

# 屏東縣第 64 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：「化」蛇添足-蛇砲燃燒之研究

關 鍵 詞：硝化纖維、過氯酸鉀、氧化反應

編號：B3001

# 目錄

摘要-----	p.3
壹、前言-----	p.3
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.17
伍、討論-----	p.25
陸、結論-----	p.28
柒、參考資料和其他-----	p.30

## 摘要

蛇砲的燃燒，是屬於劇烈的氧化反應。但有部分的化學藥品是屬於管制藥品，所以我們自己製作「**硝化纖維**」來研究「蛇砲」。

首先我們研究蔗糖加**小蘇打(碳酸氫鈉)**粉的「黑蛇」研究。之後再比較蔗糖加**過氯酸鉀**的「黑蛇」。最後我們再利用硝酸和硫酸製作「**閃光紙**」，然後再將閃光紙所形成的硝化纖維加入以上二種蛇砲。製作出「蛇砲 2.0」的燃燒狀況作統計比較。最後將「蛇砲 2.0」加入糝糊後風乾 7 天成塊狀之後，然後再比較比較市售蛇砲。

研究結果發現，蔗糖加碳酸氫鈉的「黑蛇」，燃燒速度非常慢，但「黑蛇」的型態較完整也較結實。蔗糖加過氯酸鉀的「黑蛇」，燃燒速度較快一些，但「黑蛇」的型態不完整也不結實。因為「黑蛇」容易被過氯酸鉀的爆裂燃燒給破壞，只剩下燃燒後的尾端。而塊狀的「蛇砲」效果友好一些。

## 壹、前言

### 一、研究動機：

小時候過年，會玩一種非常冒煙的鞭炮，叫做「蛇砲」。因為非常好玩，所以我常常會拿壓歲錢去雜貨店買來玩。

要做科展時，我首先就想到這個主題。後來開始上網尋找資料時，發現有一些藥品是管制藥品，無法購買。所以我們幾位同學找老師商量，看看有沒有其他方法可以製作「蛇砲」。

過氯酸鉀、硝化瀝青是危險藥品，我們無法購買，所以開始尋找其他替代藥品來製造「蛇砲」。其中我們發現「**閃光紙**」中含有「**硝化纖維**」，是否可以利用「**硝化纖維**」來製造「**蛇砲**」。我們開始嘗試以不同比例的化學藥品來製作「蛇砲」。

### 二、研究目的：

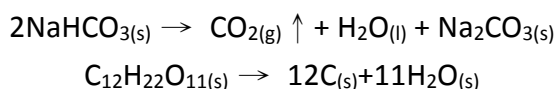
- (一)、使用不同比例的蔗糖和**碳酸氫鈉**，不同比例的蔗糖和**過氯酸鉀**，利用乙醇加熱燃燒之後，測量產生的黑蛇(碳條)的速度和成分的比例關係。
- (二)、使用不同比例的蔗糖、碳酸氫鈉、過氯酸鉀和**硝化纖維**，利用乙醇加熱燃燒之後，測量產生的黑蛇(碳條)的速度和成分的比例關係。
- (三)、製作固體蛇砲，比較市售蛇砲的關係。

### 三、文獻回顧：

#### (一)、蛇砲的原理：

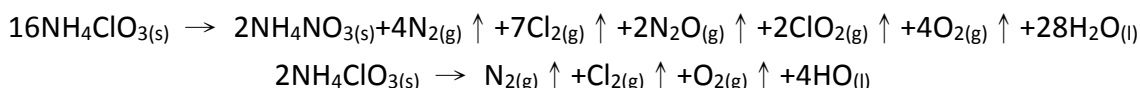
俗稱的「蛇砲」，燃燒時逐漸產生相當長的黑色長條物。蛇砲含有過氯酸銨（ $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ）、過氯酸鉀（ $\text{KClO}_4$ ）、瀝青……等等成分，燃燒時冒出大量的濃煙，不是很環保。化學藥品只使用過氯酸銨，可以減少冒煙，而且效果也相當不錯，比使用小蘇打（白糖變黑蛇）的效果更佳。

蛇砲所產生的黑蛇的主要成分是「碳」；由於方糖為蔗糖（ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ），是一種碳水化合物，具有可燃性，燃燒產物主要有水、二氧化碳還有黑色的碳。而小蘇打在受熱時能分解出大量的二氧化碳，讓方糖燃燒後的碳更為蓬鬆，形成一邊燃燒、一邊冒出黑蛇的現象。反應如下所示：

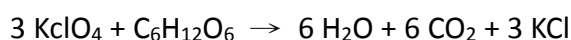


#### (二)、過氯酸銨的反應：

過氯酸銨的燃燒，會產生氯氣（ $\text{Cl}_2$ ，具毒性）、氮氣（ $\text{N}_2$ ），大量氣體造成方糖燃燒後的黑色碳化蓬鬆而膨脹。過氯酸銨是一種強的氧化劑，被使用於火箭燃料。因為是管制藥品，我們購買不到，所以改成過氯酸鉀。過氯酸銨的燃燒反應如下所示：



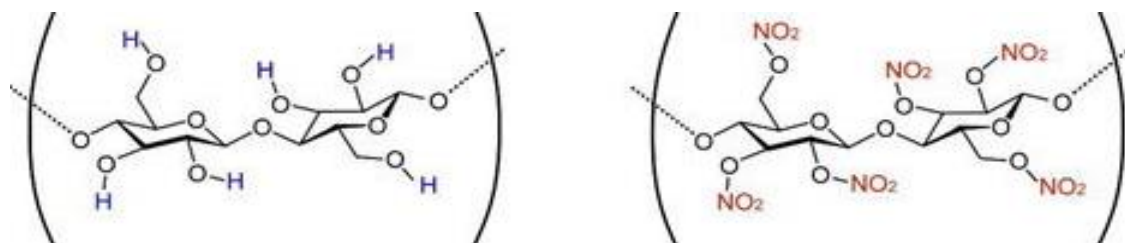
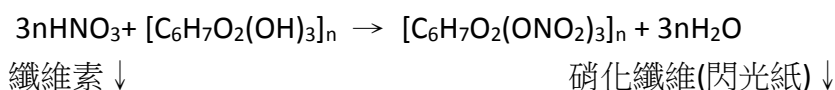
#### (三)、過氯酸鉀（ $\text{KClO}_4$ ）可與很多還原劑發生反應，如與葡萄糖（ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ）的反應如下：



過氯酸鉀與蔗糖的混合物還算穩定，但與其它還原劑混合很可能發生爆燃，發生劇烈氧化還原反應，火焰呈鉀的焰色紫色。鞭炮中用過氯酸鉀與鋁粉的混合物以製造閃光。

#### (四)、閃光紙的原理：

一般的紙張含有纖維素，燃點較高，燃燒速度也較慢。如果將纖維素反應為「硝化纖維」，硝化纖維的燃點較低（閃點  $12.7^\circ\text{C}$ 、自燃溫度  $170^\circ\text{C}$ ），是一種高度易燃的化合物。我們以濃硫酸與濃硝酸，將秤量紙的纖維素反應為硝化纖維，而具有閃光紙（flash paper）快速燃燒的性質。硝化反應如下：



上述反應使用的「硝酸」（ $\text{HNO}_3$ ）必須產生硝基陽離子（nitronium ion,  $\text{NO}_2^+$ ），但是硝酸當為酸時，解離出的是  $\text{NO}_3^-$  陰離子，必須加入更強的酸：濃硫酸，以迫使硝酸當為鹼，才能解離出  $\text{NO}_2^+$  陽離子，反應如下：



## 貳、研究設備及器材



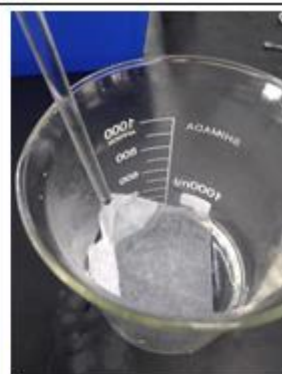
硫酸+量筒



硝酸+量筒



溫度計+燒杯



秤量紙+玻璃棒



碳酸氫鈉



過氯酸鉀



酒精



砂糖



市售蛇砲



研磨機



蒸發皿



糝糊



電子秤



馬錶



塑膠模具+直尺



吹風機

## 參、研究過程與方法

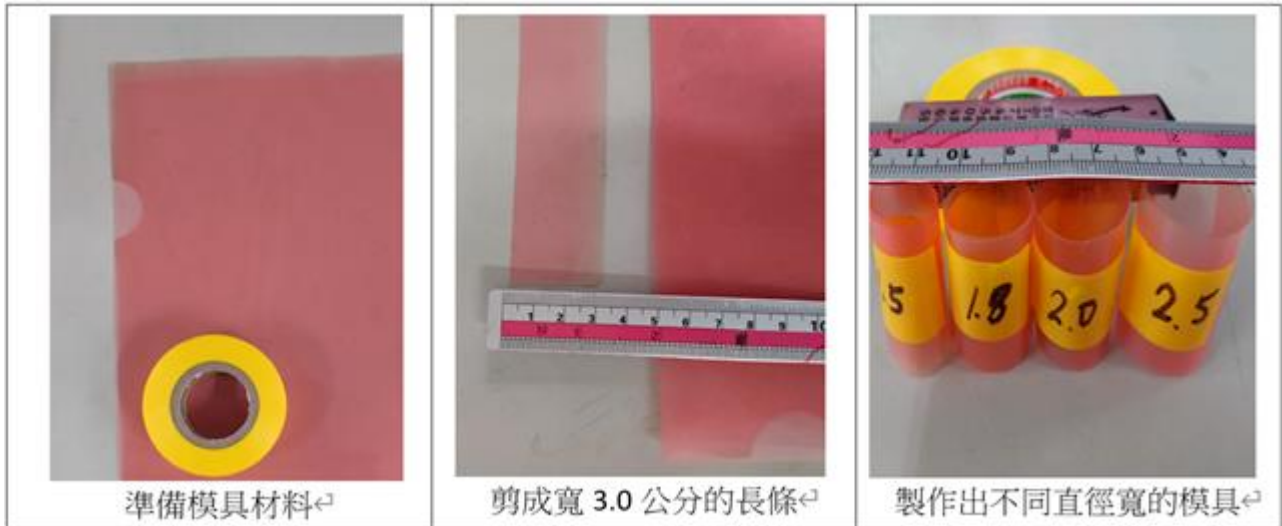
### 一、實驗架構：



## 二、實驗步驟：

(一) 製作不同直徑的圓柱型模具：如下圖(01)。

1. 準備 L 文件夾和膠帶。
2. 將 L 文件夾剪成一條寬 3.0 公分的長條。
3. 將塑膠條捲成高 3.0 公分，直徑分別為 1.5cm、1.8cm、2.0cm、2.2cm、2.5cm、2.8cm、3.0cm，等七種模具。



圖(01) 製作不同直徑寬的模具

(二)、調配七組不同劑量的碳酸氫鈉和蔗糖。其相關劑量如下表(2)所示。

組別	01	02	03	04	05	06	07
碳酸氫鈉	1.0 公克	1.5 公克	2.0 公克	2.5 公克	3.0 公克	3.5 公克	4.0 公克
蔗糖	9.0 公克	8.5 公克	8.0 公克	7.5 公克	7.0 公克	6.5 公克	6.0 公克
總重量	10 公克	10 公克	10 公克	10 公克	10 公克	10 公克	10 公克

表(2) 七組不同劑量的碳酸氫鈉和蔗糖

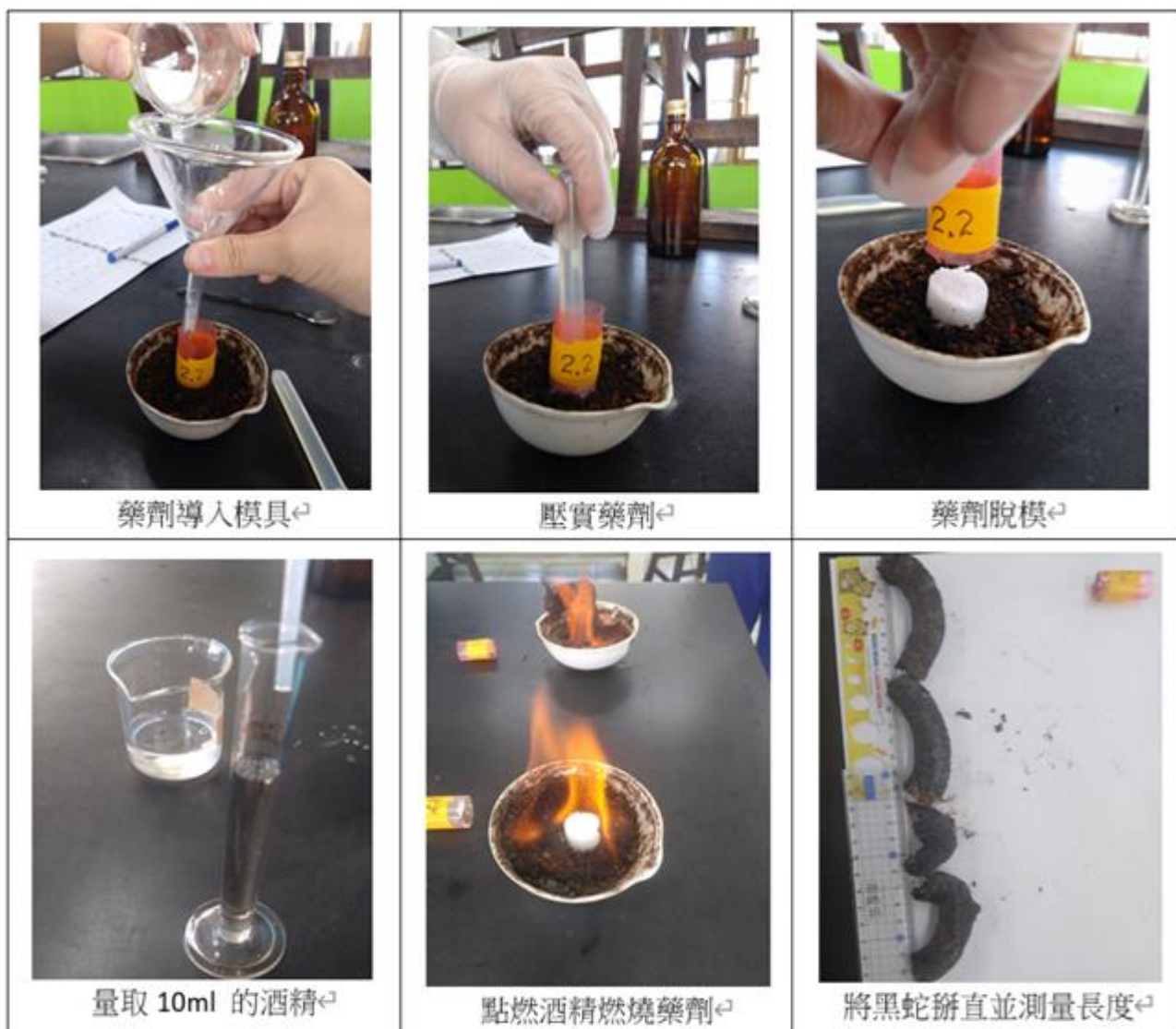
1. 總劑量重為 10 公克的七組實驗操作如下圖(3)所示。
2. 將七個蒸發皿椿七分滿的沙土。
3. 秤量不同劑量的碳酸氫鈉和蔗糖。然後裝入燒被內備用。



圖(3) 為碳酸氫鈉加蔗糖的調配

(三)、將不同劑量的碳酸氫鈉和蔗糖，倒入不同直徑長的圓柱模具。然後燃燒產生黑蛇。如下圖(4)所示。

1. 將調配好的碳酸氫鈉和蔗糖，利用漏斗討入模具中。
2. 利用膠條將模具中的藥劑壓實，方便待會藥劑的脫模。
3. 藥劑脫模。使藥劑外型均固定成圓柱形。
4. 量取 10ml 的酒精，然後將酒精倒入蒸發皿中。
5. 點燃蒸發皿中的酒精，然後觀察黑蛇的形成。
6. 等到酒精燃燒完畢之後，將黑蛇掰直，然後再排成直線，測量黑蛇的長度並記錄。



圖(4) 不同劑量比例的藥劑和不同直徑模具的燃燒

7. 同一比例的藥劑，分別會裝入不同直徑的模具中燃燒。
8. 每一種比例和每一種直徑的模具，都需要燃燒 2 次，然後取平均值。



(四)、將不同劑量的過氯酸鉀和蔗糖，倒入不同直徑長的圓柱模具。然後燃燒產生黑蛇。如下圖(5)所示。

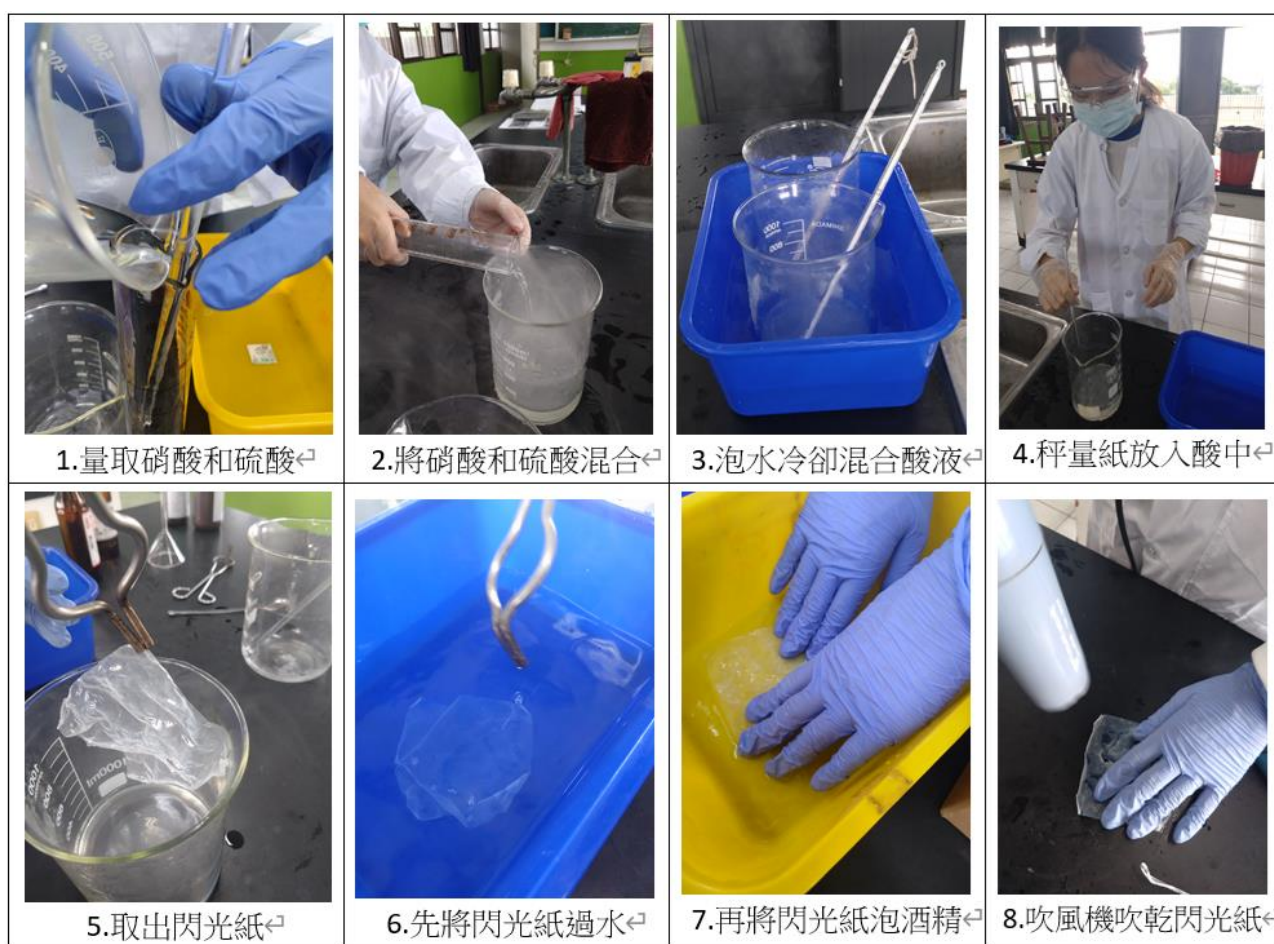
1. 測量過氯酸鉀和蔗糖，並將調配好的過氯酸鉀和蔗糖，利用漏斗討入模具中。
2. 利用膠條將模具中的藥劑壓實，然後壓住膠條，將模具向上拉，藥劑的脫模。
3. 藥劑脫模。使藥劑外型均固定成圓柱形。
4. 量取 10ml 的酒精，然後將酒精倒入蒸發皿中。
5. 點燃蒸發皿中的酒精，然後觀察黑蛇的形成。發現，過氯酸鉀會爆燃，然後將剛形成的黑蛇爆開或爆碎。
6. 等到酒精燃燒完畢之後，發現桌面都是黑蛇被爆碎的碎屑，無法測量黑蛇的長度並記錄。
7. 同一比例的藥劑，分別會裝入不同直徑的模具中燃燒。然後每一種比例和每一種直徑的模具，都需要燃燒 2 次，然後取平均值。而平均值幾乎為零。



圖(5) 調配過氯酸鉀和蔗糖的燃燒

(五)、閃光紙的製作：如下圖(6)所示。

1. 先將硝酸、硫酸倒入燒杯中，然後再將燒杯中的酸液倒入量筒中。我們量取 120ml 的硝酸，再量取 100ml 的硫酸。調配出製作閃光紙的混合液。
2. 將硝酸和硫酸混合時，會有酸霧大量產生，須注意安全。所以我們會戴上口罩，護目鏡，並身穿實驗衣。
3. 將裝混合酸的燒杯，放入裝水的水槽中冷卻。並在燒杯內放入溫度計，隨時注意溫度的變化。此時，燒杯還是會持續冒酸霧，所以我們必須將窗戶和電風扇打開。
4. 等混合酸的溫度降至 40°C 時，將秤量紙放入混合酸中併計時 3 分鐘。3 分鐘到時，將閃光紙用鑷子夾出來。
5. 取出酸液中的閃光紙，先將閃光紙放入水槽中，然後輕輕抽柔，將紙張中殘留的酸液洗去。
6. 然後再將洗去酸液的閃光紙泡入另一盆酒精槽中。要完全可以將閃光紙浸泡在酒精中。
7. 再將閃光紙從酒精槽中取出，然後再用吹風機吹乾，之後編號收集儲放。

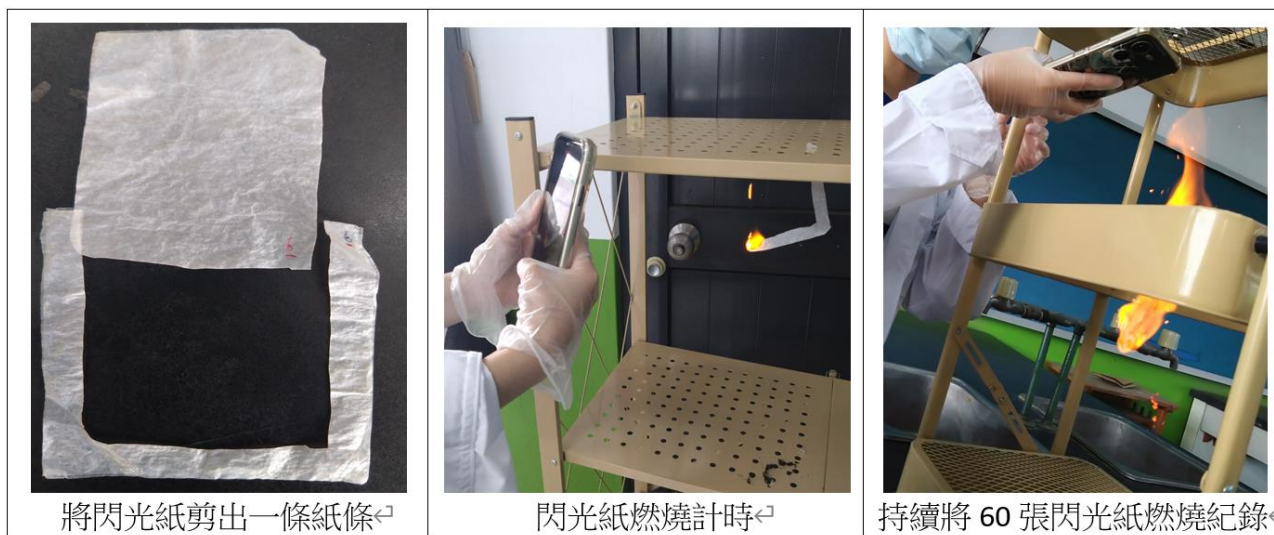


圖(6) 閃光紙的製作

8. 第一張製作出來的閃光紙，編號為 1。相同的一杯混合酸液，繼續製作出來的閃光紙，編號為 2。以此類推，我們陸續編號 1 號到 6 號。一杯混合酸液，總共製作 6 張。
9. 我們做 10 杯混合酸液，總共製作 60 張閃光紙。

(六)、測試閃光紙的效果。如下圖(7)所示。

1. 先將閃光紙沿著紙邊，剪出一條寬 1 公分的長紙條。紙條上寫上原閃光紙的編號。
2. 將閃光紙條懸掛在鐵架上，然後點火燃燒。同時旁邊使用手機錄影，燃燒完畢之後，檢查錄影的燃燒時間並記錄。
3. 依照此模式，將編號 1~6 號，每一編號各 10 張，總共 60 張閃光紙依序燃燒並記錄燃燒時間。



圖(7) 紀錄 60 張閃光紙的燃燒效果

(七)、攪碎閃光紙。如下圖(8)所示。

1. 準備好研磨機。
2. 將相同編號的閃光紙，同時放入研磨機中。啟動開關，將閃光紙研磨成極碎紙屑。
3. 將研磨機內的閃光紙屑倒入燒杯中，並在燒杯上寫上原閃光紙編號。



圖(8) 研磨閃光紙

(七)、將不同編號的閃光紙屑(硝化纖維)加入碳酸氫鈉和蔗糖中，然後燃燒此混合藥劑，並記錄黑蛇的長度。然後輸入電腦統計比較之前的實驗：如下表(8)所示。

組別	01	02	03	04	05	06
碳酸氫鈉	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克
蔗糖	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克
閃光紙編號	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
閃光紙重量	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克
總重量	10.5 公克	10.5 公克	10.5 公克	10.5 公克	10.5 公克	10.5 公克

表(8) 加入閃光紙的碳酸氫鈉和蔗糖的黑蛇燃燒

(八)、稱取 2.3 公克的碳酸氫鈉和 7.7 公克蔗糖，然後加入不同編號的閃光紙屑(硝化纖維)。然後燃燒並記錄黑蛇長度。如下圖(9)所示。

1. 稱取 2.3 公克的碳酸氫鈉和 7.7 公克蔗糖，然後將此 2 種藥劑倒入燒杯之中。此種藥劑燒杯，準備 6 個。
2. 秤取各種不同編號的閃光紙屑 0.5 公克，然後依照編號分別加入 6 個燒杯之中。
3. 選取直徑 2.0 公分的模具，然後將藥劑分別塑模在 6 個蒸發皿之上。在蒸發皿的旁邊寫上相關資料之後，加上 10ml 酒精，然後燃燒測量產生黑蛇的長度。



圖(9) 碳酸氫鈉加蔗糖，再加入不同編號閃光紙的燃燒

(九)、將不同編號的閃光紙屑(硝化纖維)加入過氯酸鉀和蔗糖中，然後燃燒此混合藥劑，並記錄黑蛇的長度。然後輸入電腦統計比較之前的實驗：如下表(10)所示。

組別	01	02	03	04	05	06
過氯酸鉀	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克
蔗糖	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克
閃光紙編號	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
閃光紙重量	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克
總重量	10.5 公克	10.5 公克	10.5 公克	10.5 公克	10.5 公克	10.5 公克

表(10) 加入閃光紙的過氯酸鉀和蔗糖的黑蛇燃燒

(十)、稱取 2.3 公克的過氯酸鉀和 7.7 公克蔗糖，然後加入不同編號的閃光紙屑(硝化纖維)。然後燃燒並記錄黑蛇長度。如下圖(11)所示。

1. 稱取 2.3 公克的過氯酸鉀和 7.7 公克蔗糖，然後將此 2 種藥劑倒入燒杯之中。此種藥劑燒杯，準備 6 個。
2. 秤取各種不同編號的閃光紙屑 0.5 公克，然後依照編號分別加入 6 個燒杯之中。
3. 選取直徑 2.0 公分的模具，然後將藥劑分別塑模在 6 個蒸發皿之上。在蒸發皿的旁邊寫上相關資料之後，加上 10ml 酒精，然後燃燒測量產生黑蛇的長度。



圖(11) 過氯酸鉀加蔗糖，再加入不同編號閃光紙的燃燒

(十)、將不同編號的閃光紙屑(硝化纖維)加入碳酸氫鈉和蔗糖中，然後再加入 2.5 公克的糝糊。乾燥 7 天之後，燃燒此混合藥劑所凝固的藥塊。並記錄黑蛇的長度。然後輸入電腦統計比較之前的實驗：如下表(12)所示。

組別	01	02	03	04	05	06
碳酸氫鈉	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克
蔗糖	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克
閃光紙編號	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
閃光紙重量	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克
糝糊重量	2.5 公克	2.5 公克	2.5 公克	2.5 公克	2.5 公克	2.5 公克
總重量	13.0 公克	13.0 公克	13.0 公克	13.0 公克	13.0 公克	13.0 公克

表(12) 碳酸氫鈉蛇砲藥塊的製作藥劑比例

(十一)、碳酸氫鈉蛇砲藥塊的製作。如下圖(13)所示。

1. 秤取碳酸氫鈉 2.3 公克和蔗糖 7.7 公克，然後加入不同編號的閃光紙屑 0.5 公克，之後再加入糝糊 2.5 公克。然後將這些藥劑混合之後，填裝進直徑 2.0 公分的模具。在將模具中的藥劑，以膠條擠出之後，固定在鋪沙的蒸發皿之上。
2. 如上的製作方式，將編號 1~6 的閃光紙屑，分別製作出 6 個蛇砲。
3. 寫上每個蛇砲的資料，將這 6 個蛇砲風乾 7 天之後。然後加上 10ml 的酒精燃燒。之後再觀察測量蛇砲的燃燒結果。



圖(13) 碳酸氫鈉蛇砲藥塊的燃燒

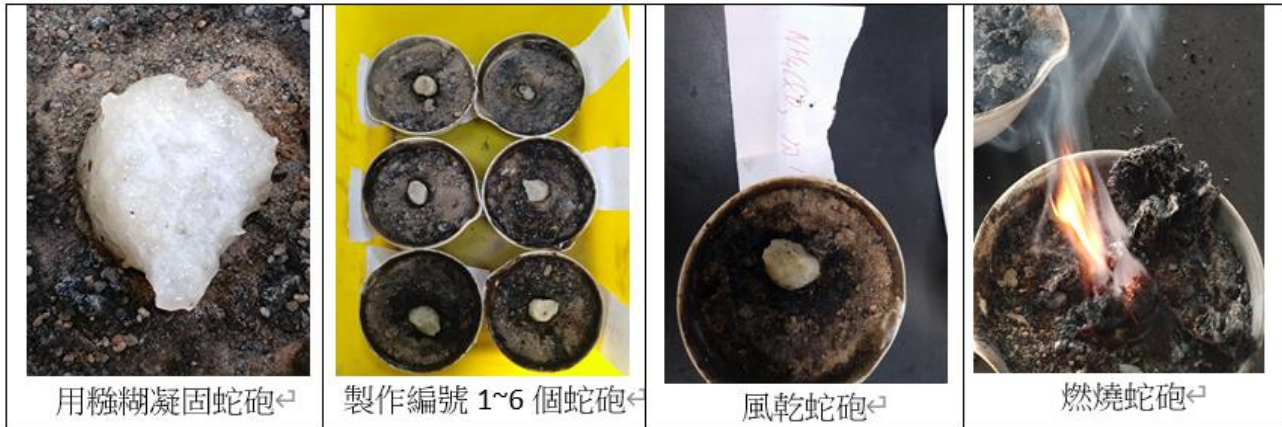
(十二)、將不同編號的閃光紙屑(硝化纖維)加入過氯酸鉀和蔗糖中，然後再加入 2.5 公克的糝糊。乾燥 7 天之後，燃燒此混合藥劑所凝固的**藥塊**。並記錄黑蛇的長度。然後輸入電腦統計比較之前的實驗：如下表(14)所示。

組別	01	02	03	04	05	06
過氯酸鉀	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克	2.3 公克
蔗糖	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克	7.7 公克
閃光紙編號	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
閃光紙重量	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克	0.5 公克
糝糊重量	2.5 公克	2.5 公克	2.5 公克	2.5 公克	2.5 公克	2.5 公克
總重量	13.0 公克	13.0 公克	13.0 公克	13.0 公克	13.0 公克	13.0 公克

表(14) 蛇砲藥塊的製作藥劑比例

(十三)、蛇砲藥塊的製作。如下圖(15)所示。

1. 秤取過氯酸鉀 2.3 公克和蔗糖 7.7 公克，然後加入不同編號的閃光紙屑 0.5 公克，之後再加入糝糊 2.5 公克。然後將這些藥劑混合之後，填裝進直徑 2.0 公分的模具。在將模具中的藥劑，以膠條擠出之後，固定在鋪沙的蒸發皿之上。
2. 如上的製作方式，將編號 1~6 的閃光紙屑，分別製作出 6 個**蛇砲**。
3. 寫上每個蛇砲的資料，將這 6 個蛇砲風乾 7 天之後。然後加上 10ml 的酒精燃燒。之後再觀察測量蛇砲的燃燒結果。



圖(15) 固體塊狀蛇砲的製作。

(十二)、燃燒市售蛇砲，收集數據並觀察燃燒形況。如下圖(16)所示。

1. 購買市售蛇砲。燃燒前，先將一蒸發皿翻轉倒扣過來，然後拿一個蛇砲放在蒸發皿的底部，準備點火引燃。
2. 點燃蛇砲之後，觀察蛇砲的燃燒情況。
3. 燃燒之後，將蛇砲彎曲斷裂的黑灰收集。然後在鐵架上排列成一直線，並測量長度。



圖(16) 燃燒市售蛇砲



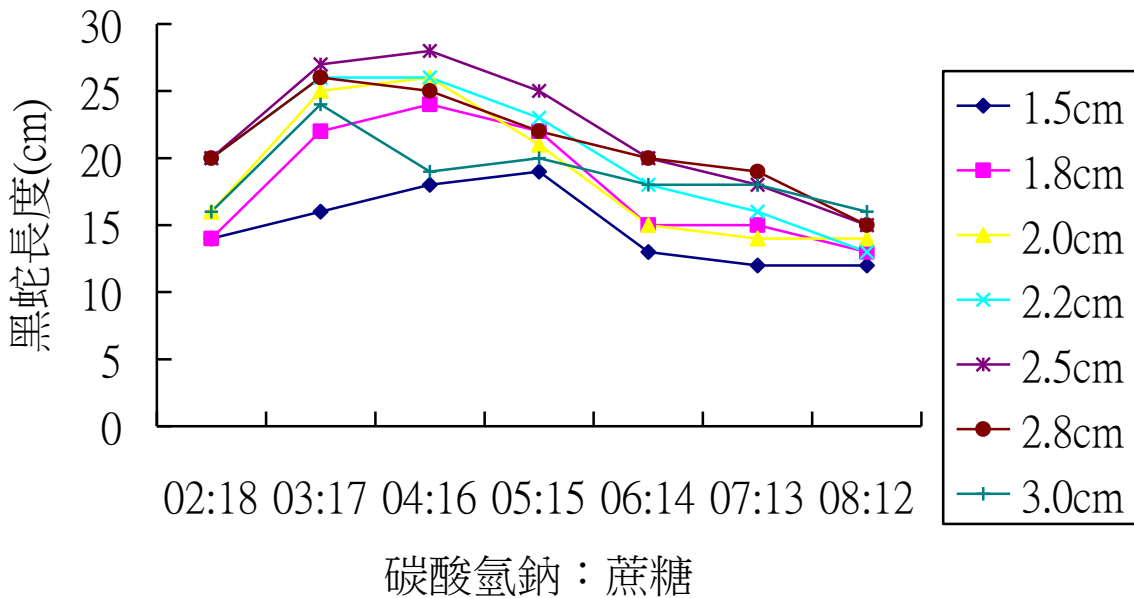
## 肆、研究結果

一、碳酸氫鈉和蔗糖在不同直徑的模具之下，燃燒後的蛇砲長度。如下表(17)所示。

圓柱體直徑長 碳酸氫鈉：蔗糖	1.5cm	1.8cm	2.0cm	2.2cm	2.5cm	2.8cm	3.0cm	平均值
2:18	14	14	16	20	20	20	16	17.143
3:17	16	22	25	26	27	26	24	23.714
4:16	18	24	26	26	28	25	19	23.714
5:15	19	22	21	23	25	22	20	21.714
6:14	13	15	15	18	20	20	18	17.000
7:13	12	15	14	16	18	19	18	16.000
8:12	12	13	14	13	15	15	16	14.000
平均長度	14.857	17.857	18.714	20.285	21.857	21.000	18.714	19.041

表(17) 為碳酸氫鈉和蔗糖在不同直徑的模具之下，燃燒後的蛇砲長度

將表(14)的資料，轉換成統計折線圖表。如下圖表(18)所示。更容易比較不同比例的藥劑在不同直徑的模具之下。彼此的關係。



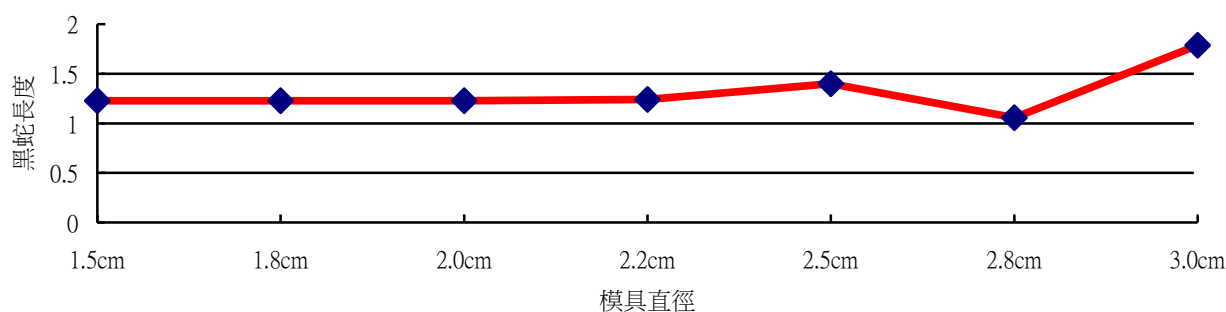
圖表(18) 為將表(14)的資料，轉換成統計折線圖表

二、將不同劑量的過氯酸鉀和蔗糖，倒入不同直徑長的圓柱模具。然後燃燒產生黑蛇。調配不同比例的藥劑、模具直徑和黑蛇的長度關係如下表(19)所示。

圓柱體直徑長 碳酸氫鈉：蔗糖	1.5cm	1.8cm	2.0cm	2.2cm	2.5cm	2.8cm	3.0cm	平均值
<b>2:18</b>	1.2	1.3	0.8	0.6	1.2	1.4	1.6	1.157
<b>3:17</b>	0.5	2.1	1.3	0.9	1.8	0.9	1.8	1.329
<b>4:16</b>	1.8	1.8	1.8	1.5	0.2	1.4	1.4	1.671
<b>5:15</b>	0.8	0.4	0.4	1.6	0.8	0.6	1.6	0.886
<b>6:14</b>	1.2	0.6	0.3	1.7	1.6	0.5	1.8	1.100
<b>7:13</b>	1.3	1.5	1.9	1.6	0.9	0.7	2.5	1.489
<b>8:12</b>	1.8	0.9	2.1	0.8	1.5	1.9	1.8	1.543
平均長度	1.229	1.229	1.229	1.242	1.400	1.057	1.786	1.311

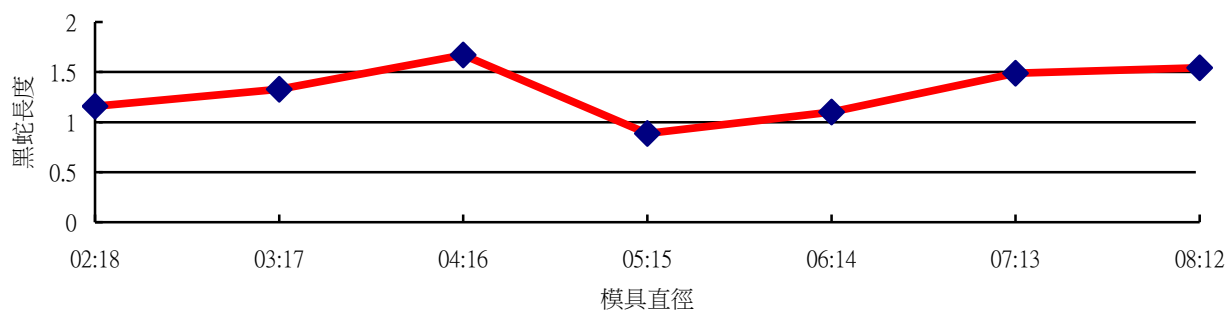
表(19) 不同比例的藥劑、模具直徑和黑蛇的長度關係

將表(19)的資料，轉換成統計折線圖表。如下圖(20)所示為不同模具直徑和黑蛇長度的關係。



圖(20) 為不同模具直徑和黑蛇長度的關係

將表(19)的資料，轉換成統計折線圖表。如下圖(21)所示為不同藥劑比例和黑蛇長度的關係。



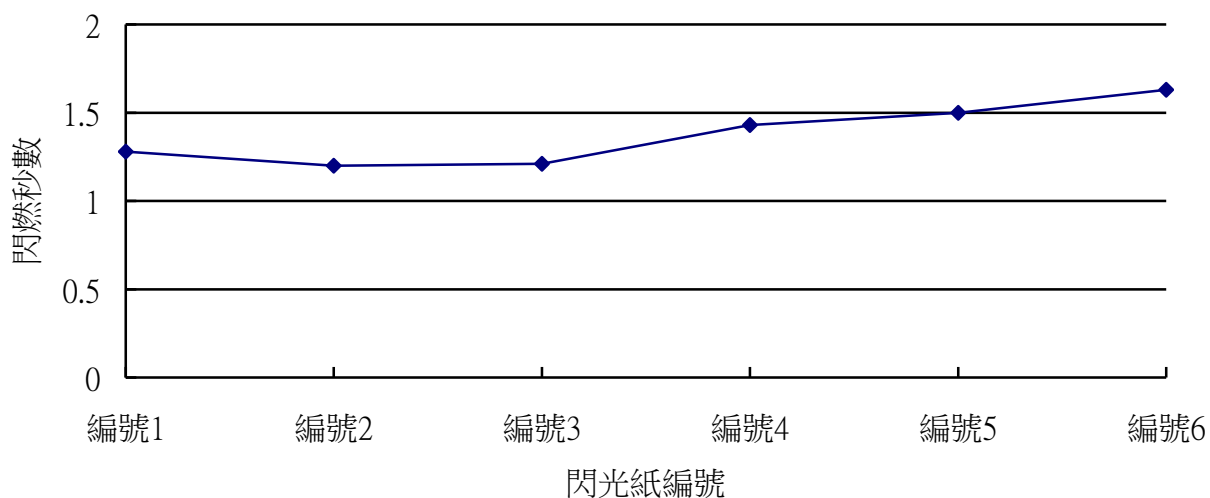
圖(21)所示為不同藥劑比例和黑蛇長度的關係

三、閃光紙的閃燃效果：每一不同編號的閃光紙紙條，其閃燃所花的時間如下表(22)所示。  
 測量閃光紙紙條燃燒的時間單位為「秒」。

編號 次數	1	2	3	4	5	6
一	1.2	1.2	1.3	1.5	1.4	1.9
二	1.8	1.4	1.2	1.4	1.5	1.1
三	0.9	1.3	1.4	1.6	0.9	0.9
四	1.4	0.8	1.5	1.8	1.6	2.1
五	0.6	0.9	1.4	1.4	1.7	1.9
六	1.4	1.4	1.2	0.9	1.5	2.3
七	1.6	1.6	1.3	1.4	1.4	1.4
八	1.4	0.7	0.9	1.6	1.6	1.2
九	1.3	1.5	0.8	1.4	1.6	1.8
十	1.2	1.2	1.1	1.3	1.8	1.7
平均	1.28 秒	1.20 秒	1.21 秒	1.43 秒	1.50 秒	1.63 秒

表(22) 不同編號的閃光紙紙條的閃燃時間

將表(22)轉換成折線圖表，如下圖(23)所示。方便比較觀察。



圖(23)不同編號閃光紙紙條，閃燃所花時間關係圖

四、碳酸氫鈉加蔗糖，再加入不同編號的閃光紙。

(一)、控制變因：碳酸氫鈉 2.3 公克、蔗糖 7.7 公克、閃光紙重量 0.5 公克、燃燒酒精 10ml。

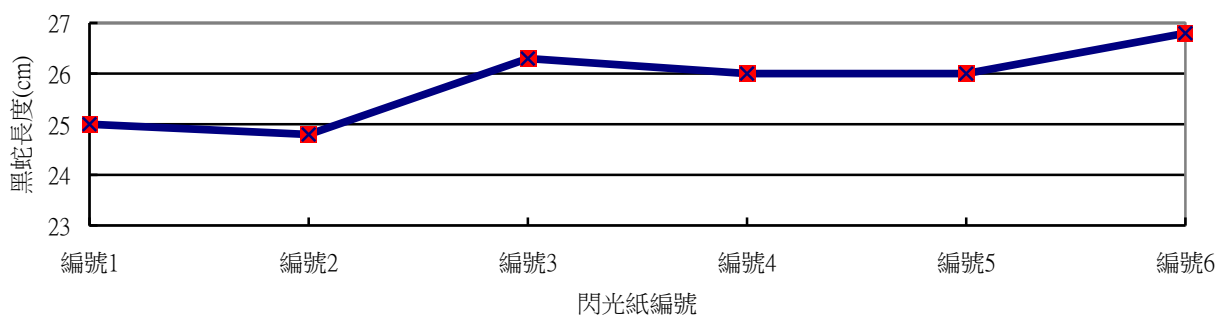
操作變因：不同編號的閃光紙

(二)、產生的黑蛇長度：如下表(24)所示。

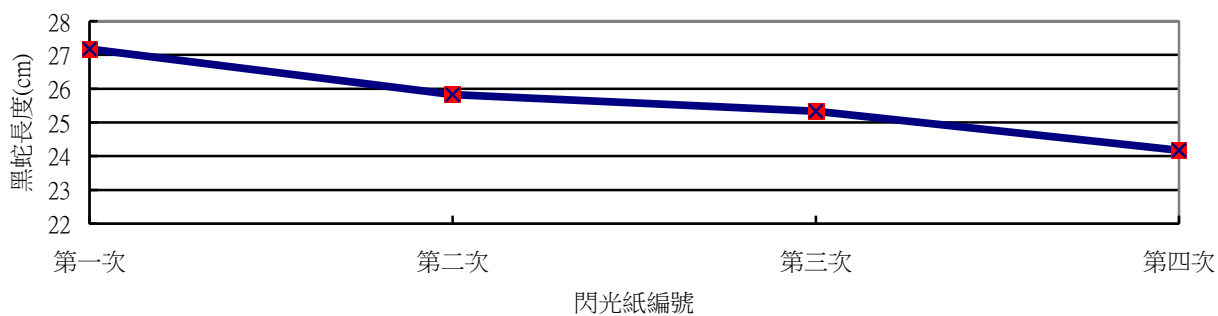
閃光紙編號 實驗次數	1	2	3	4	5	6	平均值
一	26	25	26	29	28	29	27.17
二	28	26	28	24	24	25	25.83
三	22	24	27	25	26	28	25.33
四	24	24	24	26	26	21	24.17
平均值	25.0	24.8	26.3	26.0	26.0	26.8	25.625

表(24) 碳酸氫鈉加蔗糖加入不同編號的閃光紙所產生的黑蛇長度

(三)、將表(24)的平均值轉換成折線圖比較，如下圖(25)所示。



圖(25) 閃光紙編號和黑蛇長度的關係圖



圖(25) 實驗次數和黑蛇長度的關係圖

五、過氯酸鉀加蔗糖，再加入不同編號的閃光紙。

(一)、控制變因：過氯酸鉀 2.3 公克、蔗糖 7.7 公克、閃光紙重量 0.5 公克、燃燒酒精 10ml。

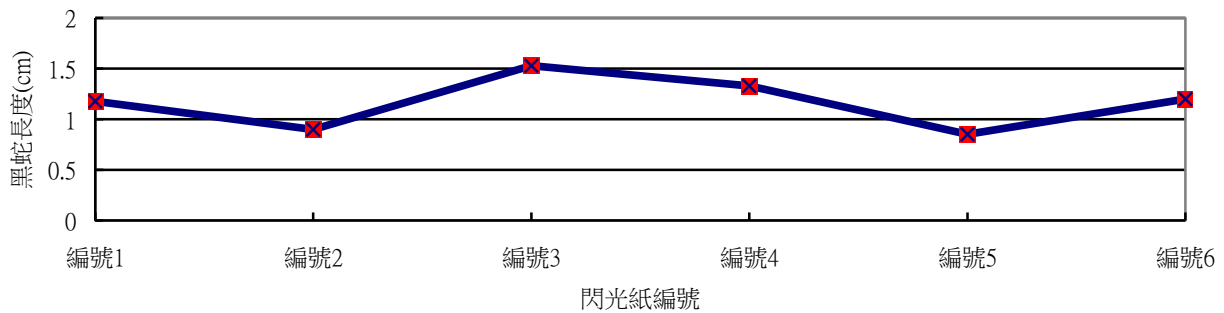
操作變因：不同編號的閃光紙

(二)、產生的黑蛇長度：如下表(26)所示。

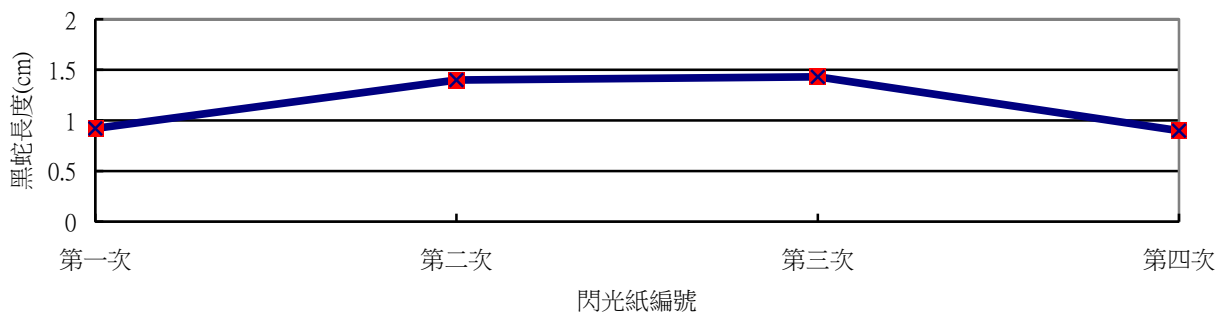
閃光紙編號 實驗次數	1	2	3	4	5	6	平均值
一	0.8	0.6	1.2	1.5	0.9	0.5	0.92
二	1.5	0.9	1.5	1.2	1.8	1.5	1.40
三	1.6	0.5	2.5	2.1	0.5	1.4	1.43
四	0.8	1.6	0.9	0.5	0.2	1.4	0.90
平均值	1.176	0.90	1.53	1.33	0.85	1.20	1.163

表(26) 過氯酸鉀加蔗糖加入不同編號的閃光紙所產生的黑蛇長度

(三)、將表(26)的平均值轉換成折線圖比較，如下圖(27)所示。



圖(27) 閃光紙編號和黑蛇長度的關係圖



圖(27) 實驗次數和黑蛇長度的關係圖

六、將不同編號的閃光紙屑(硝化纖維)加入碳酸氫鈉和蔗糖中，然後再加入 2.5 公克的糝糊。  
 乾燥 7 天之後，燃燒此混合藥劑所凝固的藥塊。

(一)、控制變因：碳酸氫鈉 2.3 公克、蔗糖 7.7 公克、閃光紙重量 0.5 公克、糝糊 2.5 公克、  
 燃燒酒精 10ml、風乾 7 天。

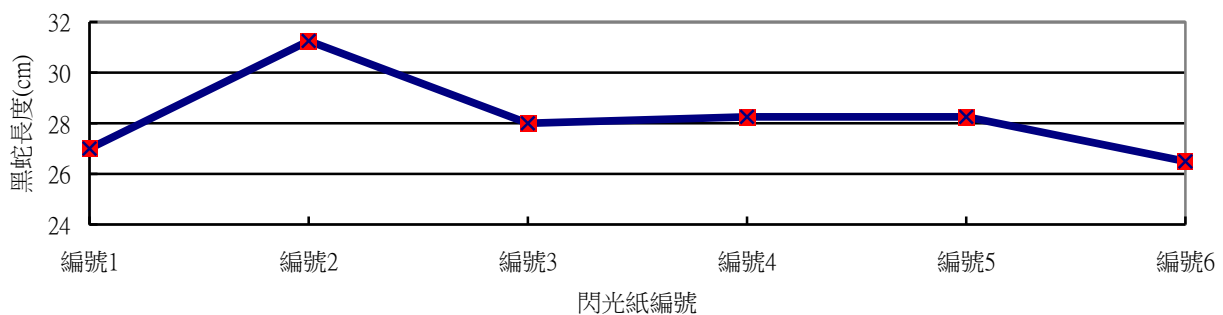
操作變因：不同編號的閃光紙

(二)、產生的黑蛇長度：如下表(28)所示。

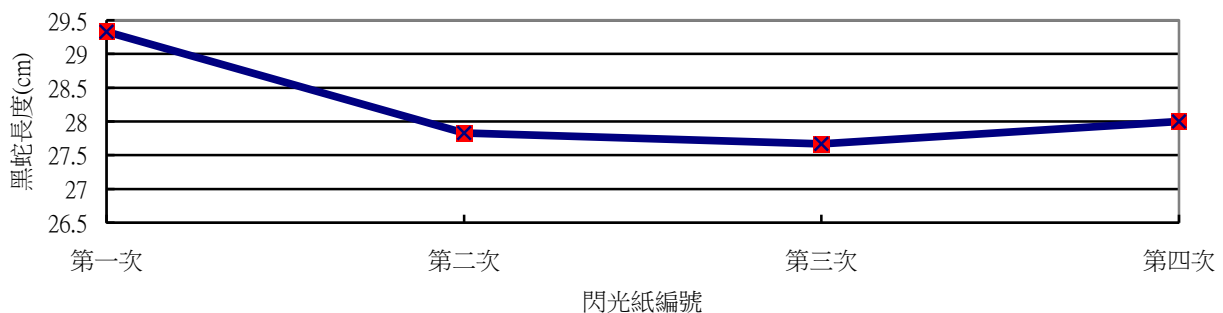
閃光紙編號 實驗次數	1	2	3	4	5	6	平均值
一	30	31	31	29	27	28	29.33
二	27	28	29	26	30	27	27.83
三	25	32	25	31	27	26	27.67
四	26	34	27	27	29	25	28.00
平均值	27.00	31.25	28.00	28.25	28.25	26.50	28.208

表(28) 碳酸氫鈉加不同編號的閃光紙的乾燥藥塊所產生的黑蛇長度

(三)、將表(28)的平均值轉換成折線圖比較，如下圖(29)所示。



圖(29) 閃光紙編號和塊狀蛇砲黑蛇長度的關係圖



圖(29) 實驗次數和塊狀蛇砲黑蛇長度的關係圖

七、將不同編號的閃光紙屑(硝化纖維)加入過氯酸鉀和蔗糖中，然後再加入 2.5 公克的糝糊。  
 乾燥 7 天之後，燃燒此混合藥劑所凝固的藥塊。

(一)、控制變因：過氯酸鉀 2.3 公克、蔗糖 7.7 公克、閃光紙重量 0.5 公克、糝糊 2.5 公克、  
 燃燒酒精 10ml、風乾 7 天。

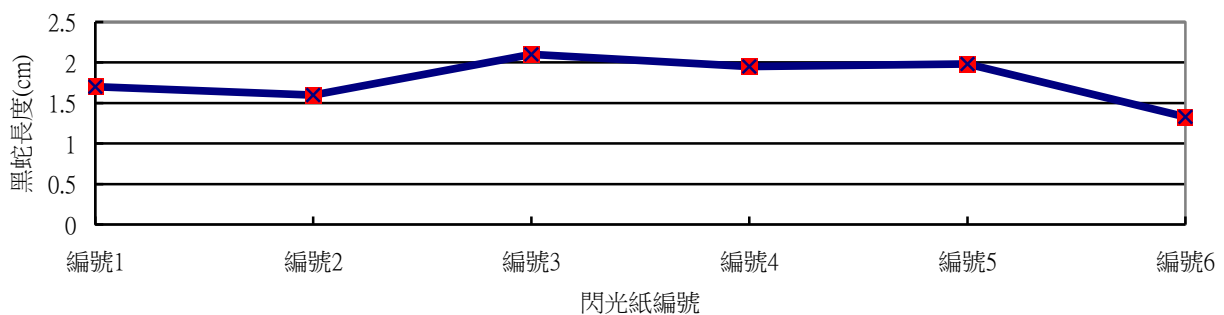
操作變因：不同編號的閃光紙

(二)、產生的黑蛇長度：如下表(30)所示。

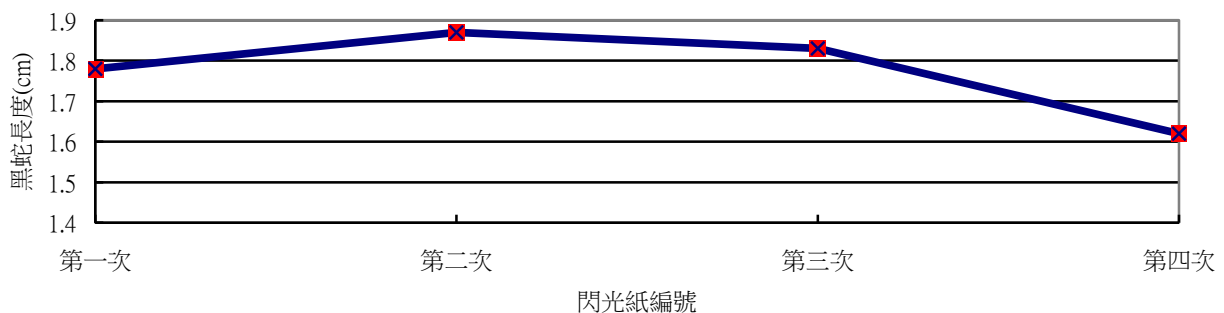
閃光紙編號 實驗次數	1	2	3	4	5	6	平均值
一	2.0	1.3	2.2	1.8	2.4	1.0	1.78
二	1.5	1.6	2.3	2.1	2.2	1.5	1.87
三	1.9	1.8	2.1	2.4	1.9	0.9	1.83
四	1.4	1.7	1.8	1.5	1.4	1.9	1.62
平均值	1.7	1.6	2.1	1.95	1.98	1.33	1.775

表(30) 過氯酸鉀加不同編號的閃光紙的乾燥藥塊所產生的黑蛇長度

(三)、將表(30)的平均值轉換成折線圖比較，如下圖(31)所示。



圖(31) 閃光紙編號和塊狀蛇砲黑蛇長度的關係圖



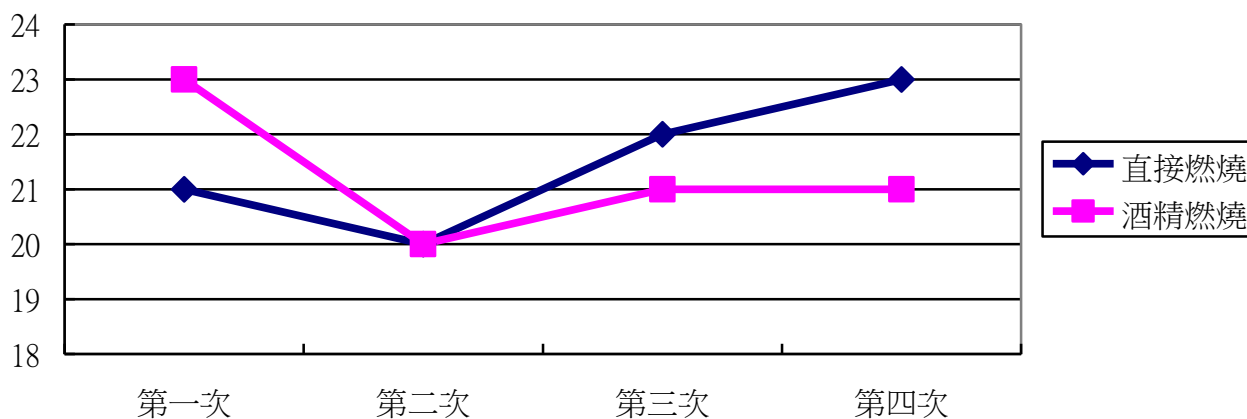
圖(31) 實驗次數和塊狀蛇砲黑蛇長度的關係圖

八、燃燒市售蛇砲，測量黑蛇的長度。如下表(32)所示。

方式 \ 次數	一	二	三	四	平均值
直接點燃	21	20	22	23	21.5
酒精燃燒	23	20	21	21	21.25
平均值	22	20	21.5	22	

表(32) 為市售蛇砲的燃燒黑蛇長度

將表(32)轉換成折線圖，方便比較。如下圖(33)所示。



圖(33)市售蛇砲的黑蛇長度比較



## 伍、討論

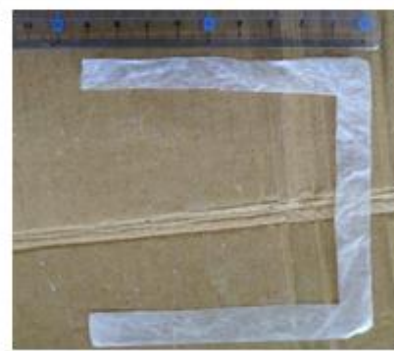
- 一、因為市售蛇砲是圓柱型，所以我們研究的蛇砲藥劑，外型都固定成圓柱型。
- 二、因為蛇砲的表面積會影響燃燒的結果，所以我們在固定藥劑的總重量前提下，改變圓柱體的直徑，來研究表面積的影響情況。
- 三、閃光紙在使用吹風機乾燥時，須注意吹風機口和潮濕閃光紙之間的距離。否則會使閃光紙因為溫度太高而閃燃起來。如下圖(34)。
- 四、閃光紙的燃燒，理論上應該是編號越小，效果越好才是。可是實驗數據顯示，編號效果最好的是編號 3，編號 1 卻是排在第三。我們討論原因可能是有以下幾點：
  - (一)、因為閃光紙紙條是以懸吊方式燃燒，而熱對流是向上對流，導致閃光紙的燃燒會受火焰熱對流向上的影響。如下圖(35)。
  - (二)、因為閃光紙紙條的長度只有 27 公分，所以燃燒時間極短。在測量上容易誤差大。為了減少誤差，所以我們採錄影方式，再事後回放影片測量影片中的閃燃時間。
  - (三)、閃光紙紙條因為是由閃光紙中，沿邊緣剪下來的，所以會又 2 處是 90 度折彎的。所以在燃燒上就會受到影響。如下圖(36)。



圖(34)吹風機太接近閃光紙



圖(35)閃光紙火焰的對流



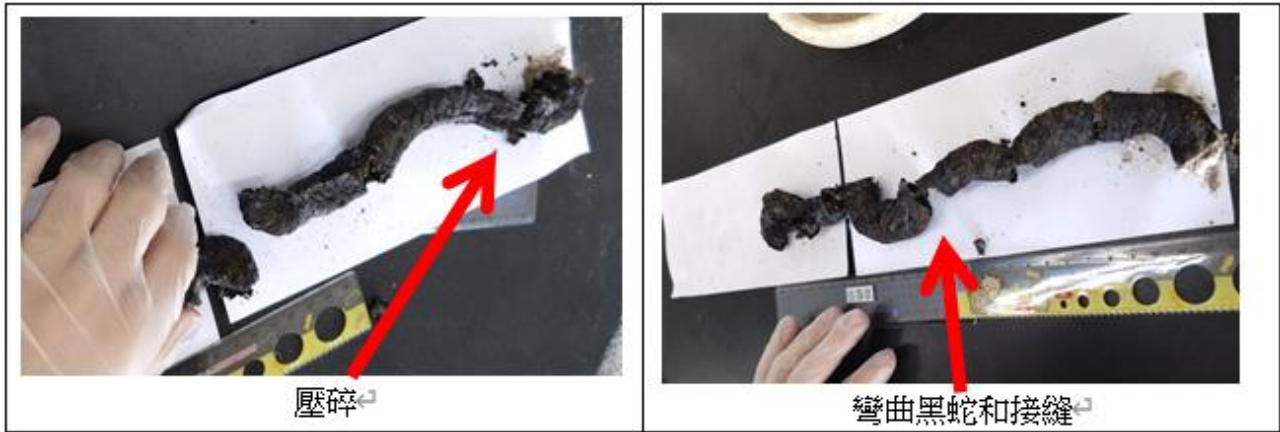
圖(36)彎曲的閃光紙條

圖(34)、圖(35)、圖(36)為閃光紙製作與燃燒的注意事項

- 五、在碳酸氫鈉加蔗糖，再加入不同編號的閃光紙實驗中。因為操作變因是不同編號的閃光紙，所以碳酸氫鈉和蔗糖的劑量必須成為控制變因。由之前的黑蛇實驗，我們發現碳酸氫鈉和蔗糖的比例在 1：4 效果最好。但因為要加入硝化纖維，所以我們把碳酸氫鈉的比例調低一些，蔗糖的比例調高一些。所以最後我們將碳酸氫鈉重量定為 2.3 公克，蔗糖重量定為 7.7 公克，硝化纖維重量定為 0.5 公克。讓比例接近 1：4 附近。
- 六、在碳酸氫鈉加蔗糖，再加入不同編號的閃光紙實驗中。我們發現燃燒的效果比單純燃燒碳酸氫鈉加蔗糖的效果好一些些，但是我們沒有測量燃燒時間，只是目測燃燒狀況。因為等我們發現要測量燃燒時間時，已經做完碳酸氫鈉加蔗糖實驗，也做完過氯酸鉀加蔗糖實驗了，而且加閃光紙的實驗有做了一次了。時間和材料都無法在重來一次。所以在產生黑蛇所花的時間，這個實驗數據，我們只有目測的感覺結果。沒有實驗數據，不能當實驗結論。

七、在測量黑蛇長度時，因為燃燒出來的黑蛇是彎彎曲曲的，很難測量黑蛇長度。所以我們只能將它折斷，然後再排成一直線，然後再測量黑蛇的長度。但如此做卻會造成一些誤差。誤差如下：如下圖(37)所示。

- (一)、黑蛇鬆軟，容易在折斷時被壓碎。
- (二)、排成直線時，在接縫處有縫隙空間。
- (三)、折斷的每一小段，還不是很直。還是有點彎彎的。



圖(37)測量黑蛇長度的誤差

八、我們的實驗中，只要加入過氧酸鉀，都會因為爆然而將剛形成的黑蛇噴斷。導致我們根本無法測量黑蛇的長度。我們有想了很多的方法，包括錄影、收集碎屑...等。但都無法進行，最後只能放棄測量此實驗的黑蛇長度。只說明目測結果和測量最後那一段未被噴爆的那一段黑蛇。

九、市售蛇砲燃燒時。我們發現以下幾個問題，及處理方式：如下圖(38)所示。

- (一)、市售蛇砲燃燒時會放出高溫，所以我們打算在蒸發皿上燃燒。但放在蒸發皿杯底，則很難用打火機點燃。而且容易燒到自己的手。若用線香點火來引燃蛇砲，也不容易引燃。
- (二)、將市售蛇砲放在倒扣放置的蒸發皿上燃燒，雖然容易用打火機引燃，但卻容易燃燒到一半時，或剩  $1/3$ ，火焰會熄滅。
- (三)、所以我們在蒸發皿上裝  $2/3$  滿的沙土，然或再放置市售蛇砲。引燃蛇砲的所有問題則迎刃而解。



圖(38) 引燃市售蛇砲所遇到的問題及處理方式

十、燃燒市售蛇砲燃燒時。我們發現蛇砲會大量冒煙。即使打開窗戶通風，味道依然很重。後來搜查資料發現，會產生有毒的氯氣。經過我們討論和嘗試多種方式之後。無意間發現，只要在蒸發皿的沙土上，撒上一些酒精，然後點燃酒精之後，蛇砲不只會被引燃，同時，有毒的氯氣會被包裹在火焰之中，然後氯氣緊接著被火焰燃燒分解掉。然後空氣中的煙霧消失，味道也消失很多。如下圖(39)所示。



圖(39) 處理蛇砲燃燒的毒煙霧

## 陸、結論

- 一、不同比例的碳酸氫鈉和蔗糖在不同直徑的模具之下，燃燒後的蛇砲長度。我們發現以下幾個結果：
- (一)、碳酸氫鈉和蔗糖的重量比在 1：4 的時候，平均蛇砲的長度**最長**。重量比在 2：3 的時候，平均蛇砲的長度**最短**。
1. 碳酸氫鈉和蔗糖的重量比在 1：4 前後，包刮 3：17 和 1：3 的比例。平均表現差異不大。
  2. 碳酸氫鈉和蔗糖的重量比值若低於  $\frac{3}{17}$ ，則表現會明顯變弱。
  3. 碳酸氫鈉和蔗糖的重量比值若高於  $\frac{1}{3}$ ，則表現會緩慢變弱。
- (二)、在不同的藥劑比例下，平均以直徑 2.5cm 的模具，所形成的蛇砲**最長**。
1. 在不同的藥劑比例下，平均以直徑愈**大於 2.5cm** 的模具，所形成的蛇砲表現越差。
  2. 在不同的藥劑比例下，平均以直徑愈**小於 2.5cm** 的模具，所形成的蛇砲表現越差。而在直徑 1.5cm 時，則表現會**明顯**下墜。
- 二、在不同劑量的過氯酸鉀和蔗糖，倒入不同直徑長的圓柱模具中。然後燃燒藥劑產生黑蛇。我們由實驗數據發現。黑蛇的長度幾乎完全和藥品劑量比例無關，和模具直徑長無關。主要原因是因為過氯酸鉀會**爆燃**，會將剛形成的**黑蛇**震碎。所以所測量出來的黑蛇長度，幾乎都是燃燒度最後，沒有被震斷的那一小段的頭。
- 三、閃光紙的燃燒速率，由實驗數據我們發現，編號前 3 號的燃燒效果幾乎是差不多的，大約在 **1.20 秒** 左右。而越往後的編號，效果就越差一些。但大致上，閃燃的效果都非常好，都在 **1.70 秒** 內。
- 四、在碳酸氫鈉加蔗糖，再加入不同編號的閃光紙實驗中，我們發現編號越大，黑蛇的長度反而偏長。但長度相差均不到 2 公分。在誤差之內。而實驗的四個次數中，長度相差最大也在 3 公分之內，也在誤差值內。所以我們的結論是：
- (一)、碳酸氫鈉加蔗糖，再加入不同編號的閃光紙實驗中，黑蛇長度和閃光紙無關。
- (二)、實驗四次中，雖然有誤差，但誤差值不大。
- (三)、在單純的碳酸氫鈉加蔗糖的黑蛇平均長度為 **19.041** 公分，碳酸氫鈉加蔗糖加閃光紙的黑蛇平均長度為 **25.625** 公分。所以加入硝化纖維的黑蛇，平均長度可以**增加 6.584** 公分。
- 五、過氯酸鉀加蔗糖，燃燒的平均黑蛇長度為 **1.311** 公分。過氯酸鉀加蔗糖，再加入不同編號的閃光紙，燃燒的平均黑蛇長度為 **1.163** 公分。長度相差在 **0.2** 公分內，幾乎可以說，有無加入硝化纖維，幾乎不影響黑蛇的長度。主要原因還是，過氯酸鉀在燃燒時會爆燃，然後將剛形成的黑蛇爆斷。導致都只剩下最後那一小段黑蛇。
- 六、塊狀的碳酸氫鈉蛇砲，燃燒的黑蛇平均長度為 **28.208** 公分。是所有蛇砲裡面的黑蛇最長的，因為有加入糝糊，糝糊也是碳水化合物，成分和蔗糖相同，都是醣類。所以會增加部分的黑蛇長度。
- 七、過氯酸鉀加不同編號的閃光紙的乾燥蛇砲藥塊，平均長度為 **1.775** 公分，約多出 **0.5** 公分，幾乎是全長的 **30%**。是所有添加過氯酸鉀蛇砲裡面的黑蛇最長的，因為有加入糝糊，所以最後的黑蛇產生時，較不易被噴飛，所以會增加最後的部分黑蛇長度。

八、燃燒市售的蛇砲，所得到的黑蛇長度平均在 20 公分到 23 公分之間。幾乎不受有無酒精燃燒的影響。

九、黑蛇的質感，因為沒有數據可以展現。所以我們三人分別以個人的手感，然後最後分別表達之後。得到統一的結果有：

(一)、**軟硬程度**：碳酸氫鈉黑蛇 > 過氯酸鉀黑蛇 > 市售蛇砲

(二)、**氣孔大小**：過氯酸鉀黑蛇 > 碳酸氫鈉黑蛇 > 市售蛇砲

(三)、**完整度**：碳酸氫鈉黑蛇 > 市售蛇砲 > 過氯酸鉀黑蛇

(四)、**冒煙大小**：市售蛇砲 > 過氯酸鉀黑蛇 > 碳酸氫鈉黑蛇

十、加了「硝化纖維」的碳酸氫鈉「蛇砲」，結果只是比未加「硝化纖維」的蛇砲好上一些；而加了「硝化纖維」的過氯酸鉀「蛇砲 2.0」，其結果是相差不大，因為都只剩下底部。至於爆燃爆噴現象，在目視之下並沒有增加的感覺。我們將製作的「蛇砲」和「蛇砲 2.0」加入糝糊並風乾成塊狀，然後比較市售的蛇砲。發現塊狀的蛇砲燃燒效果有變好一些，但還是需要加酒精引燃，無法直接用明火引燃。

## 柒、參考資料及其他

1. 南一出版社，自然科學第四冊，第 1 章 化學反應
2. 南一出版社，自然科學第四冊，第 2 章 氧化還原
3. 南一出版社，自然科學第四冊，第 3 章 酸鹼鹽
4. 國立台中教育大學 NTCU，科學教育與應用學系，蛇砲  
<https://scigame.ntcu.edu.tw/chemistry/chemistry-016.html>
5. 維基百科：黑蛇（煙火）  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Black\\_snake\\_\(firework\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Black_snake_(firework))
6. YouTube 影片，蛇砲  
<https://www.youtube.com/watch?v=SfOT-p9zems>
7. 臺灣化學教育，店的玩具自己動手做一蛇砲／廖曉玲  
<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=7499>
8. 維基百科：過氯酸銨  
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%AF%E9%85%B8%E9%8A%A8>
9. 維基百科：過氯酸鉀  
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%AB%98%E6%B0%AF%E9%85%B8%E9%92%BE>
10. 國立台中教育大學 NTCU，科學教育與應用學系，閃光紙  
<https://scigame.ntcu.edu.tw/chemistry/chemistry-032.html>
11. 臺灣化學教育，書店的玩具自己動手做一蛇砲，廖曉玲  
<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=7499>