

# 2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 普高組 成果報告格式

題目名稱：探討馬來西亞農曆新年期間煙火加劇空氣污染的現象與綠色煙花的可行性

### 一、摘要

本研究探討馬來西亞農曆新年期間煙花爆竹燃放對空氣污染的影響，並調查公眾環保意識以及綠色煙花的可行性。作者收集了近五年農曆新年期間的空氣污染指數 (AQI) 數據，並通過問卷調查探討公眾環保意識。此外，作者設計並測試了綠色仙女棒，以探索永續替代方案。研究結果顯示，華人密集地區於農曆新年期間，煙花燃放會污染空氣。儘管公眾對污染問題有所認知，但環保意識仍需加強。綜合綠色仙女棒在減少顆粒物排放方面的實驗進行分析，作者發現綠色仙女棒可為推廣永續的節慶文化提供技術支撐。最後，本研究建議加強法規管控、推廣綠色煙花，以平衡節慶文化與環境永續性。

### 二、探究題目與動機

去年農曆新年，巴生夜空被煙火染成繽紛畫布，隔日卻籠罩在嗆鼻灰霧中，AQI 一度飆破 140。儘管煙火對空氣品質影響明顯，政府卻於 2023 年解除禁令，引發我們對其污染與健康風險的關注。Nasir 與 Brahmaiah (2014) 發現，節慶期間 PM<sub>2.5</sub> 與 PM<sub>10</sub> 濃度可達平日 5 倍，SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 與 CO 亦上升，此外，馮小瓊等人 (2024) 指出，高溫高濕氣候如馬來西亞，可能加劇污染滯留。此外，為完善研究，我們也發布了問卷調查。唐大鏡等人 (2022) 指出，煙花釋放之細懸浮微粒含 EC、OC 及重金屬，對肺部與心血管健康構成威脅。為此，我們希望調查民眾是否了解煙花的健康風險，以及他們對限制煙火或推動綠色煙花的態度。當我們研究解決方案時，我們發現印度 CSIR-NEERI 已開發能減少 30% 顆粒物排放的綠色煙花 (Bharat Go Green, n.d.)，但 Betha 與 Balasubramanian (2013) 指出，即便是低煙型仙女棒 (LSS) 仍會釋放大量 <50nm 金屬奈米粒子，具高肺部沉積率。因此，本研究聚焦於改良 LSS 仙女棒，嘗試結合打火棒的火花生成機制，進一步降低奈米金屬顆粒排放，提升煙火產品的環保與健康安全。

### 三、探究目的與假設

目的：

1. 評估馬來西亞在農曆新年期間煙花燃放對空氣質量的影響
2. 提出「綠色煙花」的可行性設計方案，以減少煙花與爆竹對人體健康的潛在危害。

3. 通過問卷調查瞭解馬來西亞華人對煙花爆竹的污染情況的瞭解程度與對綠色煙花的接受度。

假設：

1. 煙花燃放會污染空氣，增加 AQI。
2. 透過問卷調查了解馬來西亞華人對煙火的污染情況的了解程度與對限制煙火燃放與對綠色煙火的接受度。
3. 大部分的馬來西亞華人認為煙花爆竹會污染環境，並且支援政府對煙花燃放的限制措施以及接受綠色煙火。

#### 四、探究方法與驗證步驟

##### 一、煙火造成的空氣品質監測與分析

作者透過 aqicn.org 收集農曆新年期間與印度屠妖節的空氣污染指數 (AQI)，並對此數據進行分析。

##### (一) 馬來西亞節慶期間的空氣污染指數

表 1：2021 年至 2025 年馬來西亞四個城市新年前後三天的空氣污染數據

城市	平均日常PM2.5濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	節慶期間PM2.5峰值 濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM2.5的增加倍數	AQI平均上升	節慶當日平均標準 差	農曆初一至年初 三AQI變動趨勢
巴生	16	52.5	3.28	31.75	74	-33.75
吉隆坡	13.3	20.9	1.57	3.25	41.75	-3
檳城	11.7	28.8	2.46	5.25	47.75	-3
峇株巴轄	9.6	12.3	1.28	2.5	25.25	+1.25
中國廣州	23	55.5	2.41	45	35	-12.5
印度新德里	155	274.1	1.76	68.5	86.5	+24.25
台灣臺北	10.7	44	4.11	0.6	42.5	-15
澳洲坎培拉	30.72	38	1.23	-1.4	-2.25	+3
新加坡	7.3	12.3	1.68	0.75	-10.4	+0.2

根據圖表數據，在馬來西亞的城市中，巴生的空氣污染指數受到了最顯著的影響，平均 AQI 上升指數達到了 31.75，其平均標準差為 74。而 PM2.5 的濃度增加了 3.28 倍。

由表一的數據可見，相較於農曆新年，印度在屠妖節期間的空氣品質變化 (AQI) 更為劇烈。顯然，該節日期間煙火爆竹的燃放強度最高。當地的空氣污染問題長期存在且成因複雜，除了煙火爆竹外，工業廢氣排放也是空氣污染的重要來源。因此，相較於其他地區，印度在屠妖節後空氣品質的恢復速度較為緩慢，甚至出現惡化的情況。新德里的情況尤為嚴重，亟需採取更有效的措施來減少節慶期間的煙火燃放。

因此，我們觀察到節慶期間 PM2.5 濃度和 AQI 指數皆呈上升趨勢。這進一步顯示煙火爆竹的燃放與空氣污染存在直接關聯。

針對發達國家的數據 (臺灣臺北、澳洲坎培拉、新加坡)，觀察到發達國家的空氣

污染情況相對於發展中國家並不嚴重。這一現象很可能是因為當地對煙火燃放有嚴格的管制措施。值得注意的是，新加坡與坎培拉在農曆初一至初三 AQI 的變化趨勢呈上升，這可能與當時的大氣擴散條件（如風速、濕度、大氣穩定度）有關，使污染物容易累積而難以擴散。相較之下，臺灣臺北在發達國家中表現較為突出，其 AQI 變化標準差較大，可能與其相對寬鬆的煙火政策及較高的文化偏好有關。

總結而言，煙火爆竹燃放確實對空氣污染產生影響。在實施嚴格煙火爆竹燃放管制的國家或地區，其節慶期間空氣品質的波動幅度相對較小。因此，嚴格的法律法規與環保措施在控制煙火燃放引發的空氣污染方面，發揮著至關重要的作用。

## 二、大眾對煙花產生的環境問題認知程度調查

本研究製作了問卷，收到了 101 份有效數據。問卷採用四級量表（1=不嚴重至 4=特別嚴重）以評估受訪者對煙火污染的主觀感受，並利用 Excel 進行描述性統計分析。結果以圓餅圖形式呈現，以分析公眾對煙火污染的認知態度。

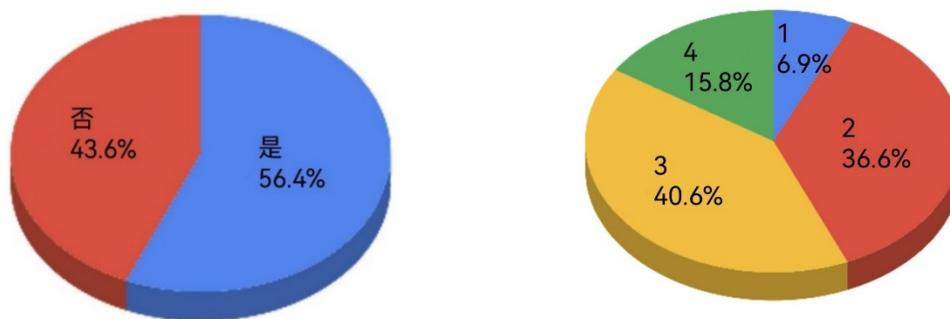


圖 1：家庭在節日期間不燃放煙火的可能性 圖 2：傳統煙火對健康造成的影響嚴重程度

根據圖 1，超過半數的受訪者贊同於節日期間不燃放煙火或爆竹。此一趨勢顯示，現代社會公眾對環境保護的關注度有所提升，同時節慶氛圍也逐漸不再依賴傳統煙火的燃放。然而，鑑於馬來西亞政府於 2023 年正式撤銷煙火禁令，在此之後煙火燃放數量增加，空氣污染程度每況愈下。

第一篇文獻中，Nasir 和 Brahmaiah (2014) 的研究指出，傳統煙火燃放會釋放大量顆粒物，從而對空氣品質產生負面影響。然而根據圖 2，受訪者對於煙火是否會顯著污染空氣仍存在一定分歧。這主要與不同居住地區的受訪者觀察到的燃放情況不同有關。

根據圖 2 的數據顯示，高達 43.5% 的受訪者仍認為煙火燃放不會對健康造成實質性威脅；與此相對的是，唐大鏡等人 (2022) 在第二篇文獻中指出，煙火爆竹集中燃放會導致空氣中 PM2.5 等細懸浮微粒濃度激增 300%–500%，並且暴露於此類污染環境中會顯著增加呼吸系統疾病的風險。這種公眾認知與客觀研究結論之間的顯著落差，凸顯

了加強環境健康科普與制定精準防控措施的重要性。

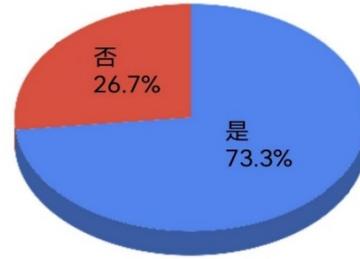
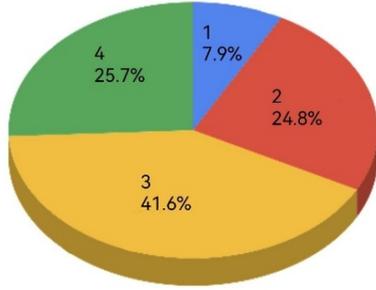


圖 3：煙火對空氣污染造成的影響嚴重程度 圖 4：大眾對政府限制煙火法規的支持度

根據圖 3，關於政府對煙火燃放的監管，有 73.3%的民眾表示支持政府實施相關限制措施，認為這能減少煙火對環境與社會造成的負面影響，但仍有 26.7%的人持反對意見。因此作者認為，在推動環境保護的同時，也應綜合考慮社會的接受程度。

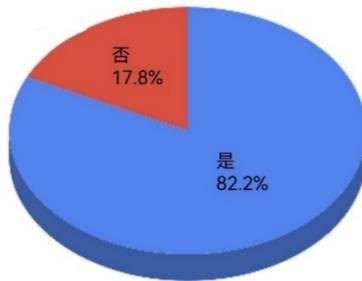


圖 5：對不當處置煙花殘留物實施更嚴厲處罰 圖 6：對綠色煙花價格的考量和比較

根據圖 5，關於煙火殘留物的不當處理問題，受訪者對加重處罰的接受程度與前述對法規的支持度類似。作者認為，政策制定應在環境保護與公眾接受度之間尋求平衡。煙火殘留物不僅危害健康，也會污染環境。為此，作者設計出可重複使用且更安全的綠色煙火，只需更換點火棒即可。

根據圖 6，多數受訪者選擇價格較低的綠色煙火，即使其效果可能不如傳統煙火，顯示目前大多數人已具備環保意識，並且逐漸看好作者設計的綠色仙女棒的潛力。但在傳統煙火與高價綠色煙火的比較中也可以看出，傳統煙火對營造節慶氛圍仍具有顯著作用。針對此問題的延伸回答多指出，環保煙火雖能降低污染，但傳統文化習俗對消費行為仍具深遠影響。因此，本研究亦探索替代方案，如推廣更具環保性的創新型煙火或其他形式的節慶活動，以在保護環境的同時滿足民眾的節日需求。

綜上所述，雖然人民具有環保意識，馬來西亞的空氣污染情況仍相對嚴重，主要原因之一是對煙火爆竹燃放的管制較為寬鬆。相對而言，部分國家已立法規範煙火的購

買數量、燃放地點、燃放時間等，民眾本身也具備保護意識，因此在節慶期間空氣污染指數並無明顯波動。

### 三、綠色煙花

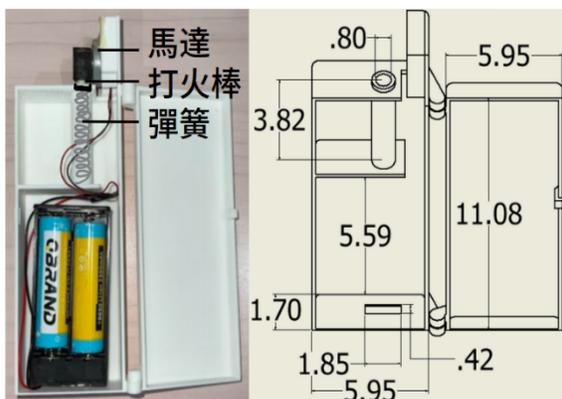


圖 7：綠色仙女棒的內部構造

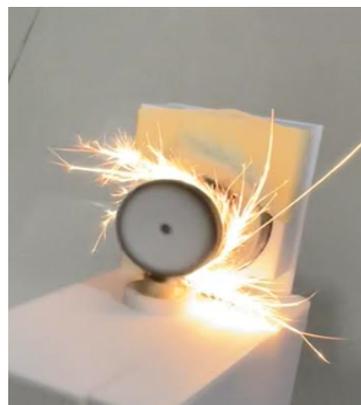


圖 8：綠色仙女棒產生的火花

為驗證綠色仙女棒在減少空氣污染方面的有效性，本研究比較了傳統仙女棒與綠色仙女棒燃燒前後的空氣粉塵濃度變化。實驗在容積為  $0.003 \text{ m}^3$  的箱體內進行，箱底設有通氣孔以確保空氣流通，並在箱體上方  $9\text{cm}$  處安裝 Arduino GP2y1010 感測器，避免火花直接接觸感測器而造成損壞。為確保數據可靠，數據採集分為兩階段：第一是在燃燒前 5 分鐘內採集空氣粉塵濃度基線值；第二是在 30 秒燃燒過程中監測污染物濃度的變化。最終透過對比分析驗證綠色仙女棒在減少空氣污染方面的優勢。

實驗	測試前 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	環保仙女棒 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	傳統仙女棒 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
第一次	101.13	123.07	587.09
第二次	102.47	122.45	602.03
第三次	118.89	139.67	601.76
第四次	202.81	205.83	599.42
第五次	186.72	197.25	620.85

表 2：綠色仙女棒和傳統仙女棒燃放前後粉塵密度

在所有實驗中，傳統仙女棒燃放後  $\text{PM}_{2.5}$  濃度明顯增加，增量範圍約為  $397\text{--}500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，百分比增幅為  $196\%\text{--}487\%$ 。相比之下，綠色仙女棒的濃度增加範圍僅為  $3.02\text{--}21.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，百分比增幅為  $1.49\%\text{--}21.69\%$ 。

綠色仙女棒釋放較少粉塵的主要原因在於其不依賴燃料與氧化劑。傳統仙女棒通常需靠燃料燃燒，而不完全燃燒會釋放碳微粒與一氧化碳；同時所使用的氧化劑在反應中會生成固體粒子，進一步增加粉塵。而綠色仙女棒則僅透過摩擦產生熱能，不需高溫即可使金屬發光產生火花，從根本上避免上述問題。因此，綠色仙女棒能有效減少煙塵污染並降低健康風險。

### 五、結論與生活應用

本研究證實煙花燃放顯著加劇空氣污染，並揭示環保監管薄弱現狀。雖然禁放限放政策在部分國家有效，但全面禁止煙花可能面臨一定的阻力。因此，作者建議採用更溫和的方式，如限定燃放時間、區域，並推廣環保煙花。調查顯示，多數民眾支持政府限制煙花燃放，認可其環保效益，且對環保煙花接受度較高，但價格仍是關鍵影響因素。值得注意的是，43.5%的受訪者低估了煙花對健康的影響，凸顯加強公眾宣傳的必要性。此外，實驗表明，作者設計的「綠色仙女棒」能顯著減少有害顆粒物和重金屬排放，在環保方面具有明顯的潛力。最後，政府應加大綠色煙花的推廣力度，以平衡節慶文化與環境保護。

### 參考資料

1. 賴文鳳 (2025 年 1 月 29 日)。巴生空氣污染指數今午破百，達到不健康水平。《東方日報》。取自 <https://www.orientaldaily.com.my/news/central/2025/01/29/709105>
2. 唐大鏡，孫成瑤，陳鳳格，等 (2022)。我國大氣 PM2.5 化學成分對人群健康影響的研究進展。《環境與職業醫學，39》(8)，942-948。取自 <https://doi.org/10.11836/JEOM22008>
3. Bharat Go Green. (n.d.). What are green crackers? Bharat Go Green. Retrieved February 22, 2025. Retrieved from <https://bharatgogreen.com/green-crackers/>
4. ECOFRIENDLY (GREEN) FIRECRACKERS VS OLD FIRECRACKERS AND THEIR HEALTH EFFECTS: A SYSTEMIC REVIEW. (n.d.). Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/365126789\\_ECOFRIENDLY\\_GREEN\\_FIRECRACKERS\\_VS\\_OLD\\_FIRECRACKERS\\_AND\\_THEIR\\_HEALTH\\_EFFECTS\\_A\\_SYSTEMIC\\_REVIEW](https://www.researchgate.net/publication/365126789_ECOFRIENDLY_GREEN_FIRECRACKERS_VS_OLD_FIRECRACKERS_AND_THEIR_HEALTH_EFFECTS_A_SYSTEMIC_REVIEW)
5. Nasir, U. P., & Brahmaiah, D. (2015). Impact of fireworks on ambient air quality: A case study. International Journal of Environmental Science and Technology, 12, 1379-1386. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0518-y>
6. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (2014). World economic situation and prospects 2014: Country classification. United Nations. Retrieved from [https://www.un.org/en/development/desa/policy/wesp/wesp\\_current/2014wesp\\_country\\_classification.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/policy/wesp/wesp_current/2014wesp_country_classification.pdf)
7. U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). AQI calculator: Convert PM<sub>2.5</sub> concentrations to AQI. AirNow. Retrieved from <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-calculator/>