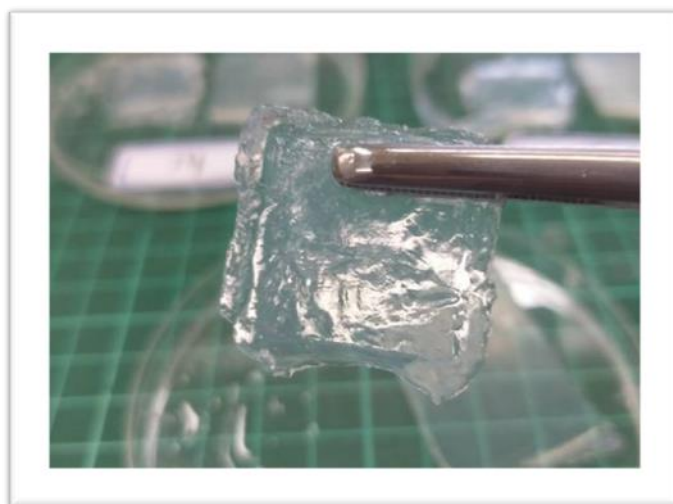


花蓮縣第 62 屆國民中小學科學展覽會
作品說明書



科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：「鈣」世英才

--探討海藻酸鈉與鈣離子生成海藻酸鈣的交聯反應

關 鍵 詞： 海藻酸鈉 、 交聯反應 、 海藻酸鈣

編 號

目錄

壹、前言.....	1
一、研究動機.....	1
二、研究目的.....	1
貳、研究設備及器材.....	1
參、研究過程或方法.....	3
一、研究一 文獻探討與實驗設計.....	3
研究一—預作實驗.....	5
研究一結論.....	6
二、研究二 探討海藻酸鈣的生長過程與順序.....	6
研究二—探討海藻酸鈣生成方向與順序.....	6
研究二—1 探討不同形狀的海藻酸鈣表面的不同紋路，推測海藻酸鈣的形成順序.....	8
研究二結論.....	9
三、研究三 探討影響海藻酸鈣生成的因素.....	9
研究三—探討作用時間長短對海藻酸鈣厚度的影響.....	9
研究三—1 增長作用時間.....	10
研究三—2 探究長時間浸泡對海藻酸鈣厚度的影響.....	11
研究三—3 探討海藻酸鈣厚度到達極限所需的時間.....	13
研究三—改變藥品濃度對海藻酸鈣厚度的影響.....	15
研究三—1 探討海藻酸鈉濃度對 Ca^{2+} 通過阻力的影響.....	18
研究三—觀察正放及反放的 $CaCl_2$ 洋菜凍對海藻酸鈣厚度的影響.....	18
研究三—1 探討側放對海藻酸鈣厚度的影響.....	21
研究三結論.....	22
四、研究四 探討海藻酸鈣浸泡於水中是否會放出 Ca^{2+}	23
研究四—探討海藻酸鈣浸泡於水中是否會放出 Ca^{2+}	23
研究四結論.....	24
五、研究五 探討交聯前後洋菜凍的導電度變化.....	24
研究五—觀察交聯前後洋菜凍的電阻率變化.....	24
研究五—1 探討交聯前後洋菜凍的含 Ca^{2+} 量.....	26
研究五—2 交聯後 Na^+ 去了哪裡.....	27
研究五—3 觀察交聯後除了洋菜凍， Na^+ 還去了哪裡.....	28
研究五結論：.....	29
肆、結論.....	29
伍、建議.....	30
陸、參考文獻.....	30
柒、附件.....	31

摘要

我們將 CaCl_2 固定在一定大小與面積的洋菜凍，成功與海藻酸鈉交聯出片狀海藻酸鈣，有利於實驗測量，透過實驗證明 1.海藻酸鈣的生成順序是 Ca^{2+} 能夠通過層層堆砌的海藻酸鈣再次交聯。2.影響海藻酸鈣厚度的因素分別有作用時間、藥品濃度、生成方向。3.海藻酸鈣浸泡於水中，會釋放出未交聯的 Ca^{2+} 。4.交聯過程中， Na^+ 不但會跑回洋菜凍中，也會出現在交聯後剩餘的液體內。

壹、前言

一、研究動機

在學校科學週活動，我們負責一個有趣的科學實驗，是將海藻酸鈉溶液滴入氯化鈣溶液中形成一顆顆模樣可愛的晶球，還可以食用，這讓我們對這些可愛的晶球產生了一些好奇心，究竟它形成的原理是什麼？它形成的過程發生了什麼？



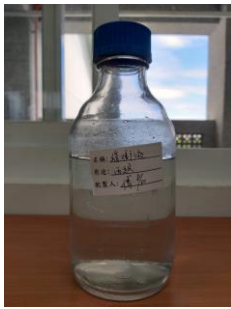
二、研究目的

- (一) 了解海藻酸鈣形成的原理。
- (二) 探討海藻酸鈣的生長過程與順序。
- (三) 探討影響海藻酸鈣生成的因素。
- (四) 探討海藻酸鈣浸泡於水中是否會放出 Ca^{2+} 。
- (五) 探討交聯前後洋菜凍的導電度變化。






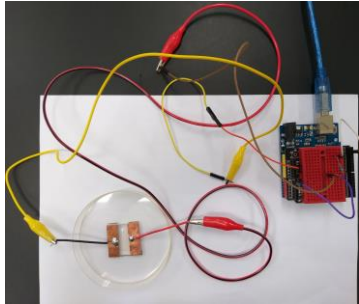
貳、研究設備及器材

一、實驗藥品：

		
海藻酸鈉(食品級) Sodium Alginate	食品級無水氯化鈣 (CaCl_2) Calcium Chloride anhydrous	洋菜粉

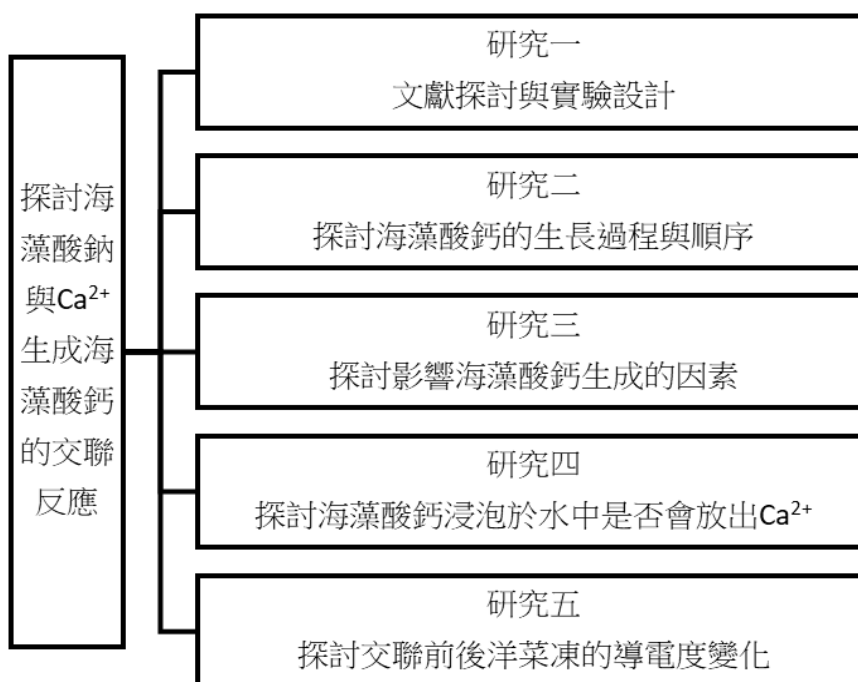
		
EDTA	EBT 指示劑	緩衝液

二、實驗器材：

		
自製模具裝 CaCl_2 洋菜凍 (上方開口為 $2.5 \times 2.5\text{cm}$ 的正方形)	自製模具裝 CaCl_2 洋菜凍 (開口 $2.5 \times 2.5 \times 9.0\text{cm}$ 正方形柱形)	移液管 (20ml)
		
計時器、游標尺	滴定管	自製電阻測量器 (測量電阻率)

參、 研究過程或方法

研究架構：



一、研究一 文獻探討與實驗設計

(一) 研究目的：

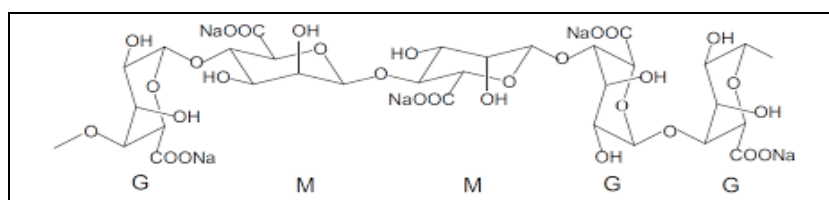
- 1.利用網路與文獻資料了解海藻酸鈣形成的原理。
- 2.利用文獻資料與預作實驗探討研究方法。

(二) 研究結果：

1.海藻酸鈉：

(1) 海藻酸鈉的結構：

海藻酸鈉為一種線性不分支的高分子聚合物(如圖一-1)，海藻酸鈉分子鏈上，含有大量的羧基(-COOH)，溶於水後具有一定的黏附性，因此有較高的黏度。海藻酸鈉水溶液，常作為食品中的增稠劑、穩定劑、乳化劑等。



圖一-1 海藻酸鈉結構 (出處：神奇微膠囊，蹦出新科技)

(2) 海藻酸鈉為一種膠體溶液：

膠體溶液：膠體粒子帶電有廷得耳效應，溶質顆粒約介於 $10^{-9}\text{m}\sim 10^{-7}\text{m}$ ，溶質原子數目約介於 $10^3\sim 10^9$ ，通常是高分子或離子吸附溶液中分子或其他離子構成的原子團，膠體粒子帶電是膠體粒子表面吸附帶電粒子所致，帶同性電荷，互相排斥不凝



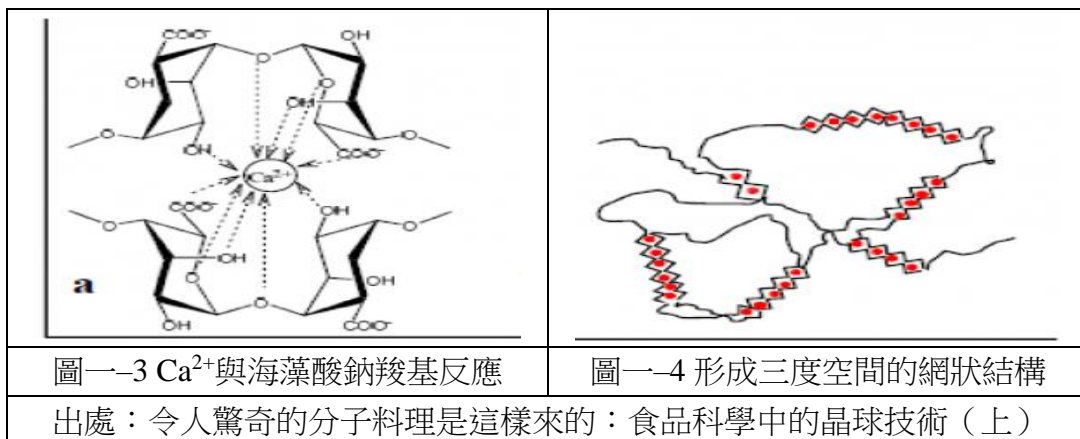
圖一-2 雷射強光照射有明顯光帶

結。用強光照射膠體溶液時，膠體粒子散射光線，會出現明顯的光帶，(如圖一-2。)

2.海藻酸鈣：

(1) 形成交聯反應原理：

當海藻酸鈉溶液滴入 CaCl_2 溶液中， Ca^{2+} 會取代海藻酸鈉羧基上的 Na^+ ，再結合另一醣醛酸分子上的羧基，形成離子架橋(如圖一-3)，這樣手拉手的結構，使海藻酸鈉分子間的聯結性更強，形成一個三度空間的網狀組織結構(如圖一-4)，也就是海藻酸鈣的形成。



(2) 製作過程順序的差異分成「基本交聯」與「反轉交聯」

- i. 「基本交聯」：直接滲透，將海藻酸鈉溶液滴入含有 Ca^{2+} 的溶液中，可交聯成晶球形。
- ii. 「反轉交聯」：利用添加 Ca^{2+} 的方式，放入海藻酸鈉溶液，讓周圍膠化形成膠膜，所形成的海藻酸鈣厚度通常比基本交聯的海藻酸鈣再厚一點。

iii.兩種交聯方式有何差異呢？故設計預作實驗來比較。

研究一——預作實驗

(一) 實驗目的：觀察基本交聯與反轉交聯的差異

(二) 實驗藥品：10%CaCl₂ 溶液、2%海藻酸鈉溶液

(三) 實驗步驟：

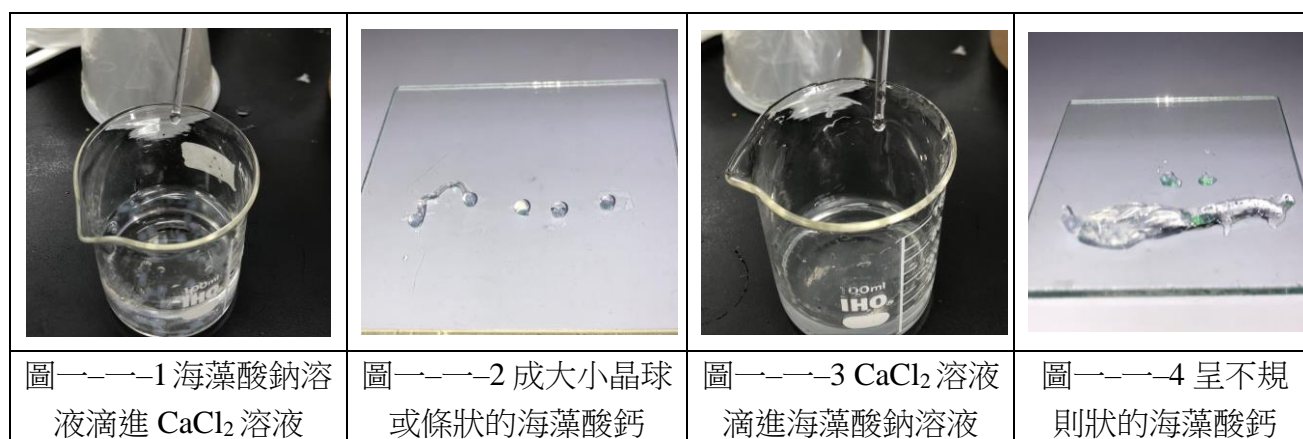
1.把 2%海藻酸鈉溶液滴進 10%CaCl₂ 溶液進行基本交聯（如圖一——1）。

2.把 10%CaCl₂ 溶液滴入 2%海藻酸鈉溶液進行反轉交聯（如圖一——3）。

(四) 實驗結果：

1.基本交聯會隨著海藻酸鈉滴下去的形狀而改變（如圖一——2）。

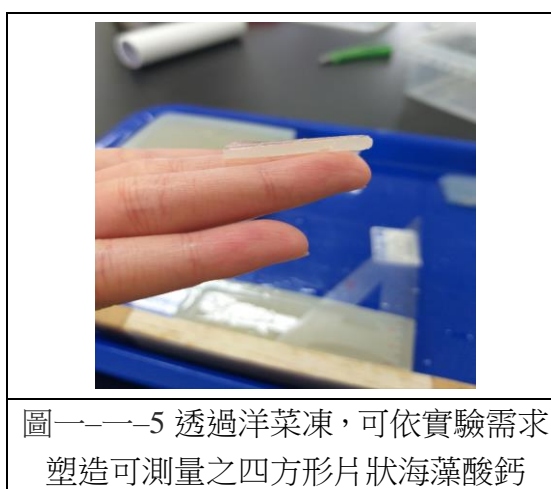
2.反轉交聯時因為海藻酸鈉過於濃稠，沒辦法形成球形，反而變成不規則的形狀（如圖一——4）。



(五) 實驗討論：

1.如果要進行後續實驗，必須將海藻酸鈣的形狀固定或可被測量，所以參考了歷屆科展，把 CaCl₂ 固定在一定大小與面積的洋菜凍裡（如圖一——5），浸於海藻酸鈉生成海藻酸鈣，進行實驗觀察。

2.結果如圖一——6，成功交聯出片狀海藻酸鈣，故以下各實驗皆以此方式進行交聯。

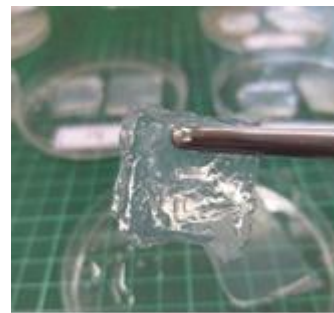


研究一結論：

(一) 我們由實驗找到生成片狀海藻酸鈣的好方法，能夠方便測量與實驗。

(二) 發現原來透明海藻酸鈣薄膜的生成很有趣，到底是靠近洋菜凍的海藻酸鈣是新形成的，還是靠近海藻酸鈉的海藻酸鈣是新形成的呢？洋菜凍中未交聯的 Ca^{2+} 是通過已形成的

海藻酸鈣與海藻酸鈉交聯，有哪些因素影響它的形成？過去大部分研究都著重海藻酸鈣的應用，少有交聯反應的研究，因此， Ca^{2+} 與海藻酸鈉的交聯反應非常值得研究。



圖一—一—6 片狀海藻酸鈣

二、研究二 探討海藻酸鈣的生長過程與順序

研究二—一 探討海藻酸鈣生成方向與順序

(一) 實驗目的：探討 Ca^{2+} 是否能通過已形成的海藻酸鈣與海藻酸鈉交聯，推測海藻酸鈣的形成順序。

(二) 實驗藥品：30×30×2.55mm 的 10% CaCl_2 洋菜凍、2%海藻酸鈉， CaCl_2 洋菜凍熬煮過程如下：

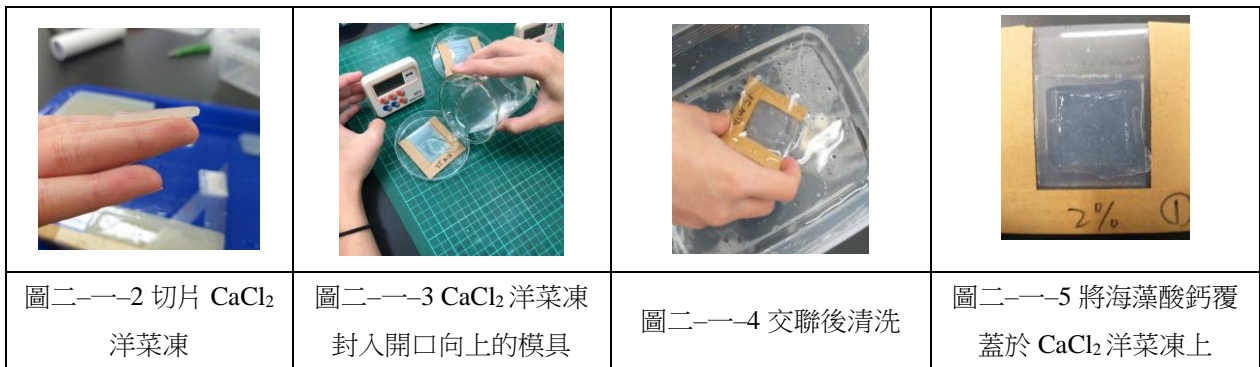
於水中加入 CaCl_2 → 待 CaCl_2 全溶加入洋菜粉 → 小火熬煮 → 煮滾後待 10 分鐘關火 → 放涼（如圖二—一—1）。

(三) 實驗步驟：

1. 將切片 CaCl_2 洋菜凍裝入自製模具再放入培養皿（圖二—一—2）。
2. 在培養皿內倒入 75ml 的 2%海藻酸鈉（如圖二—一—3），交聯 15 分鐘。
3. 將模具夾起並用蒸餾水清洗表面殘餘的海藻酸鈉（如圖二—一—4）。
4. 將已生成的海藻酸鈣覆蓋於 CaCl_2 洋菜凍上（如圖二—一—5）再次使用 2%海藻酸鈉進行交聯 15 分鐘，並測量生成之海藻酸鈣厚度。



圖二—一—1 煮洋菜凍



(四) 實驗結果：

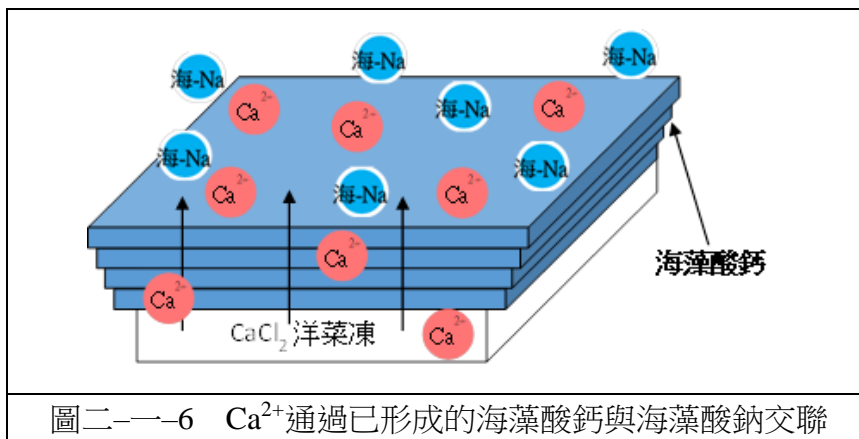
- 1.分別測量直接於 CaCl_2 洋菜凍上交聯生成的海藻酸鈣與透過已生成的海藻酸鈣再次交聯生成的海藻酸鈣的厚度，並記錄於表二一一-1。
- 2.透過海藻酸鈣再次交聯生成的海藻酸鈣厚度 < 直接於 CaCl_2 洋菜凍上交聯生成的海藻酸鈣厚度。

表二一一-1 海藻酸鈣厚度(mm)

	直接於 CaCl_2 洋菜凍上交聯生成	透過海藻酸鈣再次交聯生成
第 1 組	1.90	1.20
第 2 組	2.00	1.25
第 3 組	2.00	1.25
第 4 組	1.90	1.40
第 5 組	2.15	1.20
平均	1.99	1.26

(五) 實驗討論：

- 1.透過實驗結果可知海藻酸鈣的形成過程是 CaCl_2 洋菜凍中的 Ca^{2+} 通過已形成的海藻酸鈣再與海藻酸鈉交聯（如圖二一一-6）。



- 2.進而推測靠近 CaCl_2 洋菜凍的海藻酸鈣是先形成的，靠近海藻酸鈉的海藻酸鈣則是

後形成的。另外，透過不同形狀的海藻酸鈣表面不同的紋路，是否也能證明海藻酸鈣形成的方向？

研究二—1—1 探討不同形狀的海藻酸鈣表面的不同紋路，推測海藻酸鈣的形成順序

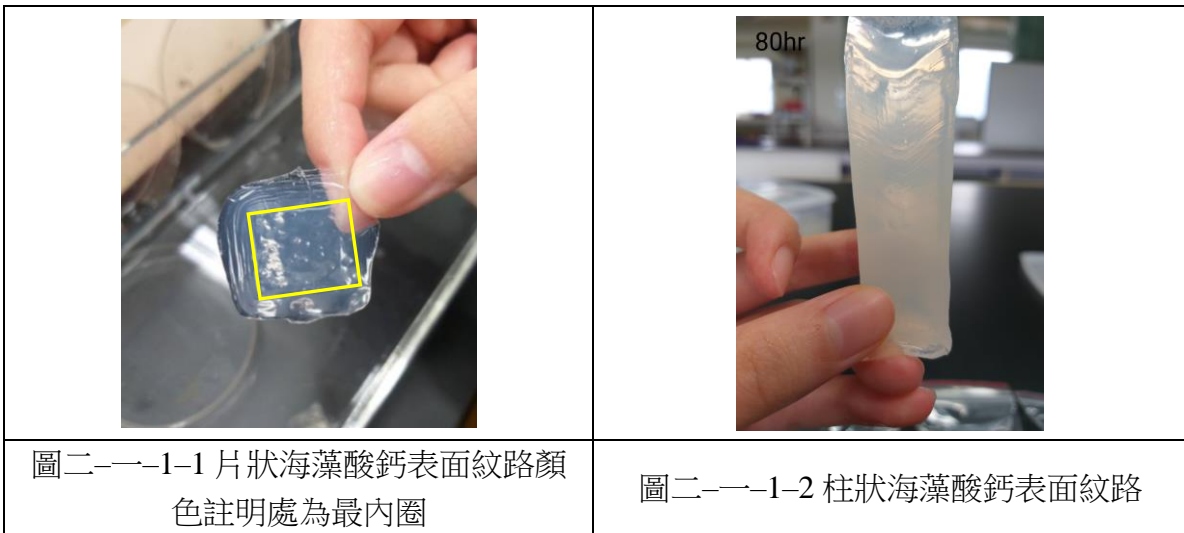
(一) 實驗目的：依照不同形狀的海藻酸鈣表面的不同紋路，推測海藻酸鈣的形成順序。

(二) 實驗步驟：

1.藥品同研究二—1，分別製作片狀、柱狀的海藻酸鈣（如圖二—1—1-1、圖二—1—1-2），觀察並比較外型與表面的紋路。

(三) 實驗結果：

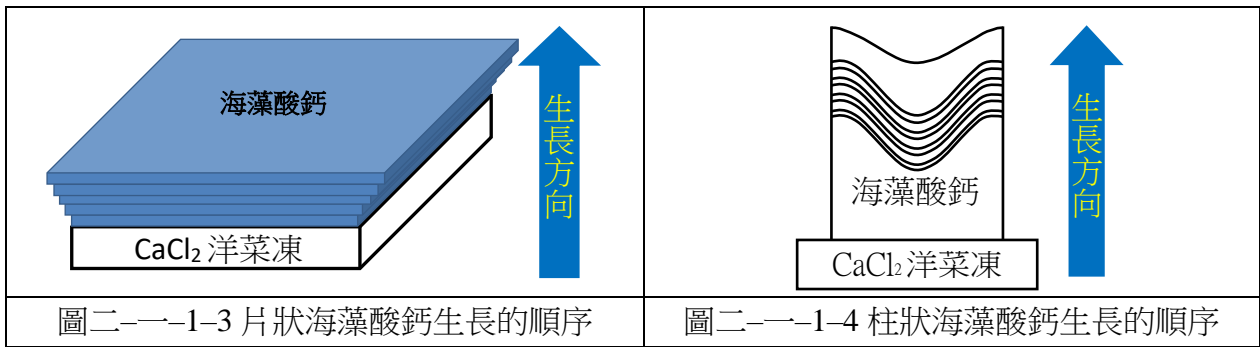
1.特殊的紋路成堆疊式的層層向上或向外排列。



(四) 實驗討論：

1.片狀海藻酸鈣生長的順序如圖二—1—1-3，最內側的第一層為模具方框的形狀，之後慢慢往外擴張並向上堆疊，因為 CaCl_2 洋菜凍表面形成海藻酸鈣後， Ca^{2+} 再穿過此層向上並向外再次生成新一層較大的海藻酸鈣。

2.柱狀海藻酸鈣層層堆積的紋路依舊明顯，生長的順序如圖二—1—1-4，因有模具限制海藻酸鈣的形狀，使其無法向外擴張故四角較高。



圖二—1—1-3 片狀海藻酸鈣生長的順序

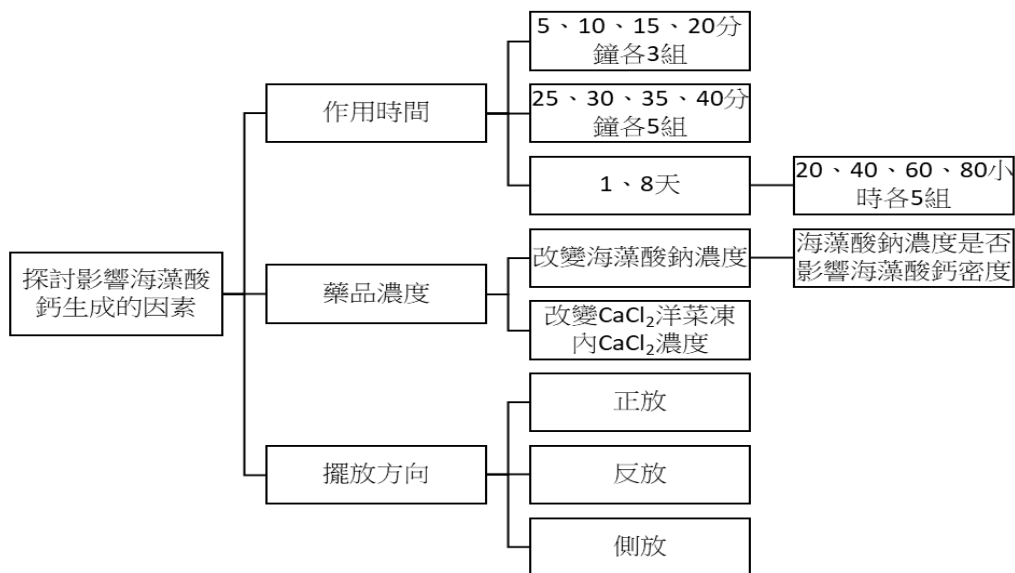
圖二—1—1-4 柱狀海藻酸鈣生長的順序

研究二結論：

- (一) 海藻酸鈣的生長過程與方向是 Ca^{2+} 通過已形成的海藻酸鈣再與海藻酸鈉交聯。
- (二) 靠近 CaCl_2 洋菜凍的海藻酸鈣是先形成的，靠近海藻酸鈉的海藻酸鈣則是後形成的。

三、 研究三 探討影響海藻酸鈣生成的因素

實驗架構：

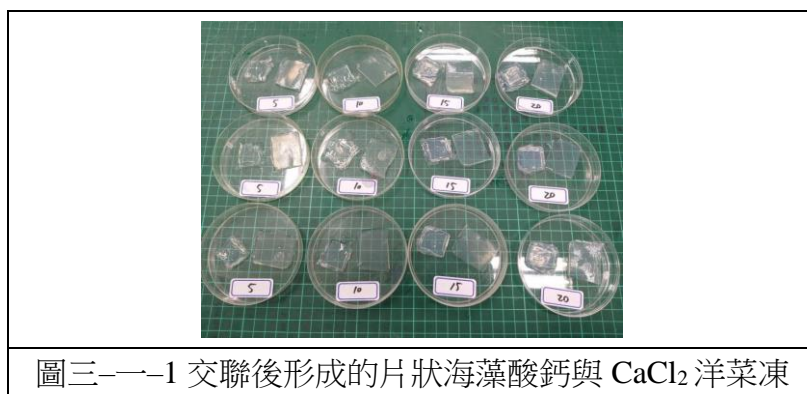


研究三—1 探討作用時間長短對海藻酸鈣厚度的影響

- (一) 實驗目的：探討分別作用 5、10、15、20 分鐘的 CaCl_2 洋菜凍，測量海藻酸鈣厚度。
- (二) 實驗步驟：
 1. 同研究二—1 步驟 1~3，分別作用 5、10、15、20 分鐘的 CaCl_2 洋菜凍各 3 組，共 12 組，測量海藻酸鈣厚度，觀察並紀錄之。

(三) 實驗結果：

- 1.分別測量 12 組海藻酸鈣厚度，並記錄結果於表三—1—1。



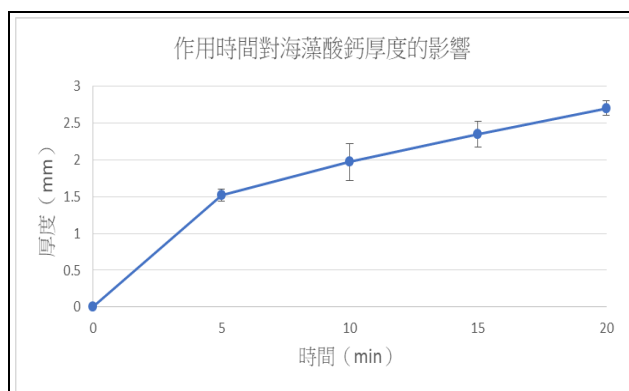
圖三—1—1 交聯後形成的片狀海藻酸鈣與 CaCl₂ 洋菜凍

表三—1—1 海藻酸鈣厚度變化量(mm)

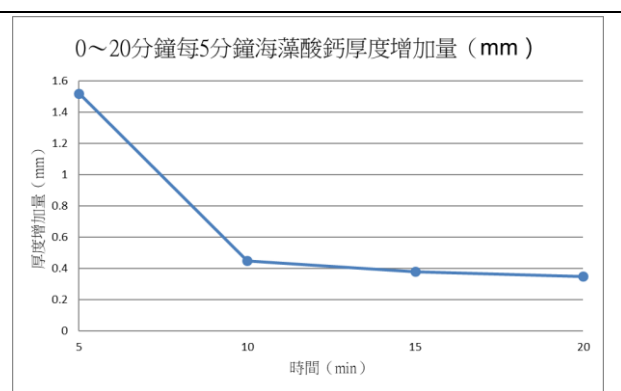
時間 (min)	第一組	第二組	第三組	平均	每5分鐘厚度增加量
5	1.45	1.60	1.50	1.52	1.52
10	1.85	2.25	1.80	1.97	0.45
15	2.25	2.55	2.25	2.35	038
20	2.80	2.60	2.70	2.70	0.35

(四) 實驗討論：

- 1.由表三—1—1 得知，海藻酸鈣的生成受作用時間影響，結果如圖三—1—2，時間越長海藻酸鈣厚度就越厚。



圖三—1—2 時間越長厚度越厚

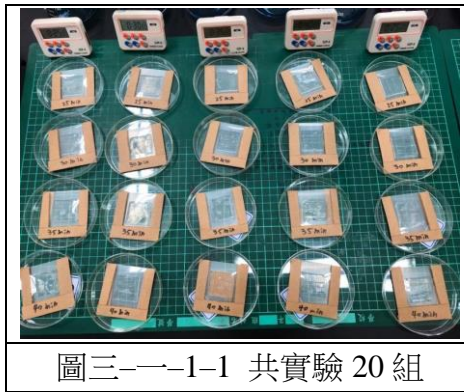


圖三—1—3 0~20 分鐘每 5 分鐘厚度增加量

- 2.每 5 分鐘厚度增加量如圖三—1—3，時間越長增加量越少的趨勢。
- 3.雖有發現增加量逐漸減少，但未停止生長。

研究三—1—1 增長作用時間

- (一) 實驗目的：讓作用時間增長，觀察是否有停止生長的趨勢。
- (二) 實驗步驟：除了作用時間調為 25、30、35、40 分鐘，各做 5 組，其餘同研究三—1—。



圖三—1—1-1 共實驗 20 組

(三) 實驗結果：

1.分別測量 20 組海藻酸鈣厚度，並記錄結果於表三—1—1-1。

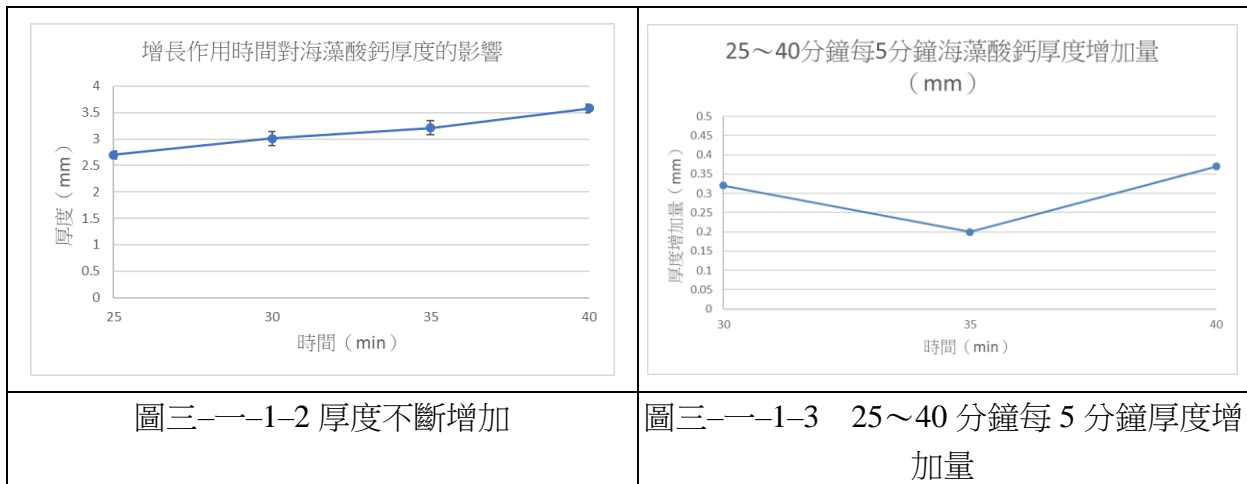
表三—1—1-1 海藻酸鈣厚度變化量(mm)

時間 (min)	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均	每 5 分鐘厚度增加量 (mm)
25	2.80	2.65	2.75	2.65	2.65	2.70	
30	2.90	3.15	3.10	2.90	3.65	3.01	0.32
35	3.35	3.00	3.30	3.20	3.20	3.21	0.20
40	3.50	3.60	3.70	3.50	3.60	3.58	0.37

顏色標記處數據不計

(四) 實驗討論：

1.由圖三—1—1-2 得知，雖然增加量減少，厚度還是不斷增加，且由圖三—1—1-3 得知，每 5 分鐘厚度增加量很接近，海藻酸鈣不斷的生長卻沒有極限，真是耐人尋味。



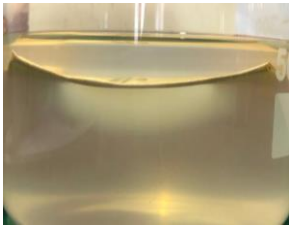

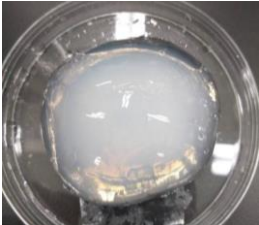
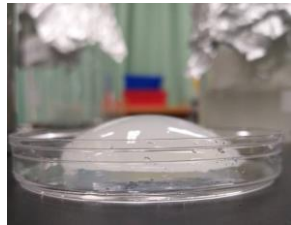




研究三—1—2 探究長時間浸泡對海藻酸鈣厚度的影響

(一) 實驗目的：探討海藻酸鈣厚度的極限

(二) 實驗步驟：除了將作用時間改為 1 天、8 天，改為倒放之外，其餘同研究三—一。

(三) 實驗結果：

1. 下圖三—一—2—1～三—一—2—4 為浸泡 1 天之海藻酸鈣，圖三—一—2—5～三—一—2—8 則為浸泡 8 天之海藻酸鈣的觀察照片。

浸泡 1 天後取出			
			
圖三—一—2—1 於燒杯內之生長情形	圖三—一—2—2 交聯後情形	圖三—一—2—3 下方光滑面	圖三—一—2—4 海藻酸鈣側面
浸泡 8 天後取出			
			
圖三—一—2—5 取出後燒杯內剩餘海 藻酸鈣減少	圖三—一—2—6 形似歐姆蛋	圖三—一—2—7 海藻酸鈣側面	圖三—一—2—8 正中央上方與洋菜凍 接觸面較為粗糙

2. 測量海藻酸鈣厚度，並記錄結果於表三—一—2—1。

表三—一—2—1 海藻酸鈣厚度變化情形

浸泡天數	厚度 (mm)	與作用 40 分鐘生成的海藻酸鈣比較
1 天	16.6	5 倍
8 天	19.2	6 倍

(四) 實驗討論：

1. 由表三—一—2—1 發現長時間浸泡後形成的海藻酸鈣竟是作用 40 分鐘生成的海藻酸鈣的好幾倍，但厚度卻不是等比例放大，應有其他因素使其厚度增量趨緩。

2. 以外型而言，浸泡過 1 天、8 天形成的海藻酸鈣已超出我們限制的 2.5×2.5cm 的開口，且形似「歐姆蛋」，中間較厚外圍則較薄，與洋菜凍的接觸面較粗糙和海藻酸鈣的接觸面則光滑柔軟。

3. 發現問題：

(1) 海藻酸鈣外型經長時間浸泡後不成正方形薄片，而是形似歐姆蛋，形狀不受控制，若在模具開口上添加圍牆來限制生長的形狀，不知效果如何。

(2) 因為作用時間從 1 天直接跳到 8 天，難以看出厚度在何時到達極限，之後將把時間縮短，探討厚度到達極限所需的時間。

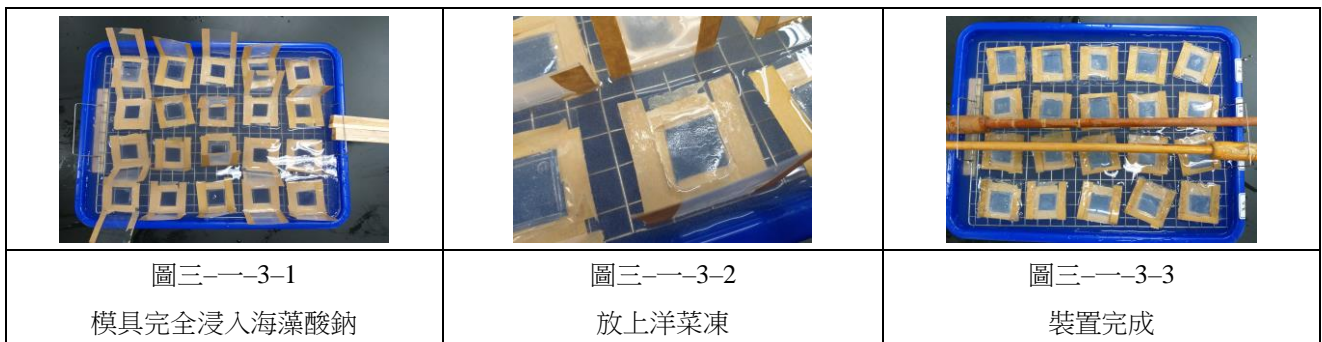
研究三—1—3 探討海藻酸鈣厚度到達極限所需的時間

(一) 實驗目的：探討海藻酸鈣厚度的極限

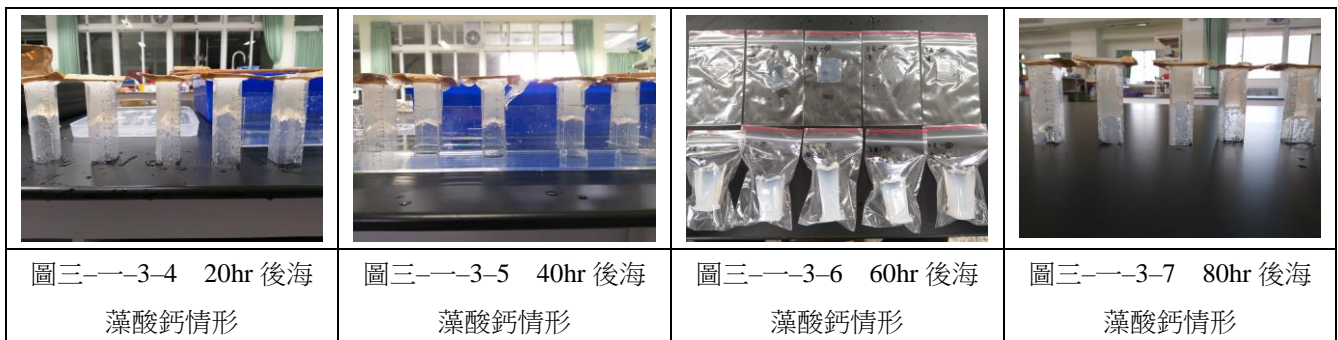
(二) 實驗步驟：

1. 在一個盆子內倒入 12 公升 2% 海藻酸鈉，將 20 組加高模具倒放至網格上並放入海藻酸鈉（如圖三—1—3-1），且將 20 片 CaCl_2 洋菜凍置於各模具開口上（如圖三—1—3-2），用釘書機將模具三邊密封（如圖三—1—3-3）。

2. 分別於 20hr 後、40hr 後、60hr 後、80hr 後各取出 5 組，觀察其外型並測量其高度。



(三) 實驗結果：



1. 20hr 後測量 5 組海藻酸鈣高度，並記錄結果於表三—1—3-1。

表三—1—3-1 20hr 後海藻酸鈣高度(cm)

測量位置	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均
最低處	2.40	3.40	3.25	2.60	2.95	2.92
最高處	3.50	4.30	4.55	3.50	4.00	3.97
平均	2.95	3.85	3.90	3.05	3.48	3.45

2. 40hr 後測量 5 組海藻酸鈣高度，並記錄結果於表三—一—3-2。

表三—一—3-2 40hr 後海藻酸鈣高度(cm)

測量位置	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均
最低處	3.85	4.30	3.95	3.85	4.00	3.99
最高處	4.20	5.30	4.95	4.70	4.75	4.78
平均	4.03	4.80	4.45	4.28	4.38	4.39

3. 60hr 後測量 5 組海藻酸鈣高度，並記錄結果於表三—一—3-3。

表三—一—3-3 60hr 後海藻酸鈣高度(cm)

測量位置	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均
最低處	4.30	4.40	5.35	4.00	4.75	4.56
最高處	4.55	4.85	5.90	4.30	5.50	5.02
平均	4.43	4.63	5.63	4.15	5.13	4.79

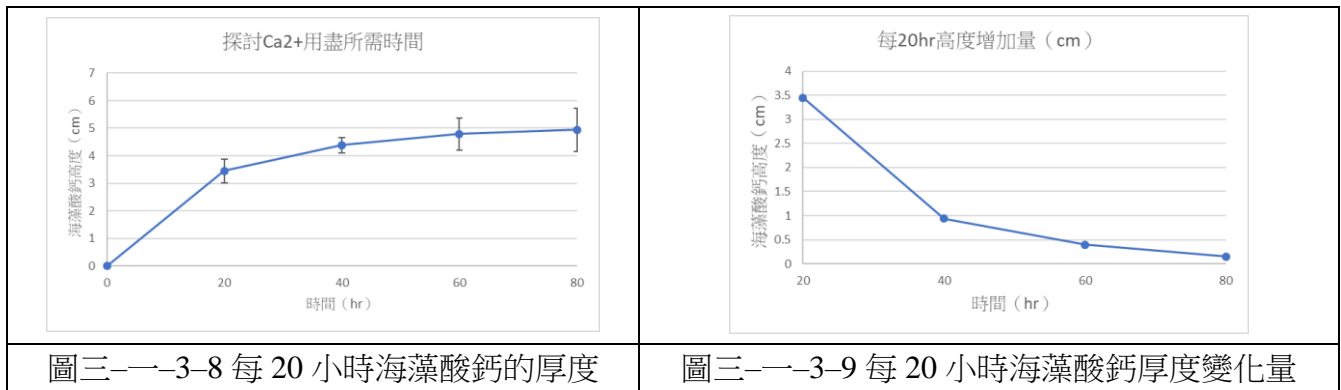
4. 80hr 後測量 5 組海藻酸鈣高度，並記錄結果於表三—一—3-4。

表三—一—3-4 80hr 後海藻酸鈣高度(cm)

測量位置	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均
最低處	6.70	5.20	3.75	4.40	5.55	5.12
最高處	7.30	5.70	4.30	4.75	5.90	5.59
平均	7.00	5.45	4.03	4.58	5.73	5.36

(四) 實驗討論：

1.將上表整理成圖三—一—3-8、三—一—3-9。



- 2.由圖三—一—3-8 可知海藻酸鈣厚度隨著時間越長厚度越厚，但厚度增加量逐漸趨緩，由圖三—一—3-9 可知雖然到了 80 小時增加量趨緩，CaCl₂ 洋菜凍中 Ca²⁺卻還沒用盡。
3. 圖三—一—3-9 與圖三—一—3 (0~20 分鐘每 5 分鐘厚度增加量) 有相似的趨勢，推測如下：

(1) 靠近 CaCl_2 洋菜凍的是直接於 CaCl_2 洋菜凍上生成之海藻酸鈣，後續幾層皆為 Ca^{2+} 穿過上一層海藻酸鈣再次生成之新的海藻酸鈣，隨著時間越長，海藻酸鈣越厚，下一層的 Ca^{2+} 也越不易穿過。

(2) 靠近 CaCl_2 洋菜凍處 CaCl_2 濃度較大，所生成之海藻酸鈣較厚，隨著時間越長，海藻酸鈣越厚， CaCl_2 濃度也越小，海藻酸鈣的生成也較慢。

結合以上兩種原因，故海藻酸鈣厚度增加量越來越少。

研究三-二 改變藥品濃度對海藻酸鈣厚度的影響

(一) 實驗目的：探討藥品濃度是否影響海藻酸鈣厚度

(二) 實驗藥品：含有 1%、5%、10% CaCl_2 的洋菜凍、海藻酸鈉濃度分別為 1%、1.5%、2%、2.5%、3%。

(三) 實驗步驟：

1. 用含有相同濃度 (10%) CaCl_2 的洋菜凍與濃度分別為 1%、1.5%、2%、2.5%、3% 的海藻酸鈉交聯，各 5 組，15 分鐘後觀察並測量其厚度。

2. 用相同濃度 (2%) 海藻酸鈉與 CaCl_2 濃度分別為 1%、5%、10% 的洋菜凍交聯，各 5 組，15 分鐘後觀察並測量其厚度。

(四) 實驗結果：

1. 濃度 10% 的 CaCl_2 洋菜凍分別與不同濃度的海藻酸鈉作用，測量其形成的海藻酸鈣厚度，並記錄於表三-二-1。

表三-二-1 不同濃度的海藻酸鈉生成的海藻酸鈣厚度 (mm)

海藻酸鈉濃度	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均
1.0%	2.25	1.80	1.85	2.20	2.45	2.11
1.5%	2.45	2.40	2.15	2.00	2.40	2.28
2.0%	2.25	2.20	2.25	2.10	2.15	2.19
2.5%	2.10	2.15	2.00	2.15	1.95	2.07
3.0%	1.90	1.90	1.90	2.05	2.15	1.98

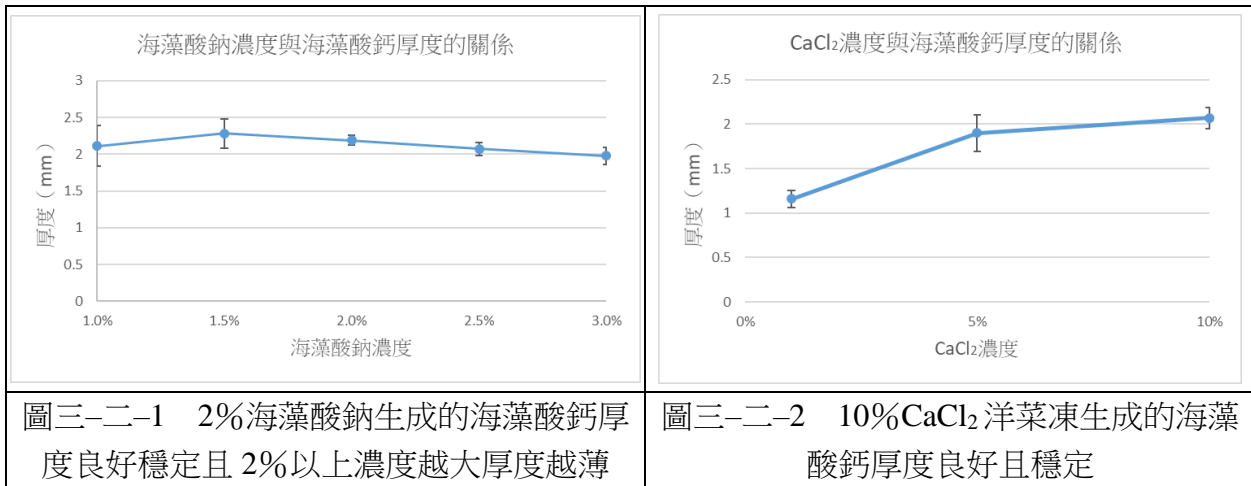
2. 濃度 2% 的海藻酸鈉分別與不同濃度的 CaCl_2 洋菜凍作用，測量其形成的海藻酸鈣厚度，並記錄於表三-二-2。

表三-二-2 不同濃度的 CaCl₂ 洋菜凍生成的海藻酸鈣厚度 (mm)

CaCl ₂ 洋菜凍濃度	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均
1%	1.20	1.15	1.20	1.25	1.00	1.16
5%	1.75	2.10	1.75	2.15	1.75	1.90
10%	2.20	2.10	2.15	2.00	1.90	2.07

(五) 實驗討論：

1.將上表整理成圖三-二-1、圖三-二-2。

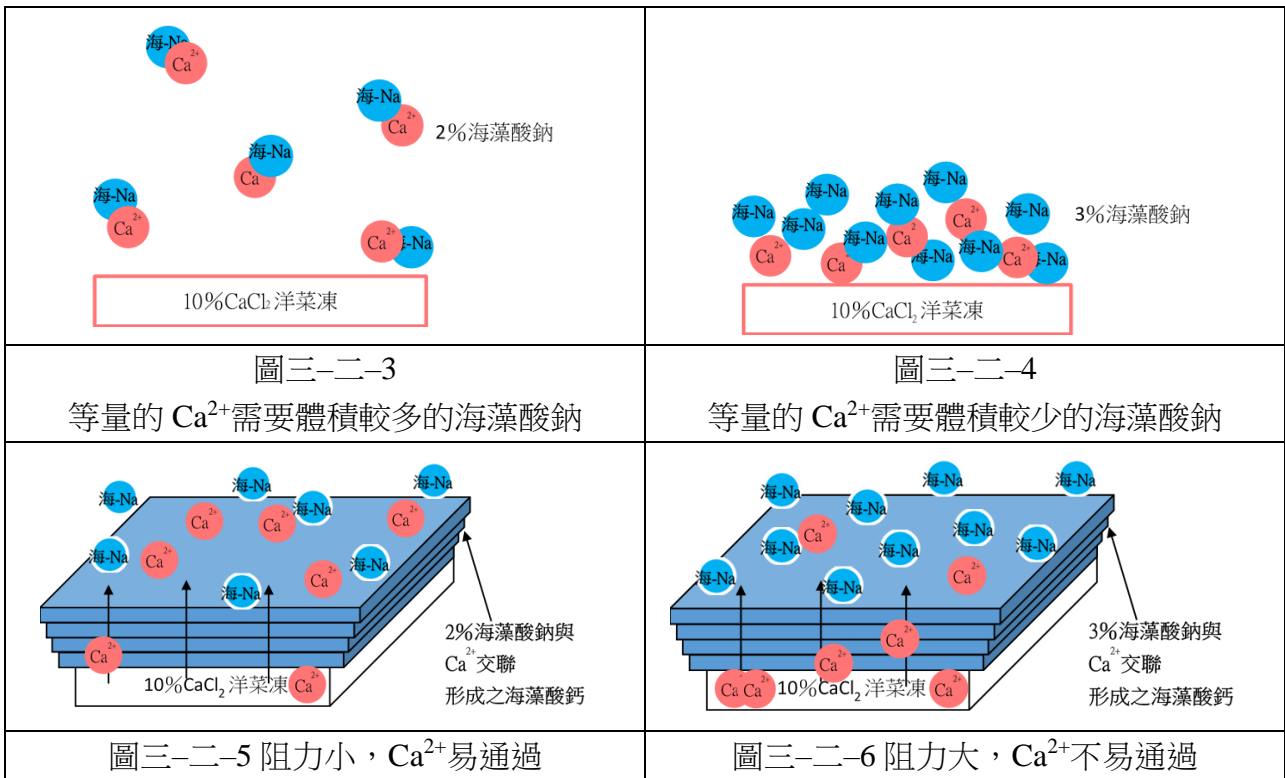


2.由表三-二-1 及圖三-二-1 得知，海藻酸鈉濃度在 1%、1.5%時厚度不穩定。

3. 2%、2.5%、3%海藻酸鈉濃度越大，厚度越薄，其結果相當有趣，推測如下：

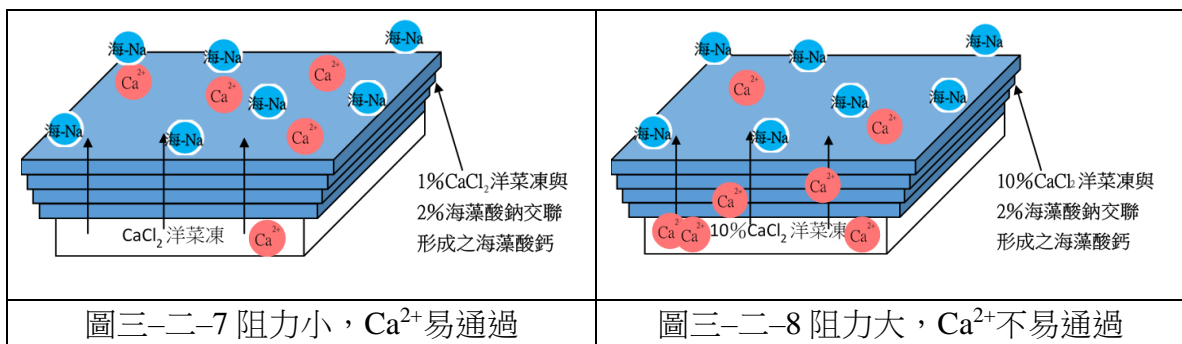
(1) 2%海藻酸鈉單位體積內個數比 2.5%、3%海藻酸鈉來的少，與等量的 Ca²⁺交聯時，2%海藻酸鈉需要的體積較多，故 2%海藻酸鈉與 Ca²⁺交聯形成的海藻酸鈣較厚，2.5%、3%海藻酸鈉與 Ca²⁺交聯形成的海藻酸鈣則較薄（如圖三-二-3、4）。

(2) 濃度小的海藻酸鈉與 Ca²⁺交聯形成的海藻酸鈣對 Ca²⁺通過阻力較小，洋菜凍中的 Ca²⁺易通過，單位時間內形成的海藻酸鈣較厚；濃度大的海藻酸鈉與 Ca²⁺交聯形成的海藻酸鈣對 Ca²⁺通過阻力則較大，洋菜凍中的 Ca²⁺不易通過，單位時間內形成的海藻酸鈣較薄（如圖三-二-5、6）。



4.由表三-二-2 及圖三-二-2 得知， CaCl_2 洋菜凍濃度越大，海藻酸鈣厚度越厚，因此得知 10% CaCl_2 洋菜凍生成的海藻酸鈣厚度良好且穩定。

5.由表三-二-2 發現，10% CaCl_2 洋菜凍生成之海藻酸鈣不是 1% CaCl_2 洋菜凍的 10 倍，推測此實驗影響海藻酸鈣厚度的因素除了 CaCl_2 洋菜凍，還有其生成的海藻酸鈣對 Ca^{2+} 通過的阻力， CaCl_2 洋菜凍濃度越大，所生成的海藻酸鈣讓 Ca^{2+} 越不易通過（如圖三-二-7、8）。



6.使用 1%與 1.5%的海藻酸鈉倒在裝著 CaCl_2 洋菜凍的模具上後，因為 1%與 1.5%的海藻酸鈉較不濃稠，模具會浮上來，進而探討將模具開口朝下，讓 CaCl_2 洋菜凍向下浮於海藻酸鈉是否會影響海藻酸鈣的厚度。

7.在配製 2.5%、3%的海藻酸鈉時太濃稠需要長時間調配，且生成的海藻酸鈣較 2%海藻酸鈉的薄，所以建議實驗皆使用 2%的海藻酸鈉。

研究三-二-1 探討海藻酸鈉濃度對 Ca^{2+} 通過阻力的影響

(一) 實驗目的：由研究三-二得知海藻酸鈉濃度越大，生成的海藻酸鈣越薄，推測海藻酸鈉濃度越大，生成的海藻酸鈣阻力越大， Ca^{2+} 越不易通過，此研究探討濃度大的海藻酸鈉生成的海藻酸鈣是否影響 Ca^{2+} 通過。

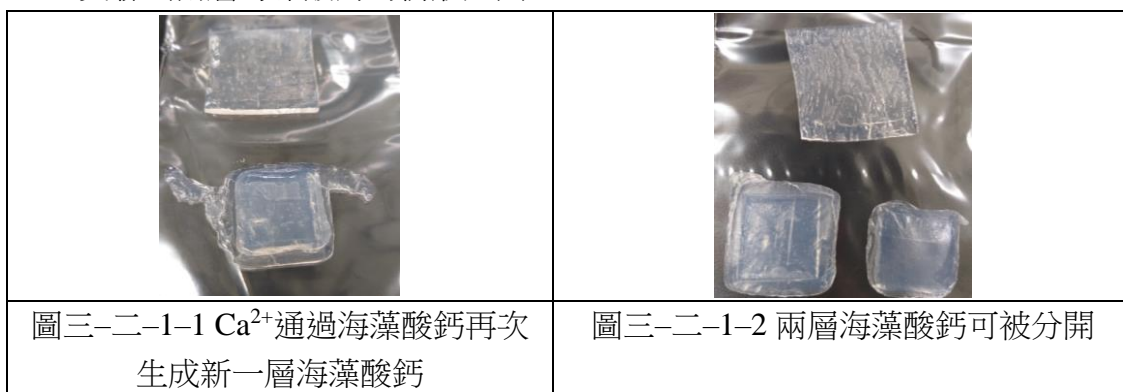
(二) 實驗藥品：2%、3%海藻酸鈉、10% CaCl_2 洋菜凍。

(三) 實驗步驟：

1. 使用 2%、3%海藻酸鈉各製作五組片狀海藻酸鈣，再使用 2%海藻酸鈉與通過海藻酸鈣後的 Ca^{2+} 生成新一層海藻酸鈣。

(四) 實驗結果：

1. 交聯出兩層海藻酸鈣的情形如圖三-二-1-1、三-二-1-2。



2. 分別測量兩層海藻酸鈣厚度，並記錄於表三-二-1-1。

表三-二-1-1 海藻酸鈣厚度 (mm)

	直接於 CaCl_2 洋菜凍上交聯生成		透過海藻酸鈣再次交聯生成	
	使用 2% 海藻酸鈉生成	使用 3% 海藻酸鈉生成	原使用 2% 海藻酸鈉生成的海藻酸鈣	原使用 3% 海藻酸鈉生成的海藻酸鈣
第 1 組	1.90	1.90	1.20	1.30
第 2 組	2.00	1.95	1.25	1.15
第 3 組	2.00	2.00	1.25	1.30
第 4 組	1.90	2.05	1.40	1.30
第 5 組	2.15	2.10	1.20	1.40
平均	1.99	2.00	1.26	1.29

(五) 實驗討論：

1. 可知濃度大的海藻酸鈉生成的海藻酸鈣不影響 Ca^{2+} 通過。

研究三-三 觀察正放及反放的 CaCl_2 洋菜凍對海藻酸鈣厚度的影響

(一) 實驗目的：探討反放的 CaCl_2 洋菜凍交聯的效果會不會與正放有差異。

(二) 實驗步驟：

正放與反放分別作用 15、20、25、30、35 分鐘的 CaCl_2 洋菜凍各 5 組，共 50 組，測量海

藻酸鈣的厚度。

- 1.正放實驗裝置：將裝著 CaCl_2 洋菜凍的模具開口朝上置於培養皿內，倒入 75ml 的海藻酸鈉（如圖三-三-1），並同時按下計時器。
- 2.反放實驗裝置：在培養皿內倒入 75ml 的海藻酸鈉，將裝著 CaCl_2 洋菜凍的模具開口朝下倒放在海藻酸鈉表面（如圖三-三-2），並同時按下計時器。
- 3.時間到設定值時將模具整個夾起並用蒸餾水清洗表面殘餘的海藻酸鈉。



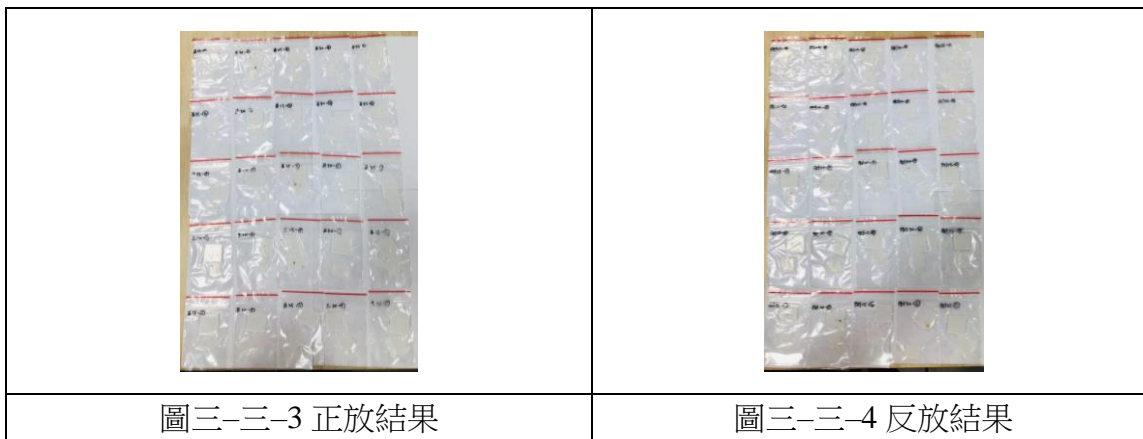
圖三-三-1 正放實驗裝置，
海藻酸鈣由下往上生成



圖三-三-2 反放實驗裝置，
海藻酸鈣由上往下生成

（三）實驗結果：

- 1.交聯後的海藻酸鈣如圖三-三-3、圖三-三-4。



- 2.分別測量 50 組海藻酸鈣厚度，並記錄結果於表三-三-1 及表三-三-2。

表三-三-1 正放裝置生成之海藻酸鈣厚度（mm）

時間	15min	20min	25min	30min	35min
第 1 組	2.20	2.50	2.60	2.80	3.10
第 2 組	2.15	2.50	2.55	2.90	3.20
第 3 組	2.20	2.40	2.65	2.90	3.25
第 4 組	2.15	2.40	2.50	2.75	3.20
第 5 組	2.20	2.40	2.65	2.90	3.20
平均	2.18	2.44	2.59	2.85	3.19

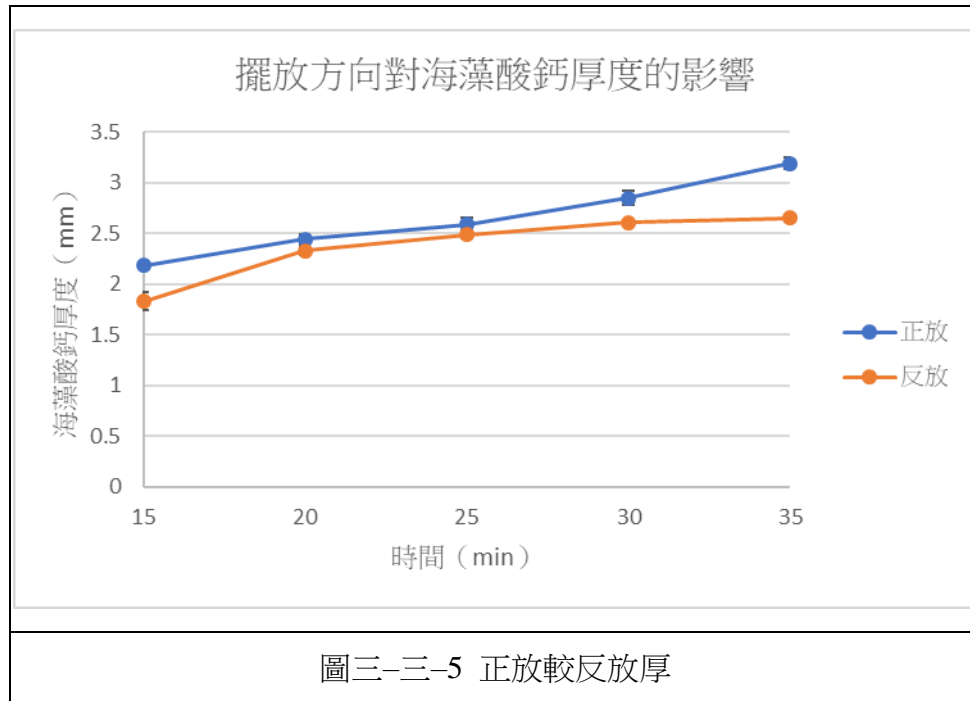
表三-三-2 反放裝置生成之海藻酸鈣厚度 (mm)

時間	15min	20min	25min	30min	35min
第 1 組	1.70	2.30	2.55	2.60	2.70
第 2 組	1.85	2.30	2.45	2.60	2.65
第 3 組	1.90	2.30	2.45	2.60	2.65
第 4 組	1.80	2.35	2.50	2.60	2.60
第 5 組	1.90	2.40	2.50	2.65	2.65
平均	1.83	2.33	2.49	2.61	2.65

3.由表三-三-1 及表三-三-2 得知正放裝置所生成之海藻酸鈣較反放裝置厚。

(四) 實驗討論：

1.將上表整理成圖三-三-5，得知正放的海藻酸鈣較反放厚。



2.海藻酸鈉濃度相同時，擺放位置竟然會影響海藻酸鈣的厚度，由研究三-二可知，當海藻酸鈉濃度大於 2%時，會隨著濃度越大厚度越薄，所以必須排除是海藻酸鈉濃度因沉降而越濃的假設。

3.反放開口向下會讓洋菜凍裡的 Ca^{2+} 產生沉降，所生成的海藻酸鈣結構密實讓 Ca^{2+} 不易通過，而較薄；正放開口向上，底部因模具限制關係，所以在交聯過程 Ca^{2+} 沒有沉降現象干擾，所生成的海藻酸鈣讓 Ca^{2+} 易通過且阻力較小，而較厚。側放是否也會是相同結果？

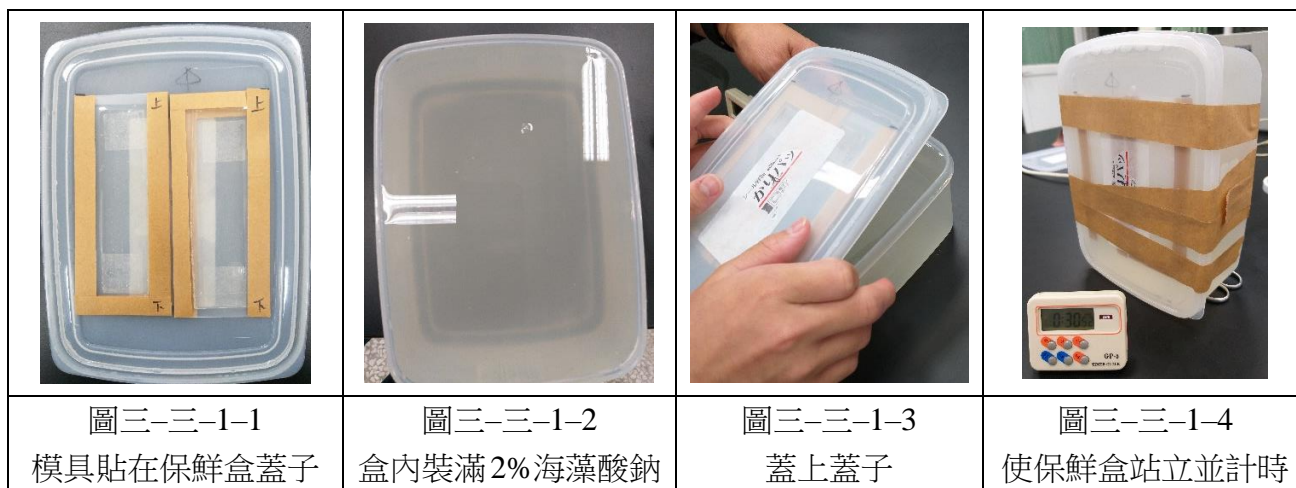
研究三-三-1 探討側放對海藻酸鈣厚度的影響

(一) 實驗目的：探討模具側放是否會影響海藻酸鈣的厚度

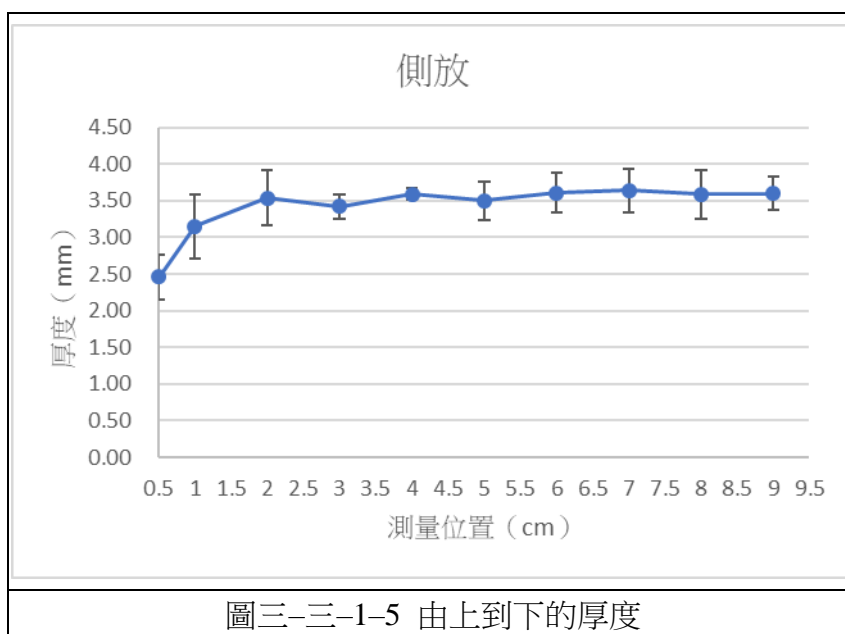
(二) 實驗器具：30×120×2.55mm 的 CaCl_2 洋菜凍 5 片、模具開口為 10.5×2.5cm、保鮮盒

(三) 實驗步驟：

1.將切片 CaCl_2 洋菜凍放入模具中，將保鮮盒內裝滿 2% 的海藻酸鈉，並將模具貼在保鮮盒的蓋子上，蓋上蓋子後，使其站立，計時 35 分鐘。



(四) 實驗結果：



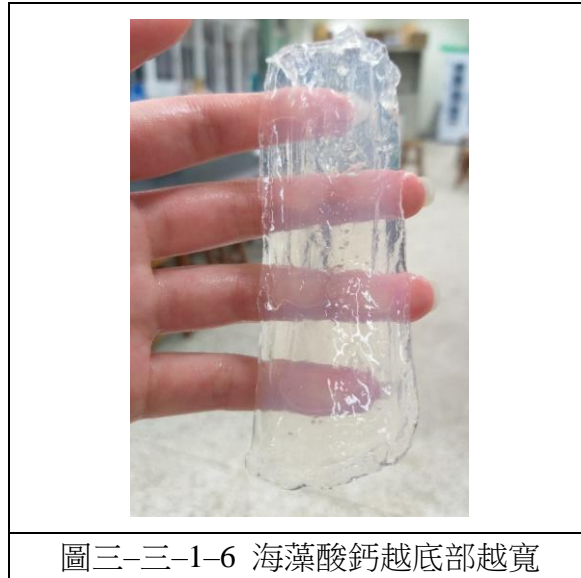
(五) 實驗討論：

1.由圖三-三-1-5 可知海藻酸鈣 1.5cm 前厚度較薄，之後較穩定，平均約 3.50mm。

2.與研究三-三結果相同，模具開口朝下接觸海藻酸鈉向下生長交聯成的海藻酸鈣較薄，由研究三-二可知濃度越大的 CaCl_2 生成的海藻酸鈣越厚，推論 CaCl_2 洋菜凍越

底層濃度越高，雖然生成的海藻酸鈣較密，但含有較多 Ca^{2+} ，所以厚度較厚；海藻酸鈣 0.5~1.5cm 處雖然生成的海藻酸鈣較疏，但含有較少 Ca^{2+} ，所以厚度較薄。

3.由圖三-三-1-6 可知雖然厚度沒有增加很多，但海藻酸鈣越底部越寬，推測 CaCl_2 洋菜凍底部可以釋放較多的 Ca^{2+} ，由此推論 CaCl_2 洋菜凍內的 Ca^{2+} 會沉降。



研究三結論：

(一) 由研究三-一~三-一-3 可知，海藻酸鈣在一開始是由 CaCl_2 洋菜凍上直接與海藻酸鈉交聯，不須通過先形成的海藻酸鈣就可形成，所以一開始形成的海藻酸鈣會比較厚，且雖然作用時間到了 80hr 厚度增加量趨緩，生長卻沒有停下。

(二) 由研究三-二~三-二-1 可知海藻酸鈉和 CaCl_2 的濃度對海藻酸鈣的厚度有影響，海藻酸鈉的濃度大於 2% 時，隨著濃度增加，形成的海藻酸鈣厚度會越薄。 CaCl_2 洋菜凍的濃度越大，形成的海藻酸鈣厚度越厚。不過海藻酸鈉濃度不影響生成的海藻酸鈣對於 Ca^{2+} 通過的難易度。

(三) 由研究三-三~三-三-1 可知，正放比反放厚，反放會讓洋菜凍裡的 Ca^{2+} 產生沉降，生成的海藻酸鈣結構密實讓 Ca^{2+} 不易通過，而較薄；正放因模具限制關係，在交聯過程 Ca^{2+} 沒有沉降現象干擾，所生成的海藻酸鈣讓 Ca^{2+} 易通過且阻力較小，而較厚。由研究三-三-一可知，側放所形成的海藻酸鈣上薄下厚，因 CaCl_2 濃度越大厚度越厚，推論 CaCl_2 洋菜凍越底層濃度越高，雖然底部生成的海藻酸鈣較密，但含有較多 Ca^{2+} ，所以厚度較厚；雖然海藻酸鈣 0.5~1.5cm 處生成的海藻酸鈣較疏，但含有較少 Ca^{2+} ，所以厚度較薄。

四、研究四 探討海藻酸鈣浸泡於水中是否會放出 Ca^{2+}

研究四— 探討海藻酸鈣浸泡於水中是否會放出 Ca^{2+}

(一) 實驗目的：探討海藻酸鈣內是否有尚未作用的 Ca^{2+}

(二) 實驗藥品：3 片海藻酸鈣（取自研究三，皆使用 2% 海藻酸鈉、10% CaCl_2 洋菜凍、作用時間 15min、所生成厚度 2.25mm 的方形薄片）、EBT 指示劑、緩衝液、EDTA。

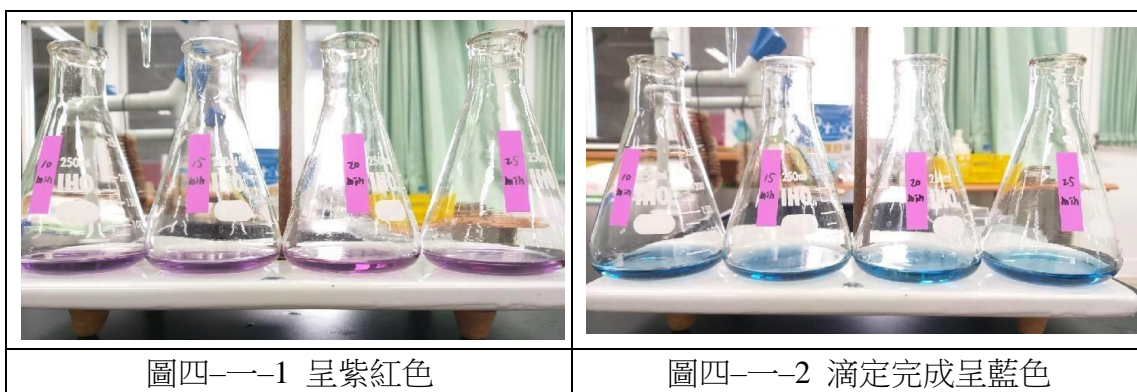
(三) 實驗器材：燒杯、鑷子、計時器、移液管、錐形瓶、滴定管、漏斗。

(四) 實驗步驟：

1. 將三片海藻酸鈣分別浸泡於 100ml 蒸餾水中，並同時按下計時器。

2. 分別於 10、15、20、25 分鐘時於三杯內各取 20ml 的溶液放入錐形瓶，各加入 2 滴 EBT 指示劑及 10 滴緩衝液（完成後呈紫紅色）（如圖四—1—1）。

3. 使用 EDTA 滴定溶液中含鈣量（滴定完成呈藍色）（如圖四—1—2），並記錄之。



圖四—1—1 呈紫紅色

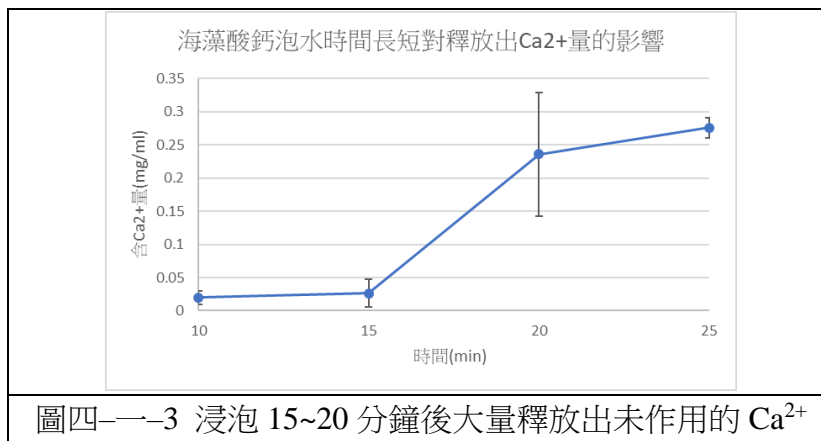
圖四—1—2 滴定完成呈藍色

(五) 實驗結果：

1. 將上述步驟 12 瓶溶液進行滴定後，計算出含 Ca^{2+} 量記錄於表四—1—1。

表四—1—1 含 Ca^{2+} 量

	浸泡時間 (min)	10 min	15 min	20 min	25 min
第 1 組	EDTA 量 (ml)	0.50	1.00	5.50	5.20
	含 Ca^{2+} 量 (mg/ml)	0.03	0.05	0.28	0.26
第 2 組	EDTA 量 (ml)	0.30	0.45	6.00	5.55
	含 Ca^{2+} 量 (mg/ml)	0.02	0.02	0.30	0.28
第 3 組	EDTA 量 (ml)	0.10	0.20	2.60	5.80
	含 Ca^{2+} 量 (mg/ml)	0.01	0.01	0.13	0.29
平均	EDTA 量 (ml)	0.30	0.55	4.70	5.52
	含 Ca^{2+} 量 (mg/ml)	0.02	0.03	0.24	0.28



圖四—1—3 浸泡 15~20 分鐘後大量釋放出未作用的 Ca²⁺

(六) 實驗討論：

- 1.由圖四—1—3 得知，浸泡 10~15 分鐘後的溶液含 Ca²⁺量差異不大，到了 20 分鐘溶液含 Ca²⁺量上升很多，20~25 分鐘含 Ca²⁺量又漸於平緩，推測 15~20 分鐘內，海藻酸鈣的結構發生變化，導致裡面殘留的 Ca²⁺大量跑出來。
- 2.若將海藻酸鈣運用於食品或盛裝食品之容器時，須注意海藻酸鈣浸泡於水中超過 15 分鐘容易有大量 Ca²⁺溶出。

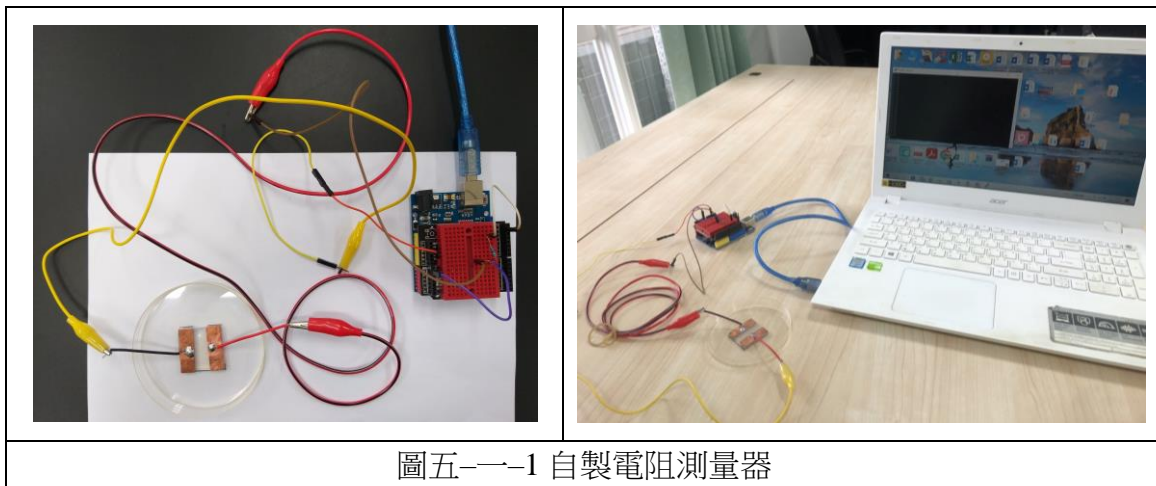
研究四結論：

- (一) 浸泡 15~20 分鐘溶液含 Ca²⁺量上升很多，應是海藻酸鈣的結構發生變化，導致裡面未被交聯的 Ca²⁺大量跑出來，且因人體一天攝取 Ca²⁺的量不能太多，若將海藻酸鈣運用於食品方面時，須注意海藻酸鈣浸泡於水中是否有大量 Ca²⁺釋出。

五、研究五 探討交聯前後洋菜凍的導電度變化

研究五—1 觀察交聯前後洋菜凍的電阻率變化

- (一) 實驗目的：因為 CaCl₂ 洋菜凍裡的 Ca²⁺與海藻酸鈉做交聯時，洋菜凍裡的 Ca²⁺會減少，因此透過電阻率觀察電阻的變化。
- (二) 實驗藥品：10%CaCl₂ 洋菜凍、交聯之後的 CaCl₂ 洋菜凍、NaCl 洋菜凍。
- (三) 實驗器材：自製電阻測量器



圖五—1—1 自製電阻測量器

(四) 實驗步驟：

1.將交聯前 10%CaCl₂ 洋菜凍、交聯 20、40、60、80 小時後的洋菜凍、NaCl 洋菜凍放置在培養皿上，測量其電阻率 (kΩ)，並紀錄之。

(五) 實驗結果：

表五—1—1 交聯前 10%CaCl₂ 洋菜凍之電阻率 (kΩ)

序號	1	2	3	4	5	平均
電阻平均值	2.6623	4.1227	5.4052	5.4405	3.3873	4.2130

表五—1—2 交聯 20hr 洋菜凍之電阻率 (kΩ)

序號	1	2	3	4	5	平均
電阻平均值	2.1066	2.0212	2.7870	2.5648	1.9675	2.2894

表五—1—3 交聯 40hr 洋菜凍之電阻率 (kΩ)

序號	1	2	3	4	5	平均
電阻平均值	2.2511	1.9030	2.6702	4.6701	2.5314	2.8052

表五—1—4 交聯 60hr 洋菜凍之電阻率 (kΩ)

序號	1	2	3	4	5	平均
電阻平均值	2.6879	2.3492	2.3697	2.2904	2.4743	2.4343

表五—1—5 交聯 80hr 洋菜凍之電阻率 (kΩ)

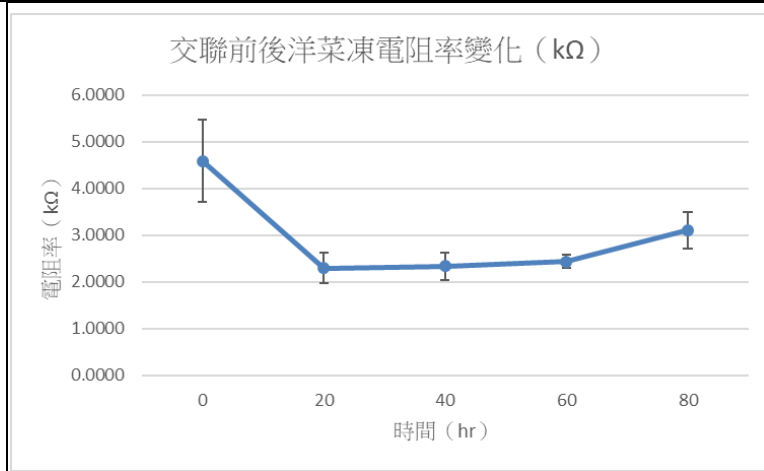
序號	1	2	3	4	5	平均
電阻平均值	3.6400	2.6860	3.3137	3.2788	2.6215	3.1080

表五—1—6 NaCl 洋菜凍之電阻率 (kΩ)

序號	1	2	3	4	5	平均
電阻平均值	1.3802	1.4218	1.3600	1.2511	1.4240	1.3674

表五—1—7 無 Ca^{2+} 洋菜凍之電阻率 ($\text{k}\Omega$)

序號	1	2	3	4	5	平均
電阻平均值	6.1182	6.8223	8.4526	7.2663	6.9548	7.1228



圖五—1—2 洋菜凍電阻率與交聯時間

(六) 實驗討論：

1. 發現交聯後洋菜凍 Ca^{2+} 雖減少，電阻率卻下降，代表導電度變好，洋菜凍的 Ca^{2+} 是真的有減少嗎？到底是什麼物質使洋菜凍導電度變好？再測量 NaCl 洋菜凍電阻（表五—1—6）可知電阻率 = $1.3674 \text{ k}\Omega$ ，電阻率很小，導電度很好；測量無 Ca^{2+} 洋菜凍電阻（表五—1—7）可知電阻率 = $7.1228 \text{ k}\Omega$ ，電阻率很大，導電度很不好。
2. 推測是海藻酸鈉與洋菜凍做交聯時，為了維持電中性，所以海藻酸鈉的 Na^+ 跑回洋菜凍裡。
3. 在 80hr 時電阻有增加（表五—1—5），由實驗三—1—3 可知，海藻酸鈣生長趨勢漸緩許多，洋菜凍的 Ca^{2+} 大量被耗盡， Na^+ 沒有完全置換到洋菜凍裡，故電阻增加，導電度變差。
4. Na^+ 沒有完全置換到洋菜凍裡，那會跑到哪裡去呢？

研究五—1—1 探討交聯前後洋菜凍的含 Ca^{2+} 量

- (一) 實驗目的：證明交聯前後 Ca^{2+} 是否離開洋菜凍。
- (二) 實驗藥品：交聯前後的 CaCl_2 洋菜凍泡水、EBT 指示劑、EDTA、緩衝液。
- (三) 實驗器材：滴定管、移液管。

(四) 實驗步驟：

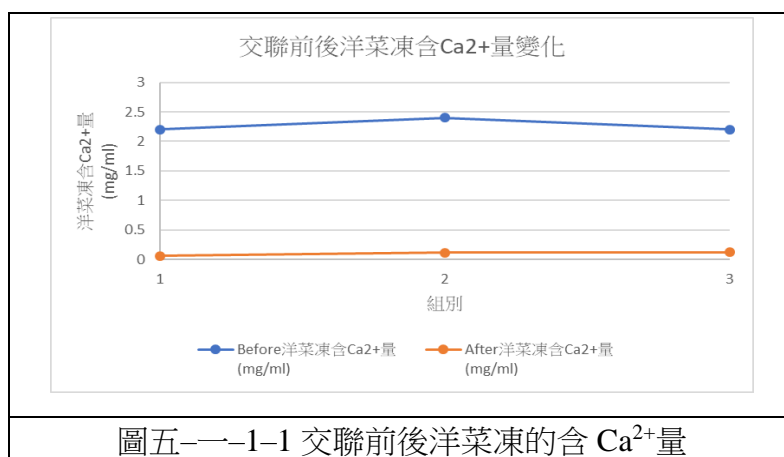
- 1.將 5%洋菜凍、交聯 2 天的洋菜凍各 3 片，將其分別浸泡於 100ml 蒸餾水。
- 2.放置 2 小時後，取出將溶液裝入廣口瓶，稀釋（交聯後使用原液，交聯前 5ml 原液配上 100ml 蒸餾水）
- 3.各取 20ml 樣品，加入 EBT 3 滴和緩衝液 10 滴，進行滴定，並紀錄之。

(五) 實驗結果：

- 1.將滴定後結果換算成含 Ca^{2+} 量(mg/ml)，整理至表五--1-1 及圖五--1-1。

表五--1-1 交聯前後洋菜凍的含 Ca^{2+} 量(mg/ml)

	第 1 組	第 2 組	第 3 組	平均
交聯後	0.06	0.11	0.12	0.10
交聯前	2.20	2.40	2.20	2.20

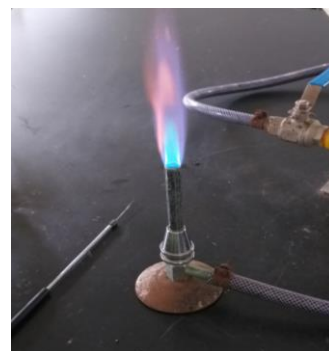


(六) 實驗討論：

- 1.由表五--1-1 可知交聯後洋菜凍的 Ca^{2+} 確實會減少，但是依推測電阻率應增加，導電度變不好，為何 Ca^{2+} 明明減少了，電阻率反而變小呢？

研究五--2 交聯後 Na^+ 去了哪裡

- (一) 實驗目的：證明海藻酸鈉的 Na^+ 跑回洋菜凍裡
- (二) 實驗藥品：交聯前後的 CaCl_2 洋菜凍泡入蒸餾水
- (三) 實驗器材：本生燈、白金絲棒

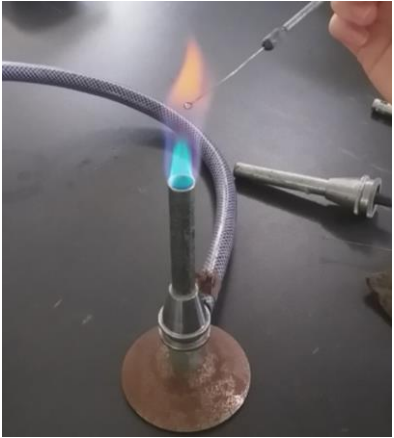



圖五--2-1
本生燈及白金絲棒

(四) 實驗步驟：

- 1.將交聯前、後的洋菜凍放進燒杯中，泡蒸餾水中，使其放出 Ca^{2+} 。
- 2.將本生燈的火焰調至藍色。
- 3.再將用 HCl 清洗過的白金絲棒沾取待測物，並放於本生燈上燒，觀察其火焰顏色。

(五) 實驗結果：

	
圖五—1—2—2 交聯前的洋菜凍泡水（含 Ca^{2+} ）呈磚紅色	圖五—1—2—3 交聯後的洋菜凍泡水（含 Na^{+} ）呈亮黃色

(六) 實驗討論：

- 1.由圖五—1—2—2 可知交聯前的洋菜凍經焰色實驗火焰成磚紅色，所以可以證明交聯前的洋菜凍有豐富的 Ca^{2+} ，且沒有 Na^{+} 。
- 2.由圖五—1—2—3 可知交聯後的洋菜凍經焰色實驗火焰成亮黃色，所以可以證明海藻酸鈉的 Na^{+} 確實跑回洋菜凍裡。
- 3.證明研究五—1—交聯後洋菜凍的電阻率變小，導電度變好的原因，果然是因為 Na^{+} 為了要與洋菜凍中的 Cl^{-} 電中性，所以 Na^{+} 才會跑進洋菜凍，使洋菜凍導電度變佳。

研究五—1—3 觀察交聯後除了洋菜凍， Na^{+} 還去了哪裡

(一) 實驗目的：觀察海藻酸鈉完全交聯成海藻酸鈣所剩餘的液體是否含有 Na^{+} 。

(二) 實驗藥品：10% CaCl_2 洋菜凍 4 片、50g 的 2% 海藻酸鈉。

(三) 實驗步驟：

- 1.取 10% CaCl_2 洋菜凍 4 片與 50g 的海藻酸鈉反應約 2hr，使其完全反應完。
- 2.用白金絲棒沾取其剩餘透明如水液體，至本生燈上燒，並觀察其火焰顏色。

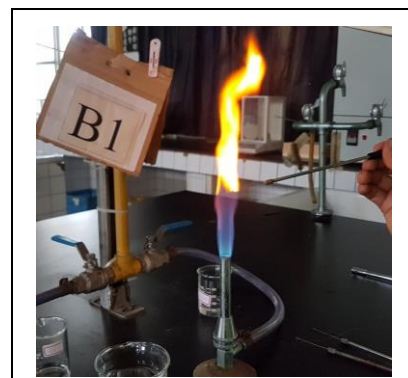
(四) 實驗結果：

1. 火焰顏色呈亮黃色如圖五—一—3—1。

(五) 實驗討論：

1. 由圖五—一—3—1 火焰呈亮黃色，可知海藻酸鈉完全交聯成海藻酸鈣所剩餘的液體含有 Na^+ 。

2. Na^+ 除了會進入洋菜凍以外，還會進入交聯後剩餘的液體內。



圖五—一—3—1
火焰呈亮黃色

研究五結論：

1. 由滴定結果得知，交聯後洋菜凍的 Ca^{2+} 確實有減少，

但其電阻率卻減少，導電度變好，探究其原因:可知交聯前的洋菜凍經焰色實驗火焰成磚紅色，所以可以證明交聯前的洋菜凍有豐富的 Ca^{2+} ，且沒有 Na^+ 。交聯後的洋菜凍經焰色實驗火焰成亮黃色，所以可以證明海藻酸鈉的 Na^+ 確實跑回洋菜凍裡，才使導電度變好。

2. 由焰色實驗可知電阻率會減少是因為 Na^+ 會跑回洋菜凍內與 Cl^- 電中性，而且跑回的地方除了洋菜凍以外，還會跑進交聯後的剩餘液體內。

肆、 結論

一、研究一中設計出 CaCl_2 固定在一定大小與面積的洋菜凍，成功交聯出片狀海藻酸鈣，便於實驗記錄與測量。

二、研究二得知：因 Ca^{2+} 透過海藻酸鈣再次交聯生成的海藻酸鈣厚度 < 直接於 CaCl_2 洋菜凍上交聯生成的海藻酸鈣厚度，海藻酸鈣的形成過程應是 CaCl_2 洋菜凍中的 Ca^{2+} 通過已形成的海藻酸鈣再與海藻酸鈉交聯，形成新的海藻酸鈣，另外可知海藻酸鈣對 Ca^{2+} 的通過有一定的阻力。

三、研究三得知：1. 海藻酸鈉與 Ca^{2+} 作用時間越長所生成之海藻酸鈣越厚，由厚度增加量越來越少可知海藻酸鈣的生成是 Ca^{2+} 通過海藻酸鈣再次交聯，隨著時間越長，海藻酸鈣越厚， Ca^{2+} 濃度也越小，因此新一層的海藻酸鈣生成較慢。由海藻酸鈣厚度極限之研究中得知交聯 80hr 後雖然增加量減少， Ca^{2+} 卻未用盡。

2. 海藻酸鈉的濃度大於 2%時，形成的海藻酸鈣厚度越薄。 CaCl_2 洋菜凍的濃度越大，形成的

海藻酸鈣厚度越厚。不過海藻酸鈣濃度不影響生成的海藻酸鈣對於 Ca^{2+} 通過的難易度。

3. 模具擺放的方向會影響海藻酸鈣的厚度，正放因模具限制關係，在交聯過程 Ca^{2+} 無沉降現象干擾，生成的海藻酸鈣易讓 Ca^{2+} 通過，而較厚；反放會讓洋菜凍裡的 Ca^{2+} 產生沉降，生成的海藻酸鈣不易讓 Ca^{2+} 通過，而較薄，阻力對厚度的影響較大。側放時 Ca^{2+} 會沉降到下層，濃度較大，碰撞機率也較大，因此海藻酸鈣厚度較厚；上層 Ca^{2+} 濃度較小，海藻酸鈣厚度則較薄， CaCl_2 濃度對厚度的影響較大。

四、研究四得知：浸泡 15~20 分鐘溶液含 Ca^{2+} 量上升很多，是海藻酸鈣的結構發生變化，導致裡面未被交聯的 Ca^{2+} 大量跑出來，且因人體一天攝取 Ca^{2+} 的量不能太多，若將海藻酸鈣運用於食品方面時，須注意海藻酸鈣浸泡於水中是否有大量 Ca^{2+} 釋出。

五、由研究五可知，經滴定結果發現交聯後 Ca^{2+} 的確有減少，但電阻率卻是減少的，由焰色實驗得知， Na^+ 為了與 Cl^- 電中性，而跑回洋菜凍內，進而使洋菜凍的電阻率下降，使導電率變佳，除此 Na^+ 也會跑回交聯後剩餘的液體內。

伍、 建議

一、海藻酸鈣內是否有 Na^+ 值得下次進一步探究。

二、海藻酸鈣容易在上方的交聯除了受 Ca^{2+} 濃度及海藻酸鈣結構疏密等影響以外，還有沒有其他因素如壓力與氣體，可影響交聯作用，值得再探討。

三、測量電阻時探針與洋菜凍接觸的深淺會影響測量電阻精準度，建議改用銅片測其電阻率。

四、洋菜凍的電阻高，要注意使用三用電表時，實驗初期三用電表最高只能測到 $2\text{k}\Omega$ ，建議使用自製電阻測量，只要盡量挑跟待測電阻相似等級的電阻就能克服此類困難。

陸、 參考文獻

一、朱煥民等（2021）第六章探索物質組成 • 國民中學自然二下 • 新北市：康軒。

二、朱煥民（2021）第三章電解質 • 國民中學自然二上 • 新北市：康軒。

三、趙英傑（2021）• *Arduino 互動設計入門* • 台北市：旗標。

四、林恩慈、廖妘柔（2010）• 「環」給地球新「吸」望---環保吸管的製作與探討 • 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品。

五、Sophia(2019) • 令人驚奇的分子料理是這樣來的：食品科學中的晶球技術 (上) • PanSci 泛科學。 <https://pansci.asia/archives/164992>

柒、 附件

Arduino 測量電阻值(有單位)

[//https://github.com/kuoyaoming/arduino-resistance-measurement](https://github.com/kuoyaoming/arduino-resistance-measurement)

//===== 參數設定 =====

const int sensorPin = A0; // 偵測腳位

const float R = 24; //負載電阻大小(K 歐姆)(盡量挑跟待測電阻相似等級的電阻)

const int DT = 100; //測試間隔時間(ms)

const int testTimes = 10; //測試次數

//=====

float testBuffer[testTimes];

int bufferCont;

void setup() {

 Serial.begin(9600);

}