

新竹市第四十一屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科技（二）

組 別：國中組

作品名稱：大吃一晶 - 鈣多晶球

用關鍵詞：正向晶球、反向晶球、鈣

編 號：112JB-L002

摘要

我們主要是在研究晶球，像是不同食材、滴入高度對製作晶球的影響、晶球的浸泡時間，延伸到晶球能承受的耐力等。製作晶球最主要的成分就是海藻酸鈉跟乳酸鈣，一開始測試兩者最佳的質量(目標不會太薄也不會太厚、不易破)，最終得出 1.5 克的乳酸鈣和 1 克的海藻酸鈉(分別溶於 100 毫升水)是較適中的調配比例；而由於海藻酸鈉融化的速度實在太慢，於是用冷熱水為因素的實驗證實了熱水有助於加速海藻酸鈉的溶解。製作晶球的高度在水面底下 1 公分至 13 公分之間的成型效果最好，其餘則較會出現畸形等長條形狀。用養樂多取代乳酸鈣做的晶球效果很好，而用蛋殼做的晶球膜會太厚。

壹、前言

一、研究動機

我們在一家冰店看到，冰上有一顆顆晶瑩剔透的晶球，因此我們開始研究這種神奇的食物。我們希望以各種食材來取代乳酸鈣，因此研發出了下列實驗，並希望可以找出膜薄但又不會破的晶球，從每一個實驗中找出最好的變因，並統整成一個最好的晶球。

二、研究目的

- (一) 探討不同比例的海藻酸鈉和乳酸鈣對晶球有什麼影響
- (二) 研究不同高度對晶球成型的影響
- (三) 探討浸泡在乳酸鈣溶液時間的長短對晶球有什麼影響
- (四) 研究不同種類的蛋殼是否能让晶球成型
- (五) 研究是否能利用不同食材讓晶球成型
- (六) 研究養樂多晶球的耐力

三、文獻回顧

(一) 海藻酸鈉：

海藻膠是存在於褐藻的細胞壁或細胞間隙的天然膠質，經抽取純化後，以鈉鹽形式存在，稱為海藻酸鈉。

由於本身為帶電荷之巨大分子，在水合後，可產生黏度，並可與多價金屬離子作用，產生凝膠反應。在食品中有增稠、成膜、成膠等作用。溶於水成粘稠狀液體，1%水溶液 pH 值為 6-8。當 pH 為 6-9 時粘性穩定，加熱至 80°C 以上時則黏性降低。

(取自 <https://blog.ichanchem.com/%E6%B5%B7%E8%97%BB%E9%85%B8%E9%88%89/>)

(二) 乳酸鈣：

乳酸鈣是由乳酸菌和鈣質結合而成的乳白色化合物，通常會添加到各種食品中，以增強食物的風味或延長其保存期限。乳酸鈣有時也會被加入一些藥物或營養品中，用來補充人們體內不足的鈣質。(取自 <https://health.ltn.com.tw/article/breakingnews/3343093>)

(三) 晶球：

「人工魚卵製造技術」在分子料理中被稱作晶球技術(Spherification)，在食品科學中則進一步稱作微膠囊化技術(Microcapsulation)。為了達到球化效果，各式膠體、乳化劑、安定劑與鹽類等食品添加物進入餐廳與調理場中，它們主要藉由凝膠化改變液體食材的黏性以保持形狀。當海藻酸鈉溶液滴入氯化鈣溶液中，鈣離子會取代海藻酸鈉羧基上的鈉離子(Na+)，再結合另一醣醛酸分子上的羧基，形成離子架橋，這樣手拉手的結構，使海藻酸鈉分子間的聯結性更強，形成一個三度空間的網狀組織結構，像蛋盒一樣，也就是凝膠的形成，並可將內容物包裹於凝膠結構中，形成半透膜，於特定環境下將內容物釋出。

(取自 <https://pansci.asia/archives/164992>)

貳、研究設備與器材

一、設備與器材

(一) 耗材

<p>海藻酸鈉</p> 	<p>乳酸鈣</p> 	<p>色素</p> 	<p>標籤紙</p> 
<p>白紙</p> 	<p>鋁箔紙</p> 	<p>養樂多</p> 	<p>金針菇</p> 
<p>醋</p> 	<p>豆干汁</p>	<p>清水 / 可食用水</p> 	<p>豆漿</p>
<p>高麗菜</p> 	<p>蛋(白/黃)</p> 	<p>木耳</p> 	<p>牛奶</p> 
<p>柳橙汁</p> 	<p>雨來菇</p> 		

(二)器材

量筒(25,50,100mL) 	燒杯 	玻棒 / 勺子 	尺 
錶玻璃 	碼表 / 計時器 	塑膠滴管 	電子磅秤 
玻璃片 	游標尺 	攪拌器 	篩網 
湯匙 	秤量紙 	溫度計 	研鉢與杵 

<p>盆子</p> 	<p>鑷子</p> 	<p>冰箱</p> 	<p>培養皿</p> 
<p>酒精燈</p> 	<p>製冰模型</p> 	<p>三腳架、陶瓷纖維網</p> 	<p>離心機</p> 

二、溶液的調配（實驗一的結果）

（一）調配 1：100 海藻酸鈉溶液

1. 取 1 g 海藻酸鈉和 100 ml 的水倒入燒杯中
2. 用攪拌器攪拌至完全溶解

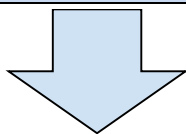
（二）調配 1.5：100 乳酸鈣溶液

1. 取 1.5g 乳酸鈣和 100 ml 的水倒入燒杯中
2. 攪拌直到溶質完全溶解

參、研究過程與方法

一、研究過程

提出問題	假說	實驗
不同比例的海藻酸鈉和鈣離子對晶球有什麼影響？	比例愈濃的乳酸鈣和海藻酸鈉形成的晶球膜愈厚	實驗一：設定不同的海藻酸鈉與乳酸鈣濃度，並觀察其成型狀況
不同高度對晶球成型有什麼影響？	滴管高度愈高，形成的晶球膜愈厚	實驗二：設定不同的高度將乳酸鈣滴入海藻酸鈉，並觀察其成型狀況
晶球浸泡在乳酸鈣溶液的時 間長短對晶球有什麼影響？	浸泡在乳酸鈣溶液中愈久的晶球，形成的膜愈厚	實驗三：設定不同的浸泡時間，並觀察其成型狀況
不同情況的雞蛋是否能让晶球成型？	蛋殼中含有碳酸鈣，萃取出鈣離子後，可以讓晶球成型	實驗四：設定不同顏色的蛋殼與生熟度，並觀察其成型狀況
是否能利用不同的食材讓晶球成型？	含有鈣的食材加進海藻酸鈉會像鈣離子的成型效果差不多	實驗五：設定不同的含鈣食材，製作正向和反向，並觀察其成型狀況



從實驗五找出成型效果最好的晶球，並用在實驗六		
何種方式做出的養樂多晶球，耐受度較高？	高到一定的高度，晶球會破掉，在高溫下，晶球會破掉	實驗六：設定不同的溫度、高度測試晶球，並觀察其狀況

二、實驗步驟

實驗(一)：探討不同比例的海藻酸鈉和鈣離子對晶球有什麼影響

1. 固定用 100ml 的水加入不同質量的乳酸鈣
2. 固定用 100ml 的水加入不同質量的海藻酸鈉
3. 將海藻酸鈉加到鈣離子
4. 用游標尺測量晶球破掉的其中一邊的膜

實驗(二)：研究不同高度對晶球成型的影響

- 1.將三把尺做成一個 T 字型再將滴管黏在上面(圖 3-1)
- 2.調配海藻酸鈉和乳酸鈣溶液，並將乳酸鈣溶液放在實驗裝置下
- 3.在不同的高度下將海藻酸鈉溶液滴入乳酸鈣溶液中
- 4.觀察不同高度下的晶球
- 5.用游標尺測量晶球破掉的其中一邊的膜

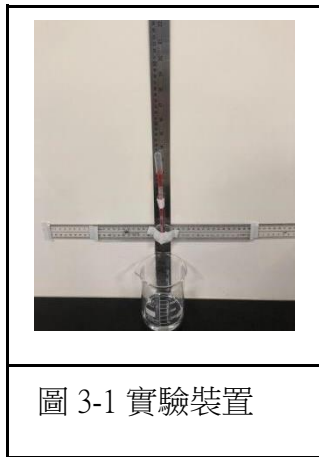


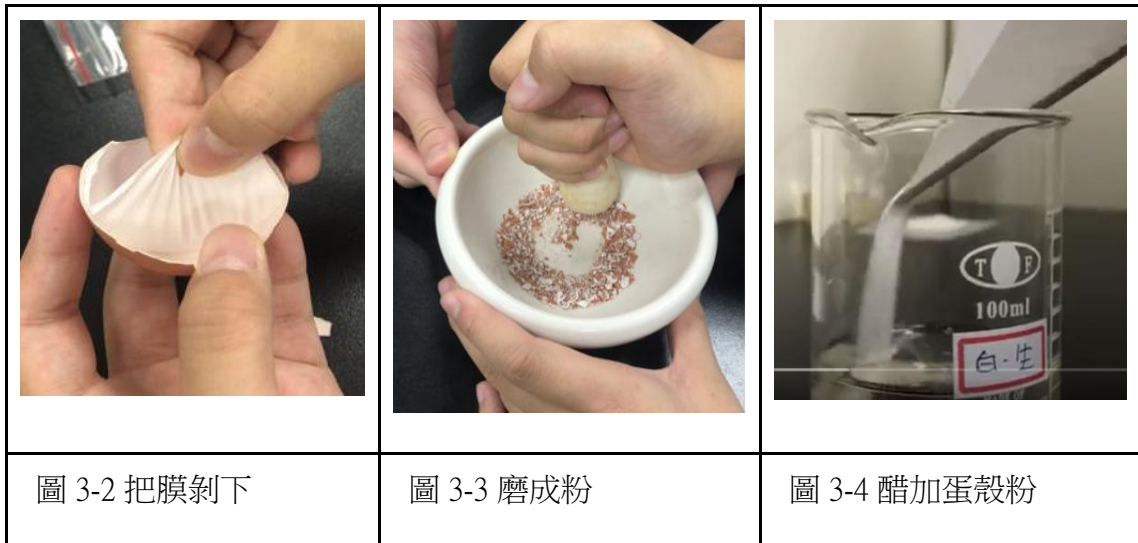
圖 3-1 實驗裝置

實驗(三)：探討浸泡在時間的長短對晶球有什麼影響

1. 調配海藻酸鈉和乳酸鈣溶液
2. 將海藻酸鈉溶液滴入乳酸鈣溶液
3. 用碼錶計時，測量晶球浸泡的時間
4. 用游標尺測量破掉的其中一邊的膜

實驗(四)：研究相異雞蛋是否能让晶球成型

1. 準備不同顏色的雞蛋(白、黃)
2. 取出蛋白以及蛋黃，並且烘乾蛋殼
3. 將蛋的膜剝下(圖 3-2)
4. 將蛋殼用研鉢磨成粉(圖 3-3)
5. 將磨成粉的蛋殼加入醋，並等待 7 天(圖 3-4)
6. 放入離心機轉速 1000/20 分鐘
7. 用滴管萃取上層(乾淨)和下層(髒)的汁液
8. 調配海藻酸鈉的溶液 1:100，並製作晶球
9. 用游標尺測量晶球破掉的其中一邊的膜



實驗(五)：研究是否能利用不同食材讓晶球成型

1. 準備不同含有鈣的食材
2. 將食材放進電鍋蒸 20 分鐘
3. 把蒸出來的汁倒入燒杯
4. 調配海藻酸鈉的溶液 1：100
5. 將各種汁製作正向和反向晶球，並測量其膜的一邊
6. 有成型的進行更進一步的實驗

實驗(六)：研究養樂多晶球的耐力

1. 從實驗五選出實驗的食材(養樂多)
2. 調配海藻酸鈉的溶液 1：100
3. 製作正向和反向晶球，並測量其膜的一邊
4. 將正向和反向晶球放到水中，並持續加熱到破掉或 100 度
5. 將正向和反向晶球放到冰箱，並持續降溫到破掉或 2 度
6. 將正向和反向晶球放入自己擠的（一顆）檸檬汁，並觀察其是否破掉
7. 將正向和反向晶球放入小蘇打溶液 1：10，並觀察其是否破掉
8. 將正向和反向晶球，以 30 公分為一個單位，從不同高度丟下去，直到破掉
9. 觀察正向和反向晶球之特色

肆、研究結果

實驗(一)：探討不同比例的海藻酸鈉和乳酸鈣對晶球有什麼影響

由圖 4-1 可以明顯看到，海藻酸鈉和乳酸鈣溶液的濃度愈高，做出來的晶球膜愈厚。在調配海藻酸鈉溶液時，我們發現海藻酸鈉較乳酸鈣難溶許多。對此我們想出了兩個解決方法：用熱水來調製海藻酸鈉，或用電動攪拌器取代手動攪拌。(此實驗浸泡時間為 30 秒)

		乳酸鈣重量(公克)						
膜厚(mm)		0.8	0.9	1	1.5	2	2.5	3
海藻酸鈉重量 (公克)	0.5	1.34	1.33	1.57	1.87	2.14	2.73	2.09
	0.7	1.22	1.46	1.64	1.56	1.53	1.09	1.94
	0.9	0.69	0.86	0.77	1.02	1.47	1.38	1.62
	1	0.4	0.88	0.76	0.67	1.38	1.46	1.41

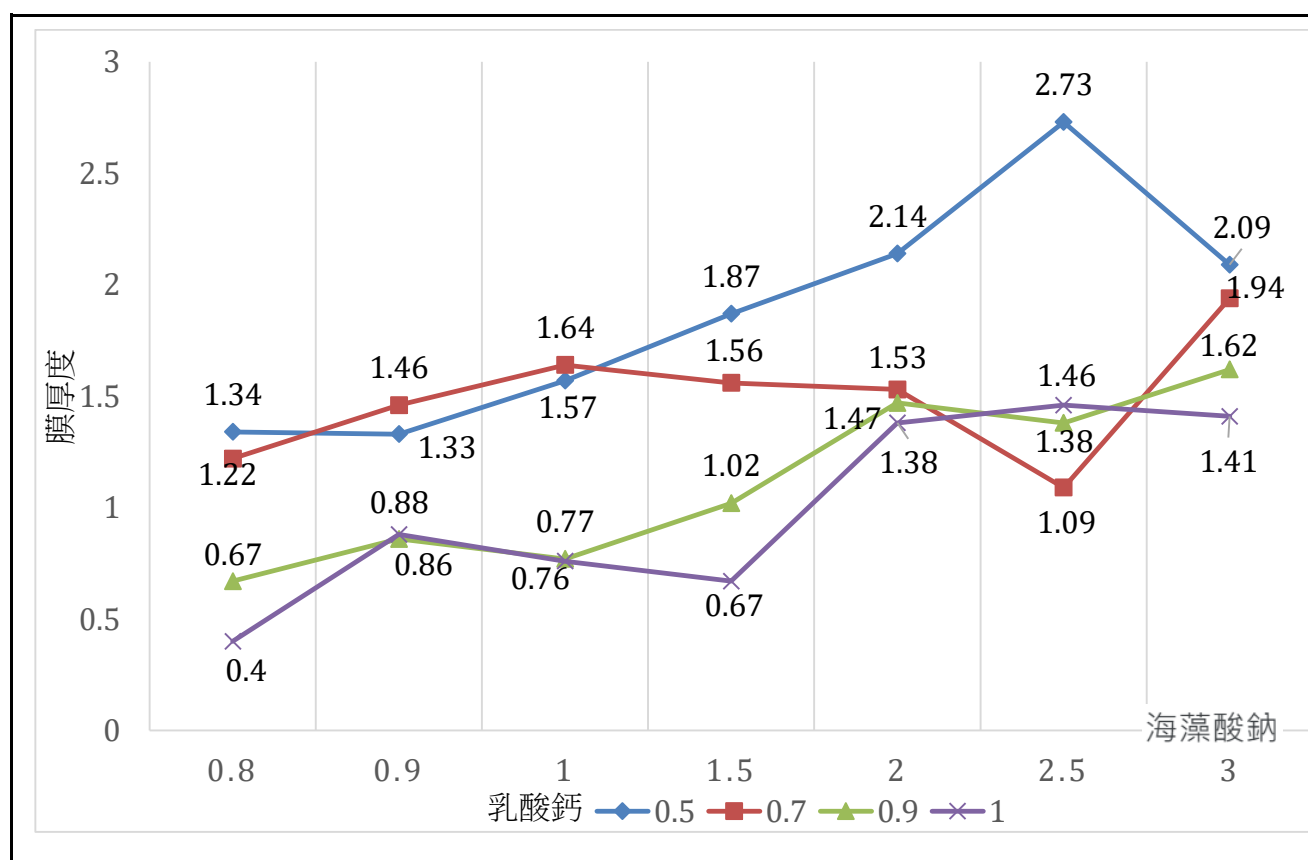


圖 4-1 不同比例的海藻酸鈉和乳酸鈣的成型效果

實驗(二)：研究不同高度對晶球成型的影響

由此實驗可知(表 4-1)，使用滴管，滴入的高度在水裡 1cm 到 13cm，所形成的晶球都是完美的球形(直徑約 3.5mm)；滴入的高度在 20 到 30 公分時，大多是有兩顆完美的，另一顆則是較小的。35cm 以上的晶球則會呈現較畸形的形狀(可能會有橢圓形、長條型、三角形等)(圖 4-4、圖 4-5、表 4-1)。而且，晶球的製作過程中還會出現超小的「反彈晶球」(圖 4-2)，其產生的原理(圖 4-3)是「反彈」。隨著高度的增長，反彈晶球會愈變愈大顆，數量也會愈來愈多。

高度(距離水平之距離 cm)	-1	5	13	20	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100
直徑	3.56	3.84	3.27	3.29	4.2	3.51	3.73	3.35	3.68	3.68	3.22	3.63	3.44	3.46	3.48
成型狀況	完美	完美	完美	有一顆比較小，其他差不多	有一顆比較小，其他差不多	出現長條型，超小晶球多一點	超小晶球變多	出現畸形	更多畸形	出現三角形	反彈晶球，一樣畸形	超多反彈晶球	反彈晶球多	超多反彈晶球	反彈晶球變大，超畸形

表 4-1 不同高度影響下的晶球膜厚度



圖 4-2 反彈晶球

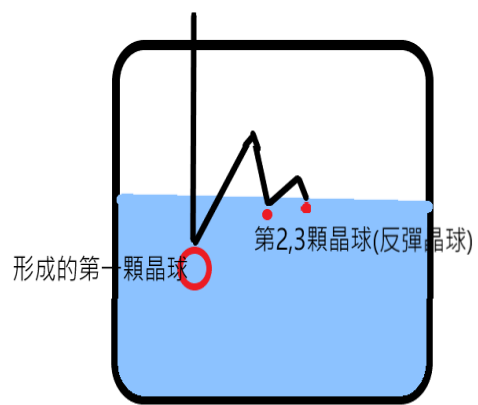


圖 4-3 反彈晶球形成原因

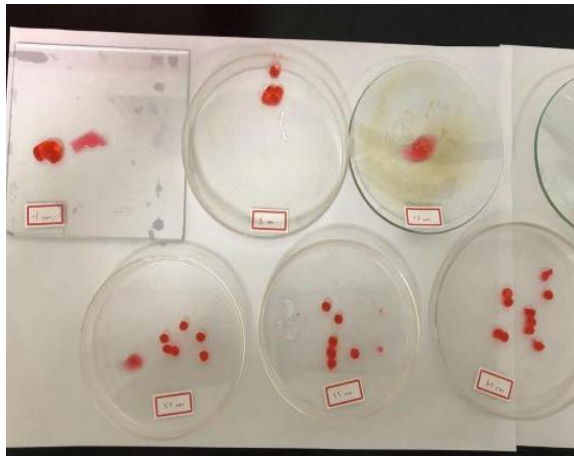


圖 4-4 晶球的成型狀況 1

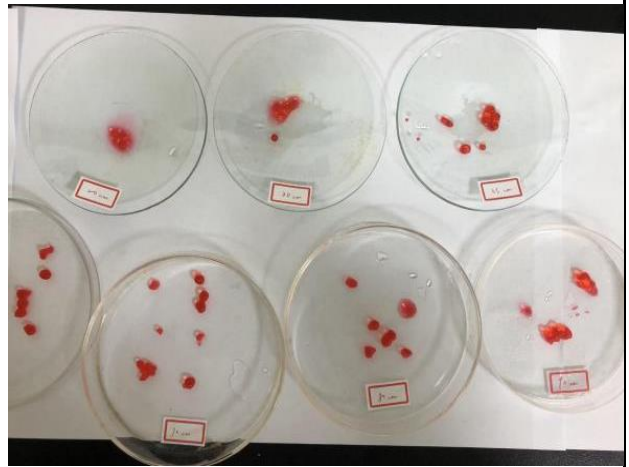


圖 4-5 晶球的成型狀況 2

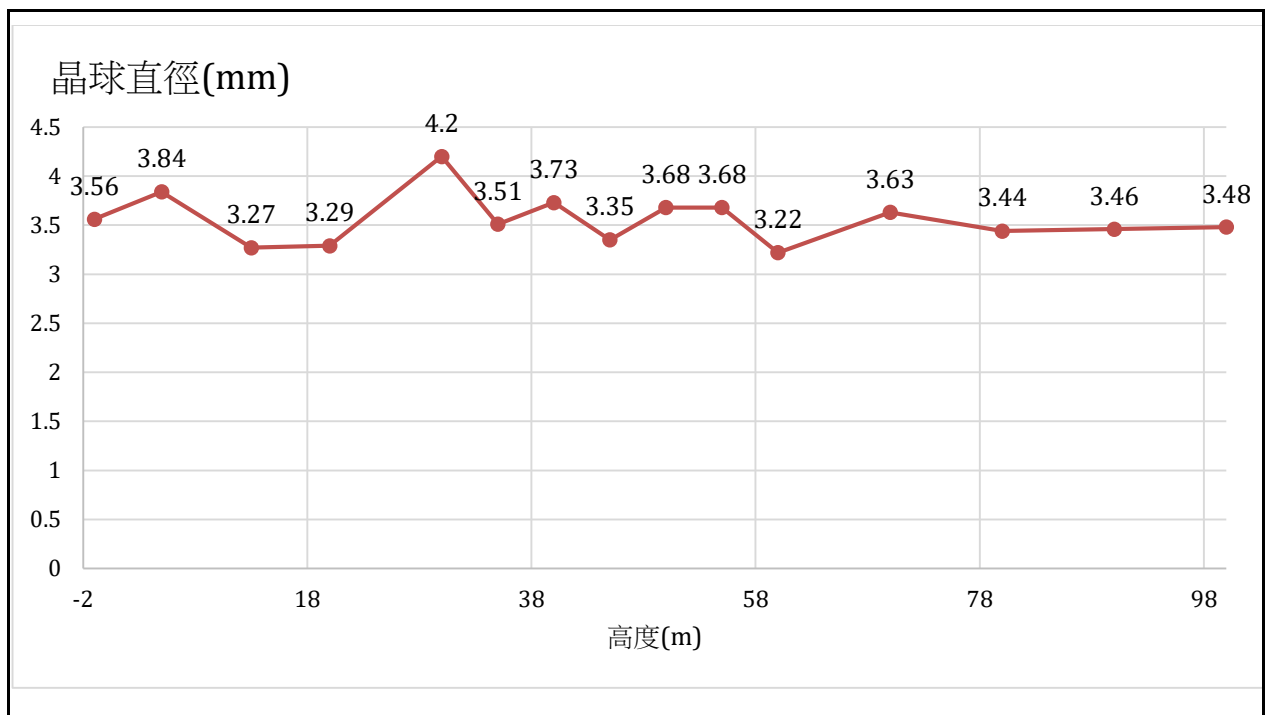


圖 4-6 不同高度滴下所形成的晶球直徑

實驗(三)：探討浸泡在乳酸鈣溶液時間的長短對晶球有什麼影響

由此實驗可知，在海藻酸鈉與乳酸鈣溶液的濃度固定下，晶球浸泡的時間愈長，膜的厚度愈厚。浸泡 10 秒到 90 秒的晶球都是正常的，而 120 秒以上的晶球則變成實心的，以致原本打算用游標尺測量晶球爆開一邊厚度，改為測量兩邊的。由此實驗，我們決定用浸泡 30 秒做後續的實驗。

浸泡時間	是否成型	膜厚度	實驗結果
10 秒	是	0.85	膜薄
20 秒		0.97	膜薄
30 秒		0.88	膜薄
50 秒		1.08	膜厚
70 秒		1.1	膜厚
90 秒		1.33	膜厚
120 秒		1.88	實心
150 秒		3.41	實心
210 秒		3.24	實心
240 秒		4.02	實心

表 4-2 浸泡時間的長短對晶球的影響及膜厚度

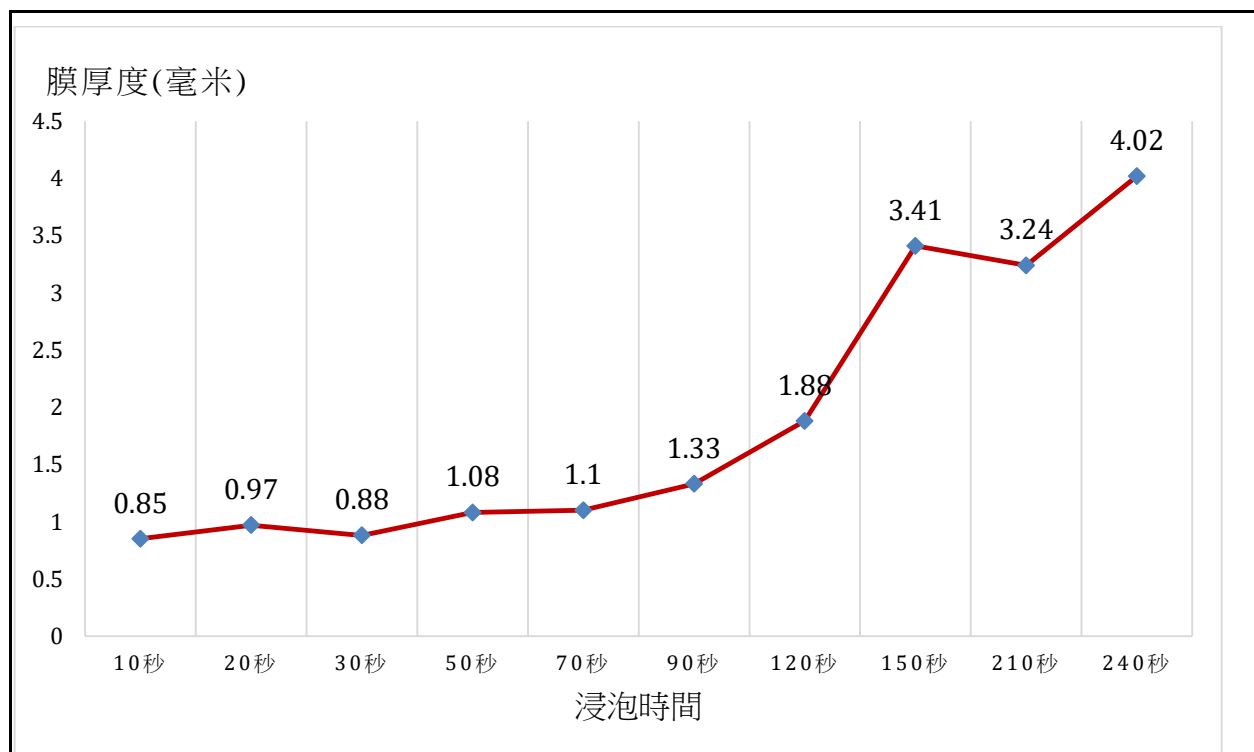


圖 4-7 晶球浸泡時間的長短與膜厚度成正相關

實驗(四)：研究不同種類的雞蛋是否能讓晶球成型

由表 4-3 可知，**浸泡過醋的蛋都能形成晶球**，表示蛋殼中含有很多鈣離子。以膜的厚度來看，最薄的是白色生蛋的殼，離心後取下半部溶液。

食材			浸泡時間	膜厚度(mm)
白	生	髒	7 天	1.79
		淨		1.93
	熟	髒		2.02
		淨		2.14
黃	生	髒		2.55
		淨		2.2
	熟	髒		2.22
		淨		3.31
大(白)	生	髒	3.08	
		淨	2.64	
	熟	髒	3.92	
		淨	2.23	

表 4-3 蛋殼在不同條件下的膜厚度和影響

實驗(五)：研究是否能利用不同食材讓晶球成型

由表 4-4 可得知，**只有養樂多可以讓晶球成型**，其餘可能因為含鈣量過低或幾乎不含有鈣質而導致無法成型。效果最好的是養樂多，其次是平常吃的食物(牛奶、高麗菜、豆干、柳橙汁)。令人驚訝的是牛奶的成型效果不如預期的那麼好，我們以為牛奶中的鈣離子含量最多，以為效果應該要是最好的；而豆干和高麗菜這些蔬菜，雖然無法使晶球成型，但有薄膜的產生。

食材	公克	浸泡時間	是否成型	膜厚度
鮮奶	25	30 秒	X	有薄膜
豆漿			X	完全不行
養樂多			O	0.12cm

	木耳			X	完全不行
	高麗菜			X	有薄膜
	金針菇			X	完全不行
	豆干			X	有薄膜
	柳橙汁			X	有薄膜
表 4-4 各種食材的成型效果統計圖					

實驗(六)：研究養樂多晶球的耐力

正向和反向晶球膜的厚度都一樣，由表 4-5 可得知，**冰凍晶球無法成型。反轉球化技術的失敗率極高**，做了十幾顆晶球只會有一顆成功的晶球，非常脆弱。兩種技術用酸和鹼測試都沒有破掉的跡象，低溫測試我們將晶球放到冷凍庫，也都沒有破。在**高度的測試中，正向晶球明顯比反向來的更好，其相差了 100cm**。

	基本	反轉(失敗率極高)	冰凍	
			水先鈣再海	水先海在鈣
模的厚度	0.12	0.12		
用酸測試 (檸檬)	沒破	沒破		
用鹼測試 (小蘇打溶液) 8:80	沒破	沒破		
高溫測試 (多高溫會破)	95 度變實心 (萎縮)	95 度不變實心		
低溫測試 (多低溫會破)	2 度不會破	2 度不會破		
高度測試 (多高會破)	160cm	60cm		
特色	長時間反應會變成整顆球體凝膠	成功率約 15% 超容易爆開	無法成型	
表 4-5 養樂多晶球的方式之耐力測試				

伍、討論

實驗(一)：為了找出可以包最多溶液且不易破的晶球比例，為此我們探討調配不同比例的海藻酸鈉和鈣離子對晶球的成型效果及膜厚度有什麼影響。最後我們選用 1.5:1 的比例（膜薄、但又不易破），因為膜越薄，包的溶液就越多，雖然 0.8:1 的膜最薄，但 0.4mm 的膜薄到太容易破。而在調配海藻酸鈉溶液時，我們發現海藻酸鈉較乳酸鈣難溶許多；對此我們想出了兩個解決方法：用熱水(80 度左右)來調製海藻酸鈉，或用電動攪拌器取代手動攪拌，但由於我們不知道用熱水調是否會影響晶球，因此只用電動攪拌器來提升速度。

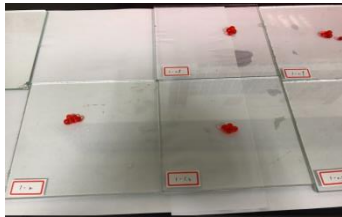


圖 5-1 晶球結果

實驗(二)：我們最終選用 5cm 的高度。因為晶球的製作過程中太高會出現超小的「反彈晶球」（圖 4-2），其產生的原理(圖 4-3)是「反彈」。隨著高度的增長，反彈晶球會愈變愈大顆，數量也會愈來愈多，說不定還能發現其他用途，也因此反彈晶球還有很多實驗可以做。

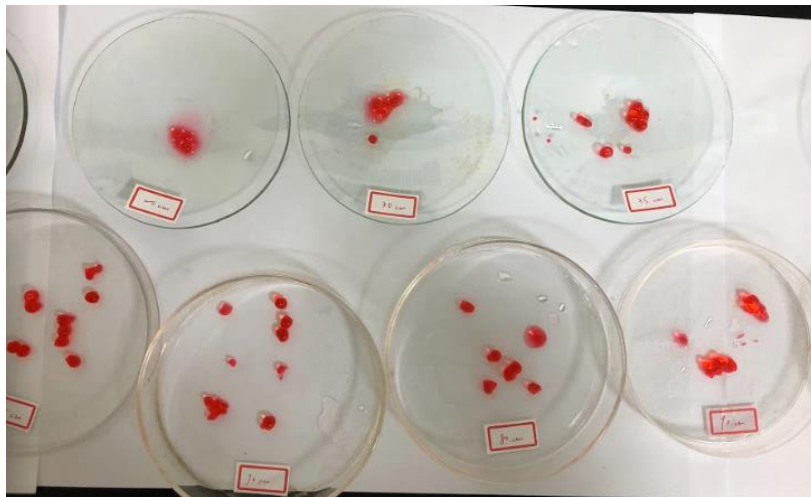


圖 5-2 不同高度之晶球結果

實驗(三)：在海藻酸鈉與乳酸鈣的濃度固定下，晶球浸泡的時間愈長，膜的厚度愈厚。浸泡 10 秒到 90 秒的晶球都是正常的；浸泡時間在 120 秒以上的晶球都變成實心的，以致原本打算用游標尺測量晶球一邊的膜厚度，改為測量晶球的直徑(較厚)。且因為浸泡時間在 50 秒(含)以上所製作的晶球膜的厚度會比較的厚一些，再加上浸泡時間在 10、20 秒的成型的晶球不夠堅固，因此之後做實驗的浸泡時間控制在 30 秒。



圖 5-3 實心晶球

實驗(四)：我們想將蛋殼取代鈣離子並製成晶球，我們發現白蛋做出的晶球的膜較薄，但白蛋大殼不論生熟，膜的膜最厚，黃蛋熟殼乾淨的膜也偏厚。其餘的晶球膜的厚度都差不多。蛋殼做出來的晶球會有醋的味道，而且因為浸泡過醋的蛋殼鈣含量過高，造成晶球的膜太厚，進而影響晶球包液體的量，不是我們理想中的晶球。然而由於鈣離子含量很多，之後我們可以往這方面再行探究，看如何可以去除醋的味道，以及調整適合的鈣離子濃度，而做出膜薄的晶球。

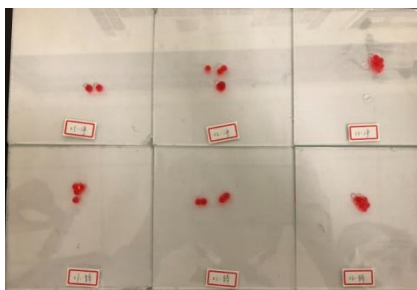


圖 5-4 蛋殼晶球

實驗(五)：市面上的晶球口味有很多種，由於我們好奇能不能用其他製作食材來取代乳酸鈣，於是進行這項實驗。我們發現只有養樂多可以成型，木耳、鮮奶和豆干的鈣含量還蠻多，但木耳因為本身很少汁，因此就算鈣含量多，也無法讓晶球成型；而鮮奶、豆漿、金針菇和豆干，可能因為包含其他物質，例如蛋白質，會影響海藻酸鈉和鈣離子的結合，因此成型效果不太好。我們推測養樂多能成型是因為沒有蛋白質，因此可以順利地與海藻酸鈉成型為晶球。而柳橙汁的含鈣量太少，無法形成晶球。經過此實驗，我們最後選用養樂多來進行其他實驗。本次實驗的結果讓我們感到很驚訝，一是因為原本預期含鈣量最高的牛奶成行效果應最為優良，但它的效果卻不如預期，竟然是養樂多的效果最佳。



圖 5-5 不同取代鈣離子的食材

實驗(六)：基本上實驗結果的正向和反向晶球膜厚度都沒有太大的差別。而冰凍晶球卻無法成型，推測可能的原因是用養樂多做成冰塊的鈣離子濃度被水稀釋掉了，把表面的海藻酸鈉一直帶走，導致無法成型；另一個推測則是冰塊會不斷融化，使得表面不容易讓海藻酸鈉黏住，最後導致無法成型。基本球化技術相對比其他製作晶球的技術來得堅硬許多（成功率較高）。而反轉球化技術的失敗率極高，做了好幾顆晶球只會有一顆成功的，非常脆弱。因此我們認為正向球化技術最為合適。



圖表 6-5 正向晶球（左）與 反向晶球（右）

陸、結論

1. 最好的晶球的配方為海藻酸鈉比乳酸鈣最佳的比是 1：1.5 (分別溶於 100ml 的水)。
2. 養樂多可以取代乳酸鈣來製作品球。
3. 可以用蛋殼做晶球，但是做出來的晶球還有醋的味道，浸泡過醋的蛋殼液中鈣含量過高，造成做出來的晶球膜太厚。
4. 晶球浸泡 90 秒以下的晶球可以包液體，90 秒以上都是實心，浸泡 30 秒效果最好。
5. 晶球在距離水平面 13 公分以下滴入的成型效果都是完美的。
6. 反向球化失敗率極高，且容易破掉。
7. 正向晶球成功率極高，不容易破掉。
8. 在查資料的時候我們發現許多人覺得是市面上的晶球有很重的化學味，或是膜的口感像塑膠，由於我們使用的是養樂多，我們膜的口感像果凍，化學的味道也幾乎沒有，相較於市面上賣的晶球，較為健康。

柒、參考文獻及其他

一、BIOS monthly(2012 年 04 月 25 日)。分子廚藝的現在、過去、未來。

取自：<https://www.biosmonthly.com/article/1950>

二、Tina Wu。分子料理：以科學打造的食物藝術。2018 年 3 月 26 日，取自：

<https://nommagazine.com/%E5%88%86%E5%AD%90%E6%96%99%E7%90%86%EF%BC%9A%E4%BB%A5%E7%A7%91%E5%AD%B8%E6%89%93%E9%80%A0%E7%9A%84%E9%A3%9F%E7%89%A9%E8%97%9D%E8%A1%93/>

三、Sophia。令人驚奇的分子料理是這樣來的：食品科學中的晶球技術（上）2019 年 08 月 09 日，取自：<https://pansci.asia/archives/164992>

四、BIOS monthly。傳奇，不曾消失：分子廚藝巨匠。2012 年 4 月 27 日，

取自：<https://www.biosmonthly.com/article/1961>

五、STEM PLANET。【分子料理】芒果優格蛋。2017 年 11 月 12 日，

取自：<https://www.youtube.com/watch?v=HIzObTG-sC0>

六、補鈣食物大排名，牛奶只排第三？估計很多人都想不到第 1 名竟然是

它.....。2018 年 7 月 17 日，取自：<https://www.cmoney.tw/notes/note-detail.aspx?nid=40960>

七、魏珮芯;吳政緯;王滋頌。彩虹晶球-鳳梨珍珠之研發，取自：

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=13161>