

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 化學科

080212

交個朋友吧!—交聯作用探究

學校名稱：臺東縣臺東市東海國民小學

作者： 小六 孫 稚 小六 涂凱淇	指導老師： 陳玉齡 吳巧儀
-------------------------	---------------------

關鍵詞：交聯劑、交聯作用

## 摘要

經過本研究藉由自行設計測量交聯物的軟硬度、彈性和延展性，發現硼砂水的濃度會影響交聯作用的程度，交聯劑與膠水的成形時間也會受影響。也就是說硼砂水濃度低時，交聯物軟硬度偏軟、彈性差、延展性好，成形時間較長；硼砂水濃度高，交聯物軟硬度偏硬、彈性好、延展性差，成形時間較短。同時我們也發現當硼砂水濃度在 0.01g/ml 附近為延展性的臨界點，也就是說硼砂水濃度低於 0.01g/ml 時交聯物呈「假水」狀態。當硼砂水濃度為 0.02g/ml 附近是軟硬度、彈性和延展性的臨界點；也就是硼砂水濃度達 0.02g/ml 以上，交聯物的軟硬度、彈性和延展性皆不再受硼砂水濃度持續增加而有變化。

## 壹、研究動機

有一次我在班上發現有一位同學在玩一個軟軟黏黏的東西，同學們跟我說那是「史萊姆」。我覺得它很特別，於是上網查詢它的製作方式以及成形的原因，從網路上我發現它是「交聯作用」而形成的一種交聯物。根據網路上查到的資料，發現交聯物有很多種性質，有的稱為「鼻涕蟲」，有的稱為「假水史萊姆」，每個不同的名稱都代表他們的軟硬、彈性和延展性也都不一樣，它們需要膠水加入交聯劑後形成，軟硬度、延展性和彈性都有所不同。所以我們想探討交聯劑的濃度與膠水產生的交聯物，其軟硬度、彈性及延展性之差異。

## 貳、文獻探討

交聯作用是指許多分子（一般為線型分子）相互交聯成網狀結構的較穩定分子的反應，這種作用使線型或輕度支鏈型的大分子轉變成立體網絡結構。反應中的鍵結多是氫鍵，藉由交聯作用可使高分子聚合物變得有彈性或變硬。

當聚合物藉由交聯作用連接在一起，他們失去一些他們作為單獨聚合物移動的能力。例如，液態聚合物（液態聚合物鏈可自由地流動）可透過交聯作用而形成類似牛頓流體的行為。

在聚合物化學中，當一個聚合物被敘述為產生交聯作用。所得到的物理性質改變取決於交聯作用中鍵結的密度。低密度的會降低聚合物的黏度。中間密度的會轉變膠狀聚合物形成具有彈性體和潛在高強度的聚合物。非常高密度的會造成物質變得非常堅硬或玻璃狀的，如酚醛樹脂。

我們查詢歷屆科展及相關的文獻資料發現：

文獻資料名稱	內容摘要	使用的交聯劑 (交聯物可成形)
聚乙烯醇與硼砂的美麗邂逅	硼砂可以使得膠水瞬間產生變化，如果加入不同濃度的硼砂水溶液，膠水會像彈力球一樣彈性好。	硼砂
進擊的史萊姆～史萊姆之材料與探討	以不同質量聚乙烯醇，探討製作史萊姆形成之差異性、探討以定量的 PVA，使用不同去離子水體積，製作史萊姆形成之比較。	硼砂
「膜」力十足-鼻涕蟲配方對性質與拉膜之研究	確認「添加物」能夠改變鼻涕蟲性質，增加變化性。	硼砂、小蘇打粉、食鹽
如「交」似「聯」	利用不同比例的 PVA 及硼砂製成的變態膠水，觀察彈性變化。	硼砂

根據以上文獻，使用硼砂、小蘇打粉和食鹽當作交聯劑，可以產生交聯作用，所以我們將這三種物質當作待測物，檢測是否真的可以產生交聯作用。

### 參、研究目的

- 一、探討待測物的酸鹼度是否可影響交聯作用的生成
- 二、探討在形成交聯物的條件下，所需要加入的硼砂容量、反應時間及交聯重量之關係
- 三、探討在使用不同濃度的硼砂水，與形成交聯物的軟硬度之關係
- 四、探討在使用不同濃度的硼砂水，與形成交聯物的彈性之關係
- 五、探討在使用不同濃度的硼砂水，與形成交聯物的延展性之關係

## 肆、測量交聯物作用設計

### 一、交聯物定義

交聯物意指我們在實驗上對膠水添加交聯劑後，攪拌膠水使其不沾黏容器，所產生的物體稱為交聯物。

(如右圖)

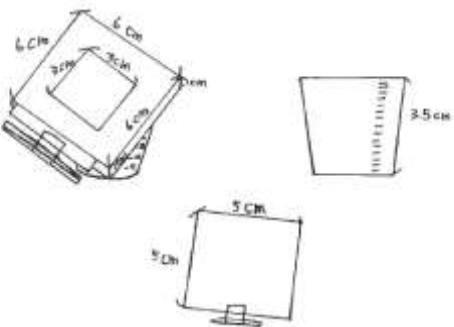
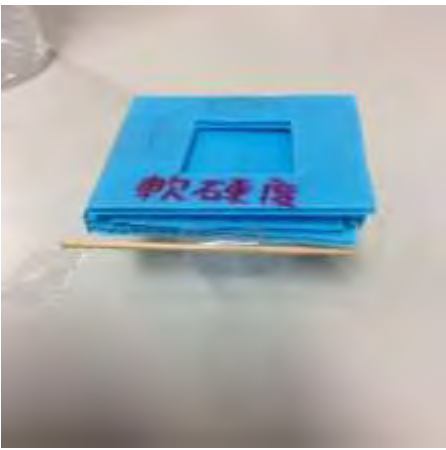


### 二、測量交聯物性質

#### (一)交聯物軟硬度

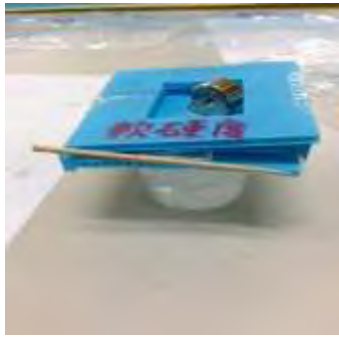
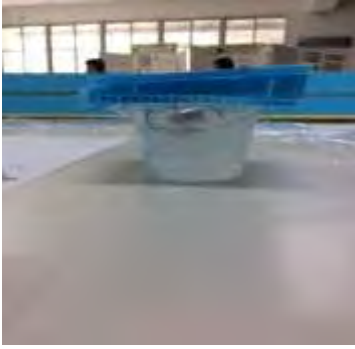

我們想測量交聯物是否容易被改變形狀，所以測量砝碼沉入量杯底部的時間。

##### 1.軟硬度測量杯器材製作：

軟硬度設計圖	軟硬度測量杯
<p data-bbox="343 884 582 929">軟硬度實驗</p> 	
<p data-bbox="151 1377 1412 1534">(1)在 6cm×6cm 的瓦楞板中間裁 3cm×3cm 的洞，在三條邊底下分別黏上 1cm×6cm 的瓦楞板，底下再黏一個 6cm×6cm 的板子，中間裁掉 3cm×3cm 板子，最後再將用板子做好的主要支架使用膠帶固定在 30ml 的量杯就完成了。</p> <p data-bbox="151 1568 1332 1601">(2)裁一個 5cm×5cm 的瓦楞板，再拿一支竹籤用膠帶固定在板子尾端，製作成隔板。</p>	

##### 2.操作方法：

將交聯物裝進有黏上主要支架（隔板事先放進主要支架）30 毫升的量杯，在隔板上放上 1 個砝碼，接著將隔板抽取出來同時按碼表計時，砝碼到量杯底時，把碼錶按暫停並記錄秒數。

實驗過程	實驗前	實驗中	實驗後
操作圖示			
實驗操作說明	將砝碼放在隔板上。	把隔板拉開，同時也按碼表計時。	砝碼碰到量杯杯底時暫停碼表並記錄秒數。

## (二)交聯物彈性

測量交聯物彈跳的高度，解此瞭解交聯物的彈力。

### 1.彈力測量筒器材製作：

彈力測量筒設計圖	彈力測量筒
	
<p>(1)主要支架：將兩張 21cm×15cm 瓦楞板中間裁 8cm×8cm 的洞口。接著在其中一張 21cm×15cm 瓦楞板的兩條邊黏上 21cm×2cm 瓦楞板和在 15cm 的一條邊黏上 15cm×2cm 的瓦楞板，再將另一片 21cm×15cm 的瓦楞板黏在底下。</p> <p>(2)在圓筒內側畫上 30cm 的量尺。</p>	

## 2.操作方法：


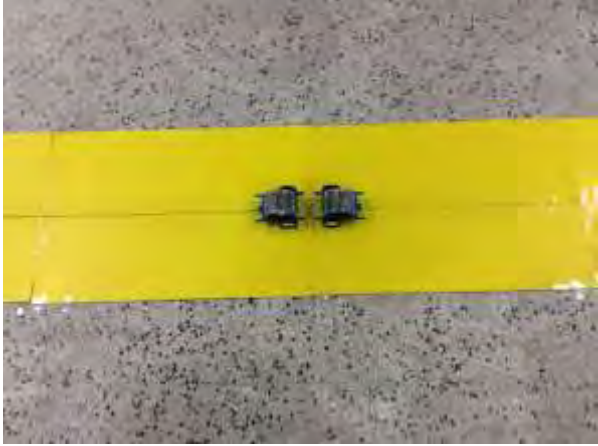
將 20g 的交聯物用 15cm×15cm 的保鮮膜包成圓形，將交聯物拿在手上，打開平板的相機錄影，再回放慢動作看交聯物彈的高度，並記錄。


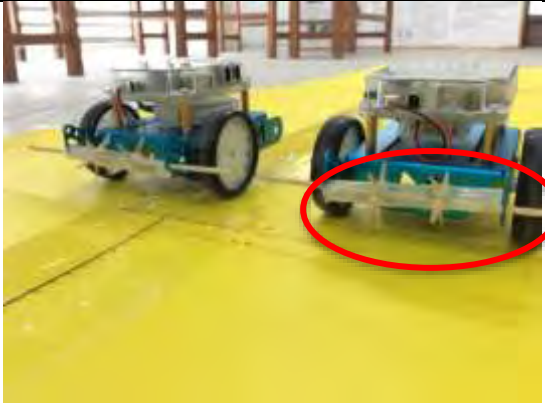
實驗過程	實驗前	實驗中	實驗後
操作圖示			
實驗操作過程說明	實驗前先將交聯物用保鮮膜包成圓形並開啟平板相機準備錄影。	將交聯物投入桶子，並也開啟相機錄影。	將平板錄影的影片放慢，紀錄交聯物彈的高度。

## (三)交聯物延展性

量測交聯物可以被拉長的長度，也就是延展性。


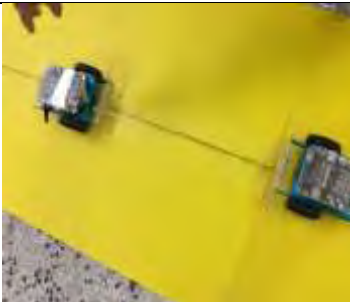
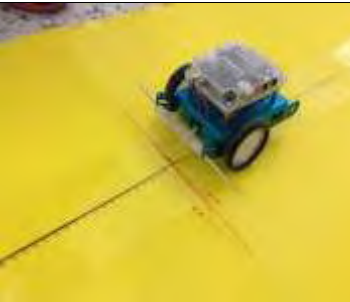
### 1.實驗器材：

延展性測量器設計圖	延展性測量器
	
<p>(1)延展道製作：將 4 片 90cm*60cm 的珍珠板並列黏起來成一平面跑道，畫上刻度。</p> <p>(2)兩台自走車放在跑道右端，車尾以支架及牙籤固定交聯物，車頭面相兩端朝外，再來就按下其中一台板載按鈕使自走車前進，直到交聯物中斷，紀錄交聯物延展的長度。</p> <p>(3)以自走車馬力為 60 的速度量測交聯物的延展性。</p>	

延展性交聯物固定器設計圖	延展性交聯物固定器
	

2.操作方法：

將 20 毫升的交聯物架在牙籤上，然後按下自走車的板載按鈕，讓自走車向前走，當交聯物斷掉時，同時把自走車暫停，記錄距離。

實驗過程	實驗前	實驗中	實驗後
操作圖示			
實驗過程 操作說明	實驗前先開啟一台自走車的電源，事先將自走車背對背放在起點，再把交聯物架在牙籤上。	再按下自走車的板載按鈕使一台自走車前進。	直到交聯物斷掉，讓自走車停止前進，再記錄交聯物拉了多長。

## 伍、研究設備及器材

量杯（30 毫升）、量杯（100 毫升）、量杯（150 毫升）、攪拌棒、湯匙、膠水（含 PVA）、硼砂、小蘇打粉（可食用）、食鹽、RO 水、自走車、保鮮膜、交聯物、竹筷子、珍珠板、瓦楞板、高 30cm 罐子、竹籤、膠帶、吸管、砝碼、碼表、鑷子、磅秤、PERSIL 洗衣精、正方體盒（10cm\*10cm\*10cm）。

## 陸、研究方法與結果討論

實驗一：測量待測物酸鹼性是否可產生交聯作用

實驗方法

方法一：檢測待測物酸鹼性

- 1、我們泡製蝶豆花水（重量百分濃度 0.393g/ml），做為每種待測物的酸鹼測試液。
- 2、滴入 20ml 的蝶豆花水(鹼性為綠色，中性和酸性顏色不變)和石蕊試紙，觀察顏色變化。

方法二：待測物是否可產生交聯作用

- 1、準備 15ml 膠水。
- 2、分別加入飽和硼砂水、飽和小蘇打水和飽和食鹽水，攪拌觀察交聯物是否有成形。



實驗結果：

1、測試酸鹼值


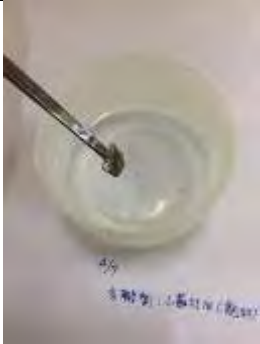

待測物	文獻找到的交聯劑 酸鹼值	我們使用蝶豆花水測試的 酸鹼值	使用石蕊試紙測試的 酸鹼值
硼砂	強鹼弱酸	強鹼	鹼性
小蘇打粉	弱鹼	弱鹼	鹼性



食鹽	中性	中性	中性
----	----	----	----

待測物濃度	0.001g/ml	
酸鹼質檢測結果		

## 2、待測物調為飽和濃度

待測物	硼砂	小蘇打粉	食鹽
是否形成交聯作用	是	否	否
待測物交聯作用圖片			

### 實驗發現：

- (1)待測物為小蘇打粉和食鹽，即使調至飽和也無法成形。
- (2)因為食鹽和小蘇打粉無法產出交聯物，所以我們以硼砂為交聯劑比較不同濃度的交聯劑軟硬度、彈性和延展性的差異。

實驗二：在形成交聯物的條件下，所需要加入的硼砂水量、反應時間與交聯物重量

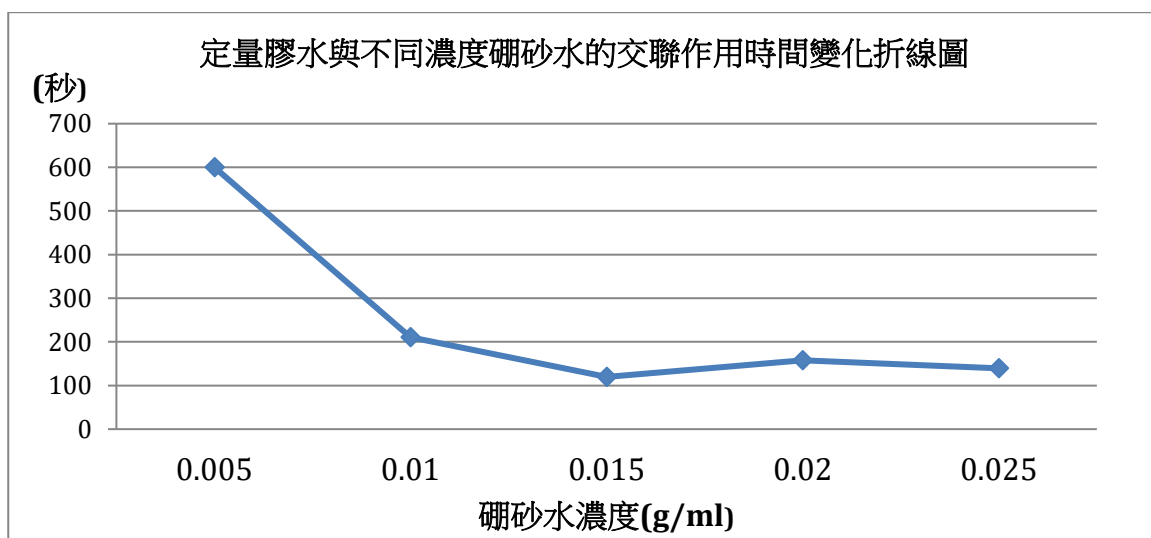
實驗方法：

- 1、準備濃度 0.005g/ml 濃度硼砂水 50ml。
- 2、我們準備 20ml 的膠水。
- 3、分次倒入硼砂水 2.5ml 至膠水中，並同時攪拌膠水，碼表開始計時。
- 4、攪拌至交聯物成形停止加入硼砂水後暫停計時。
- 5、記錄秒數及加入的硼砂水量，接著將交聯物秤重，記錄重量。
- 6、依循更換濃度 0.01g/ml、0.015g/ml、0.02 g/ml、0.025 g/ml 的硼砂水，重複步驟 2~6。

實驗結果：

1、定量膠水與不同濃度硼砂水的交聯作用時間

硼砂水濃度(g/ml)	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
實驗次數					
第一次(秒)	600	188	117	185	135
第二次(秒)	600	215	117	144	120
第三次(秒)	600	229	125	145	163
平均時間(秒)	600	210.67	119.67	158	139.33



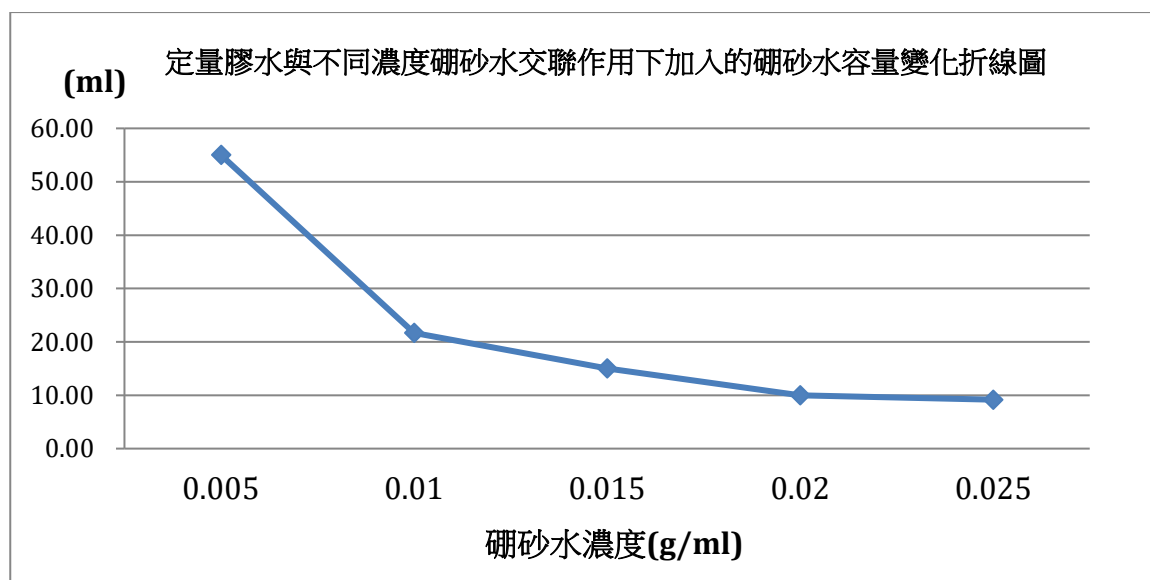
(1)交聯作用時間會隨著硼砂水濃度而變短。也就是說，硼砂水濃度越高，交聯作用

時間越短；反之，則越長。

(2)但是，當硼砂水濃度大於 0.015g/ml，交聯作用時間的變化不顯著。

### 2、定量膠水與不同濃度硼砂水交聯作用下加入的硼砂水容量

實驗次數 \ 硼砂水濃度(g/ml)	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
第一次(ml)	55	20	15	10	10
第二次(ml)	55	20	15	10	7.5
第三次(ml)	55	25	15	10	10
平均硼砂水水量(ml)	55.00	21.67	15.00	10.00	9.17



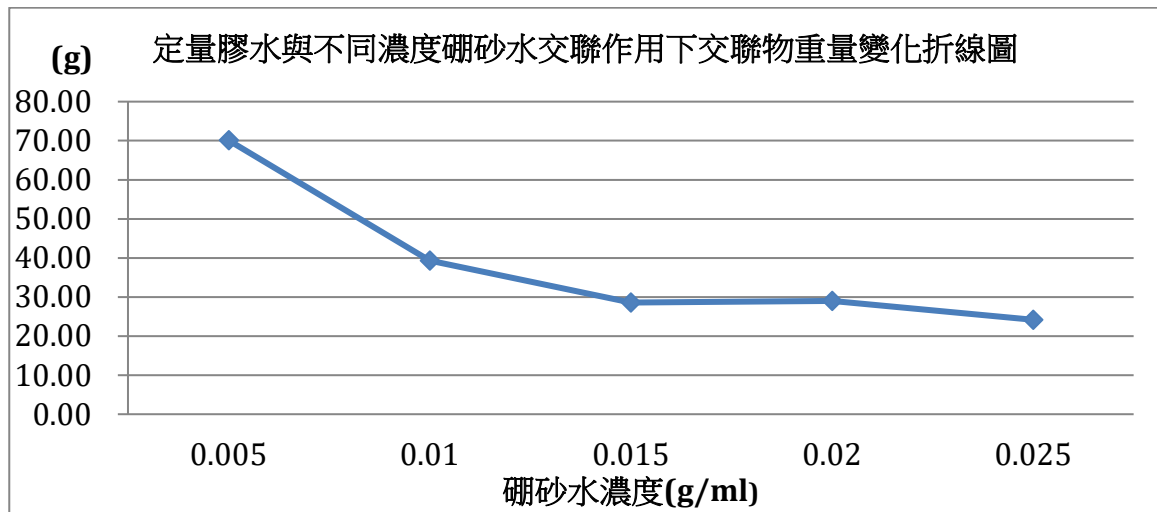
(1)交聯作用下加入的硼砂水容量會隨著硼砂水濃度而減少。也就是說，硼砂水濃度越高，加入的硼砂水容量越少；反之，則越多。

(2)但是，當硼砂水濃度大於 0.015g/ml，加入的硼砂水容量的變化不顯著。

### 3、定量膠水與不同濃度硼砂水交聯作用下交聯物的重量

實驗次數 \ 硼砂水濃度(g/ml)	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
第一次(g)	67.69	31.24	30.47	33.08	27.04
第二次(g)	70.48	43.24	28.4	25.33	22.91
第三次(g)	72.14	43.43	26.94	28.55	22.57

平均重量(g)	70.10	39.30	28.60	28.99	24.17
---------	-------	-------	-------	-------	-------



- (1)交聯作用下產出的交聯物重量會隨著硼砂水濃度而越輕。也就是說，硼砂水濃度越高，交聯物重量越輕；反之，則越重。
- (2)但是，當硼砂水濃度大於 0.015g/ml，交聯物重量的變化不顯著。

### 實驗三：在使用不同濃度的硼砂水，與形成交聯物的軟硬度之關係

#### 實驗方法：

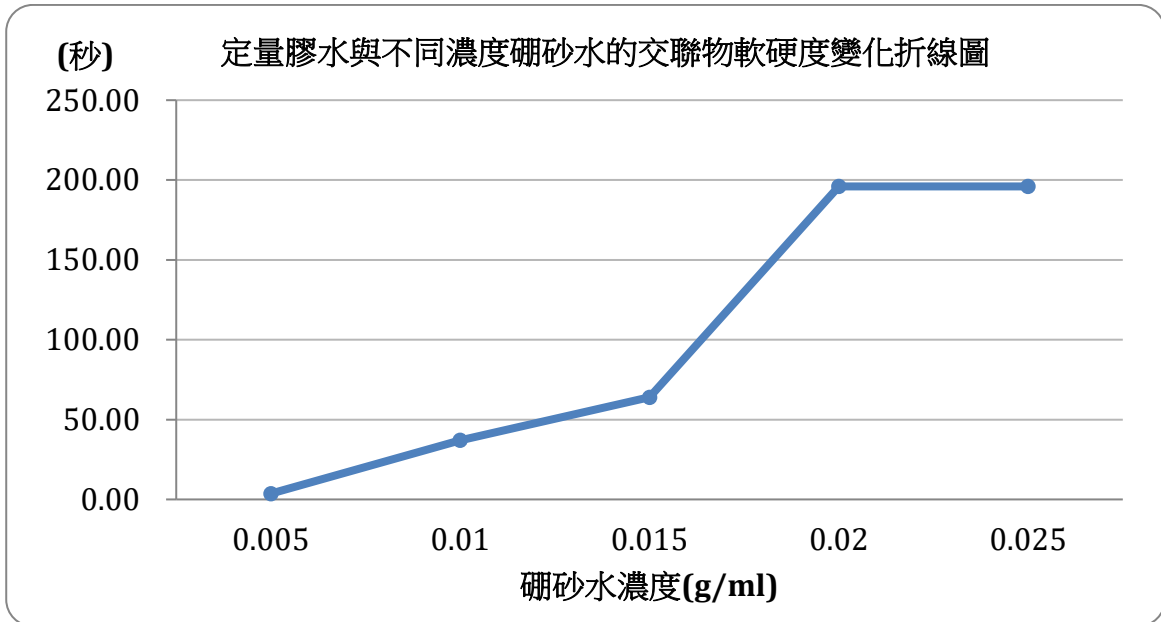
- 1、將實驗三中所做出來的交聯物取 20g。
- 2、10 克砝碼接觸交聯物表面開始計時。
- 3、砝碼沉入量杯底部時停止計時，並紀錄之。
- 4、比較 0.005g/ml 濃度硼砂水的軟硬度。
- 5、依循更換 0.01g/ml、0.015g/ml、0.02g/ml、0.025g/ml，重複步驟 2~4。

#### 實驗結果：

硼砂水濃度(g/ml)	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
實驗次數					
第一次(秒)	4	25	61	209	344
第二次(秒)	3	47	70	194	359

第三次(秒)	4	39	61	185	351
平均軟硬度(秒)	3.67	37	64	196	196

實驗發現：



- (1) 0.005g/ml 硼砂水濃度做出來的交聯物軟硬度最軟。
- (2) 0.025g/ml 硼砂水濃度做出來的交聯物軟硬度最硬。
- (3) 0.015g/ml 到 0.02g/ml 之間的軟硬度上升最多。
- (4) 隨著硼砂的濃度增加，交聯物的軟硬也跟著變硬，但從 0.02g/ml 附近開始，交聯物軟硬度到達臨界點，硼砂水就算再增加，軟硬度還是會趨近穩定。

<p>0.05g/ml 硼砂水濃度做的交聯物軟硬度，30 分鐘後砝碼還沒碰觸到杯底。</p>	<p>0.005g/ml 硼砂水濃度做的交聯物軟硬度，3 秒後砝碼就碰觸到杯底。是所有的</p>

實驗中最軟的交聯物。

#### 實驗四：在使用不同濃度的硼砂水，與形成交聯物的彈性之關係

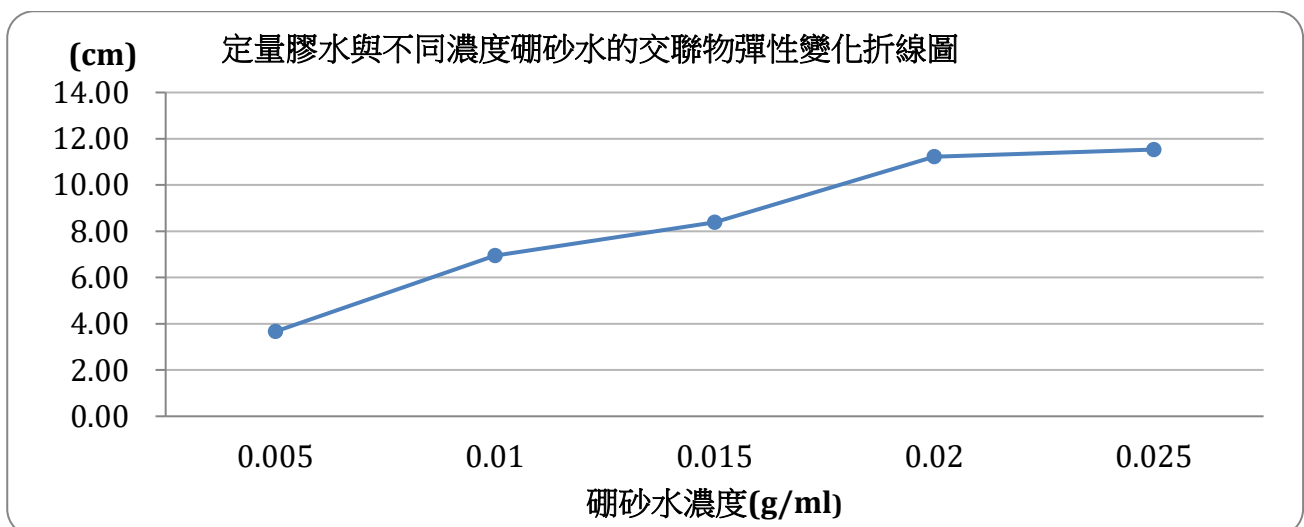
##### 實驗方法：

- 1、將實驗三中所做出來的交聯物取 20g。
- 2、將交聯物投入彈性測量筒內，測量彈性。
- 3、比較 0.005g/ml 濃度硼砂水交聯物的彈力。
- 4、依循更換 0.01g/ml、0.015g/ml、0.02g/ml、0.025g/ml 濃度的硼砂水，重複步驟 2~4。

##### 實驗結果：

硼砂水濃度(g/ml)	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
實驗次數					
第一次(cm)	3.67	5.67	8.83	12.67	10.30
第二次(cm)	3.5	8.50	9.00	11.00	12.30
第三次(cm)	3.83	6.67	7.33	10.00	12.00
平均彈性(cm)	3.67	6.95	8.39	11.22	11.53

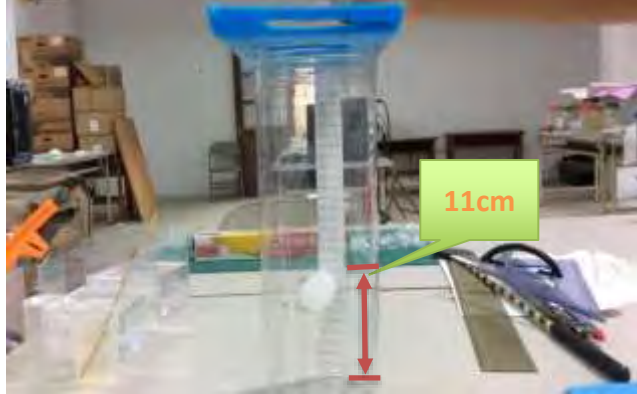

##### 實驗發現：



(1)0.025g/ml 硼砂水濃度製作的交聯物，彈性最好。

(2)0.005g/ml 硼砂水濃度製作的交聯物，彈性最差。

(3)隨著硼砂的濃度增加，交聯物的彈性也跟著變好，但從濃度 0.02g/ml 附近開始，交聯物彈性到達臨界點，硼砂水濃度就算再增加，彈性還是會趨近穩定。

	
<p>0.025g/ml 硼砂水濃度做的第 2 個交聯物，彈性為 11cm。</p>	<p>0.005g/ml 硼砂水濃度做的第 3 個交聯物，彈性為 4cm。</p>

### 實驗五：在使用不同濃度的硼砂水，與形成交聯物的延展性之關係

#### 實驗方法：

- 1、將實驗三中所做出來的交聯物取 20g。
- 2、將交聯物放置延展性測量器，測量延展性。
- 3、比較 0.005g/ml 濃度硼砂水交聯物的延展性。
- 4、依循更換 0.01g/ml、0.015g/ml、0.02g/ml、0.025g/ml 濃度的硼砂水，重複步驟 2~4。

#### 實驗結果：

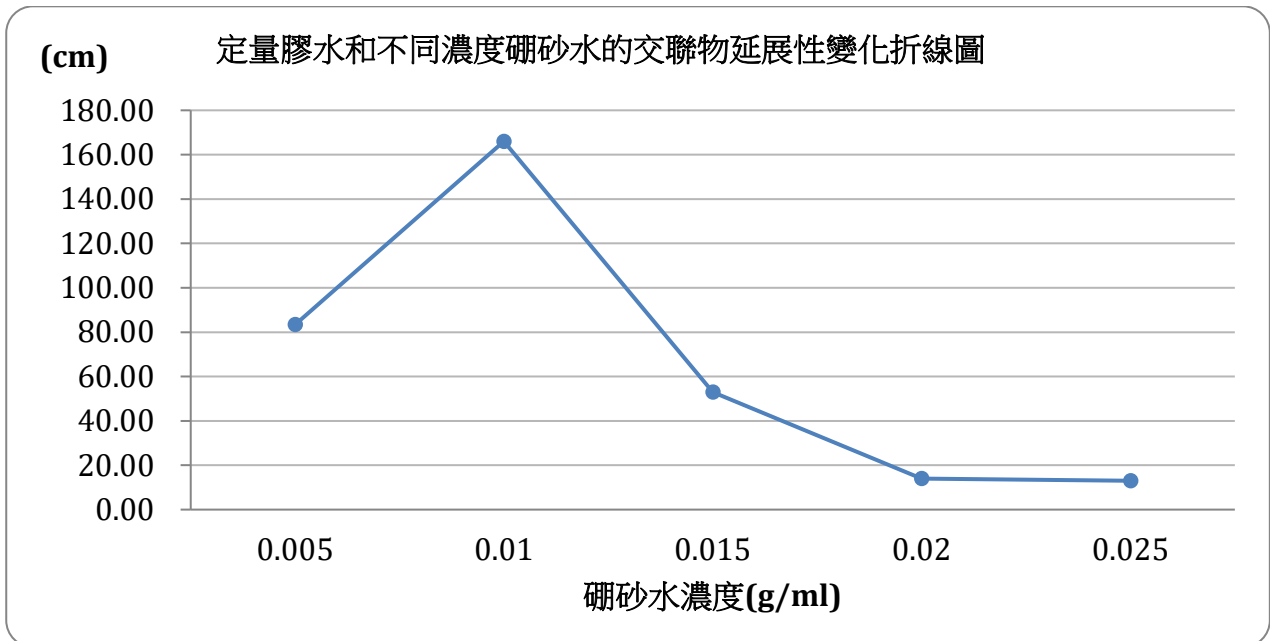
硼砂水濃度(g/ml) 實驗次數	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
第一次(cm)	154	270	68	10	10
第二次(cm)	37	113	46	12	20
第三次(cm)	59	115	45	20	9
平均延展性(cm)	83.33	166.00	53.00	14.00	13.00

註：所謂的假水就是，製作交聯物時，如果硼砂水濃度過低，無論加再多的硼砂

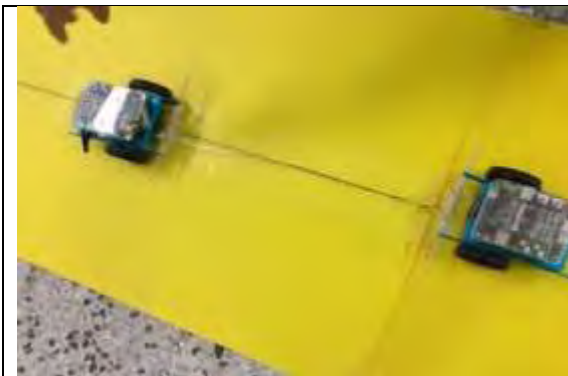


水，即使交聯物會成形，但交聯物的狀態就像水一樣，流動速度快。

實驗發現：



- (1) 0.01g/ml 硼砂水濃度做出來的交聯物，延展性最好。
- (2) 0.025g/ml 硼砂水濃度做出來的交聯物，延展性最差。
- (3) 隨著硼砂的濃度增加，交聯物的延展性也跟著變差，但從濃度 0.02g/ml 開始，交聯物 延展性到達臨界點，硼砂水就算再增加，延展性還是會趨近穩定。
- (4) 隨著硼砂的濃度減少，交聯物的延展性也跟著變好，但利用硼砂水濃度 0.005g/ml 製作的交聯物延展性到達臨界點，硼砂水就算再增加，交聯物呈假水狀態。

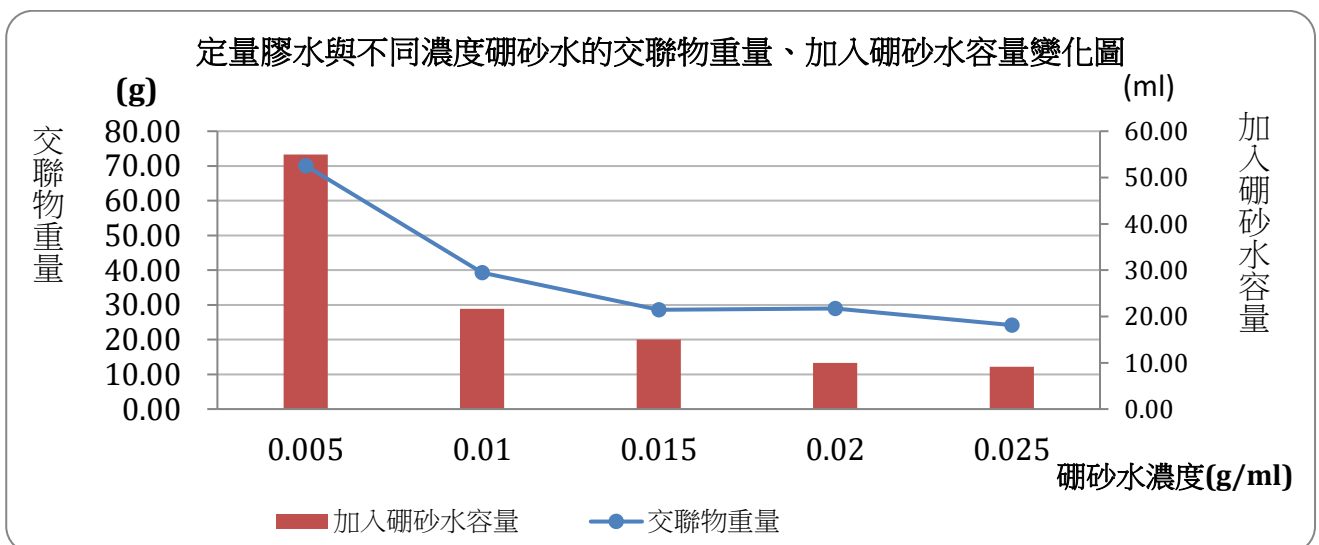
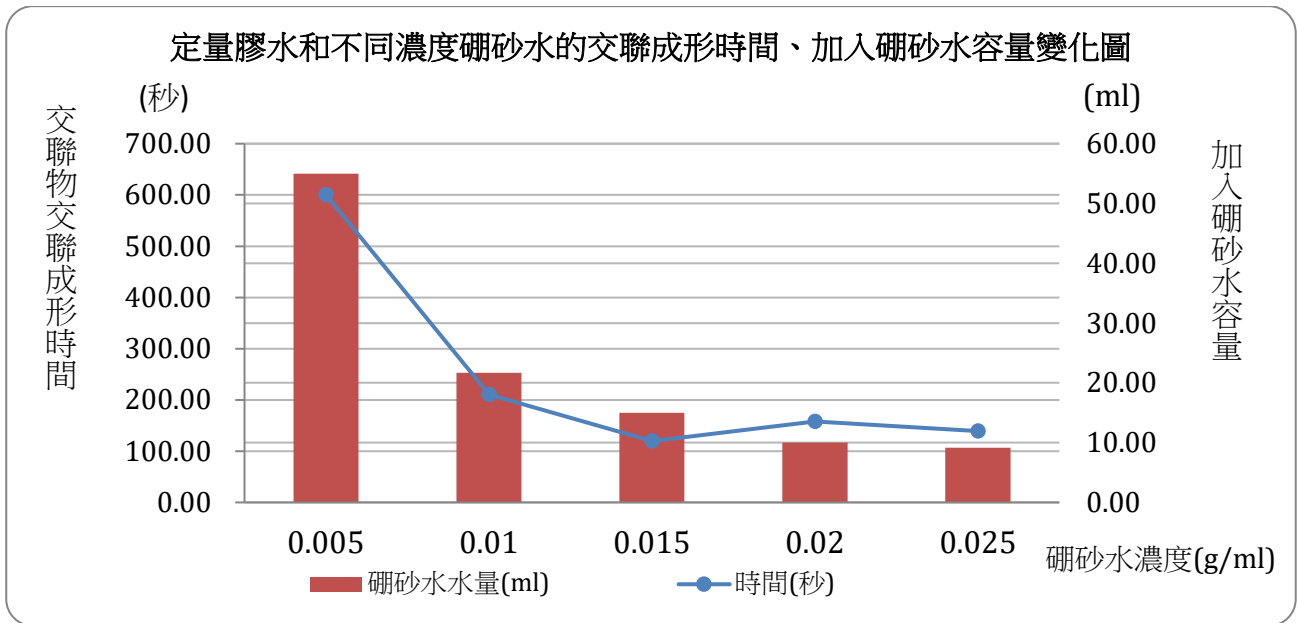




濃度 0.02g/ml 的硼砂水製作的 3 號交聯物，延展性長度為 20cm。	濃度 0.005g/ml 的硼砂水製作的交聯物呈假水狀態。
---	-------------------------------

### 柒、結論

- 一、待測物質的酸鹼值無法決定物質是否可當交聯劑的判別條件，除了硼砂外，其他待測物質無法做為交聯劑。
- 二、在交聯物成形的條件下，所加入硼砂水的濃度越高，成形時間越短；加入的硼砂水容量越多，交聯物的重量越重，三者變化趨於一致。但濃度大於 0.015g/ml 後，交聯物成形時間、加入硼砂水容量及交聯物重量變化皆不顯著。



- 三、硼砂水的濃度越低，交聯物的軟硬度就偏軟；硼砂水濃度越高，交聯物的軟硬度就偏硬。
- 四、硼砂水的濃度越低，交聯物的彈性就越差；硼砂水的濃度越高，交聯物的彈性就越好。
- 五、硼砂水的濃度越低，交聯物的延展性就越好；硼砂水的濃度越高，交聯物的延展性就越差。
- 六、當硼砂水濃度為  $0.01\text{g/ml}$  附近是延展性的臨界點。濃度為  $0.01\text{g/ml}$  以下時，無論加再多相同濃度的硼砂水，交聯物還是維持在「假水」的狀態。
- 七、當硼砂水濃度為  $0.02\text{g/ml}$  附近是軟硬度、彈性和延展性的臨界點。硼砂水的濃度在  $0.02\text{g/ml}$  以上時，交聯物的軟硬度、彈性和延展性呈現穩定狀態，也就是說，硼砂水的濃度就算增加，交聯物的軟硬度、彈性和延展性也會趨近於穩定。

## 捌、參考資料

- 一、昌佳致等：聚乙烯醇與硼砂的美麗邂逅，國立彰化女中
- 二、許皓澤等：進擊的史萊姆～史萊姆之材料與探討，國立沙鹿高中
- 三、「硼」聯「醇」合-聚乙烯醇和硼砂交聯作用研究。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、「膜」力十足-鼻涕蟲配方對性質與拉膜之研究。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 五、陳俊霈等：如「交」似「聯」陳名祥 國立員林崇實高級工業職業學校
- 六、<https://docs.google.com/document>

## 【評語】 080212

1. 參考資料的寫法不完整，應予改進。
2. 須說明用來當作交聯劑的藥品須具備那些條件。又為何拿硼砂、小蘇打和食鹽來測試是否有交聯效果。
3. 自行設計的量測儀器(彈力、軟硬、延展)、探討酸鹼對於交聯的影響，值得鼓勵。但儀器必先確認可信才行。
4. 第 12 頁，實驗三的結果有誤(344、359、351 的平均值是 351.3 不是 196)，連帶的結論也發生錯誤。
5. 文獻是以聚乙烯醇跟硼砂反應，此作品也是以聚乙烯醇跟硼砂反應。應該說明此作品做的和其他人的作品的不同處在哪裡。



## 摘要

經過本研究藉由自行設計測量交聯物的軟硬度、彈性和延展性，發現硼砂水的濃度會影響交聯作用的程度，交聯劑與膠水的成形時間也會受影響。也就是說硼砂水濃度低時，交聯物軟硬度偏軟、彈性差、延展性好，成形時間較長；硼砂水濃度高，交聯物軟硬度偏硬、彈性好、延展性差，成形時間較短。同時我們也發現當硼砂水濃度在0.01g/ml附近為延展性的臨界點，也就是說硼砂水濃度低於0.01g/ml時交聯物呈「假水」狀態。當硼砂水濃度為0.02g/ml附近是軟硬度、彈性和延展性的臨界點；也就是硼砂水濃度達0.02g/ml以上，交聯物的軟硬度、彈性和延展性皆不再受硼砂水濃度持續增加而有變化。

## 壹、研究動機

有一次我在班上發現有一位同學在玩一個軟軟黏黏的東西，同學們跟我說那是「史萊姆」。我覺得它很特別，於是上網查詢它的製作方式以及成形的原因，從網路上我發現它是「交聯作用」而形成的一種交聯物。根據網路上查到的資料，發現交聯物有很多種性質，有的稱為「鼻涕蟲」，有的稱為「假水史萊姆」，每個不同的名稱都代表他們的軟硬度、彈性和延展性也都不一樣，它們需要膠水加入交聯劑後形成，軟硬度、延展性和彈性都有所不同。所以我們想探討交聯劑的濃度與膠水產生的交聯物，其軟硬度、彈性及延展性之差異。

## 貳、文獻探討

交聯作用是指許多分子（一般為線型分子）相互交聯成網狀結構的較穩定分子的反應，這種作用使線型或輕度支鏈型的大分子轉變成立體網絡結構。反應中的鍵結多是氫鍵，藉由交聯作用可使高分子聚合物變得有彈性或變硬。

當聚合物藉由交聯作用連接在一起，他們失去一些他們作為單獨聚合物移動的能力。例如，液態聚合物（液態聚合物鏈可自由地流動）可透過交聯作用而形成類似牛頓流體的行為。

在聚合物化學中，當一個聚合物被敘述為產生交聯作用。所得到的物理性質改變取決於交聯作用中鍵結的密度。低密度的會降低聚合物的黏度。中間密度的會轉變膠狀聚合物形成具有彈性體和潛在高強度的聚合物。非常高密度的會造成物質變得非常堅硬或玻璃狀的，如酚醛樹脂。

我們查詢歷屆科展及相關的文獻資料發現：

文獻資料名稱	內容摘要	使用的交聯劑 (交聯物可成形)
聚乙烯醇與硼砂的美麗邂逅	硼砂可以使得膠水瞬間產生變化，如果加入不同濃度的硼砂水溶液，膠水會像彈力球一樣彈性好。	硼砂
進擊的史萊姆 史萊姆之材料與探討	以不同質量聚乙烯醇，探討製作史萊姆形成之差異性、探討以定量的PVA，使用不同去離子水體積，製作史萊姆形成之比較。	硼砂
「膜」力十足 鼻涕蟲配方對性質與拉膜之研究	確認「添加物」能夠改變鼻涕蟲性質，增加變化性。	硼砂、小蘇打粉、食鹽
如「交」似「聯」	利用不同比例的PVA及硼砂製成的變態膠水，觀察彈性變化。	硼砂

根據以上文獻，使用硼砂、小蘇打粉和食鹽當作交聯劑，可以產生交聯作用，所以我們將這三種物質當作待測物，檢測是否真的可以產生交聯作用。

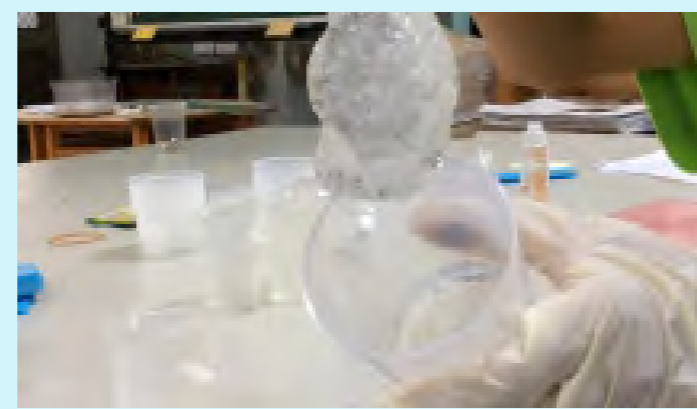
## 參、研究目的

- 一、探討待測物的酸鹼性是否可影響交聯作用的生成。
- 二、探討在形成交聯物的條件下，所需要加入的硼砂水容量、反應時間及交聯重量之關係。
- 三、探討在使用不同濃度的硼砂水，與形成交聯物的軟硬度之關係。
- 四、探討在使用不同濃度的硼砂水，與形成交聯物的彈性之關係。
- 五、探討在使用不同濃度的硼砂水，與形成交聯物的延展性之關係。

## 肆、測量交聯物作用設計

### 一、交聯物定義

交聯物意指我們在實驗上對膠水添加交聯劑後，攪拌膠水使其不沾黏容器，所產生的物體稱為交聯物。(如右圖)



### 二、測量交聯物性質

#### (一)交聯物軟硬度

我們想測量交聯物是否容易被改變形狀，所以測量砝碼沉入量杯底部的時間。

#### 1.軟硬度測量杯器材製作：

軟硬度設計圖	軟硬度測量杯
<p>(1)在6cm×6cm的瓦楞板中間裁3cm×3cm的洞，在三條邊底下分別黏上1cm×6cm的瓦楞板，底下再黏一個6cm×6cm的板子，中間裁掉3cm×3cm板子，最後再將用板子做好的主要支架使用膠帶固定在30ml的量杯就完成了</p> <p>(2)裁一個5cm×5cm的瓦楞板，再拿一支竹籤用膠帶固定在板子尾端，製作成隔板。</p>	

### 2.操作方法：

將交聯物裝進有黏上主要支架（隔板事先放進主要支架）30毫升的量杯，在隔板上放上1個砝碼，接著將隔板抽取出來同時按碼表計時，砝碼到量杯底部時，把碼錶按暫停並記錄秒數。

實驗過程	實驗前	實驗中	實驗後
操作圖示			
實驗操作說明	將砝碼放在隔板上。	把隔板拉開，同時也按碼表計時。	砝碼碰到量杯杯底時暫停碼表並記錄秒數。

### (二)交聯物彈性

測量交聯物彈跳的高度，藉此瞭解交聯物的彈力。

#### 1.彈力測量筒器材製作：

彈力測量筒設計圖	彈力測量筒
<p>(1)主要支架：將兩張21cm×15cm瓦楞板中間裁8cm×8cm的洞口，接著在其中一張21cm×15cm瓦楞板的兩條邊黏上21cm×2cm瓦楞板和15cm的一條邊黏上15cm×2cm的瓦楞板，再將另一片21cm×15cm的瓦楞板黏在底下。</p> <p>(2)在圓筒內側畫上30cm的量尺。</p>	

### 2.操作方法：

將20g的交聯物用15cm×15cm的保鮮膜包成圓形，將交聯物拿在手上，打開平板的相機錄影，再回放慢動作看交聯物彈的高度，並記錄。

實驗過程	實驗前	實驗中	實驗後
操作圖示			
實驗操作說明	實驗前將交聯物用保鮮膜包成圓形並開啟平板相機準備錄影。	將交聯物投入桶子，並也開啟相機錄影。	將平板錄影的影片放慢，紀錄交聯物彈的高度。

### (三)交聯物延展性

量測交聯物可以被拉長的長度，也就是延展性。

#### 1.實驗器材：

延展性測量器設計圖	延展性測量器
<p>(1)延展道製作：將4片90cm×60cm的珍珠板並列黏起來成一平面跑道，畫上刻度。</p> <p>(2)兩台自走車放在跑道右端，車尾以支架及牙籤固定交聯物，車頭面相兩端朝外，再來就按下其中一台板載按鈕使自走車前進，直到交聯物中斷，紀錄交聯物延展的長度。</p> <p>(3)以自走車馬力為60的速度量測交聯物的延展性。</p>	

延展性交聯物固定器設計圖	延展性交聯物固定器

### 2.操作方法：

將20g的交聯物架在牙籤上，然後按下自走車的板載按鈕，讓自走車向前走，當交聯物斷掉時，同時把自走車暫停，記錄距離。

實驗過程	實驗前	實驗中	實驗後
操作圖示			
實驗操作說明	實驗前將自走車的電源，事先將自走車背對背放在起點，再把交聯物架在牙籤上	再按下自走車的板載按鈕使一台自走車前進。	直到交聯物斷掉，讓自走車停止前進，再記錄交聯物拉了多長。

## 伍、研究設備及器材

量杯（30毫升）、量杯（100毫升）、量杯（150毫升）、攪拌棒、湯匙、膠水（含PVA）、硼砂、小蘇打粉（可食用）、食鹽、RO水、自走車、保鮮膜、交聯物、竹筷子、珍珠板、瓦楞板、高30cm罐子、竹籤、膠帶、吸管、砝碼、碼表、鑷子、磅秤、正方體盒（10cm×10cm×10cm）。



## 陸、研究方法與結果討論

### ● 實驗一：測量待測物酸鹼性是否可產生交聯作用

#### ● 實驗方法

方法一：檢測待測物酸鹼性

- 1、我們泡製蝶豆花水（重量百分濃度0.393g/ml），做為每種待測物的酸鹼測試液。
- 2、滴入20ml的蝶豆花水（鹼性為綠色，中性顏色不變）和石蕊試紙，觀察顏色變化。

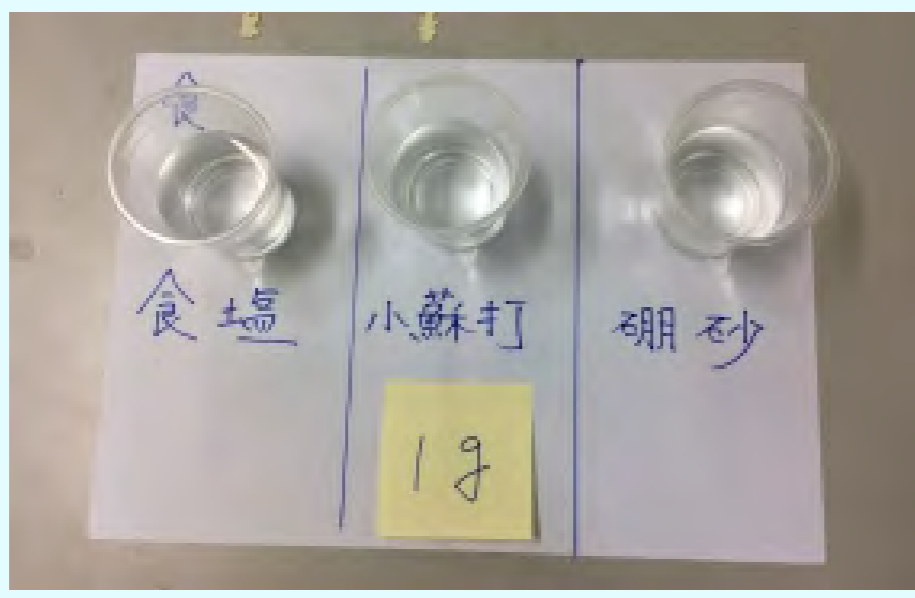
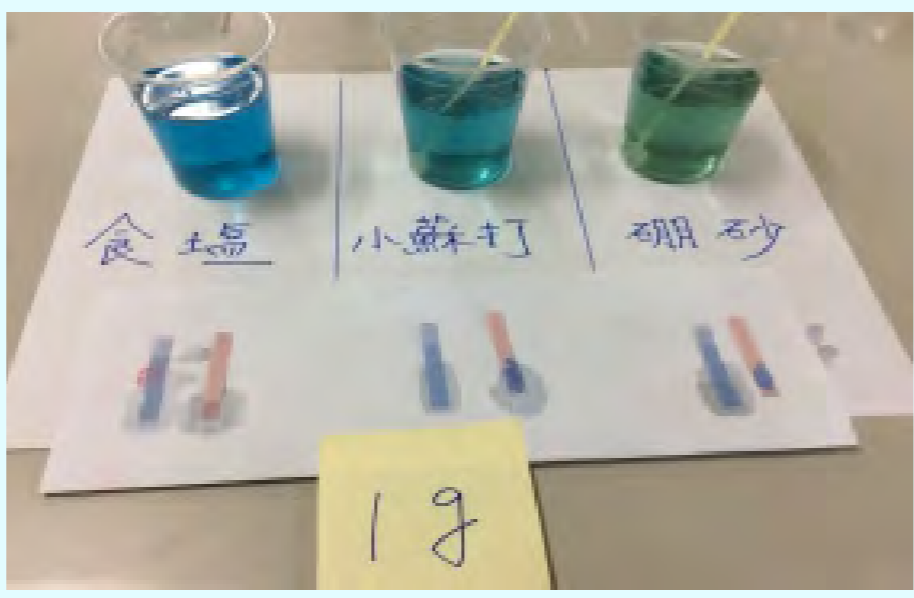
方法二：待測物是否可產生交聯作用

- 1、準備15ml膠水。
- 2、分別加入飽和硼砂水、飽和小蘇打水和飽和食鹽水，攪拌觀察交聯物是否有成形。

#### ● 實驗結果

##### 1. 測試酸鹼性

待測物	文獻找到的交聯劑酸鹼性	使用蝶豆花水測試的酸鹼性	使用石蕊試紙測試的酸鹼性
硼砂	強鹼弱酸	強鹼	鹼性
小蘇打粉	弱鹼	弱鹼	鹼性
食鹽	中性	中性	中性

待測物濃度	0.001g/ml	
酸鹼質檢測結果		

##### 2、待測物調為飽和濃度

待測物	硼砂	小蘇打粉	食鹽
是否形成交聯作用	是	否	否
待測物交聯作用圖片			

#### ● 實驗發現

- (1)待測物為小蘇打粉和食鹽，即使調至飽和也無法成形。
- (2)因為食鹽和小蘇打粉無法產出交聯物，所以我們以硼砂為交聯劑比較不同濃度的交聯劑軟硬度、彈性和延展性的差異。

### ● 實驗二：在形成交聯物的條件下，所需要加入的硼砂水量、反應時間與交聯物重量

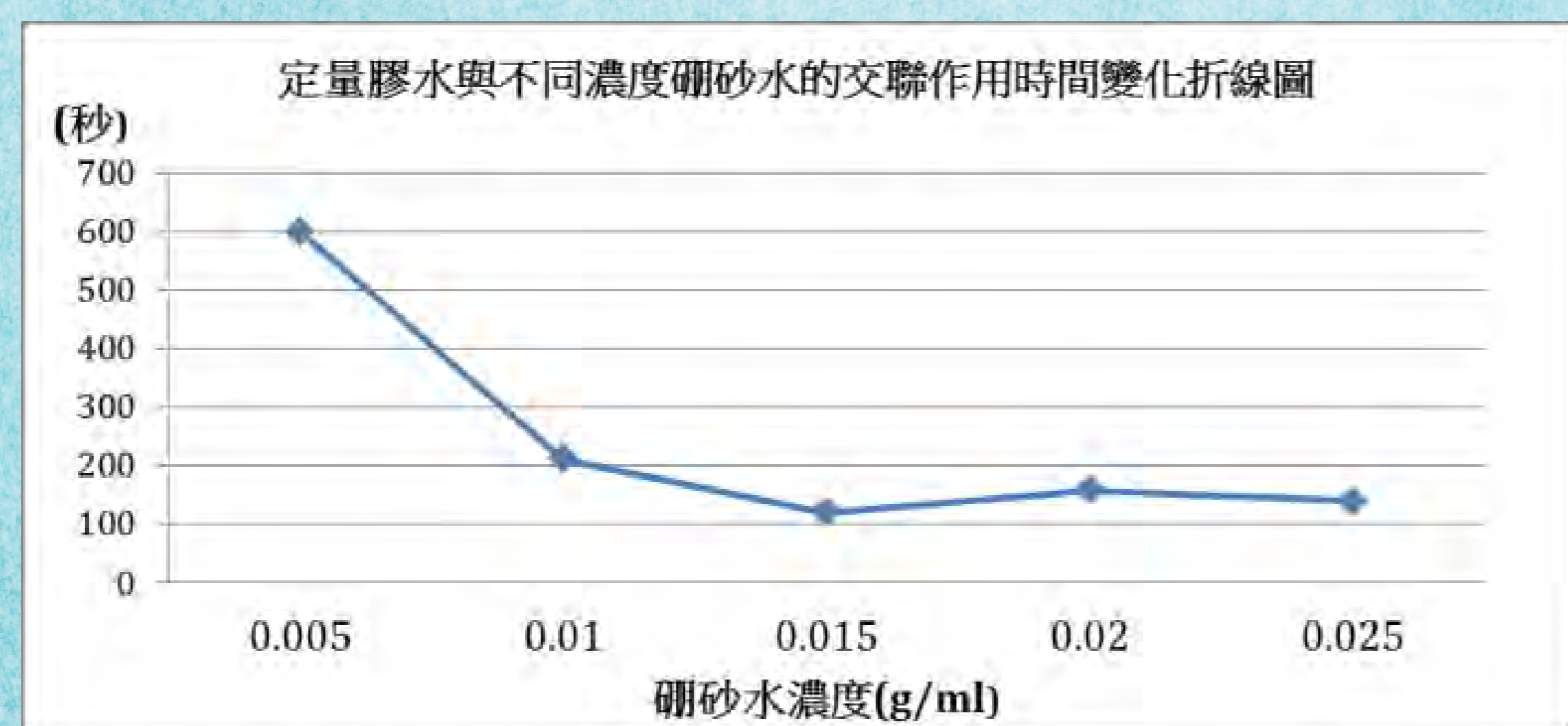
#### ● 實驗方法

- 1、準備濃度0.005g/ml濃度硼砂水50ml。
- 2、我們準備20ml的膠水。
- 3、分次倒入硼砂水2.5ml至膠水中，並同時攪拌膠水，碼表開始計時。
- 4、攪拌至交聯物成形停止加入硼砂水後暫停計時。
- 5、記錄秒數及加入的硼砂水量，接著將交聯物秤重，記錄重量。
- 6、依循更換濃度0.01g/ml、0.015g/ml、0.02 g/ml、0.025 g/ml的硼砂水，重複步驟2~6。

#### ● 實驗結果

##### 1、定量膠水與不同濃度硼砂水的交聯作用時間

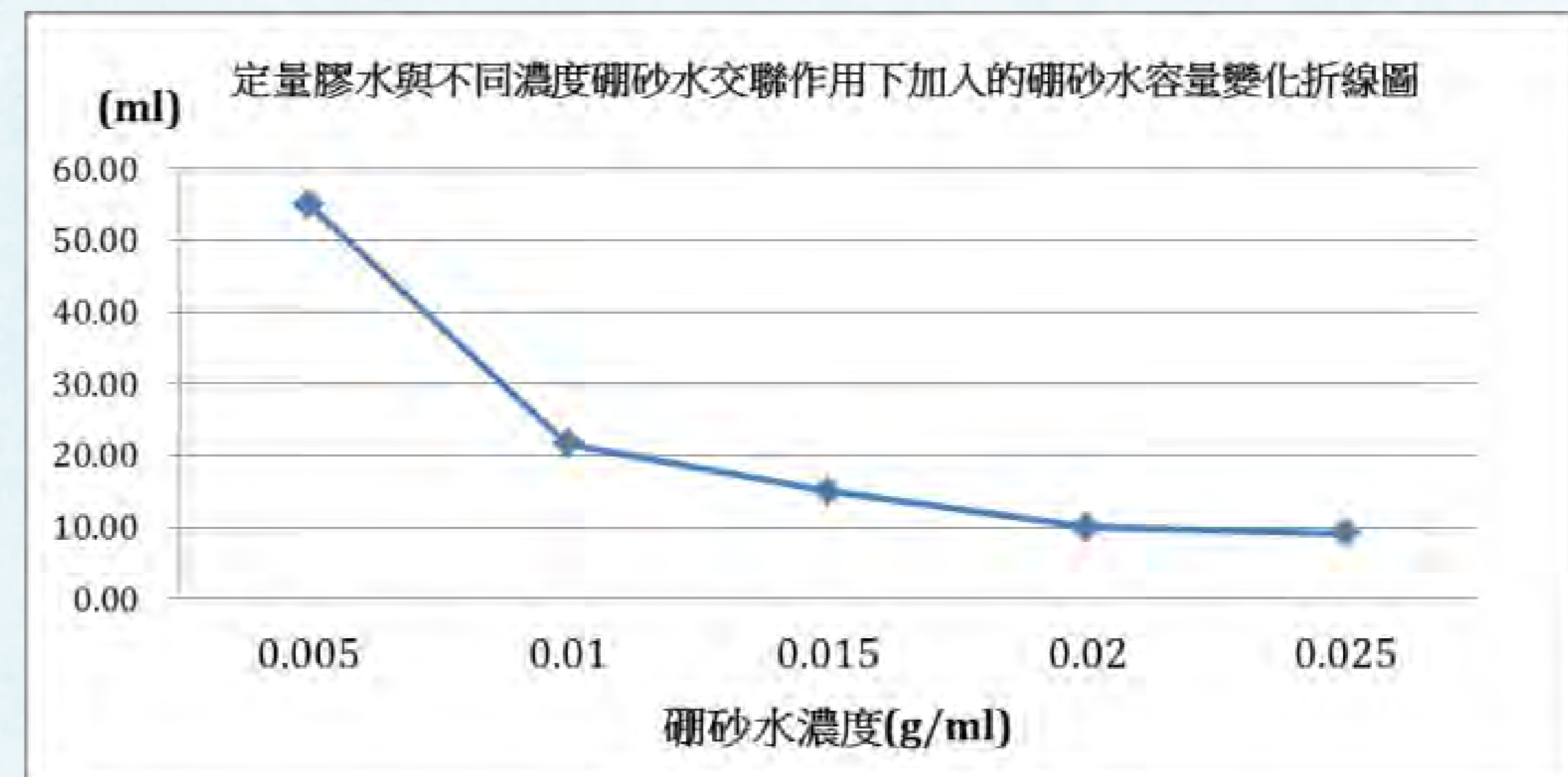
實驗次數	硼砂水濃度 (g/ml)	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
第一次(秒)		600	188	117	185	135
第二次(秒)		600	215	117	144	120
第三次(秒)		600	229	125	145	163
平均時間(秒)		600	210.67	119.67	158	139.33



- (1)交聯作用時間會隨著硼砂水濃度而變短。也就是說，硼砂水濃度越高，交聯作用時間越短；反之，則越長。
- (2)但是，當硼砂水濃度大於0.015g/ml，交聯作用時間的變化不顯著。

##### 2、定量膠水與不同濃度硼砂水交聯作用下加入的硼砂水容量

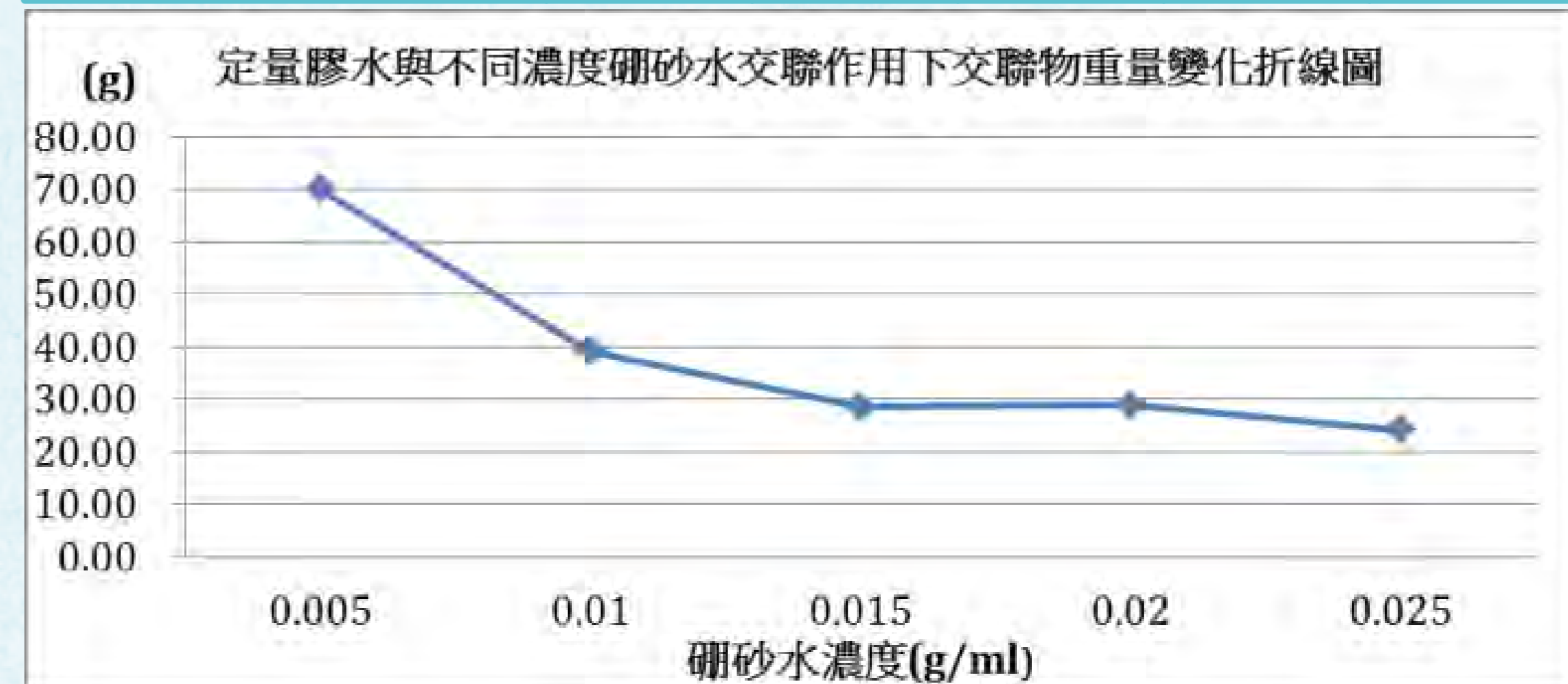
實驗次數	硼砂水濃度 (g/ml)	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
第一次(ml)		55	20	15	10	10
第二次(ml)		55	20	15	10	7.5
第三次(ml)		55	25	15	10	10
平均硼砂水水量(ml)		55.00	21.67	15.00	10.00	9.17



- (1)交聯作用下加入的硼砂水容量會隨著硼砂水濃度而減少。也就是說，硼砂水濃度越高，加入的硼砂水容量越少；反之，則越多。
- (2)但是，當硼砂水濃度大於0.015g/ml，加入的硼砂水容量的變化不顯著。

##### 3、定量膠水與不同濃度硼砂水交聯作用下交聯物的重量

實驗次數	硼砂水濃度 (g/ml)	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
第一次(g)		67.69	31.24	30.47	33.08	27.04
第二次(g)		70.48	43.24	28.4	25.33	22.91
第三次(g)		72.14	43.43	26.94	28.55	22.57
平均重量(g)		70.10	39.30	28.60	28.99	24.17



- (1)交聯作用下產出的交聯物重量會隨著硼砂水濃度而越輕。也就是說，硼砂水濃度越高，交聯物重量越輕；反之，則越重。
- (2)但是，當硼砂水濃度大於0.015g/ml，交聯物重量的變化不顯著。

### ● 實驗三：在使用不同濃度的硼砂水，與形成交聯物的軟硬度之關係

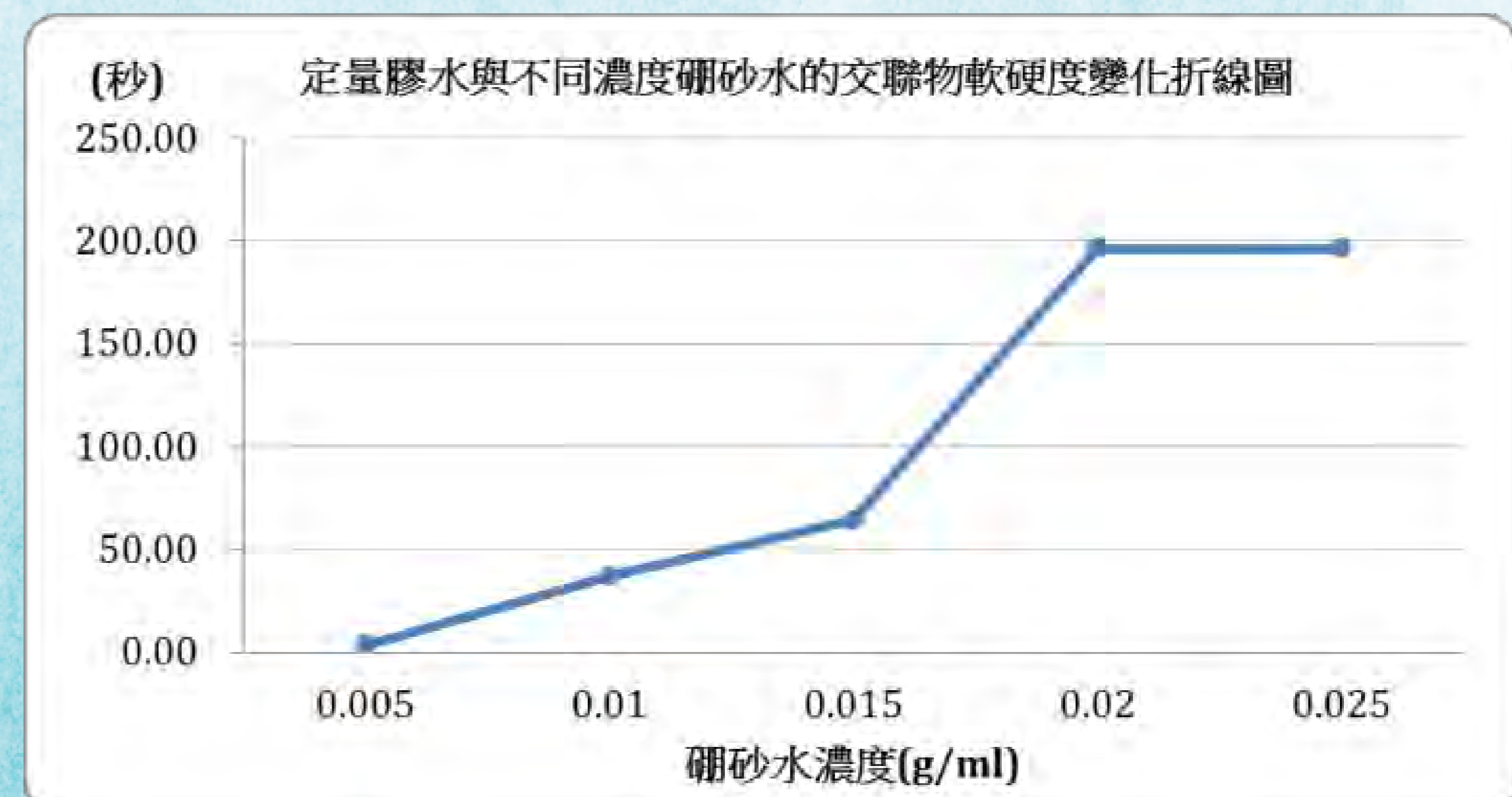
#### ● 實驗方法

- 1、將實驗二中所做出來的交聯物取20g。
- 2、10克砝碼接觸交聯物表面開始計時。
- 3、砝碼沉入量杯底部時停止計時，並紀錄之。
- 4、比較0.005g/ml濃度硼砂水的軟硬度。
- 5、依循更換0.01g/ml、0.015g/ml、0.02g/ml、0.025g/ml，重複步驟2~4。

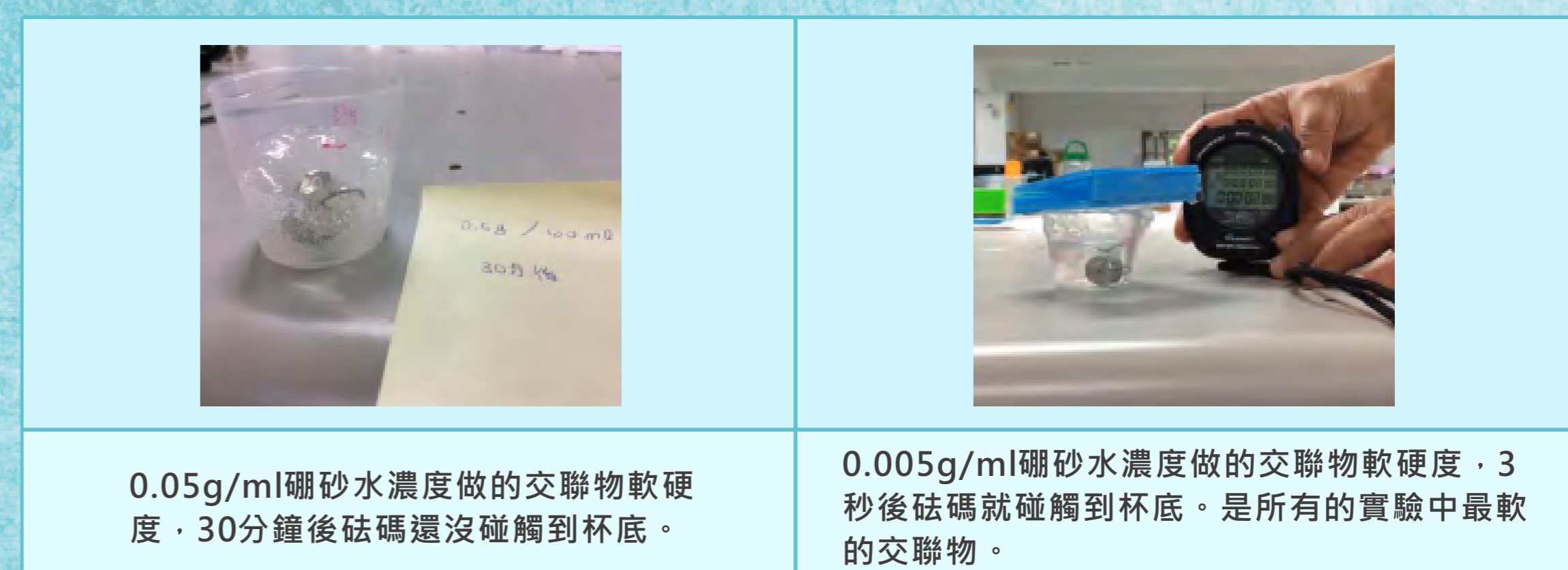
#### ● 實驗結果

實驗次數	硼砂水濃度 (g/ml)	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
第一次(秒)		4	25	61	209	344
第二次(秒)		3	47	70	194	359
第三次(秒)		4	39	61	185	351
平均軟硬度(秒)		3.67	37	64	196	196

#### ● 實驗發現



- (1)0.005g/ml硼砂水濃度做出來的交聯物軟硬度最軟。
- (2)0.025g/ml硼砂水濃度做出來的交聯物軟硬度最硬。
- (3)0.015g/ml到0.02g/ml之間的軟硬度上升最多。
- (4)隨著硼砂水濃度增加，交聯物的軟硬也跟著變硬，但從0.02g/ml附近開始，交聯物軟硬度到達臨界點，硼砂水就算再增加，軟硬度還是會趨近穩定。



0.05g/ml硼砂水濃度做的交聯物軟硬度，30分鐘後砝碼還沒觸到底。

0.005g/ml硼砂水濃度做的交聯物軟硬度，3秒後砝碼就觸到底。是所有的實驗中最軟的交聯物。



## ● 實驗四：在使用不同濃度的硼砂水，與形成交聯物的彈性之關係

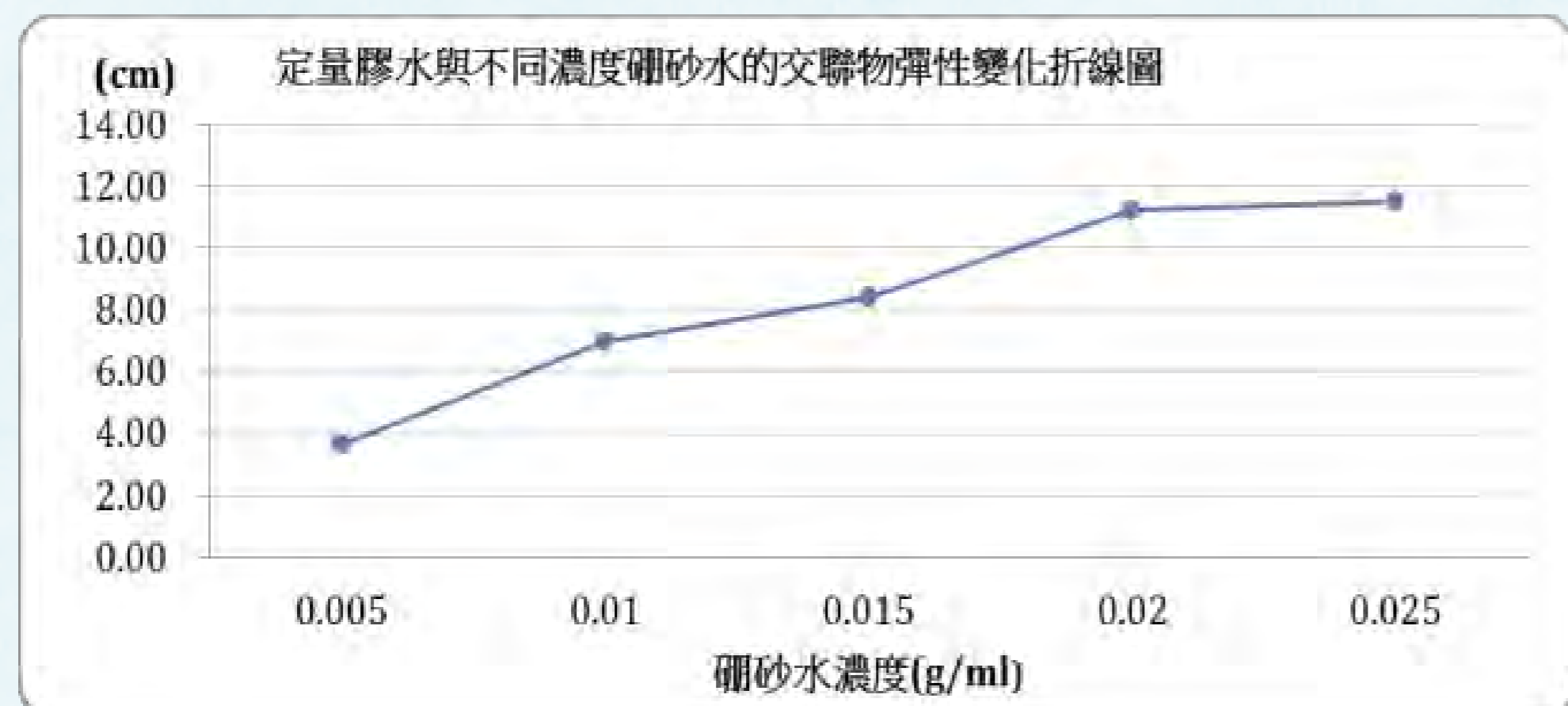
### ● 實驗方法

- 1、將實驗二中所做出來的交聯物取20g。
- 2、將交聯物投入彈性測量筒內，測量彈性。
- 3、比較0.005g/ml濃度硼砂水交聯物的彈力。
- 4、依循更換0.01g/ml、0.015g/ml、0.02g/ml、0.025g/ml濃度的硼砂水，重複步驟2~4。

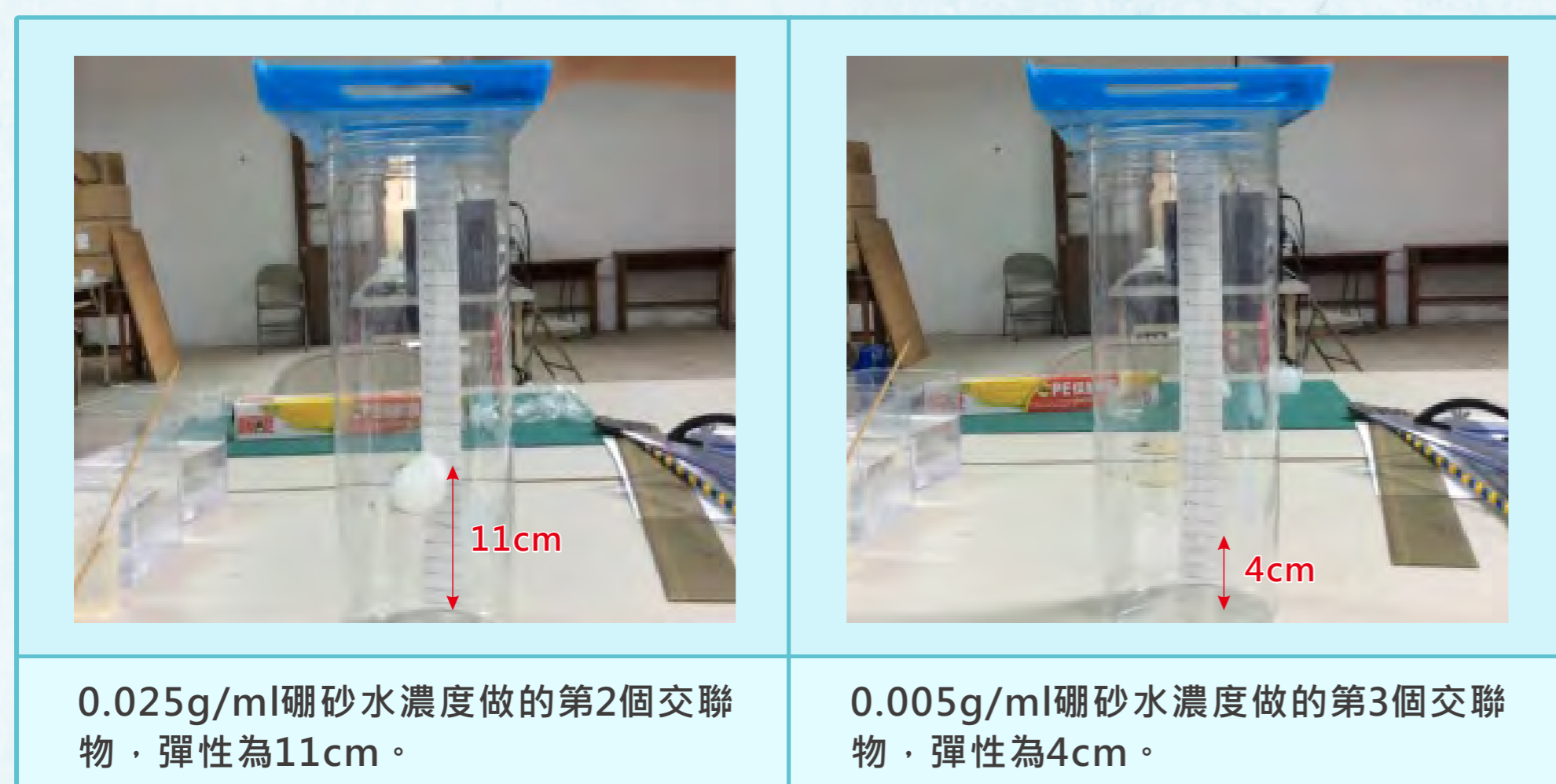
### ● 實驗結果

硼砂水濃度 (g/ml)	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
第一次(cm)	3.67	5.67	8.83	12.67	10.30
第二次(cm)	3.5	8.50	9.00	11.00	12.30
第三次(cm)	3.83	6.67	7.33	10.00	12.00
平均彈性(cm)	3.67	6.95	8.39	11.22	11.53

### ● 實驗發現



- (1)0.025g/ml硼砂水濃度製作的交聯物，彈性最好。
- (2)0.005g/ml硼砂水濃度製作的交聯物，彈性最差。
- (3)隨著硼砂水濃度增加，交聯物的彈性也跟著變好，但從濃度0.02g/ml附近開始，交聯物彈性到達臨界點，硼砂水濃度就算再增加，彈性還是會趨近穩定。



0.025g/ml硼砂水濃度做的第2個交聯物，彈性為11cm。

0.005g/ml硼砂水濃度做的第3個交聯物，彈性為4cm。

## ● 實驗五：在使用不同濃度的硼砂水，與形成交聯物的延展性之關係

### ● 實驗方法

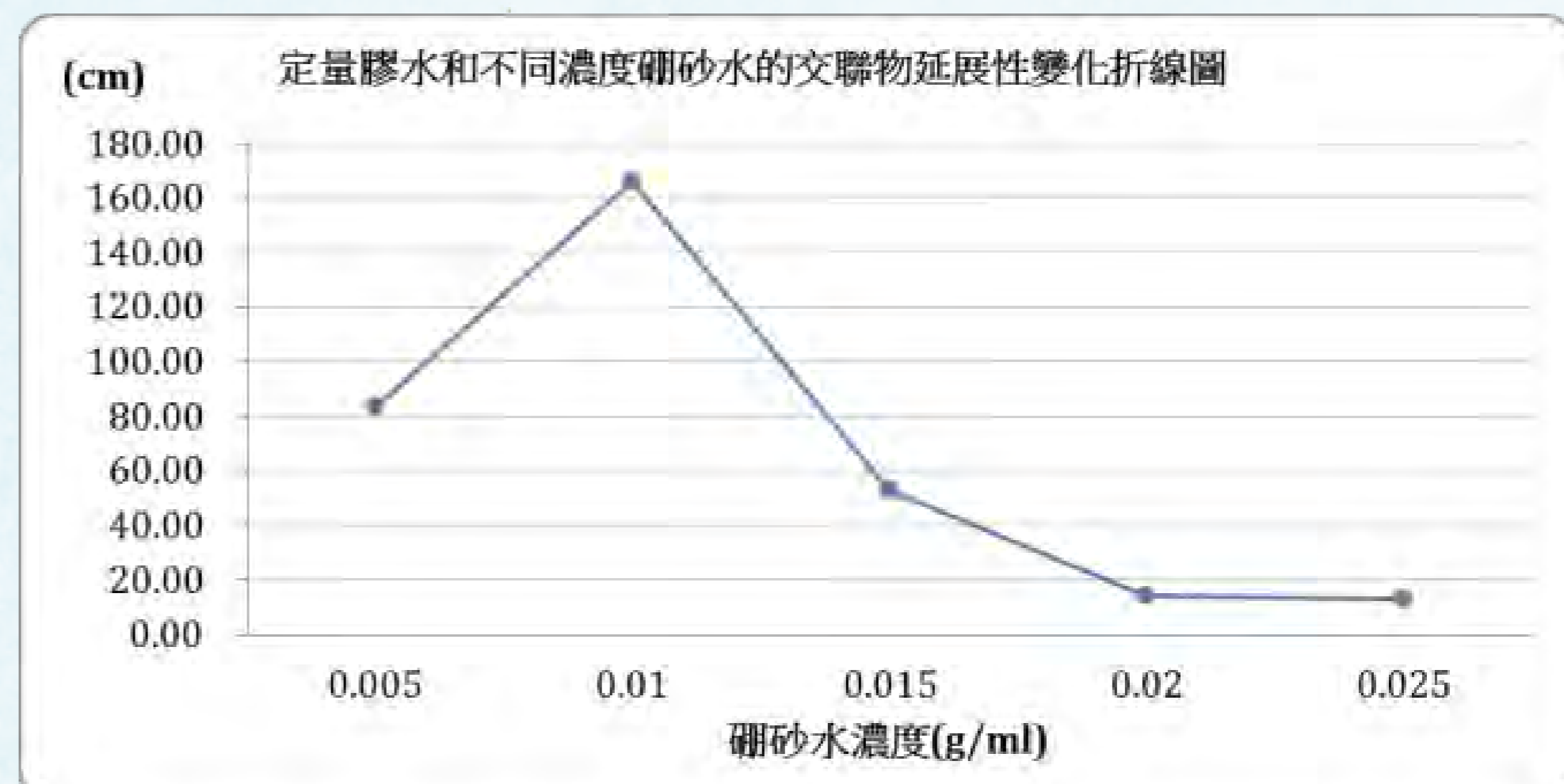
- 1、將實驗二中所做出來的交聯物取20g。
- 2、將交聯物放置延展性測量器，測量延展性。
- 3、比較0.005g/ml濃度硼砂水交聯物的延展性。
- 4、依循更換0.01g/ml、0.015g/ml、0.02g/ml、0.025g/ml濃度的硼砂水，重複步驟2~4。

### ● 實驗結果

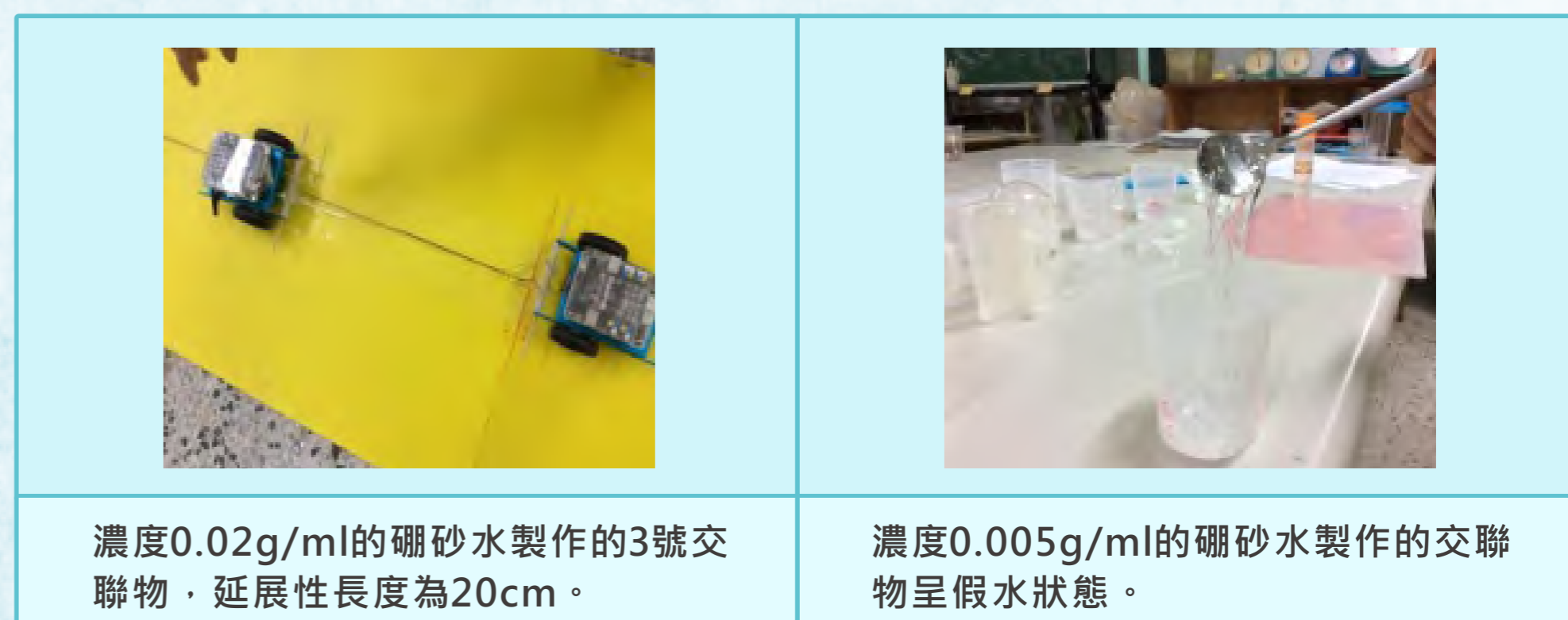
硼砂水濃度 (g/ml)	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025
第一次(cm)	154	270	68	10	10
第二次(cm)	37	113	46	12	20
第三次(cm)	59	115	45	20	9
平均延展性(cm)	83.33	166.00	53.00	14.00	13.00

註：所謂的假水就是，製作交聯物時，如果硼砂水濃度過低，無論加再多的硼砂水，即使交聯物會成形，但交聯物的狀態就像水一樣，流動速度快。

### ● 實驗發現



- (1)0.01g/ml硼砂水濃度做出來的交聯物，延展性最好。
- (2)0.025g/ml硼砂水濃度做出來的交聯物，延展性最差。
- (3)隨著硼砂水濃度增加，交聯物的延展性也跟著變差，但從濃度0.02g/ml開始，交聯物延展性到達臨界點，硼砂水就算再增加，延展性還是會趨近穩定。
- (4)隨著硼砂水濃度減少，交聯物的延展性也跟著變好，但利用硼砂水濃度0.005g/ml製作的交聯物延展性到達臨界點，硼砂水就算再增加，交聯物呈假水狀態。

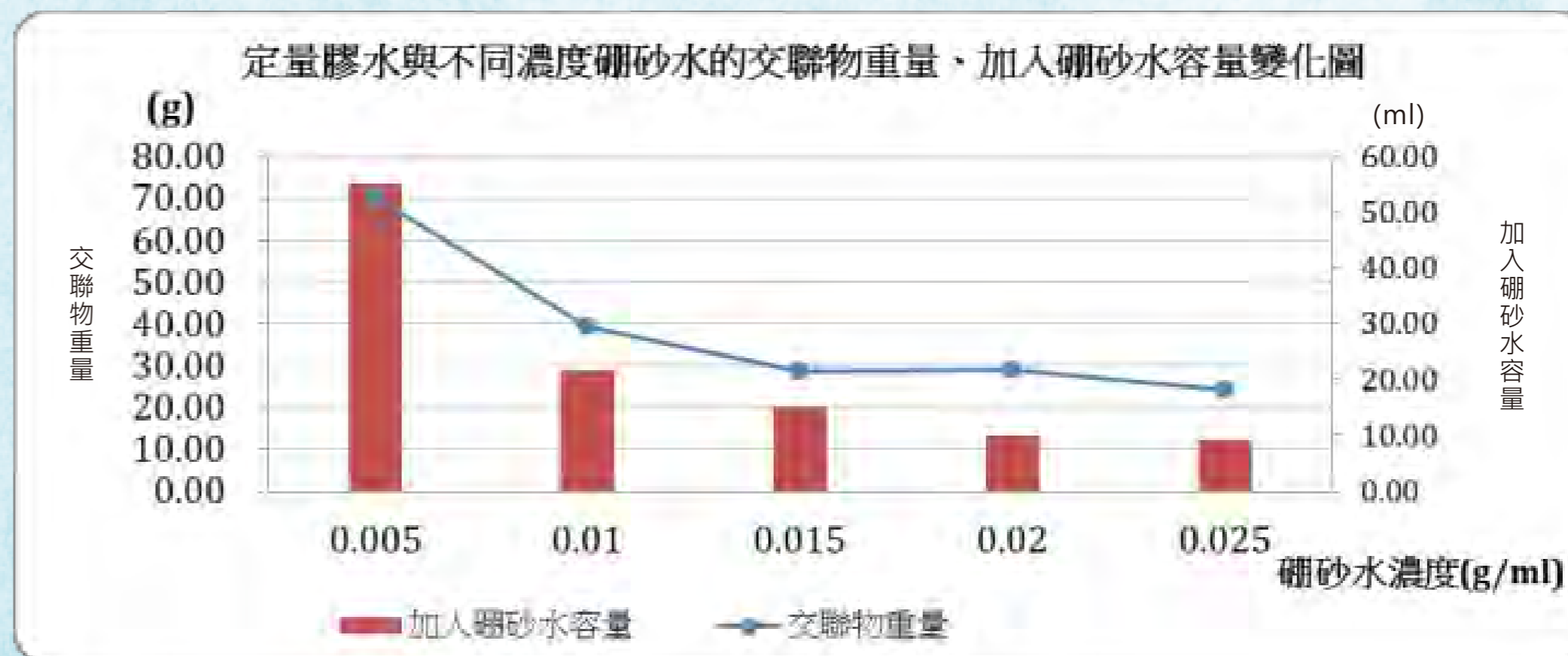


濃度0.02g/ml的硼砂水製作的3號交聯物，延展性長度為20cm。

濃度0.005g/ml的硼砂水製作的交聯物呈假水狀態。

## 柒、結論

- 一、待測物質的酸鹼性無法決定物質是否可當交聯劑的判別條件，除了硼砂外，其他待測物質無法做為交聯劑。
- 二、在交聯物成形的條件下，所加入硼砂水的濃度越高，成形時間越短；加入的硼砂水容量越多，交聯物的重量越重，三者變化趨於一致。但濃度大於0.015g/ml後，交聯物成形時間、加入硼砂水容量及交聯物重量變化皆不顯著。



- 三、硼砂水的濃度越低，交聯物的軟硬度就偏軟；硼砂水濃度越高，交聯物的軟硬度就偏硬。
- 四、硼砂水的濃度越低，交聯物的彈性就越差；硼砂水的濃度越高，交聯物的彈性就越好。
- 五、硼砂水的濃度越低，交聯物的延展性就越好；硼砂水的濃度越高，交聯物的延展性就越差。
- 六、當硼砂水濃度為0.01g/ml附近是延展性的臨界點。濃度為0.01g/ml以下時，無論加再多相同濃度的硼砂水，交聯物還是維持在「假水」的狀態。
- 七、當硼砂水濃度為0.02g/ml附近是軟硬度、彈性和延展性的臨界點。硼砂水的濃度在0.02g/ml以上時，交聯物的軟硬度、彈性和延展性呈現穩定狀態，也就是說，硼砂水的濃度就算增加，交聯物的軟硬度、彈性和延展性也會趨近於穩定。

## 捌、參考資料

- 一、昌佳致等：聚乙烯醇與硼砂的美麗邂逅，國立彰化女中
- 二、許皓澤等：進擊的史萊姆～史萊姆之材料與探討，國立沙鹿高中
- 三、「硼」聯「醇」合-聚乙烯醇和硼砂交聯作用研究。中華民國第58屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、「膜」力十足-鼻涕蟲配方對性質與拉膜之研究。中華民國第57屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 五、陳俊霖等：如「交」似「聯」陳名祥 國立員林崇實高級工業職業學校
- 六、<https://docs.google.com/document>