

# 臺東縣第 61 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：生活與應用科學科（二）

組 別：國小組

作品名稱：「史」用說明-史萊姆的應用

關鍵詞：聚乙烯醇、硼砂、史萊姆

編 號：

# 目錄

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 目錄 .....                              | i   |
| 圖目錄.....                              | iii |
| 表目錄.....                              | iv  |
| 摘要 .....                              | 1   |
| 壹、研究動機.....                           | 1   |
| 貳、研究目的 .....                          | 1   |
| 參、研究設備及器材.....                        | 1   |
| 一、聚乙烯醇 (Polyvinyl Alcohol, PVA) ..... | 2   |
| (一) PVA 分子量.....                      | 3   |
| (二) PVA 鹼化度.....                      | 3   |
| (三) 五種 PVA 的特性介紹.....                 | 3   |
| 二、硼砂 .....                            | 4   |
| 三、溫度計的的校正.....                        | 5   |
| 肆、研究過程或方法.....                        | 6   |
| 一、史萊姆的介紹 .....                        | 6   |
| 二、PVA 溶液與硼砂水濃度 .....                  | 6   |
| (一) PVA 的濃度： .....                    | 6   |
| (二) 硼砂的濃度： .....                      | 7   |
| 三、PVA 溶解方法： .....                     | 7   |
| 四、史萊姆的拉筋.....                         | 8   |
| 五、實驗測定標準 .....                        | 8   |
| (一) 史萊姆於不同材質的沾黏比較 .....               | 8   |
| (二) 本實驗於不同應用之測定標準 .....               | 10  |
| 六、實驗方法 .....                          | 11  |
| (一) 應用一：黏貼於牆上的黏性與殘膠狀況.....            | 11  |
| (二) 應用二：冰敷袋 .....                     | 12  |
| (三) 應用三：清潔鍵盤.....                     | 12  |
| (四) 應用四：護腕墊 .....                     | 13  |
| 伍、研究結果 .....                          | 13  |
| 一、膠水、PVA 與史萊姆的黏性比較 .....              | 13  |
| (一) 膠水和 PVA 溶液的黏性比較 .....             | 14  |
| (二) 五種有拉筋史萊姆的黏性比較.....                | 15  |
| (三) 五種有拉筋史萊姆的黏性比較.....                | 15  |
| 二、水與史萊姆之冰敷袋結果比較 .....                 | 16  |
| 三、有拉筋史萊姆清潔鍵盤之實驗結果 .....               | 17  |
| (一) 鍵盤表面.....                         | 18  |
| (二) 鍵盤表面.....                         | 18  |
| 四、五種沒拉筋 PVA 護腕墊之實驗結果.....             | 18  |
| 陸、討論 .....                            | 19  |
| 一、膠水、PVA 溶液與有拉筋與沒拉筋史萊姆的黏性比較 .....     | 19  |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 二、史萊姆製成冰敷袋之比較 .....          | 20 |
| 三、史萊姆清潔鍵盤之比較 .....           | 20 |
| 四、史萊姆製成護腕墊之比較 .....          | 21 |
| 柒、結論 .....                   | 21 |
| 一、膠水、PVA 與史萊姆的黏性測試 .....     | 21 |
| 二、史萊姆製成冰敷袋之測試 .....          | 21 |
| 三、史萊姆是否可以用於清潔隙縫或不規則的表面 ..... | 22 |
| 四、史萊姆使否適合做護腕墊 .....          | 22 |
| 捌、參考文獻資料 .....               | 22 |
| 附件 .....                     | 23 |

## 圖目錄

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 圖 1.利用冰點法與沸點法校正溫度對照圖 .....       | 5  |
| 圖 2.六種不同比例的硼砂水 .....             | 7  |
| 圖 3.不同種類的 PVA 顆粒無法在常溫下溶解於水中..... | 8  |
| 圖 4.測試黏度所採用的材質 .....             | 9  |
| 圖 5.史萊姆於水泥漆牆面黏性實驗.....           | 11 |
| 圖 6.結凍的史萊姆和水的融化速度比較實驗.....       | 12 |
| 圖 7.清潔鍵盤 .....                   | 12 |
| 圖 8.護腕墊支撐性實驗 .....               | 13 |

## 表目錄

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 表 1.研究設備及器材.....              | 2  |
| 表 2.不同種類的 PVA 鹼化度和分子量.....    | 3  |
| 表 3.溫度計未校正前的冰點與沸點.....        | 5  |
| 表 4.不同濃度的硼砂水沉澱情況.....         | 7  |
| 表 5.不同種類的 PVA 與不同溶解方式比較表..... | 7  |
| 表 6.加入相同硼砂水史萊姆的性質.....        | 9  |
| 表 7.史萊姆於不同材質測試黏度實驗.....       | 9  |
| 表 8.史萊姆於不同材質標準之沾黏性與流動程度.....  | 10 |
| 表 9.本實驗於不同應用所使用的標準.....       | 11 |
| 表 10.膠水、PVA 與史萊姆的黏性比較.....    | 14 |
| 表 10(A).膠水和 PVA 溶液的黏性比較.....  | 14 |
| 表 10(B).五種有拉筋史萊姆的黏性比較.....    | 15 |
| 表 10(C).五種沒拉筋史萊姆的黏性比較.....    | 15 |
| 表 11.不同 PVA 種類的冰敷袋之校正後溫度..... | 16 |
| 表 12.五種有拉筋史萊姆清潔鍵盤的比較.....     | 17 |
| 表 13.五種沒拉筋 PVA 護腕墊實驗結果.....   | 18 |

## 摘要

從小我們就很喜歡玩史萊姆，又黏又 Q 的史萊姆除了可以當玩具紓壓之外，還可以有什麼其他生活應用呢？查了相關文獻和資料之後，我們找出史萊姆的原料：聚乙烯醇與硼砂水，同時，測試史萊姆的黏性、作為冰敷袋的效果、清潔鍵盤的效果以及作為護腕墊的效果等實驗。在黏性實驗中，五種聚乙烯醇的表現皆有所差異。在冰敷袋實驗方面，史萊姆做成的冰敷袋可以增加受傷部位冰敷的時間，且沒有漏水的問題。在清潔鍵盤上，史萊姆可以達到清潔鍵盤表面與隙縫，而且沒有殘膠的效果。在護腕墊實驗上，經過調整後的史萊姆也可以當作舒適的護腕墊。

## 壹、研究動機

近年，史萊姆在學校廣為流行，史萊姆為半液態狀態的物體，性質介於固態與液態之間，抓起來 Q 軟黏稠的觸感，具有非常好的療癒效果，學校的同學對於史萊姆也是愛不釋手，也因為如此，我從國小 2 年級開始接觸它，平常閒暇時間，就會製作幾個史萊姆來玩，國小四、五年級也以史萊姆為主題，參與校內競賽，同時也獲得佳績。現在有機會參與科展，因此，我們決定用史萊姆為主題，繼續做更深入的研究發展。

## 貳、研究目的

為了對史萊姆更加的了解，我們找了大量的相關文獻，其中，包含了它的生活應用，我們對於它的生活應用有很大的想法，因此我們決定了以下的實驗目的。

- 一、膠水、PVA 與史萊姆的黏性比較
- 二、史萊姆製成冰敷袋
- 三、史萊姆是否可以用於清潔隙縫或不規則的表面
- 四、史萊姆是否適合做護腕墊

## 參、研究設備及器材

PVA 與硼砂是史萊姆的主要成分，所以我們會在這兩項材料加以研究與探討。

在實驗過程中發現，在相同環境下，每支溫度計的溫度卻不同，代表溫度計不精準，為了讓測量出來的溫度更精準，所以在溫度計的方面，我們會進行校正的動作。以下是我們這次使用的實驗器材。

表 1.研究設備及器材

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
|    |    |    |    |
| 五種聚乙烯醇 (PVA)  | 硼砂  | 磅秤   | 滴管  |
|   |    |   |   |
| 量筒  | 燒杯 (四種大小)   | 攪拌棒  | 溫度計   |
|  |  |  |  |
| 鍋子  | 夾鏈袋   | 休閒爐  | 鍵盤  |

### 一、聚乙烯醇 (Polyvinyl Alcohol, PVA)

聚乙烯醇 (Polyvinyl Alcohol, 簡稱 PVA) 是在西元 1924 年, 由德國的科學家 Dr. Hermann 與 Dr. Haenel 共同研究, 所得到的水溶性高分子化合物, PVA 是一種白色或微黃色顆粒或粉狀, 安定無毒的水溶性高分子。

在醫療方面, 醫藥級聚乙烯醇, 不同於化工級別聚乙烯醇, 它是一種極安全的高分子有機物, 對人體無毒, 無副作用, 具有良好的生物相容性。另外, 在 2019 年 5 月 30 日, 一

項最新國際研究發現，普通膠水中含有的聚乙烯醇，可以作為造血幹細胞的培養液，在此基礎上有望大幅降低造血幹細胞的培養成本，幫助治療白血病等疾病。

（出處：誠興企業服務中心---產品應用。聚乙烯醇-PVA。）

在化學應用上，聚乙烯醇的用途非常廣泛，可用作漿料、塗料、黏著劑（例如：透明膠水）、穩定劑、分散劑、乳化劑、增厚劑、感光劑和填充材料、史萊姆（玩具）等。

表 2.不同種類的 PVA 鹼化度和分子量

| PVA 種類 | BF-17       | BP-05       | BP-17       | BP-24         | BC-20         |
|--------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| 簡稱     | PVA(1)      | PVA(2)      | PVA(3)      | PVA(4)        | PVA(5)        |
| 分子量    | 75000-80000 | 27000-32000 | 84000-89000 | 118000-124000 | 120000-132000 |

PVA 的性質決定於兩個因素：分子量與鹼化度，接下來我們將分別介紹如下。

#### （一）PVA 分子量

聚合度表示分子量的大小。聚合度高則分子量高，表現出來的性質有：溶液的黏度高，皮膜的物理強度（如耐撕裂強度，斷裂時的伸長率與抗張力）、保護膠體的能力也隨分子量增加而增加，但其滲透力與表面張力降低的介面活性性質隨分子量增加而降低，反之亦然。（出處誠興企業服務中心---產品應用。聚乙烯醇-PVA。）

#### （二）PVA 鹼化度

鹼化度系表示疏水的醋酸基被親水基取代的程度，鹼化度愈高（如完全鹼化品 BF 類 PVA）對親水性物質如天然纖維（棉、麻、紙張）的親合力愈高，接著力也愈好，部份鹼化 BP 類 PVA 因為有保留一部份的疏水基，所以對疏水性物質如聚酯纖維具有優異的接著力。（誠興企業服務中心---產品應用。聚乙烯醇-PVA。）

#### （三）五種 PVA 的特性介紹

1. BF-17 簡稱 PVA(1)：白色或淡黃色粉末高分子聚合物，分子量 75000-80000，鹼化度 98.5-99.2。是完全鹼化品。應用於膠水、可撕式面膜、黏合劑、成膜劑、增稠劑、抗沈積劑和助乳化劑等。

2. BP-05 簡稱 PVA(2)：白色或淡黃色粉末高分子聚合物，分子量 27000-32000，鹼化度 86-89。是部分鹼化品。應用於膠水、可撕式面膜、黏合劑、成膜劑、增稠劑、抗沈積劑和助乳化劑等。
3. BP-17 簡稱 PVA(3)：白色或淡黃色粉末高分子聚合物，分子量 84000-89000，鹼化度 86-89。是部分鹼化品。應用於膠水、可撕式面膜、黏合劑、成膜劑、增稠劑、抗沈積劑和助乳化劑等。
4. BP-24 簡稱 PVA(4)：白色或淡黃色粉末高分子聚合物，分子量 118000-124000，鹼化度 86-89。是部分鹼化品。應用於膠水、可撕式面膜、黏合劑、成膜劑、增稠劑、抗沈積劑和助乳化劑等。
5. BC-20 簡稱 PVA(5)：白色或淡黃色粉末高分子聚合物，分子量 120000-132000，鹼化度 78.5-81.5。是超低鹼化品。應用於膠水、可撕式面膜、黏合劑、成膜劑、增稠劑、抗沈積劑和助乳化劑等。

(出處：誠興企業服務中心---產品應用。聚乙烯醇-PVA。)

(出處：帝一化工---購物網。聚乙烯醇-PVA。)

## 二、硼砂

「硼砂」並非元素態的硼，而是硼與氧、水、鈉的化合物-四硼酸鈉 ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )。早期常添加在食品中，增加韌性口感與保水度，不過基於硼砂對人體的危害，世界上許多國家包括臺灣都已禁止硼砂在食品保存與防腐中使用。

在化學應用上，硼砂用於黃金鑄造的過程。之後，古埃及與羅馬人也會使用硼砂製作玻璃器皿。

在醫療應用上，硼砂與硼酸被認為具有抑制細菌與真菌的性質，普遍被製成各式軟膏、敷藥、溶液藥。

在食品應用上，早期常添加硼砂在食品中，增加韌性口感與保水度，如蝦仁、黃油麵、鹼粽、貢丸、魚丸、年糕、燒餅等等。那麼，硼砂為什麼能讓食品變 Q 呢？其奧妙在於將硼砂溶於水時，會產生硼酸，並進一步與水中的氫氧根結合成硼酸根離子，與多醣中的官能基進行縮合反應（一種將兩個分子的官能基結合並脫去其他分子的反應）。換句話說，硼砂是澱粉分子間的關鍵連結，負責將各個分子交聯（Cross-Link）在一起，從而產生「QQ 的」口感。（出處：硼砂：讓食物變得 QQ 的月石。硼砂。2017）

### 三、溫度計的校正

在實驗室裡最常看見的溫度計是酒精溫度計，酒精溫度計適合測量的範圍為物體內部溫度，一般用來測量室溫或測量人體體溫以及用於實驗測量使用等。

我們在挑選溫度計時發現每支溫度計在室溫時的溫度不同，因此每支溫度計的溫度都有誤差，發現如果要精準的測量溫度需要校正溫度計，並了解溫度計可以運用沸點法和冰點法來進行測量數據的校正。進行沸點法的實驗時，要先準備六個酒精溫度計、一台休閒爐、鍋子和水，首先把水和酒精溫度計放進鍋子裡，再放在休閒爐上煮沸，等酒精溫度計的溫度停止上升後，紀錄溫度。冰點法也要準備六個酒精溫度計、夾鏈袋，先把溫度計放入有水的夾鏈袋中，密封好，接著冰入冰箱一天後，拿出來紀錄溫度。最後，我們利用水的冰點 0°C 與沸點 100°C，以及測量的冰點與沸點進行數據的調整，校正測量的溫度。

$$\text{校正後的溫度} = \frac{(\text{測量溫度} - \text{測量之冰點}) \times 100}{\text{測量之沸點} - \text{測量之冰點}}$$

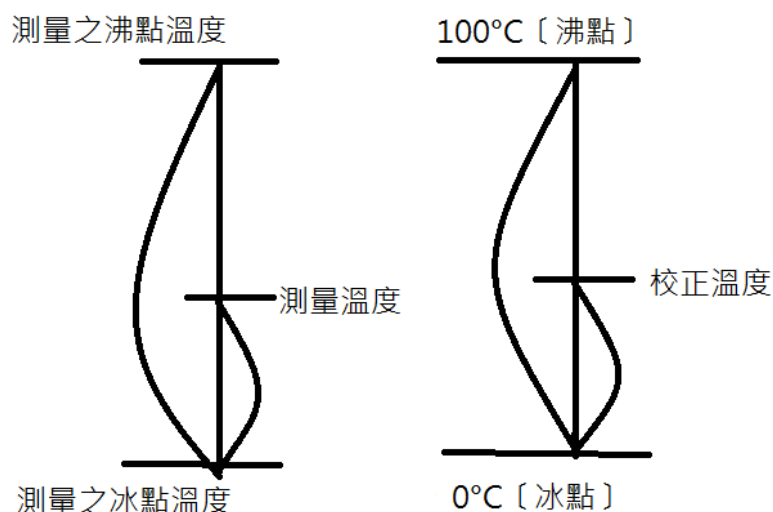


圖 1.利用冰點法與沸點法校正溫度對照圖

表 3.溫度計未校正前的冰點與沸點

| 未校正溫度 (°C) | 測量水的溫度計 | 測量 PVA(1) 的溫度計 | 測量 PVA(2) 的溫度計 | 測量 PVA(3) 的溫度計 | 測量 PVA(4) 的溫度計 | 測量 PVA(5) 的溫度計 |
|------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 未校正的沸點溫    | 100     | 110.5          | 106.5          | 98.5           | 102            | 101.5          |
| 未校正的冰點     | -1      | -1             | -1             | -1             | -2             | -3             |

## 肆、研究過程或方法

### 一、史萊姆的介紹

史萊姆的英文原名為 Slime，意思是黏液、污濁的泥漿等黏稠狀物質。最早的史萊姆出現於 20 世紀初，是種會在大賣場看到的黏稠狀黏土玩具。近期，史萊姆成為許多人舒壓的一種玩具，也變成網路及學校的流型產品。

一般史萊姆的製作方法是將膠水與硼砂水依比例均勻混合形成。科展文獻中（吳丞哲與范綺真等人，2018）指出，其實與硼砂水產生作用的是膠水的主要成分聚乙烯醇（PVA）。硼砂溶於水中會產生硼酸根離子(B(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>)，具有 4 個氫氧根，硼酸根離子會跟 PVA 中的醇基（OH-）產生交聯作用，脫去水分子，產生縮合反應，讓硼酸根和 PVA 形成更黏稠並具有彈性的聚合物。（出處：吳丞哲與范綺真等人，2018）

### 二、PVA 溶液與硼砂水濃度

由於我們購買的 PVA 與硼砂都是屬於顆固態的顆粒，因此我們需要先將 PVA 與硼砂溶解於水，才進行後續的實驗，因此，再進行 PVA 溶液與硼砂水混合之前，我們需要確認其各別濃度，以下為 PVA 與硼砂分別溶於水的比例濃度介紹：

溶解：溶質的分子分散在溶劑中，形成溶液的過程。

濃度：溶質在溶液中的含量。

$$\text{濃度} = \frac{\text{溶質}}{\text{溶液} + \text{溶質}}$$

溶質：溶液中被溶解的物質。

溶劑：一種可溶解其他物質之成份，通常為液體。

溶液：兩種或兩種以上的物質混合形成的均勻混合體。

#### （一）PVA 的濃度：

根據參考資料（國立台中教育大學，彈性球--膠水系列 3 之 1），膠水中，PVA 的含量約 12%，因此，我們的研究將使用這個比例進行實驗。

## (二) 硼砂的濃度：

根據 2018 年全國科展化學組作品說明書內容指出（吳丞哲與范綺真等人，2018），其研究以 1%、4%、6% 的硼砂水溶液濃度進行實驗，所以我們以 1%、2%、3%、4%、5%、6% 的硼砂水溶液濃度進行實驗。在調製硼砂中，我們將硼砂加入熱水中攪拌，等待冷卻後，發現六種不同比例的硼砂水皆有沉澱，表示硼砂水溶液皆呈現飽和狀態，所以我們使用最低濃度的 1% 硼砂水溶液，作為加入 PVA 的硼砂水溶液標準。

表 4. 不同濃度的硼砂水沉澱情況

| 硼砂濃度 | 1% | 2% | 3% | 4% | 5% | 6% |
|------|----|----|----|----|----|----|
| 沉澱   | 有  | 有  | 有  | 有  | 有  | 有  |



圖 2. 六種不同比例的硼砂水

## 三、PVA 溶解方法：

根據文獻（吳丞哲與范綺真等人，2018）指出，PVA(1)、PVA(2)、PVA(3)、PVA(4) 需要加熱才能溶解，PVA(5) 則是常溫就能溶解。因此，我們分別進行常溫與加熱的溶解，其結果如下表所示。

表 5. 不同種類的 PVA 與不同溶解方式比較表

| 溶解方式 | 狀態 | PVA(1) | PVA(2) | PVA(3) | PVA(4) | PVA(5) |
|------|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 常溫溶解 | 溶解 | 無      | 無      | 無      | 無      | 無      |
| 加熱溶解 | 溶解 | 有      | 有      | 有      | 有      | 有      |

在常溫溶解實驗中，我們取 88ml 的 RO 水與 12g 的 PVA 放入 250ml 的量杯，過一段時間之後觀察，發現五種 PVA 皆有膨脹，呈現透明顆粒狀，但都無法完全溶解。

在使用加熱溶解方法時，利用隔水加熱法將五種 PVA 經攪拌後皆能完全溶解。

根據實驗結果，我們發現在使用常溫溶解方法時，常溫無法溶解五種 PVA，所以我們使用加熱溶解的方式來溶解五種 PVA。



圖 3.不同種類的 PVA 顆粒無法在常溫下溶解於水中

#### 四、史萊姆的拉筋

由於硼砂會解離出硼酸根離子  $B(OH)_4$  與 PVA 分子形成交聯作用（Cross Linking），使分子無法自由運動，因此有固化（變成史萊姆）的現象。在實驗中，史萊姆的製作，如果一次加入過多硼砂水時，史萊姆會出現固化且較難拉動的情況，為了使硼砂水與 PVA 無法完全均勻混合，因此，需要手動重複拉扯與延展的方式使 PVA 溶液與硼砂水均勻混和，我們稱此過程為拉筋。




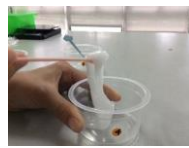
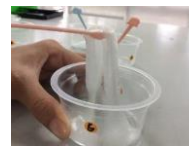
#### 五、實驗測定標準

##### （一）史萊姆於不同材質的沾黏比較

等量 10 克的五種 PVA 加入等量 1 克的硼砂水，均勻混合後所製成的史萊姆差異很大，有的還呈現液態水狀，有的卻已經成形且不黏手了，所以加入相同硼砂水無法作為我們的實驗標準。以下是我們實驗的結果。

在實驗中，我們發現五種 PVA 分別加入等量硼砂水後，每一種史萊姆的黏性皆不相同，因此，加入硼砂水數量無法作為我們實驗的標準，所以我們經過實驗後決定以史萊姆在不同材質上的沾黏狀況作為我們實驗的標準。我們以日常生活中常見的五種材質進行史萊姆沾黏的比較，分別有鍵盤、A4 影印紙、厚紙板、透明塑膠片以及手。

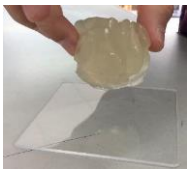
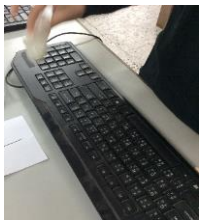



表 6.加入相同硼砂水史萊姆的性質

| 種類          | PVA(1)  | PVA(2)  | PVA(3)  | PVA(4)  | PVA(5)  |
|-------------|---|---|---|---|---|
| 混合均勻<br>後狀態 |  |  |  |  |  |
|             | 成型且不黏手  | 沒成型   | 成型且不黏手  | 成型且不黏手  | 成型且不黏手  |



在實驗過程中，我們逐步加入硼砂水，史萊姆的黏性會隨著加入硼砂水的量而降低，加入硼砂水的過程中，我們會用史萊姆對每一種材質進行沾黏測試。最不沾黏史萊姆的材質是透明塑膠片，其次為鍵盤、A4 影印紙、手，最後為厚紙板。

表 7.史萊姆於不同材質測試黏度實驗

| 材質       | 透明塑膠片   | 鍵盤  | A4 影印紙  | 手   | 厚紙板   |
|----------|---|---|---|---|---|
| 實驗<br>照片 |  |  |  |  |  |

同時，我們在實驗中也發現，加入不同硼砂水量的史萊姆，其沾黏程度和流動性會產生不同的變化，加入硼砂水的量愈多，史萊姆的黏性與流動性也因此變的愈差。

因為史萊姆加入硼砂水的量會影響黏性與流動性，根據前面的實驗結果，我們把史萊姆的黏性與流動性依序分為五種標準，沾黏性最好的與流動性最佳的為塑膠片，其次為鍵盤、A4 影印紙、手，最後是黏性與流動性最差的為厚紙板。

表 8.史萊姆於不同材質標準之沾黏性與流動程度

| 標準    | 標準一 | 標準二 | 標準三    | 標準四 | 標準五 |
|-------|-----|-----|--------|-----|-----|
| 材質    | 塑膠片 | 鍵盤  | A4 影印紙 | 手   | 厚紙板 |
| 沾黏的程度 | 1   | 2   | 3      | 4   | 5   |
| 流動的程度 | 1   | 2   | 3      | 4   | 5   |

註 1：沾黏的程度 1 表示最容易沾黏，5 表示最不容易沾黏

註 2：流動性 1 表示流動性最好，5 表示流動性最差

## （二）本實驗於不同應用之測定標準

根據應用一的實驗，PVA 與史萊姆的黏性測試。我們希望 PVA 與史萊姆具有黏性，且希望在黏貼時能互相貼合，因此，在上面五個實驗標準中，符合標準一的史萊姆最具有黏性，流動性也最好，所以，我們選取第一個標準-標準一，以透明塑膠片的沾黏作為實驗標準。

根據應用二的實驗，史萊姆製成冰敷袋之測試。因為冰敷效果不受黏性影響，但需要有足夠的流動性，冰敷袋才會貼合皮膚，所以，在上面五個實驗標準中，標準一是流動性最好的階段，因此，我們選取標準一，以透明塑膠片的沾黏作為實驗標準。

根據應用三的實驗，史萊姆是否可以用於清潔隙縫或不規則的表面。因為主要設定目標是清潔鍵盤，但我們又怕停留時間太久，留有殘膠，因此，在上面五個實驗標準中，我們選擇作清潔鍵盤材質（標準二）後面的下一個標準-標準三，以 A4 影印紙的沾黏程度作為實驗標準。

根據應用四的實驗，史萊姆製成護腕墊之測試。我們希望做出不黏手的護腕墊，且使用上具有支撐性。我們加硼砂水到符合標準四之後，卻發現史萊姆沒有支撐性，因此，我們選取標準四後再繼續加入硼砂水，直到史萊姆具有支撐性，以此作為護腕墊之實驗標準。

表 9.本實驗於不同應用所使用的標準

| 應用 |    | 黏貼    | 冰敷袋   | 清潔鍵盤 | 護腕墊               |
|----|----|-------|-------|------|-------------------|
| 實驗 | 標準 | 標準一   | 標準一   | 標準二  | 標準四               |
|    | 材質 | 透明塑膠片 | 透明塑膠片 | 鍵盤   | 手，且繼續加入硼砂水直到具有支撐性 |

## 六、實驗方法

### (一) 應用一：黏貼於牆上的黏性與殘膠狀況

在學校時，我們發現有很多老師會將需要公告的訊息黏貼在牆壁上，或者在學校辦理活動時，用來做方向指示或成績公布，因此，我們的實驗會將紙張黏貼在牆壁上進行測試。

在進行黏性實驗前，我們發現一般人黏貼 A4 影印紙在牆上時，多半是用膠水或膠帶，但在清除膠帶時總是會有殘膠，所以我們想進行史萊姆的黏性與留有殘膠方面得研究並和膠水進行比較。我們先把濃度 12% 的五種 PVA 溶液、五種符合標準一的有拉筋史萊姆、五種符合標準一的沒拉筋史萊姆，分別塗在 A4 影印紙的四個角落，黏貼在室內水泥牆上三天，並在這段期間觀察紙張的脫落、滑落情形，三天後，將它撕掉時，觀察清除情形與殘膠狀態並記錄其結果。

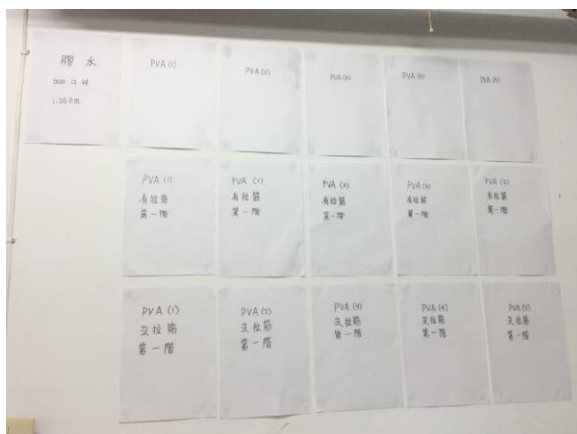


圖 5.史萊姆於水泥漆牆面黏性實驗

## （二）應用二：冰敷袋

在學校活動時，常發生破撞，護士阿姨都會給我們冰敷袋冰敷。因為學校學生多，所以需要大量冰敷袋，而我們學校冰敷袋是用夾鏈袋裝水製作而成。冰敷時冰融化後常常弄得溼答答，讓大家很困擾，所以我們想探討是否能用史萊姆來製成冰敷袋解決這個困擾。

冰敷袋實驗中，我們準備了符合標準一的有拉筋史萊姆和夾鏈袋。因為冰敷袋實驗中，我們希望冰敷袋貼合在傷口上，需要有流動性，所以我們選擇有拉筋的史萊姆。首先，我們先把五種符合標準一的有拉筋史萊姆各取 30g 分別放入五個夾鏈袋內，每個夾鏈袋中分別再放入一支溫度計，再將夾鏈袋密封住，放入冰箱冷凍庫內。一天後，我們將冰敷袋從冰箱拿出，並每 10 分鐘紀錄一次溫度的變化，來觀察溫度的改變。



圖 6.結凍的史萊姆和水的融化速度比較實驗

## （三）應用三：清潔鍵盤

在生活中，我們常用到電腦，但電腦卻很難清理，市面上有人利用史萊姆的流動性與沾黏性這兩種優勢，發展出一種專門清鍵盤的史萊姆，但在文具店的這些清潔用的史萊姆通常都要 40 元起跳，甚至還要破百元，所以我們想試著作出成本較低的清潔用史萊姆。

在清潔鍵盤的實驗中，我們準備了符合標準三且有拉筋的五種史萊姆，和沾滿灰塵的五個鍵盤。首先，我們拿史萊姆分別清潔鍵盤的縫隙與表面，五個史萊姆分別清潔五個鍵盤，每個地方至少清潔一次後，接著分別觀察表面與縫隙的清潔與殘膠狀況，並記錄下來。

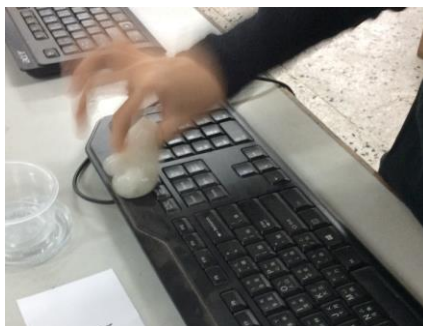


圖 7.清潔鍵盤

#### (四) 應用四：護腕墊

打電腦使用滑鼠時，手腕與堅硬的桌面摩擦非常不舒服，所以想了解史萊姆是否能製成護腕墊，減輕手的負擔。

在護腕墊實驗中，我們準備了符合標準四的史萊姆，同時我們希望它具有支撐性，因為護腕墊是用來支撐打電腦時的手腕，如果史萊姆的支撐性不夠，史萊姆便會坍塌，無法達到保護手腕的效果。所以我們在史萊姆中持續加入硼砂水，並觀察史萊姆支撐性的變化。為了觀察史萊姆的支撐性，我們先用磅秤測量手腕使用滑鼠時的重量，再取水加入燒杯中，讓燒杯加上水的重量與手腕的重量一樣（杯重+水重=460g），接著，我們將史萊姆揉成一顆圓球，再測量它的直徑，然後，將燒杯放在史萊姆圓球上，經過兩分鐘後，拿起燒杯，再次測量它的直徑，並將史萊姆實驗前後的直徑進行比較。

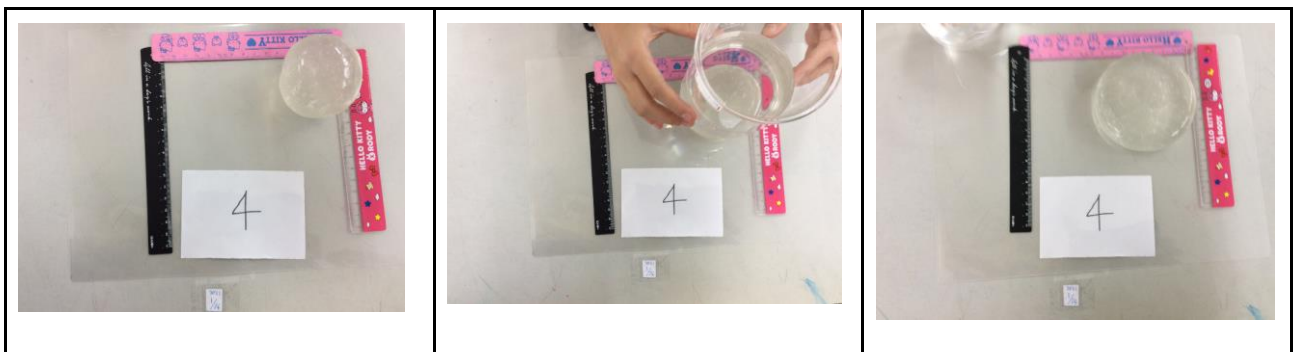


圖 8.護腕墊支撐性實驗

## 伍、研究結果

### 一、膠水、PVA 與史萊姆的黏性比較

在此實驗中，我們將膠水、五種濃度 12% 的 PVA 溶液、五種有拉筋史萊姆與五種沒拉筋史萊姆進行黏性的比較，我們將上述的膠水、PVA 溶液與史萊姆分別塗在在 A4 影印紙張的四個角落上，再將 A4 影印紙黏到牆壁上，觀察並比較紙張的滑落、脫落情形及清除的難易度與殘膠的狀況。

表 10.膠水、PVA 與史萊姆的黏性比較

| PVA 型態    | 項目       | 膠水 | PVA(1) | PVA(2) | PVA(3) | PVA(4) | PVA(5) |
|-----------|----------|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 12%PVA 溶液 | 滑落       | 無  | 無      | 無      | 無      | 無      | 無      |
|           | 脫落 (4 角) | 0  | 0      | 1      | 0      | 0      | 0      |
|           | 清除       | 難  | 難      | 易      | 難      | 難      | 難      |
|           | 殘膠       | 有  | 有      | 無      | 有      | 有      | 有      |
| 有拉筋 史萊姆   | 滑落       | -  | 無      | 有      | 有      | 有      | 有      |
|           | 脫落 (4 角) | -  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
|           | 清除       | -  | 易      | 難      | 易      | 易      | 易      |
|           | 殘膠       | -  | 無      | 有      | 無      | 無      | 無      |
| 沒拉筋 史萊姆   | 滑落       | -  | 無      | 有      | 無      | 有      | 無      |
|           | 脫落 (4 角) | -  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
|           | 清除       | -  | 易      | 難      | 易      | 易      | 易      |
|           | 殘膠       | -  | 無      | 有      | 無      | 無      | 無      |

(一) 膠水和 PVA 溶液的黏性比較

表 10(A).膠水和 PVA 溶液的黏性比較

| 黏性比較     | 膠水 | PVA(1) | PVA(2) | PVA(3) | PVA(4) | PVA(5) |
|----------|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 滑落       | 無  | 無      | 無      | 無      | 無      | 無      |
| 脫落 (4 角) | 0  | 0      | 1      | 0      | 0      | 0      |
| 清除       | 難  | 難      | 易      | 難      | 難      | 難      |
| 殘膠       | 有  | 有      | 無      | 有      | 有      | 有      |

在國立台中教育大學-彈力球-膠水系列 3 之 1 網站指出，膠水的成分為 12%PVA 溶液，因此，我們將膠水與 12%PVA 溶液一起進行比較。在本實驗結果顯示，沾有膠水與五種 PVA 溶液的紙張黏在牆上皆無滑落現象。在四角脫落的情況上，PVA(2)的紙張有一角脫落，其餘沾有膠水與四種 PVA 溶液的紙張皆牢固黏在牆上。在清除紙張方面，除了沾有 PVA(2) 溶液的紙張可以輕易的完整撕下，其餘的紙張皆無法輕易完整撕除，在撕除的過程中，紙張的 4 角容易撕破並殘留在牆上。在紙張清除後的殘膠方面上，除了 PVA(2)不會殘膠以外，其餘的溶液皆會在牆上殘留黏膠。

## (二) 五種有拉筋史萊姆的黏性比較

表 10(B).五種有拉筋史萊姆的黏性比較

| 黏性比較   | PVA(1) | PVA(2) | PVA(3) | PVA(4) | PVA(5) |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 滑落     | 無      | 有      | 有      | 有      | 有      |
| 脫落(4角) | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 清除     | 易      | 難      | 易      | 易      | 易      |
| 殘膠     | 無      | 有      | 無      | 無      | 無      |

在本實驗中，我們將五種有拉筋史萊姆進行黏性的比較。在紙張滑落的方面，除了 PVA(1)的紙張沒有滑落之外，其餘都有滑落。在四角脫落方面，五種史萊姆的紙張皆無脫落。在清除紙張方面，除了 PVA(2)的紙張無法完整撕除，其餘的皆可以輕易完整撕除。至於殘膠方面，只有 PVA(2)會殘膠以外，其餘都沒有殘膠。

## (三) 五種沒拉筋史萊姆的黏性比較

表 10(C).五種沒拉筋史萊姆的黏性比較

| 黏性比較   | PVA(1) | PVA(2) | PVA(3) | PVA(4) | PVA(5) |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 滑落     | 無      | 有      | 無      | 有      | 無      |
| 脫落(4角) | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 清除     | 易      | 難      | 易      | 易      | 易      |
| 殘膠     | 無      | 有      | 無      | 無      | 無      |

在本實驗中，我們將膠水與 5 種沒拉筋史萊姆進行黏性的比較。在 PVA 紙張滑落方面，只有 PVA(2)和 PVA(4)有滑落，其餘皆無滑落。在四角脫落方面，5 種 PVA 四角皆沒有脫落。清除方面，除了 PVA(2)不能輕易的完整撕下來，其餘的皆可完整撕除。至於殘膠方面，除了 PVA(2)有殘膠現象，其餘皆無殘膠。

## 二、水與史萊姆之冰敷袋結果比較

表 11.不同 PVA 種類的冰敷袋之校正後溫度

| 時間(min) | 水      | PVA(1) | PVA(2) | PVA(3) | PVA(4) | PVA(5) |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0       | -11.88 | -15.25 | -14.88 | -15.08 | -14.42 | -11.48 |
| 10      | 0.99   | -2.69  | -2.79  | -3.02  | -2.88  | -0.96  |
| 20      | 1.98   | 0.9    | 0      | 0      | 0.96   | 2.39   |
| 30      | 1.98   | 0.9    | 0.93   | 1.01   | 1.92   | 2.87   |
| 40      | 2.48   | 1.79   | 0.93   | 1.01   | 1.92   | 2.87   |
| 50      | 3.96   | 1.79   | 0.93   | 2.01   | 1.92   | 2.87   |
| 60      | 3.96   | 1.79   | 0.93   | 2.01   | 2.4    | 2.87   |
| 70      | 8.91   | 1.79   | 0.93   | 2.01   | 2.88   | 3.83   |
| 80      | 13.86  | 1.79   | 0.93   | 3.02   | 2.88   | 3.83   |
| 90      | 16.83  | 1.79   | 0.93   | 7.04   | 2.88   | 3.83   |
| 100     | 18.81  | 3.59   | 3.26   | 12.06  | 3.85   | 7.66   |
| 110     | 19.8   | 9.87   | 10.23  | 15.08  | 8.65   | 14.35  |
| 120     | 20.79  | 13.45  | 13.02  | 16.08  | 13.46  | 16.27  |
| 130     | 20.79  | 15.25  | 13.95  | 17.09  | 15.38  | 17.22  |
| 140     | 21.78  | 16.14  | 15.81  | 18.09  | 17.31  | 19.14  |
| 150     | 21.78  | 17.04  | 16.74  | 18.09  | 18.27  | 19.14  |
| 160     | 21.78  | 17.04  | 17.67  | 19.1   | 19.23  | 20.1   |
| 170     | 21.78  | 18.83  | 18.6   | 21.11  | 20.19  | 21.05  |
| 180     | 21.78  | 19.73  | 19.53  | 21.11  | 21.15  | 22.01  |
| 190     | 21.78  | 19.73  | 19.53  | 22.11  | 22.12  | 22.97  |
| 200     | 21.78  | 19.73  | 19.53  | 22.11  | 22.12  | 22.97  |

備註：原始溫度請參考附件一

我們在冰敷袋實驗中，使用不黏塑膠板的標準一作為史萊姆的測定標準，將五種史萊姆和純水來進行測試與比較。我們將純水與五種史萊姆做成的六種冰敷袋放進冰箱，經過一

天的時間，把它們從冰箱拿出來，並每十分鐘記一次各個冰敷袋升溫的溫度變化，直到最後一個史萊姆停止升溫，在這期間，我們也比較了各個冰敷袋恢復常溫的先後順序分別為水、PVA(3)，接下來是 PVA(1)和 PVA(2)，最後為 PVA(4)和 PVA(5)。

冰敷袋的實驗中，起始溫度最高的是水-11.88℃，其餘溫度介於-11.48℃～-15.25 之間，其中，以 PVA(1)溫度-15.25℃最低。在恢復常溫的過程中，水的溫度升溫最快，140 分鐘即恢復常溫，而 PVA(4)和 PVA(5)的升溫速度最慢，經過 190 分鐘才恢復常溫。

### 三、有拉筋史萊姆清潔鍵盤之實驗結果

我們將五種有拉筋史萊姆進行清潔鍵盤的實驗。其中，清理鍵盤的史萊姆需要有一定的流動性，才能清潔到鍵盤較深的縫隙，所以有拉筋史萊姆清理的效果會較好。我們在清潔鍵盤的實驗中，使用不黏鍵盤的標準二作為史萊姆的測驗標準。我們先將五種史萊姆清潔學校中間置在倉庫中的舊鍵盤，每個史萊姆分別清潔一個的鍵盤。過程中，記錄每種史萊姆清潔鍵盤的使用狀況，最後，觀察並紀錄鍵盤表面和縫隙的清潔與殘膠狀況，其結果如下：

表 12.五種有拉筋史萊姆清潔鍵盤的比較

| 鍵盤   | 比較  | PVA(1)         | PVA(2)                | PVA(3)         | PVA(4)         | PVA(5)         |
|------|-----|----------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| 鍵盤表面 | 殘膠  | 無              | 無                     | 無              | 無              | 無              |
|      | 清潔度 | 佳<br>(肉眼看不到灰塵) | 佳<br>(肉眼看不到灰塵)        | 佳<br>(肉眼看不到灰塵) | 佳<br>(肉眼看不到灰塵) | 佳<br>(肉眼看不到灰塵) |
| 鍵盤縫隙 | 殘膠  | 無              | 有                     | 無              | 無              | 無              |
|      | 清潔度 | 最佳             | 最佳                    | 最差             | 次佳             | 次佳             |
| 其他   |     | 黏手，有殘膠，但可清除。   | 很黏手，流動性好，隙縫易留殘膠且不易清除。 | 很黏手，有殘膠，但可清除。  | 不黏手，不會流動，無殘膠。  | 黏手，有殘膠，但可清除。   |

在鍵盤的清潔上，因為清潔鍵盤表面與鍵盤縫隙的效果不同，所以我們將實驗分成鍵盤表面與鍵盤縫隙兩部分進行，其結果如下：

(一) 鍵盤表面

本實驗中，我們將五種 PVA 的清潔、黏性作比較。在殘膠上，五種 PVA 皆無殘膠。

(二) 鍵盤表面

本實驗中，我們將五種 PVA 的清潔、黏性作比較。在殘膠上，只有 PVA(2)有殘膠。

四、五種沒拉筋 PVA 護腕墊之實驗結果

我們使用符合標準四，不黏手的史萊姆，並硼砂水持續緩慢加入，來提升史萊姆的支撐性。在史萊姆的支撐性實驗中，我們用量杯來模擬手腕。我們先測量手腕的重量和溫度，再將溫水倒入量杯中，讓量杯重量與溫度達到手腕的重量以及溫度。接著，我們將史萊姆搓成一顆圓球，將圓球放在護貝膜上，並測量施壓前的直徑，接著利用裝著溫水的量杯進行加壓，經過兩分鐘後，我們將量杯拿起，並測量施壓後的圓球直徑，並紀錄史萊姆的直徑變化，其結果如下：

護腕墊加壓前，PVA(1)、PVA(3)和 PVA(5)護腕墊的直徑都是 6 公分，加壓後的直徑是 10 公分，PVA(2)的加壓後的直徑較大，PVA(4)加壓後的直徑最小。而在黏手程度方面，PVA(2)做成的護腕墊具有黏性是有黏性，其餘都是不會有沾黏的狀況。

表 13.五種沒拉筋 PVA 護腕墊實驗結果

| 流動性        | 時間  | PVA(1) | PVA(2) | PVA(3) | PVA(4) | PVA(5) |
|------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 直徑<br>(公分) | 加壓前 | 6      | 8      | 6      | 5      | 6      |
|            | 加壓後 | 10     | 15     | 10     | 9      | 10     |

## 陸、討論

### 一、膠水、PVA 溶液與有拉筋與沒拉筋史萊姆的黏性比較

在本討論中，我們將分成四個部分進行，首先，我們比較膠水與濃度 12%的五種 PVA 溶液，接下來比較五種有拉筋史萊姆，接著比較五種沒拉筋史萊姆，最後進行綜合討論。

(參考表 10)

在膠水與濃度 12%的 PVA 溶液的黏性比較中，全部皆無滑落；除了 PVA(2)的紙張有一角脫落以外，其餘的皆無脫落；在清潔與殘膠方面上，除了 PVA(2)的紙張很好清除且無殘膠，其餘的 PVA 紙張與膠水較難清除且有殘膠。另外，因為 PVA(2)的史萊姆與其他 PVA 做出來的史萊姆都不同，PVA(2)相較於其他史萊姆，必須加入較多的硼砂水才能成型，而且流動性也比較大，所以在黏貼牆壁時，會較容易流動。根據以上結果，我們發現，除了 PVA(2)溶液的黏性表現較差，其餘的膠水與四款 PVA 在黏性表現上皆相同，也如同文獻所示，膠水為 12%的 PVA 溶液，因此，我們也可以將 PVA(1)、PVA(3)、PVA(4)與 PVA(5)製成膠水使用。同時，經過我們的討論與分析，發現 PVA(2)的分子量最低，所以聚合度較低，可能是造成流動性佳導致黏性較差的原因。

在五種有拉筋史萊姆的黏性比較中，除了 PVA(1)的紙張沒有滑落以外，其餘皆有滑落；在脫落方面上，五種史萊姆的紙張皆無脫落；在清潔與殘膠方面上，只有 PVA(2)的紙張較難清除，也有殘膠，其餘的都很好清除且沒有殘膠。(三)在五種沒拉筋的史萊姆黏性比較中，PVA(2)和 PVA(4)的紙張有滑落，PVA(1)、PVA(3)和 PVA(5)的沒有滑落；在脫落方面上，全部皆無脫落。在清潔與殘膠上，PVA(2)的紙張較難清除且有殘膠，其餘的皆很好清除且沒有殘膠。

根據以上結果，在五種 PVA 溶液中，PVA(2)的紙張有滑落，但沒脫落，不好清除、有殘膠，我們推測可能是因為，PVA(2)的分子量最低，聚合度較低，因此在進行交聯作用後，會出現較難成型的狀況，同時，也因為較難成型，聚合力較低，導致在殘膠方面，其他的史萊姆都可以一次撕除，而 PVA(2)的史萊姆較容易斷裂，殘留在牆上，造成殘膠的狀況。

在膠水、PVA 溶液與史萊姆之中，PVA(1)製成的史萊姆，在黏性測試上，A4 紙張既沒有滑落、脫落，又好清除、也殘膠，較適合黏貼紙張，最適合拿來做為張貼牆壁的黏著劑。

## 二、史萊姆製成冰敷袋之比較

在我們學校中，當有人受傷，前往保健室時，護士阿姨就會拿冰敷袋給我們冰敷，學校中的冰敷袋是用夾鏈袋裝水製成，但水的融化速度很快，而且當水完全融化時，便會從夾鏈袋的縫隙流出來，所以用夾鏈袋裝水做的冰敷袋，會弄得到處都溼答答的，令人感到不舒服。相較於水，史萊姆裝在夾鏈袋中，因為流動性沒有水這麼好，所以應該比較不會有漏水的問題，因此，我們想測試與比較史萊姆和水的解凍速度和流動性。

根據冰敷袋的測試，我們使用有拉筋的史萊姆，進行冰敷袋的測試。因為冰敷袋是用來冰敷皮膚受傷部位，需要能貼合皮膚，所以必須要有一定的流動性，而有拉筋史萊姆比沒拉筋史萊姆的流動性好，所以我們使用有拉筋的史萊姆進行冰敷袋升溫的比較。

當我們將結凍的史萊姆從冰箱中取出後，記錄初始溫度，之後每隔十分鐘紀錄一次各個冰敷袋的溫度，直到最後一個冰敷袋的溫度不會再變化為止。實驗中，我們發現 PVA(4) 和 PVA(5) 做的史萊姆恢復常溫的速度最慢，而水恢復常溫的速度最快。除此之外，史萊姆做成的冰敷袋不會有漏水的現象，因此，我們建議可以用 PVA(4) 與 PVA(5) 做的史萊姆製作冰敷袋，冰敷時間可以比水袋還長，同時也解決了水袋漏水的問題。

## 三、史萊姆清潔鍵盤之比較

在生活中，我們常用到電腦，但電腦鍵盤卻很難清理，市面上有人利用史萊姆的流動性與沾黏性這兩種優勢，發展出一種專門清鍵盤的史萊姆，但在市面上的這些清潔用的史萊姆通常都要 40 元起跳，甚至還要破百元，所以我們想試著做出成本較低的清潔用史萊姆。

在此實驗中，我們將五種有拉筋史萊姆用來清潔學校倉庫中已經閒置且沾滿灰塵的舊鍵盤，接下來我們將鍵盤的清潔分成兩個部分進行討論。

在鍵盤表面的清潔方面，五種史萊姆皆可完全將鍵盤表面的灰塵清潔乾淨，在殘膠方面上，五種史萊姆也皆無殘膠。

在鍵盤縫隙的清潔方面上，PVA(1)和 PVA(2)清得較乾淨，其次為 PVA(4)和 PVA(5)，而 PVA(3)在清潔縫隙中留有的灰塵較多；在殘膠的方面上，只有 PVA(2)留有殘膠，其餘皆無殘膠。

根據實驗結果，我們發現，每個史萊姆都能將鍵盤表面清潔乾淨，但是，在清潔鍵盤縫隙就有差別了，只有 PVA(1)和 PVA(2)能夠清得較乾淨，但 PVA(2)在清除完後會有殘膠，所以我們建議使用 PVA(1)來清理鍵盤會有比較好的效果，既可以清潔乾淨，同時也無殘膠。

#### 四、史萊姆製成護腕墊之比較

根據護腕墊的測試，我們將五種有拉筋的史萊姆進行護腕墊的比較。其中，因為護腕墊是支撐手腕的，所以必須具有支撐力，但將史萊姆加入大量的硼砂水之後，我們發現史萊姆的流動速度只是變慢，並不能達到完全不流動的狀態，尤其是 PVA(2)的史萊姆，支撐性最差，最快呈現攤平狀態，隨著時間的改變，所有的史萊姆最後都會呈現攤平的狀態，所以在我們的實驗中，史萊姆的支撐問題一直無法得到改善，因此，以目前的史萊姆狀態，並不適合直接拿來當護腕墊，但是，如果外加一層塑膠套或保鮮膜之類的材質進行支撐，史萊姆將會是一個舒適的護腕墊。

## 柒、結論

### 一、膠水、PVA 與史萊姆的黏性測試

在本實驗中，我們膠水、濃度 12%的五種 PVA 溶液，還有五種有拉筋與五種沒拉筋的史萊姆進行黏性測試，我們發現膠水與 12%的 PVA 溶液，除了 PVA(2)的黏性較差外，其餘表現都很相近，與文獻表示膠水為 12%的 PVA 溶液是相符合，因此，除了 PVA(2)之外，其餘四款 PVA 皆可製成膠水使用。

而 PVA(2)的黏性表現較差，經過我們的討論分析，可能是因為 PVA(2)的分子量最低，所以聚合度較低，導致流動性與黏性與其它四款 PVA 有明顯差異。

同時，在實驗中發現，由 PVA(1)製成的史萊姆，不論有沒有拉筋，其在黏性測試上，A4 紙張既沒有滑落，也沒出現脫落現象，在紙張清除上，也很容易從牆壁上完整撕下，清除後也沒有殘膠，因此，PVA(1)製作的史萊姆非常適合做為學校老師張貼紙張、海報等，在牆壁的黏著劑。

### 二、史萊姆製成冰敷袋之測試

在此實驗中，我們將學校使用的冰敷水袋與五種有拉筋史萊姆製成的冰敷袋，進行冰敷時間得比較，並記錄每一種冰敷袋是否有漏水的現象。根據實驗結果，我們發現，溫度最快恢復常溫的冰敷袋是水，且有漏水的現象，而 PVA(4)和 PVA(5)做成的冰敷袋則是最慢恢復常溫，且沒有漏水的現象，因此，我們建議可以使用 PVA(4)和 PVA(5)做成的有拉筋史萊姆來製作冰敷袋，其冰敷的時間較長，同時也解決了漏水的問題。

### 三、史萊姆是否可以用於清潔隙縫或不規則的表面

在此實驗中，我們將五種有拉筋史萊姆進行清潔鍵盤表面與隙縫的測試，我們發現在清潔鍵盤表面上，所有的史萊姆皆可以清除表面的灰塵，且不會有的殘膠問題。在鍵盤縫隙清潔的部分，五種史萊姆清潔的清潔效果不同，PVA(3)是留有最多灰塵的，而 PVA(2)則會有殘膠在鍵盤縫隙內。在清潔鍵盤方面上，我們建議使用 PVA(1)做成的有拉筋史萊姆，在清潔鍵盤表面與隙縫上皆有不錯的效果，且不會有殘膠。

### 四、史萊姆使否適合做護腕墊

在此實驗中，因為護腕墊需要支撐手腕的重量，因此我們使用沒拉筋史萊姆作為護腕墊的實驗對象，又為了提升支撐性，因此，我們在過程中持續增加硼砂水量，其中，PVA(2)不論增加多少量的硼砂水，其流動的速度只有稍微降低，無法達到支撐的效果，而其餘史萊姆在增加硼砂水後，流動性有明顯降低，也提高了支撐性，但是隨著時間增加，所有的史萊姆最後都會呈現攤平的狀態，無法有效達到支撐的效果，因此，在本實驗中，史萊姆無法直接拿來做使用，但是，如果在史萊姆的外層增加塑膠膜或保鮮膜來增加其支撐性，經過調整後的史萊姆可以完整的貼合在手腕上，柔軟又舒適的史萊姆，將會是一個不錯的護腕墊選擇。

## 捌、參考文獻資料

1.吳丞哲;范綺真;劉祈賢;楊萬榆;卓彥好;楊詒婷（2018）。（「硼」聯「醇」合一聚乙醇醇和硼砂的交聯作用研究）。第 58 屆全國中小學科展報告。取自：

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=83&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=15349>

2.硼砂：讓食物變得 QQ 的月石。硼砂。取自：<https://www.tcsb.gov.tw/fp-263-2728-ae3cb-1.html>

3.誠興企業服務中心---產品應用。聚乙醇醇-PVA。取自：

<https://www.sctwn.com/article.php?lang=tw&tb=3&cid=18>

4.帝一化工---購物網。聚乙醇醇-PVA。取自：

<https://shop.dechemical.com.tw/>

5.國立台中教育大學 彈性球--膠水系列 3 之 1。膠水成分比例。取自：

<https://www.ntcu.edu.tw/sci/game/chemistry/chemistry-024.html>

## 附件

### 附件一

| 時間<br>(min) | 溫度 (°C) |        |        |        |        |        |
|-------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             | 水       | PVA(1) | PVA(2) | PVA(3) | PVA(4) | PVA(5) |
| 0           | -13     | -18    | -17    | -16    | -17    | -15    |
| 10          | 0       | -4     | -4     | -4     | -5     | -4     |
| 20          | 1       | 0      | -1     | -1     | -1     | -0.5   |
| 30          | 1       | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 40          | 1.5     | 1      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 50          | 3       | 1      | 0      | 1      | 0      | 0      |
| 60          | 3       | 1      | 0      | 1      | 0.5    | 0      |
| 70          | 8       | 1      | 0      | 1      | 1      | 1      |
| 80          | 13      | 1      | 0      | 2      | 1      | 1      |
| 90          | 16      | 1      | 0      | 6      | 1      | 1      |
| 100         | 18      | 3      | 2.5    | 11     | 2      | 5      |
| 110         | 19      | 10     | 10     | 14     | 7      | 12     |
| 120         | 20      | 14     | 13     | 15     | 12     | 14     |
| 130         | 20      | 16     | 14     | 16     | 14     | 15     |
| 140         | 21      | 17     | 16     | 17     | 16     | 17     |
| 150         | 21      | 18     | 17     | 17     | 17     | 17     |
| 160         | 21      | 18     | 18     | 18     | 18     | 18     |
| 170         | 21      | 20     | 19     | 20     | 19     | 19     |
| 180         | 21      | 21     | 20     | 20     | 20     | 20     |
| 190         | 21      | 21     | 20     | 21     | 21     | 21     |