

化學科

科別：化學科

組別：國中組

作品名稱：小小晶球真奇妙！

關鍵詞：海藻酸鈉、明膠、晶球

編號：030201

學校名稱：

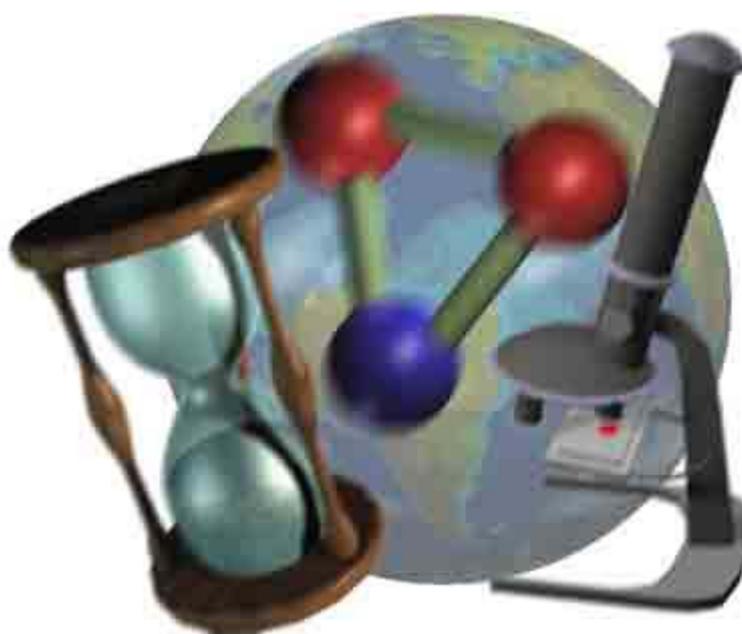
桃園縣立福豐國民中學

作者姓名：

黃珮瑀、曹家豪、吳沛璇、林璟醇

指導老師：

黃如玉



摘要

我們利用兩種食品添加物-海藻酸鈉及明膠來模擬晶球在人體中的變化過程，以解開晶球在人體之謎。研究結果發現，此兩種材質濃度太高或太低會無法成球形，因此，海藻酸鈉膠球濃度須以 1%、3%及 5%;明膠膠球濃度則以 25%、30%及 40%，讓其在不同的酸鹼值環境下，進行測試實驗。而這些材質及濃度之下，呈現出較符合人體模擬條件的是海藻酸鈉膠球濃度 3%及明膠濃度 40%，因此，我們選此兩種材質及濃度來進行模擬人體生理狀態之實驗，實驗結果顯示，明膠膠球由於會受限於溫度的影響，無法達到我們的要求，而海藻酸鈉膠球的實驗結果則較接近光泉晶球。因此，我們成功地模擬了晶球在人體中可能的變化狀況，讓我們知道晶球對於優酪乳中的益菌，真的發揮了相當大的保護作用哦!

壹、研究動機

近來許多人流行喝優酪乳，一開電視各家乳製品公司的優酪乳廣告即不斷地穿梭在各節目中，但令人好奇及納悶的是，以前所喝的優酪乳其效果可能都不大，而且對於所著稱的體內環保功用也可能不如他們所說得有那麼好哦!到底為什麼呢? 什麼樣的新發現，讓優酪乳又掀起另一波新潮流!而市面上風行的晶球優酪乳，是利用可食用之天然聚合物將乳酸菌包覆以達到保護乳酸菌免於受到胃酸的破壞，安全到達小腸，才能對人體有幫助，這到底又是怎麼回事呢?

由於在理化第二冊 第 9~10 章中，老師在課堂上提到有關分子式、分子量及化學反應在科學上重要性到聚合物在生活上的一些應用，因此，讓我們連想到在此次科展中，是否可利用我們上課所學的知識，應用天然的聚合物來實驗、証實，為什麼一個小小的晶球有如此大的作用，居然可挑戰人體中的胃酸而不被溶掉，還可以保護有益菌不被胃酸殺死，如果可以試著模擬這小晶球，就可以知道它到底在人體中發揮了什麼做用，遇到了什麼情況，為什麼最後乳酸菌會安然無恙呢?

貳、研究目的

由於在理化第二冊第 10 章中，老師在課堂上提到有關聚合物在生活上的一些應用，因此，在此次科展中，我們也可利用天然聚合物來進行我們的實驗，於是與同學和老師討論之後，決定利用兩種天然聚合物-明膠及海藻酸鈉來模擬小晶球(膠球)，此兩種聚合物皆為食品添加物且常見於普通的食品中，在材料方面也較易購得、價格便宜也因其膠質的特性較易於包覆成球形。所以，在實驗材料的選擇上則以此兩種食品添加物為主，以此材料來試著模擬小小晶球在人體不同生理環境(不同的酸鹼值)中，到底會有什麼變化或改變，以解開晶球在人體之謎。

在實驗過程中所須觀察及研究的影響因素及目的如下：

1. **不同濃度之膠球對膠球強度之影響**：探討晶球材料的濃度對其外觀結構有何影響，了解製作品球材料所須材料濃度。
2. **不同酸鹼值(pH 值)對膠球之影響**：模擬人體胃與腸道的生理環境，了解小晶球在人體中的變化狀況。
3. **連續不同的酸鹼值(pH 值)系統對膠球之影響**：人體是一連續系統，因此，以上述實驗中，選擇一組實驗最適當的膠球濃度，測試其在連續的系統下有何變化。

參、實驗材料與方法

一、實驗材料

(一) 實驗藥品

藥品名稱	純度等級	購買廠商
海藻酸鈉 (Sodium Alginate)	食品添加物	島久藥品株式會社
明膠 (Gelatin)	食品添加物	島久藥品株式會社
磷酸氫二鈉	試藥級	島久藥品株式會社
磷酸二氫鈉	試藥級	島久藥品株式會社
氯化鈣 (CaCl ₂)	試藥級	島久藥品株式會社
鹽酸 (HCl)	試藥級	島久藥品株式會社
氫氧化鈉 (NaOH)	試藥級	島久藥品株式會社
紅墨水	印泥專用墨水	雄師鉛筆廠股份有限公司

(二) 實驗器材

實驗器材	規格	實驗器材	規格
電子天秤	GM-501	玻璃棒	標準規格
燒杯	100 ml、250 ml、500 ml 1000 ml	藥品杓	標準規格
量筒	50 ml、250 ml	燒杯刷子	標準規格
塑膠吸管	3 ml	保鮮膜(PE)	30 cm*25 m
陶瓷纖維網	標準規格	鐵架	標準規格
酒精溫度計	標準規格	酒精燈	標準規格
稱量紙	100 mm*100 mm	標籤紙	18*32 mm
廣用試紙	標準規格		

二、實驗方法

(一) 海藻酸鈉之膠球製備

1. 配製氯化鈣 1 % (w/v) 200 ml 分裝於一個 250 ml 的燒杯中，並取 20 ml 的紅墨水加入氯化鈣溶液中。
2. 配製海藻酸鈉濃度為 0.5 % (w/v)、1 % (w/v)、3 % (w/v)、5 % (w/v) 及 7 % (w/v) 等不同濃度之海藻酸鈉溶液各 50 ml，攪拌並讓其靜置隔夜，使其緩慢地完全溶解成膠著狀。(w：溶質克數 g; v：溶劑體積 ml)
3. 待海藻酸鈉完全解後，取 5 ml 的紅墨水加入上步驟所配製的 50 ml 各濃度之海藻酸鈉溶液，進行染色工作。
4. 利用注射針筒及針頭吸取已配製好的 50 ml 海藻酸鈉溶液，將其緩慢的滴入 1 % 的氯化鈣溶液，並同時小心緩慢以玻璃棒攪拌氯化鈣溶液。
5. 在剛成膠球時，讓膠球浸泡於氯化鈣溶液中約 10 min，再將其撈起瀝乾，膠球即製備完成。
6. 觀察並記錄其各種不同濃度的海藻酸鈉膠球之外觀結構。

(二) 明膠之膠球製備

1. 準備 1 個 100 ml 的燒杯，各燒杯中須裝有 50 ml 的冷水，並以電子天平稱量欲實驗濃度的明膠粉克數，將稱好的明膠粉置入裝有 50 ml 冷水的 100 ml 燒杯中約 10 min，使之浸泡澎潤後，再以熱水浴法加熱攪拌使之溶解，須注意加熱水溫不可超過 70°C。
2. 進行染色工作，取紅墨水 5 ml 加入上述所配製完成的明膠溶液，再準備 250 ml 的燒杯內裝 100 ml 的冰水並以 10 ml 的紅墨水將冰水進行染色。
3. 準備一個 1000 ml 的大燒杯內裝約 1/2 的燒杯體積之碎冰，將上述裝有染色 100 ml 冰水之燒杯置入已裝有碎冰的 1000 ml 燒杯中，並利用注射針筒及針頭吸取 50 ml 已配製完成、欲實驗的明膠溶液，再讓明膠溶液慢慢滴入冰水當中，以冰浴的方式來使明膠溶液形成明膠膠球。
4. 在形成膠球的同時，須小心緩慢以玻璃棒攪拌冰水溶液。剛成膠球時，讓膠球浸泡於冰水溶液中約 10 min，再將其撈起瀝乾，膠球即製備完成。
5. 觀察並記錄其各種不同濃度的明膠膠球之外觀結構。

(三) pH 值對海藻酸鈉膠球及明膠膠球之影響

1. 依參考資料(如下表)，配製 100 ml 的各種不同 pH 值的溶液，以濃鹽酸(HCl)和氫氧化鈉(NaOH)來控制溶液的 pH 值，使溶液 pH 值分別為 1.0、7.0 及 9.0，利用廣用試紙測試之。
2. 以電子天秤分別稱 5g 已製備完成的海藻酸鈉膠球及明膠膠球，將其分別放入 100 ml 的三種不同 pH 值溶液中，記錄並觀察膠球本身有何變化及浸泡溶液中的顏色變化。
3. 剛開始每 5 min 將膠球撈起、瀝乾並稱重，記錄其重量有無變化，前 30 min 重量如無變化將稱重的間隔時間拉長至 45 min 測定一次，整個實驗的時間歷程約 4~5hr，為了實驗的準確性及再現性，每個數據值須具 3 次的實驗測量。

(四) 固定溫度(37°C)連續系統下對膠球之影響

1. 依參考資料(如下表)，配製 100 ml 溶液 pH 值分別為 1.0、7.0。
2. 以電子天平分別稱 5g 已製備完成的海藻酸鈉膠球、明膠膠球及光泉晶球，將其分別放入 100 ml pH=1 的溶液中，記錄並觀察膠球本身有何變化及浸泡溶液中的顏色變化。
3. 剛開始每 5 min 將膠球撈起、瀝乾並稱重，記錄其重量有無變化，前 30 min 重量如無變化將稱重的間隔時間拉長至 30 min 測定一次，整個實驗的時間歷程約 2hr，再將膠球撈起、瀝乾放入 pH=7，測點時間與上述步驟相同，為了實驗的準確性及再現性，每個數據值須具 3 次的實驗測量。

磷酸鈉緩衝溶液 0.1 M 之配製法

溶液 A：27.6 g $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ / 公升 (0.2 M)

溶液 B：53.6 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ / 公升 (0.2 M)

將溶液 A 與溶液 B 依所想的 pH 值，以下表所示混合後，稀釋至 200 ml

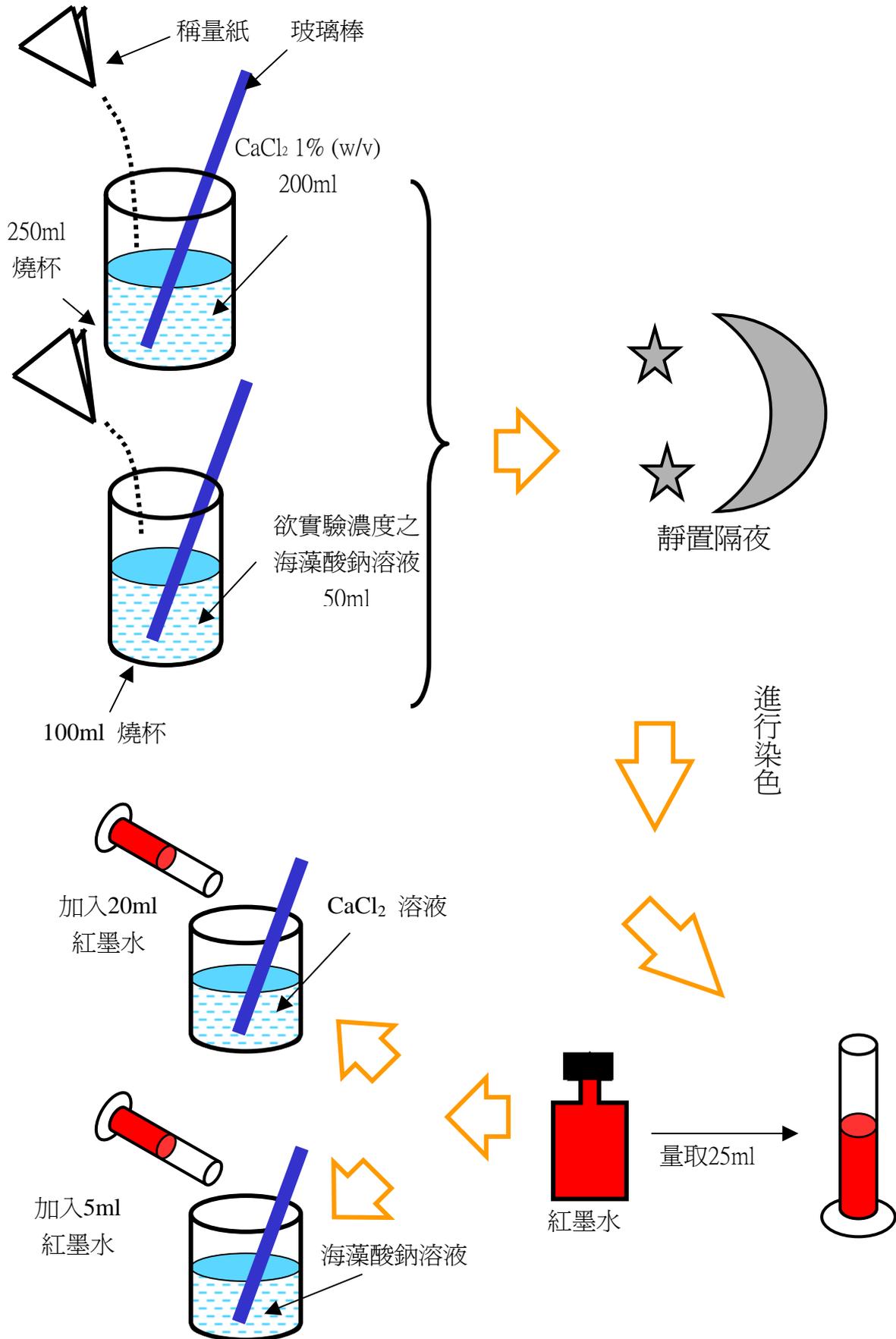
pH 值	溶液 A (ml)	溶液 B (ml)
7.0	39.0	61.0
8.0	5.3	94.7

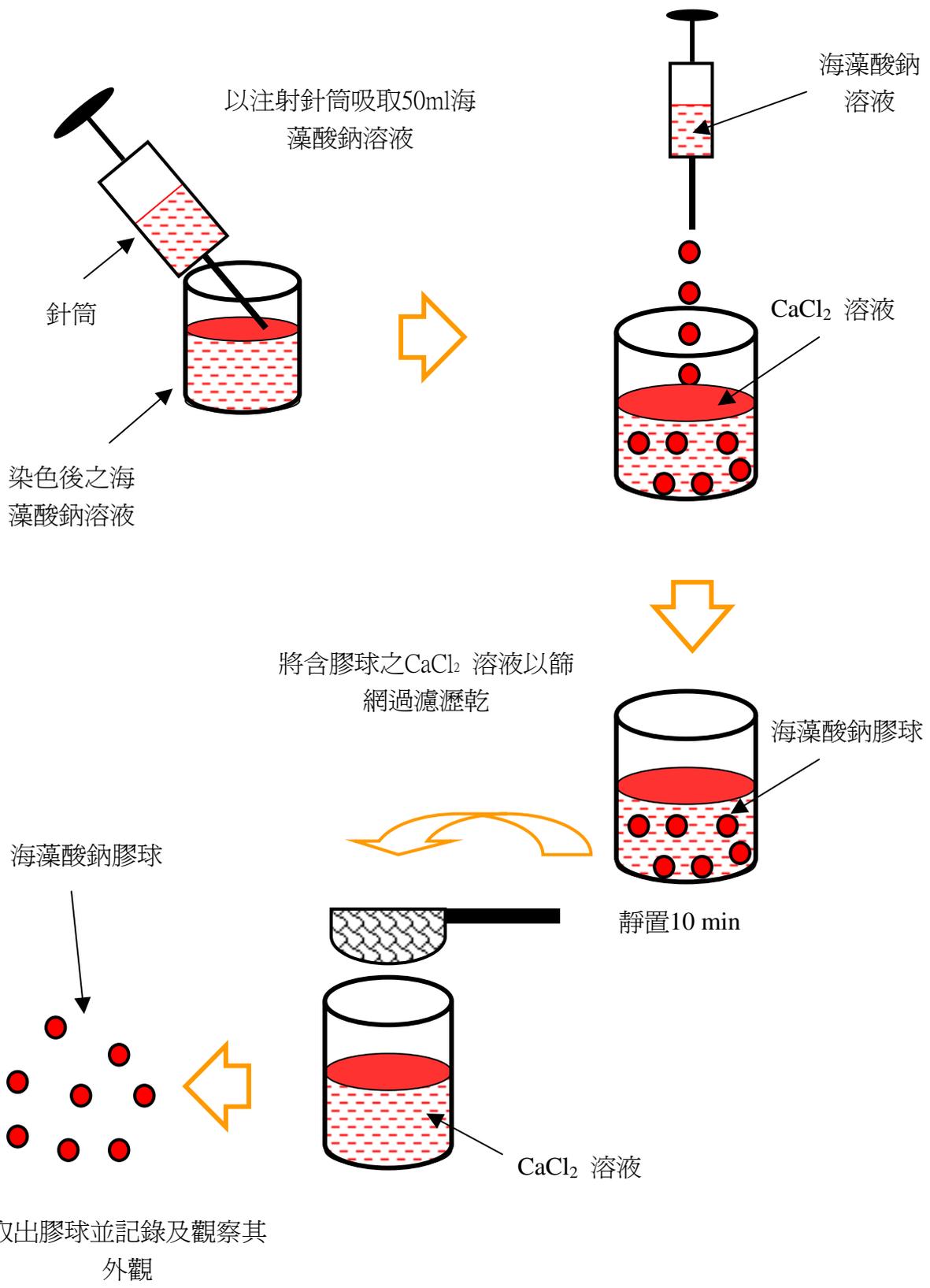
pH 值 = 1.0，以濃鹽酸稀釋 pH 值調為 1.0

pH 值 = 7.0，以上表所示配製之

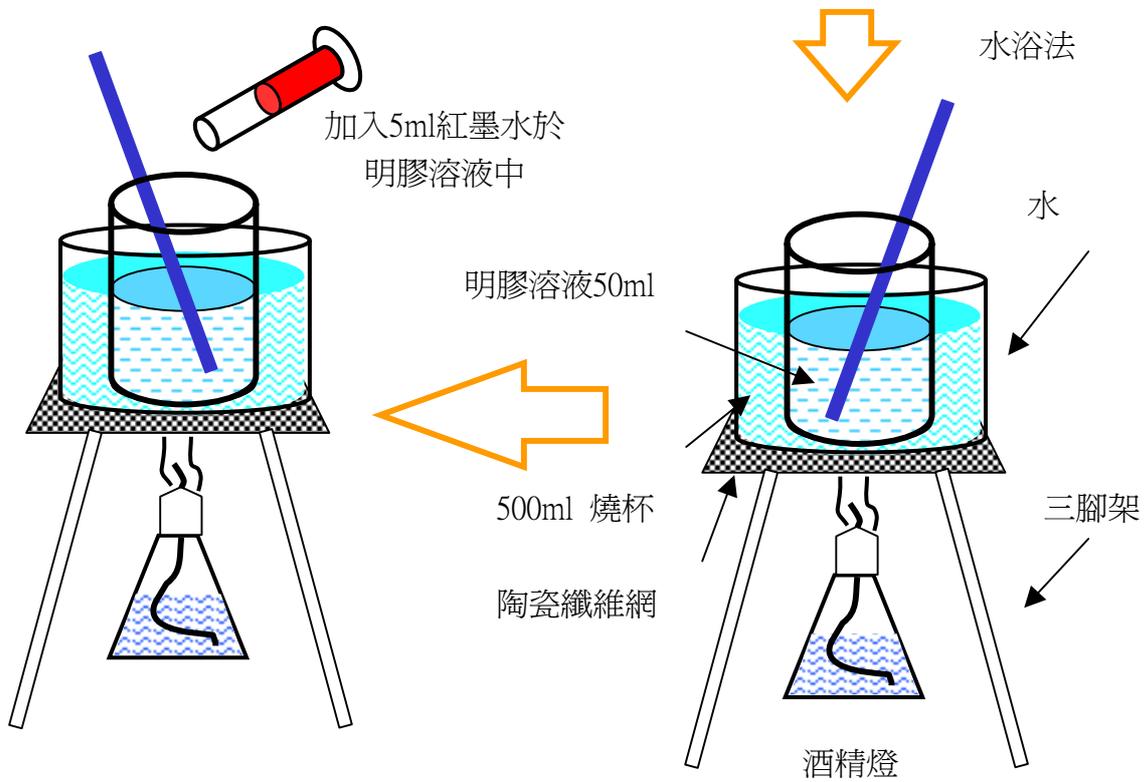
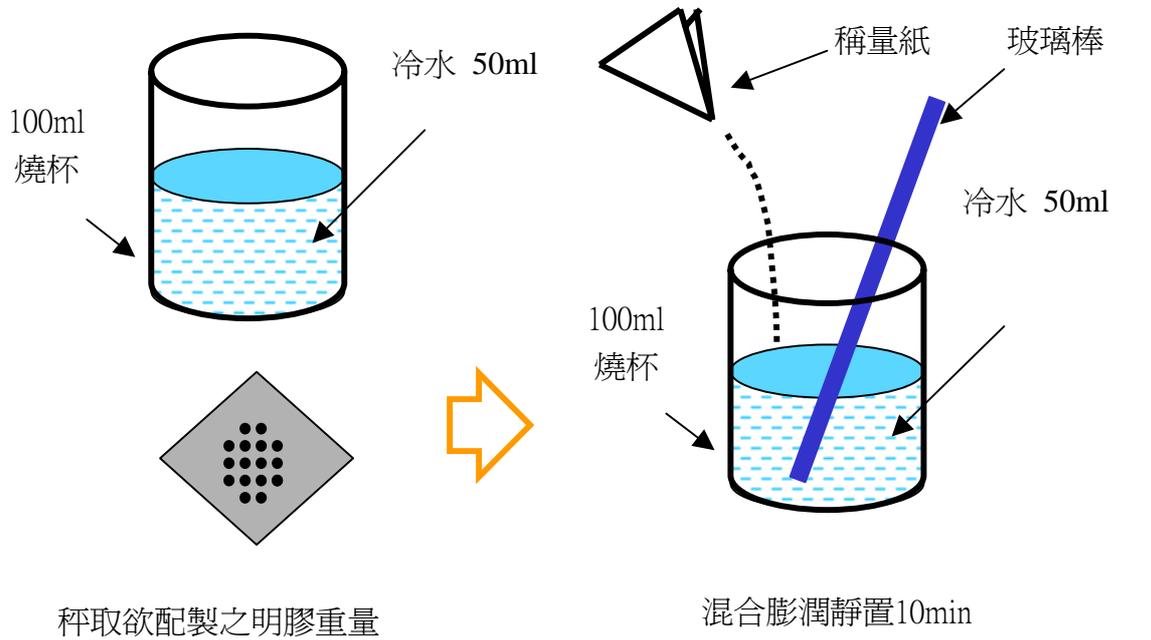
pH 值 = 9.0，以上表所示配製 pH 值=8.0，再以濃氫氧化鈉調整 pH 值為 9.0

海藻酸鈉膠球之製備流程圖

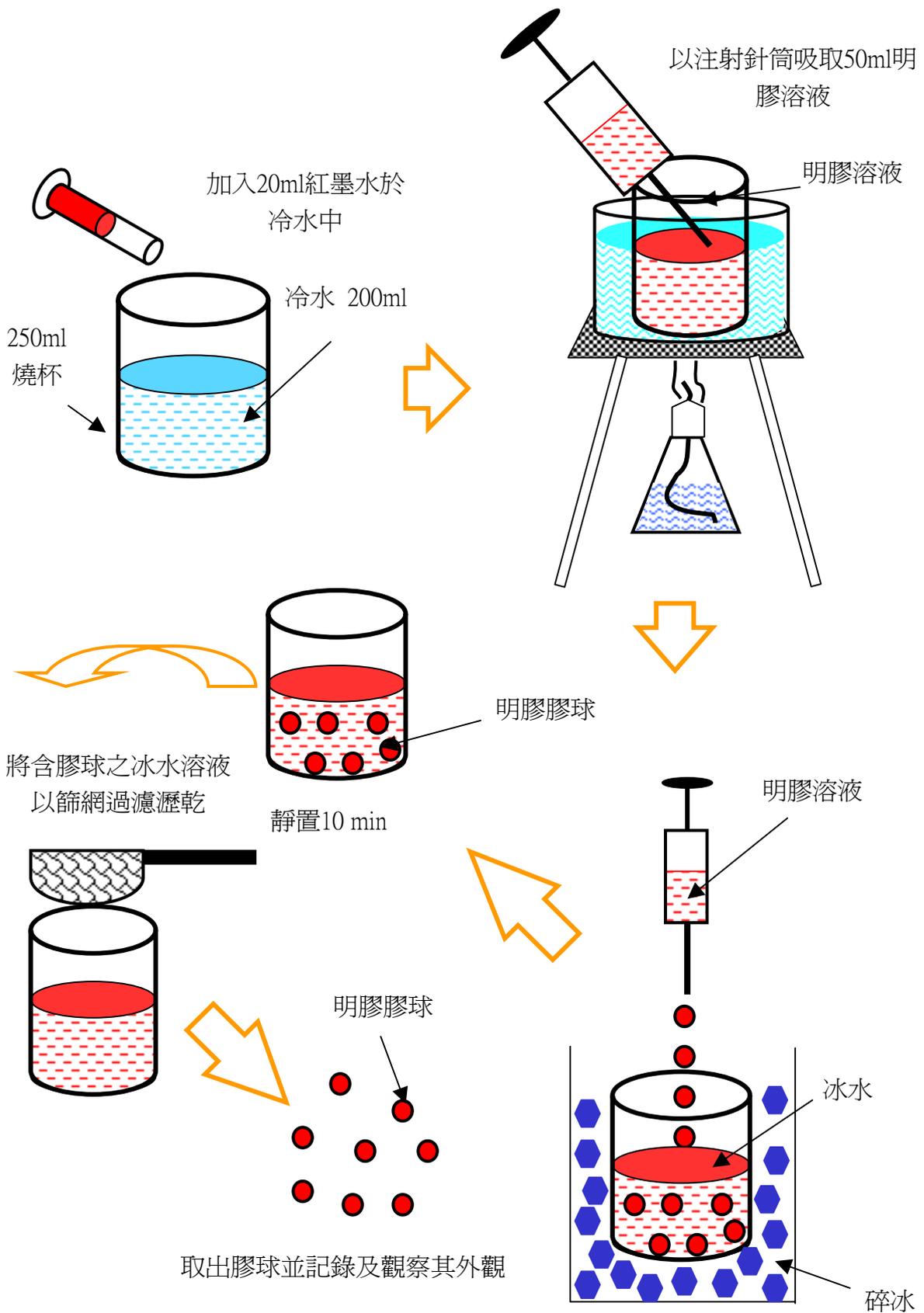


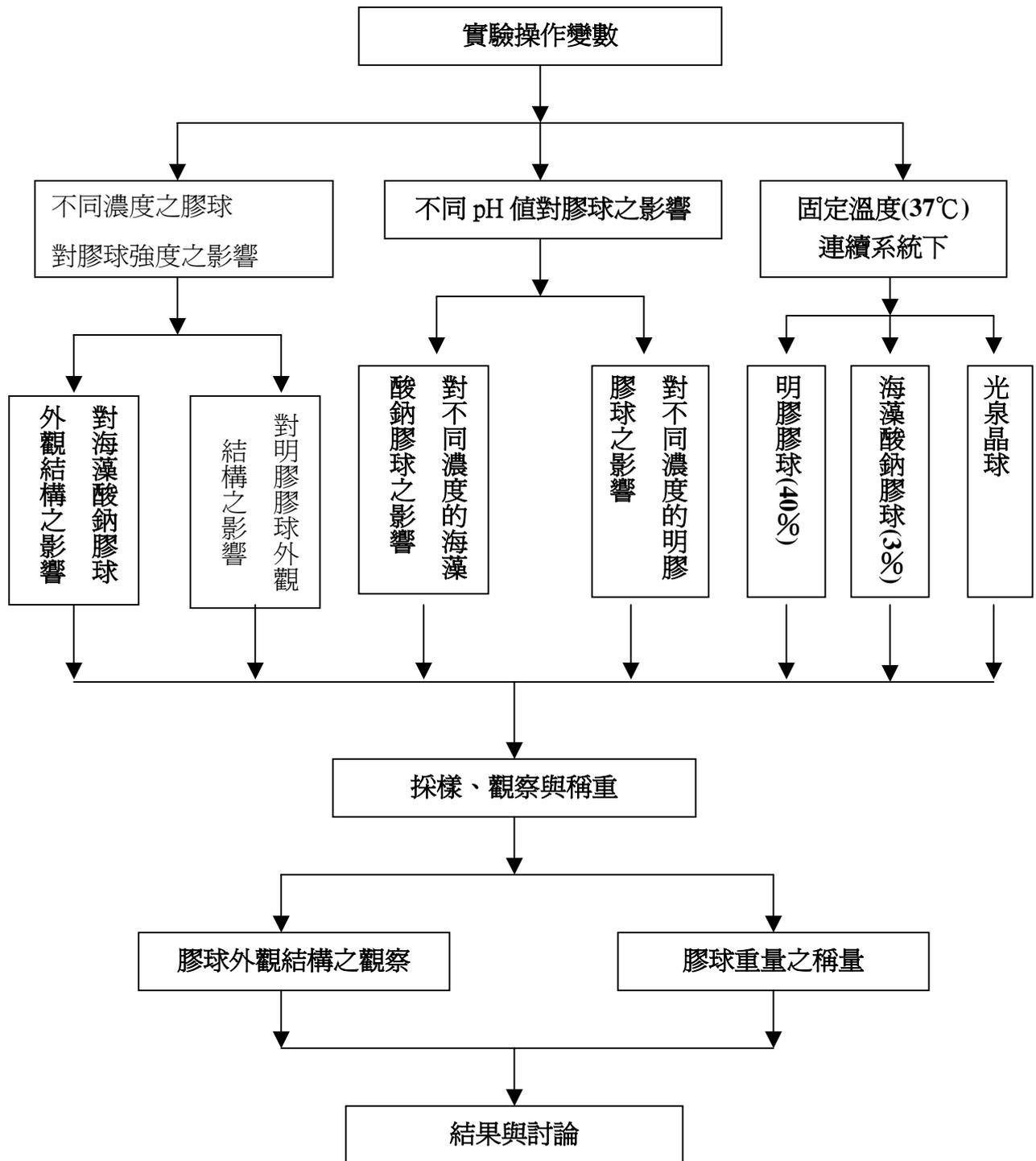


明膠膠球之製備流程圖



隔水加熱，水溫不可超過70°C





實驗變數操作流程

肆、研究結果與討論

一、不同濃度之膠球對膠球強度之影響

在第二冊理化課本中第 10 章中有提到，一般有機化合物的分子中所原子的總數大約在 100 個以下，但澱粉、蛋白質、橡膠、塑膠等的分子卻非常大，可能含數千到數十萬個原子，這類巨大的分子通常稱為聚合物。聚合物依其來源分為天然聚合物和合成聚合物，如澱粉、纖維素、蛋白質(動物膠質)、植物膠質、天然橡膠等，是天然聚合物;而合成纖維、合成橡膠、塑膠等是合成聚合物。聚合物的合成和利用，是近代化學工業中發展很快且很重要的一個部門，聚合物和人類日常生活有極密切的關係。

在食品及生物、醫藥工業中所最常使用的聚合物為天然聚合物，這是因聚合物本身特殊之性質及其來自於天然的植物及動物中提煉、萃取出，而非化學合成。所以，在使用上不論是應用於食品或是人體上皆較為安全，如蛋白質中的動物膠質-明膠，即為一種食品添加物，在食品工業上主要應於食品凝膠，如西餅派點、果凍、調味肉、冰淇淋等，在醫藥上也可應用於軟膠囊製造等。另一種親水膠體也是食品添加物-海藻酸鈉，在食品上作為穩定劑使用，如果凍、肉品等;而在醫藥上則作為乳化劑、藥膏等;在生物科技上可作為包覆菌種的擔體材質。

(一)對海藻酸鈉膠球外觀結構之影響

海藻酸鈉，為一直鏈的聚合物，是一種多醣類，分子量約為 240000，由甘露糖醛酸(D-mannuronic acid)和葛蘿酸(L-guluronic acid)所組成，為構成細胞壁的成份之一，其單體結構如下圖 4-1 所示。由於海藻酸鈉無毒，可食用，並可在二價金屬離子中形成網狀結構，因而可包覆色料、水份，並且可塑造其結構造形讓其呈球形狀，符合我們實驗所需材質的特性，因此，選定海藻酸鈉做為我們小晶球模擬實驗的材料。

海藻酸鈉之所以可形成膠球，是因為其與二價鈣離子產生交聯反應，二價鈣離子可以在兩個海藻酸鈉的分子間形成兩個鍵結，構成網狀結構而成形，在成形的同時便可包覆色料及水份，所以我們利用海藻酸鈉的此種特性，包覆色料及水份替代原晶球所包覆的菌種，模擬優酪乳晶球包覆菌種的情況。海藻酸鈉進行交聯反應後的結構，如圖 4-2 所示。

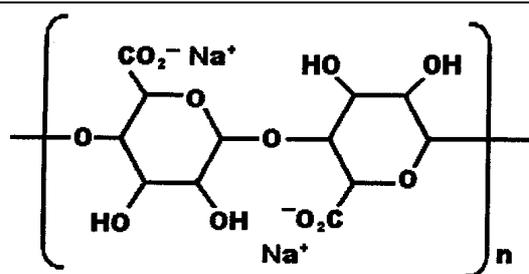


圖 4-1 海藻酸鈉的分子構結式

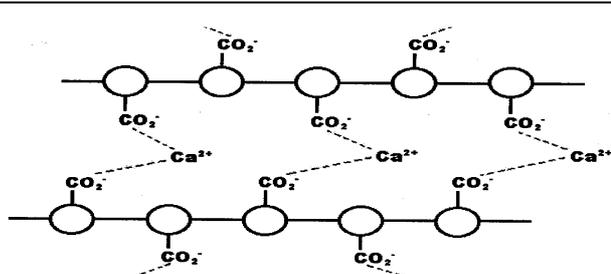


圖 4-2 海藻酸鈉進行交聯反應後的結構

從圖 4-1(a)及(b)可以發現，當海藻酸鈉膠球濃度為 0.5%及 1%時，其外觀結構皆為不規則，這可能是因其海藻酸鈉的濃度較低的關係所造成，在單位體積內海藻酸鈉分子的數目少，無法去撐住球形結構，造成在短時間內其外觀結構較不穩定，而呈不規則形，甚至會撐不住球內的色料及水份造成塌陷，若將膠球久放於空氣中，其膠球內的水份會蒸發流失，造成膠球乾掉。因此，由於海藻酸鈉膠球濃度 0.5%及 1%，其兩者外觀結構及所表現出來的結構強度接近，因而可能會造成兩種濃度的膠球所呈現的模擬實驗結果近似。所以，我們在此選擇其中一種膠球濃度(海藻酸鈉膠球濃度 1%)來進行模擬實驗。

再由圖 4-1(c)、(d)及(e)可看出，當海藻酸鈉膠球濃度為 3%、5%及 7%時，其外觀結構較接近球形。除此之外，在我們的實驗數據當中，還可發現當膠球濃度超過 3%，其所成形的結構可為球形，但此濃度並不代表形成球形膠球的臨界濃度，若要找出臨界濃度還須多次實驗才可找出，會造成此種現象，可能是因在膠球濃度超過 3%時，其單位體積中海藻酸鈉的分子數量較多，較撐得住外在的球形構造，形成較細緻的網狀結構，不易變形，可將色料及水份緊緊地包住。

膠球濃度提升為 5%時，其外在結構與膠球濃度為 3%時接近，有一點拖尾，可是當膠球濃度超過 7%時，其膠球在外觀上則有明顯的拖尾，這可能是由於膠球濃度太高所造成的，因為，當膠球的濃度愈高，其膠體溶液的黏度愈高，因此，造成在製備膠球時，膠體內部的黏著性太大，容易有拖尾出現，使其外在結構無法製成球形。所以在此三種膠球濃度中，我們選擇海藻酸鈉膠球濃度為 3%、5%來進行模擬實驗。其不同濃度之海藻酸鈉膠球對其外觀結構之變化，如表 4-1 所示。

表 4-1 不同濃度之海藻酸鈉膠球對其外觀結構之變化

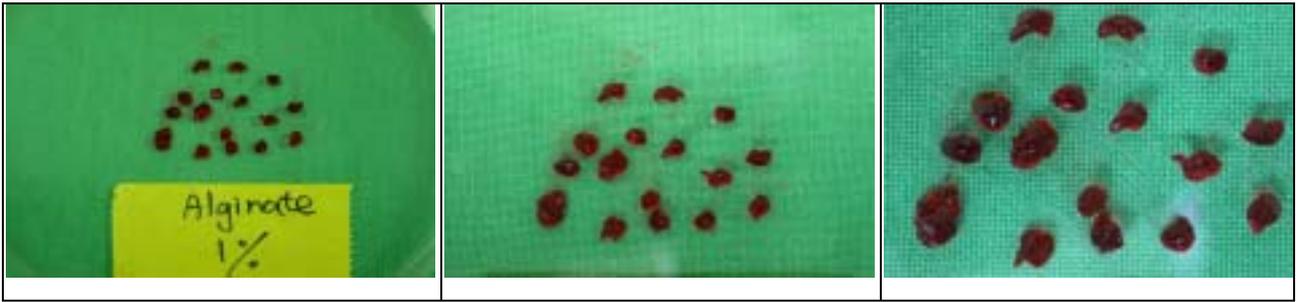
海藻酸鈉膠球濃度(w/v)%	0.5%	1%	3%	5%	7%
外觀結構	不規則 會塌陷	不規則 會塌陷	球形 有一點尾巴	球形 有一點尾巴	近似球形 有尾巴

圖 4-3 不同濃度之海藻酸鈉膠球其外觀結構變化之相片

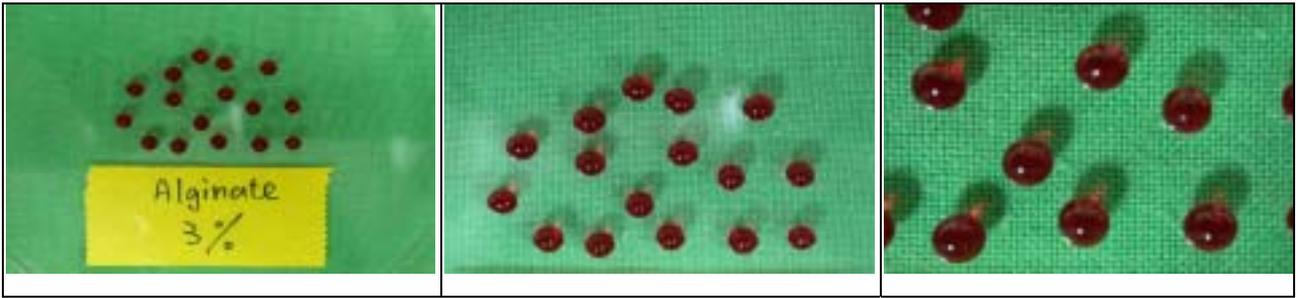
(a)圖：海藻酸鈉膠球濃度 0.5%



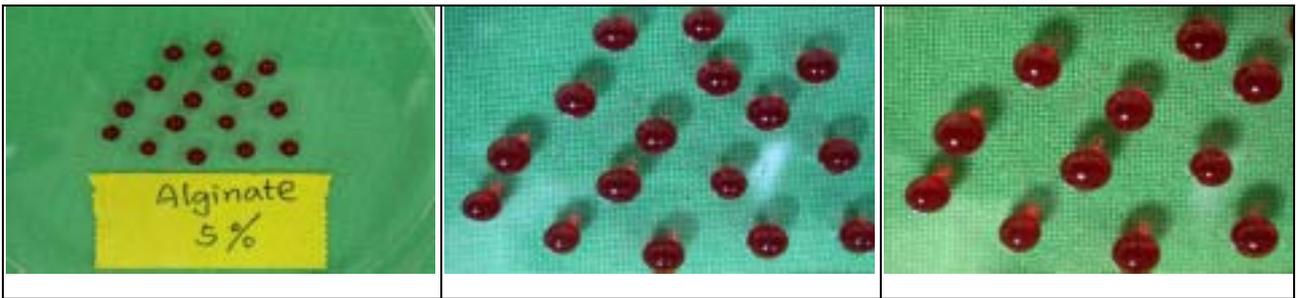
(b)圖：海藻酸鈉膠球濃度 1%



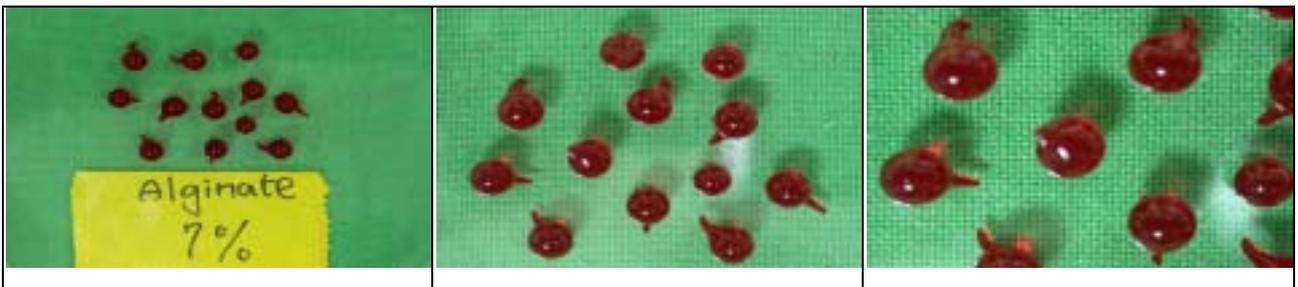
(c)圖：海藻酸鈉膠球濃度 3%



(d)圖：海藻酸鈉膠球濃度 5%



(e)圖：海藻酸鈉膠球濃度 7%



(二)對明膠膠球外觀結構之影響

明膠是由動物的骨或皮中所含的膠原，經過部分水解製得。膠原在熱水的作用下，首先是形成交聯的氫鍵或靜電性鍵斷裂，然後是共價鍵的水解斷裂，引起其超螺旋體的解體，這個作用稱為解旋。解旋的產物就是可溶性的明膠質，是 18 種氨基酸排列成長鏈的高分子蛋白質，能被胃酸分解，用以補充人體的膠原蛋白質，而且明膠中不含脂肪和膽固醇，因此是良好的營養品。

明膠的分子量不均一，大部分商業明膠的分子量範圍是 15000~250000 之間，平均為 50000~70000，能溶於水，水解後的明膠肽鍵斷裂，變為多肽，分子量降至 2000~10000，也可微溶於酒精;明膠水溶液黏度較黏，冷卻後會凍結成有彈性的凝膠，受熱後又恢復為溶液，此為動物膠專有的特性，為熱敏性材質。

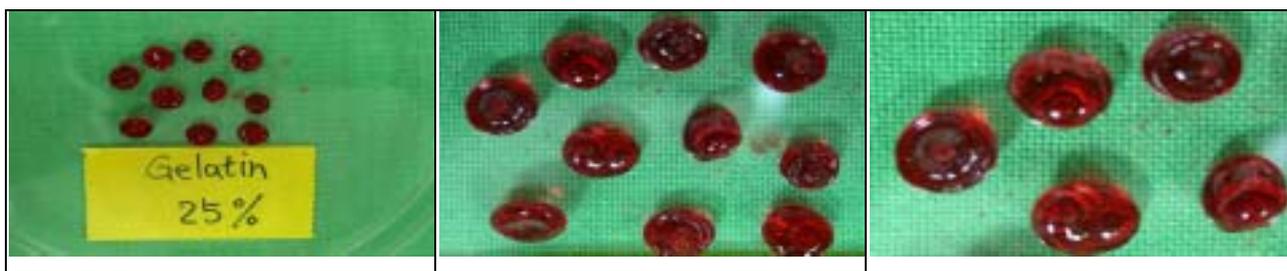
由我們實驗中可發現，明膠膠球在膠球濃度小於 20%時，無法形成球形外觀，這可能是因膠球濃度太低，依資料指出，在室溫下，明膠水溶液在濃度為 20%時，其黏度太小為 50 Pa·S 左右，因而造成溶液在冷卻後不再凝膠，仍呈水溶液狀，此結果與我們實驗的結果吻合。所以，我們必須提高明膠膠球濃度，當我們將膠球濃度提高至 25%，其外觀結構即可成球狀，但此膠球濃度並非是膠球成球形的臨界濃度，此濃度還須多次實驗才能得知，當膠球濃度再提升至 30%時，其外觀結構仍與膠球濃度 25%時相近，直到膠球濃度提升至 40%時，發現明膠膠球濃度可能太濃，因其外觀結構開始出現拖尾，這就是因膠體溶液濃度高，造成膠體內部本身黏著性大，才會有拖尾出現。因為，明膠水溶液的黏度會隨著濃度的增加或溫度的降低而增加。因此，在明膠膠球濃度選擇上，我們選擇膠球濃度 25%、30%及 40%來進行我們的模擬實驗。不同濃度之明膠膠球對其外觀結構之變化，如表 4-2 所示。

表 4-2 不同濃度之明膠膠球對其外觀結構之變化

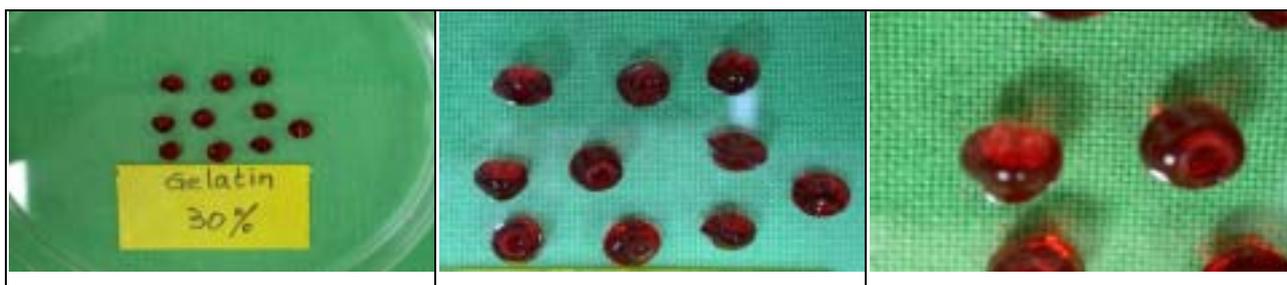
明膠膠球濃度(w/v)%	10%	20%	25%	30%	40%
外觀結構	無法成球形	無法成球形	橢圓球形	橢圓球形	橢圓球形 有尾巴

圖 4-4 不同濃度之明膠膠球對其外觀結構變化之相片

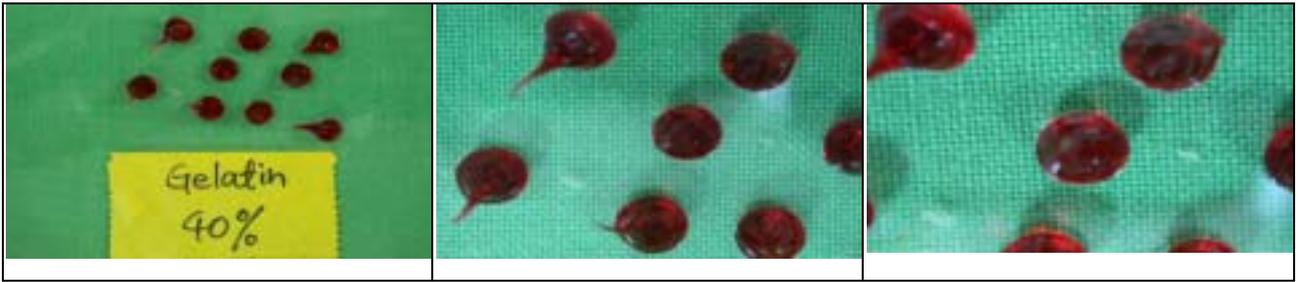
(a)圖：明膠膠球濃度 25%



(b)圖：明膠膠球濃度 30%



(c)圖：明膠膠球濃度 40%



二、不同酸鹼值(pH 值)對膠球之影響

(一)不同酸鹼值對不同濃度海藻酸鈉膠球的之影響

凝膠在定義上是一種介於固體及液體之間的物質，而海藻酸鈉膠體即是一種水凝膠(類似果凍)受到外界刺激後會與鈣離子形成鍵結，使膠球體的體壁變成韌性結構。基本上，高分子水凝膠由網狀結構(經由物理或化學交聯的結構)的聚合物和水組成，可包容在液體介質之間的物質。其液體提供了凝膠存在的實體，以避免凝膠的塌陷，而分子網狀結構則提供了凝膠的整體架構，避免液體的流動。因此，網狀結構的聚合物不能被水溶解，但在某些情況下能吸收大量水分子而膨脹。所以，凝膠物質可以因為化學組成的不同，及外在因子的影響，而呈現黏稠的流體動態，或是相當堅硬的固體狀態等不同的物性狀態存在。

海藻酸鈉膠體是利用其與多價離子間，藉離子鍵結而形成的複合物，可用來包覆液體或菌體，是食品工業及生物固定化技術經常使用的材料，因為是由海藻中萃取出來的多醣類，主要由甘露糖醛酸(D-mannuronic acid)和葛蘿酸(L-guluronic acid)所組成的直鏈式聚合物。將含有色料或菌體的海藻酸鈉膠體溶液，在室溫下滴入多價離子(如氯化鈣溶液)溶液中，即可因離子鍵結形成膠球，並在低濃度的氯化鈣溶液中浸泡適當的時間，以增加其外在結構的強度。

海藻酸鈉膠體最大的缺點，在於當其遇到含有易取代膠體中鈣離子的成份存在時，如磷酸鹽、鎂離子或鉀離子等，會造成海藻酸鈉膠內的鈣離子被移走，而導致海藻酸鈉膠球崩解。依文獻資料所示，不同的金屬陽離子對海藻酸鈉膠體與磷酸鹽也有著不同的親合力，使海藻酸鈉膠球崩解或溶解的情況及程度亦不同，當海藻酸鈉膠球與磷酸鹽溶液接觸時，鈣離子與磷酸鹽進行鍵結，因而撐大海藻酸鈉膠球的三度空間結構，使水分子更易進入膠球內，而逐漸膨脹;若海藻酸鈉膠球與更高量的磷酸鹽接觸時，鈣離子將與磷酸鹽進行整合反應形成複合物，而脫離海藻酸鈉的網狀結構，導致膠體之崩解。

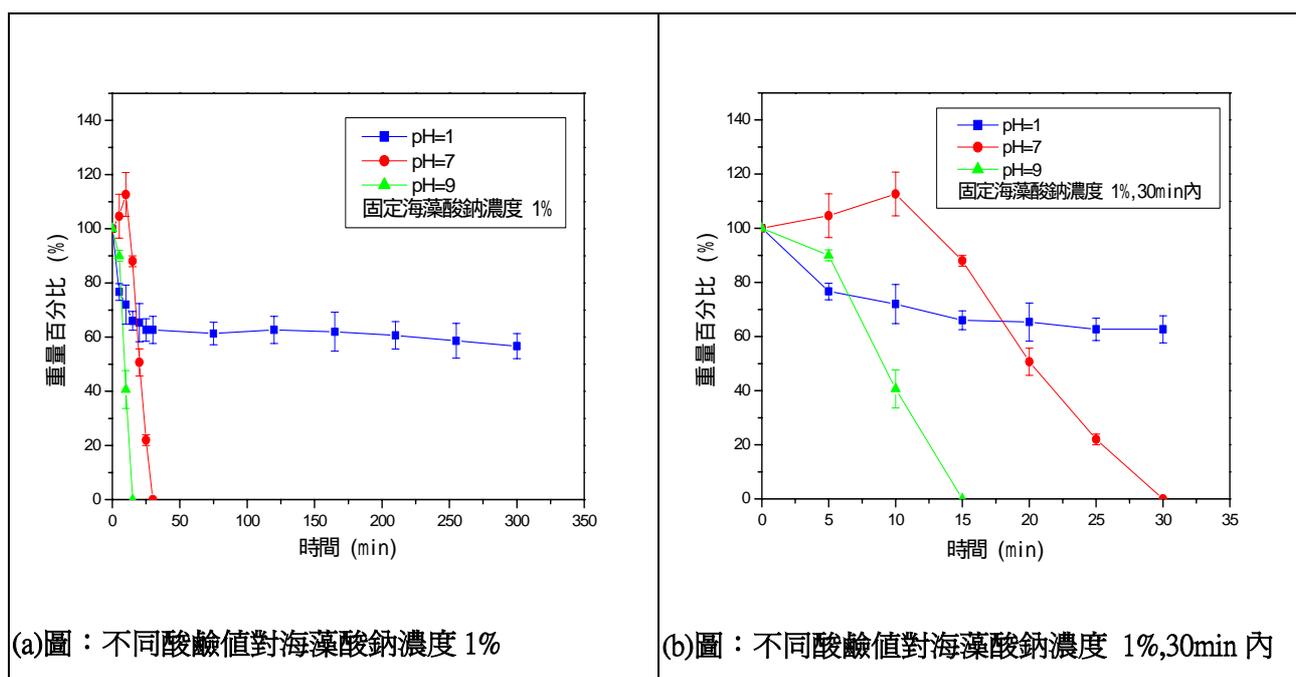
由於人體的生理狀態類似磷酸鹽緩衝溶液，但除了胃酸以外。人體中每個器官部位，有著不同的酸鹼值，這些酸鹼值都會影響著我們的膠球材質。依據文獻資料，人體的消化系統中，酸鹼值大約可分為三大部分：(1)胃：酸性(pH 值=1~2);(2)腸道：中性(pH 值=7);(3)其餘器

官：微鹼性(pH 值=8)，利用上述酸鹼值範圍，來進行模擬實驗，爲了擴大測試範圍，我們將微鹼性的酸鹼值由 pH 值=8 調整至 pH 值=9。

當我們在進行模擬實驗時，我們也發現了海藻酸鈉膠球崩解的現象，由圖 4-5(a)~(d)皆可看出，而且不論海藻酸鈉濃度爲何，其所有的圖皆有相同的趨勢，在 pH 爲 7 時，海藻酸鈉膠球會開始吸取溶液，當海藻酸鈉膠球吸取溶液而脹大至整個網狀結構無法承受時，其膠球開始崩解成泥狀，如圖 4-5 中所示，其膠球的重量百分比的趨勢剛開始時會先上升，而後到達一最大值，這即是此濃度的海藻酸鈉膠球所能吸取的最大溶液量，之後會因膠球開始崩解成泥狀而溶於溶液中，所以造成圖中重量百分比的趨勢開始往下降。

在 pH 值爲 9 時，其膠球會較快瓦解並溶於溶液中，這可能是因磷酸鹽中的磷酸氫二鈉的量較高，此成份中的鈉離子會更易取代膠球中鈣離子的地位，而造成海藻酸鈉膠球崩解而溶於溶液中，使圖 4-5 中的重量百分比趨勢快速的往下掉;在 pH 值爲 1 時，其重量百分比的趨勢會稍微的往下降而後維持一定，而且在模擬實驗的過程中，我們發現其膠球會顏色變淡、稍微縮小、爲不透明狀，這可能是因溶液所添加鹽酸的氫離子會滲入膠球中，取代原膠球中的鈣離子，但此膠球不會因此而崩解，因氫離子的滲入使海藻酸鈉膠體改以氫鍵來鍵結，以維持膠球的結構。由於其是以氫鍵所鍵結的結構，因此，比以鈣離子所鍵結的結構來得小，而造成膠球球體稍微變小，變小的過程中會將些許的色料及水份擠出，使膠球的顏色變淡，也因結構的不同造成其變爲不透明狀。如圖 4-6 所示，其爲 5%海藻酸鈉膠球浸泡過酸鹼值爲 1 溶液相片之比較

圖 4-5 固定海藻酸鈉膠球濃度對不同酸鹼值之影響



(a)圖：不同酸鹼值對海藻酸鈉濃度 1%

(b)圖：不同酸鹼值對海藻酸鈉濃度 1%,30min 內

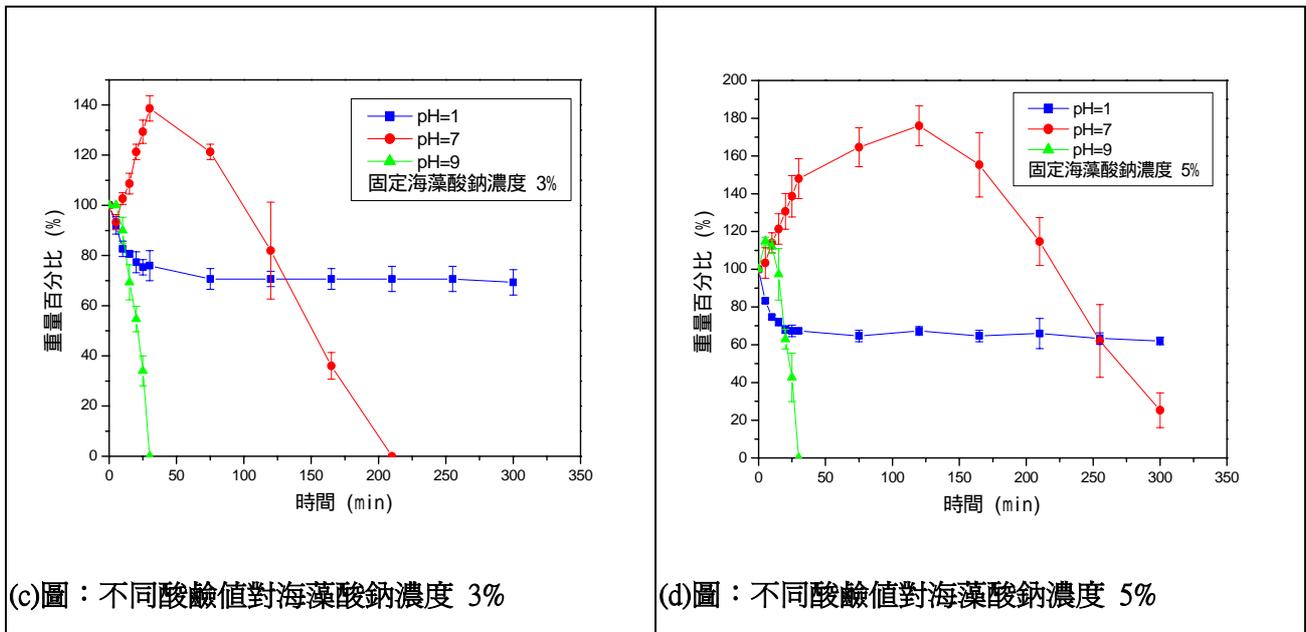


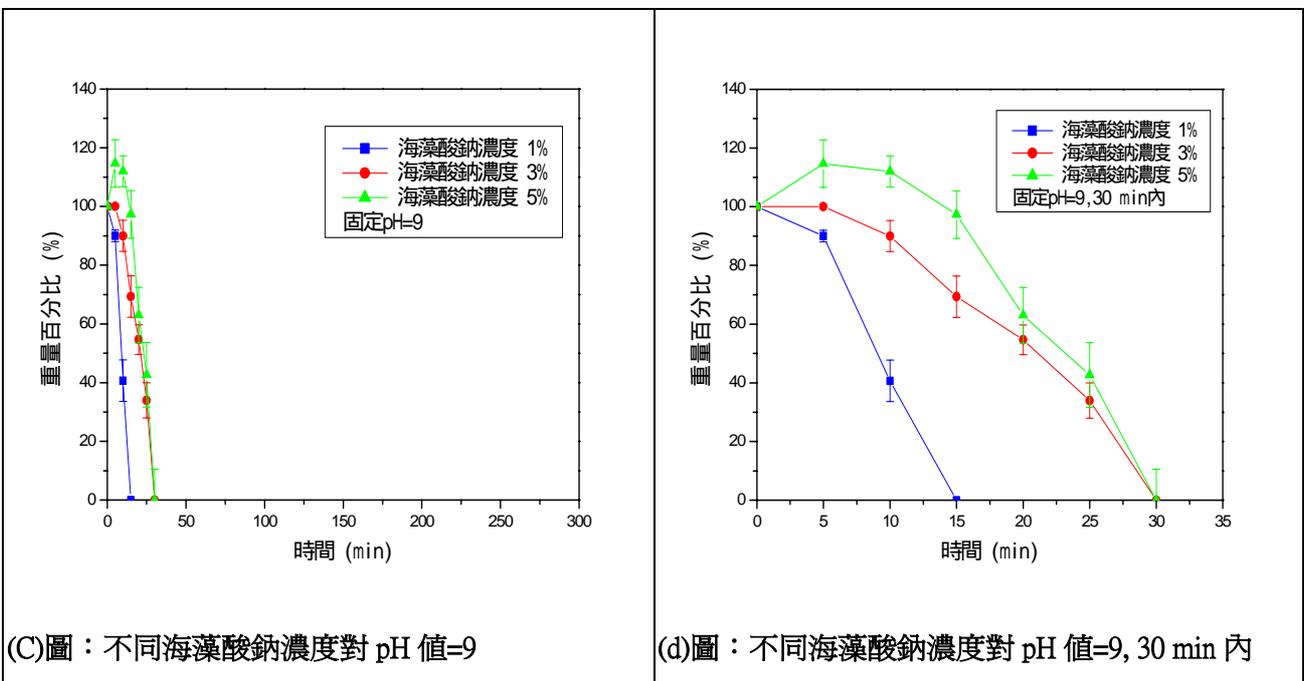
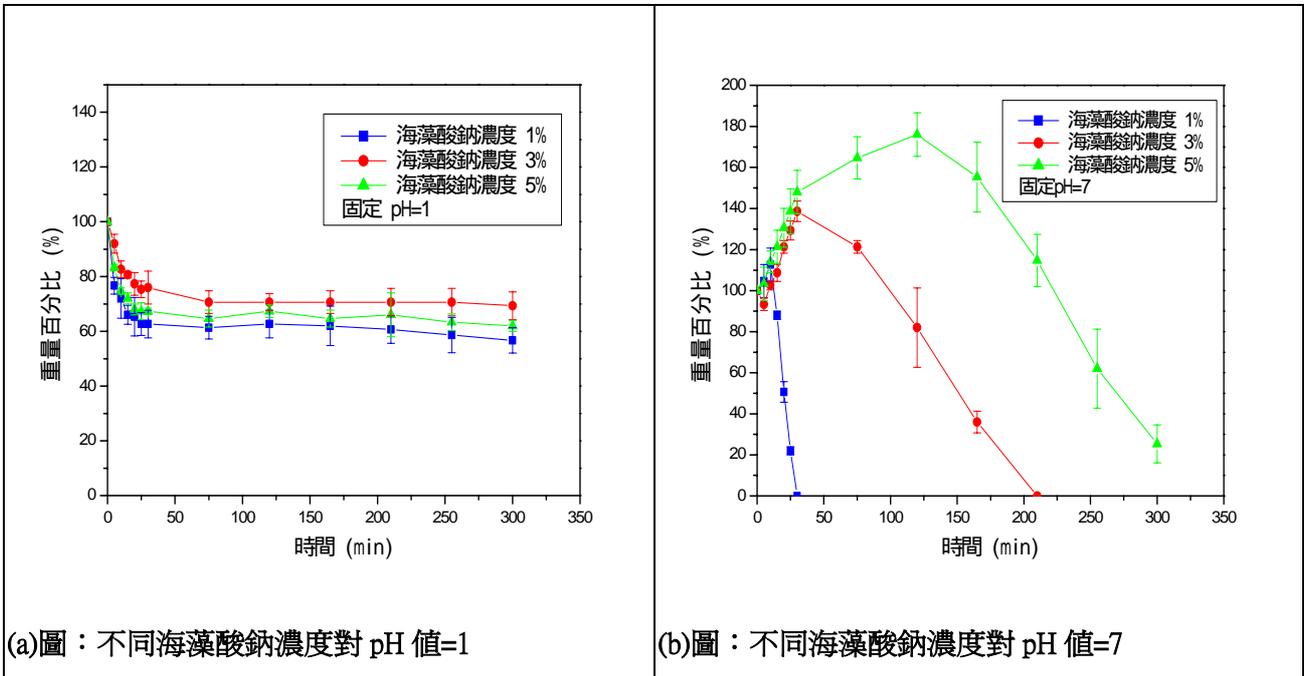
圖 4-6 海藻酸鈉膠球 5% 浸泡過值 pH=1 溶液相片之比較



由圖 4-7(a)~(d)可看出，在固定酸鹼值其不同海藻酸鈉濃度所造成的影響，由圖中可更明顯的看出，在 pH 值為 7 時，海藻酸鈉膠球濃度的提高，可加強膠球對於磷酸鹽的抵抗能力，較不易在短時間內脹大、崩解。由此可知，海藻酸膠球的濃度亦會影響其機械性質，通常海藻酸鈉濃度愈高，強度愈佳，這種情況在 pH 值為 9 時，也有相同的結果。在 pH 值為 1 時，其海藻酸鈉濃度的提高對於膠球在酸液中並無太大的變化，每種膠球濃度在浸泡於酸液中，最後所得的重量百分比皆差不多，這可能是因酸液中的氫離子置換了膠球內的鈣離子，造成膠球的球體變小，但是每種濃度的膠球其變小的程度應會有所不同，因為單位體積下海藻酸鈉分子數量若較多，即會佔有一定的空間，所以膠球球體能變小的程度有限，因此被擠出水份也有限，但由於膠球濃度愈高其所鍵結的鈣離子量則愈多，而造成鈣離子被置換出量也愈多，所以，由此可知，在高濃度的膠球球體，其球體變小的程度有限，但鈣離子被置換的量卻較多，反之低濃度的膠球球體，其球體變小的程度較大，但鈣離子被置換的量卻較少，在這兩種因素影響之下，造成每種膠球濃度在浸泡於酸液中，最後所得的重量百分比皆差不多。

總合上述所有的數據，我們挑選 3%海藻酸鈉膠球濃度來進行連續系統的模擬實驗，因為此濃度的膠球在 pH 值為 7 時，可在合適的時間內(物質在腸道中約待 2hr)，慢慢地將所包裹的釋放，並在 pH 值為 1 時，亦可緊包住所包裹的物質，符合我們模擬實驗的需求。

圖 4-7 固定酸鹼值對不同海藻酸鈉濃度之影響



(二)不同酸鹼值對不同濃度明膠膠球的之影響

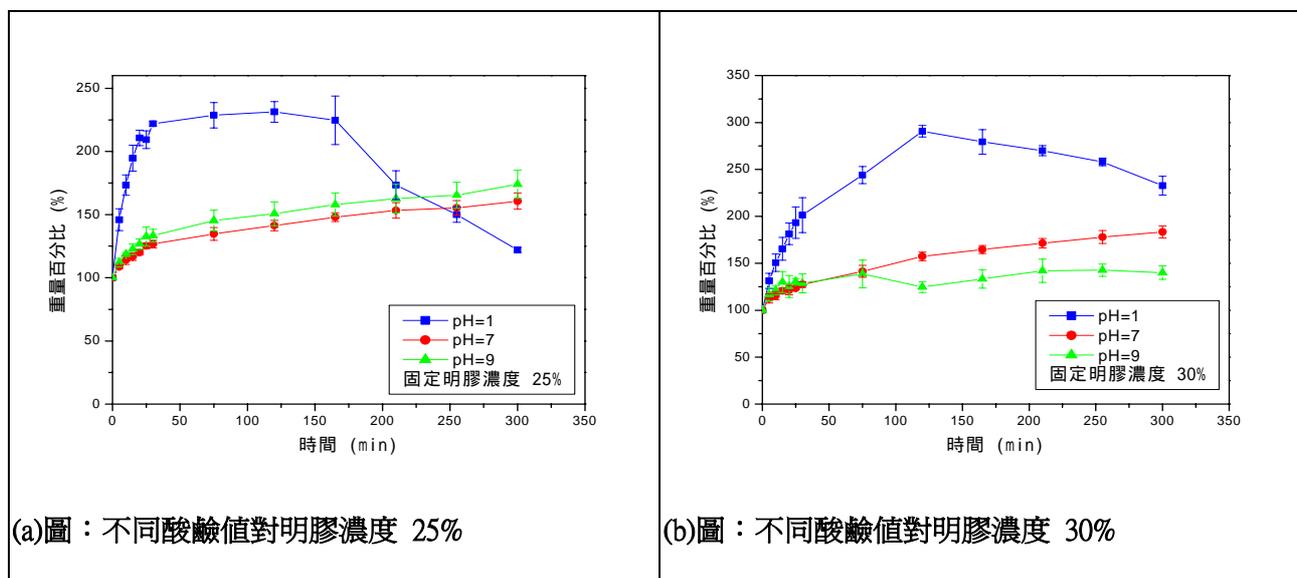
許多凝膠聚合物會隨著許多外在影響因子變化，而產生體積上的巨大改變，也因這些外在影響因子的變化，而改變凝膠的狀態，使凝膠內部作用力的不平衡，促使凝膠的收縮與膨

脹的體積反應變化，而這些影響因子包括了溶劑成分、pH 值以及溫度的改變等。膠體的溶脹過程，實際上是兩種相反趨勢的平衡過程，溶劑力圖滲入到網絡內使體積膨脹，導致三維分子網絡伸展，同時，分子網絡具彈性收縮力，力圖使分子網絡收縮。當這兩種相反的傾向相互抵銷時，就達到膨脹平衡，因此膠體內的滲透壓是凝膠溶脹的推動力。當膠球在收縮時，其膠體內部的滲透壓為負值，故凝膠呈現不穩定狀態，而趨向將液體排出網狀結構，以使滲透壓為恢復平衡；若當膠球在膨脹時，則由於滲透壓為正值，故在液體的存在之下，凝膠將吸收液體而膨脹以減低內部壓力。

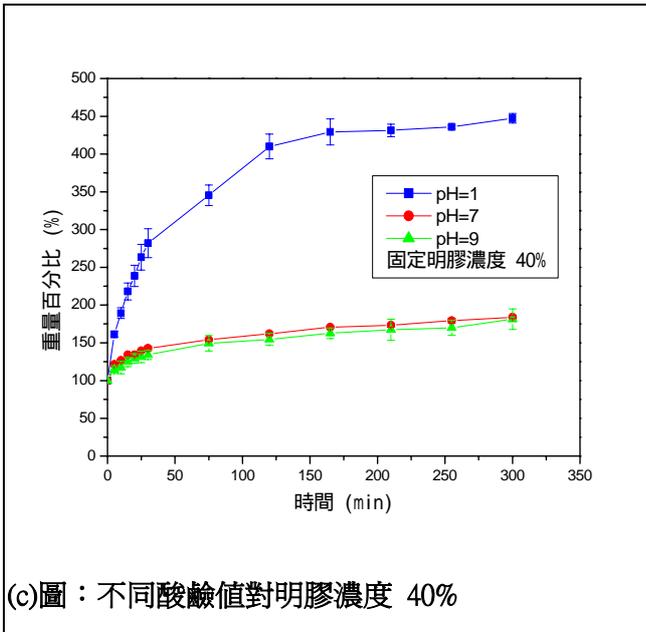
由於外在影響因子所造成凝膠體積變化為連續式，像是若將溫度提升，即會使凝膠相變化這一連續現象程度增加，使我們不易觀察到膠體體積變化的過程。根據資料文獻所示，光泉晶球主要的成份為明膠，因此，這次我們所選的另一膠體材質則為明膠，其是一熱敏性及熱可逆物質。因此，實驗的過程中，我們必須在室溫下觀察明膠變化的過程，不可太高溫。從實驗數據看來，圖 4-8(a)~(c)所示不論所固定明膠膠球濃度為何，在不同的酸鹼性溶液中，以膠球所表現出的趨勢大致上相同，在 pH 值為 1 時，明膠膠球剛開始會吸取溶液，造成其重量百分比上升及其本身的球體也隨之脹大，當膠球至最大的吸取量時，膠球即開始溶於溶液中，而使重量百分比下降的趨勢。

明膠膠球之所以會吸水，是因其為一網狀結構的親水性聚合物，可以吸收水分及小分子溶劑，也由於滲透壓為正值，故在液體的存在之下，膠球將吸收液體而膨脹以減低內部壓力，此現象在圖 4-9(a)~(b)更可清楚看出，由圖中可發現不論膠球在酸性、中性或鹼性的環境下，皆有吸水的現象產生，那是因明膠材質本身使然，但是卻在酸性的環境下更為明顯，這是有另一種因素影響著膠球內部滲透壓的作用力，即氫離子壓力。

圖 4-8 固定明膠膠球濃度對不同酸鹼值之影響



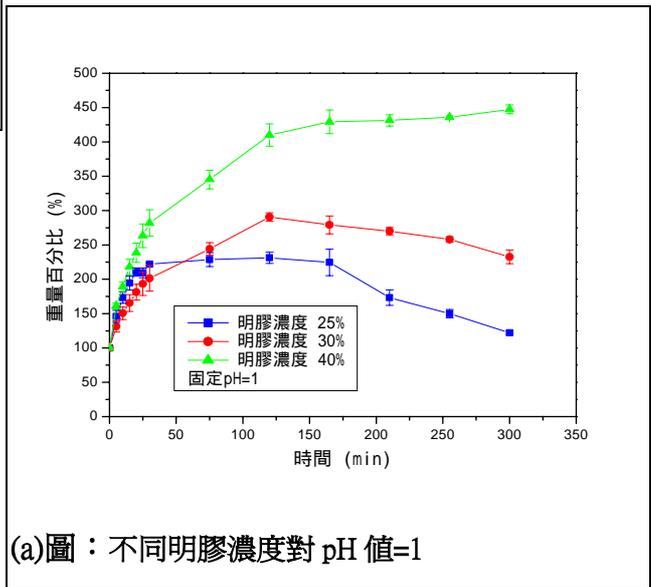
依資料文獻中所示，酸性環境下有大量大量的氫離子，而膠體是一離子性聚合物分子，其分子主幹是些帶負電的網狀結構分子，故氫離子會像是氣球內的氣體般被限制在膠球內，使膠球呈現電中性。但是，氫離子在膠球的網狀結構中，其自由的運動仍會造成一些正壓力，而使膠球的體積撐大，而且氫離子之間也會相互排擠，甚至將膠球聚合物的分子間鍵結打斷，使之崩潰。



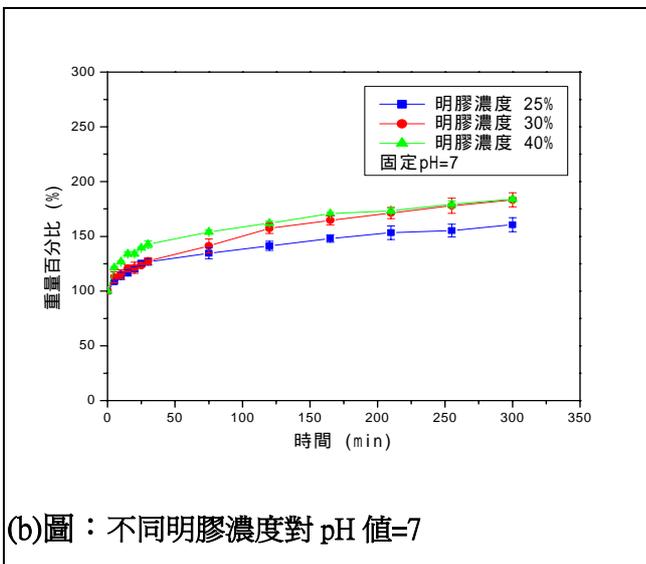
(c)圖：不同酸鹼值對明膠濃度 40%

圖 4-9 固定酸鹼值對不同明膠濃度之影響

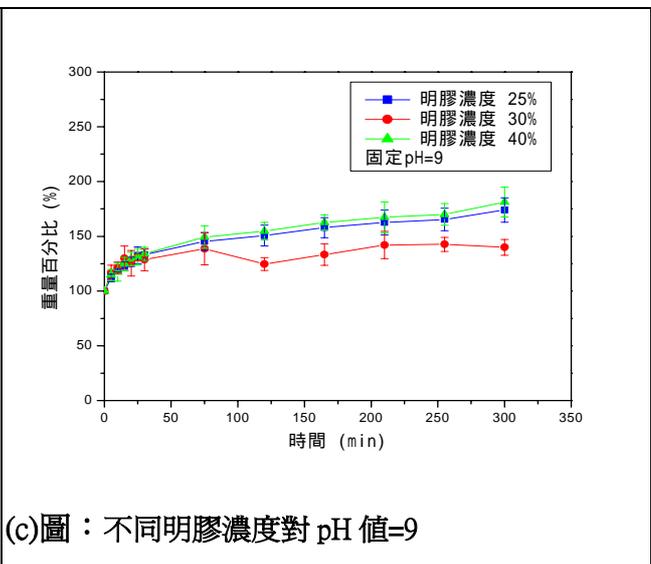
在中性(pH=7 值)及鹼性(pH=9 值)的環境中，如圖 4-8、4-9 所示，只有稍微吸水脹大的現象產生，這可能是因為中性及鹼性溶液中磷酸鹽類的金屬離子(如鈉、鎂離子等)所造成的影響，因此金屬離子會和聚合物長鏈上負離子結合，而減低其對結構內的氫離子的限制力，且磷酸鹽類水解的負離子更會中和掉氫離子，所以會減低聚合物內的氫離子壓力，因此，所溶解的磷酸鹽類化合物可以促使膠球收縮，因而造成膠體並無明顯溶解、膨脹的現象。如圖 4-10 所示，其為 40%明膠膠球於不同的酸鹼溶液浸泡後的相片比較。



(a)圖：不同明膠濃度對 pH 值=1



(b)圖：不同明膠濃度對 pH 值=7



(c)圖：不同明膠濃度對 pH 值=9

總合上述所有的數據，我們挑選 40%明膠膠球濃度來進行連續系統的模擬實驗，因明膠是一熱敏感的材質，在連續系統的模擬實驗中，爲了接近人體的生理狀況，我們須將溫度固定於 37°C，但此溫度對於明膠的材質可能有很大的影響，所以，我們選濃度最高的明膠膠球來降低溫度的影響，因明膠膠球濃度愈高，須較長的時間來溶解，以看出明膠變化的趨勢線。

圖 4-10 40%明膠膠球於不同的酸鹼溶液浸泡後的相片比較



三、固定溫度(37°C)連續系統下對膠球之形響

在固定溫度 37°C 的人體生理狀態的模擬實驗，其結果如圖 4-12 所示，pH 值=1 是模擬人體的胃; pH 值=7 則模擬人體中的腸道。此實驗是先可明顯的比較出，海藻酸鈉膠球的趨勢線較接近光泉晶球，其在固定溫度 37°C、pH 值=1 時，所表現出的狀態與我們之前在室溫之下所得的實驗結果相同，由此，即可得知海藻酸鈉受溫度的影響較小，且由圖 4-12 可發現，雖然海藻酸鈉膠球不能維持與光泉晶球一樣高的重量百分比(%), 但是其最少可維持在 60%左右，其在酸液仍有尚可的表現，而在鹼性的環境中即可大量的崩解、釋放所包覆的物質，但其的缺點是結構中的金屬離子對於菌種活性有些影響，因此，若要採用此種材質即須考慮此因素的影響。

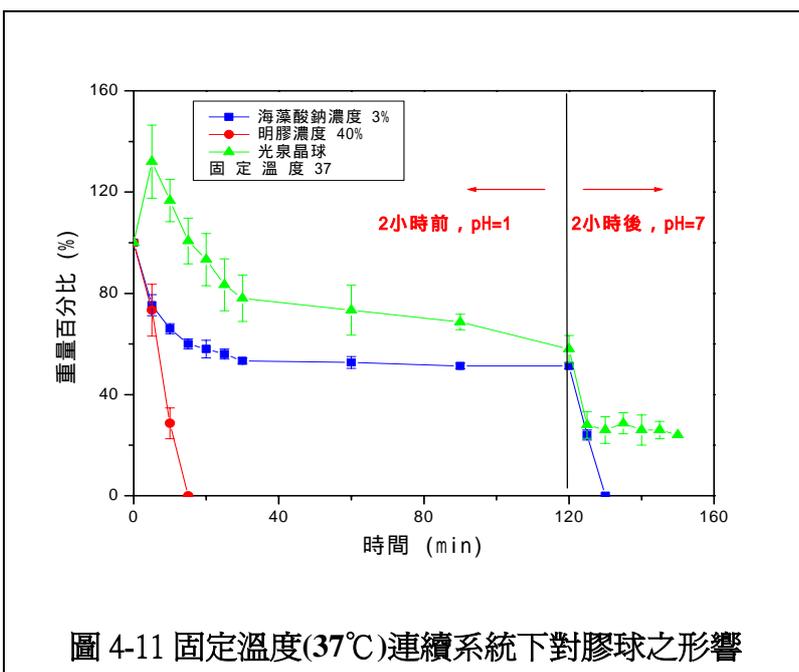


圖 4-11 固定溫度(37°C)連續系統下對膠球之形響

在光泉晶球方面，剛開始晶球會稍微有吸水的現象產生，這可能是因其晶球成份中含有明膠的關係，在我們之前的實驗中，即可証實出，明膠在酸性環境下，球體會因吸水而脹大，但明膠若過度的脹大，則會影響膠體的結構強度，使其結構強度減低，進而很可能影響到所包覆的菌種，因此，要避免此種情況發生，晶球應有添加穩定劑或其它成份物質，來使晶球脹大的

現象降低，且能更穩定的存在於酸液當中，而釋放於鹼性環境中。因此，由圖 4-11 可明顯觀察出，光泉晶球在 pH 值=1 的 2 小時中，皆可將晶球的重量百分比維持在 80%左右，即表示其能有效的保護所包覆的菌種，避免酸液的傷害;在 pH 值=7 的溶液中，重量百分比則降至 40% 以下，即如上述，其可釋放於鹼性環境。

在明膠膠球方面，其受溫度的影響較為明顯，這是因本身的材質使然，因明膠是熱敏性材質，因此，溫度對明膠而言，即是一個很重要的影響因素，如圖 4-11 所示，明膠膠球約在 20 分鐘內快速溶解，我們無法觀察其膠球的變化過程，這是由於外在影響因子所造成凝膠體積變化為連續式，像是若將溫度提升，即會使凝膠相變化這一連續現象程度增加，使我們不易觀察到膠體體積變化的過程，也造成無法保護其所包覆的物質，因此，明膠可能要如同光泉晶球一樣，在其中添加穩定劑或其它物質來改善此種情況。

圖 4-12 固定溫度(37°C)連續系統下，各膠球變化情況之照片

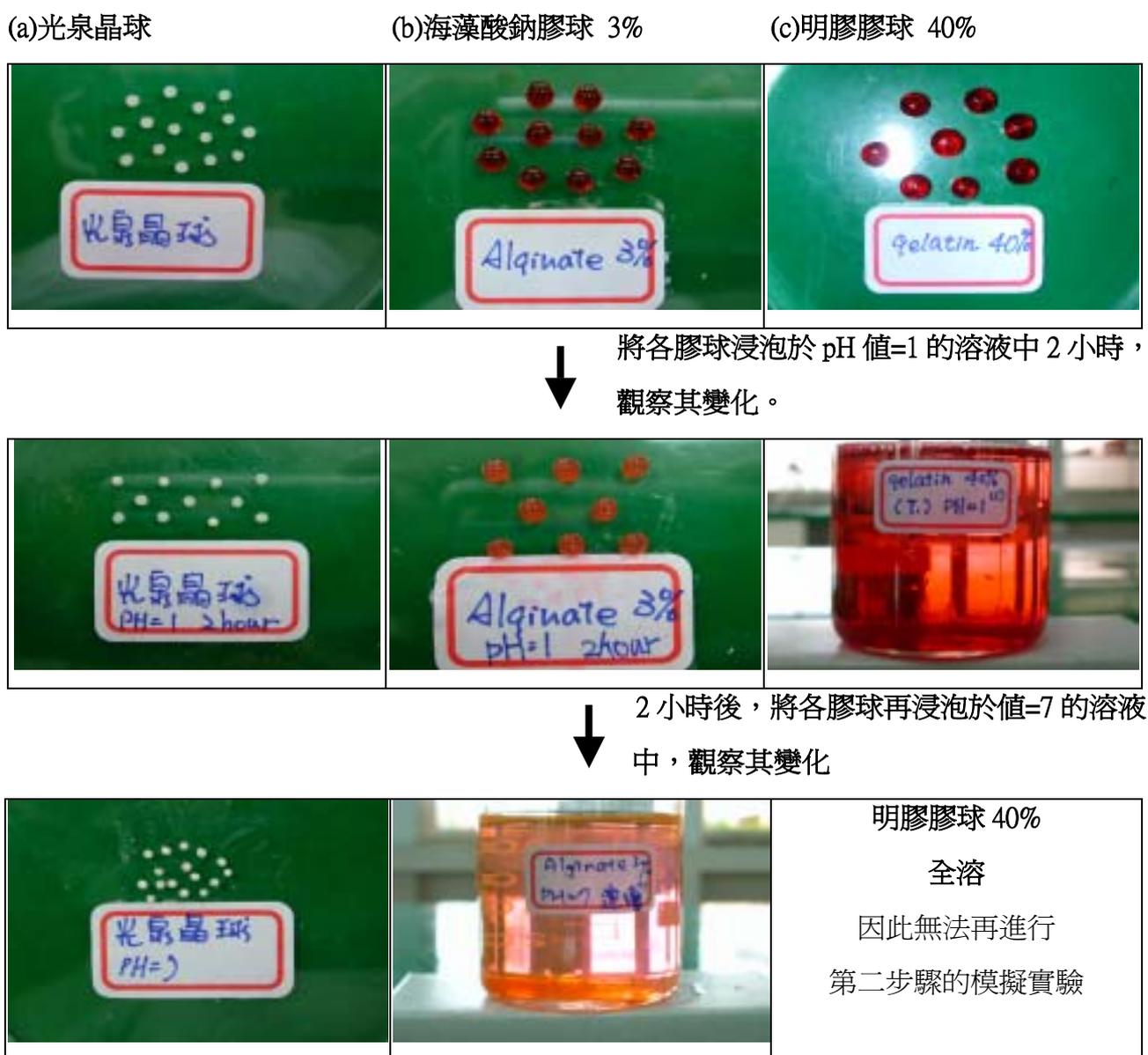


圖 4-12 為固定溫度(37°C)連續系統下，各膠球變化情況之照片，其可看出膠球在實驗中

的變化過程，光泉晶球隨著 pH 值=1 至 pH 值=7 的改變，其球體體積也隨之變小，由圖 4-11 的重量百分比的變化也可看出相同的情況，海藻酸鈉膠球則隨著 pH 值的改變，其球體也會變小，除此之外，其膠球的顏色也跟著改變，變成接近橘紅色且不透明，可能因結構鍵結有所變化的原故所造成，至值=7 時膠球即溶解於溶液中，而明膠膠球受限於溫度的關係，使其在短時間內即完全溶解。因此，我們可由此連續系統的實驗中，發現光泉晶球的確有他們廣告上所說的功用存在，可保護益菌不受胃酸的破壞，讓其安全到達小腸。

伍、結論

一般優酪乳對人體的益處是：「讓腸內的有益菌增加、腐敗菌減少，使細菌叢平衡正常化，且幫助人體對鈣質、蛋白質的吸收。」可是，這一切都必須要優酪乳中的有益菌，能夠安全到達可以吸收它的小腸才算數，因此，在有益菌外面以獨特的保護膜(晶球)將它包起來，讓它經過胃的時候可以不受胃酸的破壞、安全到小腸。所以我們試著去找尋符合實驗的可用的材質，來模擬這小晶球到底在人體遇到了什麼狀況，為什麼如此神奇，可以抵抗胃酸的破壞。以下是我們進行模擬實驗所發現、得知的實驗現象之結論如下：

1. 不同濃度之膠球對膠球強度之影響

海藻酸鈉膠球濃度(w/v)%	0.5%	1%	3%	5%	7%
外觀結構	不規則 會塌陷	不規則 會塌陷	球形 有一點尾巴	球形 有一點尾巴	近似球形 有尾巴

明膠膠球濃度(w/v)%	10%	20%	25%	30%	40%
外觀結構	無法成球形	無法成球形	橢圓球形	橢圓球形	橢圓球形 有尾巴

由上列表格中，可發現材質濃度太高無法呈現較圓的球形，且不符合經濟效益，而材質濃度若低，則根本無法成球形，因此，經由實驗結果所示。海藻酸鈉膠球濃度以 1%、3% 及 5% 來進行實驗，而明膠膠球濃度則以 25%、30% 及 40%，進行測試實驗。

2. 不同酸鹼值(pH 值)對膠球之影響

實驗結果統整於下表

膠球種類	pH 值=1	pH 值=7	pH 值=9
海藻酸鈉膠球	膠球球體縮小，	膠球吸水脹大，	短時間內(30min)，

	而後維持穩定	而後崩解	快速溶解
海藻酸鈉濃度影響 (提升膠球濃度)	較無明顯的變化	膠球吸水量提升， 仍會崩解	需溶解的時間較長
明膠膠球	膠球吸水脹大， 而後崩解	稍微吸水脹大	稍微吸水脹大
明膠濃度影響 (提升膠球濃度)	膠球吸水量提升， 仍會崩解	較無明顯的變化	較無明顯的變化

總合上述所有的實驗，我們挑選 3%海藻酸鈉膠球濃度來進行連續系統的模擬實驗，因此濃度的膠球在 pH 值為 7 時，在合適的時間內(物質在腸道中約待 2hr)，慢慢地將所包覆的釋放，並在 pH 值為 1 時，亦可緊包住所包覆的物質，符合我們模擬實驗的需求。

在明膠方面，我們選定 40%明膠膠球濃度來進行連續系統的模擬實驗，因明膠是一熱敏性材質，為了接近人體的生理狀況，我們須將溫度固定於 37°C，我們選濃度最高的明膠膠球來降低溫度的影響，因明膠膠球濃度愈高，須較長的時間來溶解，以看出明膠變化的趨勢線。

3. 連續不同的酸鹼值(pH 值)系統對膠球之影響

實驗結果統整於下表

材質種類	前 2 小時, pH 值=1	後 2 小時, pH 值=7
光泉晶球	剛開始球體稍微吸水，而後 穩定釋放，重量百分比維持 80%	大量釋放、溶解
海藻酸鈉膠球	剛開始球體稍微縮小，而後 穩定釋放，重量百分比維持 60%	大量釋放、溶解
明膠膠球	快速溶解	因已完全溶解 無法進行第二步驟的實驗

海藻酸鈉膠球的實驗結果近似光泉晶球，但保護效果沒有光泉晶球好;而明膠膠球則受限於溫度，並無很好的表現。因此，我們可由此連續系統的實驗中，發現光泉晶球的確有他們廣告上所說的功用存在，可保護益菌不受胃酸的破壞，讓其安全到達小腸。

陸、參考資料

書籍、期刊：

- 1.姚康德，成國祥，智慧材料，五南圖書出版社，p. 79~131，2003
- 2.陳國誠，微生物酵素工程學，藝軒圖書出版社，p. 270~273，1999

3.廖怡禎 (1995)，凝膠的相變化與其在食品加工的另一種用途，食品工業月刊，8:15~23

4.國民中學理化教科書，第一、二、三冊，國立編譯館主編

網站：

1. <http://www.wordpedia.com>
2. <http://www.tacocity.com.tw/gelatin>
3. <http://www.dfmg.com.tw/text/size1c.htm>
4. <http://www.pauling.chem.ntnu.edu.tw>

柒、附錄

一、海藻酸鈉膠球之實驗數據

海藻酸鈉膠球濃度 1%	pH 值	克數 (g)	5 min	45 min										
	1.0	Run1	4.0	4.0	3.4	3.6	3.3	3.4	3.3	3.4	3.5	3.3	3.3	3.1
		Run2	3.8	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0	3.1	3.0	3.0	2.8	2.7
		Run3	3.7	3.3	3.1	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7
重量百分比(%) 平均值			77	72	66	65	63	63	61	63	62	61	59	57
標準差平均值			3.1	7.2	3.5	7	4.2	5	4.2	5	7.2	5	6.4	4.6

海藻酸鈉膠球濃度 1%	pH 值	克數 (g)	5	5	5	5	5	5	45	45	45	45	45	45
	7.0	Run1	5.6	6.0	4.3	2.3	1.1	0						
		Run2	4.8	5.2	4.4	2.8	1.2	0						
		Run3	5.3	5.7	4.5	2.5	1.0	0						
重量百分比(%) 平均值			105	113	88	51	22	0						
標準差平均值			8.1	8.1	2	5	2	0						

海藻酸鈉膠球濃度 1%	pH 值	克數 (g)	5	5	5	5	5	5	45	45	45	45	45	45
	9.0	Run1	4.6	2.4	0									
		Run2	4.5	1.7	0									
		Run3	4.4	2	0									
重量百分比(%) 平均值			90	51	15									
標準差平均值			2	7	0									

海藻酸鈉膠球濃度 3%	pH 值	克數 (g)	5 min	45 min										
	1.0	Run1	4.5	4.1	4.0	3.7	3.6	3.5	3.3	3.4	3.3	3.3	3.3	3.2
		Run2	4.5	4.0	4.0	3.8	3.8	3.8	3.6	3.5	3.6	3.5	3.5	3.5
		Run3	4.8	4.3	4.1	4.1	3.9	4.1	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.7
重量百分比(%) 平均值			92	83	81	77	75	76	71	71	71	71	69	
標準差平均值			3.5	3.1	1.2	4.2	3.1	6	4.2	3.1	4.2	5	5	5

海藻 酸鈉 膠球 濃度 3%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	7.0	Run1	4.5	5.2	5.2	6.2	6.6	7.2	6.2	4.5	1.7	0		
		Run2	4.8	5.2	5.6	6.1	6.6	6.7	6.1	3.0	1.6	0		
		Run3	4.7	5.0	5.5	5.9	6.2	6.9	5.9	4.8	2.1	0		
重量百分比(%) 平均值			93	103	109	121	129	139	121	82	36	0		
標準差平均值			3.1	2.3	4.2	3.1	4.6	15	3.1	19	5.3	0		

海藻 酸鈉 膠球 濃度 3%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	9.0	Run1	5.0	4.8	3.8	2.7	1.7	0						
		Run2	5.0	4.4	3.5	3.0	2.0	0						
		Run3	5.0	4.3	3.1	2.5	1.4	0						
重量百分比(%) 平均值			100	90	69	55	34	0						
標準差平均值			0	5.3	7	5	6	0						

海藻 酸鈉 膠球 濃度 5%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	1.0	Run1	4.2	3.7	3.6	3.4	3.5	3.4	3.4	3.3	3.4	3.7	3.2	3.2
		Run2	4.1	3.7	3.5	3.3	3.2	3.4	3.1	3.5	3.2	3.3	3.3	3.1
		Run3	4.2	3.8	3.7	3.5	3.4	3.3	3.2	3.3	3.1	2.9	3.0	3.0
重量百分比(%) 平均值			83	75	72	68	67	67	65	67	65	66	63	62
標準差平均值			1.2	1.2	2	2	3.1	1.2	3.1	2.3	3.1	8	3.1	2

海藻 酸鈉 膠球 濃度 5%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	7.0	Run1	5.4	5.9	6.3	6.7	7.2	7.6	8.8	9.0	8.6	6.1	3.8	1.8
		Run2	4.7	5.4	5.6	6.0	6.3	6.8	7.8	8.2	7.8	6.1	3.5	1.0
		Run3	5.4	5.8	6.3	6.9	7.3	7.8	8.1	9.2	6.9	5.0	2.0	1
重量百分比(%) 平均值			103	114	121	131	139	149	165	176	155	115	62	25
標準差平均值			8.1	5.3	8.1	9.5	11	11	10	11	17	13	19	9.2

海藻 酸鈉 膠球 濃度 5%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	9.0	Run1	5.8	5.7	4.1	3.0	1.4	0						
		Run2	5.6	5.7	5.1	3.5	2.4	0						
		Run3	5.8	5.4	5.4	3.0	2.6	0						
重量百分比(%) 平均值			115	112	97	63	43	0						
標準差平均值			2.3	3.5	14	5.2	13	0						

二、明膠膠球之實驗數據

明膠 膠球 濃度 25%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	1.0	Run1	7.5	8.6	9.6	10.2	10.1	11	10.9	11.2	10.2	8.2	7.2	6.1
		Run2	7.6	9.1	10.3	10.8	10.5	11.1	11.5	12.0	11.4	9.3	7.8	6.2
		Run3	6.8	8.3	9.3	10.6	10.8	11.2	11.9	11.5	12.1	8.5	7.5	6

重量百分比(%) 平均值	146	173	195	211	209	222	229	231	225	173	150	122
標準差平均值	8.7	8.1	10	6.1	7	2	10	8.1	19	11	6	2

明膠 膠球 濃度 25%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	7.0	Run1	5.5	5.9	6.0	6.1	6.4	6.5	7.0	7.3	7.6	8.0	8.1	8.4
		Run2	5.4	5.6	5.8	5.9	6.2	6.3	6.5	6.9	7.3	7.4	7.6	7.8
		Run3	5.4	5.6	5.7	6.0	6.2	6.2	6.7	7.0	7.3	7.6	7.6	7.9
重量百分比(%) 平均值			109	114	117	120	125	127	135	141	148	153	155	161
標準差平均值			1.2	3.5	3.1	2	2.3	3.1	5	4.2	3.5	6.1	5.8	6.4

明膠 膠球 濃度 25%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	9.0	Run1	5.7	6.0	6.3	6.5	6.9	6.9	7.5	7.9	8.3	8.6	8.7	9.2
		Run2	5.4	5.9	5.9	6.1	6.2	6.4	6.8	7.0	7.4	7.5	7.7	8.1
		Run3	5.7	5.9	6.2	6.4	6.8	6.7	7.5	7.7	8.0	8.3	8.4	8.8
重量百分比(%) 平均值			112	119	123	127	133	133	145	151	158	163	165	174
標準差平均值			3.5	1.2	4.2	4.2	7.6	5	8.1	9.5	9.2	11	10	11

明膠 膠球 濃度 30%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	1.0	Run1	6.8	7.8	8.8	9.4	10	11	13	14	14.6	13.4	13.1	12.1
		Run2	6.1	7.0	7.6	8.4	8.7	9.0	11.8	14.6	14.0	13.3	12.9	11.7
		Run3	6.8	7.8	8.4	9.4	10.1	10.7	12.1	14.8	13.3	13.8	12.7	11.1
重量百分比(%) 平均值			131	151	165	181	193	201	244	291	279	270	258	233
標準差平均值			8.1	9.2	12	12	17	19	9.2	6.1	13	5.3	4	10

明膠 膠球 濃度 30%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	7.0	Run1	5.4	5.6	5.9	6.1	6.1	6.4	7.2	8.0	8.4	8.8	9.1	9.3
		Run2	5.6	5.7	6.2	5.8	6.2	6.2	6.7	7.6	8.0	8.3	8.5	8.8
		Run3	5.9	6.0	6.0	6.3	6.2	6.5	7.3	8.0	8.3	8.6	9.1	9.4
重量百分比(%) 平均值			113	115	121	121	123	127	141	157	165	171	178	183
標準差平均值			5	4.2	3.1	5	1.2	3.1	6.4	4.6	4.2	5	6.9	6.4

明膠 膠球 濃度 30%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	9.0	Run1	5.8	6.1	5.9	5.6	6.4	5.9	6.1	5.9	6.1	6.4	6.9	6.6
		Run2	6.2	5.8	7.0	6.5	6.5	6.5	7.2	6.4	6.9	7.3	7.5	7.3
		Run3	5.5	6.3	6.6	6.7	6.7	6.9	7.5	6.4	7.0	7.6	7.0	7.1
重量百分比(%) 平均值			117	121	130	125	131	129	139	125	133	142	143	140
標準差平均值			7	5	11	12	3.1	10	15	5.8	9.9	12	6.4	7.2

明膠 膠球 濃度 40%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	1.0	Run1	7.9	9.5	10.8	12	13.2	14.0	17.8	19.8	20.7	20.9	21.7	22.5
		Run2	8.0	9.1	10.4	11.2	12.3	13.2	16.5	20.3	21.3	21.1	21.8	22
		Run3	8.3	9.8	11.5	12.6	14	15.1	17.5	21.4	22.4	21.7	21.9	22.6
重量百分比(%) 平均值			161	189	218	239	263	282	345	410	429	431	436	447
標準差平均值			4.2	7	11	14	17	19	14	16	17	8.3	2	6.4

明膠 膠球 濃度 40%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	7.0	Run1	6.0	6.3	6.8	6.8	7.0	7.0	7.8	8.1	8.5	8.6	9.0	9.2
		Run2	6.1	6.4	6.7	6.7	7.0	7.1	7.7	8.2	8.6	8.8	9.1	9.3
		Run3	6.1	6.3	6.6	6.6	6.9	7.3	7.6	8.0	8.5	8.6	8.8	9.1
重量百分比(%) 平均值			121	127	134	134	139	143	154	162	171	173	179	184
標準差平均值			1.2	1.2	2	2	1.2	3.1	2	2	1.2	2.3	3.1	2

明膠 膠球 濃度 40%	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min	45 min
	9.0	Run1	5.7	6.2	6.5	6.8	7.0	7.0	7.9	8.1	8.5	9.1	9.0	9.3
		Run2	6.0	6.0	6.3	6.4	6.4	6.7	7.6	7.8	8.1	8.3	8.5	9.6
		Run3	5.5	5.4	5.9	6.2	6.3	6.4	6.9	7.3	7.8	7.7	8.0	8.3
重量百分比(%) 平均值			115	117	125	129	131	134	149	155	163	167	170	181
標準差平均值			5	8.3	6.1	6.1	7.6	6	10	8.1	7	14	10	14

三、連續系統

(一) 海藻酸鈉膠球

2小時前

海藻 酸鈉 膠球 濃度 3%	pH 值	克數 (g)	5 min	30 min	30 min	30 min						
	1.0	Run1	3.6	3.2	2.9	2.7	2.7	2.7	2.7	2.5	2.5	2.5
		Run2	4.0	3.3	3.1	3.0	2.9	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6
		Run3	3.7	3.4	3.0	3.0	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6
重量百分比(%) 平均值			75	66	60	58	56	53	53	53	51	51
標準差平均值			4.2	2	2	3.5	2	1.2	2.3	1.2	1.2	

2小時後

海藻 酸鈉 膠球 濃度 3%	pH 值	克數 (g)	5 min	30 min	30 min	30 min						
	7.0	Run1	1.1	0								
		Run2	1.3	0								
		Run3	1.2	0								

重量百分比(%) 平均值	24	0									
標準差平均值	2	0									

(二)明膠膠球

2小時前

明膠 膠球	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	30 min	30 min	30 min
濃度 40%	1.0	Run1	3.1	1.1	0						
		Run2	3.8	1.5	0						
		Run3	4.1	1.7	0						
重量百分比(%) 平均值			73	29	0						
標準差平均值			10	6.1	0						

2小時後

明膠 膠球	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	30 min	30 min	30 min
濃度 40%	7.0	Run1	No								
		Run2	No								
		Run3	No								
剩餘重量百分比(%) 平均值			No								
標準差平均值			No								

(三)光泉晶球

2小時前

光泉 晶球	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	30 min	30 min	30 min
	1.0	Run1	6.4	5.7	4.6	4.1	3.6	3.4	3.1	3.3	2.6
		Run2	7.4	6.3	5.5	5.1	4.6	4.3	4.0	3.4	3.1
		Run3	6.0	5.5	5.0	4.8	4.3	4.0	3.9	3.6	3.0
重量百分比(%) 平均值			132	117	101	93	83	78	73	69	58
標準差平均值			14	8.3	9	10	10	9.2	9.9	3.1	5.3

2小時後

光泉 晶球	pH 值	克數 (g)	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	30 min	30 min	30 min
	7.0	Run1	1.2	1.1	1.5	1.0	1.2	1.2	No		
		Run2	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	No		
		Run3	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.2	No		
重量百分比(%) 平均值			28	26	29	26	26	24			
標準差平均值			5.3	5.3	4.2	6	3.5	0			

評語

主題生活化，實驗態度與思考邏輯佳。