	硬度 (HA)
氯化鈣	4.91±0.14	4.5	5.05±0.12	5.0	5.13±0.14	4.0
氯化鋇	4.42±0.11	5.0	4.63±0.10	5.5	4.66±0.10	4.5
氯化亞鈷	6.21±0.18	4.0	6.13±0.12	4.5	6.27±0.17	3.0
硫酸銅	4.48±0.13	6.5	4.73±0.16	7.0	4.73±0.16	5.5
硫酸鋅	5.72±0.18	4.5	5.37±0.19	5.5	5.30±0.17	3.5

由此實驗可發現，各類晶球在酸性環境中較易產生表面的黏滯性。在氯化亞鈷及硫酸鋅溶液中形成的海藻酸鈉晶球與其他晶球相比更軟，且更易被水化，硫酸銅溶液中形成的晶球外膜硬度與其他晶球相比較高，將其置於酸性及鹼性環境中也和原本的外觀無太大差別，但在鹼性環境下我們發現晶球相對變軟，且置於鹼性環境中的晶球比置於酸性環境中的晶球表面差異更大，且薄膜變得較不穩定。由此可得知，海藻酸鈉晶球置放於鹼性環境中較易被溶解水化。

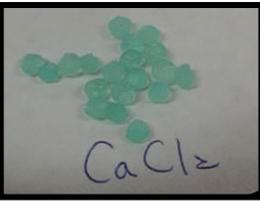
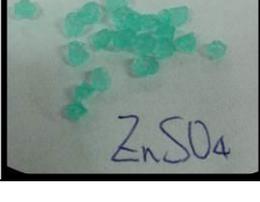
七、觀察乾燥後的晶球吸附效果

由此實驗可得知，氯化鈣和氯化鋇變硬，氯化亞鈷、硫酸鋅和硫酸銅皆變軟。體積變化，氯化鈣無變化，氯化鋇變大，硫酸鋅和硫酸銅皆變小。表面狀態，除氯化鈣為平滑外，其他三者皆為凹凸不平的狀態。在顏色方面，除硫酸鋅由藍色變為白色外，其餘皆無變化。在碰觸各晶球後，我們可以發現到硫酸鋅與硫酸銅有碎片掉落，氯化鈣和氯化鋇則無變化。(如表十五)

表十四、比較 10 顆海藻酸鈉晶球泡水後的重量變化 單位：g

	乾燥後晶球重量	乾燥晶球浸泡後重量	相差值
氯化鈣	0.43	0.53	+ 0.10
氯化鋇	0.31	0.35	+ 0.04
氯化亞鈷	0.34	5.90	+ 5.56
硫酸銅	0.32	0.53	+ 0.21
硫酸鋅	0.21	1.11	+ 0.90

表十五、比較海藻酸鈉晶球泡水後的變化

	乾燥後外觀	浸泡一天後外觀	硬度 變化	顏色 變化	表面 狀態	碰觸晶球 變化
氯化鈣	 CaCl ₂		變硬	變淡	粗糙	有彈性
氯化鋇	 BaCl ₂		變硬	變淡	粗糙	有彈性
氯化亞鈷	 CoCl ₂		變軟	透明 無色	光滑 軟嫩	不易拿取 易破碎
硫酸鋅	 ZnSO ₄		變軟	變深	凹凸 不平	有碎片掉落
硫酸銅	 CuSO ₄		變軟	透明 淡藍	凹凸 不平	有碎片掉落

由此實驗可得知，晶球變乾後，再行泡水。每一種溶液的海藻酸鈉晶球都有改變，除了氯化鈣與氯化鋇溶液所形成的海藻酸鈉晶球變化較為微小，其餘溶液所形成的海藻酸鈉晶球都有相當大的改變。甚至硫酸鋅所形成的海藻酸鈉晶球，在泡水後，顏色改變了。其中氯化亞鈷脹大體積最為明顯，並且產生透明無色的外觀，將水分吸至完全飽滿的狀態，我們推測這與氯化亞鈷易吸水的特性有關。由此實驗結果讓我們了解乾掉的海藻酸鈉晶球，泡水後都無法回復原形，變化程度由小至大為：氯化鈣 < 氯化鋇 < 硫酸銅 < 硫酸鋅 < 氯化亞鈷。

陸、結論

- 一、反向操作的海藻酸鈉晶球，會呈現不規則形狀，跟滴入的方式有極大的關係，不同的滴入方式就會有不同形狀的海藻酸鈉晶球。
- 二、正 1 價的陽離子水溶液，滴入海藻酸鈉水溶液後，都無法形成晶球。而正 2 價的陽離子水溶液皆可以成膜，且過渡元素陽離子所形成的薄膜較典型元素陽離子所形成的薄膜易破也較軟，正 2 價的鎂離子和正 3 價的鐵離子雖然可以在溶液中順利成膜，但卻非常不穩定，導致無法進一步研究。
- 三、晶球形成的軟硬程度，會因其實驗過程中，或溶液的陽離子不同而有所差異。
- 四、晶球的直徑大小會因為溶液和不同高度滴入的變因，而有所改變。但是重量的差異並不大，直徑的差異較為大。
- 五、在溫度 20~30°C 的條件下可形成直徑最大、重量最重、硬度最軟 Q 的晶球。
- 六、海藻酸鈉晶球在溶液中放置越久，直徑會越來越小；重量也會越來越小，只是改變的程度沒有很明顯。
- 七、浸泡於鹼性溶液下晶球較易被溶解水化，表層薄膜也變得較不穩定；而浸泡於酸性溶液中硬度雖然沒什麼變化，但薄膜表層卻出現黏滯性。
- 八、海藻酸鈉的晶球在乾掉過後，再泡水，難以回復原狀，甚至表面會有凹凸不平、晶球剝落的現象。

柒、未來展望

透過這次的實驗，我們發現海藻酸鈉在各種酸鹼值及在不同的溶液中成形所造成的差異，從酸鹼值的實驗中，我們發現海藻酸鈉晶球在強鹼的環境中較易分解，而在強酸環境下雖然也會分解，但歷程時間較長，且在弱酸之環境下穩定度較高，不易被分解。胃液呈酸性，而胰液及小腸液皆呈弱鹼性，因此，我們推斷海藻酸鈉應會於小腸處分解，若將此特性應用於製造能包覆營養素的膠囊上，應能發揮最大的吸收效果。

捌、參考資料與其它

- 一、王勇，解玉冰，馬小軍(1999)，殼聚醣/海藻酸鈉生物微膠囊的研究進展。
- 二、張小紅，崔英德，潘湛昌(2005)，聚丙烯酸/海藻酸鈉高吸水性樹脂的製備及生物降解性能。
- 三、劉群，薛偉明，于煒婷，劉袖洞，言若媛，李金雲，馬小軍(2002)，海藻酸鈉-殼聚糖微膠膜強度的研究。
- 四、海藻酸鈉的特性，2016年11月20日，取自：台灣 wiki：<http://www.twwiki.com/wiki/海藻酸鈉>。
- 五、南一出版社。酸鹼濃度。載於國中自然與生活科技 第四冊（2下）（第 73-78 頁）。
- 六、南一出版社。電解質溶液。載於國中自然與生活科技 第四冊（2下）（第 59-61 頁）。

玖、附錄

附錄一、從五公分高滴入的十顆海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

溶液種類	晶球直徑									
氯化鈣	3.92	4.05	3.86	4.17	4.11	3.93	3.99	4.43	4.11	3.78
氯化鋇	4.19	3.92	3.84	4.11	4.09	3.94	3.70	4.11	3.59	4.18
硫酸銅	4.37	3.53	3.84	4.84	4.36	4.08	4.11	3.03	3.94	3.75
硫酸鋅	4.63	4.36	4.68	4.38	4.54	4.71	4.77	4.25	4.42	4.34

附錄二、從十五公分高滴入的十顆海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

溶液種類	晶球直徑									
氯化鈣	4.92	3.97	4.24	4.93	4.88	4.49	5.08	4.90	4.76	4.63
氯化鋇	3.77	3.66	3.61	3.68	3.56	3.87	4.23	3.77	4.24	3.67
硫酸銅	5.00	4.66	5.17	4.70	4.96	4.72	5.22	4.95	4.77	4.59
硫酸鋅	4.52	4.48	4.39	4.24	4.50	3.72	4.22	4.28	4.32	3.79

附錄三、從三十公分高滴入的十顆海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

溶液種類	晶球直徑									
氯化鈣	4.43	4.16	4.93	4.95	4.16	4.17	4.35	4.08	4.32	4.62
氯化鋇	4.07	3.96	4.21	4.35	3.56	3.95	4.04	4.50	4.03	4.34
硫酸銅	4.86	5.00	4.59	4.64	4.81	4.70	4.87	4.83	4.81	5.26
硫酸鋅	6.02	5.56	5.77	5.28	5.80	5.63	5.30	5.88	5.43	5.62

附錄四、靜置在 0°C 的海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

氯化鈣	5.84	6.19	6.06	5.94	6.03	6.03	6.05	6.14	6.09	6.39
氯化鋇	4.62	4.92	5.15	5.19	4.90	4.26	5.08	4.95	5.04	5.02
氯化亞鈷	5.33	5.66	5.56	5.77	5.50	5.88	5.37	5.91	5.67	5.29
硫酸銅	4.50	5.12	5.16	5.16	5.03	5.30	5.08	5.18	5.25	5.24
硫酸鋅	5.35	5.38	5.33	5.31	5.72	5.91	5.11	5.61	5.23	5.46

附錄五、靜置在 10°C 的海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

氯化鈣	5.40	4.69	5.28	5.26	5.13	5.60	5.25	5.47	5.57	4.88
氯化鋇	5.64	5.62	6.17	5.45	5.11	5.12	5.59	5.06	5.43	5.50
氯化亞鈷	5.71	5.64	5.49	6.06	5.91	6.27	5.06	5.37	5.54	5.96
硫酸銅	5.10	5.25	5.64	5.31	5.37	5.27	5.66	5.91	5.47	5.56
硫酸鋅	5.53	5.56	5.09	5.12	5.54	5.75	5.61	5.49	5.04	5.43

附錄六、靜置在 20°C 的海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

氯化鈣	5.91	6.16	6.03	6.12	6.04	6.38	6.24	6.20	6.12	6.29
氯化鋇	5.35	5.10	4.95	5.09	5.37	5.14	4.94	5.39	5.43	5.45
氯化亞鈷	5.71	5.32	5.96	5.70	5.73	6.00	5.92	5.28	6.35	5.94
硫酸銅	5.58	6.27	5.57	6.35	5.31	5.22	5.21	5.37	5.56	5.52
硫酸鋅	5.79	5.54	5.47	5.44	5.51	5.85	5.41	5.70	5.54	5.42

附錄七、靜置在 30°C 的海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

氯化鈣	5.92	5.78	6.01	5.91	5.90	5.73	5.64	5.89	5.80	5.86
氯化鋇	5.13	5.20	4.77	4.90	5.47	5.12	5.29	5.09	5.34	5.03
氯化亞鈷	5.88	5.63	5.61	6.02	5.81	5.58	5.95	5.22	5.91	5.60
硫酸銅	5.26	5.34	5.64	5.52	5.81	5.55	5.67	5.40	5.52	5.47
硫酸鋅	6.31	5.64	6.29	5.88	6.13	5.49	5.51	6.26	5.15	5.31

附錄八、靜置在 40°C 的海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

氯化鈣	5.54	5.44	5.71	5.45	5.75	5.52	5.60	5.50	5.49	5.48
氯化鋇	5.12	5.75	5.63	5.44	5.21	5.50	5.53	5.46	5.01	4.57
氯化亞鈷	5.72	4.83	5.44	5.48	5.67	5.74	5.61	5.35	5.98	5.44
硫酸銅	5.97	5.62	5.77	5.63	5.43	5.14	5.56	4.64	5.00	5.86
硫酸鋅	6.19	5.02	6.35	5.49	5.78	5.42	5.77	5.04	5.48	5.51

附錄九、靜置在 50°C 的海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

氯化鈣	5.62	5.64	5.86	5.64	5.52	5.79	5.92	5.78	5.58	5.49
氯化鋇	5.49	5.19	5.11	5.33	4.77	4.99	5.04	5.16	5.32	5.62
氯化亞鈷	5.88	5.89	6.03	5.88	5.82	5.87	5.96	5.97	5.47	5.63
硫酸銅	5.35	5.55	5.62	5.04	5.07	5.03	5.35	5.41	5.04	5.14
硫酸鋅	5.57	5.88	5.63	5.58	6.03	5.18	5.38	5.79	5.48	5.14

附錄十、靜置 30 分鐘的海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

氯化鈣	4.97	4.76	4.90	5.09	4.96	4.90	4.99	5.01	4.90	4.81
氯化鋇	5.10	4.99	5.13	4.94	5.00	5.33	5.24	5.32	4.91	5.11
氯化亞鈷	5.88	6.26	6.17	6.14	5.99	6.22	6.02	6.13	6.10	6.03
硫酸銅	5.09	5.06	5.02	4.98	5.13	4.96	5.09	4.93	4.97	5.18
硫酸鋅	5.41	5.35	5.04	5.17	5.43	5.39	5.37	5.40	5.45	5.38

附錄十一、靜置 60 分鐘的海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

氯化鈣	4.89	4.87	5.04	4.88	4.89	4.94	4.87	4.95	4.96	4.90
氯化鋇	5.25	5.22	5.15	5.13	5.06	5.15	5.18	5.10	5.08	5.07
氯化亞鈷	5.42	5.61	5.30	5.65	5.83	5.49	5.55	5.82	5.85	5.39
硫酸銅	5.25	5.03	5.21	5.17	5.19	5.00	5.17	5.12	5.22	5.06
硫酸鋅	5.59	5.15	5.90	5.54	5.55	5.48	5.60	5.54	5.49	5.46

附錄十二、靜置 90 分鐘的海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

氯化鈣	4.70	4.61	4.54	4.76	4.59	4.41	4.52	4.61	4.70	4.74
氯化鋇	4.70	4.67	4.84	4.78	4.85	4.99	5.03	4.95	5.05	4.85
氯化亞鈷	5.76	5.60	5.88	5.66	5.60	5.87	5.67	5.85	5.51	5.67
硫酸銅	5.16	4.92	5.00	5.11	5.00	5.02	4.98	5.28	4.95	5.02
硫酸鋅	5.32	5.19	5.19	5.17	5.13	5.25	5.21	5.17	5.23	5.14

附錄十三、靜置 120 分鐘的海藻酸鈉晶球之直徑

單位：mm

氯化鈣	4.62	4.57	4.31	4.53	4.71	4.68	4.61	4.56	4.52	4.47
氯化鋇	4.98	4.88	4.90	5.11	4.91	4.93	5.12	5.04	4.63	4.84
氯化亞鈷	5.34	5.55	5.44	5.22	5.11	5.12	5.32	5.28	5.10	5.48
硫酸銅	4.98	4.90	4.98	4.92	4.93	5.02	4.95	5.03	5.11	5.05
硫酸鋅	5.11	4.96	4.99	5.21	4.88	5.15	5.13	5.14	5.06	4.98

附錄十四、海藻酸鈉晶球在酸性溶液(pH2.0~3.0)中浸泡一天後的直徑

單位：mm

氯化鈣	4.87	4.82	4.83	4.82	4.99	5.03	5.25	4.86	4.77	4.88
氯化鋇	4.61	4.25	4.46	4.28	4.60	4.36	4.45	4.37	4.41	4.44
氯化亞鈷	6.06	6.09	6.70	6.17	6.06	6.32	6.18	6.05	6.21	6.23
硫酸銅	4.50	4.49	4.57	4.73	4.56	4.46	4.29	4.53	4.27	4.35
硫酸鋅	5.76	5.31	5.59	5.64	5.70	5.86	5.94	5.70	5.91	5.83

附錄十五、海藻酸鈉晶球在中性溶液(pH7.0)中浸泡一天後的直徑

單位：mm

氯化鈣	4.98	4.93	4.86	5.02	5.11	5.14	5.28	5.14	4.95	5.12
氯化鋇	4.61	4.59	4.62	4.49	4.85	4.68	4.71	4.50	4.55	4.67
氯化亞鈷	6.37	6.24	6.16	6.12	6.27	6.27	6.22	6.03	6.06	6.19
硫酸銅	4.85	4.88	4.74	4.95	4.87	4.75	4.50	4.65	4.75	4.89
硫酸鋅	5.29	5.44	5.58	5.50	5.34	5.74	5.16	5.31	5.06	5.30

附錄十六、海藻酸鈉晶球在鹼性溶液(pH11.0~12.0)中浸泡一天後的直徑

單位：mm

氯化鈣	5.02	4.97	4.96	4.95	5.24	5.14	5.31	5.28	5.30	5.11
氯化鋇	4.60	4.52	4.80	4.72	4.83	4.70	4.58	4.57	4.60	4.65
氯化亞鈷	6.61	6.69	6.28	6.38	6.04	6.38	6.37	6.26	6.11	6.03
硫酸銅	5.03	5.21	4.74	4.95	4.87	4.75	4.50	4.65	4.75	4.89
硫酸鋅	4.90	5.28	5.15	5.23	5.42	5.36	5.48	5.37	5.36	5.49

【評語】 030221

作品採用的金屬離子大多危害人體，建議針對 Ca^{2+} 形成的晶球
模擬不同人體環境進行研究。