

新竹市第 41 屆中小學科學展覽會
作品說明書

科別：化學科

組別：國小組

作品名稱：千變萬化的史萊姆

關鍵詞：史萊姆、添加物、無硼砂

編號：



千變萬化的史萊姆

摘要

史萊姆是現在小孩們的舒壓玩具之一，但父母對史萊姆的原材料(硼砂)有疑慮，所以我們想研究一款無硼砂史萊姆。我們首先研究無硼砂史萊姆的配方，接著實驗添加順序會不會影響史萊姆的手感，最後我們研究不同添加物對史萊姆軟硬度及延展性的影響。實驗發現:大部分的酸性溶液和中性溶液會讓史萊姆變軟，有些甚至會讓史萊姆化成膠水狀，大部分的鹼性溶液會變硬。高溫會讓它變更軟更黏；低溫會讓它變得不黏手。市售常見的染料都可以讓史萊姆染色，但手感會有所差異，例如:加廣告顏料會變很硬且一拉就斷。

從這次的實驗中，我們學習到如何改變史萊姆的特性，例如:衣服被史萊姆黏到難以清理時，可以加酸性溶液或牙膏讓它化掉再處理。

壹、研究動機

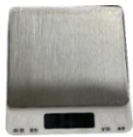






家長時常反對我們玩史萊姆，因為家長看了一些報導，報導指出史萊姆內的硼砂有毒，頻繁接觸會導致皮膚炎，皮膚有傷口接觸會導致毒素副作用發生得更快，若玩史萊姆後不洗手直接用餐，吸入過量的硼砂還會致死，聽起來相當駭人。但因為史萊姆揉捏的過程相當紓壓，所以我們想利用安全的材料製作無毒又好玩的史萊姆，讓想玩又擔心有毒的家長和小孩可以放心玩樂。於是，在老師的指導與鼓勵下，我們進行了一連串的實驗與探討。

貳、研究目的

- 一、找出無硼砂史萊姆的基本配方。
- 二、研究製作無毒史萊姆時，基本配方的添加順序對於成品的影響。
- 三、將基本配方加入生活中易取得的日用品，研究史萊姆的特性及手感的變化，讓我們能隨意地操控史萊姆的手感。
- 四、將基本配方放置在不同溫度的環境，研究史萊姆特性及手感的變化。

參、研究設備及材料

一、實驗設備

							
電子秤	密封容器	塑膠容器	滴管	攪拌棒	廣用試紙	小咖啡匙	溫度計


二、基礎配方材料

		
Pass 牌膠水	睛寶牌隱形眼鏡沖洗液	濃度 1% 的小蘇打水溶液

三、進階配方的添加物

(一) 加入不同添加物的變化

著色用具							
							
壓克力顏料	不透明水彩	廣告顏料	食用色素	硬式粉彩	藍色珠光粉		
各式粉末							
							
玉米粉	麵粉	太白粉	糯米粉	酵母粉	石膏粉	爽身粉	鐵粉
清潔用品							
							
洗衣精	洗碗精	刮鬍泡	牙膏	清潔劑 (神奇檸檬)	清潔劑 (黑皂液)		

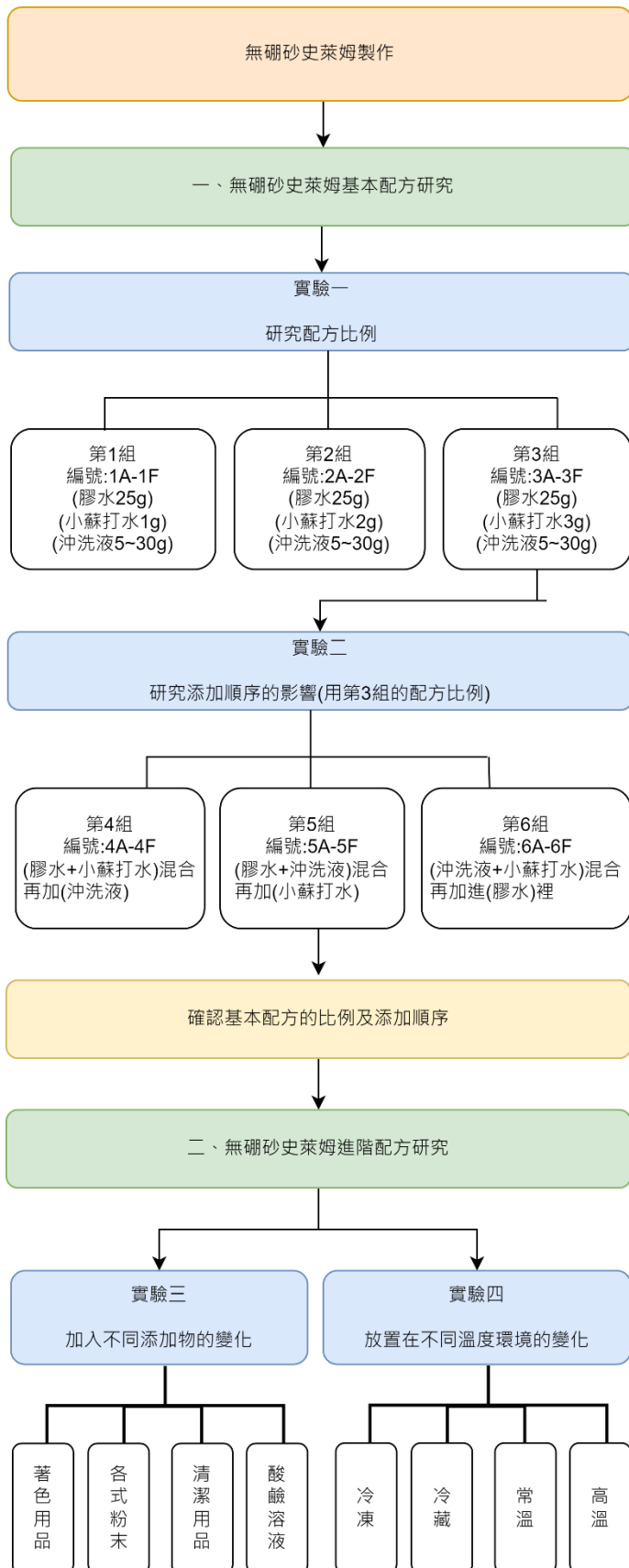
酸鹼類					
					
工研醋 (酸性)	檸檬原汁 (酸性)	糖水(重量百分 濃度 10%) (中 性)	生理食鹽水 (中性)	肥皂水(重量百 分濃度 5%) (鹼性)	澄清石灰水 (鹼性)
用廣用試紙 測 PH 值約 3	用廣用試紙 測 PH 值約 3	用廣用試紙 測 PH 值約 7	用廣用試紙 測 PH 值約 7	用廣用試紙 測 PH 值約 8	用廣用試紙 測 PH 值約 10

(二) 放置在不同溫度時的變化

不同溫度的變化			
低溫 / 冷凍	低溫 / 冷藏	常溫	高溫
放入冰箱冷凍 (-24 至 -18 度)	放入冰箱冷藏 (約 0 至 8 度)	放置桌面 (約 10 至 30 度)	隔水加熱 (約 50 至 90 度)

肆、研究過程與方法

一、實驗架構



二、文獻資料探討

(一) 膠水

膠水的成分主要為聚乙烯醇(PVA)及少量硼砂。聚乙烯醇是一種水溶性塑膠，加入硼砂，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。因此膠水會在空氣中慢慢凝固，而且此反應不可逆。聚乙烯醇水溶液對硼砂、硼酸很敏感，易引起凝膠化，當硼砂達到溶液質量的 1%時，就會產生不可逆的凝膠化。膠水便利用此原理達到黏著效果。

膠水成分反應機制:當硼砂溶於水中時會生成硼酸 (H_3BO_3)，硼酸於水溶液中會接受帶負電荷氫氧根離子 (OH^-) 進而生成硼酸根離子 ($B(OH)_4^-$)。與聚乙烯醇 (PVA) 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 (cross linking) 在一起，而形成具有彈性的黏土狀聚合

(二) 交聯反應

二個或者更多的分子 (一般為線型分子) 相互鍵合交聯成網路結構的較穩定分子 (體型分子) 反應。這種反應使線型或輕度支鏈型的大分子轉變成三維網狀結構，以此提高強度、耐熱性、耐磨性、耐溶劑性等性能。交聯反應廣泛運用於高聚物合成，如塑膠、樹脂、橡膠等合成和改性過程中。

(三) 硼砂、硼酸

硼酸在醫療上也有所應用，它具有消毒作用，可以治療輕微割傷與燒傷，也能抑制黴菌的感染 (如念珠菌或是足癬)，常用作敷藥或是藥膏來使用。稀釋過後的硼酸水溶液 (最高允許濃度為 3%) 則能用作眼藥水或是洗眼液，舒緩眼睛的不適感，也是目前唯一以知道對眼睛有益的酸。硼砂並非合法的食品添加物，卻仍有不肖業者將兩者違法使用，拿來增加食品彈性、韌性，延長保存期限或是保持色澤美觀，甚至除了鹼粽外，其他如年糕、油麵、貢丸、魚板及蝦仁等追求「口感」的食物也時常遭殃。硼砂又稱四硼酸鈉，化學式為 $Na_2B_4O_7$ ，是一種常見的含硼鹽類，外觀為無色晶體或白色粉末。它可以抑制酵母菌與黴菌的生長，曾用作防腐劑。國際糧農組織與世界衛生組織之食品添加物專家委員會 (簡稱 FAO、WHO JECFA) 認為硼砂對人體健康具有潛在危害，故不應做為食品添加劑。

(四)小蘇打粉

小蘇打粉又稱為焙用鹼(baking soda)，是碳酸氫鈉(sodium bicarbonate)的俗稱，化學式為NaHCO₃，是白色細小晶體，在水中的溶解會呈弱鹼性。在食品上主要用於製作麵包、蛋糕、饅頭等麵製品的膨鬆劑(Leavening agent)，是加入生麵團或麵糊中，使最終產品蓬鬆軟化的物質。經常被用作中和劑，例如平衡巧克力的酸性。

小結：

我們了解到與PVA膠水產生交聯反應的是硼酸，所以在製作史萊姆的過程中，選用含有微量硼酸的隱形眼鏡沖洗液來取代對人體危害較大的硼砂。低濃度的硼酸，有消毒抑和制黴菌的功效，常添加在藥水及藥膏內。雖然隱形眼鏡沖洗液已經相對安全，我們每次做完史萊姆，還是有做好手部清潔工作，以免誤食殘留的硼酸。

確認了原料的安全性，我們就開始進行我們的史萊姆研究了，除了找出較佳的配方比例，也希望能研究出更多變化的史萊姆玩法。

三、實驗流程與步驟

(一)【實驗一】基本配方研究

1. 實驗目的：使用無硼砂材料，調配出捏起來柔軟、摸起來不黏手且拉起來延展性佳的史萊姆配方。
2. 實驗材料：膠水、隱形眼鏡沖洗液、重量百分濃度1%的小蘇打水溶液
3. 測量單位：公克。一開始原本是用「毫升」作為測量單位，但因為1毫升的小蘇打水很難測量精準、用量筒量好的25毫升膠水，在倒入塑膠容器時又會有很多殘膠留在量筒內。討論之後，決定以「公克」作為測量單位，膠水也可以直接裝在我們準備的密閉容器內，並以電子秤測量重量，以減少誤差值。
4. 實驗配方：分三組，每組六杯，共18種組合。每組的膠水及小蘇打水都定量，操作變因是沖洗液(每次增加5g)
 - (1)第1組：膠水25g，小蘇打水1g，沖洗液(A:5g、B:10g、C:15g、D:20g、E:25g、F:30g)
 - (2)第2組：膠水25g，小蘇打水2g，沖洗液(A:5g、B:10g、C:15g、D:20g、E:25g、F:30g)
 - (3)第3組：膠水25g，小蘇打水3g，沖洗液(A:5g、B:10g、C:15g、D:20g、E:25g、F:30g)
4. 實驗順序：膠水中，先加入沖洗液，混和攪拌後，再加小蘇打水攪拌，直到成形。
5. 實驗記錄：

(1)第 1 組實驗記錄：(單位:公克)

邊 號	操作 變因 沖洗 液	控制 變因		應變 變因			
		膠水	小蘇打水	是否 成形	延展性	軟硬度 1-6 (最軟 1)	不黏手情況 1-6 (最不黏手為 1)
1A	5	25	1	是	佳	6(軟)	3(很黏手)
1B	10	25	1	是	佳	5(軟)	4(很黏手)
1C	15	25	1	是	佳	4(軟)	4(很黏手)
1D	20	25	1	是	佳	3(軟)	5(很黏手)
1E	25	25	1	是	佳	2(軟)	5(很黏手)
1F	30	25	1	是	佳	1(最軟)	6(非常黏手)

註 1：成形的定義：可以用攪拌棒整團拉起來(成形)，無法整團拉起來(不成形)

註 2：延展性的定義：拉長可超過 100 公分(佳)，介於 50-99 公分(尚可)，低於 50 公分(差)

註 3：軟硬度排序的定義：由研究小組成員討論排序出來的，最軟為(1)，最不軟為(6)。

註 4：不黏手排序的定義：由研究小組成員討論排序出來的，最不黏手為(1)，最黏手為(6)。

(2)第 1 組實驗發現與討論：

- 1A 到 1F 的延展性都很好，慢慢拉都可以超過 1 公尺。
- 隨著沖洗液的增加，延展性越來越好，越來越軟，但也越來越黏。
- 第一組最好玩的是：從缺，因為都太黏手了，不疏壓，會被黏到很煩躁。需要再添
加讓史萊姆不黏手的材料。

(3)第 2 組實驗記錄：(單位:公克)

編 號	操作 變因 沖洗 液	控制 變因		應變 變因			
		膠水	小蘇打水	是否 成形	延展性	軟硬度 1-6 (最軟 1)	不黏手情況 1-6 (最不黏手為 1)
2A	5	25	2	是	差	6(不軟)	1(不黏手)
2B	10	25	2	是	尚可	5(不太軟)	2(不黏手)
2C	15	25	2	是	佳	4(軟)	3(有點黏手)
2D	20	25	2	是	佳	3(軟)	4(黏手)
2E	25	25	2	是	佳	2(軟)	5(很黏手)
2F	30	25	2	是	佳	1(最軟)	6(非常黏手)

註 1：成形的定義：可以用攪拌棒整團拉起來(成形)，無法整團拉起來(不成形)

註 2：延展性的定義：拉長可超過 100 公分(佳)，介於 50-99 公分(尚可)，低於 50 公分(差)

註 3：軟硬度排序的定義：由研究小組成員討論排序出來的，最軟為(1)，最不軟為(6)。

註 4：不黏手排序的定義：由研究小組成員討論排序出來的，最不黏手為(1)，最黏手為(6)。

(4)第 2 組實驗發現與討論:

- a. 2C 到 2F 的延展性都很好，慢慢拉都可以超過 1 公尺。2A 延展性明顯很差，不好拉長，容易斷。
- b. 隨著沖洗液的增加，延展性越來越好，越來越軟，但也越來越黏。
- c. 第 2 組最好玩的是：2C，很柔軟，好捏，很舒壓。雖然有點黏手，但玩一下之後就不太黏手了
- d. 我們發現黏手與不黏手的情況因人而異，通常手溫較高的同學，會覺得 2C 配方還是會黏手，可多加幾滴小蘇打水溶液，或是換成 2B 配方，來減緩黏手的情況。

(5)第 3 組實驗記錄:(單位:公克)

編號	操作變因 沖洗液	控制變因		應變變因			
		膠水	小蘇打水	是否成形	延展性	軟硬度 1-6 (最軟 1)	不黏手情況 1-6 (最不黏手為 1)
3A	5	25	3	是	差	6(不軟)	1(不黏手)
3B	10	25	3	是	差	5(不軟)	1(不黏手)
3C	15	25	3	是	尚可	4(軟)	1(不黏手)
3D	20	25	3	是	尚可	3(軟)	1(不黏手)
3E	25	25	3	是	佳	2(軟)	1(不黏手)
3F	30	25	3	是	佳	1(最軟)	1(不黏手)

註 1：成形的定義：可以用攪拌棒整團拉起來(成形)，無法整團拉起來(不成形)

註 2：延展性的定義：拉長可超過 100 公分(佳)，介於 50-99 公分(尚可)，低於 50 公分(差)

註 3：軟硬度排序的定義：由研究小組成員討論排序出來的，最軟為(1)，最不軟為(6)。

註 4：不黏手排序的定義：由研究小組成員討論排序出來的，最不黏手為(1)，最黏手為(6)。

(6)第 3 組實驗發現

- a. 3E 和 3F 的延展性比較好，3C 和 3D 的延展性稍微差了點，3A 和 3B 延展性最差，一拉就斷。
- b. 隨著沖洗液的增加，延展性越來越好，越來越軟。
- c. 第三組最好玩的是：3F。柔軟、好拉，又不黏手，是好的舒壓玩具。

d. 黏手與不黏手的情況常因人而異，手溫較高的同學會覺得 3F、3E 很黏手。

6. 統整第 1 組到第 3 組的實驗結果與發現：

- (1) 隨著沖洗液的增加(5g、10g、15g、20g、25g、30g)，延展性越來越好。
- (2) 隨著小蘇打水的增加(1g、2g、3g)，延展性越來越差、越來越不軟、越來越不黏手。延展性第 1 組優於第 2 組優於第 3 組。
- (3) 小蘇打水加太少會不容易成形，或是攪拌很久才會有點成形。攪拌時間最久的是第 1 組，1F 是攪最久的，攪到手很痠才略有成形，而且很黏手。第 3 組也要攪拌好一段時間，是時間是三組裡最短的。
- (4) 三組共 18 個組合裡面，剛製作完成的史萊姆都是白色的，攪拌越久的看起來越白，但擺放到隔天會變成透明無色，我們推測是因為攪拌時造成的氣泡消失了。
- (5) 三組共 18 個組合裡面，剛做好的史萊姆都會比較黏手，靜置一段時間後黏手情況有比較減緩，我們推測是產生化學反應需要一定的反應時間，若在反應時間內因為覺得史萊姆太黏手而一直添加小蘇打水，會在完全反應後得到一個比較硬的史萊姆。所以建議在製作完成後一個小時再開始玩史萊姆，若因太黏要添加小蘇打水，也建議一次只加幾滴就好。
- (6) 三組共 18 個組合裡面，大家最喜歡的手感是第 3 組的 3F。不黏手，延展性也很好，好拉、好捏又好玩，但此配方需要耗費較多的沖洗液(30g)，會增加成本。
- (7) 我們決定以第 3 組的 3C 配方比例，(膠水 25g、小蘇打水 3g、沖洗液 15g)為後續研究的基礎配方。此配方(不黏手、軟度尚可、延展性尚可)，是個不好也不差的史萊姆，很適合做為後續添加物的變化研究，會讓我們較容易觀察哪一項添加物能改善史萊姆的軟硬度及延展性。

(二)【實驗二】基本配方添加順序的研究

1. 實驗目的：了解相同配方中，改變添加順序，調配出的史萊姆有何不同。
2. 實驗材料：膠水、隱形眼鏡沖洗液、重量百分濃度 1%的小蘇打水溶液
3. 實驗配方：和第 3 組的配方相同，膠水 25g，小蘇打水 3g，沖洗液(A:5g、B:10g、C:15g、D:20g、E:25g、F:30g)
4. 實驗順序：
 - (1) 第 4 組：在膠水中，先加小蘇打水混合攪拌，再加入沖洗液持續攪拌，直到成形。
 - (2) 第 5 組：在膠水中，先加入沖洗液混和攪拌，再加小蘇打水持續攪拌，直到成形。

(3)第 6 組 :先把沖洗液和小蘇打水混和攪拌後, 再加進膠水裡持續攪拌, 直到成形。

5. 實驗記錄 :

(1)第 4 組實驗紀錄 : (單位:公克)

編號	添加順序			產生結果			
	膠水 (先)	小蘇打水 (先)	沖洗液 (後)	是否 成形	延展性	軟硬排序 (最軟 1)	不黏手排序 (最不黏手為 1)
4A	25	3	5	是	佳	6	1
4B	25	3	10	是	佳	5	2
4C	25	3	15	是	佳	4	3
4D	25	3	20	是	佳	3	4
4E	25	3	25	是	佳	2	5
4F	25	3	30	是	佳	1	6

註 1: 成形的定義: 可以用攪拌棒將史萊姆整團拿得起來(成形), 無法拿起來(不成形)

註 2 : 延展性的定義: 慢慢拉長可超過 100 公分(佳), 介於 50-99 公分(尚可), 低於 50 公分(差)

註 3: 軟硬度排序的定義: 由研究小組成員討論排序出來的, 最軟為(1), 最不軟為(6)。

註 4: 不黏手排序的定義: 由研究小組成員討論排序出來的, 最不黏手為(1), 最黏手為(6)。

(2)第 4 組實驗發現與討論:

- a. 膠水和小蘇打水先混合後, 若後續加入的沖洗液太多, 會有沖洗液難以混合均勻的形況, 4C、4D、4E 和 4F 都呈現一團有點成形的史萊姆和一些無法混合均勻的沖洗液, 很像出水的狀況, 都需要靜置一段時間, 再攪拌, 才會慢慢成形。
- b. 4A 和 4B 在攪拌的過程中沒有發生沖洗液無法攪入史萊姆中的情形, 我們推測是沖洗液添加的比較沒那麼多。
- c. 隨著沖洗液的增加, 史萊姆越來越黏, 4F 非常黏手, 黏到很難清理, 4A 是比較不黏手的。
- d. 第 4 組最好玩的是: 4C。4A、4B 雖然黏手情況沒有太嚴重, 但稍硬沒這麼好捏。4C 雖然有一點黏, 但玩久一點後黏手的情況會減緩。
- e. 我們比較不推薦用這個順序製作史萊姆(先加小蘇打水再加沖洗液), 因為沖洗液加多時容易溢出來, 而且要花費較多時間(需要靜置一段時間, 再繼續攪拌)。

(3) 第 5 組實驗紀錄：（單位:公克）

編號	添加順序			產生結果			
	膠水 (先)	沖洗液 (先)	小蘇打水 (後)	是否 成形	延展性	軟硬排序 (最軟 1)	不黏手排序 (最不黏手為 1)
5A	25	5	3	是	佳	6	1
5B	25	10	3	是	佳	5	2
5C	25	15	3	是	佳	4	3
5D	25	20	3	是	佳	3	4
5E	25	25	3	是	佳	2	5
5F	25	30	3	是	佳	1	6

註 1：成形的定義：可以用攪拌棒將史萊姆整團拿得起來（成形），無法拿起來（不成形）

註 2：延展性的定義：慢慢拉長可超過 100 公分（佳），介於 50-99 公分（尚可），低於 50 公分（差）

註 3：軟硬度排序的定義：由研究小組成員討論排序出來的，最軟為（1），最不軟為（6）。

註 4：不黏手排序的定義：由研究小組成員討論排序出來的，最不黏手為（1），最黏手為（6）。

(4) 第 5 組實驗發現與討論：

- 攪拌過程中，不會出現一團有點成形的史萊姆和一灘液體，從未成形到成形，都是非常均勻的狀態。
- 5A 到 5F 的延展性都很好，慢慢拉都可以超過 1 公尺。
- 隨著沖洗液的增加，延展性越來越好，越來越軟，但也越來越黏。
- 第 5 組最好玩的是：5C，因為不黏手了，很軟，好捏。

(5) 第 6 組實驗紀錄：（單位:公克）

編號	添加順序			產生結果			
	沖洗液 (先)	小蘇打水 (先)	膠水 (後)	是否 成形	延展性	軟硬排序 (最軟 1)	不黏手排序 (最不黏手為 1)
6A	5	3	25	是	佳	6	1
6B	10	3	25	是	佳	5	2
6C	15	3	25	是	佳	4	3
6D	20	3	25	是	佳	3	4
6E	25	3	25	是	佳	2	5
6F	30	3	25	是	佳	1	6

註 1：成形的定義：可以用攪拌棒將史萊姆整團拿得起來（成形），無法拿起來（不成形）

註 2: 延展性的定義: 慢慢拉長可超過 100 公分(佳), 介於 50-99 公分(尚可), 低於 50 公分(差)

註 3: 軟硬度排序的定義: 由研究小組成員討論排序出來的, 最軟為(1), 最不軟為(6)。

註 4: 不黏手排序的定義: 由研究小組成員討論排序出來的, 最不黏手為(1), 最黏手為(6)。

(6) 第 6 組實驗發現與討論:

a. 當沖洗液和小蘇打水的混合液較多時, 如 6E、6F, 會有些混合液不易攪進膠水裡的現象。

b. 6A 到 6F 都很黏手、延展性很好、很軟。隨著沖洗液的增加, 越來越黏手、延展性越來越好, 越來越軟。

c. 第 6 組最好玩的是:從缺, 因為都太黏手了。

6. 統整第 4 組到第 6 組的實驗結果與發現:

(1) 同樣的配方, 添加的順序不一樣, 產生化學反應的順序不同時, 製作出來的史萊姆手感也不相同。第 4 組有 5 個史萊姆都很黏手, 第 5 組只有 2 個會黏手, 第 6 組 6 個都很黏手。


(2) 第 4 組膠水和小蘇打水攪拌後, 變成更濃稠的膠水狀, 讓原本可以全部混和的沖洗液, 無法完全融合, 尚未攪拌進去的沖洗液也容易在攪拌過程中灑出來, 容易導致史萊姆製作失敗。第 5 組的史萊姆都有成形, 只有 2 個會黏手。第 6 組全部都很黏手, 6E 和 6F 會剩下一部份無法融進去的沖洗液。所以我們決定使用第 5 組的順序來做進階配方的研究, 以減少失敗率。

(三) 【實驗三】進階配方之加入不同添加物的史萊姆特性變化研究



1. 實驗目的: 將基本配方(膠水 25g、沖洗液 15g、濃度 1%小蘇打水 3g)加入生活中易取得的日用品或特殊的化學材料, 研究史萊姆的特性及手感的變化。

2. 實驗記錄:

(1) 加入著色用品的實驗記錄:

添加物名稱		照片	添加物淨重	實驗結果
著 色	壓克力 顏料		1 平匙 (咖啡攪拌棒)	軟、延展性微差、不透明狀

用品			2 平匙 (咖啡攪拌棒)	軟、延展性稍差、不透明狀
	水彩		1 平匙 (咖啡攪拌棒)	軟、延展性稍差、不透明狀
			2 平匙 (咖啡攪拌棒)	比較不軟、延展性更差、不透明狀
	廣告顏料		1 平匙 (咖啡攪拌棒)	變得比較不軟、延展性變差、不透明狀
			2 平匙 (咖啡攪拌棒)	變得更硬、延展性更差，一拉就斷、不透明狀
	食用色素		1 平匙 (咖啡攪拌棒)	化成濃稠的液狀、透明狀
			2 平匙 (咖啡攪拌棒)	化成稀釋的液狀、透明狀
	硬式粉彩		1 平匙 (咖啡攪拌棒)	很軟、延展性很好、不透明狀
			2 平匙 (咖啡攪拌棒)	很軟、延展性很好、不透明狀

藍色 珠光粉		1 平匙 (咖啡攪拌棒)	很軟、延展性很好、不透明狀且有金屬光澤
		2 平匙 (咖啡攪拌棒)	很軟、延展性很好、不透明狀且又金屬光澤


(2) 加入著色用品的實驗發現：

- 加入粉狀(珠光粉跟硬式粉彩)染色效果好且手感不變。
- 加入微量(約咖啡攪拌棒一平匙)的水彩、廣告顏料跟壓克力顏料可染出不透明狀的顏色，但軟硬度和延展性會改變。加入廣告顏料的延展性跟軟硬最差，其次是水彩，壓克力顏料變化最少，仍保持很軟、延展性佳。
- 加入 1-2 滴食用色素可染出透明感的顏色，加太多則會化成液狀(不成形)(後來我們加入 1-2 滴食用色素發現不會化掉，變的很軟)。
- 著色用品的推薦程度：珠光粉(很推薦)、硬式粉彩(很推薦)、壓克力顏料(推薦)、食用色素(推薦，只能加 2-3 滴)、水彩(不太推薦)、廣告顏料(非常不推薦)。

(3) 加入各式粉末的實驗記錄：

添加物名稱	照片	添加物淨重	實驗結果
各種粉末		1 公克	顏色變白、變軟，延展性佳。
		5 公克	顏色變白、變軟、黏手，延展性佳，感覺快要化掉(有點類似非牛頓液體)。
麵粉		1 公克	變白、軟、延展性佳。
		5 公克	變白、軟、延展性佳

各種粉末	太白粉		1 公克	白色、變軟、延展性佳
			5 公克	延展性佳、變軟、白色
	糯米粉		1 公克	有糯米香味、延展性佳、不黏手。
			5 公克	黏手、延展性佳
	石膏粉		1 公克	變得很黏手、變白、變軟、延展性佳
			5 公克	變白、變軟、延展性變好
	爽身粉		1 公克	延展性稍差、變白，有淡淡的香味
			5 公克	變更硬、延展性更差，有淡淡的香味
	酵母粉		1 公克	一開始看得到酵母顆粒，手感沒什麼變化。
			1 公克 (靜置 10 分鐘)	靜置 10 分鐘，就看不到酵母粉的顆粒了，變得像濃稠的膠水狀。

各種粉末		1 公克 (靜置 1 小時)	靜置 1 小時後，化成液狀，無法用攪拌棒拉起	
		5 公克	黏手、延展性好、有臭味	
		5 公克 (靜置 5 分鐘)	化成水狀，完全無法拉起有點臭	
	鐵粉		1 公克	灰黑色，強力磁鐵隔空靠近史萊姆，可以將史萊姆微微的吸起來。 
			5 公克	強力磁鐵更容易將史萊姆吸起來。鐵粉加越多，磁力越強。
			5 公克 (靜置一天)	靜置一天後，表層的史萊姆生鏽，有咖啡色液體、底層的史萊姆沒生鏽，但變得很硬，很難挖。聞起來有臭味，看起來很噁心，完全不敢碰。

(4) 加入各式粉末的實驗發現：



加入不同的粉末，史萊姆玩起來的特性及手感都會產生變化，有的跟粉末原本的特性很像，有些則產生了意想不到的結果，例如：

- 加入麵粉、太白粉 和糯米粉，史萊姆變成白色，捏起來很 Q 彈，很像在捏麵團。
- 加入玉米粉，史萊姆會變軟、變黏，再加多一點粉時，會有液狀感，很像非牛頓液體。
- 加入爽身粉的史萊姆會變硬。
- 加入鐵粉會有磁性，且能吸引鐵製品。

- e.比較特別是加入石膏粉，原以為可以讓史萊姆硬化，沒想到竟然越來越軟。
- d. 加入酵母粉也很特別，酵母粉顆粒會慢慢溶入史萊姆中，靜置一段時間後，會化成濃稠液狀。我們推測是酵母粉將史萊姆因交聯反應產生的網狀結構分解掉了。

(5) 加入清潔用品的實驗紀錄：

添加物名稱	照片	添加物淨重	實驗結果
清潔用品	洗衣精	0.5 公克	變硬、延展性變差、有洗衣精的味道、滑滑的。
		2 公克	延展性變差、結成一整塊，很滑。
	洗碗精	0.5 公克	不太成形，攪拌棒無法整團拉起
		2 公克	變得更稀，化成液狀。
牙膏		0.5 公克	變黏、變成濃稠膠液狀
		2 公克	化成液狀
刮鬍泡		0.5 公克	捏起來的手感很綿密，比較不柔軟
		2 公克	延展性稍差，但捏起來的手感更綿密。加越多會讓史萊姆的體積越來越大。

清潔用品	神奇檸檬清潔劑		0.5 公克	化成液狀，無法用攪拌棒拉起
			2 公克	化成液狀，無法用攪拌棒拉起
	黑皂液清潔劑		0.5 公克	變硬、變脆、延展性很差
			2 公克	變更硬、結塊、無法揉成團，



(6)加入清潔用品的實驗發現與討論：

- 會讓史萊姆化成液狀的添加物有：洗碗精、牙膏、神奇檸檬清潔劑
- 會讓史萊姆變硬的添加物有：洗衣精、刮鬍泡、黑皂液清潔
- 我們發現不同的清潔用品會讓史萊姆產生不同的變化，有的會讓史萊姆變硬，有的則會讓史萊姆化成液狀(若只加少量可變軟)，我們推測這些變化可能和清潔劑的酸鹼性有關，所以我們用廣用試紙檢測添加物的酸鹼性後發現，酸性的添加物會讓史萊姆變軟，加越多越軟，甚至會化成液狀。鹼性的添加物會讓史萊姆變硬，加越多越硬，且延展性越差，一拉就斷。

添加物名稱	添加物的酸鹼性	史萊姆的變化
洗衣精	鹼性	變硬/結塊
洗碗精	酸性	化成液狀
牙膏	測不出來	化成液狀
刮鬍泡	鹼性	變硬
神奇檸檬清潔劑	酸性	化成液狀
黑皂液清潔劑	鹼性	變硬

- 我們想進一步了解酸鹼性對史萊姆的影響，於是又找了不同酸鹼的物質做研究。

(7)加入酸鹼溶液的實驗紀錄：

	添加物名稱	照片	添加物淨重	實驗結果
酸 鹼 溶 液	工研醋 (酸性, ph 值約 3)		0.5 公克	大部分都化成液狀, 只剩一小團微成形的史萊姆。
			2 公克	全部化成水狀。
	檸檬原汁 (酸性, ph 值約 3)		0.5 公克	化成濃稠的液狀
			2 公克	變成更稀的液狀。
	糖水 (中性, ph 值約 7)		0.5 公克	延展性變好, 摸起來滑滑的, 不黏手。
			2 公克	變得比較黏, 延展性比較好。
生理 食鹽水 (中性, ph 值約 7)		0.5 公克	延展性變好、變軟	
		2 公克	延展性變好、變黏	

酸鹼溶液	肥皂水 (重量百分濃度 5%) (鹼性, ph 值約 8)		0.5 公克	無特別變化。
			2 公克	延展性變差、變硬。
	澄清石灰水 (鹼性, ph 值約 10)		0.5 公克	變硬、延展性變差
			2 公克	變更硬、延展性更差

(8)加入酸鹼溶液的實驗發現與討論：

- 加中性溶液會讓史萊姆變軟，加多會更軟、更黏，但不會化成液狀。
- 加酸性溶液會讓史萊姆變成濃稠液狀、持續添加則會化成液狀。
- 加鹼性溶液會讓史萊姆變硬，持續添加則會結成硬塊，很難捏。









添加物名稱	添加物的酸鹼性	史萊姆的變化
工研醋	酸性(ph 值約 3)	化成液狀
檸檬原汁	酸性(ph 值約 3)	化成液狀
糖水	中性(ph 值約 7)	變軟/變黏
生理食鹽水	中性(ph 值約 7)	變軟/變黏
肥皂水	鹼性(ph 值約 8)	變硬
澄清石灰水	鹼性(ph 值約 10)	變硬

d.我們可以利用生活中常見的酸鹼性添加物，來調整史萊姆的軟硬度，讓史萊姆有更多變化。

(四)【實驗四】進階配方之放置在不同溫度下史萊姆特性變化的研究

- 實驗目的：改變基本配方(膠水 25g、沖洗液 15g、小蘇打水 3g)周遭的溫度，會不會影響史萊姆的手感，讓我們知道史萊姆放在怎麼樣的環境可以比較好玩。

2. 放在不同的溫度環境的實驗紀錄：

放置溫度	照片	狀態	實驗結果	
不同溫度	冰箱冷凍 (-11 度)		剛從冰箱取出	剛從冰箱冷凍庫取出，硬硬的，像冰塊。
			退冰到常溫	退冰後，沒有透明感，應該是冷凍導致氣泡無法消失。捏起軟軟的，但是比進冷凍庫前差一點，延展性佳，手感也佳。
	冰箱冷藏 (6 度)			剛從冰箱冷藏取出，透明無色，手感和放進冷藏前差不多，比較不黏手。
	常溫		剛製作好	剛做好的史萊姆略呈白色，白色為攪拌時的氣泡造成，十分柔軟且延展性佳。
			靜置一天	擺放至隔天，氣泡消失後就呈現透明無色，柔軟、延展性也佳。
	高溫 隔水加熱 (約 59 度)		浸泡在 59 度的熱水 1 分鐘後	將史萊姆放在夾鏈袋中，浸泡在 59 度的熱水 1 分鐘後取出，史萊姆變得很軟也很黏手。
高溫 隔水加熱 (約 88 度)	 	浸泡在 88 度的熱水 1 分鐘後	將史萊姆放在夾鏈袋中，浸泡在 88 度的熱水 1 分鐘後取出，史萊姆變得非常的軟爛，放在塑膠容器中，軟到無法用攪拌棒整個拉起。溫度慢慢下降後，還是很軟，但攪拌棒可以拉起較多的史萊姆，持續降溫，最後攪拌棒還是能將整團史萊姆拉起。	

3. 放在不同的溫度環境的實驗發現：

- (1) 冷凍：剛取出時像冰塊，但退冰後，柔軟度跟延展性都不錯，可用來延長時萊姆的保存期限。
- (2) 冷藏：透明無色，手感跟冷藏前差不多，且比較不黏手，可利用低溫來保存史萊姆及降低史萊姆的黏性。

(3) 常溫：剛做好的史萊姆手感最好，雖然密封保存，但放在常溫下，柔軟度和延展性還是會隨著時間增加而變差。

(4) 高溫：將史萊姆隔水加熱，會讓史萊姆變軟、變黏，所以當史萊姆玩一陣子變硬或延展性變差時，可利用隔水加熱的方法讓史萊姆恢復柔軟。隨著隔水加熱的溫度越高，史萊姆也會變得更軟、更黏。

伍、研究結果與討論

一、基本配方的研究結果

(一) 無毒史萊姆最佳配方比例為：PASS 牌膠水 25 公克、晶寶牌隱形眼睛沖洗液 15 公克、重量百分濃度 1% 的小蘇打水溶液 3 公克。此配方做出來的史萊姆，捏起來很軟，不太黏手，延展性也很好。有些同學手溫較高，會覺得此比例還是黏手時，可多加幾滴小蘇打水溶液來減緩黏手情況。

(二) 無毒史萊姆最佳調配順序為：在膠水中，分三次先加入隱形眼鏡沖洗液，邊加邊攪拌，攪拌到有點濃稠後，再加入小蘇打水溶液繼續攪拌，直到能用攪拌棒將整團史萊姆拉起為止。當隱形眼鏡沖洗液和小蘇打水的添加順序相反時，沖洗液添加至 15g、20g、25g、30g，會出現一團有點成形的史萊姆和一灘溶不進去的沖洗液，不容易攪拌均勻，而沖洗液只添加至 5g、10g，攪拌過程則差異不大，但製作出來的史萊姆較黏手。若中低年級的小朋友要自製史萊姆，使用先加沖洗液的順序會比較好攪拌。

(三) 小蘇打水溶液加越多，史萊姆會比較硬、比較不黏手、延展性比較差。

(四) 沖洗液加越多，史萊姆會比較軟、比較黏手、延展性比較好。

二、進階配方的研究結果

加入不同的添加物，會讓史萊姆的特性及手感產生變化，我們根據史萊姆的軟硬度及延展性變化將添加物加以歸納整理如下表格：

(一)讓史萊姆「變色」的添加物：

		添加物名稱					
		粉狀		膏狀			液態
		硬式粉彩	藍色珠光粉	壓克力顏料	水彩	廣告顏料	食用色素
史 萊 姆	軟硬度	沒變	沒變	沒那麼軟	變硬	變很硬	變軟
	延展性	沒變	沒變	沒那麼好	變差	變很差	變好
	染色效果	不透明	金屬光澤	不透明	不透明	不透明	透明感
	是否推薦	✓	✓	✓	✗	✗	✓ 加 2-3 滴

註：食用色素加太多會化成膠水狀。

(二)讓史萊姆「變軟」的添加物：大多數的酸性溶液、中性溶液都能讓史萊姆變軟，還有一些常見的粉類，也能使史萊姆變軟。添加酸性溶液時要特別小心，加微量會讓史萊姆變軟，過量就會讓史萊姆化成濃稠膠水狀了。我們歸納整理如下表：

		添加物名稱									
		酸性溶液				中性溶液		其他			
		神奇檸檬	工研醋	檸檬原汁	洗碗精	糖水	生理食鹽水	酵母粉	牙膏	石膏粉	玉米粉
史 萊 姆	變軟	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
	加多會化成膠水狀	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗

(三)讓史萊姆「變硬」的添加物：大多數的鹼性溶液，都會讓史萊姆變硬、延展性變差。

		添加物名稱								
		鹼性溶液						其他		
		小蘇打水溶液	黑皂液	肥皂水	洗衣精	刮鬍泡	澄清石灰水	廣告顏料	水彩	爽身粉
史萊姆	變硬	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

(四)不同「溫度」對史萊姆的影響：將史萊姆密封好存放在不同溫度下，軟硬度跟延展性也會有所不同。

		存放環境				
		冷凍 (-11 度)	冷藏 (6 度)	常溫	高溫 (59 度)	更高溫 (88 度)
史萊姆	軟硬度	退冰後，還算柔軟、不黏手	柔軟、不黏手	天數增加，柔軟度會有點下降	變柔軟，變黏手	變更柔軟，也更黏手
	延展性	佳	佳	天數增加，延展性會有點下降	佳	溫度太高會化成膠水狀
	補充說明	延長保存期限	延緩老化	正常老化	回春妙招	容易燙傷，不建議使用

陸、結論

根據我們的研究，得到以下結論：

- 一、小蘇打水溶液加得越多，史萊姆的手感越硬。沖洗液加得越多，史萊姆會越軟，延展性會越好。推薦的配方比例為：膠水(25 公克)、隱形眼鏡沖洗液(20 公克、25 公克、30 公克均可)、重量百分濃度 1%的小蘇打水溶液(3 公克)。
- 二、添加的順序會影響史萊姆軟硬度。膠水先加沖洗液，再加小蘇打水是最容易攪拌均勻的。
膠水先加小蘇打再加入沖洗液，當沖洗液較多時，會有一灘液體不易和膠水混和均勻，且製作出的史萊姆偏黏。小蘇打先和沖洗液混和，再加入膠水裡，當沖洗液較多時，會有一灘液體不易和膠水混和均勻，且製作出來的史萊姆偏黏。推薦的順序為：沖洗液先加進膠水中攪拌，再將小蘇打水加入膠水中繼續攪拌。
- 三、添加物的酸鹼性，會影響史萊姆的軟硬度。酸性和中性的添加物會使史萊姆變軟；酸性添加物加太多史萊姆會變液狀；鹼性的添加物會使史萊姆變硬。
- 四、添加不同的粉末，會影響史萊姆的手感，大多時候史萊姆會呈現出粉末的特性，加麵粉、太白粉、糯米粉會像麵團、加鐵粉會有磁性，也有少部分出現出乎意料的反應，加酵母粉卻化成液狀、加石膏粉會變軟、加爽身粉會變硬。
- 五、不同的染色顏料，也會影響史萊姆的手感。添加粉狀（如硬式粉彩、珠光粉等）可以染成不透明狀的史萊姆，且能維持相同手感，十分推薦使用。加液狀(如食用色素)可以染成透明狀的史萊姆，加微量會變軟，推薦使用(加過多會化成液狀，要注意!)。加膏狀(如壓克力顏料、廣告顏料、水彩)可以染成不透明狀的史萊姆，但史萊姆會產生不同程度的變硬，壓克力顏料(變稍硬)、水彩(變硬)、廣告顏料(變很硬，一拉就斷)。
- 六、史萊姆存放在不同溫度的地方，也會產生不同的變化，如：在高溫會變軟，繼續增溫還會變成液狀，但降溫後又會慢慢成形。常溫回隨著天數慢慢變硬。低溫則可延緩變硬時間。
- 七、我們可以利用史萊姆的軟硬變化來解決問題，如衣服被史萊姆黏到且難以清理時，可以添加酸性溶液、牙膏或是泡熱水讓它化成液狀後，再用布輕輕擦拭即可。

柒、參考文獻資料

- 一、梅期光(2015)。認識科展的第一本書:科展完全攻略(3版)。臺北市:書泉。
- 二、(2017)。除塵小幫手-史萊姆的清潔大作戰。新北市 106 學年度中小學科學展覽會作品說明書。取自:
<https://science.ntpc.edu.tw/pro/Ctrl/OpenFileContent.ashx?id=BXC4DB3D4TRRT64FG832CTDD3Q4TRTT34HG833CDD6TC4T64TTFF6HBCC4DD3CQRRD>
- 三、(2016)。好玩的史萊姆。第 56 屆中小學科學展覽會作品說明書。取自:
https://jweb.kl.edu.tw/userfiles/1395/document/36621_%E7%A7%91%E5%B1%95%E8%AA%AA%E6%98%8E%E6%9B%B8-%E5%8F%B2%E8%90%8A%E5%A7%86%E7%9A%84%E6%88%90%E5%88%86.pdf
- 四、洪安蕎、馬韻甯(2021)。史用說明-史萊姆的應用。第 61 屆全國中小學科展報告。台灣網路科教館。取自: <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=17228&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=19078>
- 五、吳雨珊、鄭穎駿、歐陽昱婷、潘仲奇、劉信亨(2017)。「膜」力十足-鼻涕蟲配方對性質與拉膜之研究。第 57 屆全國中小學科展報告。台灣網路科教館。取自:
<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=65&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=4&sid=13801>
- 六、李成泰(2017)。是好幫手還是壞朋友?令人又愛又恨的「硼酸」。2022 年 11 月 3 日, 取自: <https://www.tcsb.gov.tw/fp-263-2724-1c94a-1.html>
- 七、捏它、擠它、壓它! 基礎 PVA 史萊姆(2020 年 7 月 31 日)。和平國際。2022 年 11 月 3 日, 取自: https://www.kidsplay.com.tw/learn/content/453#.Y_M__nZBz2d
- 八、孩童最愛的史萊有毒!含硼砂「接觸 5 克即致死」(2021 年 1 月 21 日)。TVBS 新聞網。2022 年 11 月 3 日, 取自:
https://tw.news.yahoo.com/news/%E5%AD%A9%E7%AB%A5%E6%9C%80%E6%84%9B%E5%8F%B2%E8%90%8A%E5%A7%86%E6%9C%89%E6%AF%92-%E5%90%AB%E7%A1%BC%E7%A0%82-%E6%8E%A5%E8%A7%B8%E5%85%8B%E5%8D%B3%E8%87%B4%E6%AD%BB-074022130.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAALs_Y73WgX4JppIaCJAGWqvgur0_zVMCMzkNNYu_kg23PkP031vWqe-0JRrrPIHIKnJ_mGTop6mGyhDiP01XsfjPc0fE6_Wq7mUaxB0BnT-mYXk8GVbDuYiWbZlJ9iz5hNINjsjGacGQIpceZ5tu6htfFZAbzn61Nrd1Er7isho9
- 九、伊娃(2021)。超簡單! 史萊姆製作 DIY, 只要 3 種原料, 教你做出無硼砂版鼻涕黏土。2022 年 11 月 3 日, 取自: <https://evalife.cc/slime/>
- 十、吳奕萱(2013)。聚乙烯醇 — 膠水的成分。科學 online 網 高瞻自然科學教學資源平台。2023 年 2 月 6 日, 取自: <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=46567>
- 十一、交聯反應(無日期)。中文百科網。2023 年 2 月 6 日, 取自:
<https://www.newton.com.tw/wiki/%E4%BA%A4%E8%81%AF%E5%8F%8D%E6%87%89/1086373>
- 十二、認識食物中添加硼酸及其嚴厲之安全性。彰化縣衛生局。2023 年 3 月 10 日, 取自:
<https://www.chshb.gov.tw/node/190922821>