

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(二)科

第一名

082910

「膜」法亮晶「巾」

學校名稱：新竹縣竹北市興隆國民小學

作者：	指導老師：
小六 劉子澂	葉雅宜
小六 賴宇謙	洪聖偉
小六 杜禹欣	
小六 林衫霈	
小六 張深朋	
小六 吳泓寰	

關鍵詞：涼感巾、交聯反應、高分子聚合物

## 得獎感言

### 持續不間斷的努力讓我們贏得最後的勝利

在鎂光燈的照射下，主持人大聲地公布得獎名單，一唸到「第一名，新竹縣興隆國小」，我們緊張的情緒瞬間煙消雲散，取而代之的是滿滿的喜悅和驚喜。我們走上頒獎台，望著台下的人，過去的種種回憶也浮現心頭。

想起當初的我們從「什麼事都不懂」到「自信滿滿的向教授解說實驗」，一路走來經過了無數次的嘗試與失敗，一直是雅宜老師和聖偉老師帶領著我們在黑暗中摸索，從零開始找尋成功的最佳方法，找尋黑暗中那微弱的燭光。

多少次為了做實驗，我們都是踩著鐘聲趕回教室，氣喘吁吁的向班導解釋遲到的原因；當放學鐘聲響起，我們也是第一個衝出教室前往實驗室，在燒杯裡調製化學溶液，在淺盤中進行交聯反應，享受做實驗那無窮無盡的樂趣。

儘管我們在實驗步驟與設計裡總是免不了會犯錯，但經過老師的指點後，大家也從一次的失敗中學到寶貴的教訓，在團隊遇到困難時彼此攜手走過。歷經了那麼多的酸甜苦辣，不管是週末到學校討論報告，還是比賽前一晚在飯店拼命練習，我們都在其中不斷的成長，在比賽時相互加油鼓勵，為的是在這次科展中不留下任何遺憾。

最後感謝兩位老師犧牲了自己那麼多的時間來指導我們、陪伴我們，讓我們留下小學六年裡最美好的回憶！也希望我們自製的涼感巾能夠有機會量產，大家一起做好環保，為守護地球盡最大的一份心力！



因為疫情縣賽是視訊比賽，我們依然努力把實驗過程完整呈現



製膜的過程我們失敗超過一百次，卻也是我們最愛的一個實驗



持續的堅持與彼此的加油打氣，讓我們贏得了最後的勝利

## 摘要

市售涼感巾涼感原理是靠聚酯纖維表層的塗布或是改良不同織法來增加涼感效果。但是聚酯纖維本身不吸水不透氣，所以在材質的選擇上與人體能感受到涼感的原理不同。

本研究拋開改良紡織品的想法，直接從涼感原理著手，透過海藻酸鈉與氯化鈣交聯反應產生的高分子聚合物製成涼感巾，我們稱它為親水反應膜涼感巾。透過實驗測試，我們找出了最佳的濃度配方為海藻酸鈉 2%與氯化鈣 1%交聯反應 5 分鐘，以這配方製作的親水反應膜在瞬間涼感、持續涼感、水分滲透速度與可扭轉圈數各項參數裡表現皆優。

親水反應膜是高分子聚合物有優良的吸水效果，它可以把水分鎖在高分子網格內，因此也具有優良的保水性。既能吸水又能保水，所以涼感效果遠優於市售的涼感巾。

## 壹、研究動機

夏天越來越熱，尤其是上體育課時更讓人覺得難以忍受，很多同學會購買涼感巾來幫助降溫。市售的涼感巾種類眾多，但是實際使用起來我們感覺涼感持續時間不長，於是我們想自製一款既能讓體感溫度瞬間下降，又能延長它的涼感效果的涼感巾。

## 貳、實驗目的

- 一、探討涼感巾的涼感的原理
- 二、根據涼感原理自製涼感巾
- 三、測試自製涼感巾的涼感效果
- 四、與市售涼感巾的涼感效果做比較

## 參、研究設備及器材

表 3-1-1 設備及器材



### 研究架構：

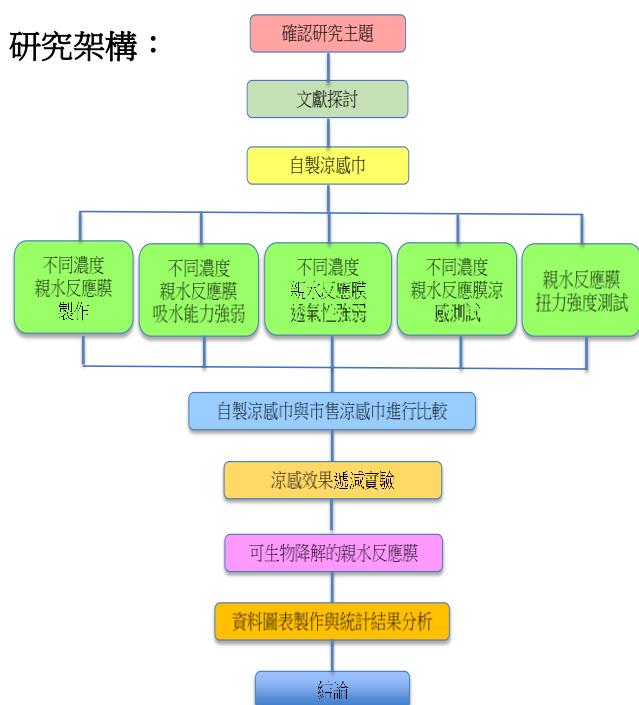


圖 2-1-1 研究架構

## 肆、研究方法與過程

### 一、 文獻探討：

如同發熱衣不會自己發熱，涼感巾也無法自行製冷。市售涼感巾是藉由布料的材質組成、不同織法以及一些附加條件下的環境狀況，達到讓人體感受到涼爽的目的。

涼感巾材質一般可以兩為大類：一種是合成纖維，一種是親水材質。

表 4-1-1 涼感巾材質比較

材質	合成纖維	親水材質
組成	聚酯纖維、聚乙烯醇（環保 PVA）、尼龍	混用吸水性好的紡織材質，或在纖維上做親水的加工處理
原理	塗布在衣料上的涼感薄膜或涼感粉體因為比熱比紡織品小，熱平衡快，能快速與環境溫度產生平衡作用，達到快速降溫的效果。	其良好的吸濕排汗功能帶來的適度回潮、舒適、不黏，讓身體產生一種濕涼感。
缺點	熱傳導快的材質，熱平衡也快，因此在炎熱的環境裡溫度也相對地熱得快。在高溫的環境下，這種涼感巾反而會比一般的毛巾感覺更熱。	這類型的涼感布料在乾燥的狀況下，不會有涼感效果，在涼感巾要擰乾的條件下，涼感就不會維持太久。

全國科展作品研究涼感巾的作品有兩件：

#### 1. 第 45 屆全國科展國小組--冰雪奇巾，探討涼感巾的性質

透過實驗他們歸納出涼感巾的原理有兩種：一種是利用布料裡的水分來帶走身體的表面溫度，達到涼爽的效果。根據實驗結果，他們認為這類的涼感巾涼感效果較好。另一種是在布料裡添加涼感紗成分，讓皮膚感覺涼爽。

#### 2. 第 58 屆全國科展高中工程學科組--「衣」起革命，涼感衣各項指標檢測與改良

他們利用各項熱性質，包括熱傳導、熱擴散、熱吸收、 $Q_{max}$  值、吸水性與彈力來比較市售涼感巾的優劣，提出各項參數當作最佳條件的參考。

透過文獻探討，我們歸納出兩個重點：

1. 要能在炎熱的環境中使用，親水材質纖維的涼感巾優於合成纖維。材質親水性越好，涼感所能持續的效果就越久。
2. 目前所有的研究都圍繞在「布料」材質的研究上，尚無其他材質的研究。

我們決定從「親水性」這方面著手研究，若有材質能具有良好的親水性與保水性，那麼它的涼感維持度就能持久。有同學提及曾看過關於可以吃的水球新聞，這種水球利用天然褐藻及氯化鈣製成袋狀雙層凝膠狀化合物，可以把水包在裡面維持四到六週。這靈感讓我們決定把目標從布料的改良轉變成親水膜的製作來進行我們的研究。

## 二、 實驗流程與方法

### 實驗一：不同濃度親水反應膜的製作

#### 實驗說明：

可以吃的水球是利用海藻酸鈉與氯化鈣進行交聯反應之後使分子更為固定，流動性降低而固化形成一種半透膜。

首先我們先了解何謂「交聯反應」(cross-linking)，當海藻酸鈉滴入氯化鈣中，碰到鈣離子，鈣離子會取代海藻酸鈉的鈉離子，並抓住海藻酸鈉裡面的羧酸離子，這便是發生了交聯反應。這交聯反應讓原本的鏈狀聚合物變成網狀聚合物，使分子更為固定，流動性降低而固化形成一種半透膜。如下圖示：

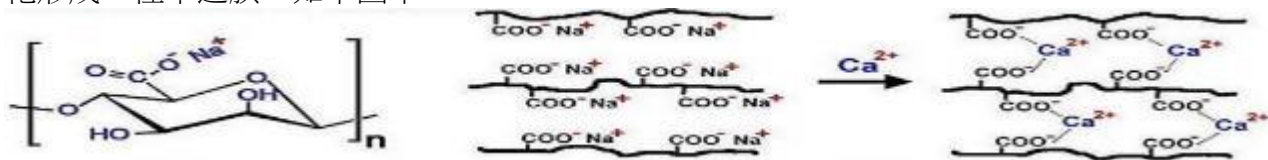


圖 4-2-1

但是用這種方式製作出來的都是包水的水球膜，我們必須把裡面的水分去除掉，所以實驗目標是先製作出親水的反應膜。

#### 1-1 製作親水反應膜

##### 實驗步驟：

1. 調配濃度 1%、1.5%、2%、2.5%、3% 的海藻酸鈉水溶液。
2. 調配濃度 1%、2%、3%、4%、5% 的氯化鈣水溶液。
3. 將 30ml 氯化鈣水溶液倒入不同濃度的海藻酸鈉水溶液 30ml 培養皿內。
4. 每種濃度進行交聯反應時間 5 分鐘。
5. 倒出剩餘的液體，留下反應膜。
6. 用分厘卡尺測量反應膜的厚度。



圖 4-2-2  
調配各濃度的  
海藻酸鈉溶液



圖 4-2-3  
倒入氯化鈣溶  
液進行反應



圖 4-2-4  
每種濃度進行  
交聯反應 5 分鐘



圖 4-2-5  
倒出剩餘的液  
體，留下反應膜



圖 4-2-6  
用分厘卡尺測  
量反應膜厚度

#### 實驗結果無法順利塑型成膜



圖 4-2-7  
氯化鈣濃度 1%



圖 4-2-8  
氯化鈣濃度 2%



圖 4-2-9  
氯化鈣濃度 3%



圖 4-2-10  
氯化鈣濃度 4%



圖 4-2-11  
氯化鈣濃度 5%

## 1-2 實驗改良

1. 培養皿的空間太小，無法使海藻酸鈉水溶液鋪平伸展，加入氯化鈣水溶液反應後還是依然會形成包水的水膜，甚至因為裡面有水而導致反應膜的發霉。於是我們改成使用淺盤來製作。
2. 濃度 2.5%和 3%的海藻酸鈉水溶液因為過於濃稠而導致無法製成膜，1.5%的海藻酸鈉水溶液則與 2%差異不大，於是我們在改良實驗中也把其刪除。
3. 我們想瞭解反應時間是否也會影響反應膜的厚度，於是把反應時間多增加一組定為 10 分鐘。
4. 海藻酸鈉水溶液濃稠度高，在配置過程中容易因為人為的攪拌而殘留空氣。於是我們改用磁石攪拌機來操作。
5. 親水反應膜在不同濕度的室溫下乾燥容易影響實驗結果，我們改用定溫烘箱乾燥。

### 實驗步驟：

1. 在淺盤中倒入 1%和 2%的海藻酸鈉水溶液 160ml。
2. 取濃度 1%、2%、3%、4%、5%的氯化鈣溶液 160ml，沿著淺盤邊緣快速倒入。
3. 每種濃度分別進行交聯反應時間 5 分鐘與 10 分鐘。
4. 交聯反應時間終止時倒出剩餘的液體，以蒸餾水反覆沖洗淺盤裡的反應膜。
5. 放入溫度設定 50°C 的定溫烘箱內乾燥，時間設定為三小時。
6. 把烘乾的反應膜裁成三片相同大小尺寸，分別用分厘卡尺測量反應膜的厚度。



圖 4-2-12  
以磁石攪拌機攪拌不同濃度的水溶液



圖 4-2-13  
在淺盤中倒入 1%和 2%的海藻酸鈉水溶液 160ml



圖 4-2-14  
取各濃度的氯化鈣水溶液 160ml，沿著淺盤邊緣快速倒入



圖 4-2-15  
交聯反應時間終止時，倒出剩餘的液體



圖 4-2-16  
以蒸餾水反覆沖洗淺盤裡的反應膜



圖 4-2-17  
放入溫度設定 50°C 的定溫烘箱內乾燥，時間設定為三小時

## 實驗二：探討不同濃度親水反應膜吸水能力的強弱

### 實驗說明：

根據第 58 屆全國科展「涼感衣各項指標檢測與改良」的實驗結論：一般的涼感衣(或巾)是利用吸濕排汗的原理或適度的回潮來造成涼感的效果，也就是說織物的吸水性是決定涼感效果的重要原因之一。所以我們透過探討不同濃度反應膜吸水能力的強弱來瞭解何種濃度的親水反應膜吸水最佳。

### 實驗步驟：

1. 把不同濃度的親水反應膜皆裁成 5cmX13cm 相同大小。
2. 用實驗室電子秤測量親水反應膜的重量。
3. 把親水反應膜放入 100ml 量筒中吸水 2 小時。
4. 取出反應膜放在架上滴乾表面附著的水珠。
5. 用實驗室電子秤測量吸水後反應膜的重量。



圖 4-2-18

把親水反應膜放入 100ml 量筒中吸水 2 小時



圖 4-2-19

用實驗室電子秤測量親水反應膜的重量



圖 4-2-20

取出反應膜放在架上滴乾表面附著的水珠

### 實驗三：探討不同濃度親水反應膜水份滲透速度的快慢

#### 實驗說明：

如果涼感巾透氣性不佳，那麼身體接觸涼感巾部位的蒸氣與熱量就無法溢散而出，便會讓使用者感覺悶熱，市售的涼感巾很多都由聚酯纖維製作而成，聚酯纖維透氣性較差，使得熱氣不易發散。本實驗透過探討水份在不同濃度反應膜內移動速度的快慢，來瞭解水在何種濃度的親水反應膜滲透的速度最快，藉此找尋製作涼感巾的最佳濃度。

#### 3-1 實驗步驟：

1. 把取 50ml 的燒杯，在燒杯底部貼上藍色氯化亞鈷試紙。
2. 在 25ml 燒杯內裝 15ml 的水，再把裁成相同大小親水反應膜套住燒杯口，並用膠帶固定。
3. 把 50ml 的燒杯倒蓋於 25ml 燒杯上。
4. 觀察並記錄藍色氯化亞鈷試紙完全變色的時間。



圖 4-2-21

取 50ml 的燒杯，在燒杯底部貼上藍色氯化亞鈷試紙



圖 4-2-22

把裁成相同大小的親水反應膜套住燒杯口，並用膠帶固定

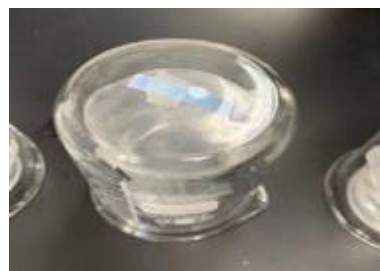


圖 4-2-23

把 50ml 的燒杯倒蓋於 25ml 燒杯上

**實驗結果因為變色的部位大小與速度難以量化，所以無法客觀的比較試紙變色快慢**

#### 3-2 實驗改良：

上述的實驗結果最主要是觀察藍色氯化亞鈷試紙變色的快慢，但是因為變色的部位大小



與速度難以量化，不是很容易用肉眼觀察哪一種濃度的試紙最快變色或是完全的變色，所以我們更改實驗設計。我們想用水量減少得多寡來比較哪種濃度的親水反應膜最容易讓燒杯內的水蒸發。

#### 實驗步驟：

1. 在 25ml 燒杯內裝 15ml 的水，再把裁成相同大小親水反應膜套住燒杯口，並用膠帶固定。
2. 定溫烘箱固定溫度為 37°C，再把燒杯放入烘箱內烘烤 5 小時。
3. 取出燒杯觀察並記錄那一杯燒杯減少的水量最多。



圖 4-2-24

在 25ml 的燒杯內裝 15ml 的水，再把裁成相同大小的親水反應膜套住燒杯口，並用膠帶固定

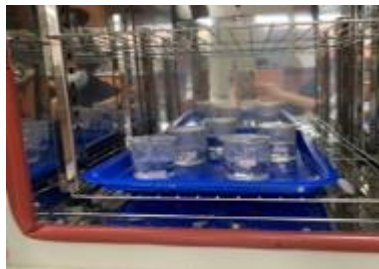


圖 4-2-25

定溫烘箱固定溫度為 37°C，再把燒杯放入烘箱內烘烤 5 小時



圖 4-2-26

觀察並記錄那一杯燒杯減少的水量最多

**實驗結果親水反應膜因過度乾燥而破裂，因為親水反應膜沒有接觸水，在乾燥的環境下持續烘烤會因過度乾燥而破裂。**

### 3-3 實驗改良

水分子在膜底下被吸收，再以滲透方式移動到膜上，最後再蒸發到空氣中，如果水分子能在網格裡移動快，那麼涼感的效果也會更好。於是實驗步驟改為讓親水反應膜充分吸水後進入烘箱內烘烤 1 分鐘，計算水份減少的比例來比較親水反應膜水份滲透速度的快慢。

#### 實驗步驟：

1. 把不同濃度的親水反應膜皆裁成 5cmX13cm 相同大小，再用實驗室電子秤測量乾燥親水反應膜的重量。
2. 把親水反應膜放入 100ml 裝水燒杯中吸水 2 小時後取出擦乾。
3. 定溫烘箱固定溫度為 30°C，把親水反應膜放入定溫烘箱 1 分鐘。
4. 秤出親水反應膜的重量，計算不同濃度親水反應膜的重量減少的比例。



圖 4-2-27

用實驗室電子秤測量乾燥親水反應膜的重量

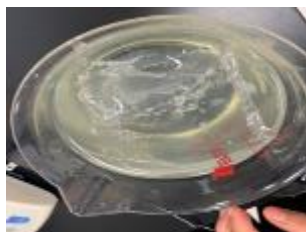


圖 4-2-28

把親水反應膜放入 100ml 燒杯中吸水 2 小時



圖 4-2-29

定溫烘箱固定溫度為 30°C，把親水反應膜放入定溫烘箱 1 分鐘

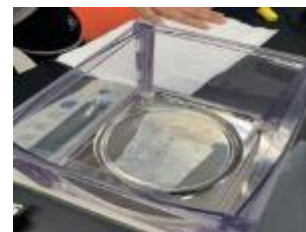


圖 4-2-30

秤出親水反應膜重量並計算不同濃度親水反應膜重量減少比例

## 實驗四：不同濃度親水反應膜的涼感測試

### 實驗說明：

不同的親水反應膜可以吸收不同容量的水，我們想瞭解這些水量是否會影響到降溫的效果。此外從文獻中得知市售的涼感巾最大的問題是持續涼感的效果不佳，於是此實驗把涼感測試分為兩部分，一為瞬間涼感測試，另一個則為持續涼感測試。

### 4-1 瞬間涼感測試

#### 實驗步驟：

1. 把不同濃度的親水反應膜裁成 8cmX8cm 相同大小。
2. 準備 50ml 燒杯 20 個，放入定溫烘箱內加熱到 80°C。
3. 把相同尺寸的親水反應膜放入水中吸水 2 小時，取出反應膜用廚房紙巾擦乾。
4. 取出均溫 80°C 的燒杯把親水反應膜貼於燒杯壁上。
5. 30 秒後用紅外線溫度計測量燒杯壁的溫度。



圖 4-2-31

50ml 燒杯 20 個，放入定溫烘箱內加熱到 80°C



圖 4-2-32

把相同尺寸的親水反應膜放入水中 2 小時



圖 4-2-33

取出均溫 80°C 的燒杯把親水反應膜貼於燒杯壁上



圖 4-2-34

30 秒後用紅外線溫度儀測量燒杯壁的溫度

**實驗結果無法測量出燒杯壁上正確的溫度，推論是紅外線測溫儀用於測量光亮的或拋光的物體表面時，會失去準確性。**

### 實驗改良

測量的結果發現 20 個燒杯溫度變化沒有太大變異，但是我們用手觸摸卻可以感覺到不同燒杯的高低溫差，於是我們開始探討實驗失敗的原因。後來發現紅外線測溫儀用於測量光亮的或拋光的物體表面時，會失去準確性。於是我們改以加熱塑膠塊來進行實驗。

#### 實驗步驟：

1. 在把不同濃度的親水反應膜裁成 5cmX13cm 相同大小。
2. 準備相同尺寸的塑膠長方形塊 2 個，放入定溫烘箱內加熱到 80°C。
3. 把相同尺寸的親水反應膜放入水中 2 小時，取出反應膜用廚房紙巾擦乾。
4. 取出均溫 80°C 的塑膠長方形塊放置在玻璃上（避免桌子的材質太快逸散塑膠塊的溫度）先用紅外線測溫儀測量塑膠長方形塊的溫度，再把親水反應膜貼於其上。
5. 30 秒後取下親水反應膜，用紅外線溫度計測量塑膠長方形塊的溫度。



圖 4-2-35

準備相同尺寸的塑膠長方形塊 2 個，放入定溫烘箱內加熱到 80°C



圖 4-2-36

先用紅外線溫度計測量塑膠長方形塊的溫度

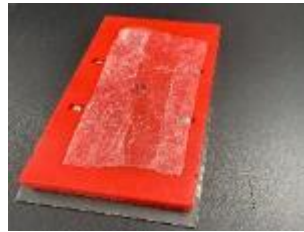


圖 4-2-37

再把親水反應膜貼於塑膠長方形塊上



圖 4-2-38

30 秒後取下親水反應膜，用紅外線溫度計測量塑膠長方形塊的溫度

## 4-2 持續涼感測試

### 實驗說明：

設計一個恆溫箱模擬人體的溫度 37°C，把親水反應膜放入恆溫箱中，透過溫度的變化來了解不同濃度的親水反應膜持續涼感的能力。

### 實驗步驟：

1. 製作恆溫箱，模擬人體溫度。
  - 1.1 取一紙箱卸掉一面的紙板，改貼上透明壓克力板好進行觀察。
  - 1.2 在紙箱上方裝置一個陶瓷保溫燈夾，再把燈夾的電線插在智能溫控器上，把溫度控制在 37°C。當箱內溫度高於 37°C 燈夾便斷電不再加熱，低於 37°C 便繼續加熱。
  - 1.3 把恆溫控制器的感溫探頭固定在紙箱裡，在紙箱另外安裝 LED 燈，便於觀察。
2. 把不同濃度的相同大小的親水反應膜放置在水中吸水 2 小時。
3. 把親水反應膜對折放置在培養皿內，中間夾感溫探頭。
4. 每分鐘紀錄親水反應膜的溫度變化，維持 30 分鐘。



圖 4-2-39

自製恆溫箱步驟 1.1 取一紙箱卸掉一面的紙板



圖 4-2-40

自製恆溫箱步驟 1.1 用塑膠袋測量大小，改貼上透明壓克力板



圖 4-2-41

自製恆溫箱步驟 1.2 在紙箱上方裝置一個陶瓷保溫燈夾



圖 4-2-42

自製恆溫箱步驟 1.3 把恆溫控制器的感溫探頭固定在紙箱裡



圖 4-2-43

自製恆溫箱的外觀



圖 4-2-44

紙箱底部放置親水反應膜，反應膜內放置感溫探頭



圖 4-2-45

左邊為維持恆溫的智能溫控器，設定溫度為 37°C



圖 4-2-46

每分鐘紀錄親水反應膜的溫度變化，維持 30 分鐘

## 實驗五：親水反應膜可扭轉圈數測試

### 實驗說明：

涼感巾吸水之後需要擰乾才能使用，我們想瞭解不同濃度親水反應膜可扭轉圈數的變化，這關乎於我們自製親水膜涼感巾的耐用度。所以我們設計了可扭轉圈數的測量工具。

### 實驗步驟：

我們用學校機關王的積木，自己設計了一個扭轉圈數測量工具。因為扭轉的圈數需要等速，所以我們把親水反應膜用長尾夾固定在小馬達上，藉由小馬達等速轉動，直到反應膜被扭斷為止，再計算轉動的圈數。把不同濃度的親水反應膜的扭斷值記錄下來之後，使用同一片反應膜重複進行三次實驗，每次扭轉圈數都在最小扭斷值前一圈停下來，紀錄反應膜是否能重複地扭轉使用。

### 實驗說明：

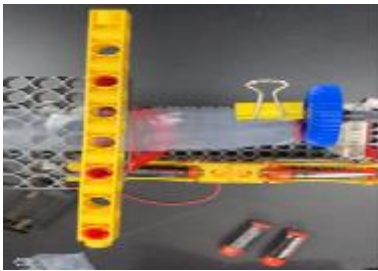


圖 4-2-47

親水反應膜用長尾夾固定在小馬達上

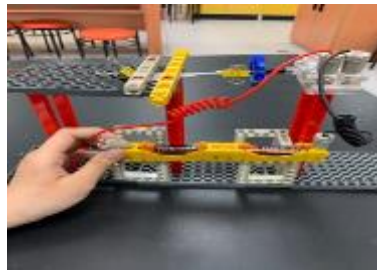


圖 4-2-48

利用電池的串聯來提供動力。

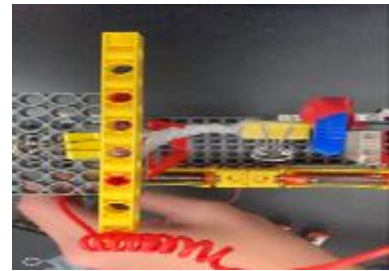


圖 4-2-49

藉由轉輪上紅色膠帶當作記號，靠著慢速攝影計算圈數。

## 實驗六：自製的涼感巾與市售的涼感巾進行比較

透過以上各項的實驗，我們分析各項參數，找出了最佳濃度的親水反應膜，我們進一步把我們的親水反應膜製作成可以使用的涼感巾，再與市售的涼感巾進行涼感效果的比較。

### 實驗步驟：

1. 我們設計了兩種不同的製程方式來製作我們的涼感巾。第一種製作方式：把紗布巾浸泡入海藻酸鈉的溶液中，讓紗布巾完全的吸飽海藻酸鈉的水溶液，取出紗布巾之後再倒入氯化鈣水溶液進行交聯反應，再把紗布巾送入定溫烘箱烘乾。第二種製作方式：先製作出親水反應膜再把膜縫入紗布巾中。
2. 把市售不同品牌的涼感巾 A、B、C 與兩種不同的製程方式製作而成的涼感巾放入水中浸泡半小時，使其完全浸濕之後取出掛在架子上晾乾。
3. 把這些涼感巾放入恆溫箱中，記錄溫度變化。

### 第一種製作方式：外包膜



圖 4-2-50

把紗布巾浸泡入海藻酸鈉的溶液中，讓紗布巾完全的吸飽海藻酸鈉的水溶液



圖 4-2-51

取出紗布巾之後再倒入氯化鈣水溶液進行交聯反應



圖 4-2-52

把紗布巾送入定溫烘箱內烘乾

## 第二種製作方式：內縫膜

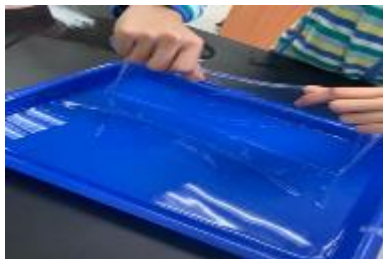


圖 4-2-53

先製作出親水反應膜



圖 4-2-54

把乾燥後的親水反應膜裁剪成比紗布巾尺寸略小



圖 4-2-55

把親水反應膜縫入對折的紗布巾內固定

### 6-1 在恆溫箱內進行測試



圖 4-2-56

把市售的涼感巾裁成與自製的涼感巾差不多大小



圖 4-2-57

先測量自製涼感巾的重量



圖 4-2-58

再把市售涼感巾剪裁成相同重量



圖 4-2-59

把所有涼感巾浸泡在水中半小時後，取出晾乾



圖 4-2-60

把不同種類的涼感巾放入恆溫箱內測試涼感效果

### 6-2 在戶外的太陽下進行測試



圖 4-2-61

先把不同種類的涼感巾浸泡在水中半小時



圖 4-2-62

晾乾至不會滴水之後，用長尾夾固定在橫桿上



圖 4-2-63

在涼感巾上固定溫度計後，移至戶外通風處進行測量

## 實驗七：涼感效果遞減實驗

### 實驗目的：

我們想知道最佳濃度所製成的涼感巾，在多次重複的使用下涼感效果會不會遞減，所以設計了此實驗。

### 實驗步驟：

1. 製作一片海藻酸鈉濃度 2%，氯化鈣濃度 1%反應時間五分鐘的親水反應膜，讓反應膜吸水 2 小時後，取出擦乾表面的水分。
2. 把此親水反應膜放入我們自製的恆溫箱裡，直到反應膜與恆溫箱達到熱平衡。
3. 記錄達到熱平衡的時間。
4. 同一片親水反應膜重複吸水擦乾的步驟，再度放入恆溫箱裡觀察計入。
5. 重複做 17 次，把實驗數據製作成圖表。



圖 4-2-64

讓反應膜吸水 2 小時後，取出擦乾表面的水分



圖 4-2-65

此親水反應膜放入我們自製的恆溫箱裡，直到反應膜與恆溫箱達到熱平衡



圖 4-2-66

記錄達到熱平衡的時間

## 實驗八：生物降解實驗

### 實驗目的：

市售的涼感巾成分大部分為聚酯纖維，聚酯纖維的原料是石油，製作過程會產生大量的污染，根據紡拓會的文獻指出聚脂纖維埋在土壤裡要 200 年以上才會分解，燃燒會產生毒氣因此無法焚化，是一種很不環保材質。我們想透過這個實驗了解我們自製的親水反應膜生物降解的情形。

### 實驗步驟：

1. 製作兩片大小相同的親水反應膜，另外裁剪兩片相同大小市售的涼感巾。
2. 一片反應膜放在透明水箱的底部，因為反應膜是透明的為了方便觀察，我們把反應膜四周用膠帶框出界線，然後倒入土壤。把一片相同大小市售的涼感巾用相同方式放置於透明水箱的底部。
3. 一片反應膜與市售涼感巾則直接放在土壤上方，不加以掩埋。
4. 放置教室櫃體上，觀察兩片反應膜生物降解的情形



圖 4-2-64

一片反應膜放在透明水箱的底部，把反應膜四周用膠帶框出界線，然後倒入土壤



圖 4-2-65

一片反應膜則直接放在土壤上方，不加以掩埋



圖 4-2-66

一片市售的涼感巾放置於透明水箱的底部



圖 4-2-67

一片市售的涼感巾直接放置於土壤上方，不加以掩埋

## 伍、實驗結果與討論

### (一) 實驗一：不同濃度親水反應膜的製作

實驗改良之後，順利製成親水反應膜。為了瞭解反應時間與海藻酸鈉與氯化鈣濃度對親水反應膜厚度的影響，我們把一片反應膜裁剪成相同大小的三片，再以分厘卡尺測量膜的厚度。(單位：公分)

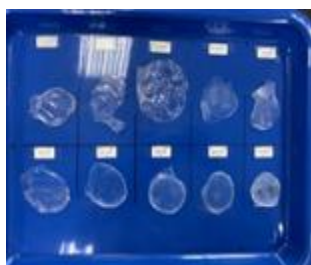


圖 5-1-1

反應時間 5 分鐘

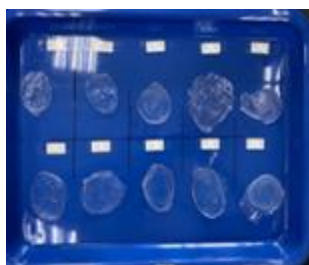


圖 5-1-2

反應時間 10 分鐘



圖 5-1-3

反應 5 分鐘，裁切成相同大小試片



圖 5-1-4

反應 10 分鐘，裁切成相同大小試片

實驗數據：(膜厚單位：cm)

表 5-1-1 不同濃度親水反應膜製作厚度表

		氯化鈣濃度	1%	2%	3%	4%	5%
海藻酸鈉濃度 1 %	反應 5 分鐘	第 1 次厚度	0.030	0.045	0.053	0.075	0.078
		第 2 次厚度	0.028	0.046	0.051	0.073	0.081
		第 3 次厚度	0.031	0.041	0.050	0.077	0.084
		平均厚度	0.0297	0.0440	0.0513	0.0750	0.0810
		平均厚度誤差	0.0297±0.0009	0.0440±0.0015	0.0513±0.0009	0.0750±0.0012	0.0810±0.0017
	反應 10 分鐘	第 1 次厚度	0.037	0.047	0.055	0.079	0.090
		第 2 次厚度	0.036	0.051	0.058	0.082	0.088
		第 3 次厚度	0.036	0.049	0.057	0.079	0.089
		平均厚度	0.0363	0.0490	0.0567	0.0800	0.0890
		平均厚度誤差	0.0363±0.0003	0.0490±0.0012	0.0567±0.0009	0.0800±0.0010	0.0890±0.0006
海藻酸鈉濃度 2 %	反應 5 分鐘	第 1 次厚度	0.033	0.047	0.061	0.078	0.083
		第 2 次厚度	0.035	0.045	0.063	0.081	0.086
		第 3 次厚度	0.033	0.045	0.060	0.077	0.087
		平均厚度	0.0337	0.0457	0.0613	0.0787	0.0853
		平均厚度誤差	0.0337±0.0007	0.0457±0.0007	0.0613±0.0009	0.0787±0.0012	0.0853±0.0012
	反應 10 分鐘	第 1 次厚度	0.041	0.053	0.071	0.081	0.095
		第 2 次厚度	0.039	0.055	0.071	0.084	0.098
		第 3 次厚度	0.043	0.052	0.073	0.085	0.096
		平均厚度	0.0410	0.0533	0.0717	0.0833	0.0963
		平均厚度誤差	0.0410±0.0012	0.0533±0.0009	0.0717±0.0007	0.0833±0.0012	0.0963±0.0009

不同濃度親水反應膜的製作厚度比較圖

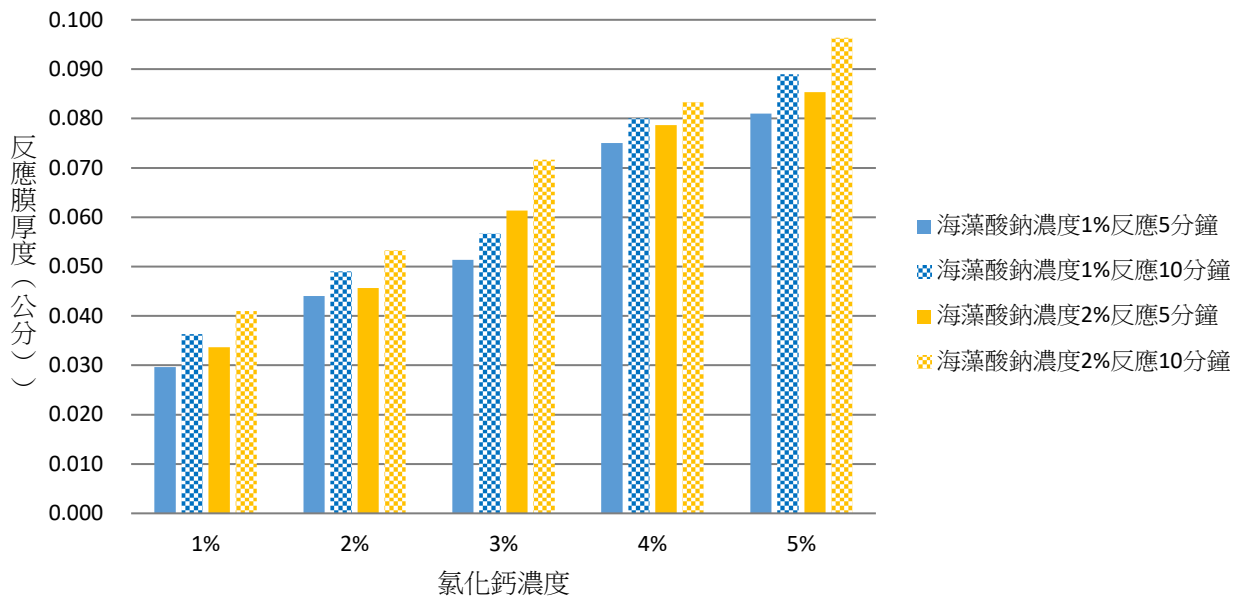


圖 5-1-6 不同濃度親水反應膜的製作厚度比較圖

**實驗討論：**

1. 從實驗數據中可得知親水反應膜的膜厚會隨著反應時間增加而隨之增厚。
2. 海藻酸鈉濃度與氯化鈣濃度增加一樣會使膜的厚度增加。
3. 我們推測反應時間越長或海藻酸鈉與氯化鈣的濃度增加，交聯程度越高，使得親水反應膜厚度隨之增加。

**(二) 實驗二：探討不同濃度親水反應膜吸水能力的強弱**

**實驗數據：**(膜重單位：g)

表 5-2-1 不同濃度親水反應膜吸水能力強弱表

		氯化鈣濃度	1%	2%	3%	4%	5%	
海藻酸鈉濃度1%	反應5分鐘	初始膜重 (g)	0.21	0.31	0.36	0.53	0.57	
		平均吸水10分鐘後膜重 (g)	第1次	0.34	0.51	0.61	1.16	0.98
			第2次	0.32	0.50	0.63	1.13	1.01
			第3次	0.36	0.52	0.60	1.19	0.97
			平均	0.339	0.510	0.615	1.161	0.987
	吸水比例	61.39%	63.87%	69.17%	118.66%	72.11%		
	反應10分鐘	初始膜重 (g)	0.37	0.49	0.57	0.81	0.90	
		平均吸水10分鐘後膜重 (g)	第1次	0.87	1.00	0.96	1.34	1.48
			第2次	0.85	0.99	0.95	1.30	1.45
			第3次	0.88	1.02	0.97	1.36	1.46
平均			0.866	1.002	0.960	1.334	1.464	
吸水比例	135.88%	102.45%	67.73%	65.10%	62.87%			



		氯化鈣濃度	1%	2%	3%	4%	5%	
海藻酸鈉濃度 2 %	反應 5 分鐘	初始膜重 (g)	0.26	0.35	0.47	0.60	0.65	
		平均吸水 10 分鐘後膜重 (g)	第 1 次	0.76	0.79	0.85	1.06	1.10
			第 2 次	0.81	0.75	0.83	1.02	1.12
			第 3 次	0.78	0.80	0.86	1.07	1.09
			平均	0.783	0.781	0.848	1.050	1.090
	吸水比例	203.62%	123.08%	80.33%	74.12%	68.78%		
	反應 10 分鐘	初始膜重 (g)	0.43	0.56	0.75	0.87	1.01	
		平均吸水 10 分鐘後膜重 (g)	第 1 次	0.69	0.92	1.27	1.42	1.51
			第 2 次	0.69	0.96	1.23	1.45	1.50
			第 3 次	0.72	0.90	1.29	1.40	1.53
平均			0.698	0.927	1.262	1.422	1.515	
吸水比例	62.78%	66.18%	68.35%	63.08%	50.25%			

不同濃度親水反應膜吸水能力強弱比較圖

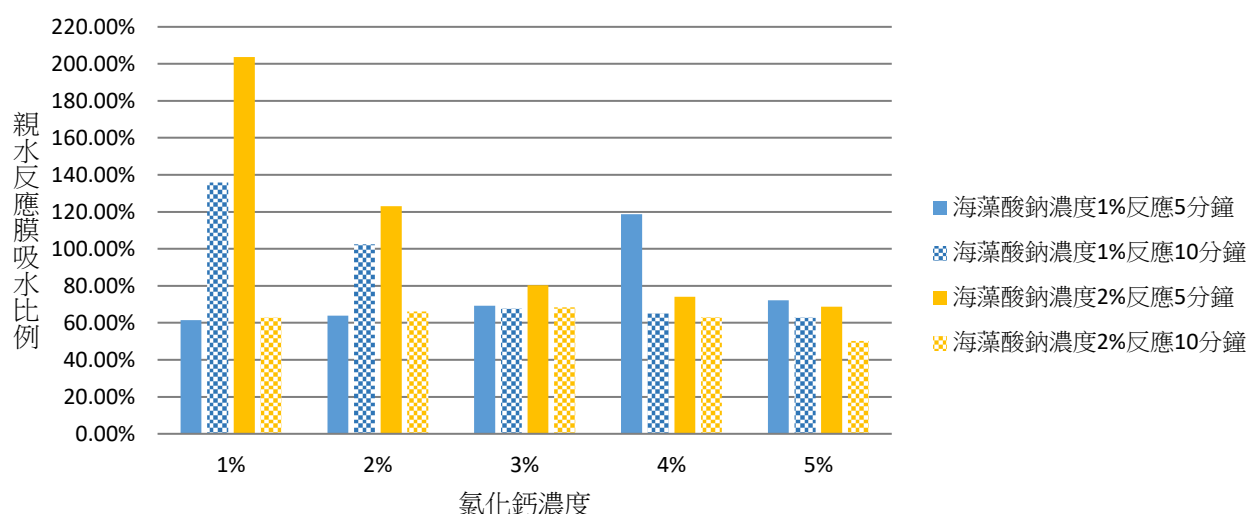


圖 5-2-1 不同濃度親水反應膜吸水能力強弱比較圖

### 實驗討論：

1. 從實驗數據中可知，海藻酸鈉濃度 2%與氯化鈣濃度 1%反應時間 5 分鐘製成的親水反應膜，吸水性最佳。次佳的則為海藻酸鈉濃度 1%與氯化鈣濃度 1%反應時間 10 分鐘製成的親水反應膜。
2. 親水反應膜的厚薄與吸水性沒有絕對相關，但是與交聯反應的時間有關，也與海藻酸鈉與氯化鈣的濃度有關。
3. 在海藻酸鈉與氯化鈣濃度低的狀態之下，反應時間越長，吸水效果越好。在濃度高的狀態下，反應時間越長，吸水效果卻越差。
4. 我們查資料發現親水反應膜是一種高分子聚合物，它的網狀結構對吸水性有很大的影響。少量的交聯後，吸水率會大量的增加，但是隨著交聯密度增加，吸水率反而會下降，與我們的實驗結果吻合。

(三) 實驗三：探討不同濃度親水反應膜滲透速度的快慢

實驗數據：

表 5-3-1 不同濃度親水反應膜滲透速度快慢比較表

		氯化鈣濃度	1%	2%	3%	4%	5%	
海藻酸鈉濃度 1 %	反應 5 分鐘	乾燥時膜重 (g)	0.22	0.32	0.37	0.52	0.58	
		吸水後膜重 (g)	第 1 次	0.32	0.53	0.64	1.16	1.00
			第 2 次	0.35	0.54	0.63	1.14	0.98
			第 3 次	0.34	0.53	0.61	1.12	0.97
		乾燥 1 分鐘後膜重 (g)	第 1 次	0.29	0.47	0.58	1.03	0.92
			第 2 次	0.31	0.48	0.57	1.02	0.91
	第 3 次		0.30	0.47	0.56	1.00	0.90	
	水份減少比例	第 1 次	30%	29%	22%	20%	19%	
		第 2 次	31%	27%	23%	19%	18%	
		第 3 次	33%	29%	21%	20%	18%	
		平均	31.4%	28.1%	22.0%	19.9%	18.2%	
	反應 10 分鐘	乾燥時膜重 (g)	0.38	0.50	0.59	0.83	0.88	
吸水後膜重 (g)		第 1 次	0.90	0.96	1.05	1.35	1.42	
		第 2 次	0.86	0.97	1.04	1.38	1.45	
		第 3 次	0.88	0.98	1.00	1.32	1.40	
乾燥 1 分鐘後膜重 (g)		第 1 次	0.76	0.85	0.97	1.28	1.36	
		第 2 次	0.74	0.86	0.96	1.31	1.38	
	第 3 次	0.75	0.87	0.93	1.26	1.34		
水份減少比例	第 1 次	27%	24%	17%	13%	11%		
	第 2 次	25%	23%	18%	13%	12%		
	第 3 次	26%	23%	17%	12%	12%		
	平均	26.0%	23.4%	17.4%	12.8%	11.6%		
海藻酸鈉濃度 2 %	交聯反應 5 分鐘	乾燥時膜重 (g)	0.25	0.34	0.46	0.61	0.66	
		吸水後膜重 (g)	第 1 次	0.77	0.81	0.87	1.05	1.13
			第 2 次	0.79	0.80	0.88	1.06	1.12
			第 3 次	0.76	0.82	0.89	1.03	1.10
		乾燥 1 分鐘後膜重 (g)	第 1 次	0.63	0.69	0.80	0.98	1.06
			第 2 次	0.64	0.68	0.81	0.99	1.05
	第 3 次		0.62	0.70	0.82	0.96	1.03	
	水份減少比例	第 1 次	27%	26%	17%	16%	15%	
		第 2 次	28%	26%	17%	16%	15%	
		第 3 次	27%	25%	16%	17%	16%	
		平均	27.4%	25.5%	16.7%	16.0%	15.3%	
	交聯反應 10 分鐘	乾燥時膜重 (g)	0.42	0.57	0.77	0.86	1.02	
吸水後膜重 (g)		第 1 次	0.70	0.92	1.30	1.41	1.54	
		第 2 次	0.69	0.93	1.25	1.45	1.50	
		第 3 次	0.68	0.91	1.27	1.43	1.51	
乾燥 1 分鐘後膜重 (g)		第 1 次	0.66	0.87	1.24	1.35	1.49	
		第 2 次	0.65	0.88	1.19	1.39	1.46	
	第 3 次	0.64	0.86	1.21	1.37	1.47		
水份減少比例	第 1 次	14%	14%	11%	11%	10%		
	第 2 次	15%	14%	13%	10%	8%		
	第 3 次	15%	15%	12%	11%	8%		
	平均	14.8%	14.3%	11.9%	10.5%	8.7%		

不同濃度親水反應膜滲透速度快慢比較圖

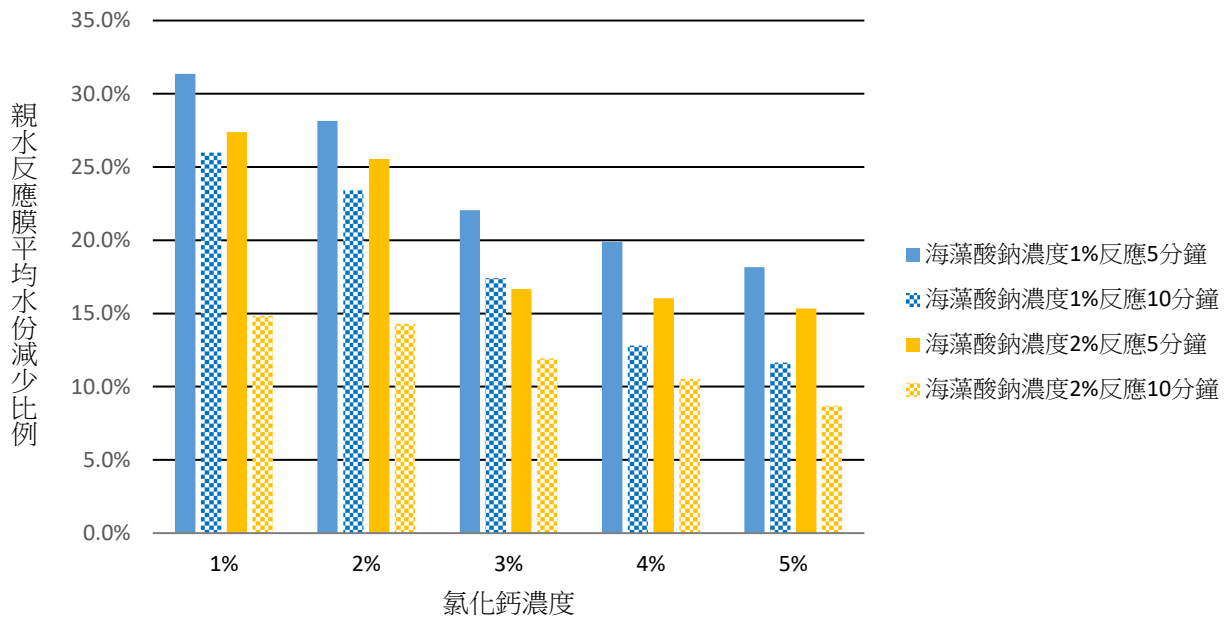


圖 5-3-1 不同濃度親水反應膜滲透速度快慢比較圖

**實驗討論：**

1. 從實驗數據中可知海藻酸鈉濃度 1%的滲透速度會快於於海藻酸鈉濃度 2%。推論是海藻酸鈉的濃度越高或反應時間越長，滲透速度會越慢。推論是反應膜的厚度會影響到滲透的快慢，越厚的膜高分子網格越小，使得水分子不易在高分子網格裡移動。
2. 市售的涼感巾用聚酯纖維來製作，聚酯纖維本身不透氣，為了改善其缺點，聚酯纖維常見於與其他纖維搭配混紡(如 CVC)。從實驗數據可知親水反應膜的水分滲透速度優於聚脂纖維。而我們也可以透過與吸水棉布結合來提高親水反應膜的滲透速度。

**(四) 實驗四：不同濃度親水反應膜的涼感測試**

**4-1 瞬間涼感測試**

**實驗數據：(對照組)**

表 5-4-1 沒有放置親水反應膜的塑膠塊在空氣中降溫情況表

時間	取出烘箱溫度 (°C)	2 秒後溫度 (°C)	1 分鐘後溫度 (°C)	2 分鐘後溫度 (°C)	3 分鐘後溫度 (°C)
第一次	77.1	75.2	58.3	50.9	49.4
第二次	76.8	75.6	57.7	50.3	49.1
第三次	77.5	75.1	58.6	51.1	49.7
平均	77.13	75.30	58.20	50.77	49.40

表 5-4-2 海藻酸鈉濃度 1%不同濃度親水反應膜的涼感測試表

氯化鈣濃度		1%	2%	3%	4%	5%		
海藻酸鈉濃度 1%	交聯反應 5 分鐘	塑膠塊原始溫度 (°C)	第 1 次	76.3	77.2	76.8	75.6	76.5
			第 2 次	77.5	76.2	77.1	76.3	75.2
			第 3 次	76.1	77.0	76.5	77.2	77.3
			平均	76.63	76.80	76.80	76.37	76.33
		塑膠塊接觸膜瞬間溫度 (°C)	第 1 次	53.2	54.1	52.9	55.1	55.3
			第 2 次	53.5	53.2	53.2	54.8	54.8
			第 3 次	52.6	51.9	53.1	55.3	55.1
			平均	53.10	53.07	53.07	55.07	55.07
		塑膠塊接觸膜溫度一分鐘後溫度 (°C)	第 1 次	40.0	41.3	41.3	44.1	44.1
			第 2 次	39.8	40.6	41.2	44.3	43.8
			第 3 次	40.3	41.1	40.3	43.5	44.3
			平均	40.03	41.00	40.93	43.97	44.07
	塑膠塊接觸膜溫度二分鐘後溫度 (°C)	第 1 次	35.9	35.8	35.9	39.1	40.1	
		第 2 次	36.3	35.9	36.3	39.2	40.3	
		第 3 次	36.1	36.4	36.2	38.7	39.5	
		平均	36.10	36.03	36.13	39.00	39.97	
	塑膠塊接觸膜溫度三分鐘後溫度 (°C)	第 1 次	35.0	34.3	33.2	36.2	37.0	
		第 2 次	35.2	34.1	32.9	36.1	37.3	
		第 3 次	35.1	33.6	33.1	35.6	36.8	
		平均	35.10	34.00	33.07	35.97	37.03	
	交聯反應 10 分鐘	塑膠塊原始溫度 (°C)	第 1 次	77.5	78.0	75.6	76.2	77.8
			第 2 次	76.3	76.3	78.2	77.8	76.1
			第 3 次	76.1	76.1	76.6	75.6	76.3
			平均	76.63	76.80	76.80	76.53	76.73
塑膠塊接觸膜瞬間溫度 (°C)		第 1 次	55.0	55.7	57.3	59.4	60.1	
		第 2 次	55.3	56.2	57.2	59.1	59.6	
		第 3 次	55.1	56.1	56.9	58.7	60.5	
		平均	55.12	56.00	57.13	59.07	60.07	
塑膠塊接觸膜溫度一分鐘後溫度 (°C)		第 1 次	45.7	47.9	48.9	49.6	51.2	
		第 2 次	46.1	48.4	49.3	50.3	50.8	
		第 3 次	46.3	48.2	49.1	50.1	51.3	
		平均	46.03	48.17	49.10	50.00	51.10	
塑膠塊接觸膜溫度二分鐘後溫度 (°C)	第 1 次	40.3	42.8	44.3	43.8	45.2		
	第 2 次	39.9	43.2	44.6	44.3	45.3		
	第 3 次	40.5	43.5	44.1	44.2	45.0		
	平均	40.23	43.17	44.33	44.10	45.15		
塑膠塊接觸膜溫度三分鐘後溫度 (°C)	第 1 次	35.7	39.1	40.6	43.1	43.5		
	第 2 次	36.3	39.6	41.3	43.5	44.3		
	第 3 次	36.5	38.5	41.3	42.8	44.5		
	平均	36.17	39.07	41.07	43.13	44.10		

海藻酸鈉濃度1%反應膜瞬間涼感測試

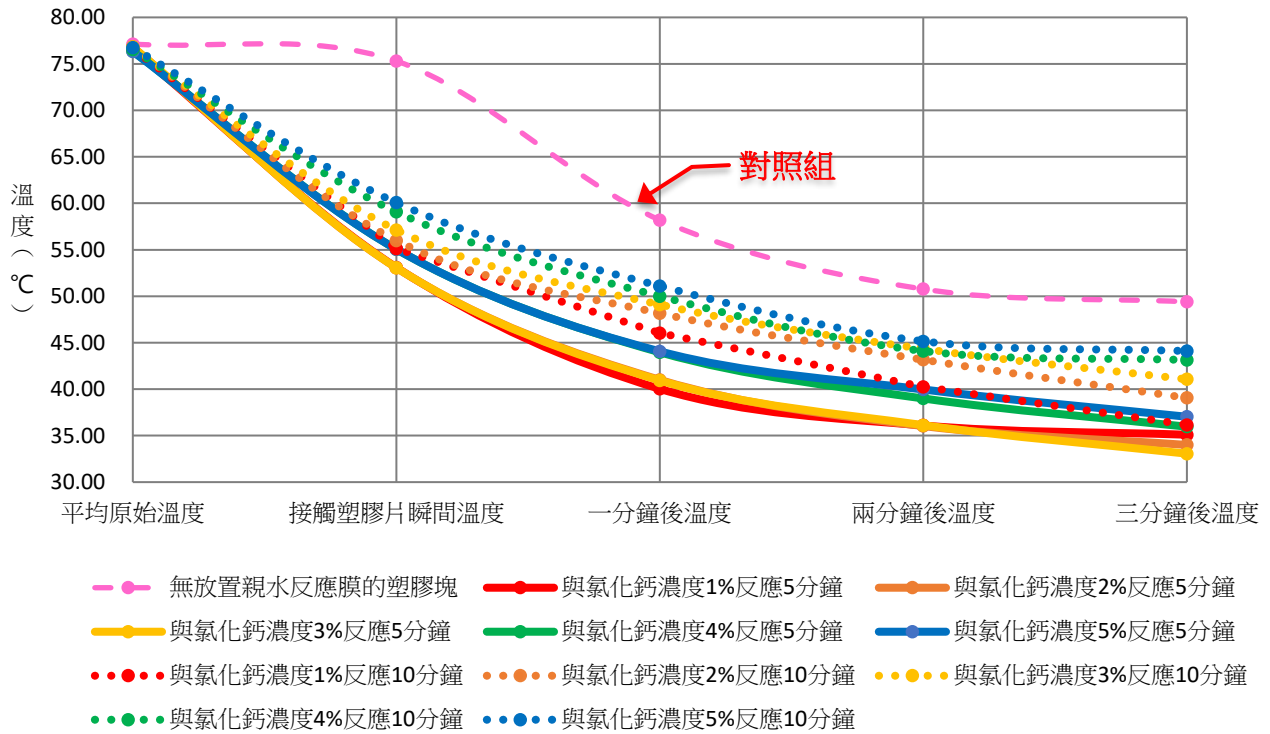


圖 5-4-1 海藻酸鈉濃度 1%不同濃度親水反應膜瞬間涼感測試比較圖

表 5-4-3 海藻酸鈉濃度 2%不同濃度親水反應膜的涼感測試表

		氯化鈣濃度	1%	2%	3%	4%	5%	
海藻酸鈉濃度 2%	交聯反應 5 分鐘	塑膠塊原始溫度 (°C)	第 1 次	76.1	78.1	76.8	75.8	78.1
			第 2 次	76.5	77.2	77.2	76.8	76.6
			第 3 次	75.9	76.1	76.3	76.1	77.1
			平均	76.17	77.13	76.77	76.23	77.27
	塑膠塊接觸膜瞬間溫度 (°C)	第 1 次	55.1	55.7	57.5	57.1	57.6	
		第 2 次	55.3	56.1	56.5	57.3	57.6	
		第 3 次	54.5	56.6	57.2	57.2	58.5	
		平均	54.97	56.13	57.07	57.20	57.90	
	塑膠塊接觸膜溫度一分鐘後溫度 (°C)	第 1 次	44.3	44.8	48.2	48.3	48.6	
		第 2 次	43.5	45.1	47.6	47.7	49.2	
		第 3 次	44.2	45.3	47.9	48.1	49.3	
		平均	44.00	45.07	47.90	48.03	49.03	
	塑膠塊接觸膜溫度二分鐘後溫度 (°C)	第 1 次	37.6	37.9	42.3	41.3	42.6	
		第 2 次	37.3	38.2	41.6	42.6	43.3	
		第 3 次	37.0	38.3	42.2	42.3	42.9	
		平均	37.30	38.13	42.03	42.07	42.93	
	塑膠塊接觸膜溫度三分鐘後溫度 (°C)	第 1 次	30.1	33.1	37.3	37.9	41.1	
		第 2 次	30.2	33.4	37.2	38.3	40.6	
		第 3 次	29.7	32.7	36.9	38.1	40.9	
		平均	30.00	33.07	37.13	38.10	40.87	

		氯化鈣濃度		1%	2%	3%	4%	5%
海藻酸鈉濃度 2%	交聯反應 10 分鐘	塑膠塊原始溫度 (°C)	第 1 次	78.3	76.9	75.8	76.2	76.6
			第 2 次	77.1	77.2	76.5	77.1	77.1
			第 3 次	76.8	77.3	76.3	75.9	76.5
			平均	77.40	77.13	76.20	76.40	76.73
		塑膠塊接觸膜瞬間溫度 (°C)	第 1 次	59.8	59.3	60.1	61.9	62.8
			第 2 次	60.3	58.6	60.3	62.1	63.4
			第 3 次	60.1	58.9	60.1	62.4	63.1
			平均	60.07	58.93	60.17	62.13	63.10
		塑膠塊接觸膜溫度一分鐘後溫度 (°C)	第 1 次	53.1	52.6	52.9	54.6	57.3
			第 2 次	53.2	51.9	53.3	55.3	56.8
	第 3 次		52.5	51.7	53.2	55.1	57.2	
	平均		52.93	52.07	53.13	55.00	57.10	
	塑膠塊接觸膜溫度二分鐘後溫度 (°C)	第 1 次	48.1	47.2	50.1	52.1	54.0	
		第 2 次	47.6	47.3	50.3	52.3	54.3	
		第 3 次	48.2	46.5	49.4	52.2	53.5	
		平均	47.97	47.00	49.93	52.20	53.93	
	塑膠塊接觸膜溫度三分鐘後溫度 (°C)	第 1 次	45.3	45.7	49.3	51.1	53.5	
		第 2 次	44.6	46.2	49.2	51.3	52.8	
		第 3 次	45.3	46.3	49.1	50.6	52.9	
		平均	45.07	46.07	49.20	51.00	53.07	

海藻酸鈉濃度2%反應膜瞬間涼感測試

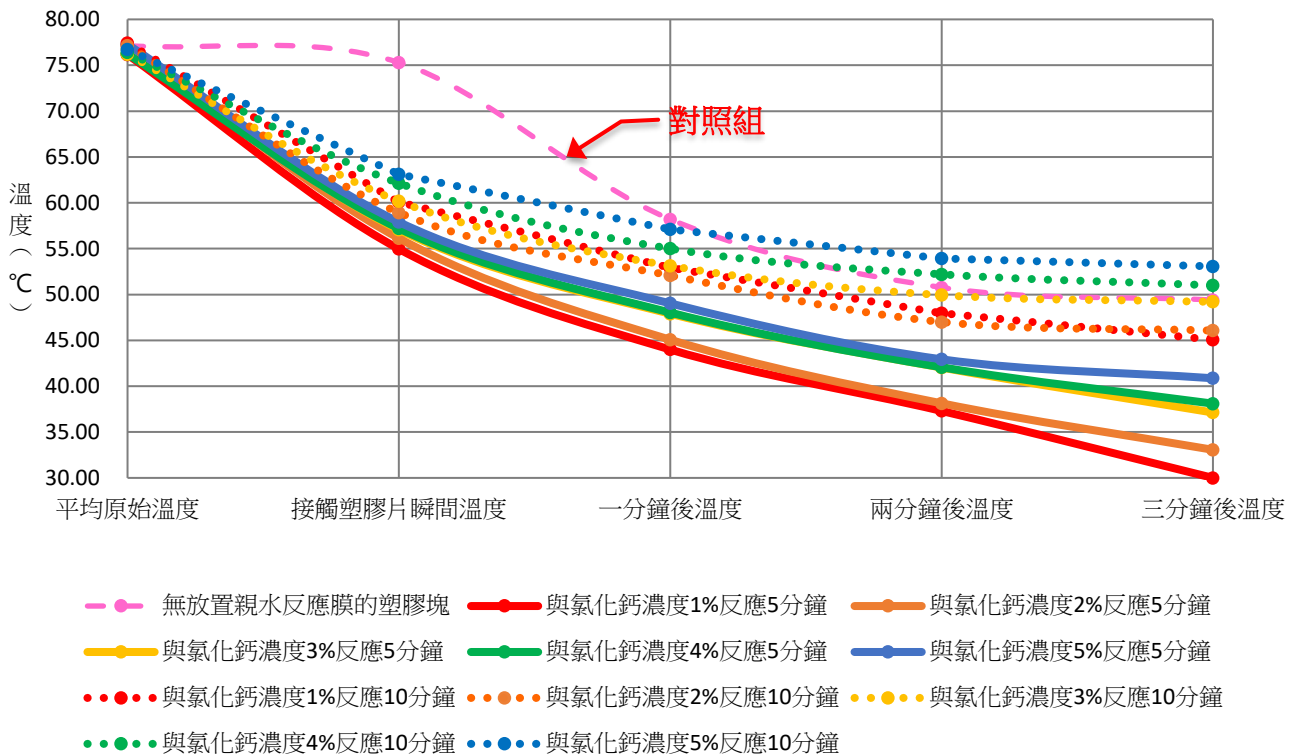


圖 5-4-2 海藻酸鈉濃度 2%不同濃度親水反應膜瞬間涼感測試比較圖

## 實驗討論：

1. 海藻酸鈉與氯化鈣濃度相同的組別裡，反應時間越長，瞬間涼感的效果越差。可知反應時間會影響到瞬間涼感的溫度，推論是隨著反應時間拉長，海藻酸鈉與氯化鈣溶液的交聯程度越高，膜形成的網狀結構越趨緊密，使得水分越難從網格裡逸出。
2. 從實驗數據中得知，反應時間相同，海藻酸鈉濃度相同的情況下，若氯化鈣濃度只有差距 1% 則溫度的差距不明顯。我們推論因濃度差異性小看不出溫度的變化，但是濃度拉到 5%，可知濃度越高瞬間涼感的效果越差。
3. 瞬間涼感效果會被兩個因素影響：一是吸水量，吸水量大會使得反應膜溫度低，所以瞬間涼感的效果會比較好。第二是水在反應膜中滲透速度的快慢，當水分子越容易在膜中移動到反應膜的表面，與塑膠塊進行熱平衡，就更容易使塑膠塊降溫。
4. 我們查詢資料得知高吸水性聚合物吸收的水主要是被束縛在高分子的網狀結構裡，水分子進入高分子網格後，由於網格的彈性束縛，水分子的熱運動會受到限制，因此隨著交聯密度的增加，網格內的水分子逸散會更困難。所以可以解釋反應時間越長，濃度越高的親水反應膜瞬間涼感的效果越差。

## 4-2 持續涼感實驗

### 實驗數據：

表 5-4-4 海藻酸鈉濃度 1% 不同濃度親水反應膜持續涼感測試表

海藻酸鈉濃度 1%										
氯化鈣 溫度 (°C) 濃度 時間	交聯反應 5 分鐘					交聯反應 10 分鐘				
	1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%
0 分鐘	22.5	22.1	21.4	24.0	21.0	23.4	22.1	23.0	23.1	23.3
1 分鐘	27.0	28.1	22.8	27.1	22.9	24.9	25.2	23.5	24.4	24.8
2 分鐘	28.0	28.9	23.8	28.5	24.6	26.3	26.8	23.8	25.1	25.7
3 分鐘	28.3	29.2	24.9	29.5	25.8	27.6	28.0	24.2	25.6	26.1
4 分鐘	28.5	29.2	25.8	30.1	26.9	28.6	28.9	25.1	26.3	26.8
5 分鐘	28.6	29.2	26.9	30.3	27.6	28.6	29.8	25.9	27.0	27.0
6 分鐘	28.5	29.1	27.5	30.4	27.7	29.2	30.6	26.5	27.6	27.2
7 分鐘	28.5	29.1	28.1	30.5	27.7	29.2	30.8	26.7	28.0	27.2
8 分鐘	28.3	29.3	28.3	30.3	27.5	29.2	30.5	26.8	28.1	27.6
9 分鐘	28.1	30.0	28.4	30.2	27.3	29.1	30.5	26.6	28.2	27.5
10 分鐘	28.3	30.5	28.3	30.3	27.2	28.8	30.3	26.5	28.1	27.3
11 分鐘	29.1	31.2	28.3	30.7	26.9	28.8	30.2	26.3	28.1	27.1
12 分鐘	29.9	31.2	28.2	31.0	26.8	28.5	30.1	26.1	27.9	27.0
13 分鐘	30.8	31.8	28.0	31.4	26.5	28.2	29.9	25.9	27.6	27.3
14 分鐘	31.7	32.6	27.8	32.0	26.5	28.5	29.8	25.9	27.4	27.0
15 分鐘	32.2	33.1	27.8	32.3	26.9	29.1	29.9	26.2	27.4	26.9
16 分鐘	32.1	33.1	27.9	32.4	27.4	30.0	30.2	26.6	27.5	26.5
17 分鐘	31.9	33.1	28.1	32.3	28.1	31.0	30.6	27.1	27.9	26.5
18 分鐘	31.7	32.9	28.5	32.2	28.8	32.0	31.3	27.7	28.3	26.9
19 分鐘	31.4	32.5	30.2	32.1	29.2	32.0	32.2	28.0	28.8	27.2
20 分鐘	31.1	32.3	30.8	31.9	29.3	31.8	32.3	28.1	28.9	27.3

海藻酸鈉濃度 1%											
溫度(°C) 時間	氯化鈣 濃度	交聯反應 5 分鐘					交聯反應 10 分鐘				
		1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%
21 分鐘		31.3	32.1	31.1	31.8	29.2	31.4	32.1	28.1	29.0	27.7
22 分鐘		31.7	32.4	31.1	31.8	29.1	31.1	32.0	27.9	29.0	27.7
23 分鐘		31.4	32.0	31.1	31.7	28.8	30.1	31.8	27.8	28.9	27.8
24 分鐘		31.3	32.2	30.9	31.7	28.5	30.2	31.3	27.5	28.7	27.8
25 分鐘		31.6	32.2	30.7	31.8	28.2	29.8	31.0	27.2	28.5	27.6
26 分鐘		31.4	31.8	30.8	31.9	28.0	30.0	30.8	27.3	28.6	27.4
27 分鐘		31.6	31.7	30.9	31.8	27.7	30.8	30.8	27.6	28.5	27.1
28 分鐘		31.5	32.0	30.8	31.7	27.9	31.6	30.7	28.0	27.5	27.1
29 分鐘		31.5	31.9	30.8	31.8	27.9	31.6	30.6	28.1	28.5	27.3
30 分鐘		31.4	31.8	30.9	31.8	28.0	31.5	30.8	28.3	28.5	27.4

海藻酸鈉濃度1%反應膜持續涼感測試

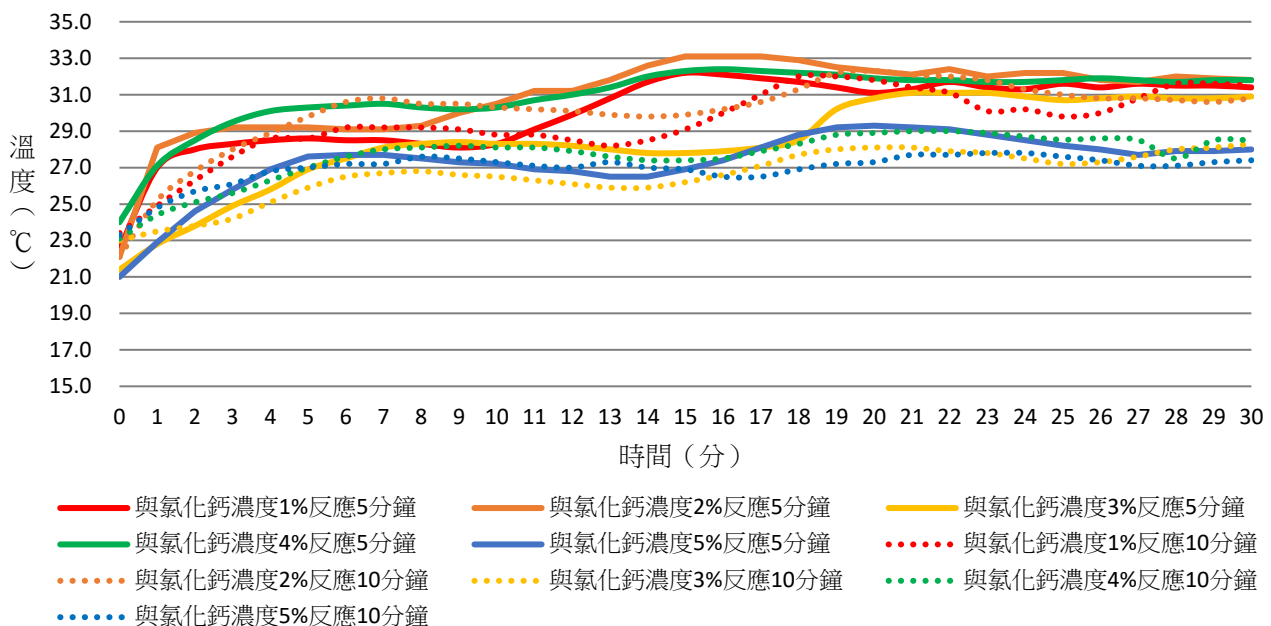


圖 5-4-3 海藻酸鈉濃度 1%不同濃度親水反應膜持續涼感測試比較圖

表 5-4-5 海藻酸鈉濃度 2%不同濃度親水反應膜的涼感測試表

海藻酸鈉濃度 2%											
溫度(°C) 時間	氯化鈣 濃度	交聯反應 5 分鐘					交聯反應 10 分鐘				
		1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%
0 分鐘		23.7	24.0	22.9	23.3	22.0	23.5	23.2	27.5	22.4	23.3
1 分鐘		24.7	26.1	26.2	25.7	27.5	24.0	23.6	28.1	24.9	26.6
2 分鐘		26.8	28.1	28.0	26.7	28.9	24.5	24.9	27.9	25.3	28.1
3 分鐘		27.7	29.2	28.9	27.2	29.3	25.1	26.0	29.1	25.4	28.2
4 分鐘		28.3	30.1	29.5	27.5	29.3	25.5	26.3	29.9	25.0	29.9
5 分鐘		28.7	30.4	29.9	27.7	29.1	26.1	26.8	30.2	25.6	30.8
6 分鐘		28.8	30.5	30.1	27.8	28.7	26.8	26.9	30.3	26.0	31.3



海藻酸鈉濃度 2%											
溫度(°C) 時間	氯化鈣 濃度	交聯反應 5 分鐘					交聯反應 10 分鐘				
		1%	2%	3%	4%	5%	1%	2%	3%	4%	5%
7 分鐘		28.6	30.5	30.2	27.8	28.2	27.3	27.1	30.3	26.1	32.1
8 分鐘		28.2	30.3	30.1	27.6	27.8	28.0	27.3	30.3	27.2	32.8
9 分鐘		27.8	30.1	30.0	27.5	27.3	28.6	27.4	30.1	28.3	33.4
10 分鐘		27.3	29.9	30.1	27.5	27.1	29.2	27.6	29.9	29.1	33.8
11 分鐘		27.0	29.5	30.3	27.5	27.5	29.5	27.8	29.5	29.4	33.6
12 分鐘		26.8	29.3	30.7	27.8	27.9	29.8	27.9	29.3	29.6	33.2
13 分鐘		26.6	29.4	31.1	28.1	28.5	29.9	28.0	29.4	29.8	33.1
14 分鐘		26.5	29.3	31.4	28.5	29.2	29.9	29.1	29.8	30.1	32.5
15 分鐘		26.6	29.4	31.7	28.8	29.7	29.9	29.3	30.0	30.3	32.3
16 分鐘		26.4	29.5	31.5	28.9	29.6	29.9	29.4	30.4	30.4	32.0
17 分鐘		26.3	29.5	31.4	28.9	29.4	29.9	29.5	30.6	30.4	32.3
18 分鐘		26.4	30.1	31.2	28.8	29.2	30.0	29.7	30.6	30.6	32.5
19 分鐘		26.3	30.1	30.9	28.7	29.0	30.2	29.8	30.5	30.7	32.8
20 分鐘		26.3	30.2	30.5	28.5	28.7	30.4	30.1	30.3	30.9	33.1
21 分鐘		26.2	30.4	30.2	28.3	28.3	30.8	30.1	30.2	31.1	33.4
22 分鐘		26.3	30.2	29.9	28.1	28.1	30.7	30.2	30.2	31.2	33.9
23 分鐘		26.4	29.9	29.9	28.0	28.2	30.6	30.3	29.9	31.3	33.8
24 分鐘		26.5	29.7	30.0	28.1	28.8	30.5	30.4	29.8	31.4	33.5
25 分鐘		26.6	29.8	30.1	28.2	29.4	30.4	30.6	29.8	31.6	33.2
26 分鐘		26.7	29.9	30.6	28.6	30.2	30.5	30.3	30.2	31.8	32.8
27 分鐘		26.8	30.1	31.1	29.0	31.1	30.4	30.4	30.1	31.9	32.5
28 分鐘		26.8	30.2	31.3	29.3	31.5	30.4	30.3	30.1	32.1	32.1
29 分鐘		26.7	30.1	31.4	29.5	31.3	30.5	30.4	30.2	31.9	31.9
30 分鐘		26.6	30.0	31.3	29.6	31.1	30.6	30.6	30.3	31.8	32.2

海藻酸鈉濃度2%反應膜持續涼感測試

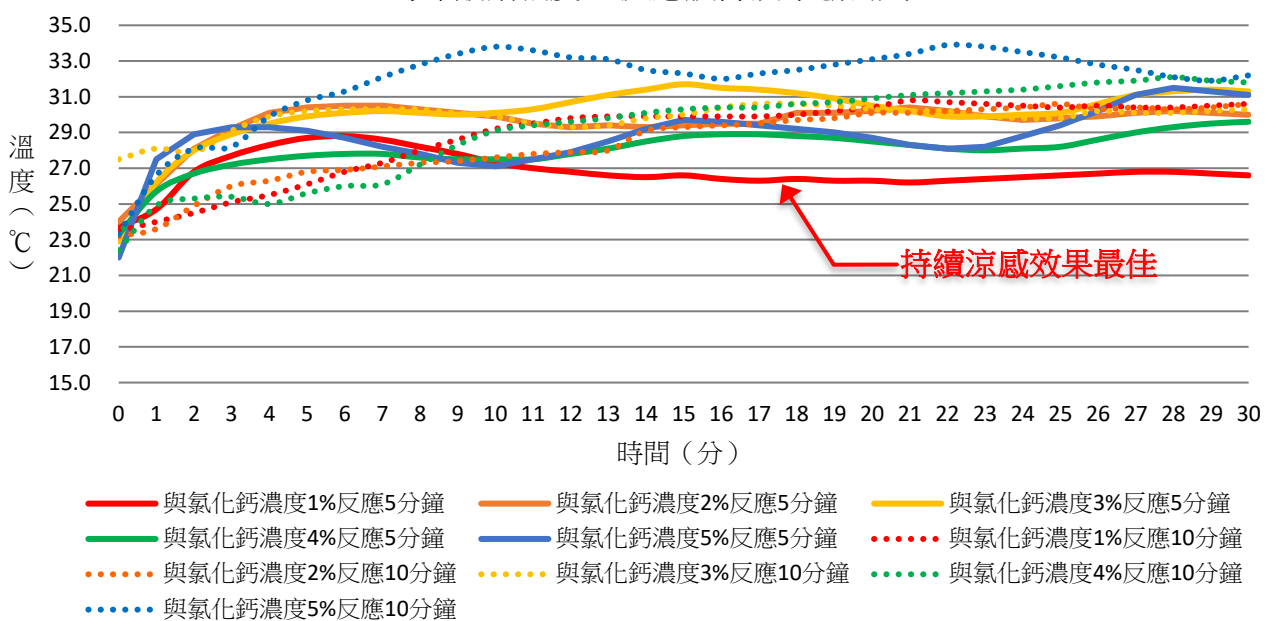


圖 5-4-4 海藻酸鈉濃度 2% 不同濃度親水反應膜持續涼感測試比較圖

### 實驗討論：

1. 從實驗數據可知持續涼感最佳的親水反應膜為海藻酸鈉 2%加上氯化鈣 1%，反應時間為 5 分鐘。原因是海藻酸鈉濃度高但是氯化鈣濃度低，加上交聯時間不長使得膜內的網狀孔隙夠大，可以讓水分子停留在裡面。
2. 分析圖表發現所有的親水反應膜溫度皆有「先升後降再升」的現象。升溫是因為熱量從高溫移到低溫，親水反應膜吸收了恆溫箱內的熱所以溫度上升。我們實驗時為了夾感溫探頭，所以必須把親水反應膜對折，上層的親水反應膜升溫到某一個程度之後，下層的親水反應膜就會把膜內所存的水分釋放出來傳導到上層，因此會使溫度再度下降，下降到膜內已經沒有水分可以釋放之後，又會再度升溫，最終親水反應膜會與恆溫箱達到熱平衡的 37°C。
3. 海藻酸鈉濃度最高反應時間最長的親水反應膜，持續涼感的效果最差。推論是親水反應膜的孔隙過小吸水困難，反應膜內的水分在 5 分鐘後就大部分都蒸發了，所以 5 分鐘過後溫度皆在 30°C 以上。
4. 影響持續涼感的因素有兩個，第一吸水量，吸水量要大才能有足夠的水分在持續蒸發到空氣中的過程裡，還能維持低溫。第二是滲透速度的快慢，要保持涼感，水分子在反應膜內移動的速度不能太快，否則在短時間內水分都會被蒸發到空氣中。但是滲透速度太慢也不行，水分子一直留在高分子網格內無法移動，水分子逸散困難，涼感效果也無法持續。所以持續涼感效果最好的反應膜應該是要吸水量大，滲透速度中等。

### (五) 實驗五：親水反應膜可扭轉圈數測試

#### 實驗數據：

表 5-5-1 親水反應膜可扭轉圈數測試表

氯化鈣濃度		1%	2%	3%	4%	5%		
海藻酸鈉濃度 1%	反應 5 分鐘	第 1 次扭轉圈數	9	11	14	16	17	
		第 2 次扭轉圈數	10	13	13	17	17	
		第 3 次扭轉圈數	7	11	14	17	18	
		平均扭轉圈數	8.7	11.7	13.7	16.7	17.3	
反應 10 分鐘	反應 10 分鐘	第 1 次扭轉圈數	11	12	14	19	20	
		第 2 次扭轉圈數	11	13	15	19	21	
		第 3 次扭轉圈數	11	12	15	19	23	
		平均扭轉圈數	11.0	12.3	14.7	19.0	21.3	
海藻酸鈉濃度 2%	反應 5 分鐘	第 1 次扭轉圈數	20	21	22	23	24	
		第 2 次扭轉圈數	21	20	22	22	23	
		第 3 次扭轉圈數	20	20	21	22	24	
		平均扭轉圈數	20.3	20.3	21.7	22.3	23.7	
	反應 10 分鐘	反應 10 分鐘	第 1 次扭轉圈數	22	23	23	25	28
			第 2 次扭轉圈數	22	25	24	24	28
			第 3 次扭轉圈數	22	23	24	25	27
			平均扭轉圈數	22.0	23.7	23.7	24.7	27.7

親水反應膜可扭轉圈數測試比較圖

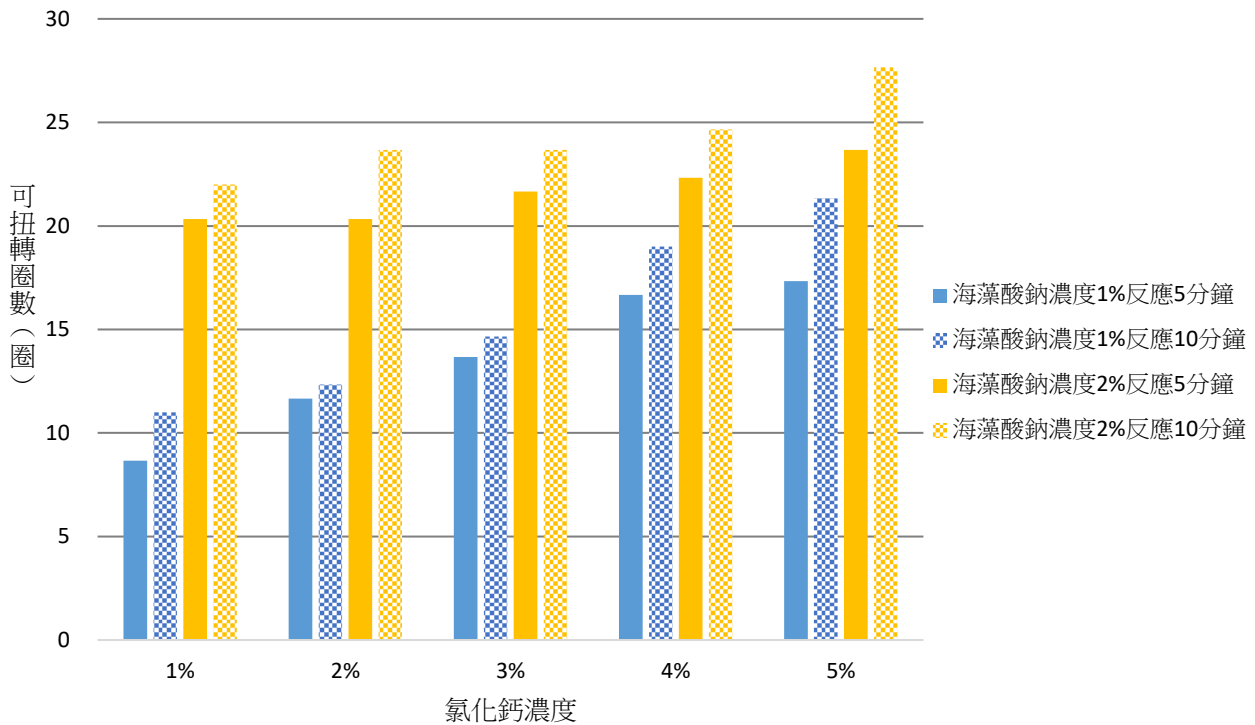


圖 5-5-1 親水反應膜可扭轉圈數測試比較圖

**實驗討論：**

1. 從實驗數據中可得知海藻酸鈉濃度越高，親水反應膜可扭轉的圈數就越多。交聯時間越長也會使得可扭轉的圈數增多。推論反應時間越長，或海藻酸鈉濃度越高，會使得親水反應膜的厚度越厚，越厚的膜越難被扭斷。
2. 可扭轉圈數最弱的親水反應膜也能承受約 9 圈的扭轉，代表親水反應膜不容易被扭斷，而且擰到要斷裂前停手（接近斷裂）讓反應膜再度吸水，再進行扭轉，可扭轉的圈數也沒有減少的趨勢。
3. 綜合吸水量、滲透速度快慢、瞬間涼感、持續涼感與可扭轉圈數的測試結果，海藻酸鈉濃度 2%氯化鈣濃度 1%，反應時間五分鐘的親水透氣膜在各項實驗裡的參數表現相對較佳，所以我們決定以此濃度來製作我們的涼感巾。

**（六） 實驗六：自製的涼感巾與市售的涼感巾進行比較**

**6-1 在恆溫箱內進行測試**

**實驗數據：**

表 5-6-1 自製涼感巾與市售的涼感巾在恆溫箱內進行溫度測試變化表

種類 溫度 (°C) 時間	外包膜	內縫膜	市售 A	市售 B	市售 C
0 分鐘	22.3	21.4	21.6	22.3	23.3
1 分鐘	22.8	22.0	22.5	24.1	23.4
2 分鐘	23.9	22.5	24.2	25.1	23.8
3 分鐘	24.0	23.1	25.5	25.6	24.3
4 分鐘	24.1	23.2	26.8	26.1	24.8

溫度 (°C) 時間	種類 外包膜	內縫膜	市售 A	市售 B	市售 C
5 分鐘	24.2	23.5	27.8	26.4	25.3
6 分鐘	24.4	23.8	28.4	26.8	25.8
7 分鐘	24.5	24.1	28.8	27.1	26.3
8 分鐘	24.6	24.2	28.9	27.3	26.8
9 分鐘	24.8	24.5	29.0	27.6	27.1
10 分鐘	25.3	24.6	29.0	27.4	27.5
11 分鐘	25.4	24.7	28.9	27.2	27.9
12 分鐘	25.6	24.7	28.9	27.0	28.1
13 分鐘	25.7	24.6	29.1	26.8	28.2
14 分鐘	25.8	24.6	29.3	26.7	28.3
15 分鐘	25.9	24.5	29.7	26.9	28.3
16 分鐘	26.3	24.5	30.0	27.1	28.2
17 分鐘	26.4	24.5	30.3	27.3	28.2
18 分鐘	26.5	24.5	30.8	27.5	28.1
19 分鐘	26.8	24.6	31.2	27.8	28.1
20 分鐘	27.1	24.8	31.4	28.0	28.1
21 分鐘	27.1	24.9	31.4	28.2	28.1
22 分鐘	27.2	25.1	30.9	28.4	28.2
23 分鐘	27.3	25.2	31.3	28.5	28.3
24 分鐘	27.4	25.2	31.1	28.3	28.5
25 分鐘	27.5	25.2	30.5	28.4	28.5
26 分鐘	27.6	25.1	30.3	28.7	28.6
27 分鐘	27.4	25.1	30.3	28.7	28.6
28 分鐘	26.9	25.1	30.5	28.9	28.5

自製涼感巾與市售的涼感巾在恆溫箱內進行溫度測試變化圖

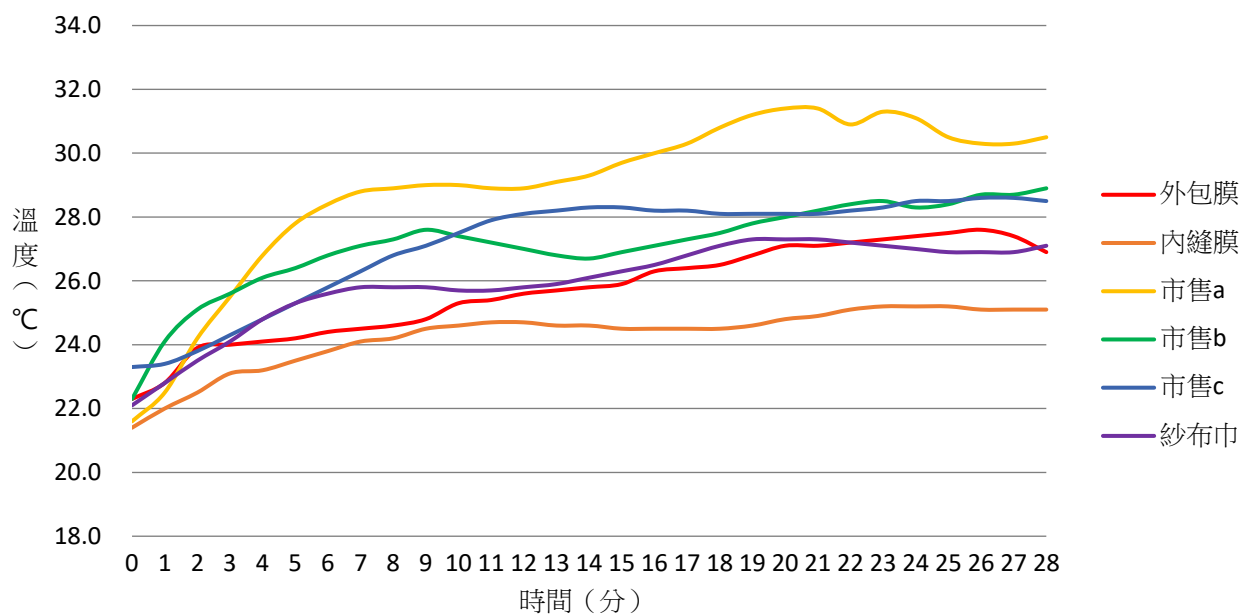


圖 5-6-1 自製涼感巾與市售的涼感巾在恆溫箱內進行溫度測試變化圖

## 實驗討論：

1. 從數據中可知在恆溫箱內持續涼感效果最佳的是把親水反應膜縫在紗布巾內的涼感巾（以下簡稱內縫膜涼感巾），次佳的直接把紗布巾浸泡海藻酸鈉與氯化鈣製成的涼感巾（以下簡稱外包膜涼感巾），再其次為紗布巾，市售的涼感巾涼感效果皆差於我們自製的涼感巾。
2. 紗布巾與外包膜涼感巾在 30 分鐘內的涼感差異不大，推論是附著在紗布巾的水分在恆溫箱內不易蒸發，所以涼感效果可以維持較久。
3. 內縫膜涼感巾涼感效過優於外包膜涼感巾，原因是因為內縫膜的水分子一直停留在膜的網狀結構內，要外頭所包覆的紗布巾乾燥了之後，膜內的水分子才會逸散出來。而外包膜涼感巾則直接接觸 37°C 的空氣，所以水就直接蒸發到空氣中，因此持續涼感的效果就稍差。

## 6-2 在戶外的太陽下進行測試

### 實驗數據：

表 5-6-2 自製的涼感巾與市售的涼感巾戶外的太陽下進行測試溫度變化表

種類 溫度 (°C) 時間	外包膜	內縫膜	市售 A	市售 B	市售 C	備註
0 分鐘	25.8	25.8	26.1	26.5	26.3	
1 分鐘	26.2	26.5	27.5	28.4	27.8	
2 分鐘	26.5	26.3	28.5	28.5	28.1	
3 分鐘	26.6	26.9	28.8	28.6	28.8	太陽下溫度達到 36°C
4 分鐘	26.8	27.1	29.1	30.2	29.1	
5 分鐘	27.1	27.1	29.6	30.4	29.3	
6 分鐘	27.3	27.1	29.6	31.7	29.3	
7 分鐘	27.0	27.1	28.9	32.1	29.3	
8 分鐘	26.7	27.1	28.8	33.4	30.0	太陽下溫度達到 40°C
9 分鐘	26.5	27.1	28.8	34.4	30.1	
10 分鐘	26.0	27.3	28.4	34.7	30.2	
11 分鐘	25.9	27.3	28.2	35.1	30.3	
12 分鐘	25.8	27.4	27.9	35.2	30.4	
13 分鐘	25.6	27.4	27.6	35.6	30.5	
14 分鐘	26.8	27.6	28.8	35.7	31.3	
15 分鐘	27.5	27.1	29.3	35.8	32.1	
16 分鐘	27.5	27.1	29.4	36.1	33.4	
17 分鐘	27.5	27.3	29.3	36.2	33.8	
18 分鐘	27.3	27.4	29.3	36.4	34.5	
19 分鐘	26.9	27.4	28.7	36.5	34.9	
20 分鐘	25.7	27.6	28.0	36.7	35.1	
21 分鐘	25.3	26.3	26.6	36.8	35.4	
22 分鐘	25.7	26.2	27.3	37.1	35.7	
23 分鐘	25.5	26.1	27.5	37.1	36.1	
24 分鐘	26.2	26.1	27.9	37.2	36.3	
25 分鐘	26.0	26.2	27.5	37.3	36.5	太陽下溫度達到 44°C
26 分鐘	26.2	26.2	27.8	37.4	36.6	

種類 溫度(°C) 時間	外包膜	內縫膜	市售A	市售B	市售C	備註
	27 分鐘	26.9	26.3	28.3	37.4	
28 分鐘	26.8	26.4	27.9	37.5	36.8	

自製涼感巾與市售涼感巾在戶外太陽下進行溫度測試變化圖

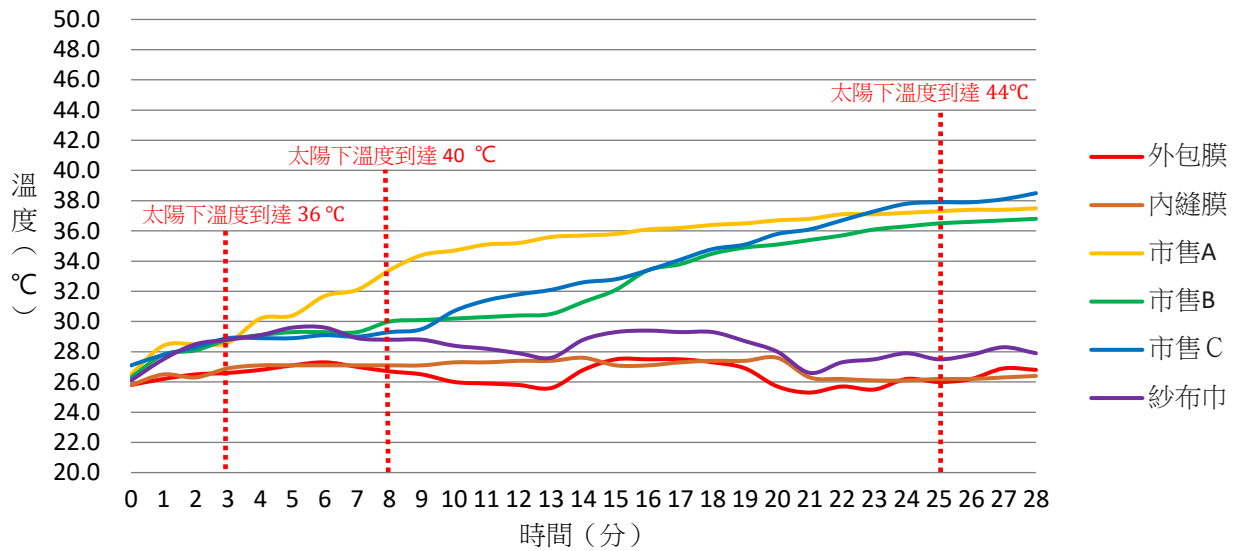


圖 5-6-2 自製涼感巾與市售涼感巾在戶外太陽下進行溫度測試變化圖

**實驗討論：**

1. 戶外太陽直射的溫度一開始為 33°C，因為溫度比所有的涼感巾高出許多，所以所有的涼感巾一曬到太陽，溫度都直接跳升了一度以上，接下來才以零點幾度緩步上升。
2. 持續涼感效果最好為內縫膜涼感巾，但是瞬間涼感效果最好則為外包膜涼感巾，推論原因內縫膜涼感巾因為外面有包一層紗布巾，親水反應膜沒有直接照射到太陽，所以的水分釋出較為緩慢，可以讓涼感的效果維持比較久。而外包膜涼感巾因為親水膜直接包覆在紗布巾之外，因為親水反應膜吸收大量的水，能直接接觸到的水分非常的多，所以瞬間涼感的效果就能勝出。
3. 市售的涼感巾因為布料上有塗布一層涼感薄膜，涼感薄膜是運用比熱比紡織品小，熱平衡快，能快速與環境溫度產生平衡作用，達到快速降溫的效果。所以在炎熱的天氣下，反而會比一般的毛巾要更容易吸熱。
4. 不論是模擬人體的體溫的 36°C~37°C 的恆溫箱內，或是直接在戶外大太陽底下曝曬，本研究自製的兩款親水膜涼感巾涼感效果都優於市售的涼感巾。

**(七) 實驗七：涼感效果遞減實驗**

**實驗數據：**

表 5-7-1 自製反應膜重複使用熱平衡時間表

實驗次數 熱平衡時間	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	第 11 次	第 12 次	第 13 次	第 14 次	第 15 次	第 16 次	第 17 次
	小時	26	25	26	26	25	26	25	25	25	26	26	26	26	25	25	26

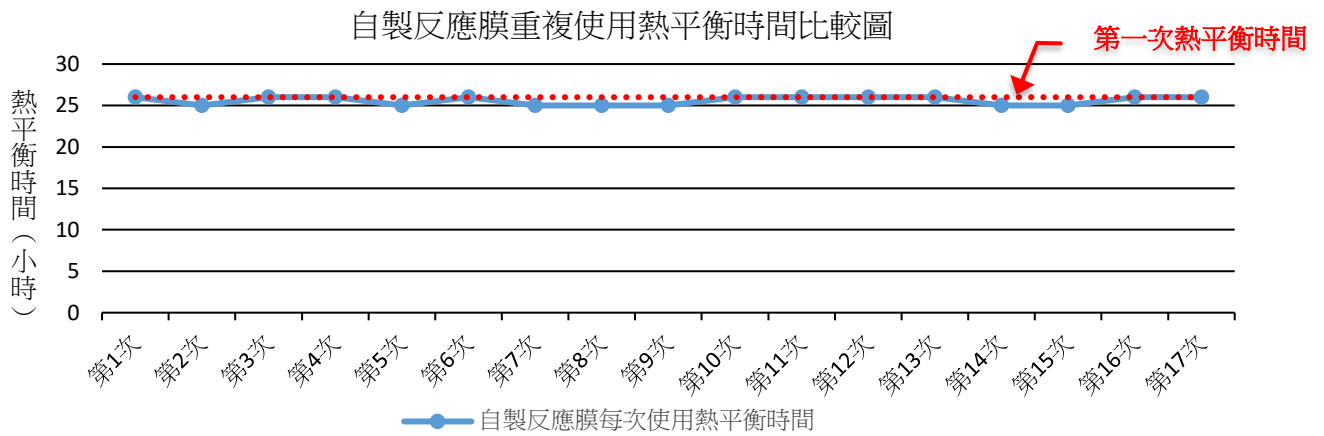


表 5-7-1 自製反應膜重複使用熱平衡時間比較圖

**實驗討論：**

1. 從實驗數據中可知，同一片反應膜經過 17 次重複的實驗，熱平衡的時間差距都在一個小時左右，代表涼感效果並沒有顯著的遞減情況。
2. 根據實驗結果推論，我們自製的涼感巾吸水後重複使用多次，也能維持初次的涼感效果。

**(八) 實驗八：生物降解實驗**

種類	第一天 2019/12/19		第七天 2019/12/26	
	放置於土面上	埋在土裡	放置於土面上	埋在土裡
親水反應膜	 圖 5-8-1	 圖 5-8-2	 圖 5-8-5 放置於土面上，膜表面長出黴菌	 圖 5-8-6 埋在土裡，土面上長出細小植物
市售的涼感巾	 圖 5-8-3	 圖 5-8-4	 圖 5-8-7 表面無任何變化	 圖 5-8-8 表面無任何變化

種類	2020/3/11 第 83 天	
	放置於土面上	埋在土裡
親水反應膜	  <p>圖 5-8-9                      圖 5-8-10</p> <p>邊緣扭曲變形，多處已經破碎，布滿許多黑色的黴菌</p>	  <p>圖 5-8-13                      圖 5-8-14</p> <p>已經完全分解完畢，僅剩的一小片是被膠帶黏住的邊緣</p>
市售的涼感巾	  <p>圖 5-8-11                      圖 5-8-12</p> <p>涼感巾上沾滿泥土。拿出泥土後發現市售涼感巾依然保持完整</p>	 <p>圖 5-8-15</p> <p>在土面上的市售涼感巾，除了上層些微沾到泥土之外，完全沒有任何變化</p>

### 實驗討論：

1. 埋在土中的親水反應膜在不到三個月的時間就完全生物降解完畢，土面長出許多細小的植物，土壤內還發現了蚯蚓。代表親水反應膜對環境沒有影響之外，還對環境有益。
2. 放在土面上的親水反應膜布滿黴菌，推論親水反應膜能被微生物分解，土壤內的微生物數量比在空氣中多，所以埋在土壤裡生物降解的速度比較快。
3. 市售的涼感巾九成以上都是聚酯纖維製成的，聚酯纖維在掩埋場中需要兩百年以上才能被分解，如能以我們自製的親水反應膜涼感巾取代市售的涼感巾對於環保會有很大的助益。



## 陸、 結論

- 一、親水反應膜會隨著反應時間越長或海藻酸鈉與氯化鈣的濃度增加，交聯程度越高，使得膜厚度隨之變厚。
- 二、實驗數據中可知，海藻酸鈉濃度 2%與氯化鈣濃度 1%反應時間 5 分鐘製成的親水反應膜，吸水性最佳。少量的交聯後，吸水率會大量的增加，但是隨著交聯密度增加，吸水率反而會下降。
- 三、從實驗數據中可知海藻酸鈉濃度 1%的滲透速度快於海藻酸鈉濃度 2%。推論是海藻酸鈉的濃度越高，高分子網格越小，水越難在膜內移動，導致滲透速度變慢。
- 四、從實驗數據可知持續涼感最佳的親水反應膜為海藻酸鈉 2%加上氯化鈣 1%，反應時間為 5 分鐘。原因是海藻酸鈉濃度高但是氯化鈣濃度低，加上交聯時間不長使得膜內的網狀孔隙夠大，可以讓水分子停留在裡面。
- 五、海藻酸鈉濃度越高，親水反應膜可扭轉的圈數就越高。交聯時間越長也會使得可扭轉的圈數增加，使得我們自製的涼感巾更加耐用。
- 六、綜合吸水量、滲透快慢、瞬間涼感、持續涼感與可扭轉圈數的測試結果，海藻酸鈉濃度 2%氯化鈣濃度 1%，反應時間五分鐘的親水透氣膜在各項實驗裡的參數表現佳，所以本研究以此濃度來自製涼感巾。
- 七、不論是在恆溫箱內，或是戶外太陽下，親水反應膜涼感巾的涼感效果都優於市售不同品牌的涼感巾。
- 八、在涼感效果遞減的實驗中，每次實驗時間都要長達一天以上，因為研究報告截稿日期的關係，所以我們來不及繼續進行實驗直到涼感效果出現遞減的情形，所以無法得知自製涼感巾最多能重複使用幾次。我們後續會再進行實驗，且與市售涼感巾的涼感效果遞減情況進行比較。
- 九、本研究自製的親水反應膜涼感巾掩埋在土裡三個月內就可以完全生物降解完畢，對環境不會造成任何負擔。加上製作成本低廉，製作方式簡單，期待這樣充滿許多優點的親水反應膜未來能在市場上取代製作過程碳排高且難以分解的聚酯纖維涼感巾。

## 柒、 參考資料

- 一、王亭云、康乃文、楊家瑜(2018)「衣」起革命，涼感衣各項指標檢測與改良。中華民國第 58 屆國中小科展作品說明書。
- 二、林鈺純 (2018) Ooho! 「內」個「膜」法—凝膠薄膜性質之探討。中華民國第 58 屆國中小科展作品說明書。
- 三、冰雪奇巾。中華民國第 45 屆國中小科展作品說明書。
- 四、廖哲立、隋典融、陳俊豪 (2016) 吃我一顆水球—探討無瓶水製作方式和性質檢測。中華民國第 56 屆國中小科展作品說明書。
- 五、吸濕排汗布料：穿著者舒適的關鍵。(2015) 紡拓會編譯

## 【評語】 082910

本研究以海藻酸鈉與氯化鈣交聯反應產生的薄膜，從過去的分  
子料理到實驗設計為涼感材質，使得本實驗具有極佳的創新性  
及應用性。瞬間涼感測試建議可加上空白組無反應膜的降溫趨勢  
來進行比較。實驗有考量涼感巾重複使用性、破損率、可降解等  
問題，整體實驗完整，具備綠色化學教育概念。

# 摘要

市售涼感巾涼感原理是靠聚酯纖維表層的塗布或是改良不同織法來增加涼感效果。但是聚酯纖維本身不吸水不透氣，所以在材質的選擇上與人體能感受到涼感的原理不同。本研究拋開改良紡織品的想法，直接從涼感原理著手，透過海藻酸鈉與氯化鈣交聯反應產生的高分子聚合物製成涼感巾，我們稱它為親水反應膜涼感巾。透過實驗測試，我們找出了最佳的濃度配方為海藻酸鈉 2%與氯化鈣 1%交聯反應 5 分鐘，以這配方製作的親水反應膜在瞬間涼感、持續涼感、水分滲透速度與可扭轉圈數各項參數裡表現皆優。親水反應膜是高分子聚合物有優良的吸水效果，它可以把水分鎖在分子網格內，因此也具有優良的保水性。既能吸水又能保水，所以涼感效果遠優於市售的涼感巾。

## 壹、研究動機

夏天越來越熱，尤其是上體育課時更讓人覺得難以忍受，很多同學會購買涼感巾來幫助降溫。市售的涼感巾種類眾多，但是實際使用起來我們感覺涼感持續時間不長，於是我們想自製一款既能讓體感溫度瞬間下降，又能延長它的涼感效果的涼感巾。

## 貳、實驗目的

- 一、探討涼感巾的涼感的原理
- 二、根據涼感原理自製涼感巾
- 三、測試自製涼感巾的涼感效果
- 四、與市售涼感巾的涼感效果作比較

## 研究架構



## 參、研究設備及器材



## 肆、研究方法和實驗結果與討論

### 文獻探討

涼感巾材質一般可以兩為大類：一種是合成纖維，一種是親水材質。

材質	合成纖維	親水材質
組成	聚酯纖維、聚乙烯醇（環保 PVA）、尼龍	混用吸水性的紡織材質，或在纖維上做親水的加工處理
原理	塗布在料上的涼感薄膜或涼感粉體因為比熱比紡織品小，熱平衡快，能快速與環境溫度產生平衡作用，達到快速降溫的效果。	其良好的吸濕排汗功能帶來的適度回潮、舒適、不黏，讓身體產生一種濕涼感。
缺點	熱傳導快的材質，熱平衡也快，因此在炎熱的環境裡溫度也相對地熱得快。在高溫的環境下，這種涼感巾反而會比一般的毛巾感覺更熱。	這類型的涼感布料在乾燥的狀況下，不會有涼感效果，在涼感巾要擰乾的條件下，涼感就不會維持太久。

透過文獻探討，我們歸納出兩個重點：

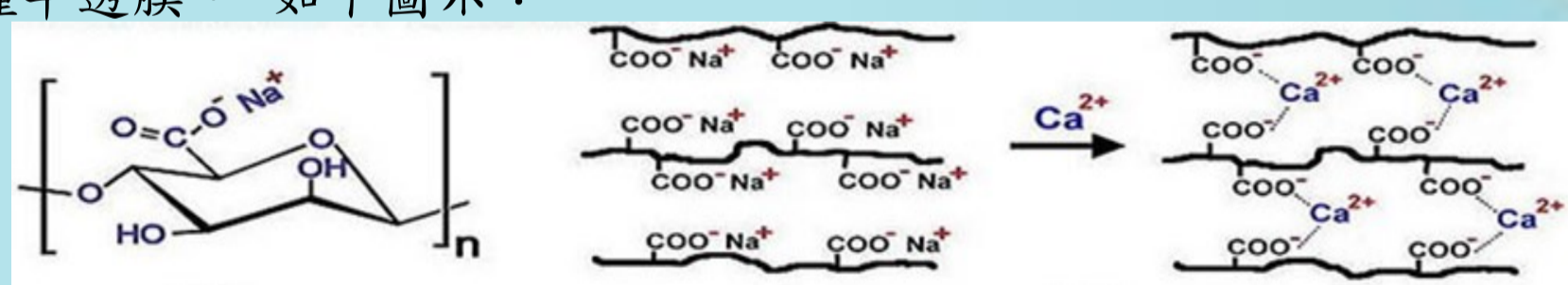
1. 要能在炎熱的環境中使用，親水材質纖維的涼感巾優於合成纖維。材質親水性越好，涼感所能持續的效果就越久。
2. 目前所有的研究都圍繞在「布料」材質的研究上，尚無其他材質的研究。

我們決定從「親水性」這方面著手研究，若有材質能具有良好的親水性與保水性，那麼它的涼感維持度就能持久。有同學提及曾看過關於可以吃的水球新聞，這種水球利用天然褐藻及氯化鈣製成袋狀雙層凝膠狀化合物，可以把水包在裡面維持四到六週。這靈感讓我們決定把目標從布料的改良轉變成親水膜的製作來進行我們的研究。

### 實驗流程與方法

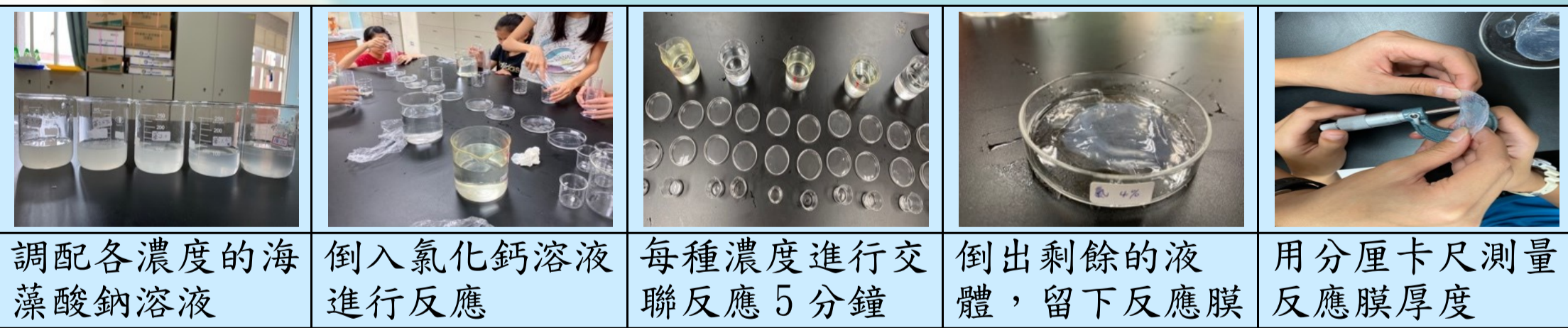
#### 實驗一：不同濃度親水反應膜的製作

**實驗說明：**可以吃的水球是利用海藻酸鈉與氯化鈣進行交聯反應之後使分子更為固定，流動性降低而固化形成一種半透膜。首先我們先了解何謂「交聯反應」(cross-linking)，當海藻酸鈉滴入氯化鈣中，碰到鈣離子，鈣離子會取代海藻酸鈉的鈉離子，並抓住海藻酸鈉裡面的羧酸離子，這便是發生了交聯反應。這交聯反應讓原本的鏈狀聚合物變成網狀聚合物，使分子更為固定，流動性降低而固化形成一種半透膜。如下圖示：

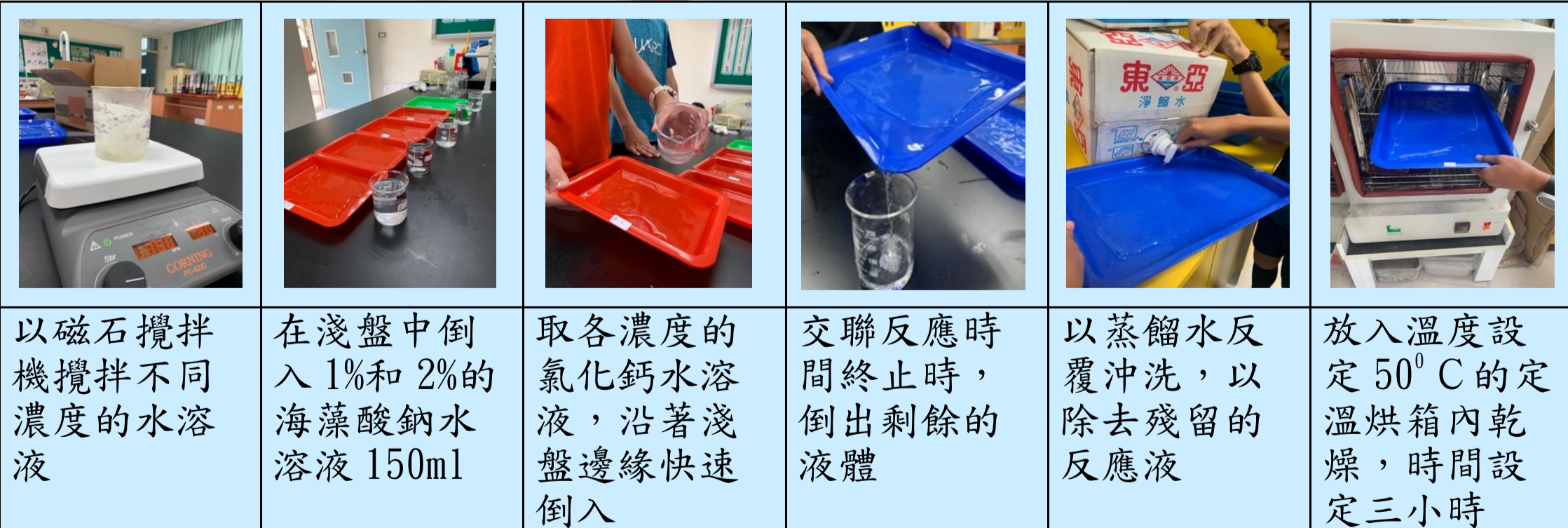


#### 實驗步驟：

##### 1-1 製作親水反應膜



##### 1-2 實驗改良



#### 實驗二：探討不同濃度親水反應膜吸水能力的強弱

#### 實驗說明：

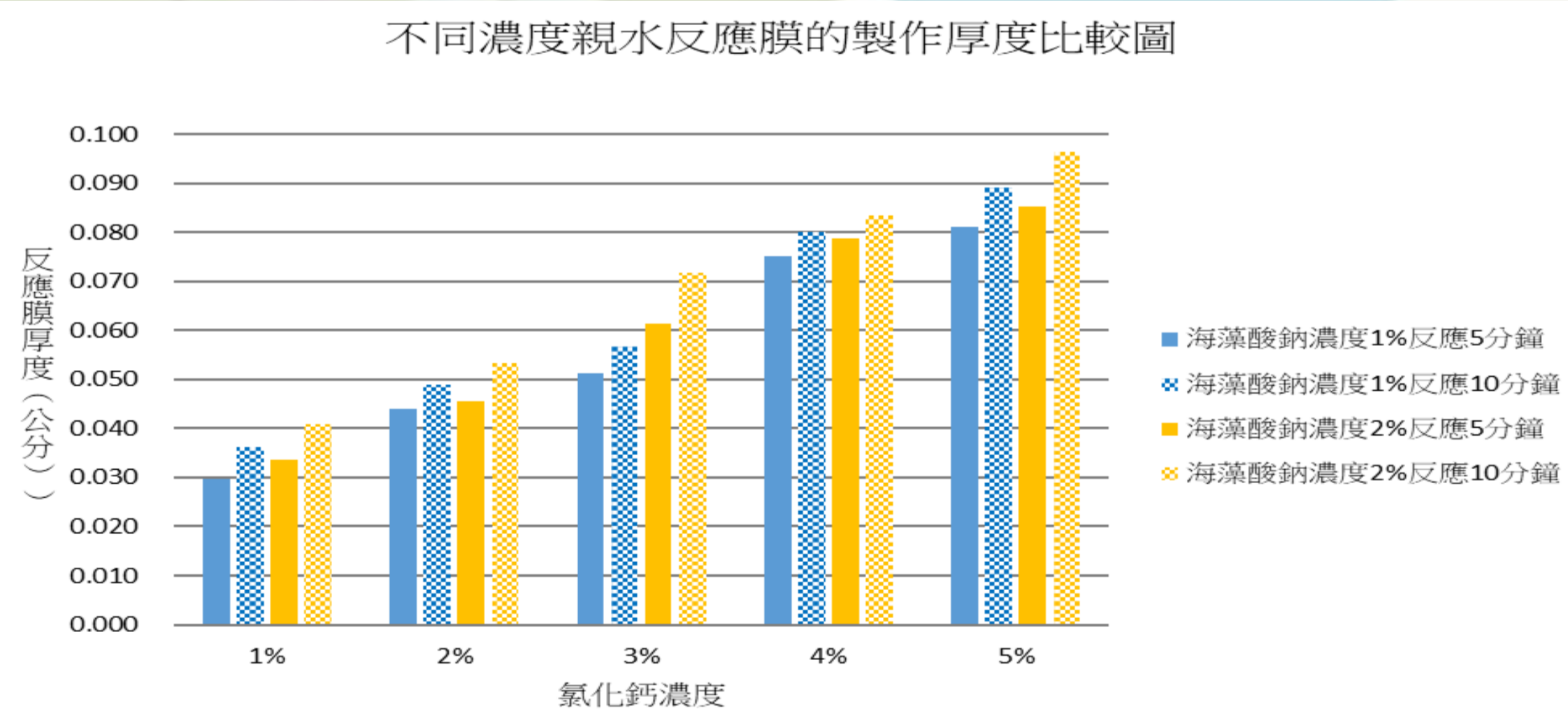
根據第 58 屆全國科展「涼感衣各項指標檢測與改良」的實驗結論：一般的涼感衣（或巾）是利用吸濕排汗的原理或適度的回潮來造成涼感的效果，也就是說織物的吸水性是決定涼感效果的重要原因之一。所以我們透過探討不同濃度反應膜吸水能力的強弱來瞭解何種濃度的親水反應膜吸水最佳。

#### 實驗步驟：



### 實驗結果與討論

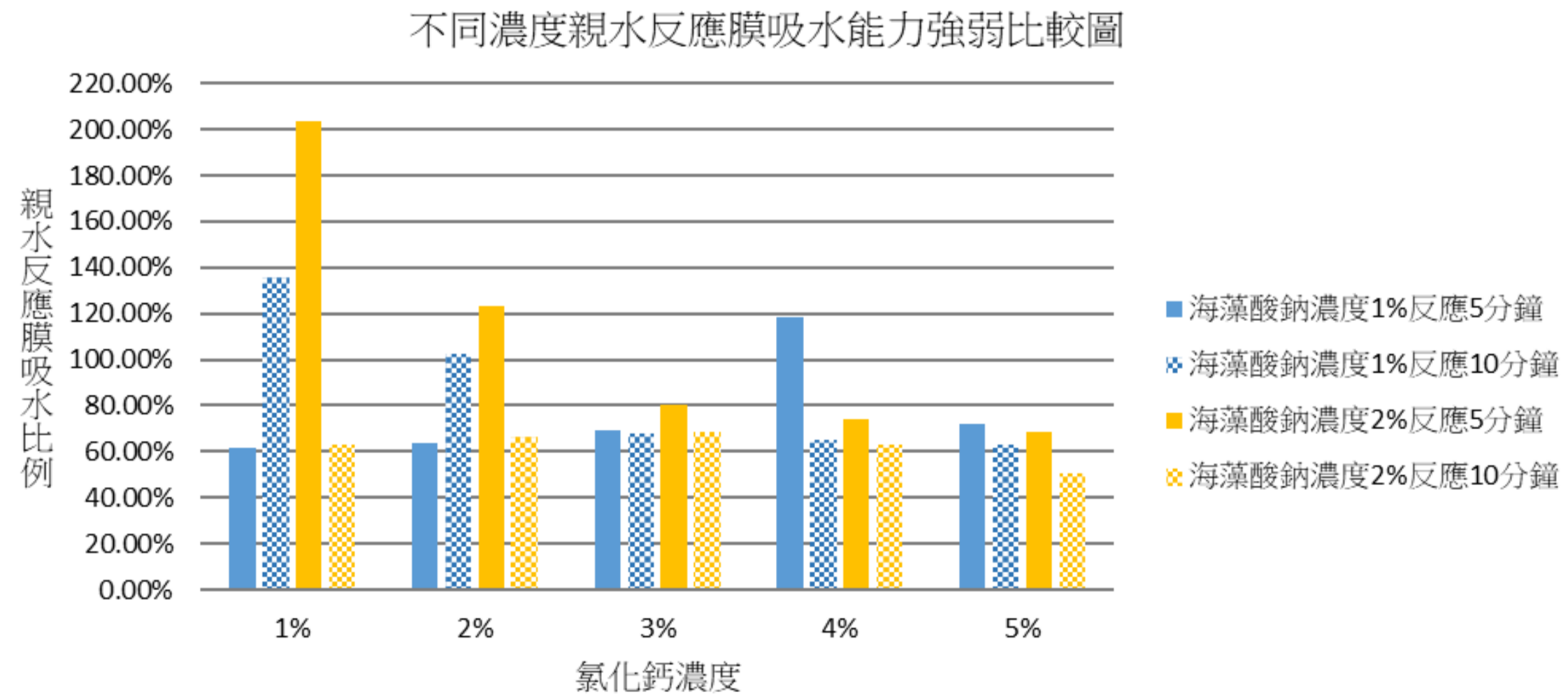
#### 實驗結果：



#### 實驗討論：

1. 從實驗數據中可得知親水反應膜的膜厚會隨著反應時間增加而隨之增厚。
2. 海藻酸鈉濃度與氯化鈣濃度增加一樣會使膜的厚度增加。
3. 我們推測反應時間越長或海藻酸鈉與氯化鈣的濃度增加，交聯程度越高，使得親水反應膜厚度隨之增加。

#### 實驗結果：



#### 實驗討論：

1. 從實驗數據中可知，海藻酸鈉濃度 2% 與氯化鈣濃度 1% 反應時間 5 分鐘製成的親水反應膜，吸水性最佳。最佳的則為海藻酸鈉濃度 1% 與氯化鈣濃度 1% 反應時間 10 分鐘製成的親水反應膜。
2. 親水反應膜的厚薄與吸水性沒有絕對相關，但是與交聯反應的時間有關，也與海藻酸鈉與氯化鈣的濃度有關。
3. 在海藻酸鈉與氯化鈣濃度低的狀態之下，反應時間越長，吸水效果越好。在濃度高的狀態下，反應時間越長，吸水效果卻越差。
4. 我們查資料發現親水反應膜是一種高分子聚合物，它的網狀結構對吸水性有很大的影響。少量的交聯後，吸水率會大量的增加，但是隨著交聯密度增加，吸水率反而會下降，與我

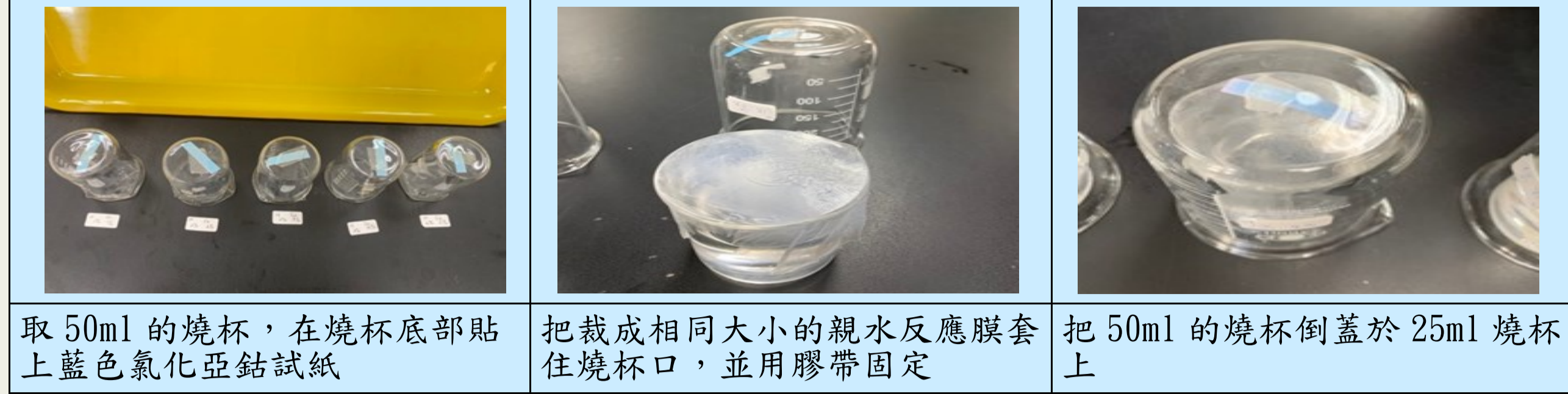
### 實驗三：探討不同濃度親水反應膜水份滲透速度的快慢

#### 實驗說明：

如果涼感巾透氣性不佳，那麼身體接觸涼感巾部位的蒸氣與熱量就無法溢散而出，便會讓使用者感覺悶熱，市售的涼感巾很多都由聚酯纖維製成，聚酯纖維透氣性較差，使得熱氣不易發散。本實驗透過探討水份在不同濃度反應膜內移動速度的快慢，來瞭解水在何種濃度的親水反應膜滲透的速度最快，藉此找尋製作涼感巾的最佳濃度。

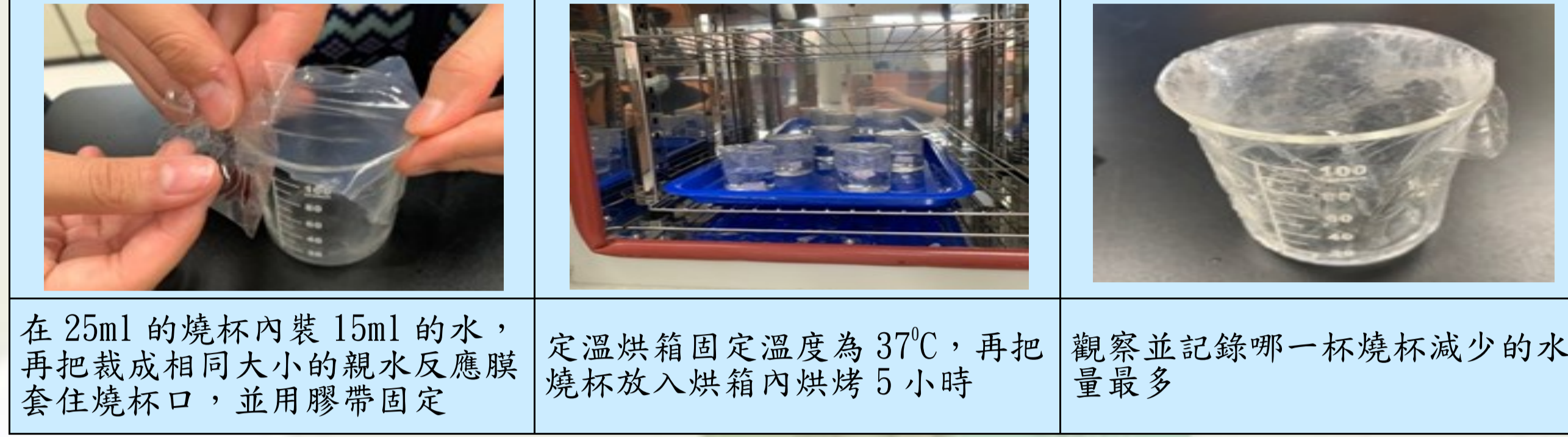
#### 實驗步驟：

##### 3-1 首次實驗



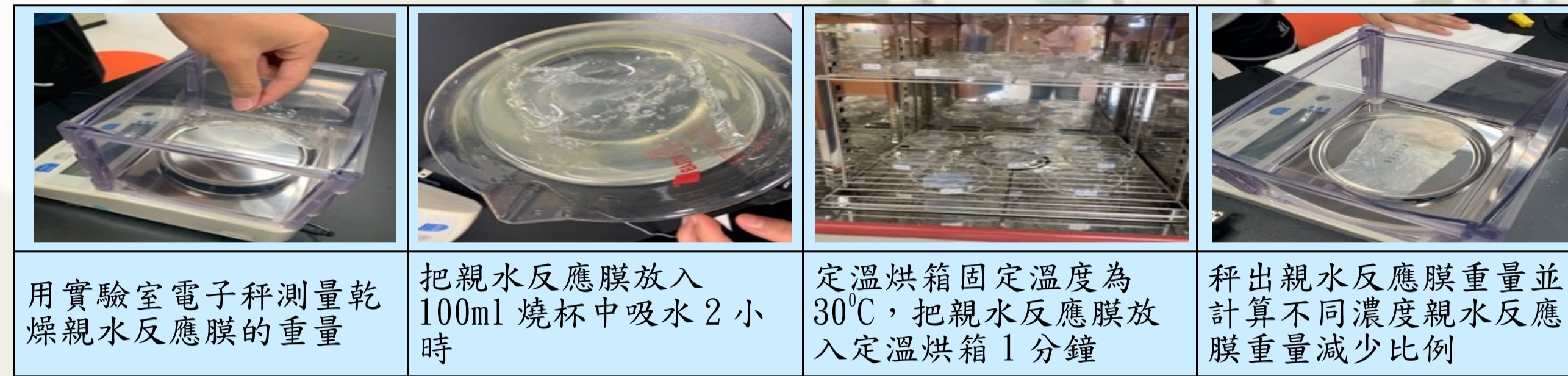
實驗結果因為變色的部位大小與速度難以量化，所以無法客觀的比較試紙變色快慢

##### 3-2 實驗改良



實驗結果親水反應膜因過度乾燥而破裂，因為親水反應膜沒有接觸水，在乾燥的環境下持續烘烤會因過度乾燥而破裂。

##### 3-3 實驗再改良



### 實驗四：不同濃度親水反應膜的涼感測試

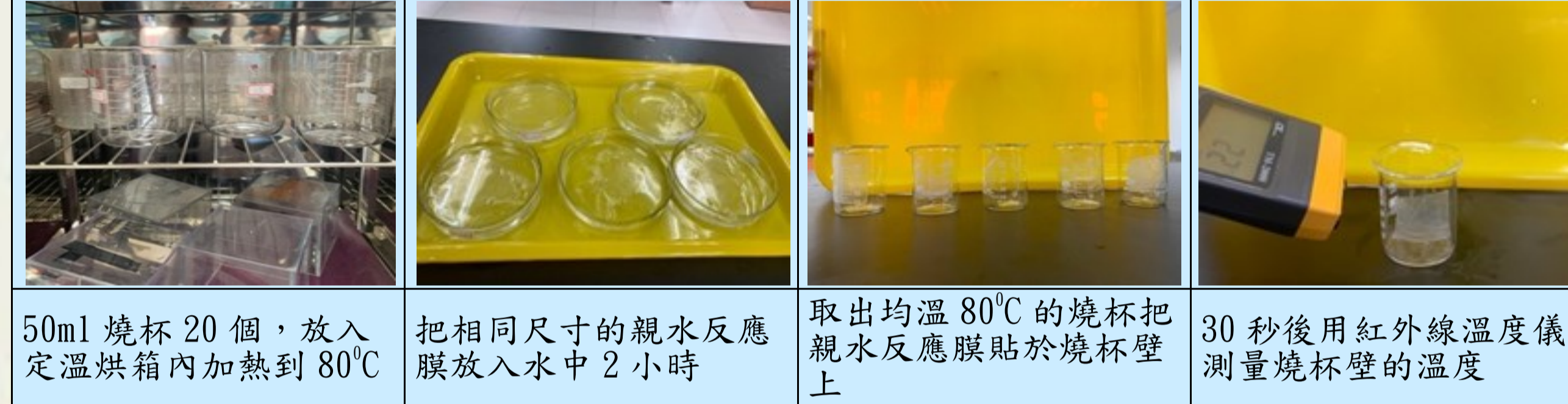
#### 實驗說明：

不同的親水反應膜可以吸收不同容量的水，我們想瞭解這些水量是否會影響到降溫的效果。此外市售的涼感巾最大的問題是持續涼感的效果不佳，於是此實驗把涼感測試分為兩部分，一為瞬間涼感測試，另一個則為持續涼感測試。

##### 4-1 瞬間涼感測試

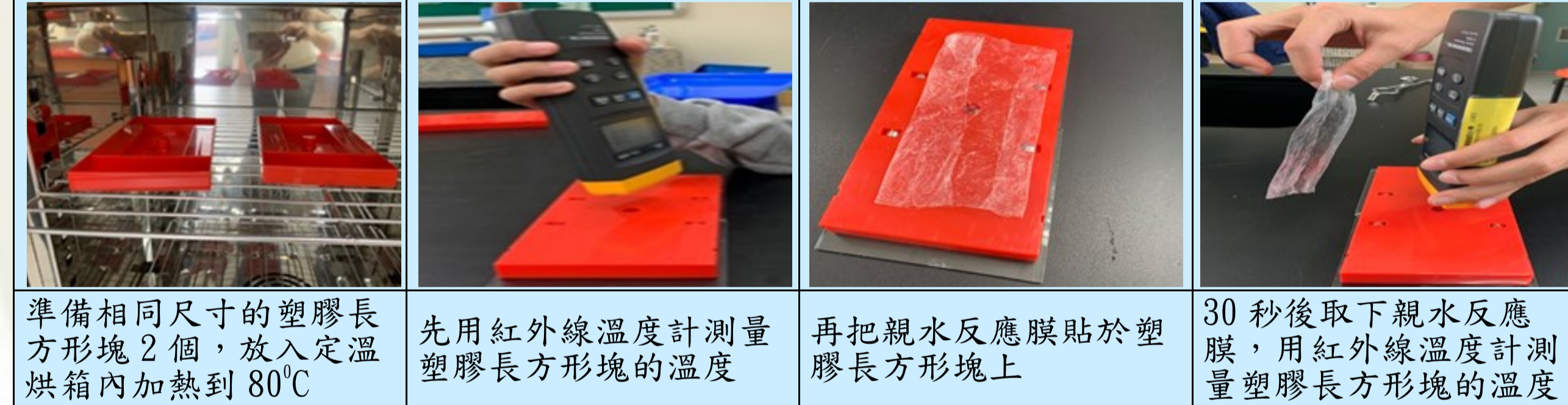
#### 實驗步驟：

##### 首次實驗



實驗結果無法測量出燒杯壁上正確的溫度，推論是紅外線測溫儀用於測量光亮的或拋光的物體表面時，會失去準確性。

#### 實驗改良



##### 4-2 持續涼感測試

#### 實驗說明：

設計一個恆溫箱模擬人體的溫度 37°C，把親水反應膜放入恆溫箱中，透過溫度的變化來了解不同濃度的親水反應膜持續涼感的能力。

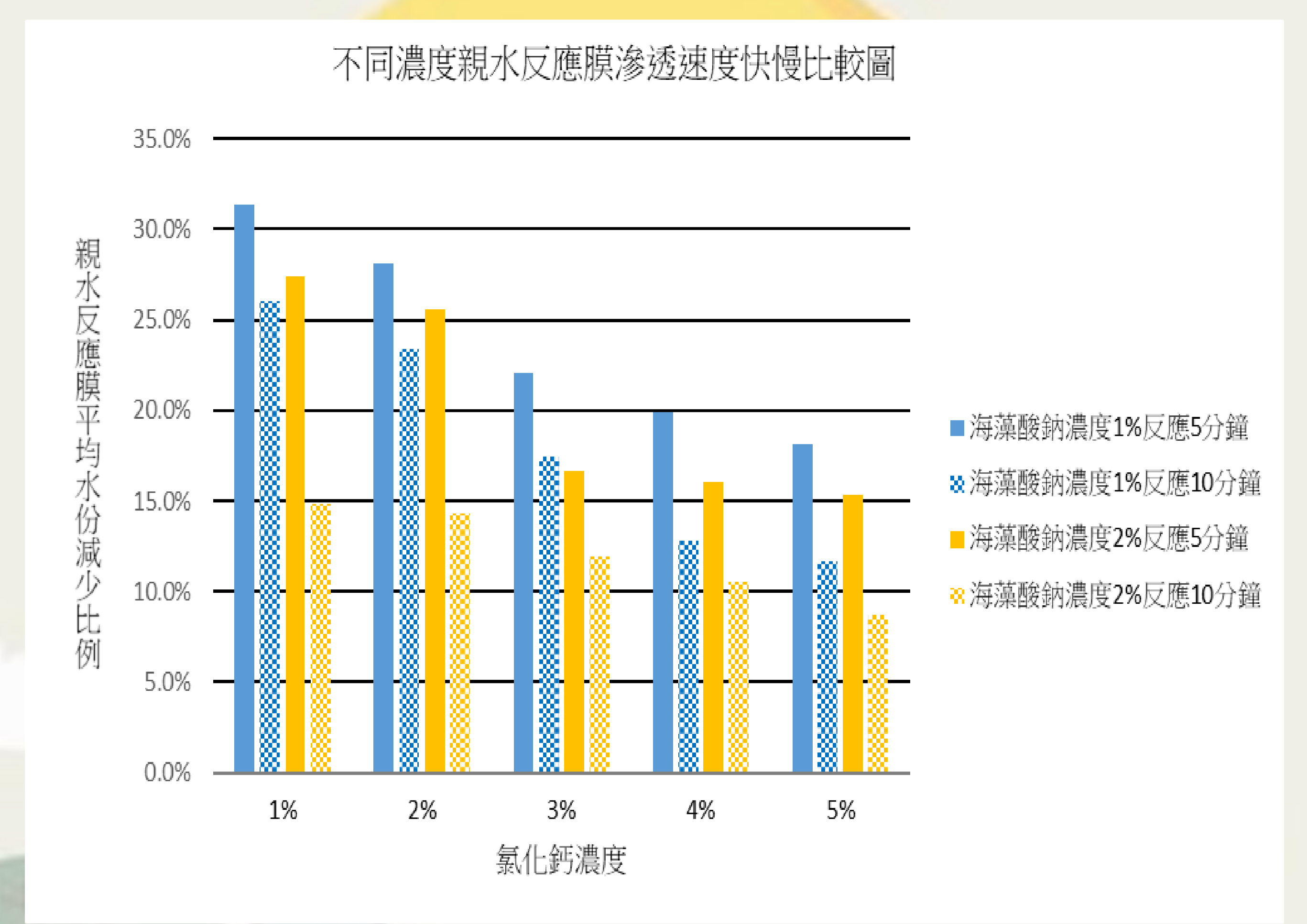
#### 實驗步驟：



#### 實驗討論：

- 從實驗數據可知持續涼感最佳的親水反應膜為海藻酸鈉 2%加上氯化鈣 1%，反應時間為 5 分鐘。原因是海藻酸鈉濃度高但是氯化鈣濃度低，加上交聯時間不長使得膜內的網狀孔隙夠大，可以讓水分子停留在裡面。
- 分析圖表發現所有的親水反應膜溫度皆有「先升後降再升」的現象。升溫是因為熱量從高溫移到低溫，親水反應膜吸收了恆溫箱內的熱所以溫度上升。我們實驗時為了夾感溫探頭，所以必須把親水反應膜對折，上層的親水反應膜升溫到某一個程度之後，下層的親水反應膜就會把膜內所存的水分釋放出來傳導到上層，因此會使溫度再度下降，下降到膜內已經沒有水分可以釋放之後，又會再度升溫，最終親水反應膜會與恆溫箱達到熱平衡的 37°C。
- 海藻酸鈉濃度最高反應時間最長的親水反應膜，持續涼感的效果最差。推論是親水反應膜的孔隙過小吸水困難，反應膜內的水分在 5 分鐘後就大部分都蒸發了，所以 5 分鐘過後溫度皆在 30°C 以上。
- 影響持續涼感的因素有兩個，第一吸水量，吸水量要大才能有足夠的水分在持續蒸發到空氣中的過程裡，還能維持低溫。第二是滲透速度的快慢，要保持涼感，水分子在反應膜內移動的速度不能太快，否則在短時間內水分都會被蒸發到空氣中。但是滲透速度太慢也不行，水分子一直留在高分子網格內無法移動，水分子逸散困難，涼感效果也無法持續。所以持續涼感效果最好的反應膜應該是要吸水量大，滲透速度中等。

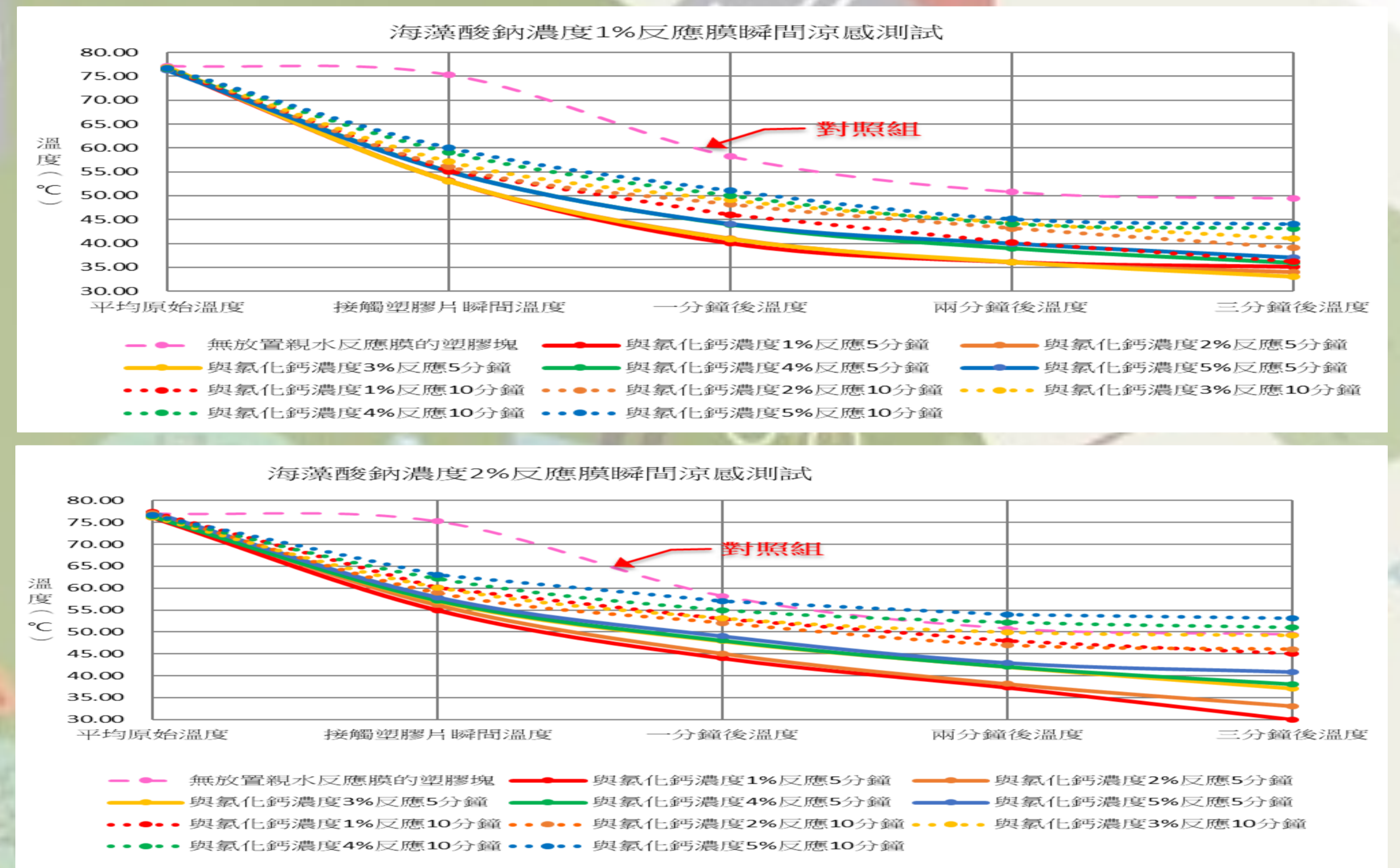
#### 實驗結果：



#### 實驗討論：

- 從實驗數據中可知海藻酸鈉濃度 1% 的滲透速度會快於海藻酸鈉濃度 2%。海藻酸鈉的濃度越高或反應時間越長，滲透速度會越慢。推論是反應膜的厚度會影響到滲透的快慢，越厚的膜高分子網格越小，使得水分子不易在網格裡移動。
- 市售的涼感巾用聚酯纖維來製作，聚酯纖維本身不透氣，為了改善其缺點，聚酯纖維常見於與其他纖維搭配混紡(如 CVC)。從實驗數據可知親水反應膜的水分滲透速度優於聚酯纖維。而我們也可以透過與吸水棉布結合來提高親水反應膜的滲透速度。

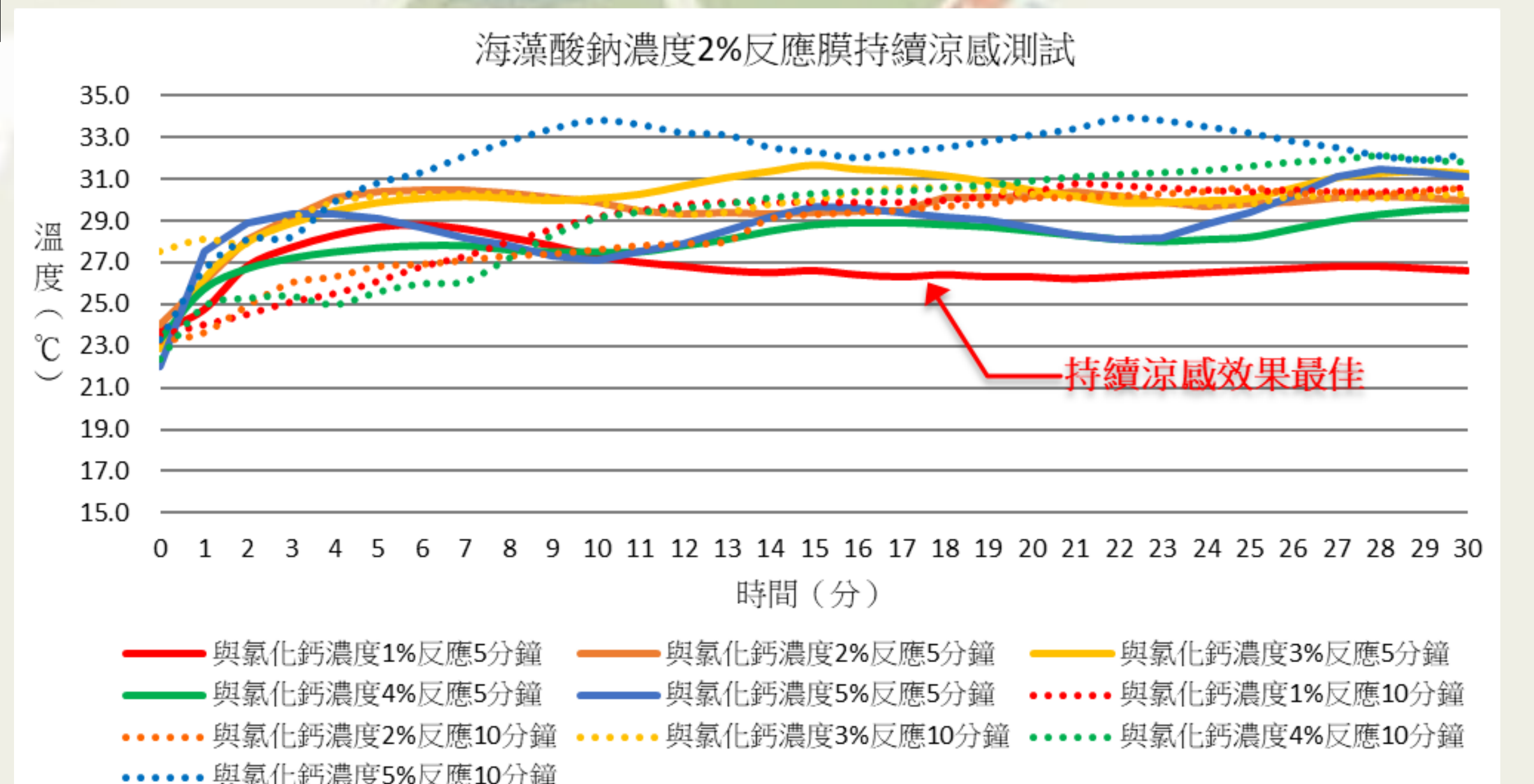
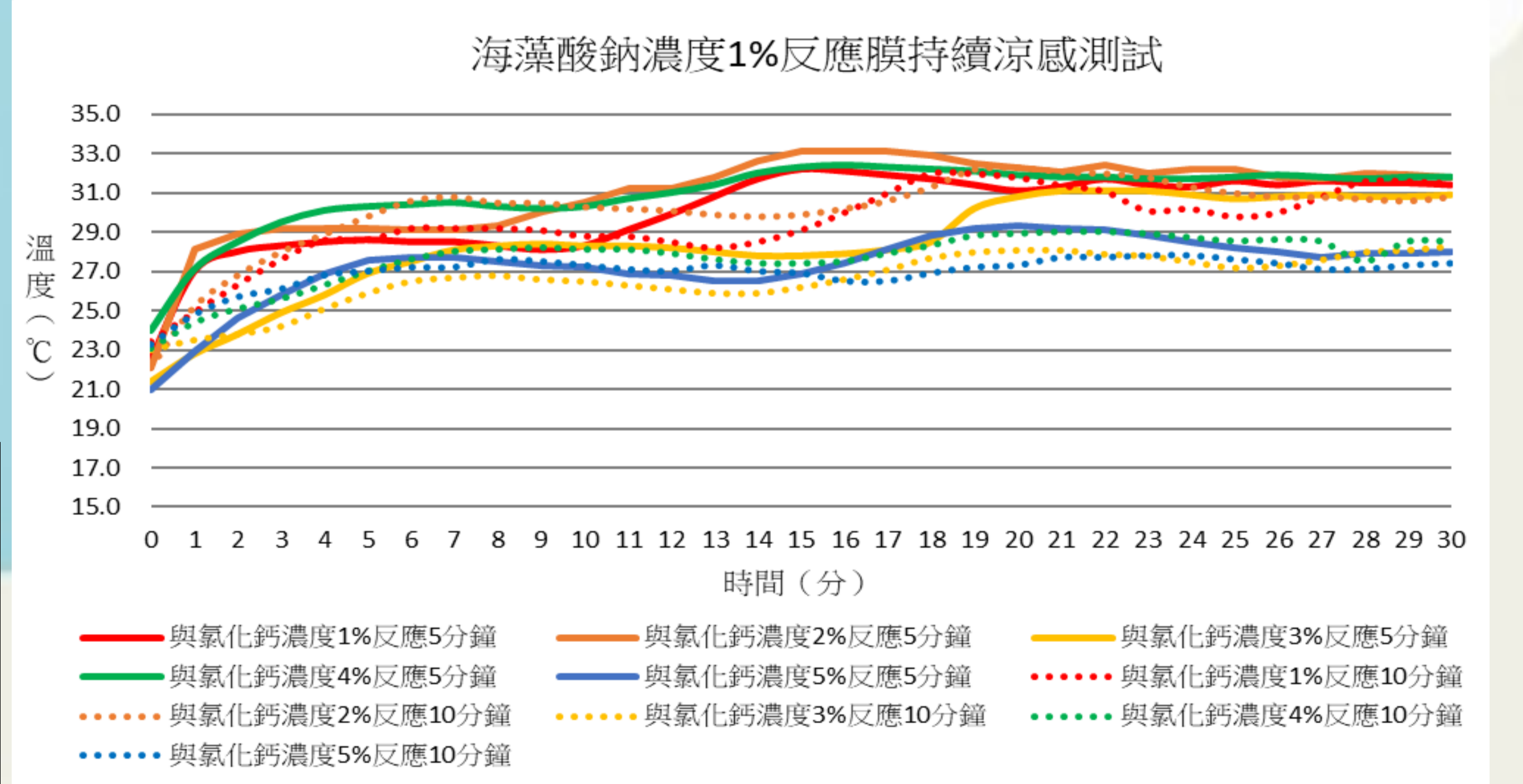
#### 實驗結果：



#### 實驗討論：

- 海藻酸鈉與氯化鈣濃度相同的組別裡，反應時間越長，瞬間涼感的效果越差。可知反應時間會影響到瞬間涼感的溫度，推論是隨著反應時間拉長，海藻酸鈉與氯化鈣溶液的交聯程度越高，膜形成的網狀結構越趨緊密，使得水分越難從網格裡逸出。
- 從實驗數據中得知，反應時間相同，海藻酸鈉濃度相同的情況下，若氯化鈣濃度只有差距 1% 則溫度的差距不明顯。我們推論因濃度差異性小看不出溫度的變化，但是濃度拉到 5%，可知濃度越高瞬間涼感的效果越差。
- 瞬間涼感效果會被兩個因素影響：一是吸水量，吸水量大會使得反應膜溫度低，所以瞬間涼感的效果會比較好。第二是水在反應膜中滲透速度的快慢，當水分子越容易在膜中移動到反應膜的表面，與塑膠塊進行熱平衡，就更容易使塑膠塊降溫。
- 我們查詢資料得知高吸水性聚合物吸收的水主要是被束縛在高分子的網狀結構裡，水分子進入高分子網格後，由於網格的彈性束縛，水分子的熱運動會受到限制，因此隨著交聯密度的增加，網格內的水分子逸散會更困難。所以可以解釋反應時間越長，濃度越高的親水反應膜瞬間涼感的效果越差。

#### 實驗結果：

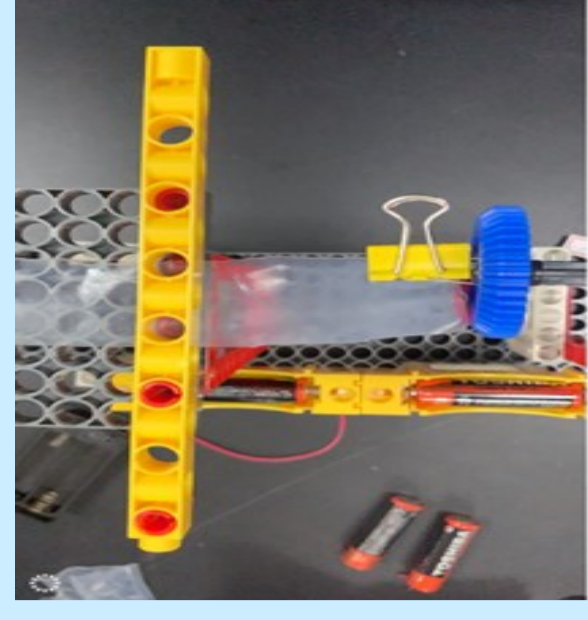
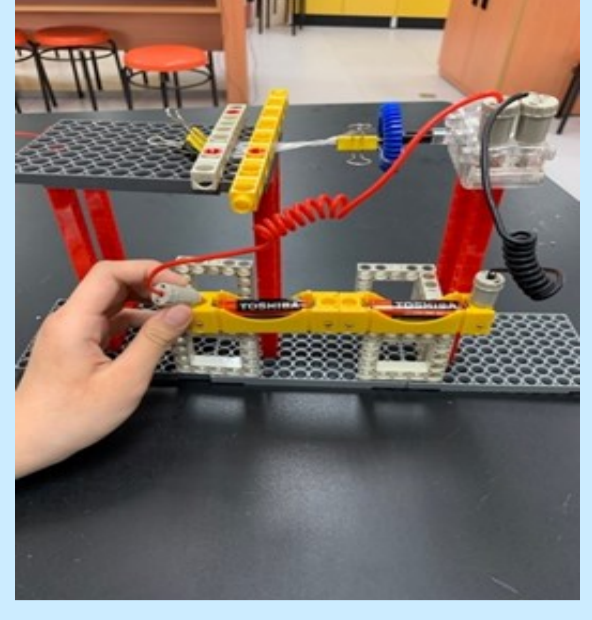
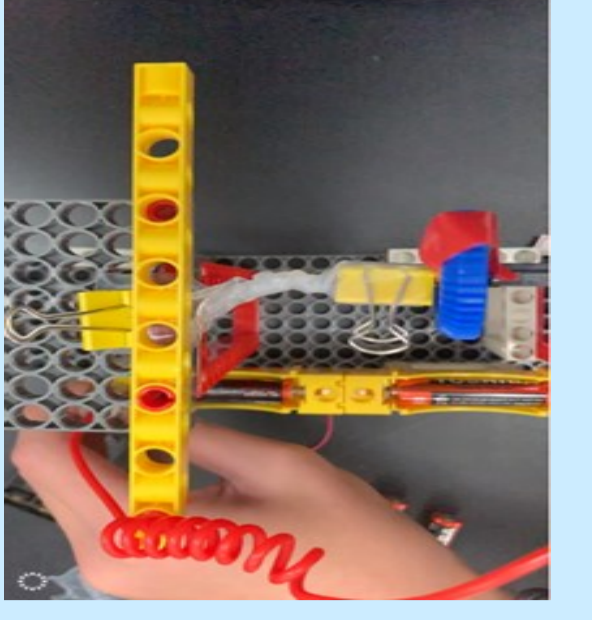


## 實驗五：親水反應膜可扭轉圈數測試

### 實驗說明：

涼感巾吸水之後需要擰乾才能使用，我們想瞭解不同濃度親水反應膜可扭轉圈數的變化，這關乎於我們自製親水膜涼感巾的耐用度。所以我們設計了可扭轉圈數的測量工具。

### 實驗步驟：

		
親水反應膜用長尾夾固定在小馬達上	利用電池的串聯來提供動力。	藉由轉輪上紅色的膠帶當作記號，靠著慢速攝影來計算圈數。




## 實驗六：自製的涼感巾與市售的涼感巾進行比較

### 實驗說明：




透過以上各項的實驗，我們分析各項參數，找出了最佳濃度的親水反應膜，我們進一步把我們的親水反應膜製作成可以使用的涼感巾，再與市售的涼感巾進行涼感效果的比較。

### 實驗步驟：

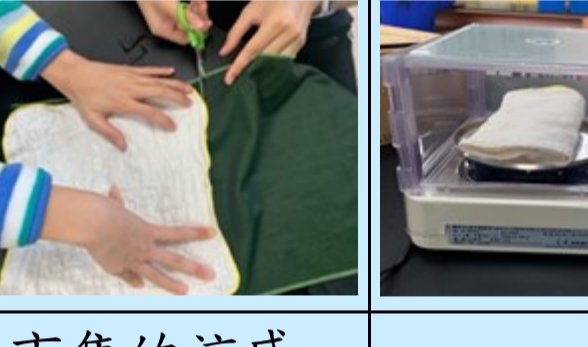


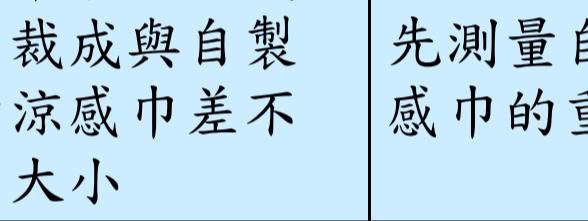
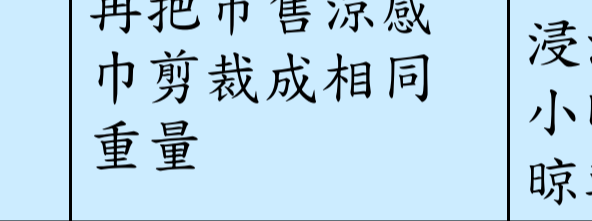
#### 第一種製作方式：外包膜

		
把紗布巾浸泡在海藻酸鈉的溶液中，讓紗布巾完全的飽吸海藻酸鈉的水溶液	取出紗布巾之後再倒入氯化鈣水溶液進行交聯反應	把紗布巾送入定溫烘箱內烘乾




#### 第二種製作方式：內縫膜

		
先製作出親水反應膜	把乾燥後的親水反應膜裁成比紗布巾尺寸略小	把親水反應膜縫入對折的紗布巾內固定

#### 6-1 在恆溫箱內進行測試

				
把市售的涼感巾裁成與自製的涼感巾差不多大小	先測量自製涼感巾的重量	再把市售涼感巾剪裁成相同重量	把所有涼感巾浸泡在水中半小時後，取出晾乾	把不同種類的涼感巾放入恆溫箱內測試涼感效果

#### 6-2 在戶外的太陽下進行測試




		
先把不同種類的涼感巾浸泡在水中半小時	晾乾至不會滴水之後，用長尾夾固定在橫桿上	在涼感巾上固定溫度計後，移至戶外通風處進行測量

## 實驗七：涼感效果遞減實驗

### 實驗說明：

我們想知道最佳濃度所製成的涼感巾，在多次重複的使用下涼感效果會不會遞減，所以設計了此實驗。

### 實驗步驟：


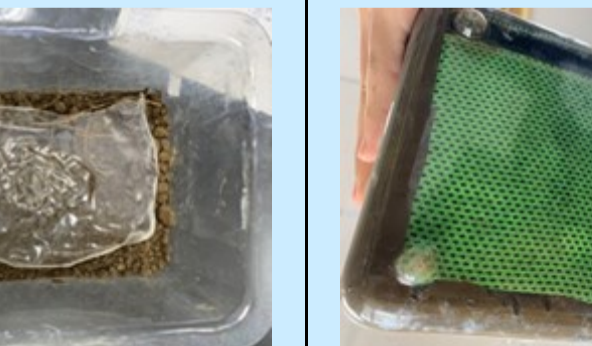

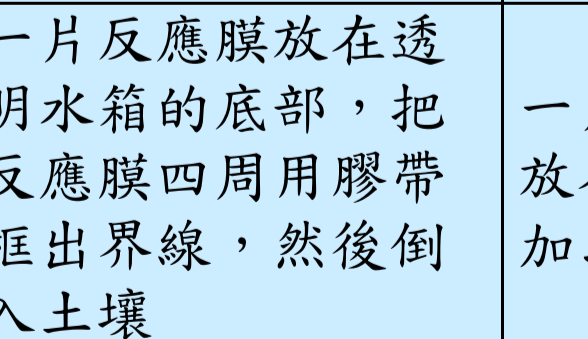
		
讓反應膜吸水 2 小時後，取出擦乾表面的水分	此親水反應膜放入我們自製的恆溫箱裡，直到反應膜與恆溫箱達到熱平衡	記錄達到熱平衡的時間

## 實驗八：生物降解實驗

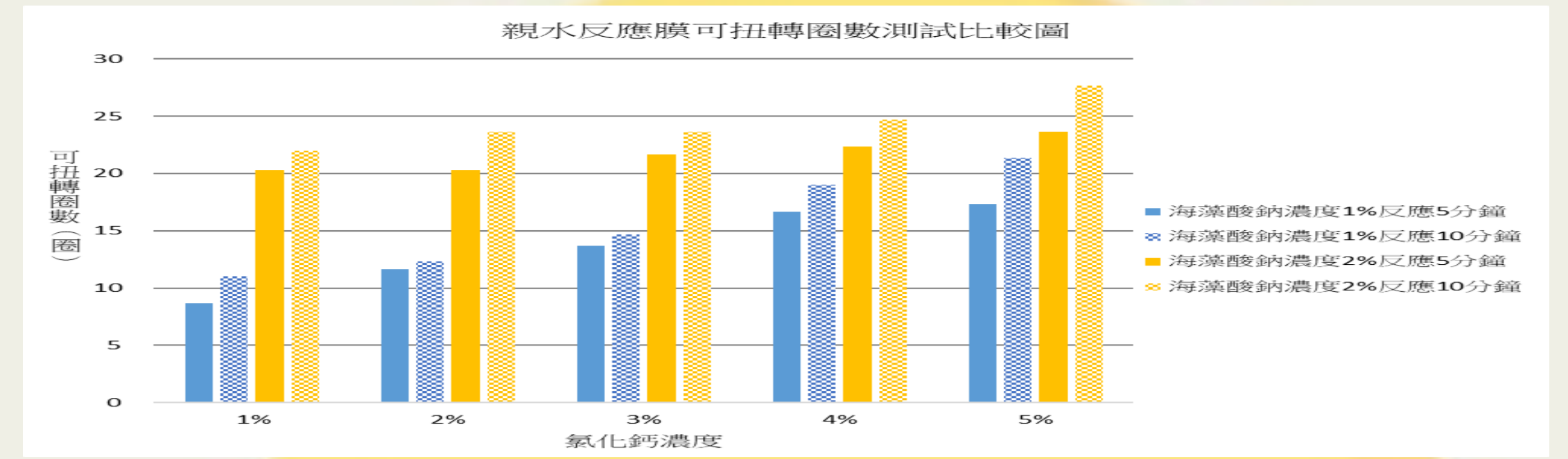
### 實驗說明：

市售的涼感巾成分大部分為聚酯纖維，聚酯纖維的原料是石油，製作過程會產生大量的污染，根據紡拓會的文獻指出聚脂纖維埋在土壤裡要 200 年以上才會分解，燃燒會產生毒氣因此無法焚化，是一種很不環保材質。我們想透過這個實驗了解我們自製的親水反應膜生物降解的情形。

### 實驗步驟：

			
一片反應膜放在透明水箱的底部，把反應膜四周用膠帶框出界線，然後倒入土壤	一片反應膜則直接放在土壤上方，不加以掩埋	一片市售的涼感巾放置於透明水箱的底部	一片市售的涼感巾直接放置於土壤上方，不加以掩埋

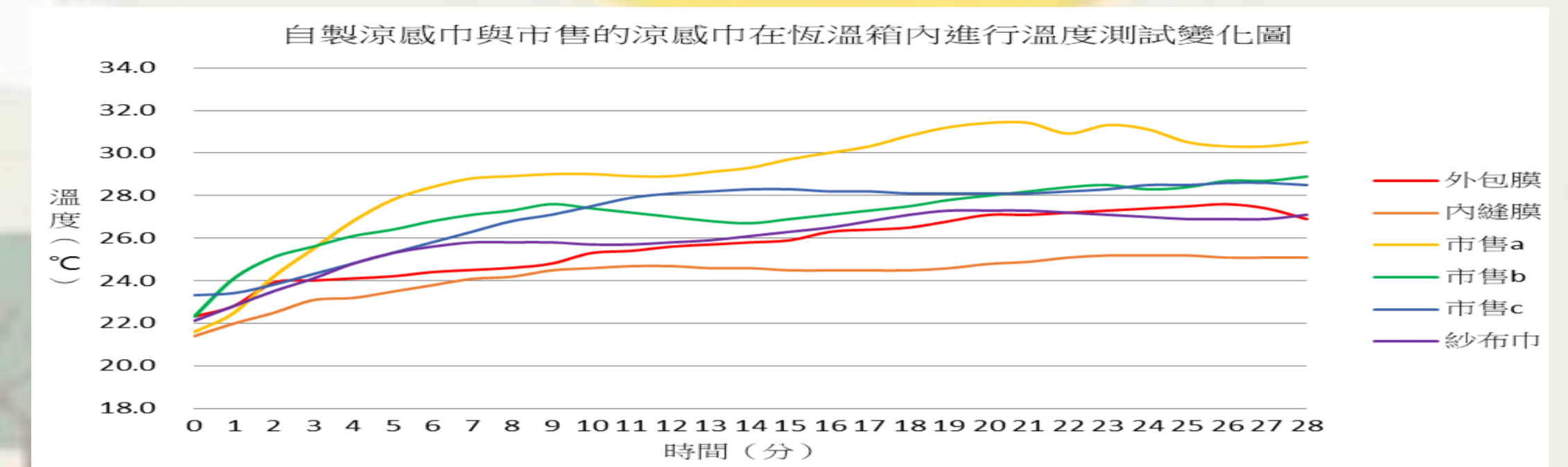
### 實驗結果：



### 實驗討論：

- 從實驗數據中可得知海藻酸鈉濃度越高，親水反應膜可扭轉的圈數就越多。交聯時間越長也會使得可扭轉的圈數增多。推論反應時間越長，或海藻酸鈉濃度越高，會使得親水反應膜的厚度越厚，越厚的膜越難被扭斷。
- 可扭轉圈數最弱的親水反應膜也能承受約 9 圈的扭轉，代表親水反應膜不容易被扭斷，而且擰到要斷裂前停手（接近斷裂）讓反應膜再度吸水，再進行扭轉，可扭轉的圈數也沒有減少的趨勢。
- 綜合吸水量、滲透速度快慢、瞬間涼感、持續涼感與可扭轉圈數的測試結果，海藻酸鈉濃度 2% 氯化鈣濃度 1%，反應時間五分鐘的親水透氣膜在各項實驗裡的參數表現相對較佳，所以我們決定以此濃度來製作我們的涼感巾。

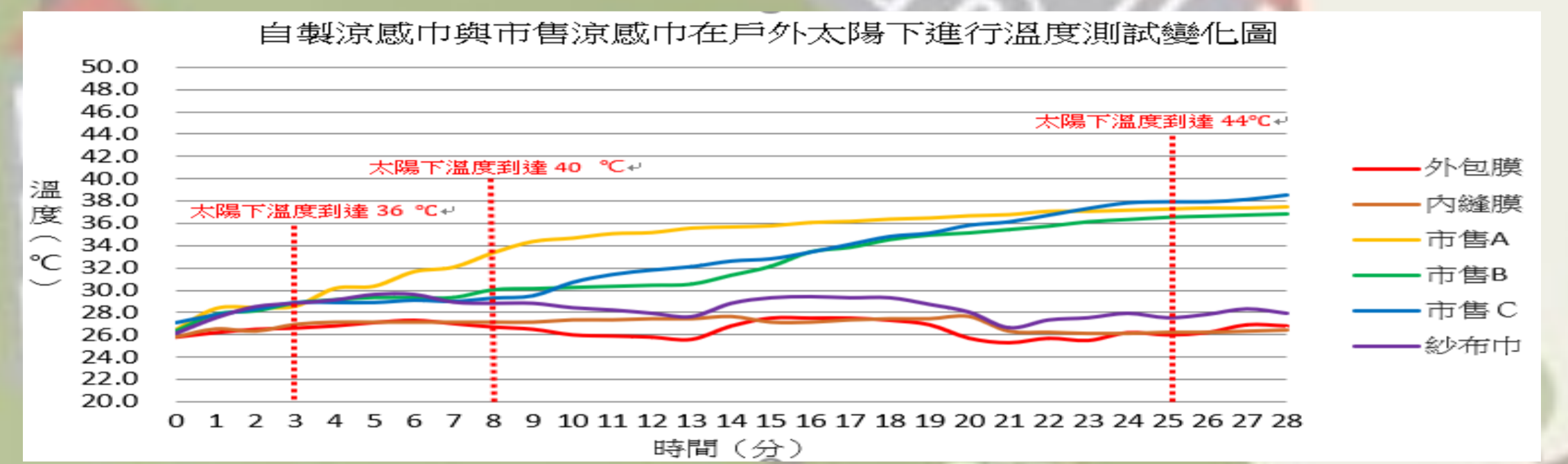
### 實驗結果：



### 實驗討論：

- 從數據中可知在恆溫箱內持續涼感效果最佳的是把親水反應膜縫在紗布巾內的涼感巾（以下簡稱內縫膜涼感巾），次佳的直接把紗布巾浸泡海藻酸鈉與氯化鈣製成的涼感巾（以下簡稱外包膜涼感巾），再其次為紗布巾，市售的涼感巾涼感效果皆差於我們自製的涼感巾。
- 紗布巾與外包膜涼感巾在 30 分鐘內的涼感差異不大，推論是附著在紗布巾的水分在恆溫箱內不易蒸發，所以涼感效果可以維持較久。
- 內縫膜涼感巾涼感效過優於外包膜涼感巾，原因是因為內縫膜的水分子一直停留在膜的網狀結構內，要外頭所包圍的紗布巾乾燥之後，膜內的水分子才會逸散出來。而外包膜涼感巾則直接接觸 37°C 的空氣，所以水就直接蒸發到空氣中，因此持續涼感的效果就稍差。

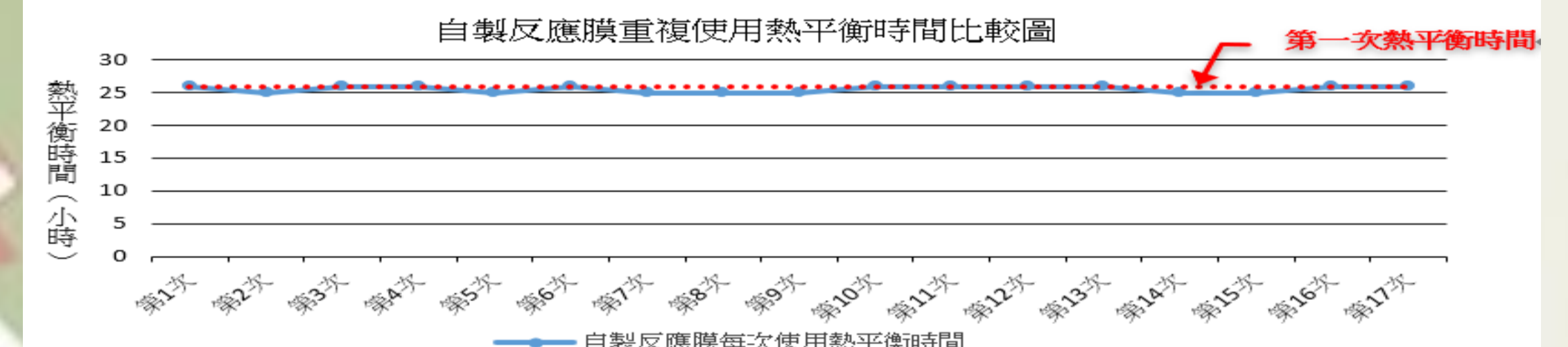
### 實驗結果：



### 實驗討論：

- 戶外太陽直射的溫度一開始為 33°C，因為溫度比所有的涼感巾高出許多，所以所有的涼感巾一曬到太陽，溫度都直接跳升了一度以上，接下來才以零點幾度緩步上升。
- 持續涼感效果最好為內縫膜涼感巾，但是瞬間涼感效果最好則為外包膜涼感巾，推論原因內縫膜涼感巾因為外面有包一層紗布巾，親水反應膜沒有直接照射到太陽，所以的水分釋出較為緩慢，可以讓涼感的效果維持比較久。而外包膜涼感巾因為親水膜直接包圍在紗布巾之外，因為親水反應膜吸收大量的水，能直接接觸到的水分非常的多，所以瞬間涼感的效果就能勝出。
- 市售的涼感巾因為布料上有塗布一層涼感薄膜，涼感薄膜是運用比熱比紡織品小，熱平衡快，能快速與環境溫度產生平衡作用，達到快速降溫的效果。所以在炎熱的天氣下，反而會比一般的毛巾要更容易吸熱。
- 不論是模擬人體的體溫的 36°C-37°C 的恆溫箱內，或是直接在戶外大太陽底下曝曬，本研究自製的兩款親水反應膜涼感巾涼感效果都優於市售的涼感巾。

### 實驗結果：



### 實驗討論：

- 從實驗數據中可知，同一片反應膜經過 17 次重複的實驗，熱平衡的時間差距都在一個小時左右，代表涼感效果並沒有顯著的遞減情況。
- 根據實驗結果推論，我們自製的涼感巾吸水後重複使用多次，也能維持初次的涼感效果。

### 實驗結果：

種類	第一天 2019/12/19	第七天 2019/12/26	2020/3/11 第 83 天
親水反應膜	放置於土面上, 埋在土裡	放置於土面上, 埋在土裡	放置於土面上, 埋在土裡
市售的涼感巾	放置於土面上, 埋在土裡	放置於土面上, 埋在土裡	放置於土面上, 埋在土裡

親水反應膜在土面上和土裡均顯示生物降解，土面上長出細小植物，土裡發現了蚯蚓。市售涼感巾在土面上和土裡均顯示未降解，表面無任何變化。

### 實驗討論：

- 埋在土中的親水反應膜在不到三個月的時間就完全生物降解完畢，土面上長出許多細小的植物，土壤內還發現了蚯蚓。代表親水反應膜對環境沒有影響之外，還對環境有益。
- 放在土面上的親水反應膜布滿微菌，推論親水反應膜能被微生物分解，土壤內的微生物數量比在空氣中多，所以埋在土壤裡生物降解的速度比較快。
- 市售的涼感巾九成以上都是聚酯纖維製成的，聚酯纖維在掩埋場中需要兩百年以上才能被分解，如能以我們自製的親水反應膜涼感巾取代市售的涼感巾對於環保會有很大的助益。

## 伍、結論

- 親水反應膜會隨著反應時間越長或海藻酸鈉與氯化鈣的濃度增加，交聯程度越高，使得膜厚度隨之變厚。
- 實驗數據中可知，海藻酸鈉濃度 2% 與氯化鈣濃度 1% 反應時間 5 分鐘製成的親水反應膜，吸水性最佳。少量的交聯後，吸水率會大量的增加，但是隨著交聯密度增加，吸水率反而會下降。
- 從實驗數據中可知海藻酸鈉濃度 1% 的滲透速度快於海藻酸鈉濃度 2%。推論是海藻酸鈉的濃度越高，高分子網格越小，水越難在膜內移動，導致滲透速度變慢。
- 從實驗數據可知持續涼感最佳的親水反應膜為海藻酸鈉 2% 加上氯化鈣 1%，反應時間為 5 分鐘。原因是海藻酸鈉濃度高但是氯化鈣濃度低，加上交聯時間不長使得膜內的網狀孔隙夠大，可以讓水分子停留在裡面。
- 海藻酸鈉濃度越高，親水反應膜可扭轉的圈數就越多。交聯時間越長也會使得可扭轉的圈數增加，使得我們自製的涼感巾更加耐用。
- 綜合吸水量、滲透快慢、瞬間涼感、持續涼感與可扭轉圈數的測試結果，海藻酸鈉濃度 2% 氯化鈣濃度 1%，反應時間五分鐘的親水透氣膜在各項實驗裡的參數表現佳，所以本研究以此濃度來自製涼感巾。
- 不論是在恆溫箱內，或是戶外太陽下，親水反應膜涼感巾的涼感效果都優於市售不同品牌的涼感巾。
- 在涼感效果遞減的實驗中，每次實驗時間都要長達一天以上，因為研究報告截稿日期的關係，所以我們來不及繼續進行實驗直到涼感效果出現遞減的情形，所以無法得知自製涼感巾最多能重複使用幾次。我們後續會再進行實驗，且與市售涼感巾的涼感效果遞減情況進行比較。
- 本研究自製的親水反應膜涼感巾掩埋在土裡三個月內就可以完全生物降解完畢，對環境不會造成任何負擔。加上製作成本低廉，製作方式簡單，期待這樣充滿許多優點親水反應膜未來能在市場上取代製作過程碳排放高且難以分解的聚酯纖維涼感巾。