

金門地區第58屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別:化學組

組 別:國小組

作品名稱:膠心礬友--關於史萊姆的二三事

關 鍵 詞:膠水 礬砂水溶液 交聯作用

摘要

史萊姆是近年來在校園流行的玩具，黏黏稠稠卻又充滿延展性與彈性，拿在手上可以把它揉成自己喜愛的形狀，製作過程相較其他玩具也顯得特別輕鬆。因此史萊姆可以說是一項簡單、便宜又有趣的科學玩具了。

不過製作過程雖然輕鬆，網路上也有許多「玩家」分享自己的材料與成果，但是五花八門的網路實驗，內容雖然豐富，卻少了重要的比例拿捏與科學實驗。因此我們決定親自動手做實驗，將實作過程中遇到的任何與史萊姆相關的問題做紀錄，並設法解示原因並解決問題。

壹、研究動機

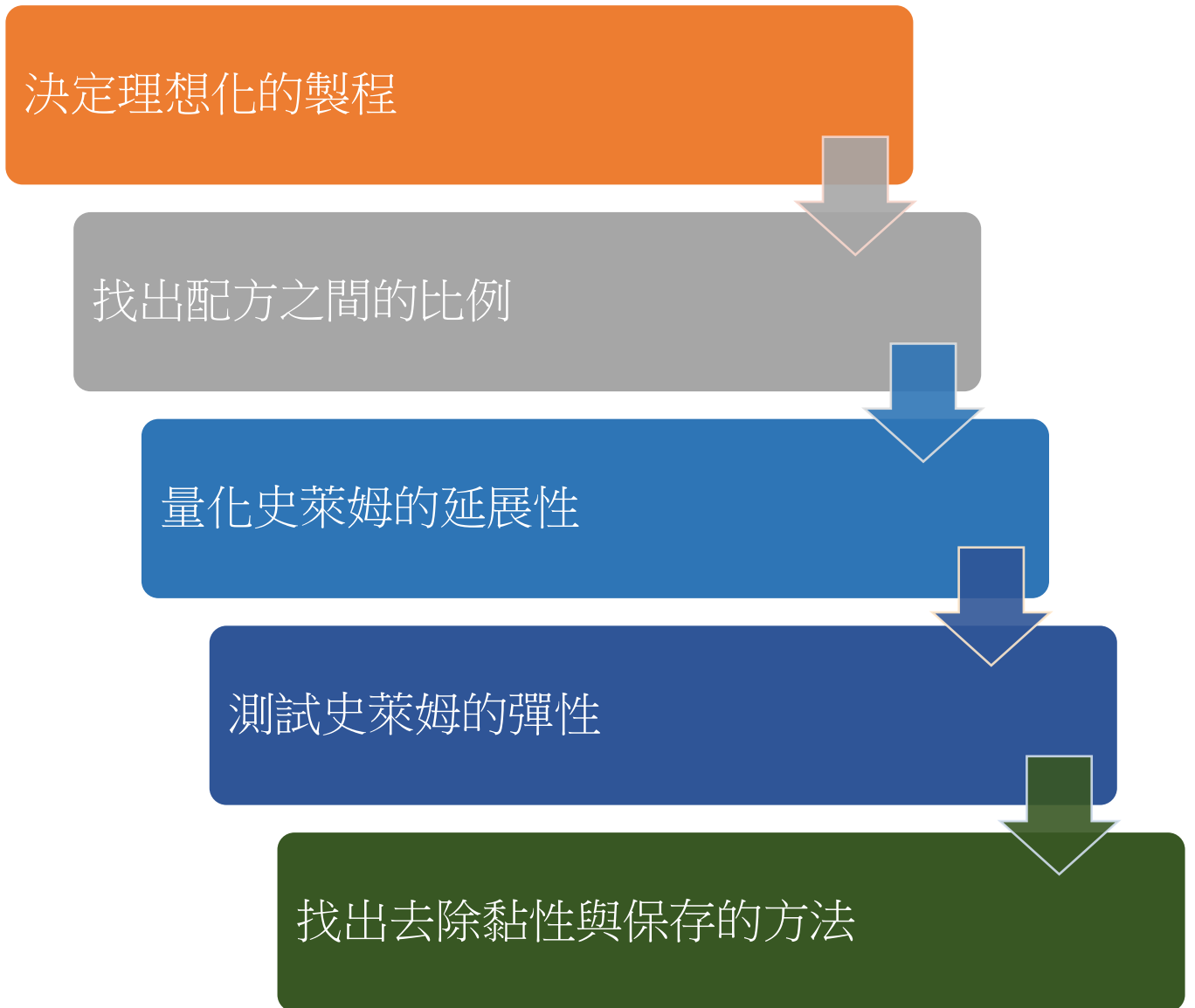
平時下課的時候，我們就會自己做史萊姆來玩，因為材料便宜又方便取得，又很好製作，做完之後就可以拿在手上揉捏，戳成自己想要的形狀，玩的過程覺得非常紓壓，所以，我們上網查了很多網路分享的影片，也知道很多東西都可以做成史萊姆，但是自己在操作的時候，比例如果沒有調好就很容易失敗，因此我們決定動手做實驗，並將我們實驗所得的比例配方分享給其他同學，讓大家都可以輕鬆的做出史萊姆！

貳、研究目的

- 一、找出史萊姆最理想化的製作過程。
- 二、研究相同配方不同比例為玩具所帶來的結果。
- 三、探討史萊姆的特性。
- 四、為史萊姆玩具成功與否提供科學數據的判斷。
- 五、解決史萊姆製作過程中所遇到的問題。

實驗流程如下圖 2.1。

圖 2.1 實驗流程圖



研究的架構，如圖 2.2 所示。

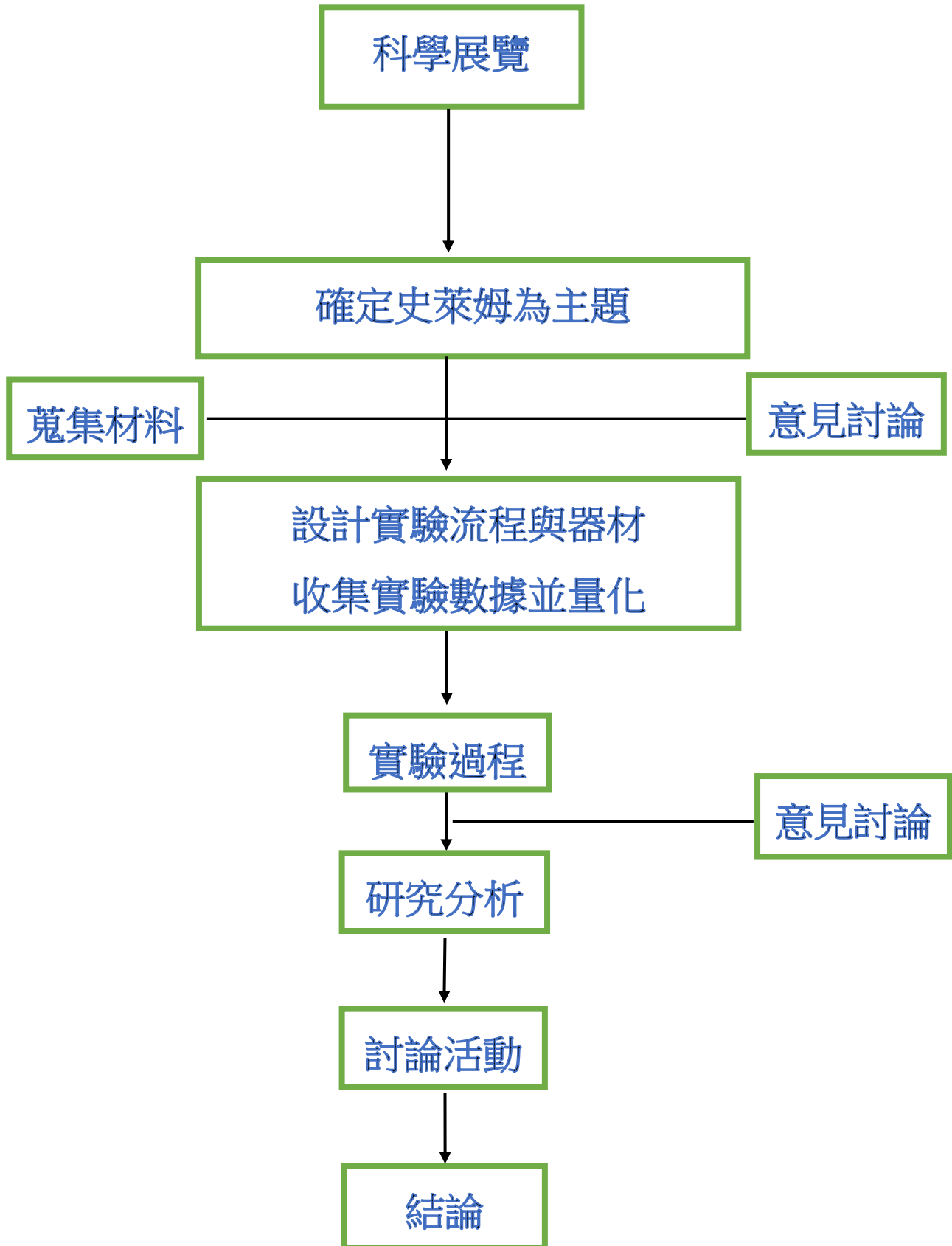


圖 2.2 研究流程架構

參、研究設備及器材

表 3.1 研究器材

設備名稱	數量	單位	備註
膠水	25	瓶	單瓶 50cc
硼砂	1	包	
燒杯	5	個	
攪拌棒	5	支	
小容量漱口杯	5	個	每 1cc 為單位
塑膠針筒	5	支	每 1cc 為單位
金屬支架	2	組	
塑膠罐	4	個	
碼表	2	個	
長尾夾	4	個	
夾鏈袋	5	個	
培養皿	5	個	
溫度計	2	支	



圖 3.2 各類實驗器材

肆、研究過程與方法

一、文獻探討：

(一)硼砂：

硼砂，又稱硼酸鈉，分子式 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ，是非常重要的含硼礦物及硼化合物。通常為含有無色晶體的白色粉末，易溶於水。硼砂有廣泛的用途，可用作清潔劑、化妝品、殺蟲劑。中醫稱硼砂可用作清熱解毒藥，性涼、味甘咸，外治咽喉腫痛、口瘡、目生翳障、中耳炎、香港腳等，內服治噎膈、咳嗽痰稠等。

硼砂溶於水中時會生成硼酸（boric acid， H_3BO_3 ），硼酸於水溶液中會接受帶負電荷氫氧根離子（Hydroxide， OH^- ）進而生成硼酸根離子（borate ion， $\text{B}(\text{OH})_4^-$ ），如下圖 3.1。

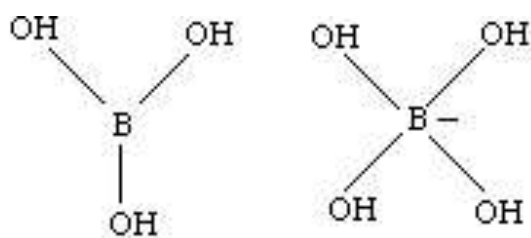


圖 4.1 $\text{B}(\text{OH})_3$ 與 $\text{B}(\text{OH})_4^-$ 的分子結構式

(二)膠水：

一般膠水成份為聚乙烯醇、水及硼砂。聚乙烯醇是一種水溶性塑膠，當把聚乙烯醇加入水時，聚乙烯醇會溶解在水中，當硼砂加入時，硼原子與氧原子會將聚乙烯醇分子串在一起，所形成的黏稠狀液體就是膠水。而膠水在空氣中會慢慢凝固，而且是不可逆的。

透明膠水是一種黏著劑，其黏著的原理如下：當透明膠水塗在紙張上時，膠水本身的分子和紙張的分子會出現「鍵結」，膠水會有黏性原因是膠水的分子親水基團多導致以水為中介，彼此互相吸引糾纏產生黏性，膠水的凝固是一個化學反應。液態的透明膠水用手摸起來感覺黏黏的，其原因是：聚乙烯醇含有許多羥基（醇基， $\text{R}-\text{O}-\text{H}$ ），具有極性，且可與水形成氫鍵，彼此互相吸引糾纏產生黏性。如果把膠水用更多水稀釋，此時膠水分子被水分子隔開太遠了，黏性就會快速下降。

(三)交聯作用：

交聯作用指的是當聚合物鏈藉由交叉鏈接連接在一起，它們失去一些它們作為單獨聚合物鏈移動的能力。例如，液態聚合物（液態聚合物鏈可自由地流動）可透過交叉鏈接而形成一個「固體」或「凝膠」。

在聚合物化學中，當一個合成的聚合物被敘述為是「交叉鏈接」，它通常是指整個聚合物的體積被顯露在交叉鏈接的方法中。所得到的物理性的性質改變取決於交叉鏈接的密度。低密度的交叉鏈接會降低聚合物熔體的黏度。中間密度的交叉鏈接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。

B(OH)₄⁻與聚乙烯醇 (PVC) 上的醇基進行縮合反應 (condensation reaction) 並且脫去水分子，使得聚乙烯醇分子交聯 (crosslinking) 在一起，而形成具有彈性的黏土狀聚合物，如下圖 4.2。

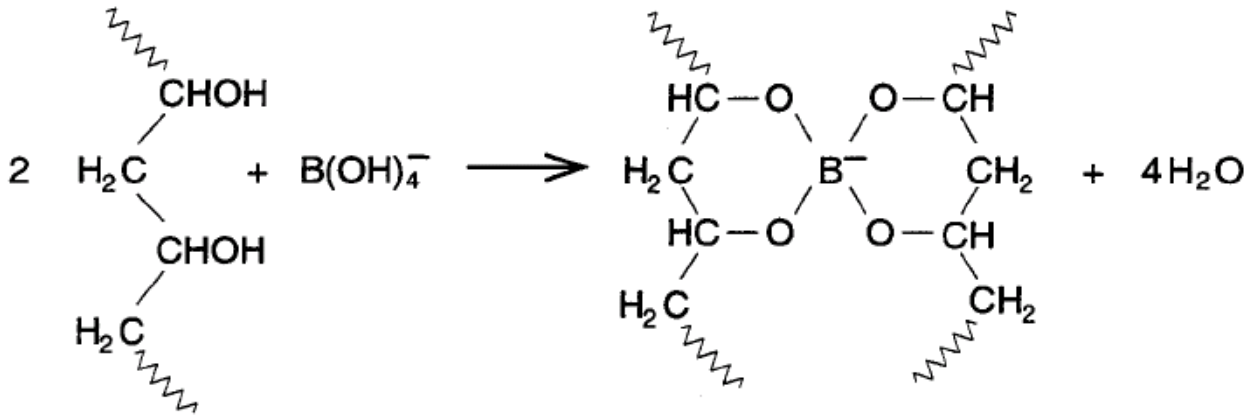


圖 4.2 醇 B(OH)₄⁻與聚乙烯進行縮合反應的交聯作用

也有另一說法，B(OH)₄⁻與聚乙烯醇上的醇基形成氫鍵 (hydrogen bonding)，使得聚乙烯醇分子交聯 (crosslinking) 在一起，而形成具有彈性的黏土狀聚合物，如下圖 4.3。

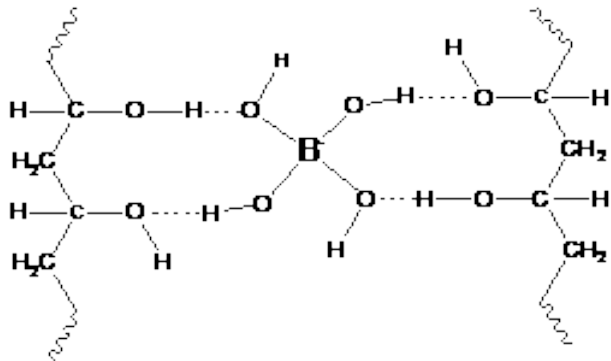


圖 4.3 聚乙烯醇與 B(OH)₄⁻形成氫鍵的交聯作用

二、確立實驗步驟：

從我們所蒐集的資料來看，製作史萊姆的材料千奇百怪，從牙膏、洗衣粉、沐浴乳到刮鬍泡，甚至連中藥包都曾有人拿來製作；每個人對於材料添加的順序也都不盡相同，因此我們在第一次的製作過程中發現，大家都會做史萊姆，但是用的材料與添加步驟都有自己的一套方法，雖然最後都能達成目的，成功調配出屬於自己的史萊姆，但是為了方便操作後續的實驗，我們決定訂出一套標準流程，避免添加順序成為實驗的變因，因此，無論後續的配方與比例如何，我們都必須按照這套流程來製作。

為了能夠精確的訂出標準流程，我們決定將所有的原料依本次實驗的屬性，分為以下幾類，如下圖 4.4：

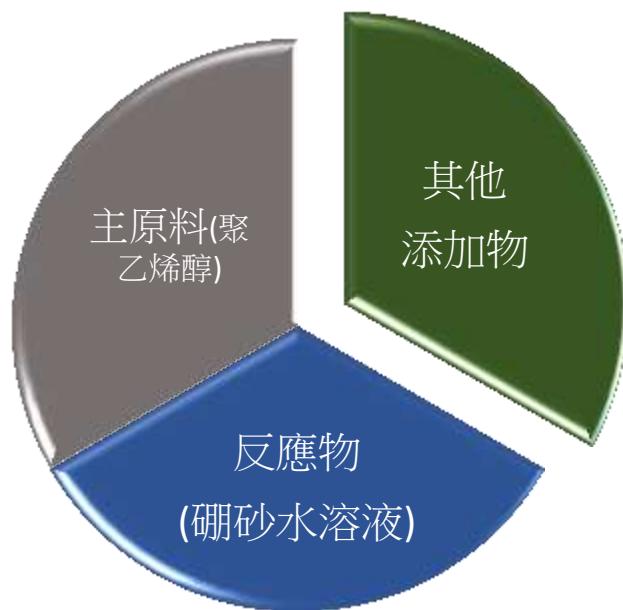


圖 4.4 材料分類圖

(一)主原料：膠水(聚乙烯醇)

網路上有許多人分享各式各樣的材料，但我們最後發現，所有材料中最需要的主原料就是膠水(聚乙烯醇)，雖然也有些實驗是以玉米粉、木薯粉等食品原料製作，但我們發現這類食品材料的製作過程都需要加熱，而且不需要加硼砂和它產生反應，和一般史萊姆的製作有差異，因此我們認為這類的材料，是其他原因導致而成，只是產生了類似於史萊姆的現象，因此我們不將這類的材料歸類到我們認定的主原料當中。

之所以會有這樣的發想，原因在於我們曾經想用天然的「糰糊」來製作史萊姆，但是卻發現並非所有具有黏性的東西都可以當作主原料，於是我們找了資料，發現史萊姆的成因在於聚乙烯醇和硼砂水溶液所產稱的化學變化。於是不含有聚乙烯醇的材料，就不被我們歸類在主原料了。

(二)反應物：硼砂水溶液

在我們所找到的資料中，硼砂水溶液幾乎是所有人實驗中的必備品，雖然網路上有些人聲稱他們使用清潔劑、洗衣精、甚至是中藥包等等材料，取代了硼砂水溶液，但是在我們找尋有關硼砂的資料時，發現硼砂具有軟化水質與增加濃稠度的效果，因此有時候會在清潔劑中添加硼砂，而網路上分享的人正巧用了含有硼砂的清潔劑罷了；而中藥包能取代硼砂水溶液，也是因為硼砂也被歸類為中藥，像是某些品牌的西瓜霜等，都能發現硼砂的蹤跡。

(三)其他添加物：

舉凡亮粉、鐵粉、水彩及各種色素，這類帶來樂趣，而不會使史萊姆的反應產生特殊變化的東西，我們都將它列入其他添加物。這類材料並不在我們這次的探討內容之中，除非某些材料能為後續的實驗帶來幫助，才會考慮適量添加。

經過這樣簡單的分類，我們的實驗材料已經獲得充分的簡化，要訂定標準流程也變得簡單許多。為了方便操作後續的實驗，我們首先將膠水的量訂為 25cc，硼砂水溶液的比例為 0.5g 的硼砂粉配上 100cc 的水，比例為 1：200(後續的實驗皆為此濃度，往後便不多贅述)。制定這個比例的主要原因在於，0.5g 約為一般常用的塑膠小湯匙半匙的量，100cc 的水也是普通的塑膠杯可以盛裝的量，在沒有標準容器的時候，最容易條配出的比例。

制定完標準配方的基本比例後，我們根據操作的實用性與便利性，討論出來的標準流程如下圖 4.5

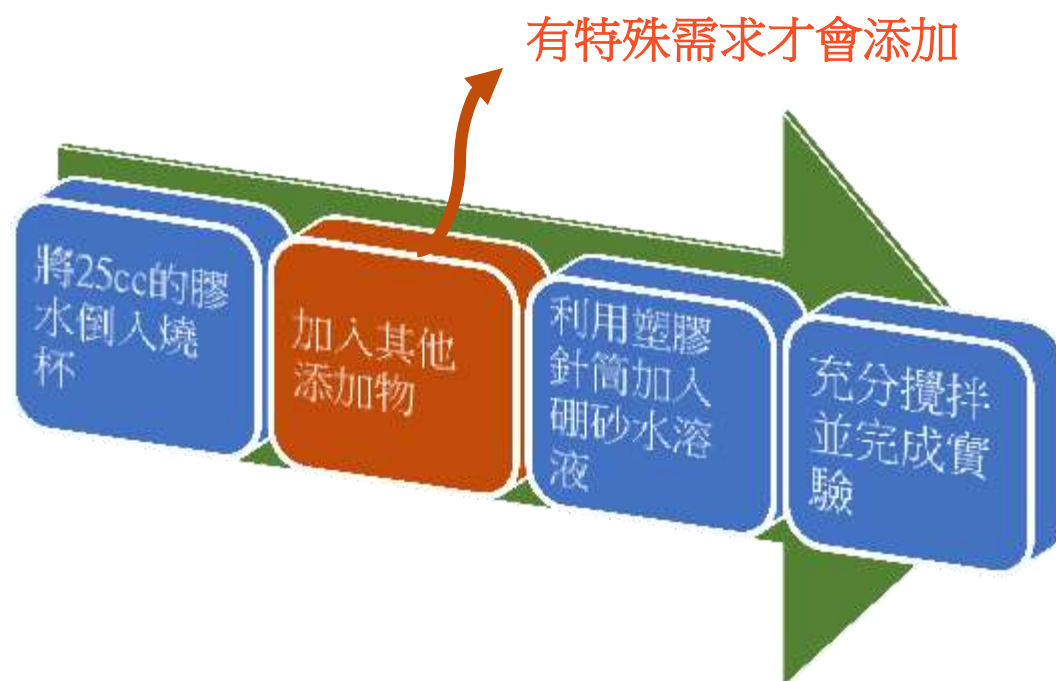


圖 4.5 本次實驗的標準流程

三、正式實驗：

(一)實驗一：測試相同濃度、不同劑量的硼砂水溶液對史萊姆的變化

- 1.按照先前討論先調配好硼砂水溶液。
- 2.五位成員在各自的燒杯中倒入 25cc 的膠水。
- 3.分別使用塑膠針筒滴入 4cc、6cc、8cc、10cc、12cc 的硼砂水溶液。
- 4.充分攪拌並觀察變化。
- 5.將製作好的史萊姆給實驗以外的學生進行盲測並投票。



圖 4.6 史萊姆成品
最左邊為 4cc 依序向右排列

(二)實驗二：測試水是否為必要的添加物

- 1.按照先前討論先調配好硼砂水溶液。
- 2.五位成員在各自的燒杯中倒入 25cc 的膠水。
- 3.分別使用漱口杯加入 0cc、2cc、4cc、6cc、8cc 水。
- 4.成員均加入 8cc 硼砂水溶液，充分攪拌後觀察變化。

(三)實驗三：測試各比例史萊姆的延展性

- 1.先在桌上固定好金屬支架，並用長尾夾將切好的塑膠瓶固定。
- 2.按實驗一的步驟的硼砂水溶液改成 6cc、7cc、8cc、9cc、10cc 製作成史萊姆。
- 3.將史萊姆放在塑膠瓶上，觀察並紀錄每個史萊姆流出並碰到桌子所需的時間。



圖 4.7 金屬支架與實驗

(四)實驗四：測試各比例史萊姆的彈性

- 1.將實驗一所製作的史萊姆放在培養皿上。
- 2.在桌上固定好金屬支架，並用長尾夾將切好的塑膠瓶固定在培養皿上方。
- 3.將彈珠拿到塑膠瓶上方後放開彈珠。
- 4.觀察並記錄彈珠所彈起的高度。

(五)實驗五：測試溫度對史萊姆的黏手程度

- 1.準備兩個水槽，分別裝入 40 度的熱水與 16 度的冰水。
- 2.將一隻手放在水槽中 30 秒，另一隻手維持常溫。
- 3.擦乾手後同時用雙手揉捏史萊姆，並記下不同溫度所帶來的差別。

(六)實驗六：測試溫度能否有效除去布料上所沾黏的史萊姆

- 1.在布料上放置史萊姆。
- 2.分別將布料放置在 40 度熱水、結冰的冰塊以及冷度庫中。
- 3.觀察不同溫度能否加速去除布料上的史萊姆。



圖 4.8 冰水與熱水



圖 4.9 溫度除膠實驗

整體實驗架構

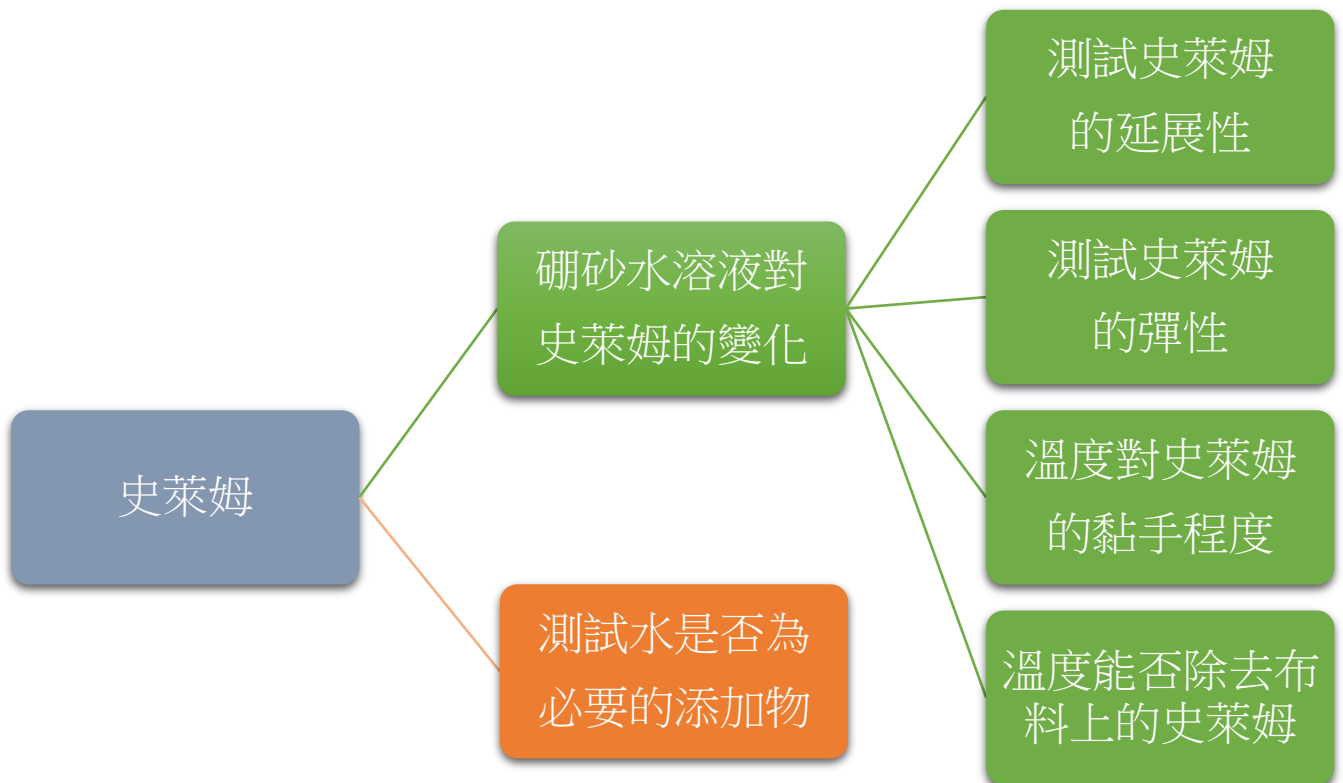


圖 4.10 本次實驗架構圖

伍、研究結果

一、實驗一：測試相同濃度、不同劑量的硼砂水溶液對史萊姆的變化

膠水的量均為 25cc					
編號	1	2	3	4	5
硼砂水溶液	4cc	6 cc	8 cc	10 cc	12 cc
狀態描述	液態 無法成形 黏度非常高	已成形 容易黏手 具有彈性 與延展性	已成形 較不黏手 具有彈性 與延展性	已成形 較不黏手 具有彈性 與延展性	已成形 不黏手 彈性佳 無法拉長 易撕成塊狀
得票結果	0	1	6	3	0

二、實驗二：測試水是否為必要的添加物

膠水的量均為 25cc，硼砂水溶液均為 8cc					
編號	A	B	C	D	E
水	0cc	2 cc	4 cc	6 cc	8 cc
狀態描述	已成形 較不黏手 具有彈性 與延展性	已成形 較不黏手 具有彈性 與延展性	已成形 較黏手 具有彈性 與延展性	容易攪拌 已成形 較黏手 具有彈性 與延展性	容易攪拌 已成形 非常黏手 具有彈性 與延展性

三、實驗三：測試各比例史萊姆的延展性

按實驗一的步驟所完成的史萊姆					
硼砂水溶液 比例	6cc	7 cc	8 cc	9 cc	10 cc
第一次費時	46 秒	86 秒	184 秒	100 秒	312 秒
第二次費時	64 秒	79 秒	200 秒	94 秒	330 秒
第三次費時	51 秒	61 秒	243 秒	97 秒	424 秒
平均時間	約 54 秒	約 75 秒	209 秒	97 秒	約 355 秒
備註	1、實驗一完成時曾挑編號 1、3、5 測試本實驗，編號 1 為液態無法測量；編號 5 延展性不佳，會卡在洞口無法流出 2、平均時間採四捨五入法至個位數				

四、實驗四：測試各比例史萊姆的彈性

編號 1~5 即實驗一的成果作品					
編號	1	2	3	4	5
第一次費時	X	3cm	5cm	10cm	13cm
備註	X 代表實驗體為液態，彈珠黏住無法彈起				

五、實驗五：測試溫度對史萊姆的黏手程度

編號一~五為學生成員編號					
編號	一	二	三	四	五
左手	泡冷水	泡熱水	泡冷水	泡熱水	泡冷水
右手	常溫	常溫	常溫	常溫	常溫
沾黏手	右手	左手	無	左右手	無

陸、討論

一、實驗一：測試相同濃度、不同劑量的硼砂水溶液對史萊姆的變化

在進行第一次實作的時候，我們曾經討論過必須具備什麼樣的特徵與條件，才能算是一個「成功」的史萊姆，討論之後發現史萊姆具有黏性、延展性和彈性這三大特點。而一個好玩的史萊姆需在這三大特徵中取得平衡，如右圖 6.1。

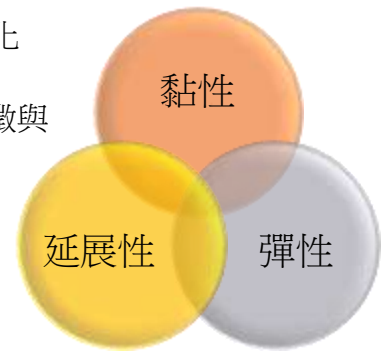
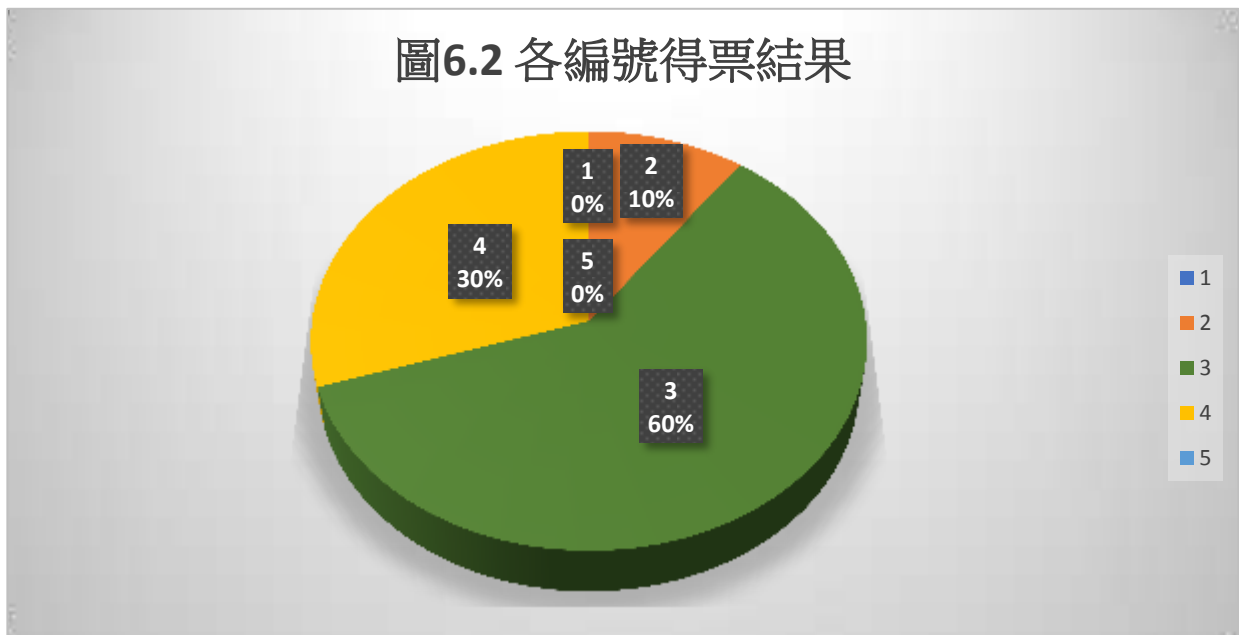


圖 6.1 史萊姆三大特徵

因此我們做了實驗一，藉由調整硼砂水溶液的劑量來實驗，25cc 的膠水加入多少 cc 的硼砂水溶液最能夠做出黏性、延展性和彈性兼具的史萊姆。完成後請其他同學把玩並投票，得票數如下圖 6.2。



我們從投票的結果發現，編號 1 之所以沒有得票，原因在於黏性太強，而且尚未成形，完全沒辦法拿起來玩；而編號 5 沒有得票的原因，則在於它的延展性太差，輕輕拉扯就容易被撕成塊狀，缺少變化導致趣味性太低。而編號 2~編號 4 各有得票，因此我們認為硼砂水溶液最恰當的劑量應介於 6cc 到 10cc 之間。

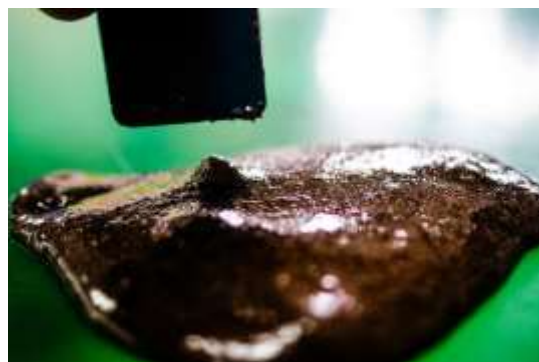
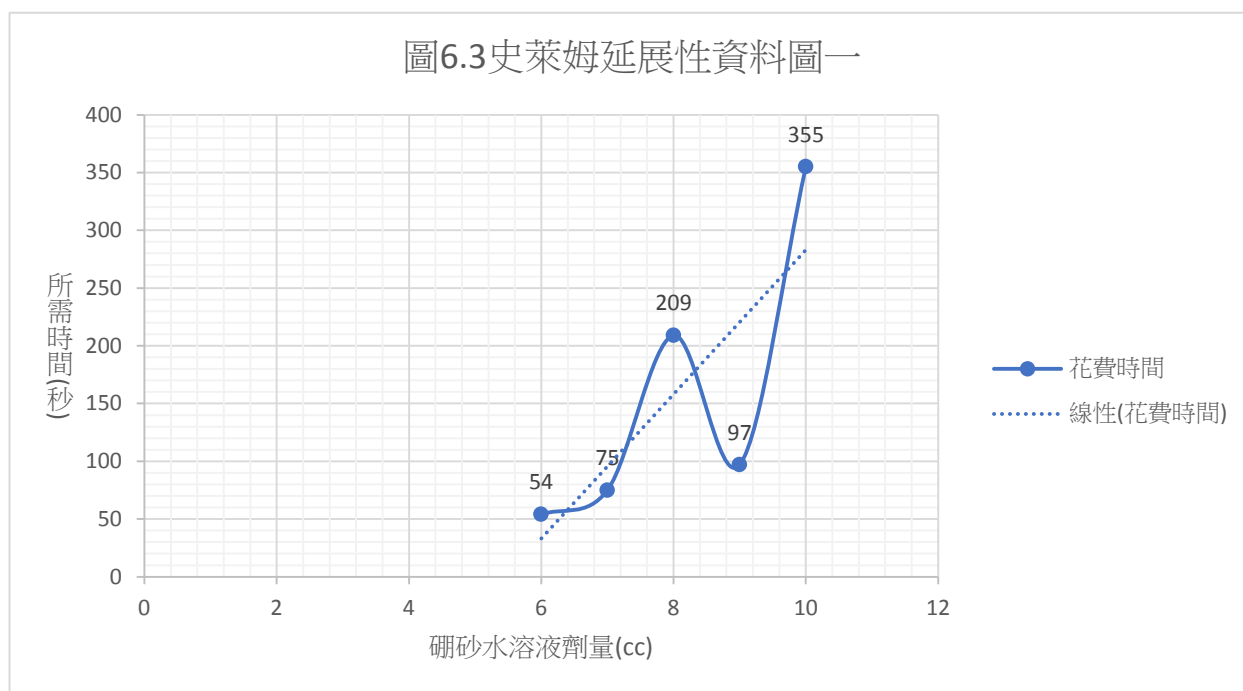
實驗二：測試水是否為必要的添加物

在我們所收集的資料當中，很多人會在膠水中先加入少量的水，再加入硼砂水溶液進行反應，為了測試水是否為必要的添加物，並了解水在史萊姆的製程中扮演什麼角色，因此我們決定硼砂水溶液的量取實驗一的中間值—8cc 並分別加入不同劑量的水，實驗後發現，即使不加水，

實驗仍然可以成功，而當添加的水量超過 4cc 時，水加得愈多，成品的黏性愈強，但是攪拌的過程會愈輕鬆，因此我們認為在膠水裡加水的作用在於降低叫水的黏稠度，讓攪拌的過程更順利，而之所以會增加成品黏稠性，主要的原因在於這些水不僅僅降低膠水的濃度，同時也稀釋了硼砂水溶液的濃度。

三、實驗三：測試各比例史萊姆的延展性

在進行實驗三之前，我們曾試過在史萊姆當中加入鐵粉，並以強力磁鐵測試鐵粉史萊姆的延展性，發現編號 2~4 的史萊姆會被強力磁體所吸引，而產生像觸手一班的突起物；而編號五不會產生突起物，磁鐵太過靠近的話會整塊都被吸走。而這次的實驗雖然有成果，但是由於編號 2~4 的數據幾乎相同，而且因為史萊姆並不定型，所以很難確保數據的正確性，加上測量不易，所以我們決定改良，並結合實驗一的發現，分別將 6cc 到 10cc 硼砂水溶液所製成的成品，利用實驗三的步驟來測試。實驗結果如下圖 6.3



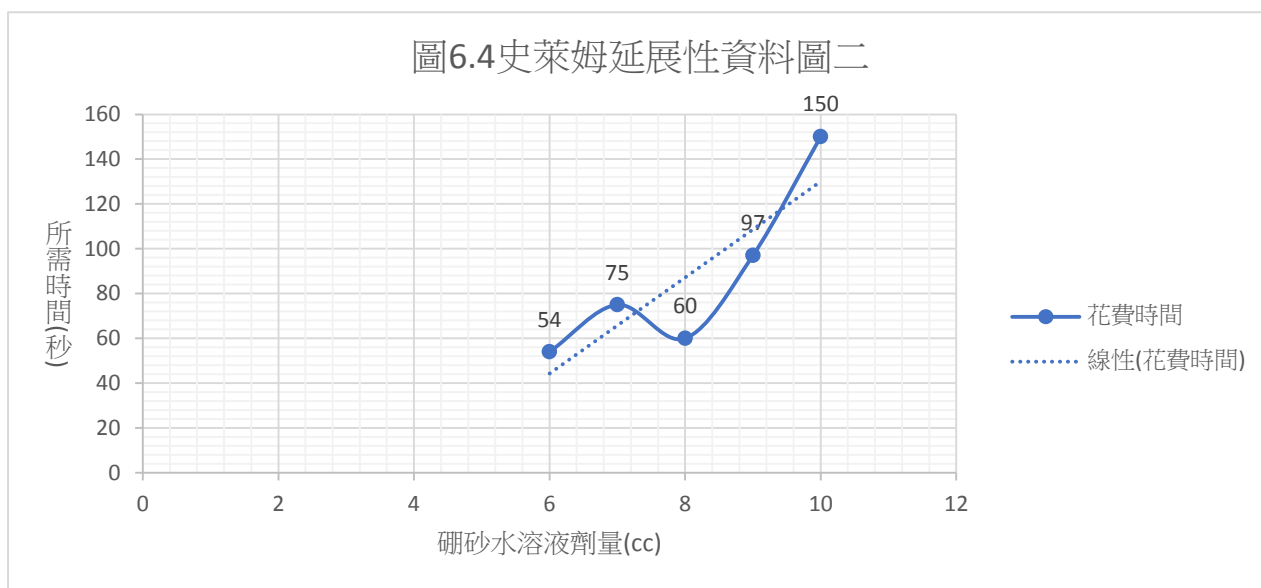
磁鐵實驗圖

我們的假設為硼砂水溶液的量愈多，所需要花費的時間愈長，代表其延展性愈差。因為在我們的實測中發現，一旦史萊姆從瓶口流出，幾乎每個史萊姆都能在 20 秒內碰到桌子從圖表中可以發現，虛線是我們認為的數據走向，但是在我們的實際操作中，8cc 和 10cc 的數據並不符合我們的假設，我們討論後發現可能是以下幾點原因所造成的現象：

(一) 塑膠瓶的安裝不夠牢固，放完史萊姆後容易歪掉，進而影響實驗結果。

(二) 攪拌的時間與圈數，或許也會令史萊姆的延展性產生變化。

於是我們加強塑膠瓶的牢固程度，並重新製作 8cc 和 10cc 的史萊姆，重複進行實驗三的活動，測試結果如下圖 6.4



雖然 8cc 的數據仍和我們預設的不同，因此我們認為造成數據落差的原因，應該就在於攪拌的圈數與時間，因為我們不同編號的史萊姆是不同成員所做的，這一點是在所有製作過程當中，最有可能影響實驗數據的因素。

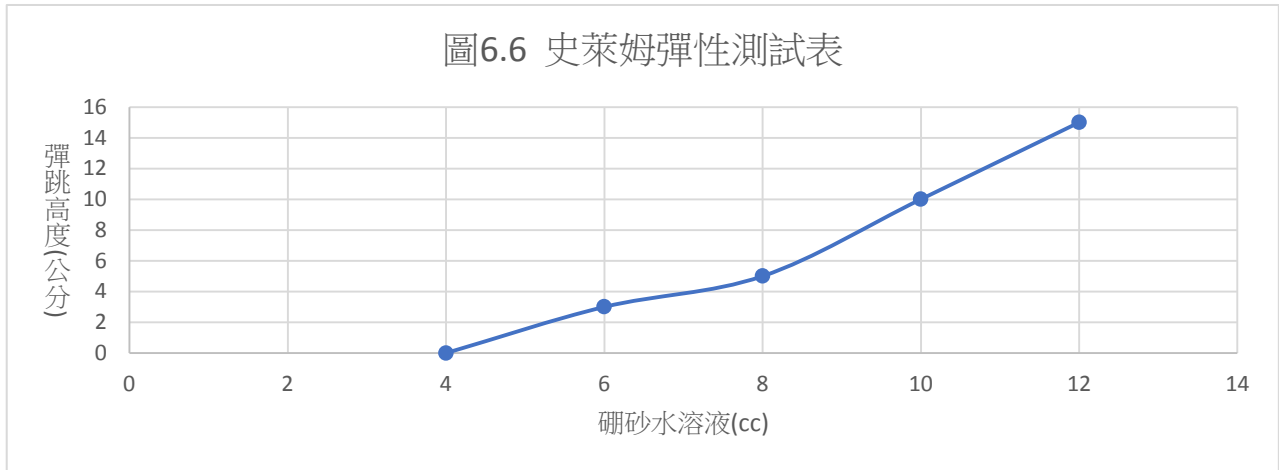


圖 6.5
金屬支架
與延展性
測試

四、實驗四：測試各比例史萊姆的彈性

由於剛製作完成的史萊姆黏性較強，無法進行這項實驗，因此我們將它裝進夾鏈袋內放置一天，隔天將其取出並放在培養皿中，等史萊姆完整蓋住整個培養皿的底部時，便開始實驗。我們將塑膠瓶的瓶身固定在金屬支架上，將培養皿放置在塑膠瓶的下方，確保彈珠落下時不會偏離軌道而導致實驗失敗。實驗結果如下圖 6.5。

實驗結果發現：當硼砂水溶液的劑量愈高，史萊姆所具備的彈性就愈好。



五、實驗五：測試溫度對史萊姆的黏手程度

我們發現同樣的史萊姆，有的人玩並不會黏，但是有些人玩的時候就很容易黏在手上，我們討論之後認為，手溫愈高的人，愈容易發生黏手的現象，於是我們準備了一盆 40 度的熱水與 16 度的溫水，左手浸泡，右手不浸泡，泡完擦乾手後同時揉捏同一個史萊姆，發現浸泡熱水的手都會沾黏史萊姆，但另一隻常溫的手則不一定；相反的，浸泡冷水的手都不會黏上史萊姆。因此我們認為低溫能夠有效的降低史萊姆的黏性。

六、實驗六：測試溫度能否有效除去布料上所沾黏的史萊姆

在玩的時候最困擾的點在於，如果史萊姆不小心黏在衣服布料上，必須花費大料的時間才能將史萊姆從衣物上去除，而且最後容易有微量的史萊姆頑固的黏在衣物上，造成清理的麻煩，為了證實時豔舞的想法是否正確，我們將同一塊布料成三塊，並在上方放置定量的史萊姆，分別丟入熱水、放在保冷劑上以及用夾鏈袋包好放進冷凍庫冷凍四小時，結果如下：

- (一)放入熱水：史萊姆黏性變強，反而更難清理。
- (二)放在保冷劑上：黏性降低，彈性變好，清理時可以一小塊一小塊除去。
- (三)放進冷凍庫：史萊姆會凝固成塊狀，並能用手整塊剝除。

實驗發現，史萊姆可以凝固成固態，而且當它退冰以後，仍然具有黏性，所以除去後必須妥善處理，避免退冰之後黏在其他物品上。

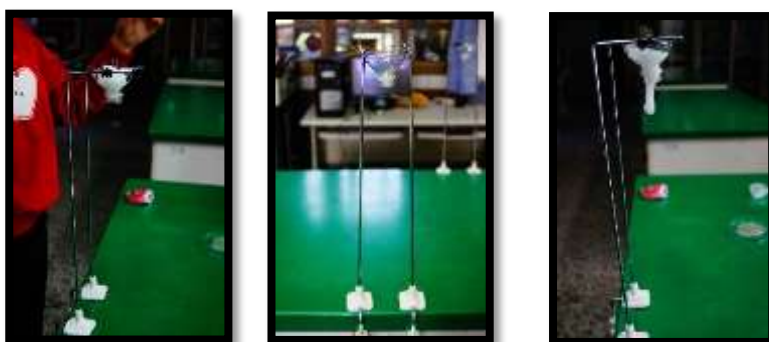


圖 6.7 加強版金屬支架

柒、結論

一、網路上雖然充滿各式各樣的材料與配方，但是最主要的材料就是膠水(聚乙烯醇)和硼砂水溶液，許多聲稱可以取代硼砂水溶液的物質，其實是因為那些材料之中含有硼砂的成分，而非真的取代了硼砂。

二、玉米粉和木薯粉等粉類原料加熱後雖然能形成史萊姆，但其產生反應的原理和膠水與硼砂水溶液的反應不同。

三、25cc 的膠水+3cc 的水+8cc 的硼砂水溶液能夠讓史萊姆在黏性、延展性與彈性之間取得很好的平衡，而硼砂水溶液中硼砂與水的比例為 1:200(約小塑膠匙半匙+塑膠杯 1 杯)，這樣的比例在手邊沒有測量工具時，是最容易調配的比例。

四、硼砂水溶液的劑量會影響，史萊姆的黏性、延展性與彈性，劑量愈低黏性愈強，彈性愈差；劑量愈高黏性愈差，延展性愈差，彈性愈好。

五、低溫也能夠令史萊姆的黏性降低，如果沾到衣物或布料，可將其放入冷凍庫中，等史萊姆結冰後整塊取出，在用水稍微沖洗就可以除掉衣物上剩餘的殘膠。

六、史萊姆與空氣接觸後容易變硬，原因在於水分的流失，我們做完彈性時眼回收史萊姆時，發現有許多膠水沉澱後黏在培養皿底部，如果不把這些膠水黏回史萊姆身上，史萊姆就很容易乾掉，變成透明塑膠片的模樣，失去黏性與延展性，並完全定型，無法再為它塑形。

七、隨著時間的流逝，史萊姆的黏性和延展性會逐漸降低，但彈性會上升，但是當史萊姆的水份完全流失之後，也會失去彈性。

八、實驗後的史萊姆用夾鏈袋包好，可以拿來取代乳膠墊，良好的彈型與可塑性能夠取到類似的作用，或是將它放到冷凍庫當中，凝固後可以當作保冷劑使用，不過因為成分是膠水和硼砂，因此不建議用在食物的保存上。

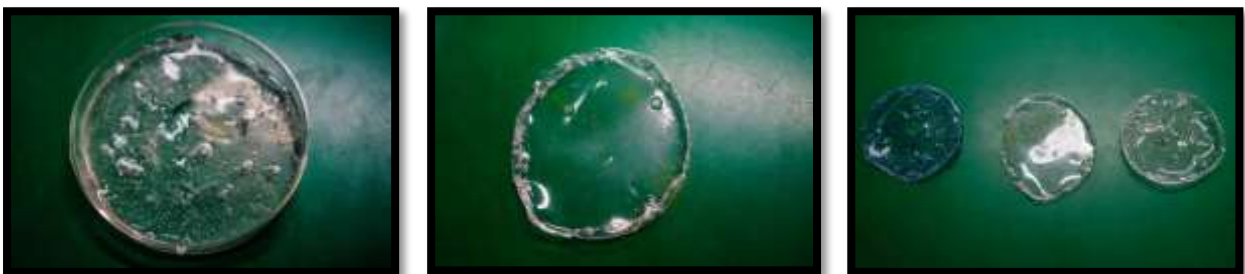


圖 7.1 史萊姆的水分流失後的變化

捌、參考資料及其他

一、楊水平(2011)，「變態的膠水—聚乙烯醇與硼砂的交聯作用」，中學化學示範實驗 Chemical Demonstrations <http://blog.ncue.edu.tw/yangsp/doc/26876>。

二、2007 白沙化學驚奇秀。鼻涕蟲和彈性球。
http://blog.ncue.edu.tw/sys/lib/read_attach.php?id=10795

三、史萊姆 Q&A(2018) 取自 <https://www.youtube.com/watch?v=g7jqJduDUdQ>