

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

第二名

最佳創意獎

030206

煙霧”迷曼” — 探討煙火燃放時如何減少煙霧
生成

學校名稱：桃園縣立建國國民中學

作者： 國二 蕭穎君 國二 陳履歡 國二 蔡承勳 國二 陳璽安	指導老師： 陳均逢
---	------------------

關鍵詞：煙火、自製煙霧彈、煙霧成因

壹、 摘要

在此實驗中，我們從網路上查到自製煙霧彈的製造方式，引起我們想要了解對於施放煙火也會煙霧這個問題產生興趣，因此我們由自製煙霧彈出發，想要找出煙霧彈中，哪些物質對於煙霧的產生是有影響的。我們在此實驗中，製造了成分不同的煙霧彈，然後施放測試。結果發現煙霧彈中，硝酸鉀與蔗糖的含量對於煙霧的生成是有正面的影響，但是小蘇打粉卻會減少煙霧的生成。

貳、 研究動機

到了節慶，家家戶戶會應景的放起鞭炮、煙火等，但在歡慶年節之餘，所產生的煙霧造成的空氣污染卻也是無法估計的。最近，政府常常呼籲民眾盡量減少煙火、鞭炮，施放後產生的煙霧對人類的呼吸道是相當的影響，也會讓我們漂亮的藍天不見。於是我們想要了解對於煙霧這個重要的議題，所以我們搜尋網路上的資訊發現自製煙霧彈的成分(硝酸鉀、蔗糖、小蘇打)與煙火的成分有些類似；煙火的成分有多種的配方，經查資料可發現煙火其中一種配方就包含了硝酸鉀、有機物的醣類與小蘇打等。因此我們就思考是否能利用自製煙霧彈的研究，來探討煙霧彈成分與煙霧生成的關係，並以此延伸與思考能否讓減少煙火對煙霧的生成。

參、 研究目的

- 一、 探討各種成分質量其不同比例的樣品，在取相同質量的狀態下進行燃燒時，其反應速率的關係。
- 二、 探討各種成分質量其不同比例的樣品，在取相同質量的狀態下進行燃燒時，其煙霧生成量的關係。
- 三、 探討硝酸鉀質量對於自製煙霧彈發煙效果的影響。
- 四、 探討蔗糖質量對於自製煙霧彈發煙效果的影響。
- 五、 探討小蘇打質量對於自製煙霧彈發煙效果的影響。
- 六、 探討添加小蘇打、添加蘇打與未添加小蘇打對煙霧生成的影響。

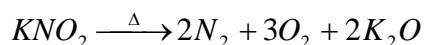
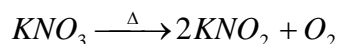
肆、 研究設備及器材

1. 照度計
2. 三腳架
3. 貼滿黑紙的暗箱 (47.5x44x46.5cm)
4. 坩堝钳
5. 鐵罐
6. 刮勺
7. 硝酸鉀
8. 電子天秤
9. 蔗糖
10. 濾紙
11. 小蘇打粉
12. 玻棒
13. 蘇打
14. 烘箱
15. 手電筒
16. 水
17. 打火槍
18. 滴管
19. 碼錶
20. 鋁杯
21. 酒精燈
22. 研鉢
23. 量筒
24. 陶瓷纖維網

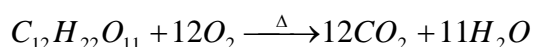
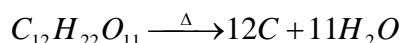
伍、 研究過程、方法及結果

一、反應原理：

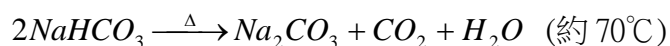
(一) 硝酸鉀受熱後的反應：硝酸鉀受熱後會產生氧氣與亞硝酸鉀，提供反應時所需要的氧氣，所以硝酸鉀在整個反應中扮演的是氧化劑的角色。但是根據書中所描述若是反應的燃料為蔗糖或乳糖等，則硝酸鉀反應會停留在亞硝酸鉀的階段。



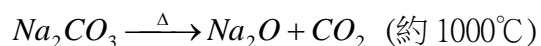
(二) 蔗糖的反應：由自然課本中發現，蔗糖直接受熱後會直接產生碳與水，另外蔗糖會與氧進行氧化反應產生二氧化碳與水。



(三) 小蘇打受熱後的反應方程式：小蘇打約在 70°C，小蘇打會開始進行分解反應，大約在 200°C 會進行較快速的分解反應。另外，由自然課本中可以知道小蘇打分解是吸熱的反應。因此在文獻中指出，小蘇打在火藥的反應中，常用作為抑制反應的角色。



(四) 碳酸鈉受熱後的反應方程式：碳酸鈉大約在 1000°C 時，反應時會進行分解的反應。此反應也是吸熱的反應，同時也在文獻中被指出是火藥中可用作抑制反應的一個步驟。



二、實驗樣品的製作:

(一) 藥品比例：經由網路上查到自製煙霧彈中，硝酸鉀與蔗糖的比例約為 3：2，另外在加入不定量的小蘇打粉。所以我們挑選不同的質量比例的硝酸鉀與蔗糖進行實驗。比例如下表所示。

組別	1	2	3	4	5	6	7
硝酸鉀(g)	12	8	6	8	8	8	8
蔗糖(g)	8	8	8	4	6	8	8
小蘇打(g)	3	3	3	3	3	6	9

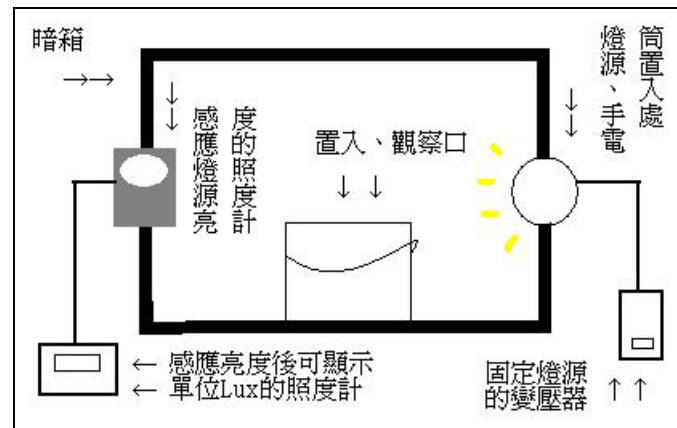
表一、各種不同質量比例的硝酸鉀與蔗糖

(二) 樣品製作流程：

1. 秤量不同質量比例的藥品。
2. 將硝酸鉀、蔗糖和 3 克的水加入鋁杯中，以酒精燈小火進行加熱。兩者混合均勻後，且由顆粒狀轉為白色液體，再加入小蘇打粉。
3. 持續加熱攪拌約十分鐘，直到顏色呈現咖啡色黏稠狀的物質。
4. 剛製造的樣品具有多餘的水分，且容易受空氣濕氣影響，因此將樣品放入烘箱以 65°C 烘乾。烘乾的時間約為 24 小時。
5. 烘乾後，樣品會呈現堅硬的塊狀。為了秤量質量方便，用研鉢磨碎後。因為樣品容易受到空氣濕氣而受潮，因此需要再次烘乾，烘乾時間大約為 24 小時。

三、製作簡易煙霧偵測器

(一) 暗箱的製作與構造



圖一、煙霧偵測器示意圖

1. 用紙箱(47.5cm × 44cm × 46.5cm)作為偵測煙霧的暗箱，並將紙箱內部貼滿黑色卡紙。
2. 除了紙箱上蓋外，紙箱周圍縫隙使用膠帶封住，確保沒有其他光線可以進入暗箱。
3. 將紙箱側邊左右對稱的高度挖開兩孔(直徑 6 公分，距底部高 30 公分)，一孔放照度計的偵測端，另一孔放手電筒。
4. 將紙箱另一側邊底部開一個樣品置入口，可將樣品放入及點火。



圖二 樣品置入口



圖三 照度計貼在箱子上



圖四 手電筒置入箱口



圖五 手電筒改裝底接變壓器

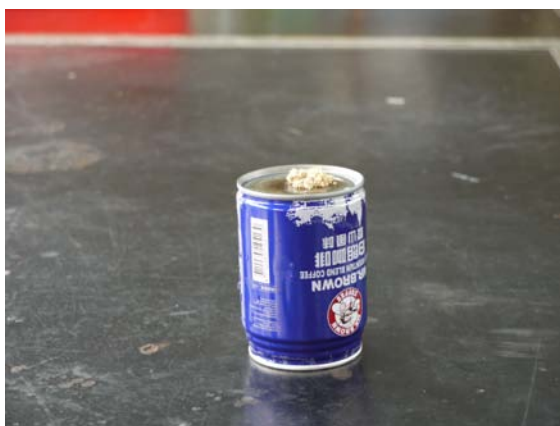
(二) 煙霧偵測器使用

1. 歸零：每次實驗前，先關閉上方箱蓋，用膠帶封住縫隙。觀察照度計的指針是否為零。
2. 校準：接通電源後，照度計的指針指在刻度為所要亮度的刻度上。若無，則調整光源照射角度，以及電阻大小，使亮度達到所要測量時的亮度。
3. 改良：

- (1) 解決使用電池當作電源，但是經過一段時間後，手電筒的亮度會隨電池的使用時間而改變，因此將供給電源改成使用變壓器，供應穩定的電壓。
- (2) 解決供電電壓過高，使手電筒的 LED 燈泡燒毀，經過討論，在燈泡上串接一個電阻，降低通過 LED 燈泡的電壓。

4. 實驗流程：

- (1) 將成品放在鐵罐底部上 (如圖六)。
- (2) 打開箱口，置於固定位置 (如圖七)。
- (3) 利用打火槍，從置入口伸入將其點燃，點燃後隨即將置入口關閉。
- (4) 當樣品開始點燃後，利用碼錶開始計時，直到燃燒完畢時，停止計時。
- (5) 當照度計的讀數維持穩定不變 10 秒鐘，則記錄此時照度計的讀數。



圖六 將成品放在鐵罐底部上



圖七 打開箱口，置於固定位置



圖八 利用打火槍，將其點燃



圖九 利用碼錶計算燃燒時間

四、研究過程

(一) 將各種成分質量其不同比例的樣品，取一公克在空氣中施放

【目的】 探討各種成分質量其不同比例的樣品，在取相同質量的狀態下進行燃

燒時，其反應速率的關係。

【實驗方法】

1. 取下表二中各種不同組別的樣品，且經過研磨與烘乾後，各取質量 1 公克。
2. 將各組不同的樣品，放置在鐵罐上，在空氣中進行點火燃燒，並且記錄時間。

【結果與討論】：

1. 由以上的實驗中，我們發現當樣品的質量皆為 1 公克時，可以發現當硝酸鉀與蔗糖的比例為 3：2 或 2：1 時，反應的速度是最快的。
2. 由第 1、2、3 組的實驗結果，我們發現當硝酸鉀的量越少，反應的時間就越長，但是是否因為是硝酸鉀的關係，我們對此產生懷疑。
3. 由第 2、6、7 組的實驗結果，我們發現小蘇打的質量與反應時間的關係，其反應時間雖然沒有呈現具有特殊關係，但是我們對於為何要加入小蘇打具有高度的興趣。

組別	1	2	3	4	5	6	7
硝酸鉀(g)	12.00	8.00	6.00	8.00	8.00	8.00	8.00
蔗糖(g)	8.00	8.00	8.00	4.00	6.00	8.00	8.00
小蘇打(g)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	6.00	9.00
實驗質量(g)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
反應時間(sec)	3.2	7.1	20.1	3.0	5.0	13.7	10.8

表二、各種不同成分比例的樣品取一公克，在空氣中進行反應

(二) 將各種成分質量其不同比例的樣品，在煙霧偵測器中燃燒

【目的】 探討各種成分質量其不同比例的樣品，取相同質量的狀態下進行燃燒時，其煙霧生成量的關係。

【實驗方法】

1. 取下表三中各種不同組別的樣品，經過研磨與烘乾後，各取質量 1 公克。
2. 將各組不同的樣品，放置在鐵罐上，在煙霧偵測器中進行點火燃燒。
3. 讀取照度計的讀數。得到亮度差異數值如下頁表三。

【結果與討論】：

1. 從上面燃燒試驗中，我們發現發煙效果最好的確實如網路上所指出硝酸鉀與蔗糖的比例為 3：2 的比例，其發煙效果最為明顯。
2. 從第 1、2、3 組的實驗中，我們發現硝酸鉀的量似乎與發煙量有著密切的關係，因此我們推測硝酸鉀的量是否與煙霧生成有關。
3. 由第 2、6、7 組實驗中，我們發現雖然光的亮度差異不大，但是我們仍然對

小蘇打的功用到底是有什麼樣子的影響，我們最此仍相當的有興趣。

4. 由第 2、4、5 組的實驗中，我們發現蔗糖的影響對於煙霧的生成量，似乎沒有特定之間的關係，其亮度的差異並不大。
5. 但是經由以上實驗，我們發現一個若是我們想要探討硝酸鉀、蔗糖與小蘇打對於煙霧生成的影響，我們發現在都取一公克的情況下，硝酸鉀、蔗糖與小蘇打的質量皆不是固定值。這使我們很難從中作比較，所以我們繼續進行以下的試驗。

組別	1	2	3	4	5	6	7
硝酸鉀(g)	12.00	8.00	6.00	8.00	8.00	8.00	8.00
蔗糖(g)	8.00	8.00	8.00	4.00	6.00	8.00	8.00
碳酸氫鈉(g)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	6.00	9.00
燃燒質量(g)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
燃燒前亮度(Lux)	720.0	720.0	720.0	720.0	720.0	720.0	720.0
燃燒後亮度(Lux)	40.0	220.0	360.0	170.0	180.0	240.0	260.0
亮度變化	680.0	500.0	360.0	550.0	540.0	480.0	460.0

表三、各種不同成分比例的樣品取一公克，進行發煙試驗

(三) 探討樣品中硝酸鉀質量對於發煙效果的影響

【目的】 探討樣品中硝酸鉀質量對於發煙效果的影響

【實驗方法】

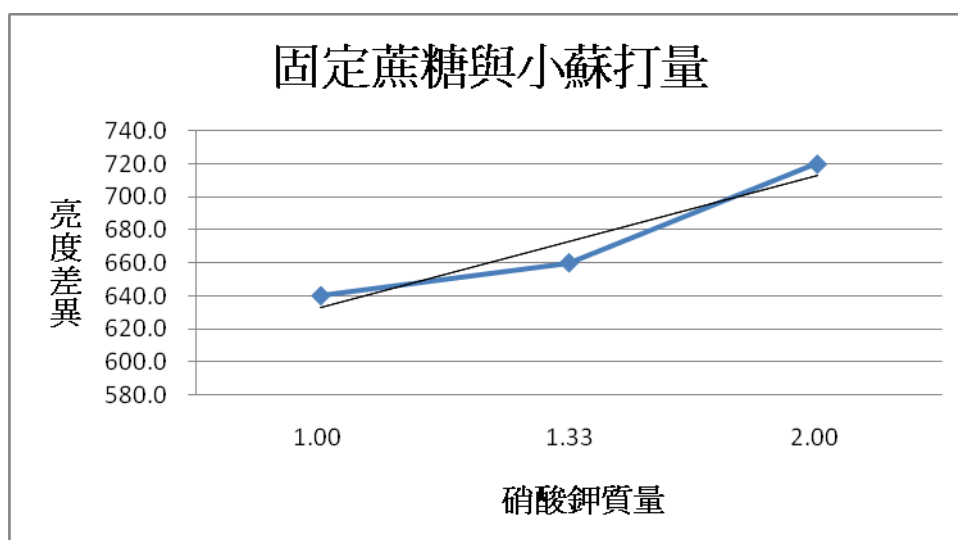
1. 由上面已經製造出的樣品中，經由計算找出固定的蔗糖與小蘇打質量，且盡量避免一次燃燒質量太大的樣品而造成危險。
2. 固定樣品中蔗糖質量為 1.33 公克與小蘇打質量為 0.50 公克。
3. 改變硝酸鉀的質量分別為 1.00 公克、1.33 公克與 2.00 公克，經由前面類似步驟進行發煙測試。
4. 測試結果如下表四所示。

【結果與討論】：

1. 由以上實驗我們發現，硝酸鉀的質量越多，發煙量也越多。
2. 我們也發現當硝酸鉀的質量越多，燃燒就越劇烈，燃燒時間就越短。可證時當硝酸鉀質量越大，則反應速度就越快。
3. 由於燃燒後質量的差異，我們也發現當硝酸鉀質量越多，其燃燒前後的質量差異就越大。我們從以上結果推論硝酸鉀的量對煙霧的產生是有影響的。

組別	質量比例 硝酸鉀：蔗糖：小蘇打	硝酸鉀 質量 (g)	燃燒前 總重 (g)	燃燒後 總重 (g)	亮度(Lux)		亮度差 異值 (Lux)	燃燒 時間 (sec)
					反應前	反應後		
3-1	6：8：3	1.00	2.83	1.00	720.0	80.0	640.0	10.0
3-2	8：8：3	1.33	3.13	0.50	720.0	60.0	660.0	5.0
3-3	12：8：3	2.00	3.83	0.36	720.0	0.0	720.0	3.0

表四、樣品中硝酸鉀質量對於發煙效果的影響



圖十、硝酸鉀質量與亮度差異的關係圖



樣品燃燒前



樣品燃燒後

(四) 探討樣品中蔗糖質量對於發煙效果的影響

【目的】 探討樣品中蔗糖質量對於發煙效果的影響

【實驗方法】

1. 我們從上面再次製造成分質量比例不同的樣品，其中硝酸鉀：蔗糖：小蘇打的質量比例分別為 12：6：3、12：8：3、12：10：3。
2. 改變蔗糖的質量分別為 0.30 公克、0.40 公克與 0.50 公克，因此我們取上述比

例的三種樣品各 1.05 克、1.15 克與 1.25 克。

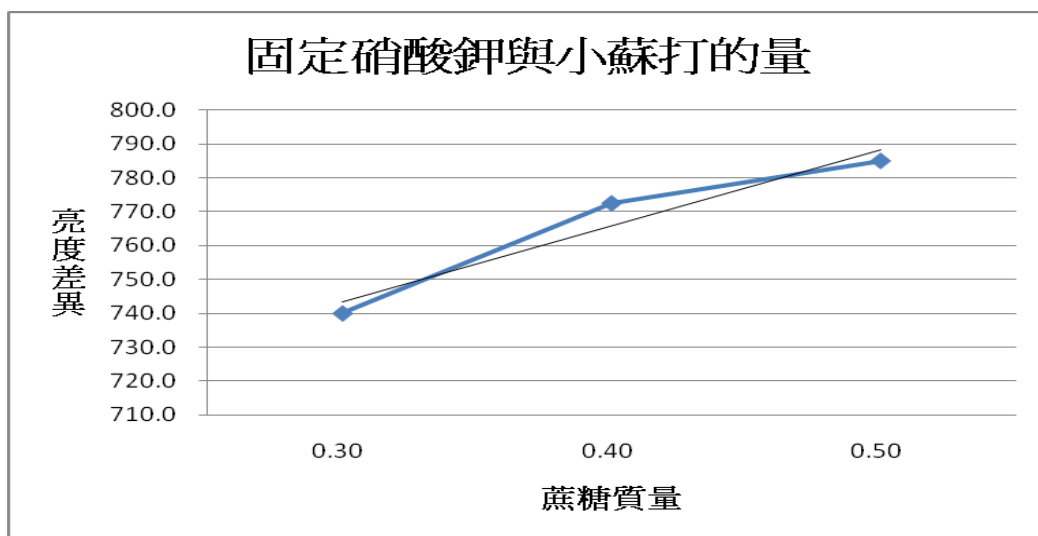
3. 可得出硝酸鉀與小蘇打的質量為 0.60 克與 0.15 公克。

【結果與討論】：

1. 我們發現當蔗糖的質量越多，產生的煙霧量就越多。
2. 我們在燃燒時發現，當 12：6：3 燃燒後，會留下硝酸鉀融化的痕跡。而且並未如其他次實驗時還殘留有焦黑的碳。因此推測當 12：6：3 反應後，硝酸鉀是過量的。（請見圖十二）另外，我們還發現當燃燒之後所剩餘的質量，當反應物減少的量與煙霧生成量是有關的，當煙霧量越多，其燃燒前後質量差異就變大。
3. 透過上面的觀察，因此我們用火焰燃燒硝酸鉀，硝酸鉀並沒有像其他樣品一般的進行劇烈的燃燒，反而硝酸鉀只是融化。（請見圖十三）經查詢資料，硝酸鉀的熔點大約是 334°C。所以我們推測從此反應可以證明反應的溫度已經超過 334°C。
4. 由圖 11 與上述第二點，我們推測，蔗糖的目的是用來當作燃燒時的燃料，而且反應的產物可能與煙霧的生成有關係。

組別	質量比例 硝酸鉀：蔗糖：小蘇打	蔗糖 質量 (g)	燃燒前 質量 (g)	燃燒後 質量 (g)	亮度(Lux)		亮度差 異值 (Lux)	燃燒 時間 (sec)
					反應前	反應前		
4-1	12：6：3	0.30	1.05	0.20	800.0	60.0	740.0	3.0
4-2	12：8：3	0.40	1.15	0.07	800.0	27.5	772.5	2.0
4-3	12：10：3	0.50	1.25	0.13	800.0	15.0	785.0	2.0

表五、樣品中蔗糖質量對於發煙效果的影響



圖十一、蔗糖質量與亮度差異的關係圖



圖十二、12：6：3 反應後的結果

圖十三、只加熱硝酸鉀

(五) 探討樣品中小蘇打質量對於發煙效果的影響

【目的】 探討樣品中小蘇打質量對於自製煙霧彈發煙效果的影響

【實驗方法】

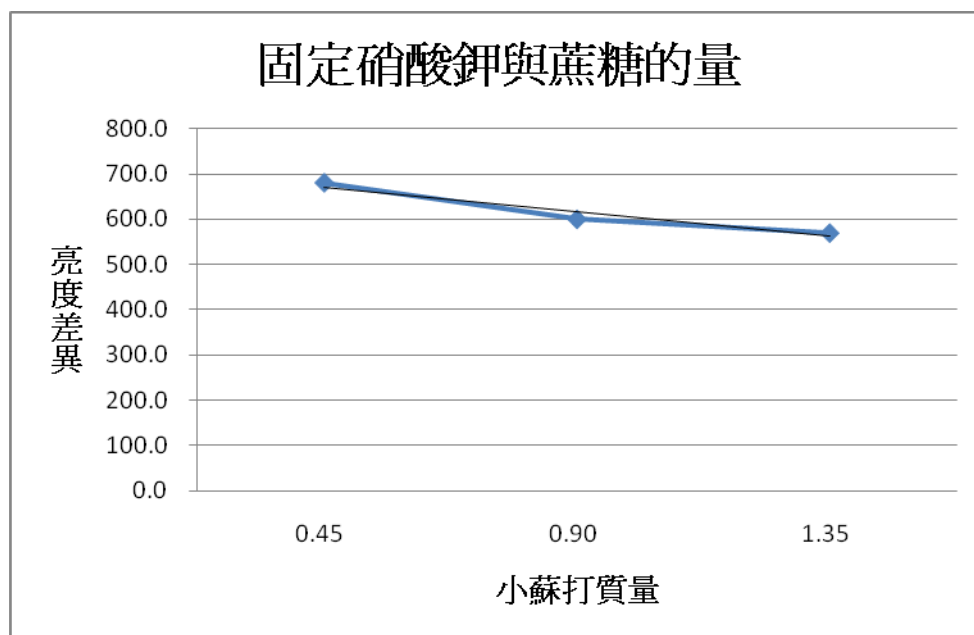
1. 由上面已經製造出的樣品中，經由計算找出固定的硝酸鉀質量與蔗糖質量，且盡量避免一次燃燒質量太大的樣品而造成危險。
2. 固定樣品中硝酸鉀質量為 1.20 公克與蔗糖質量為 1.20 公克。
3. 改變小蘇打的質量分別為 0.45 公克、0.9 公克與 1.35 公克，經由前面類似步驟進行發煙測試。
4. 測試結果如下表六所示。

【結果與討論】：

1. 我們發現小蘇打的量對於煙霧的生成是有抑制的影響，當小蘇打添加的量越多，煙霧生成量就越少。
2. 我們在實驗結果也發現，當小蘇打添加越多，其燃燒的時間就越長。可以推論當小蘇打添加越多，反應就越不劇烈。
3. 由以上結果我們可以推測，小蘇打的添加，可能是讓反應的速度變慢，讓反應比較不會那麼劇烈。

組別	質量比例 硝酸鉀：蔗糖：小蘇打	小蘇打 質量 (g)	燃燒前 總重 (g)	燃燒後 總重 (g)	亮度(Lux)		亮度差 異值 (Lux)	燃燒 時間 (sec)
					反應前	反應後		
5-1	8：8：3	0.45	2.85	1.11	720.0	40.0	680.0	10.0
5-2	8：8：6	0.90	3.30	1.83	700.0	100.0	600.0	14.0
5-3	8：8：9	1.35	3.75	0.77	720.0	150.0	570.0	42.0

表六、樣品中小蘇打質量對於發煙效果的影響



圖十四、蔗糖質量與亮度差異的關係圖

(六) 探討添加小蘇打、添加蘇打與未添加小蘇打對煙霧生成的影響

【目的】 探討添加小蘇打、添加蘇打對煙霧生成的影響

【實驗方法】

1. 固定樣品中硝酸鉀質量為 0.6 公克與蔗糖質量為 0.4 公克。
2. 改變小蘇打的質量分別為 0.15 公克、與蘇打的質量為 0.15 克。
3. 測試結果如下表七所示。

【結果與討論】：

1. 由實驗結果發現，添加碳酸氫鈉的反應其亮度差異值比較大，可以發現事實上添加小蘇打與碳酸鈉是有差異的，其差異可能是在小蘇打受熱會進行分解，是屬於吸熱反應，因此抑制反應生成，進而使煙霧變多。
2. 同時也由實驗原理發現，當碳酸鈉要開始進行分解時的反應溫度需要到達 1000°C。所以我們推測當小蘇打分解後所產生的碳酸鈉，要開始進行分解成的反應是比較難繼續進行，所以煙霧的生成量，是碳酸鈉較少。
3. 由燃燒前後的質量差異來看，也可以發現的確碳酸鈉分解較少，所以燃燒後總質量，實驗 6-2 組比較大。

組別		燃燒前總重 (g)	燃燒後總重 (g)	亮度(Lux)		亮度差異值 (Lux)	燃燒時間 (sec)
				反應前	反應後		
6-1	添加小蘇打(0.15g)	1.15	0.14	720.0	22.5	697.5	2.0
6-2	添加碳酸鈉(0.15g)	1.15	0.19	720.0	52.5	667.5	3.0

表七、小蘇打、添加蘇打與未添加小蘇打對煙霧生成的影響

陸、 結論

- 一、由實驗結果發現，在網路上所介紹的自製煙霧彈中，發煙效果最好的比例是硝酸鉀與蔗糖的比例約為 3：2，但是小蘇打粉添加數量卻沒有特定的比例，但是經實驗結果證實，小蘇打的確會影響到煙霧彈發煙的效果，其影響如結論第三點所敘述。
- 二、由結果發現，硝酸鉀在整個反應中扮演的角色是相當重要的，當硝酸鉀的質量越多時，反應進行的越快速，且煙霧的生成量就越多。然而由資料查詢可以發現，大約在 400°C 時，硝酸鉀受熱後可以產生氧氣幫助燃燒。所以當添加硝酸鉀的量越多，反應就會越劇烈，反應的時間就越短，同時生成的煙霧量也越多。
- 三、由實驗結果發現，小蘇打添加的量可以抑制煙霧量的產生，但是卻會使反應速率變慢，原因經推測小蘇打經反應後會產生二氧化碳，使氧氣濃度變低，導致反應速率較慢，同時小蘇打分解也會吸收熱量，降低反應時的溫度，在高溫的情況下(高於 1000°C)，蘇打也會繼續反應產生二氧化碳降低反應溫度，但是我們的反應是否達到如此高的溫度，仍需要再深入探討。此外，我們在資料查詢中，發現有關煙火的設計中，也會添加入抑制劑，而小蘇打就是抑制劑的其中之一，所以我們可以看到當小蘇打的量越多，產生的煙霧量就越少。因此我們要讓煙火的煙霧量產生，我們也可以添加小蘇打，使反應變的較慢，煙霧產生較少。
- 四、我們從實驗結果中的反應前後質量差異來觀察，可以發現煙霧生成量與質量減少的差異似乎是有關的，當反應前後質量減少越多，煙霧生成量也跟著變多。因此我們猜想，減少的部分質量是否是形成煙霧的主要物質。
- 五、有關於添加蔗糖，當蔗糖的含量越多，我們發現產生煙霧量也越多，在煙火的部分配方中也有類似的材料如澱粉、乳糖等，在煙火中也是作為燃料的部分。蔗糖燃燒時會產生二氧化碳與水氣，另外蔗糖在受熱後也會產生碳與水氣。因此，我們推測遮擋光線的物質是在反應後產生的產物中其中之一，因此水氣與燃燒不完全的懸浮微粒有可能是煙霧的主要成分，但是此點仍然需要使用更精密儀器來進行科學驗證。

柒、 參考資料

- 一、 郭重吉等 (2009)。國中自然與生活科技第四冊—氧化還原。南一出版社。
- 二、 郝俠遂 (2006)。五彩繽紛的煙火。科學發展，398，66-71。
- 三、 李昂 (民 83)。煙火化學原理與應用。台北市：科技圖書股份有限公司。
- 四、 麗山高中科學研究社。煙霧彈製作教學。Blogger.com。2009 年 11 月 2 日。
取自：<http://scienceclubconclude.blogspot.com/2009/11/blog-post.html>
- 五、 碳酸氫鈉。維基百科 (無日期)。取
自：<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A2%B3%E9%85%B8%E6%B0%A2%E9%92%A0>
- 六、 碳酸氫鈉。維基百科 (無日期)。取
自：http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_bicarbonate
- 七、 硝酸鉀。維基百科 (無日期)。取
自：http://en.wikipedia.org/wiki/Potassium_nitrate

捌、 其他

一、心得：

日常生活中，我們對某些反感的事情總只是抱怨或不以為然。但當我們開始的仔細探討和研究後，發現有些事，我們是可以獲多或少改變的。

做科展，就像爬一座陡峭的高山，開始，我們順利的往上爬。但當遇到那些煙霧彈溼度的問題時，我們面臨失敗的困頓徬徨。討論出的解決之道，又向纜繩將我們拉起，繼續上爬。在這條路上我們有過意見的分歧、激烈的爭吵，但一波接著一波的難題，又使我們學會了如何團結及互助合作去解決。這段日子的風風雨雨，雖有些疲憊，但滿是倦容的臉蛋，總掛著充滿成就的笑容。

現在我們的實驗於有了一些些小小成果，希望，我們能繼續往上爬，伴隨著幸福的煙霧，往前衝！

二、未來展望：

目前我們採用的原料，與煙火原料不盡相同，而我們這次的實驗僅是探討是上述藥品的比例和發煙量之間的關係，在未來我們也可以使用其它藥品，如：氯酸鉀、過氯酸鉀、次氯酸鉀……進行更多不同比例的配製，將汙染降到最低。此外之後的實驗中，我們希望能在自製煙霧彈中加入煙火、鞭炮的其他成分，如添加金屬鹽類，以便能更精準的應用在日常生活中。

【評語】 030206

作者自製量測煙霧的光度計，方法具有創意且可行，並藉此光度計量測各種產生煙火中煙霧的配方之成份，改進的配方之含量使得煙霧下降，符合環保觀念，惟須考慮當煙霧減少是否影響溫度，以及影響煙花之炫麗。