

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 化學科

佳作

080201

吃我一顆水球-探討無瓶水製造方式和性質檢測

學校名稱：新北市私立及人國民小學

作者： 小六 廖哲立 小六 隋典融 小六 陳俊豪	指導老師： 吳俊良 賴明煜
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：海藻酸鈉、乳酸鈣、氯化鈣

## 摘要

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

當飲完無瓶水後，水球膜在自然環境下日漸分解不占空間也不汙染環境。希望無瓶水的研討能喚起環保概念，減少塑膠瓶使用。

## 壹、研究動機

我們曾經在電視上看過一則新聞，說到英國有三名學生，合力發明了一種可食用的水球Ooho，以海藻酸鈉取代塑膠製作而成的水瓶，利用海藻酸鈉和氯化鈣製成外層的膜包住飲用水，能減少我們環境的負擔與垃圾的數量，在我們的生活中，許多東西的包裝都要用到保特瓶，利用這個，就能捨棄保特瓶，用這種環保水球來裝水，既環保，又很實用，而且還是可生物分解、衛生、又很便宜的好物。

現在我們用的保特瓶，有太多的問題，包括分解所需的時間、生產所需越用越多，造成環境污染的問題，這種節省空間與環保的飲用水球，完全是劃時代的設計！不過，在新聞中，簡單的介紹與描述，並沒有詳細的做法與說明，於是我們便想自己來動手做做看，並不斷的探討與實驗，探討出無瓶水的有效製作過程以及如何保存和各項的檢測，讓我們的生活飲用水更實用與環保。

## 貳、研究目的

為了進一步了解無瓶水的製作與應用，所以本研究目的有三點如下：

一、探討無瓶水的製作過程。

(一) 海藻酸鈉水溶液浸置氯化鈣水溶液中。

(二) 冰塊(純水)先泡海藻酸鈉水溶液再浸製氯化鈣水溶液中。

(三) 製成氯化鈣冰塊再泡進海藻酸鈉水溶液中。

(四) 改良無瓶水製作的方法。

(五) 不同濃度的水溶液組合來製作無瓶水之比較。

二、研究無瓶水的保存方式。

(一) 自然狀態下，有無浸泡水的無瓶水重量比較。

(二) 浸泡在水裡並且放置冰箱中冷藏的無瓶水。

三、探討無瓶水的各項測試。

(一) 水球膜測試。

(二) 水質測試。

## 參、文獻探討

一、Ooho! (可以吃的水)

英國有三名學生(Rodrigo Garcia Gonzalez, Pierre Paslier and Guillaume Couche)發明出了可食用寶特瓶，他們把這項發明取名為「Ooho」。一種水珠狀的儲水容器，不但成本低、環保易分解，還可以烹煮食用。他們靈感來自於包圍蛋黃的薄膜，這層物質能夠隔絕蛋黃與蛋白，並使蛋黃維持圓形。他們以氯化鈉與藻酸鹽混合，做成加厚球體，用簡單的食材、微薄的成本，就做成了外表膠狀，其內部含水的小水球。這樣的包裝利用天然的海藻製作出來替代的目前塑料瓶裝使用。球形水瓶主要是以方便和便宜，也強韌兼具衛生且可被生物分解，甚至可以食用。其目的是主要減少保特瓶大量被使用而造成環境的污染。



二、spherification (水在薄膜中技術)

目前最早的紀錄出現於西元 1946 年，但在 1980 年代匈牙利物理學家與烹飪學者尼可拉斯·柯提(Nicholas Kurti)將這種表面膠化成球的料理方式，名定為「分子料理學」。後來的西班牙廚師 elBulli 將這種烹飪技術推廣後，才廣為世人所知。

三、海藻酸鈉 (Sodium Alginate)

在西元 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來進行科

學研究。他發現該褐藻酸的提取物具有不同的特性，如它具有濃縮溶液、形成凝膠和成膜的能力。海藻酸鈉微溶於水，溶於水後成黏稠狀液體；海藻酸鈉外觀為白色或淡黃色粉末，幾乎無臭無味且無毒。



#### 四、氯化鈣 (Calcium Chloride)

分子式為  $\text{CaCl}_2$ 。外觀呈現不規則顆粒狀、粉末狀，白色或灰白色。無毒、無臭、味微苦。吸濕性極強，暴露於空氣中極易潮解。當溶於水中時會放出大量的熱，其水溶液呈微鹼性。目前可分為：工業級氯化鈣和食品級氯化鈣。



#### 五、乳酸鈣 (Calcium Lactate)

分子結構簡式為  $[\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}]_2\text{Ca}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 。外觀的呈現白色顆粒或粉末。易溶於水。無臭，無味。常用作營養強化劑的鈣劑，作麵包、糕點等的緩衝劑、膨鬆劑。常作為強化劑它與其他鈣類容易被吸收。也作為藥物使用，可防治缺鈣症。



#### 六、重量百分濃度 (%)

每 100 公克溶液中，所含溶質的公克數，亦是溶液中的溶質所占重量百分比的濃度表示法。重量百分濃度(%) =  $\frac{\text{溶質質量}}{\text{溶液質量}} \times 100\%$

$$= \frac{\text{溶質質量}}{\text{溶質質量} + \text{溶劑質量}} \times 100\%$$

#### 七、總溶解固體量 (Total Dissolved Solids)

水中的溶解無機物和有機物的總量，用來檢測溶解於水中的固體量，也就是水的混濁度；平時所喝的自來水有多少雜質，或是水族箱內水中的雜質量，都可以透過 TDS 測試筆來量測，當數值越高表示水質越髒，這是測量水質最方便快捷的方法，因此是很重要的水質測量項目。純水的 TDS 為 0，RO 水為 10-20ppm。

## 肆、研究器材與材料

器材：

冰箱、燒杯、試管、試管架、塑膠杯、電子秤、小湯匙、大湯匙、攪拌棒、自製測壓力器材、TDS 水質檢測筆、小碟子、鐵盤、塑膠盤、牙籤、廣用試紙、彈簧秤、木夾、製冰盒。

材料：

氯化鈣、乳酸鈣、海藻酸鈉、純水、自來水、肥皂。

## 伍、研究方法與過程

### 一、探討無瓶水的製作過程

#### (一) 海藻酸鈉水溶液浸置氯化鈣水溶液中

1. 分別調配 1%海藻酸鈉水溶液和 0.5%、1%氯化鈣水溶液。
2. 利用湯匙舀起海藻酸鈉水溶液放進氯化鈣水溶液中，浸置數分鐘後取出。
3. 觀察兩天後，利用牙籤觀察球狀物的情形。



調配 1%海藻酸鈉水溶液



將海藻酸鈉放進氯化鈣水溶液中



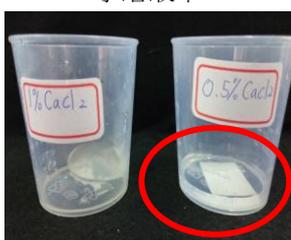
撈起形成球狀物



形成晶瑩剔透的含水球狀物



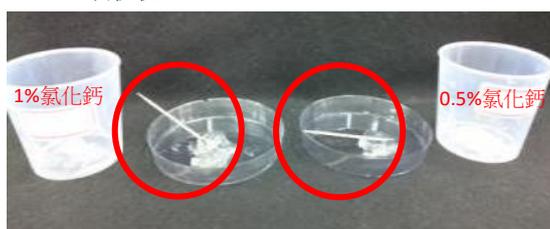
第一天的觀察情形



第二天發現 0.5%已不是球形狀



第二天實驗操作，利用牙籤分別插進球狀物做比較



牙籤插入後，傾斜的角度不同

(二) 冰塊(純水)先泡海藻酸鈉水溶液再浸製氯化鈣水溶液中

1. 將飲用水中倒入製冰盒，再放進冰箱冷凍庫中等待結冰。
2. 分別調配 1%海藻酸鈉水溶液和 1%氯化鈣水溶液。
3. 先將冰塊泡進海藻酸鈉水溶液，並緩慢地攪拌，再利用湯匙舀起泡進氯化鈣水溶液中且緩慢地攪拌讓海藻酸鈉能形成薄膜。



把冰塊泡入海藻酸鈉



利用湯匙攪拌並重複淋海藻酸鈉在冰塊上



把冰塊撈起來



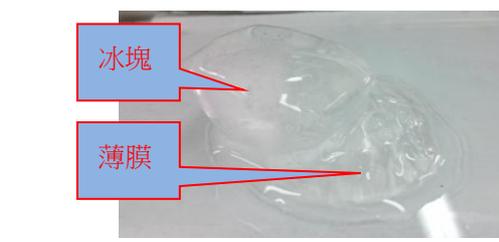
把泡過海藻酸鈉的冰塊放入氯化鈣水溶液



等待並觀察膜的情形



把浸泡後的冰塊撈出來發現膜完全脫落



近距離觀察發現膜是結在冰塊外，應該是在氯化鈣水溶液時海藻酸鈉已離開冰塊外層而導致失敗

(三) 製成氯化鈣冰塊再泡進海藻酸鈉水溶液中

1. 調配 1%氯化鈣水溶液並倒進製冰盒中再放進冰箱冷凍庫中等待結冰。
2. 調配 0.5%和 1%海藻酸鈉水溶液。
3. 將氯化鈣冰塊浸置海藻酸鈉水溶液中並緩慢攪拌，等待薄膜的形成再取出。
4. 利用廣用試紙測試其酸鹼性。



調配氯化鈣水溶液



將氯化鈣水倒入製冰盒



放入冰箱並等待結冰



冰放進海藻酸鈉水溶液



慢慢攪拌及澆淋



有膜並拿出放進清水裡



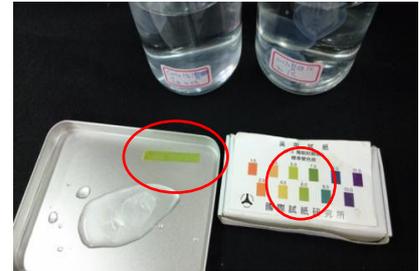
等待薄膜中的冰塊融化



完全融化後的情形



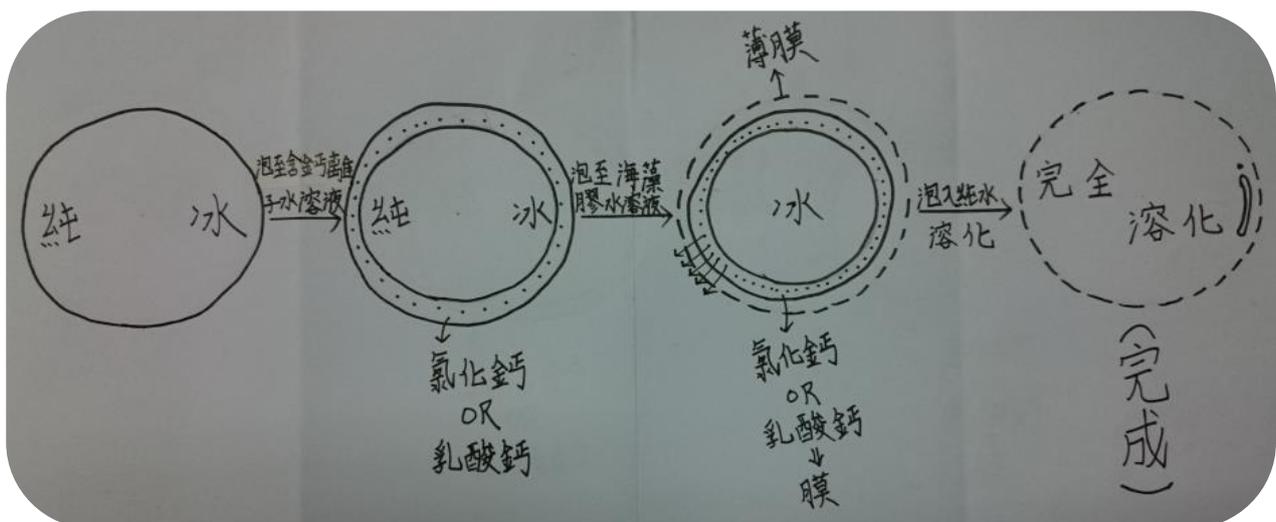
用廣用試紙測試無瓶水的酸鹼性



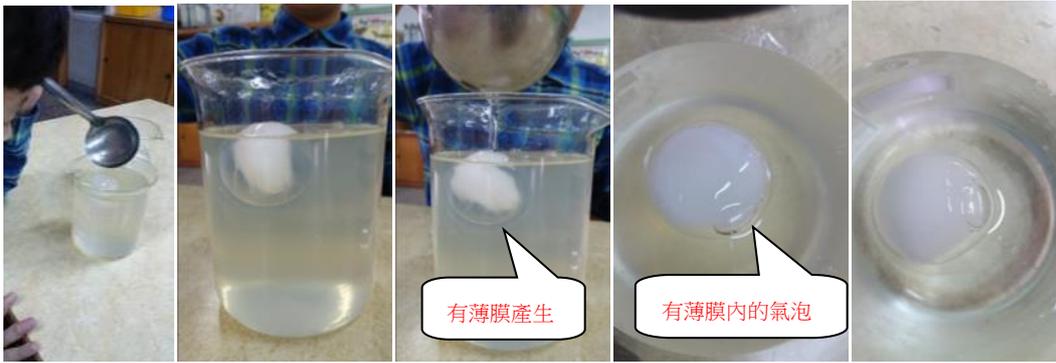
比色後接近 PH 6.0

#### (四) 改良無瓶水製作的方法

1. 將飲用水倒入球型製冰盒中，再放入冰箱製成冰球。
2. 調配氯化鈣（或乳酸鈣）水溶液。
3. 冰箱取出冰球放置純水中並在製冰盒中注入少量氯化鈣（或乳酸鈣）水溶液。最後把冰球放回製冰盒中放冰箱。
4. 調配海藻酸鈉水溶液。
5. 從冰箱取出已泡過氯化鈣冰球放進海藻酸鈉水溶液中，利用勺子不斷澆淋冰球。
6. 當冰球開始形成薄膜後撈出，並泡進水中，等待冰球完全融化。



無瓶水的冰塊製作流程圖



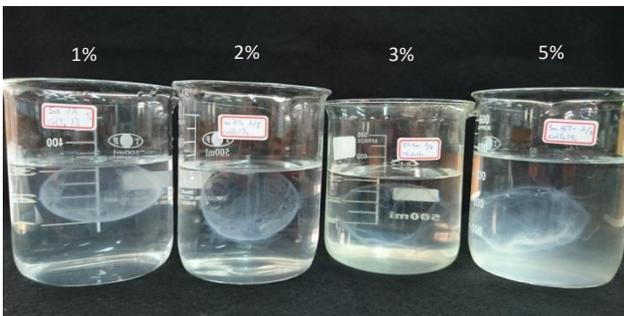
將冰球（表面含鈣）放入海藻酸鈉水溶液中並緩慢地澆淋它，直到有薄膜形成



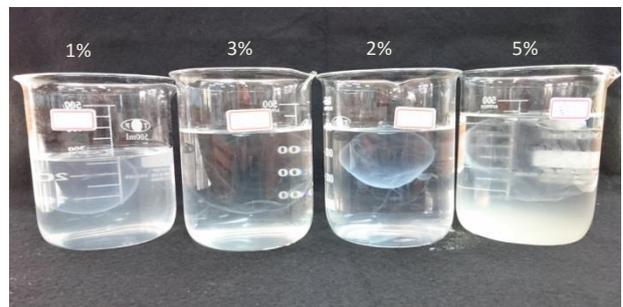
撈出後泡於純水中，等待冰塊完全融化

### （五）不同濃度的水溶液組合來製作無瓶水之比較

我們利用各種不同水溶液濃度組合來製作無瓶水球之成功機率比較



1%氯化鈣與不同濃度海藻酸鈉所製作的無瓶水



2%乳酸鈣與不同濃度海藻酸鈉所製作的無瓶水



1%氯化鈣與 3%海藻酸鈉製造無瓶水過程

○：表示較容易形成無瓶水；△：表示成功機率不高；×：表示不易製作出無瓶水

含鈣水溶液 濃度		氯化鈣水溶液		乳酸鈣水溶液		
		0.5%	1%	0.5%	1%	2%
海藻酸鈉水溶液	0.5%	△	○	×	×	△
	1%	△	○	×	△	○
	2%	△	○	△	△	○
	3%	×	△	×	×	×
	5%	×	×	×	×	×

## 二、研究無瓶水的保存方式

將製造好的無瓶水球，透過不同的方式來保存無瓶水並每 8 小時觀察記錄其重量。

(一) 自然狀態下，有無浸泡水的無瓶水重量比較



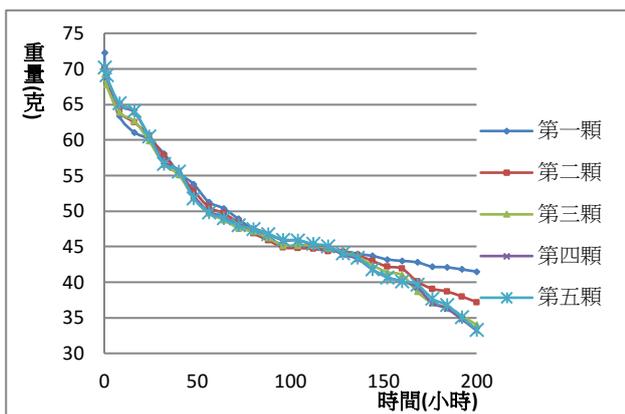
每八小測量一次無瓶水的重量並記錄



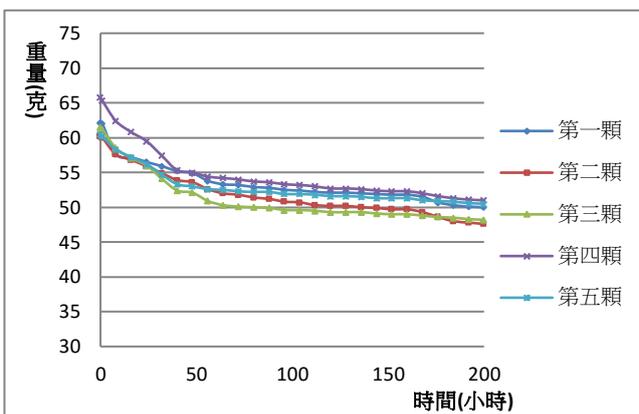
將做好的無瓶水泡入水中，並每八小時測量一次重量

1.觀察 1%海藻酸鈉溶液與 1%氯化鈣水溶液所製成的無瓶水球並每 8 小時紀錄其重量。

重 量 小 時	次 數	未泡水					泡水中				
		第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆
0		72.3	70.1	69.2	70.1	70.2	62.1	60.2	61.5	65.8	60.5
1		68.9	68.3	67.8	68.9	69.1	62.0	60.0	61.2	65.3	60.2
8		63.4	64.0	63.9	65.0	65.2	57.6	57.6	58.5	62.4	58.3
16		61.1	62.5	62.7	63.9	64.1	57.2	56.8	57.1	60.8	57.2
24		60.1	60.6	59.9	60.6	60.5	56.5	55.9	56.0	59.5	56.2
32		58.1	57.8	56.6	57.0	56.7	55.9	54.9	54.1	57.4	54.7
40		55.4	55.4	55.1	55.7	55.6	55.2	53.9	52.4	55.3	53.3
48		53.8	52.9	51.9	52.2	51.8	54.9	53.6	52.1	55.0	53.0
56		51.3	50.6	49.7	50.0	49.8	53.8	52.6	50.9	54.4	52.6
64		50.4	49.7	48.8	49.2	49.0	53.3	52.0	50.3	54.2	52.5
72		48.9	48.4	47.6	48.1	48.0	53.2	51.8	50.1	54.0	52.3
80		47.4	46.9	47.1	47.6	47.5	52.9	51.4	50.0	53.7	52.2
88		46.3	45.9	46.2	46.8	46.8	52.8	51.2	49.9	53.6	52.2
96		45.2	44.9	45.2	45.9	46.0	52.5	50.8	49.6	53.3	51.9
104		45.0	44.8	45.2	45.9	45.9	52.4	50.7	49.6	53.2	51.9
112		45.0	44.7	45.2	45.3	45.4	52.2	50.3	49.5	53.0	51.8
120		44.6	44.4	44.8	45.0	45.1	52.1	50.2	49.3	52.7	51.6
128		44.4	44.3	44.2	43.9	44.1	52.1	50.2	49.3	52.7	51.6
136		44.0	43.8	43.6	43.3	43.5	52.0	50.0	49.3	52.6	51.5
144		43.7	43.0	42.4	41.8	41.8	51.9	49.9	49.1	52.4	51.3
152		43.2	42.2	41.4	40.7	40.7	51.8	49.7	49.0	52.3	51.3
160		43.0	41.9	41.0	40.1	40.1	51.8	49.7	49.0	52.3	51.3
168		42.8	40.1	38.7	39.3	39.7	51.5	49.3	48.8	52.0	51.0
176		42.2	39.1	37.1	37.1	37.7	50.7	48.6	48.6	51.6	50.9
184		42.1	38.7	36.5	36.3	36.8	50.3	48.0	48.5	51.3	50.8
192		41.8	38.0	35.3	34.8	35.1	50.1	47.8	48.3	51.1	50.6
200		41.5	37.2	34.0	33.2	33.3	50.0	47.6	48.2	51.0	50.5



未泡水的無瓶水觀察記錄圖

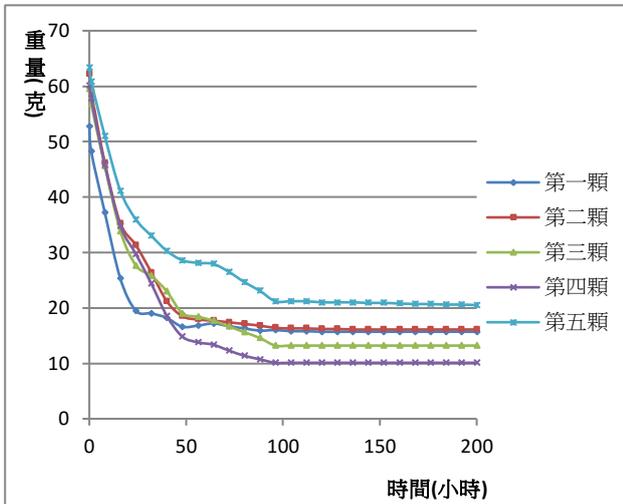


泡水的無瓶水觀察記錄圖

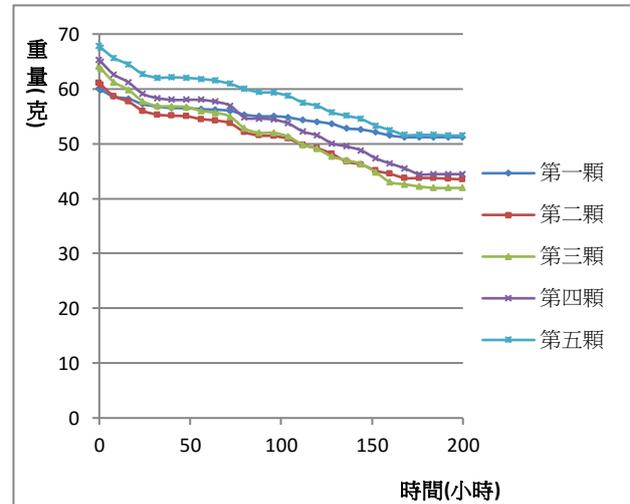
2. 觀察 1%海藻酸鈉溶液與 2%乳酸鈣水溶液所製成的無瓶水球並每 8 小時紀錄其重量。

重 量 小 時	次 數	未泡水					泡水中				
		第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆
0		52.7	62.2	59.5	60.1	63.4	60	61.1	64.1	65.3	67.8
1		48.2	59.0	56.7	57.8	60.9	59.8	60.7	63.7	64.9	67.5
8		37.2	46.2	45.6	45.8	51.0	58.6	58.7	61.2	62.6	65.6
16		25.3	35.2	33.9	34.8	41.1	58.2	57.7	59.8	61.2	64.4
24		19.5	31.3	27.7	29.7	36.0	57.2	56.0	57.7	59.1	62.7
32		19.0	26.4	25.8	24.4	33.0	56.8	55.3	56.9	58.3	62.1
40		18.2	21.2	23.0	18.6	30.3	56.5	55.1	56.8	58.0	62.1
48		16.6	18.5	19.0	14.8	28.6	56.5	55.0	56.7	58.0	62.0
56		16.8	17.9	18.4	13.8	28.1	56.3	54.5	56.0	58.0	61.8
64		17.2	17.7	17.7	13.4	27.9	56.2	54.2	55.6	57.6	61.5
72		16.7	17.4	16.7	12.3	26.5	56	53.7	54.9	56.9	60.9
80		16.3	17.1	15.6	11.4	24.7	55.3	52.1	52.8	54.8	60.0
88		15.9	16.8	14.6	10.7	23.1	55	51.5	52.0	54.6	59.4
96		16	16.4	13.2	10.1	21.2	55	51.4	52.0	54.4	59.3
104		15.8	16.3	13.2	10.1	21.2	54.8	50.9	51.3	53.7	58.7
112		15.8	16.3	13.2	10.1	21.2	54.3	49.8	49.8	52.2	57.5
120		15.7	16.2	13.2	10.1	21	54.0	49.2	49.0	51.5	56.9
128		15.7	16.2	13.2	10.1	21	53.6	48.2	47.6	50.1	55.7
136		15.7	16.1	13.2	10.1	21	52.8	46.7	47.0	49.5	55.1
144		15.7	16.1	13.2	10.1	20.9	52.6	46.2	46.3	48.8	54.5
152		15.7	16.1	13.2	10.1	20.9	52.1	45.1	44.8	47.3	53.3
160		15.7	16.1	13.2	10.1	20.8	51.5	44.5	43.0	46.4	52.5

168	15.7	16.1	13.2	10.1	20.7	51.2	43.7	42.6	45.5	51.6
176	15.7	16.1	13.2	10.1	20.7	51.2	43.7	42.2	44.5	51.6
184	15.7	16.1	13.2	10.1	20.6	51.2	43.7	41.9	44.5	51.6
192	15.7	16.1	13.2	10.1	20.6	51.2	43.6	41.9	44.5	51.5
200	15.7	16.1	13.2	10.1	20.5	51.2	43.5	41.9	44.5	51.5



未泡水的無瓶水觀察記錄圖



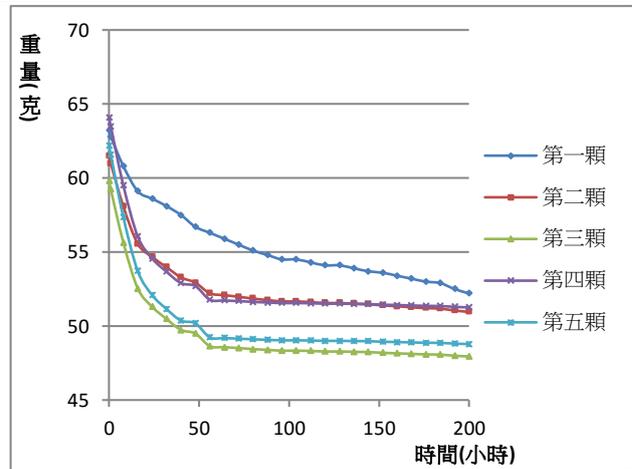
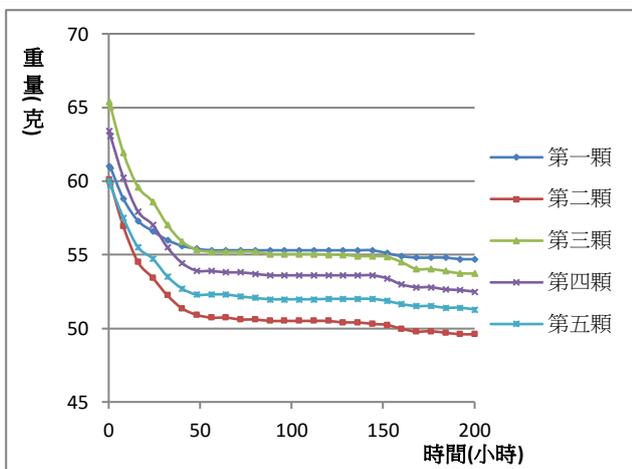
泡水的無瓶水觀察記錄圖

(二) 浸泡在水裡並且放置冰箱中冷藏的無瓶水

觀察 1%海藻酸鈉溶液與不同含鈣水溶液所製成的無瓶水球並每 8 小時紀錄其重量。

重 量 小 時	次 數	1%氯化鈣					2%乳酸鈣				
		第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆
0		61.0	60.1	65.4	63.4	60.0	63.2	61.5	59.8	64.1	62.2
1		60.9	59.8	65.0	63.0	59.7	62.8	61.0	59.2	63.5	61.6
8		58.8	56.9	61.9	60.2	57.5	60.8	58.1	55.6	59.5	57.3
16		57.3	54.5	59.6	57.9	55.5	59.1	55.6	52.5	56.0	53.7
24		56.6	53.4	58.6	57.0	54.7	58.6	54.7	51.3	54.6	52.1
32		56.0	52.2	57.0	55.5	53.5	58.1	54.0	50.5	53.7	51.1
40		55.6	51.4	55.9	54.4	52.7	57.5	53.3	49.7	52.9	50.4
48		55.4	50.9	55.3	53.9	52.3	56.7	52.9	49.5	52.7	50.2
56		55.3	50.7	55.2	53.9	52.3	56.3	52.2	48.6	51.8	49.2
64		55.3	50.7	55.2	53.8	52.3	55.9	52.1	48.6	51.7	49.2
72		55.3	50.6	55.2	53.8	52.2	55.5	52.0	48.5	51.7	49.1
80		55.3	50.6	55.2	53.7	52.1	55.1	51.9	48.4	51.6	49.1
88		55.3	50.5	55.0	53.6	52.0	54.8	51.8	48.4	51.6	49.1
96		55.3	50.5	55.0	53.6	52.0	54.5	51.7	48.3	51.6	49.0

104	55.3	50.5	55.0	53.6	52.0	54.5	51.7	48.3	51.6	49.0
112	55.3	50.5	55.0	53.6	52.0	54.3	51.6	48.3	51.5	49.0
120	55.3	50.5	55.0	53.6	52.0	54.1	51.6	48.3	51.5	49.0
128	55.3	50.4	55.0	53.6	52.0	54.1	51.6	48.3	51.5	49.0
136	55.3	50.4	54.9	53.6	52.0	53.9	51.5	48.3	51.5	49.0
144	55.3	50.3	54.9	53.6	52.0	53.7	51.5	48.2	51.5	49.0
152	55.1	50.2	54.9	53.4	51.9	53.6	51.4	48.2	51.4	48.9
160	54.9	50.0	54.5	53.0	51.6	53.4	51.3	48.2	51.4	48.9
168	54.8	49.8	54.0	52.8	51.5	53.2	51.3	48.1	51.4	48.9
176	54.8	49.8	54.0	52.8	51.5	53.0	51.2	48.1	51.4	48.9
184	54.8	49.7	53.9	52.6	51.4	52.9	51.2	48.1	51.3	48.9
192	54.7	49.6	53.7	52.6	51.4	52.5	51.0	48.0	51.3	48.8
200	54.7	49.6	53.7	52.5	51.3	52.2	51.0	47.9	51.3	48.8



### 三、研究無瓶水的各項檢測

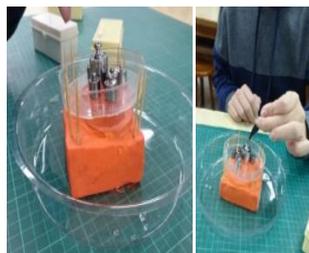
#### (一) 水球膜測試

##### 1. 球膜耐壓測試

利用自製測試壓力器材（黏土為基座底；玻璃片為接觸面積；牙籤主要固定玻璃片）並在玻璃片上放置砝碼來模擬無瓶水球可承受多少的擠壓力。



將水球放入壓力器裡並放入砝碼



放上更多砝碼，水球承受更多的重力

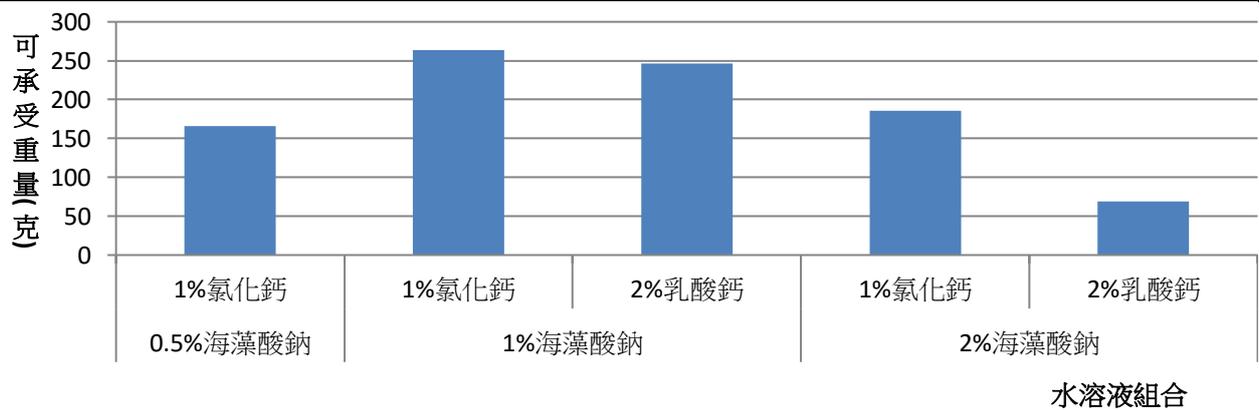


水球破裂，水全溢出來



測量水球所能承受的  
重量

重量 (克) 次數	水溶液	0.5%海藻酸鈉			1%海藻酸鈉		2%海藻酸鈉	
		1%氯化鈣	1%氯化鈣	2%乳酸鈣	1%氯化鈣	2%乳酸鈣	1%氯化鈣	2%乳酸鈣
第一次		168.2	257.5	247.6	189.9	77.7		
第二次		168.7	263.7	252.8	186.2	57.9		
第三次		160.7	266.1	236.8	186.5	67.8		
第四次		167.8	265.4	248.5	180.2	70.5		
第五次		163.4	264.9	244.3	183.4	72.3		
平均值		165.7	263.5	246.0	185.2	69.2		
標準差		3.53	3.48	5.97	3.64	7.30		



## 2. 水平拉力測試

自製彈簧秤拉力器用木夾來夾住無瓶水球膜兩邊並固定一邊彈簧秤而拉動另一邊彈簧秤並觀察記錄彈簧秤的數據，測試不同濃度所製造出的無瓶水球膜可承受多少的水平拉力。

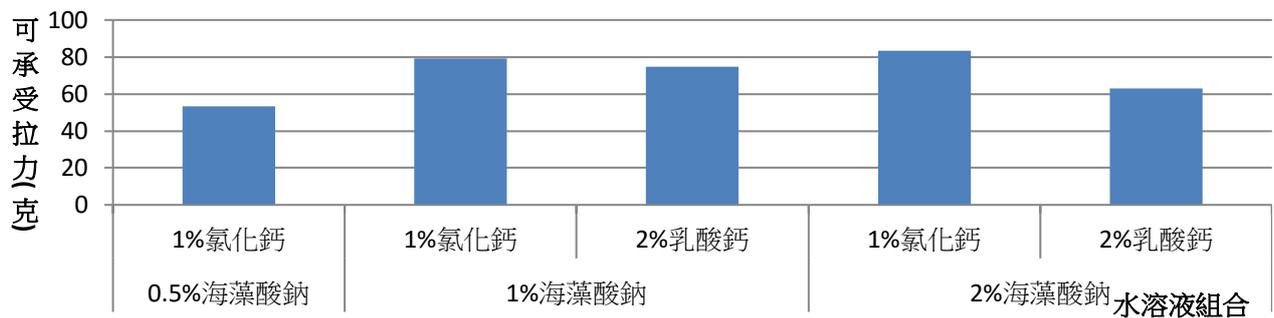


準備一顆水球，兩端各夾上一個木夾



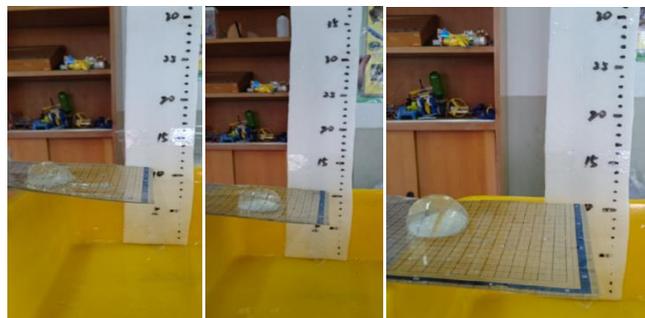
抓著一端，另一端往後拉，水球破掉時，觀察記錄水球能承受的水平拉力。

重量 (克) 次數	水溶液	0.5%海藻酸鈉			1%海藻酸鈉		2%海藻酸鈉	
		1%氯化鈣	1%氯化鈣	2%乳酸鈣	1%氯化鈣	2%乳酸鈣	1%氯化鈣	2%乳酸鈣
第一次		51	78	76	85	61		
第二次		52	78	74	80	65		
第三次		56	79	73	84	62		
第四次		55	80	75	81	62		
第五次		53	81	75	86	64		
平均值		53.4	79.2	74.6	83.2	62.8		
標準差		2.07	1.30	1.14	2.59	1.64		



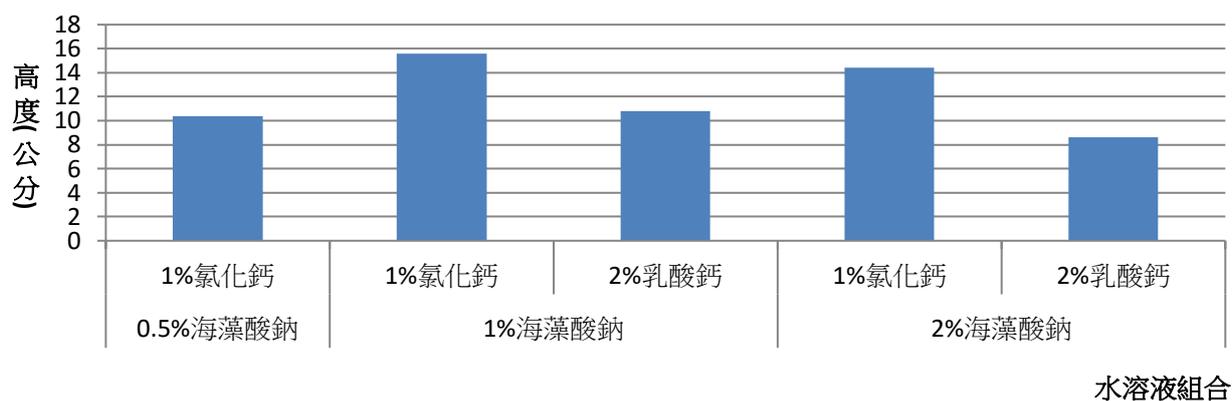
### 3. 自由落體測試

利用高度不同自由落體掉落於大型塑膠盒來測試無瓶水球可承受耐摔的程度比較。



平放一定高度後，輕推水球掉落於大塑膠盒裡，並觀察水球是否破裂

高度 (cm) 次數	水溶液	0.5%海藻酸鈉			1%海藻酸鈉		2%海藻酸鈉	
		1%氯化鈣	1%氯化鈣	2%乳酸鈣	1%氯化鈣	2%乳酸鈣	1%氯化鈣	2%乳酸鈣
第一次		10	15	10	13	8		
第二次		9	14	10	15	9		
第三次		11	16	10	15	8		
第四次		12	18	11	15	8		
第五次		10	15	13	14	10		
平均值		10.4	15.6	10.8	14.4	8.6		
標準差		1.14	1.52	1.30	0.89	0.89		



#### 4. 觀察無瓶水球膜在自然環境下脫水情形

將球膜靜置於自然環境下（學校三樓女兒牆上）並每天固定時間觀察天氣狀況及球膜的變化狀況並量其重量；塑膠圓形盤含標籤紙的重量約 4 克重。

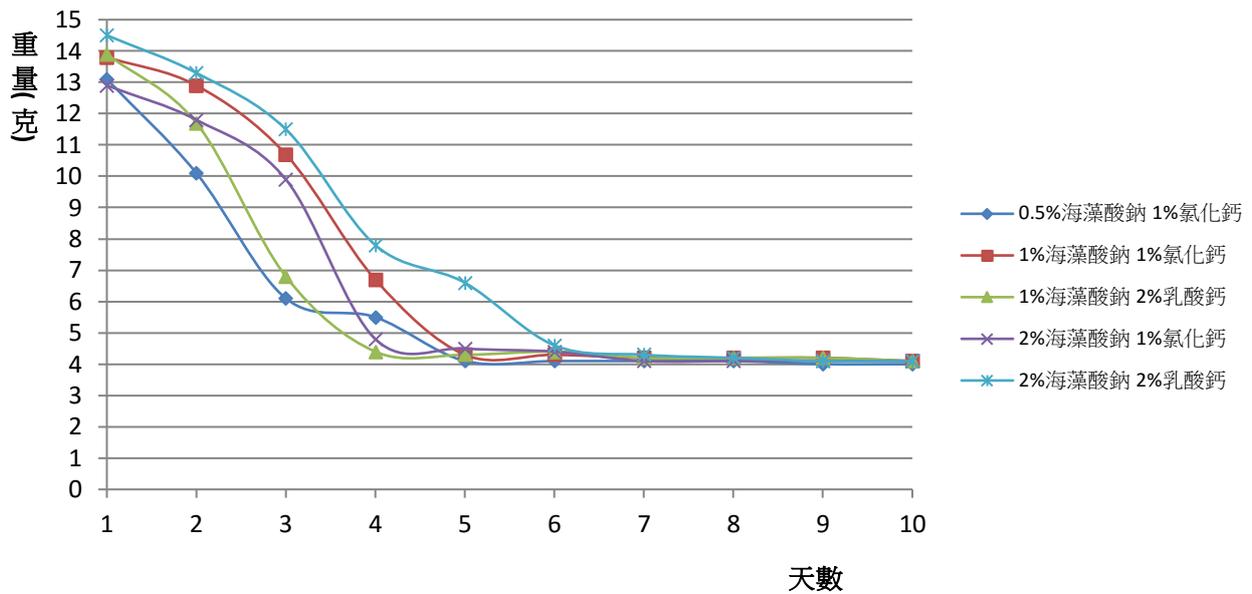


每天在同時間觀察球膜的變化情形



發現含水的球膜日漸變成乾燥又脆弱的薄膜

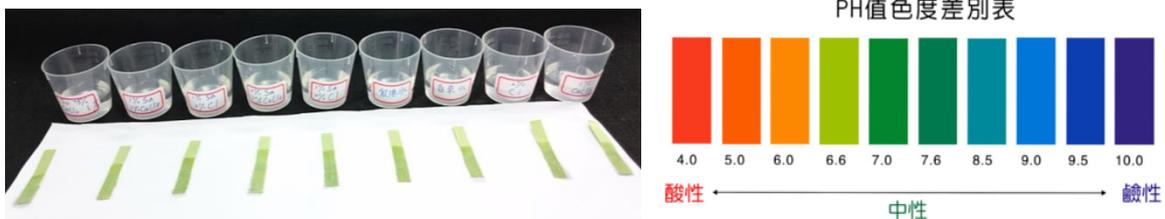
重量 (克) 天候	水溶液	1%海藻酸鈉			2%海藻酸鈉	
		0.5%海藻酸鈉	1%氯化鈣	2%乳酸鈣	1%氯化鈣	2%乳酸鈣
第 1 天/陰雨		13.1	13.8	13.9	12.9	14.5
第 2 天/陰天		10.1	12.9	11.7	11.8	13.3
第 3 天/陰雨		6.1	10.7	6.8	9.9	11.5
第 4 天/陰晴		5.5	6.7	4.4	4.8	7.8
第 5 天/晴天		4.1	4.3	4.3	4.5	6.6
第 6 天/陰雨		4.1	4.3	4.4	4.4	4.6
第 7 天/陰雨		4.1	4.2	4.2	4.1	4.3
第 8 天/陰晴		4.1	4.2	4.2	4.1	4.2
第 9 天/晴天		4.0	4.2	4.2	4.1	4.1
第 10 天/晴天		4.0	4.1	4.1	4.1	4.1



## (二) 水質測試

### 1. 酸鹼性 (度) 測試

- (1) 分別取各種不同濃度水溶液及不同濃度所製作無瓶水的水 5ml，並用廣用試紙來檢驗比較水的酸鹼性並觀察其顏色變化。
- (2) 利用 PH 測試筆來多次檢驗以確認各種水質的酸鹼性數值，並與廣用試紙所判別做比較確認水質的酸鹼度。

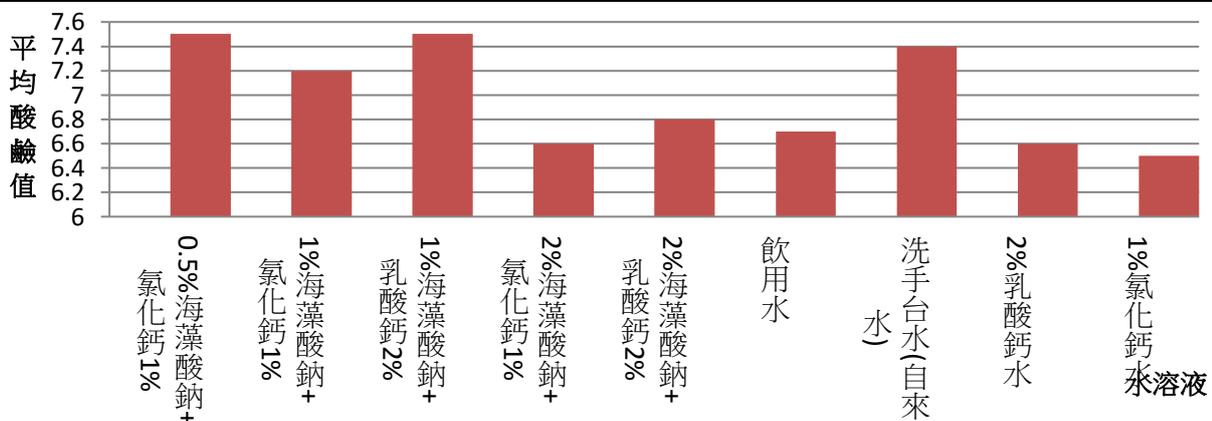


廣用試紙檢驗各種水溶液



利用 PH 測試筆來檢驗各種水溶液

水溶液 測試	0.5%海藻酸鈉	1%海藻酸鈉		2%海藻酸鈉		飲用水	洗手台水(自來水)	2%乳酸鈣水	1%氯化鈣水
	氯化鈣	氯化鈣	乳酸鈣	氯化鈣	乳酸鈣				
	1%	1%	2%	1%	2%				
廣用試紙									
廣用試紙判定範圍	7.0~7.6	7.0~7.6	7.0~7.6	6.6~7.0	6.6~7.0	7.0	7.0	6.6	6.6~7.0
PH 測試筆 (第一次)	7.5	7.2	7.5	6.7	6.7	6.8	7.4	6.6	6.5
PH 測試筆 (第二次)	7.5	7.3	7.5	6.7	6.8	6.7	7.5	6.6	6.5
PH 測試筆 (第三次)	7.6	7.2	7.5	6.6	6.8	6.6	7.5	6.5	6.6
PH 測試筆 (第四次)	7.5	7.2	7.4	6.5	6.7	6.8	7.4	6.6	6.5
PH 測試筆 (第五次)	7.5	7.3	7.5	6.6	6.8	6.6	7.4	6.6	6.5
平均值	7.5	7.2	7.5	6.6	6.8	6.7	7.4	6.6	6.5
標準差	0.04	0.05	0.04	0.08	0.05	0.10	0.05	0.04	0.04

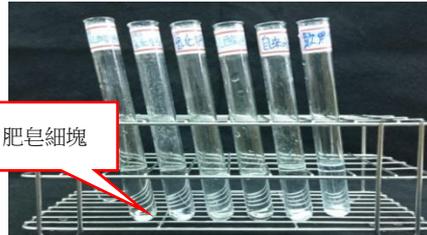


## 2. 軟硬水測試

- (1) 我們利用肥皂細塊經過搖晃後起泡程度來檢驗水質的軟硬性。因肥皂遇到較多鈣、鎂離子時會不易起泡而降低肥皂的洗淨效果進而形成所謂的皂垢。
- (2) 利用總硬度測試劑來滴定各種水溶液並換算其濃度，並與肥皂起泡程度來做比較確認。



填裝各種水質

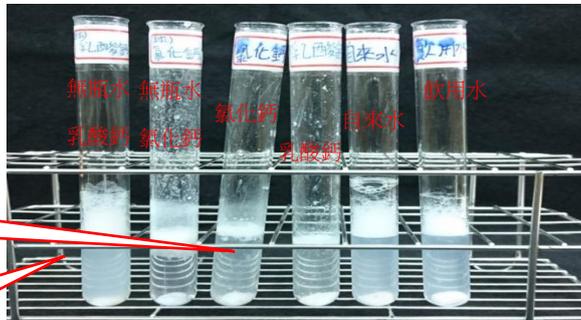


肥皂細塊

各試管中分別放入 0.1 克的肥皂細塊

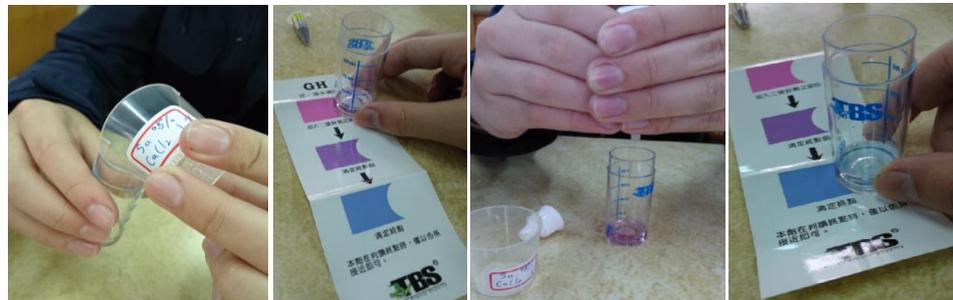


每試管經搖晃 20 下



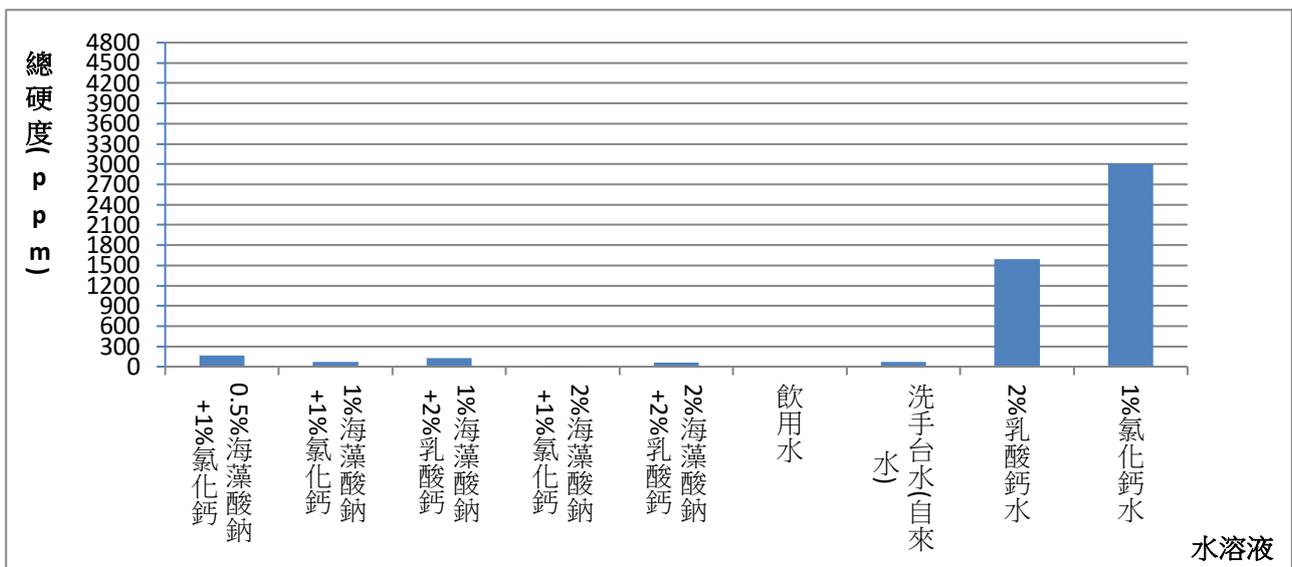
皂垢現象

起泡程度



水 溶 液 測 試	0.5%海藻 酸鈉	1%海藻酸鈉		2%海藻酸鈉		飲用水	洗手台 水(自 來水)	2%乳酸 鈣水	1%氯化 鈣水
	氯化鈣	氯化鈣	乳酸鈣	氯化鈣	乳酸鈣				
	1%	1%	2%	1%	2%				
肥皂起泡 程度	微量泡沫	微量泡沫	微量泡沫	多量泡沫	多量泡沫	多量泡沫	多量泡沫	無泡沫	無泡沫
第一次滴數	13	10	6	2	3	1	3	264	234
第二次滴數	13	10	6	2	3	1	3	264	234
第三次滴數	12	10	6	2	3	1	3	265	235
第四次滴數	13	10	5	2	3	1	3	266	233
第五次滴數	13	10	6	2	3	1	3	266	234
平均滴數	12.8	10	5.8	2	3	1	3	265	234
標準差	0.4	0	0.4	0	0	0	0	0.89	0.63
換算平均 總硬度 (ppm)	227.84	178	103.24	35.6	53.4	17.8	53.4	4717	4165.2

1 滴數表示 GH(總硬度)為 17.8ppm



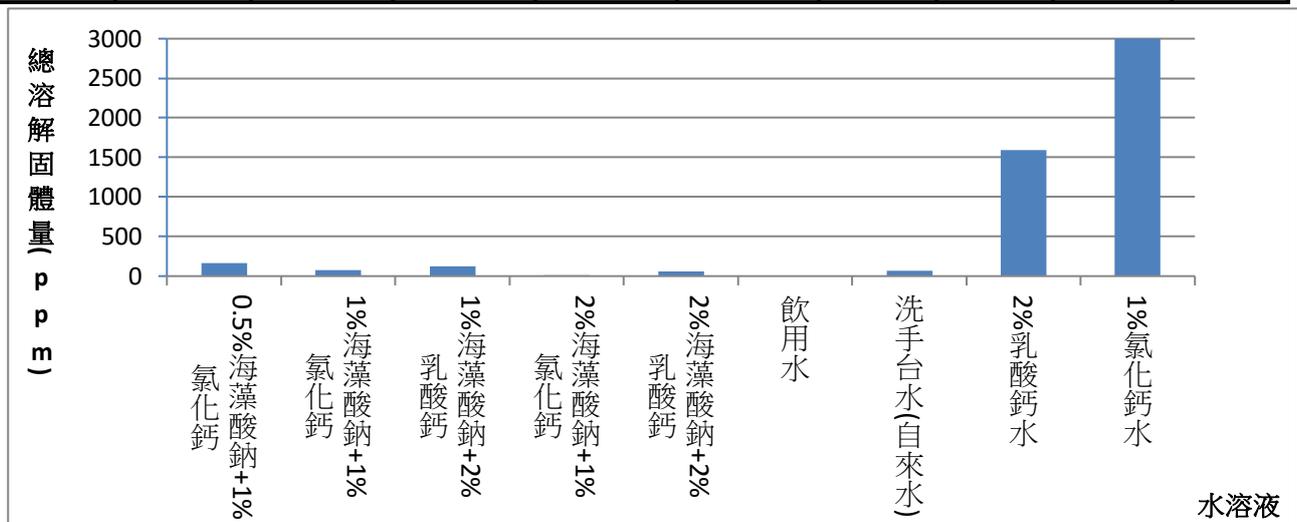
### 3. 總溶解固體量 (TDS) 測試

依據「飲用水水質標準」有針對飲用水與包裝水有規定最大限值。我們利用 TDS 水質檢測筆來檢驗製作出無瓶水與各種不同水溶液的總溶解固體量 (ppm)。



水 溶 液 測 試	0.5%海 藻酸鈉	1%海藻酸鈉		2%海藻酸鈉		飲用 水	洗手 台水 (自來 水)	2%乳 酸鈣 水	1%氯 化鈣 水
	氯化鈣	氯化鈣	乳酸鈣	氯化鈣	乳酸鈣				
	1%	1%	2%	1%	2%				
第一次	163	74	129	13	54	0	70	1574	3000 ↑
第二次	160	65	128	10	60	0	71	1607	3000 ↑
第三次	162	85	130	11	63	0	70	1598	3000 ↑
第四次	161	75	128	12	64	0	73	1601	3000 ↑
第五次	162	69	120	8	59	0	72	1584	3000 ↑

平均值	161.6	73.6	127	10.8	60	0	71.2	1592.8	3000 ↑
標準差	1.14	7.54	4	1.92	3.94	0	1.30	13.48	0



## 陸、研究結果與討論

### 一、探討無瓶水的製作過程

#### (一) 海藻酸鈉水溶液浸置氯化鈣水溶液中

1. 發現這個方法根本行不通，雖然會製造出一顆水球出現，但只有小小一顆，發現裡面含水量非常少，搖晃時也不易晃動。
2. 保存期限也很短，過兩天就乾掉了。殘留膠狀物，水蒸發不見。此這個方法不可行！達不到我們的目的。

#### (二) 冰塊先泡海藻酸鈉水溶液再浸製氯化鈣水溶液中

1. 利用方形的冰塊來製作，膜無法包住冰塊，一下子就脫落，無法成功。仔細觀察發現冰塊泡進氯化鈣水溶液後，再到海藻酸鈉水溶液中因冰塊的融化而離開冰塊外層導致失敗。
2. 過程中，冰塊也很快融化，膜就脫離冰塊，漂了出來。有時把冰塊浸泡海藻酸鈉水溶液和氯化鈣水溶液後，發現冰塊上根本沒有膜，這個方法完全不可行。

#### (三) 製成氯化鈣冰塊再泡進海藻酸鈉水溶液中

1. 此方法很容易製作做出一顆水球。用氯化鈣做成的冰塊，融化後裡面的水都是氯化鈣水溶液。

2. 但此方法不可行，水中含鈣離子量太多。而我們想要的是以純水為主為出發點。

#### (四) 改良無瓶水製作的方法

1. 發現方形冰塊能製成膜，但在常因浸泡過程中造成澆淋不均勻而使得球膜剝離。故我們選擇以球形冰塊較易做出來。
2. 製作無瓶水過程，我們嘗試何時將水球撈出最為恰當？發現如讓水球在海藻酸鈉水溶液裡完全冰塊完全融化，水球的膜會變得很厚；當薄膜形成馬上撈出，易有破洞造成水流出。經過多次實驗，原則澆淋過程中，當冰塊融化約原來體積的 $\frac{2}{3}$ （約 3 至 5 分鐘，是氣溫狀況而定）撈出並浸置純水中，等待冰塊完全融化。這樣製作無瓶水球的成功機會比較大。

#### (五) 不同濃度的水溶液組合來製作無瓶水之比較

1. 了解海藻酸鈉的特性後，發現海藻酸鈉水溶液遇到含鈣水溶液會形成固化的半透膜。所以我們除了氯化鈣的使用，我們也選擇乳酸鈣（食品級）來製作無瓶水的原料。
2. 測試各種不同比例的水溶液來製作無瓶水球；經過多次製作實驗後，我們發現當海藻酸鈉水溶液的濃度愈大，濃稠性也愈大。所以冰塊放進海藻酸鈉水溶液中會愈不容易澆淋也就不易形成無瓶水球；也發現氯化鈣水溶液濃度至少要 1% 以上製造無瓶水球與乳酸鈣水溶液濃度至少要 2% 以上才有機會製造成功的無瓶水球。
3. 故我們無瓶水球的製作則選擇以下五種比例調配，作為後續各項實驗測試：

海藻酸鈉	0.5%	1%		2%	
含鈣水溶液	1%氯化鈣	1%氯化鈣	2%乳酸鈣	1%氯化鈣	2%乳酸鈣
水球外觀					
說明	晶瑩剔透，表面沒有任何凸狀物	膜較厚，有彈性，表面沒有凸狀物	薄膜表面有些微小凸狀物，有彈性	薄膜很厚，表面沒有凸狀物，但有些微皺紋	薄膜很厚，表面有許多突狀物

## 二、研究無瓶水的保存方式

### (一) 自然狀態下，有無浸泡水的無瓶水重量比較

1. 經由圖表比較發現不管是氯化鈣或乳酸鈣水溶液製成的無瓶水球，水球泡在純水中均會比未泡水球內的水流失較慢。
2. 我們利用  $\frac{\text{原重量}-200\text{小時後重量}}{\text{原重量}} \times 100\% = \text{無瓶水球的水流失率}(\%)$  來換算得知：

水溶液	氯化鈣 (1%)		乳酸鈣 (2%)	
保存方式	未泡水	泡水	未泡水	泡水
流失率(平均)	49%	20%	75%	27%

3. 由流失率來看，乳酸鈣水溶液所製成的無瓶水球薄膜均比氯化鈣水溶液的無瓶水球薄膜更易因內外壓力不同而滲透出來。

### (二) 浸泡在水裡並且放置冰箱中冷藏的無瓶水

1. 我們發現無瓶水在保存的 50 個小時前 (約兩天時間) 水的流失率比較大；之後觀察無瓶水的流失率變得趨緩。
2. 換算無瓶水的水流失率 (%)

水溶液	氯化鈣 (1%)	乳酸鈣 (2%)
流失率 (平均)	15%	19%

3. 研究發現無瓶水浸泡在水中且低溫冷藏更能降低無瓶水的流失，保存得更久。

## 三、研究無瓶水的各項檢測

### (一) 水球膜測試

#### 1. 耐壓測試

(1) 經過測試結果如下：

1%氯化鈣	1%海藻酸鈉水溶液 > 2%海藻酸鈉水溶液 > 0.5%海藻酸鈉水溶液
2%乳酸鈣	1%海藻酸鈉水溶液 > 2%海藻酸鈉水溶液

- (2) 測試發現 1%比 2%的海藻酸鈉水溶液製成無瓶水球所能承受耐壓程度較好。推測可能是 1%所製作的無瓶水球膜較有彈性也較能承受更多的耐壓程度。

(3) 2%海藻酸鈉與 2%乳酸鈣所承受的耐壓程度較差，推測無瓶水球製作中會形成許多的凸狀物，當把凸狀物拉掉或剪掉時會造成無瓶水球內的水流出；所以測試過程中發現無瓶水流出位置大都是從凸狀處噴出。

## 2. 水平拉力測試

(1) 測試結果如下：

1%氯化鈣	2%海藻酸鈉水溶液 > 1%海藻酸鈉水溶液 > 0.5%海藻酸鈉水溶液
2%乳酸鈣	1%海藻酸鈉水溶液 > 2%海藻酸鈉水溶液

(2) 在氯化鈣水溶液部分與 2%海藻酸鈉水溶液所製成的球膜較厚而可承受較多的水平拉力；在乳酸鈣水溶液部分與 2%海藻酸鈉水溶液所製成的球膜雖然較厚，但因可能許多突狀物而易造成球膜破裂失去原有功能性。

## 3. 自由落體測試

(1) 經過測試結果如下：

1%氯化鈣	1%海藻酸鈉水溶液 > 2%海藻酸鈉水溶液 > 0.5%海藻酸鈉水溶液
2%乳酸鈣	1%海藻酸鈉水溶液 > 2%海藻酸鈉水溶液

(2) 在氯化鈣水溶液部分，1%海藻酸鈉水溶液所製作出的無瓶水球耐摔程度較好；乳酸鈣水溶液部分，則也是 1%海藻酸鈉水溶液的無瓶水球耐摔程度較好。

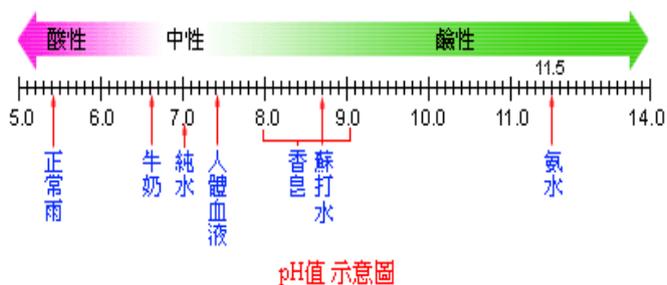
## 4. 觀察無瓶水球膜在自然環境下脫水情形

我們將使用過的球膜放置自然環境下並每天利用上午 10 點 20 分下課時間量測其重量，從圖表發現各種不同濃度所製成的球膜在第六天後都已經變成乾燥又脆弱的薄膜。

## (二) 水質測試

### 1. 酸鹼性（度）測試

(1) pH 值即酸鹼度，pH 值高於 7.0 者即屬鹼性，低於 7.0 者屬酸性且依據臺灣自來水公司「飲用水水質標準」之 pH 值的含



量為 6.0~8.5。經過測試後，我們所測試的各種水質都符合其範圍內且所做無瓶水球的酸鹼度接近牛奶與人體血液的酸鹼度。

- (2) 學校的飲用水經多次測試後，PH 值約 6.7 屬弱酸性；學校的洗手台的水 PH 值約 7.4 屬弱鹼性；調配的 2% 乳酸鈣水溶液與 1% 氯化鈣水溶液經測試後 PH 值約 6.5~6.6 屬弱酸性。
- (3) 多次實驗發現 0.5% 與 1% 的海藻酸鈉水溶液與含鈣水溶液所製造出水球的水均偏弱鹼性；2% 海藻酸鈉水溶液與含鈣水溶液所製造出水球的水均偏弱酸性。當海藻酸鈉的重量濃度愈高，所製的無瓶水球的水也相對偏弱酸性。

## 2. 軟硬度測試

- (1) 水中溶解的鈣離子和鎂離子以碳酸鈣表示即被稱為硬度，依據臺灣自來水公司的「飲用水水質標準」總硬度的最大限值是 300ppm。我們所測試的各種水質除了 2% 乳酸鈣水與 1% 氯化鈣水遠遠超過其規定範圍，其餘大都符合標準內。
- (2) 藉由肥皂的起泡程度來簡易判別水質的軟硬程度，我們發現 2% 乳酸鈣水與 1% 氯化鈣水不管如何搖晃都無法形成泡沫，反而試管壁內都是皂垢。
- (3) 經由總硬度測試劑滴定發現當海藻酸鈉水溶液的濃度愈高，所製的無瓶水球的水硬度也相較愈低。

## 3. 總溶解固體量 (TDS) 測試

- (1) 依據「飲用水水質標準」第六條總溶解固體量的最大限值是 500ppm。是一項水質適飲性的指標，總溶解固體量是指將水過濾再蒸發後殘留的物質，亦即可說是水中礦質，而這些微量礦質中很多是對人體無

名稱	硬度	德國硬度	碳酸鹽硬度 ppm
強軟水 (very soft water)		0-4° dH	碳酸鹽硬度約 0-89ppm
軟水 (soft water)		5-8° dH	碳酸鹽硬度約 90-159ppm
適度硬水 (medium hard water)		9-12° dH	碳酸鹽硬度約 160-229ppm
中硬水 (fairly hard water)		13-18° dH	碳酸鹽硬度約 230-339ppm
硬水 (medium hard water)		19-30° dH	碳酸鹽硬度約 340-534ppm
強硬水 (very hard water)		30° dH 以上	碳酸鹽硬度 535ppm

害的，如鈣、鎂、氯鹽、硫酸鹽等，因此無法依據總溶解固體量的值來判斷其對人體健康的影響，僅能提供作為自來水適飲性優劣之參考。我們所測試的各

種水質除了 2%乳酸鈣水與 1%氯化鈣水遠遠超過其規定範圍，其餘大都符合規定內。

- (2) 經過多次測試學校的飲用水得知 TDS 值是 0，飲用水做為我們每次檢測後清洗儀器的水資源。我們發現無瓶水球中，當海藻酸鈉水溶液的濃度愈高，所製的無瓶水球的水總溶解固體量也較低。

## 柒、結論

- 一、經不斷的改良，發現將泡過含鈣離子水溶液的球形冰塊泡入海藻酸鈉水溶液這個方法是最好的，其他的方法，不是無法成功，就是保存期限太短、太脆弱，達不到我們的要求。所以只要用這個方法，將濃度調整正確，就能提升製作無瓶水的機會。
- 二、各種水溶液的濃度組合會影響無瓶水的成功機率，經實驗研究海藻酸鈉水溶液濃度範圍應以 0.5%~2%會是最好的。超過 2%以上海藻酸鈉水溶液濃稠性會很大而導致無瓶水不易製作；在氯化鈣水溶液濃度至少要 1%以上；而在乳酸鈣水溶液至少要 2%以上。
- 三、有效保存無瓶水的做法是將製好的無瓶水球浸泡於水中並冰箱冷藏，可減少球內水外流。觀察記錄得知存放時間約 200 小時過後，水球裡的水流失逐漸地趨緩，進而達到球內外的平衡。
- 四、經過水球膜的各項測試後，1%海藻酸鈉水溶液分別與 1%氯化鈣水溶液、2%乳酸鈣水溶液所製的無瓶水球較能承受各種力的作用。所製作出來的球膜較厚也相對較有彈性，未來在攜帶中也較不易破裂。
- 五、在水質測試方面，我們依據台灣自來水公司的「飲用水水質標準」部分相關來檢測。我們所製作無瓶水經由酸鹼度、軟硬度、總固體溶解量均符合其標準內。我們選擇食用級的乳酸鈣來做為無瓶水原料之一，其主要目的希望減少對大家對無瓶水的疑慮。

## 捌、參考資料及其他

- 一、這瓶水「可以吃」：他們以海藻取代塑膠，打造超環保瓶裝水（2015年9月15日）。2015年10月8日取自 <http://www.thenewslens.com/post/220101/>
- 二、Ooho Water Bottle Clay Make（2015年4月10日）。Youtube影片。2015年10月8日取自 [https://www.youtube.com/watch?v=cEI67QX1\\_Rc](https://www.youtube.com/watch?v=cEI67QX1_Rc)
- 三、中華民國第43屆中小學科展覽會作品：「晶」益「球」精。
- 四、魏國彥(2016)。安全飲用水。取自 <http://dws.epa.gov.tw/drinkwater/safewater5/index.html#page/96>

## 【評語】 080201

1. 本樣品在研究無瓶水的製作方式、保存方法與各項性質檢測，非常符合環保概念，實驗構想能達到科學生活化的精神。
2. 唯在實驗數據收集方面需要再深入，例如無瓶水的外膜厚度與球體大小的改變對保存與性質的影響。
3. 除了陽離子檢測外，氯離子的濃度是否符合標準也需要著墨。