

# 屏東縣第 66 屆國中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：五光十色～仙女棒燃燒之研究

關 鍵 詞：仙女棒、氧化劑、燃燒

編號：B3011

# 目錄

|                |      |
|----------------|------|
| 摘要-----        | p.2  |
| 壹、前言-----      | p.2  |
| 貳、研究設備及器材----- | p.5  |
| 參、研究過程與方法----- | p.6  |
| 肆、研究結果-----    | p.12 |
| 伍、討論-----      | p.14 |
| 陸、結論-----      | p.16 |
| 柒、參考資料和其他----- | p.18 |

## 摘要

在仙女棒的燃燒實驗中，我們發現以下幾項明顯的實驗結果：

- 一、黏著劑的添加，會增加燃燒的阻礙，增加冒煙的量，燃燒時產生刺激性的氣味。尤其是使用白膠和膠水。
- 二、整體對於藥品的比例變動，對於火焰的大小、燃燒時間，不會有很明顯的差異。只有添加過多的鐵粉時，火焰噴濺的火花量會增加而已。
- 三、增加火藥包裹得層數，確實可以增加火焰的大小，而且冒煙量也明顯增加，但是對於燃燒時間影響不大。

## 壹、前言

### 一、研究動機：

新年期間，爆竹煙火總能為節慶增添熱鬧氣氛，而我最喜歡的還是「仙女棒」。最簡單的原因就是好玩、不會爆炸、有漂亮的火花，最重要的就是可以拿在手上玩。

上了國中之後，星期三下午的社團活動中，我們彩排運動會活動，老師讓我們手拿「仙女棒」進場。雖然白天只看到很多白煙，但是心情還是很激動。如果可以自己做「仙女棒」，那就可以製作各種顏色的火焰的「仙女棒」、就可以製作沒有冒煙的「仙女棒」、就可以製作超級大支的「仙女棒」等等。

所以我們三個人，就研究如何完成我們訂製的「仙女棒」夢想。

### 二、研究目的：

(一)、研究「仙女棒」在不同狀態下燃燒，「仙女棒」的燃燒效果。

1. 藥品研磨成「粉」狀混合，直接火焰燃燒，觀察燃燒的情況。
2. 藥品研磨，以「粉」狀被線香沾黏後，再經乾燥後燃燒，觀察燃燒的效果。
3. 將藥品混合成「膏」狀被線香沾黏後，再經乾燥後燃燒，觀察燃燒的效果。
  - (1) 加「水」混和成「膏」狀。
  - (2) 加「糨糊」混和成「膏」狀。
  - (3) 加「膠水」混和成「膏」狀。
  - (4) 加「白膠」混和成「膏」狀。

(二)、研究「仙女棒」以不同的粘著劑沾黏下燃燒，「仙女棒」的燃燒效果。

1. 粉狀的藥粉，以「糨糊」沾黏在線香上形成仙女棒。
2. 粉狀的藥粉，以「膠水」沾黏在線香上形成仙女棒。
3. 粉狀的藥粉，以「白膠」沾黏在線香上形成仙女棒。
4. 粉狀的藥粉，以「雙面膠」沾黏在線香上形成仙女棒。
5. 藥粉沾黏的「層數」與燃燒的效果。

(三)、研究藥品以不同的比例混合，使「仙女棒」燃燒更完美。

1. 改變「氧化劑」的比例，觀察仙女棒燃燒的持續性、燃燒火焰(光焰)的穩定性。
2. 改變「燃料」的比例，觀察仙女棒燃燒的持續性、燃燒火焰(光焰)的穩定性。
3. 改變「著色劑」的比例，觀察仙女棒燃燒的持續性、燃燒火焰(光焰)的穩定性。

### 三、文獻回顧：

(一)、仙女棒中的成分：鋁粉、鎂粉、鐵粉、過氯酸鉀、硝酸鉍、碳粉、硝酸鉀。

1. **氧化劑**：過氯酸鉀或氯酸鉀。
2. **燃料**：碳、鎂、鋁。
3. **著色劑**：鋇化合物→**紅色**、鈣化合物→**橙色**、鈉化合物→**黃色**、鉍化合物→**綠色**、銅化合物→**藍色**、鉀化合物→**紫色**、鋁或鎂金屬→**白色**、鐵金屬→**金黃色**。
4. **原理**：
  - (1) 鎂的活性強，一點燃容易劇烈燃燒，產生【 **白** 】色火光。
  - (2) 硝酸鉀遇熱會置換出大量的【 **氧氣** 】幫助燃燒
  - (3) 使鐵粉和碳粉產生【 **紅** 】色火光。
  - (4) 碳粉燃燒後會產生大量【 **二氧化碳** 】，氣體瞬間膨脹，產生爆炸，使火花（燃燒的鐵粉、鎂粉）四濺，產生眩麗的效果。

(二)、仙女棒的原理是利用化學成分燃燒，產生熱能和光能。

1. 其成分包括燃料（如鎂粉、鋁鎂合金粉）和氧化劑（如硝酸鉀、過氯酸鉀），點燃後會引發一連串的氧化還原反應，高溫使金屬原子吸收能量後發出不同顏色的光
2. **氧化還原**：是指物質失去或得到電子使氧化數增減的作用，物質對於氧的活性大小而產生的作用也稱為氧化還原反應。生活當中常見的燃燒、電鍍、電解等等，都屬於氧化還原反應。
3. **仙女棒的火花**：含碳量不同會影響火花爆裂程度，含碳量愈多，火花長度愈短、流線愈多且爆裂。不同的合金粉末也會因為燃燒氧化程度不同而產生不同型態的火花。仙女棒**表面並非緊密**，因此燃燒時高溫粉末往外飛濺，在空中氧化燃燒先形成光亮的線條，高溫再進一步使粉末內的碳與氧燃燒形成二氧化碳，而這些二氧化碳使鐵粉往不同方向爆開，因而使火花形成像小星星般的分岔效果。

(三)、網路上所查到的藥品比例：

過氯酸鉀 10 克、硝酸鉍 50 克、鋁鎂合金粉 2 克、鐵粉 2 克、碳粉 2 克、硝酸鉀 25 克。

(四)、賴亭伶 等，**微量化學實驗：製作五彩焰色試驗棒**，研究指出：

1. **焰色的原理**：原子中的電子會存在於原子核外不同能階，最穩定時的狀態稱為基態（ground state），當 原子吸收能量後，其電子會被激發至更高能階，稱為激發態（excited state），此時的電子處於 不穩定狀態，會以電磁波之形式釋放能量，最後回到基態，整個過程稱為電子躍遷（electronic transitions）。
2. 一般的**焰色試驗**會將待檢測樣品放在惰性金屬絲（例如金）上，以本生燈（藍色火焰）加熱，由於樣品中雜質常含有鈉元素（其焰色為黃色），會干擾觀察，因此焰色試驗會使用**鈷 藍色玻璃**來過濾掉黃光，使樣品的焰色能清晰地呈現。
3. 由於本實驗不需火花效果，且鋁粉和鐵粉燃燒緩慢，對彩色仙女棒燃燒幫助不大，因此將兩粉末刪除；雖然鎂粉可以幫助燃燒，但是劇烈的白光會干擾焰色的呈現，因此在本實驗中刪減鎂的用量。

(五)、楊水平，劃破寂靜的驚天一響 燃燒、爆炸與氧化還原反應，研究指出：氧化還原有三種：

1. 「氧轉移」方面的氧化還原反應：

在傳統上，氧化的定義為氧的獲得，還原為氧的失去。例如：氧化鐵（ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）與一氧化碳（ $\text{CO}$ ）反應，生成鐵（ $\text{Fe}$ ）和二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ），其反應如下圖 01 所示。氧化劑（ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）使一氧化碳獲得氧；還原劑（ $\text{CO}$ ）從氧化鐵中除去氧。

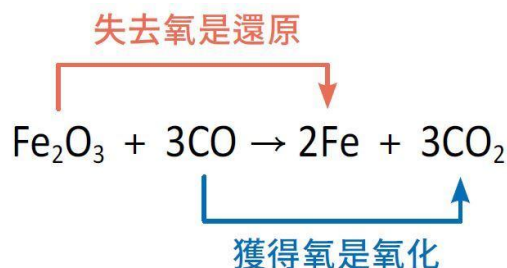


圖 01 為「氧轉移」的氧化還原反應

2. 「氫轉移」方面的氧化還原反應：

另外也有一種氧化的定義是指氫的失去，還原是氫的獲得。此定義常見於有機化學中，例如：乙醇（ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ）失去氫發生氧化生成乙醛（ $\text{CH}_3\text{CHO}$ ）；相反地，乙醛獲得氫發生還原生成乙醇，其反應如下圖 02 所示。

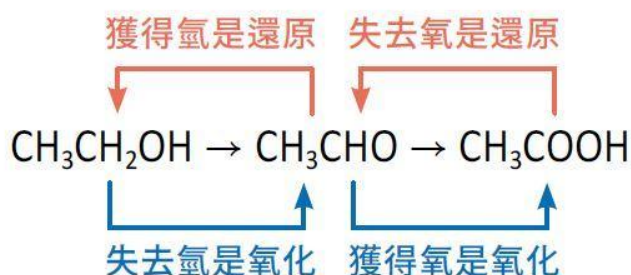


圖 02 為「氫轉移」的氧化還原反應

3. 「電子轉移」方面的氧化還原反應：

然而，在化學反應中，氧或氫的轉移並非氧化還原反應的必然要素。以電子轉移的角度來看，氧化是電子的失去，還原則是電子的獲得。例如硫酸銅（ $\text{CuSO}_4$ ）與鋅（ $\text{Zn}$ ）反應，生成銅（ $\text{Cu}$ ）和硫酸鋅（ $\text{ZnSO}_4$ ）。硫酸銅和硫酸鋅都是離子化合物，而金屬則不是。銅離子（ $\text{Cu}^{2+}$ ）是氧化劑，獲得電子發生還原生成金屬銅（ $\text{Cu}$ ）；鋅（ $\text{Zn}$ ）是還原劑，失去電子發生氧化生成鋅離子（ $\text{Zn}^{2+}$ ）。以淨離子表示，其反應如下圖 03 所示。

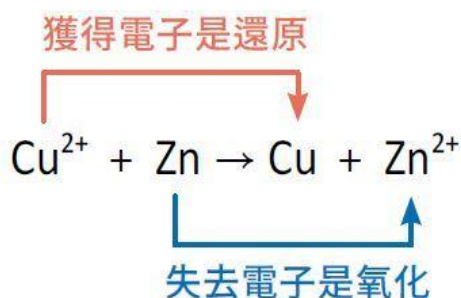


圖 03 為「電子轉移」的氧化還原反應

## 貳、研究設備及器材



過氯酸鉀



碳粉



鐵粉



鎂粉



硝酸鉍



硝酸鉀



鋁粉



線香



硫酸銅



糝糊



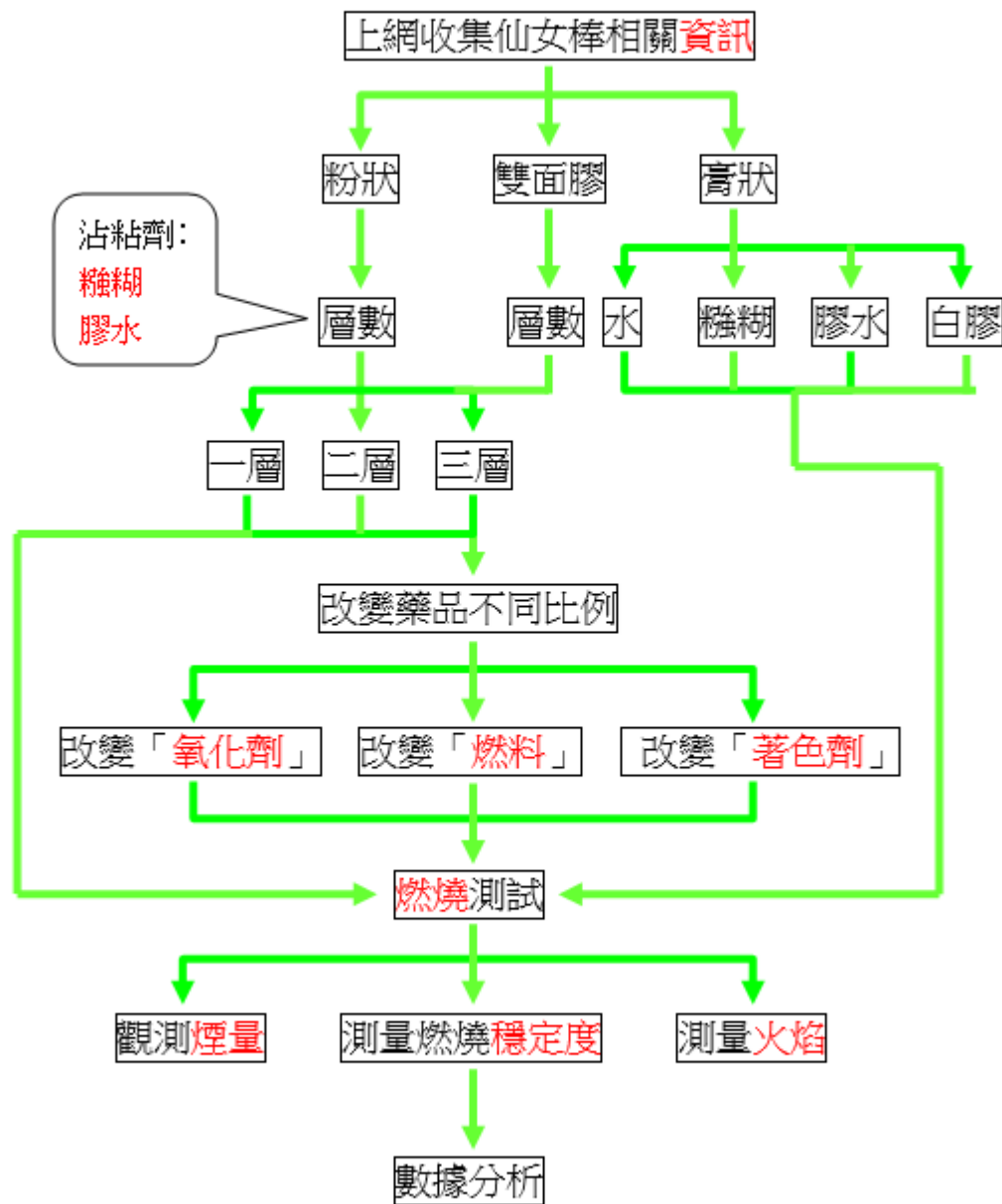
膠水



白膠

## 參、研究過程與方法

### 一、實驗架構：



## 二、實驗步驟：

(一)、上網搜查仙女棒所須的藥品和比例。

1. 我們搜尋到的第一種資料：過氯酸鉀 10 克、硝酸鉍 50 克、鋁鎂合金粉 2 克、鐵粉 2 克、炭粉 2 克、硝酸鉀 25 克。
2. 網路給的仙女棒參考配方，其成分及大致比例（重量百分比）如下表 04 所示：

| 成分                      | 功用             | 參考比例(重量百分比) |
|-------------------------|----------------|-------------|
| 硝酸鉀 ( $\text{KNO}_3$ )  | 氧化劑（提供氧氣助燃）    | 約 30%       |
| 氯酸鉀 ( $\text{KClO}_3$ ) | 氧化劑            | 約 14%       |
| 硫酸銅 ( $\text{CuSO}_4$ ) | 發色劑（產生綠色火焰）    | 約 48%       |
| 鎂粉 ( $\text{Mg}$ )      | 燃料/發光劑（產生明亮火花） | 約 4%        |
| 黏合劑（如膠水）                | 將所有粉末固定在金屬絲上   | 少量          |

表 04 為仙女棒參考配方比例

3. 依照我們所搜尋的資料和實驗的需求，我們將基本藥品的比例定如下表 05 所示：

| 成分 | 過氯酸鉀 | 硝酸鉍 | 硝酸鉀 | 硫酸銅 | 鋁粉 | 鎂粉 | 鐵粉 | 碳粉 |
|----|------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| 比例 | 3    | 10  | 6   | 10  | 1  | 1  | 1  | 1  |

表 05 為我們所定的基本仙女棒藥品比例

4. 上網觀看仙女棒的製作影片，然後訂購所需的藥品。如下圖 06 所示。



圖 06 為我們觀看仙女棒的製作相關影片和網購藥品

(二)、仿冒網路方式，製作仙女棒。如下圖 07 所示。

1. 調配藥品。
2. 將調配好的藥品鋪在 A4 紙上面，在另一張 A4 紙上面，塗上一些糰糊。
3. 拿上一支線香，在將線香剪成所需的長度為 15 公分，其中沾黏藥品部分長度為 10 公分。
4. 先將線香塗上一層糰糊，再將表面塗滿糰糊的線香，在仙女棒的藥粉上「滾動」，使線香裹滿藥粉。
6. 依照以上的步驟做出六支仙女棒，然後放置在玻璃瓶上乾燥，等到下週使用。
7. 隔週之後，試點二支仙女棒。然後再將剩下的四支仙女棒，依照上週的方式，裹上第二層藥粉，然後放置在玻璃瓶上乾燥，等到下週使用。
8. 再隔週之後，試點二支二層藥粉的仙女棒。然後再將剩下的二支仙女棒，依照上週的方式，裹上第三層藥粉，然後放置在玻璃瓶上乾燥，等到下週使用。
9. 再隔週之後，試點二支三層藥粉的仙女棒。每次的仙女棒燃燒，都要錄影紀錄。



圖 07 依照網路的方式製作仙女棒

(三)、將製作仙女棒的沾粘劑，由糰糊改為膠水、白膠之後，然後後將製作出來的仙女棒燃燒

錄影比較。如下圖 08 所示。

1. 以膠水為沾粘劑，分別製作沾黏一層藥品、沾黏二層藥品、沾黏三層藥品的仙女棒。
2. 以白膠為沾粘劑，分別製作沾黏一層藥品、沾黏二層藥品、沾黏三層藥品的仙女棒。
3. 將燃燒的仙女棒錄影紀錄。



圖 08 為改變沾粘劑的仙女棒製作與燃燒

(四)、我們將製作仙女棒的藥粉，加上溶劑潤濕成「膏」狀。我們所使用的溶劑種類有**水**、**糨糊**、**膠水**、**白膠**。如下圖 09 所示。

1. 將仙女棒的藥粉調配好，然後放到燒杯內。
2. 在燒杯內加入少量的溶劑，然後攪拌藥粉，使藥粉成濕潤的膏狀。
3. 將膏狀的藥品，沾黏在竹籤上，然後乾燥。
4. 將膏狀的藥品，填滿在剖半的大吸管內，然後在藥品上要入竹籤。
5. 將膏狀的藥品，填滿在大吸管內，然後在吸管內的藥品在插入竹籤。之後在大吸管的另一端，用竹筷將藥品捅出來，然後乾燥預備。

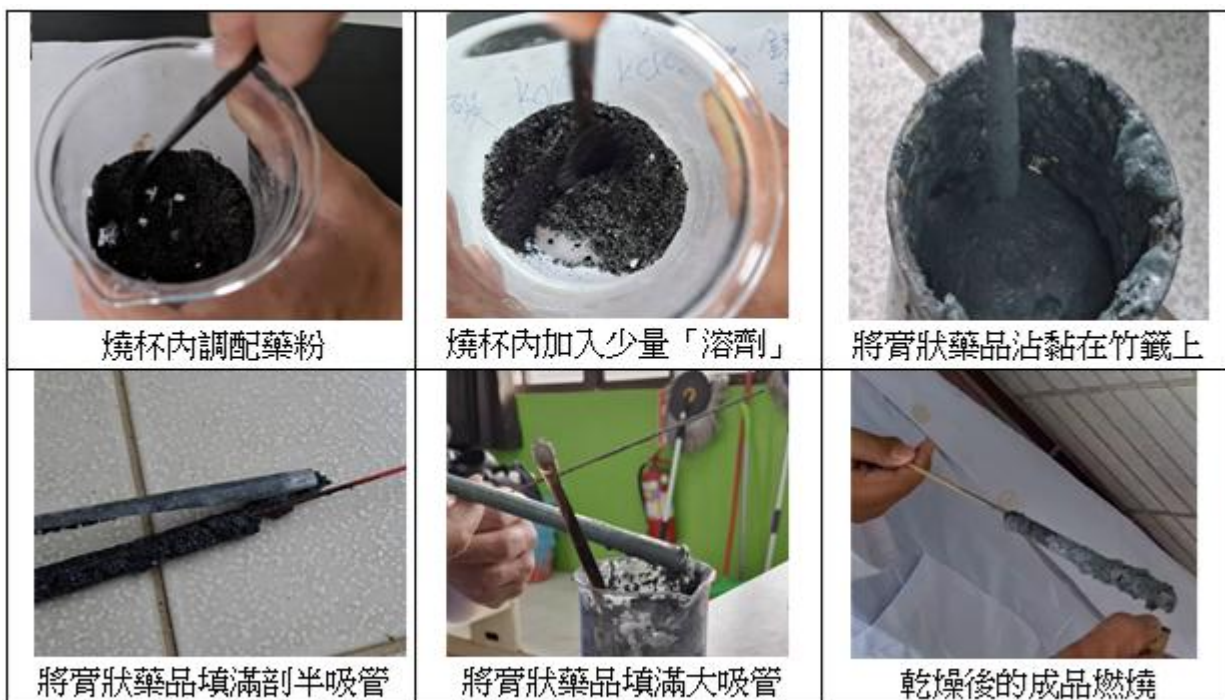


圖 09 為仙女棒的藥粉，加上溶劑潤濕成「膏」狀，做成仙女棒乾燥燃燒

(五)、利用雙面膠製作仙女棒，製作步驟如下圖 10 所示。

1. 調配好仙女棒藥粉。
2. 先取一段線香，再取長度約 20 公分的雙面膠。
3. 先將雙面膠的一面沾黏在線香的底端，然後在此先撕開雙面膠的一小段。
4. 之後將仙女棒藥粉鋪灑在雙面膠上面，然後將雙面膠捲黏在線香上面。之後一邊捲線香一邊鋪灑藥粉，直到將雙面膠用完。
5. 如此的仙女棒，馬上可以點燃，不須日曬乾燥。
6. 若想要燃燒的效果更強烈，也可以用相同的方法，再包裹第二層的雙面膠藥粉。
7. 因為包裹雙面膠的縫隙不一定完全無縫，所以在仙女棒的最外圍，再包裹一層雙面膠，如此即可避免藥粉的散落。



圖 10 為雙面膠仙女棒的燃燒

(六)、改變仙女棒藥品中「**氧化劑**」的比例。

1. 我們**調高硝酸鉀、過氯酸鉀**的比例。如下表 11 所示。

| 成分 | 過氯酸鉀  | 硝酸鉍 | 硝酸鉀 | 硫酸銅 | 鋁粉 | 鎂粉 | 鐵粉 | 碳粉 |
|----|-------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| 比例 | 3     | 10  | 6→9 | 10  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 成分 | 過氯酸鉀  | 硝酸鉍 | 硝酸鉀 | 硫酸銅 | 鋁粉 | 鎂粉 | 鐵粉 | 碳粉 |
| 比例 | 3→4.5 | 10  | 6   | 10  | 1  | 1  | 1  | 1  |

表 11 為**調高硝酸鉀、過氯酸鉀**的比例

2. 我們**調低硝酸鉀、過氯酸鉀**的比例。如下表 12 所示。

| 成分 | 過氯酸鉀  | 硝酸鉍 | 硝酸鉀 | 硫酸銅 | 鋁粉 | 鎂粉 | 鐵粉 | 碳粉 |
|----|-------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| 比例 | 3     | 10  | 6→3 | 10  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 成分 | 過氯酸鉀  | 硝酸鉍 | 硝酸鉀 | 硫酸銅 | 鋁粉 | 鎂粉 | 鐵粉 | 碳粉 |
| 比例 | 3→1.5 | 10  | 6   | 10  | 1  | 1  | 1  | 1  |

表 12 為**調低**的比例

(七)、改變仙女棒藥品中「**燃料**」的比例。

我們調高鋁粉、鎂粉、碳粉的比例。如下表 13 所示。

| 成分 | 過氯酸鉀 | 硝酸鉍 | 硝酸鉀 | 硫酸銅 | 鋁粉  | 鎂粉  | 鐵粉 | 碳粉  |
|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|
| 比例 | 3    | 10  | 6   | 10  | 1→2 | 1   | 1  | 1   |
|    | 3    | 10  | 6   | 10  | 1→3 | 1   | 1  | 1   |
| 成分 | 過氯酸鉀 | 硝酸鉍 | 硝酸鉀 | 硫酸銅 | 鋁粉  | 鎂粉  | 鐵粉 | 碳粉  |
| 比例 | 3    | 10  | 6   | 10  | 1   | 1→2 | 1  | 1   |
|    | 3    | 10  | 6   | 10  | 1   | 1→3 | 1  | 1   |
| 成分 | 過氯酸鉀 | 硝酸鉍 | 硝酸鉀 | 硫酸銅 | 鋁粉  | 鎂粉  | 鐵粉 | 碳粉  |
| 比例 | 3    | 10  | 6   | 10  | 1   | 1   | 1  | 1→2 |
|    | 3    | 10  | 6   | 10  | 1   | 1   | 1  | 1→3 |

表 13 為調高碳粉、鎂粉、碳粉的比例

(八)、改變仙女棒藥品中「著色劑」的比例。

我們調高硝酸鉍、硫酸銅、鐵粉的比例。如下表 14 所示。

| 成分 | 過氯酸鉀 | 硝酸鉍   | 硝酸鉀 | 硫酸銅   | 鋁粉 | 鎂粉 | 鐵粉    | 碳粉 |
|----|------|-------|-----|-------|----|----|-------|----|
| 比例 | 3    | 10→15 | 6   | 10    | 1  | 1  | 1     | 1  |
|    | 3    | 10→20 | 6   | 10    | 1  | 1  | 1     | 1  |
| 成分 | 過氯酸鉀 | 硝酸鉍   | 硝酸鉀 | 硫酸銅   | 鋁粉 | 鎂粉 | 鐵粉    | 碳粉 |
| 比例 | 3    | 10    | 6   | 10→15 | 1  | 1  | 1     | 1  |
|    | 3    | 10    | 6   | 10→20 | 1  | 1  | 1     | 1  |
| 成分 | 過氯酸鉀 | 硝酸鉍   | 硝酸鉀 | 硫酸銅   | 鋁粉 | 鎂粉 | 鐵粉    | 碳粉 |
| 比例 | 3    | 10    | 6   | 10    | 1  | 1  | 1→1.5 | 1  |
|    | 3    | 10    | 6   | 10    | 1  | 1  | 1→2.0 | 1  |

表 14 為調高的比例

(九)、如下圖 15 所示，為各種仙女棒的燃燒情況：



圖 15 為各種仙女棒的燃燒

## 肆、研究結果

一、仙女棒在各種狀態下的燃燒，如下表 16 所示。

|   | A    | B  | C    | D    | E   | F   | G   |
|---|------|----|------|------|-----|-----|-----|
| 1 | 狀態   | 粉狀 | 線香沾黏 | 加水成膏 | 加糝糊 | 加膠水 | 加白膠 |
| 2 | 點燃   | 難  | 難    | 難    | 難   | 難   | 難   |
| 3 | 燃燒持續 | 短  | 長    | 短    | 短   | 短   | 短   |

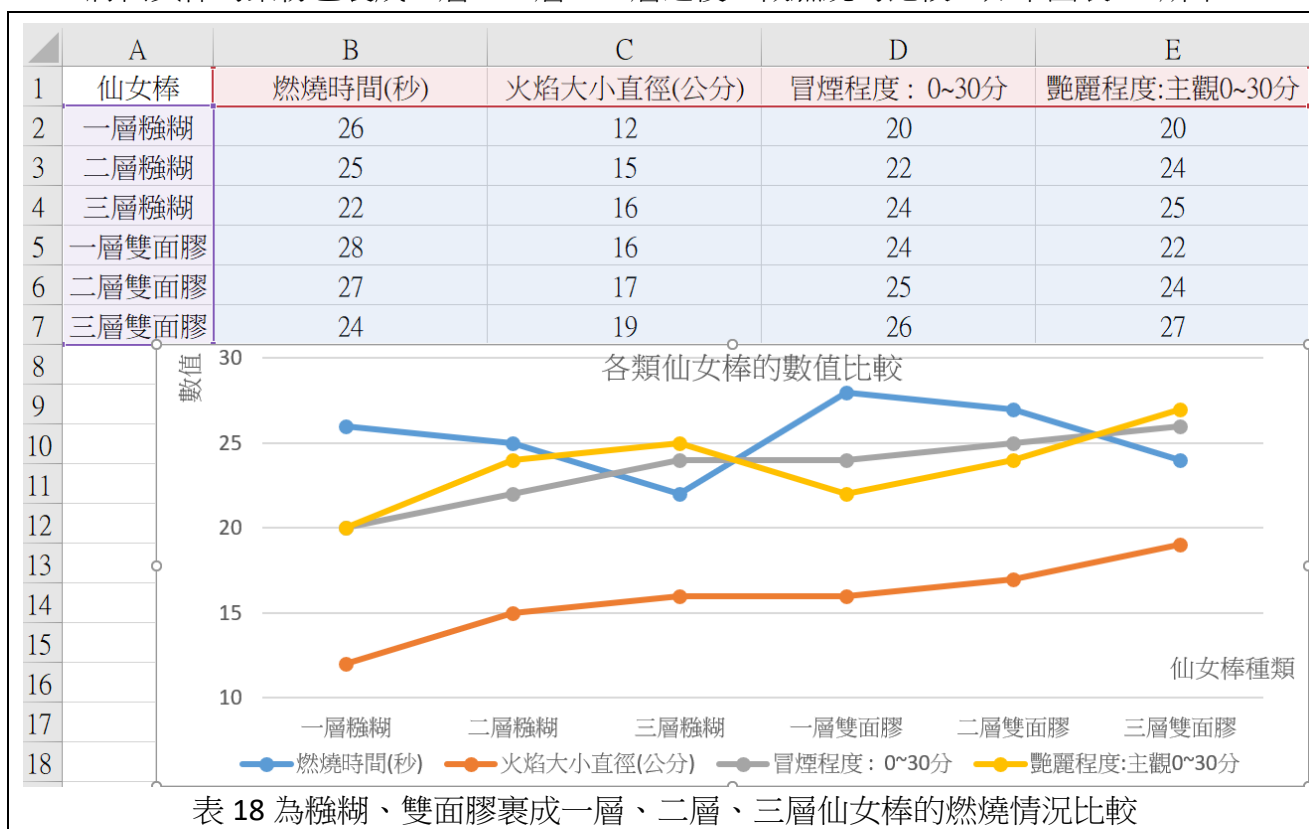
表 16 為各種狀態的仙女棒燃燒

二、如下表 17 所示，為線香以不同的沾黏方式，將仙女棒藥粉沾黏在線香上面的各種燃燒情況紀錄。

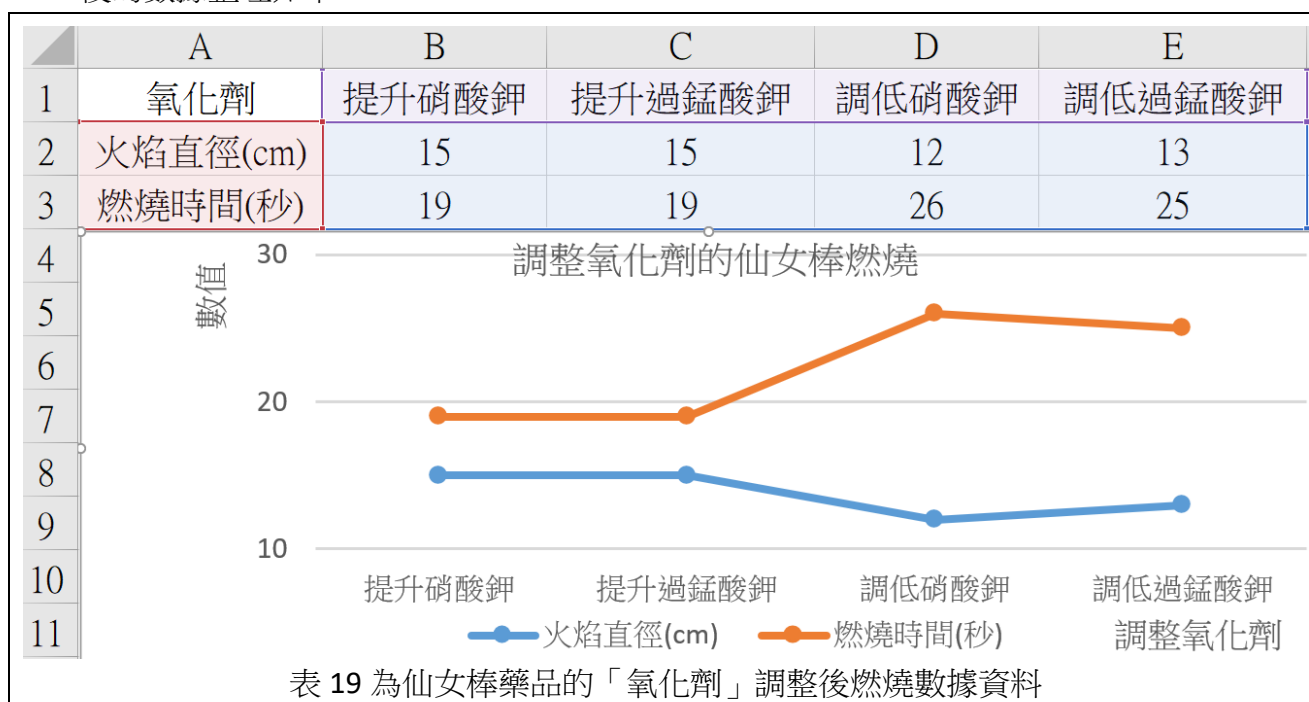
|   | A    | B    | C    | D    | E       | F      | G    | H    |
|---|------|------|------|------|---------|--------|------|------|
| 1 | 沾黏方式 | 點燃難易 | 火焰大小 | 冒煙程度 | 燃燒時間    | 中斷次數   | 灰燼狀態 | 味道   |
| 2 | 糝糊   | 易    | 大    | 大    | 長(約17秒) | 少(0~2) | 碳條灰  | 弱刺激味 |
| 3 | 膠水   | 中難   | 中    | 偏大   | 長(約23秒) | 多(3~6) | 間斷掉落 | 強刺激味 |
| 4 | 白膠   | 中難   | 中    | 極大   | 長(約25秒) | 多(3~6) | 間斷掉落 | 強刺激味 |
| 5 | 雙面膠  | 易    | 大    | 大    | 長(約22秒) | 少(1~3) | 碳條灰  | 刺激味  |

表 17 為線香以不同方式沾黏藥粉後，仙女棒燃燒情況紀錄。

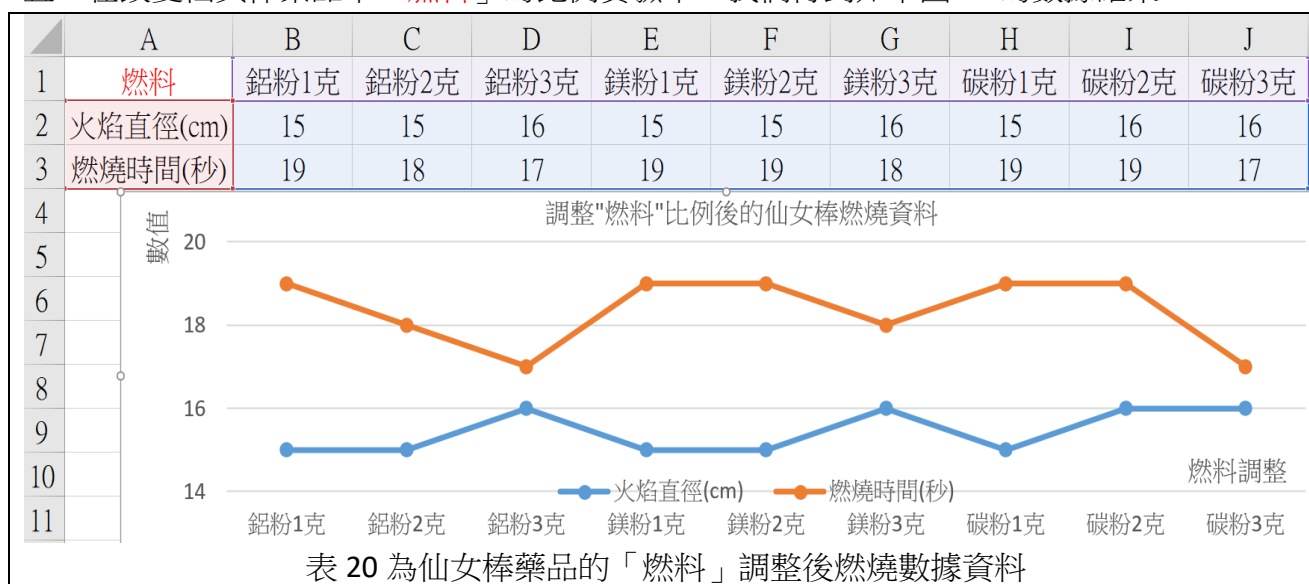
三、將仙女棒的藥粉包裹成一層、二層、三層之後，做燃燒的比較，如下圖表 18 所示。



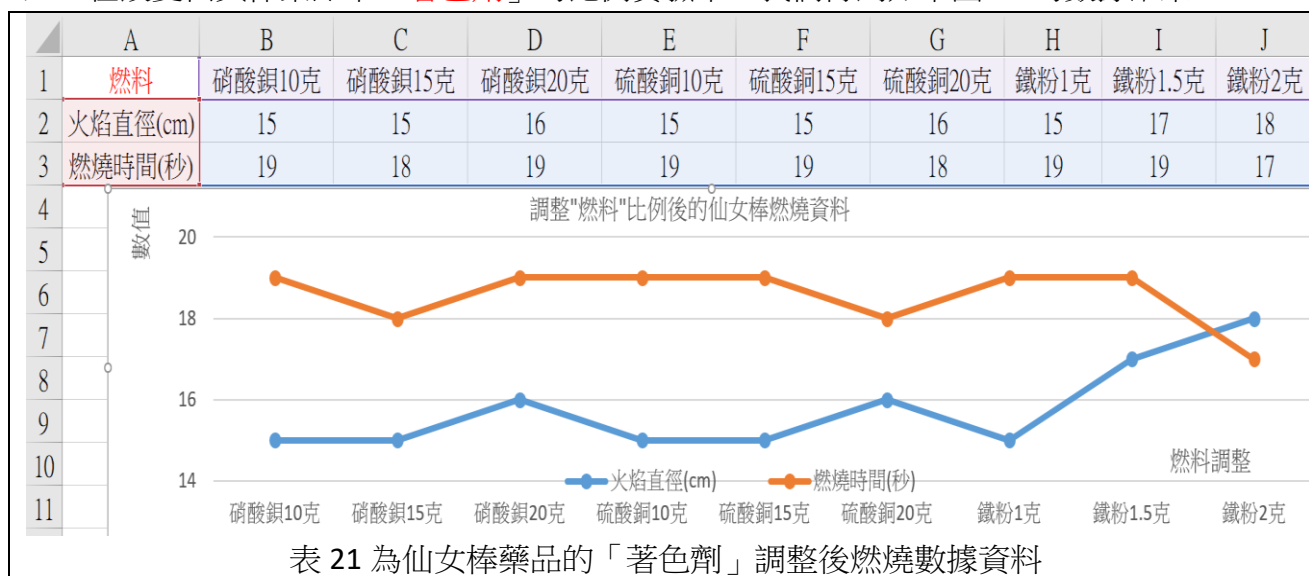
四、如下表 19 所示，將仙女棒的藥品做調整，我們改變**氧化劑**的含量，然後將仙女棒燃燒之後的數據整理如下。



五、在改變仙女棒藥品中「**燃料**」的比例實驗中，我們得到如下圖 20 的數據結果。



六、在改變仙女棒藥品中「**著色劑**」的比例實驗中，我們得到如下圖 21 的數據結果。



## 伍、討論

### 一、研究限制：

(一)、市售的仙女棒，有完美的壓型裝置和烘乾流程。我們沒有這些大型機械，所以我們只能用最原始的方法。

1. 定型方式一：用剖半的大吸管當模具。
2. 定型方式二：用大吸管當模具，然後將仙女棒的潮濕藥粉灌入吸管内。之後再將藥粉用木棒從吸管内推出。被推出的圓柱型仙女棒再拿去日曬乾燥。
3. 定型方式三：用四片木板當模具定型，底面一片，側邊兩片定型，上面一片可以稍微加壓。因為這種方式會使潮濕藥粉沾黏在模具上，而且未乾燥定型的藥粉棒很容易斷裂。所以最後放棄。
4. 定型方式四：這是我們在年底時所發現的一種**全新**的仙女棒定型方式。用雙面膠包裹仙女棒藥粉，然後纏繞在線香上面。如此即可燃燒，不須日曬乾燥。
5. 乾燥方式：日曬或試驗室內陰乾。

**實驗的前期：**因為遇到颱風和雨天。我們會提前查詢中央氣象署，若本周會有下雨機率。我們會將所須乾燥的仙女棒放置實驗室陰乾。

**實驗的後期：**因為遇到雨天的機率很小。所以我們都將所須乾燥的仙女棒放置實驗室外面，面向陽光的一側日曬。

## 二、討論：

(一)、將仙女棒定型的方式，我們經過討論之後，採用以下幾種方式：

1. 使用線香。先將線香均勻沾滿糰糊，然後在沾黏仙女棒藥粉。之後乾燥一週，然後相同的工序再製作第二次，之後在乾燥一週，然後相同的工序再製作第三次。
2. 先將仙女棒藥粉，添加適當的糰糊，使其變成麵糰狀態。然後將此濕潤的藥團填裝在模型之中。我們的模型有以下三種方式：
  - (1) 用剖半的大吸管當模具，在剖半的吸管内先放一支線香，然後將濕潤的藥團填裝在模型之中，之後日曬乾燥。乾燥之後，再將半邊的吸管剝落。
  - (2) 先將吸管内填滿濕潤的藥粉團，然後再將線香插入吸管内。之後在吸管的另一側用木棒，將已定型的仙女棒推出。然後再將它們日曬乾燥。
  - (3) 用四片木板當模具定型，底面一片，然後在上面放置一支線香，側邊兩片相隔 0.3cm 定型寬度，然後上面一片可以稍微加壓。之後再將上面和側邊的木板拿開，然後連同底面木板和定型成方形的仙女棒一同乾燥。

(二)、用線香塗抹沾粘劑之後，再沾黏仙女棒藥粉。因為我們要沾黏三層仙女棒藥粉，所以最後的仙女棒會很重。如果我們將仙女棒用原長度的線香來製作，則會因為仙女棒太重而很難拿著成品燃燒。經過討論之後，我們決定仙女棒包裹藥品的部分，長度一率為 15 公分。包括使用線香來沾黏仙女棒藥粉、細鐵絲沾黏沾黏仙女棒藥粉、線香竹籤沾黏仙女棒藥粉、竹籤沾黏仙女棒藥粉。

(三)、在改變仙女棒藥品比例的這個實驗中，我們有以下幾個問題須要經過討論：

1. 我們的時間不夠，必須在隔年(2026)二月之前，把所有實驗完成。
2. 每一個仙女棒都必須在實驗室陰乾 7 天才能做燃燒的實驗。
3. 藥品的比例調配，是否每一項都要調整，而調整的幅度是否要分階段。例如增加調整 25%、50%...等；或減量調整 25%、50%...等。
4. 經過討論之後，我們的結論如下：
  - (1) 「氧化劑」的比例調整，分為上調 50%和下調 50%。
  - (2) 「燃料」的比例調整，只有上調 100%。
  - (3) 「著色劑」的比例調整，只有上調 50%。

(四)、最後我們全新研發的雙面膠仙女棒，因為不須乾燥，包裹完可以馬上燃燒測試，收集數據。經過討論之後，後續的藥品改良測試燃燒，都採用雙面膠燃燒法。

## 陸、結論

一、在一開始的實驗中，我們將藥粉做以下的狀態燃燒時，得到以下結論：

- (一)、仙女棒的藥粉很難直接點燃，即使點燃，也會燃燒成一顆液態球體之後熄滅。
- (二)、沾了藥粉的仙女棒，雖然很容易燃燒。但觀察起來幾乎是線香在燃燒，偶爾有藥粉的噴燃或顏色。
- (三)、做成「膏」狀的藥粉，在膏狀的狀態，就彼此相互化學氧化還原反應了。而且整個膏狀的藥粉團幾乎在發熱，還有很明顯的蒸氣噴發出來。所以在我們將藥膏塗抹在線香上後，等待隔週乾燥之後，幾乎是完全燃燒不起來。

二、將仙女棒以各種不同的沾粘劑沾黏，然後將沾黏藥粉的線香燃燒的實驗中，我們得到以下的幾項結論：

- (一)、因為有線香的助燃，所以在點燃仙女棒的時候，很多情況是因為線香的燃燒先，然後才有後續的仙女棒咬粉燃燒。因為線香的前端，藥粉的量幾乎沒有或很少。
- (二)、火焰的大小，普遍都不錯。但是乾燥後的白膠和膠水較為不助燃，再加上又包裹著線香，所以導致火焰不會太大。
- (三)、白膠的冒煙極大，膠水的冒煙也有些偏大。又因為燒完之後的灰，包裹著膠水的殘渣，所以會一邊燃燒，一邊掉渣。也因此，所以他們二者所燃燒的氣味，有很強的刺激性化學藥品味道。
- (四)、裹糰糊和雙面膠的燃燒較不會中斷，但是裹雙面膠的仙女棒，因為藥粉較為鬆弛，所以燃燒時間比較裹糰糊來的長一些，中斷次數也多一些。

三、在仙女棒的粘著劑為糰糊、雙面膠時，將藥品裹成一層、二層、三層的仙女棒燃燒時宴中，我們得到以下實驗結論：

- (一)、藥粉的包裹層數越高，仙女棒的燃燒時間越短，尤其是雙面膠仙女棒，因為藥粉較為鬆弛，所以層數越高，燃燒的延遲越不受影響。
- (二)、仙女棒的層數越高，燃燒的時間越短，但是不明顯。
- (三)、燃燒的火焰大小，隨著包裹層數越多，火焰越大。畢竟可燃物越多，火焰越大。
- (四)、冒煙的程度，有隨著層數越多，冒煙越多。尤其雙面膠是塑膠，冒煙程度更多。
- (五)、就主觀的艷麗程度而言，火焰越大、噴艷火花越多，我們越覺得好看。

四、在改變仙女棒藥品中氧化劑的比例實驗中，我們得到以下幾個結論：

- (一)、氧化劑的比例越高，燃燒的時間越短。
- (二)、氧化劑的比例越高，燃燒的火焰越大。
- (三)、由仙女棒的燃燒狀態，硝酸鉀對仙女棒的影響，略高於過錳酸鉀。

五、在改變仙女棒藥品中**燃料**的比例實驗中，我們得到以下幾個結論：

- (一)、無論是鋁粉、鎂粉、碳粉，添加的比例越高，燃燒的時間會略為偏短。
- (二)、無論是鋁粉、鎂粉、碳粉，添加的比例越高，燃燒的火焰及竟會略為偏大。
- (三)、雖然是得到以上二個結論，可是數據並不明顯。可能是添加的部分，佔總體的比例提高並不太多。

六、在改變仙女棒藥品中**著色劑**的比例實驗中，我們得到以下幾個結論：

- (一)、著色劑的添加，對火焰燃燒的大小影響不大。但是鐵粉的添加，卻明顯的增加火花的噴濺能力。
- (二)、著色劑的添加，對火焰燃燒的時間幾乎影響不大，誤差都在 2~3 秒之間。

七、仙女棒廢棄物處理和安全注意事項：

- (一)、因為實驗藥品中含有硝酸鉀粉末，有燃燒之危險，所以實驗過程中如需將藥品混合，則盡量以攪拌代替研磨。例如在燒杯內，使用刮勺攪拌。
- (二)、為了防止吸入粉末狀藥品，製作過程應全程配戴口罩。燃燒仙女棒時，為了防止火焰噴濺，全程必須穿實驗衣和配戴護目鏡。
- (三)、完成之焰色試驗棒成品要以自然方式風乾、曬乾，使糝糊乾燥後才可點火燃燒，避免焰色試驗棒中含有水分造成燃燒不易。
- (四)、為防止火花噴濺的危險，在點燃仙女棒焰色試驗棒時，應戴麻布手套。防止仙女棒店然瞬間的火花噴濺。

八、在仙女棒的燃燒實驗中，我們發現黏著劑的添加，會增加燃燒的阻礙，增加冒煙的量，燃燒時產生刺激性的氣味。使用糝糊當添加劑要等到隔週乾燥時間，使用雙面膠的性價比最高。唯二小缺點是會稍微漏藥粉和一些小氣味。

## 柒、參考資料及其他

- 一、南一出版社，自然科學第四冊，第二章 氧化還原。
- 二、南一出版社，自然科學第四冊，第四章 反應速率與平衡。
- 三、龍騰出版社，基礎化學(一)全，第三章 化學反應 3-3 化學計量。
- 四、龍騰出版社，基礎化學(二)全，第一章 常見的化學反應 1-5 氧化還原反應。
- 五、龍騰出版社，基礎化學(三)全，第二章 化學反應速率 2-4 催化反應。
- 六、賴亭伶 等。微量化學實驗。製作五彩焰色試驗棒。臺灣化學教育，第十四期。
- 七、火焰龍煙火批發商(2013)，「仙女棒」的成分是什麼？  
取自：<https://www.firework.tw/database/84/d211>
- 八、生活化學(2015)，仙女棒 裹著什麼化學糖衣？  
取自：<https://www.lifechem.tw/blog/150806>
- 九、科技大觀園 2010，仙女棒到底燙不燙？東玉環境科技股份有限公司。  
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000009/detail?ID=bd1e7e9f-6c49-4764-bcd6-85ab0fbfb008>
- 十、zfang 的科學小玩意(2008)，仙女棒教學篇~仙女棒的觀察與聯想。  
取自：<https://n.sfs.tw/content/index/10992>
- 十一、全國科學探究競賽-這樣教我就懂(2022)，火樹銀花-以仙女棒焰色探討。  
<chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjcgclclefindmkaj/https://sciexplore2022.colife.org.tw/uploadfiles/TM26f686cdd8/TM26f686cdd8.pdf>
- 十二、YouTube 影片，Mars 自然科學(2018)，Mars 理化自製仙女棒實驗，高竿文教機構/仁武分校。  
取自：[https://www.youtube.com/watch?v=-i1wp\\_19Mqk](https://www.youtube.com/watch?v=-i1wp_19Mqk)
- 十三、YouTube 影片，張州州(2018)，自製仙女棒 02。  
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=3NRQtNJ9GMA>
- 十四、YouTube 影片，yawyilovesapple(2009)，仙女棒 DIY。  
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=VTphzpmYsHI>
- 十五、YouTube 影片，中視新聞(2015)，好神奇!仙女棒放水裡 火不會熄滅!  
取自：<https://www.youtube.com/watch?v=fxxtv74BoaU>
- 十六、賴亭伶 等，微量化學實驗：製作五彩焰色試驗棒，台灣化學教育，第十四期。  
[https://chemed.chemistry.org.tw/wp-content/uploads/2016/07/%E6%9C%AC%E6%9C%9F%E5%B0%88%E9%A1%8C\\_%E8%B3%B4%E4%BA%AD%E4%BC%B6%E7%AD%89\\_%E8%A3%BD%E4%BD%9C%E4%BA%94%E5%BD%A9%E7%84%B0%E8%89%B2%E8%A9%A6%E9%A9%97%E6%A3%92\\_%E5%AD%B8%E7%94%9F%E5%AF%A6%E9%A9%97%E6%89%8B%E5%86%8AV1.pdf](https://chemed.chemistry.org.tw/wp-content/uploads/2016/07/%E6%9C%AC%E6%9C%9F%E5%B0%88%E9%A1%8C_%E8%B3%B4%E4%BA%AD%E4%BC%B6%E7%AD%89_%E8%A3%BD%E4%BD%9C%E4%BA%94%E5%BD%A9%E7%84%B0%E8%89%B2%E8%A9%A6%E9%A9%97%E6%A3%92_%E5%AD%B8%E7%94%9F%E5%AF%A6%E9%A9%97%E6%89%8B%E5%86%8AV1.pdf)
- 十七、楊水平，(2021) 劃破寂靜的驚天一響 燃燒、爆炸與氧化還原反應，科學月刊，國立彰化師範大學化學系。  
取自：<https://www.scimonth.com.tw/archives/5065>