

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

030819

牛奶塑膠異世界

學校名稱：臺中市天主教私立衛道高級中學

作者：  國二 陳佩蓁  國二 邱稚筑  國二 蘇子強	指導老師：  莊啟祥
---	------------------

關鍵詞：酪蛋白、蛋白質塑膠、3D 列印

## 摘要

蛋白質塑膠由牛奶中酪蛋白製成，當牛奶達等電點時，酪蛋白會被析出。酪蛋白塊乾燥後性質類似塑膠，稱作蛋白質塑膠。本研究探討牛奶塑膠製成 3D 列印材料的可行性。實驗發現牛奶與酸的比例以 10:1 最合適，增加樹脂可提升牛奶塑膠硬度。牛奶塑膠在氨水中雖會部分溶解，但會在表層產生防水薄膜。我們嘗試以牛奶塑膠代替 PLA 進行 3D 列印，發現不需加熱即可進行 3D 列印，比使用市面原料更環保、省電。為了解決牛奶塑膠易發霉的缺點，我們研究發現噴灑 75%酒精最能達到防腐效果。最後，運用先前實驗結果再進行綜合比較與實驗，得到最佳加工流程：首先將牛奶塑膠噴灑酒精消毒後混合樹脂，再浸入氨水，可製作較防水、防腐之牛奶塑膠。

## 壹、研究動機

3D 列印的主要原料為 PLA，其不可完全被自然界分解；現在的社會注重環保，我們必須為地球盡一份心力，於是我們嘗試使用牛奶製作蛋白質塑膠。我們嘗試克服蛋白質塑膠的缺點，以達成代替 PLA 的目的。過程中我們覺得牛奶塑膠的觸感與黏土相似，於是我們也嘗試運用牛奶塑膠製作模型，並嘗試混合其他物品加強其硬度、防腐、防水等性質。

## 貳、研究目的

- 一、 製作牛奶塑膠及其比例調配
- 二、 牛奶塑膠與紙漿、碎紙、樹脂的混合應用
- 三、 牛奶塑膠對有機溶液的溶解度
- 四、 牛奶塑膠與 3D 列印的結合與應用
- 五、 牛奶塑膠的保存
- 六、 牛奶塑膠成品定型綜合應用

## 參、研究設備及器材

### 一、研究器材與設備：

磁攪拌器	燒杯	咖啡濾紙	免洗筷
黑晶爐	量筒	美工刀	簽字筆
計時器	溫度計	塑膠盒	夾鏈袋
湯匙	陶瓷纖維網	吸管	石膏粉
餐巾紙	酒精燈	小木板	75%酒精
噴霧器	三腳架	抹布	白膠
黏土模型	鑷子	熱熔槍	保麗龍膠
手套	濾網	砂紙	鍋子
衛生紙	刮勺	手套	塑膠盤



### 二、研究材料：

全脂鮮奶	乙醇	甲醇	醋酸
冰醋酸	丙酮	雙氧水	正己烷
鹽酸	甲醛	氨水	甲苯

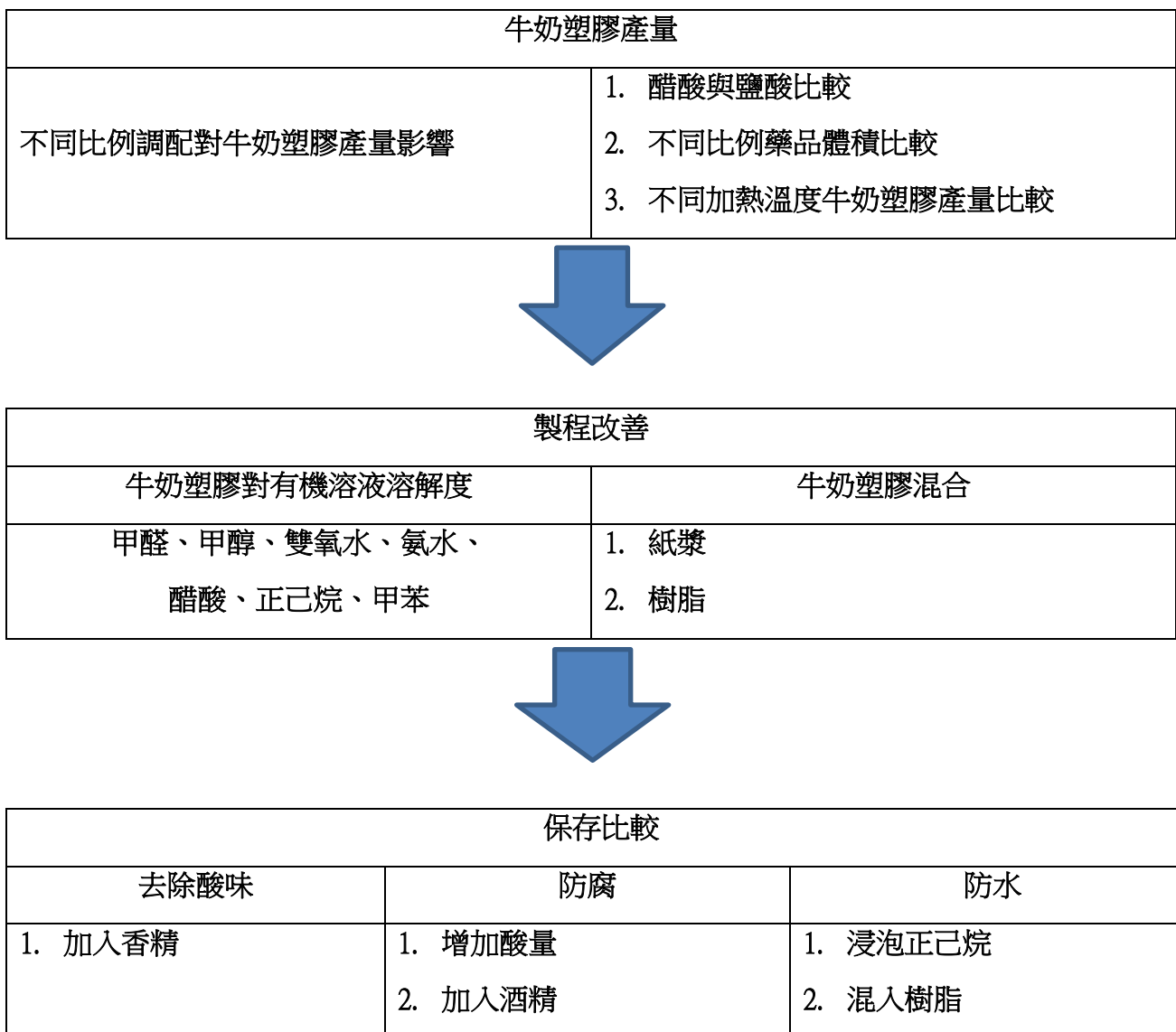


## 肆、研究方法

### 一、蛋白質塑膠製作原理

牛奶的蛋白質以酪蛋白為主，約占牛奶成份的 80%。牛奶加熱會使蛋白質變性，溶解度改變。在牛奶中加入適量的醋酸或鹽酸，可將酪蛋白依凝聚法沉降原理從牛奶中分離出來。蛋白質屬於兩性分子，溶液的酸鹼性會影響蛋白質所帶的電荷，當 PH 值達到酪蛋白等電點(約 4.8)時，蛋白質所帶的正、負電相等，呈電中性，溶解度最低，就會使酪蛋白從溶液裡沉澱出來。經由牛奶分離出來的酪蛋白，可以做成黏著劑、化學纖維、塑膠等產品。

### 二、研究架構圖



## 伍、研究結果與討論

### 研究一、製作牛奶塑膠及其比例調配

#### 一、實驗項目及步驟

##### (一)牛奶塑膠製程步驟

- 1.將牛奶加熱至 75 度後關火
- 2.配置 5%醋酸
- 3.將醋酸倒入牛奶中
- 4.攪拌 1 分鐘
- 5.靜置 2 分鐘
- 6.倒入咖啡濾紙中過濾
- 7.用擦手紙將過濾物壓乾
- 8.將牛奶塑膠塑形
- 9.放置在陰涼處風乾

##### (二)比例調配

###### 1.探討藥品種類對產量的影響

藥品名稱	藥品濃度	藥品體積	牛奶體積	加熱溫度
醋酸	5%	3	60	75°C
鹽酸	5%	3	60	75°C

###### 2.探討藥品體積對產量的影響

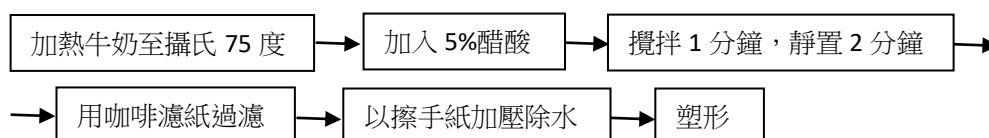
藥品名稱	藥品濃度	藥品體積	牛奶體積	比例	加熱溫度
醋酸	5%	3	60	20:1	75°C
醋酸	5%	6	60	10:1	75°C
醋酸	5%	10	60	6:1	75°C
醋酸	5%	20	60	3:1	75°C

### 3.探討加熱溫度對產量的影響

藥品名稱	藥品濃度	藥品體積	牛奶體積	比例	加熱溫度
醋酸	5%	6	60	10:1	50°C
醋酸	5%	6	60	10:1	60°C
醋酸	5%	6	60	10:1	70°C
醋酸	5%	6	60	10:1	80°C
醋酸	5%	6	60	10:1	90°C

## 二、實驗結果

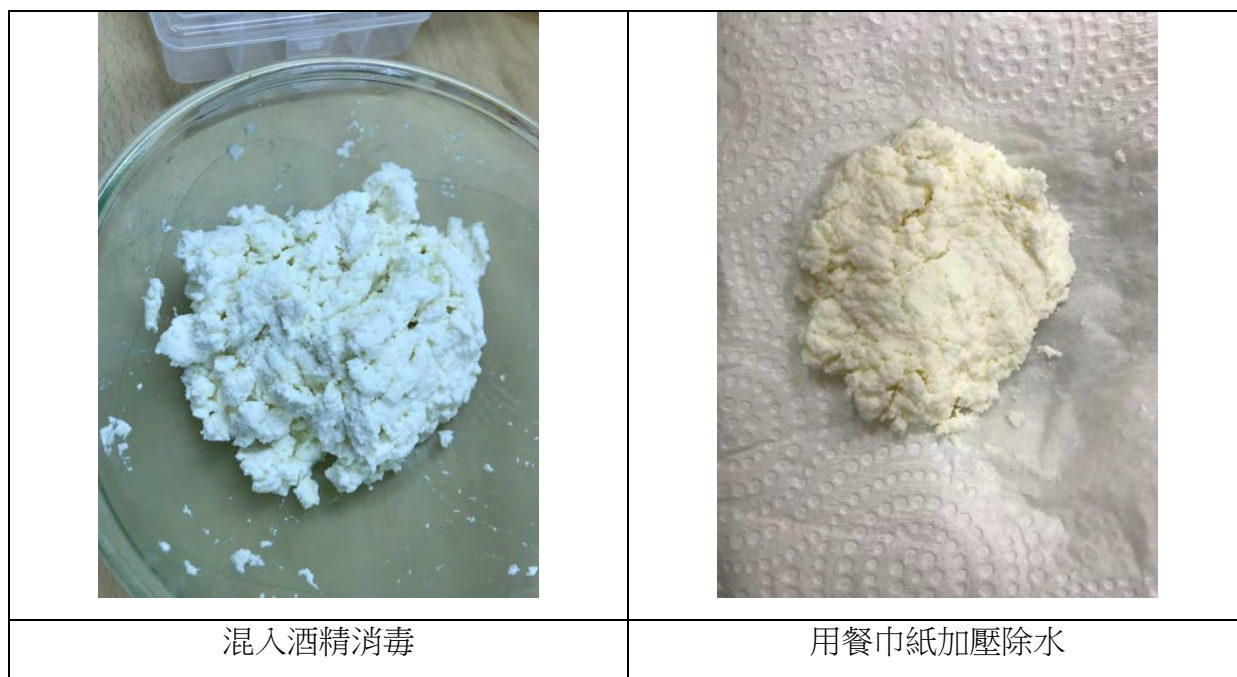
### (一)牛奶塑膠製程步驟



牛奶加熱至 75 度



用咖啡濾紙過濾



## (二)比例調配

### 1. 探討藥品種類對產量的影響

藥品名稱	藥品濃度	藥品體積	牛奶體積	加熱溫度	產量(g)
醋酸(1)	5%	3ml	60ml	75°C	20.3
醋酸(2)	5%	3ml	60ml	75°C	19.6
醋酸(3)	5%	3ml	60ml	75°C	20.9
鹽酸(1)	5%	3ml	60ml	75°C	7.7
鹽酸(2)	5%	3ml	60ml	75°C	8.1
鹽酸(3)	5%	3ml	60ml	75°C	7.9

根據上表，我們可以得知：

醋酸平均產量:20.3g

鹽酸平均產量:7.9g

醋酸產量明顯高於鹽酸產量，於是我們決定使用醋酸完成其餘實驗。



## 2. 探討藥品體積對產量的影響

藥品名稱	藥品濃度	藥品體積	牛奶體積	比例	加熱溫度	產量(g)
醋酸	5%	0ml	60ml	x	75°C	0 (無法凝結)
醋酸	5%	1ml	60ml	60:1	75°C	0 (無法凝結)
醋酸	5%	3ml	60ml	20:1	75°C	25.7
醋酸	5%	6ml	60ml	10:1	75°C	20.5
醋酸	5%	10ml	60ml	6:1	75°C	9.6
醋酸	5%	20ml	60ml	3:1	75°C	9.2

根據上表可得知牛奶與酸比例在 20:1 時產量最大，但成品易於三天內發霉，保存不易。而 3:1 體積 3ml 的防腐效果最佳，可於冰箱放置 1 星期以上，但產量最少。綜合以上結果，我們認為牛奶與酸比例以 10:1 為最佳，既可達一定產量，較不易腐壞、發霉。

## 3. 探討加熱溫度對產量的影響

藥品名稱	藥品濃度	藥品體積	牛奶體積	比例	加熱溫度	產量(g)
醋酸	5%	6ml	60ml	10:1	50°C	0
醋酸	5%	6ml	60ml	10:1	60°C	0
醋酸	5%	6ml	60ml	10:1	70°C	15.2
醋酸	5%	6ml	60ml	10:1	80°C	14.6
醋酸	5%	6ml	60ml	10:1	90°C	16.1

在上表中可發現從 70°C 起可產生凝乳，且其產量與 80°C、90°C 相差不大。為了減少製作時間，我們決定將牛奶加熱至 70°C。



## 研究二、牛奶塑膠與紙漿、碎紙、樹脂的混合應用

### 一、實驗項目及步驟

#### (一)牛奶塑膠與紙漿、碎紙的混合

(目的:增加耐重度、硬度)

1. 秤取 12.5g 的牛奶塑膠
2. 將擦手紙撕碎至小片狀
3. 放入果汁機內
4. 加入適量的水使碎紙能淹沒在水中
5. 打開果汁機開關並適時加水
6. 待紙片皆被粉碎後，將紙漿倒出
7. 將紙漿與未塑型之牛奶塑膠充分混合
8. 將牛奶塑膠分批裝入長方形紙盒，以避免多餘空隙產生
9. 將紙盒封上保鮮膜後等待 7 天乾燥取出牛奶塑膠並觀察其特性

#### (二)牛奶塑膠與樹脂的混合

(目的:增加聚合性、表面光滑度)

1. 秤取 12.5g 的牛奶塑膠
2. 將未乾燥之牛奶塑膠鋪平
3. 用樹脂依比例抹平在牛奶塑膠上
4. 用刮勺將牛奶塑膠混合後集中，並加入適量的水使牛奶塑膠能保持塊狀
5. 將牛奶塑膠分批裝入長方形紙盒，以避免多餘空隙產生
6. 將紙盒封上保鮮膜後等待 7 天乾燥
7. 取出牛奶塑膠並觀察其特性

#### (三)牛奶塑膠混合樹脂的黏度測試

1. 將製成好的牛奶塑膠和樹脂以不同比例混合
2. 將其和掛勾黏著
3. 以法碼量測數值
4. 觀察並記錄

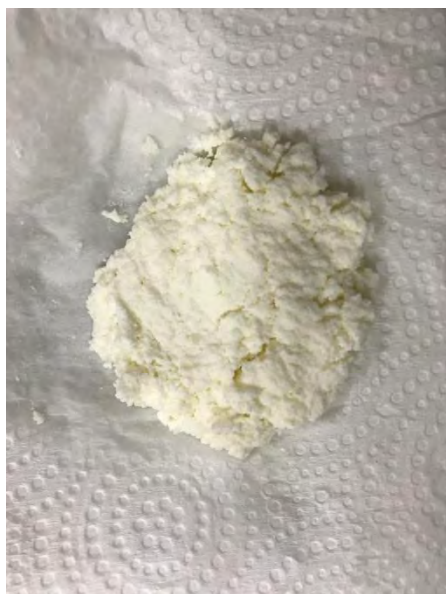
<實驗照片>



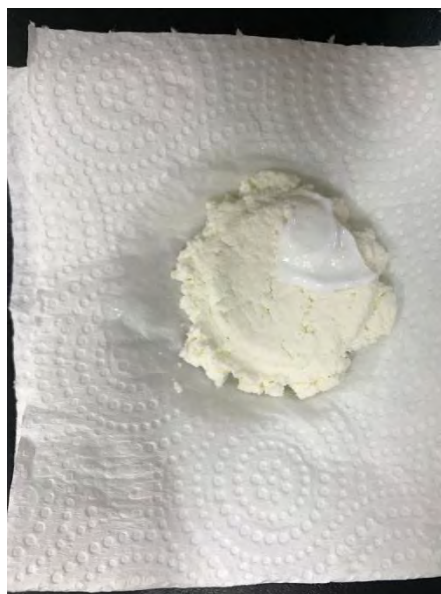
秤量 12.5g 牛奶塑膠



抹上樹脂



塗抹白膠前的牛奶塑膠



塗抹 25%面積


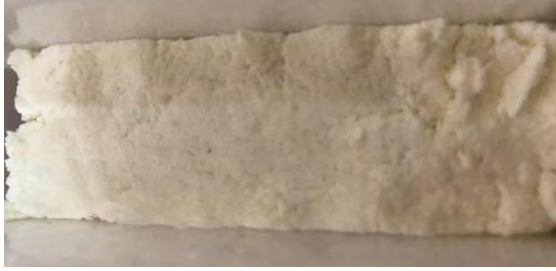


## 二、實驗結果

### (一) 牛奶塑膠與紙的混合

項目	耐重測試	照片
無加入紙漿	平均耐重約 2 公斤	
加入 25%紙漿	平均耐重約 1.8 公斤	
加入 25%碎紙	平均耐重約 2.4 公斤	

由上表可發現加入碎紙的耐重度最佳，我們推測是因為碎紙的纖維使牛奶塑膠結構加強，而紙漿既無完整纖維也無聚合性，因此加入 25%碎紙效果較好。

(二) 牛奶塑膠與樹脂的混合

項目	聚合性、性質	照片
無加入樹脂	表面最粗糙 相較下比較鬆散	
牛奶塑膠:樹脂 =4:1	表面最光滑 相較下結構最穩固	
牛奶塑膠:樹脂 =2:1	表面較光滑 相較下稍黏，結構次強	
牛奶塑膠:樹脂 =1:1	表面較粗糙 相較下黏性最高	

(三) 牛奶塑膠混合樹脂的黏度測試

	無加入樹脂	牛奶塑膠:樹脂 =4:1	牛奶塑膠:樹脂 =2:1	牛奶塑膠:樹脂 =1:1
第一次測試	0.3kg	1.2 kg	3.1 kg	3.1 kg
第二次測試	0.1 kg	1.3 kg	2.8 kg	3.4 kg
第三次測試	0.4kg	1.8 kg	2.5 kg	3.5 kg
平均	0.26 kg	2.3 kg	2.8 kg	3.3 kg

根據「牛奶塑膠混合樹脂的黏度測試」表格可以發現牛奶塑膠與樹脂以 4:1 為最佳，其表面最光滑且不會過黏。牛奶塑膠與樹脂比例為 2:1 時表面光滑度不如 4:1 時，且會沾黏手指。相反的，若要製作黏著劑，則以牛奶塑膠與樹脂比例 1:1 為最佳。

### (三)綜合比較表格

牛奶塑膠與紙漿混合	牛奶塑膠與樹脂的混合
以 2 kg 的重物重壓後 紙漿牛奶塑膠呈現鬆散	以 2 kg 的重物重壓後 樹脂牛奶塑膠表面有少許裂痕

## 研究三、牛奶塑膠對有機溶液的溶解度

### 一、 實驗項目及步驟

#### <實驗測試方法>

- 1.取符合重量標準(12.5±0.2g)的牛奶塑膠，分配置各藥品。為增加實驗準確性，每項藥品實驗三次，每次實驗使用 12.5g 牛奶塑膠。
2. 將牛奶塑膠揉成球型
- 3.同時丟入不同溶液中
- 4.每 5 分鐘拍照、觀察一次，直到 20 分鐘為止，紀錄並比較各個牛奶塑膠特性

#### (一)比較雙氧水、冰醋酸、酒精、正己烷對牛奶塑膠的溶解度

項目	雙氧水	乙醇	冰醋酸	正己烷
化學式	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	CH <sub>3</sub> COOH	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>
濃度	35%	95%	99.9%	100%
體積(ml)	30	30	30	30
狀態	液態	液態	液態	液態
牛奶塑膠重量	12.5g	12.5g	12.5g	12.5g







(二)比較各種藥品對牛奶塑膠的溶解度

我們認為比較項目太少，於是再增加不同的有機溶劑如下：

藥品名稱	化學式	濃度 (M)	體積 (ml)	密度	是否溶於水	狀態	牛奶塑膠重量
甲醛	HCHO	3	30	1.03	V	液態	12.5g
甲醇	CH <sub>3</sub> OH	3	30	0.801	V	液態	12.5g
雙氧水	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3	30	1.13	V	液態	12.5g
氨水	NH <sub>4</sub> OH	3	30	0.9	V	液態	12.5g
醋酸	CH <sub>3</sub> COOH	3	30	1.05	V	液態	12.5g
正己烷	C <sub>6</sub> H <sub>16</sub>	-	30	0.66	X	液態	12.5g
甲苯	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	-	30	0.86	X	液態	12.5g

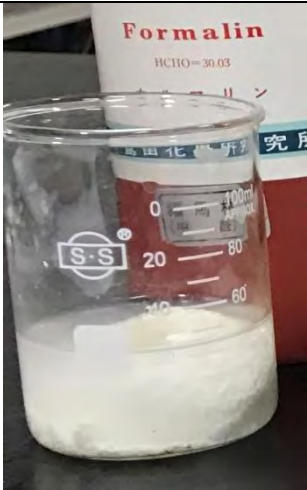

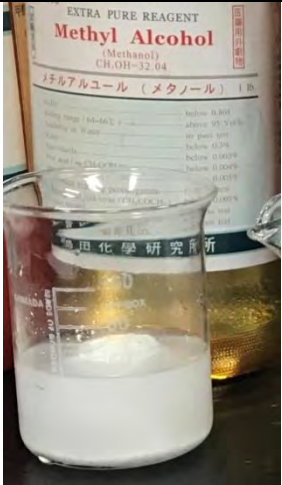
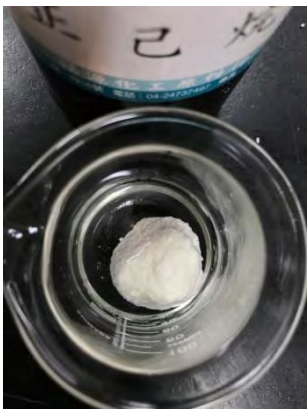
二、實驗結果

(一)比較正己烷、乙醇、冰醋酸、雙氧水對牛奶塑膠的溶解度

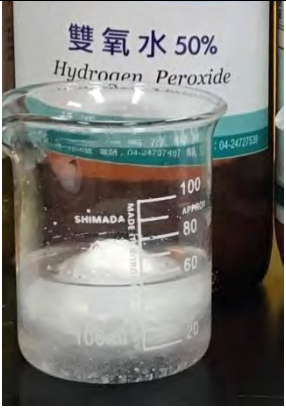

正己烷	乙醇	冰醋酸	雙氧水
C <sub>6</sub> H <sub>16</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	CH <sub>3</sub> COOH	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
			
溶液完全透明	溶液白色混濁	溶液白色混濁	溶液呈白色混濁
牛奶塑膠硬度 略為增加	牛奶塑膠仍有小顆粒	牛奶塑膠仍有小顆粒	牛奶塑膠 幾乎無沉澱

(二) 比較各種藥品對牛奶塑膠的溶解度

微溶解後產生防水薄膜	微溶解	完全不溶解
氨水 NH <sub>4</sub> OH	甲醛 HCHO	正己烷 C <sub>6</sub> H <sub>16</sub>
	甲醇 CH <sub>3</sub> OH	甲苯 C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>
	雙氧水 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
	醋酸 CH <sub>3</sub> COOH	

項目	照片	項目	照片
甲醛 HCHO		醋酸 CH <sub>3</sub> COOH	
甲醇 CH <sub>3</sub> OH		正己烷 C <sub>6</sub> H <sub>16</sub>	



雙氧水 $H_2O_2$		甲苯 $C_6H_5CH_3$	
氨水 $NH_4OH$		其餘 發現	氨水雖會溶解部分牛奶塑膠，但 溶解後會產生防水薄膜

本研究結果發現正己烷可達完全透明。除了正己烷、甲苯不能溶解牛奶塑膠外，其餘皆能溶解，其中氨水可溶解較多。

#### 研究四、牛奶塑膠與 3D 列印的結合與應用

##### 一、 實驗項目及步驟

##### (一)實驗項目

粗吸管	細吸管
	

(二)實驗步驟

- 1.製作牛奶塑膠
- 2.混入酒精消毒
- 3.將其塞入塑膠吸管内
- 4.準備一個空熱熔槍桶
- 5.將其放入空熱熔槍桶內
- 6.以筷子擠出再塑型

二、 實驗結果

(一)成品圖片

粗吸管	細吸管
	
利用手動操作 3D 圖形	3D 圖形完成樣式
	

## (二)成品與 PLA 比較

粗吸管	細吸管	PLA
時間短	時間長	時間適中
細部地方須換頭	適合較多種類的熱熔槍	不須換頭
可自然分解		無法自然分解
成本較低		成本較高
不須用電加熱		須用電加熱

## 研究五: 牛奶塑膠的保存

### 一、 實驗項目及步驟

因為牛奶塑膠是蛋白質營養價值豐富之材料，所以保存期限較一般塑膠短。為避免牛奶塑膠的汰換率過高，我們進行此研究，嘗試找出使牛奶塑膠的保存期限增長。另外，牛奶塑膠製成後有一股醋酸的味道，所以我們也進行實驗嘗試去除醋酸味。

#### (一) 去除酸味

解決方法	原理	優點	缺點
加入香精	利用香精的味道蓋過酸味	效果佳，操作方便	利用化學原料對大自然有害

#### (二) 防腐

解決方法	原理	優點	缺點
增加酸量	PH 值較低的環境不利黴菌生存	比較環保 對大自然傷害較小	會有較重的醋酸味，且產量較少
噴灑酒精	可以摧毀或去多數微生物和其內孢子	揮發快 效果佳	因為噴灑 75%酒精，所以仍有 25%是水，須再用餐巾紙輕壓除水

### (三)防水

解決方法	原理	優點	缺點
浸泡正己烷	利用正己烷使牛奶塑膠表皮硬化	效果佳 操作方便	取得不易， 對大自然有害
混入樹脂	利用樹脂乾燥後， 形成保護膜的特性	取得方便 操作便利	乾燥時間較長
混入 PLA	利用性質相似的塑膠進行混合	PLA 可在自然界中分解	PLA 熔點較高

## 研究六、牛奶塑膠成品定型綜合應用

綜合以上五個研究，我們利用研究實驗結果嘗試製作較防腐、防水、表面光滑、硬度高、結構強的牛奶塑膠，並製作不同功能的牛奶塑膠。

### 一、 實驗項目、步驟

#### (一) 擬定製作流程

結論來源	結論概要	推論之實驗步驟
研究一	牛奶塑膠製作流程	1.製作牛奶塑膠
研究五	酒精可有效防腐	2.噴灑酒精防腐
研究二	樹脂可增加光滑度及強度	3.牛奶塑膠與樹脂以 4:1 的比例混合
研究四	3D 列印原料製作	4.用牛奶塑膠進行 3D 列印(也可直接捏造塑型)
研究三	氨水會使其產生防水薄膜	5.泡入氨水 20 分鐘後輕輕沖水洗淨多於氨水
研究三	正己烷能增強其防水效果	6.以噴霧劑噴灑正己烷

#### (二) 擬定加強實驗項目

##### 1. 浸入氨水的濃度

項目一	項目二	項目三	項目四
純水	25%氨水、75%純水	50%氨水、50%純水	100%氨水

## 2. 綜合牛奶塑膠的應用

項目	敘述
3D 列印原料	嘗試代替市面上的 3D 列印原料(PLA、ABS)
除塵	利用牛奶塑膠混合樹脂後易沾黏的特性，將灰塵黏起去除
黏土材料	代替不可食用、分解的黏土，可供幼兒使用

### 二、 實驗結果

#### (一) 擬定製作流程

1. 製作牛奶塑膠
2. 噴灑酒精防腐
3. 牛奶塑膠與樹脂以 4:1 的比例混合
4. 用牛奶塑膠進行 3D 列印(也可直接捏造塑型)
5. 泡入氨水 20 分鐘後輕輕沖水洗淨多於氨水
6. 以噴霧劑噴灑正己烷





#### (二) 擬定加強實驗項目

1. 浸入氨水的濃度





項目一	項目二	項目三	項目四
純水	25%氨水、75%純水	50%氨水、50%純水	100%氨水
完全崩解於水中	呈現光滑球型		
x	表面防水、整體有彈性		
x	較軟	次堅硬	最堅硬
x	輕壓後最慢彈回	輕壓後次快彈回	輕壓後最快彈回
x	顏色最淺	顏色次深	顏色最深
綜合評估排名 4	綜合評估排名 3	綜合評估排名 2	綜合評估排名 1



<實驗照片>

項目一(浸入純水)	項目二(25%氨水、75%純水)
	
項目三(50%氨水、50%純水)	項目四(100%氨水)
	


浸入氨水目的:使其表面產生防水膜，增加防水效果。為了瞭解其內部反應，我們挖開浸過 100%及 25%氨水的牛奶塑膠，得到以下結果:

25%氨水內部	25%氨水外層防水膜	100%氨水內部	100%氨水外層防水膜
			

## 2. 綜合牛奶塑膠的應用(與市面比較)

項目	市面產品	自製牛奶塑膠
3D 列印原料	須加熱、無法完全被自然界發解	可分解、成品有彈性、不須加熱
除塵	較昂貴、用久候效果差	製作過程較便宜、用久後加入樹脂即可達到原效果
黏土材料	不可食用、使用後手上會濕濕黏黏	誤食沒有大礙、較不黏手

### <成品展示>

替代黏土材料	球型測試品
	
針筒擠出文字	75%酒精消毒混合後的牛奶塑膠
	



## 陸、結論

- 一、 在<研究一、製作牛奶塑膠及其比例調配>中，醋酸產量明顯高於鹽酸產量，於是我們決定使用醋酸完成其餘實驗。我們認為將牛奶加熱至 70°C、牛奶與酸比例以 10:1 為最佳，既可達一定產量，較不易腐壞、發霉。
- 二、 在<研究二、牛奶塑膠與紙漿、碎紙、樹脂的混合應用>中，效果比較為:加入碎紙>一般牛奶塑膠>加入紙漿。我們推測是因為碎紙的先為增強牛奶塑膠的結構，膽紙漿的纖維被打散，較無懼和效果，反而使牛奶塑膠結構減弱。
- 三、 在<研究三、牛奶塑膠對有機溶液的溶解度>中，甲醛、甲醇、雙氧水、醋酸可將牛奶塑膠為溶解;而正己烷和甲苯完全無法溶解牛奶塑膠，正己烷可硬化牛奶塑膠表面。實驗中我們發現浸泡氨水後雖然會為溶解牛奶塑膠，但溶解部分牛奶塑膠後可產生一層光滑防水膜，增強其防水效果。
- 四、 在<研究四、牛奶塑膠與 3D 列印的結合與應用>中，可用熱熔槍代替 3D 列印噴頭，牛奶塑膠代替 PLA 或 ABS。以牛奶塑膠代替市面 3D 列印材料的好處是:可自然分解、成本較低、不須用電加熱;缺點是市面 3D 列印材料較便利，解析度、硬度較高。
- 五、 在<研究五、牛奶塑膠的保存>中，我們得到以下增強防腐方法:
  1. 去除酸味:添加天然香精或精油
  2. 防腐:噴灑 75%酒精
  3. 防水:先泡入 25%氨水後用噴霧器噴灑正己烷
- 六、 在<研究六、牛奶塑膠成品定型綜合應用>中，我們綜合了前面五個研究的結果，統合綜效得到以下結論:
  1. 浸入氨水的濃度:各有利弊
    - (1) 25%氨水、75%純水:味道較淡，成品較有彈性及可塑性
    - (2) 50%氨水、50%純水:表面最光滑，附著力較強，彈性適中
    - (3) 100%氨水:表面防水層最厚、最牢固，但其味道較重
  2. 牛奶塑膠製成後的改善與加工  
目的:同時達到硬度較高、聚合性強、較防腐、防水、解析度較高的牛奶塑膠
    - (1) 製作牛奶塑膠
    - (2) 噴灑酒精防腐
    - (3) 牛奶塑膠與樹脂以 4:1 的比例混合
    - (4) 用牛奶塑膠進行 3D 列印(也可直接捏造塑型)

(5)泡入氨水 20 分鐘後輕輕沖水洗淨多於氨水

(6)以噴霧劑噴灑正己烷

### 3. 牛奶塑膠應用方面統整

- (1) 製作 3D 列印原料:較市面上產品便宜、環保、有彈性
- (2) 達到除塵效果: 較市面上產品便宜、環保、可重複使用
- (3) 替代市面黏土材料: 較市面上產品環保、安全

## 柒、參考資料

1. 【Maker Faire DIY】簡單 3 步驟～牛奶變塑膠 取自 <https://www.citytalk.tw/bbs/thread-176949>
2. 呂旆姍 • 牛奶變塑膠 • 取自 [www.shs.edu.tw/works/essay/2013/11/2013111414501820.pdf](http://www.shs.edu.tw/works/essay/2013/11/2013111414501820.pdf)
3. 蔡介筠、鄧羽嫻、王瞳、陳俊源、張睿軒(2013) • 少年起司的奇幻漂流 ~探討牛奶與豆漿的凝乳現象 • 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會參展作品集。
4. 王榮文 (2012) • 牛奶變塑膠 • 科學人 , 130 , 122-123 。
5. 變！變！變！我把牛奶變塑膠！(2013) • 取自 [web.wcps.tp.edu.tw/active/102\\_學年度/102.../02-變！變！變！我把牛奶變塑膠！.pdf](http://web.wcps.tp.edu.tw/active/102_學年度/102.../02-變！變！變！我把牛奶變塑膠！.pdf)
6. Sunday Science: Fantastic plastic 周日科學: 超棒的塑膠 • 取自 <http://www.taipeitimes.com/News/lang/archives/2007/09/09/2003378022>
7. 楊晉佳、葉哲睿、蘇維億、蔡佳臻 • 紙(漿)磚時用嗎? • 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會參展作品集。
8. 國家圖書館學術知識服務網: 請問酪蛋白是什麼? 跟塑膠和牛奶又有什麼關係?  
<http://ref.ncl.edu.tw/%E5%AD%B8%E7%A7%91%E5%B0%88%E5%AE%B6%E8%AB%AE%E8%A9%A2%E5%B9%B3%E5%8F%B0/%E7%9F%A5%E8%AD%98%E5%85%B1%E4%BA%AB%E5%9C%88-%E6%96%87%E7%AB%A0/%E6%AA%A2%E8%A6%96%E6%96%87%E7%AB%A0/851-.html>
9. 鮮乳過期一天就結塊? 義美 PO 出「鮮奶真相」說明  
<http://www.setn.com/News.aspx?NewsID=74325>

## 【評語】 030819

1. 主要是探討自牛奶中分離酪蛋白製成牛奶塑膠，並評估製成 3D 列印材料的可行性。實驗設計架構分明，包括對添加物的探討、以熱熔槍模擬 3D 列印、以及防水、防腐的設計等，內容豐富。
2. 讓參與學生了解酪蛋白製作方法及其特性。實驗主題有趣。
3. 另缺乏與相關文獻的比較探討，因此不易呈現其創新價值。
4. 研究內容如能系統化設計，如針對其中一二項進行細緻化研究，會更好。如能觀察分解所需時間也會更好。
5. 實用性待加強。研究內容述及以牛奶塑膠代替 PLA 進行 3D 列印，但僅用熱熔槍模擬，未實際實施列印作業。



## 摘要

蛋白質塑膠由牛奶中酪蛋白製成，當牛奶達等電點時，酪蛋白會被析出。酪蛋白塊乾燥後性質類似塑膠，稱作蛋白質塑膠。本研究探討牛奶塑膠製成3D列印材料的可行性。實驗發現牛奶與酸的比例以10:1最合適，增加樹脂可提升牛奶塑膠硬度。牛奶塑膠在氨水中雖會部分溶解，但會在表層產生防水薄膜。我們嘗試以牛奶塑膠代替PLA進行3D列印，發現不需加熱即可進行3D列印，比使用市面原料更環保、省電。為了解決牛奶塑膠易發霉的缺點，我們研究發現噴灑75%酒精最能達到防腐效果。最後，運用先前實驗結果再進行綜合比較與實驗，得到最佳加工流程：首先將牛奶塑膠噴灑酒精消毒後混合樹脂，再浸入氨水，可製作較防水、防腐之牛奶塑膠。

## 壹、研究動機

3D列印的主要原料為PLA，其不可完全被自然界分解；現在的社會注重環保，我們必須為地球盡一份心力，於是我們嘗試使用牛奶製作蛋白質塑膠。我們嘗試克服蛋白質塑膠的缺點，以達成代替PLA的目的。過程中我們覺得牛奶塑膠的觸感與黏土相似，於是我們也嘗試運用牛奶塑膠製作模型，並嘗試混合其他物品加強其硬度、防腐、防水等性質。

## 貳、研究目的

- 一、製作牛奶塑膠及其比例調配
- 二、牛奶塑膠與紙漿、碎紙、樹脂的混合應用
- 三、牛奶塑膠對有機溶液的溶解度
- 四、牛奶塑膠與3D列印的結合與應用
- 五、牛奶塑膠的保存
- 六、牛奶塑膠成品定型綜合應用

## 參、研究設備及器材

一、研究器材與設備：

磁攪拌器、燒杯、咖啡濾紙、免洗筷、黑晶爐、量筒、美工刀、簽字筆、計時器、溫度計、塑膠盒、夾鏈袋、湯匙、陶瓷纖維網、吸管、石膏粉、餐巾紙、酒精燈、小木板、75%酒精、噴霧器、三腳架、抹布、白膠、黏土模型、鑷子、熱熔槍、保麗龍膠、手套、濾網、砂紙、鍋子、衛生紙、刮勺、手套、塑膠盤

二、研究材料：

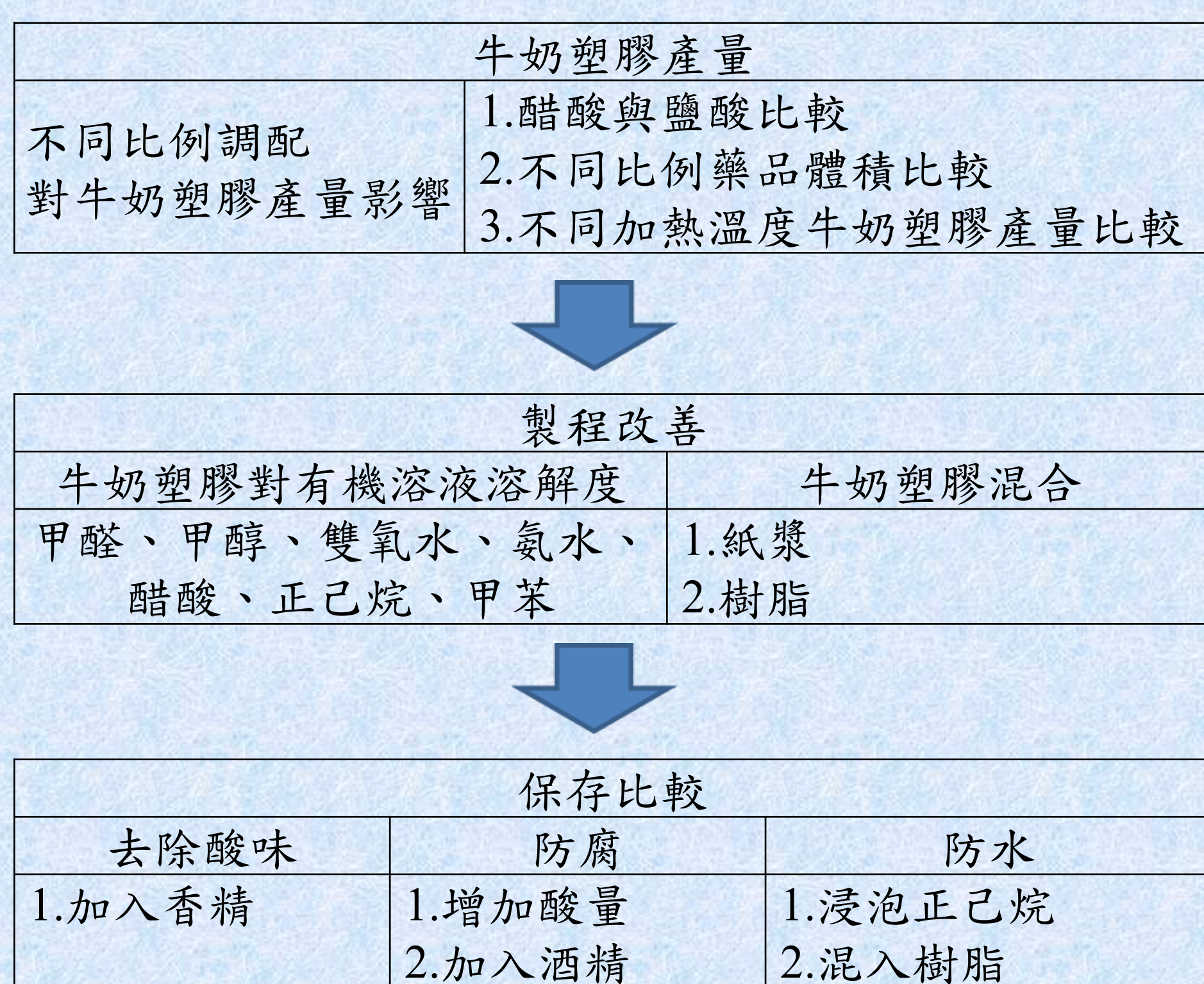
全脂鮮奶	乙醇	甲醇	醋酸	冰醋酸	丙酮
雙氧水	正己烷	鹽酸	甲醛	氨水	甲苯

## 肆、研究方法

一、蛋白質塑膠製作原理

牛奶的蛋白質以酪蛋白為主，約占牛奶成份的80%。牛奶加熱會使蛋白質變性，溶解度改變。在牛奶中加入適量的醋酸或鹽酸，可將酪蛋白依凝聚法沉降原理從牛奶中分離出來。蛋白質屬於兩性分子，溶液的酸鹼性會影響蛋白質所帶的電荷，當PH值達到酪蛋白等電點(約4.8)時，蛋白質所帶的正、負電相等，呈電中性，溶解度最低，就會使酪蛋白從溶液裡沉澱出來。經由牛奶分離出來的酪蛋白，可以做成黏著劑、化學纖維、塑膠等產品。

二、研究架構圖



## 伍、研究結果與討論

研究一、製作牛奶塑膠及其比例調配

1.探討藥品種類對產量的影響

藥品名稱	藥品濃度	藥品體積	牛奶體積	加熱溫度
醋酸	5%	3	60	75°C
鹽酸	5%	3	60	75°C

2.探討藥品體積對產量的影響

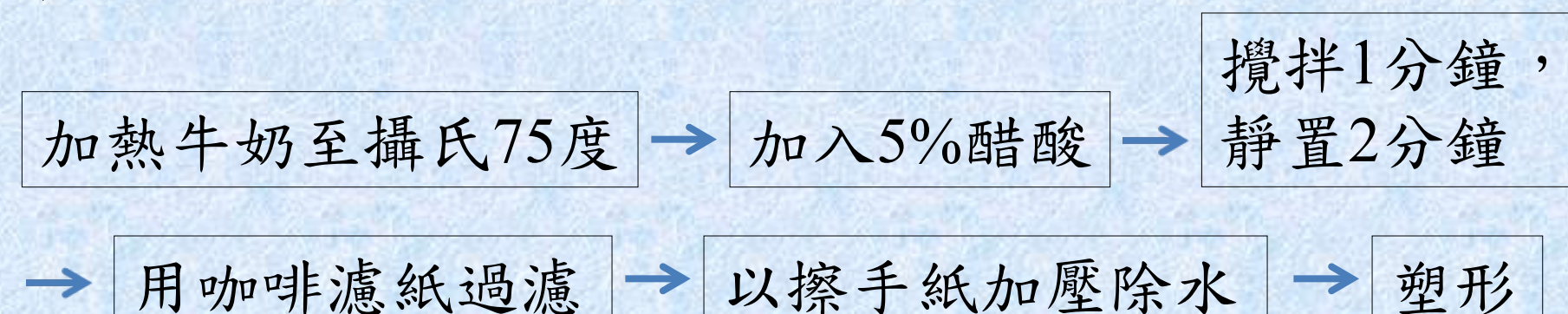
藥品名稱	藥品濃度	藥品體積	牛奶體積	比例	加熱溫度
醋酸	5%	3	60	20:1	75°C
醋酸	5%	6	60	10:1	75°C
醋酸	5%	10	60	6:1	75°C
醋酸	5%	20	60	3:1	75°C

3.探討加熱溫度對產量的影響

藥品名稱	藥品濃度	藥品體積	牛奶體積	比例	加熱溫度
醋酸	5%	6	60	10:1	50°C
醋酸	5%	6	60	10:1	60°C
醋酸	5%	6	60	10:1	70°C
醋酸	5%	6	60	10:1	80°C
醋酸	5%	6	60	10:1	90°C

二、實驗結果

(一)牛奶塑膠製程步驟



(二)比例調配

1.探討藥品種類對產量的影響

藥品名稱	藥品濃度	藥品體積	牛奶體積	加熱溫度	產量(g)
醋酸(1)	5%	3ml	60ml	75°C	20.3
醋酸(2)	5%	3ml	60ml	75°C	19.6
醋酸(3)	5%	3ml	60ml	75°C	20.9
鹽酸(1)	5%	3ml	60ml	75°C	7.7
鹽酸(2)	5%	3ml	60ml	75°C	8.1
鹽酸(3)	5%	3ml	60ml	75°C	7.9

根據上表，我們可以得知：

醋酸平均產量：20.3g

鹽酸平均產量：7.9g

醋酸產量明顯高於鹽酸產量，於是我們決定使用醋酸完成其餘實驗。

2.探討藥品體積對產量的影響

藥品名稱	藥品濃度	藥品體積	牛奶體積	比例	加熱溫度	產量(g)
醋酸	5%	0ml	60ml	x	75°C	0 (無法凝結)
醋酸	5%	1ml	60ml	60:1	75°C	0 (無法凝結)
醋酸	5%	3ml	60ml	20:1	75°C	25.7
醋酸	5%	6ml	60ml	10:1	75°C	20.5
醋酸	5%	10ml	60ml	6:1	75°C	9.6
醋酸	5%	20ml	60ml	3:1	75°C	9.2

根據上表可得知牛奶與酸比例在20:1時產量最大，但成品易於三天內發霉，保存不易。而3:1體積3ml的防腐效果最佳，可於冰箱放置1星期以上，但產量最少。綜合以上結果，我們認為牛奶與酸比例以10:1為最佳，既可達一定產量，較不易腐壞、發霉。

3.探討加熱溫度對產量的影響

藥品名稱	藥品濃度	藥品體積	牛奶體積	比例	加熱溫度	產量(g)
醋酸	5%	6ml	60ml	10:1	50°C	0
醋酸	5%	6ml	60ml	10:1	60°C	0
醋酸	5%	6ml	60ml	10:1	70°C	15.2
醋酸	5%	6ml	60ml	10:1	80°C	14.6
醋酸	5%	6ml	60ml	10:1	90°C	16.1

在上表中可發現從70°C起可產生凝乳，且其產量與80°C、90°C相差不大。為了減少製作時間，我們決定將牛奶加熱至70°C。

研究二、牛奶塑膠與紙漿、碎紙、樹脂的混合應用

一、實驗項目

(一)牛奶塑膠與紙漿、碎紙的混合

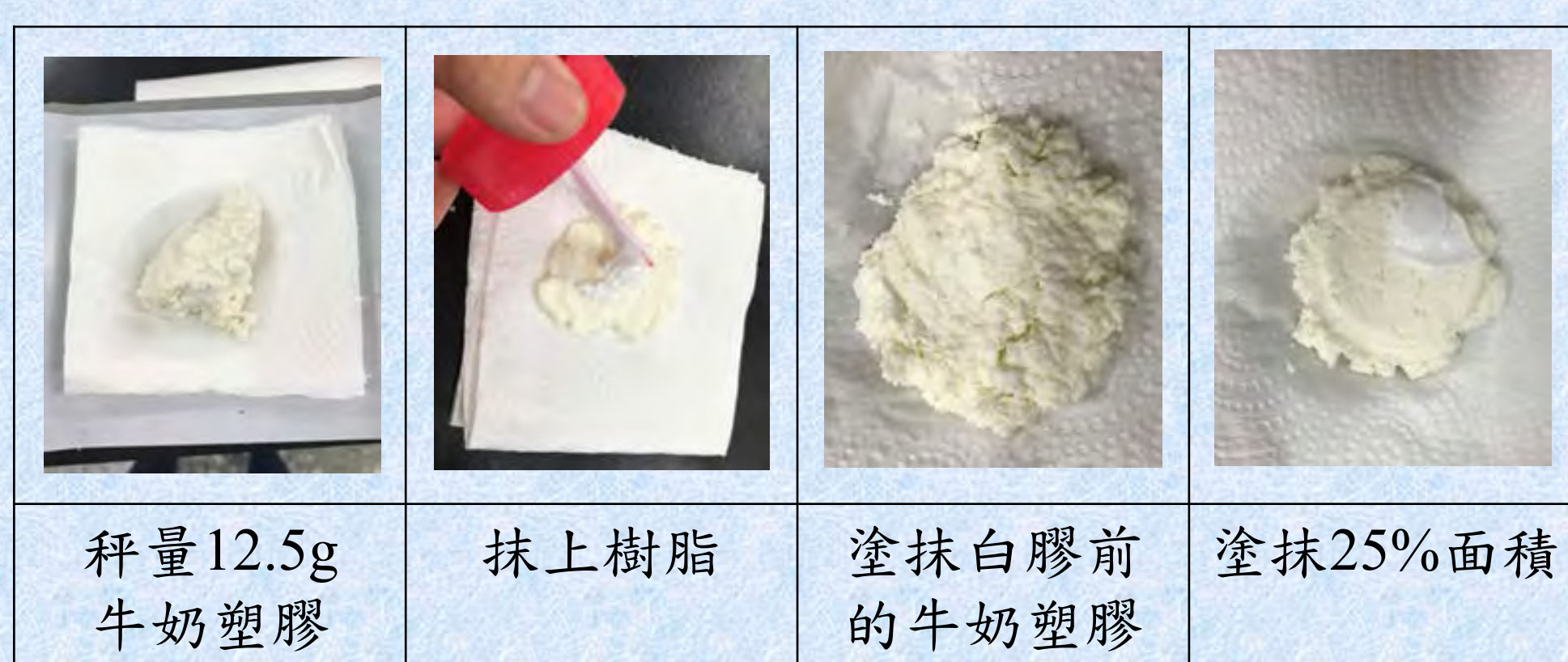
(目的:增加耐重度、硬度)

(二)牛奶塑膠與樹脂的混合

(目的:增加聚合性、表面光滑度)

(三)牛奶塑膠混合樹脂的黏度測試

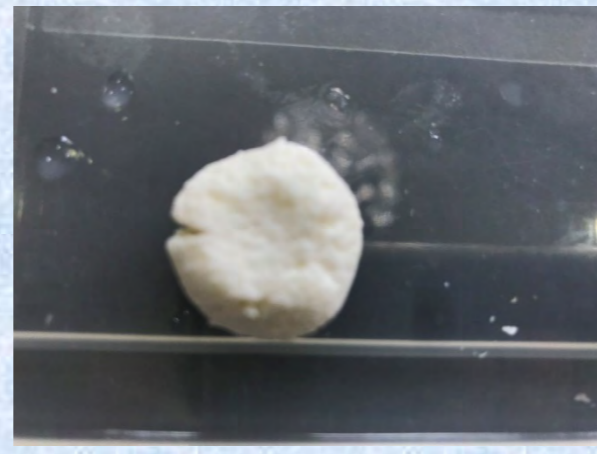
<實驗照片>






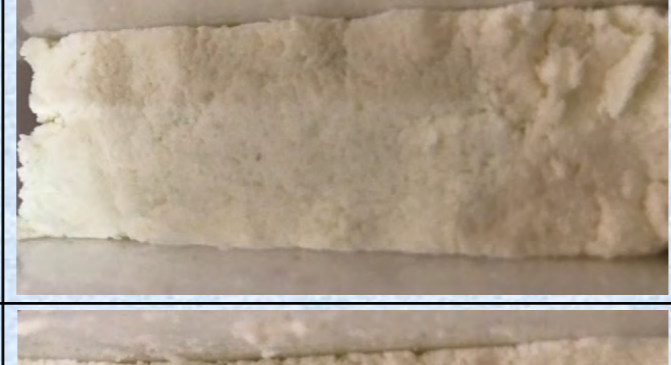

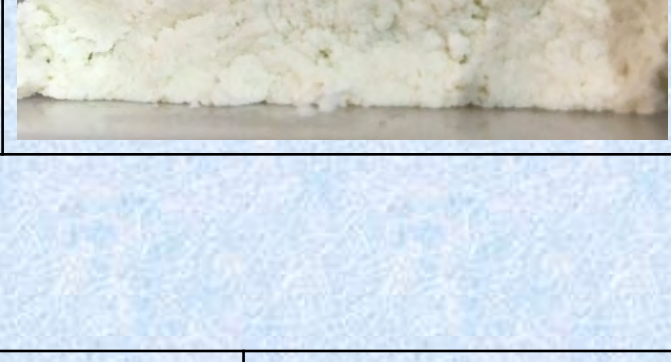
## 二、實驗結果

### (一) 牛奶塑膠與紙的混合

項目	耐重測試	照片
無加入紙漿	平均耐重約2公斤	
加入25%紙漿	平均耐重約1.8公斤	
加入25%碎紙	平均耐重約2.4公斤	

由上表可發現加入碎紙的耐重度最佳，我們推測是因為碎紙的纖維使牛奶塑膠結構加強，而紙漿既無完整纖維也無聚合性，因此加入25%碎紙效果較好。

### (二) 牛奶塑膠與樹脂的混合

項目	聚合性、性質	照片
無加入樹脂	表面最粗糙 相較下比較鬆散	
牛奶塑膠:樹脂 = 4:1	表面最光滑 相較下結構最穩固	
牛奶塑膠:樹脂 = 2:1	表面較光滑 相較下稍黏，結構次強	
牛奶塑膠:樹脂 = 1:1	表面較粗糙 相較下黏性最高	

### (三) 牛奶塑膠混合樹脂的黏度測試

	無加入樹脂	牛奶塑膠:樹脂 = 4:1	牛奶塑膠:樹脂 = 2:1	牛奶塑膠:樹脂 = 1:1
第一次測試	0.3kg	1.2 kg	3.1 kg	3.1 kg
第二次測試	0.1 kg	1.3 kg	2.8 kg	3.4 kg
第三次測試	0.4kg	1.8 kg	2.5 kg	3.5 kg
平均	0.26 kg	2.3 kg	2.8 kg	3.3 kg

根據「牛奶塑膠混合樹脂的黏度測試」表格可以發現牛奶塑膠與樹脂以4:1為最佳，其表面最光滑且不會過黏。牛奶塑膠與樹脂比例為2:1時表面光滑度不如4:1時，且會沾黏手指。相反的，若要製作黏著劑，則以牛奶塑膠與樹脂比例1:1為最佳。

### (三) 綜合比較表格

牛奶塑膠與紙漿混合	牛奶塑膠與樹脂的混合
以2 kg的重物重壓後 紙漿牛奶塑膠呈現鬆散	以2 kg的重物重壓後 樹脂牛奶塑膠表面有少許裂痕

## 研究三、牛奶塑膠對有機溶液的溶解度

### 一、實驗項目

#### (一) 比較雙氧水、冰醋酸、酒精、正己烷對牛奶塑膠的溶解度

項目	雙氧水	乙醇	冰醋酸	正己烷
化學式	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	CH <sub>3</sub> COOH	C <sub>6</sub> H <sub>16</sub>
濃度	35%	95%	99.9%	100%
體積(ml)	30	30	30	30
狀態	液態	液態	液態	液態
牛奶塑膠重量	12.5g	12.5g	12.5g	12.5g





#### (二) 比較各種藥品對牛奶塑膠的溶解度

我們認為比較項目太少，於是再增加不同的有機溶劑如下：

藥品名稱	化學式	濃度 (M)	體積 (ml)	密度	是否溶於水	狀態	牛奶塑膠重量
甲醛	HCHO	3	30	1.03	V	液態	12.5g
甲醇	CH <sub>3</sub> OH	3	30	0.801	V	液態	12.5g
雙氧水	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3	30	1.13	V	液態	12.5g
氨水	NH <sub>4</sub> OH	3	30	0.9	V	液態	12.5g
醋酸	CH <sub>3</sub> COOH	3	30	1.05	V	液態	12.5g
正己烷	C <sub>6</sub> H <sub>16</sub>	-	30	0.66	X	液態	12.5g
甲苯	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	-	30	0.86	X	液態	12.5g

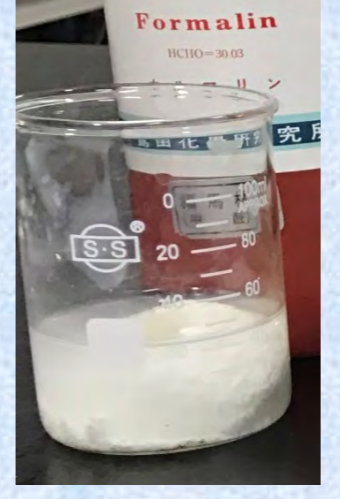

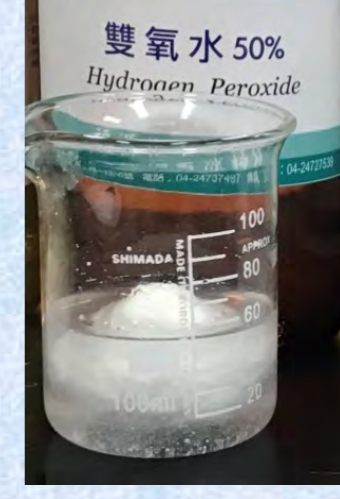




## 二、實驗結果

### (一) 比較正己烷、乙醇、冰醋酸、雙氧水對牛奶塑膠的溶解度

正己烷	乙醇	冰醋酸	雙氧水
C <sub>6</sub> H <sub>16</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	CH <sub>3</sub> COOH	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
			
溶液完全透明	溶液白色混濁	溶液白色混濁	溶液呈白色混濁
牛奶塑膠硬度略為增加	牛奶塑膠仍有小顆粒	牛奶塑膠仍有小顆粒	牛奶塑膠幾乎無沉澱

### (二) 比較各種藥品對牛奶塑膠的溶解度

微溶解後產生防水薄膜	微溶解	完全不溶解
氨水 NH <sub>4</sub> OH	甲醛 HCHO 甲醇 CH <sub>3</sub> OH 雙氧水 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 醋酸 CH <sub>3</sub> COOH	正己烷 C <sub>6</sub> H <sub>16</sub> 甲苯 C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>





甲醛 HCHO	甲醇 CH <sub>3</sub> OH	雙氧水 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	氨水 NH <sub>4</sub> OH
			
醋酸 CH <sub>3</sub> COOH	正己烷 C <sub>6</sub> H <sub>16</sub>	甲苯 C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	其餘發現
			氨水雖會溶解部分牛奶塑膠，但溶解後會產生防水薄膜

本研究結果發現正己烷可達完全透明。除了正己烷、甲苯不能溶解牛奶塑膠外，其餘皆能溶解，其中氨水可溶解較多。

## 研究四、牛奶塑膠與3D列印的結合與應用

### 一、實驗結果

#### (一) 成品圖片

粗吸管	細吸管	利用手動操作3D圖形	3D圖形完成樣式
			

#### (二) 成品與PLA比較

粗吸管	細吸管	PLA
時間短	時間長	時間適中
細部地方須換頭	適合較多種類的熱熔槍	不須換頭
	可自然分解	無法自然分解
	成本較低	成本較高
	不須用電加熱	須用電加熱

## 研究五、牛奶塑膠的保存

### (一) 去除酸味

解決方法	原理	優點	缺點
加入香精	利用香精的味道蓋過酸味	效果佳，操作方便	利用化學原料對大自然有害

### (二) 防腐

解決方法	原理	優點	缺點
增加酸量	PH值較低的环境不利黴菌生存	比較環保，對大自然傷害較小	會有較重的醋酸味，且產量較少
噴灑酒精	可以摧毀或去多數微生物和其內孢子	揮發快效果佳	因為噴灑75%酒精，所以仍有25%是水，須再用餐巾紙輕壓除水

### (三) 防水

解決方法	原理	優點	缺點
浸泡正己烷	利用正己烷使牛奶塑膠表皮硬化	效果佳操作方便	取得不易，對大自然有害
混入樹脂	利用樹脂乾燥後，形成保護膜的特性	取得方便操作便利	乾燥時間較長
混入PLA	利用性質相似的塑膠進行混合	PLA可在自然界中分解	PLA熔點較高



## 研究六、牛奶塑膠成品定型綜合應用

綜合以上五個研究，我們利用研究實驗結果嘗試製作較防腐、防水、表面光滑、硬度高、結構強的牛奶塑膠，並製作不同功能的牛奶塑膠。

### 一、實驗項目、步驟

#### (一) 擬定製作流程

結論來源	結論概要	推論之實驗步驟
研究一	牛奶塑膠製作流程	1. 製作牛奶塑膠
研究五	酒精可有效防腐	2. 噴灑酒精防腐
研究二	樹脂可增加光滑度及強度	3. 牛奶塑膠與樹脂以4:1的比例混合
研究四	3D列印原料製作	4. 用牛奶塑膠進行3D列印(也可直接捏造塑型)
研究三	氫水會使其產生防水薄膜	5. 泡入氫水20分鐘後輕輕沖水洗淨多於氫水
研究三	正己烷能增強其防水效果	6. 以噴霧劑噴灑正己烷

#### (二) 擬定加強實驗項目

##### 1. 浸入氫水的濃度

項目一	項目二	項目三	項目四
純水	25%氫水、75%純水	50%氫水、50%純水	100%氫水

##### 2. 綜合牛奶塑膠的應用

項目	敘述
3D列印原料	嘗試代替市面上的3D列印原料(PLA、ABS)
除塵	利用牛奶塑膠混合樹脂後易沾黏的特性，將灰塵黏起去除
黏土材料	代替不可食用、分解的黏土，可供幼兒使用

## 二、實驗結果

### (一) 擬定製作流程

1. 製作牛奶塑膠
2. 噴灑酒精防腐
3. 牛奶塑膠與樹脂以4:1的比例混合
4. 用牛奶塑膠進行3D列印(也可直接捏造塑型)
5. 泡入氫水20分鐘後輕輕沖水洗淨多於氫水
6. 以噴霧劑噴灑正己烷

### (二) 擬定加強實驗項目

##### 1. 浸入氫水的濃度

項目一	項目二	項目三	項目四
純水	25%氫水、75%純水	50%氫水、50%純水	100%氫水
完全崩解於水中	呈現光滑球型		
x	表面防水、整體有彈性		
x	較軟	次堅硬	最堅硬
x	輕壓後最慢彈回	輕壓後次快彈回	輕壓後最快彈回
x	顏色最淺	顏色次深	顏色最深
綜合評估排名4	綜合評估排名3	綜合評估排名2	綜合評估排名1

### <實驗照片>

項目一(浸入純水)	項目二(25%氫水、75%純水)	項目三(50%氫水、50%純水)	項目四(100%氫水)

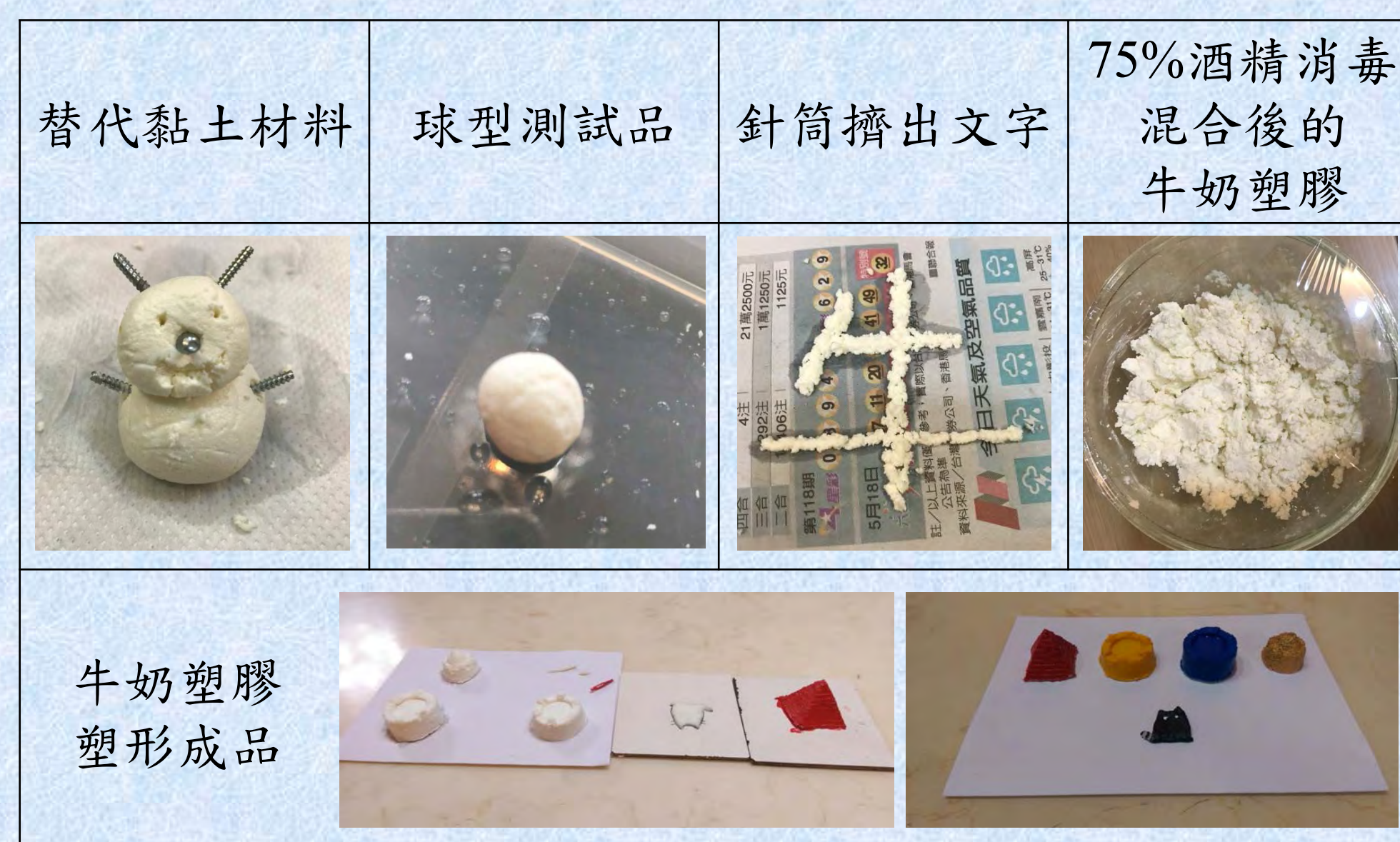
浸入氫水目的:使其表面產生防水膜，增加防水效果。為了瞭解其內部反應，我們挖開浸過100%及25%氫水的牛奶塑膠，得到以下結果：

25%氫水內部	25%氫水外層防水膜	100%氫水內部	100%氫水外層防水膜

##### 2. 綜合牛奶塑膠的應用(與市面比較)

項目	市面產品	自製牛奶塑膠
3D列印原料	須加熱、無法完全被自然界發解	可分解、成品有彈性、不須加熱
除塵	較昂貴、用久候效果差	製作過程較便宜、用久後加入樹脂即可達到原效果
黏土材料	不可食用、使用後手上會濕濕黏黏	誤食沒有大礙、較不黏手

## <成品展示>



## 陸、結論

- 一、在<研究一、製作牛奶塑膠及其比例調配>中，醋酸產量明顯高於鹽酸產量，於是我們決定使用醋酸完成其餘實驗。我們認為將牛奶加熱至70°C、牛奶與酸比例以10:1為最佳，既可達一定產量，較不易腐壞、發霉。
- 二、在<研究二、牛奶塑膠與紙漿、碎紙、樹脂的混合應用>中，效果比較為:加入碎紙>一般牛奶塑膠>加入紙漿。我們推測是因為碎紙的纖維增強牛奶塑膠的結構，但紙漿的纖維被打散，較無聚合效果，反而使牛奶塑膠結構減弱。
- 三、在<研究三、牛奶塑膠對有機溶液的溶解度>中，甲醛、甲醇、雙氧水、醋酸可將牛奶塑膠微溶解;而正己烷和甲苯完全無法溶解牛奶塑膠，正己烷可硬化牛奶塑膠表面。實驗中我們發現浸泡氫水後雖然會微溶解牛奶塑膠，但溶解部分牛奶塑膠後可產生一層光滑防水膜，增強其防水效果。
- 四、在<研究四、牛奶塑膠與3D列印的結合與應用>中，可用熱熔槍代替3D列印噴頭，牛奶塑膠代替PLA或ABS。以牛奶塑膠代替市面3D列印材料的好處是:可自然分解、成本較低、不須用電加熱;缺點是市面3D列印材料較便利，解析度、硬度較高。
- 五、在<研究五、牛奶塑膠的保存>中，我們得到以下增強防腐方法:
  1. 去除酸味:添加天然香精或精油
  2. 防腐:噴灑75%酒精
  3. 防水:先泡入25%氫水後用噴霧器噴灑正己烷
- 六、在<研究六、牛奶塑膠成品定型綜合應用>中，我們綜合了前面五個研究的結果，統合綜效得到以下結論:
  1. 浸入氫水的濃度:各有利弊
    - (1) 25%氫水、75%純水:味道較淡，成品較有彈性及可塑性
    - (2) 50%氫水、50%純水:表面最光滑，附着力較強，彈性適中
    - (3) 100%氫水:表面防水層最厚、最牢固，但其味道較重
  2. 牛奶塑膠製成後的改善與加工
 

目的：同時達到硬度較高、聚合性強、較防腐、防水、解析度較高的牛奶塑膠

    - (1) 製作牛奶塑膠
    - (2) 噴灑酒精防腐
    - (3) 牛奶塑膠與樹脂以4:1的比例混合
    - (4) 用牛奶塑膠進行3D列印(也可直接捏造塑型)
    - (5) 泡入氫水20分鐘後輕輕沖水洗淨多餘氫水
    - (6) 以噴霧劑噴灑正己烷
  3. 牛奶塑膠應用方面統整
    - (1) 製作3D列印原料：較市面產品便宜、環保、有彈性
    - (2) 達到除塵效果：較市面產品便宜、環保、可重複使用
    - (3) 替代市面黏土材料：較市面產品環保、安全

## 柒、參考資料

1. 【Maker Faire DIY】簡單3步驟~牛奶變塑膠 取自 <https://www.citytalk.tw/bbs/thread-176949>
2. 呂旃嫻'牛奶變塑膠'取自 [www.shs.edu.tw/works/essay/2013/11/2013111414501820.pdf](http://www.shs.edu.tw/works/essay/2013/11/2013111414501820.pdf)
3. 蔡介筠、鄧羽蝶、王瞳、陳俊源、張睿軒(2013)'少年起司的奇幻漂流-探討牛奶與豆漿的凝乳現象'中華民國第53屆中小學科學展覽會參展作品集。
4. 王榮文(2012)'牛奶變塑膠'科學人，130，122-123。
5. 變！變！變！我把牛奶變塑膠！(2013)'取自web.wcps.tp.edu.tw/active/102學年度/102.../02- 變！變！變！我把牛奶變塑膠！.pdf
6. Sunday Science: Fantastic plastic 周日科學: 超棒的塑膠'取自 <http://www.taipeitimes.com/News/lang/archives/2007/09/09/2003378022>
7. 楊晉佳、葉哲睿、蘇維德、蔡佳臻'紙(漿)磚時用嗎?'中華民國第53屆中小學科學展覽會參展作品集。