

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 化學科

佳作

080207

「硼」聯「醇」合

—聚乙烯醇和硼砂的交聯作用研究

學校名稱：桃園市桃園區建國國民小學

作者：	指導老師：
小五 吳丞哲	許秀桃
小五 范綺真	許睦昌
小五 劉祈賢	
小五 楊萬榆	
小五 卓彥妤	
小六 楊詒婷	

關鍵詞：聚乙烯醇、交聯作用、硼砂

# 摘要

經過本研究發現分子量大的 PVA 流動性小，較為黏稠，市售膠水應該是使用較高分子量的 PVA。設計測量方式來記錄交聯作用後的流動性、回縮性、沾黏性和出水性。發現 PVA 醇解度較高做出的史萊姆流動性較小，回縮性也較小，PVA 分子量越大時，產生的史萊姆流動性越小，回縮性越大，越不沾黏。水分越多時，流動性越大，回縮性越小，出水性越大，沾黏性越大。硼砂量越多時，流動性較小，回縮性較大，出水性較小，沾黏性較小。與市售史萊姆性質最接近的成分為水重是 PVA 重的 22-24 倍，硼砂重為 PVA 重的 0.08~0.11 倍。硼酸根需在中性到鹼性的環境下，才能與 PVA 溶液產生交聯作用，且在已有交聯作用的史萊姆中加入酸性溶液會讓交聯作用破壞，而變回液體。

## 壹、研究動機

在書局看到有賣一種 QQ 又黏黏的玩具，流動性大且較沒彈性的比較像鼻涕蟲，流動性小且較有彈性的像史萊姆。網路上看見史萊姆製作的影片，自己跟著做，引發我們對史萊姆形成原因的興趣。我們試做時成功率最高的是膠水加硼砂水，查詢資料發現是膠水的成分聚乙烯醇和硼砂兩者之間會產生交聯作用，而製作出可以延展流動又有點彈性的史萊姆。但是不同品牌的膠水用相同的比例做效果又不同，於是我們決定研究聚乙烯醇和硼砂的最佳比例。

## 貳、研究目的

- 一、探討不同型號聚乙烯醇水溶液的特性。
- 二、比較聚乙烯醇醇解度對交聯作用的影響。
- 三、比較聚乙烯醇分子量對交聯作用的影響。
- 四、測試市售史萊姆的性質。
- 五、探討相同比例不同濃度配法對交聯作用的影響。
- 六、找出史萊姆最適合的含水量。
- 七、找出史萊姆最適合的硼砂量。

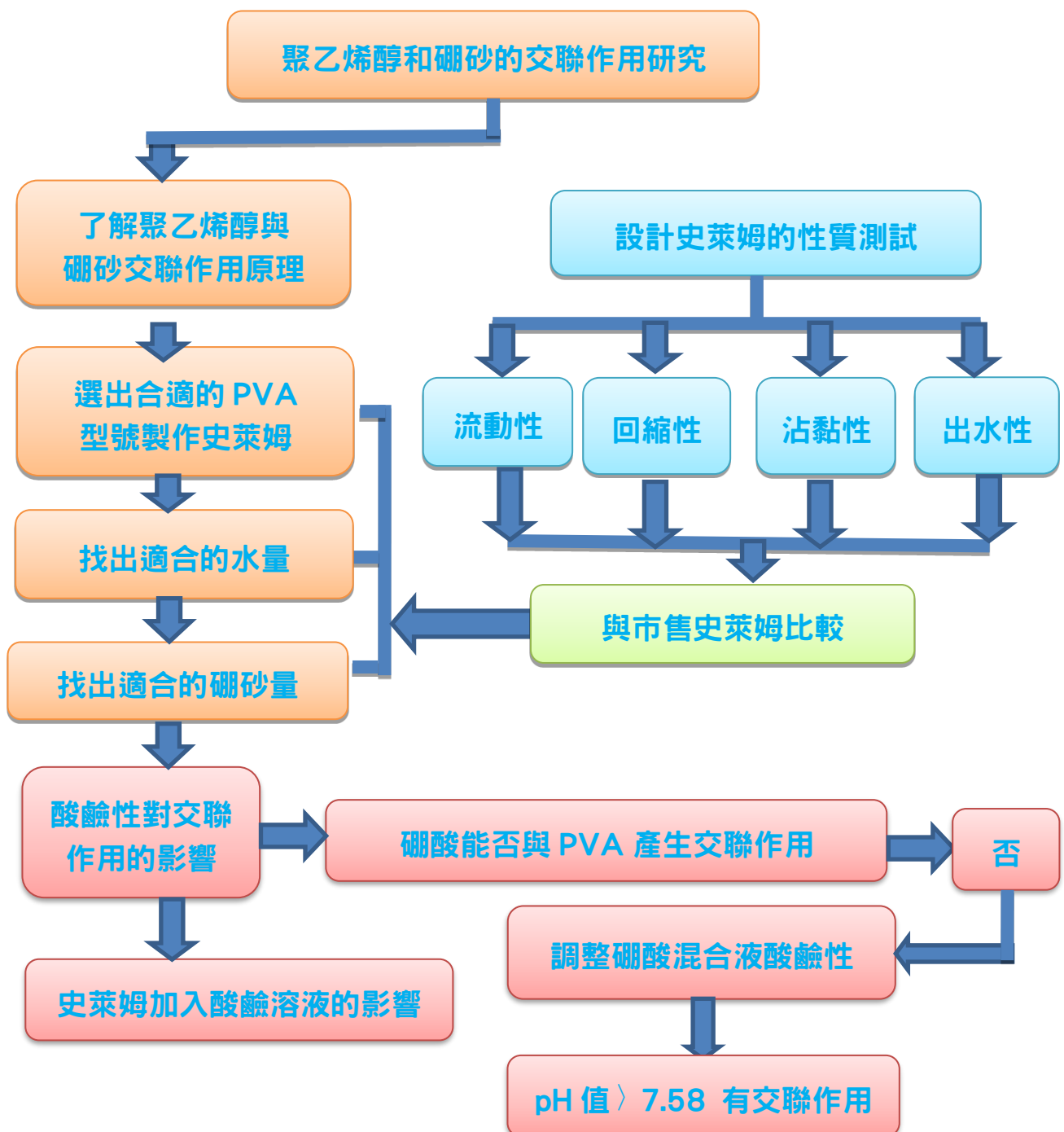
八、探討酸鹼性對交聯作用的影響。

### 參、研究設備及器材

		
<p>醋、氫氧化鈉</p>	<p>硼砂、pH 酸鹼度計</p>	<p>電子磅秤、針筒</p>
		
<p>聚乙烯醇</p>	<p>市售膠水</p>	<p>市售史萊姆</p>
		
<p>燒杯、塑膠杯</p>	<p>電鍋</p>	<p>100 克砝碼</p>



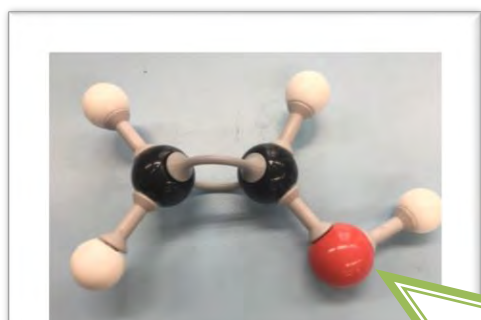
### 肆、研究流程



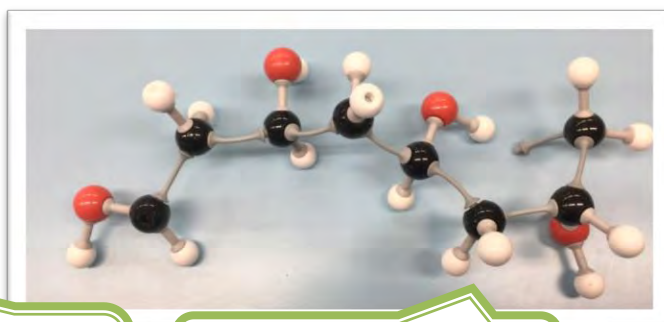
## 伍、文獻探討與性質測試設計

### 一、聚乙烯醇的性質

聚乙烯醇 (Polyvinyl alcohol, 簡稱 PVA), 是一種鏈狀高分子化合物, 由乙烯醇的單體組合而成, 分子式為  $-(C_2H_4O)_n-$ , 含有 OH 的官能基(羥基), 由於 O、H 之間能形成氫鍵, 使分子不易自由活動, 因此水溶液具有黏稠性。



乙烯醇單體分子模型, 中間黑色的是碳原子, 紅色的是氧原子, 而白色的是氫原子。



乙烯醇單體鏈狀聚合

我們發現歷屆科展研究都是使用市售的膠水, 普遍認為膠水成分有水 88%與聚乙烯醇 12%, 但是又有研究發現(53 屆), 不同品牌的膠水, 做成的史萊姆效果不同, 所以我們覺得膠水的成分應該也是不同的, 為了更精確了解聚乙烯醇與硼砂的交聯作用, 我們決定自己買聚乙烯醇原料來製作確定成分的膠水。

PVA 依據製作過程中羥基取代醋酸基比例的不同, 稱為醇解度, 依據鏈結乙烯醇單體的數量不同, 也有不同的分子量, 我們在化工材料行買到一些不同型號的 PVA。

我們買到的 PVA 種類和基本性質整理：

PVA 型號	BF-17	BP-05	BP-17	BP-24	BC-20
醇解度 (鹼化度)	高度 99%	中度	中度 86-89%	中度	低度
分子量	75000-80000	27000-32000	84000-89000	118000-124000	120000-132000
溶解方式	於常溫下在水中僅吸收膨潤而不溶解, 於高溫中(80°C 以上) 迅速溶解。	可於常溫下緩慢溶解, 正常使用時為縮短溶解時間, 仍需加熱溶解			溶於冷水中, 加溫反而不利於溶解。

買到的 PVA 種類，共五種

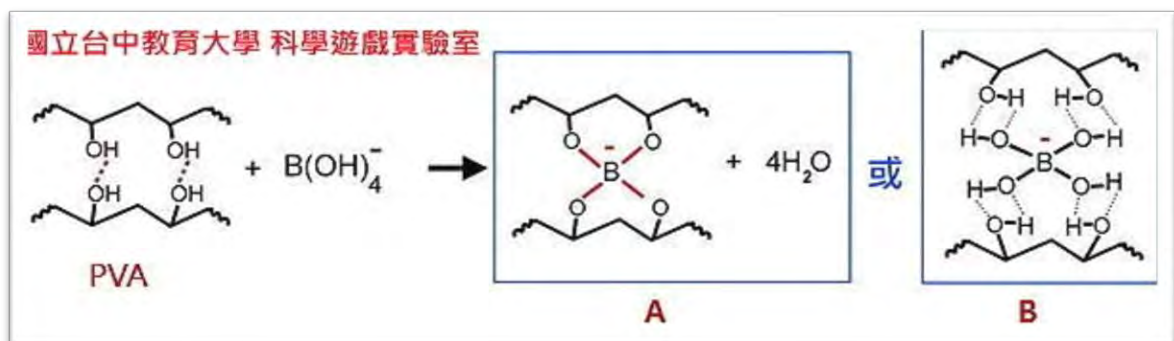


## 二、硼砂的性質

硼砂，分子式  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ，通常為含有無色晶體的白色粉末，易溶於水，但是溶解度隨溫度變化大。當硼砂溶於水中時會生成硼酸 ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )，硼酸於水溶液中會接受帶負電荷氫氧根離子 ( $\text{OH}^-$ ) 進而生成硼酸根離子 ( $\text{B}(\text{OH})_4^-$ )。

## 三、交聯作用

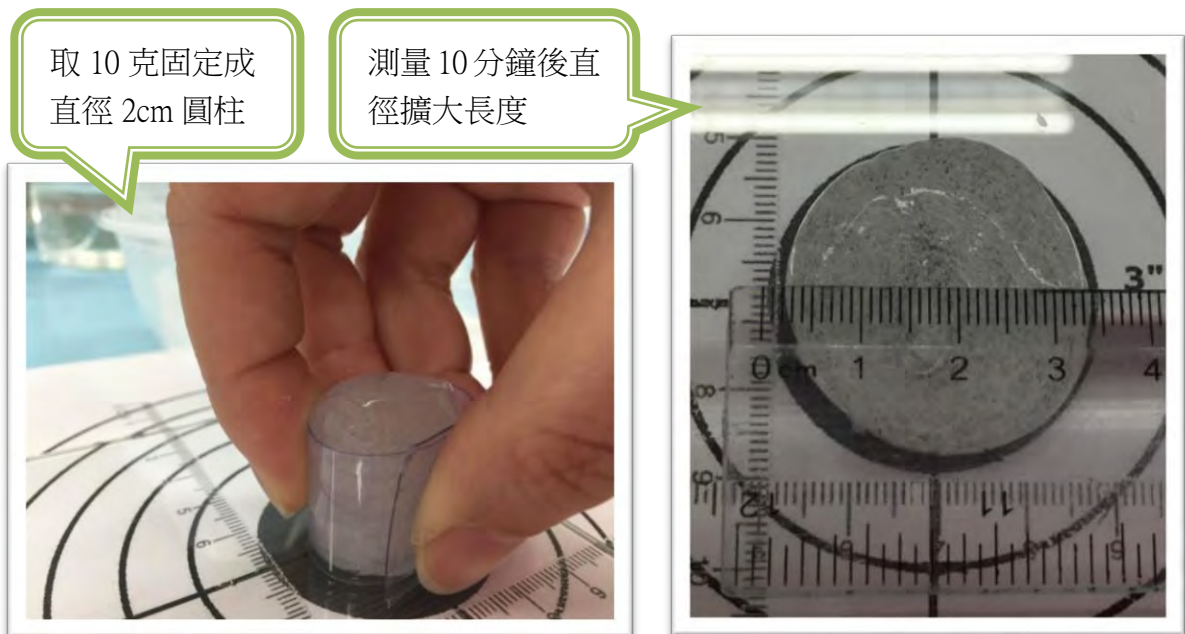
當硼砂加入 PVA 之後，由於硼砂會解離出硼酸根離子  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  與 PVA 分子形成「交聯作用」，使分子之間的吸引力更強，無法自由運動，因此有固化的現象。PVA 與硼砂的交聯作用，有二種可能，有些認為是「A」，亦即 B、O 之間形成鍵結的交聯，並產生水。有些認為是「B」，亦即沒有脫水，PVA 與硼砂以 O、H 之間的氫鍵交聯。而有些認為二種機制都有可能。(取自參考資料一)



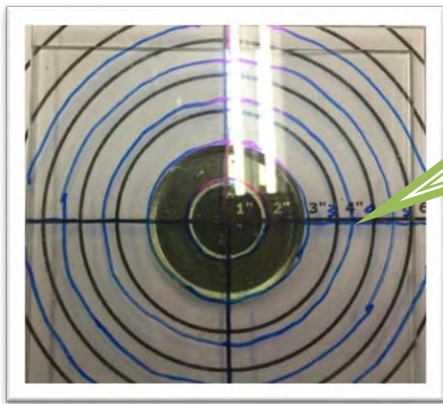
#### 四、交聯作用性質測試設計

我們想了解 PVA 與硼砂產生交聯作用後，由粘稠的液體產生固化現象，不同的配方有哪些性質的差異。我們發現有的成品很有流動性，有點像液體，有些流動性不佳，比較像黏土，所以我們第一個想測的流動性。另一個特點是有些拉長後會回縮，有些不會，所以我們第二個想測試回縮性。第三個我們想測試沾黏性，因為我們玩的時候不希望他會黏在手上，或是不小心就黏在書本上了，而黏性則與分子和手或容器間的吸引力有關，所以我們找不同材質來測試沾黏性。第四個我們想測試出水性，因為有些史萊姆放在手上有濕濕的感覺，有些好像又沒那麼濕，所以我們覺得他的出水性應該不同。我們經由多次改良後設計的測試方法如下：

(一) 流動性：取 10 克史萊姆固定成直徑 2cm 圓柱，放在玻璃片上，測量 10 分鐘後攤平直徑，計算直徑擴大長度。



(二) 回縮性：取 10 克史萊姆固定成直徑 2cm 圓柱，用玻璃片壓扁成直徑 4 公分圓形，10 秒鐘後測回縮後直徑，計算直徑的回縮的長度。



用玻璃片壓扁成直徑 4 公分圓形

10 秒鐘後測直徑回縮長度



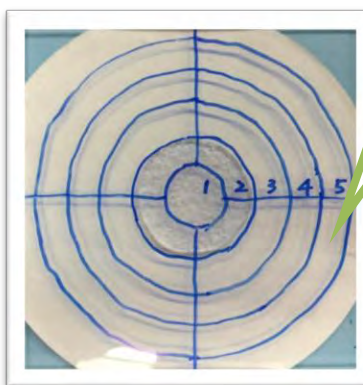
(三) 沾黏性：取 2 克揉成圓球，用 100 克砝碼壓在各種材質面上約 3 秒，看是否會沾黏，紀錄會沾黏材質。

編號	1	2	3	4	5
材質	玻璃	珍珠板	手	紙張	砂紙

用 100 克砝碼將 2 克史萊姆壓在各種材質面上



(四) 出水性：取 2 克揉成圓球，放置在濾紙上，用玻璃片壓扁成直徑 4 公分圓形，30 分鐘後測濕掉的圓形直徑擴大長度。



在濾紙上，用玻璃片壓扁成直徑 4 公分圓形

30 分鐘後測濕掉的直徑擴大長度





## 陸、研究過程與結果

### 實驗一：不同型號聚乙烯醇水溶液的特性

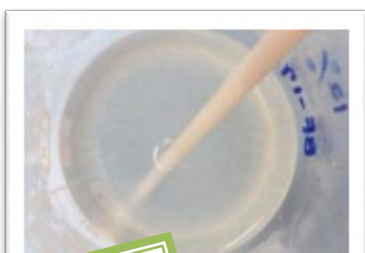
#### 實驗方法：

1. 配置與市售膠水相同濃度 12% 的 PVA 溶液(膠水濃度，取自參考資料四)，取 5 種型號的 PVA 各 18 克，加入 132 克的水中(BF、BP 型號熱水，BC 型號冷水)，浸泡 30 分鐘，讓其吸水膨潤。
2. 除了低醇解度的 BC-20 號，其餘放入電鍋中隔水加熱，水滾後攪拌保溫，溫度保持 80°C 以上，至完全溶解。
3. 將各溶液取一平匙，放在斜面上，比較 30 秒鐘後的流動性，並與市售膠水比較。

#### 實驗結果

##### 1. 溶解情形

PVA 型號	BF-17	BP-05	BP-17	BP-24	BC-20
醇解度 (鹼化度)	高度 99%	中度	中度 86-89%	中度	低度
分子量	75000-80000	27000-32000	84000-89000	118000-124000	120000-132000
PVA 濃度	12%	12%	12%	12%	12%
膨潤情形	膨潤時顆粒分明，膨脹變透明	膨潤顆粒些微相連，攪拌後有些顆粒會分開。	膨潤變黏稠，顆粒相連，攪拌黏成一團。	膨潤變黏稠，顆粒相連，攪拌黏成一團。	膨潤變黏稠，相連成一團。
溶解情形	加熱攪拌後期顆粒相連，溶解時間約 2 小時	加熱攪拌，溶解時間約半小時	加熱攪拌，溶解時間約 1 小時	加熱攪拌，溶解時間約 1.5 小時	不加熱攪拌，溶解時間約 1 小時



BF-17 膨潤時顆粒分明



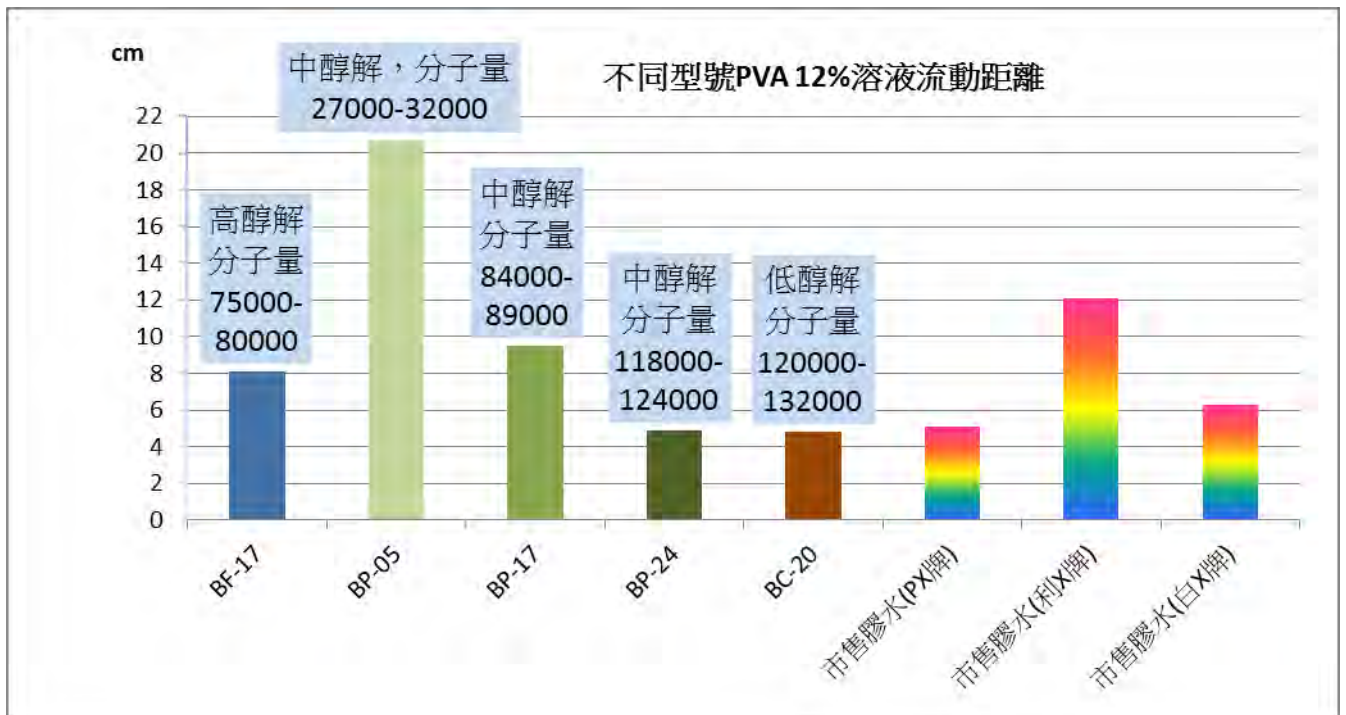
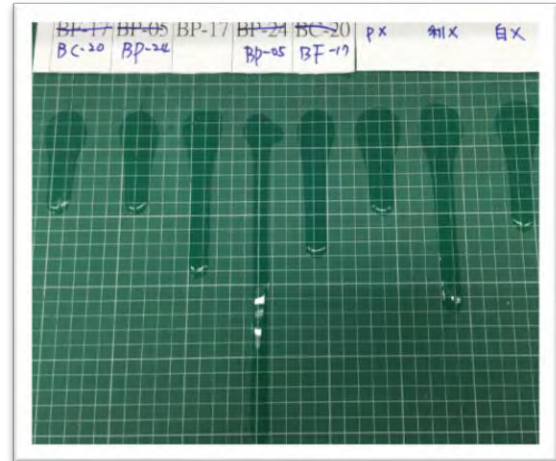
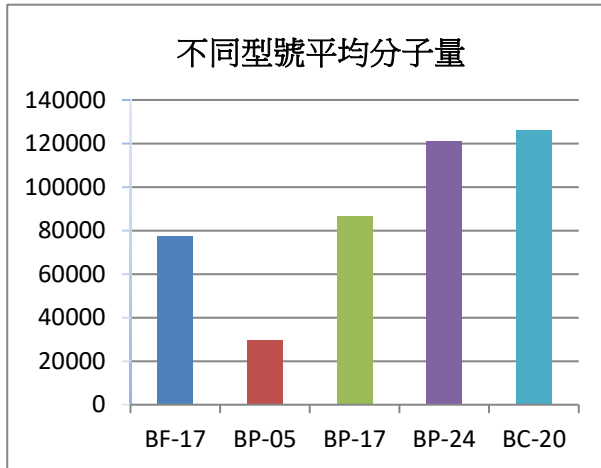
BP-17 膨潤變黏稠，顆粒相連



BC-20 膨潤變黏稠，相連成一團

## 2. 流動情形

PVA 型號	BF-17	BP-05	BP-17	BP-24	BC-20	市售膠水 (PX 牌)	市售膠水 (利 X 牌)	市售膠水 (白 X 牌)
流動距離(cm)	8.1	20.7	9.5	4.9	4.8	5.1	12.1	6.3



### 發現

1. 高度醇解的 PVA 需要較長的時間溶解。
2. 同樣是中度醇解的 PVA 分子量大的需要較長時間溶解。
3. 依據流動性發現分子量較小的流動性快，較不黏稠，分子量大的流動性小，較為黏稠，

應該是因為 PVA 的分子結構越長，在流動時能相互阻滯。

4. 市售膠水的流動性並不相同，代表他們所含的 PVA 型號或濃度可能並不相同。以流動性來看應該是較高分子量的 PVA。

## 實驗二：比較聚乙烯醇醇解度對交聯作用的影響

參考其他研究的史萊姆配方，找出**配方 A**：『12%PVA 溶液 20 克，2%的硼砂溶液 5 克』。

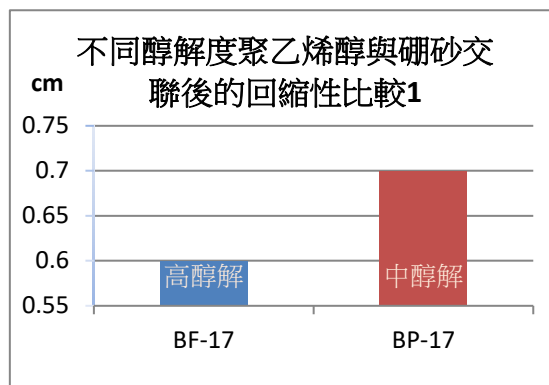
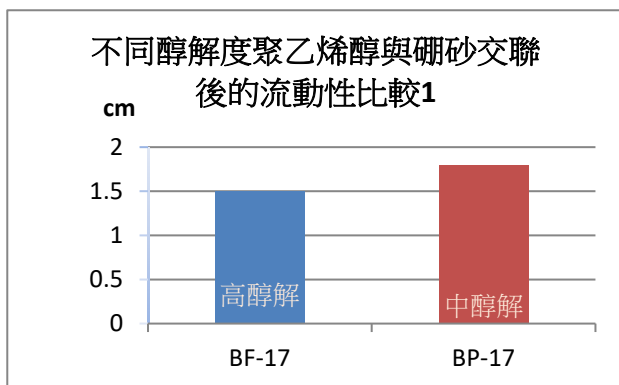
### 實驗方法：

1. 選擇分子量類似高度醇解（BF-17）和中度醇解（BP-17）使用配方 A，攪拌後記錄交聯作用形成史萊姆的過程。
2. 測試並比較史萊姆的流動性、回縮性、沾黏性、出水性。
3. 選擇分子量類似中度醇解（BP-24）和低度醇解（BC-20）使用配方 A，攪拌後記錄交聯作用形成史萊姆的過程。
4. 測試並比較史萊姆的流動性、回縮性、沾黏性、出水性。

### 實驗結果：

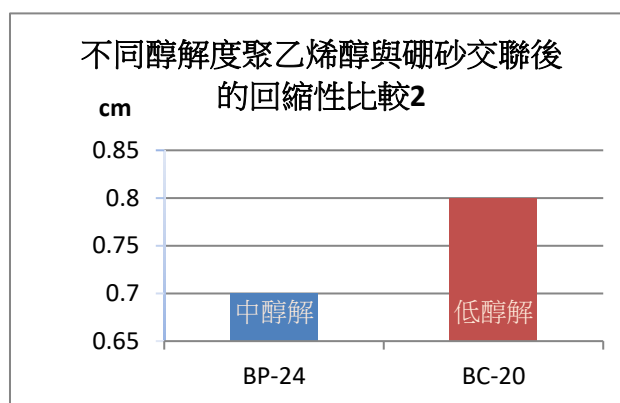
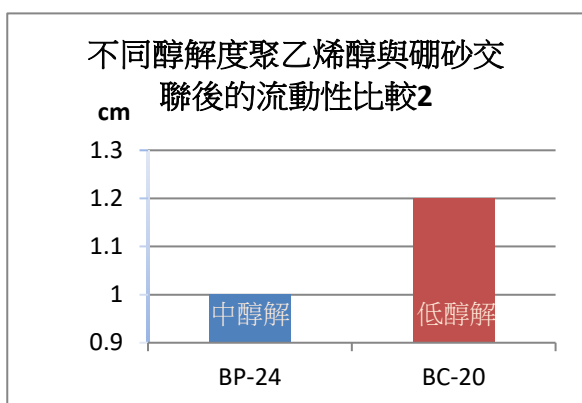
1. 分子量類似醇解度不同(高度、中度)比較

PVA	BF-17	BP-17
醇解度	高度 99%	中度 86-89%
攪拌形成過程	硼砂水滴入後攪拌，大部分已形成凝膠狀，剩餘少部分水，剩水的黏稠度降低，攪拌後水分被吸收，快速成團。	硼砂水滴入後攪拌，大部分已形成凝膠狀，剩餘少部分水，剩水的黏稠度降低，攪拌後水分被吸收，快速成團。
流動性	直徑擴大 1.5cm	直徑擴大 1.8cm
回縮性	直徑回縮 0.6cm	直徑回縮 0.7cm
沾黏性	砂紙沾黏，玻璃、珍珠板、手、紙不沾黏	砂紙沾黏，玻璃、珍珠板、手、紙不沾黏
出水性	維持原大小，無出水現象	維持原大小，無出水現象



## 2. 分子量類似醇解度不同(中度、低度)比較

PVA	BP-24	BC-20
醇解度	中度	低度
攪拌形成過程	硼砂水滴入後攪拌，大部分已形成凝膠狀，剩餘一些水，剩水的黏稠度降低，攪拌後水分被吸收，快速成團。	硼砂水滴入後攪拌，大部分已形成凝膠狀，剩餘少部分水，剩水的黏稠度降低，攪拌後水分被吸收，快速成團。
流動性	直徑擴大 1cm	直徑擴大 1.2cm
回縮性	直徑回縮 0.7cm	直徑回縮 0.8cm
沾黏性	玻璃、珍珠板、手、紙、砂紙都不沾黏	玻璃、珍珠板、手、紙、砂紙都不沾黏
出水性	出水直徑擴散 0.1cm	出水直徑擴散 0.2cm



### 發現：

- 在配方 A 下，分子量相似時，流動性高度醇解 BF-17 < 中度醇解 BP-17，中度醇解 BP-24 < 低度醇解 BC-20，醇解度較高流動性較小。

2. 回縮性高度醇解 BF-17 < 中度醇解 BP-17，中度醇解 BP-24 < 低度醇解 BC-20，醇解度較高回縮性較小。
3. 以沾黏性來看，BF-17 和 BP-17 都會沾黏在砂紙上，BP-24 和 BC-20 五種材質都不沾黏，看不出差異性。
4. 出水性來看，在 BF-17 和 BP-17 都沒有出水現象，中度醇解的 BP-24 出水性略小於低度醇解的 BC-20。

### 實驗三：比較聚乙烯醇分子量對交聯作用的影響

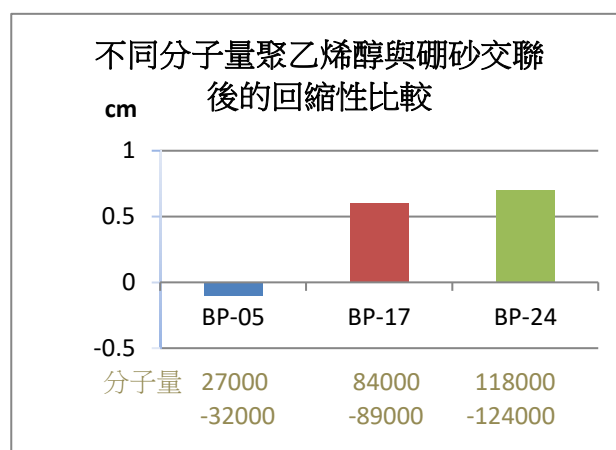
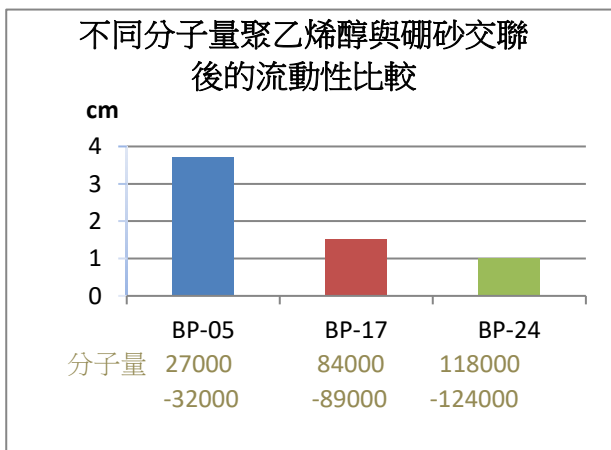
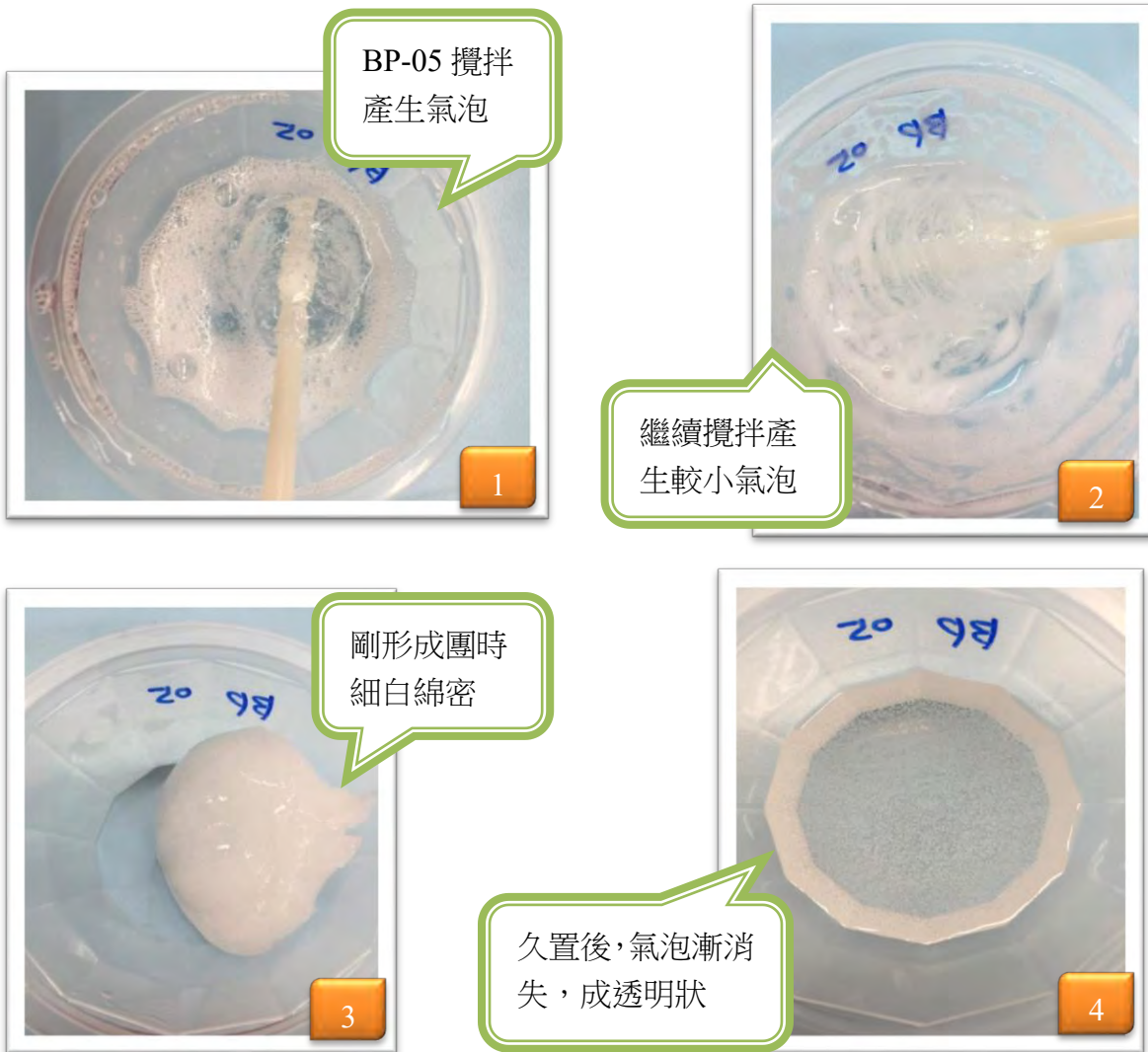
#### 實驗方法：

1. 選擇中度醇解分子量不同的 PVA(BP-05、BP-17、BP-24)使用配方 A，攪拌後記錄交聯作用形成史萊姆的過程。
2. 測試史萊姆的流動性、回縮性、沾黏性、出水性。

#### 實驗結果：

##### 1. 實驗記錄:

PVA	BP-05	BP-17	BP-24
分子量	27000-32000	84000-89000	118000-124000
攪拌形成過程	硼砂水滴入後攪拌，剩餘較多水，剩水的黏稠度降低，攪拌後水分被吸收過程，會形成泡泡，氣泡由大變小，需攪拌較久，才能成團，成團時細白綿密，放置越久，氣泡消失，成透明。	硼砂水滴入後攪拌，大部分已形成凝膠狀，剩餘少部分水，剩水的黏稠度降低，攪拌後水分被吸收，快速成團。	硼砂水滴入後攪拌，大部分已形成凝膠狀，剩餘一些水，剩水的黏稠度降低，攪拌後水分被吸收，快速成團。
流動性	直徑擴大 3.7cm	直徑擴大 1.5cm	直徑擴大 1cm
回縮性	直徑回縮-0.1cm	直徑回縮 0.6cm	直徑回縮 0.7cm
沾黏性	砂紙、紙沾黏，玻璃、珍珠板、手不沾黏	砂紙沾黏，玻璃、珍珠板、手、紙不沾黏	玻璃、珍珠板、手、紙、砂紙都不沾黏
出水性	維持原大小，無出水現象	維持原大小，無出水現象	出水直徑擴散 0.1cm



發現：

1. PVA 的醇解度相同，分子量越大時，硼砂與 PVA 交聯作用產生的史萊姆流動性越小，回縮性越大，我們覺得與 PVA 的黏稠性有關，分子量大，溶於水後分子間的黏滯大，較為黏稠，與硼砂水產生交聯作用後，流動性也較小，回縮性較大。

2. 以沾黏性來看，分子量越大時，越不沾黏。
3. 以出水性來看，在此配方 A 下，分子量最高的 BP-24 有出水現象，BP-05、BP-17 則沒有出水現象。

## 實驗四：市售史萊姆的性質測試

### 實驗方法：

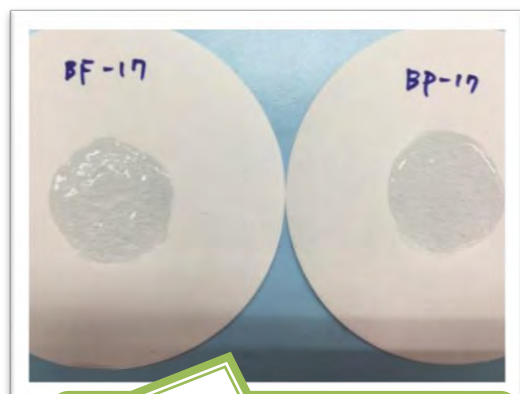
1. 選擇我們覺得最好玩的市售史萊姆 1、2、3 號測試流動性、回縮性、沾黏性、出水性。
2. 比較與配方 A 所製作的史萊姆差異(去除分子量明顯較小的 BP-05)。



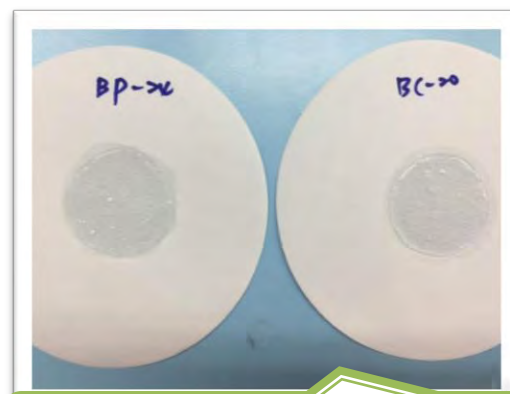
### 實驗結果：

#### 1. 實驗記錄

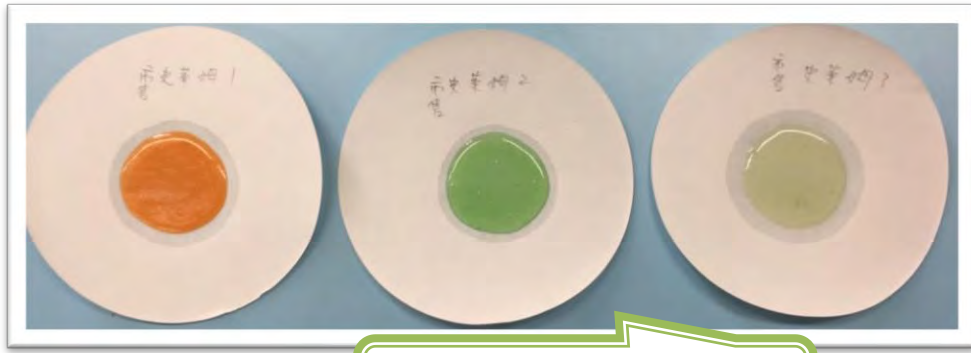
史萊姆來源	市售史萊姆 1	市售史萊姆 2	市售史萊姆 3	BF-17	BP-17	BP-24	BC-20
流動性 (直徑擴大 cm)	3.5	3	3.4	1.5	1.5	1	1.2
回縮性 (直徑回縮 cm)	0.1	0.4	0.2	0.6	0.6	0.7	0.8
沾黏性	砂紙沾黏	都不沾黏	砂紙沾黏	砂紙沾黏	砂紙沾黏	都不沾黏	都不沾黏
出水性 (出水擴散 cm)	0.9	0.6	1.2	0	0	0.1	0.2



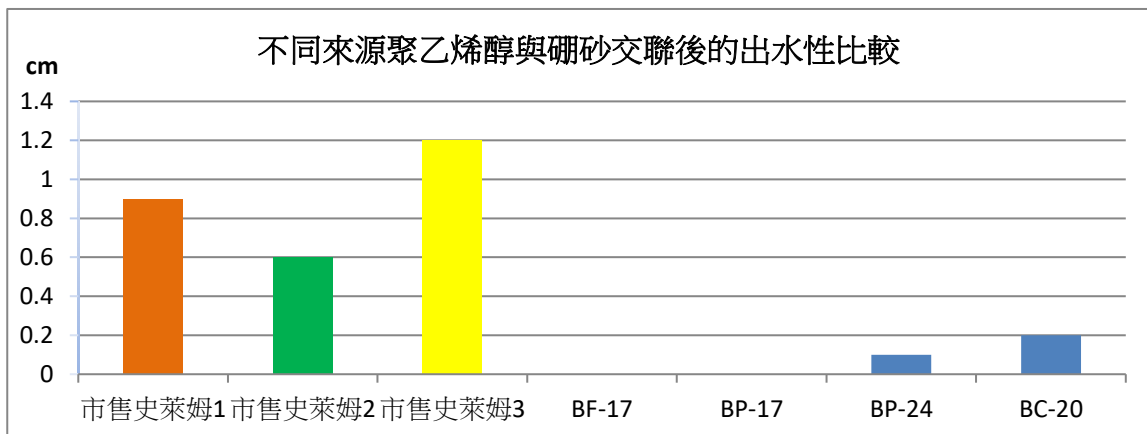
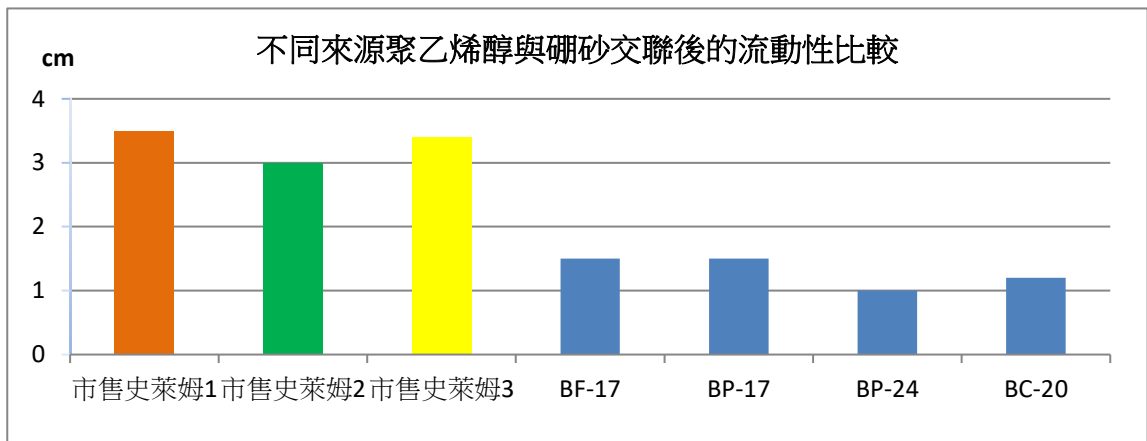
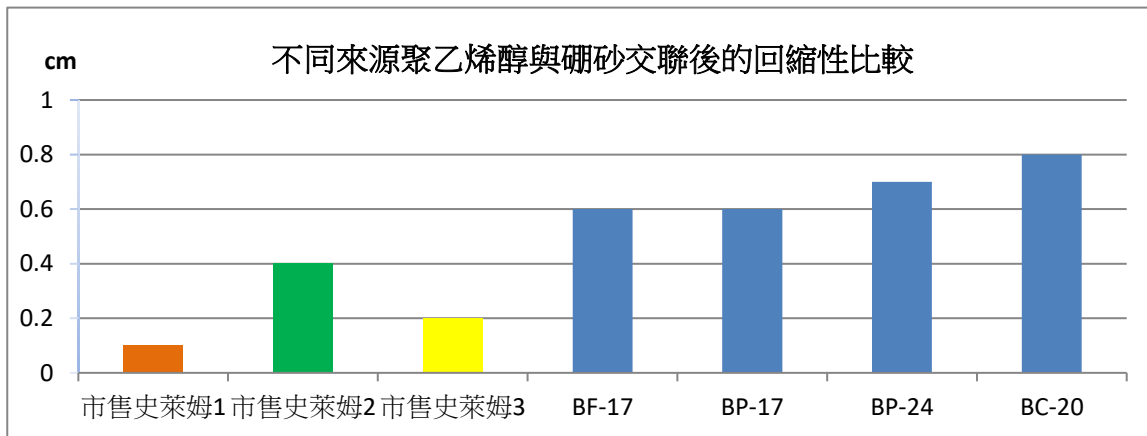
BF-17、BP-17 沒有出水現象



BP-24、BC-20 有些微出水現象



市售史萊姆出水現象較明顯





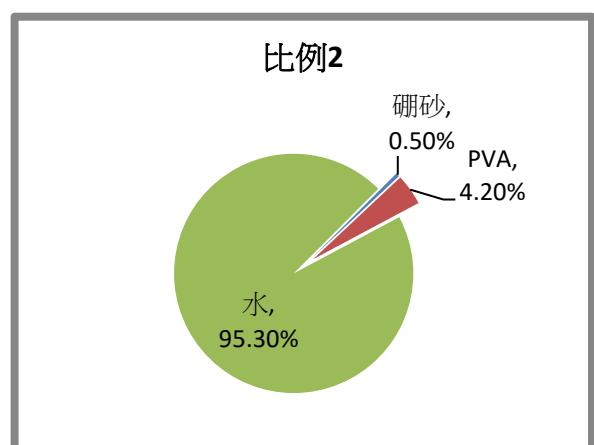
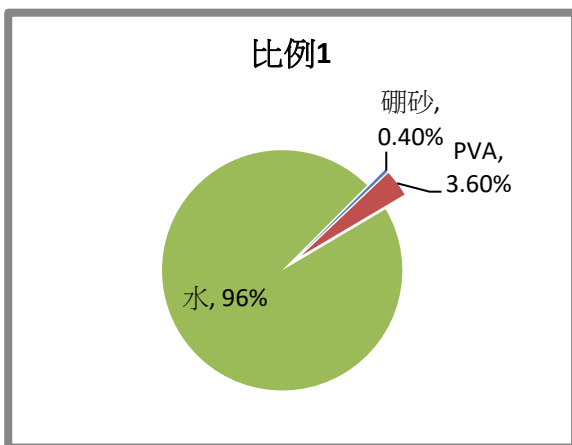
### 發現：

1. 市售史萊姆三個都比與配方 A 所製作的史萊姆在流動性上明顯較大，感覺比較綿軟。
2. 市售史萊姆三個的回縮性比配方 A 所製作的史萊姆小，我們推估應該是硼砂的比例較低，交聯作用沒有那麼強烈。
3. 市售史萊姆的出水性明顯比配方 A 大，我們覺得可能是水的比例較高，我們決定探討硼砂、PVA、水三者比例與性質的關係。
4. 我們覺得測試的四種性質間有相互關係，流動性大的，原則上沾黏性大，回縮性小，出水性大。

### 實驗五：相同比例不同濃度配法對交聯作用的影響

我們想了解若聚乙稀醇、硼砂、水的比例是相同的，但是用不同的濃度來調配，是否會影響交聯作用後的性質。所以我們先製備濃度 1~10%的硼砂溶液(後來發現，當水降溫後，6%以上的硼砂水有結晶析出，應該已超過實驗時室溫的飽和濃度)和濃度 1~10%的 PVA(型號 BP-17)溶液。

#### 實驗方法：



1. 設計比例 1『PVA 重：硼砂重：水重=3.6%：0.4%：96%』的兩種配方，製作出相同比例不同配方的史萊姆。

配方一	配方二
1%硼砂 10 克，6%PVA 15 克	4%硼砂 2.5 克，4%PVA 22.5 克

2. 測試兩種配方史萊姆的流動性、回縮性、沾黏性、出水性，比較性質是否相同。
3. 設計比例 2『PVA 重：硼砂重：水重=4.2%：0.5%：95.3%』的兩種配方，製作出相同比例不同配方的史萊姆。

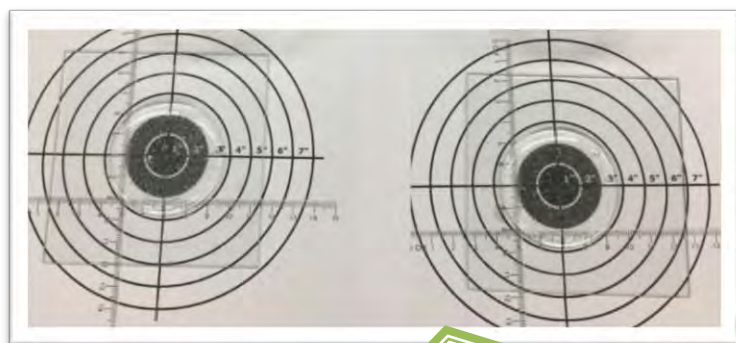
配方三	配方四
1%硼砂 12 克，10%PVA 10 克	6%硼砂 2 克，5%PVA 20 克

4. 測試兩種配方史萊姆的流動性、回縮性、沾黏性、出水性，比較性質是否相同

### 實驗結果：

1. 比例 1『PVA 重：硼砂重：水重=3.6%：0.4%：96%』實驗記錄：

比例 1	配方一	配方二
配方內容	1%硼砂 10 克，6%PVA15 克	4%硼砂 2.5 克，4%PVA22.5 克
攪拌形成過程	出水較少，較快成團	出水較多，要攪拌較久才成團
流動性 (直徑擴大 cm)	4.5	4.6
回縮性 (直徑回縮 cm)	0	0
沾黏性	砂紙沾黏	砂紙沾黏
出水性 (出水擴散 cm)	1.35	1.25



配方一、二的流動性和出水性相似。

2. 比例 2『PVA 重：硼砂重：水重=3.6%：0.4%：96%』實驗記錄：

比例 2	配方三	配方四
配方內容	1%硼砂 12 克，10%PVA10 克	6%硼砂 2 克，5%PVA20 克
攪拌形成過程	出水較少，較快成團	出水較多，要攪拌較久才成團
流動性 (直徑擴大 cm)	2.7	2.8
回縮性 (直徑回縮 cm)	0.35	0.4
沾黏性	砂紙沾黏	砂紙沾黏
出水性 (出水擴散 cm)	0.45	0.4

發現：

1. 硼砂、PVA、水的重量比例如果一樣，即使用不同濃度配方，所交聯出來的成品性質差異不大。
2. 若硼砂濃度較低時，出水量較少，比較可以快速形成史萊姆，所以建議使用較低濃度的硼砂，比較好操作。

實驗六：找出史萊姆最適合的含水量

由以前的研究，知道水量越多，交聯作用的成品越軟，我們想知道多少比例的水能造出與市售好玩的史萊姆相似的性質。我們選擇分子量大，最好溶解的 BC-20 號 PVA 來測試。

實驗方法：

- 1、 固定 PVA 的純重 2 克，硼砂純重 0.16 克，調整不同的水量如下表，做出含水比率不同的史萊姆。

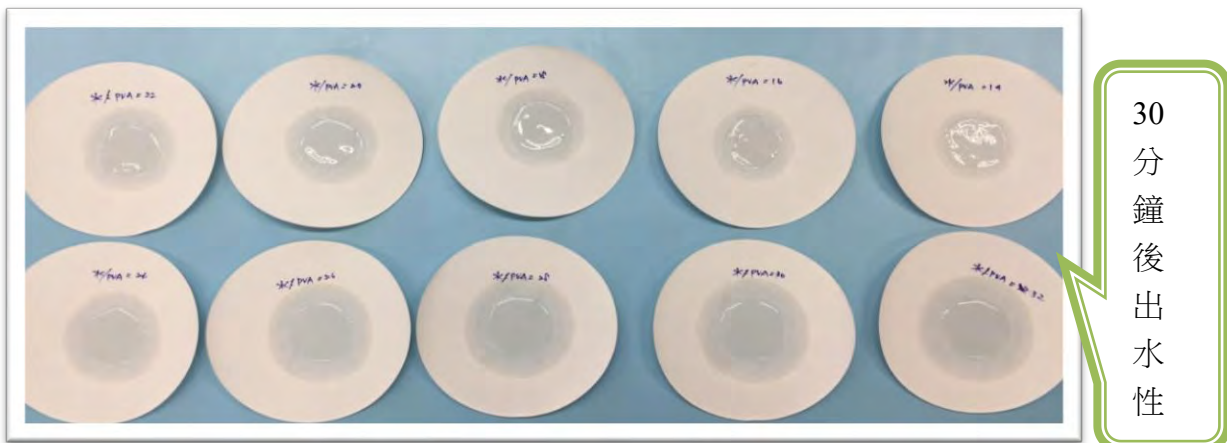
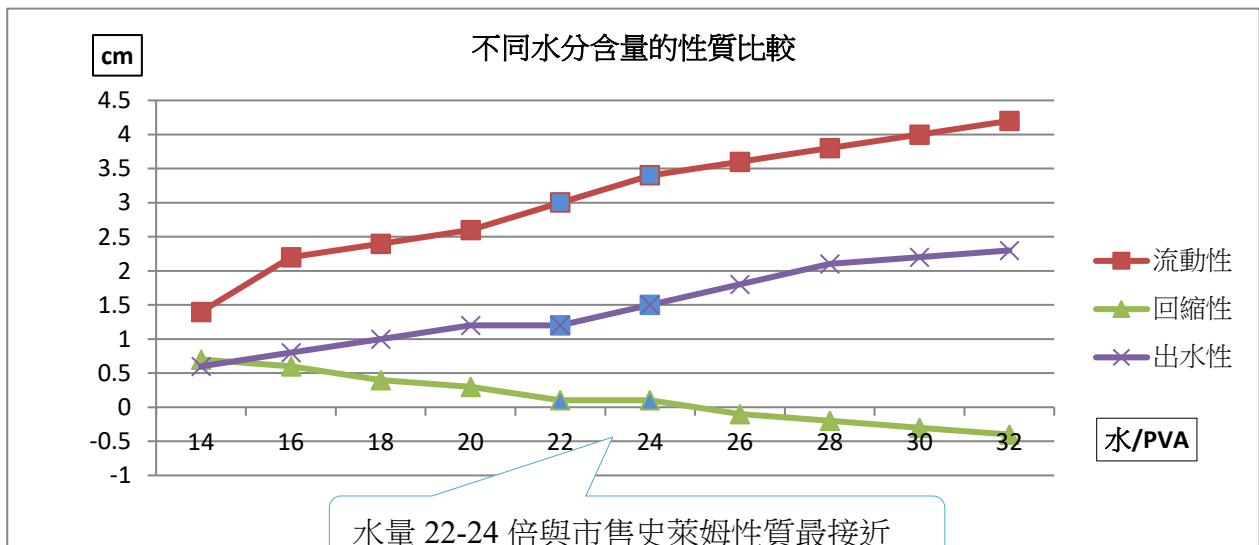
水和 PVA 的比值 (水重/PVA 重)	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
10%PVA(克)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5%硼砂(克)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
水分添加	6.96	10.96	14.96	18.96	22.96	26.96	30.96	34.96	38.96	42.96

2、攪拌形成史萊姆，測試不同含水比例的成品流動性、回縮性、沾黏性、出水性。

實驗結果：

1. 實驗記錄：

水/PVA	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
流動性 (直徑擴大 cm)	1.4	2.2	2.4	2.6	3	3.4	3.6	3.8	4	4.2
回縮性 (直徑回縮 cm)	0.7	0.6	0.4	0.3	0.1	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
沾黏性	都不沾黏	都不沾黏	都不沾黏	砂紙沾黏	砂紙沾黏	砂紙沾黏	砂紙沾黏	砂紙、紙沾黏	砂紙、紙沾黏	砂紙、紙沾黏
出水性 (出水擴散 cm)	0.6	0.8	1	1.2	1.2	1.5	1.8	2.1	2.2	2.3



發現：

1. 水分越多時，流動性越大，回縮性越小，出水性越大，沾黏性越大。
2. 使用 BC-20 號 PVA 製作史萊姆時，與市售史萊姆性質最接近的水分含量為水重是 PVA 重的 22-24 倍。

## 實驗七：找出適合的硼砂量

由實驗六的研究，知道水分含量為 PVA 量的 22-24 倍為最接近市售史萊姆的比例，我們選擇用水重 24 倍，但調整硼砂的量，製作當水和 PVA 重量固定時，不同硼砂量對交聯作用的影響。

實驗方法：

- 1、 使用 BC-20 號 PVA，濃度 10% 溶液 10 克，搭配濃度 1% 的硼砂溶液，使用不同量的硼砂，調配不同的加入水量，讓總水量為 PVA 重的 24 倍，調配如下表。

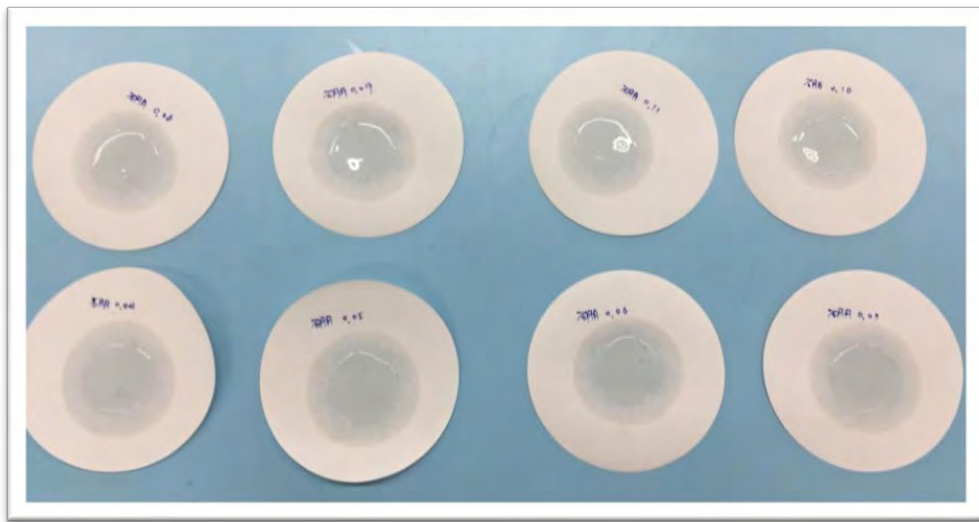
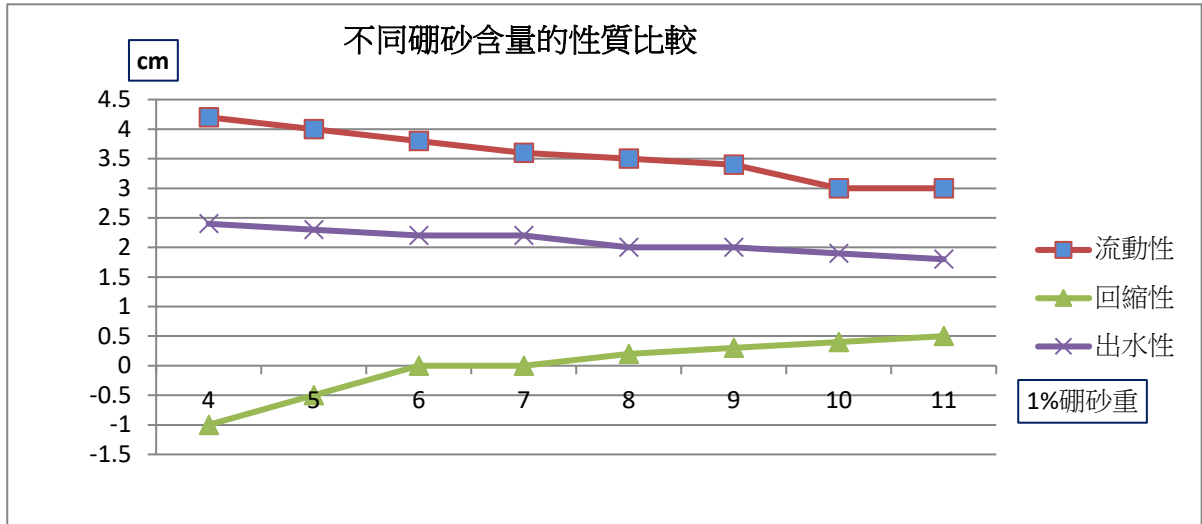
10%PVA(克)	10	10	10	10	10	10	10	10
1%硼砂(克)	4	5	6	7	8	9	10	11
添加水量	11.04	10.05	9.06	8.07	7.08	6.09	5.1	4.11
總含水量	24	24	24	24	24	24	24	24

- 2、 攪拌形成史萊姆，測試不同含水比例的成品流動性、回縮性、沾黏性、出水性。

實驗結果：

- 1、 實驗記錄

1%硼砂(克)	4	5	6	7	8	9	10	11
流動性 (直徑擴大 cm)	4.2	4	3.8	3.6	3.5	3.4	3	3
回縮性 (直徑回縮 cm)	-1	-0.5	0	0	0.2	0.3	0.4	0.5
沾黏性	珍珠板、手、紙、砂紙沾黏				砂紙沾黏			
出水性 (出水擴散 cm)	2.4	2.3	2.2	2.2	2	2	1.9	1.8



30 分鐘後  
出水性

**發現：**

- 1、 當水分固定下，硼砂量越多，流動性較小，回縮性較大，出水性小，沾黏性較小。
- 2、 我們覺得當水量為 PVA 重的 24 倍時，硼砂量在 PVA 的 0.07 倍以下時，硼砂量過小，沾黏性較強。硼砂量為 PVA 的 0.08~0.11 倍，皆適合做成好玩的史萊姆，因為較不沾黏，又有適合的流動性和回縮性。

**實驗八：探討酸鹼性對交聯作用的影響**

**實驗八之一：硼酸能否與 PVA 產生交聯作用**

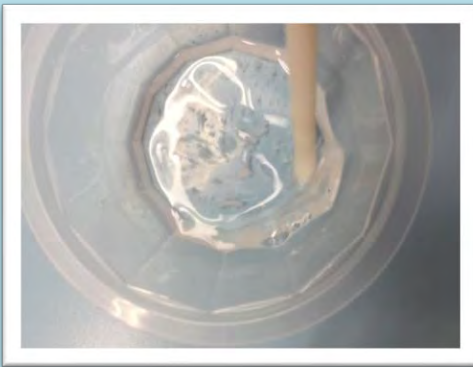
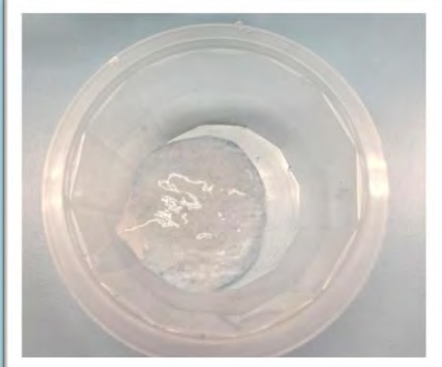
由文獻探討知道，硼砂溶解會解離出硼酸根離子  $B(OH)_4$  與 PVA 分子形成「交聯作用」，我們想知道若是在 PVA 溶液中直接加入硼酸溶液，是否也有交聯作用？

### 實驗方法：

1. 取 BC-20 號 PVA 濃度 5% 溶液 10 克，搭配濃度 2% 的硼酸溶液 2.5 克為交聯劑，測量交聯劑的 pH 值，攪拌後觀察是否有交聯作用。
2. 取 BC-20 號 PVA 濃度 5% 溶液 10 克，加入濃度 2% 的硼砂溶液 2.5 克交聯劑，測量交聯劑的 pH 值，攪拌後觀察是否有交聯作用。

### 實驗結果：

#### 1、 實驗記錄

交聯劑種類	硼酸組	硼砂組
5%PVA 的 pH 值	7.36	7.36
交聯劑的 pH 值	5.82	9.19
交聯情形	無交聯作用，滴入有乳白色絲狀物，攪拌後為液狀，無史萊姆形成。	有交聯作用，攪拌後史萊姆形成
照片		

### 發現與討論：

- 1、 2% 硼酸溶液無法與 5% PVA 溶液產生交聯作用。
- 2、 這個結果讓我們覺得很意外，因為我們覺得硼酸溶於水中應該也和硼砂溶液一樣有硼酸根離子  $B(OH)_4^-$ ，但卻無法與 PVA 溶液產生交聯作用，是不是因為硼砂溶液是鹼性，而硼酸是酸性呢？所以我們繼續探討若將硼酸溶液調整成鹼性，是否就能與 PVA 溶液產生交聯作用。

## 實驗八之二：調整硼酸溶液酸鹼度測試與 PVA 的生交聯作用

### 實驗方法：

1. 在 2% 硼酸溶液 5 克中滴入不同量的 2% 氫氧化鈉溶液，測量 pH 值。
2. 將不同 pH 值的硼酸+氫氧化鈉溶液滴入 5% PVA 溶液中，觀察是否有交聯作用形成。

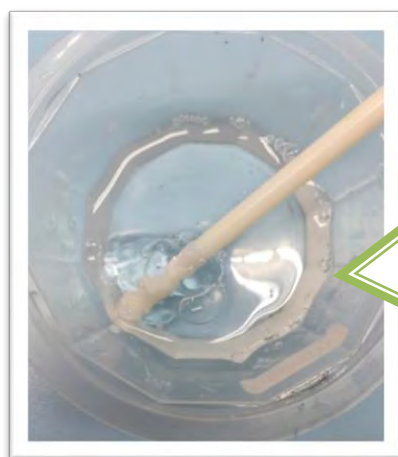
### 實驗結果：

#### 1、 實驗記錄

混合溶液 pH 值	6.36	6.50	6.68	6.70	6.84	6.96	7.08	7.20	7.30	7.40	7.58	7.62	7.80	8.56
交聯作用	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	有	有	有	有
攪拌後情形	液體狀						液體狀，有變黏稠				形成史萊姆			

### 發現：

- 1、 酸性的硼酸溶液，加入氫氧化鈉溶液，將 pH 值調高到 7.58 以上，則有交聯作用形成。
- 2、 硼酸根需要在中性到鹼性的環境下，才能與 PVA 溶液產生交聯作用。



pH 值 7.58 以上的混合溶液，會有交聯作用形成。

## 實驗八之三：史萊姆加入酸鹼溶液的影響




### 實驗方法：

1. 使用 BC-20 號 PVA，濃度 5% 溶液 10 克，搭配濃度 2% 的硼砂溶液 2.5 克，做出三個史萊姆。
2. 三個史萊姆分別滴入 2.5 克的中性的自來水、酸性的醋，和鹼性的氫氧化鈉溶液，攪拌後觀察史萊姆的交聯情形。

### 實驗結果：



## 1、 實驗記錄

添加液體	自來水	醋	氫氧化鈉
液體 pH 值	7.61	2.64	11.45
攪拌後情形	添加的水被史萊姆吸收，更綿軟。	添加的醋將史萊姆溶解，完全變成液體。	添加的氫氧化鈉被史萊姆吸收，較易碎裂。
照片			

### 發現：

- 1、 在已有交聯作用的史萊姆加入酸性的醋會讓交聯作用破壞，而變回不黏稠的液體。
- 2、 在已有交聯作用的史萊姆加入鹼性的氫氧化鈉，交聯作用仍然存在，但會影響史萊姆的性質，變得較易碎裂。

## 柒、 結論

- 一、 高度醇解和分子量大的PVA 需要較長的時間溶解，分子量大的PVA 溶液流動性小，較為黏稠，市售膠水的流動性並不相同，成分比例可能並不相同。以流動性來看市售膠水應該是使用較高分子量的 PVA。
- 二、 在使用相同比例『12%PVA 溶液 20 克， 2%的硼砂溶液 5 克』的交聯作用下，PVA 醇解度較高做出的史萊姆流動性較小，回縮性也較小，但都不沾黏，看不出沾黏性的差異性；PVA 分子量越大時，產生的史萊姆流動性越小，回縮性越大，越不沾黏。
- 三、 市售史萊姆三個都比與配方 A 所製作的史萊姆在流動性上明顯較大，感覺比較綿軟；回縮性比較小；出水性比較大，我們覺得測試的四種性質間有相互關係，流動性大的，原則上沾黏性大，回縮性小，出水性大。
- 四、 硼砂、PVA、水的重量比如果一樣，即使用不同濃度配方，所交聯出來的成品性

質差異不大。

- 五、 水分越多時，流動性越大，回縮性越小，出水性越大，沾黏性越大。
- 六、 使用 BC-20 號 PVA 製作史萊姆時，與市售史萊姆性質最接近的水分含量為水重是 PVA 重的 22-24 倍。
- 七、 當水分固定下，硼砂量越多，流動性較小，回縮性較大，出水性較小，沾黏性較小。
- 八、 我們覺得當水量為 PVA 重的 24 倍時，硼砂量最適合為 PVA 的 0.08~0.11 倍，因為較不沾黏，又有適合的流動性和回縮性。
- 九、 硼酸根需要在中性到鹼性的環境下，才能與 PVA 溶液產生交聯作用。
- 十、 在已有交聯作用的史萊姆中加入酸性的醋會讓交聯作用破壞，而變回液體。

## 捌、參考資料

- 一、 國立台中教育大學遊戲實驗室。彈性球--膠水系列 3 之 1。取自  
<http://scigame.ntcu.edu.tw/chemistry/chemistry-024.html>
- 二、 誠興企業服務中心---技術支持。PVA 的特性。取自  
<http://www.sctwn.com/tw/skill.php?tid=5&page=8>
- 三、 梁哲緯；黃子豪；王晨；鍾采珈；楊博丞；陳宇哲禎(2013)。跳動的鼻涕—水黏土的多元變化。第 53 屆全國中小學科展報告。取自  
<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=10285>
- 四、 簡佑丞；游沂霖；林芯嫻；邱梓嫣；盧紀綱；林若婕(2013)。鼻涕蟲運動會。第 53 屆全國中小學科展報告。取自  
<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=10296>

## 【評語】 080207

本作品為利用聚乙烯醇和硼砂的交聯作用探討史萊姆的製作，實驗中針對交聯作用發生後的流動性、回縮性、沾黏性和出水性進行研究，發現分子量越大時，產生的史萊姆流動性越小，水分越多時，流動性越大，硼砂量越多時，流動性較小，回縮性較大，出水性較小，沾黏性較小。作者也自製簡易量測工具，設計量測基準。然而文獻上已有很多相似報導，在實驗設計上較缺乏整體創意，建議與過去的研究做一些比較，並清楚標示差異及創新之處，但以小學團隊能完成複雜的分析，值得嘉許，日後若能思考如何發展聚乙烯醇硼砂史萊姆的應用，會有更多變化與成就。實驗日誌的記錄還算嚴謹，值得嘉許。

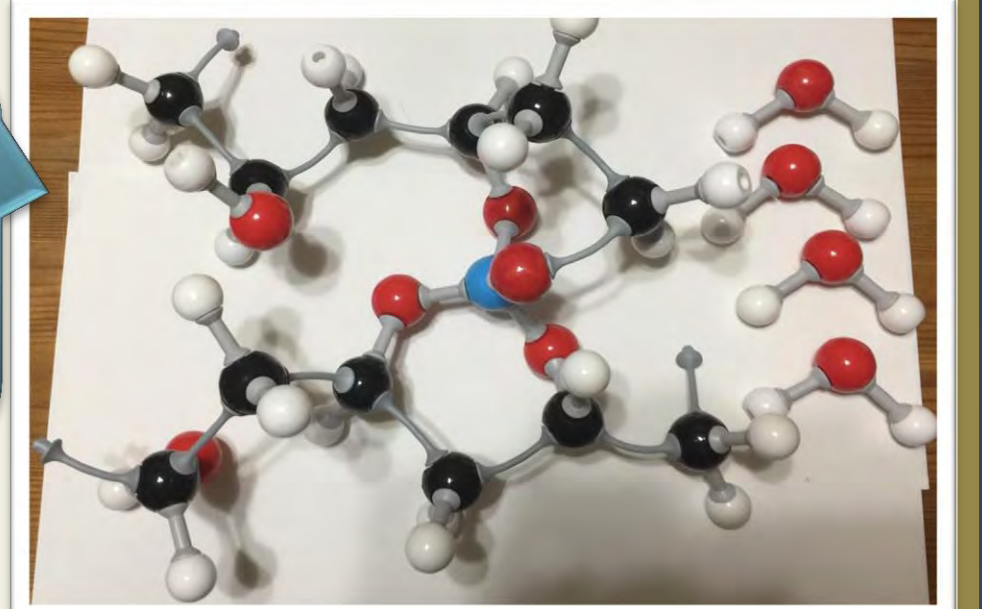
## 研究動機

在書局有賣一種QQ又黏黏的玩具，流動性大較沒彈性的像鼻涕蟲，流動性小較有彈性的像史萊姆。網路上看見史萊姆製作的影片，引發我們對史萊姆的興趣。試做時發現成功率最高的是膠水加硼砂水，查詢資料發現膠水的成分聚乙烯醇和硼砂兩者之間會產生交聯作用，而製作出可以延展流動又有點彈性的史萊姆。但是不同品牌的膠水用相同的比例做效果又不同，於是我們決定用聚乙烯醇原料來研究製作史萊姆的最佳比例。

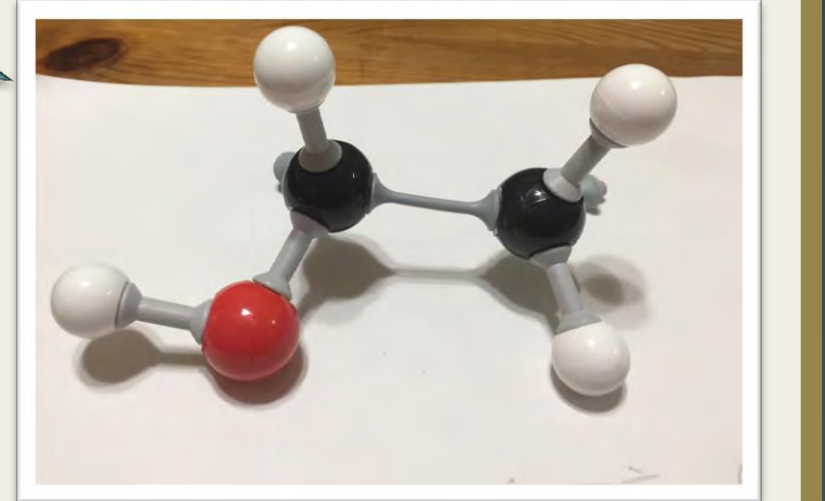
## 研究目的

1. 探討不同型號聚乙烯醇水溶液的特性。
2. 比較聚乙烯醇醇解度對交聯作用的影響。
3. 比較聚乙烯醇分子量對交聯作用的影響。
4. 測試市售史萊姆的性質。
5. 探討相同比例不同濃度配法對交聯作用的影響。
6. 找出史萊姆最適合的含水量。
7. 找出史萊姆最適合的硼砂量。
8. 探討酸鹼性對交聯作用的影響。

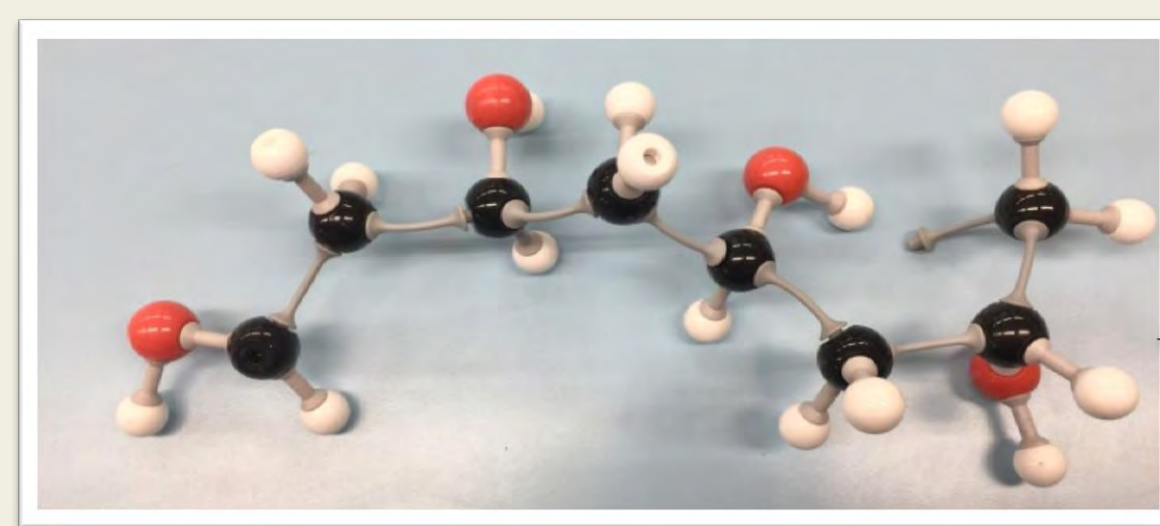
PVA與硼酸根進行縮合反應產生水



乙烯醇單體結構



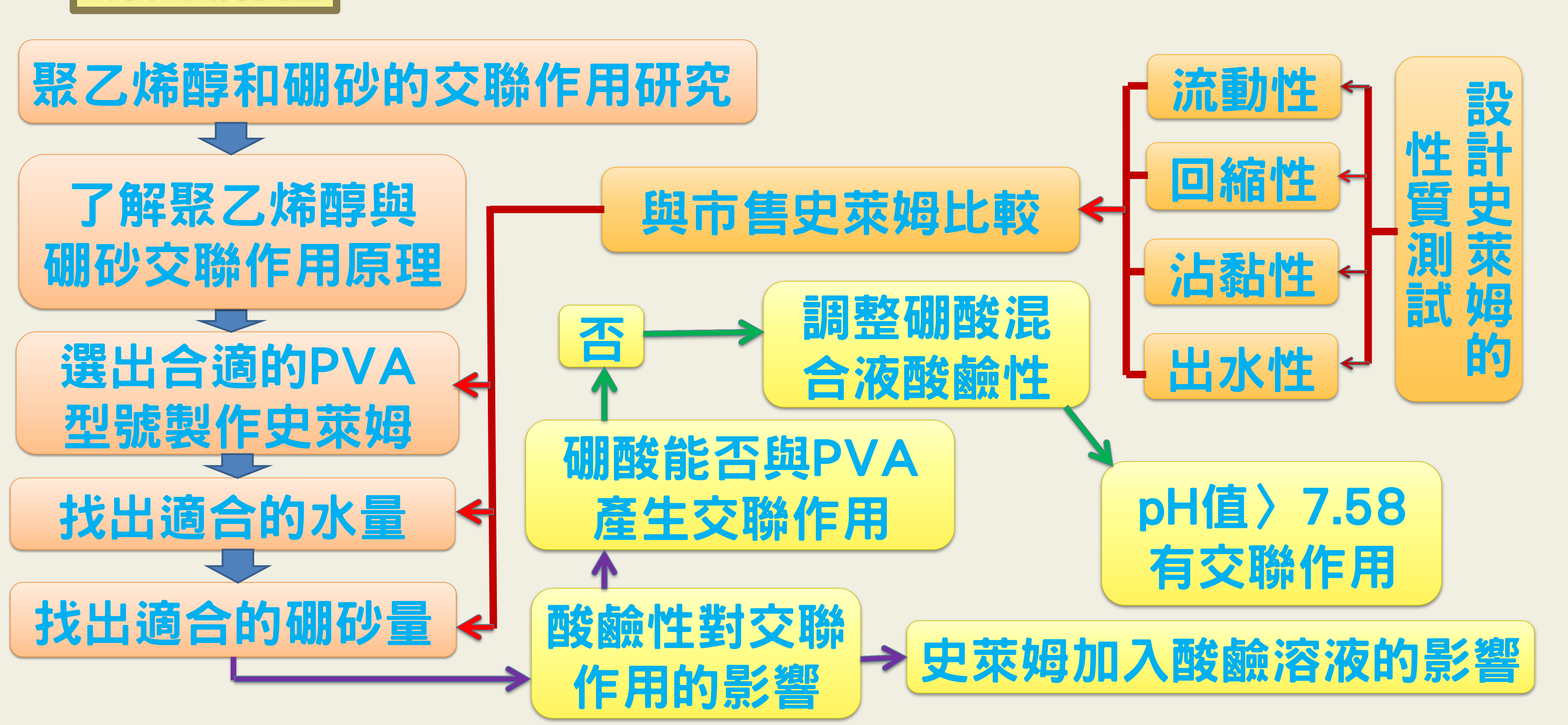
乙烯醇單體鏈狀聚合



## 研究設備及器材

聚乙烯醇、 硼砂、醋	史萊姆、 膠水	電子磅秤、 針筒、pH計	電鍋、氫氧 化鈉	燒杯、 塑膠杯	計時器、 玻璃瓶	玻璃片、濾 紙、砝碼

## 研究流程



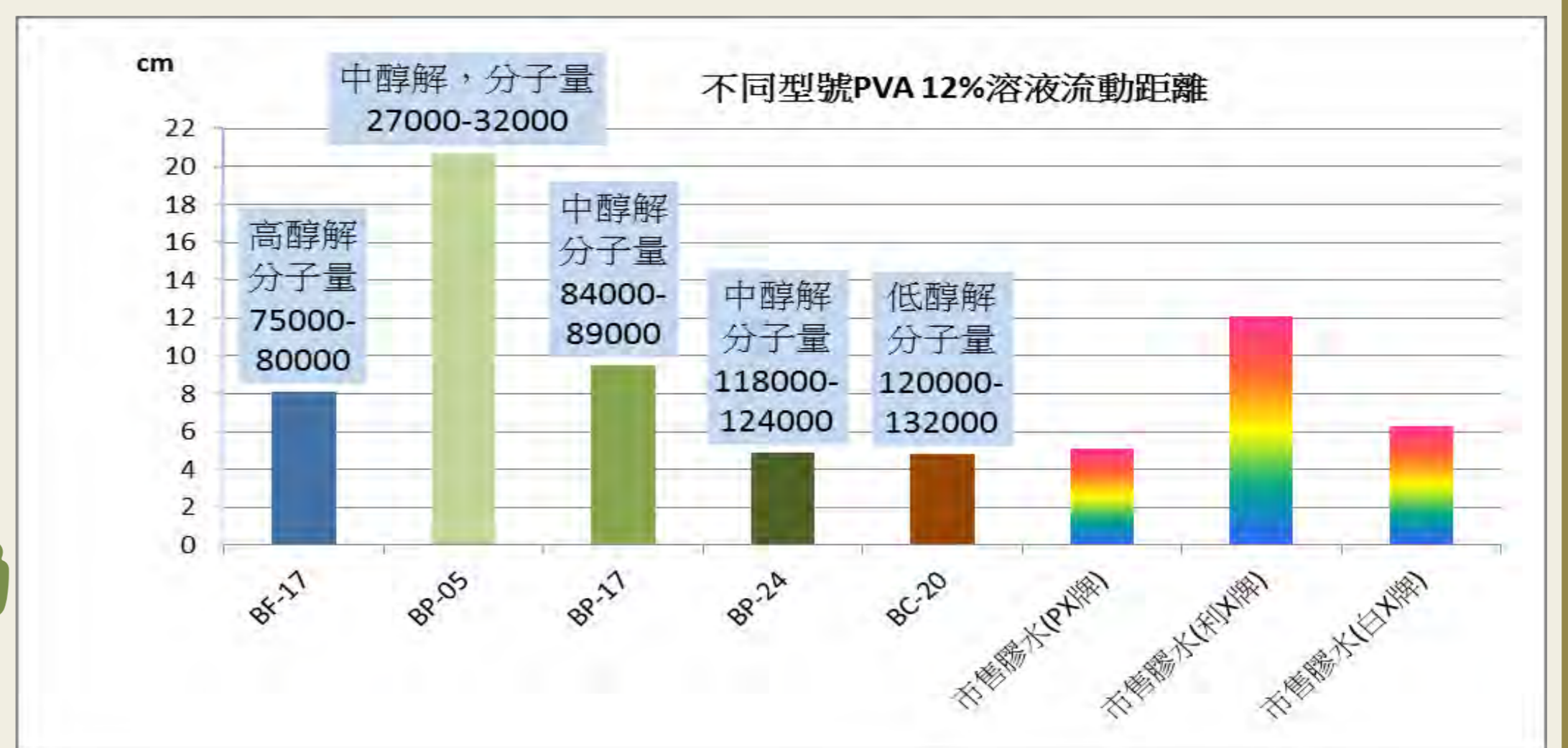
## 性質測試

流動性		回縮性		沾黏性		出水性	
取10克固定成直徑2cm圓柱	測量10分鐘後直徑擴大長度	壓扁成直徑4公分圓形	10秒鐘後測直徑回縮長度	用100克砝碼壓在五種材質面上看是否會沾黏	用玻璃片壓在濾紙上成直徑4公分圓形	30分鐘後測濕掉的直徑長度	

### 實驗一：不同型號聚乙烯醇水溶液的特性

**方法：**配置與市售膠水相同濃度12%的5種型號PVA溶液，放在斜面上，比較流動性。

**結果：**分子量大的PVA溶液流動性小，較為黏稠。市售膠水的流動性並不相同，所含的PVA型號或濃度可能並不相同，應該是使用較高分子量的PVA。



### 實驗二：聚乙烯醇醇解度對交聯作用的影響

**方法：**選擇分子量類似但醇解度不同的PVA

**配方A：**12%PVA溶液20克，2%的硼砂溶液5克

(BF-17、BP-17) (BP-24、BC-20) 使用**配方A**，攪拌後記錄交聯作用後的流動性、回縮性、沾黏性、出水性。**結果：**醇解度較高做出的史萊姆流動性較小，回縮性也較小，但都不沾黏，看不出沾黏性的差異性。

### 實驗三：聚乙烯醇分子量對交聯作用的影響

**方法：**選擇中度醇解分子量不同的PVA(BP-05、BP-17、BP-24)使用**配方A**，攪拌後記錄交聯作用後的流動性、回縮性、沾黏性、出水性。

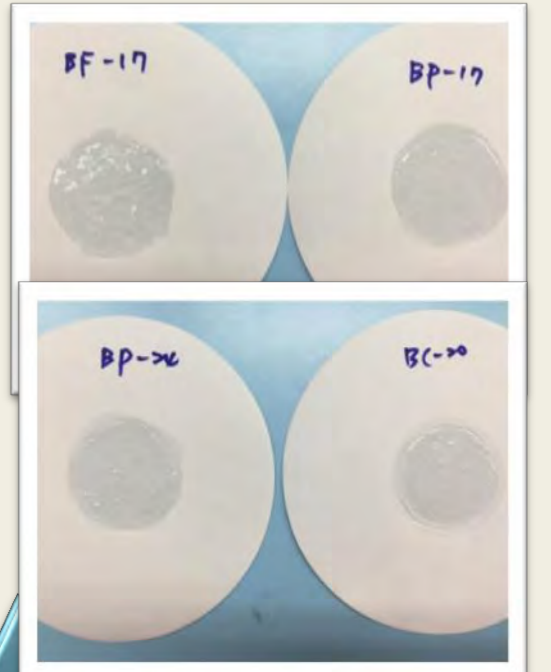
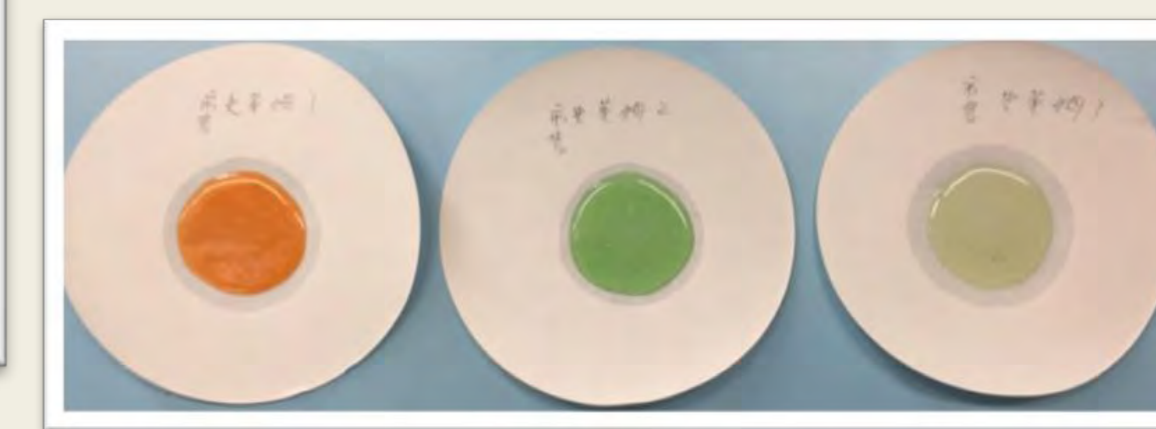
**結果：**分子量越大時，產生的史萊姆流動性越小，回縮性越大，越不沾黏。

### 實驗四：市售史萊姆的性質測試

**方法：**選擇我們覺得最好玩的市售史萊姆1、2、3號測試性質，與



市售史萊姆



出水性測試

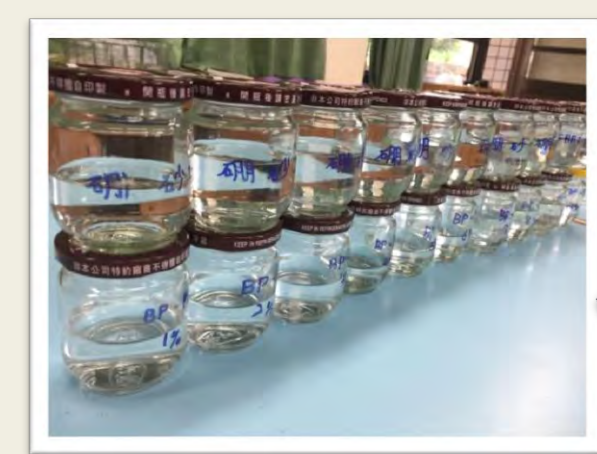
配方A所製作的史萊姆差異(去除分子量明顯較小的BP-05)比較。

**結果：**市售史萊姆在流動性上明顯較大，回縮性較小，出水性較大，沾黏性則差不多，我們覺得可能是與比例有關，我們決定探討硼砂、PVA、水三者比例與性質的關係。

史萊姆來源	市售史萊姆1	市售史萊姆2	市售史萊姆3	BF-17	BP-17	BP-24	BC-20
流動性 (直徑擴大cm)	3.5	3	3.4	1.5	1.5	1	1.2
回縮性 (直徑回縮cm)	0.1	0.4	0.2	0.6	0.6	0.7	0.8
沾黏性	砂紙沾黏，紙微黏	都不沾黏	砂紙沾黏	砂紙沾黏	砂紙沾黏	都不沾黏	都不沾黏
出水性 (出水擴散cm)	0.9	0.6	1.2	0	0	0.1	0.2

### 實驗五：相同比例不同濃度配法對交聯作用的影響

**方法：**製作出相同比例不同配方的史萊姆，比較性質是否相同



配置不同濃度的PVA和硼砂水

『PVA重：硼砂重：水重=3.6%：0.4%：96%』

配方一	配方二
1%硼砂10克，6%PVA 15克	4%硼砂2.5克，4%PVA 22.5克

PVA重：硼砂重：水重= 4.2%：0.5%：95.3%

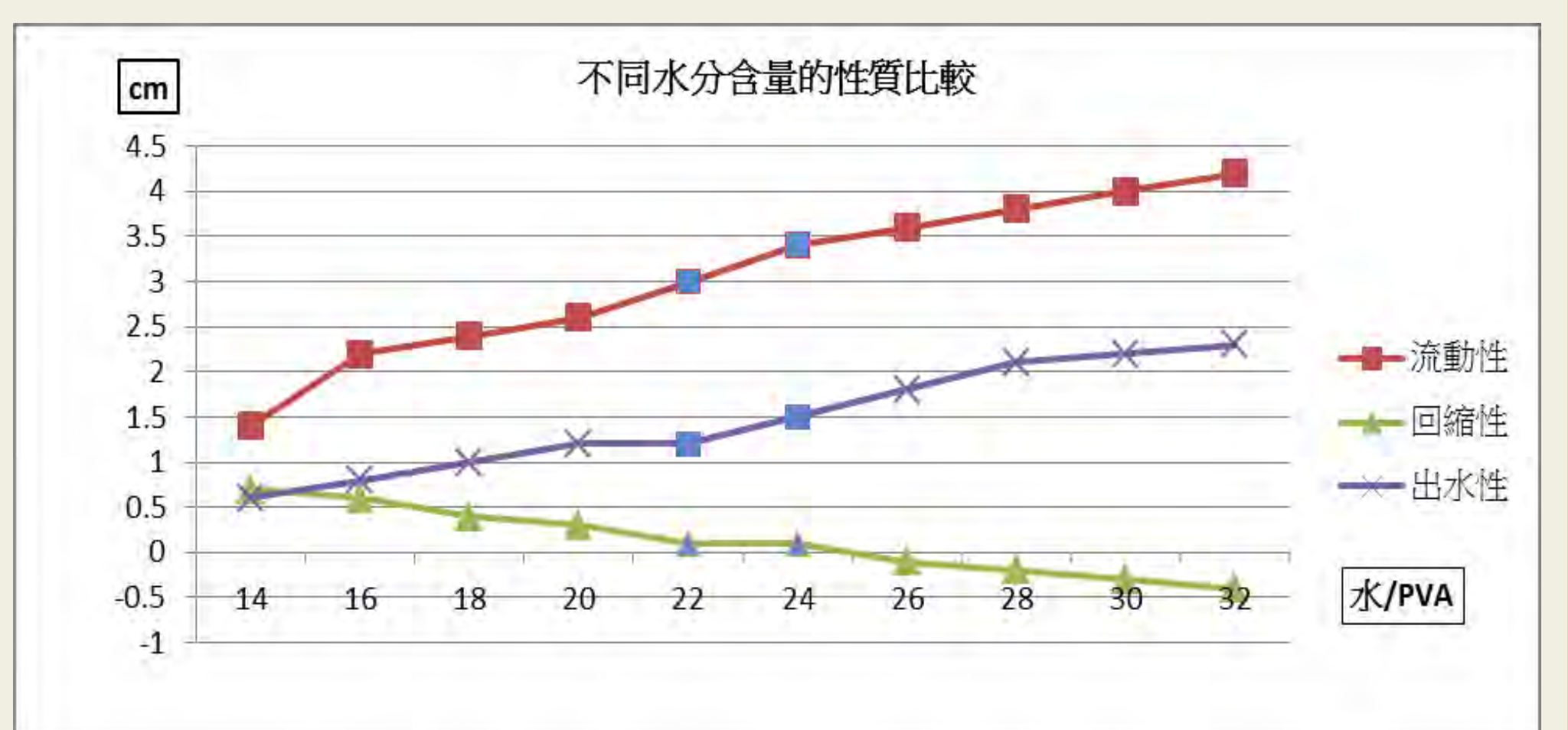
配方三	配方四
1%硼砂12克，10%PVA 10克	6%硼砂2克，5%PVA 20克



**結果：**成品性質差異不大，表示只要比例相同，用不同配方結果相同。

## 實驗六：找出史萊姆最適合的含水量

**方法：**固定PVA的重2克，硼砂重0.16克，調整不同的水量，做出含水比率不同的史萊姆，比較性質。**結果：**水量22-24倍與市售史萊姆性質最接近。

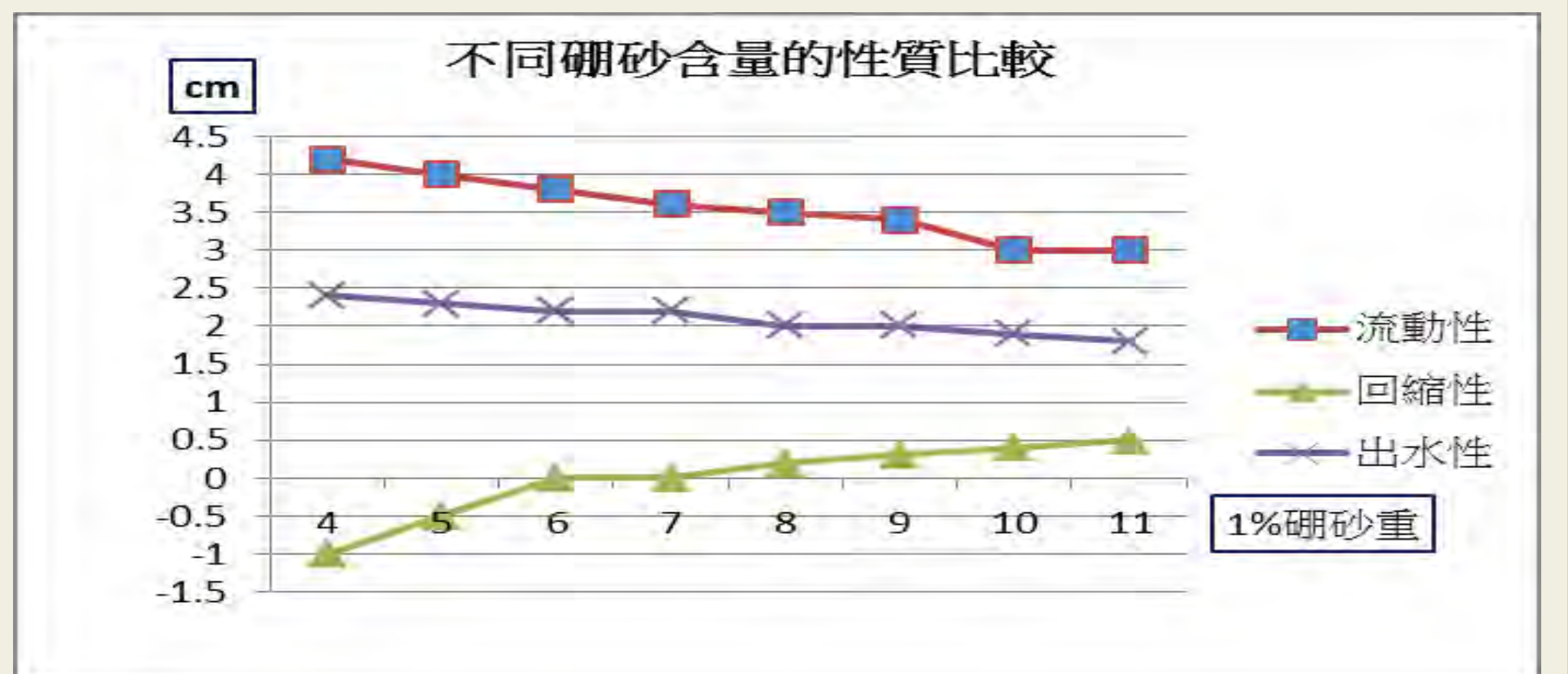


## 實驗七：找出適合的硼砂量

**方法：**使用不同量的硼砂，但讓總水量為PVA重的24倍。做出含水比率不同的史萊姆，比較性質。

**結果：**硼砂量為PVA的0.08~0.11倍

適合做成好玩的史萊姆，因為較不沾黏，又有適合的流動性和回縮性。



## 實驗八：探討酸鹼性對交聯作用的影響

### 實驗八之一：硼酸能否與PVA產生交聯作用

**方法：**取BC-20號PVA濃度5%溶液10克，搭配濃度2%的硼酸和硼砂溶液2.5克為交聯劑，測量交聯劑的pH值，觀察交聯作用。

### 實驗八之二：調整硼酸溶液酸鹼度測試與PVA的交聯作用

**方法：**將不同pH值的(硼酸+氫氧化鈉)溶液滴入5%PVA溶液中，觀察是否有交聯作用。**結果：**將pH值調高到7.58以上，則有交聯作用形成。

交聯劑種類	硼酸組	硼砂組
交聯劑的pH	5.82	9.19
交聯情形	無	有
照片		

混合溶液pH	6.36	6.50	6.68	6.70	6.84	6.96	7.08	7.20	7.30	7.40	7.58	7.62	7.80	8.56
交聯作用	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	有	有	有	有
攪拌後情形	液體狀						液體狀，有變黏稠				形成史萊姆			

### 實驗八之三：史萊姆加入酸鹼溶液的影響

**方法：**在成形的史萊姆中分別滴入2.5克的中性的自來水、酸性的醋，和鹼性的氫氧化鈉溶液，攪拌後觀察交聯情形。**結果：**加入酸性的醋會讓交聯作用破壞。

## 結論

1. 分子量大的PVA溶液流動性小，較為黏稠。以流動性來看市售膠水應該是使用較高分子量的PVA。
2. 在使用相同比例『12%PVA溶液20克，2%的硼砂溶液5克』的交聯作用下，PVA醇解度較高做出的史萊姆流動性較小，回縮性也較小，但都不沾黏，看不出沾黏性的差異性；PVA分子量越大時，產生的史萊姆流動性越小，回縮性越大，越不沾黏。
3. 市售史萊姆三個都與配方A所製作的史萊姆在流動性上明顯較大，感覺比較綿軟；回縮性比較小；出水性比較大。測試的四種性質間有相互關係，流動性大的，原則上沾黏性大，回縮性小，出水性大。
4. 硼砂、PVA、水的重量比如果一樣，使用不同濃度配方，所交聯出來的成品性質差異不大。
5. 水分越多時，流動性越大，回縮性越小，出水性越大，沾黏性越大。
6. 使用BC-20號PVA製作史萊姆時，與市售史萊姆性質最接近的水分含量為水重是PVA重的22-24倍。
7. 當水量為PVA重的24倍時，硼砂量越多，流動性較小，回縮性較大，出水性較小，沾黏性較小。硼砂量為PVA的0.08~0.11倍最適合，因為較不沾黏，又有適合的流動性和回縮性。
8. 硼酸根在中性到鹼性的環境下，才能與PVA溶液產生交聯作用。
9. 在已有交聯作用的史萊姆中加入酸性的醋會讓交聯作用破壞，而變回液體。