

裝訂線

屏東縣第 61 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：「蓋」熄熊熊烈火---探討無封頂紙筒對火焰熄滅的效果

關鍵詞：紙筒、火焰熄滅

裝訂線

編號：B2015

裝訂線

摘要

在一次的科學營隊中，我們改變「酒精燈蓋一定要密封」的觀念，查了關於無封頂紙筒熄火的相關實驗後發現沒有很多相關的研究資料，於是我們為了探討無封頂紙筒的差異對火焰熄滅的影響，改變紙筒的高度、直徑、顏色和火焰高度，以觀察火焰熄滅的成功率和時間；為了探討熱對流對火焰熄滅的影響，我們也嘗試在紙筒上開口及改變風速。研究結果發現紙筒的直徑在 1.5cm 及 4cm、紙筒的顏色為黑色及開口在 5cm，都容易使紙筒燃燒。紙筒高度增加，火焰熄滅時間增加，但到一定高度時時間又會減少。當風速增加，火焰熄滅的時間減少。

壹、研究動機

在一次的科學營隊裡，老師帶我們做了一個用紙筒滅酒精燈的實驗，大大顛覆了我們原本對於「酒精燈蓋一定要密閉」的想法。原本的酒精燈蓋是因為密閉而讓氧氣燒完、熄滅火焰的，那沒有密閉的紙筒又是怎麼滅火的呢？如果改變了紙筒的高度、直徑或顏色，會不會改變熄火的速度？在紙筒上開洞會不會也有影響？為了探討以上問題，我們著手設計了以下實驗。

貳、研究目的

- 一、探討紙筒直徑和高度差異對火焰熄滅效果的影響
- 二、探討紙筒顏色差異對火焰熄滅效果的影響
- 三、探討紙筒開口位置對火焰熄滅效果的影響
- 四、探討火焰高度差異對火焰熄滅效果的影響
- 五、探討風速對火焰熄滅效果的影響

參、研究設備及器材

			
影片剪輯軟體 (Movavi Video Editor)	酒精燈	手機(iPhone11A2221)	自製平台
			
油性黏土	風速計	紅外線溫度感測儀	立扇



- 1.瓶口直徑: 約 2.4cm
- 2.燈蓋深度:約 5.0cm
- 3.燈蓋內徑: 約 2.3cm
- 4.燈壺寬度: 約 7.4cm
- 5.燈芯長度: 約 1.0cm
- 6.液面高度: 約 3.0cm

圖 1. 酒精燈規格示意圖

肆、研究過程或方法

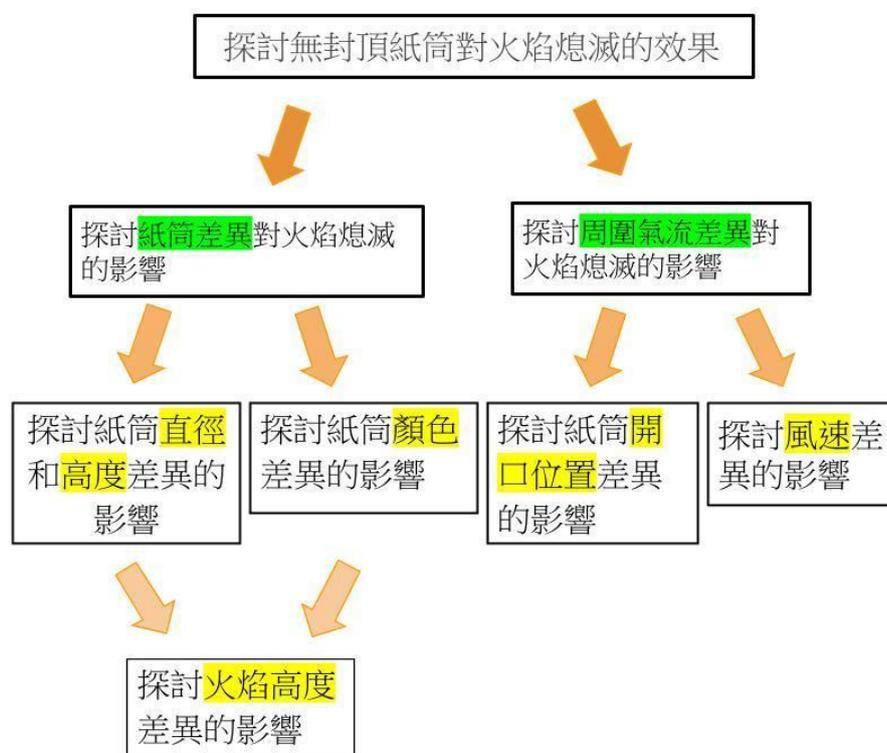


圖 2. 實驗流程圖

一、探討紙筒直徑與高度差異對火焰熄滅效果的影響

(一) 製作實驗用平台

1. 目的：放置紙筒用，使每次實驗的基準高度相同，以降低實驗誤差。
2. 將 PP 塑膠板材切成合適的形狀，並在中間挖一個洞，使酒精燈穿過，並在下方黏上塑膠板製成的長方柱，使酒精燈有地方放置。
3. 用黏土密合酒精燈與平台間的縫隙，避免空氣進入。

(二) 基本實驗步驟：

1. 紙筒的製作方式:

- (1) 運用圓周率(約 3.14cm)算出紙筒周長，並加上黏合寬度 1cm。
- (2) 將厚度 0.5mm 圖畫紙裁切成長方形紙片，使用保麗龍膠和膠帶黏合。

2. 點燃酒精燈並將紙筒以與平台垂直的方向置於平台上，並確定紙筒完全覆蓋火焰且於黏土密合，紙筒放置方式如圖 3。



圖 3.紙筒放置示意圖

3. 火焰熄滅時，再觀察 3 秒鐘，確認火完全熄滅後，再將紙筒拿起。
4. 若觀察紙筒冒出白煙時，視為紙筒燃燒，並立即將紙筒拿起。
5. 若觀察紙筒冒出白煙後拿起時火焰熄滅，視為將紙筒拿起時產生的風造成，則該項數據作廢。
6. 如其中一項數據與其他數據差異過大（差距 2 秒以上），則該項數據作廢。
7. 使用手機拍攝火焰燃燒與熄滅的過程，實驗重複 10 次並用軟體分析實驗結果，將數據記錄於表格中。

(三) 操作變因：紙筒高度（5、10、15、20、25、30cm）、紙筒直徑（1.5、2、2.5、3、3.5、4cm）

(四) 控制變因：

1. 酒精燈液面高度：3.0cm。
2. 酒精燈棉芯高：1cm。
3. 火焰高度：約 $5\text{cm} \pm 2\text{cm}$ 。
4. 紙筒重疊寬度：1 公分。
5. 風向：室內無風。
6. 室溫：25~30°C。
7. 平台高度：7.7cm。

8. 紙筒顏色：白色。

二、探討紙筒顏色差異對火焰熄滅效果的影響

(一) 基本實驗步驟：同研究一。

(二) 操作變因：紙筒顏色（黑色、白色）、紙筒高度（高度 5、10、15、20、25、30cm）。

(三) 控制變因：

1. 酒精燈液面高度：3.0cm。
2. 酒精燈棉芯高：1cm。
3. 火焰高度：約 $5\text{cm} \pm 2\text{cm}$ 。
4. 紙筒重疊寬度：1 公分。
5. 風向：室內無風。
6. 室溫：25~30°C。
7. 平台高度：7.7cm。
8. 紙筒直徑：2.5cm



圖 4. 紙筒顏色差異對火焰熄滅效果裝置圖（黑紙）

三、探討紙筒開口位置對火焰熄滅效果的影響

(一) 基本實驗步驟：同研究一。

(二) 操作變因：

1. 直徑高度 15cm 白色紙筒，分別於 1、3、5、7、9、11、13、15cm

處裁切 下直徑 1cm 的圓形開口。

2. 高度 30cm 白色紙筒，於 17、19、21、23、25、27cm 處裁切下直徑 1cm 的圓形開口。

(三) 控制變因：

1. 酒精燈液面高度：3.0cm。

2. 酒精燈棉芯高：1cm。

3. 火焰高度：約 $5\text{cm} \pm 2\text{cm}$ 。

4. 紙筒重疊寬度：1 公分。

5. 風向：室內無風。

6. 室溫：25~30°C。

7. 平台高度：7.7cm。

8. 紙筒直徑：2.5cm。



圖 5. 紙筒開口位置對火焰熄滅效果裝置圖

四、探討火焰高度差異對火焰熄滅效果的影響

(一) 基本實驗步驟：同研究一。

(二) 操作變因：棉芯高度 1.5cm (火焰高度 7 ± 2 cm) ，以高度 5、10、15、20、25、30cm 的紙筒進行實驗。

(三) 控制變因：

1. 酒精燈液面高度：3.0cm。
2. 紙筒重疊寬度：1 公分。
3. 風向：室內無風。
4. 室溫：25~30°C。
5. 平台高度：7.7cm。
6. 紙筒直徑：2.5cm。
7. 紙筒顏色：白色。

五、探討風速差異對火焰熄滅效果的影響

(一) 基本實驗步驟：同研究一。

(二) 操作變因：風速 (開啟家中立扇，調整風速並讓立扇出風口保持水平，以風速計測量立扇不同風量大小的風速，並加以記錄。另外使用隔板將火焰與立扇隔絕，避免火焰受風吹襲，避免實驗誤差)

(三) 控制變因：

1. 酒精燈液面高度：3.0cm。
2. 紙筒重疊寬度：1 公分。
3. 風向：室內無風。
4. 室溫：25~30°C。
5. 平台高度：7.7cm。
6. 紙筒直徑：2.5cm。
7. 紙筒高度：30cm。
8. 紙筒顏色：白色。



圖 6. 風速差異對火焰熄滅效果裝置圖

伍、研究結果

一、紙筒直徑與高度差異對火焰熄滅效果的影響

由表 1 和圖 7~14，我們可以發現

(一) 成功率

1. 紙筒直徑 1.5 公分及 4cm 公分的紙筒成功率皆為 0%。
2. 紙筒直徑 2.5cm 的紙筒的成功率是最高的。
3. 紙筒高度 20cm 及 30cm 的成功率並列第一。

(二) 火焰熄滅時間

1. 紙筒直徑 2cm、2.5cm、3cm，高度 20cm 時熄滅時間皆最久，並從高度 25cm 開始下降。

表 1.不同紙筒直徑與高度改變的成功次數與平均時間（秒）

直徑 (cm) 高度 (cm)		1.5	2	2.5	3	3.5	4
		5	成功率(%)	0	60	90	80
	平均時間(秒)	失敗	0.342	0.527	1.004	失敗	失敗
10	成功率(%)	0	90	80	50	10	0
	平均時間(秒)	失敗	0.505	1.057	2.066	2.940	失敗
15	成功率(%)	0	80	100	90	50	0
	平均時間(秒)	失敗	0.383	1.192	1.924	3.454	失敗
20	成功率(%)	0	100	100	100	40	0
	平均時間(秒)	失敗	0.547	1.959	2.269	3.319	失敗
25	成功率(%)	0	90	90	60	70	0
	平均時間(秒)	失敗	0.347	1.523	1.816	3.079	失敗
30	成功率(%)	0	100	100	100	40	0
	平均時間(秒)	失敗	0.590	1.337	1.638	2.890	失敗

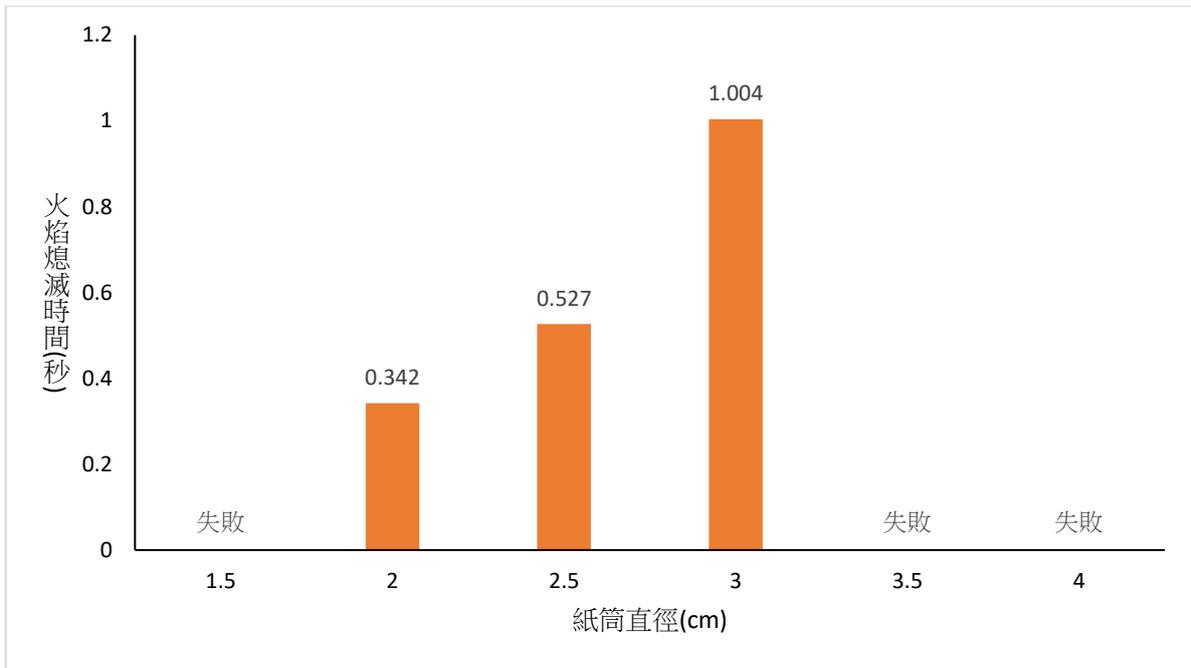


圖 6. 高度 5 公分不同直徑紙筒的火焰熄滅時間

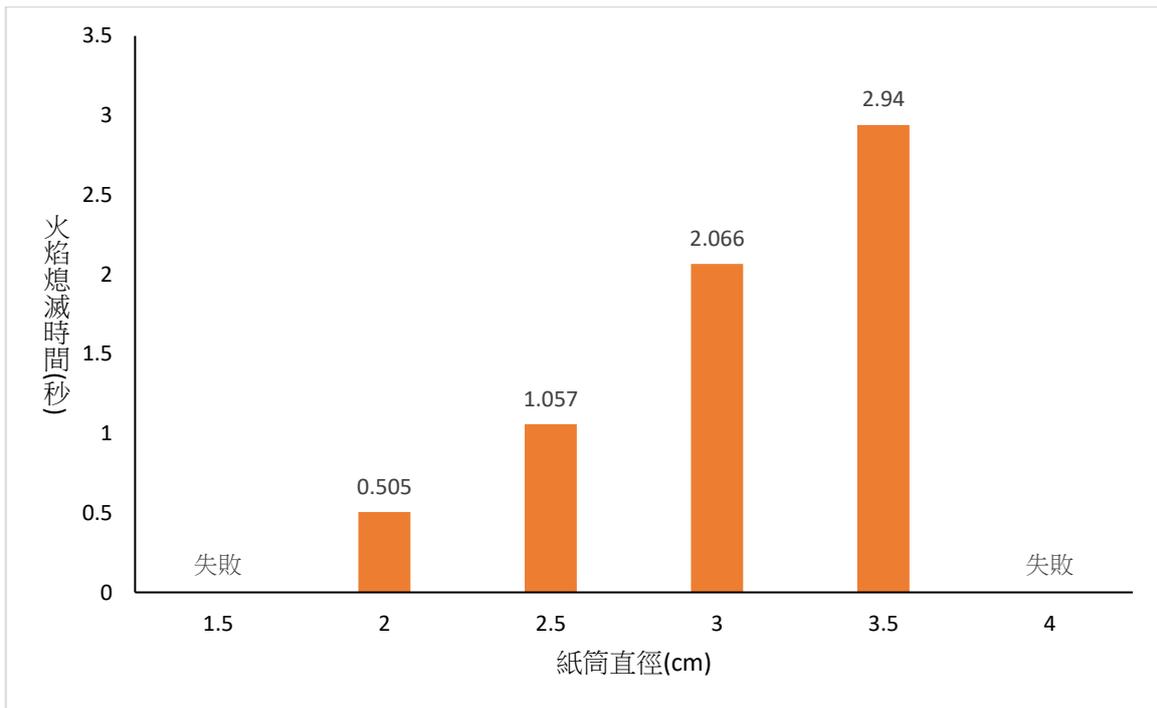


圖 7. 高度 10 公分不同直徑紙筒的火焰熄滅時間

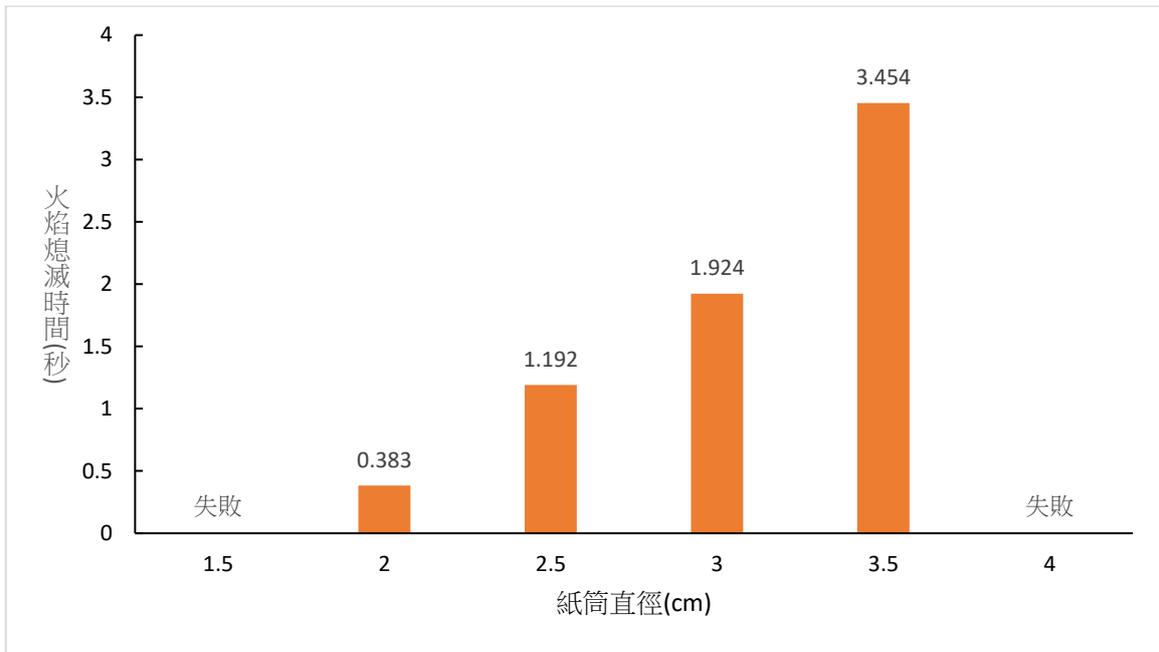


圖 8. 高度 15 公分不同直徑紙筒的火焰熄滅時間

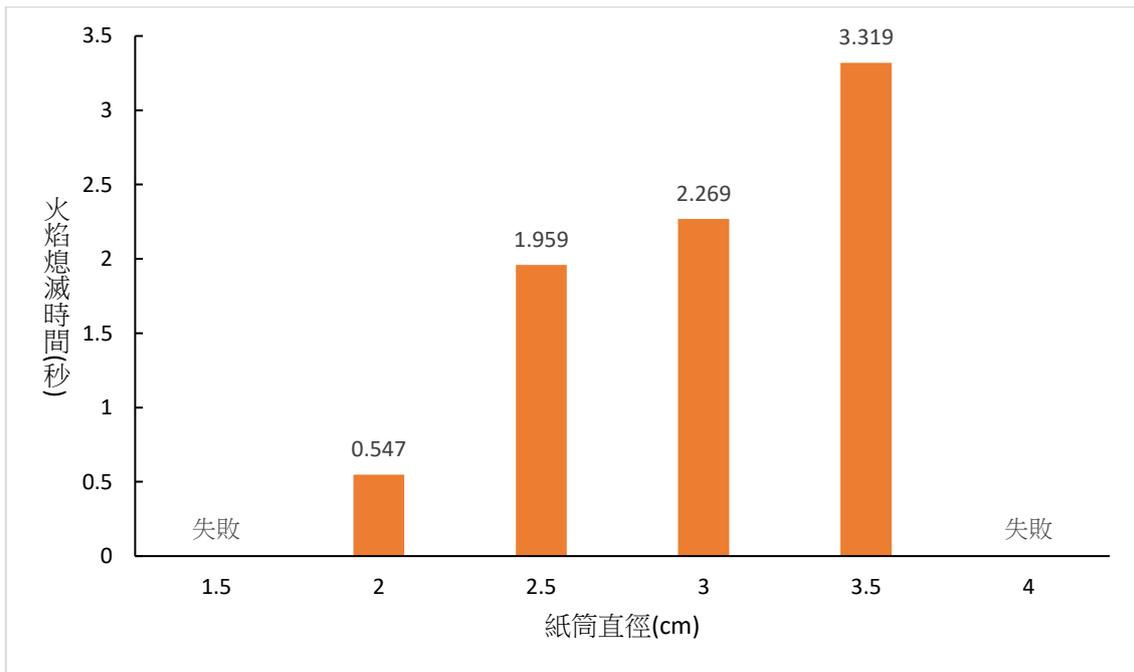


圖 9. 高度 20 公分不同直徑紙筒的火焰熄滅時間

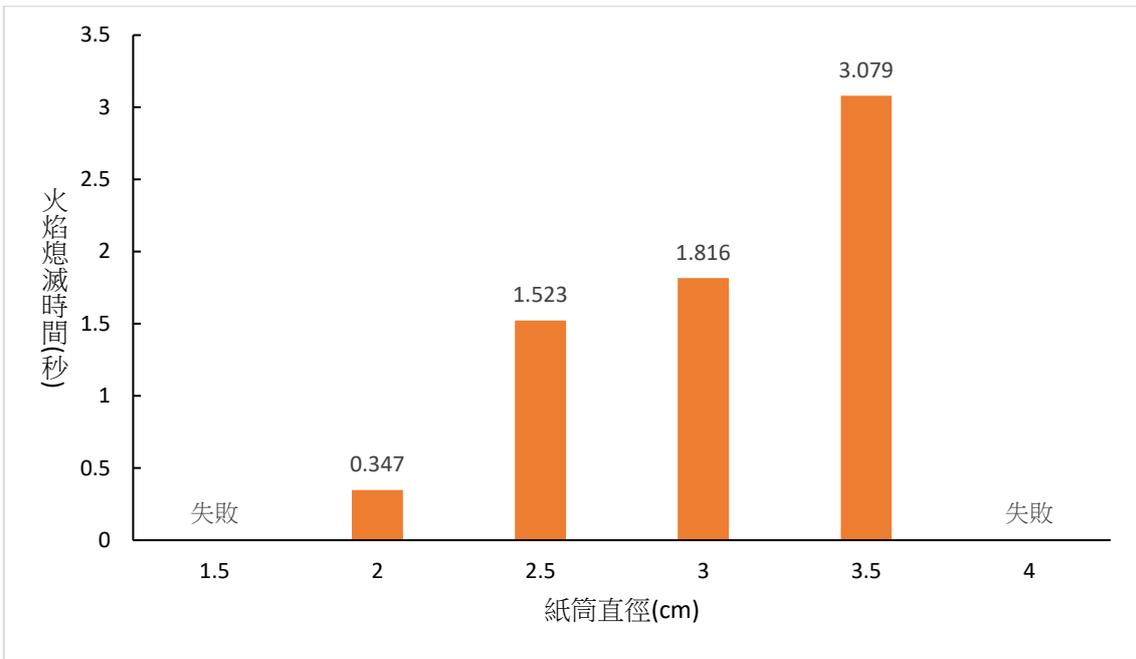


圖 10. 高度 25 公分不同直徑紙筒的火焰熄滅時間

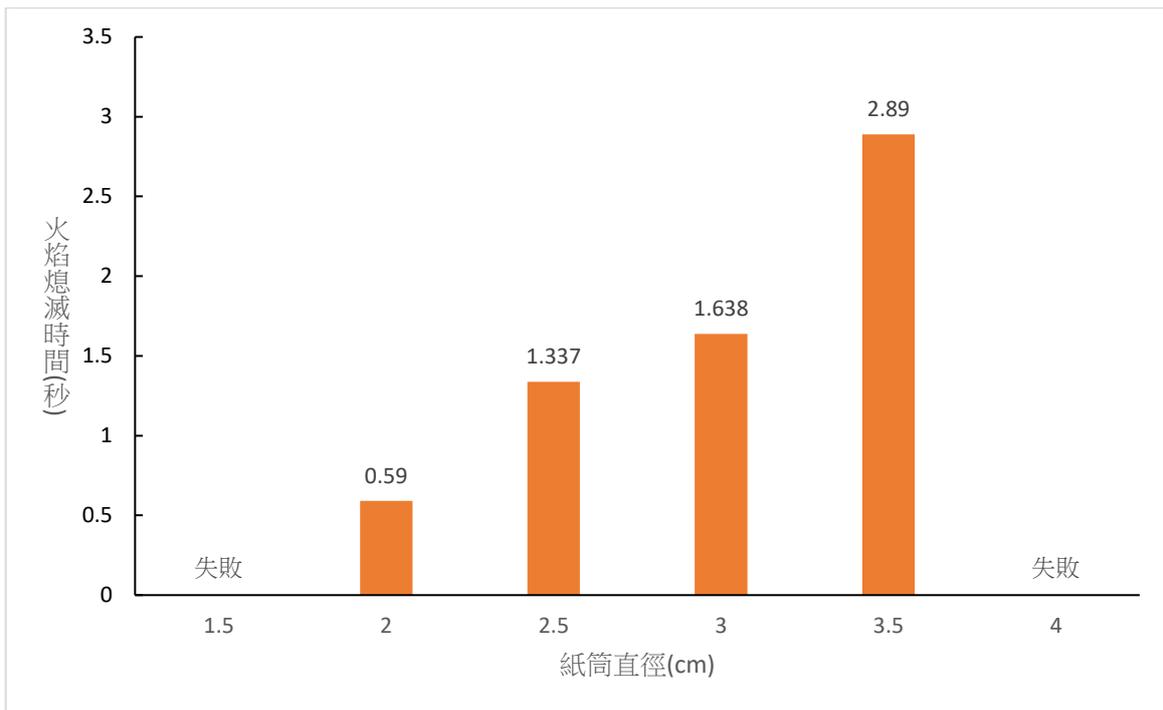


圖 11. 高度 30 公分不同直徑紙筒的火焰熄滅時間

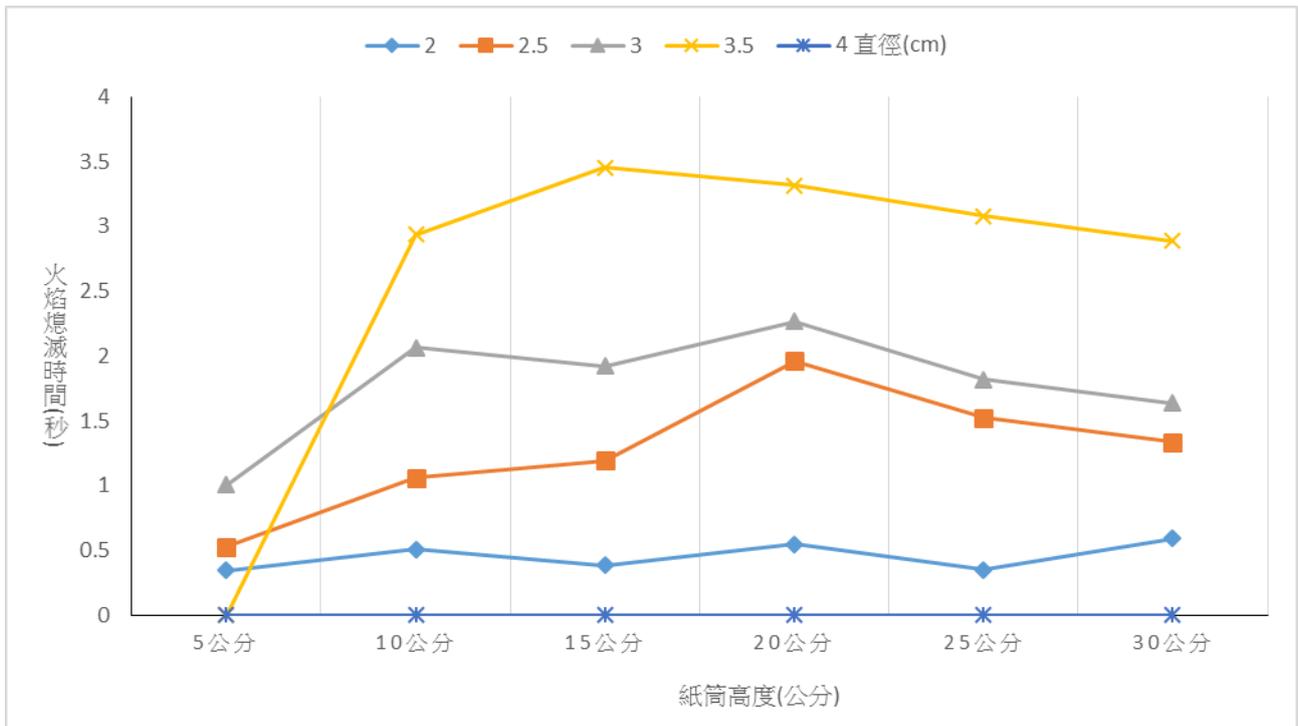


圖 12.紙筒直徑與高度差異對火焰熄滅效果的影響

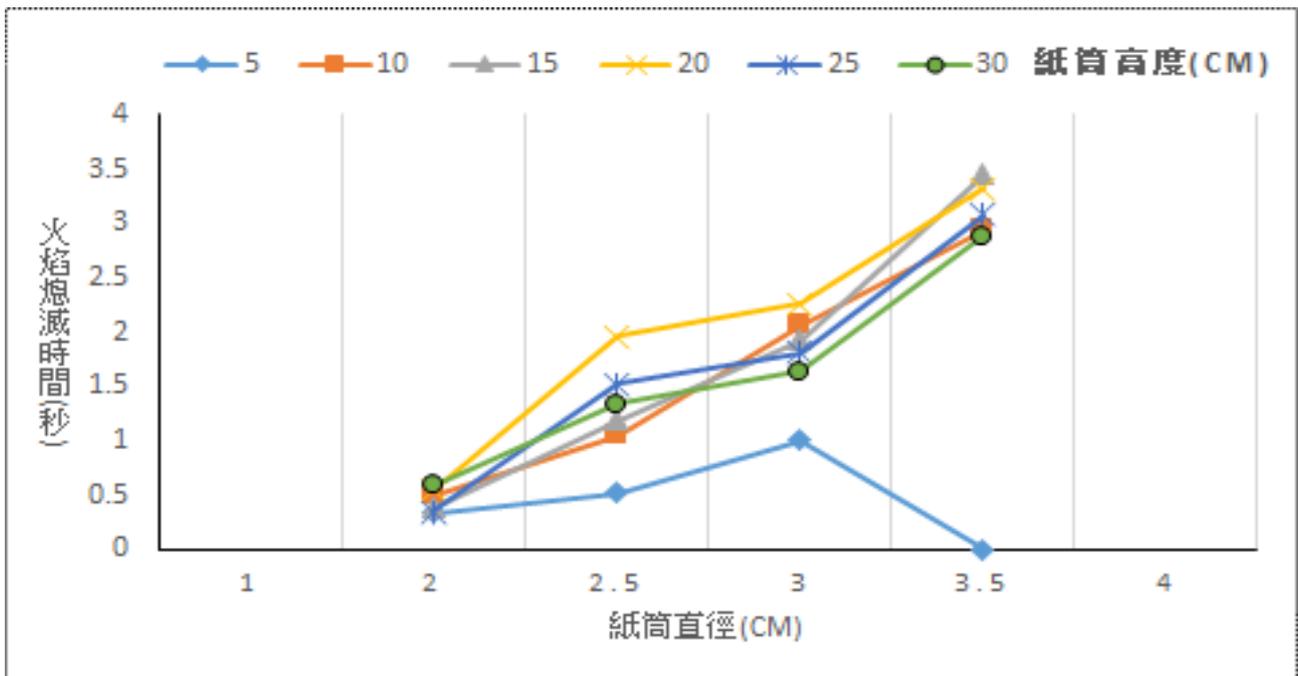


圖 13. 紙筒高度與直徑差異對火焰熄滅效果影響

二、探討紙筒顏色改變對火焰熄滅的影響

由表 2 和圖 13~15，我們可以發現

(一) 成功率

1. 白色的紙筒在高度 5cm 時，成功率明顯與其他數據差距甚大

(二) 火焰熄滅時間

1. 黑色的紙筒在高度 5cm 時，火焰熄滅時間最久。
2. 黑色的紙筒除高度 5cm 外，火焰熄滅時間皆較同高度的白色紙筒短。

表 2. 改變紙筒顏色對火焰熄滅的成功次數與平均時間紀錄

顏色 (cm) \ 高度 (cm)		5	10	15	20	25	30
		5	10	15	20	25	30
黑紙	成功率(%)	30	100	100	100	100	100
	平均時間(秒)	2.795	0.539	0.761	0.758	0.946	0.881
白紙	成功率(%)	90	80	100	100	90	100
	平均時間(秒)	0.527	1.057	1.192	2.142	1.523	1.337

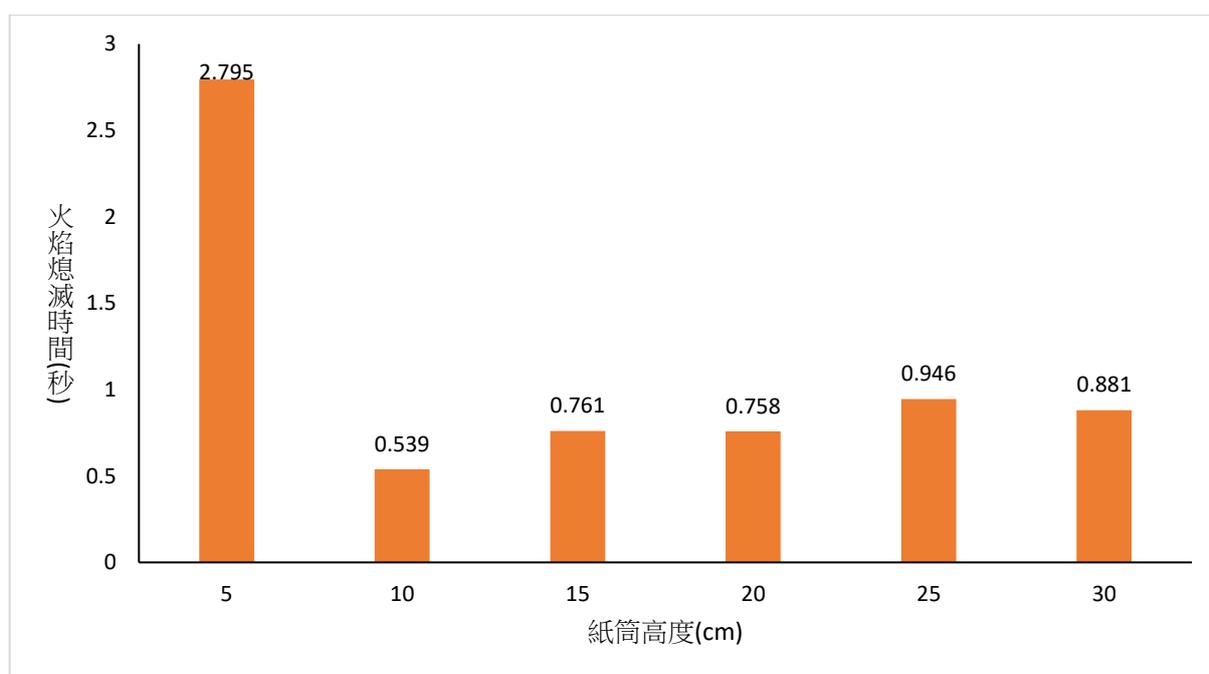


圖 14. 直徑 2.5 公分不同直徑黑色紙筒火焰熄滅時間

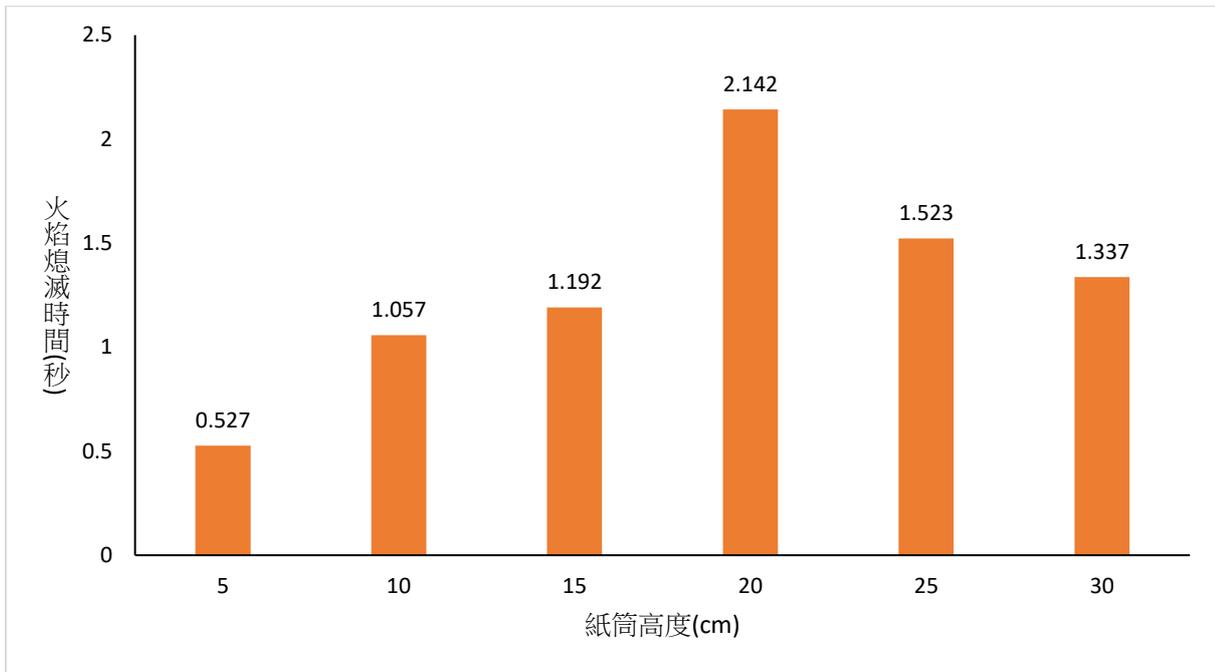


圖 15. 直徑 2.5 公分不同高度白色紙筒火焰熄滅時間

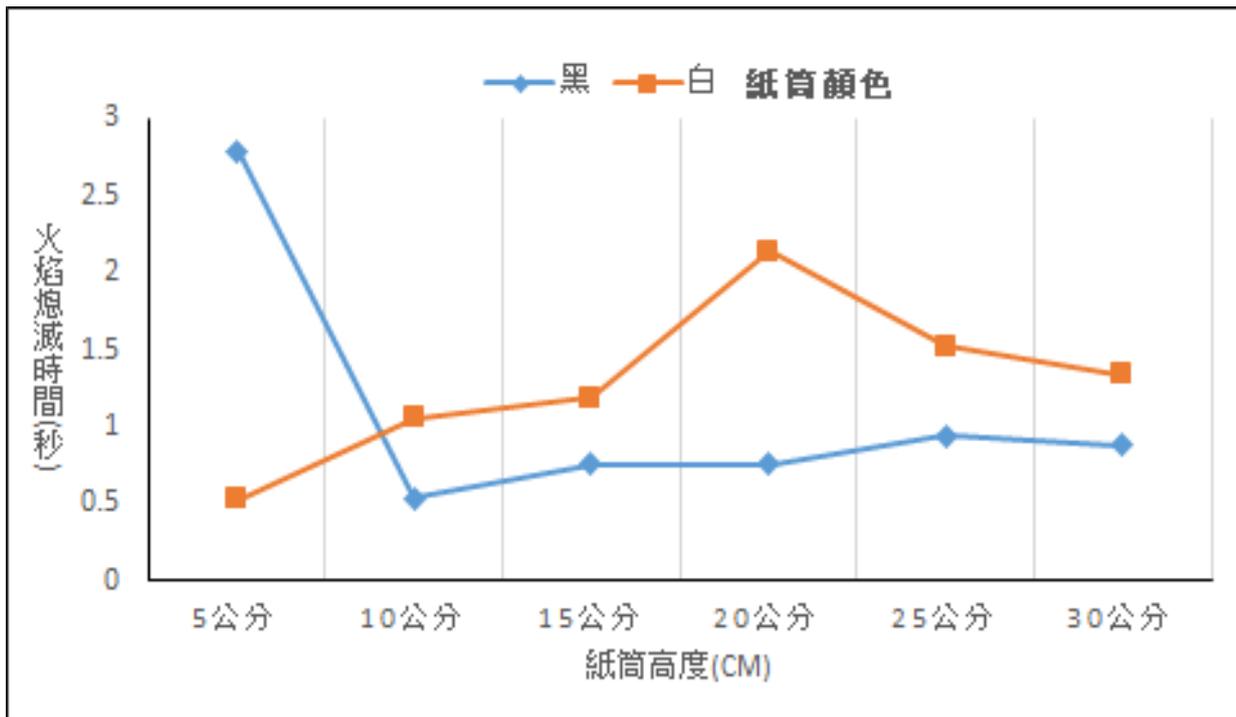


圖 16. 紙筒顏色對火焰熄滅效果影響

三、單個開口位置改變對火焰熄滅的影響

由表 5、6 和圖 16、17

(一) 成功率

1. 高度 15cm 的紙筒開口離平台越近，成功率越低。
2. 高度 30cm 的紙筒開口離平台越近，成功率越高

表 5.紙筒高度 15 公分開口位置改變火焰熄滅的成功次數和平均時間

距離平台高度(cm)	1	3	5	7	9	11	13
成功率(%)	0	0	50	90	100	100	100
平均時間(秒)	失敗	失敗	3.314	1.199	1.247	0.418	0.451

表 6.紙筒高度 30 公分開口位置改變火焰熄滅的成功次數和平均時間

距離平台高度(cm)	15	17	19	21	23	25	27
成功率(%)	100	100	100	100	70	60	40
平均時間(秒)	1.277	1.337	2.327	2.752	3.309	3.757	3.390

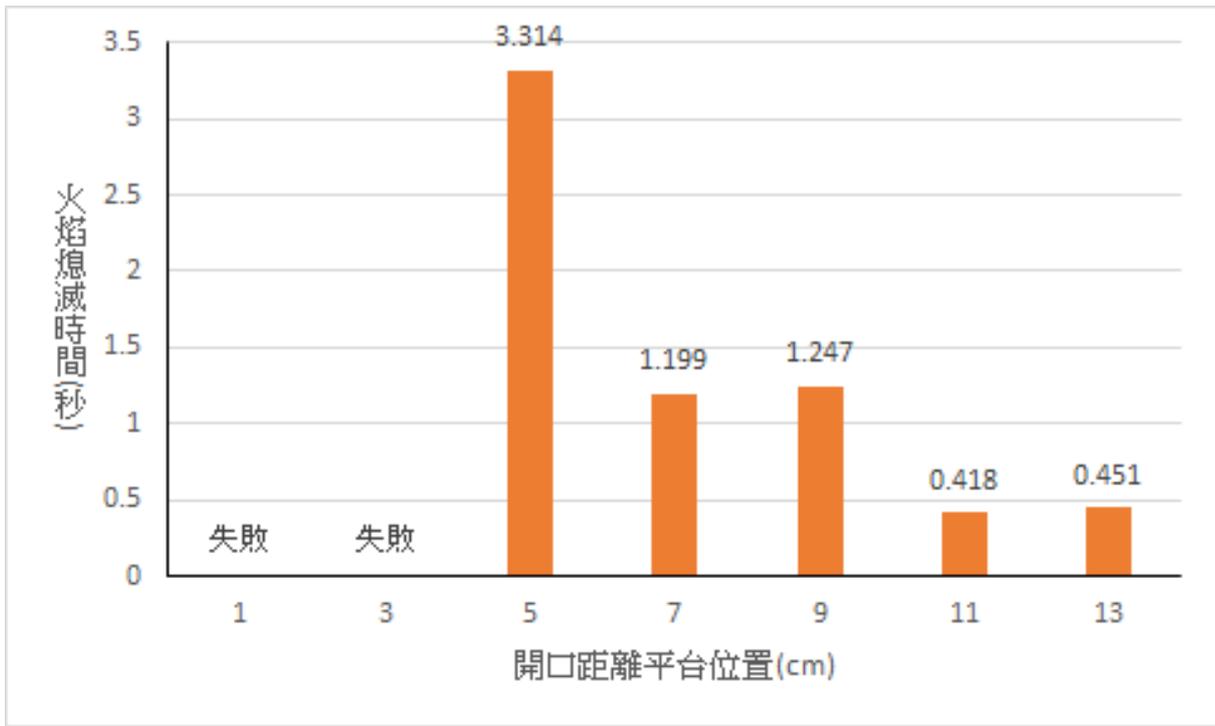


圖 17. 紙筒高度 15 公分開口位置改變火焰熄滅時間

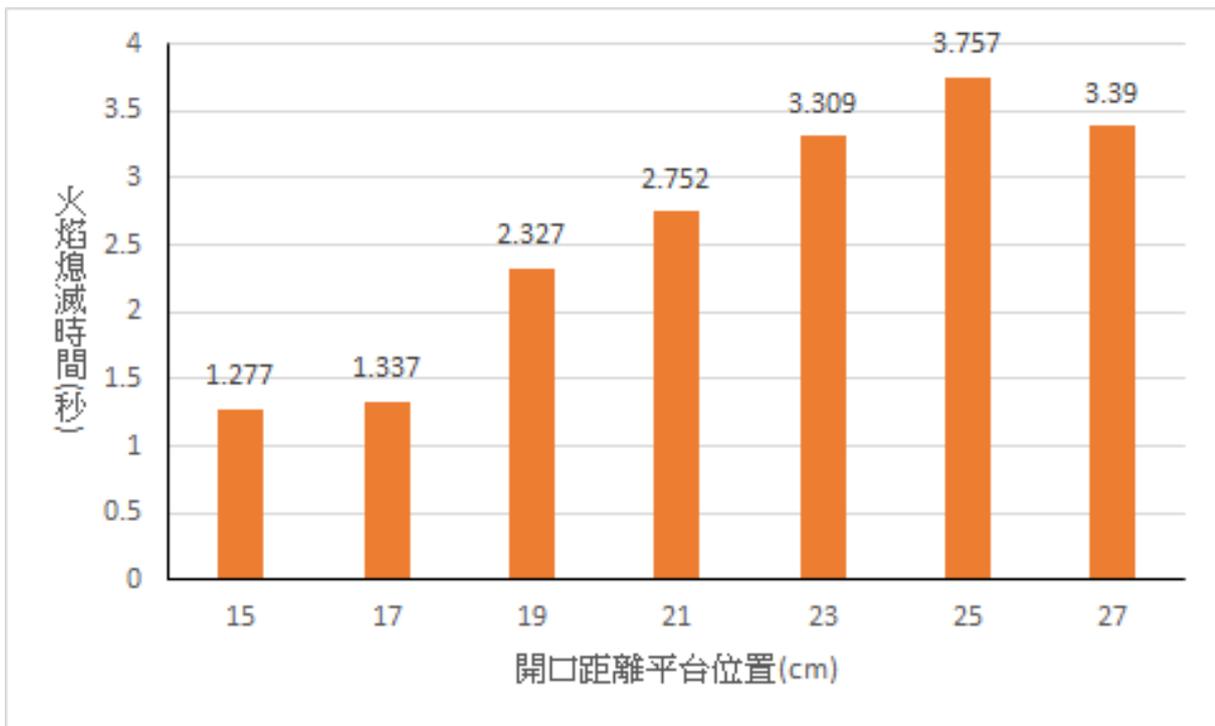


圖 18. 紙筒高度 30 公分開口位置改變火焰熄滅時間

四、探討火焰高度差異對火焰熄滅效果的影響

由表 9 和圖 18~20，我們可以發現

(一) 成功率

1. 火焰高度 5cm、紙筒高度 10cm 的成功率較其他低
2. 火焰高度 7cm 的平均成功率較高

(二) 火焰熄滅時間

1. 火焰高度 7cm、紙筒高度 10cm 的熄火平均時間最長。

表 9. 火焰高度改變火焰熄滅的成功次數與平均時間

紙筒高度(cm) 火焰高度(cm)		紙筒高度(cm)				
		10	15	20	25	30
5	成功率(%)	30	100	100	100	100
	平均時間(秒)	1.057	1.192	2.142	1.523	1.337
7	成功率(%)	80	100	100	90	100
	平均時間(秒)	2.795	1.472	2.341	2.577	2.132

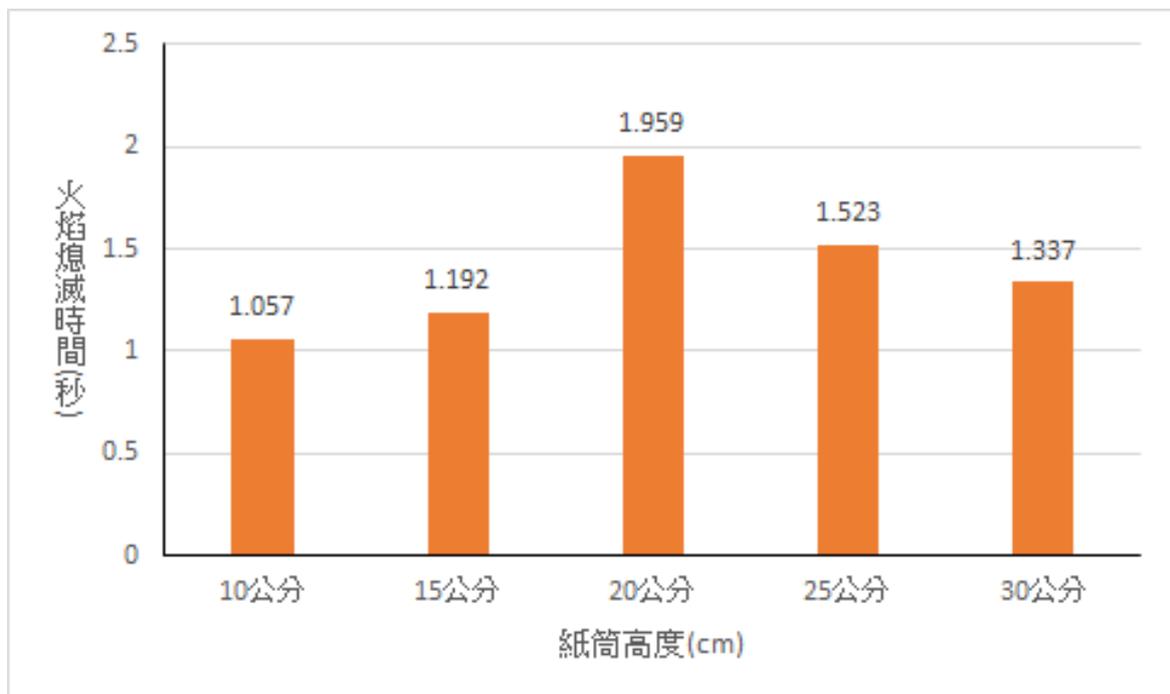


圖 19. 火焰高度 5 公分改變火焰熄滅的平均時間

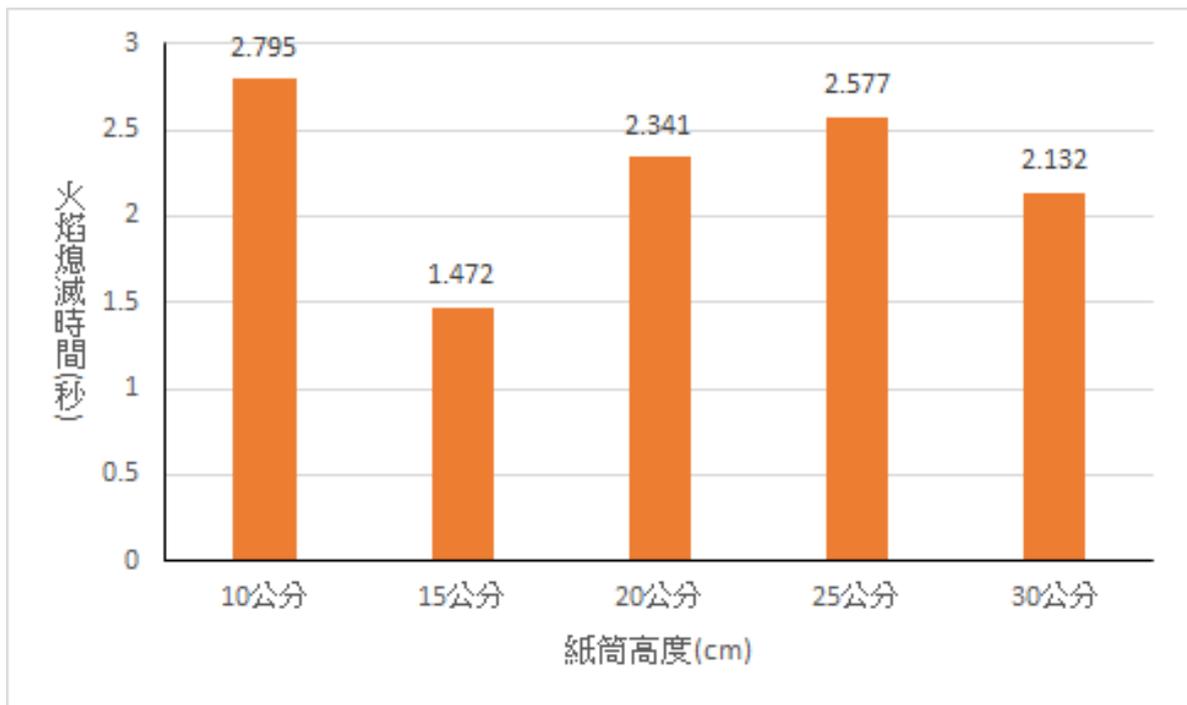


圖 20.火焰高度 7 公分改變火焰熄滅的平均時間

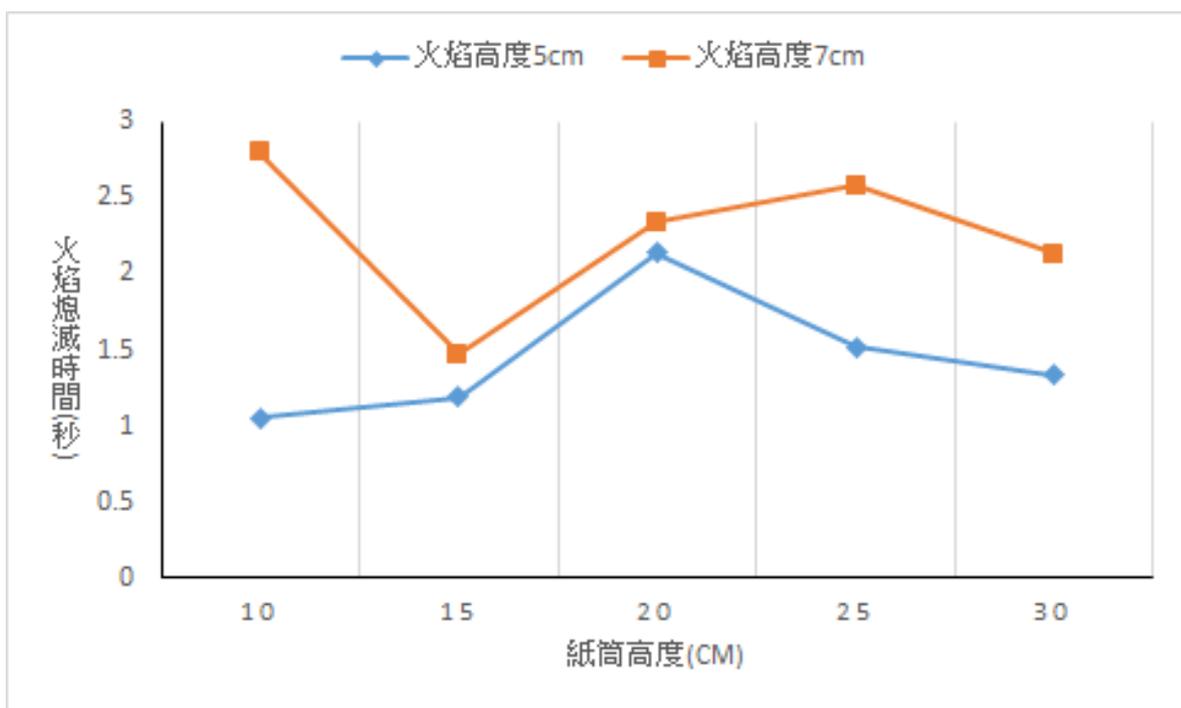


圖 21. 火焰高度對紙筒滅火效果影響

五、探討風速差異對火焰熄滅效果的影響

由表 11 和圖 21 我們發現風速越快火焰熄滅所需時間越短。

表 11. 風速差異對火焰熄滅成功率和時間

風速	無風 (0m/s)	風速 1 (1.1m/s)	風速 2 (1.8m/s)
熄滅成功率(%)	100	100	100
平均熄滅時間(秒)	1.337	1.046	0.123

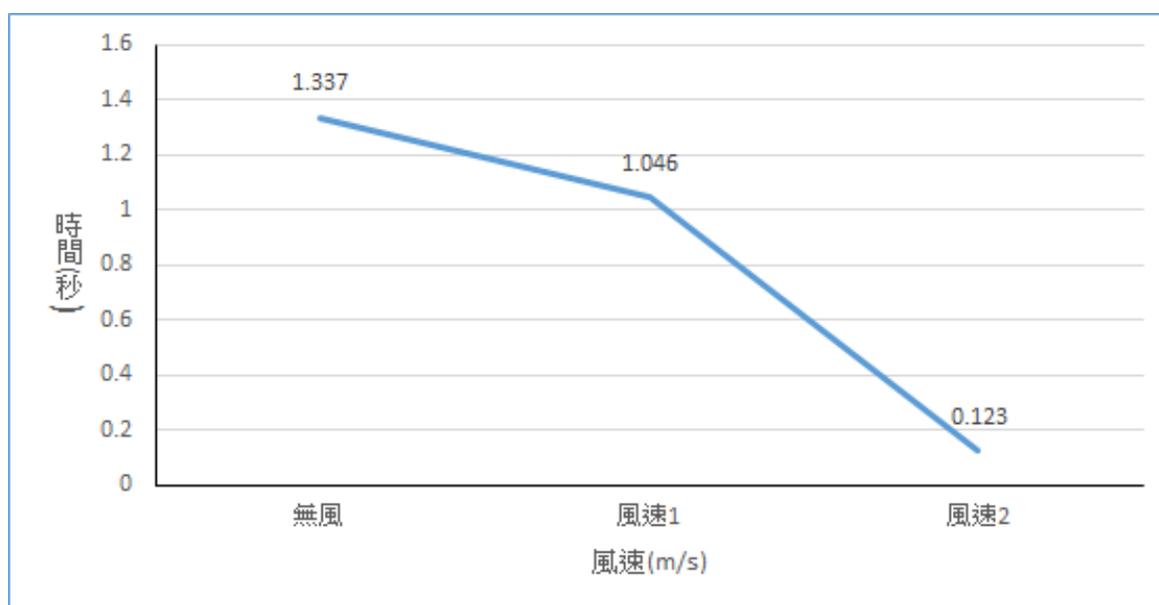


圖 21.風速差異對火焰熄滅速度的影響

陸、討論

一、探討紙筒直徑與高度差異對火焰熄滅效果的影響

(一) 紙筒直徑差異對火焰熄滅效果的影響

1. 從表 1 可以發現，直徑 1.5cm 的紙筒熄滅火焰的成功率為 0%，推測是因為直徑太小，蓋火焰時幾乎會直接接觸到火焰，所以容易燃燒。
2. 從圖 12 可以發現，紙筒直徑 2cm 火焰熄滅時間均沒有固定的趨勢，推測原因紙筒直徑小，周遭空氣無法由紙筒上方補進紙筒內部，因而導致直徑 2cm 的紙筒火焰熄滅時間無較大差異。

3. 從圖 12 可以發現，在直徑 2.5~3.5cm 的紙筒火焰熄滅時間依序遞增，因紙筒直徑持續增加，周遭空氣也隨直徑寬度增加而補進紙筒內部，寬度越大，補給越多，因而導致直徑增加，火焰熄滅時間也逐漸增加。
4. 從表 1-1 可以發現，直徑 4cm 的紙筒火焰熄滅的成功率為 0%，推測是因為直徑太大，造成火焰燃燒上升的熱空氣無法完全，使氧氣從紙筒上方側邊遞補，導致酒精燈持續燃燒，燃燒時間過長導致酒精燈周遭溫度達紙張燃點，則紙筒起火燃燒。

(二) 探討紙筒高度差異對火焰熄滅效果的影響

1. 從圖 12 可以發現，紙筒高度 5 公分火焰熄滅所需時間最短，推測原因紙筒過短，焰高度與紙筒高度相同，紙筒易燃燒，故成功次數少。
2. 從圖 12 可以發現，紙筒高度越高，火焰燃燒產生的二氧化碳因較空氣輕而往上升，讓下方的火焰有越多氧氣可供燃燒，火焰熄滅時間隨紙筒高度增加，但火焰熄滅時間反而在高度 20cm 最長，25、30cm 減少，推測原因:
 - (1) 當紙筒高度到達 21~24cm 的時候，會形成空氣柱將升上去的二氧化碳阻擋，使下方氧氣減少，則火焰熄滅時間減少。
 - (2) 燃燒產生的二氧化碳較空氣輕而上升，當紙筒高度到達 21~24cm 的時候，溫度高的二氧化碳愈冷密度增加而下沉，則火焰熄滅時間減少。

二、探討紙筒顏色差異對火焰熄滅效果的影響

1. 從圖 15. 可以發現，黑色紙筒除高度 5cm 外，火焰熄滅時間皆較同高度白色紙筒低，推測原因是黑色紙筒將燃燒產生並上升的二氧化碳的熱能吸走，使二氧化碳降溫而下沉，讓火焰無法持續燃燒。
2. 從圖 15. 可以發現，黑色紙筒高度 5cm 火焰熄滅時間為 2.795 秒，數值高出許多，推測原因是每個數據因為誤差而差異過大，導致平均時間增加。

三、單個開口位置改變對火焰熄滅的影響

1. 從圖 16. 可以發現，開口位置距離平台 1、3cm，紙筒皆由開口起火燃燒，推測是因為開口位置過低，導致由開口補進的空氣直接供給火焰燃燒，紙筒內部溫度過高而起火燃燒。
2. 從圖 17 可以發現，有開口的紙筒火焰熄滅時間較未開口的紙筒火焰熄滅時間長，推測是因為高度 30 公分的紙筒開口位置會影響空氣柱的產生及長短，當開口位置位於 21、23、25cm 時，因開洞因素無法產生空氣柱，使火焰熄滅時間大幅增加，當開口

位置位於 27 公分時，紙筒高度已達到可產生空氣柱的長度，但由於空氣柱較短，火焰熄滅時間減少。

四、探討火焰高度差異對火焰熄滅效果的影響

1. 從圖 20.可以發現，火焰高度增加至 7cm，火焰熄滅時間的高峰點為 25cm，比原先火焰高度 5cm 的熄滅時間高峰點 20cm，增加了 5cm。
2. 從圖 20.可以發現，火焰高度增加，火焰熄滅所需時間也越長，推測是因為火焰越高，上升的熱空氣也相對堵在較上層的地方，下方的氧氣量也相對增加，使火焰燃燒更久。

五、探討風速差異對火焰熄滅效果的影響

- 1.從圖 21.和參考資料可以發現，風速越快，火焰熄滅所需時間越短，推測是因為影響因素不只有風速，還包含了吹風的角度，當風向往上方吹時，二氧化碳被抬升，火焰燃燒時間增長；反之，當風向往下方吹時，二氧化碳被下壓，則火焰熄滅時間較短。

柒、結論

一、探討紙筒直徑與高度差異對火焰熄滅效果的影響

- 1.無封頂的紙筒滅火原理：火焰燃燒產生的熱空氣往上升，阻擋紙筒外的空氣進入，紙筒內的氧氣燒完，使火焰熄滅。
- 2.紙筒直徑 1.5cm 和 4cm 皆起火燃燒
- 3.紙筒直徑 2~3.5cm 的紙筒火焰熄滅時間依序遞增

二、探討紙筒顏色改變對火焰熄滅效果的影響

- 1.紙筒顏色為黑色時，火焰熄滅的時間較白色紙筒快。

三、單個開口位置改變對火焰熄滅效果的影響

1. 紙筒高度 15cm，開口在 3cm 以下時，紙筒皆起火燃燒。
2. 紙筒高度 15cm，開口在 5cm 以上，火焰熄滅時間減少
3. 紙筒高度 30cm，開口 23cm 以上，成功率減少

四、探討火焰高度差異對火焰熄滅效果的影響

- 1.火焰高度 7cm 的火焰熄滅時間較火焰高度 5cm 的火焰熄滅時間短

五、探討風速差異對火焰熄滅效果的影響

1. 風速增加，火焰熄滅時間減少。

捌、參考資料及其他

張慧貞（2020）·熱對流大解密－從神明數鈔機看空氣怎麼飄·科學月刊，46，46-49。

謝宇欣、張宏源、陳紹恩（2020）·炎之呼吸-火焰燃燒時間與空間、位置的關聯性探討·

科展群傑廳·取自 [https://www.ntsec.edu.tw/Science-](https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=21&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=16593)

[Content.aspx?cat=21&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=16593](https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=21&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=16593)

zfang(2017)·紙片救火-蠟燭的燃燒(助燃物與對流)·精讚部落格·取自

http://n.sfs.tw/content/index/10552?fbclid=IwAR3UnuDChESxY6nk4cK03Cy1Yj3G2HoBKD_f3Y55Us

[Z6YWwRQ7zZiW7YX9A](http://n.sfs.tw/content/index/10552?fbclid=IwAR3UnuDChESxY6nk4cK03Cy1Yj3G2HoBKD_f3Y55Us)

仿生與環境工作坊()·2015 花蓮縣全民科學週—吸管噴霧器·youtube·取自

<https://www.youtube.com/watch?v=DoxTnmmyEA>

部落格版主(2010)·哪支蠟燭先熄·小P老師的理化遊戲房·取自

[https://jjpong.blogspot.com/2010/10/blog-post.html?m=1&fbclid=IwAR2UfK-](https://jjpong.blogspot.com/2010/10/blog-post.html?m=1&fbclid=IwAR2UfK-uyqiPQ73jjO6ZzJBXm9vjhMBQSVD2XVoEcau1wGKIINEj-LzBE-c)

[uyqiPQ73jjO6ZzJBXm9vjhMBQSVD2XVoEcau1wGKIINEj-LzBE-c](https://jjpong.blogspot.com/2010/10/blog-post.html?m=1&fbclid=IwAR2UfK-uyqiPQ73jjO6ZzJBXm9vjhMBQSVD2XVoEcau1wGKIINEj-LzBE-c)