

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 化學科

第三名

050207

Ooho! 「內」個「膜」法—凝膠薄膜性質之探討

學校名稱：國立屏東女子高級中學

作者： 高二 林鈺純	指導老師： 蔡妙伶
---------------	--------------

關鍵詞：海藻酸鈉、Ooho、紙杯內膜

摘要

本研究主要將過去做成水球狀之 Ooho(以海藻酸鈉和乳酸鈣反應所製得晶球)改製成平面薄膜(後續以減塑膜稱之)，並做一系列探討，以期能取代市售紙杯內部淋膜。

由實驗結果得知，以 2.0%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減塑膜。且選用低溫烘乾對減塑膜性質變異較小，因此可承受較大拉力。再進一步探討減塑膜所能承受溶液酸鹼性範圍及盛裝溶液時間長短之相關性。由拉力量測的實驗結果，發現減塑膜浸泡在市售飲品 pH 範圍溶液中變異不大，能運用於短時間盛裝溶液。接著自製環保紙杯盛裝液體，證實有其實用性。最後將附有減塑膜的紙杯回收製成再生紙，發現其在製程處理上優於回收市售紙盒製作之再生紙，且用途較廣。

壹、研究動機

近來環保意識高漲，有些人會認為紙杯較塑膠杯環保，而大量使用。據環保署統計，台灣一年消耗的一次性紙杯就高達 10.7 億個。殊不知市售的紙杯為了盛裝飲料或食品，通常需具備防水防油的功能，而在內層多增加了難降解的高分子淋膜，例如：PE、PP。所以紙杯並非單純的紙類，而是複合式材質，導致其回收處理的成本增加，而多被作為一般垃圾處理，反而製造出了不容小覷的的垃圾量。因此我們想尋找出一種較為環保性的材質，以取代市售紙杯的內部淋膜，使紙杯能直接循環再生利用，增進對環境的友善。

貳、研究目的

- 一、了解市售紙杯內膜及減塑膜之親疏水性
- 二、了解反應時間與反應試液濃度對減塑膜表面形貌之影響。
- 三、探討製膜的烘乾溫度對減塑膜性質的影響
- 四、探討溶液浸泡時間對減塑膜的影響
- 五、探討溶液 pH 值對減塑膜的影響
- 六、測試減塑膜之應用可行性
- 七、測試減塑膜循環利用性

參、研究設備與器材

一、實驗器材

塑膠滴管	燒杯	錐形瓶	市售紙餐盒
橡皮塞	鐵架	玻棒	乾燥皿
秤量紙	碼錶	載玻片	淺盤
量筒	厚紙片	剪刀	垂掛式砝碼組
燕尾夾	砂紙	泡棉膠	鋁箔紙
銅片	碳膠帶	水盆	濾網框架
果汁機	紙餐盒	真空乾燥皿	分度吸量管

二、實驗儀器

接觸角量測儀	旋轉塗佈機	電子天秤(準確值 0.001g)
加熱攪拌器	烘箱	自製拉力測量儀
水流抽氣幫浦	游標分厘卡(準確值 0.001mm)	SEM

三、實驗藥品

海藻酸鈉	乳酸鈣	HCl _(aq)	NaOH _(aq)	蒸餾水
------	-----	---------------------	----------------------	-----

四、實驗軟體：Image J

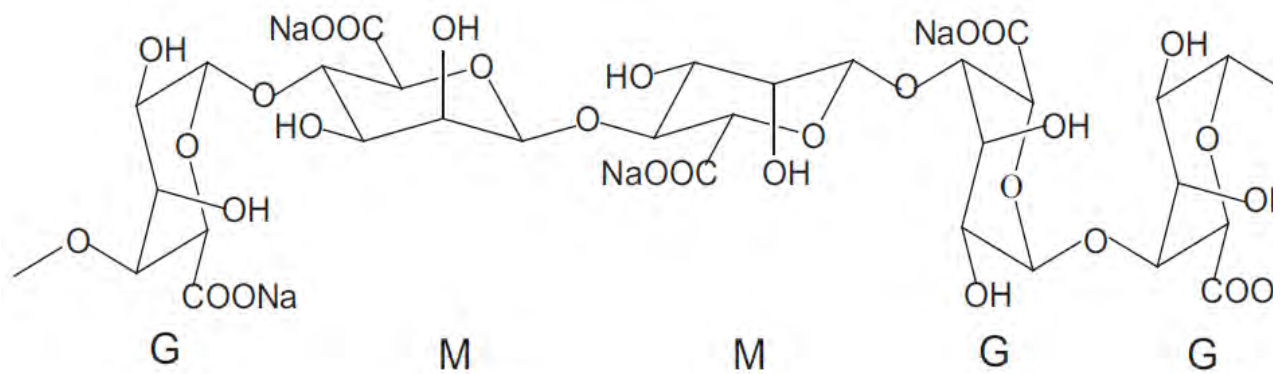
肆、研究過程與方法

一、文獻介紹：

(一) 海藻酸鈉簡介：

海藻酸鈉又稱為海藻膠、褐藻膠或藻膠，是存在於海洋褐藻細胞壁中的天然植物多醣，如海帶、馬尾藻、泡葉藻、巨藻等皆為海藻酸鈉主要來源。

海藻酸鈉為 β -D-甘露糖醛酸(M)及 α -L-古洛糖醛酸(G)兩種醣類單體聚合而成，以 M-M，G-G 或 M-G 三種組合方式(圖一)，透過 α -1,4 糖苷鍵鍵結形成的線性多醣類。海藻酸鈉是一種安全的食品添加物，作為增稠劑、穩定劑、保水劑及抗凍劑等使用。此種天然多醣除了作為食品添加劑，也廣泛應用於醫藥、紡織、印染、造紙、日用化工等產品。

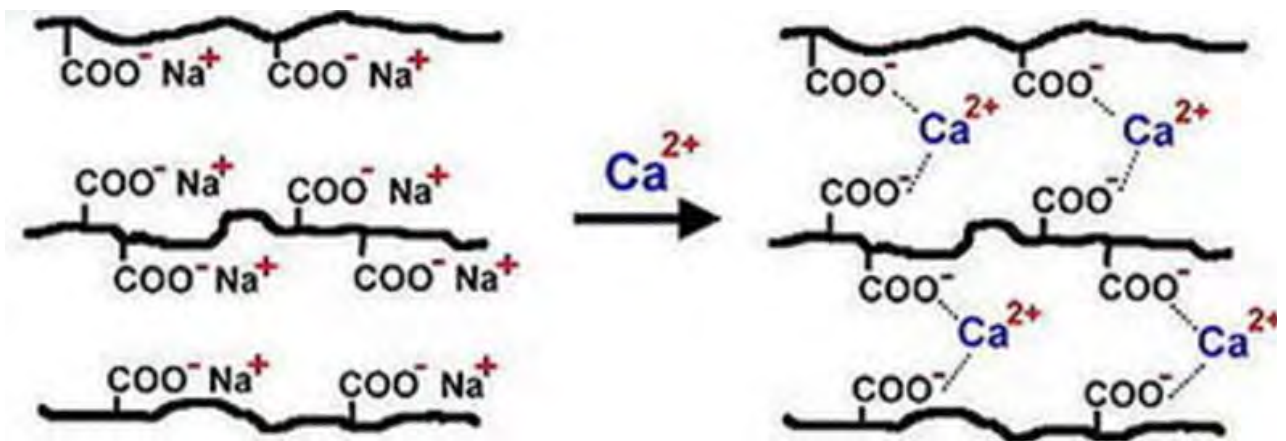


圖一：海藻酸鈉組合方式

圖片來源：小論文 1040331 梯次 化學類 神奇微膠囊，蹦出新科技 作者：廖瑋庭

(二) 凝膠原理：

海藻酸鈉由兩種醣醛酸單醣組合而成，分子結構上擁有許多羧基(COO^-)，當海藻酸鈉溶液滴入氯化鈣中時，鈣離子(Ca^{2+})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，使得海藻酸鈉分子間的聯結性更強，形成一個蛋盒的網狀組織結構(圖二)，使分子結構更加穩定，促進凝膠形成，並可將內容物包裹於凝膠結構中，形成半透膜球，可於特定環境下將內容物釋出。

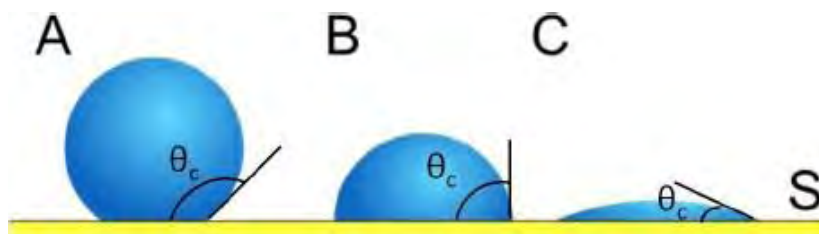


圖二：海藻酸鈉分子間形成蛋盒的網狀組織結構

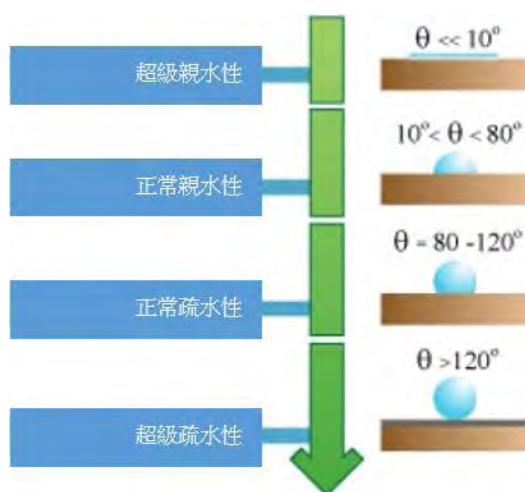
圖片來源：<http://www.ntcu.edu.tw/scigame/chemistry/chemistry-019.html>

國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系 科學遊戲實驗室

(三) 接觸角：接觸角是在固體表面上，氣體—液體界面與固體表面之間，往液體方向的夾角（圖三）。利用接觸角的大小可以判斷物質表面的親水或疏水程度，接觸角愈小，物質的親水度越好（圖四）。本研究將藉由量測減塑膜之接觸角，以得知減塑膜是否適合用於盛裝液體的包裝內膜。



圖三：接觸角示意圖



圖四：接觸角與親疏水性之關係

(四) 掃描式電子顯微鏡(SEM)：

掃描式電子顯微鏡主要是來觀察物體的表面型態，其試片製作較簡單，解析度可達奈米尺度且景深長，在觀察材料表面形貌上非常清楚而容易，目前已被廣泛的使用。

本研究透過掃描式電子顯微鏡了解在不同海藻酸鈉濃度及反應時間對表面型態的影響，藉此了解減塑膜平整度與親疏水性關係。

(五) 環保水球「Ooho」：

環保水球的問世—2014年英國三名學生(*Rodrigo Garcia Gonzalez, Pierre Paslier and Guillaume Couche*)以「分子料理」概念為靈感，利用天然褐藻及氯化鈣製成凝膠狀物

質，發明出了可食用寶特瓶，他們把這項發明取名為「Ooho」，並以此獲得了 2014 年 Lexus 發明獎。

查閱相關文獻，可知目前對 Ooho 的研究趨勢偏向於製作成水瓶以取代寶特瓶，然而其堅固度、攜帶性及盛裝液體的容量均不如寶特瓶。

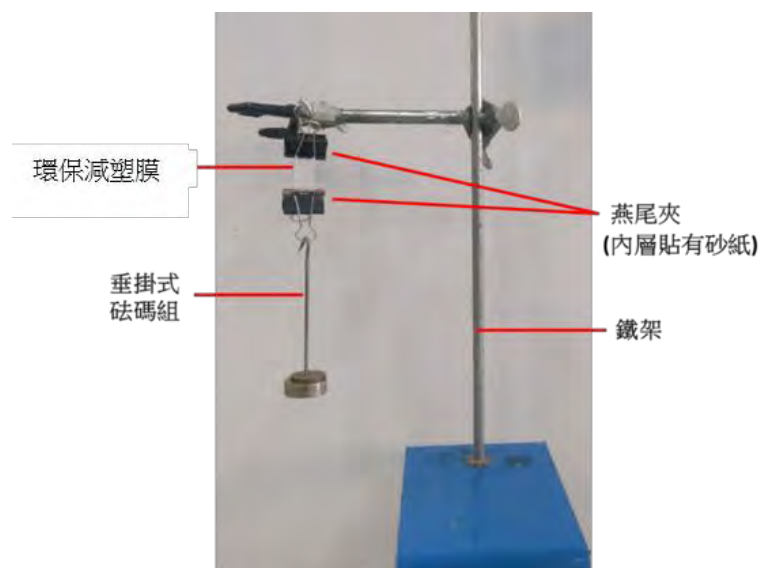
二、自製拉力測量儀介紹：

為評估製備出來的減塑膜是否適合取代市售紙質飲料杯內部塑膠淋膜，因此以拉力作為減塑膜性質是否發生變化的判斷依據。藉此數值了解減塑膜浸泡在不同 pH 值溶液下及浸泡時間所產生的影響。

我們自製的簡易拉力測量儀，如圖五所示。實驗作法說明如下：

- (一) 以泡棉膠將砂紙貼於燕尾夾內側，藉此增加摩擦力以避免減塑膜產生滑動。
- (二) 取一個燕尾夾固定在鐵架上，再於燕尾夾內放入減塑膜樣品，之後於減塑膜下端也夾上另一個燕尾夾。
- (三) 於下端的燕尾夾掛上垂掛式砝碼組。
- (四) 逐步增加下端砝碼組的重量，直至固定於兩燕尾夾中間的減塑膜斷裂為止。
- (五) 計算下端垂掛的砝碼重量，將該數值視為其可受拉力作用值。

註：減塑膜固定裁剪為 1 公分*5 公分大小，且每組拉力實驗均為 6 重複。



圖五：自製拉力測量儀

三、了解紙杯內膜之親疏水性

(一) 實驗 1：探討市售紙質飲料杯內部淋膜之親疏水性：

1. 將紙質飲料杯裁剪為 2cm*2cm 尺寸的小紙片數塊。
2. 將小紙片用膠帶黏在載玻片上並使用接觸角測量儀測量。
3. 再使用 ImageJ 軟體進行數據分析與討論。

註：本組實驗各進行 8 重複。

(二) 實驗 2：探討減塑膜之親疏水性：

1. 分別配置 1.5%、2.0%、2.5%、3.0%海藻酸鈉水溶液與 5%乳酸鈣水溶液。
2. 在紙餐盒中分別倒入 1.5%、2.0%、2.5%、3.0%海藻酸鈉水溶液 50g。
3. 另取 5.0%乳酸鈣水溶液 50g，沿著餐盒邊緣快速倒入，使兩溶液進行反應。
4. 反應時間分別固定為 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘及 30 分鐘。
5. 以蒸餾水反覆沖洗，以除去餐盒內殘留的反應液。
6. 將上述減塑膜(濕潤狀態)置於水彩紙上，放入烘箱以 40°C 恆溫烘乾 20 小時。
7. 測量上述製得之減塑膜之接觸角。

註：本組實驗進行 6 重複

四、實驗 3：了解反應時間與反應試液濃度對減塑膜表面形貌之影響

(一) 以游標分離卡量測減塑膜厚度

1. 分別配置 1.5%、2.0%、2.5%、3.0%海藻酸鈉水溶液與 5%乳酸鈣水溶液。
2. 在紙餐盒中分別倒入 1.5%、2.0%、2.5%、3.0%海藻酸鈉水溶液 50g。
3. 另取 5.0%乳酸鈣水溶液 50g，沿著餐盒邊緣快速倒入，使兩溶液進行反應。
4. 反應時間分別固定為 5 分鐘、10 分鐘及 15 分鐘。
5. 以蒸餾水反覆沖洗，以除去餐盒內殘留的反應液。
6. 將上述減塑膜(濕潤狀態)置於紙餐盒中，放入烘箱以 40°C 恆溫烘乾 20 小時。
7. 上述製得的減塑膜隨機取樣 6 點，以游標分厘卡測量膜厚，並記錄之。

(二) 以 SEM 觀察表面形貌

以前述步驟 1~6 製備減塑膜，再將製得的減塑膜以掃描式電子顯微鏡(型號：JEO JSM 6510)各別放大 1000、3000、5000 倍，觀察表面形貌並擷取圖像。

五、實驗 4 探討製膜的烘乾溫度對減塑膜性質的影響

(一) 在貼有蠟紙的淺盤中倒入 2.0%海藻酸鈉水溶液 300g。

註：為便於作後續性質探討，容器先包覆一層蠟紙以便脫膜。

(二) 另取 5.0%乳酸鈣水溶液 300g，沿著淺盤邊緣快速倒入，使兩溶液反應 10 分鐘。

(三) 以蒸餾水反覆沖洗，以除去淺盤內殘留的反應液。

(四) 將上述減塑膜(濕潤狀態)由淺盤取下，置於另一乾淨蠟紙上，並平分為三等份，分別以 40°C、70°C、100°C 恆溫烘乾。




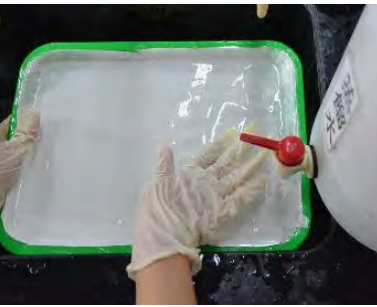


(五) 本組實驗烘乾時間固定為 2.5 小時，溫度各別設定為 40°C、70°C及 100°C。

(六) 以游標分厘卡量測製得減塑膜之厚度。

(七) 以自製拉力檢測儀量測製得減塑膜之拉力。

註：膜厚及拉力量測實驗各別為 6 重複。

(八) 操作步驟如圖六~圖十一所示。

		
圖六：倒入 2%海藻酸鈉水溶液 300g。	圖七：沿著淺盤邊緣快速倒入 5%乳酸鈣水溶液 300g。	圖八：10 分鐘可看出明顯的減塑膜。
		
圖九：以蒸餾水沖洗掉淺盤內殘留的反應液。	圖十：將減塑膜平分為三等份，以不同溫度各別烘乾。	圖十一：烘乾的減塑膜成品。 註：由左至右溫度依序為 40°C、70°C、100°C

六、實驗 5：探討溶液浸泡時間及溶液 pH 值對減塑膜的影響

- (一) 將減塑膜裁剪成 1cm*5cm 大小。
- (二) 分別置入 pH3、pH4、pH5、pH6、pH7、pH8 水溶液中，浸泡 1 分鐘。
- (三) 分別置入 pH3、pH4、pH5、pH6、pH7、pH8 水溶液中，浸泡 6 小時。
- (四) 分別置入 pH3、pH4、pH5、pH6、pH7、pH8 水溶液中，浸泡 12 小時。
- (五) 取出浸泡後的減塑膜，利用自製拉力測量儀，測其所能承受的拉力。

註：每組實驗各別進行 6 重複。

七、實驗 6：探討減塑膜實用性

- (一) 在貼有蠟紙的淺盤中倒入 2.0%海藻酸鈉水溶液 300g。
- (二) 另取 5.0%乳酸鈣水溶液 300g，沿著淺盤邊緣快速倒入，使兩溶液進行反應，直至有明顯減塑膜形成。(反應時間為 5 分鐘)
- (三) 以蒸餾水反覆沖洗，以除去淺盤內殘留的反應液。
- (四) 將上述減塑膜(濕潤狀態)由淺盤取下，置於水彩紙上，再放入烘箱恆溫烘乾。
- (五) 烘乾完畢，減塑膜附著於水彩紙上，將附有減塑膜的水彩紙摺成紙杯狀。
- (六) 在自製紙杯中倒入蒸餾水，確認其可裝水。

八、實驗 7：探討市售紙餐盒與自製環保減塑紙杯循環再用性

(一) 製作再生紙—含前處理

1. 市售紙餐盒製作再生紙：

- I. 將市售紙餐盒泡於水中 24 小時，使其軟化。
- II. 取 5 片浸泡軟化後的紙餐盒撕除其內外表面之塑膠淋膜。

註：撕除的塑膠淋膜仍會附著薄薄一層紙質，無法徹底分離乾淨，紙張回收利用率較低。
- III. 將前處理完的紙餐盒放入果汁機中，加入 1 L 水並攪打 2 分鐘，使其成糊狀紙漿。
- IV. 將上述紙漿放入塑膠水盆中，並使用再生紙框將紙漿製成片狀。
- V. 將片狀紙漿放置於通風處自然陰乾。
- VI. 取下紙片。

2. 自製環保減塑紙杯製作再生紙：

I. 將環保減塑紙杯放入水中去除內部減塑膜。

註：減塑膜遇水即膨潤，可快速與紙層分離，毋須事先長時間浸泡。且減塑膜可完全與紙張分離，讓紙張回收利用率近乎 100%。

II. 將前處理完的紙杯放入果汁機中，加入 1 L 水並攪打 2 分鐘，使其成糊狀紙漿。

III. 將上述紙漿放入塑膠水盆中，並使用再生紙框將紙漿製成片狀。

IV. 將片狀紙漿放置於通風處自然陰乾。

V. 取下紙片，並分別以油性筆及水性筆書寫於表面。

(二) 直接製作再生紙—未經前處理

作法與上述步驟 II 至步驟 VI 相同，但不進行步驟 I 前處理。各別將含有淋膜的紙餐盒與貼附有減塑膜之紙杯直接置入果汁機攪打，獲得糊狀紙漿進行製紙程序。

伍、研究結果與討論

一、了解內膜之親疏水性：

(一) 實驗 1：市售紙質飲料杯內部淋膜之親疏水性：

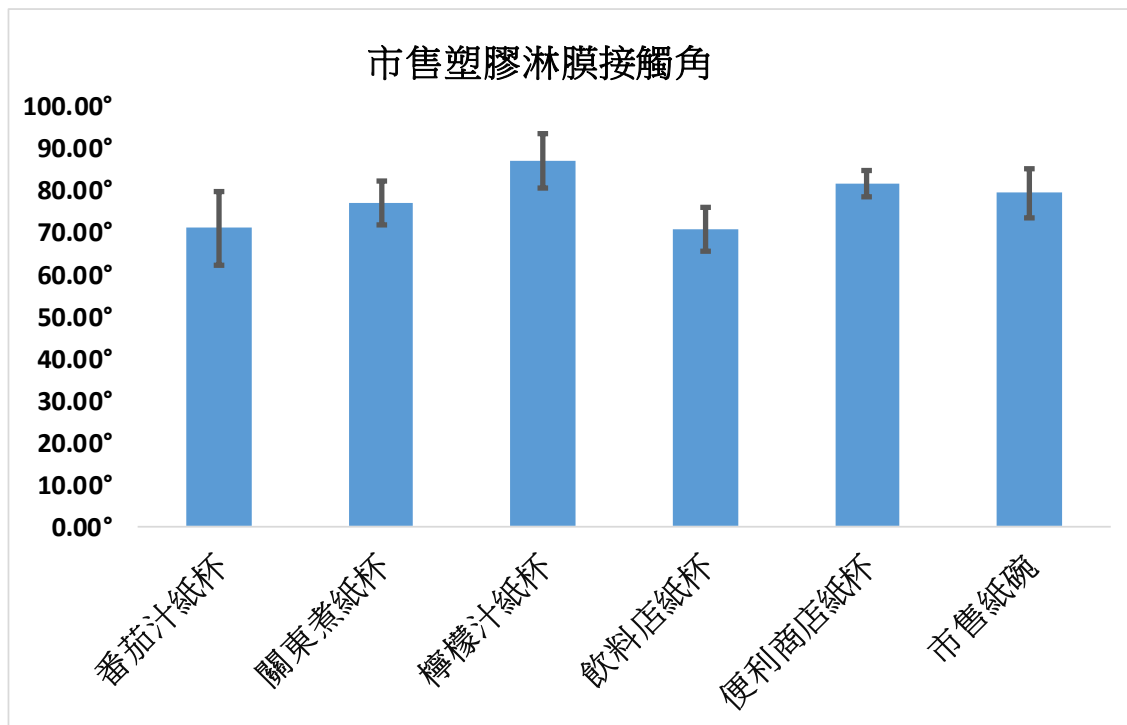
為找尋適合取代市售紙質飲料杯內部淋膜之材質，我們先行探討市售紙質飲料杯內部淋膜性質。測量其接觸角數值，結果如下：

	番茄汁紙杯	關東煮紙杯	檸檬汁紙杯	飲料店紙杯	便利商店紙杯	市售紙碗
#1	37.02°	85.04°	80.13°	73.08°	82.95°	85.26°
#2	63.31°	84.04°	82.24°	76.98°	81.42°	89.77°
#3	61.35°	76.90°	75.84°	76.59°	82.84°	78.62°
#4	79.25°	76.58°	97.46°	70.26°	83.74°	70.22°
#5	81.55°	78.46°	94.53°	69.20°	81.68°	85.21°
#6	83.73°	64.07°	87.27°	65.68°	77.45°	67.73°
#7	64.96°	70.56°	92.19°	52.94°	N.D.	75.51°
#8	75.64°	75.14°	83.26°	69.64°	N.D.	82.29°

	番茄汁紙杯	關東煮紙杯	檸檬汁紙杯	飲料店紙杯	便利商店紙杯	市售紙碗
最大值	83.73°	85.04°	97.46°	76.98°	83.74°	89.77°
最小值	61.35°	64.06°	75.84°	52.94°	77.45°	67.73°
接觸角平均值	71.01°	76.95°	87.08°	70.74°	81.68°	79.52°
標準差	8.71	5.16	6.62	5.26	3.05	5.90

表一：不同市售包裝淋膜接觸角

註：N.D.乃因照片模糊，導致軟體無法進行分析。



圖十二：市售各紙類飲品包裝內膜之接觸角範圍

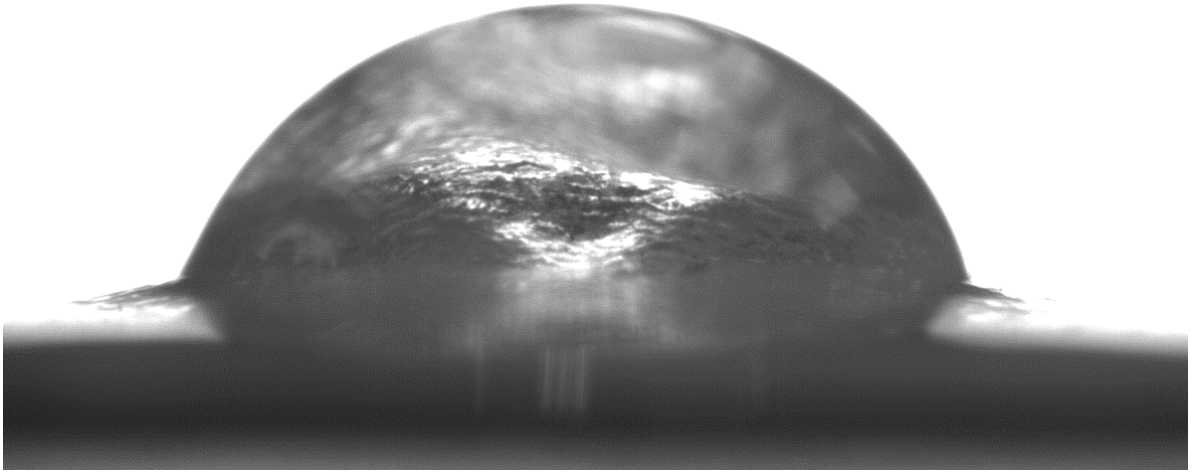
市售的紙杯為了盛裝飲料，通常內部淋膜需具備防水性，由本實驗結果發現，淋膜接觸角平均值之分布範圍為 70.74°~87.08°，可歸類在偏疏水性，確實有符合其應用需求。

我們在後續實驗 2 中，針對減塑膜探討其親疏水性。

(二) 實驗 2：探討減塑膜之親疏水性：

測量減塑膜的接觸角時，發現減塑膜在接觸水滴後會產生膨潤現象，如圖十三所示，造成接觸角數值讀取有誤，故在此未呈現此實驗之量測數據。

註：以 1.5%海藻酸鈉溶液與乳酸鈣溶液反應 5 分鐘後所烘乾製得之減塑膜為例。



圖十四：減塑膜遇水產生膨潤現象

二、了解反應時間與反應試液濃度對減塑膜表面形貌之影響：

在實驗 2 中，我們並未取得可信的接觸角數值，因此在實驗 3 中改由減塑膜表面粗糙度來評估其親疏水性。本實驗反應所製得的減塑膜屬性為親水特質，根據文獻資料說明，在親水性的粗糙表面，液體會潤濕，滲入並且填滿結構間，變得更加親水。根據此一論述，親水性物質的表面若較為平滑則應可提高疏水性。為使製得的減塑膜具備疏水性能以符合應用需求，我們透過量測膜厚及透過 SEM 掃描圖像(如組圖十六)了解怎樣的反應條件能製得表面形貌較為平整的減塑膜。

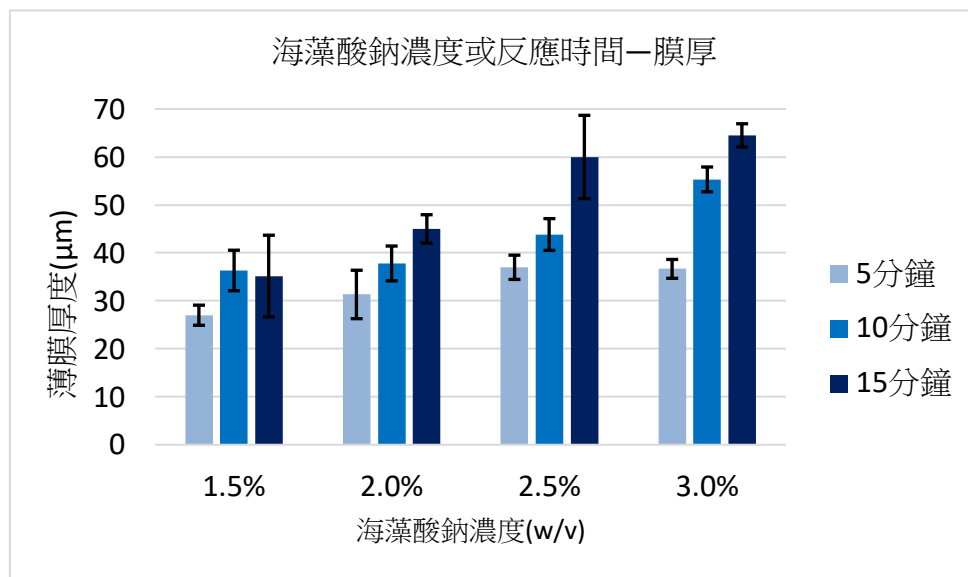
(一) 以游標分厘卡量測減塑膜厚度

為了解反應時間與反應試液濃度對減塑膜膜厚之影響，將減塑膜以游標分厘卡測量膜厚(單位： μm)，結果如下：

海藻酸鈉溶液濃度 1.5% (w/v)									
反應時間	#1	#2	#3	#4	#5	#6	平均值	標準差	變異係數 (%)
5 分鐘	28	26	26	28	24	30	27	2.1	7.8
10 分鐘	37	36	32	36	33	44	36	4.2	12
15 分鐘	29	44	34	23	36	45	35	8.5	24
海藻酸鈉溶液濃度 2.0% (w/v)									
反應時間	#1	#2	#3	#4	#5	#6	平均值	標準差	變異係數
5 分鐘	40	32	26	33	30	27	31	5.0	16
10 分鐘	35	21	36	38	36	44	38	3.6	9.6
15 分鐘	46	50	41	45	44	44	45	3.0	6.6

海藻酸鈉溶液濃度 2.5% (w/v)									
反應時間	#1	#2	#3	#4	#5	#6	平均值	標準差	變異係數
5 分鐘	38	38	41	35	36	34	37	2.5	6.8
10 分鐘	45	39	41	46	48	44	44	3.3	7.6
15 分鐘	62	74	58	53	35	53	60	9.0	14
海藻酸鈉溶液濃度 3.0% (w/v)									
反應時間	#1	#2	#3	#4	#5	#6	平均值	標準差	變異係數
5 分鐘	37	36	34	37	40	36	37	2.0	5.4
10 分鐘	53	57	58	58	53	53	55	2.6	4.7
15 分鐘	61	63	68	66	65	64	65	2.4	3.8

表二：海藻酸鈉溶液濃度及反應時間與膜厚值

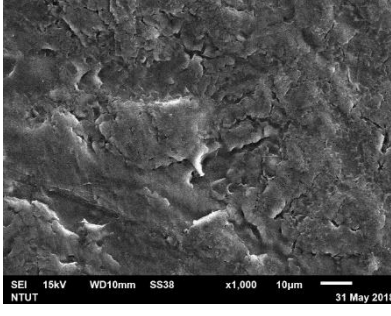
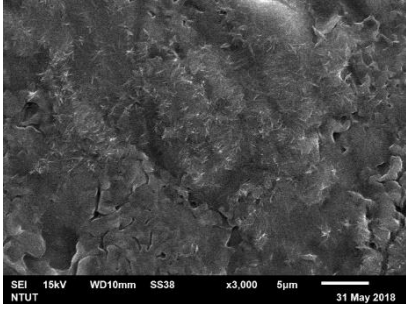
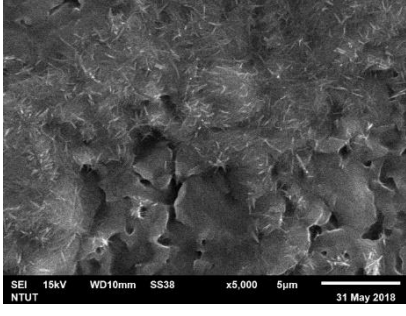
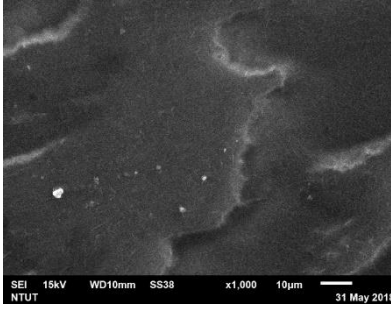
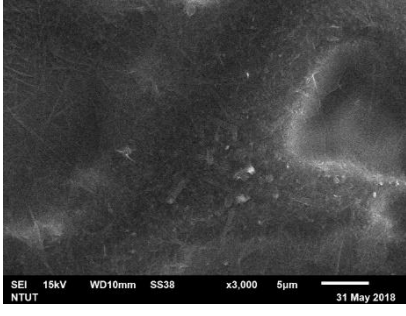

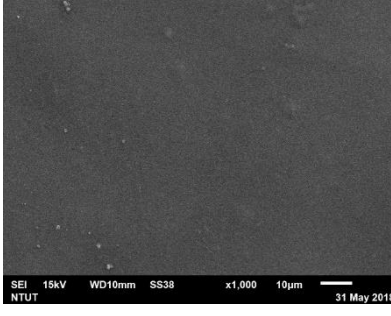
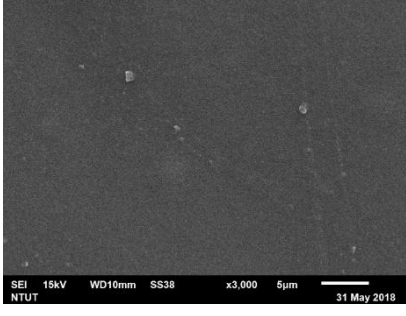
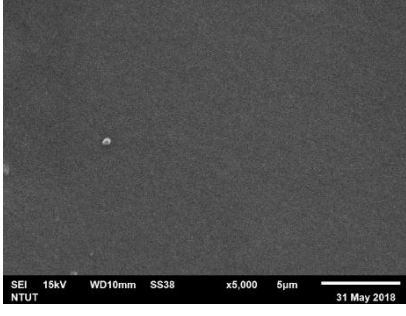


圖十五：海藻酸鈉濃度或反應時間對薄膜厚度影響

由上圖十五可看出環保減塑膜的膜厚均隨著反應時間拉長及海藻酸鈉溶液濃度增加有增厚之趨勢。推測是反應時間越長或海藻酸鈉溶液濃度越高，交聯程度越高，使得環保減塑膜越厚。

(二) 以 SEM 觀察表面形貌

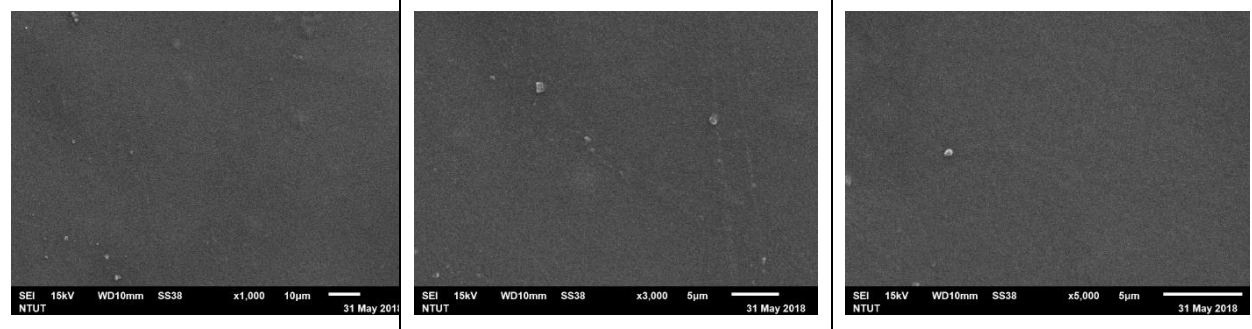
透過 SEM 掃描圖像(如組圖十六)了解怎樣的反應條件能製得表面形貌較為平整的減塑膜。此處以濃度為 1.5%(w/v)的海藻酸鈉溶液為例，說明反應時間對減塑膜表面形貌之影響。

	1000X	3000X	5000X
1.5% 5 min			
	組圖十六 1-a	組圖十六 1-b	組圖十六 1-c
1.5% 10 min			
	組圖十六 2-a	組圖十六 2-b	組圖十六 2-c
1.5% 15 min			
	組圖十六 3-a	組圖十六 3-b	組圖十六 3-c

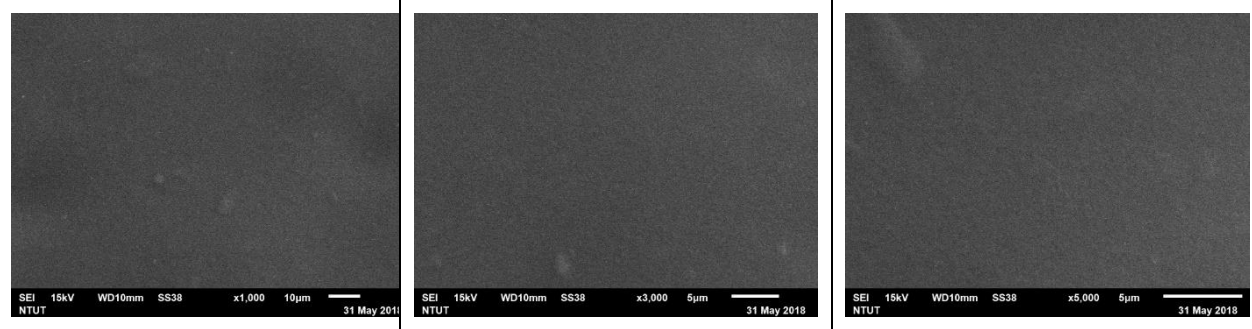
由組圖十六可看出反應時間為 5 分鐘時，其表面底層為零碎破散的片狀結構，而其上層則佈有眾多的高分子鏈交纏結構。反應時間拉長至 10 分鐘時，表面底層平整度提升，而其上層的高分子鏈較為厚長。當反應時間延長至 15 分鐘後，其表面極為緻密平整，且看不到明顯的鏈狀結構。推測是隨著反應時間拉長，海藻酸鈉溶液與乳酸鈣溶液交聯程度越高，其形成的網狀結構漸趨緻密而使得表面形貌也趨於平整。

除探討反應時間外，我們也好奇反應試液濃度對表面形貌之影響。實驗結果簡要彙整於組圖十七。

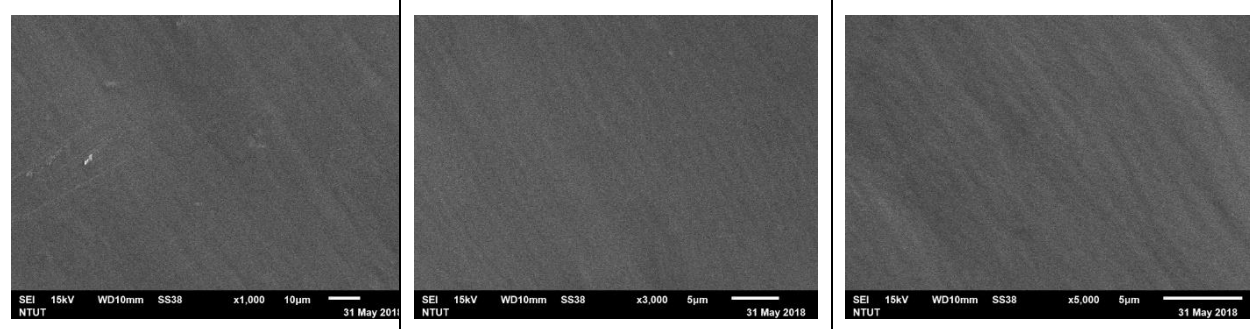
1.5%的海藻酸鈉溶液與 5%乳酸鈣溶液反應 15 分鐘後可達平整狀態



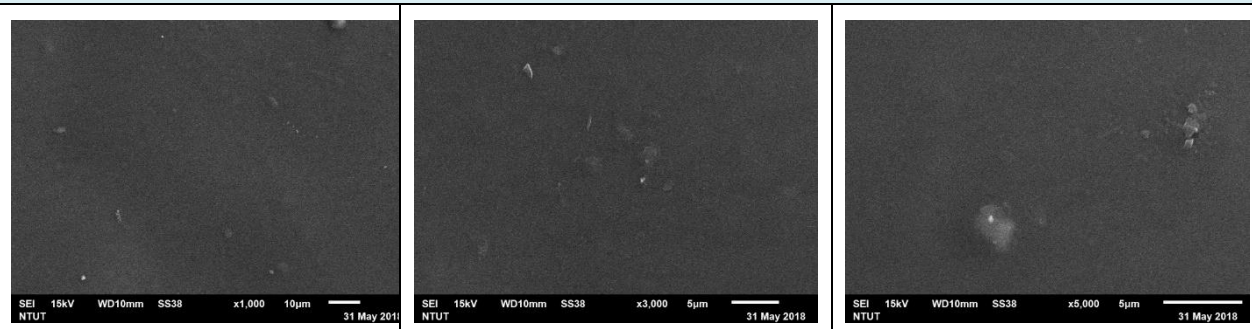
2.0%的海藻酸鈉溶液與 5%乳酸鈣溶液反應 10 分鐘後可達平整狀態



2.5%的海藻酸鈉溶液與 5%乳酸鈣溶液反應 10 分鐘後可達平整狀態



3.0%的海藻酸鈉溶液與 5%乳酸鈣溶液反應 5 分鐘後可達平整狀態



組圖十七：不同濃度及反應時間製得平整減塑膜之彙整表

由組圖十七可看出，隨著海藻酸鈉濃度增加，反應到減塑膜表面形貌平整，所需的時間也越短。綜上所述，在反應試液濃度與反應時間兩相折衷下，我們決定以海藻酸鈉水溶液 2.0%(w/v)，反應時間 10 分鐘作為後續製膜的條件，進行一系列之探討。

三、實驗 4：探討製膜的乾燥溫度對減塑膜性質的影響：

以 2.0%(w/v)海藻酸鈉水溶液與乳酸鈣水溶液反應 10 分鐘製得之減塑膜平分為三等份，溫度各別設定為 40°C、70°C 及 100°C，烘乾 2.5 小時。

(一) 減塑膜外觀：

製得的減塑膜如圖十八所示。



圖十八：不同溫度烘乾之減塑膜

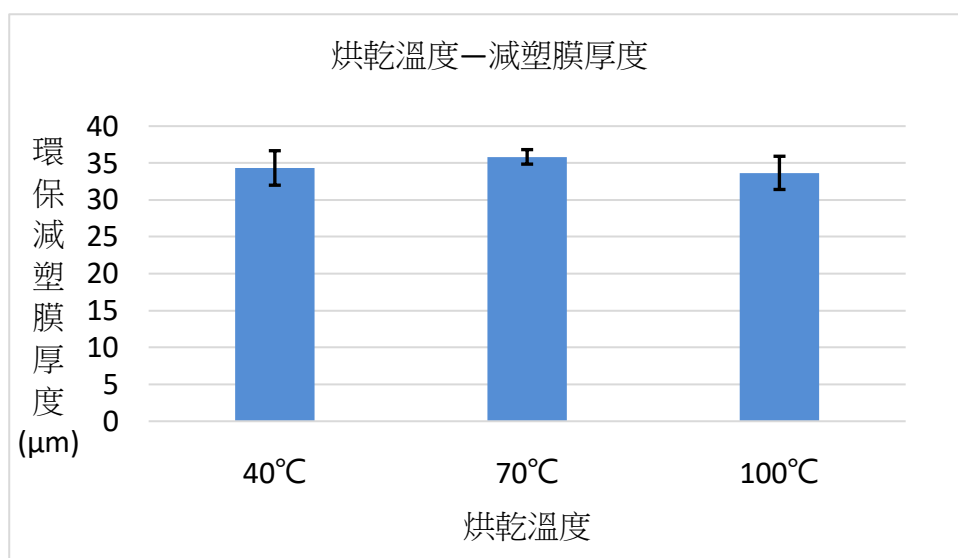
(左)：40°C (中)：70°C (右)：100°C

由圖十八可知，隨著烘乾溫度上升，減塑膜捲曲變形程度加劇，在此除以肉眼比較烘乾溫度造成的影響，也以膜厚及拉力值作為減塑膜製備條件之挑選依據。實驗結果如下：

(二) 減塑膜厚度：

膜厚(μm) 溫度	#1	#2	#3	#4	#5	#6	平均值	標準差	變異係數(%)
40°C	31	33	37	34	37	34	34	2.3	6.8
70°C	35	35	36	35	37	37	36	1.0	2.8
100°C	36	34	31	34	36	31	34	2.3	6.8

表三：烘乾溫度—減塑膜厚度



圖十九：烘乾溫度對減塑膜厚度影響

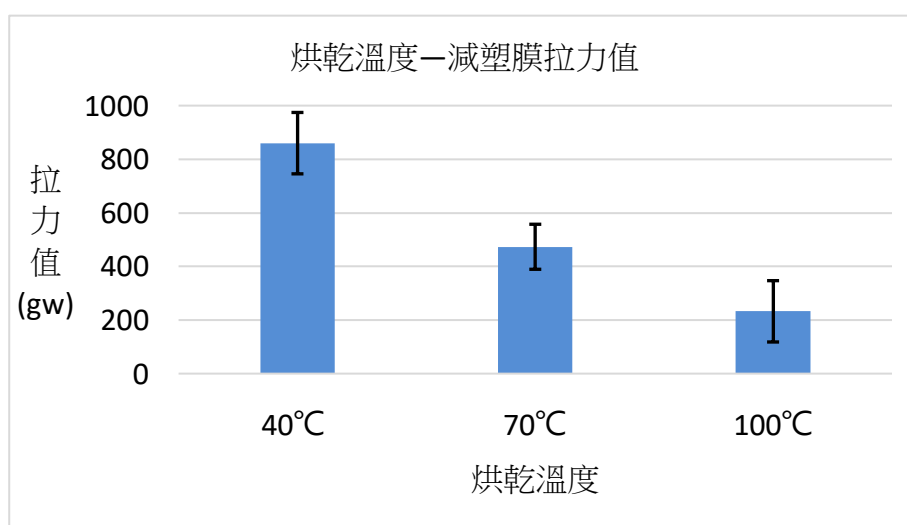
由上圖十九減塑膜厚度和烘乾溫度並無明顯關係，因此可以推斷溫度對減塑膜厚度影響不大，而後續測量拉力值時，只需考慮溫度對減塑膜結構的影響。

(三) 減塑膜拉力值：

溫度 \ 拉力(gw)	#1	#2	#3	#4	#5	#6	平均值	標準差	變異係數(%)
40°C	250	990	990	850	750	720	860	115	13
70°C	500	600	540	450	400	350	473	84	18
100°C	120	310	150	350	560	N.D	233	114	49

表四：烘乾溫度—減塑膜拉力值

註：N.D 表示由於減塑膜過於捲曲導致無法裁剪合適區域測量拉力值



圖二十：烘乾溫度和減塑膜拉力值關係

由上圖二十可知隨著烘乾溫度增加，減塑膜可承受的拉力值有下降的趨勢，且由變異係數可得知減塑膜在高溫烘乾可承受拉力值變異增大；推測溫度越高時，高分子鏈動能也越大，因此烘乾過程中，結構較易扭曲變形，而有上述結果。

四、實驗 5：探討溶液浸泡時間及 pH 值對減塑膜的影響：

依據文獻資料得知市售飲品 pH 值範圍約落於 pH3~pH8 之間，為探討減塑膜是否適用於盛裝各類市售飲品，且評估是否適用於長時間盛裝飲品，我們藉由量測拉力值來探討減塑膜物性是否受浸泡溶液 pH 值及浸泡時間長短而有所影響。

實驗結果如下：

註 1：各組實驗之減塑膜均由同一膜所裁剪而成。

註 2：因測得之拉力數值變異頗大，各表所呈現之數據依大小排序，便於對照討論。

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	平均值	標準差
拉力值(gw)	460	500	650	740	820	940	685	185
表五：未浸泡溶液之減塑膜拉力值(對照組)								

拉力數值(gw)	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8
#1	250	250	250	250	300	250
#2	250	300	300	270	300	250
#3	350	300	350	300	320	350
#4	390	370	410	320	370	370
#5	420	400	420	340	380	460
#6	490	420	440	380	460	480
平均值	358	340	362	310	355	360
標準差	96	67	75	47	62	99
表六：減塑膜分別在不同 pH 值的溶液中浸泡 1 分鐘之拉力值						

拉力數值(gw)	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8
#1	350	350	250	250	400	350
#2	420	360	350	250	450.	350
#3	450	410	350	400	470	490
#4	490	410	440	400	470	490
#5	540	410	450	440	480	510
#6	540	450	530	480	N.D.	540
平均值	475	398	398	373	463	460
標準差	45	22	48	73	9	64

表七：減塑膜分別在不同 pH 值的溶液中浸泡 6 小時之拉力值
註：N.D.表示操作時減塑膜樣品取出時不慎破裂,無法測量

拉力數值(gw)	pH3	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8
數據一	250	250	250	250	300	250
數據二	250	300	300	270	300	250
數據三	350	300	350	300	320	300
數據四	390	370	410	320	370	370
數據五	420	400	420	340	380	460
數據六	490	420	440	380	460	480
平均值	358	340	361	310	355	352
標準差	96	67	75	47	62	102

表八：減塑膜分別在不同 pH 值的溶液中浸泡 12 小時之拉力值

由表五~ 表八得知：

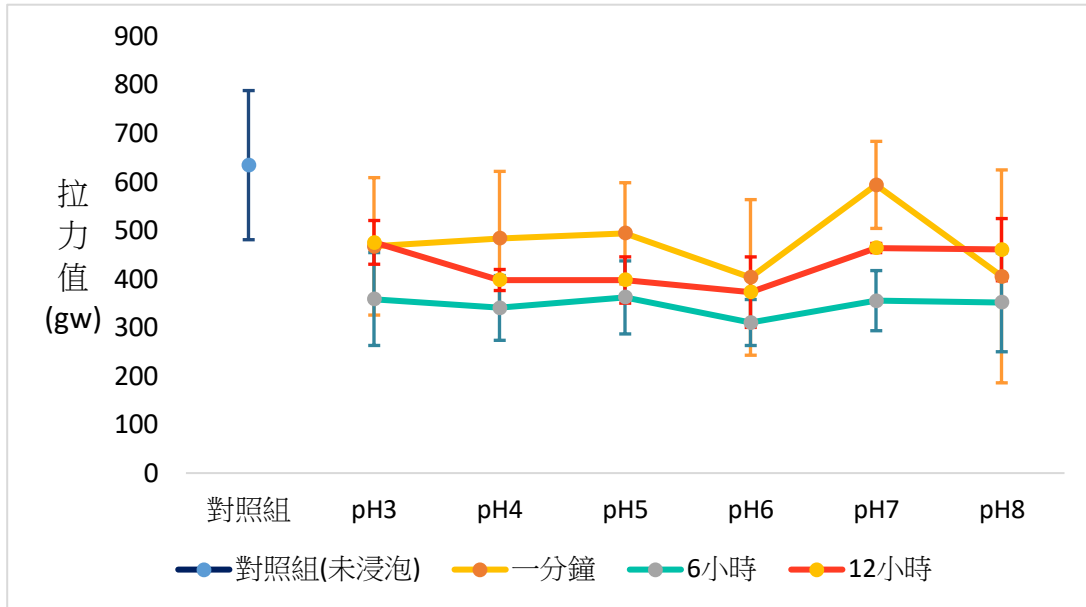
- (一) 浸泡過後的減塑膜拉力值普遍小於未浸泡溶液之減塑膜拉力值。
- (二) 相較於短時間浸泡者(1 分鐘)，經長時間(6 小時、12 小時)浸泡後之減塑膜所能承受拉力值也下降較多。

以上兩點，推論是由於減塑膜為一半透膜，浸泡溶液時水份會滲透入已烘乾的減塑膜中，造成減塑膜膨潤(如圖二十一所示)，內部網狀組織結構距離被水分子撐開，導致減塑膜所能承受拉力下降。



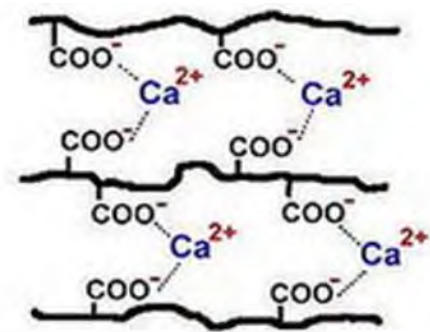
圖二十一：減塑膜浸潤前後變化

(三) 固定浸泡溶液的時間，不論是 1 分鐘、6 小時或 12 小時皆發現減塑膜所能承受的拉力範圍受 pH 值影響不大，實驗數據繪製為下圖。

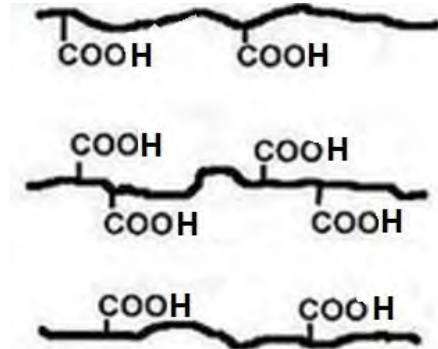


圖二十二：浸泡時間與浸泡溶液 pH 值對減塑膜拉力之關係

推論是減塑膜內部結構是由羧基及鈣離子形成離子架橋所交聯而成的網狀結構 (如圖二十三)。因離子鍵強度大於氫鍵，所以被質子化之趨勢較小，不易變成圖二十四之結構。故減塑膜在本次實驗浸泡溶液之 pH 值範圍(pH3~pH8)，浸泡環境多為酸性，所以不易產生結構變化，故減塑膜所能承受的拉力範圍受 pH 值影響不大。



圖二十三：原內部結構



圖二十四：質子化後結構

(四) 此系列實驗各組拉力數值差異甚大，推論可能原因為以下兩點：

1. 製膜過程缺失：

海藻酸鈉溶液黏稠度高，在配置過程中容易因攪拌殘留氣泡。在烘乾過程，氣泡體積受熱膨脹，導致減塑膜表面並非完全平滑，造成性質差異。

2. 拉力測量步驟缺失：

將裁剪成實驗所需大小時，修剪造成減塑膜邊界不平整，測量拉力時可能從裂縫處斷裂，影響測量結果。(圖二十五)



圖二十五：修剪形成不平整邊界

註：於分區科展之實驗過程中發現上述兩個缺失，為更精確探討減塑膜之性能，將實驗手法進行改正。在配製完海藻酸鈉溶液時，多了減壓抽氣泡的程序，實驗所得之薄膜平整度大幅提升，且量測數據間變異較小。整份報告書唯實驗 5 之數據來不及補正，先行沿用分區報告書之數據，以說明之。後續會再驗證修改以期呈現更精確之結果。

五、實驗 6：探討減塑膜應用可行性

(一) 自製紙杯確實能夠盛裝液體(如圖二十六)



圖二十六：盛裝液體的自製紙杯

六、實驗 7：探討減塑膜環保再生性

以市售紙餐盒回收再製而言，前處理較為麻煩，需長時間浸泡將紙質軟化，且去除表面淋膜時亦會沾附紙張，造成紙類回收率下降(圖二十七)。而自製環保紙杯內膜較方便去除，且不易沾附紙張。(圖二十八)。







圖二十七：去除淋膜時沾附
紙張



圖二十八：去除淋膜時未沾
附紙張

以市售紙餐盒製作之再生紙而言，未去除淋膜之再生紙，表面附有淋膜，，僅能使用油性墨水書寫，水性墨水則無法附著，故用途侷限；而以自製環保紙杯製作之再生紙，不論是水性墨水或是油性墨水皆能書寫於表面。

	市售紙盒製作之再生紙	自製環保紙杯製作之再生紙
書 寫 前		
	圖二十九	圖三十
書 寫 後		
	圖三十一	圖三十二
註：黑色為油性墨水筆筆跡，綠色為水性墨水筆筆跡		

陸、結論

- 一、透過本次研究測得市售紙杯內部淋膜為偏疏水性，確實有符合其防水應用需求。
- 二、隨著反應時間拉長，海藻酸鈉溶液與乳酸鈣溶液交聯程度越高，其形成的網狀結構漸趨緻密而使得表面形貌也趨於平整。
- 三、溫度越高時，高分子鏈動能也越大，因此以低溫烘乾較不易造成結構扭曲變形，且能承受之拉力值也較大。
- 四、減塑膜經浸泡溶液後，會使其所能承受的拉力值下降，但短時間浸泡的影響則不大。
- 五、浸泡溶液的時間固定時，減塑膜所能承受的拉力範圍受 pH 值影響不大。
- 六、實驗結果發現減塑膜較適合盛裝偏酸性的溶液，且適合短時間盛裝溶液，自製紙杯確實有其可行性。
- 七、自製環保紙杯在製程及完成再生紙性質皆優於市售紙餐盒。

柒、未來展望

本研究現階段製得之減塑膜，若探討其應用，較適合短時間盛裝偏酸性溶液，目前預期可用於冷飲試喝的紙杯內膜，取代塑膠淋膜，後續會再探討其熱穩定性。本實驗原料及成品均無毒無害，又可自然降解，且實驗製程手法操作簡易無需使用昂貴儀器，未來亦可探討其製作成塑膠袋之潛能，期許其成品應用層面更廣，且能循環再用，提升成品之環保性促進地球之永續。

捌、參考文獻

一、中文書

1. John Suchocki·觀念化學 V 環境化學·天下文化
2. Barb Stuckey·味覺獵人：舌尖上的科學與美食癡迷症指南·漫遊者文化

二、網路資源

1. 廖哲立、隋典融、陳俊豪(2016)。吃我一顆水球-探討無水瓶製作方式和性質檢測。
中華民國第五十六屆中小學科學展覽會
2. 張育唐、陳藹然(2011年5月26日)·接觸角·取自

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=27484>

3. 邱瓊瑜、趙嘉薇(2015)。可食用的水容器 (Ooho)。中學生小論文 第 1041115 梯次
4. 蓮花效應的原理·原子世界·取自

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

三、期刊

1. 盧彥文(2013)。“從水黽的斥水結構到物質相變在工程上的應用”，昆蟲仿生學之發展研討會。臺大校友雙月刊／2016 年 3 月號

【評語】 050207

1. 能由已知的材料（天然褐藻及氯化鈣製成凝膠狀物質）進一步思考並往生活題材進行研究和思考應用，創意十足！結果顯示可能有應用性，但尚未考慮耐熱度及成本。
2. 對失敗的數據能有效的分析和提出可能關鍵的原因。

壹、研究動機與摘要

據環保署統計，台灣一年消耗的一次性紙杯就高達10.7億個。殊不知市售的紙杯為了盛裝飲料或食品，通常需具備防水防油的功能，而在內層多增加了難降解的高分子淋膜，例如：PE、PP。複合式材質組成的材料，導致其回收處理的成本增加，而多被作為一般垃圾處理，反而製造出了不容小覷的的垃圾量。因此我們想尋找出一種較為環保性的材質，以取代市售紙杯的內部淋膜，使紙杯能直接循環再生利用，增進對環境的友善。

本研究主要將過去做成水球狀之Ooho(以海藻酸鈉和乳酸鈣反應所製得晶球)改製成平面薄膜(後續以減塑膜稱之)，並做一系列探討，以期能取代市售紙杯內部淋膜。

由實驗結果得知，以2.0%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減塑膜。且選用低溫烘乾對減塑膜性質變異較小，因此可承受較大拉力。再進一步探討減塑膜所能承受溶液酸鹼性範圍及盛裝溶液時間長短之相關性。由拉力量測的實驗結果，發現減塑膜浸泡在市售飲品pH範圍溶液中變異不大，能運用於短時間盛裝溶液。接著自製環保紙杯盛裝液體，證實有其實用性。最後將附有減塑膜的紙杯回收製成再生紙，發現其在製程處理上優於回收市售紙盒製作之再生紙，且用途較廣。

貳、研究目的

- 一、探討反應時間與反應試液濃度對減塑膜性質的影響
- 二、探討製膜的烘乾溫度對減塑膜性質的影響
- 三、探討溶液浸泡時間對減塑膜的影響
- 四、探討溶液pH值對減塑膜的影響
- 五、測試減塑紙杯之應用可行性
- 六、測試減塑紙杯循環利用性

參、文獻回顧



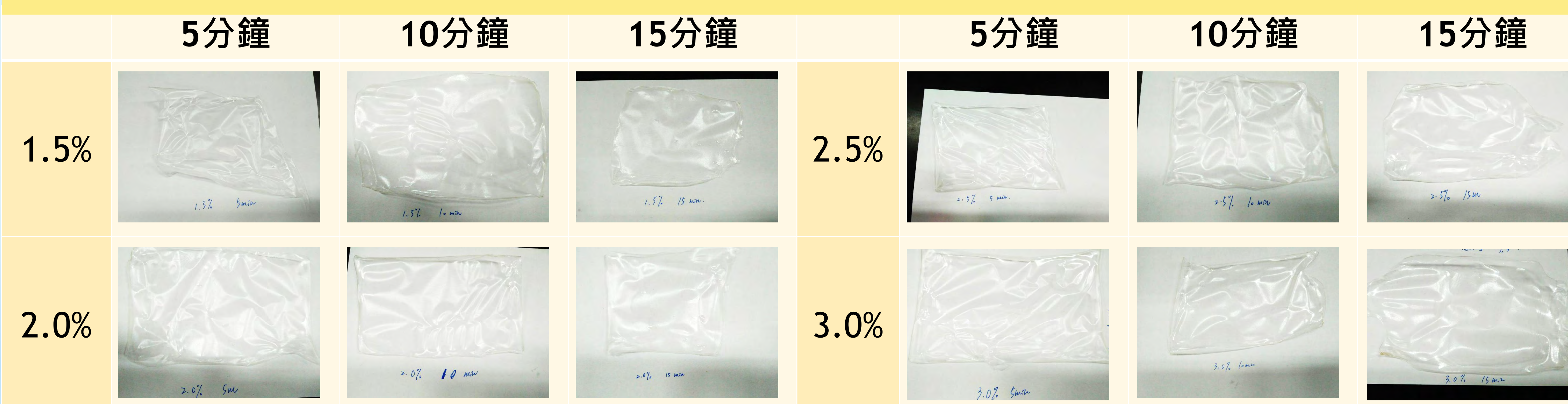
圖一：海藻酸鈉遇鈣離子形成蛋盒的網狀組織結構

圖片來源：<http://www.ntcu.edu.tw/scigame/chemistry/chemistry-019.html>

國立台中教育大學 NTCU科學教育與應用學系 科學遊戲實驗室

肆、實驗實驗結果與討論

反應時間、反應液濃度對減塑膜之外觀影響



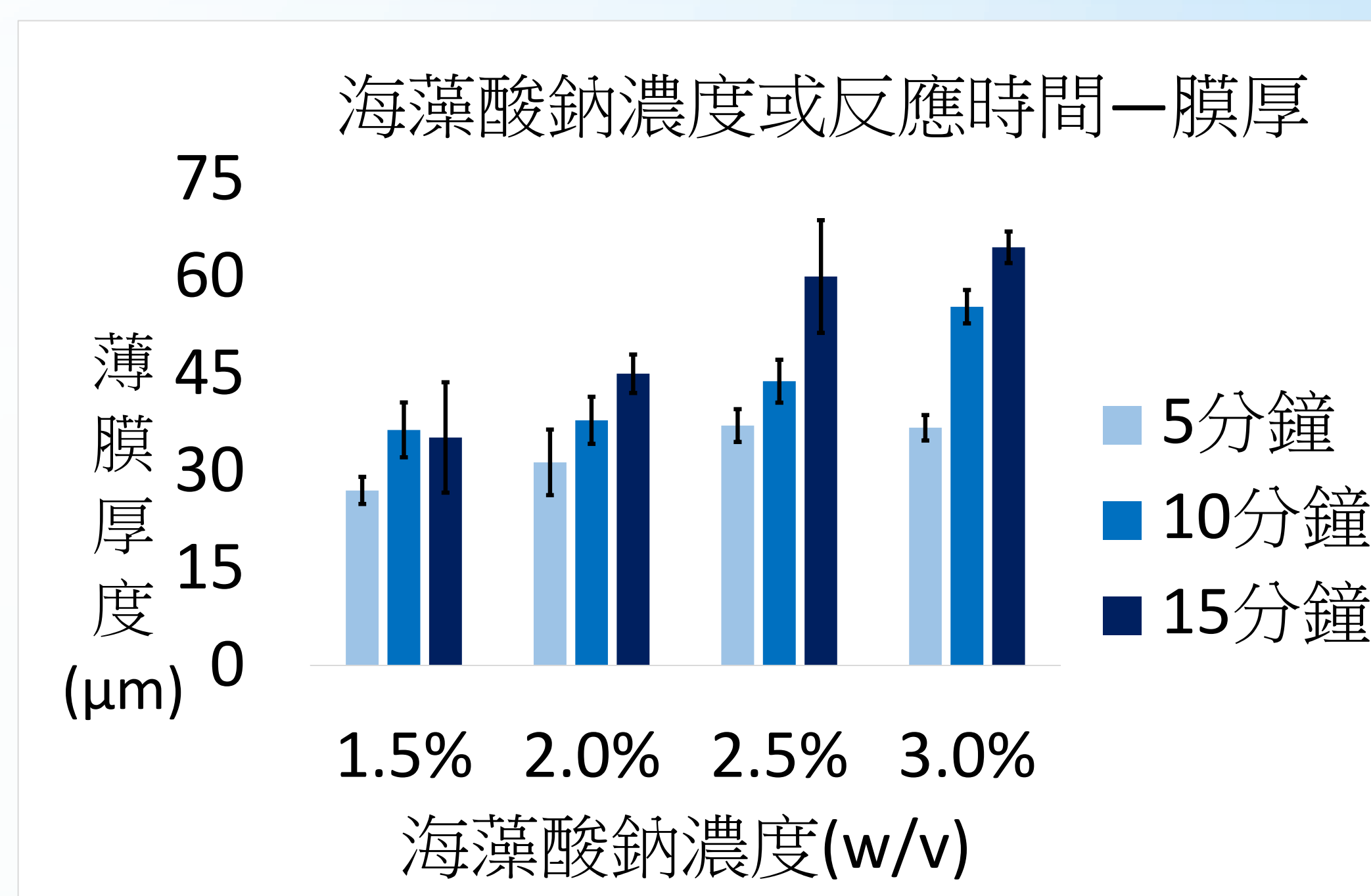
組圖二：反應液濃度對製備減塑膜之外觀差異

觀察結果可得知，當反應時間在5分鐘、10分鐘、15分鐘時，薄膜皆呈現平整薄膜狀，且乾燥後的減塑膜在外觀上無明顯差異。

反應時間、反應試液濃度與減塑膜膜厚之關係

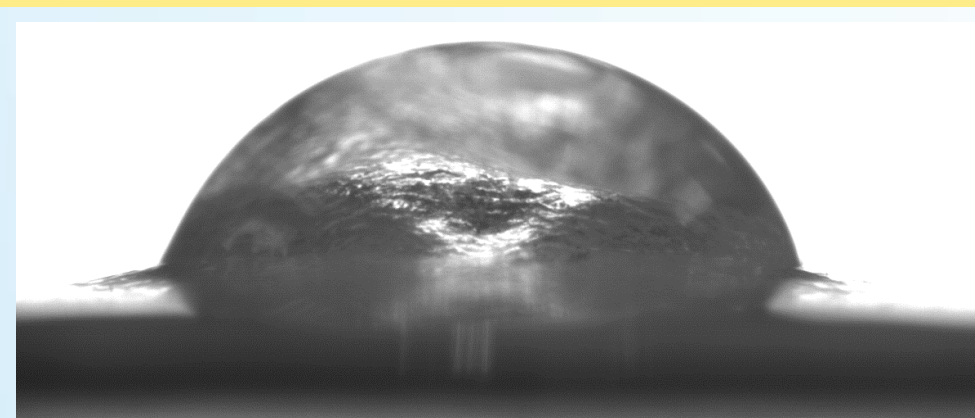
海藻酸鈉溶液濃度1.5% (w/v)				海藻酸鈉溶液濃度2.0% (w/v)			
反應時間	平均值	標準差	變異係數 (%)	反應時間	平均值	標準差	變異係數 (%)
5分鐘	27	2.1	7.8	5分鐘	31	5.0	16
10分鐘	36	4.2	12	10分鐘	38	3.6	9.6
15分鐘	35	8.5	24	15分鐘	45	3.0	6.6
海藻酸鈉溶液濃度2.5% (w/v)				海藻酸鈉溶液濃度3.0% (w/v)			
反應時間	平均值	標準差	變異係數 (%)	反應時間	平均值	標準差	變異係數 (%)
5分鐘	37	2.5	6.8	5分鐘	37	2.0	5.4
10分鐘	44	3.3	7.6	10分鐘	55	2.6	4.7
15分鐘	60	9.0	14	15分鐘	65	2.4	3.8

海藻酸鈉溶液濃度及反應時間與膜厚值



- 由上圖可看出環保減塑膜的膜厚均與反應時間及海藻酸鈉溶液濃度呈正相關。
- 推測反應時間越長或海藻酸鈉溶液濃度越高，交聯程度越高，使得環保減塑膜越厚。

探討減塑膜之親疏水性

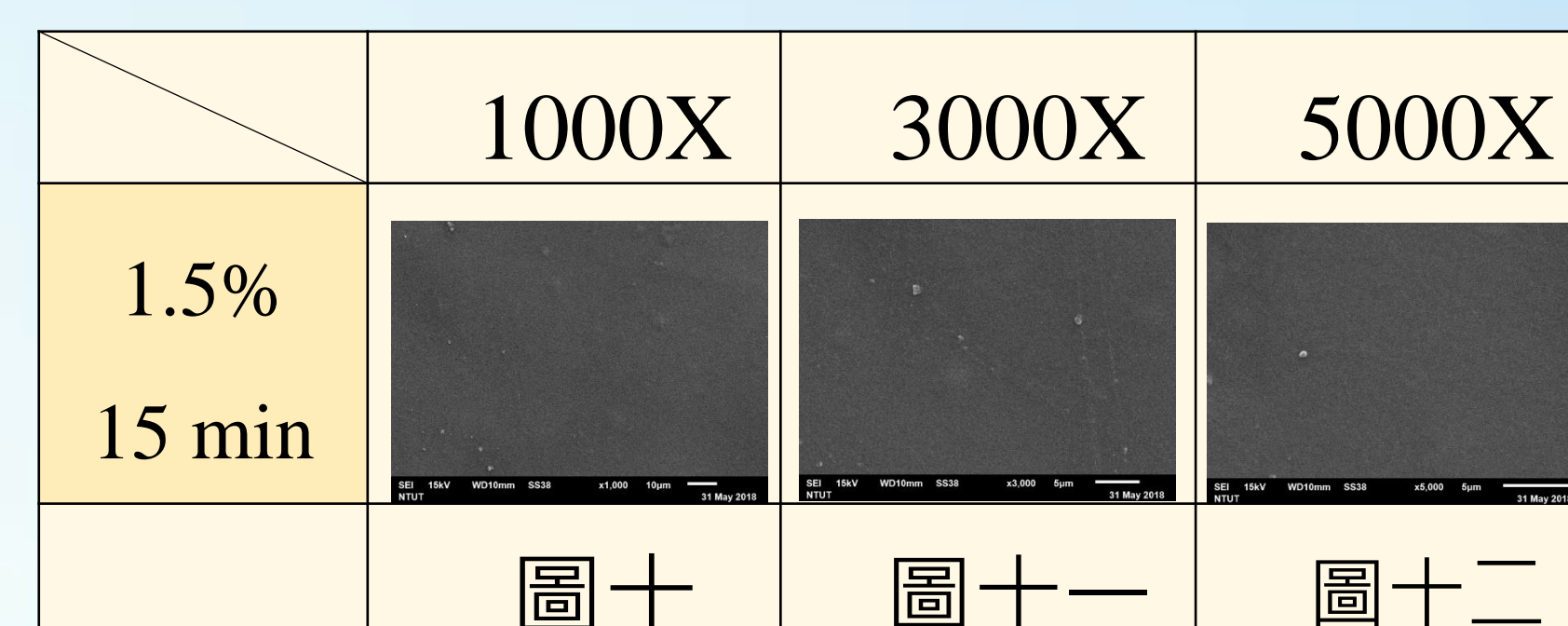
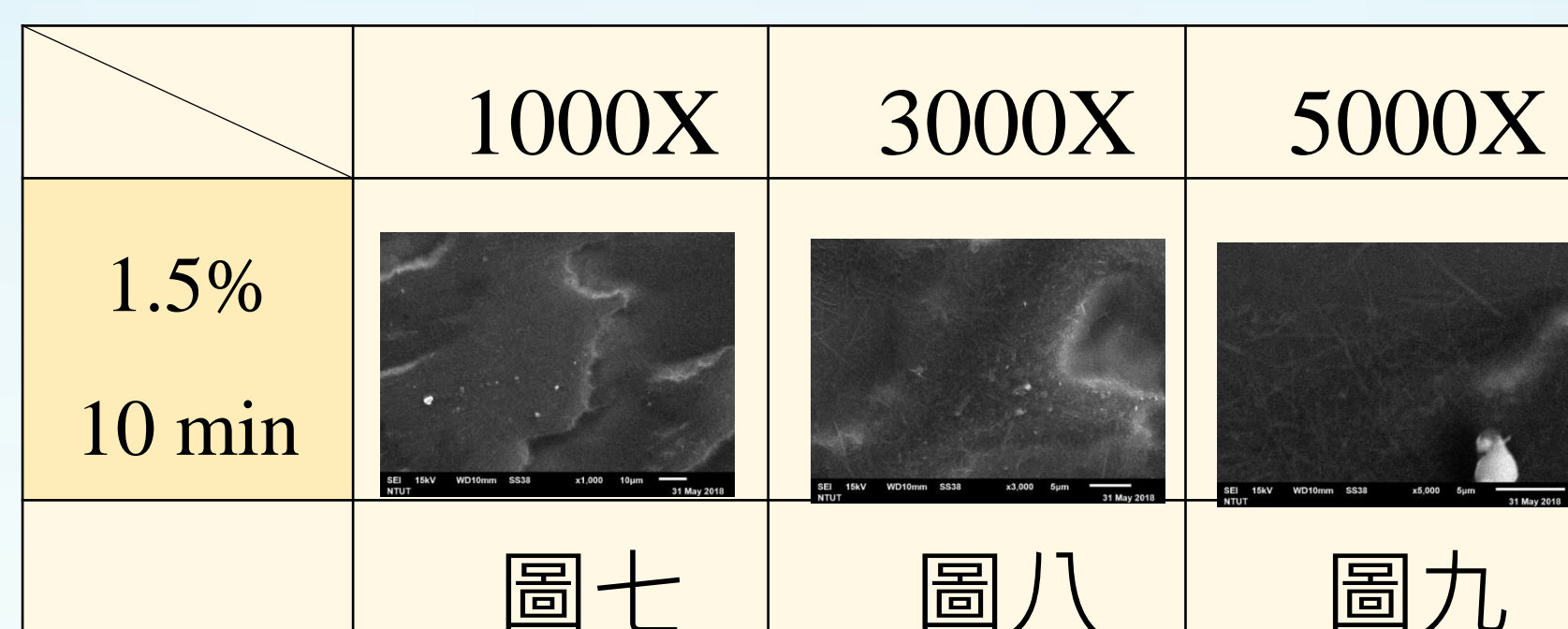
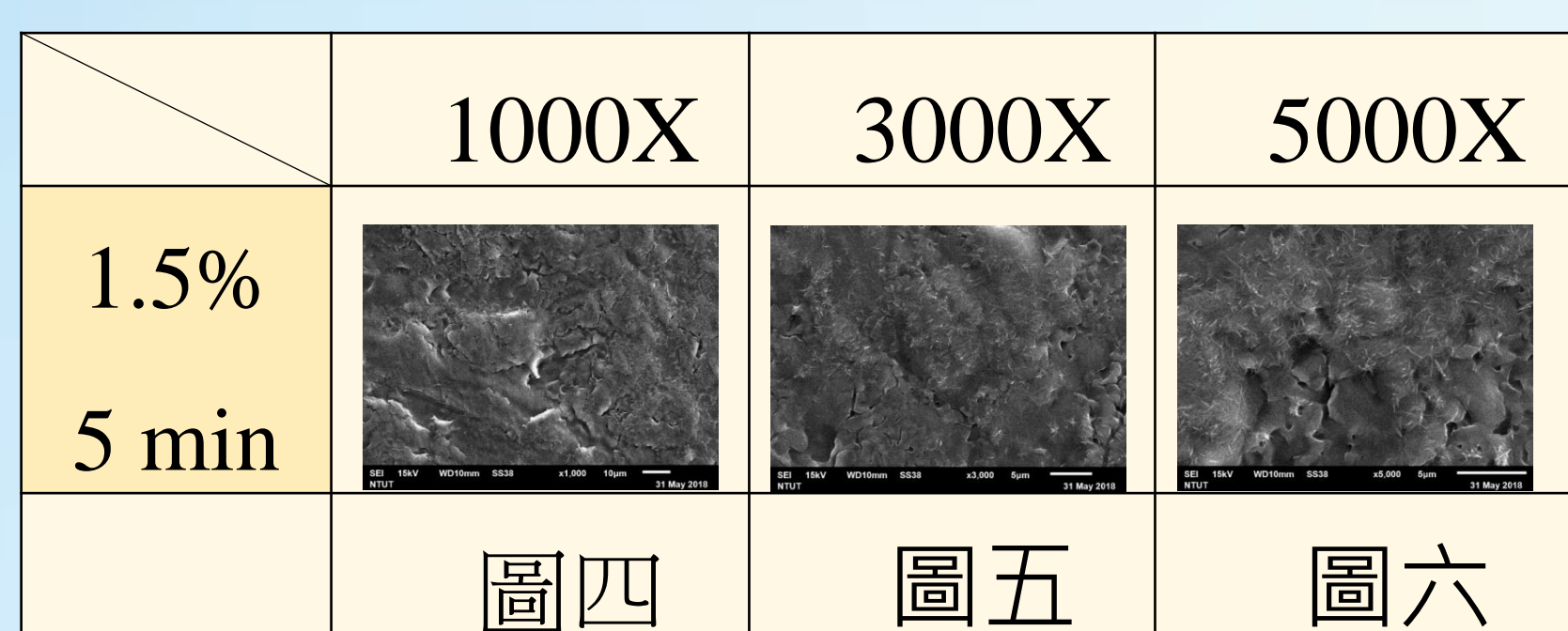


圖三：減塑膜膨潤

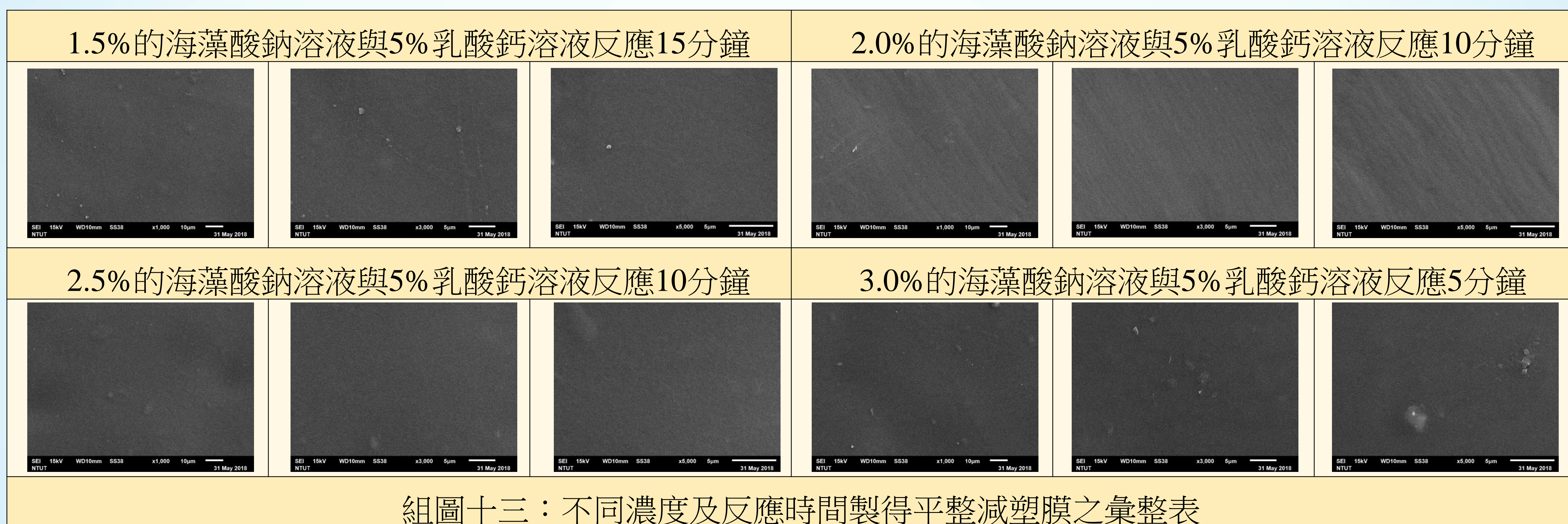
註：以1.5%海藻酸鈉溶液與乳酸鈣溶液反應5分鐘後所烘乾製得之減塑膜為例。

- 市售淋膜接觸角平均值之分布範圍為70.741°~87.077°，可歸類在偏疏水性。
- 實驗過程發現，減塑膜在接觸水滴後會產生膨潤現象，造成接觸角數值讀取有誤，故在此未呈現數據。

了解反應時間與反應試液濃度對減塑膜表面形貌之影響

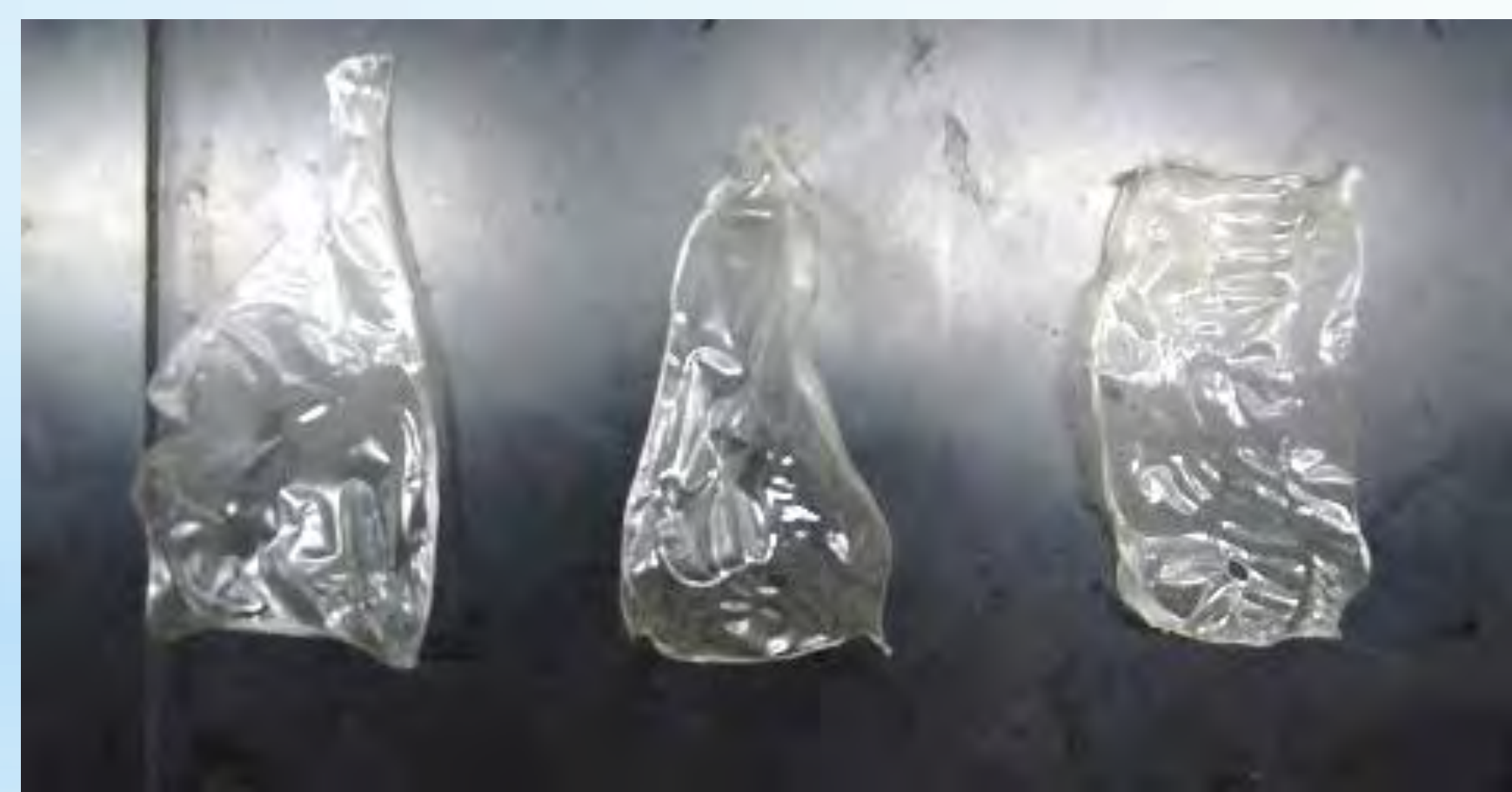


- 反應時間5分鐘：表面底層為零碎破散的片狀結構，而其上層則佈有眾多的高分子鏈交纏結構。
- 反應時間10分鐘：表面底層平整度提升，而其上層的高分子鏈較為厚長。
- 反應時間15分鐘：表面極為緻密平整，且看不到明顯的鏈狀結構。
- 推測隨著反應時間拉長，海藻酸鈉溶液與乳酸鈣溶液交聯程度越高，其形成的網狀結構漸趨緻密而使得表面形貌也趨於平整。



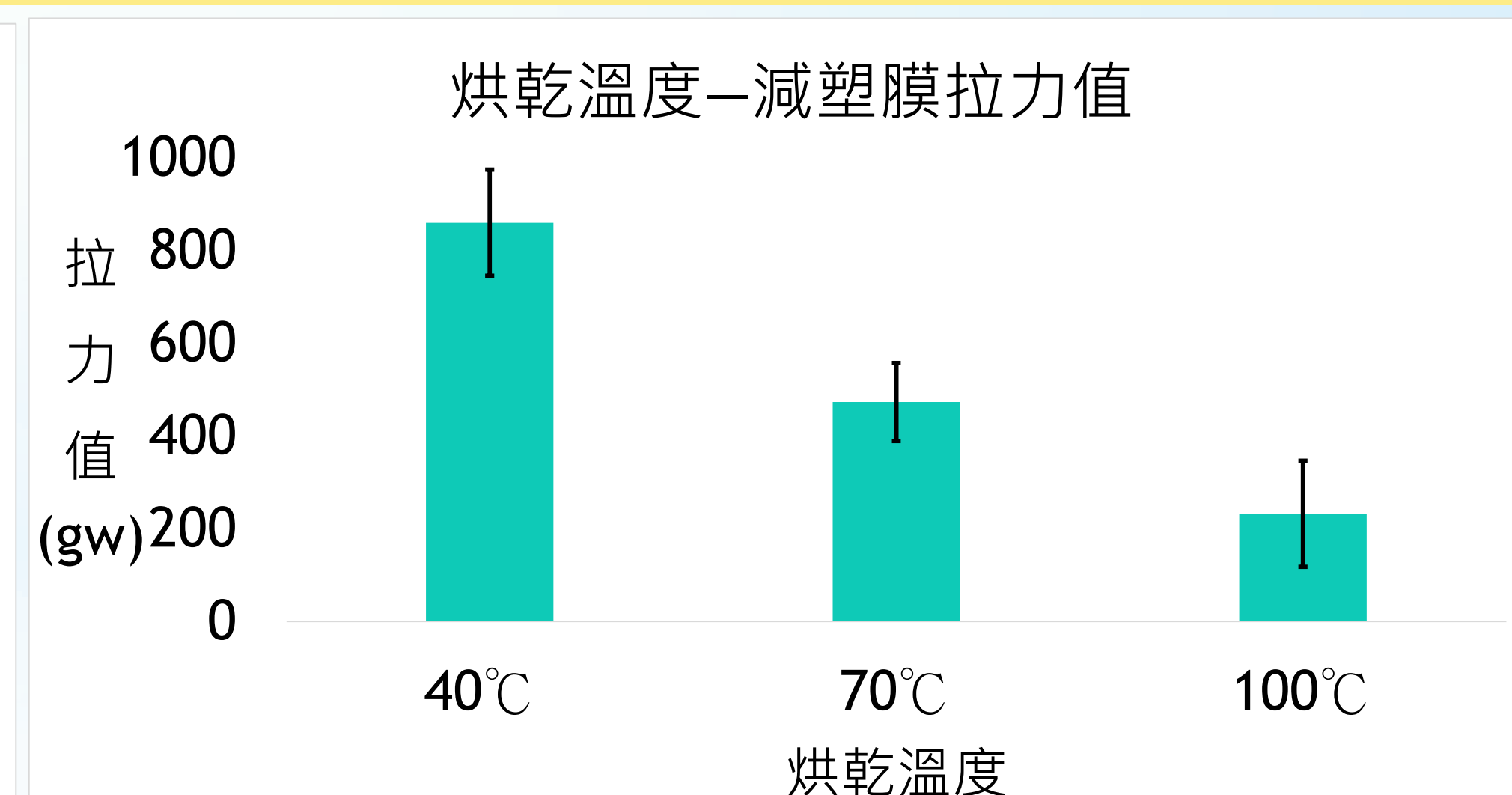
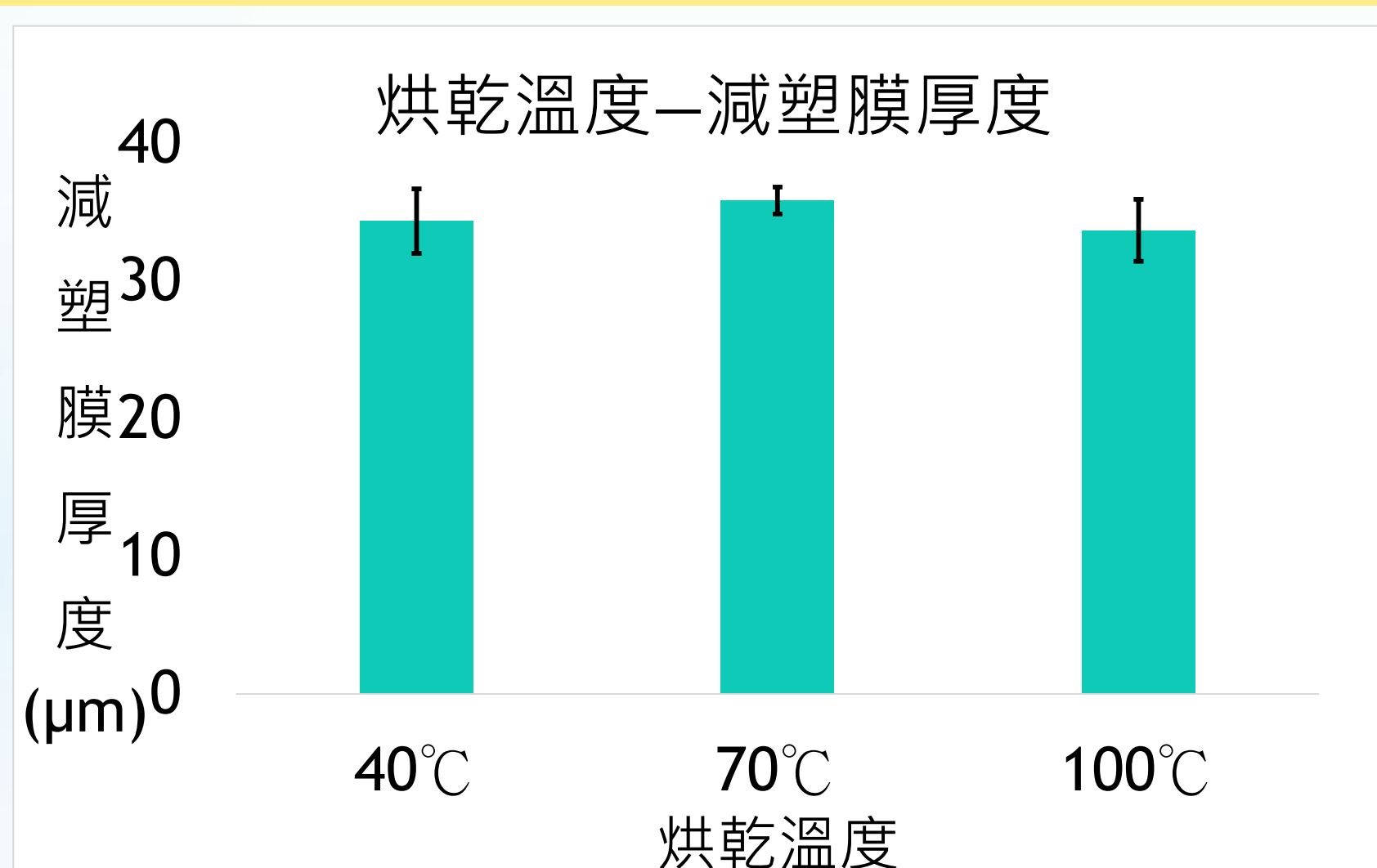
隨著海藻酸鈉濃度增加，反應到減塑膜表面形貌平整，所需的時間也越短。綜上所述，在反應試液濃度與反應時間兩相折衷下，後續以海藻酸鈉水溶液2.0%(w/v)，反應時間10分鐘作為後續製膜的條件。

探討製膜的烘乾溫度對減塑膜性質的影響：



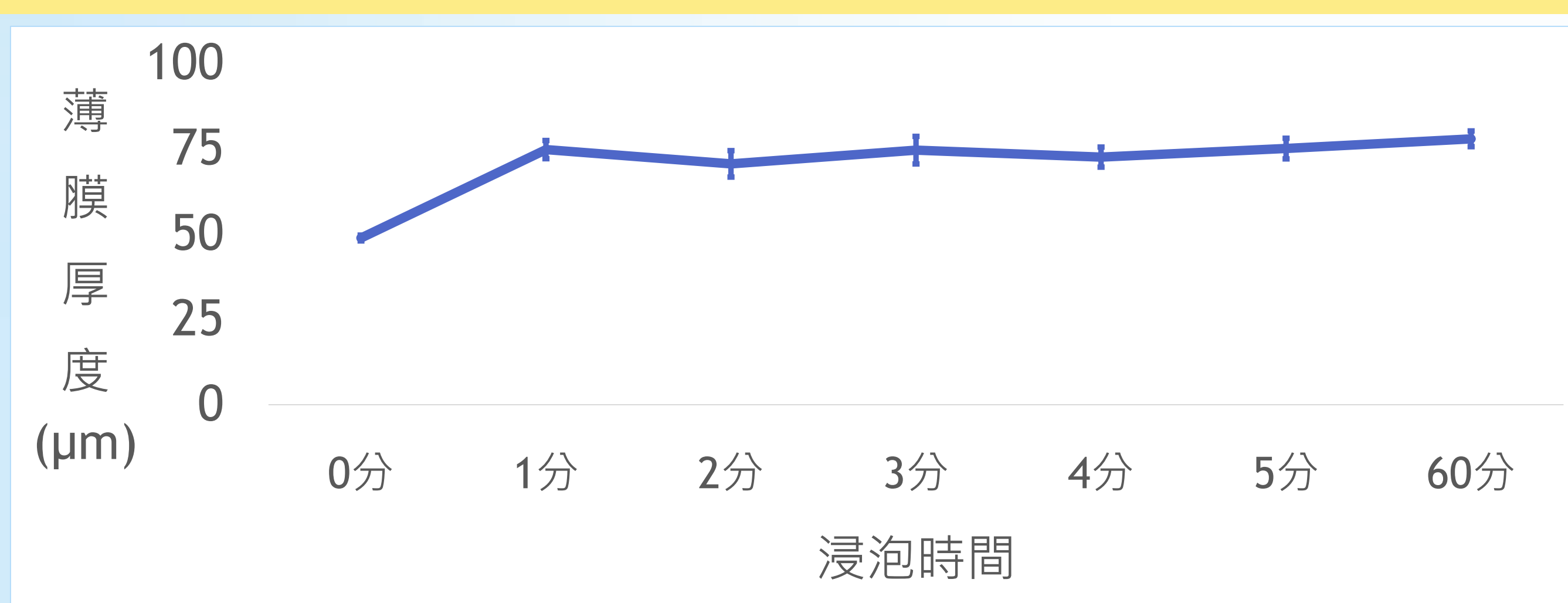
圖十四：烘乾減塑膜

- (左)：40°C (中)：70°C (右)：100°C
- 隨著烘乾溫度上升，減塑膜捲曲變形程度加劇。



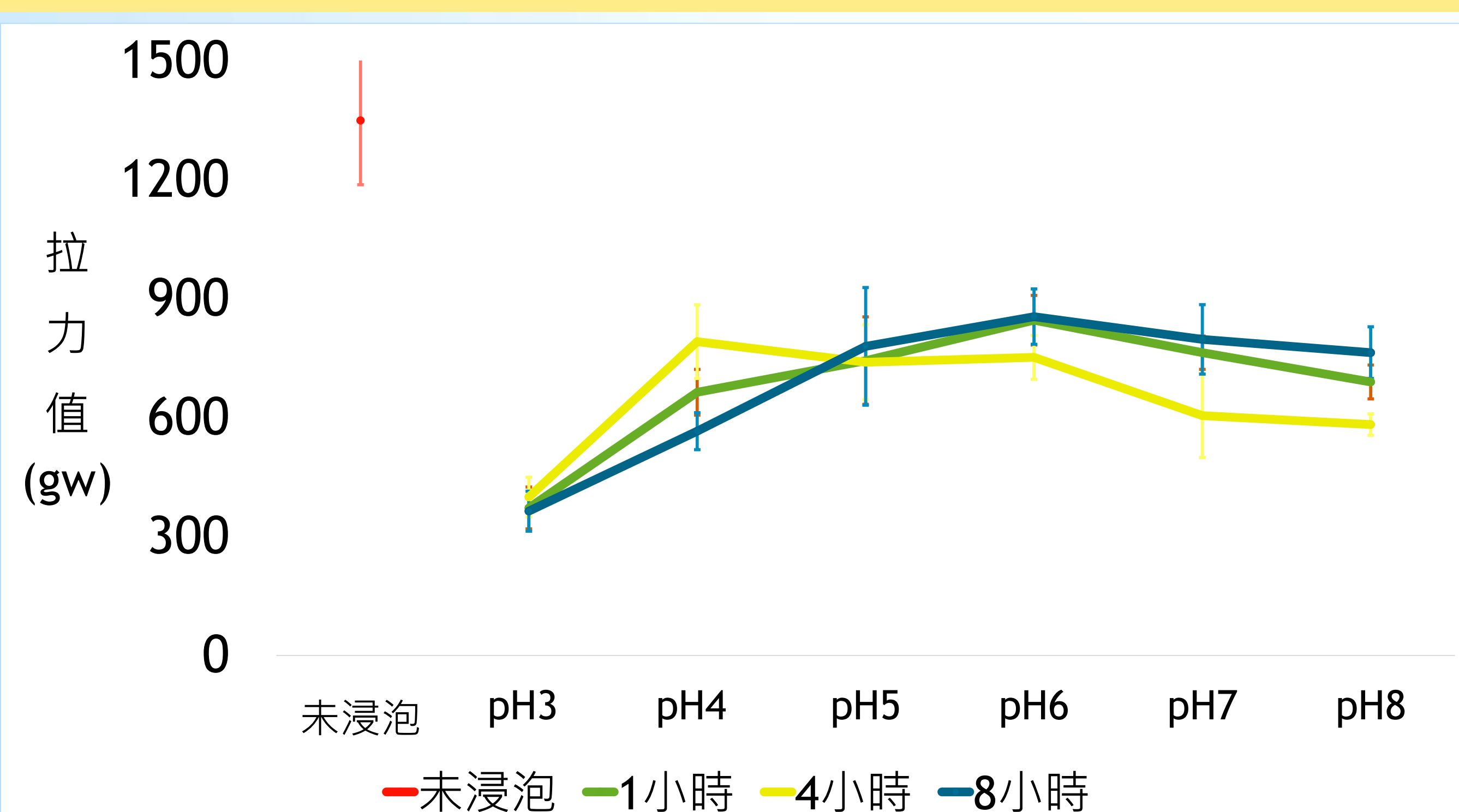
- 溫度對減塑膜厚度影響不大。
- 後續測量拉力值時，只需考慮溫度對減塑膜結構的影響。
- 隨著烘乾溫度增加，減塑膜可承受的拉力值有下降的趨勢。
- 推測烘乾溫度越高時，高分子鏈動能越大，結構較易扭曲變形，而有上述結果

探討減塑膜在水中浸泡時間與膜厚關係

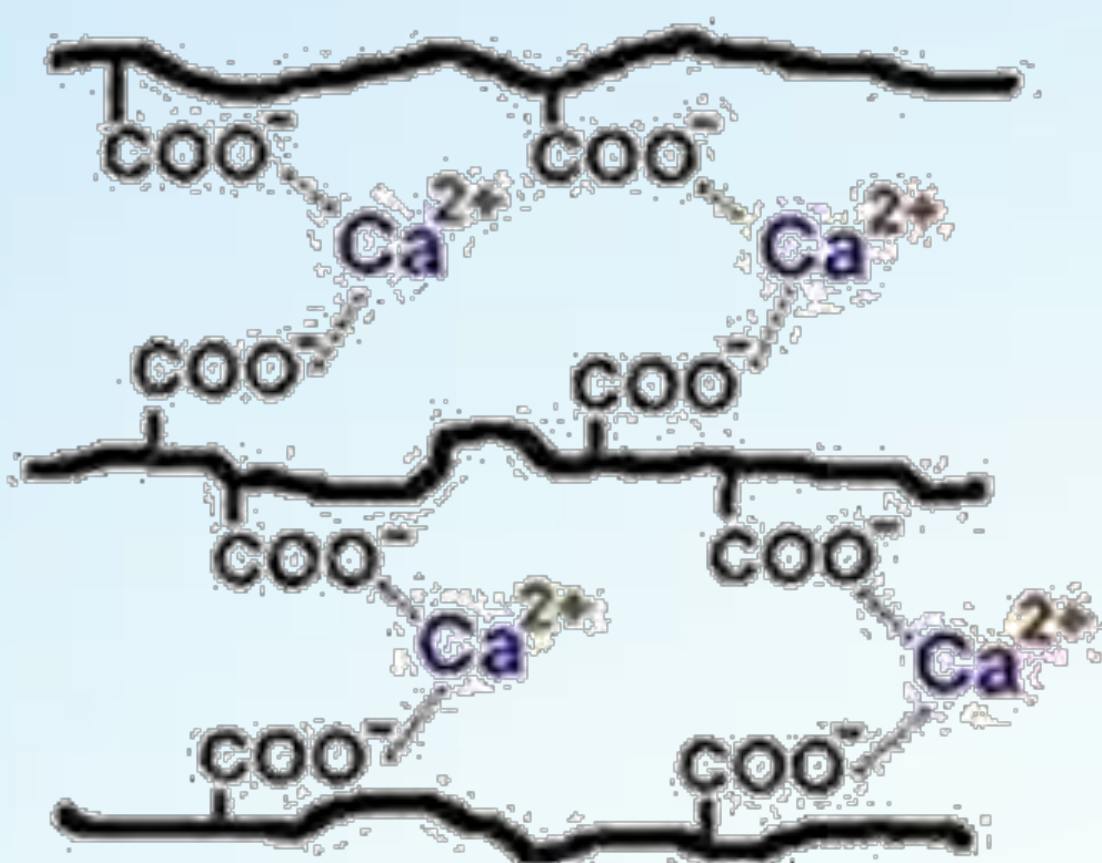


- 減塑膜為一半透膜，浸泡後減塑膜會膨潤。
- 浸泡時間1分鐘後，減塑膜膜厚大致相同。

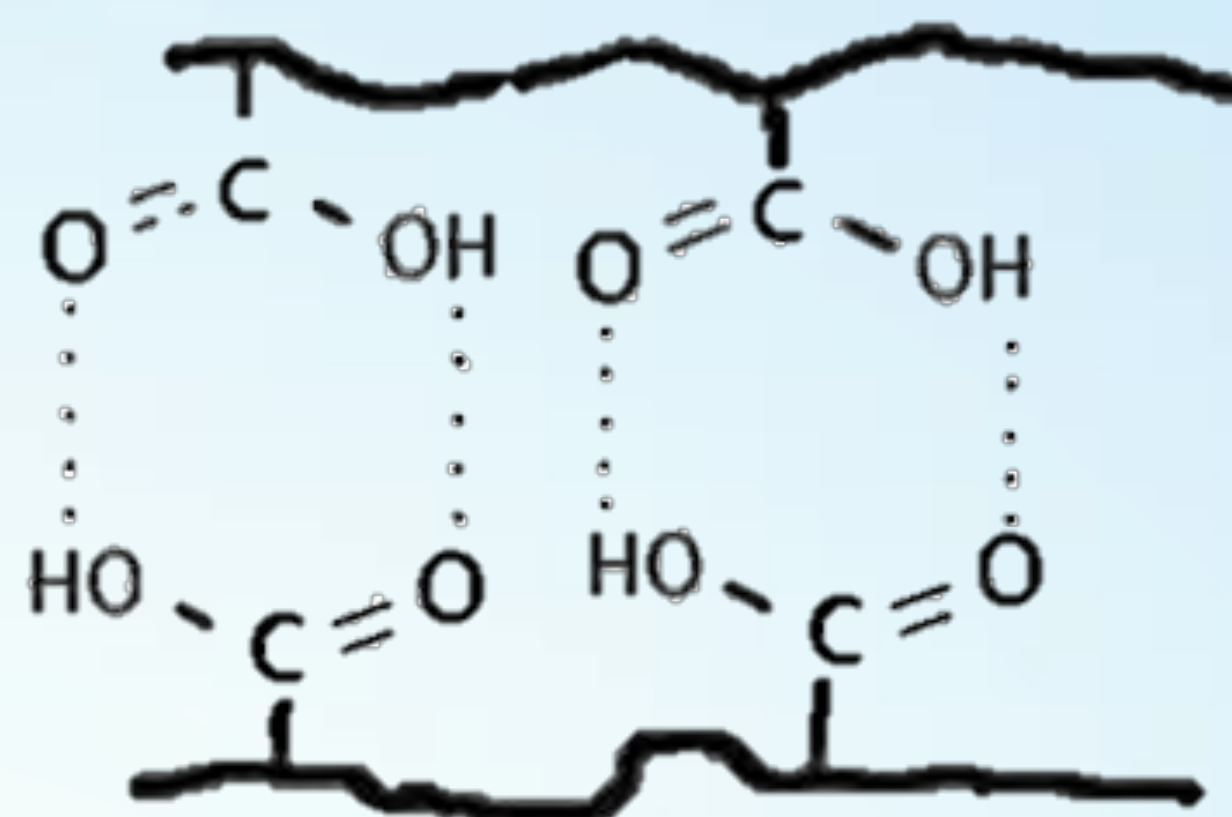
探討減塑膜浸泡時間及溶液pH值對減塑膜的影響



- 浸泡後減塑膜拉力值皆下降。
- 減塑膜所能承受拉力值於pH3時最低，推測由於海藻酸的pKa值為3.2，因此羧酸根結構於此反應條件下，大多轉換為羧基，內部結構的主要作用力由離子鍵轉為氫鍵，故所承受的拉力下降。
- 相同pH值，減塑膜所能承受拉力值與時間關係不大。

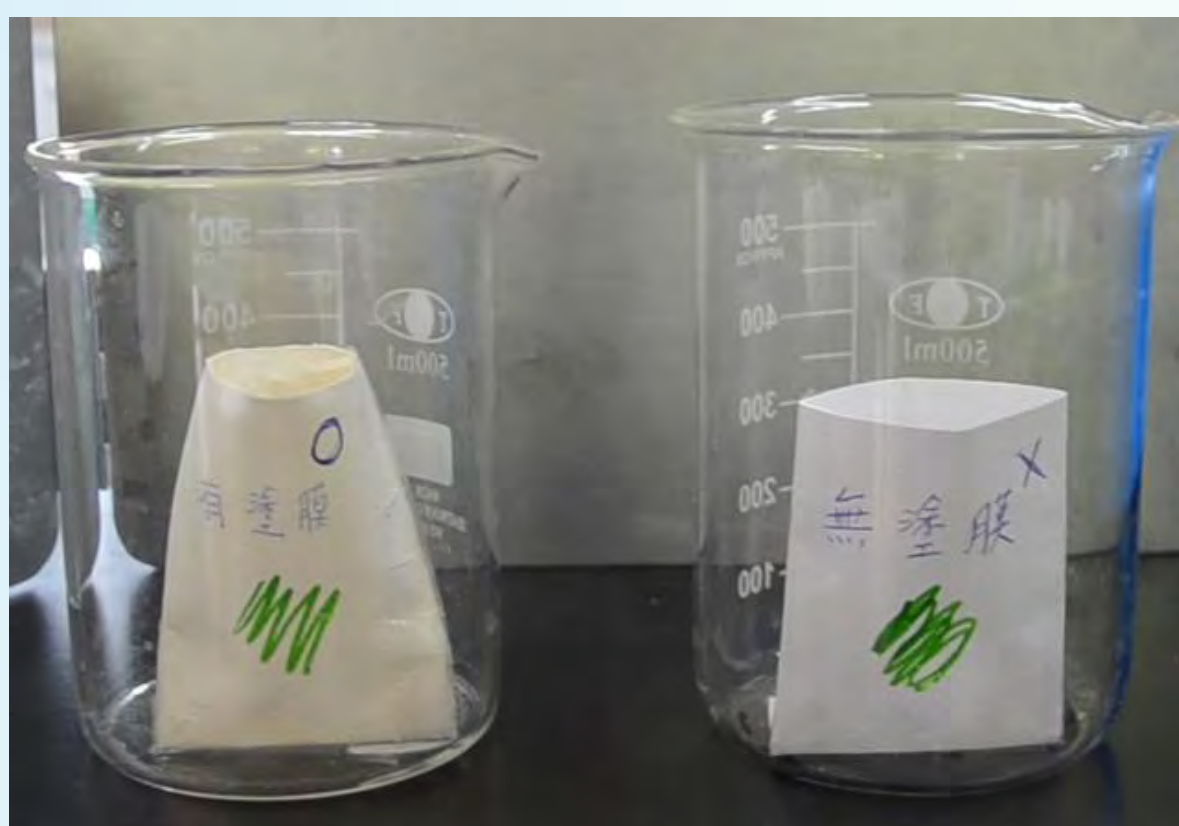


圖十五：原內部結構

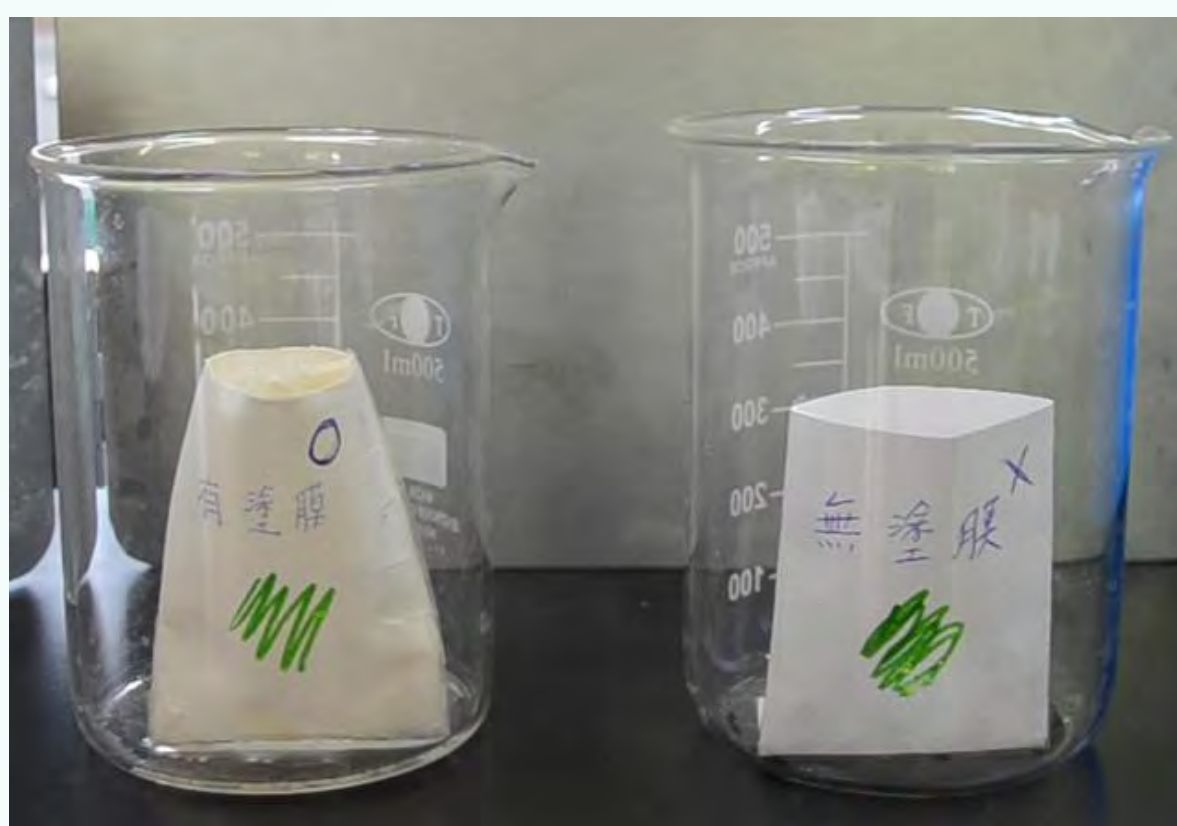


圖十六：質子化後結構

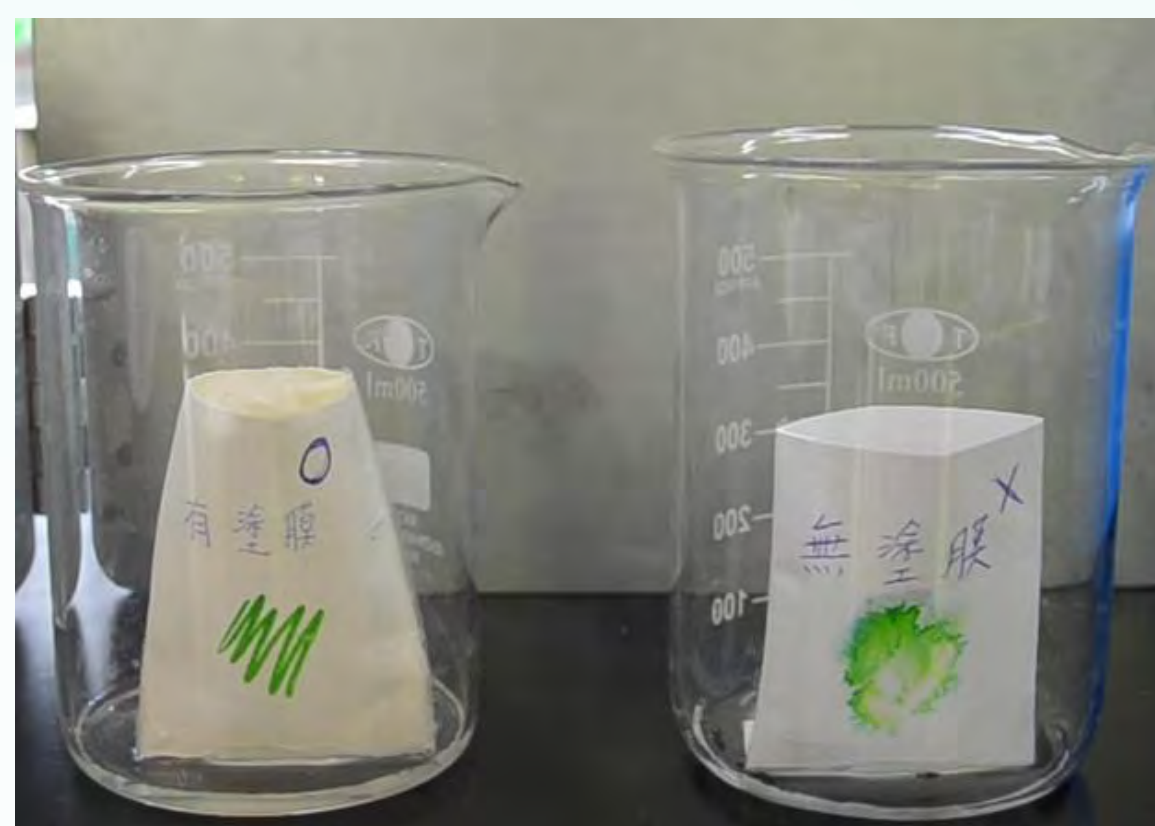
探討減塑紙杯的實用性



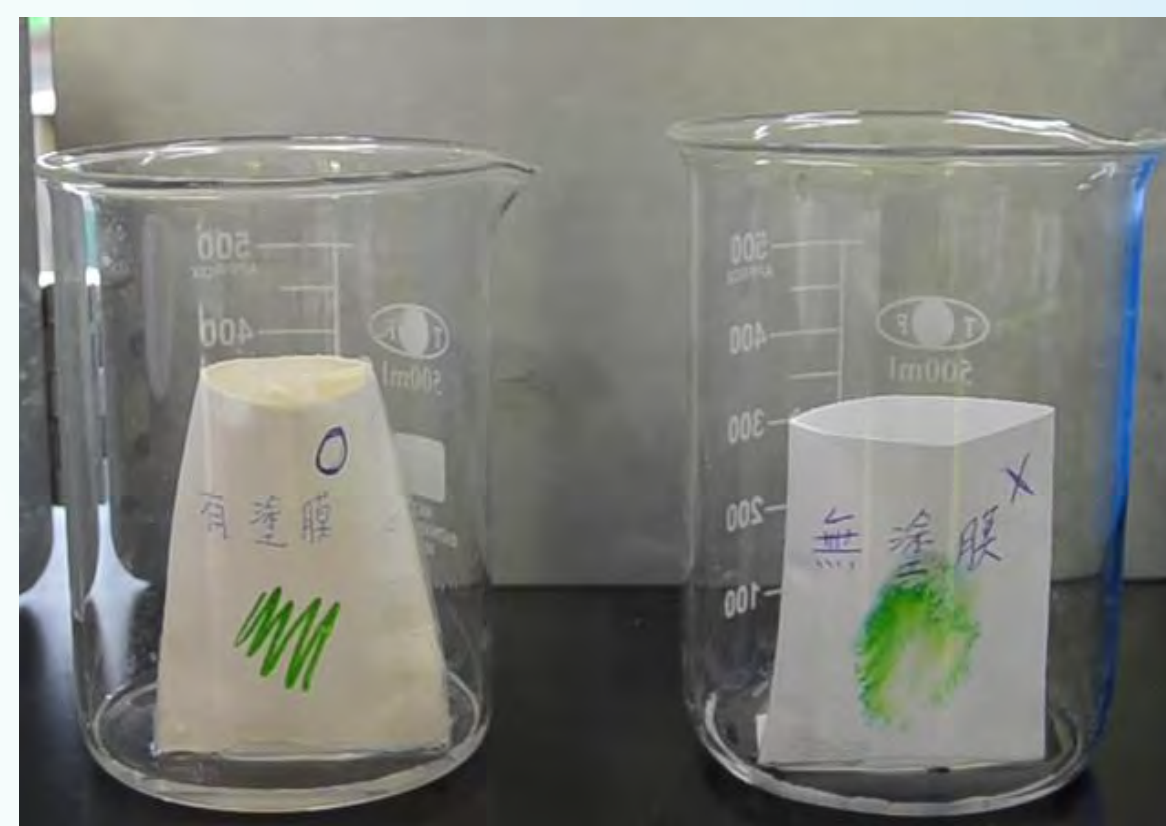
圖十七：0秒時兩紙杯內水分皆尚未透出杯壁



圖十八：40秒時無內膜紙杯內水分透出杯壁









圖十九：10分鐘時無內膜紙杯內水分持續透出杯壁



圖二十：20分鐘時無內膜紙杯內水分持續透出杯壁有內膜紙杯外部仍乾燥

探討減塑紙杯的回收環保性

<p>減塑紙杯</p>	<p>不須前處理即可使薄膜脫離紙張。</p>	 <p>圖二十一：薄膜脫離不易沾黏紙張</p>	 <p>圖二十二：未將薄膜脫離亦可製成水性及油性墨水皆可書寫的紙張</p>	 <p>圖二十三：油性墨水(黑)及水性墨水(綠)皆可書寫</p>
<p>市售紙盒</p>	<p>前處理需浸泡24小時以上使紙張軟化，以利薄膜脫離紙張。</p>	 <p>圖二十四：薄膜脫離易沾黏紙張</p>	 <p>圖二十五：未將薄膜脫離可製成油性墨水可書寫的紙張</p>	 <p>圖二十六：油性墨水(黑)可書寫，水性墨水(綠)無法書寫</p>

結論

- 一、隨著反應時間拉長或海藻酸鈉濃度越高，海藻酸鈉溶液與乳酸鈣溶液交聯程度越高，其形成的網狀結構漸趨緻密而使得表面形貌也趨於平整。
- 二、溫度越高時高分子鏈動能也越大，因此低溫烘乾較不易造成結構扭曲變形，能承受拉力值也較大。
- 三、減塑膜經浸泡溶液後，會使其所能承受的拉力值下降，但不同浸泡時間的影響則不大。浸泡溶液的固定時，減塑膜所能承受的拉力範圍受在pH4~pH8影響不大。
- 四、減塑膜自製紙杯確實有其可行性。減塑紙杯在製程及完成再生紙性質皆優於市售紙餐盒。

參考文獻

一、中文部分

【書籍】

John Suchocki · 觀念化學V環境化學 · 天下文化

Barb Stuckey · 味覺獵人：舌尖上的科學與美食癡迷症指南 · 漫遊者文化

【歷屆科展作品】

廖哲立、隋典融、陳俊豪(2016)。吃我一顆水球-探討無水瓶製作方式和性質檢測。中華民國第五十六屆中小學科學展覽會

二、網路資源

1. 中文部分

【單篇文章】

張育唐、陳藹然(2011年5月26日) · 接觸角 · 取自<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=27484>

邱瓊瑜、趙嘉薇(2015)。可食用的水容器(Ooho)。中學生小論文 第1041115梯次

蓮花效應的原理 · 原子世界 · 取自http://www.hk-phy.org/atomic_world/lotus/lotus02_c.html

【期刊文章】

盧彥文(2013)。“從水黽的斥水結構到物質相變在工程上的應用”，昆蟲仿生學之發展研討會。臺大校友雙月刊 / 2016年3月號

2. 英文部分

【單篇文章】

J. Shi, N. M. Alves, J. F. Mano, Macromol. Biosci. 2006, (5), 358-363