

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030206

「混」是「膜」王——探討海藻酸鈉及澱粉混和薄膜的特性

學校名稱：高雄市立陽明國民中學

作者： 國二 李羿昌 國二 鄭佳昀	指導老師： 翁郁凰
---------------------------------	------------------

關鍵詞：海藻酸鈉、澱粉、薄膜

壹、摘要

本研究旨在探討海藻酸鈉、澱粉及兩者混和成膜的特性，並討論上述薄膜添加氯化鈣進行交聯後對薄膜特性的影響及應用，希望將薄膜進一步應用在生活中。研究發現支鏈澱粉含量多所組成的薄膜，黏性高、易破、厚度最薄；添加澱粉量愈多的薄膜愈硬脆，若提高海藻酸鈉濃度可使膜較為平整柔軟；與氯化鈣交聯成膜則會使薄膜厚度增加、面積縮小；添加澱粉的海藻酸鈣薄膜吸水率提高，3%糯米粉乾粉混合膜的吸水率達 99%最高，薄膜乾燥前期的含水率下降速率較快，將此薄膜重複吸水，第一次吸水量最高，之後的吸水量減低且往復吸水、乾燥的速率提高，將薄膜添加水晶寶寶可使吸水量增加製成吸水墊，以期取代目前生鮮食材用的 PE 淋膜不織布吸水紙，將能更具環保價值。

貳、實驗動機

在學校的社團課中，老師和我們分享一則發明：由於近年來環保意識高漲，世界各地推起減塑活動，為了減少寶特瓶的浪費，3 位學生研究出一種沒有包裝的水，運用海藻萃取物的海藻膠（海藻酸鈉）結合氯化鈣而形成外表透明薄膜將水包裹住，因此能維持透明球體狀而不會破裂，最終的成品簡單又便宜，強韌、易分解且可食用。接下來老師帶我們進行了製作化學晶球的有趣實驗：利用氯化鈣中的鈣離子抓住海藻酸鈉的羧酸離子，形成一個透明薄膜包住海藻酸鈉溶液，便能做成球狀的透明晶球。以前的科展研究，大多是做海藻酸鈉晶球的討論，我們想做一些變化，將球改成薄膜，找出薄膜成型時的最佳條件，並與亦能成膜的澱粉混和製膜，觀察是否會有不一樣的結果。

參、研究目的

- 一、探討以海藻酸鈉、澱粉、氯化鈣為原料的薄膜製備方法。
- 二、探討並比較不同組成的薄膜特性及差異。
- 三、將薄膜製成吸水墊並探討其吸水情形。

肆、研究設備及器材

- 一、器材：鐵架、鐵環、玻棒、燒杯、滴管、碼錶、刮勺、漏斗、秤量紙、溫度計、玻璃片、矽膠墊、圓形煎蛋器、15mL 量匙、螺旋測微器、方格紙、攪拌子、吸水棉(水針不織布)
- 二、儀器：照相機、筆電(含 Tracker 影像分析軟體)、電子天平(EJ-610)、加熱板(PC-420D)、恆溫恆濕防潮箱(D-416)
- 三、藥品：海藻酸鈉、氯化鈣、玉米粉(日正)、糯米粉(日正)、低筋麵粉(日正)

伍、研究過程及方法

一、文獻探討

海藻酸鈉(Sodium alginate)是提煉自褐藻的化學物質，為一種直鏈狀、多醣類的天然高分子聚合物，易溶於水，水溶液的黏度因聚合度而不同，其分子式為 $(C_6H_7O_6Na)_n$ ，是由甘露糖醛酸(M)和葛蘿酸(G) 這兩種結構單元以三種方式不同比例(M-M 段、G-G 段和 M-G 段)通過 α -1,4 糖苷鍵線性鏈接所組成的共聚物。當海藻酸鈉與氯化鈣溶液混合，鈣離子會取代鈉離子，並且抓住海藻酸鈉分子之間的羧基產生交聯作用(cross-linking)，使得分子間的聯結性更強，形成網狀的結構(如下圖 1)，溶液流動性降低而固化(形成一種半透膜)。海藻酸鈉由於具有濃縮溶液、形成凝膠和成膜的能力，用途廣泛，經常做為增稠劑、穩定劑等。

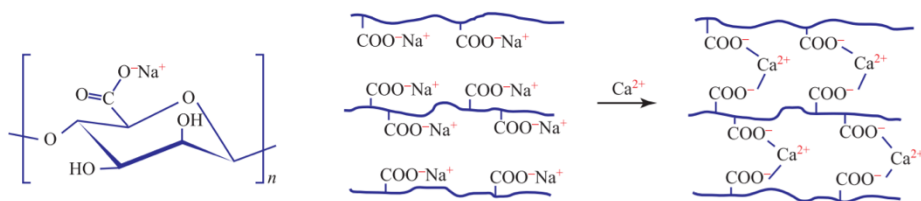


圖 1 (a)海藻酸鈉分子結構

(b)海藻酸鈉與鈣離子交聯作用

我們查閱了近年科展與海藻酸鈉、成膜相關的主題研究，將各研究的發現整理於下表：

歷屆科展作品

主要研究結果

第 43 屆全國科展作品： 小小晶球真奇妙！	此研究利用了海藻酸鈉及明膠探討最適合的濃度可以適應人體裡面的溫度及酸鹼值，最後發現海藻酸鈉的濃度以 1%、3%、5% 最為合適。
---------------------------	--

第 56 屆全國科展作品：
目不轉「晶」—探討海藻
酸鈉薄膜的形成與其相
關應用

- (1) 此實驗利用了正二價陽離子與海藻酸鈉進行交聯，發現鈣離子的穩定性最高。
- (2) 在 20°C~30°C 之間是形成直徑最大、重量變輕、最軟 Q 的晶球的最適宜溫度。

第 57 屆全國科展作品：
不「球」「滲」「解」

- (1) 此研究實驗探討了海藻酸鈉與鈣離子反應時，可以包覆多種物質的特性。
- (2) 探討了含有二氧化錳、碘化鉀製成的膠球與膠條，應用在進行基本的滲透實驗、雙氧水分解實驗，還有電解實驗上。

第 58 屆全國科展作品：
鈣多晶球

- (1) 此研究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。
- (2) 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。
- (3) 發現含鈣物質的濃度愈高，膜會越厚，愈容易成球狀。
- (4) 海藻酸鈉和氯化鈣交聯時間越久，膜的厚度會越厚，越容易成晶球狀，且更耐壓。

第 58 屆全國科展作品：
Ooho!「內」個「膜」法
—凝膠薄膜性質之探討

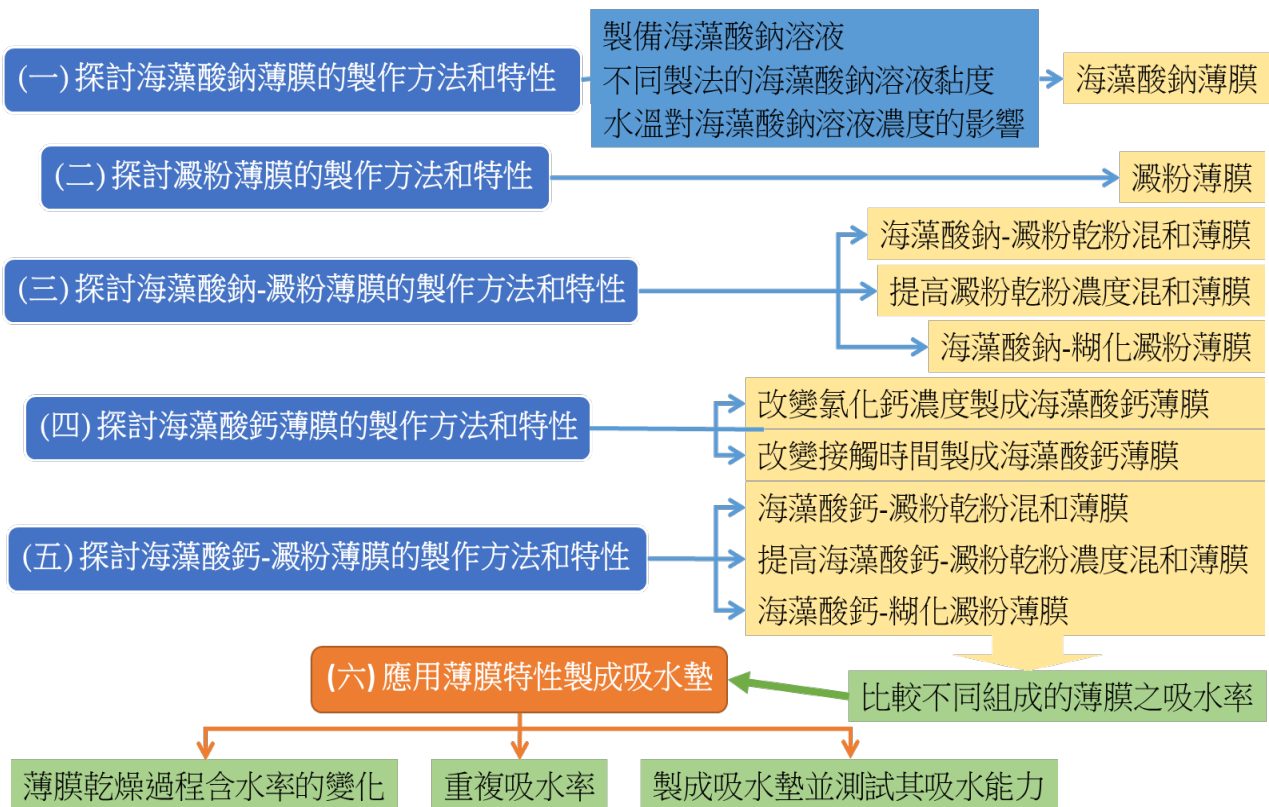
- (1) 此研究將過去做成水球狀海藻酸鈉和乳酸鈣反應所製成之晶球改製成平面薄膜，並做一系列探討。
- (2) 由此實驗結果可得知，以 2% 所配製海藻酸鈉水溶液與 5% 乳酸鈣水溶液反應 10 分鐘，即可得表面較為平整一致之平面薄膜。
- (3) 選用低溫烘乾對薄膜性質變異較小，可承受較大的拉力。

第 54 屆全國科展作品：
「泡膜」雲起「膜」登
寶「澱」—澱粉起泡、
成膜性質的探討及應用

- (1) 此研究旨在透過一系列的實驗，觀察各種澱粉在不同濃度下的起泡情形並探討澱粉成膜的原理及應用。
- (2) 此實驗成功地在實驗中發現了由於支鏈澱粉與直鏈澱粉的重新規則的排列，澱粉會成膜，且韌性高。

關於海藻酸鈉晶球或成膜相關的研究眾多，較少人針對不同材質的薄膜性質做比較和探討，我們試圖將海藻酸鈉和澱粉混和成膜，並比較海藻酸鈉、澱粉各自成膜及在不同混和方式下成膜的特性差異，希望藉由了解不同組成薄膜的特性進而擴大薄膜應用的範圍。

二、研究架構



三、薄膜特性的測量

1. 薄膜厚度

薄膜製成乾燥後，利用螺旋測微器測量薄膜中心任三點厚度取平均。

2. 縮小率(薄膜乾燥前、後面積差異)

將方格紙護貝後，用奇異筆沿著煎蛋器內緣在方格紙上做記號，可以得到薄膜尚未乾燥前的面積，再將乾燥後的薄膜放在記號內，可得乾燥後的薄膜面積較原先縮減的程度，依下列式子計算薄膜乾燥的面積縮小率：

$$\text{縮小率} = \frac{\text{乾燥前薄膜面積} - \text{乾燥後薄膜面積}}{\text{乾燥前薄膜面積}}$$

3. 親水性

接觸角 (θ) 是指當一液體與固體接觸時，經由固、液、氣三相都接觸到的三相點沿著液/氣界面的切線方向所形成的夾角(經由液體內部之夾角)，簡單來說，就是液體表面與固體表面之間的夾角(如圖 2)，若此液體受到固體表面之作用力甚強(例如水與一種強親水的固體的表面)，液滴將會完全地平在固體表面上，其接觸角約為 0° ，而非強親水性的固體，接觸角則

較大，到約 90°，在許多高親水性的表面上，水滴接觸角約自 0°到 30°。因此，我們可藉由測量接觸角角度大小得知固體表面與液體間作用力的資訊，也可藉此了解我們製作的薄膜親水性質的強弱。

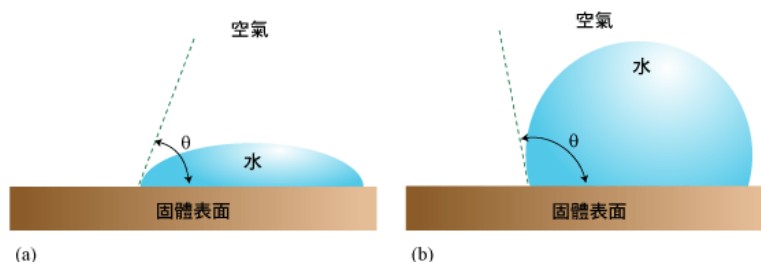


圖 2 (a) 水在親水性的表面上散開。(b) 水在疏水性的表面上形成水珠。

取自 http://www.hk-phy.org/atomic_world/lotus/lotus02_c.html

4. 含水率

將製成的薄膜秤重(重量為 W)，接著將薄膜置於濕度 40%、溫度 30°C 的乾燥箱中使其乾燥，至薄膜重量維持恆定(重量為 W_e)，再將薄膜移至 100°C 烘箱中烘至完全乾燥後秤重(重量為 W_0)，其含水率 = $\frac{W - W_e}{W_0}$ ，代表薄膜在乾燥過程中能去除的水份(自由水)含量。

5. 吸水量與吸水率

將乾燥薄膜(重量為 W_1)浸入水中吸水，取出後用吸水棉吸去表面的水後秤重，重複步驟至薄膜重量不再增加(重量為 W_2)，得吸水量 = $W_2 - W_1$ ； 吸水率 = $\frac{W_2 - W_1}{W_1}$ 。

研究(一) 探討海藻酸鈉薄膜的製作方法和特性

實驗 1-1 製備海藻酸鈉溶液的方法

由於我們所蒐集的文獻資料進行配製海藻酸鈉溶液的方式不盡相同，因此我們試圖找出最省時省事的方法，以利後面的研究。

步驟：

- (1) 取六個燒杯，分別取 2 克海藻酸鈉粉末，並加以編號 1~6。
- (2) 將上述燒杯分別依以下方式處置：

編號 1：加常溫水至 100 克，用玻棒稍加攪拌即靜置等待海藻酸鈉完全溶解。

編號 2：加常溫水至 100 克，持續攪拌(300RPM)至海藻酸鈉完全溶解。

編號 3：加常溫水至 100 克，利用加熱板加熱(控制在 50°C 下)並持續攪拌(300RPM)至海藻酸鈉完全溶解。

編號 4：加 40°C 溫水至 100 克，持續攪拌(300RPM)至海藻酸鈉完全溶解。

編號 5：加 60°C 溫熱水至 100 克，持續攪拌(300RPM)至海藻酸鈉完全溶解。

編號 6：加 80°C 熱水至 100 克，持續攪拌(300RPM)至海藻酸鈉完全溶解。

(3) 觀察並紀錄上述海藻酸鈉完全溶解所需時間及溶解情形。

結果：

	編號 1 (常溫靜置)	編號 2 (常溫攪拌)	編號 3 (加熱攪拌)	編號 4 (溶 40°C 水)	編號 5 (溶 60°C 水)	編號 6 (溶 80°C 水)
溶解所需時間(hr)	6.5	5	3	2.5	1.5	0.5
溶解情形	微量氣泡，溶液成稠狀透明	稍有氣泡(微量)，稠狀透明	稍有氣泡，溶液成稠狀透明	稍有氣泡，溶液成稠狀略帶淡黃	稍有氣泡，溶液成稠狀微偏黃	有氣泡(較大)，溶液黏稠偏黃

討論：

- (1) 海藻酸鈉經攪拌後先是成塊狀浮在液面上方，從外層逐漸開始溶解變透明狀，內部則仍為白色粉末無法被潤濕，若把它切開後，內層粉末浸水即開始溶解，而成透明黏稠液體。
- (2) 由實驗結果可知，海藻酸鈉在持續攪拌、水溫較高的情況下溶解速率較快，常溫靜置不攪拌溶解速率最慢，需費時 6.5 小時，但溶液最為乾淨透明。
- (3) 我們發現，雖然以高溫水溶解海藻酸鈉可快速達成目的，但配製而成的海藻酸鈉卻有些微顏色的差異(愈高溫顏色愈深)，因此，配置的方式應會影響海藻酸鈉溶液的部分性質。

實驗 1-2 比較不同方法製成的海藻酸鈉溶液黏度

由前一實驗發現不同方法製成的海藻酸鈉溶液顏色深淺不同，因此我們想更進一步了解配製的方法是否會影響海藻酸鈉溶液的黏度。

方法一：

步驟：

- (1) 取一漏斗固定在鐵架的圓環上，下方擺放一個空燒杯。
- (2) 將漏斗底部用保鮮膜暫時封住，將不同方法製成的海藻酸鈉溶液各取



10 mL 置入漏斗。

(3) 將封膜取下同時開始計時，測量並記錄漏斗上的海藻酸鈉溶液全部流入燒杯所需時間。

結果：

	編號 1 (常溫靜置)	編號 2 (常溫攪拌)	編號 3 (加熱攪拌)	編號 4 (溶 40°C 水)	編號 5 (溶 60°C 水)	編號 6 (溶 80°C 水)
時間(s)	60	63	77	80	89	170

方法二：

步驟：

- (1) 取不同方法製成的海藻酸鈉溶液各 10 mL 分別置入量筒中。
- (2) 用鑷子將直徑 4 mm 的小鋼珠由液面上自由落下，並將過程錄影拍成影片。
- (3) 利用 Tracker 影片分析軟體分析鋼珠由液面掉落至量筒 1 mL 刻度時所需的時間。(如圖 3)

結果：

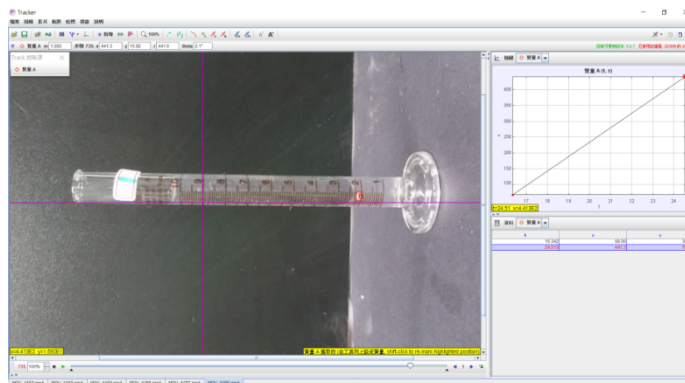


圖 3 Tracker 軟體分析小鋼珠掉落之畫面

	編號 1 (常溫靜置)	編號 2 (常溫攪拌)	編號 3 (加熱攪拌)	編號 4 (溶 40°C 水)	編號 5 (溶 60°C 水)	編號 6 (溶 80°C 水)
時間(s)	8.2	10.8	13.6	12.4	15.7	40.4

討論：

- (1) 海藻酸鈉以溫度愈高的水溶解，冷卻後形成的溶液黏度愈大。由兩種簡易測試液體黏度的方法得到的實驗結果可以發現，以 60°C 以下的水配置海藻酸鈉溶液，其黏度差異不大，然而以 80°C 熱水配置的海藻酸鈉溶液黏度明顯增加許多。
- (2) 我們認為造成不同方法配製的海藻酸鈉溶液顏色深淺及黏度差異的原因主要來自水溫高低，水溫愈高、蒸發速率愈快，使得海藻酸鈉溶液的濃度在溶解過程中有所改變。

實驗 1-3 探討以不同溫度的水配製海藻酸鈉溶液造成的濃度變化

由前述實驗的結果，我們猜想是因為溫度愈高的水蒸發速率愈快，導致配製的海藻酸鈉溶液濃度愈濃、顏色愈深、黏度愈黏，因此我們取編號 2、4、6 三杯不同水溫配置的海藻酸鈉溶液進行濃度的驗證。

步驟：

- (1) 取三個空燒杯分別秤重，重新配製與編號 2、4、6 相同濃度的海藻酸鈉溶液。
- (2) 配製完成後再秤溶液總重，算出溶解過程中水所減少的質量。

結果：

	編號 2 (常溫攪拌)	編號 4 (溶 40°C 水)	編號 6 (溶 80°C 水)
溶解前溶液總重(g)	50.00	50.00	50.00
溶解後溶液總重(g)	49.07	48.98	48.93
減少的水量(g)	0.93	1.02	1.07

海藻酸鈉溶液的顏色如下圖 4，編號 6 最深、編號 2 最淺。

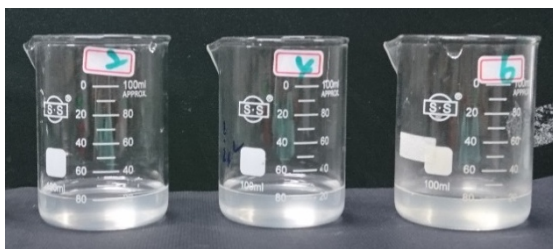


圖 4 配置完成的編號 2、4、6 之海藻酸鈉溶液

討論：

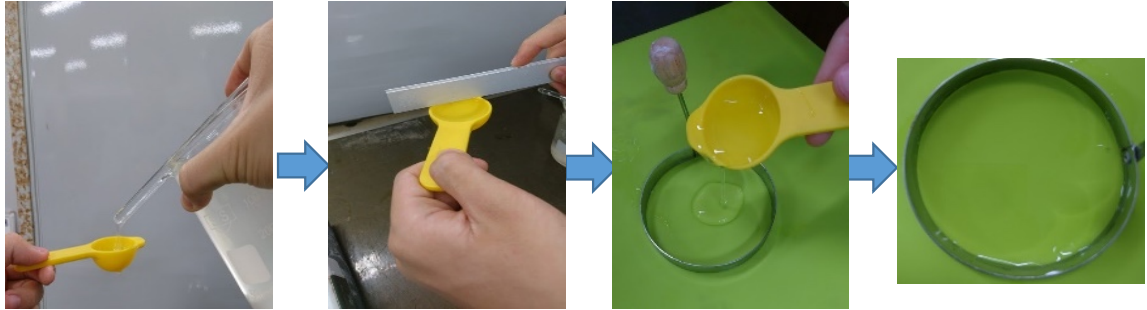
- (1) 由實驗結果可知，不同水溫配置完成的海藻酸鈉溶液雖然減少的水量不同，但差別並不明顯，可能是因為海藻酸鈉在高溫水中溶解較快，海藻酸鈉分子中羥基與羧基與水之間氫鍵作用力強，使得水分子蒸發較難、濃度變化小，故不同水溫配置的海藻酸鈉溶液之濃度改變並不是造成黏度差異的最主要原因。
- (2) 我們猜測造成 80°C 熱水配置的溶液黏度特別高的主要原因：海藻酸鈉在高溫的環境下，分子的動能較大、使長鏈交纏嚴重，隨著溫度降低，液體中分子運動的平均速度減小，與臨近分子的接觸時間變長，而使得溶液冷卻後的黏度上升。
- (3) 綜合實驗 1-1~1-3 的結果，編號 1~5 的海藻酸鈉溶液配置方式除了等待溶解時間長短不一之外，在顏色、黏度、濃度方面的差異並不大，為了方便實驗進行、我們決定往後的實

驗皆採用常溫靜置的方式配置海藻酸鈉溶液，達到省事的目標，同時也節約能源。

實驗 1-4 製成海藻酸鈉薄膜並觀察其特性

由文獻中可發現，配置海藻酸鈉溶液濃度以 2% 最為適中且為最廣泛使用，因此本研究所製成薄膜使用的海藻酸鈉溶液亦為 2%。

步驟：




將溶液倒滿湯匙

直尺刮掉多餘溶液

將溶液倒在矽膠墊上

靜置待其自然乾燥並鋪平

結果：

薄膜成品	觀察描述	薄膜平均厚度	縮小率	親水性
	膜平整光滑，可輕易由矽膠墊上剝下	0.031mm	0.04	-

討論：

- (1) 由於矽膠墊具明顯的疏水性，倒入 15mL 的海藻酸鈉溶液至煎蛋器中恰可鋪滿底面，溶液高約 2mm，待溶液自然風乾後，以矽膠墊為基底形成的薄膜容易取下，故後續實驗皆以矽膠墊作為成膜的基底材料。
- (2) 海藻酸鈉薄膜遇水則溶，有相當高的水溶性，故無法測其接觸角。



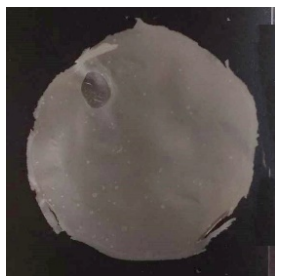

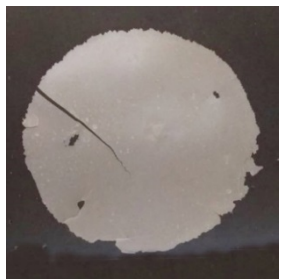
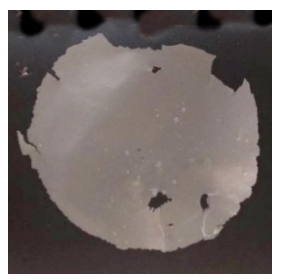
研究(二) 探討澱粉薄膜的製作方法和特性



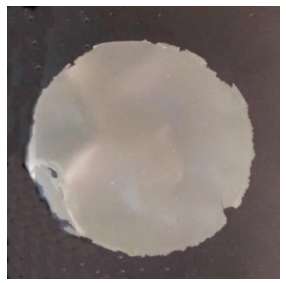
由於澱粉液加熱糊化後會變得黏稠，放涼時會在表面形成一層薄膜，因此我們想利用澱粉液來製作薄膜，並選用直鏈澱粉含量高的玉米粉、幾乎是純支鏈澱粉的糯米粉及含蛋白質的低筋麵粉來做比較。

步驟：

- (1) 分別取 2、4、6 克玉米粉置於燒杯中，加水至 100 克。
- (2) 將上述燒杯分別以酒精燈加熱至糊化。
- (3) 將上述玉米粉溶液分別倒入煎蛋器中形成薄膜，待其冷卻自然乾燥後，將玉米粉薄膜剝下並觀察其特性。
- (4) 重複步驟(1)~(3)，將玉米粉改為糯米粉及低筋麵粉，製成糯米粉薄膜及麵粉薄膜。

結果：

澱粉濃度	玉米粉 2%	玉米粉 4%	玉米粉 6%
糊化情形	玉米粉糊化溫度較高，需加熱到 85°C 可看到粉末全溶且略成白色糊狀，溫度下降後黏稠度快速增加，且濃度愈高愈黏稠，置於常溫下一段時間可看到溶液凝成塊狀(老化)。		
薄膜成品			
察描述	平整光滑，柔軟可變形	平整光滑，柔軟可變形	平整光滑，柔軟可變形
薄膜厚度	0.050mm	0.068mm	0.148mm
縮小率	0.21	0.24	0.26
親水性	88°	76°	68°
澱粉濃度	糯米粉 2%	糯米粉 4%	糯米粉 6%
糊化情形	糯米粉糊化溫度低，約 60°C 以上即可看到溶液變糊狀透明，溫度下降後黏稠度快速增加，且濃度愈高愈黏稠，置於常溫下一段時間溶液仍維持糊狀透明，但黏度提高。		
薄膜成品			
觀察描述	平整易碎，可彎曲變形	平整光滑，可彎曲變形但易碎	平整光滑，可彎曲變形但易碎

薄膜厚度	0.045	0.048	0.052
縮小率	0.19	0.23	0.25
親水性	65°	78°	100°
澱粉濃度	麵粉 2%	麵粉 4%	麵粉 6%
糊化情形	麵粉加熱至糊化不太會變黏稠，冷卻後溶液呈淡褐色，沒有明顯的老化現象。		
薄膜成品			
觀察描述	平整光滑，可彎曲變形但易碎	平整光滑，可彎曲變形但易碎	平整光滑，可彎曲變形但易碎
薄膜厚度	0.062mm	0.054mm	0.087mm
縮小率	0.29	0.24	0.23
親水性	65°	82°	93°

由薄膜與水滴剛接觸時的接觸角大小可以發現，玉米粉膜親水性隨濃度增加而增加，糯米粉和麵粉親水性隨濃度變高而降低，然而實驗的九片膜皆與水滴接觸兩秒左右開始產生變形，如圖 5。



圖 5 薄膜變形

討論：

- (1) 玉米粉溶液在 2% 以上即可形成完整的薄膜，原因是玉米粉直鏈澱粉含量高、凝性高，易於成膜。
- (2) 糯米粉由於幾乎全是支鏈澱粉所組成，黏性高、形成的膜易破、厚度最薄。
- (3) 麵粉薄膜較脆，且十分易碎，但麵粉中所含直鏈澱粉量約為 20~30%，因此推測是麵粉中所含的蛋白質阻礙了澱粉成膜。

研究(三) 探討海藻酸鈉-澱粉薄膜的製作方法和特性

由前述實驗結果可知，海藻酸鈉溶液及糊化後的澱粉溶液乾燥後皆能成膜，我們想知道若將海藻酸鈉及澱粉混和製成薄膜其特性將有何變化，因此進行了以下實驗：





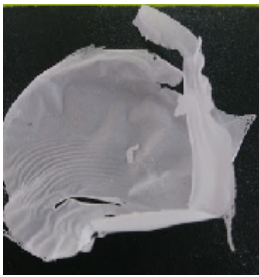
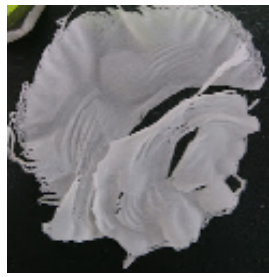
實驗 3-1 製成海藻酸鈉-澱粉乾粉混和薄膜並觀察其特性

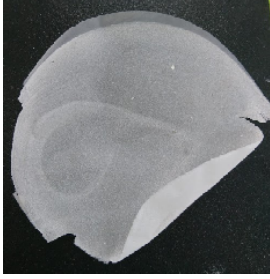
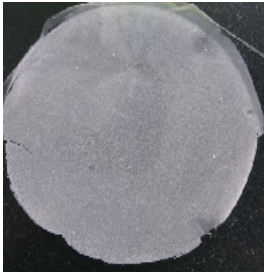
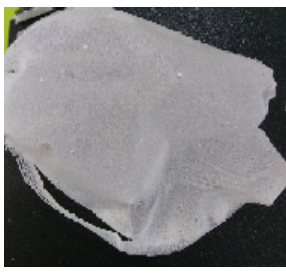
我們嘗試直接將海藻酸鈉與澱粉粉末混和後再加水配成溶液來製備薄膜。

步驟：

- (1) 分別取 1 克、2 克、3 克的玉米粉置於燒杯中。
- (2) 各取 1 克海藻酸鈉粉末加入上述燒杯，並以玻棒攪拌使粉末均勻混和後加水至 100 克。
- (3) 將各溶液稍加攪拌後靜置，待溶液完全溶解，分別將其製成海藻酸鈉-澱粉乾粉混和薄膜，並觀察其特性。
- (4) 將玉米粉改為糯米粉及麵粉，重複步驟(1)~(4)。

結果：

澱粉濃度	玉米粉 1g	玉米粉 2g	玉米粉 3g
薄膜成品			
觀察描述	膜為白色，膜較硬、易碎且易變形斷裂，又以玉米粉濃度愈高愈嚴重。		
薄膜厚度	0.051mm	0.069mm	0.118mm
縮小率	0.31	0.72	0.35
親水性	53°	48°	42°
澱粉濃度	糯米粉 1g	糯米粉 2g	糯米粉 3g
薄膜成品			
觀察描述	遇水會迅速吸水並破裂，故無法得到水滴接觸薄膜形成的接觸角	遇水會慢慢吸水並破裂	較厚、硬、變形嚴重
薄膜厚度	0.077mm	0.103mm	0.120mm
縮小率	0.12	0.48	0.49
親水性	52°	41°	31°

澱粉濃度	麵粉 1g	麵粉 2g	麵粉 3g
薄膜成品			
觀察描述	薄膜形狀最為完整，但濃度愈高仍易破碎		
薄膜厚度	0.080mm	0.097mm	0.120mm
縮小率	0.12	0.24	0.08
親水性	45°	45°	45°

討論：

- (1) 海藻酸鈉粉末在常溫靜置的情況下溶解需要超過半天的時間，但與澱粉混和後完全溶解只需約 2 小時的時間，即加入澱粉粉末有助於海藻酸鈉的溶解。推測應該是因為海藻酸鈉遇水時，表面溶解形成凝膠包覆了內部的海藻酸鈉形成塊狀，水分藉滲透作用穿過凝膠潤濕內部的海藻酸鈉十分費時，而加入難溶於水的澱粉與海藻酸鈉粉末均勻混和，可以分散海藻酸鈉顆粒，增加海藻酸鈉接觸水的表面積，進而促進海藻酸鈉的溶解速率。
- (2) 海藻酸鈉-澱粉乾粉混和溶液由於澱粉未經糊化，仍難溶於海藻酸鈉水溶液中，故海藻酸鈉-澱粉乾粉混和溶液為懸浮液，因海藻酸鈉溶液黏度大故能使澱粉分散在溶液中維持很長時間，將其製成薄膜後可在膜上看到未溶的澱粉顆粒，也是摸起來粗糙的原因。
- (3) 三種海藻酸鈉-澱粉乾粉混和薄膜硬度由大到小依序為：糯米粉>麵粉>玉米粉，且濃度愈高的澱粉乾粉製成的海藻酸鈉膜，硬度愈高、摸起來愈粗糙，且愈易變形破碎，我們認為是因為澱粉並未溶解於海藻酸鈉溶液中，故單位體積的海藻酸鈉溶液懸浮的澱粉粒愈多愈阻礙成膜。

實驗 3-2 提高乾粉混和溶液濃度製成薄膜並觀察其特性

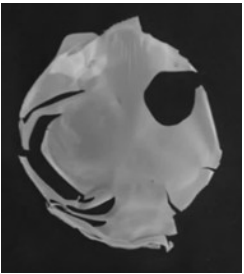

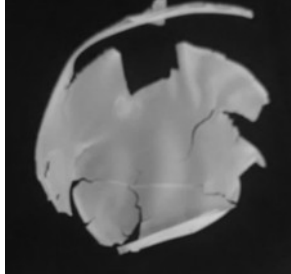
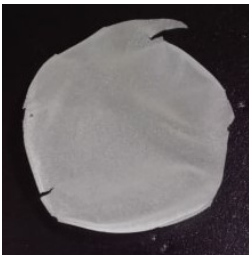
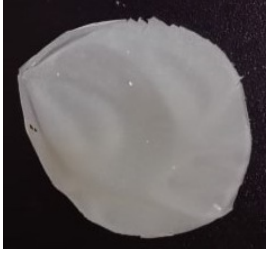

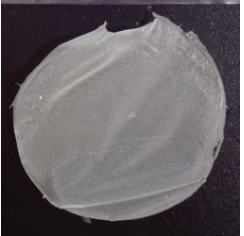

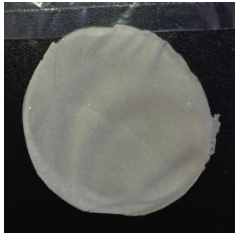
由實驗 3-1 結果，我們想嘗試提高海藻酸鈉和澱粉混和的量，希望能由較高濃度的海藻酸鈉附著較多澱粉成膜，再次觀察薄膜的特性。

步驟：

- (1) 分別取 2 克、4 克、6 克的玉米粉置於燒杯中。
- (2) 各取 2 克海藻酸鈉粉末加入上述燒杯，並以玻棒攪拌使粉末均勻混和後加水至 100 克。

- (3) 將各溶液攪拌後靜置，觀察海藻酸鈉溶解情形及所需時間。
- (4) 待溶液完全溶解，分別將其製成海藻酸鈉-澱粉乾粉混和薄膜，並觀察其特性。
- (5) 將玉米粉改為糯米粉及麵粉，重複步驟(1)~(4)。

結果：

澱粉濃度	玉米粉 2g	玉米粉 4g	玉米粉 6g
薄膜成品			
觀察描述	膜為白色，膜較硬、易碎且易變形斷裂，又以玉米粉濃度愈高愈嚴重。		
薄膜厚度	0.092mm	0.078mm	0.058mm
縮小率	0.33	0.27	0.23
親水性	32°	47°	50°
澱粉濃度	糯米粉 2g	糯米粉 4g	糯米粉 6g
薄膜成品			
觀察描述	平整粗糙，可變形	平整粗糙，可變形	平整粗糙，可變形
薄膜厚度	0.078mm	0.118mm	0.182mm
縮小率	0.12	0.23	0.14
親水性	73°	49°	25°
澱粉濃度	麵粉 2g	麵粉 4g	麵粉 6g
薄膜成品			
觀察描述	平整粗糙，可變形	平整粗糙，可變形	平整粗糙，可變形
薄膜厚度	0.058mm	0.162mm	0.099mm
縮小率	0.05	0.03	0.02
親水性	34°	39°	42°

討論：

- (1) 由於提高海藻酸鈉的濃度，使得膜的完整性較實驗 3-1 來得高。然而以海藻酸鈉-玉米粉乾粉混和製成的薄膜仍較易碎、易變形斷裂；糯米粉則變形、破裂的情況獲得改善；而麵粉形狀仍最完整、不易碎裂。
- (2) 提高海藻酸鈉澱粉乾粉溶液的濃度會使海藻酸鈉膜上分布的澱粉顆粒單位密度提高，當水滴滴在膜上時，突起的澱粉顆粒間留有空氣使得水滴的接觸角因而增加。

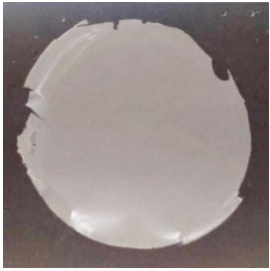


實驗 3-3 製成海藻酸鈉-糊化澱粉薄膜並觀察其特性

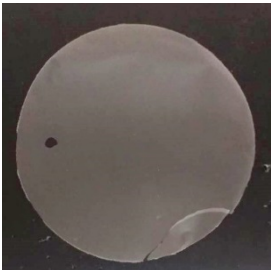

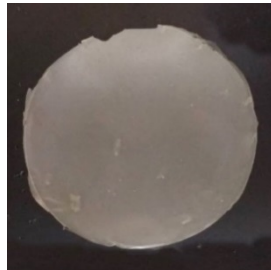



由實驗 3-1~3-2 的結果顯示，澱粉未糊化形成的薄膜表面粗糙、具有相當多澱粉顆粒，因此我們接下來改將海藻酸鈉溶液及糊化澱粉以 1：1 混和，混和溶液的海藻酸鈉濃度為 1%、澱粉濃度分別為 1%、2%、3%，探討其性質差異。

步驟：

- (1) 分別配製 2%、4%、6%的玉米粉、糯米粉、麵粉溶液，使其加熱糊化。
- (2) 各取 20 mL 上述溶液，分別與 2%海藻酸鈉溶液 20 mL 均勻混和，製成海藻酸鈉-糊化澱粉薄膜並觀察其特性。

結果：

澱粉濃度	玉米粉 1%	玉米粉 2%	玉米粉 3%
薄膜成品			
觀察描述	平整，柔軟，易變形	平整，柔軟，易變形	平整，柔軟，可變形
薄膜厚度	0.047mm	0.052mm	0.082mm
縮小率	0.12	0.20	0.27
親水性	68°	60°	55°

澱粉濃度	糯米粉 1%	糯米粉 2%	糯米粉 3%
薄膜成品			
觀察描述	平整，柔軟，易變形	平整，柔軟，易變形	平整，柔軟，可變形
薄膜厚度	0.042mm	0.053mm	0.100mm
縮小率	0.06	0.05	0.03
親水性	70°	62°	60°
澱粉濃度	麵粉 1%	麵粉 2%	麵粉 3%
薄膜成品			
觀察描述	平整，柔軟，易變形	平整，柔軟，易變形	平整，柔軟，可變形
薄膜厚度	0.060mm	0.050mm	0.052mm
縮小率	0.09	0.12	0.03
親水性	63°	55°	47°

討論：

- (1) 糊化後的澱粉溶液與海藻酸鈉溶液能均勻相容，使三種海藻酸鈉-糊化澱粉薄膜皆光滑平整，且形狀完整，唯玉米粉濃度較高時仍較易破碎。
- (2) 濃度越高的澱粉糊化溶液製成的海藻酸鈉膜，硬度越高。
- (3) 三種海藻酸鈉-糊化澱粉薄膜親水性皆隨澱粉濃度增加而增加。

研究(四) 探討海藻酸鈣薄膜的製作方法和特性

利用氯化鈣可與海藻酸鈉交聯成膜的特性，我們分別探討改變氯化鈣的濃度及溶液接觸時間對薄膜的影響。

實驗 4-1 改變氯化鈣濃度製成海藻酸鈣薄膜並觀察其特性




在我們查閱到的文獻中，製作海藻酸鈉晶球或薄膜所使用的鈣離子濃度大部分界於 1~10%之間，因此我們分別利用 1%、5%、10%的氯化鈣溶液與海藻酸鈉進行交聯，觀察所得

的海藻酸鈣薄膜特性。

步驟：

- (1) 分別配製 1%、5%、10% 氯化鈣溶液。
- (2) 取煎蛋器置於矽膠片上，將 15mL 海藻酸鈉溶液倒入煎蛋器中，再緩緩倒入氯化鈣溶液使其形成薄膜。
- (3) 計時 20 分鐘後將薄膜自煎蛋器中央取下，用清水清洗以去除表面殘留的氯化鈣溶液後，靜置於矽膠墊上使其自然乾燥，再將薄膜剝下觀察。

結果：

氯化鈣濃度	1%	5%	10%
薄膜成品			
觀察描述	膜較薄、透明無色，膜面積收縮嚴重	膜較前者厚，面積收縮嚴重	膜最厚，面積收縮嚴重
薄膜厚度	0.039mm	0.131mm	0.162mm
縮小率	0.40	0.42	0.36
親水性	-	-	-

討論：

- (1) 海藻酸鈉與氯化鈣交聯形成薄膜，在取下時先用水清洗未反應完的氯化鈣，乾燥後可得到透明無色的薄膜。
- (2) 經交聯生成的海藻酸鈣薄膜厚度較海藻酸鈉溶液乾燥形成的薄膜要厚，但面積會有明顯縮小並有變形捲曲的現象，這是因為加入鈣離子進行交聯時，會使分子鏈間的結合更緊密，隨著進行交聯的氯化鈣溶液濃度愈大，交聯的速度愈快，在表面快速形成緻密的一層薄膜，使得薄膜面積的縮小率反而減小，但鈣離子的濃度高代表在相同時間內滲入薄膜交聯的程度也會增加，故形成的薄膜較厚。
- (3) 海藻酸鈣薄膜十分親水，當水滴下即迅速向周圍暈開，水會慢慢潤濕海藻酸鈣薄膜，由於薄膜經由交聯後結構緊密，水分子進入並不會造成薄膜破裂和溶解。

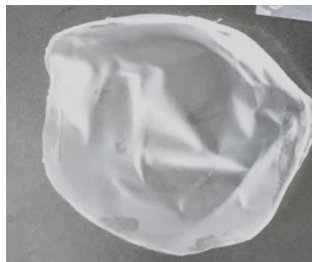

實驗 4-2 改變接觸時間製成海藻酸鈣薄膜並觀察其特性

由前一實驗結果可知，使用 10%的氯化鈣溶液可以得到面積較大、厚度較厚的膜，接下來我們試圖縮短氯化鈣溶液與海藻酸鈉接觸的時間，希望能順利縮短製作海藻酸鈣薄膜所需的時間。

步驟：

- (1) 配製 2%海藻酸鈉溶液及 10%氯化鈣溶液。
- (2) 取煎蛋器置於矽膠片上，將 15mL 海藻酸鈉溶液倒入煎蛋器中，再緩緩倒入氯化鈣溶液使其形成薄膜。
- (3) 計時 10 分鐘後將薄膜自煎蛋器中央取下，用清水清洗以去除表面殘留的氯化鈣溶液後，靜置於矽膠墊上使其自然乾燥，再將薄膜剝下觀察。

結果：

海藻酸鈉與氯化鈣接觸時間	10 分鐘	20 分鐘
薄膜成品		
觀察描述	表層形成薄膜皮層，但下方仍有未交聯完成的海藻酸鈉溶液	形成薄膜，可變形
薄膜厚度	0.128mm	0.162mm
縮小率	0.51	0.56
親水性	-	-

討論：

由於 10 分鐘交聯並未完全，我們將海藻酸鈉與氯化鈣接觸交聯的時間仍定為 20 分鐘。

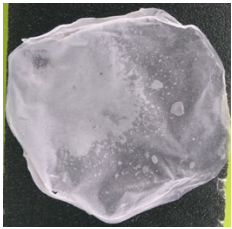
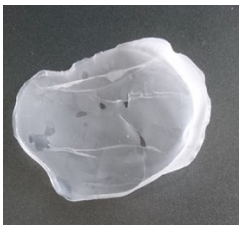
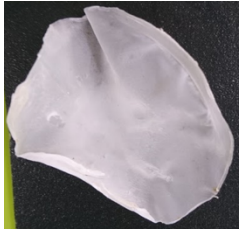
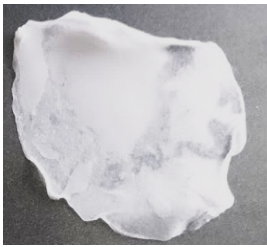
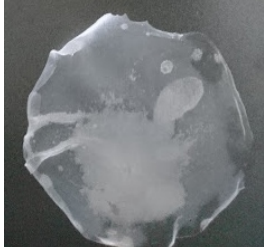




研究(五) 探討海藻酸鈣-澱粉薄膜的製作方法和特性

由研究(一)~(四)發現海藻酸鈉、澱粉及兩者混和都有成膜的能力，我們想利用氯化鈣能和海藻酸鈉產生交聯作用進一步製作海藻酸鈣-澱粉混和薄膜。

實驗 5-1 以海藻酸鈉-澱粉乾粉混和溶液 + 氯化鈣溶液製成薄膜並觀察其特性

步驟：

- (1) 依實驗 3-2 配製海藻酸鈉-澱粉乾粉混和溶液及 10%氯化鈣溶液。
- (2) 將海藻酸鈉-澱粉乾粉混和溶液倒入煎蛋器內，緩緩倒入氯化鈣溶液等待 20 分鐘成膜。
- (3) 洗去薄膜上殘留的氯化鈣溶液後，靜置於矽膠墊上使其自然乾燥，再將薄膜剝下觀察。

澱粉濃度	玉米粉 1%	玉米粉 2%	玉米粉 3%
薄膜成品			
觀察描述	粗糙不平整、較硬難彎折		
薄膜厚度	0.095mm	0.150mm	0.171mm
縮小率	0.51	0.57	0.51
親水性	-	43°	55°
澱粉濃度	糯米粉 1%	糯米粉 2%	糯米粉 3%
薄膜成品			
觀察描述	厚，粗糙，難變形，下層較上層白	厚，粗糙，難變形，下層較上層白	厚，柔軟，易變形，下層較上層白
薄膜厚度	0.138mm	0.123mm	0.140mm
縮小率	0.70	0.73	0.70
親水性	-	-	-
澱粉濃度	麵粉 1%	麵粉 2%	麵粉 3%
薄膜成品			
觀察描述	外圍較硬，中間較軟，粗糙、可變形	下層較粗糙，難變形	光滑柔軟平整，難變形
薄膜厚度	0.136mm	0.112mm	0.242mm
縮小率	0.57	0.75	0.57
親水性	-	-	-

討論：

- (1) 薄膜親水性無法測量的部分，為當水滴下後會暈開以至於無法測量。
- (2) 與實驗 3-1 相比，加了氯化鈣交聯製成的薄膜，厚度增加且縮小率亦高出許多；而與實驗 4-1 相比，多了澱粉懸浮於溶液中再交聯，不只面積縮得更小，表面也有許多澱粉顆粒分布，使表面十分粗糙，形成的薄膜堅硬、脆，施力易破。


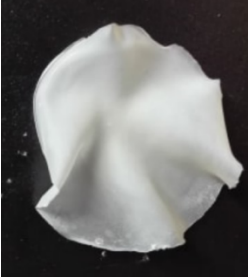

實驗 5-2 提高乾粉混和溶液濃度 + 氯化鈣溶液製成薄膜並觀察其特性




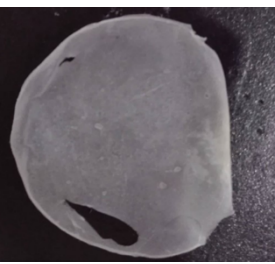
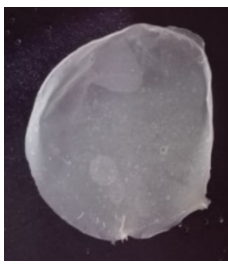
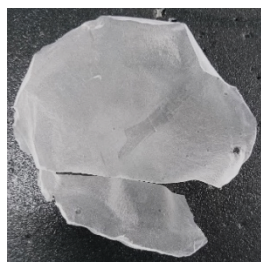
我們再將乾粉混和溶液提高濃度之後，與氯化鈣溶液交聯製成薄膜，探討與前述實驗製成的薄膜特性差異。

步驟：

- (1) 分別取 2 克、4 克、6 克的玉米粉置於燒杯中。
- (2) 各取 2 克海藻酸鈉粉末加入上述燒杯，並以玻棒攪拌使粉末均勻混和後加水至 100 克。
- (3) 待溶液完全溶解，將其倒入煎蛋器內，緩緩倒入 10% 氯化鈣溶液等待 20 分鐘成膜。
- (4) 洗去薄膜上殘留的氯化鈣溶液後，靜置於矽膠墊上使其自然乾燥，再將薄膜剝下觀察。
- (5) 將玉米粉改為糯米粉及麵粉，重複步驟(1)~(4)。

結果：

澱粉濃度	玉米粉 2%	玉米粉 4%	玉米粉 6%
薄膜成品			
觀察描述	白色，柔軟可變形，有皺褶		
薄膜厚度	0.095mm	0.150mm	0.171mm
縮小率	0.79	0.75	0.68
親水性	50°	48°	47°

澱粉濃度	糯米粉 2%	糯米粉 4%	糯米粉 6%
薄膜成品			
觀察描述	白色，內縮明顯，可變形，有皺褶	白色，內縮明顯，中間硬，周圍較軟可變形	白色，內縮明顯，可變形，有皺褶
薄膜厚度	0.138mm	0.150mm	0.180mm
縮小率	0.70	0.67	0.63
親水性	-	-	-
澱粉濃度	麵粉 2%	麵粉 4%	麵粉 6%
薄膜成品			
觀察描述	平整柔軟	平整柔軟，可變型	微粗糙，可變型
薄膜厚度	0.136mm	0.112mm	0.242mm
縮小率	0.57	0.68	0.75
親水性	-	-	42°

討論：

- (1) 薄膜親水性無法測量的部分，為當水滴下後會暈開以至於無法測量。
- (2) 當提高海藻酸鈉與澱粉乾粉量再加入氯化鈣成膜時，由於澱粉均勻散佈在海藻酸鈉中，澱粉分子與海藻酸鈉之間的氫鍵作用力增加，當氯化鈣與海藻酸鈉進行交聯時，膜厚、面積較實驗 5-1 更小，同時因為海藻酸鈉的濃度提高，加入氯化鈣交聯後形成的薄膜變得柔軟可彎折變形。
- (3) 在此實驗中，我們在薄膜表面滴水欲測試其親水性質時，發現水滴一接觸到薄膜表面立刻暈開，使得水滴與薄膜接觸面積變得相當大，接著水被快速吸收進入薄膜內，表面又回復乾燥狀態，故無法量測到其接觸角。而此現象又以海藻酸鈉-糯米粉乾粉混和薄膜最為明顯，且糯米粉量愈多吸收的水量愈多。

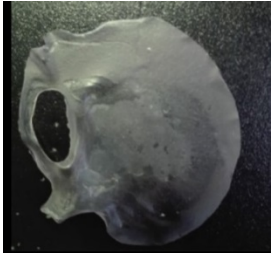
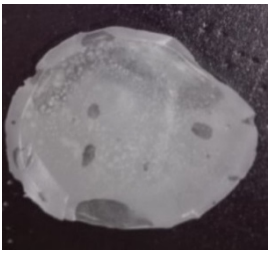
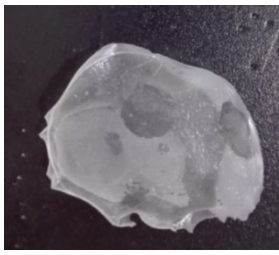
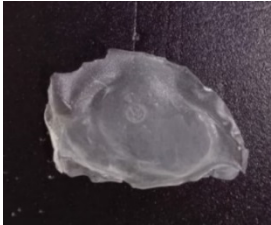
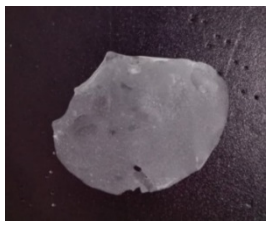
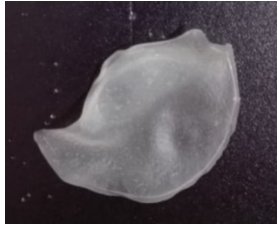
實驗 5-3 以海藻酸鈉-糊化澱粉溶液+氯化鈣溶液製成薄膜並觀察其特性

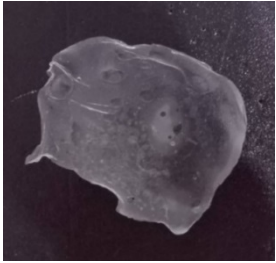
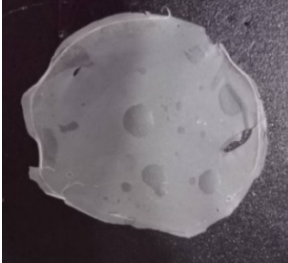
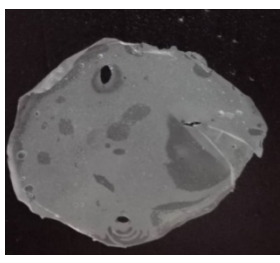
我們試著將海藻酸鈉-糊化澱粉溶液亦加入氯化鈣溶液交聯製成薄膜，探討其特性。

步驟：

- (1) 依實驗 3-1 配製海藻酸鈉-糊化澱粉溶液及 10%氯化鈣溶液。
- (2) 將 15mL 海藻酸鈉-糊化澱粉溶液倒入煎蛋器內，再緩緩倒入氯化鈣溶液等待 20 分鐘形成薄膜。
- (3) 洗去薄膜上殘留的氯化鈣溶液後，靜置於矽膠墊上使其自然乾燥，再將薄膜剝下觀察。

結果：

澱粉濃度	玉米粉 2%	玉米粉 4%	玉米粉 6%
薄膜成品			
觀察描述	平整柔軟，可變形，較透明		
薄膜厚度	0.168mm	0.205mm	0.165mm
縮小率	0.61	0.34	0.35
親水性	-	34°	39°
澱粉濃度	糯米粉 2%	糯米粉 4%	糯米粉 6%
薄膜成品			
觀察描述	平整柔軟，可變形	平整柔軟，可變形	平整柔軟，可變形
薄膜厚度	0.268mm	0.195mm	0.151mm
縮小率	0.69	0.71	0.62
親水性	30°	41°	52°

澱粉濃度	麵粉 2%	麵粉 4%	麵粉 6%
薄膜成品			
觀察描述	平整柔軟，可變形	平整柔軟，可變形	平整柔軟，可變形
薄膜厚度	0.158mm	0.142mm	0.182mm
縮小率	0.79	0.64	0.66
親水性	-	-	-

討論：

由於糊化澱粉在冷卻時，將許多水分子保留於澱粉之間重新形成氫鍵，加上海藻酸鈉分子也能形成氫鍵，兩者間的纏繞會變得更加明顯，當海藻酸鈉-糊化澱粉溶液加入氯化鈣進行交聯後，所成的膜厚、十分柔軟，且縮小率相較起前面的時候顯得更加明顯。

研究(六) 應用薄膜特性製成吸水墊

由研究(一)~研究(五)所製備的數十種薄膜中，我們發現無添加氯化鈣進行交聯作用的薄膜遇水會有凹陷變形、溶解及破裂的情形；而有添加氯化鈣交聯的薄膜遇水不僅不會變形、溶解及破裂，甚至能快速吸收水分，且能再度乾燥重複吸水，因此我們將有添加氯化鈣的薄膜作吸水量的探討，希望能將結果應用在生活中。

實驗 6-1 測量並比較不同組成的薄膜之吸水率

步驟：

- (1) 秤取研究(四)~研究(五)製作之海藻酸鈣薄膜及海藻酸鈣-澱粉薄膜重量。
- (2) 將薄膜放入裝水的培養皿內，浸泡至薄膜吸水達最大量後測其吸水率。

結果：

		原重量(g)	吸水後重量(g)	吸水率
海藻酸鈣薄膜		0.80	0.86	8%
海藻酸鈉-澱粉 乾粉溶液 + 氯化鈣溶液	玉米粉 1%	0.62	0.80	29%
	玉米粉 2%	0.62	0.85	37%
	玉米粉 3%	0.93	1.28	38%
	糯米粉 1%	0.51	0.72	41%

	糯米粉 2%	0.55	0.76	38%
	糯米粉 3%	0.78	1.55	99%
	麵粉 1%	0.45	0.63	40%
	麵粉 2%	0.71	1.06	49%
	麵粉 3%	0.53	0.82	55%
提高乾粉混和 溶液濃度 + 氯化鈣溶液	玉米粉 2%	1.10	1.47	34%
	玉米粉 4%	1.21	1.74	44%
	玉米粉 6%	1.09	1.74	60%
	糯米粉 2%	1.32	1.83	39%
	糯米粉 4%	1.04	1.40	35%
	糯米粉 6%	1.71	2.30	34%
	麵粉 2%	1.04	1.22	17%
	麵粉 4%	1.08	1.42	31%
	麵粉 6%	1.07	1.40	31%
海藻酸鈉-糊化 澱粉溶液 + 氯化鈣溶液	玉米粉 1%	0.72	0.99	38%
	玉米粉 2%	1.03	1.57	41%
	玉米粉 3%	1.16	1.71	60%
	糯米粉 1%	0.92	1.18	28%
	糯米粉 2%	1.25	1.76	44%
	糯米粉 3%	1.53	2.18	60%
	麵粉 1%	0.88	1.23	40%
	麵粉 2%	0.95	1.35	42%
	麵粉 3%	1.13	1.71	51%

討論：

- (1) 由實驗結果可以發現，所有海藻酸鈣-澱粉薄膜吸水率皆較純海藻酸鈣薄膜佳，應是因澱粉分子具有一OH、一COOH 及一NH₂ 等官能基，分子間存在許多氫鍵，使澱粉粒雖難溶於水但具親水性，故將其作為海藻酸鈣薄膜的添加物可以增加薄膜吸水率，且澱粉添加量越高，吸水量越大。
- (2) 比較相同濃度、將澱粉分別以乾粉及糊化方式混和的海藻酸鈣薄膜，發現玉米粉薄膜以糊化方式吸水率較高，糯米粉差異大，麵粉則以乾粉混和的吸水率較高。
- (3) 比較同是將澱粉以乾粉方式混和的海藻酸鈣薄膜，發現提高直鏈澱粉含量多的玉米粉乾粉與海藻酸鈉濃度可以顯著提高吸水率，而提高支鏈澱粉為主的糯米粉和含有蛋白質的麵粉乾粉與海藻酸鈉濃度製膜卻使吸水率下降，此結果應與澱粉的結構有關，支鏈澱粉

含量較高的澱粉吸水能力佳，其中具有最高吸水率的薄膜是添加 3% 糯米粉乾粉的混和膜，由此可知澱粉添加量與海藻酸鈉濃度有吸水率的最適比例。

- (4) 澱粉粒吸水的同時，直鏈澱粉分子會開始向外滲入液體，讓溶液變得更硬，故混和玉米粉乾粉的薄膜較硬脆。

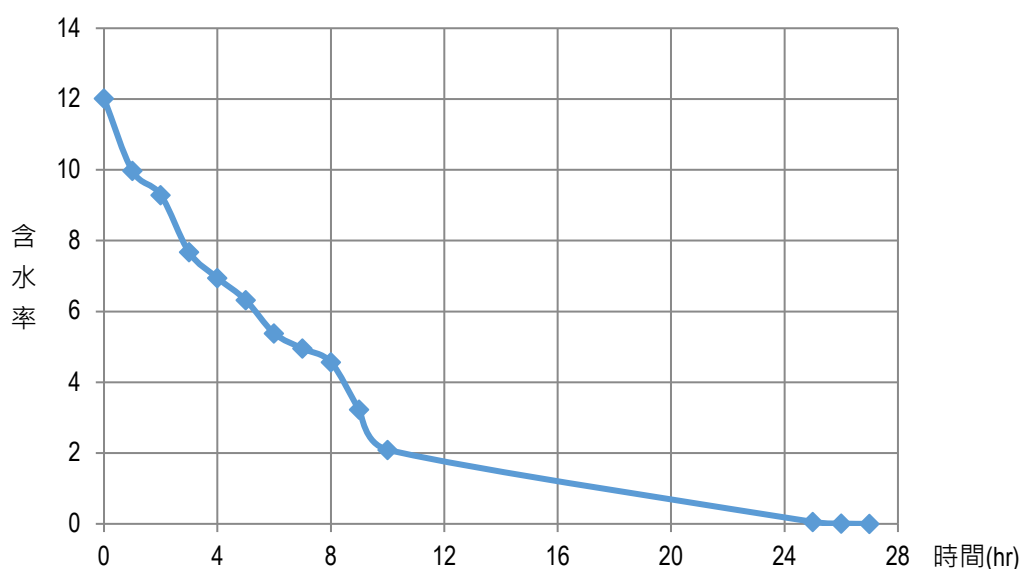
實驗 6-2 測量薄膜乾燥過程含水率的變化

實驗 6-1 的結果可知海藻酸鈣 - 3% 糯米粉乾粉混合膜具有最高的吸水率，我們進一步探討此薄膜乾燥過程的含水率變化，以了解薄膜內部水的存在狀態。

步驟：

- (1) 製作海藻酸鈣 - 3% 糯米粉乾粉混合膜，並於沖洗表面殘留的氯化鈣溶液後，擦乾表面多餘水分，秤重並記錄薄膜重量。
- (2) 將薄膜放入防潮箱(設定濕度 40%、溫度 30°C)內，並每小時秤重，計算含水率的變化。

結果：



討論：

- (1) 從結果可以發現前十小時含水率下降的速率較快，代表這段時間薄膜表面水分的蒸發量等於或大於內部水分的擴散量，隨乾燥時間增加，可觀察到薄膜表面逐漸硬化且面積逐漸縮小。
- (2) 當乾燥時間接近 25 小時時，薄膜內部水分移動困難，薄膜含水率已達平衡。

(3) 固體材料在一般的乾燥條件下乾燥，由固體表面藉空氣之熱量而蒸發之表面附著水分和一般自由水相同，若條件不變，則其乾燥保持一定之速度，直至固體之含水量降至一定量以下，速度才會隨之顯著的降低。然而由於我們受限於最多只能連續測量十小時的時間，無法得到薄膜的乾燥曲線，因此我們希望未來可以藉由儀器定時紀錄質量的變化，以從實驗結果獲知更多的訊息。

實驗 6-3 測量薄膜重複吸水量

薄膜吸水後可使之乾燥再度吸水，我們測量薄膜重複吸水的次數是否會影響吸水量。

步驟：

- (1) 製作海藻酸鈣 - 3%糯米粉乾粉混合膜，並在濕度 40%、溫度 30°C 的防潮箱中乾燥。
- (2) 將乾燥薄膜取出吸水至重量不再增加後，紀錄薄膜的吸水量。
- (3) 將溼膜放入防潮箱中乾燥，每小時測一次薄膜的重量至薄膜重量恆定。
- (4) 重複步驟(2)~(3)，並觀察薄膜的外觀變化。

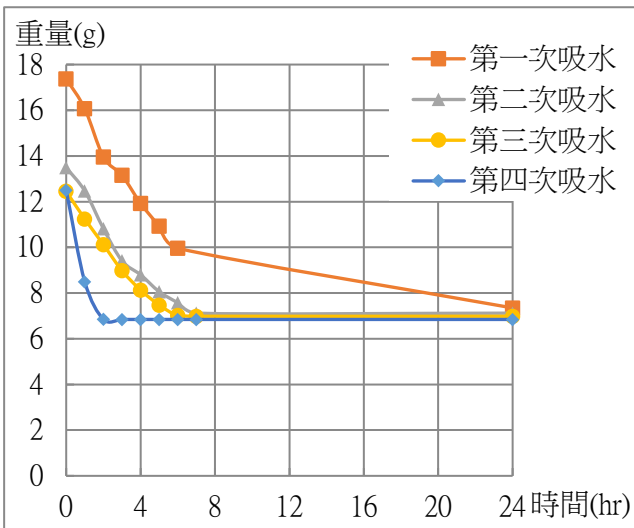


圖 6 薄膜乾燥時，重量隨時間的變化圖

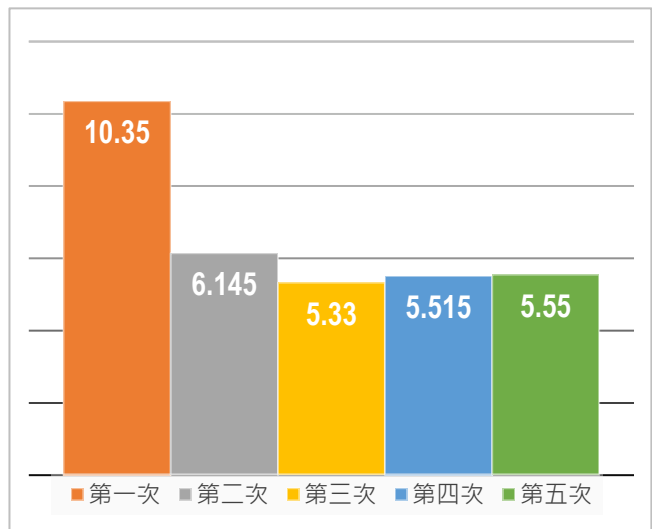


圖 7 薄膜重複吸水量

討論：

- (1) 由實驗結果可知，薄膜第一次吸水可吸水量最多，自第二次吸水後，可吸水量即大幅減少，但約為一定值。由於我們發現將薄膜第一次浸泡在水中使其吸水時，水會逐漸變為白色混濁(如右圖 8)，第二次吸水出現些微混濁，第三次以後的吸水則不會，此結果應是因為混和薄膜中原先分布在表面未糊化但



圖 8

可吸水的糯米粉顆粒掉落所致。

(2) 薄膜內部水分會以內部擴散的方式移至表面，到達表面後開始進行蒸發作用，至內部水

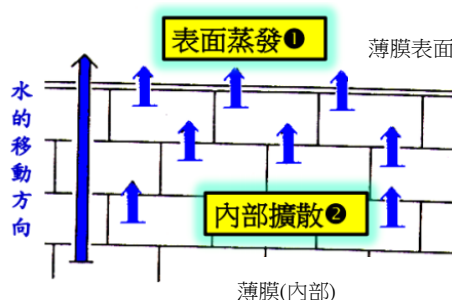


圖 9 薄膜乾燥機制 (修改自臺灣海洋大學食品科學系蔡敏郎教授食品加工上課投影片)

分含量與周圍乾燥空氣的水分達到平衡為止(如圖 9)。由圖 6 可以發現，經愈多次吸水後的薄膜乾燥達恆重所需的時間愈短，同時也發現乾燥後的薄膜隨著乾燥次數增加，逐漸變得硬脆，我們推測在薄膜吸水過程中，水分由外圍進入薄膜，造成外層物質的膨脹，而對薄膜形成壓迫力，造成薄膜結構之改變；而在薄膜乾燥的過程中，由於內部擴散造成溶質被帶到薄膜的表面堆積，故吸水量雖無明顯差異，但吸水和乾燥的速率加快，薄膜失去水分後形成一層硬皮，且有萎縮捲曲的現象。

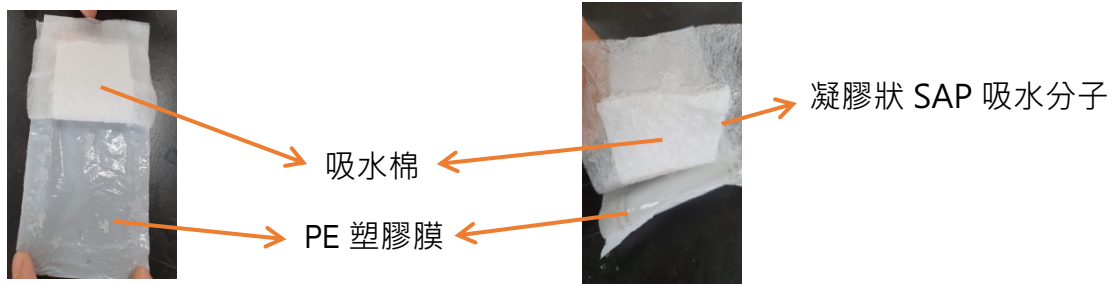
實驗 6-4 將薄膜製成吸水墊並測試其吸水量

步驟：







1. 取一片市售生鮮用吸水墊，將其撕開，觀察內部物質及構造。
2. 將薄膜製成吸水墊：
 - (1) 取不織布吸水紙，將其裁剪成與市售吸水墊內的吸水棉相同大小。
 - (2) 配置氯化鈣、海藻酸鈉及海藻酸鈉 - 3%糯米粉乾粉混合溶液，並將 0.15 乾燥的水晶寶寶磨碎鋪在兩片不織布吸水紙中間。
 - (3) 自製以下四種薄膜吸水墊各三片，盡量使面積大小一致，放入乾燥箱乾燥後備用。
編號 1：將海藻酸鈉溶液平鋪一層，放入兩片不織布吸水紙，再倒入氯化鈣使其成膜。
編號 2：將海藻酸鈉溶液平鋪一層，放入夾有水晶寶寶的不織布吸水紙，倒入氯化鈣成膜。
編號 3：同編號 1，將海藻酸鈉溶液改為海藻酸鈉 - 3%糯米粉乾粉混合溶液。
編號 4：同編號 2，將海藻酸鈉溶液改為海藻酸鈉 - 3%糯米粉乾粉混合溶液。
3. 測量市售吸水墊、不織布吸水紙及四種自製吸水墊的吸水量。

結果：

1. 拆開市售吸水墊，發現有兩片吸水棉(不織布材質)，吸水棉中間有凝膠狀物質，產品標示為 SAP 吸水分子。



2. 各吸水墊成品及吸水量如下表：

名稱	市售吸水墊	不織布吸水紙	編號 1	編號 2	編號 3	編號 4
成品						
平均吸水量	19.89g	1.13g	2.71g	3.69g	6.94g	9.27g
薄膜占整體吸水量	-	-	17%	7%	69%	63%

海藻酸鈣薄膜

海藻酸鈣 - 3%糯米粉
乾粉混合薄膜

討論：

- (1) 我們將自製吸水墊的吸水量減去不織布吸水紙和水晶寶寶的吸水量後，即可得到薄膜吸水量及占整體吸水量的比例。由結果可以發現編號 3、4 吸水墊的吸水量及薄膜本身占整體吸水墊的吸水比例皆明顯高出編號 1、2，因此添加 3%糯米粉於海藻酸鈣膜中的確可以促進薄膜的吸水能力。
- (2) 我們自製的吸水墊利用容易取得的水晶寶寶(聚丙烯酸鈉)仿造市售吸水墊中的吸水材料，增加吸水量，故添加水晶寶寶的吸水墊中，薄膜占整體吸水量的比例會下降。
- (3) 由結果可以看到，編號 1、2 與編號 3、4 的吸水墊其吸水量的差異主要來自添加水晶寶寶的關係，但兩者添加的水晶寶寶等量，增加的吸水量卻不同，我們推測是因為海藻酸鈣薄膜的吸水量較混合薄膜少，因此水份較難進到內部的水晶寶寶供其吸收。

- (4) 在成本方面，自製的 3%糯米粉混合薄膜吸水墊一片約為 0.2 元，而市售吸水墊則是 0.5 元。除了價格上的差異外，我們自製的薄膜為天然環保安全可食用、可快速吸水且可以重複使用的薄膜。

陸、結論

一、探討以海藻酸鈉、澱粉、氯化鈣為原料的薄膜製備方法：

- (一) 以不同水溫配製海藻酸鈉溶液所需時間不同，溫度愈高、溶解速度愈快，低於 60°C 配製而得的海藻酸鈉溶液顏色、黏度、濃度差異小，而 80°C 所配製的海藻酸鈉溶液黏度明顯增加。
- (二) 海藻酸鈉與澱粉粉末均勻加水混和，可加快海藻酸鈉溶解速度。配製時澱粉濃度愈高薄膜愈粗糙、愈易破碎，其中以玉米粉破碎斷裂情形最為嚴重，此現象可藉由提高海藻酸鈉溶液的濃度改善。

二、探討並比較不同組成的薄膜特性及差異：

- (一) 2%海藻酸鈉溶液乾燥後可成膜，對水溶解度高。
- (二) 澱粉糊化後冷卻乾燥可成膜，其中玉米粉薄膜平整光滑可彎曲，糯米粉薄膜和麵粉薄膜雖平整光滑卻易碎，與水接觸會使薄膜膨潤變形。
- (三) 實驗製得的海藻酸鈉-糊化澱粉薄膜光滑平整，澱粉濃度愈高、硬度愈大，且親水性愈佳。若將溶液添加氯化鈣交聯後，薄膜會變厚、縮小，且變得柔軟可彎曲變形。
- (四) 使用 10%氯化鈣與海藻酸鈉交聯需費時 20 分鐘成膜，氯化鈣濃度高會使膜厚度增加，交聯後薄膜面積較未交聯縮小，遇水不會使薄膜破裂和溶解。
- (五) 以海藻酸鈉-澱粉乾粉溶液與氯化鈣交聯製成的薄膜厚度厚、面積縮小比率高，其中澱粉乾粉添加的比例愈高、薄膜愈粗糙、愈硬脆，提高海藻酸鈉濃度可使薄膜變得平整、柔軟可變形，且具有吸水力。

三、將薄膜製成吸水墊並探討其吸水情形

海藻酸鈣-澱粉薄膜吸水率皆較純海藻酸鈣薄膜佳，澱粉添加量越高，吸水量越大，其中添加 3%糯米粉乾粉的混和膜吸水率可達 99%為最高，可將其應用於自製吸水墊，包覆內部

吸水紙或高分子吸水材料，其吸水量最高可達 9.27 克。

柒、主要參考資料

1. 郭重吉(主編)(2016)。國中自然與生活科技 第四冊。南一版。
2. 黃珮瑀、曹家豪、吳沛璇、林璟醇(2003)。小小晶球真奇妙！。中華民國第四十三屆中小學科學展覽會。
3. 吳佳蓉、陳彥劭、吳郁婷(2016)。目不轉「晶」—探討 海藻酸鈉薄膜的形成與其相關應用。中華民國第五十六屆中小學科學展覽會。
4. 伍亭蓉、黃子恒、葉小嘉、陳苡亘(2018)。鈣多晶球。中華民國第五十八屆中小學科學展覽會。
5. 林鈺純(2018)。Ooho!「內」個「膜」法—凝膠薄膜性質之探討。中華民國第五十八屆中小學科學展覽會。
6. 鍾逢彧(2016)。「泡膜」雲起 「膜」登寶「澱」—澱粉起泡、成膜性質的探討及應用。中華民國第五十六屆中小學科學展覽會。
7. 陳慕謙、張志鵬(2010)。生物可分解性水苔介質改質之探討。華岡紡織期刊，4，371-377。
8. 施韋慈、江伯源(2014)。以玉米澱粉與海藻酸鈉混合模式評估糊化及品質特性。農林學報 63(3)，163-173。

【評語】 030206

本作品探討海藻酸鈉、澱粉及兩者混合時，遇氯化鈣所形成之薄膜厚度、縮小率、親水性、含水率、吸水量與吸水率等參數之變化。實驗所調控的因子改變脈絡清楚，對實驗結果亦有詳細討論，將製出海藻酸鈣-3%糯米粉乾粉混合薄膜再添加水晶寶寶，成功製出吸水墊，亦屬難得。以下建議：

1. 數據的呈現，可以多測量幾次，比較有統計上的意義，也增加數據的可信賴度。
2. 可針對該薄膜之物性及應用性，加以延伸實驗探究，將更能提升其實用性。

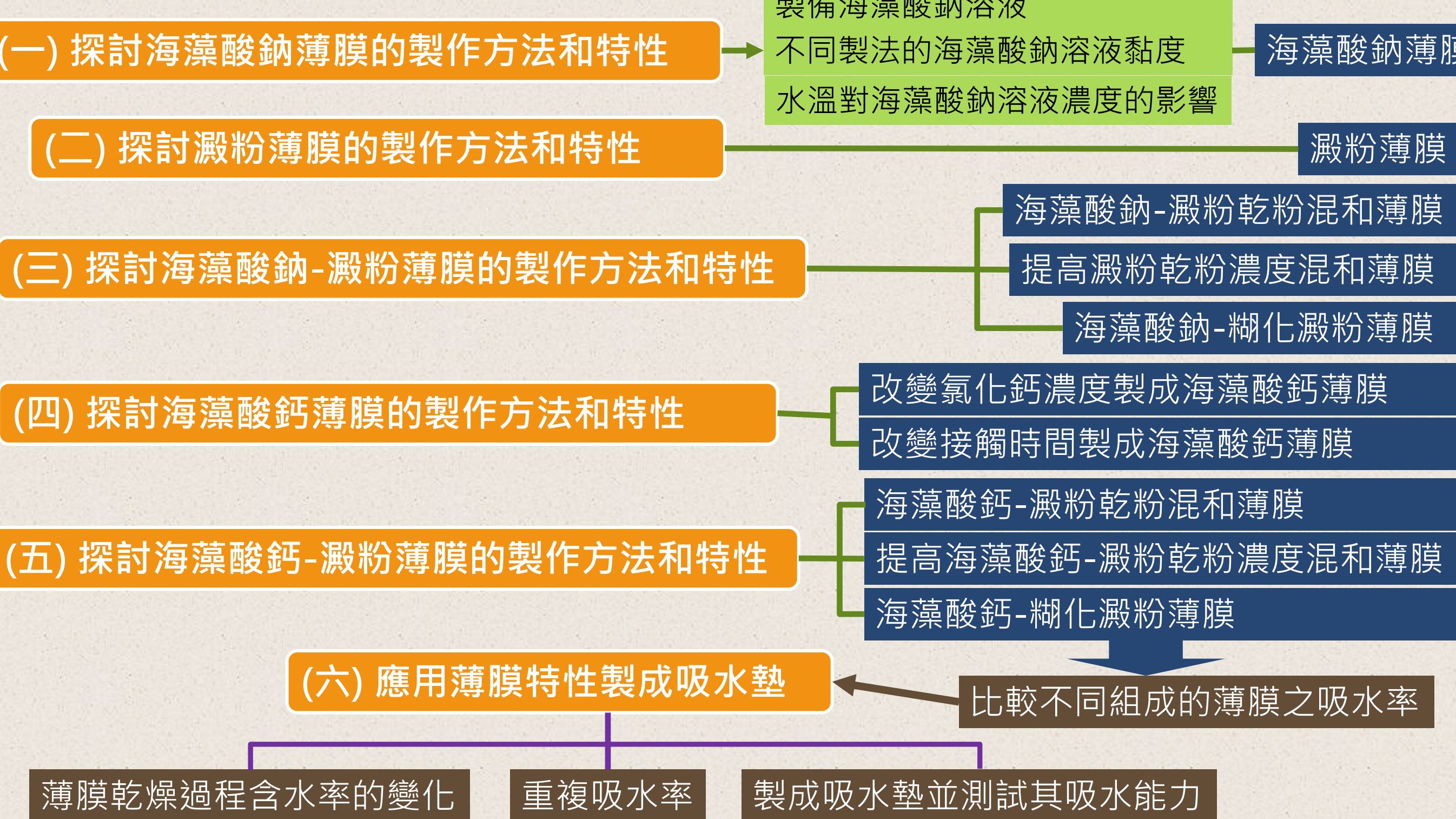
摘要

本研究旨在探討海藻酸鈉、澱粉及兩者混和成膜的特性，並討論上述薄膜添加氯化鈣進行交聯後對薄膜特性的影響及應用，希望將薄膜進一步用在生活中。研究發現支鏈澱粉含量多所組成的薄膜，黏性高、易破、厚度最薄添加澱粉的海藻酸鈣薄膜吸水率提高，以乾粉方式混和3%糯米粉的吸水率達99%最高，薄膜乾燥前期的含水率下降速度較快，將此薄膜重複吸水，第一次吸水量最高，之後的吸水量減低且往復吸水、乾燥的速率提高，將薄膜添加水晶寶寶可使吸水量增加製成吸水墊，以期取代目前生鮮食材用的PE淋膜不織布吸水紙，將能更具環保價值。

壹、實驗動機

在學校的社團課中，老師和我們分享了一則發明：由於近年來環保意識高漲，世界各地推起了減塑運動，為了減少寶特瓶的浪費，3位學生研究出一種沒有包裝的水，運用海藻酸鈉結合氯化鈣而形成外表透明的薄膜將水包裹住，最終的成品簡單又便宜，強韌、易分解且可使用。我們發現以前的科展研究，大多是做海藻酸鈉晶球的討論，於是做了一些變化，將球改成薄膜，並與澱粉混合成膜、觀察是否有不一樣的結果。

參、研究過程與方法



貳、實驗目的

- 一、探討以海藻酸鈉、澱粉、氯化鈣為原料的薄膜製備方法。
- 二、探討並比較不同組成的薄膜特性及差異。
- 三、將薄膜製成吸水墊並探討其吸水情形

薄膜特性的測量

薄膜厚度	薄膜製成乾燥後，利用螺旋測微器測量薄膜任三點厚度取平均。
縮小率	$\text{縮小率} = \frac{\text{乾燥前薄膜面積} - \text{乾燥後薄膜面積}}{\text{乾燥前薄膜面積}}$
親水程度	藉由測量接觸角的角度大小得知固體表面與液體間作用力的資訊，以了解薄膜親水程度的強弱。
吸水率	$\text{吸水率} = \frac{\text{吸水後薄膜質量} - \text{吸水前薄膜質量}}{\text{吸水前薄膜質量}}$
含水率	$\text{含水率} = \frac{\text{薄膜原重} - \text{薄膜平衡重量}}{\text{完全乾燥的薄膜重}}$

研究(一) 探討海藻酸鈉薄膜的製作方法和特性

實驗1-1 製備海藻酸鈉溶液的方法

	常溫靜置	常溫攪拌	加熱攪拌	溶40°C水攪拌	溶60°C水攪拌	溶80°C水攪拌
溶解所需時間(hr)	6.5	5	3	2.5	1.5	0.5
溶解情形	微量氣泡，溶液成稠狀透明	稍有氣泡(微量)，溶液成稠狀透明	稍有氣泡，溶液成稠狀透明	稍有氣泡，溶液成稠狀略帶淡黃	稍有氣泡，溶液成稠狀微偏黃	有氣泡(較大)，溶液黏稠偏黃

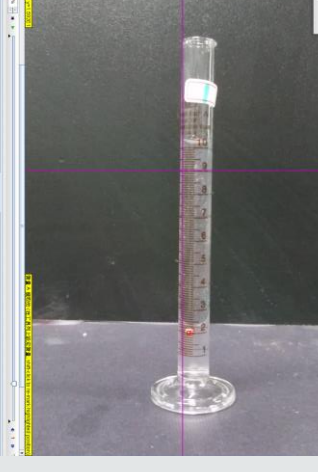
1. 海藻酸鈉經攪拌後先是成塊狀浮在液面上方，從外層逐漸開始溶解變透明狀，內部則仍為白色粉末，若把它切開後，內層粉末浸水即開始溶解，而成透明黏稠液體。
2. 海藻酸鈉在持續攪拌、水溫較高的情況下溶解速率較快但顏色較深，常溫靜置不攪拌溶解速率最慢但溶液最為乾淨透明。
3. 配置的方式應會影響海藻酸鈉溶液的部分性質。

實驗1-2 比較不同方法製成的海藻酸鈉溶液黏度

方法一 取一底部用保鮮膜封住的漏斗固定在鐵架的圓環上，將不同方法製成的海藻酸鈉溶液各取 10 mL 置入漏斗，測量並記錄漏斗上的海藻酸鈉溶液全部流入燒杯所需時間。



方法二 將不同方法製成的海藻酸鈉溶液各 10 mL 分別置入量筒中，用鑷子將直徑 4 mm 的小鋼珠由液面上自由落下並將過程錄影拍成影片，再利用 Tracker 影片分析軟體分析小鋼珠由液面掉落至量筒 1 mL 刻度時所需的時間。



方法一	常溫靜置	常溫攪拌	加熱攪拌	溶40°C水攪拌	溶60°C水攪拌	溶80°C水攪拌
時間(s)	60	63	77	80	89	170

方法二	常溫靜置	常溫攪拌	加熱攪拌	溶40°C水攪拌	溶60°C水攪拌	溶80°C水攪拌
時間(s)	8.2	10.8	13.6	12.4	15.7	40.4

1. 海藻酸鈉以溫度愈高的水溶解，冷卻後形成的溶液黏度愈大。
2. 我們認為造成不同方法配製的海藻酸鈉溶液顏色深淺及黏度差異的原因主要來自水溫高低，水溫愈高、蒸發速率愈快，使得海藻酸鈉溶液的濃度在溶解過程中有所改變。

實驗1-3 探討以不同溫度的水配製海藻酸鈉溶液造成的濃度變化

	常溫攪拌	溶40°C水攪拌	溶80°C水攪拌
減少的水量(g)	0.93	1.02	1.07

1. 不同水溫配置完成的海藻酸鈉溶液雖然減少的水量不同，但差別並不明顯，故水溫之變因並非造成黏度差異的主因。
2. 海藻酸鈉在高溫的環境下，分子的動能較大，使長鏈交纏嚴重，隨著溫度降低，液體中分子運動的平均速度減小，與臨近分子的接觸時間變長，使得溶液冷卻後的黏度上升。

實驗1-4 製成海藻酸鈉薄膜並觀察其特性



薄膜成品	
觀察描述	膜平整光滑，可輕易剝下
薄膜厚度	0.031mm
縮小率	0.04

海藻酸鈉薄膜遇水則溶，有相當高的水溶性，故無法測其接觸角。

研究(二) 探討澱粉薄膜的製作方法和特性

澱粉濃度	玉米粉2%	玉米粉4%	玉米粉6%	澱粉濃度	糯米粉2%	糯米粉4%	糯米粉6%	澱粉濃度	麵粉2%	麵粉4%	麵粉6%
糊化情形	玉米粉糊化溫度較高，溫度下降後黏稠度快速增加，且濃度愈高愈黏稠，置於常溫下一段時間可看到溶液凝成塊狀(老化)。			糊化情形	糯米粉糊化溫度低，溫度下降後黏稠度快速增加，且濃度愈高愈黏稠，置於常溫下一段時間溶液仍維持糊狀透明，但黏度提高。			糊化情形	麵粉加熱至糊化不太會變黏稠，冷卻後溶液呈淡褐色，沒有明顯的老化現象。		
薄膜成品				薄膜成品				薄膜成品			
觀察描述	平整光滑，柔軟可變形	平整光滑，柔軟可變形	平整光滑，柔軟可變形	觀察描述	平整易碎，可彎曲變形	平整光滑，可彎曲變形但易碎	平整光滑，可彎曲變形但易碎	觀察描述	平整光滑，可彎曲變形但易碎	平整光滑，可彎曲變形但易碎	平整光滑，可彎曲變形但易碎
薄膜厚度	0.050mm	0.068mm	0.148mm	薄膜厚度	0.045mm	0.048mm	0.052mm	薄膜厚度	0.062mm	0.054mm	0.087mm
縮小率	0.21	0.24	0.26	縮小率	0.19	0.23	0.25	縮小率	0.29	0.24	0.23
親水性	88°	76°	68°	親水性	65°	78°	100°	親水性	65°	82°	93°

1. 玉米粉溶液在2%以上即可形成完整的薄膜，原因是玉米粉直鏈澱粉含量高、凝性高，易於成膜。
2. 糯米粉由於幾乎全是支鏈澱粉所組成，黏性高、形成的膜易破、厚度最薄。
3. 麵粉薄膜較脆，且十分易碎，但麵粉中所含直鏈澱粉量約為20~30%，因此推測是麵粉中所含的蛋白質阻礙了澱粉成膜。

研究(三)探討海藻酸鈉-澱粉薄膜的製作方法和特性

實驗3-1 製成海藻酸鈉-澱粉乾粉混和薄膜並觀察其特性

澱粉濃度	玉米粉1%	玉米粉2%	玉米粉3%	澱粉濃度	糯米粉1%	糯米粉2%	糯米粉3%	澱粉濃度	麵粉1%	麵粉2%	麵粉3%
觀察描述	膜為白色，膜較硬、易碎且易變形斷裂，又以玉米粉濃度愈高愈嚴重。			觀察描述	遇水會迅速吸水並破裂，故無法得到水滴接觸薄膜形成的接觸角	遇水會慢慢吸水並破裂	較厚、硬、變形嚴重	觀察描述	薄膜形狀最為完整，但濃度提高仍易破碎		
薄膜成品				薄膜成品				薄膜成品			
薄膜厚度	0.051mm	0.069mm	0.118mm	薄膜厚度	0.077mm	0.103mm	0.120mm	薄膜厚度	0.080mm	0.097mm	0.120mm
縮小率	0.31	0.72	0.35	縮小率	0.12	0.48	0.49	縮小率	0.12	0.24	0.08
親水性	53°	48°	42°	親水性	52°	41°	31°	親水性	45°	45°	45°

- 加入澱粉粉末可以分散海藻酸鈉顆粒，增加海藻酸鈉接觸水的表面積，進而促進海藻酸鈉的溶解速率。
- 海藻酸鈉-澱粉乾粉混和溶液由於澱粉未經糊化，仍難溶於海藻酸鈉水溶液中，故海藻酸鈉-澱粉乾粉混和溶液為懸浮液，因海藻酸鈉溶液黏度大故能使澱粉分散在溶液中維持很長時間，將其製成薄膜後可在膜上看到未溶的澱粉顆粒，也是摸起來粗糙的原因。
- 濃度愈高的澱粉乾粉製成的海藻酸鈉膜，硬度愈高、摸起來愈粗糙，且愈易變形破碎。

實驗3-2 提高乾粉混和溶液濃度製成薄膜並觀察其特性

澱粉濃度	玉米粉2%	玉米粉4%	玉米粉6%	澱粉濃度	糯米粉2%	糯米粉4%	糯米粉6%	澱粉濃度	麵粉2%	麵粉4%	麵粉6%
觀察描述	膜為白色，膜較硬、易碎且易變形斷裂，又以玉米粉濃度愈高愈嚴重。			觀察描述	平整粗糙，可變形	平整粗糙，可變形	平整粗糙，可變形	觀察描述	平整粗糙，可變形		
薄膜成品				薄膜成品				薄膜成品			
薄膜厚度	0.092mm	0.078mm	0.058mm	薄膜厚度	0.078mm	0.118mm	0.182mm	薄膜厚度	0.058mm	0.162mm	0.099mm
縮小率	0.33	0.27	0.23	縮小率	0.12	0.23	0.14	縮小率	0.05	0.03	0.02
親水性	32°	47°	50°	親水性	73°	49°	25°	親水性	34°	39°	42°

- 海藻酸鈉-玉米粉乾粉混和製成的薄膜仍較易碎、易變形斷裂；糯米粉則變形、破裂的情況獲得改善；而麵粉形狀仍最完整、不易碎裂。
- 提高海藻酸鈉澱粉乾粉溶液的濃度會使海藻酸鈉膜上分布的澱粉顆粒單位密度提高，當水滴滴在膜上時，突起的澱粉顆粒間留有空氣使得水滴的接觸角因而增加。

實驗3-3 製成海藻酸鈉-糊化澱粉薄膜並觀察其特性

澱粉濃度	玉米粉1%	玉米粉2%	玉米粉3%	澱粉濃度	糯米粉1%	糯米粉2%	糯米粉3%	澱粉濃度	麵粉1%	麵粉2%	麵粉3%
觀察描述	平整，柔軟，易變形			觀察描述	平整，柔軟，易變形	平整，柔軟，易變形	平整，柔軟，易變形	觀察描述	平整，柔軟，易變形		
薄膜成品				薄膜成品				薄膜成品			
薄膜厚度	0.047mm	0.052mm	0.082mm	薄膜厚度	0.042mm	0.053mm	0.100mm	薄膜厚度	0.060mm	0.050mm	0.052mm
縮小率	0.12	0.20	0.27	縮小率	0.06	0.05	0.03	縮小率	0.09	0.12	0.03
親水性	68°	60°	55°	親水性	70°	62°	60°	親水性	63°	55°	47°

- 糊化後的澱粉溶液與海藻酸鈉溶液能均勻相容，使三種海藻酸鈉-糊化澱粉薄膜皆光滑平整，且形狀完整，唯玉米粉濃度較高時仍較易破碎。
- 濃度越高的澱粉糊化溶液製成的海藻酸鈉膜，硬度越高。
- 三種海藻酸鈉-糊化澱粉薄膜親水性皆隨澱粉濃度增加而增加。

研究(四)探討海藻酸鈣薄膜的製作方法和特性

實驗4-1 改變氯化鈣濃度製成海藻酸鈣薄膜並觀察其特性

氯化鈣濃度	1%	5%	10%
薄膜成品			
觀察描述	膜較薄、透明無色，膜面積收縮	膜較前者厚，面積收縮嚴重	膜最厚，面積收縮嚴重
薄膜厚度	0.039mm	0.131mm	0.162mm
縮小率	0.40	0.42	0.36

- 經交聯生成的海藻酸鈣薄膜厚度較海藻酸鈉溶液乾燥形成的薄膜要厚，但面積會有明顯縮小並有變形捲曲的現象
- 海藻酸鈣薄膜十分親水，當水滴下即迅速向周圍暈開，水會慢慢潤濕海藻酸鈣薄膜，由於薄膜交聯後結構緊密，薄膜遇水不會破裂、溶解。

實驗4-2 改變接觸時間製成海藻酸鈣薄膜並觀察其特性

海藻酸鈉與氯化鈣接觸時間	10分鐘	20分鐘
薄膜成品		
觀察描述	表層形成薄膜皮層，但下方仍有未交聯完成的海藻酸鈉溶液	形成薄膜，可變形
薄膜厚度	0.128mm	0.162mm
縮小率	0.51	0.56

將海藻酸鈉與氯化鈣交聯的實驗時間定為20分鐘。

研究(五) 探討海藻酸鈣-澱粉薄膜的製作方法和特性

實驗5-1 以海藻酸鈉-澱粉乾粉混和溶液 + 氯化鈣溶液製成薄膜並觀察其特性

澱粉濃度	玉米粉1%	玉米粉2%	玉米粉3%	澱粉濃度	糯米粉1%	糯米粉2%	糯米粉3%	澱粉濃度	麵粉1%	麵粉2%	麵粉3%
觀察描述	平整，柔軟，易變形			觀察描述	厚，粗糙，難變形，下層較上層白			觀察描述	較粗糙，難變形		
薄膜成品				薄膜成品				薄膜成品			
薄膜厚度	0.095mm	0.150mm	0.171mm	薄膜厚度	0.138mm	0.123mm	0.140mm	薄膜厚度	0.136mm	0.112mm	0.242mm
縮小率	0.51	0.57	0.51	縮小率	0.70	0.73	0.70	縮小率	0.57	0.75	0.57
親水性	-	43°	55°	親水性	-	-	-	親水性	-	-	-

- 加了氯化鈣交聯製成的薄膜，厚度增加且縮小率較高。
- 澱粉懸浮於溶液中再交聯，不只面積縮得更小，表面也有許多澱粉顆粒分布，使表面十分粗糙，形成的薄膜堅硬、脆，施力易破。

實驗5-2 提高澱粉混和溶液濃度 + 氯化鈣溶液製成薄膜並觀察其特性

澱粉濃度	玉米粉2%	玉米粉4%	玉米粉6%	澱粉濃度	糯米粉2%	糯米粉4%	糯米粉6%	澱粉濃度	麵粉2%	麵粉4%	麵粉6%
觀察描述	白色，柔軟可變形，有皺褶			觀察描述	白色，內縮明顯，可變形，有皺褶			觀察描述	平整柔軟，可變型		
薄膜成品				薄膜成品				薄膜成品			
薄膜厚度	0.095mm	0.150mm	0.171mm	薄膜厚度	0.138mm	0.150mm	0.180mm	薄膜厚度	0.136mm	0.112mm	0.242mm
縮小率	0.79	0.75	0.68	縮小率	0.70	0.67	0.63	縮小率	0.57	0.68	0.75
親水性	50°	48°	47°	親水性	-	-	-	親水性	-	-	42°

- 當提高海藻酸鈉與澱粉乾粉量再加入氯化鈣成膜時，澱粉分子與海藻酸鈉之間的氫鍵作用力增加，當氯化鈣與海藻酸鈉進行交聯時，膜厚、面積較小，加入氯化鈣交聯後形成的薄膜變得柔軟可彎折變形。
- 我們在薄膜表面滴水欲測試其親水性質時，發現水滴一接觸到薄膜表面立刻暈開，使得水滴與薄膜接觸面積變得相當大，接著水被快速吸收進入薄膜內，表面又回復乾燥狀態，故無法量測到其接觸角。

實驗5-3 以海藻酸鈉-糊化澱粉溶液 + 氯化鈣溶液製成薄膜並觀察其特性

澱粉濃度	玉米粉1%	玉米粉2%	玉米粉3%	澱粉濃度	糯米粉1%	糯米粉2%	糯米粉3%	澱粉濃度	麵粉1%	麵粉2%	麵粉3%
觀察描述	平整柔軟，可變形，較透明			觀察描述	平整柔軟，可變形			觀察描述	平整柔軟，可變形		
薄膜成品				薄膜成品				薄膜成品			
薄膜厚度	0.168mm	0.205mm	0.165mm	薄膜厚度	0.268mm	0.195mm	0.151mm	薄膜厚度	0.158mm	0.142mm	0.182mm
縮小率	0.61	0.34	0.35	縮小率	0.69	0.71	0.62	縮小率	0.79	0.64	0.66
親水性	-	34°	39°	親水性	30°	41°	52°	親水性	-	-	-

由於糊化澱粉在冷卻時，將許多水分子保留於澱粉之間重新形成氫鍵，加上海藻酸鈉分子也能形成氫鍵，兩者間的纏繞會變得更加明顯，當海藻酸鈉-糊化澱粉溶液加入氯化鈣進行交聯後，所成的膜厚、十分柔軟，且縮小率顯得更加明顯。

研究(六) 探討澱粉-海藻酸鈣薄膜的吸水率

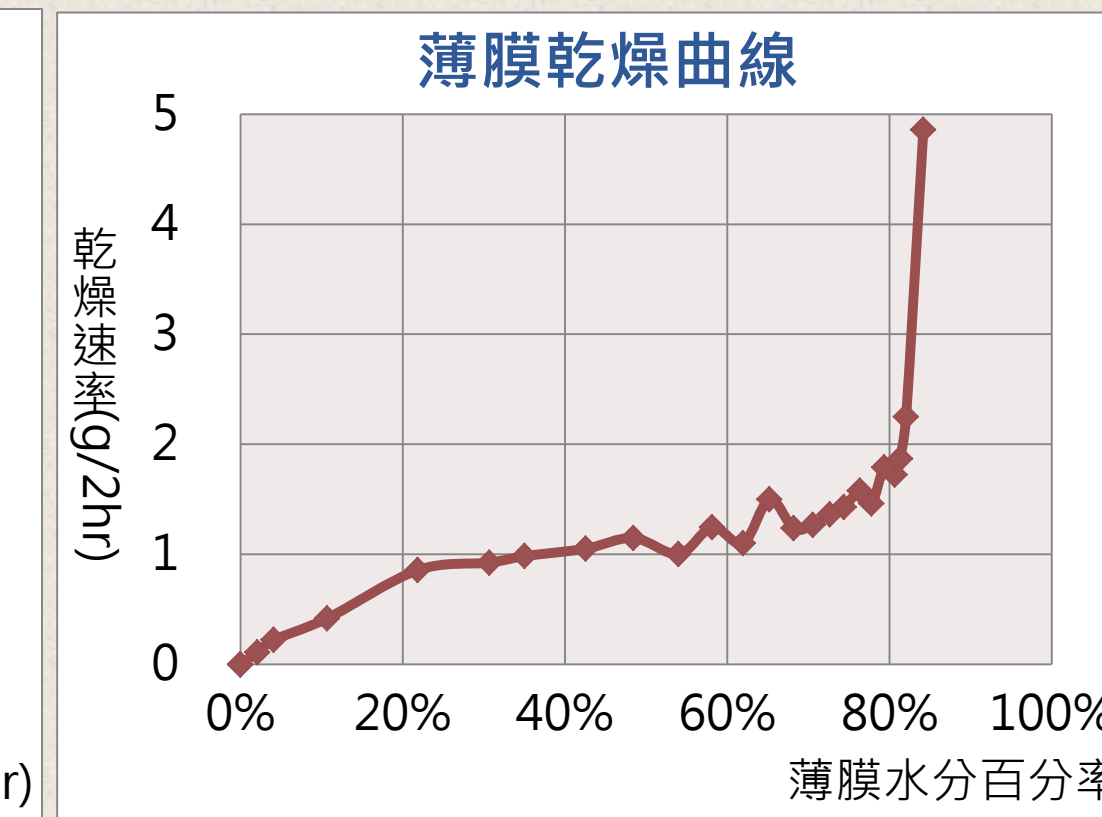
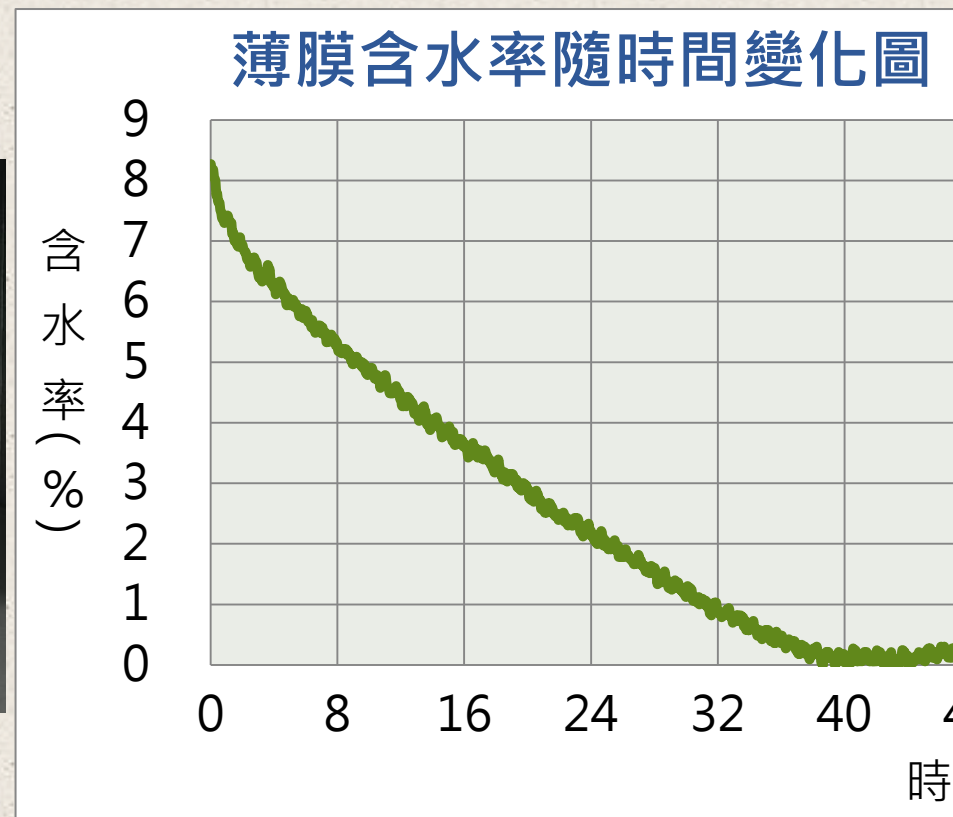
實驗6-1 測量並比較不同組成的薄膜之吸水率

薄膜種類	吸水率	薄膜種類	吸水率	薄膜種類	吸水率			
海藻酸鈉-澱粉乾粉溶液 + 氯化鈣溶液	玉米粉1%	29%	提高乾粉混和溶液濃度 + 氯化鈣溶液	玉米粉2%	34%	海藻酸鈉-糊化澱粉溶液 + 氯化鈣溶液	玉米粉1%	38%
	玉米粉2%	37%		玉米粉4%	44%		玉米粉2%	41%
	玉米粉3%	38%		玉米粉6%	60%		玉米粉3%	60%
	糯米粉1%	41%		糯米粉2%	39%		糯米粉1%	28%
	糯米粉2%	67%		糯米粉4%	35%		糯米粉2%	44%
	糯米粉3%	99%		糯米粉6%	34%		糯米粉3%	60%
	麵粉1%	40%		麵粉2%	17%		麵粉1%	40%
	麵粉2%	49%		麵粉4%	31%		麵粉2%	42%
麵粉3%	55%	麵粉6%	31%	麵粉3%	51%			

- 海藻酸鈣-澱粉薄膜吸水率皆較純海藻酸鈣薄膜佳，且澱粉添加量越高，吸水量越大。
- 比較相同濃度、不同方式製作的薄膜：玉米粉薄膜以糊化方式吸水率高，糯米粉差異大，麵粉則以乾粉混和的吸水率高。
- 比較同是將澱粉以乾粉方式混和的海藻酸鈣薄膜：澱粉的結構影響吸水率，支鏈澱粉含量較高的澱粉吸水能力佳，其中具有最高吸水率的薄膜是添加3%糯米粉乾粉的混和膜，由此可知澱粉添加量與海藻酸鈉濃度有吸水率的最適比例。

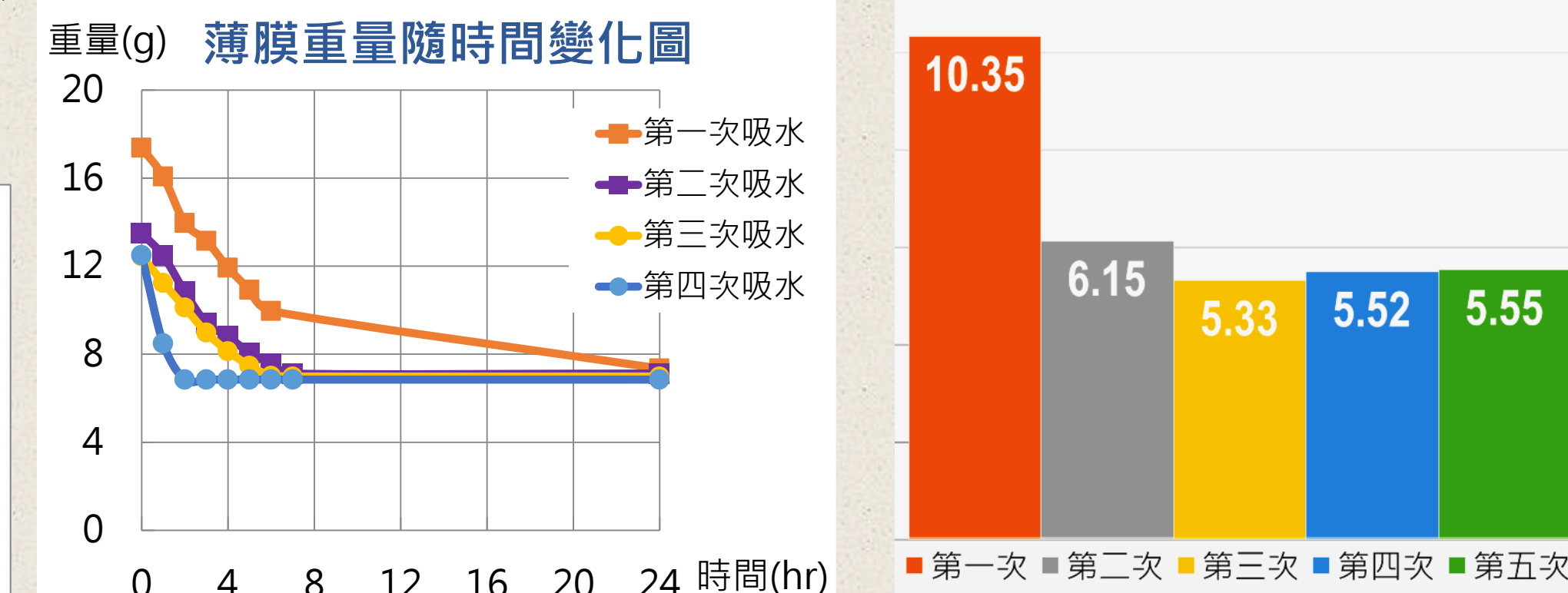
實驗6-2 測量薄膜乾燥過程含水率的變化

作法：將力度計(Vernier) 放入恆溫恆濕防潮箱(設定濕度40%、溫度30°C)內，歸零後放上薄膜，利用程式(Vernier Graphical Analysis)每三分鐘自動記錄薄膜質量，持續48小時，並計算薄膜含水率的變化。



- 隨乾燥時間增加，可觀察到薄膜表面逐漸硬化且面積逐漸縮小。
- 薄膜乾燥4~36小時間，含水率約呈等速下降，直至薄膜含水分百分率降至20%以下，乾燥速率逐漸降低。
- 於乾燥40小時後，薄膜內部水分移動困難，薄膜含水率已達平衡。

實驗6-3 測量薄膜重複吸水量



在薄膜重複吸水乾燥的過程中，薄膜結構改變，而內部擴散造成溶質被帶到薄膜的表面堆積，故第二次以後的吸水量雖差異不大，但乾燥的速率加快，薄膜逐漸形成一層硬皮，並萎縮捲曲。

實驗6-4 將薄膜製成吸水墊並測試其吸水量



- 以海藻酸鈣-3%糯米粉乾粉混合薄膜代替吸水墊的PE淋膜可以增加吸水墊的吸水量。
- 因海藻酸鈣薄膜的吸水量較混合薄膜少，因此水份較難進到內部的水晶寶寶供其吸收。

名稱	海藻酸鈣薄膜		海藻酸鈣-3%糯米粉乾粉混合薄膜			
	市售吸水墊	不織布吸水紙	編號1	編號2	編號3	編號4
成品						
平均吸水量	19.89g	1.13g	2.71g	3.69g	6.94g	9.27g
薄膜占整體吸水量	-	-	17%	7%	69%	63%

肆、結論

一. 探討以海藻酸鈉、澱粉、氯化鈣為原料的薄膜製備方法：

- 溫度愈高、添加澱粉乾粉共同溶解，可增加海藻酸鈉溶解速率。
- 澱粉濃度愈高薄膜愈粗糙、愈易破碎，此現象可藉由提高海藻酸鈉溶液的濃度改善。

二. 探討並比較不同組成的薄膜特性及差異：

- 2%海藻酸鈉溶液乾燥後可成膜，對水溶解度高。
- 澱粉糊化後冷卻乾燥可成膜，遇水會使薄膜膨潤變形。
- 實驗製得的海藻酸鈉-糊化澱粉薄膜光滑平整，澱粉濃度愈高、硬度愈大、親水性愈佳。添加氯化鈣交聯後，薄膜會變厚、縮小，且變得柔軟可彎曲變形。
- 以海藻酸鈉-澱粉乾粉溶液與氯化鈣交聯製成的薄膜厚度厚、面積縮小比率高，其中澱粉乾粉添加的比例愈高、薄膜愈粗糙、愈硬脆，提高海藻酸鈉濃度可使薄膜變得平整、柔軟可變形，且具有吸水力。

三. 將薄膜製成吸水墊並探討其吸水情形：

海藻酸鈣-澱粉薄膜吸水率皆較純海藻酸鈣薄膜佳，澱粉添加量越高，吸水量越大，其中添加3%糯米粉乾粉的混和膜吸水率可達99%為最高，可將其應用於自製吸水墊，包覆內部吸水紙或高分子吸水材料，其吸水量最高可達9.27克。