

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 化學科

080212

細「沙」長「流」－探討自製動力沙與史萊姆流動沙

學校名稱：臺中市東區力行國民小學

作者： 小五 孫曼薰 小五 謝蕎妏	指導老師： 黃詩倩
---------------------------------	------------------

關鍵詞：動力沙、史萊姆、流動沙

摘要

市售動力沙和史萊姆流動沙這類玩具很療癒，我們十分好奇，想以身邊隨手可得的材料製作，透過觀察與動手實作，歸納出動力沙配方:白色沙畫沙、矽膠、玉米澱粉以 10:2:1.5 比例調出加入顏料，成品特色能壓模、混色及有若即若離感。白膠史萊姆流動沙配方:以 140ml 溫水與 3g 硼砂調成硼砂水，用 15ml 白膠浸泡於 70ml 硼砂水中製成史萊姆，加入 40ml 石英砂。膠水史萊姆流動沙配方:調出相同比例硼砂水，用 20ml 膠水和 20ml 硼砂水做成史萊姆，加入 45ml 石英砂。最後添加壓克力顏料、液體食用色素或色粉調出色彩迷人、流動感佳、能混色、塑形、壓模、60g 白膠與膠水史萊姆流動沙分別延展 52.5cm 與 71.7cm，可比擬市售史萊姆流動沙視覺美感。實驗成本低、易操作，動手做玩具的過程非常有成就感!

壹、前言

一、研究動機

四年級上學期進行康軒版第一單元「地表的靜與動」的活動中老師讓我們觀察礫石、土壤和沙，讓大家觸摸著這三者間的觸感，剛好那陣子下課時我們流行玩「史萊姆流動沙」，「史萊姆流動沙」是「動力沙」的其中一種。「動力沙」和一般沙子很不一樣，有沙的觸感摸起來濕潤卻不黏手，可以塑形，會若即若離緩緩的流動；而「史萊姆流動沙」它有沙子的顆粒感，有黏性很鬆軟、綿密，可以塑形、拉伸、捏揉，只要一拉就像棉花糖般柔軟，看著它緩緩由上而下流動的感覺非常療癒，我們十分好奇「動力沙」和「史萊姆流動沙」是如何製作出來的?能否從日常生活中以方便的材料來自製「動力沙」和「史萊姆流動沙」? 讓我們在繁忙的功課壓力下放鬆心情並且體驗動手做的樂趣。

二、研究目的

- (一) 分析市面販售的史萊姆流動沙
- (二) 觀察自選四種沙體
- (三) 探索自製矽膠動力沙
- (四) 探索自製白膠史萊姆流動沙

(五) 探索自製膠水史萊姆流動沙

(六) 自製繽紛動力沙和史萊姆流動沙

三、文獻回顧與探討

搜尋關於「動力沙」和「史萊姆流動沙」的製作書籍似乎不容易找到，在歷屆科展作品中只找尋到一篇作品，而網路影片資源中尋找 DIY 配方則是五花八門，照著網路影片操作並沒有達到我們想要的效果。而市售動力沙與史萊姆流動沙其成分因為牽涉商業機密，官方並未公開詳細資訊。

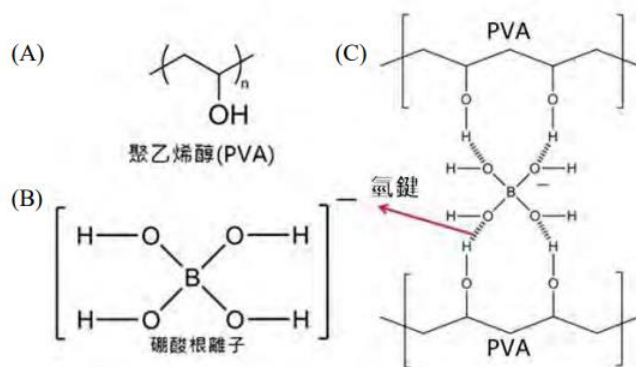
動力沙的性質介於黏土與沙之間的特殊沙子，英文是 **Kinetic sand**。動力沙性質似沙，但若握在手中緊壓，能像黏土容易塑形，一旦揉碎，又回到沙的性質，它不易沾手，容易清理。我們先探討了前人的研究文獻—**遊戲.[矽][油]-矽、粉末與沙的對話**。由文獻得知製作動力沙方式是沙子加上聚合物組成的，市售的動力沙主體材料是沙，聚合物是聚二甲基矽氧烷（PDMS）。這兩種材料混合後，能夠創造出動力沙獨特的流動性和塑形能力。基本的製作是將大約 98% 的沙和 2% 的聚合物混合在一起，然後根據需要進行調整。但市面上買不到聚二甲基矽氧烷，因此聚合物的代替品則是探討重點。前人研究以矽膠取代聚二甲基矽氧烷，因為矽膠能吸附及包覆沙子以驅動摩擦靜電，產生若即若離的效果。他們以工地沙或沙畫沙和矽膠調出 10:1 的比例會有最佳效果，而工地沙又比沙畫沙柔軟效果好，此配方特色是顆粒小、不結塊、能塑形，有 8%~20% 會沾手；另外以工地沙或沙畫沙、矽膠、糯米粉調出 20:2:3 的比例配方，此特色是顆粒小、不結塊、能塑形，較不沾手，如此能製作類似市售的動力沙。

此篇文獻提出了含有二氧化矽的石英砂，是否更容易和矽膠結合的疑問，這想法讓我們有高度的興趣想探究。然而前人研究以工地沙製作出的動力沙，看起來黑黑的，視覺效果差，是不是有更適合的沙體及生活中能取得的方便材料製作出具有美感的動力沙是我們的發想及創新之處。自製動力沙可能難以完全複製市售動力沙的特性，但可以創造類似的體驗。因此我們以前人的研究為基礎，先探索動力沙的製作，再進一步探索市售史萊姆流動沙作為不同風格類型的動力沙為研究目標，嘗試自製與市售史萊姆流動沙相似的成品作為挑戰。

史萊姆流動沙是一種結合了史萊姆的黏稠和沙子的顆粒感的玩具，可以拉伸、揉

捏，甚至可以塑形。而搜尋歷屆科展和「史萊姆」相關的文獻則較多，我們探討了一「異」想「添」開~影響化學黏土及磁性黏土之因素探究與應用，發現白膠、膠水與硼砂形成「交聯」的化學反應效果較好。而硼砂水濃度愈低，化學黏土容易拉長；硼砂水濃度愈高，化學黏土則是會太硬而拉斷。從**膠碘方程式**文獻中理解交聯反應的化學原理。膠水的主要成分聚乙烯醇（Polyvinyl alcohol,以下簡稱 PVA）結構如圖 1(A)所示、白膠的主要成分聚醋酸乙烯酯（Polyvinyl acetate，以下簡稱 PVAc），交聯作用是硼砂溶解於水中解離出硼酸根離子 $B(OH)_4^-$ 結構如圖 1(B)所示，與 PVA 長鏈分子作用，使長鏈分子之間吸引在一起如圖 1(C)所示，形成具有黏性和彈性的史萊姆。

圖 1 硼酸根離子與 PVA 鏈交聯



註:圖引自**膠碘方程式**

製作出色彩繽紛的動力沙與史萊姆流動沙是我們最終目的，我們在另外一篇文獻——**千變萬化的史萊姆**的研究中提到不同的染色顏料，會影響史萊姆的手感，前人推薦添加粉狀像是硬式粉彩、珠光粉等效果是能維持相同手感狀態；若是加液狀的食用色素可以染成透明狀的史萊姆，加微量會變軟，加過量會變成液狀；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)。探討前人文獻比較出粉狀顏料、液狀食用色素，壓克力顏料可作為著色配方來操作探索。

文獻提及溫度影響史萊姆的保存，在常溫的狀態下，剛做好的史萊姆手感最好，雖然密封保存，柔軟度和延展性還是會隨著時間增加而變差。若是冷藏，手感跟冷藏前差不多，且較不黏手，可利用低溫來保存史萊姆。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。或許我們可以將自製史萊姆流動沙密封存放在冰箱冷藏來延長使用期限，若是自製史萊姆流動沙變硬也以加溫恢復柔軟。

貳、研究設備及器材

一、研究設備及器材

(一) 電子設備:手機、夾式 100X 顯微鏡、電子秤

(二) 沙體材料：石英砂 1 號、海沙、白細沙、白色沙畫沙 1 號





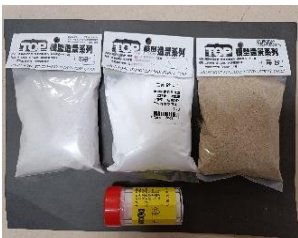

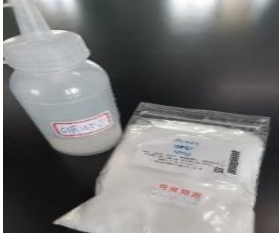

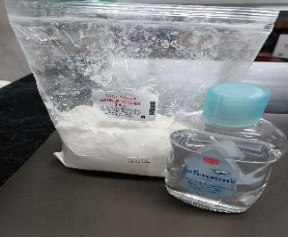



(三) 聚合物材料：RTV10 翻模矽膠、白膠(南寶樹脂)和膠水(波利狗 G2800 巨無霸膠水)

(四) 容器：布丁杯、含氟漱口水杯、方形容器

(五)著色顏料:壓克力顏料(膏狀),食用色素(液狀)、食用色素粉和教室內現有的色素粉(粉狀)

(六)其他:市售 Play-Doh 史萊姆流動沙、硼砂、玉米澱粉、嬰兒油、尺、壓模模具、紀錄本

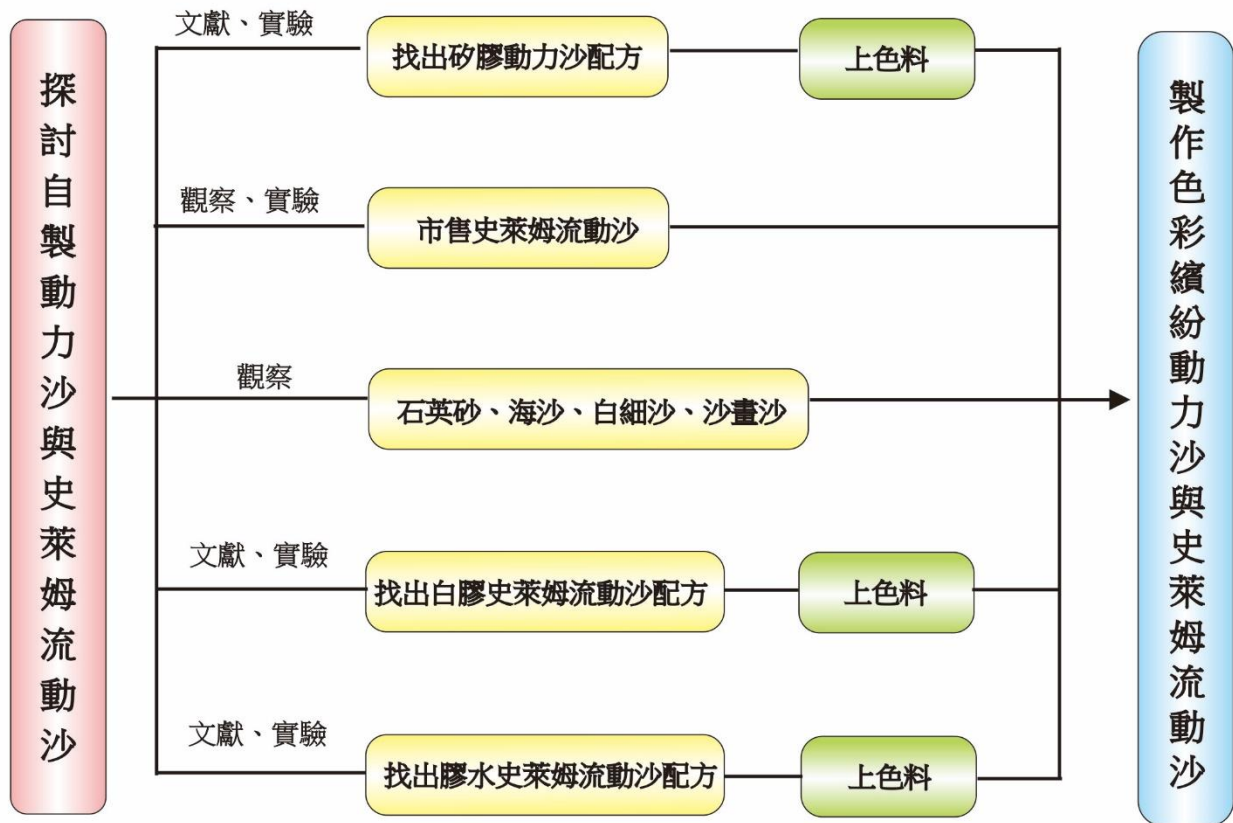
表 1 研究設備與器材表(第一作者繪製)

			
手機與夾式顯微鏡	夾式 100X 顯微鏡	電子秤	市售史萊姆流動沙
			
沙體材料	矽膠、白膠、膠水	硼砂、硼砂水	容器、攪拌棒
			
玉米澱粉、嬰兒油	壓模模具、尺	顏料	紀錄本

參、研究過程與方法

我們設計了六個實驗來進行自製動力沙與史萊姆流動沙的研究。研究架構如下所示：

圖 2 研究架構圖(第一作者繪製)



一、分析市面販售史萊姆流動沙

(一) 觀察市售史萊姆流動沙

史萊姆流動沙是一種有趣的兒童感官玩具，不僅能帶來樂趣，它的獨特性質讓我們愛不釋手，我們購買的市售品名為史萊姆流動沙，在包裝上有說明主要成分是膠水與食用色素。以下是觀察重點：

1.外觀與觸感	2. 顏色與顆粒	3. 聞氣味	4. 散落在桌上
5. 能否塑形	6. 測量延展長度	7. 流動性	8. 乾燥速度
9.不同溫度的變化	10.遇水的變化	11.在吸油紙觀察	12.混合沙子變化

(二) 將市售流動沙放在顯微鏡及光學放大鏡下觀察

二、觀察四種自選的沙子

在找尋實驗主要材料石英砂時有種茫然不知應該到哪裡購買，透過網路看到的賣

家都是大包裝(多少公斤)販售，就在想要放棄時，突然閃出美術用品店有販售沙子，於是在學校附近的美術用品店挑選了小包裝的沙子為實驗材料。因前人是以黑黑的工地沙作為沙體，視覺效果差，我們提出白色沙體或淺色沙體來研究，挑選了石英砂、白細沙、海沙(淡土色)、和白沙畫沙，進行這四種自選的沙子在顯微鏡下觀察。

三、探索自製矽膠動力沙

在尋找矽膠時，對我們來說更是困難!我們讀前人文獻時只得知他們使用化工行販售的製作矽膠模型的矽膠，矽膠與硬化劑的比例是 100:3，而實驗結果顯示只用矽膠不用硬化劑就能做出類似動力沙效果，對於所選用的矽膠並無清楚的說明是何種矽膠。我們到化工行詢問找到類似產品，化工行有賣 RTV 硬度 10、15、20 三種翻模矽膠，附硬化劑其比例是 100:2。經查詢了解硬度數字越小做出成品越柔軟，因此我們決定選用 RTV 硬度 10 的翻模矽膠，實驗以不同沙子和矽膠調出不同的比例進行攪拌觀察能否製作出類似動力沙的成品。

(一) 實驗以不同沙子和矽膠調出 10:1 的比例進行攪拌觀察

(二) 實驗以不同沙子和矽膠調出 10: 2 的比例進行攪拌觀察

實驗過程中發現以不同沙子和矽膠調出 10:1 的效果不佳，因此再以 10: 2 的比例進行實驗。

(三) 實驗以不同沙子、矽膠、玉米澱粉調出 10:2:1.5 的比例進行攪拌觀察

觀察上述實驗製作動力沙時發現沙子會殘留在手上，因此以前人的研究為參考，前研究者以加入糯米粉得知有不沾手的效果，我們以類似澱粉材料之玉米澱粉進行實驗。

(四) 實驗以不同沙子、矽膠、玉米澱粉調出 10:3:1.5 的比例進行攪拌觀察

四、探索自製白膠史萊姆流動沙

(一) 調配不同濃度的硼砂水

1.以 100ml 的溫水與 6g 的硼砂調製成硼砂水 (濃度高的硼砂水)

2.以 100ml 的溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水 (濃度中的硼砂水)

3.以 140ml 的溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水 (濃度低的硼砂水)

(二) 以上述不同濃度的硼砂水與白膠和沙體混合觀察

(三) 以適當濃度的硼砂水與白膠和四種沙體石英砂、海沙、白細沙、沙畫沙混合觀察

五、探索自製膠水史萊姆流動沙

(一) 以 140ml 的溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水製作膠水史萊姆與石英砂的結合

(二) 以 140ml 的溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水製作膠水史萊姆與白細砂的結合

(三) 以 140ml 的溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水製作膠水史萊姆與海沙的結合

(四) 以 140ml 的溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水製作膠水史萊姆與沙畫沙的結合

六、自製繽紛動力沙與史萊姆流動沙

(一) 以壓克力顏料、液體食用色素、色粉加入矽膠動力沙成為自製彩色矽膠動力沙。

(二) 以壓克力顏料、液體食用色素、色粉加入白膠史萊姆流動沙成為自製彩色白膠史萊姆流動沙。

(三) 以壓克力顏料、液體食用色素、色粉加入膠水史萊姆流動沙成為自製彩色膠水史萊姆流動沙。

肆、研究結果

一、分析市售史萊姆流動沙

(一) 分析市售史萊姆流動沙

1.外觀與觸感:取出市售史萊姆流動沙外觀像是一團黏土，觸摸它柔軟綿密，有點黏黏的卻又不黏手，觸感舒服有種特殊的滑順感。拉動它時有牽絲感，像是黏液或是聚合物的延展性，但又帶有細緻沙子的顆粒感。

2.顏色與顆粒: 色彩繽紛，可進行混色，有細緻的顆粒，顆粒大小均勻。





3.氣味：有微香氣味。

4.散落在桌上時: 由於流動沙的黏性，散落時會自然地呈現出像堆疊的小山丘。不會像普通沙子一樣容易散落一地。儘管流動沙有黏性，但它卻不會黏在手上或桌子表面，能方便清理。

5.塑形能力佳：可塑性高，與一般的沙子不同。流動沙可以堆疊、塑形，能壓模、能捏成各種形狀如城堡、動物等。它像黏土一樣，可以保持一段時間不變形，但不會像黏土一般會硬化，它們能夠保持一段時間，不會立刻散開而是會慢慢恢復原狀。

- 6.延展性佳:先將流動沙捏揉後，再將流動沙拉長，經過十次測試，80g 的史萊姆流動沙能延展 97.9cm。60g 史萊姆流動沙，延展 93.3cm。
- 7.流動性佳：雖然流動沙具有固體的特性，但同時也具備液體的流動性。拉動它時能像液體一樣自由流動，可以從高處緩慢流下，產生有趣的視覺效果。當輕拉或觸碰散落在桌上的流動沙，它們會緩慢地流動，產生出像液體般的波紋。
- 8.乾燥速度：將流動沙暴露在常溫空氣中放置三個月的時間，觀察它是否會變乾，結果並沒有乾燥，還是如同原本的流動沙的狀態。
- 9.不同溫度下的變化:流動沙放置冰箱冷藏後取出發現稍收縮較不好拉，但再捏拉稍好些，呈現較鬆散，回溫時流動沙又恢復原本狀態了；用夾鏈袋裝流動沙放置冰箱冷凍一天後取出觀察發現變稍微硬而已，非全結凍，一拉脆裂、斷裂，但經由手不斷捏揉回到正常溫度又恢復原本流動沙的樣子了;放置電鍋加熱流動沙變脆硬，表皮酥酥的像烤過的餅乾，不能延展無牽絲無黏性，一撥就脆裂。可是經由降溫後又恢復正常流動沙狀態了。由此可知冷藏、冷凍、加熱後，經過回溫幾乎「沒」影響。
- 10.遇水的變化:流動沙遇水後會像爛泥巴樣，由稠逐漸變稀，變成液體，看到沙子顆粒，然後流動沙失去固體塑形能力。由此得知流動沙是不能碰水的。
- 11.將流動沙放在吸油紙上壓一壓後觀察發現有微出油現象。
- 12.將流動沙與沙畫沙混合，發現能融合在一起還有流動沙狀態，但變黏了，很黏手。

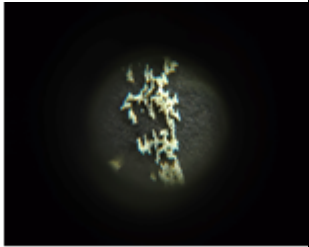
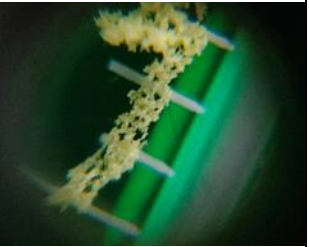
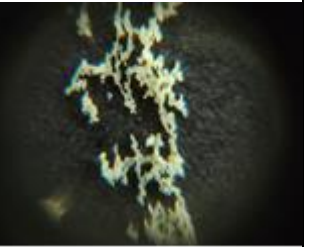
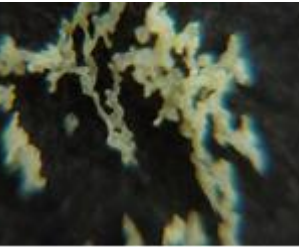
表 2 市售史萊姆流動沙觀察紀錄表(第二作者繪製)

			
散落在桌上	延展性佳	能壓模	牽絲感

			
能混色	可捏塑	80 克延展 97.9 公分	與沙畫沙混合變黏
			
遇水變液體有顆粒	冷藏後鬆散	冷凍後一拉斷裂	加熱後變硬脆裂

(二) 用夾式顯微鏡觀察：流動沙的主要成分是細小的沙粒，在顯微鏡下呈現出不規則的形狀，因為添加了聚合物，在顯微鏡下好似有層膠或是像層膜覆蓋在沙粒表面上，看起來有拉絲狀，顆粒大小約 0.05mm。

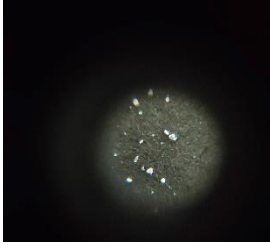
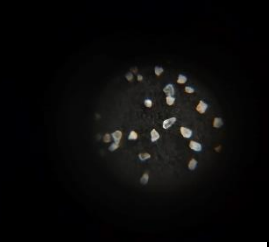
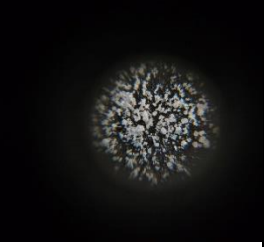
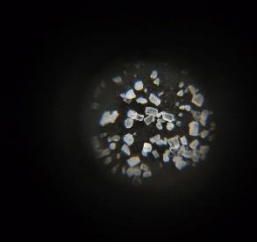
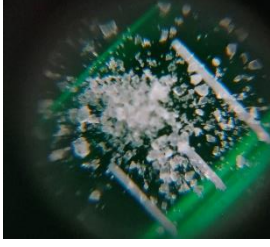

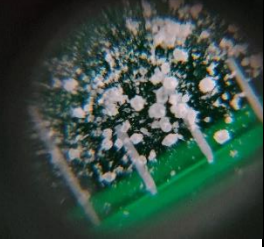

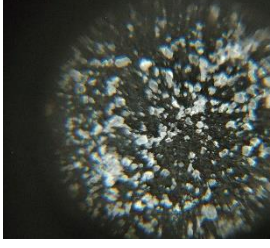
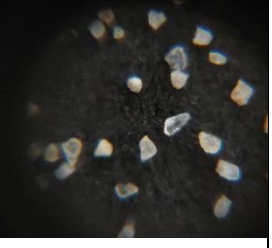
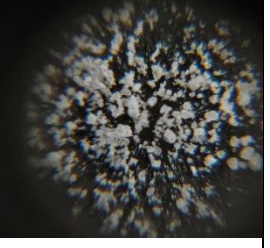

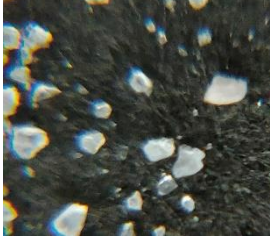
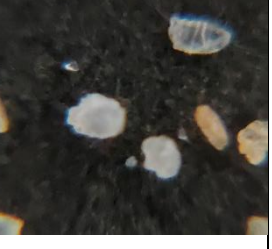
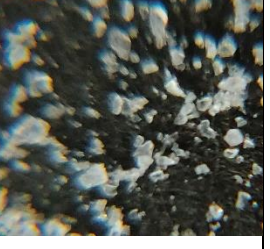
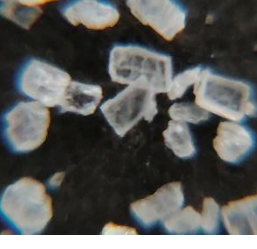
表 3 市售史萊姆流動沙顯微鏡觀察紀錄表(第一作者繪製)

顆粒大小	比例尺	5X	100X
			

小結：市售史萊姆流動沙，是一種結合了動力沙和史萊姆特性的玩具。在包裝外寫主要成分是膠水和食用色素，市售的膠水的主要成分有水 88% 與 PVA 12%。顯微鏡下觀察有層膠覆蓋在沙粒表面上，推測是有 PVA，另外有不知何種成分的油或成份使它不會乾硬。沙粒是細小不規則形狀。史萊姆流動沙結合了動力沙的可塑性和史萊姆的柔軟有黏性，觸感獨特，既能像史萊姆一樣拉伸延展、擠壓，又能像動力沙一樣塑形、堆疊，具有固體的特性，但同時也具備液體的流動性。溫度的改變如冷藏、冷凍、加熱對市售史萊姆流動沙經過回溫之後幾乎「沒」影響，但必須注意不能碰水。

二、四種沙體的觀察結果

表 4 四種沙體觀察紀錄表(第一作者繪製)

名稱	石英砂	海沙	白細沙	沙畫沙
顆粒大小				
比例尺				
5X				
100X				
分析	細小，不規則形	不規則形，尖尖角角，部分透明，部分呈土色	較細小，偏橢圓形	形狀不規則，大多偏長方形，有稜角

顏色: 石英砂、白細沙、沙畫沙為白色，而海沙偏土色。

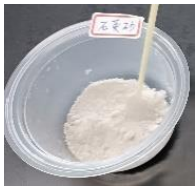



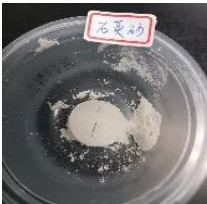

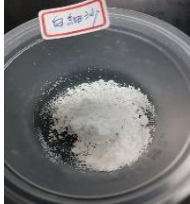

形狀: 石英砂、海沙、沙畫沙為不規則形，白細沙為橢圓形。

顆粒大小: 石英砂約 0.01mm~0.2mm，海沙約 0.25mm，白細沙約 0.01mm~0.25mm，沙畫沙約 0.2mm。

石英砂<白細沙<海沙≈沙畫沙

三、自製矽膠動力沙









(一) 以不同沙子和矽膠調出 10:1 的比例進行攪拌結果(第二作者繪製)

石英砂	海沙	白細沙	沙畫沙
			
鬆散、矽膠無法完全吸附石英沙	無結塊，撥動沙子時有流動感	有些結塊，有些粉狀的、矽膠無法完全吸附白細沙	無結塊，有流動感，與海沙比較後流動感較弱
			
壓後可成形	壓後可成形	壓後無法成形	壓後可成形

矽膠較能聚合海沙和沙畫沙，矽膠和石英沙的混合尚能均勻混合，不會結塊。白細沙則是又結塊效果最差。比較流動感: 海沙〉沙畫沙〉石英砂〉白細沙。








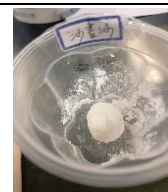
矽膠的量還不夠到能完全聚合以上四種沙，以不同沙子和矽膠調出 10:1 的比例進行攪拌結果不理想，需再調整比例。

(二) 以不同沙子和矽膠調出 10:2 的比例進行攪拌結果(第二作者繪製)

石英砂	海沙	白細沙	沙畫沙
			
矽膠稍可吸附石英沙了，但撥動後鬆散，無流動感	海沙和矽膠更聚合，撥動沙子時有流動感，觸感較粗	白細沙和矽膠能聚合，流動感較差，觸感細緻	沙畫沙能和矽膠聚合，一撥動流動感較差
			
壓後可成形	壓後可成形	壓後可成形	壓後可成形


- 1.四種沙皆能和 2g 的矽膠聚合，皆能壓模成形。
- 2.流動感: 海沙〉沙畫沙〉石英沙〉白細沙。
- 3.與市售動力沙觸感相較:石英沙〉海沙〉白細沙〉沙畫沙
- 4.四種調配好的沙觸摸後沙子會殘留在手上，但市售動力沙不會沾手

(三)以不同沙子、矽膠、玉米澱粉調出 10:2:1.5 的比例進行攪拌結果(第二作者繪製)

石英砂	海沙	白細沙	沙畫沙
			
鬆散	矽膠能吸附海沙， 吸附效果好	能聚合，但流動 感差，會結塊	能聚合，流動感佳
			
可以壓模成形	可以壓模成形	可以壓模成形	可以壓模成形

- 1.海沙、沙畫沙能與矽膠、玉米澱粉聚合，較接近市售動力沙，可以壓模成形，有流動感。
- 2.加了玉米澱粉，四者皆不沾手。
- 3.沙子要先和玉米澱粉混合均勻，再加入矽膠攪拌均勻，同時要用手搓揉沙子才能使之均勻混合。

(四)以不同沙子、矽膠、玉米澱粉調出 10:3:1.5 的比例進行攪拌結果(第二作者繪製)

石英砂	海沙	白細沙	沙畫沙
			
能聚合，觸感細緻 像黏土，不沾手	能聚合較黏稠、濕 潤	能聚合，較細緻， 捏塑感好，像極黏 土，不沾手	能聚合，觸感粗， 濕潤，沙會沾手
			
壓後可成形	壓後可成形	壓後可成形	壓後可成形

結果:石英砂和白細沙觸感細緻，像市售黏土不沾手，海沙和沙畫沙較濕潤(矽膠偏多)會沾手，四者皆無流動感。

四次自製矽膠動力沙實驗結果:海沙或沙畫沙:矽膠:玉米澱粉 10:2:1.5 的比例效果最好!

四、自製白膠史萊姆流動沙

(一) 以不同濃度硼砂水製作白膠史萊姆流動沙







1. 我們先以 100ml 的溫水與 6g 的硼砂調製成硼砂水，再將 15ml 的白膠倒入碗形容器，倒入 5ml 硼砂水，以順時針方向攪拌，結果白膠外皮過度成形且偏硬，無法拉，一拉容易脆裂，失敗。經討論再試改變容器以長方形容器，將白膠攤平在容器底部，將硼砂水滴下，以順時針方向攪拌，結果外皮成形，裡面白膠與外皮差異較小，接著混入沙子，手感濃稠，稍有延展性，但拉到超過 3cm 就會斷掉，漸漸白膠脆裂後難以恢復原貌，沙子還會與白膠分離掉落，成品失敗! 以濃硼砂水為成形水效果差。

表 5 以 100ml 與 6g 的硼砂製成硼砂水與白膠製成史萊姆加入沙子觀察紀錄表(第二作者繪製)

					
擠出線條狀	順時針攪拌	白膠史萊姆成形	加入海沙	稍有延展性	超過 3cm 就斷掉

2. 先以 100ml 的溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水，取 15ml 的白膠以線條狀方式擠在方形容器底部，以 5ml 硼砂水平均滴在線條狀白膠上，快速的以順時針方向攪拌，結果白膠史萊姆有黏稠手感、延展性稍好可以拉 7cm、沒有脆裂。迅速加入沙子，沙子越多越不沾手，揉越久越不沾手，拉開後有牽絲感，終於稍稍有流動沙的感覺了!並且可以捏塑成形!缺點是流動感差，需要再更綿密些。我們將白膠動力沙放入密封袋保存，日後再觀察。這次使用中濃度硼砂水效果優於濃度高的硼砂水!

表 6 以 100ml 與 3g 的硼砂製成硼砂水與白膠製成史萊姆加入沙子觀察紀錄表(第二作者繪製)

					
成形	加入沙子	延展 7cm	有牽絲感	可捏塑	密封袋保存

以密封袋保存的自製白膠動力沙在兩星期後再次拿出觀察，上層表面偏硬化，中間部分是濕潤，但太黏手了，再搓揉越鬆散，再多次的壓與揉可聚合了!卻發現外層偏乾偏硬，而且比上次製作時的成品更乾，牽絲效果變差。推測是水分減少了，自製白膠史萊姆動力沙接觸到空氣漸變乾了! 自製白膠史萊姆動力沙在保存上需注意完全密封，使用塑膠袋包覆後放在密閉的密封盒保存較能延長更久使用。

表 7 自製白膠史萊姆保存兩星期後觀察紀錄表(第二作者繪製)

				
上層硬化	內部濕潤黏手	鬆散	終於可聚合	牽絲效果變差

3.以 140ml 的溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水，先將硼砂水倒入容器底部，倒入 70ml 的硼砂水，加入約 15ml 的白膠，白膠以糰狀浸泡在硼砂水中，稍攪拌撈起，這次白膠史萊姆非常水嫩黏滑，手感超療癒，以手捏揉延展性佳(和之前會脆裂差別很大)，先將白膠史萊姆黏附手上殘膠，就成形了，之後逐次一層一層少量加入石英砂，不斷捏製，再慢慢少量加入石英砂，共加入 40ml 的石英砂，視情況調整，讓沙體充實飽滿後，白膠史萊姆流動沙即製作完成，這次我們很興奮我們自製的石英砂流動沙更成功了! 它有著流動沙的質地、黏性和塑形保持能力，拉開時會鬆開有拉絲感覺，手感很好，延展性更佳，60g 白膠史萊姆流動沙平均能拉至 28cm。

表 8 以 140ml 與 3g 硼砂調成硼砂水做出白膠史萊姆加入石英砂觀察紀錄表(第二作者繪製)

				
倒入硼砂水	白膠倒入	捏揉水嫩感	加入石英砂	層層捏製

表 9 以 140ml 與 3g 硼砂調成硼砂水做出白膠史萊姆加入石英砂成品紀錄表(第二作者繪製)



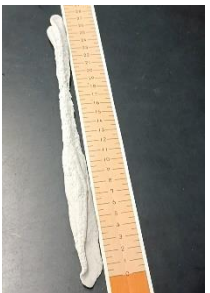


				
蓬鬆感	有牽絲感	延展 28cm	能壓模	密封盒保存

表 10 以不同濃度硼砂水製作白膠史萊姆流動沙結果分析表(第二作者繪製)

濃度 項目	濃度高硼砂水	濃度中硼砂水	濃度低硼砂水
成形狀態	能成形但膠體易脆裂	能成形沒有脆裂	能成形拉長效果佳
史萊姆軟硬度	硬 Q	軟硬適中	軟 Q
史萊姆手感	濃稠	黏稠	水嫩黏滑
加沙延展性	無	差	佳
加沙能否壓模	不可	可	可


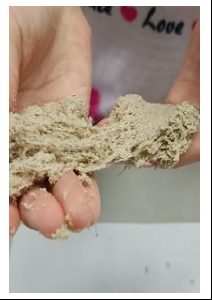


實驗結果:我們發現以濃度低的硼砂水比例:140ml 的溫水與 3g 的硼砂調配成硼砂水適合作為白膠史萊姆的成形水，製成白膠史萊姆流動沙效果佳。

(二) 以 140ml 的水與 3g 的硼砂調配成硼砂水做出白膠史萊姆並與四種沙體製作流動沙

1. 140ml 的水與 3g 的硼砂調配成硼砂水做出白膠史萊姆並與石英砂混合製作流動沙
做法與結果在上述 3。



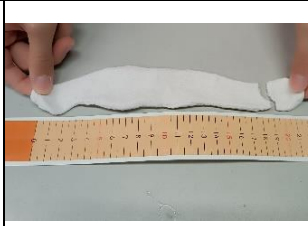

2. 以 140ml 的水與 3g 的硼砂製成硼砂水後製作出白膠史萊姆，再以上述方式換加入 45ml 海沙，嘗試不同沙體。結果牽絲流動感還有蓬鬆感很像市售流動沙，但沙體刺刺的，觸感粗糙，延展性較差，拉到 10cm 就斷了。

表 11 以 140ml 與 3g 硼砂調成硼砂水做出白膠史萊姆加入海沙觀察紀錄表(第二作者繪製)

				
白膠史萊姆	加海沙	牽絲流動感	延展 10cm	壓模細節差

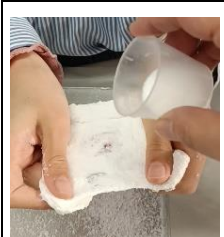
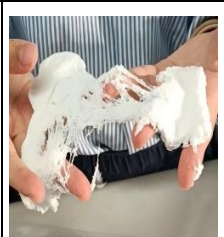


3. 以 140ml 的水與 3g 的硼砂製成硼砂水後做出白膠史萊姆，再加入 30ml 白細沙，成品偏乾硬像是硬的黏土，無牽絲感，手感差，雖延展性佳，但須很費力的拉，拉到 22cm 即斷裂，壓模細節感清楚。

表 12 以 140ml 與 3g 硼砂調成硼砂水做出白膠史萊姆加入白細沙觀察紀錄表(第二作者繪製)

			
加白細沙	無牽絲感，像黏土	拉到 22cm 即斷裂	壓模細節清楚

4. 以 140ml 的水與 3g 的硼砂製成硼砂水，再製作出白膠史萊姆，換加入沙畫沙，沙量 35ml，成品偏乾燥，手感粗糙，延展性差，很快變硬。

表 13 以 140ml 與 3g 硼砂調成硼砂水做出白膠史萊姆加入沙畫沙觀察紀錄表(第二作者繪製)

			
加沙畫沙	有牽絲感	拉至 18 公分斷	能壓模細節尚可

綜上實驗結果：經過四次的測試，發現濃度低的硼砂水也就是 140ml 溫水與 3g 硼砂調成硼砂水，適合做白膠史萊姆的成形水。製作順序是先倒 70ml 硼砂水，再倒 15ml 白膠浸泡在硼砂水中，捏製成白膠史萊姆，再和 40ml 石英砂結合製成流動沙效果最像市售史萊姆流動沙。






五、自製膠水史萊姆流動沙

(一)以 140ml 的溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水製作膠水史萊姆與石英砂的結合

我們以 140ml 的水與 3 克的硼砂調製成硼砂水，先將 20ml 的膠水倒入容器底

部，在膠水上加入 15ml 的硼砂水，順時針同方向攪拌，將稍攪拌有成形的史萊姆撈起，集合聚集成形的史萊姆，繼續拉捏，變成一團透明凝膠狀後像果凍感，過程中有時會比較不成形，這時需再加 5ml 硼砂水反覆反覆捏拉，做好膠水史萊姆，撥開史萊姆之後逐次一層一層少量加入石英砂不斷捏製，這時有麻糬柔軟的 Q 軟手感。

表 14 以 140ml 與 3g 硼砂製成硼砂水做出膠水史萊姆加入石英砂觀察紀錄表(第一作者繪製)

				
先倒入膠水	再倒入硼砂水	膠水史萊姆	捏製成形	加入石英砂

過程中我們發現自製膠水流動沙的延展性超好，超過白膠流動沙的延展性，且膠水流動沙從上到下流動感很流暢，讓我們十分驚喜!繼續加入沙體，直到沙體飽滿，共用了 45ml 的石英砂。我們決定加入幾滴乳液，讓自製動力沙有微香氣味。最後成品有柔軟、濕潤感，不會黏、有牽絲感，延展性極佳 • 經過十次測試 72g 史萊姆流動沙能延展 94.8cm，能捏塑壓模細節感清楚。與市售相比較，市售流動沙較綿密，我們成品較無綿密感。我們覺得這次的成品很不錯!真是個欣喜的發現!

表 15 以 140ml 與 3g 硼砂調成硼砂水做出膠水史萊姆加入石英砂結果紀錄表(第一作者繪製)

				
流動感佳	延展 94.8cm	有牽絲	能捏塑	壓模細節清楚

(二)以 140ml 的水與 3g 的硼砂調製成硼砂水製作膠水史萊姆與白細沙的結合

以 140ml 溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水，20ml 的膠水製作，使用 35ml 沙。這次製作出的史萊姆膠體較滑嫩黏滑柔軟，延展度好，拉動流下時很有流動感。壓模但偏濕潤。以 140ml 的水與 3g 的硼砂調製成硼砂水製作膠水史萊姆似乎較適合作為流動沙的聚合物。而以白細沙為沙體偏粉末狀作出的流動沙無顆粒感，偏向黏土感。

表 16 以 140ml 與 3g 硼砂調成硼砂水做出膠水史萊姆加白細沙觀察紀錄表(第一作者繪製)

				
成形(軟滑)	較好拉開	加白細沙	延展性佳	壓模偏濕潤

(三) 以 140ml 的水與 3g 的硼砂調製成硼砂水製作膠水史萊姆與海沙的結合

以上述方式加入海沙 45ml，成品手感舒服，有粗顆粒感，延展性佳，能拉到 60 公分，缺點是顏色土土的，視覺感差。




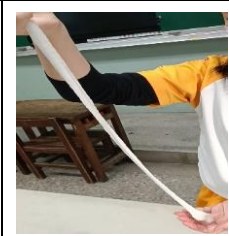

表 17 以 140ml 與 3g 硼砂調成硼砂水做出膠水史萊姆加入海沙觀察紀錄表(第一作者繪製)

				
成形	加海沙	延展 60 公分	粗顆粒感	壓模偏濕潤

(四) 以 140ml 溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水製作膠水史萊姆與沙畫沙的結合

以 140ml 的溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水，20ml 的膠水倒入容器底部，淋上 15 ml 硼砂水，稍不成形再加 5 ml 硼砂水，膠水史萊姆做好後加入沙畫沙 40ml，製作過程中有時稍難拉動，用雙手包覆加溫，竟然使稍硬化的史萊姆立刻變柔軟(今天氣溫 10 度，在冬天低溫製作容易偏硬不好拉)，成品延展佳，手感舒服有粗粗的顆粒感，但缺點是成品太濕潤了，且沒有牽絲感，壓模偏濕潤且無法壓出細節。

表 18 以 140ml 與 3g 硼砂調成硼砂水做出膠水史萊姆加入沙畫沙紀錄表 (第一作者繪製)

				
加沙畫沙	手加溫	加溫後能撐開	延展佳	無法顯示細節

綜上實驗結果:經過四次測試，發現以濃度低的硼砂水也就是 140ml 的溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水，適合做膠水史萊姆的成形水。製作順序是先倒入 20ml 的膠水再倒入 15ml 的硼砂水，撈出成形的史萊姆，稍不成形再加入 5 ml 硼砂水，製成膠水史萊姆後和 45ml 石英砂結合效果最像市售史萊姆流動沙。

六、開發自製彩色動力沙與史萊姆流動沙的配方



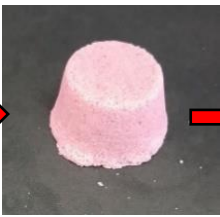



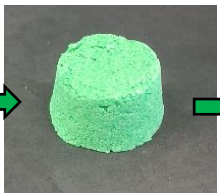



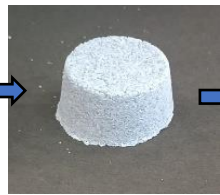

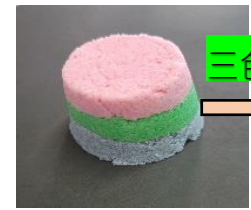
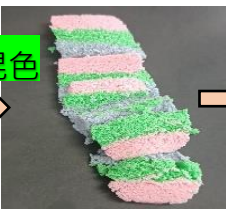
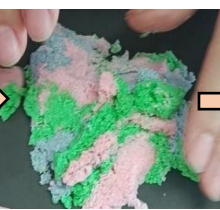

(一) 自製彩色矽膠動力沙

自製矽膠動力沙結果以海沙或沙畫沙:矽膠:玉米澱粉 10:2:1.5 的比例效果最好。我們決定使用白色沙畫沙(能上色)。取 30g 沙畫沙加入 4.5 g 玉米澱粉，再加入矽膠 6g，加入紅色液狀食用色素、綠色壓克力顏料、梔子藍色色粉進行攪拌混合後動力沙呈現櫻花紅、螢光綠和灰藍色，液體食用色素製成的動力沙稍黏手，而壓克力顏料和動力沙混合後聚合效果更好，另外色粉調製的動力沙需攪拌較久。紅綠藍三色可進行混色變成薄荷綠，三種著色顏料都沒有殘留在手上，但會有些沙沾黏手。

表 19 不同顏料製成彩色矽膠動力沙沾手程度紀錄表(第一作者繪製)

液體色素	壓克力顏料	色粉
		
沙黏手最多	沙黏手最少	沙黏手居中

表 20 自製彩色矽膠動力沙上色、混色過程和壓模成品觀察紀錄表(第一作者繪製)






 液體食用色素			
 壓克力顏料			
 食用色素色粉			
 三色混色			

實驗結果: 經過三次實驗，發現壓克力顏料上色效果最佳。成品特色:有沙粒觸感、色彩繽紛、能壓模、能混色、不結塊，較不沾手(8%~20%會沾手)，壓下能緩流動、有若即若離感。用矽膠當聚合物缺點是矽膠會些許黏手，必須先用布擦掉手上矽膠再將手洗乾淨。

(二) 自製彩色白膠史萊姆流動沙

以 15ml 白膠浸泡在 140ml 的溫水與 3g 的硼砂調製成硼砂水中，製成白膠史萊姆，慢慢加入 40ml 石英砂及藍色壓克力顏料、紅色素粉以及綠色液體食用色素，過程中覺得偏硬不好拉長時加入些許嬰兒油或乳液潤滑。

表 21 以壓克力顏料和自製白膠史萊姆流動沙上色觀察紀錄表 (第二作者繪製)






				
黏膠成形	加石英砂	加嬰兒油	加壓克力顏料	上色

這次的效果讓我們十分驚喜與感動!成品和市售流動沙已經十分相似了!鮮豔的色彩讓我們驚奇，捏柔成品時散發著淡淡清香，手感綿密、有牽絲感、可壓模，能捏塑，拉動時能像液體一樣自由流動，可以從高處緩慢流下，產生有趣的視覺效果，115g(兩團混色)流動沙平均能拉至 64cm，乳液、嬰兒油讓自製動力沙更軟化與保濕!這次的成品存放三星期後再拉揉，捏拉效果依然很好!

表 22 自製彩色白膠史萊姆流動沙成品觀察紀錄表(第二作者繪製)

			
壓克力顏料	牽絲感、能壓模	可捏塑、拉長流動	能進行雙色混色
			
色粉			

表 23 以液體食用色素和自製白膠史萊姆流動沙上色觀察紀錄表(第二作者繪製)

				
滴液體食用色素	上色	馬卡龍色	能延展	色素殘留

實驗結果:發現以紅色色素粉和綠色液體食用色素製作顏料會殘留在手上，藍色壓克力顏料沒有殘留現象。膏狀的藍色壓克力顏料固色力優於粉狀色素、液狀食用色素。成品色彩繽紛、氣味清香、能混色、壓模、捏塑、手感綿密、延展性佳，經過十次的測試 60g 藍色壓克力流動沙平均能延展 52.5cm，有牽絲感、能像液體流動，視覺效果佳!

(三) 自製彩色膠水史萊姆流動沙

在 20ml 膠水中加入 140ml 的水與 3g 的硼砂調製成硼砂水，先使用 15ml 硼砂水成形，過程中若稍化掉再加 5ml 硼砂水，分次加入 45ml 石英砂製成膠水史萊姆流動沙後，分別使用橘色壓克力顏料、梔子藍食用色素粉、黃色液體食用色素著色，三種著色顏料都有不錯的效果，並沒有明顯顏色殘留在手上的情形。不同比例著色劑用量會影響最終的顏色效果，我們少量分次添加，製成迷人馬卡龍色感。自製彩色膠水史萊姆流動沙手感濕潤，凝視著拉動時瞬間流動的美感，真是視覺享受，拉動時還有沙子互相摩擦的聲響，十分療癒! 以下是不同色料的調色過程和成品。

表 24 壓克力顏料、色粉、液體色素和膠水史萊姆流動沙上色及成品紀錄表(第一作者繪製)



實驗結果:經五次測試用上述配方與壓克力顏料和液體食用色素、色粉都可與自製膠水史萊姆流動沙調色。成品色彩迷人、手感濕潤、經十次測試 60g 壓克力顏料調色的流動沙平均延展 71.7cm、流動感佳、能捏塑、能壓模，有牽絲感，拉動時有沙沙聲響，十分療癒!

伍、討論

一、分析市售流動沙的討論

(一) 為什麼流動沙不會變乾？

推測流動沙成分可能有合成油脂、黏著劑、沙和色素或色粉等組成，還有某種物質成分，不會因空氣而乾燥，使得流動沙可重複使用。

(二) 流動沙延展性有多好？

流動沙可以延展到相當長的程度，但具體長度很難有確定的數字。因為一旦拉得太長，沙柱就會變細，最終斷裂。流動沙的延展性會受到許多因素影響，包括：

- 1.沙的量：沙的量越多，延展的長度通常也會越長。
- 2.拉扯的速度：拉扯的速度越放慢，延展的長度通常會越長。
- 3.溫度：不斷用手捏揉，或手加溫，溫度較高時，流動沙的延展性會稍微變更好。

流動沙很有趣!未來實驗可以進行沙的量、拉扯的速度、溫度對延展性的影響，是未來有趣的研究的方向。

二、自選四種沙體分析討論

沙子普遍的成分為二氧化矽 (SiO_2)，通常為石英的形式，因化學性質穩定和物理硬度堅硬，能抗風化。

- (一) 石英砂: 石英砂是石英石經長時間的風化和侵蝕後形成或是破碎加工的細小顆粒的主要成分是二氧化矽，每個二氧化矽分子由一個矽原子和兩個氧原子構成，這些原子以特定的三角形結構排列，這種排列形式穩定堅硬，能維持其獨特的流動特性和塑形能力扮演著關鍵因素。
- (二) 海沙: 海沙常見有黑色、白色、黃色。影響海沙顏色的主因在於砂質構成的成分，主要成分有石英、生物碎屑和其他礦物。若上游流域供應大量石英碎屑構成海沙，會呈現白色或金黃色，影響海沙顏色的因素推測石英含量較高，海沙顏色較黃，是石英在海沙中占很大的比例。
- (三) 白細沙: 呈現白色主要是因為含大量石英，有可能也含其他少量的礦物如長石、方解石等。本研究中以白細沙製作出的矽膠動力沙和史萊姆流動沙偏向黏土感，推測是白細砂的顆粒為橢圓形的影響。
- (四) 沙畫沙: 主要成分通常是天然的細沙，海灘或沙漠中的沙子，主要成分是石英。

三、自製矽膠動力沙

(一) 石英砂是否更容易和矽膠結合？

前人文獻提出了石英砂是否更容易和矽膠結合的疑問，經過我們實驗發現我們選用的最小顆粒 1 號石英砂似乎不符合前人提出得疑問，或許 2 號、3 號顆粒較大的石英砂也許能和矽膠結合，值得再進一步探討。本實驗結果是海沙和沙畫沙與矽膠有較好的結合效果。1 號石英砂和白膠和膠水卻是和石英砂有很好的結合效果。

(二) 自製矽膠動力沙能保存多久？

本研究從七月開始實驗到隔年五月，經過 10 個月自製矽膠動力沙完全沒有乾燥現象，因為矽膠是化學穩定的材料，不會因水分蒸發而變硬變脆。但若加硬化劑則會使矽膠發生固化反應。

四、自製白膠史萊姆流動沙

(一) 白膠和硼砂之間進行了什麼化學反應呢？為何能成形呢？

白膠加入硼砂水會變成黏黏的史萊姆，這是因為白膠與硼砂發生了化學反應，產生了新的物質。有以下的變化：

1. 形成網狀結構：白膠的主要成分是 PVAc 它是一種水溶性聚合物。硼砂是一種硼酸鈉，化學式為 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 。在水中會解離出硼酸根離子 ($\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$)。硼砂是交聯劑，硼砂中的硼酸根離子會與白膠中 PVAc 的分子產生交聯作用，交聯作用是指硼酸根離子與兩個或多個 PVAc 分子結合，形成一個網狀結構。

圖 3 網狀結構(第二作者繪製)

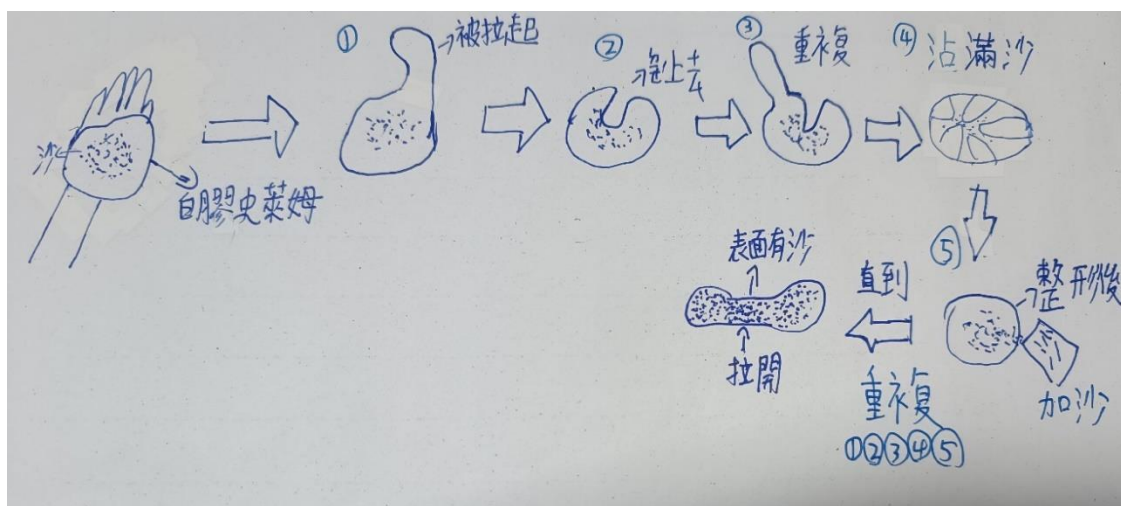


2. 由液態變為固態：這種網狀結構使得白膠從流動的液體變成具有彈性的固體，也就是史萊姆。
3. 黏性增加：交聯作用會增加史萊姆的黏性，讓它變得有彈性、有拉伸性。
4. 特性可調：透過調整硼砂水的濃度和加入量，可控制史萊姆的軟硬度、黏性等特性。

(二) 捏製白膠史萊姆流動沙有手法、技巧嗎？

我們發現有技巧的捏製能讓沙與史萊姆更均勻結合。捏製方法是：先將白膠史萊姆均勻延展攤平在手上，撒上沙後，再捏起一角往中心折進去，重複捏、延展、拉再折的動作，直到把沙黏好，再重複同樣動作使沙與史萊姆均勻混和，直到表面有飽滿的沙粒感。

圖 4 捏製白膠史萊姆流動沙過程(第二作者繪製)



(三) 自製白膠史萊姆流動沙常溫下的使用期限會是多久呢?

觀察自製白膠史萊姆流動沙常溫下用收納盒子保存一星期的保存狀況

表 25 常溫保存自製白膠史萊姆流動沙觀察紀錄表(第二作者繪製)

113.11.14 製作後 第一天		上層邊緣微乾，泛黃，但中間濕潤柔軟，延展性佳，流動感好還有牽絲感。沙會黏手。
113.11.15 製作後 第二天		邊緣一樣微乾有點硬，中間仍然濕潤有光澤，邊緣也有泛黃，有牽絲感，但沒法拉得比之前長。
113.11.16 製作後 第三天		邊緣微乾硬，顏色黃灰，中間表皮微乾，但壓下去柔軟，揉捏沙一樣黏手，有牽絲感，但延展性較不好。
113.11.17 製作後 第四天		邊緣微乾硬，更明顯的泛黃，中間表皮微乾，但壓下去柔軟，沙較不黏手，覺得是因為膠有點乾掉。延展性較差。
113.11.18 製作後 第五天		邊緣和表面都偏乾，內部柔軟，還有牽絲感，也還能壓模，但延展性差，一拉就斷裂。 
113.11.19 製作後 第六天		邊緣和表面都更乾燥了，稍微硬化，內部水分減少，稍有牽絲感，但無延展性。
113.11.20 製作後 第七天		邊緣和表面都更乾燥了，稍微硬化，內部水分減少，稍有牽絲感，但無延展性。飄出一股酸酸氣味。



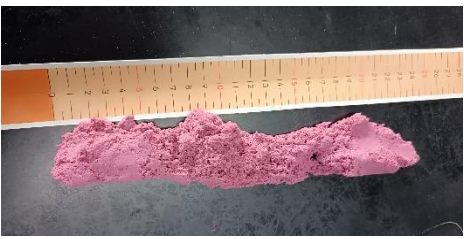
討論結果:

- 1.製作的成品第一天效果最佳，過四天效果還可以，第五天以後就失去流動沙效果
- 2.每天捏一捏成品能維持動力沙的效果，但若沒有每天捏揉把玩，經過五天後成品偏硬、拉絲效果變差、壓模後表面龜裂。
- 3.每天捏揉自製流動沙能維持延長動力沙的效果，推測手的溫度能恢復延展效果。
- 4.白膠流動沙一天比一天效果差的原因是白膠接觸空氣後白膠的水分會蒸發，膠體水分喪失使得自製流動沙到最後會硬化。推測加上乳液或嬰兒油或許能保濕延長效果。
- 5.而自製流動沙逐漸有泛黃感，推測是因為白膠中成分與空氣中的氧氣接觸，可能發生氧化反應，導致膠體泛黃。若是加上顏料或色素或許能掩飾為泛黃問題。
- 6.白膠流動沙放置一段時間後，聞起來有股酸味，查資料發現是白膠在乾燥過程中含有揮發性有機化合物(voc)會揮發到空氣中，因此使用時須注意保持空氣流通。或許加上有氣味的保濕劑如嬰兒油或乳液能改善酸味情形。

(四) 自製白膠史萊姆流動沙冷藏下的使用期限會是多久呢？

根據文獻--千變萬化的史萊姆的研究中文獻提及溫度會影響史萊姆的保存，在常溫下，剛做好的史萊姆手感最好，雖然密封保存，柔軟度和延展性還是會隨著時間變長而變差。我們的彩色白膠史萊姆流動沙也是如此，常溫下三個星期還是有不錯的效果!文獻說可利用冰箱冷藏來保存史萊姆，我們將彩色白膠史萊姆流動沙用塑膠袋完全密封放冰箱冷藏，放置一個半月的時間，使用時以隔水加熱方式回溫，結果發現延展性變差一點，但還是有流動沙的特性。以冷藏方式保存能延長自製白膠史萊姆流動沙使用期限。

表 26 冷藏保存自製彩色白膠史萊姆流動沙觀察紀錄表(第二作者繪製)

		
密封冷藏保存	隔水加熱回溫	還能延展約 25cm

四、自製膠水史萊姆流動沙

(一) 膠水和硼砂之間進行了什麼化學反應呢？

膠水成分有 PVA，是一種水溶性聚合物。硼砂水溶液會在 PVA 分子之間形成連結，也就是交聯作用(就像是把許多小珠子用繩子串起來一樣)，當膠水和硼砂水混合時，硼酸根離子會與 PVA 分子中的羥基 (-OH) 發生交聯反應而形成一個網狀結構。這個網狀結構使得 PVA 分子不再像之前那樣自由移動，膠水變成具有彈性的凝膠狀物質，即是史萊姆。硼砂的比例越低，這些連結就越少，整個結構就會變得越鬆散；硼砂的比例越高，這些連結就越多，整個結構就會變得越緊密。

圖 5 網狀結構(第一作者繪製)



(二) 如何才能找到最佳比例?

要實驗才能找到最佳比例，先從一個基本的比例開始，然後慢慢調整，直到找到適合的黏稠度。可能沒有絕對的比例，因為不同的膠水品牌、水溫、甚至室溫、天氣都會影響到最終的結果。

(三) 不同比例硼砂水與膠水會產生什麼效果？

膠水和硼砂水的比例會影響到最終成品的性質，例如像是黏稠度、彈性、軟硬度等。

1. 硼砂比例較低：史萊姆較水嫩濕潤，觸感較黏滑，易變形，無彈性。

140ml 的水與 3g 的硼砂調製成硼砂水加膠水製作史萊姆，與沙混合，流動沙成功!

表 27 硼砂比例低的硼砂水製成膠水史萊姆流動沙觀察紀錄表(第一作者繪製)

				
易變形	黏滑	成形(水嫩)	加沙	延展佳

2. 硼砂比例適中：史萊姆軟硬適中，不易變形，軟 Q 有彈性

以 120ml 的水與 3g 的硼砂調製成硼砂水加膠水製作史萊姆，因比例不佳膠體成形偏 Q 彈後加沙製作失敗。

表 28 硼砂比例適中的硼砂水製成膠水史萊姆流動沙觀察紀錄表(第一作者繪製)





				
成形(好軟)	軟 Q	加沙	不好拉	一拉斷裂

2. 硼砂比例過高：史萊姆較硬，不易變形，甚至會變得容易脆裂，沒有彈性。

以 100ml 的水與 3 g 的硼砂調製成硼砂水製作膠水史萊姆，但史萊姆成品較

硬 Q，慢慢拉開後加入一些沙，只開始加入一些沙後就脆裂，失敗。




表 29 硼砂比例高的硼砂水製成膠水史萊姆流動沙觀察紀錄表(第一作者繪製)

				
成形(稍硬)	不好拉開	加沙	較硬 Q	脆裂，失敗

(四) 自製膠水史萊姆流動沙的使用期限會是多久呢？

自製膠水史萊姆流動沙的保存期限大約為一個月。如何延長保存期限？每次玩完後，都要將它密封好，減少與空氣接觸的機會。將膠水史萊姆流動沙完全密封起來，冷藏保存避免冷凍。定期檢查史萊姆動力沙是否有發霉、變色、變臭等現象，若有異狀應丟棄。我們將冷藏一個月的自製膠水史萊姆流動沙再進行觀察，發現延展性變差，原本能延展 60cm 以上變成只能延展約 35cm，但仍有流動沙的特性。

表 30 冷藏保存自製彩色膠水史萊姆流動沙觀察紀錄表(第一作者繪製)

		
密封冷藏保存	隔水加熱回溫	能延展約 35cm

六、自製繽紛動力沙和流動沙

- (一) 用紅色色素粉顏色會殘留在手上，但藍色壓克力顏料卻不會，推測若色粉量過多。
- (二) 自製膠水史萊姆流動沙當天效果最佳，放置到隔天沙會些許脫落，推測膠水黏性較差，自製白膠流動沙卻較少脫沙，推測白膠黏性較好，若是一半白膠一半膠水(或是其他比例)製作成史萊姆動力沙效果不知如何?是未來可以研究的方向。
- (三) 壓克力顏料安全嗎? 基本上是安全的，但色料中如有鉛、鎘、鉻等重金屬，則可能有毒性，要選擇無毒顏料。或選擇液體食用色素或食用色素色粉最安全。

七、自製動力沙與史萊姆流動沙的安全性

(一) 硼砂安全嗎?

硼砂對人體的危害主要來自於食用。有些不肖業者在食品中添加硼砂，來增加食品的 Q 彈度。硼砂進入人體後，會與胃酸反應產生硼酸(H_3BO_3)。硼酸會在體內累積，妨礙消化酵素的作用，影響營養素的吸收。雖然硼砂常被用於科學實驗，但仍需注意避免長時間接觸皮膚和眼睛及吸入粉塵。戴手套製作史萊姆可以避免史萊姆黏手，但實際使用手套卻更不好操作。本實驗所接觸的硼砂量極少是微乎其微的，也要謹慎操作並洗手。查詢史萊姆相關文獻發現以洗眼液或食用鹼粽粉(碳酸鈉)可取代硼砂，未來實驗可朝無毒史萊姆流動沙研究。

(二) 矽膠、白膠、膠水安全嗎?

矽膠成分是二氧化矽(SiO_2)，主要來自天然礦石，有高穩定性，能耐高低溫(從 $-20^{\circ}C$ 至 $220^{\circ}C$)，是安全無味無毒。白膠、膠水主要原料都是 PVA，根據文獻**史用說明-史萊姆的應用**，PVA 具有良好的成膜性、粘著性、耐磨性，無毒、無味、無刺激性。





八、在製作史萊姆流動沙的過程中發現偏硬不好拉時，加入幾滴嬰兒油、乳液，能讓史萊姆軟化，延展性更佳。研究這些添加物對史萊姆流動沙的影響可能是個有趣的實驗。

九、矽膠若不加硬化劑，與沙子結合確實能有很長一段時間不會乾的特性，而自製史萊姆流動沙卻經過一段時間會硬化，市售史萊姆流動沙卻不會硬化不會乾燥能保持很好的黏性，到底有什麼神秘物質在其中呢?且矽膠能耐高溫與低溫，市售史萊姆流動沙也是不受高低溫影響，若是將矽膠或矽油(聚二甲基矽氧烷)和史萊姆與沙子進行實驗，不知能否有市售史萊姆流動沙不會乾的特性?或者將自製矽膠動力沙與史萊姆流動沙混合是否能有更像市售史萊姆流動沙的成品?可能是未來可實驗探索的方向。

十、本研究於 113 年 11 月 13 日(秋天)開始嘗試白膠、膠水史萊姆流動沙直到 114 年 1 月 24 日(冬天)完成彩色白膠、膠水史萊姆流動沙的製作，這段時間最低氣溫 10℃，最高氣溫 27℃。發現溫度越低(10℃)史萊姆偏硬不易拉，添加幾滴嬰兒油或乳液或靠手溫能讓史萊姆更好延展。為了更確定本研究的配方(以低濃度的硼砂水 140ml 溫水與 3g 調成為成形水)能否在 5 月(夏天)高溫 28℃到 33℃製作史萊姆流動沙，我們繼續嘗試以低濃度硼砂水，進行實驗，發現白膠史萊姆較不易成形時，需在成形水中浸泡多一點時間好讓它成形，才能製作出白膠史萊姆流動沙。而在高溫 28℃到 33℃時膠水史萊姆以低濃度硼砂水是可成形的並能製作出流動沙的。未來可進一步研究在不同溫度下，設計更多不同比例成形水，製作出史萊姆流動沙進行比較。

十一、製作白膠史萊姆流動沙時，在無完全成形狀態下加入石英砂，會變成失敗的白膠史萊姆流動沙(無法拉長)，意外發現像極市售動力沙!另外，將自製紅色(壓克力顏料)膠水史萊姆流動沙與藍色(壓克力顏料)白膠史萊姆流動沙捏揉混合的成品，兩種成品結合，發現竟像極市售紫色史萊姆流動沙!令我們十分驚喜，製作科學玩具非常有成就感!

表 31 失敗的白膠史萊姆流動沙、混合白膠與膠水史萊姆流動沙紀錄表(第二作者繪製)

失敗成品與市售動力沙相較		混合自製白膠與膠水史萊姆流動沙與市售流動沙相較	
市售動力沙	自製失敗成品	市售史萊姆流動沙	混合自製流動沙
			

陸、結論與未來展望

- 一、市售史萊姆流動沙外觀像黏土，拉動時有牽絲感、能延展，60g 史萊姆流動沙能延展 93.3cm。色彩繽紛、氣味清香、黏稠卻不黏手、可堆疊捏塑、壓模，兼顧視覺、觸覺和嗅覺是有趣又療癒的玩具。
- 二、自選四種沙體石英砂、白細沙、海沙和白沙畫沙主要成分是石英。顆粒大小比較結果：石英砂<白細沙<海沙≡沙畫沙。石英砂顆粒最小最適合製作史萊姆流動沙，白細沙成品偏像黏土，海沙不適合上色，白色沙畫沙適合製作矽膠動力沙。
- 三、海沙和白色沙畫沙、矽膠、玉米澱粉以 10:2:1.5 的比例調出，較接近市售動力沙，可壓模成形，有若即若離般的流動感。

四、140ml 溫水與 3g 硼砂調成硼砂水後，用 15ml 白膠浸泡在 70ml 硼砂水中，製成白膠史萊姆，再加入 40ml 石英砂，能製作出類似市售史萊姆流動沙的效果。

五、140ml 溫水與 3g 硼砂調成硼砂水後，倒入 20ml 膠水和 20ml 硼砂水製成膠水史萊姆，再加入 45ml 石英砂能製作出類似市售史萊姆流動沙的效果。

六、壓克力顏料、液體食用色素和色粉都可與自製矽膠動力沙、自製史萊姆流動沙調出繽紛色彩。壓克力顏料與自製矽膠動力沙調色效果最佳；壓克力顏料與自製白膠史萊姆流動沙調色效果最佳，色彩鮮艷、氣味清香、能混色、壓模、捏塑、手感綿密、有牽絲感、延展性佳，60g 彩色白膠史萊姆流動沙平均能延展 52.5cm；三種顏料都可與自製膠水史萊姆流動沙調色，色彩迷人、手感濕潤、60g 彩色膠水史萊姆流動沙平均能延展 71.7cm、流動效果佳、能捏塑、壓模，有牽絲感，拉動時有沙沙聲響，十分療癒！

七、未來展望與研究：

(一)建立一套量化方法，進而評估沙量、沙子顆粒大小、史萊姆的黏性與軟硬度、溫度和添加物等，對史萊姆流動沙成品的流動性、延展性和手感之影響。

(二)找出能取代硼砂的物質做成無毒史萊姆，再製作出史萊姆流動沙，讓科學玩具更安全。

(三)把人工智慧 AI 帶入本研究自製史萊姆流動沙，輔助本研究未來值得探討之方向。

柒、參考文獻資料

一、王涵韻、許子胤、楊詠晴、鐘安昀(2015)。遊戲·[矽][油]-矽、粉末與沙的對話。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會作品說明書。

二、陳沛文、陳暉文、柯昀彤、洪穎珊、盧彥丞、賴又睿(2017)。「異」想「添」開~影響化學黏土及磁性黏土之因素探究與應用。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書。

三、東門國小(2023)。千變萬化的史萊姆。新竹市第 41 屆中小學科學展覽會作品說明書。

四、洪安蕎、馬韻甯(2021)。史用說明-史萊姆的應用。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品說明書。

五、蔡旻翰、吳宗恩、林昀臻(2019)。膠礮方程式。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。

【評語】 080212

1. 本研究探討動力沙與史萊姆等材料在不同配方下的流動性與延展性差異，主題貼近兒童生活經驗，具趣味性與實驗潛力。
2. 實驗設計具有多種材料配方變因（如膠水種類、玉米粉比例、油水比、膠體添加），且操作流程明確。
3. 作品融合材料科學、感官觀察與創意設計，展現跨領域素養與學習熱情，是一份兼具教育性、操作性與趣味性的優秀研究作品。
4. 期望學生於從事科學探究之際，亦能同步培養正確之實驗日誌書寫習慣，例如：每次紀錄應明確標示日期與時間，並避免使用鉛筆書寫，以確保資料之完整性與可追溯性。
5. 報告過程中語氣穩定、說話流暢，能清楚說明每個步驟與數據，展現出對主題的理解與自信。

作品海報

細「沙」長「流」

探討自製動力沙與史萊姆流動沙

摘要

市售動力沙和史萊姆流動沙這類玩具很療癒，我們十分好奇，想以身邊隨手可得的材料製作，透過觀察與動手實作，歸納出動力沙配方：白色沙畫沙、矽膠、玉米澱粉以10:2:1.5比例調出加入顏料，成品特色能壓模、混色及有若即若離感。白膠史萊姆流動沙配方：以140ml溫水與3g硼砂調成硼砂水，用15ml白膠浸泡於70ml硼砂水中製成史萊姆，加入40ml石英砂。膠水史萊姆流動沙配方：調出相同比例硼砂水，用20ml膠水和20ml硼砂水做成史萊姆，加入45ml石英砂。最後添加壓克力顏料、液體食用色素或色粉調出色彩迷人、流動感佳、能混色、塑形、壓模、60g白膠與膠水史萊姆流動沙分別延展52.5cm與71.7cm，可比擬市售史萊姆流動沙視覺美感。實驗成本低、易操作，動手做玩具的過程非常有成就感！

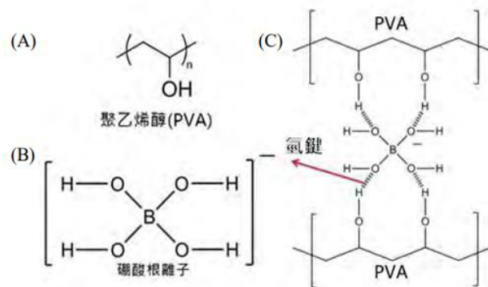
壹、前言

四年級下學期我們流行玩「史萊姆流動沙」，「史萊姆流動沙」是「動力沙」的其中一種。「動力沙」和一般沙子很不一樣，有沙的觸感摸起來濕潤卻不黏手，可塑形，會若即若離緩緩的流動；而「史萊姆流動沙」有沙子的顆粒感，有黏性很鬆軟、綿密，可塑形、拉伸、捏揉，只要一拉就像棉花糖般柔軟，看著它由上而下流動的感覺非常療癒，我們十分好奇「動力沙」和「史萊姆流動沙」如何製作出來的？能否從日常生活中方便的材料來自製「動力沙」和「史萊姆流動沙」？

本研究的目的為：(一)分析市面販售的史萊姆流動沙(二)觀察自選四種沙體(三)探索自製矽膠動力沙(四)探索自製白膠史萊姆流動沙(五)探索自製膠水史萊姆流動沙(六)自製繽紛動力沙和史萊姆流動沙。

應用的化學原理為交聯作用：膠水的主要成分聚乙醇（簡稱PVA）結構如圖(A)所示，白膠的主要成分聚醋酸乙烯酯（簡稱PVAc）。交聯作用是硼砂溶解於水中解離出硼酸根離子 $B(OH)_4^-$ 結構如圖(B)所示，與PVA分子作用，分子之間吸引在一起如圖(C)所示，形成具有黏性和彈性的史萊姆。

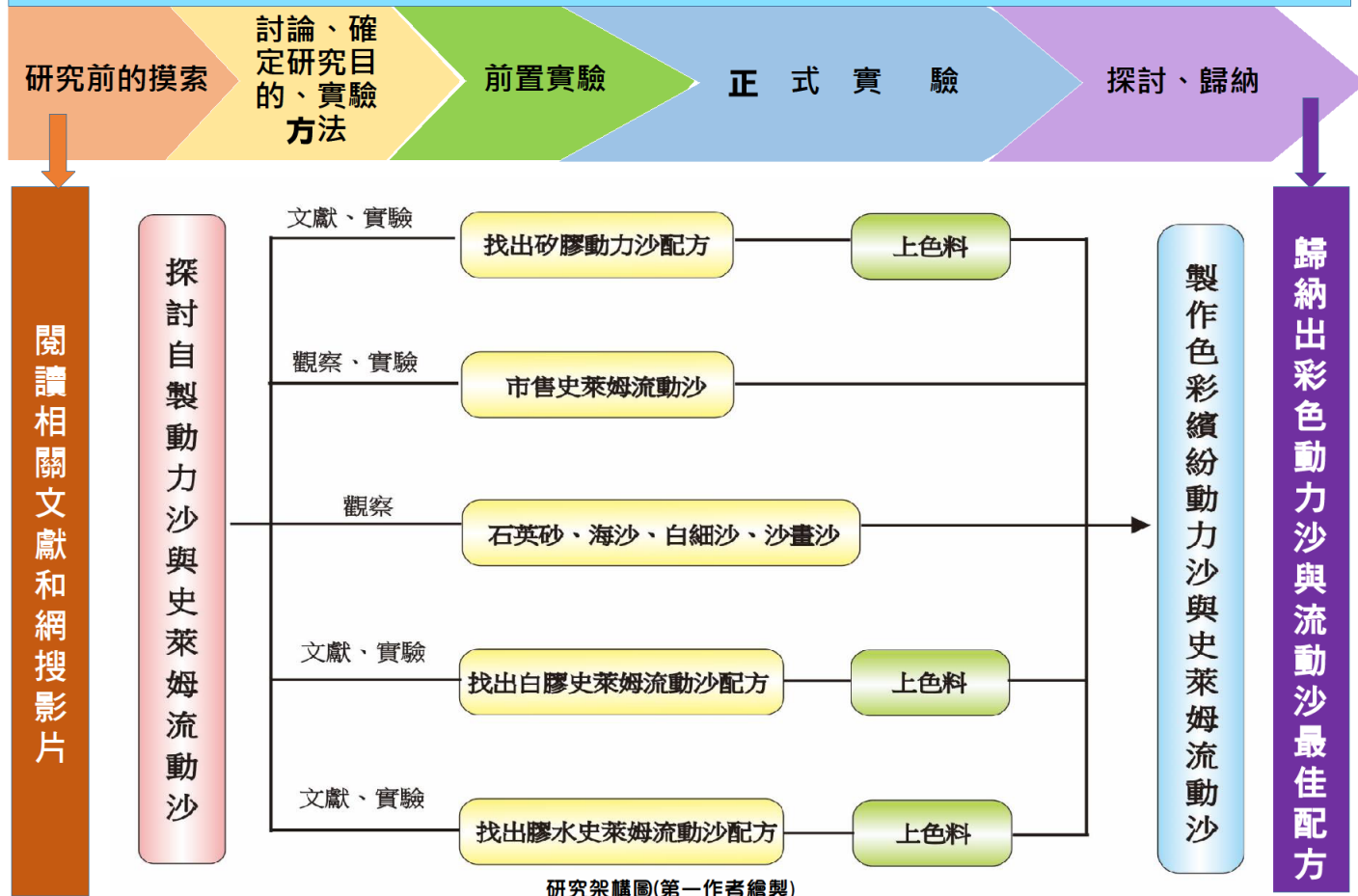
註：右圖(A)、(B)、(C)引自膠碘方程式



貳、研究設備及器材

一、設備	手機與夾式100X顯微鏡、電子秤。
二、器具材料	(一)沙體材料：石英砂1號、海沙、白細沙、白色沙畫沙1號(二)聚合物材料：矽膠、白膠和膠水(三)容器：布丁杯、含氟漱口水杯、方形容器(四)著色顏料：壓克力顏料(膏狀)，食用色素(液狀)、食用色素粉和教室內現有的色素粉(粉狀)(五)添加物：硼砂、玉米澱粉、嬰兒油、乳液(六)市售史萊姆流動沙。

參、研究過程與方法



研究架構圖(第一作者繪製)

實驗一：分析市面販售史萊姆流動沙

用夾式顯微鏡觀察

實驗二：用夾式顯微鏡觀察觀察沙子石英砂、白細沙、海沙、和白沙畫沙

實驗三：探索自製矽膠動力沙

以四種沙子和矽膠調出10:1進行攪拌觀察

以四種沙子和矽膠調出10:2進行攪拌觀察

以四種沙子、矽膠、玉米澱粉調出10:2:1.5攪拌觀察

以四種沙子、矽膠、玉米澱粉調出10:3:1.5攪拌觀察

實驗四：探索自製白膠史萊姆流動沙

以不同濃度的硼砂水與白膠和四種沙體混合觀察

實驗五：探索自製膠水史萊姆流動沙

以140ml的溫水與3克的硼砂調製成硼砂水製作膠水史萊姆再與四種沙體混合觀察

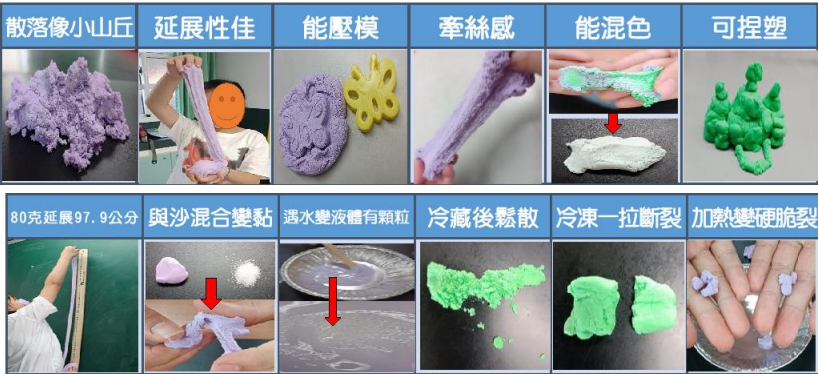
實驗六：自製繽紛動力沙與史萊姆流動沙

以壓克力顏料、液體食用色素、色粉分別加入自製矽膠動力沙、自製白膠史萊姆流動沙、自製膠水史萊姆流動沙混合觀察

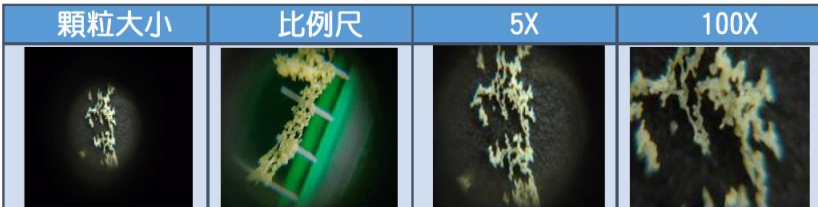
肆、研究結果

實驗一：分析市售史萊姆流動沙

市售史萊姆流動沙特性 (第二作者繪製)



顯微鏡觀察結果 (第一作者繪製)



市售史萊姆流動沙是一種結合了動力沙和史萊姆特性的玩具。在包裝外寫主要成分是膠水和食用色素。顯微鏡下觀察有層膠覆蓋在沙粒表面上，推測是有聚乙烯醇 (Polyvinyl Alcohol，簡稱 PVA)，另外有不知何種成分的油或成份使它不會乾硬。沙粒是細小不規則形狀。史萊姆流動沙結合了動力沙的可塑性和史萊姆的柔軟有黏性，觸感獨特，既能像史萊姆一樣拉伸延展、擠壓，又能像動力沙一樣塑形、堆疊，具有固體的特性，但同時也具備液體的流動性。溫度的改變如冷藏、冷凍、加熱對市售史萊姆流動沙經過回溫之後幾乎「沒」影響，但必須注意不能碰水。

實驗二：四種沙體觀察結果 (第一作者繪製)

名稱	石英砂	海沙	白細沙	沙畫沙
顆粒大小				
比例尺				
100X				
分析	細小，不規則形。	不規則形，尖角角，部分透明，部分呈土色。	較細小，偏橢圓形。	形狀不規則，大多偏長方形有棱角。

顏色：石英砂、白細沙、沙畫沙為白色，而海沙偏土色。
形狀：石英砂、海沙、沙畫沙為不規則形，白細沙為橢圓形
顆粒大小：石英砂約0.01mm~0.2mm，海沙約0.25mm，白細沙約0.01mm~0.25mm，沙畫沙約0.2mm。
石英砂<白細沙<海沙≈沙畫沙

實驗三：探索自製矽膠動力沙

自製矽膠動力沙最佳比例

海沙及沙畫沙、矽膠、玉米澱粉調出10:2:1.5的比例效果最好 (第二作者繪製)

石英砂	海沙	白細沙	沙畫沙
不能聚合，鬆散	矽膠吸附海沙效果好	能聚合，但流動感差，結塊	能聚合，流動感佳
可壓模成形	可壓模成形	可壓模成形	可壓模成形

實驗四：探索自製白膠史萊姆流動沙

自製白膠史萊姆流動沙配方

以不同濃度的硼砂水與白膠和沙體混合觀察結果

項目	濃度 濃度高硼砂水 100ml水與6克硼砂	濃度中硼砂水 100ml水與3克硼砂	濃度低硼砂水 140ml水與3克硼砂
成形狀態	成形膠體脆裂	成形沒有脆裂	成形拉長效果佳
史萊姆軟硬度	硬0	軟硬適中	軟0
史萊姆手感	濃稠	黏稠	水嫩黏滑
加沙延展性	無	差	佳
加沙能否壓模	不可	可	可

濃度低硼砂水做白膠史萊姆的成形水。先倒70ml硼砂水，再倒15ml白膠浸泡在硼砂水中，捏製成白膠史萊姆，再和40ml石英砂結合製成流動沙，效果最像市售史萊姆流動沙。

製作過程 (第二作者繪製)



製作結果 (第二作者繪製)



實驗五：探索自製膠水史萊姆流動沙

自製膠水史萊姆流動沙配方

濃度低硼砂水做膠水史萊姆的成形水。先倒入20ml膠水再倒15ml硼砂水，撈出成形史萊姆，稍不成形再加入5ml硼砂水，製成史萊姆後和45ml石英砂結合效果最像市售史萊姆流動沙。

製作過程 (第一作者繪製)

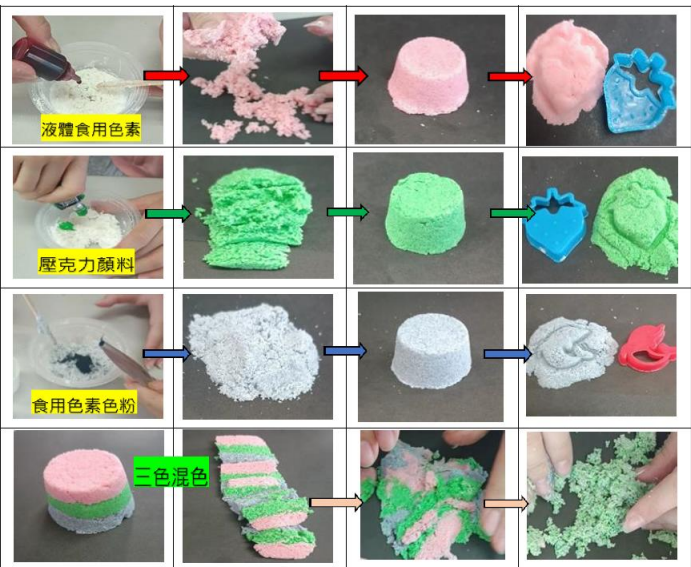


製作結果 (第一作者繪製)



實驗六：自製繽紛矽膠動力沙與史萊姆流動沙

自製彩色矽膠動力沙

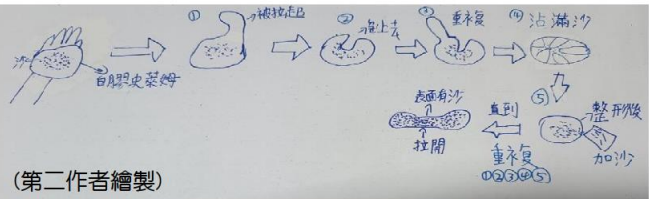


用壓克力顏料上色效果最佳，成品特色有沙粒觸感、色彩繽紛、能壓模、混色，較不沾手，壓下有若即若離感。(第一作者繪製)

自製彩色白膠史萊姆流動沙

(第二作者繪製)

捏製手法



(第二作者繪製)

自製彩色膠水史萊姆流動沙

(第一作者繪製)



黏膠成形 加石英砂 加嬰兒油 壓克力顏料 上色



有牽絲感、能壓模
能捏塑、可拉長流動

能進行混色
(第二作者繪製)



壓克力顏料

色粉

液體色素

伍、討論

- 一、流動沙延展性有多好?流動沙可以延展到相當長的程度，但具體長度很難有確定的數字。因為一旦拉得太長，沙柱就會變細，最終斷裂。流動沙的延展性會受到許多因素影響，包括：
 1. 沙的量：沙的量越多，延展的長度通常也會越長。
 2. 拉扯的速度：拉扯的速度越放慢，延展的長度通常會越長。
 3. 溫度：不斷用手捏揉，溫度較高時，流動沙的延展性會稍微變更好。
 4. 膠水史萊姆流動沙、白膠史萊姆流動沙，成分比例不同，延展性也會有所差異。
- 二、硼砂安全嗎?硼砂對人體危害主要來自食用，硼酸會在體內累積，妨礙消化酵素的作用，影響營養素的吸收。雖然硼砂常被用於科學實驗，但仍需注意避免長時間接觸皮膚和眼睛，也要避免吸入粉塵。查詢與史萊姆相關文獻發現以洗眼液可取代硼砂，未來可嘗試做無毒史萊姆流動沙。
- 三、意外的發現:失敗的白膠史萊姆流動沙(在無完全成形狀態下加入石英砂，無法拉長)，像極市售動力沙!自製紅色(壓克力顏料)膠水史萊姆流動沙與藍色(壓克力顏料)白膠史萊姆流動沙捏揉混合的成品，像極市售紫色史萊姆流動沙!令我們十分驚喜，製作科學玩具非常有成就感!

市售動力沙與失敗白膠史萊姆成品相較

市售史萊姆流動沙與混合自製白膠與膠水史萊姆流動沙相較 (第二作者繪製)

市售動力沙

自製失敗成品

市售史萊姆流動沙

混合自製白膠與膠水史萊姆流動沙



陸、結論與未來展望

- 一、市售史萊姆流動沙外觀像黏土，拉動時有牽絲感、能延展，60g史萊姆流動沙能延展93.3cm。色彩繽紛、氣味清香、黏稠卻不黏手、可堆疊捏塑、壓模，兼顧視覺、觸覺和嗅覺是有趣又療癒的玩具。
- 二、四種沙體顆粒大小比較結果：石英砂<白細沙<海沙≈沙畫沙。石英砂顆粒最小最適合製作史萊姆流動沙，白細沙成品偏向黏土，海沙顏色不適合用於上色，白色沙畫沙適合製作矽膠動力沙。
- 三、海沙和白色沙畫沙、矽膠、玉米澱粉以10:2:1.5的比例調出，接近市售動力沙，可壓模，有若即若離般的流動感。
- 四、140ml溫水與3克硼砂調成硼砂水，用15ml白膠浸泡在70ml硼砂水，製成白膠史萊姆，再加入40ml石英砂，能製作出接近市售史萊姆流動沙的效果。
- 五、140ml的溫水與3克的硼砂調成硼砂水後，先倒20ml的膠水再倒20ml硼砂水，製成膠水史萊姆再加入45ml石英砂，能製作出類似市售史萊姆流動沙的效果。
- 六、壓克力顏料、液體食用色素和色粉都可與自製矽膠動力沙、自製史萊姆流動沙調出繽紛色彩。壓克力顏料與自製矽膠動力沙調色效果最佳；壓克力顏料與自製白膠史萊姆流動沙調色效果最佳，色彩鮮艷、氣味清香、能混色、壓模、捏塑、手感綿密、有牽絲感、延展性佳，60g彩色白膠史萊姆流動沙平均能延展52.5cm；三種顏料都可與自製膠水史萊姆流動沙調色，色彩迷人、手感濕潤、60g彩色膠水史萊姆流動沙平均能延展71.7cm、流動效果佳、能捏塑、壓模，有牽絲感，拉動時有沙沙聲響，十分療癒！
- 七、未來展望與研究：
 - (一) 建立一套量化方法，進而評估沙量、沙子顆粒大小、史萊姆的黏性與軟硬度、溫度和添加物等，對史萊姆流動沙成品的流動性、延展性和手感之影響。
 - (二) 找出能取代硼砂的物質做成無毒史萊姆，再製作出史萊姆流動沙，讓療癒玩具更安全。
 - (三) 把人工智慧AI帶入本研究自製史萊姆流動沙，輔助本研究未來值得探討之方向。

柒、參考文獻資料

- 一、王涵韻、許子胤、楊詠晴、鐘安昀(2015)。遊戲·[矽][油]-矽、粉末與沙的對話。中華民國第55屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 二、蔡旻翰、吳宗恩、林昀臻(2019)。膠碘方程式。中華民國第59屆中小學科學展覽會作品說明書。