

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生活與應用科學科(二)

第一名

082931

這「炭」有「種」- 自製無煙速燃炭粉餅結合火  
種功能的可行性

學校名稱：臺中市私立明道普霖斯頓國民小學

作者：  小五 吳睿同  小四 陳品伊  小四 李旻叡  小五 吳禹潔	指導老師：  王懋勳  劉原旭
---	-----------------------------

關鍵詞：微量煙霧測量器、無煙炭粉餅、吸附酒精速  
燃

# 得獎感言

## 用科學方法和探究精神，為人們開啟【無煙速燃】新生活！

當主持人宣布「第一名，082931，明道普霖斯頓雙語小學」時，我們四個人都感到無比的喜悅！回想起這一年的辛苦終於值得了，所有的挫折與辛苦都在頒獎的這一刻被解放。這個時刻讓我們深刻體會到努力和付出的價值，這份成就是我們團隊共同努力的結晶。

剛開始決定題目時，正值中秋節，我們都遇到烤肉的炭火不容易點燃的問題，所以不約而同想解決這樣的問題，於是題目的原型出現了：自製無煙速燃的木炭。從一開始的校內科展，到臺中市科展比賽，再到全國科展競賽，這一路上著實讓我深深愛上科學實驗與探究，面對問題時更能激發大家克服困難的鬥志。這整個過程有辛苦、有沮喪、更有滿滿的成就感，身為科展比賽的一份子，讓我很驕傲。

記得有一次，我們正在進行有關微量煙霧測量器的實驗，當時我們還未意識到需要加入濕抹布，結果我們的水管過熱彎曲了，只好重新開始。這次的挫折讓我們明白了重要的教訓，在未來的實驗中要更謹慎，確保每個細節都考慮周全，以避免類似的錯誤。

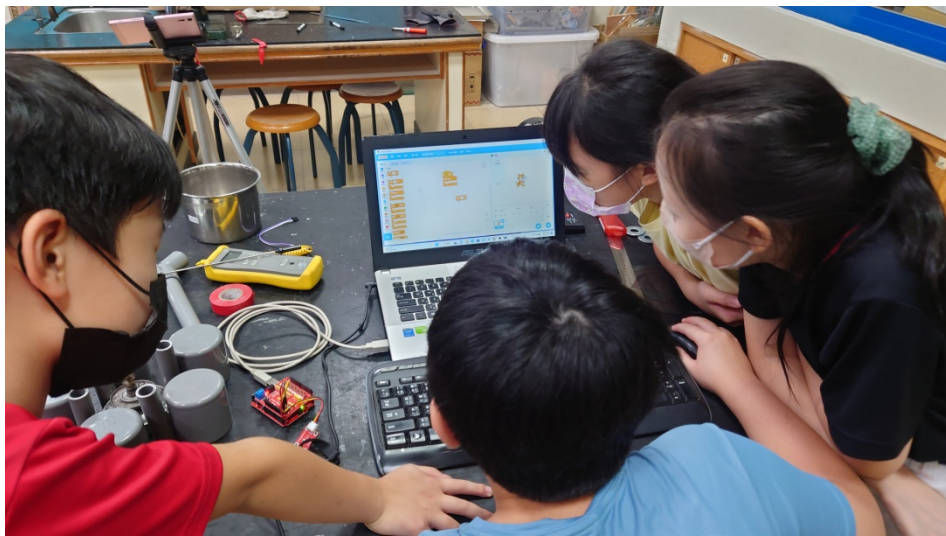
由於這次全國賽恢復以往的比賽方式，跟上次面臨的線上比賽是截然不同的。面臨新的挑戰與學習，我們就像是一群新聚集的魚群，一同克服每個方向來臨的挑戰，不斷累積合作默契，最終準備好征服全國賽！

真的要謝謝老師、隊友和自己，我們和老師都吃了一些苦頭才慢慢培養出最佳團體默契，但也度過了許多愉快的時光。除了用我們自製的炭粉餅來烤肉真的無煙速燃又很好吃之外，也學到了很多科學知識、工具使用，更讓我們知道如何好好分配時間完成實驗。

全國科展為我們帶來了許多寶貴的回憶，我們會一直帶著學習到的能力與探究學問的精神面對未來所有的挑戰，也希望未來國中或高中能繼續在科展的道路上走下去！



每次自己製作木炭，都要穿戴好全副的安全配備，真的超熱！



要學會使用Scratch結合Arduino，才能讓【微量煙霧測量器】自動記錄。



參加科展可以學到安全的使用電動工具，真的又快又方便！

# 這「炭」有「種」 - 自製無煙速燃炭粉餅結合火種功能的可行性

## 摘要

本研究探討**製作無煙高溫速燃炭粉餅的條件及方法**，解決使用木炭遇到**燃燒不易、初期冒煙、化學助燃劑影響食安**等問題。

為了把木炭燃燒過程數據化、找到製炭最佳條件，我們**自製【製炭爐】、【製炭完成顯示器】、【微量煙霧測量器】、【炭粉餅擠壓成型機】**；設計**【木炭測量流程】、【蒸氣加熱法】、【堅固度拉力測試法】**。

實驗發現：700°C 以上製炭、孔洞多，燃燒時較無煙、溫度高、灰份少。木炭磨成粉有速燃效果，粗粉末溫度高、細粉末維持高溫時間長。不同木材炭化磨成粉後被「均質化」，燃燒情形差異不大。添加樹薯粉可讓炭粉餅耐重 2kg，但發煙值只增加 3.7%。

炭粉餅能吸附 3.45g 酒精自燃**取代火種，能維持 140°C 以上 50 分鐘，達到方便、無煙、速燃、高溫的目標！**

## 壹、研究動機

木炭是人類不可或缺的一種燃料，有少煙、無明火、高熱等優點。但要點燃木炭是不太容易的事，一開始要堆疊木炭會把手弄得很黑，而且火種本身也會冒出大量的煙，有時還要另外準備像是噴火槍的工具點燃木炭。

市面上有出現一點火就自燃的速燃炭，但是調查發現裡面是加了化學助燃劑，這樣的速燃炭在一開始燃燒時會有難聞的煙，而且燒烤食物存在食安問題。所以我們想自己製作一種能速燃、自燃、無煙的方便木炭，讓大家不用弄髒手，輕鬆點火就可以享受烤肉的樂趣！

★ 與課程相關單元：**【燃燒和生鏽】、【資訊課 Scratch】、【水溶液酸鹼】、【簡單機械】**

## 貳、研究目的

**【研究一】** 設計製炭工具和測量煙霧的工具及方法

一、**【製炭爐】**的設計，盡可能讓每次製炭環境相同

二、**設計【製炭完成顯示器】**判斷何時製炭完成以及用電阻值測試是否真的製作出木炭

三、**【微量煙霧測量器】**的設計，測量木炭燃燒時是否產生煙

四、設計**【木炭測量流程】**和測量的項目：灰分比例、發煙量、溫度變化、燃燒流程

**【研究二】** 市售五種木炭的測試與分析：圓形速燃炭、方形速燃炭、環保精製炭、環保椰殼炭、紅樹林炭

**【研究三】** 不同製炭溫度是否影響燃燒情形

**【研究四】** 木炭上不同孔洞數量是否影響燃燒情形

**【研究五】** 不同種類木頭製作木炭是否影響燃燒情形

**【研究六】** 將木炭製成炭粉餅進行燃燒比較：

一、**【炭粉餅擠壓成型機】**的設計和**【炭粉餅】**的製作流程

二、不同黏著劑比例對於堅固度與燃燒情形的比較-設計**【堅固度拉力測試法】**

三、不同種類木頭製炭是否影響炭粉餅燃燒情形

四、不同木炭粉顆粒大小是否影響炭粉餅燃燒情形

**【研究七】** 自製炭粉餅和市售木炭比較與炭粉餅吸入酒精當成火種的燃燒情形

## 參、研究設備及器材

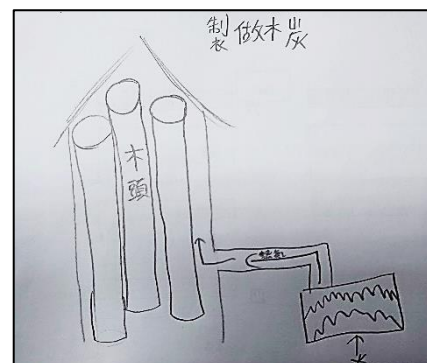
製作工具	電鑽、螺絲起子、線鋸機、熱熔槍、直角尺
製炭爐	不鏽鋼水桶、水泥、耐火土、不鏽鋼管
製炭完成顯示器	針筒、單向氣閥、不鏽鋼吸管、玻璃管、塑膠管、廣用指示劑
微量煙霧測量器	抽油煙機風管、金屬漏斗、PVC 水管、Arduino 主板、光敏電阻
炭粉餅擠壓成型機	木板、木條、角木、螺絲釘、螺帽、PVC 水管、直角鐵
製炭材料	相思木、龍眼木、小葉欖仁木、樹薯粉、水

## 肆、研究過程與方法

### 一、關於製作木炭的理論：

#### 1. 製作木炭步驟：【引用自：認識木炭。台灣學校網界博覽會。】


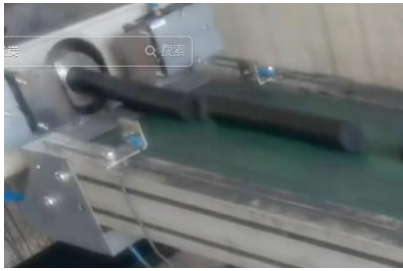

- (1). 採集木料：大部分使用龍眼木、相思木，燒出來的木炭較結實。
- (2). 入窯：把木材切成適當大小後，放進窯中堆疊。
- (3). 封窯：用磚頭和泥巴把洞口封死，只留頂端排煙口和側面供火口。
- (4). 供火加熱：在窯的旁邊有一個燒柴加熱的地方，熱氣會從供火口進入密封的窯內，讓木材開始進行炭化。這時候窯的周圍不可有空隙讓氧氣進入，否則木材會燒光。
- (5). 開窯：藉由有經驗的老師傅判斷煙的顏色、味道，決定何時停止加熱。接著再冷卻 5~6 週，才能開窯把木炭取出。



#### 2. 木材炭化的原理：

炭化是指含碳元素的原料在「缺氧」的環境下加熱，分解成一氧化碳、氫氣、甲烷、二氧化碳、焦油、醋酸、木炭等物質。木質纖維材料加熱後，當溫度為 160°C~450°C 時為熱裂解的過程；當溫度為 300°C~800°C 時為炭化的過程。

#### 3. 不同製炭的方法：【引用自：木炭種類介紹。天祥木炭工廠。】

		
條炭：用龍眼木、荔枝木、相思木、紅樹林木等木材，放進窯中缺氧加熱炭化。因木頭原本的物質被加熱分解出來，所以木炭本身裂紋很多。	型炭（機製炭）：把木炭塊打碎成粉末，添加黏著劑和水分，攪拌均勻後用機器擠壓成型。最後再把水分烤乾，就變成密度很高的碳粉塊。	炭精（機製炭）：把木屑用機器先擠壓成型，再把這些成型的木屑塊放進窯中缺氧加熱炭化，就變成密度很高的碳粉塊。

## 二、歷屆研究木炭作品探討與本研究【自製無煙速燃炭粉餅】特色

作品名稱	研究大綱	優點	缺點
全國 45 屆 「炭」索秘密	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 把市售木炭磨成粉，混合黏著劑、硝酸鉀助燃劑，探討不同比例對燃燒的影響。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 嘗試尋找不同配方比例，測試燃燒效果。</li> <li>● 用水溫比較木炭燃燒時的溫度。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 直接使用市售木炭。實驗過程嚴謹度要增加。</li> <li>● 對於燃燒的觀察只有主觀敘述，無數字紀錄</li> <li>● 成品發煙量很大，並無改良市售之缺點。</li> </ul>
全國 57 屆 黑色奇蹟－探討茭白筍殼碳化之功用	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 把廢棄茭白筍殼製成活性碳。</li> <li>● 研究發現對吸水、吸附染料、硝酸鹽效果良好。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 結合生活經驗並追求實用。</li> <li>● 兼具環保和應用，符合綠能減廢精神。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 只用試管和酒精燈進行乾餾碳化，無法得知碳化環境資料。</li> <li>● 評審建議自製檢測吸附能力的方法與工具。</li> </ul>
全國 57 屆 黃金變黑金－碳化稻殼對農作的效益	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 將稻殼進行低氧燃燒形成「碳化稻殼」。</li> <li>● 觀察青江菜生長了解其對農作物影響。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 此研究具有應用性和鄉土性。</li> <li>● 對於土壤和青江菜進行仔細測量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 只用鐵桶和木炭對稻殼製炭，無控制環境</li> <li>● 沒有對製成的稻殼炭進行測試是否成炭。</li> </ul>
全國 58 屆 名偵「炭」 「殼」南－炭化稻殼的秘密	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 自組裝「火箭爐」克服「碳化稻殼」耗時、費力、產量低的問題</li> <li>● 將炭化稻殼進行分析，可改善土壤氮磷鉀、電導度及 pH 值。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 能透過系統性收集數據及分析。</li> <li>● 自製稻殼炭化爐控制製炭環境。</li> <li>● 利用導電度測量碳化程度。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 並無說明製炭爐製炭溫度是否均勻。</li> <li>● 生物炭題材已出現多次，炭化稻殼是否有隱含之其他效能。</li> </ul>
全國 58 屆 讚「炭」連連、 比「筆」皆是	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 瞭解哪些樹枝做成的炭筆最佳。</li> <li>● 了解炭筆製作的方法、因素、比較炭筆的效果及實用性。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 能使用環境常見植物進行製炭。</li> <li>● 能設計方法對自製炭筆與市售炭筆進行比較。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 只用鐵罐燒柴製炭，無控制製炭溫度、環境。</li> <li>● 無分析市售炭筆製作方式與其差異的關聯。</li> <li>● 建議分析找出成功製成炭筆的關鍵。</li> </ul>
全國 61 屆 碳為觀止- 回收式生物炭 吸附光解膠囊	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 將花生菱殼、雞骨龍蝦等製成生物炭。</li> <li>● 製成回收式生物炭球研究其吸附能力。</li> </ul>	<p><b>【優點】評審：作品完整、科學精神令人讚賞！</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 建立標準碳化程序，溫控電爐製炭。</li> <li>● 建立吸附能力 SOP 來探討最佳數據。</li> <li>● 針對處理方式進行改良及分析，並對吸附能力提昇的可能因素進行探討。</li> </ul>	
全國 61 屆 炭為觀止- 生物炭改良土壤 成效初探	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 土壤加入生物炭保水及排水性的差異。</li> <li>● 土壤加入生物炭後，對作物成長的影響。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 解決風倒木問題</li> <li>● 實驗內容豐富</li> <li>● 就地取材解決問題值得鼓勵</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 生物炭對植物生長的影響非新興研究。</li> <li>● 未說明如何製炭</li> <li>● 未探討不同樹種所製成的生物炭性質。</li> <li>● 實驗的嚴謹度需加強</li> </ul>

<p>我們的作品 這「炭」有「種」 - 自製無煙速燃炭粉餅結合火種功能的可行性</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 自製工具【製炭爐】、【製炭完成顯示器】、【微量煙霧測量器】</li> <li>● 設計木炭測量項目【灰分比例】【發煙量】【溫度變化】【燃燒流程】</li> <li>● 市售木炭分析。</li> <li>● 分析不同製炭溫度、孔洞數量、木頭種類對木炭燃燒的影響。</li> <li>● 製作炭粉餅進行分析：黏著劑比例、木炭種類、炭粉顆粒。</li> <li>● 炭粉餅淋上酒精自燃的燃燒情形。</li> </ul>	<p>本研究特色</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 自己製作「製炭爐」，可以控制火力溫度。</li> <li>● 利用製炭時會產生木醋液的特性，測量製炭冒的煙的酸鹼性，判斷木炭是否製作完成。</li> <li>● 用電阻值判斷是否製炭成功。</li> <li>● 自己設計「微量煙霧測量器」，把煙量數據化。</li> <li>● 設計「木炭測量項目和流程」，對木炭燃燒進行公平、科學的分析。</li> <li>● 設計【炭粉餅擠壓成型機】。</li> <li>● 炭粉+樹薯粉擠壓成型，找到用「蒸氣加熱法」讓澱粉產生黏性，成功製成炭粉餅。</li> <li>● 設計「堅固度拉力測試法」，找出炭粉與樹薯粉的最佳比例。</li> <li>● 炭粉餅燃燒無煙、持續高溫的條件：炭粉黏著劑比例 25：1、700°C以上製成的炭粉、炭粉顆粒小於 0.15mm、炭粉餅孔洞多。</li> <li>● 炭粉餅淋上酒精可以自燃，成功達成木炭無煙、速燃、高溫、自燃、方便不髒手！</li> </ul>
---	---	--

### 三、實驗安全注意事項

		
<p>【製炭爐】製炭相關實驗，人員配戴護目鏡、長袖、隔熱手套。所有煙霧之實驗，會全程配戴能阻隔煙霧微粒的口罩，並保持通風。</p>		<p>瓦斯噴槍使用長連接管，讓瓦斯瓶距離火焰出口遠一點，避免溫度過高。而且每次製炭均有準備滅火器。</p>
		
<p>研磨木炭粉末時，嚴格禁止所有火源，避免發生「粉塵燃燒」。烘烤【炭粉餅】時，烤箱定溫 80°C，而且此時【炭粉餅】才剛用蒸氣加熱完，處於濕潤而且被澱粉黏成一大塊，不會有木炭粉塵飄散的情形！</p>		

#### 四、研究架構

## 可當火種的無煙高溫速燃炭粉餅

### 文獻資料探討

1. 過去研究資料：無作品進行數據研究、改良烤肉用木炭。
2. 現在木炭問題：木炭生火不易、火種冒煙量大、速燃炭添加助燃劑冒煙食安問題。

### 設計、自製【製炭、測量工具及方法】

1. 製炭爐：可控制溫度，最高可達 750~800°C。
2. 製炭完成顯示器：測量製炭冒的煙的酸鹼性，判斷木炭是否製作完成。
3. 微量煙霧測量器：結合光敏電阻和 Scratch 自動收集數據，把煙量數據化。
4. 炭粉餅擠壓成型機：利用第二類槓桿放大擠壓力量。
5. 堅固度拉力測試法：設計水管口特殊擺放位置，測量最大耐重量。

創新設計

### 制定木炭測量的項目

1. 灰分比例：燒完後剩下的東西，越少越好。
2. 發煙量：數值越大煙越多。分兩階段測量：外火加熱、自燃。
3. 溫度變化：用 K-Type 溫度計測量木炭每分鐘燃燒的溫度。
4. 設計木炭燃燒實驗流程。用酒精燈取代傳統火種避免干擾。

### 找出製炭最佳條件

1. 700°C 以上製炭：煙少、溫高、灰分少。
2. 中間孔洞多較佳：溫度高、燃燒快。
3. 不同木頭製炭差異：發現問題！

#### 【遇到問題】

龍眼、相思木炭密度較高，無法完全燒完。

#### 【解決方法】

木炭磨成粉，製作「炭粉餅」

### 找出【無煙高溫速燃炭粉餅】最佳條件

1. 木頭選擇：龍眼、相思、小葉欖仁製成炭粉餅，三者燃燒差異不大，可混合使用。
2. 炭粉顆粒：【小於 0.15mm：高溫時間長】【0.25~0.425mm：最高溫可到 317°C】。
3. 黏著劑比例：【碳粉：樹薯粉 = 25：1】，可耐重 2 公斤。

### 【炭粉餅】吸附酒精 取代火種

燃燒酒精的明火熄滅後，炭粉餅可持續自燃，也能讓其他炭粉餅燃燒。

### 【炭粉餅】與市售木炭比較

與市售五種木炭進行燃燒比較：

1. 實驗結果：發煙最少、維持 140°C 以上最久、最高溫最高、灰分最少。
2. 達成目標：可當火種的自製無煙高溫速燃炭粉餅



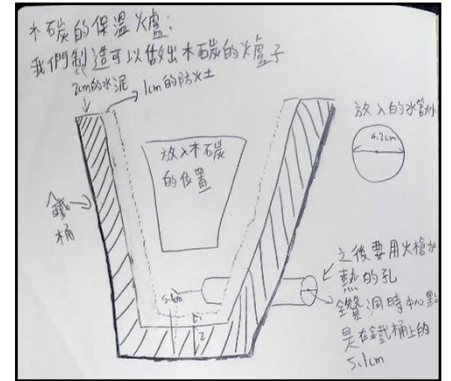
## 伍、研究結果與討論

### 【研究一】設計製炭工具和測量煙霧的工具及方法

#### 一、【製炭爐】的設計，盡可能讓每次製炭環境相同

##### 1. 設計討論

- (1). 木炭的製作方式就是對木材進行「乾餾」，也就是把木材隔絕空氣加熱，讓它分解，留下我們所需要純度較高的碳的成分。
- (2). 查詢以前科展資料發現，國高中研究活性碳時大多使用定溫的烘箱，價格昂貴；而國小部分是使用枯樹枝加熱密閉鐵桶製炭，沒有固定溫度，也沒有標準流程方法知道什麼時候製炭完成。
- (3). 所以我們想自製【製炭爐】，用鐵桶、水泥、耐高溫水泥當作隔熱體，使用瓦斯噴槍當作熱源加熱，**可以用瓦斯開關旋鈕調整火力大小，控制溫度。**



##### 2. 【製炭爐】的製作過程



- 不鏽鋼水桶上鑽洞，預備要放噴火槍的孔洞。
- 水桶中間放塑膠垃圾桶，把周圍和底部補滿水泥。而且填滿後要用木棍輕敲不鏽鋼水桶，讓裡面少量氣泡浮上來，凝固後結構比較紮實。



因為塑膠垃圾桶是中空的有浮力會浮起來，所以上方要壓重物，而且我們有用水平儀，注意讓塑膠垃圾桶保持水平。

放置 2 天後，拆掉塑膠垃圾桶，接著再繼續乾燥 1 個禮拜。



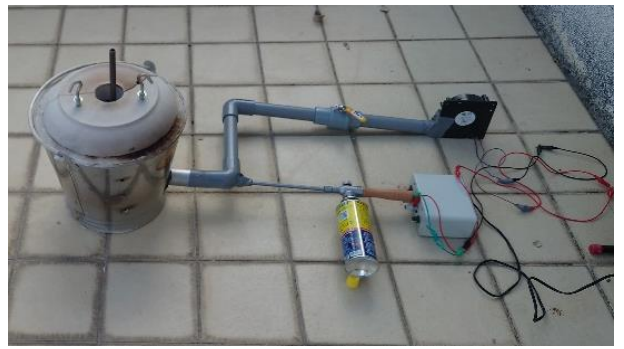
因為水泥不耐燒，所以裡面要再覆蓋 1 公分的防火土，耐熱 1200 度。



再用臉盆當模型，製作中間有洞的上蓋，鎖上鉤子，【製炭爐】製作完成！

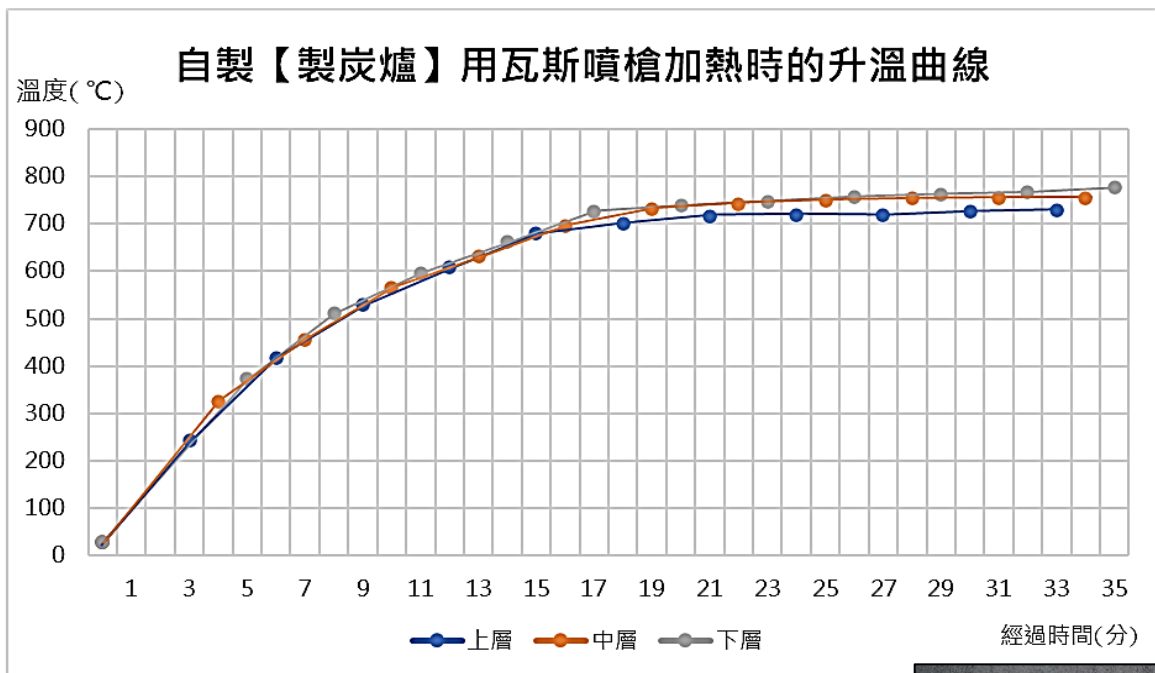


**發現問題！** 測試時蓋上水泥蓋子，瓦斯噴槍的火就會熄滅。原來有了可燃物瓦斯，還需要助燃物氧氣！



最後我們加裝了一組直立式風扇，燃燒瓦斯的時候，也同時把新鮮空氣吹進去，解決問題！

### 3. 【製炭爐】的升溫曲線及整體空間溫度測量



- (1). 因為只有一支溫度計，所以每隔一分鐘測量一層溫度。
- (2). 上中下層在 17 分鐘後都可以到達 700°C 以上。
- (3). 上中下層的溫度在 15 分鐘後，誤差都在 50°C 以內。



## 二、設計【製炭完成顯示器】判斷何時製炭完成以及用電阻值測試是否真的製作出木炭

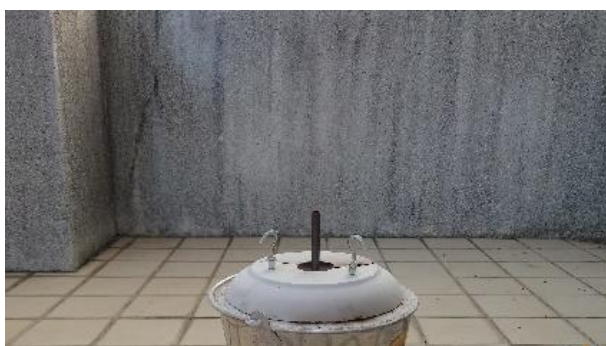
### 1. 觀察【製炭爐】製炭時的過程



木材開始炭化時，會先冒煙和放出水氣。



等水氣沒了，冒出的煙可以燃燒，因為含有氫氣、一氧化碳、甲烷。



查詢資料說，等到冒出的煙不能燃燒，就代表炭化完成。

- **發現問題！**我們最後嘗試把冒出的煙點火，有時候還是可以燒起來，斷斷續續的，所以**沒辦法很確定什麼時候炭化完成**。
- 我們發現**製炭時的煙含有一種成分：醋酸，俗稱木醋液**。而且製炭的老闆說，他會把製炭時冒的煙用鐵片擋起來，這樣「木醋液」就會冷卻流到收集筒。
- 所以我們決定**用冒出的煙測酸鹼性，推測如果測不出酸性就是炭化完成**。

### 2. 使用【廣用試紙】測試製炭冒的煙的酸鹼性，判斷製炭是否完成



用沾了蒸餾水的廣用試紙測試一開始的煙，真的**變成代表酸性的黃色**。表示**製炭時的煙含有酸性物質**。

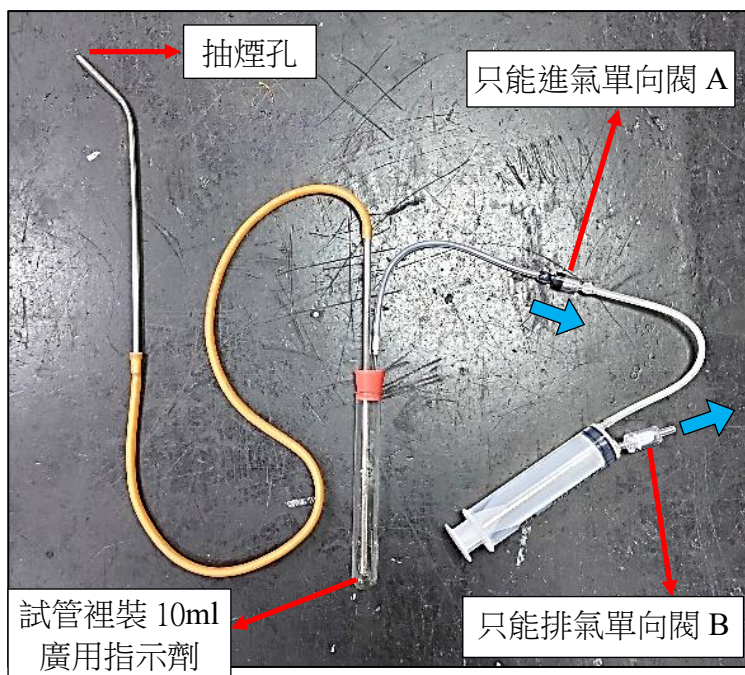


等製炭時的煙最後燃燒斷斷續續的、且明顯變小時再去測，結果是**變成藍綠色，代表不是酸性！此時的煙不含酸性物質**。

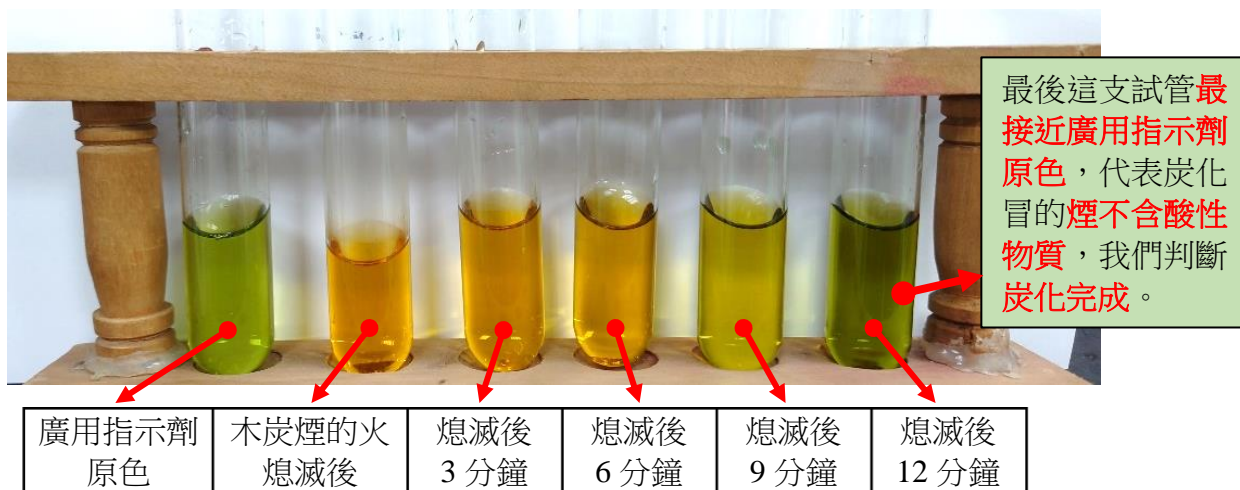
#### 【發現問題】

- (1). 在測試過程中發現，因為製炭時冒的煙很高溫而且有燃燒的可能性，**廣用試紙有可能會燒起來**，而且會沾上煙裡面的成分焦油。
- (2). 所以我們設計了**【製炭完成顯示器】**，用抽氣裝置和廣用指示劑，**測試炭化時產生的煙，呈現中性就是炭化完成**。

### 3. 【製炭完成顯示器】的設計與使用方法

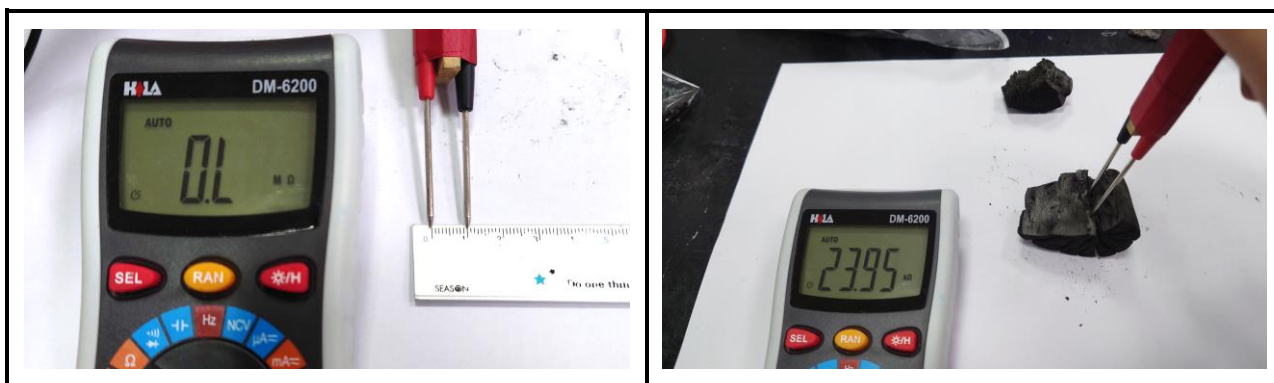


- (1). 拉開針筒，會抽走試管的空氣，造成試管內氣壓比較低，**抽煙孔就會把炭化冒的煙抽進試管的廣用指示劑中。**
- (2). 當推擠針筒，針筒內空氣會從單向閥 B 排出氣體，單向閥 A 會緊閉，不會影響試管。
- (3). 重複拉開針筒，就可以再次從抽煙孔抽進炭化時的煙。
- (4). **當燃燒煙的火焰自然熄滅後，每隔 3 分鐘抽取煙測試，直到測出中性就關火，完成炭化。**



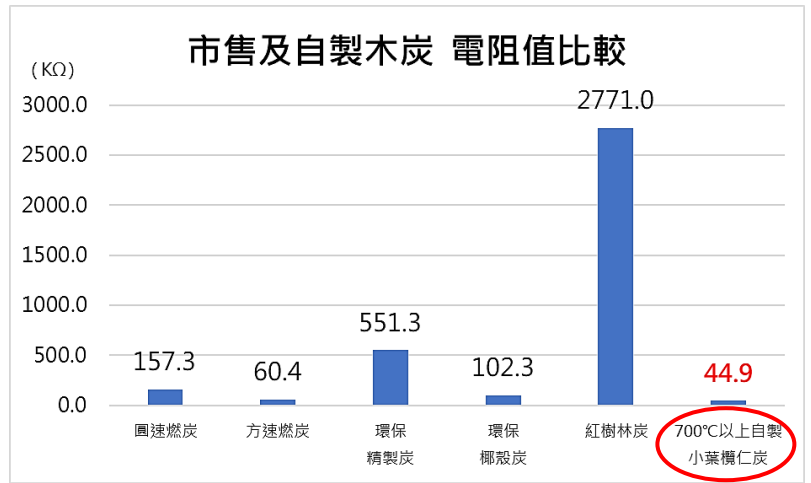
### 4. 用電阻值測試是否真的製作出木炭

炭是一種可以導電的物質，我們從政府發布的「優良農產品林產品項目驗證基準」中查到：「**使用電阻計測定**木炭中段橫切面中心位置或竹炭表面之單位長度電阻值，表示原料木材炭化之程度，**數值愈小代表精煉度愈高，可用以表示木炭之品質**」



把三用電表探針固定距離 1 公分。把要測量的木炭折斷，測量中心部分的電阻值。每種木炭測量 5 根，取平均。

實驗數據證明，「700°C以上自製小葉欖仁炭」電阻值比其他市售木炭還要低，代表用我們自製【製炭爐】可以成功製作出木炭！



### 三、【微量煙霧測量器】的設計，測量木炭燃燒時是否產生煙

#### 1. 利用市售「火災煙霧偵測器」- 失敗

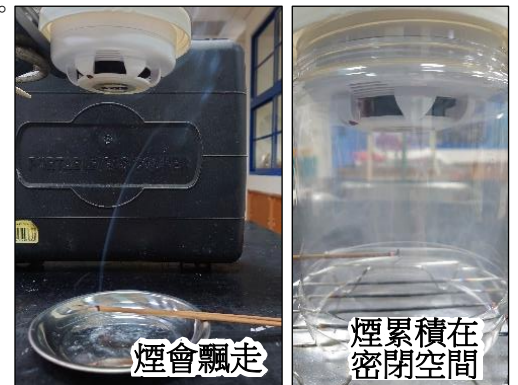
我們本來想用偵測火災的「煙霧偵測器」，但是用線香先做測試時發現有兩個缺點（因為觀察發現木炭生火的煙和線香的煙很相似）：

- (1). 就算用一把線香產生很多煙，都無法有效觸發警報，煙會飄走。因為火災發生時濃煙會一直不斷累積在室內觸發警報。
- (2). 原本我們有想把煙累積在密閉的地方，用觸發警報的秒數來當作煙霧大小的測量。但是這樣的環境跟我們升火燒木炭在開放環境不同。而且煙會一直往下累積，可能會影響到燃燒情形，造成實驗不準確。

線香燃燒多久時間後 煙霧警報器會響

	1 支香	2 支香	3 支香
第一次實驗	1 分 49 秒	1 分 08 秒	20 秒 95
第二次實驗	1 分 18 秒	59 秒 63	32 秒 91
第三次實驗	2 分 55 秒	1 分 06 秒	39 秒 02

實驗數據不準確！



#### 2. 利用煙霧遮住「照度計」的原理，用「亮度數字」判斷煙霧量 - 失敗

因為「火災煙霧偵測器」的失敗，我們討論了煙霧測量器的設計要達成以下條件：

- (1). 燃燒木炭後產生的煙霧和熱氣是能一直流動的，不是密閉空間。
- (2). 希望能夠越精細越好，能區別出不同的煙量。

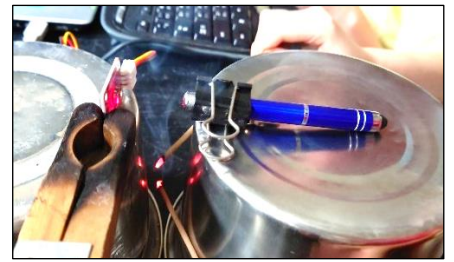
所以我們想到用「照度計」，因為煙霧可能會阻擋光線，照度計測到的數字就會改變。簡易測試結果發現，照度計的數字變動很小，只有±3 而已，敏感度不夠。



3. 利用 Arduino 的光敏電阻搭配 Scratch 收集數據 - **成功**

(1). 簡單測試用 Arduino 光敏電阻的可行性

後來我們想到用 Arduino 電腦課有介紹過的**光敏電阻**，會因為光照的強度改變電阻值。再搭配我們學過的**Scratch 收集數據**，讓煙經過的時候造成數字的變化。因為光敏電阻面積較小，我們使用

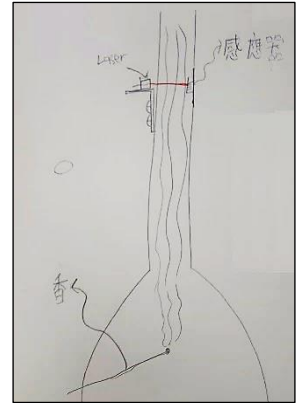


簡報雷射筆當作光源。簡易**測試結果發現當煙霧經過，數值真的會有變化，而且只用一根線香的煙！**

**光強→光敏電阻數值較大；光弱→光敏電阻數值較小**

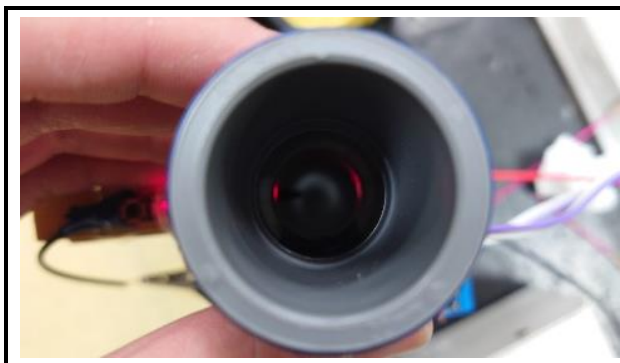
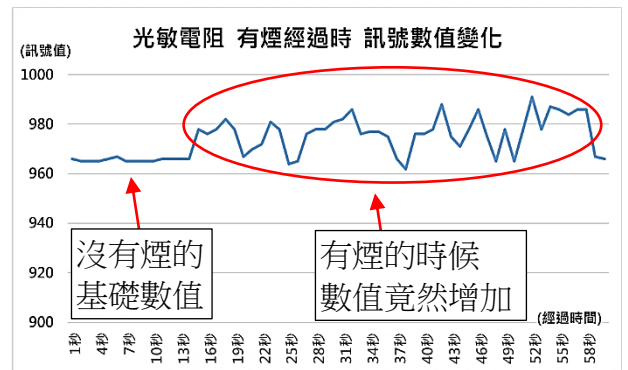
(2). 解決煙會亂流動的問題

但是因為空間太大，煙還是會亂飄，所以我們要設計空氣可以流動，但是要縮小範圍的實驗環境。所以決定用**金屬漏斗**收集菸，**上面再接 PVC 水管**，讓煙進入小範圍的**PVC 水管**中，**通過雷射筆和光敏電阻之間**。

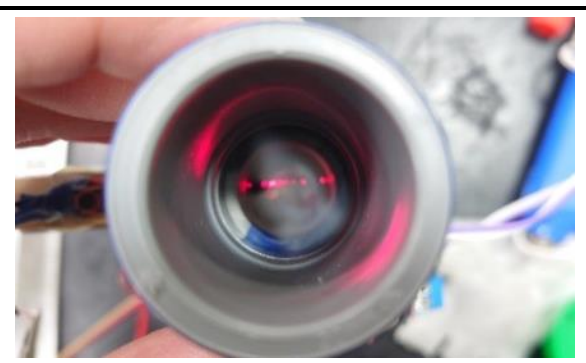


(3). **發現問題！**

我們點一根線香進行測試，從數據圖可以發現，放入線香產生煙霧後，**有煙霧反而讓光變強！**打開管子後發現，**原因竟然是我們四年級學過的情形：雷射光打到煙霧顆粒產生散射，讓光量增加！**

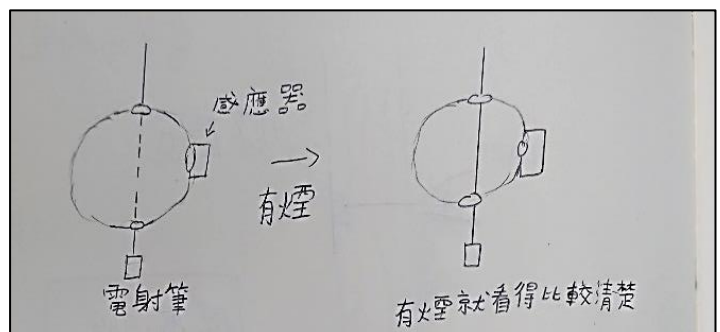


無煙時，看不見管中雷射光的線。

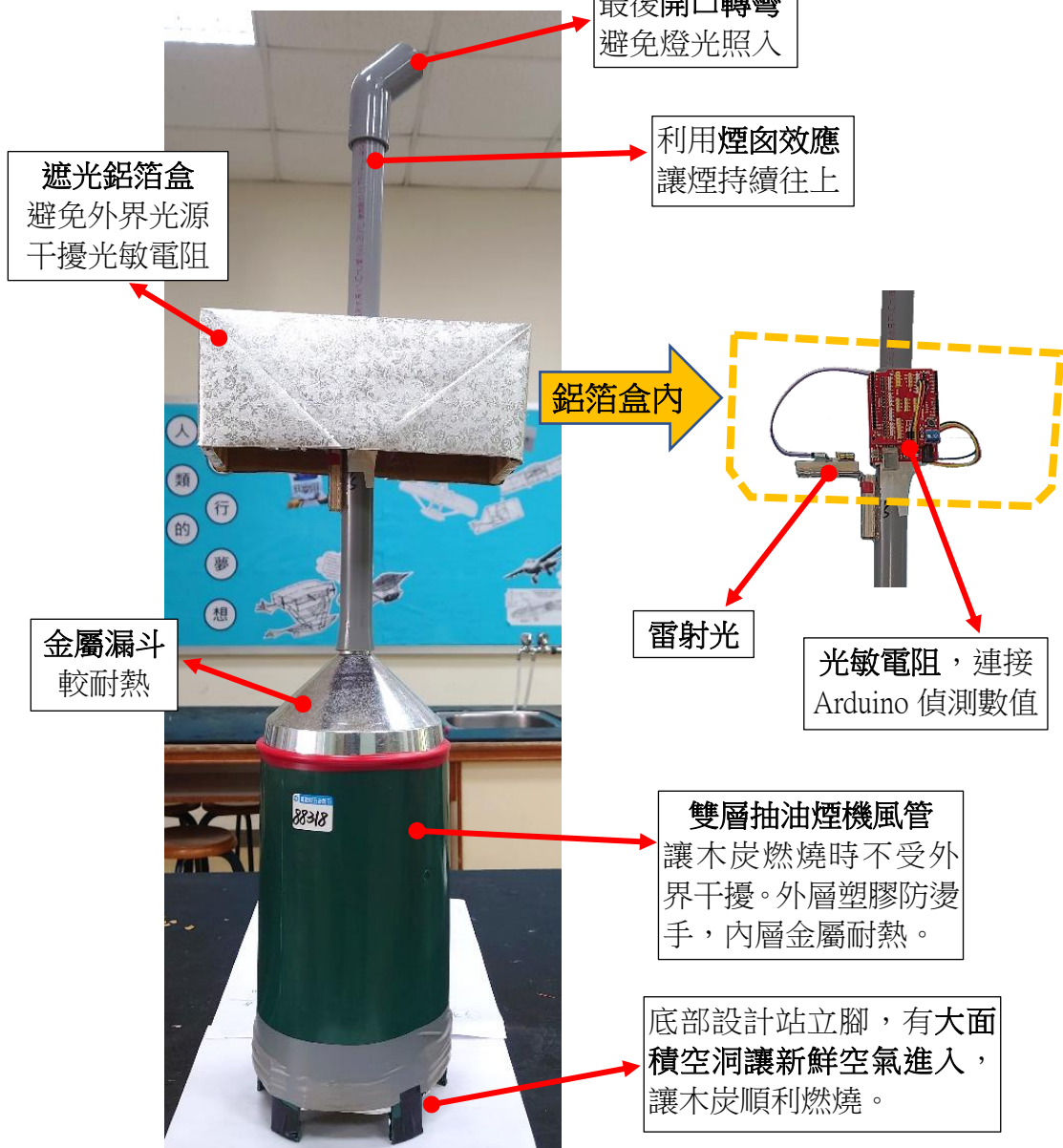


有煙時，雷射光打到煙的顆粒散射光，出現一條光線，亮度增加。

所以我們重新設計：

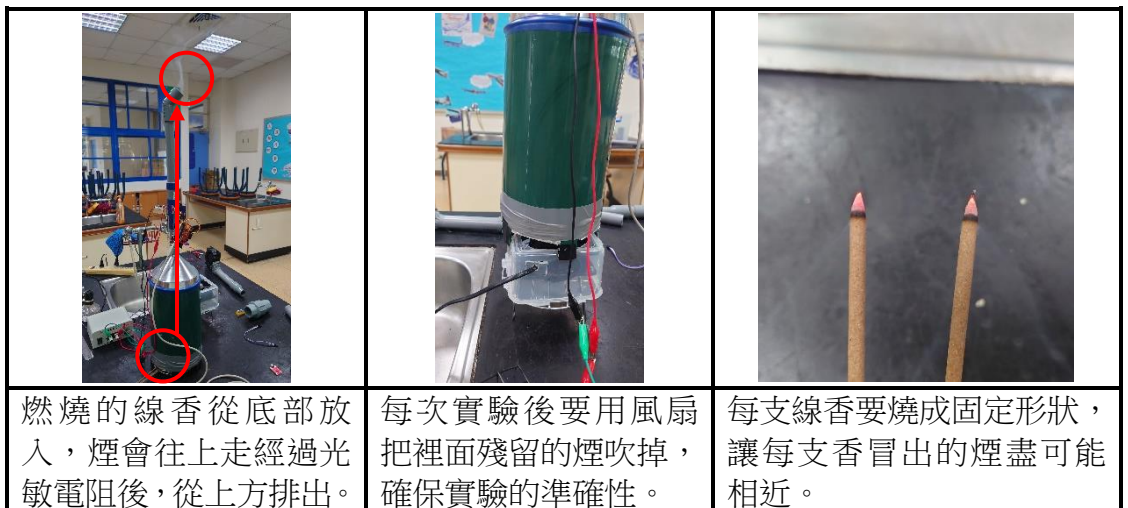


(4). 【微量煙霧測量器】最後完成設計：

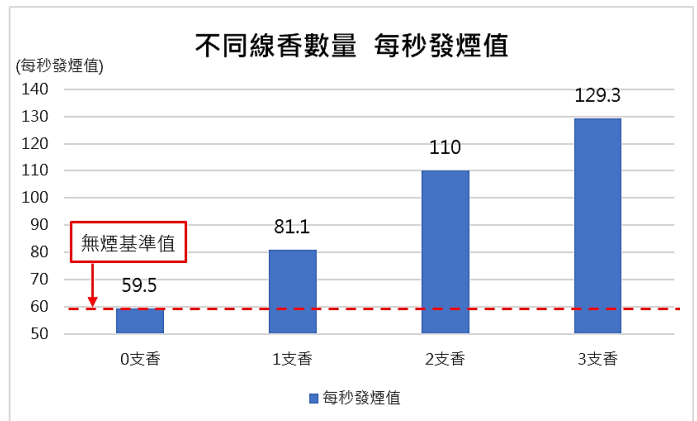
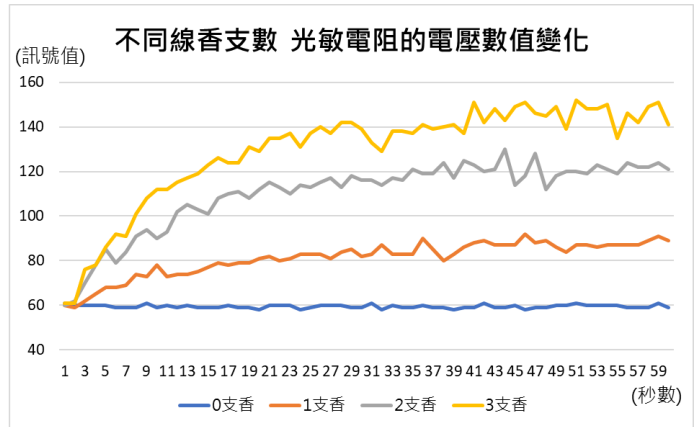


(5). 用不同線香數量進行測試，是否能分辨出煙量的不同

- 我們分別進行 0 支線香、1 支線香、2 支線香、3 支線香四種實驗進行比較。  
每次實驗時間 60 秒，設定 Scratch 每秒讀取光敏電阻數據，共 60 次。

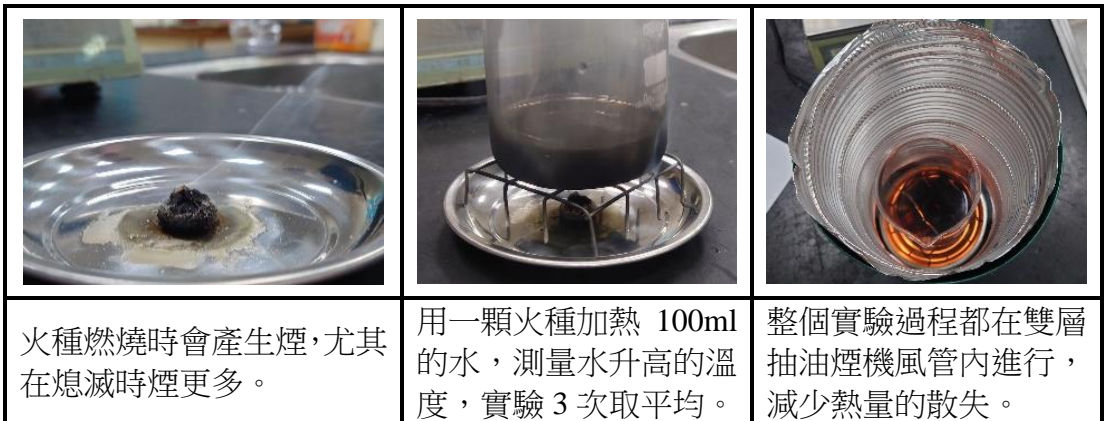


- 從折線圖可以發現，我們設計的【微量煙霧測量器】可以分辨出不同線香的煙量。
- 在 0 支線香時，訊號值可以很穩定的維持幾乎一直線，數值最大差距為 2。
- 其他數值會上下起伏是因為煙的特性是飄動的，但是整體曲線仍然能分辨出煙量的不同。
- 因為每次實驗都要做三次，這樣總共 12 條折線很難進行比較。所以決定把每次實驗數據取每秒平均後，再把 3 次實驗數據取平均，命名為【每秒發煙值】。
- 以後我們就用【每秒發煙值】的方法和標準，比較木炭燃燒時發煙情形。  
【每秒發煙值】越大，煙的量越大。



#### 四、設計【木炭測量流程】和測量的項目：灰分比例、發煙量、溫度變化、燃燒流程。

1. 灰分：木炭燃燒完後剩下的東西，灰分越少越好，代表燃燒越完全。  
灰分比例計算方式 = (燃燒後重量 / 燃燒前重量) × 100%
2. 發煙量：用自製【微量煙霧測量器】測量並算出【每秒發煙值】，數值越大代表產生的煙越多。分兩階段測量，第一階段：木炭被火源加熱、第二階段：木炭自燃。
3. 溫度變化：測量木炭自燃階段的溫度變化。把 K-Type 溫度計距木炭固定距離，每分鐘記錄 1 次溫度，共紀錄 1 小時，共 60 個數據，觀察木炭燃燒的溫度表現。
4. 木炭燃燒實驗流程
  - (1). 發現問題！大家都用火種燃燒木炭，但是發現，火種本身會冒出很多煙，影響實驗！所以我們要用酒精燈取代火種，但是要知道酒精燈燒多久的熱量會等於 1 顆火種的熱量。



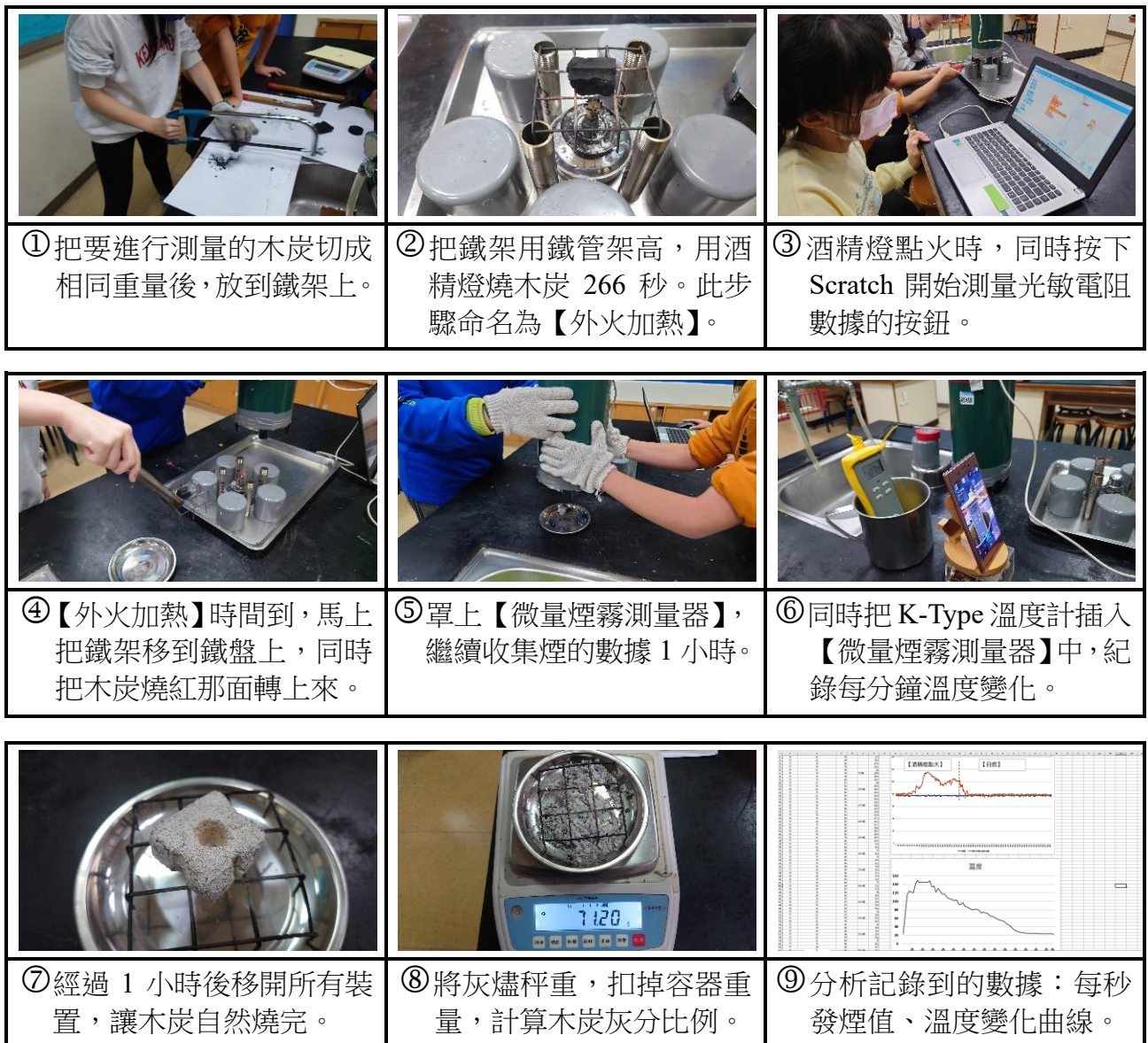


- (2). 實驗發現，1 顆火種平均可讓 100ml 的水溫上升 51.5°C。所以接下來就是用酒精燈加熱 100ml 的水，看看讓水溫上升 51.5°C 需要多久時間。



- (3). 實驗結果，酒精燈燃燒 266 秒和 1 顆火種燃燒能讓 100ml 水升高相同溫度。所以之後實驗都用酒精燈燃燒 266 秒取代 1 顆火種的燃燒。

- (4). 木炭燃燒實驗步驟：

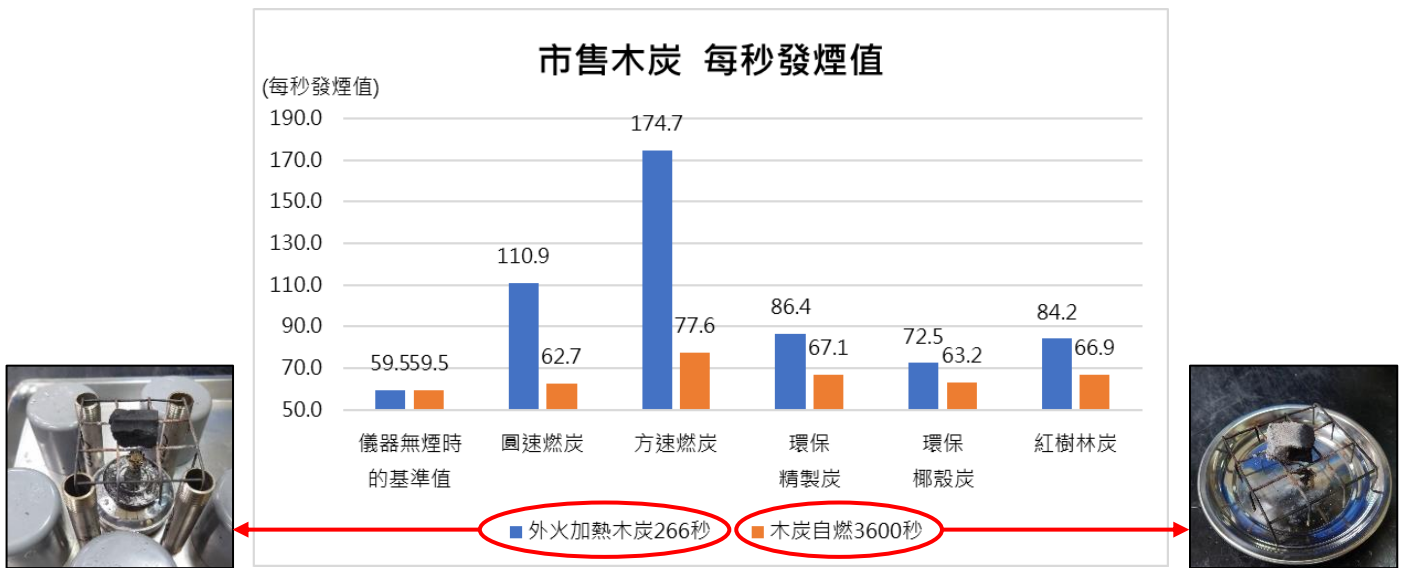


## 【研究二】市售五種木炭的測試與分析

### 1. 成分：

- (1). 圓速燃炭：木炭粉、黏著劑、助燃劑
- (2). 方速燃炭：木炭粉、煤粉、黏著劑、硝酸鋇、硝酸鉀
- (3). 環保精製炭：木屑粉機器擠壓成型後，經過 300-400°C 炭化。
- (4). 環保椰殼炭：椰子殼經過 500-600°C 炭化，攪碎成粉末，混合黏著劑和水，用機器擠壓成型。
- (5). 紅樹林炭：用紅樹林木，經過最高 380°C 炭化。

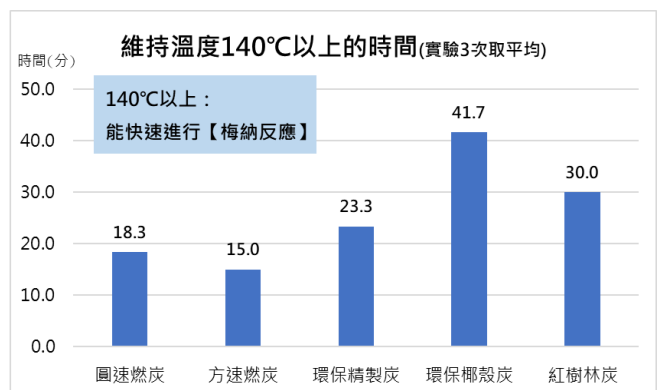
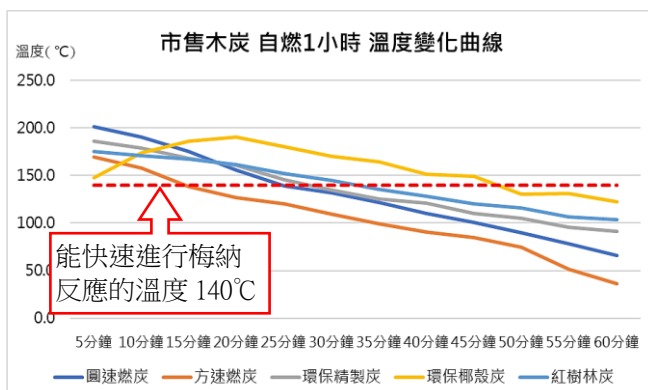
### 2. 每秒發煙值



### 【實驗結果討論】

- (1). 「外火加熱木炭時的發煙值」都大於「木炭自燃時的發煙值」。
- (2). 方速燃炭、圓速燃炭因為裡面添加化學助燃劑，所以發煙值排名分別是 1、2 名。
- (3). 環保椰殼炭發煙值最低，推測是因為炭化時的溫度最高，把雜質都受熱分解排出，剩下碳元素的成分較高。
- (4). **特別現象**：紅樹林炭在 5 次實驗過程中有 2 次，自燃時自己熄滅，沒有全部都燒成灰燼！推測原因是：「其他的炭都是粉狀擠壓成型，粉狀的炭比較好延續燃燒。但是紅樹林炭是原本的塊狀炭，所以如果溫度散失，就很容易熄滅不燒了！」

### 3. 自燃溫度變化情形

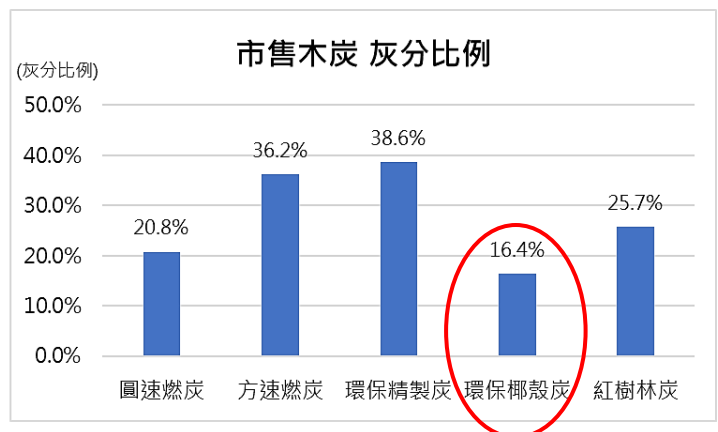


### 【實驗結果討論】

- (1). 用 140°C 當維持溫度標準是因為，烤肉要好吃表面要有梅納反應，就是蛋白質和糖進行一系列複雜化學反應的總稱，而**梅納反應會在 140°C 以上快速進行**。
- (2). 圓速燃炭(深藍色)因為裡面添加助燃劑，大量**細木炭粉**同時燃燒，所以一開始**溫度最高**。
- (3). 圓、方速燃炭因為快速燃燒，最後溫度是最低的，能維持【140°C 以上】的時間也是最後 2 名。
- (4). **環保椰殼炭**(黃色)因為**粗顆粒高壓壓縮**而成，**一開始不好燒**，前 20 分鐘還在升溫。雖然不是最高溫，**但是卻能維持【140°C 以上】的時間是最多的**，達到 45 分鐘。
- (5). 環保精製炭(灰色)是**細木炭粉高壓壓縮**，所以一開始**溫度第 2 高**，但是維持【140°C 以上】的時間是第 3 名。
- (6). 紅樹林炭(淺藍色)是整塊木炭，所以一開始溫度是第 3 名，但是因為不是粉末狀，所以維持【140°C 以上】的時間是第 2 名。
- (7). 推測結論：  
**木炭組成較細：一開始燃燒較快、較高溫，但是溫度下降較快。**  
**木炭組成較粗：一開始燃燒較慢、較低溫，但是溫度維持較久。**

### 4. 灰分比例：【實驗結果討論】

- (1). 環保椰殼炭灰分比例最低；環保精製炭灰分比例最高。
- (2). 因為環保椰殼炭製作溫度為 500~600°C，會有較多雜質分解排出。
- (3). 推測結論：製炭時**炭化溫度較高**，木炭燃燒時**殘留灰分較少**。



## 【研究三】不同製炭溫度是否影響燃燒情形

我們雖然得到【研究二】的實驗結果：炭化溫度高的炭【每秒發煙值】和【灰分比例】都較低，但是不確定查詢到的市售木炭資料的真實性，所以**想自己製作不同炭化溫度的炭，進行燃燒情形比較，驗證【研究二】的推測結論**。

### 1. 實驗方法：

- (1). 使用學校鋸下來的小葉欖仁樹，盡可能切成等重木塊，最大重量誤差為 2.7%。
- (2). 高溫製炭：把裝有木材的不鏽鋼便當盒放進製炭爐中，加熱維持 700°C 以上，再按照【研究一】的製炭步驟進行。

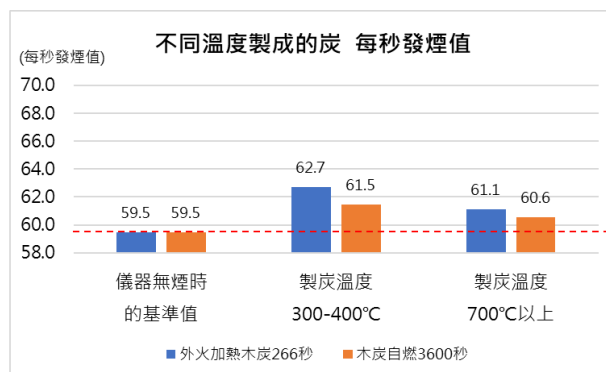
(3). 低溫製炭：把裝有木材的不鏽鋼便當盒放進製炭爐中。以中層溫度為標準，溫度升高到 375°C 關火；溫度降到 325°C 再開火，盡可能讓整體維持在 300-400°C 之間，再按照【研究一】的製炭步驟進行。

## 2. 電阻值比較

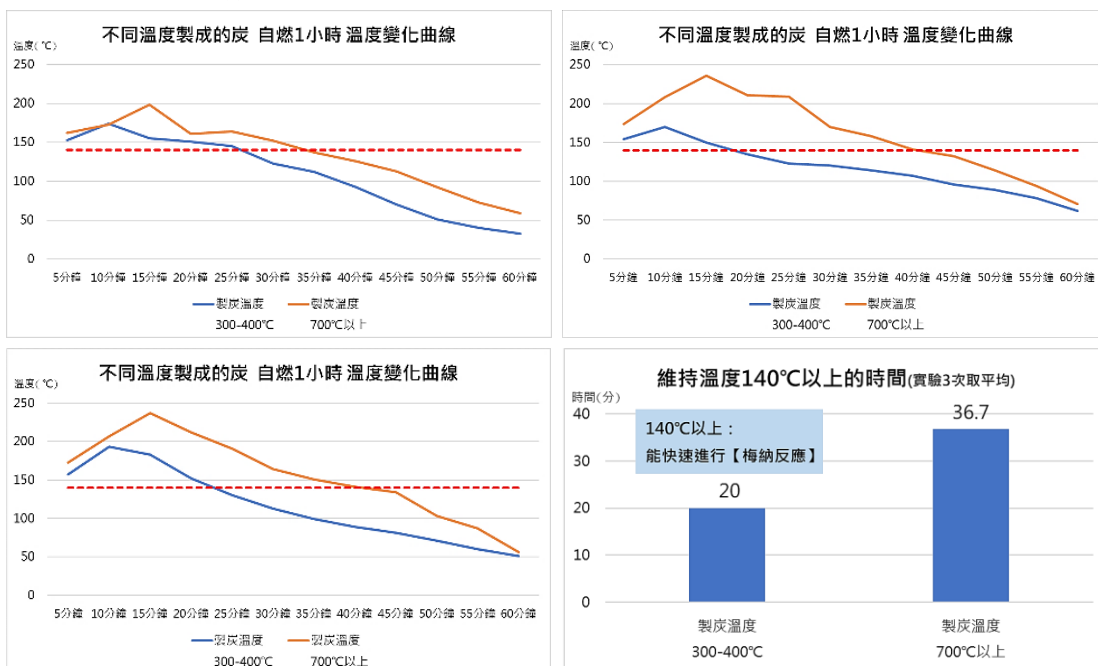
- (1). 高溫製炭電阻值平均為：44.9 KΩ。低溫製炭電阻值平均為：12574.4 KΩ。
- (2). 從電阻值可以發現，**高溫製炭的木炭品質較好，推測碳元素含量較多。**

## 3. 每秒發煙值：

- (1). 「外火加熱木炭時的發煙值」都大於「木炭自燃時的發煙值」。
- (2). 「高溫製炭的發煙值」小於「低溫製炭的發煙值」。
- (3). 雖然平均差異不大，但是較低溫度製炭的發煙值最高到達 80，而較高溫度製炭的發煙值最高只到 66 而已。
- (4). 高溫製炭能分解較多雜質，所以發煙值較低。之後製作木炭都用 700°C 以上的溫度。



## 4. 自燃溫度變化情形：



- (1). 從上方數線圖可以發現，**高溫製木炭**幾乎全部時間的**溫度都高於低溫製木炭**。
- (2). 高溫製木炭能維持【140°C 以上】的時間是低溫製木炭的 1.84 倍。
- (3). 推測木炭品質較好，可以燃燒的碳元素就比較多，能維持較高的溫度。

## 5. 灰分比例：

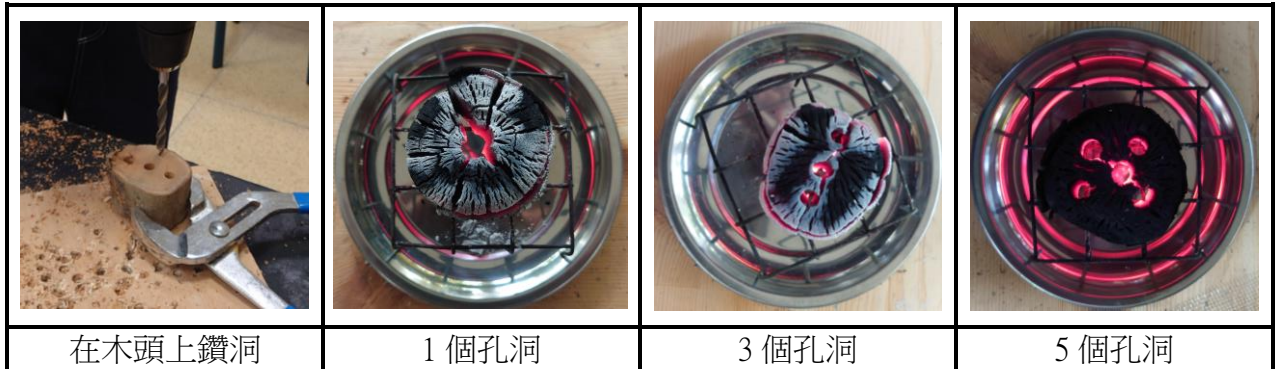
- (1). 高溫製炭灰分比例為：9.7%。低溫製炭灰分比例為：13.6%。
- (2). 符合【研究二】的推測，**炭化溫度**高，分解出較多雜質，木炭燃燒**殘留灰分較少**。

## 【研究四】木炭上不同孔洞數量是否影響燃燒情形

我們這次研究主題的目的是希望木炭能速燃、高溫。如果在木炭上增加孔洞，是否能增加木炭接觸空氣和燃燒的面積，達到我們的目的呢？

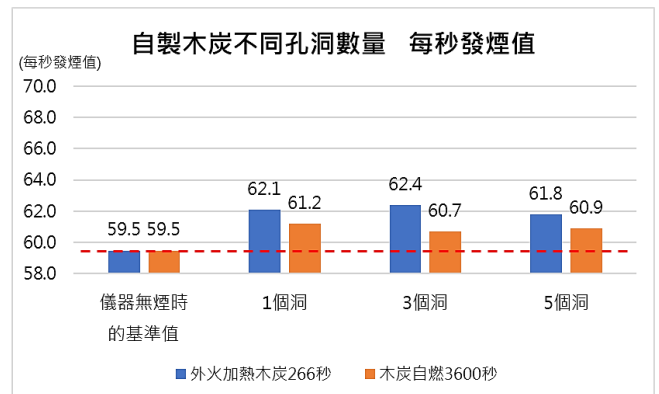
### 1. 實驗方法：

- (1). 使用學校鋸下來的小葉欖仁樹，盡可能切成等重木塊，最大重量誤差為 1.9%。
- (2). 在木塊上分別鑽出 1、3、5 個洞。
- (3). 按照【研究一】的步驟，用 700°C 以上的溫度來製炭，並且用【製炭完成顯示器】來判斷何時製炭完成。

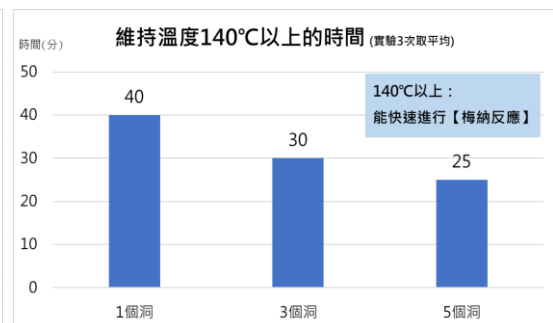
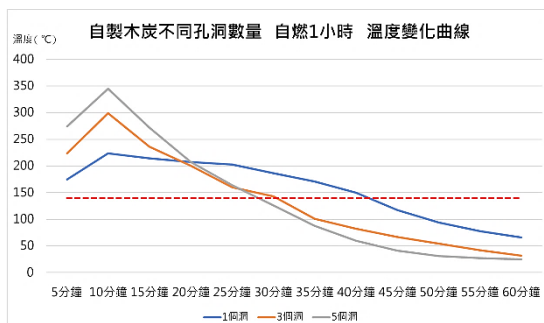
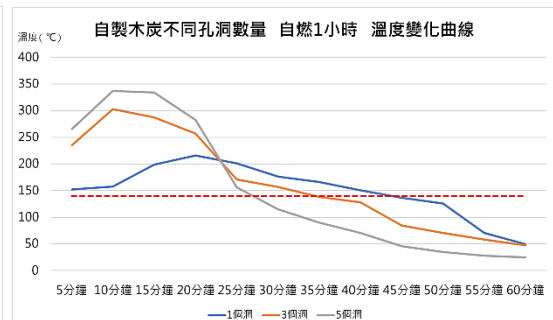
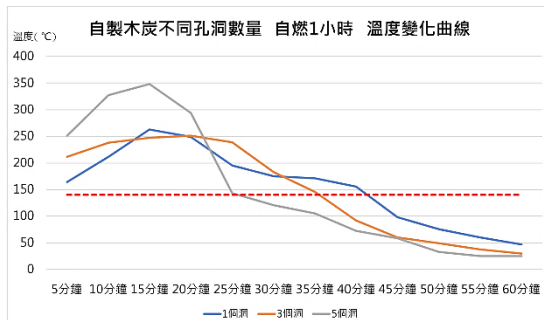


### 2. 每秒發煙值：

- (1). 雖然孔洞數量不同，但是因為都是使用自製 700°C 以上製成的小葉欖仁炭，所以每秒發煙值差異不大，最多只差 0.96%。
- (2). 這個實驗當中，最大的發煙值只有到 69 而已。



### 3. 自燃溫度變化情形：



- (1). 木炭 5 個孔洞最高溫 348°C；3 個孔洞最高溫 303°C；1 個孔洞最高溫 263°C。  
**最高溫度：5 個孔洞 > 3 個孔洞 > 1 個孔洞**
- (2). 如果把木炭 5 個孔洞維持【140°C 以上】的時間當作 1 倍，3 個孔洞維持【140°C 以上】的時間是 1.2 倍，1 個孔洞維持【140°C 以上】的時間是 1.6 倍。  
**維持【140°C 以上】的時間：1 個孔洞 > 3 個孔洞 > 5 個孔洞**
- (3). 會有這樣的結果是因為 **5 個孔洞**的木炭接觸空氣和**同時燃燒的面積較大**，所以會**釋放較大的熱能**，但是也因為這樣**燒得比較快**。
- (4). 「燒得比較快」這個問題可以用「增加木炭的量」來解決，但是要提高最大溫度就必須要孔洞多，所以我們**最後的產品要使用 5 個孔洞來製作**。

#### 4. 灰分比例：

- (1). 灰分比例：木炭 5 個孔洞 9.8%；木炭 3 個孔洞 10.1%；木炭 1 個孔洞 10.1%。
- (2). 因為都是使用自製 700°C 以上的小葉欖仁炭，所以灰分比例差異不大，最多只差 1.1%（還沒有平均的數值差）。

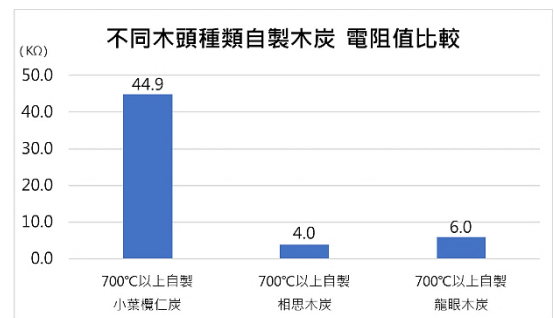
### 【研究五】不同種類木頭製作木炭是否影響燃燒情形

#### 1. 實驗方法：

- (1). 木材使用小葉欖仁樹、龍眼木、相思木三種木頭，盡可能切成等重木塊，最大重量誤差為 1.4%。
- (2). 在木塊上鑽出 5 個洞。
- (3). 按照【研究一】的步驟，用 700°C 以上的溫度來製炭，並且用【製炭完成顯示器】來判斷何時製炭完成。

#### 2. 電阻值比較

- (1). 小葉欖仁炭的電阻值分別是相思木炭、龍眼木炭的 11.2 倍和 7.5 倍。
- (2). 木炭店老闆說，相思木炭、龍眼木炭比較紮實，其他木頭做成的雜木炭比較鬆。
- (3). 推測木炭如果較紮實，木炭中碳和碳之間空隙小，較易導電，電阻值低。



#### 3. 【發現重大問題】

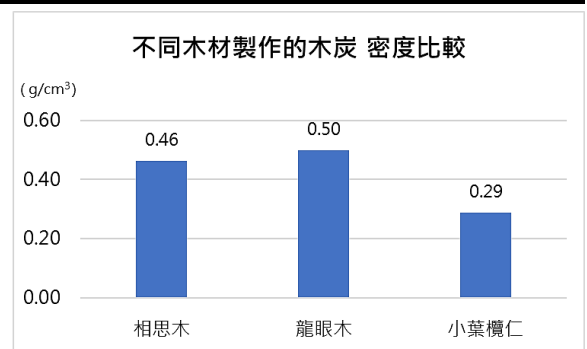
- (1). 龍眼木和相思木製成的木炭竟然無法燒完就熄滅，導致實驗中斷。
- (2). 推測原因為，**正常木炭燃燒是要堆成圓拱狀聚熱，但是我們是單塊木炭、酒精燈單點燃燒，無法聚熱**。
- (3). 在【研究二】中，市售的紅樹林炭實驗也熄滅過 2 次，但是其他木炭粉壓製成的炭都可以燒完。



- (4). 另外我們量出木炭質量，再利用排水法測出體積，計算密度後發現，相思木炭、龍眼木炭的密度分別是小葉欖仁木炭的 1.6 倍、1.7 倍。密度大代表木炭內縫隙少，不易燃燒，難怪木炭店老闆說龍眼木、相思木比較紮實、較耐燒。



- (5). 所以我們決定之後的實驗都把木炭磨成粉，擠壓成「炭粉餅」進行實驗。而且木炭磨成粉可以增加表面積，應該可以更容易燃燒，達成我們製作【速燃炭粉餅】的目標！

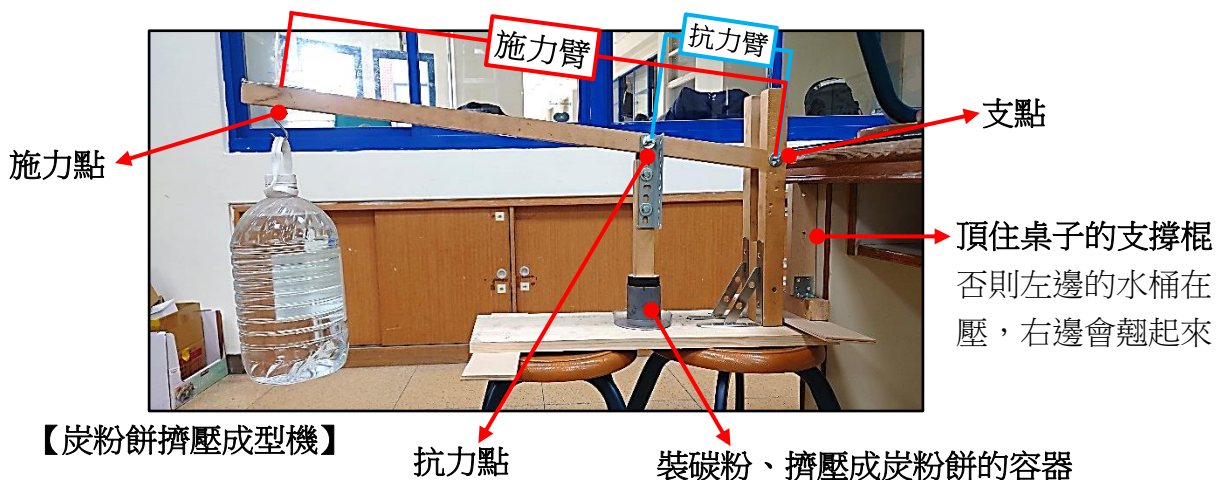


## 【研究六】將木炭製成炭粉餅進行燃燒比較

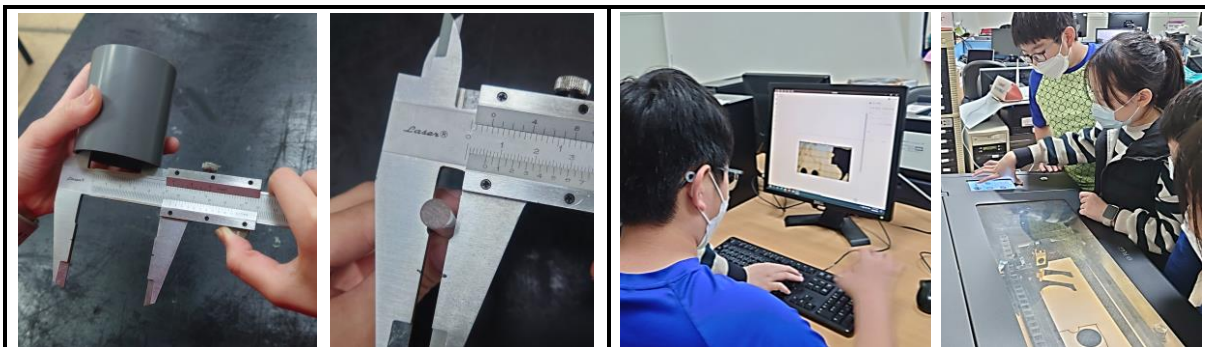
### 一、【炭粉餅擠壓成型機】的設計和【炭粉餅】的製作流程

#### 1. 【炭粉餅擠壓成型機】

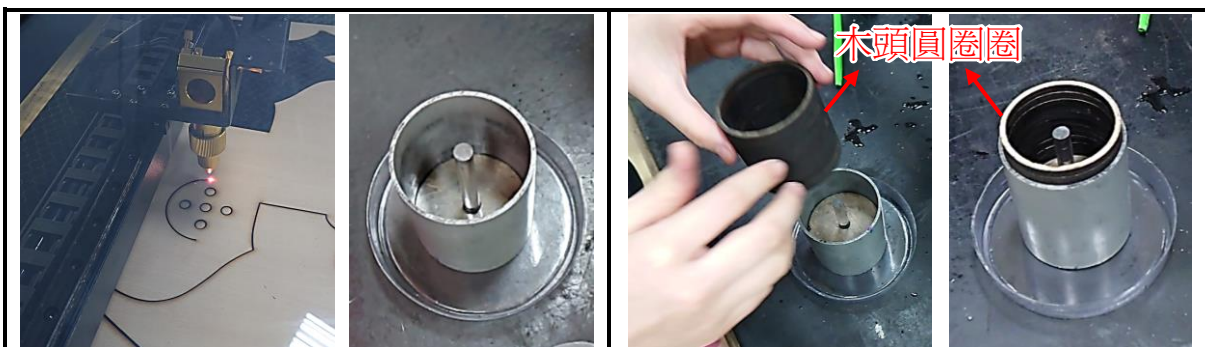
- (1). 我們要把炭粉擠壓成固定的形狀，而且要用同樣大小的力量，這樣實驗才公平。
- (2). 我們想到模仿「擠蒜泥器」，利用「第二類槓桿」來放大力量。
- (3). 施力臂：抗力臂 = 4：1。所以掛 6 公斤的重物等於是用 24 公斤在壓炭粉餅。



## 2. 裝碳粉、擠壓「炭粉餅」的容器

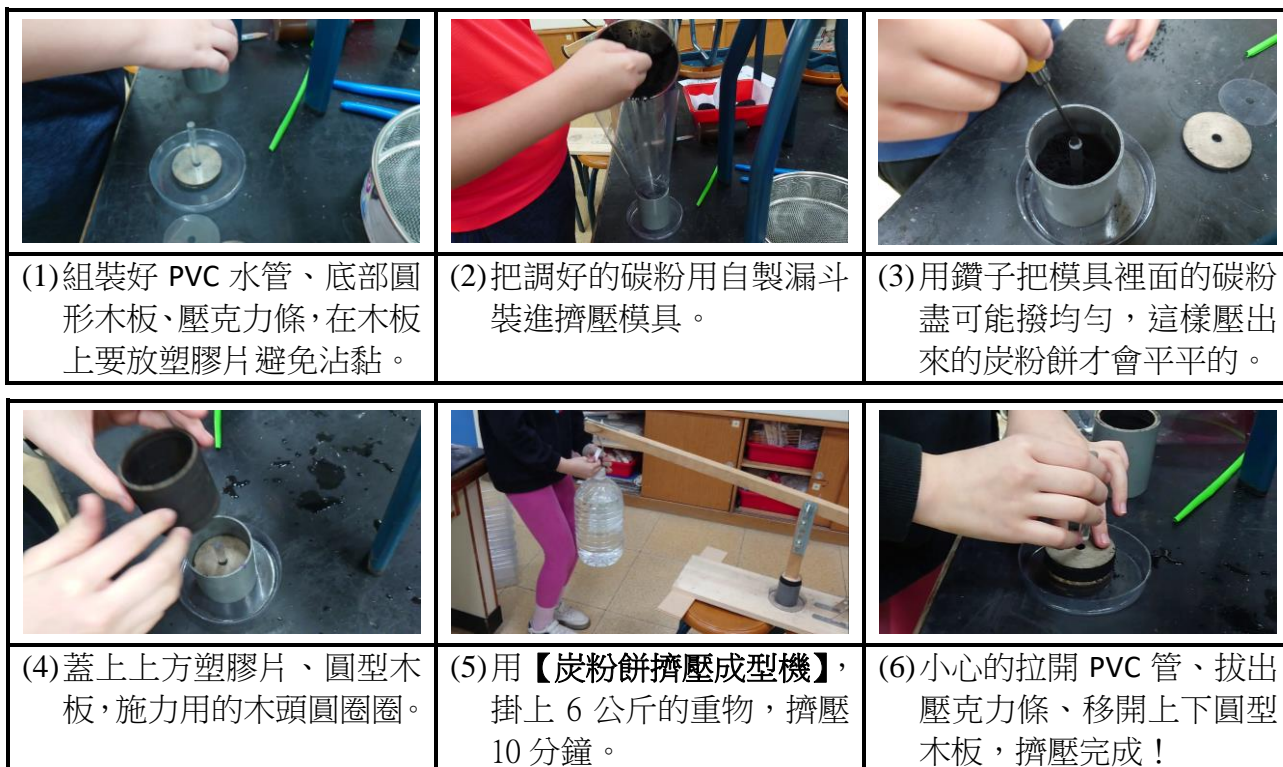


- (1) 用游標尺量出 pvc 水管的內徑，和壓克力條的直徑。
- (2) 用電腦畫出比 pvc 水管內徑小 0.5mm 的大圓。
- (3) 大圓的中間要有 5 個小圓，小圓直徑是壓克力條的直徑。



用雷射切割機把木板切出剛剛畫的圖形，切好後跟 PVC 水管比對看看大小是否合適。  
這就是在水管裡上、下擠壓木炭粉的模具。因為模具中間有壓克力條，擠壓時只能從圓圈周圍施力，所以要另外切出木頭圓圈圈，才不會卡到壓克力條而無法擠壓木炭粉。

## 3. 擠壓「炭粉餅」的方法





#### 4. 製作【炭粉餅】的流程

- (1). 製作碳粉：把木炭塊先用鐵鎚、老虎鉗敲成小塊，再用咖啡磨豆機磨成粉末。
- (2). 選擇黏著劑

我們想用**天然澱粉**來製作，這樣**燒起來比較不會有有害物質**。最後選擇「**樹薯粉**」，因為它是**樹薯切碎把澱粉洗出來，把不要的雜質過濾掉**，這樣我們自製的速燃炭粉餅就不會因為雜質產生煙。（麵粉是小麥直接磨成粉，雜質較多）

- (3). 把木炭粉和黏著劑混合的方法

**澱粉要產生黏性的必要條件是：【澱粉 + 水 + 熱 = 澱粉糊化】**

【方法一】木炭粉+樹薯粉+熱水

- A. 木炭粉(15g)和樹薯粉用 10：1 的比例混合。
- B. 加入 90°C 以上、6ml 的水，攪拌均勻。水只是要讓這些粉末能擠壓成型，之後烤乾的步驟就會去除水分。如果加太多會結塊無法均勻分散。
- C. 用【炭粉餅擠壓成型機】壓成塊狀。
- D. 烤箱定溫 80°C 烘烤 60 分鐘。

結果：用手一拿就散成粉末，失敗！



【方法二】水+樹薯粉加熱糊化，再加木炭粉攪拌

- A. 分別秤出木炭粉(15g)和樹薯粉 10：1 的重量。
- B. 先把木樹粉和水在不沾鍋上加熱、糊化成膠狀。
- C. 再把炭粉和糊化的澱粉攪拌再一起。

結果：變成整坨黏稠狀，無法擠壓成炭粉餅，失敗！



再次查詢資料後發現，樹薯澱粉糊化至少要 64.9°C，【方法一】因為溫度沒有維持所以糊化程度不夠。

【方法三】學習小吃「狀元糕」的製作方法，**用蒸的！**

- A. 木炭粉(15g)和樹薯粉用 10：1 的比例混合。再加入 6ml 的水，攪拌均勻。
- B. 用【炭粉餅擠壓成型機】壓成塊狀。
- C. 放到蒸架上蓋鍋蓋蒸 5 分鐘。
- D. 烤箱定溫 80°C 烘烤 60 分鐘。

結果：**大成功！用手拿完全不會散開，很堅固**。之後要再進行樹薯粉比例和堅固度的測試。



## 二、不同黏著劑比例對於堅固度與燃燒情形的比較

對於木炭來說，澱粉黏著劑也算是一種雜質，所以我們想知道樹薯粉會不會對木炭燃燒產生影響，怎麼樣的比較才能讓【炭粉餅】夠堅固不會太容易碎。

1. 炭粉和樹薯粉的比例：因為之前測試過「炭粉樹薯比」10：1 的比例製作成功，所以我們想把樹薯粉比例降低。所以我們選擇測試的「炭粉樹薯比」分別是【10：1】、【15：1】、【20：1】、【25：1】、【30：1】。

### 2. 【炭粉餅】的堅固度

- (1). 將上面 5 種不同比例的「炭粉樹薯粉」用 P.22 的方法三，進行製作【炭粉餅】。
- (2). 我們本來想用自由落體掉落來測試堅固度。但是如果摔下來炭粉餅沒有碎，裡面有可能已經受損只是我們不知道，而且這樣只能用「有沒有碎」來進行比較，不夠準確。
- (3). 所以我們設計了【堅固度拉力測試法】來進行比較



【設計想法】用人手拉會不公平，所以我們掛上水桶，用固定流量的水增加重量較公平，最後把水桶秤重，用重量當作「堅固度」。重量越大，堅固度越高。

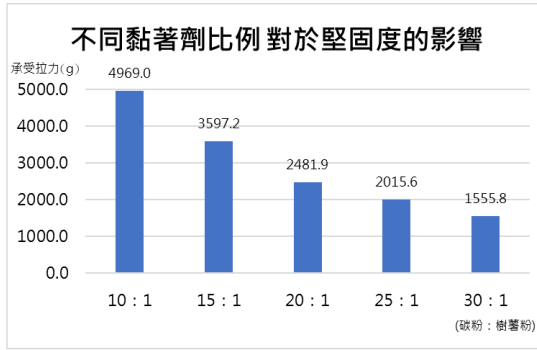


水桶掛在 S 鉤上，把水管插進水桶，開始加水。水龍頭貼上標記，固定水流速度，這樣每次實驗才公平。

炭粉餅受不了重量時，就會斷裂。這時候水桶就會掉落到桌面。因為水桶底比較寬，所以會站好。

因為水管只有插進水桶一點點，所以每次水桶掉落，出水口就會離開，不會多加水。

#### (4). 堅固度測試結果

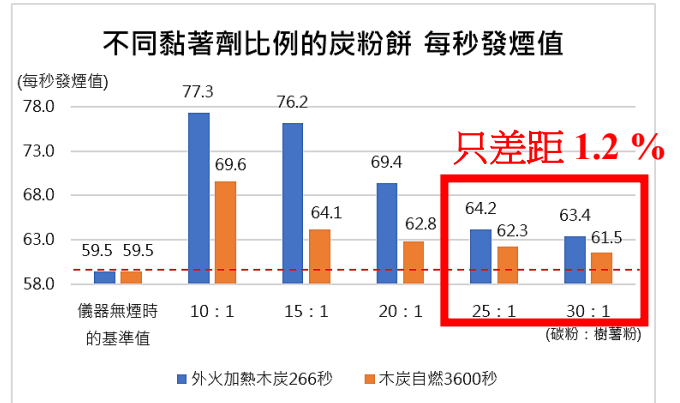


實驗結果發現，**樹薯粉（澱粉）的比例越高，堅固度越大**，越能承受重量。如果把【30：1】的堅固度當成1倍，其他比例堅固度的關係如下：

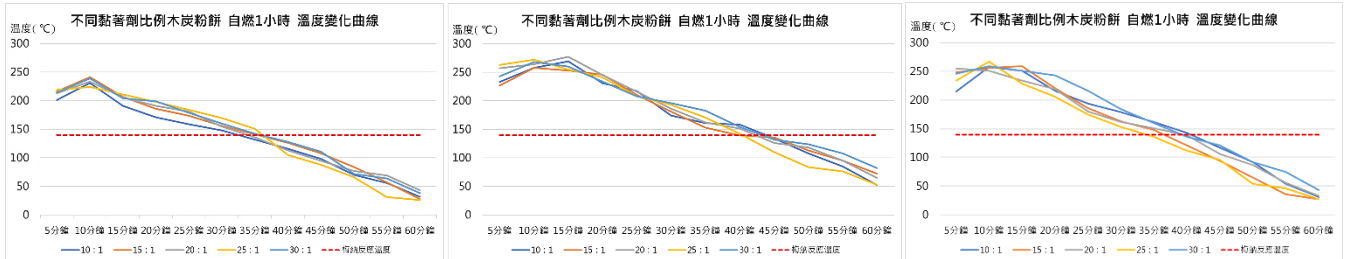
30 : 1	25 : 1	20 : 1	15 : 1	10 : 1
1 倍	1.3 倍	1.6 倍	2.3 倍	3.2 倍

#### 3. 每秒發煙值：

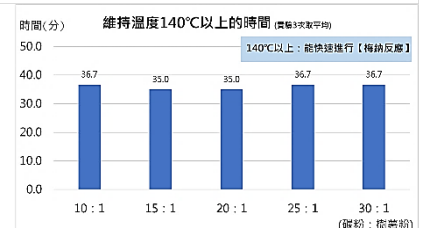
- (1). 「外火加熱木炭時的發煙值」都大於「木炭自燃時的發煙值」。
- (2). 樹薯粉量越多，每秒發煙值越大。
- (3). 【25：1】的最大發煙值為78；【30：1】的最大發煙值為71；但是這兩個比例的「每秒發煙值」只差距1.2%。



#### 4. 自燃溫度變化情形：

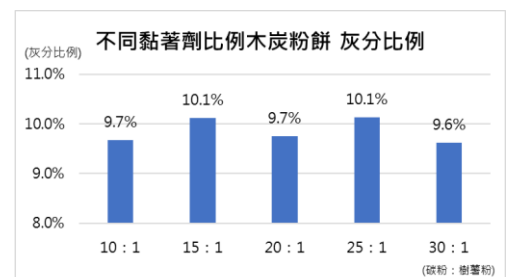


- (1). 三次溫度實驗中，各自出現最高溫的分別是：【15：1】241°C、【20：1】277°C、【25：1】267°C。最高溫沒有只出現在一種比例上。
- (2). 維持【140°C以上】的時間最多的是【10：1】、【25：1】、【30：1】，只比【15：1】、【20：1】多了4.6%的時間。
- (3). 所以我們認為這5種不同黏著劑(樹薯粉)比例對燃燒溫度影響不大。



#### 5. 灰分比例：

- (1). 因為都是用自製700°C以上的小葉欖仁炭，所以灰分比例差異不大，最多只差0.5%。
- (2). 灰分比例沒有因為樹薯粉比例減少而一直降低，所以我們認為樹薯粉量對灰分影響不大。

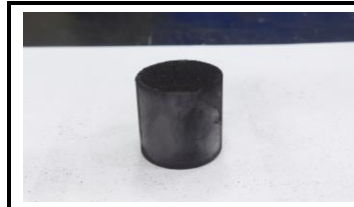


#### 6. 樹薯粉比例的選擇

雖然【25：1】的發煙值比【30：1】的多1.2%，但是堅固度卻多了29.6%，所以**最後選擇【炭粉：樹薯粉 = 25：1】來製作炭粉餅。**

### 三、不同種類木頭製炭是否影響炭粉餅燃燒情形

把龍眼木炭、相思木炭、小葉欖仁木炭磨成粉末，嘗試解決【研究五】發生木炭燒不完就熄滅的問題，進行不同木頭製成的木炭的比較。



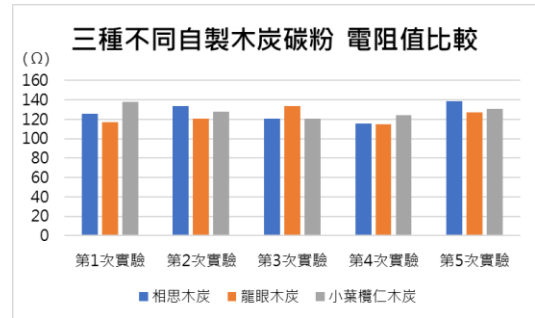
把三種木炭粉用相同力量壓到塑膠蓋中，避免空隙不同影響實驗。



進行電阻測量，每次測量都把探針插到底。

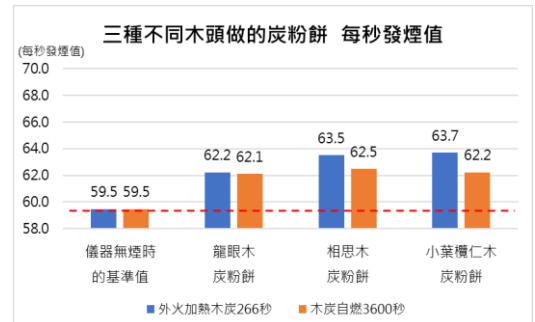
#### 1. 電阻值比較

- (1). 實驗結果發現，三種木炭粉電阻值各有輸贏，沒有誰是最高或最低。而且三者電阻值最高與最低只差 4.4%。
- (2). 推論因為 700°C 以上的溫度製炭，已經把不同木頭裡面的物質分解成只剩下炭，再把它們磨成粉用相同力量擠壓，去除三種木頭密度不同的因素，所以電阻值差異不大。



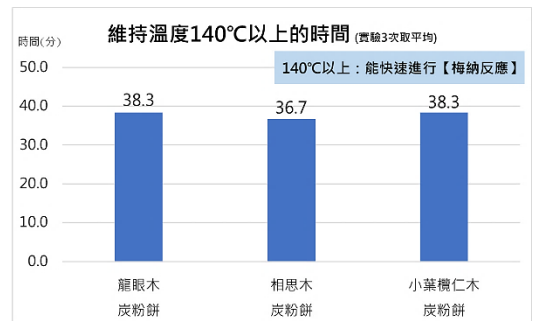
#### 2. 每秒發煙值

- (1). 三者每秒發煙值最多只差 2.5%。
- (2). 三者都經過高溫炭化所以發煙值差異不大。



#### 3. 自燃溫度變化情形

- (1). 維持【140°C以上】的時間最多只差 4.1%。
- (2). 原因跟第 1 點相同，經過高溫炭化幾乎只剩下炭，所以維持高溫的時間差異不大。



#### 4. 灰分比例

小葉欖仁炭粉餅 9.4%；龍眼木炭粉餅 9.5%；相思木炭粉餅 9.8%。三者最多差 0.9%，差異不大。

#### 5. 結論

所以之後的實驗把三種木炭粉混合使用。未來也可以測試其他木頭是否有相同效果。

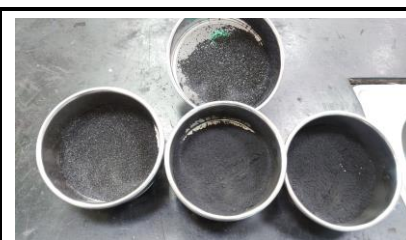
### 四、不同炭粉顆粒大小是否影響炭粉餅燃燒情形

木炭磨成粉末可以增加表面積達到速燃的效果。如果顆粒大小不同會不會影響燃燒呢？

#### 1. 製作、分類出不同顆粒大小的炭粉



把自製的木炭，用咖啡磨豆機調整磨出的粉末粗細。把底部磨刀調成三種情形：最緊、放鬆 6 格、放鬆 12 格。

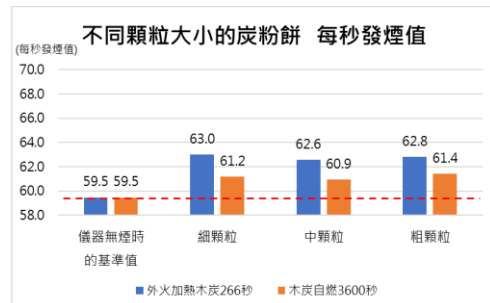
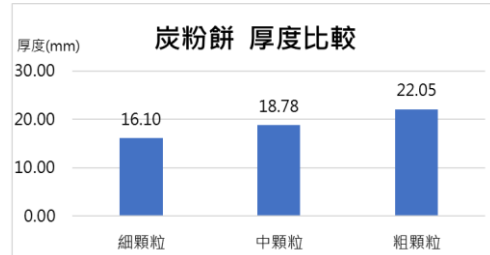
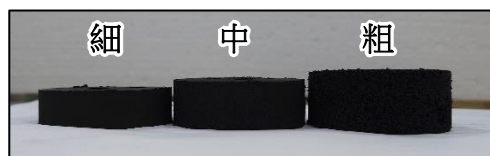


- 為了準確區分顆粒大小，使用 40 目、60 目、100 目的篩網過濾。三種粉末顆粒大小分別是：細【小於 0.15mm】、中【0.15 mm ~0.25 mm】、粗【0.25~0.425mm】。
- 我們用舊的震動按摩器加速過濾分類過程。



## 2. 用不同顆粒大小的炭粉製作【炭粉餅】

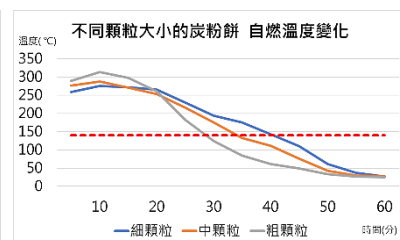
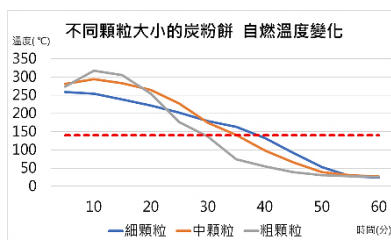
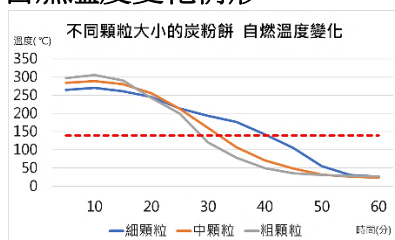
- (1). 每種顆粒的【炭粉餅】都使用 15g 炭粉、0.6g 樹薯粉、蒸氣加熱成型、烤箱 80°C 烤 60 分鐘。
- (2). 結果竟然發現，相同重量、不同顆粒大小的【炭粉餅】，它們的厚度竟然不一樣！
- (3). 我們認為原因是擠壓成型時，粗顆粒會互相卡住，所以裡面的縫隙較多；細顆粒可以排得比較緊密，裡面的縫隙較少。
- (4). 就像是同重量的石頭和細砂放在 2 個相同的杯子裡，石頭顆粒粗，堆放時中間會出現較多縫隙，所以堆得比較高。



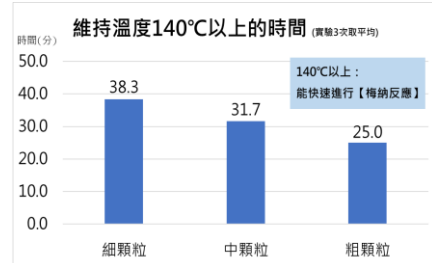
## 3. 每秒發煙值

- (1). 三者每秒發煙值最多只差 0.81%。
- (2). 因為三者原料相同，只是炭粉顆粒大小不同而已，所以發煙值差異不大。

## 4. 自燃溫度變化情形



- (1). 細顆粒最高溫 275°C；中顆粒最高溫 294°C；粗顆粒最高溫 317°C。粗顆粒 > 中顆粒 > 細顆粒
- (2). 如果把粗顆粒【維持 140°C 以上】的時間當作 1 倍，中顆粒的時間是 1.27 倍，細顆粒的時間是 1.53 倍。  
維持【140°C 以上】時間：細顆粒 > 中顆粒 > 粗顆粒



- (3). 會有這樣的結果推測是因為粗顆粒的炭粉餅裡面縫隙多，接觸空氣多所以和燃燒較旺盛，所以最高溫度較高，但是也因為這樣燒得比較快。但是細顆粒炭粉餅情況相反。
- (4). 另外我們也發現，粗顆粒炭粉餅燒完的灰燼會掉落到盤子上，代表灰燼不會附著在正在燃燒的部分，不會擋住空氣，所以燒得較快，也不會擋住釋放的熱。
- (5). 但是細顆粒炭粉餅燒完的灰燼竟然整塊好好地留在鐵架上，不會掉落，代表灰燼會附著在正在燃燒的部分，所以【最高溫】和【維持 140°C 以上】的情況跟粗顆粒炭粉餅相反。



粗顆粒的灰燼



細顆粒的灰燼

## 5. 灰分比例

細顆粒 9.2%；中顆粒 9.1%；粗顆粒 9.3%。三者最多差 0.8%，差異不大。

## 6. 結論

不同顆粒大小的炭粉餅各有優缺點，所以民眾可以根據烤肉的食材來選擇。

(1). 如果**食材較薄**、需要**大火快烤**，像五花肉片、雞皮，就可以選擇**粗顆粒**炭粉餅。

(2). 如果**食材較厚**、需要**小火慢烤**，像厚牛排、大雞腿，就可以選擇**細顆粒**炭粉餅。

## 【研究七】自製炭粉餅和市售木炭比較

### 與炭粉餅吸入酒精當成火種的燃燒情形

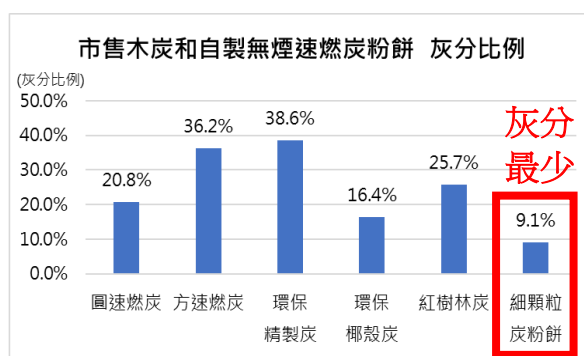
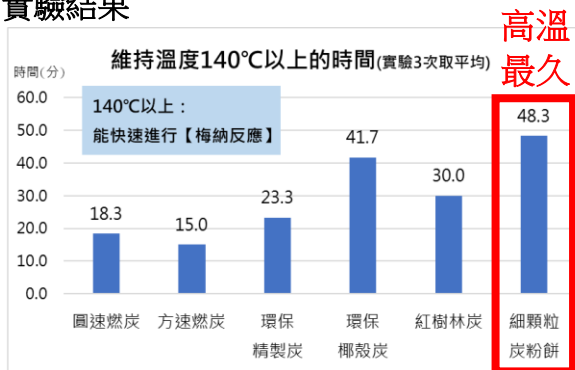
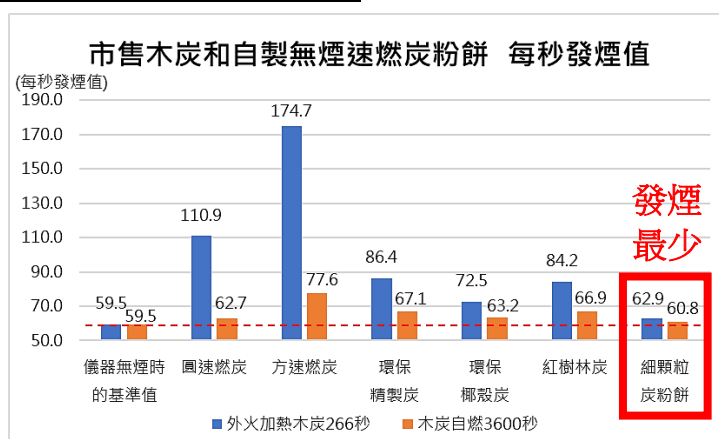
#### 一、自製炭粉餅和市售木炭比較

##### 1. 製作和市售木炭同重量的炭粉餅

在【研究二】中，市售的每種木炭我們都切成 22.6g 進行比較，所以我們的炭粉餅也要是 22.6g。

【炭粉：樹薯粉 = 25：1 = 21.75：0.85】。【21.75 + 0.85 = 22.6】。

##### 2. 實驗結果



我們自製的【炭粉餅】**發煙量最少、持續高溫最久、灰分最少**，而且達到最高溫 326°C，超過其他市售木炭。**成功達成**我們設定的**目標：自製無煙高溫速燃炭粉餅！**

#### 二、炭粉餅吸入酒精當成火種的燃燒情形

市面上的速燃炭是添加了硝酸鉀、硝酸鋁助燃劑，會產生煙霧。我們發現**自製的炭粉餅**會吸收液體，如果讓它**吸收可燃的酒精**，是否能取代會產生煙霧的助燃劑呢？而且木炭吸收酒精後會產生明火，不但**可以燃燒自己**，也可以**取代會產生大量煙霧的火種**。

##### 1. 找出和「一顆火種燃燒」相同熱量的酒精量

(1). 在【研究一】中測出酒精燈燃燒 266 秒，等於一顆火種的熱量。

(2). 所以只要秤出酒精燈燃燒 266 秒的前後重量差，結果為 3.45g。

##### 2. 實驗過程

(1). 兩塊炭粉餅，一塊放在鐵盤上，另一塊放在鐵盤上方的鐵架上。

(2). 在下方的炭粉餅淋上 3.45g 的酒精，點火後它不但會燃燒自己，燒酒精的明火也會燒上面那塊炭粉餅。

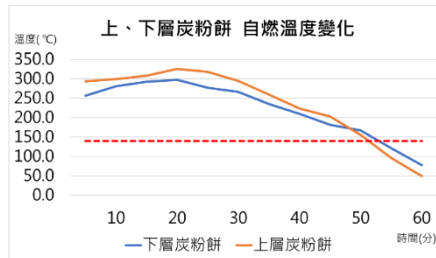


(3). 因為炭粉餅成分和前面實驗相同，所以**實驗重點在用酒精當作燃料燒木炭**，測量炭粉餅明火消失後溫度變化。

(4). **我們有特別注意安全！淋酒精時絕對不會出現火源；酒精完全被炭粉餅吸收沒有流出來；準備多條濕抹布在旁邊。**

### 3. 實驗結果

(1). 上層和下層炭粉餅【維持140°C以上】的時間都是50分鐘。



(2). 但是從溫度曲線圖可以發現，上層炭粉餅的溫度都比較高，但是50分鐘後也比較快下降，因為一開始上層炭粉餅被燒紅的部分較多。

(3). 當燃燒酒精的明火燒完後，**上層和下層的炭粉餅都可以繼續自燃**，所以我們設定的目標：**自製無煙高溫速燃炭粉餅結合火種**功能，**成功**！

### 三、用自製無煙速燃炭粉餅實際烤肉的情形

我們用【自製無煙速燃炭粉餅】實際烤肉，觀察三個項目：生火完成時間、持續燃燒時間、加炭續燃情形

1. 生火完成時間：**淋酒精→點火燃燒→木炭燒紅攤平**

整個過程**5分25秒完成生火**(3次平均)，而且不用排木炭**手不會黑、無煙**，方便又**快速**！



2. 22.6公克的炭粉餅持續燃燒時間  
炭粉餅點燃經過**55分11秒**後，**還是可以持續燃燒**。



3. 加炭續燃情形

把**新炭粉餅**放在已經點燃的炭粉餅上，**最快2分30秒**就可以被點燃，**加新炭很方便**！

## 陸、研究結論

### 一、「製炭工具」的設計

1. 【製炭爐】：P.6

(1). 用鐵桶、水泥、耐高溫水泥當作隔熱體，使用瓦斯噴槍當作熱源加熱，**可以用開關旋鈕調整火力大小，控制溫度**。

(2). 上中下層的溫度在15分鐘後誤差都在50°C以內；在17分鐘後都可以維持在700°C~800°C。

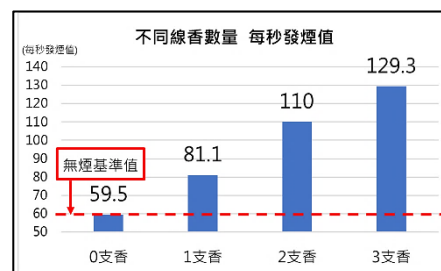


2. 【製炭完成顯示器】：利用製炭時會產生木醋液的特性，**測量製炭冒的煙的酸鹼性**，**判斷木炭是否製作完成**。當燃燒煙的火焰自然熄滅後，每隔 3 分鐘抽取煙測試，直到**測出中性就關火**，**完成炭化**。P.9
3. 【用電阻值測試是否真的製作出木炭】：**數值愈小代表精煉度愈高**，表示木材炭化程度較高。用 **700°C 以上自製小葉欖仁炭** 電阻值比其他市售木炭還要低，代表用我們自製【製炭爐】可以成功製作出木炭！P.9



## 二、「微量煙霧測量器」的設計 P.11~P.12

1. 利用雷射光照到煙會產生光的原理。「**光敏電阻**」會**因為光照的強度改變電阻值**。再搭配我們學過的**Scratch 收集數據**，讓煙經過的時候造成數字的變化。
2. 【**微量煙霧測量器**】可以分辨出不同數量線香的煙量。
3. 把每次實驗數據取每秒平均後，再把 3 次實驗數據取平均，命名為【**每秒發煙值**】。用這樣的方法**比較木炭燃燒時發煙情形**。【**每秒發煙值**】**越大，煙的量越大**。



## 三、「木炭測量的項目和標準流程」的設計 P.13~P.14

1. 比較木炭特性時，要測量：每秒發煙值、溫度變化、灰分比例。
2. 用 K-Type 溫度計記錄每分鐘木炭燃燒時的溫度。我們用【**能維持 140°C 以上的時間**】**當作比較標準**，因為讓食物好吃的**梅納反應**會在 **140°C 以上快速進行**。
3. 火種本身會冒出很多煙，影響實驗，所以要用酒精燈取代火種。用燒水來計算熱量，發現**酒精燈燃燒 266 秒 = 1 顆火種的燃燒**。
4. 灰分比例 = (燃燒後重量 / 燃燒前重量) × 100%。灰分越少，代表燃燒越完全。

## 四、市售五種木炭的測試與分析 P.15

1. 環保椰殼炭發煙值最低，因為**炭化溫度最高**，雜質都分解排出，剩下**碳的成分較高**。
2. 環保椰殼炭**維持【140°C 以上】的時間是最多**，推測因為**顆粒較粗燒較慢**。
3. 環保椰殼炭**灰分比例最低**，推測**炭化溫度較高**，木炭燃燒時殘留灰分較少。

## 五、不同製炭溫度木炭燃燒情形 P.16

從右表實驗結果可以發現，**炭化溫度高**，受熱分解排出的雜質較多，剩下**碳的成分較高**，各方面**表現都比較好**。

製炭溫度	電阻值	發煙值	140°C 以上時間	灰分比例
<b>700°C 以上</b>	<b>低</b>	<b>低</b>	<b>長</b>	<b>少</b>
300~400°C	高	高	短	多

## 六、木炭上不同孔洞數量的燃燒情形 P.18

1. 原料相同所以發煙值和灰分比例差異不大。
2. 木炭上鑽 5 個孔洞，接觸空氣和**同時燃燒的面積較大**，所以會**釋放較大的熱能**。
3. 「**燒得較快**」可以用「**增加木炭量**」來解決，所以**最後的產品使用 5 個孔洞來製作**。

木炭孔洞	發煙值	最高溫度	140°C 以上時間	灰分比例
1 洞	差異不大	低	<b>長</b>	差異不大
3 洞	差異不大	中	中	差異不大
<b>5 洞</b>	差異不大	<b>高</b>	短	差異不大



## 七、木炭製成【炭粉餅】的方法 P.20

1. 把木炭用咖啡磨豆機磨成粉。
2. 加入樹薯粉攪拌均勻。經過我們設計的【堅固度拉力測試法】，**碳粉：樹薯粉=25：1**有最好的效果。 P.23



3. 用自製的【炭粉餅擠壓成型機】和自製模具把炭粉擠壓成圓餅狀，並在中間製造 5 個圓孔。 P.21
4. 學「狀元糕」製作方法，**用蒸氣蒸 5 分鐘**，讓樹薯粉均勻產生黏性。 P.22
5. 烤箱定溫 80°C 烘烤 60 分鐘。



## 八、不同種類木頭的木炭製成【炭粉餅】的燃燒情形 P.25

使用**龍眼木、相思木、小葉欖仁**製成炭粉餅。結果發現電阻值、發煙值、自燃溫度變化、灰分比例，**所有的特性都差異不大**。所以**可以把三種木炭粉混合使用**。

## 九、不同炭粉顆粒大小【炭粉餅】的燃燒情形 P.26

1. 用篩網分出三種顆粒：細【小於 0.15mm】、中【0.15 mm~0.25 mm】、粗【0.25~0.425mm】。
2. 把三種顆粒做成【炭粉餅】，結果發現**相同重量，厚度竟然不一樣！**因為擠壓成型時，**粗顆粒會互相卡住，所以裡面縫隙較多**。
3. 維持【140°C 以上】的時間：細顆粒 > 中顆粒 > 粗顆粒。
4. 最高溫度：粗顆粒 > 中顆粒 > 細顆粒；灰分比例、發煙值三者差異不大。
5. **食材薄需大火快烤**，選擇**粗顆粒**炭粉餅；**食材厚需小火慢烤**，選擇**細顆粒**炭粉餅。



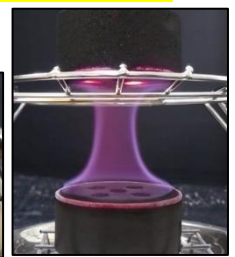
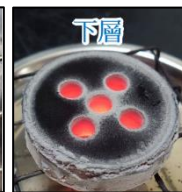
## 十、自製炭粉餅和市售木炭比較 P.27

實驗證明：自製【炭粉餅】發煙最少、高溫最久、達到最高溫 326°C、灰分最少。

**達成目標：自製無煙高溫速燃炭粉餅，絕無添加化學助燃劑，成功避免食安問題！**

## 十一、炭粉餅吸入酒精當成火種的燃燒情形 P.27~P.28

1. 下層炭粉餅吸收可燃酒精，**可以燃燒自己**，也可以**取代會產生大量煙霧的火種**。
2. 上層和下層炭粉餅【維持 140°C 以上】的時間都是 **50 分鐘**。



3. 酒精燒完後**上、下層炭粉餅都可以繼續自燃**，**自製無煙速燃炭粉餅結合火種功能~成功！**

## 十二、用自製無煙速燃炭粉餅實際烤肉的情形 P.28

生火完成時間只要 **5 分 25 秒**、22.6 公克的炭粉餅燃燒時間至少**持續 55 分鐘以上**、新炭粉餅放在已經點燃的炭粉餅上**最快 2 分 30 秒就可以被點燃**，效果真的很好！

## 十三、未來可再進一步實驗討論

1. 可使用其他廢棄植物製炭，達到回收再利用的效果。例如太空包木屑、建築廢木。
2. 可實驗精算討論，我們炭粉餅製作方法、流程的成本和市售木炭成本的差異。

## 柒、參考資料

- 一、認識木炭。台灣學校網界博覽會。 <http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2016/aaa3922601/SOCK.htm>
- 二、木炭種類介紹。天祥木炭工廠。 <https://www.char-coal.com.tw/>
- 三、激發食物美味的魔法：梅納反應。台大科學教育發展中心。
- 四、優良農產品驗證管理辦法：第四條附件十四、林產品項目驗證基準。行政院農委會。
- 五、中華民國第 58 屆中小學科學展覽會。萬象「羹」新-探討勾芡液的黏度變化。

## 【評語】 082931

1. 此研究試著自製無煙炭餅，以解決市售木炭難點燃及炭餅產煙問題。研究發現，以樹薯粉自製的炭餅，具有速燃、無煙及維持熱力供應時間長等優點。
2. 製炭相關研究不少，作者整理並分析，將文獻內的問題逐一解決。自製工具解決研究過程疑問，顯示作者良好的探究精神與設計能力。思慮周延，研究邏輯性強，實驗架構完整，具備有檢測創新性之精神。
3. 建議：
  - (1) 自燃的說明應修正。碳粉餅吸附酒精後，應不會自燃。「自燃」的釋義為「物質的溫度升高至燃點，不用火焰等點火，便可在空氣中自動燃燒。」，但本作品的燃點應高於室溫，仍然需要先用火焰等點火，才能開始燃燒。
  - (2) 因添加澱粉於所製備的木炭粉餅，是否易於潮溼影響效期，可進一步檢測。

# 作品海報

# 摘要

本研究探討製作無煙高溫速燃炭粉餅的條件及方法，解決使用木炭遇到燃燒不易、初期冒煙、化學助燃劑影響食安等問題。

為了把木炭燃燒過程數據化、找到製炭最佳條件，我們自製【製炭爐】、【微量煙霧測量器】、【製炭完成顯示器】、【炭粉餅擠壓成型機】；設計【木炭測量流程】、【蒸氣加熱法】、【堅固度拉力測試法】。

實驗發現：700°C以上製炭、孔洞多，燃燒時較無煙、溫度高、灰份少。木炭磨成粉有速燃效果，粗粉末溫度高、細粉末維持高溫時間長。不同木材炭化磨成粉後被「均質化」，燃燒情形差異不大。添加樹薯粉可讓炭粉餅耐重2kg，但發煙值只增加3.7%。

炭粉餅能吸附3.45g酒精自燃取代火種，能維持140°C以上50分鐘，達到方便、無煙、速燃、高溫的目標！

# 壹、研究動機

木炭是人類不可或缺的一種燃料，有少煙、無明火、高熱等優點。但要點燃木炭是不太容易的事，不是要弄髒雙手堆疊出適當的構造用火種點燃，就是要額外準備像是噴火槍的工具點燃，而且火種本身也會冒出大量的煙。

市面上有出現一點火就自燃的速燃炭，但是調查發現裡面是加了化學助燃劑，這樣的速燃炭在一開始燃燒時會有難聞的煙，而且燒烤食物存在食安問題。所以我們想自己製作一種能速燃、自燃、無煙的方便木炭，讓大家不用弄髒手，輕鬆點火就可以享受烤肉的樂趣！

★與課程相關單元：【燃燒和生鏽】、【資訊課Scratch】、【水溶液酸鹼】、【簡單機械】

# 貳、研究目的

- 【研究一】設計製炭工具和測量煙霧的工具及方法
  - 【製炭爐】的設計，盡可能讓每次製炭環境相同
  - 判斷何時製炭完成的方法以及用電阻值測試是否真的製作出木炭
  - 【微量煙霧測量器】的設計，測量木炭燃燒時是否產生煙
  - 設計木炭測量的項目和標準流程：灰分比例、發煙量、溫度變化、燃燒流程。
- 【研究二】市售五種木炭的測試與分析：圓形速燃炭、方形速燃炭、環保精製炭、環保椰殼炭、紅樹林炭
- 【研究三】不同製炭溫度是否影響燃燒情形
- 【研究四】木炭上不同孔洞數量是否影響燃燒情形
- 【研究五】不同種類木頭製作木炭是否影響燃燒情形
- 【研究六】將木炭製成炭粉餅進行燃燒比較：
  - 【炭粉餅擠壓成型機】的設計和【炭粉餅】的製作流程
  - 不同黏著劑比例對於堅固度與燃燒情形的比較-設計【堅固度拉力測試法】
  - 不同種類木頭是否影響炭粉餅燃燒情形
  - 不同木炭粉顆粒大小是否影響炭粉餅燃燒情形
- 【研究七】自製炭粉餅和市售木炭比較與炭粉餅吸入酒精當成火種的燃燒情形

# 參、研究設備及器材

製作工具	電鑽、螺絲起子、線鋸機、熱熔槍
製炭爐	不鏽鋼水桶、水泥、耐火土、不鏽鋼管
微量煙霧測量器	抽油煙機風管、機屬漏斗、PVC水管、Arduino主板、光敏電阻
炭粉餅擠壓成型機	木板、木條、角木、螺絲釘、螺帽、PVC水管、直角鐵
製炭材料	相思木、龍眼木、小葉欖仁木、樹薯粉、水

# 肆、研究過程與方法

一、關於製作木炭的理論：

- 製作木炭步驟  
採集木料、入窯、封窯、供火加熱、開窯
- 木材炭化的原理：炭化是指含碳元素的原料在「缺氧」的環境下加熱，分解成一氧化碳、氫氣、甲烷、二氧化碳、焦油、醋酸、木炭等物質。木質纖維材料加熱後，當溫度為160°C~450°C時為熱裂解的過程；當溫度為300°C~800°C時為炭化的過程。
- 不同製炭的方法：



二.研究架構：



# 伍、研究結果與討論

## 【研究一】設計製炭工具和測量煙霧的工具及方法

一、【製炭爐】的設計，盡可能讓每次製炭環境相同

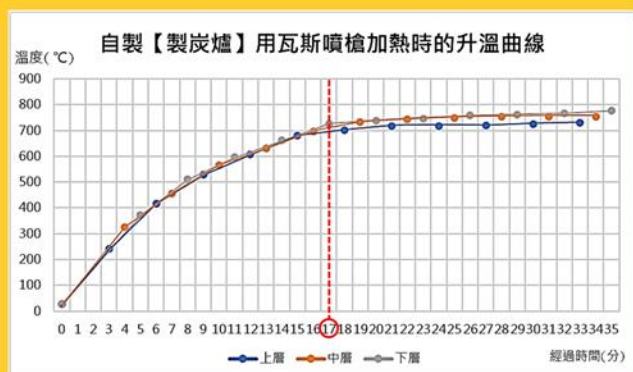
1.設計討論

- 把木材隔絕空氣加熱，讓它分解，留下我們所需要純度較高的碳的成分。
- 查詢以前科展資料發現，過去研究不是用定溫烘箱，就是用枯樹枝加熱密閉鐵桶製炭，沒有標準流程方法知道什麼時候製炭完成。
- 用鐵桶、水泥、耐高溫水泥當作隔熱體，使用瓦斯噴槍當作熱源加熱，可以用瓦斯開關旋鈕調整火力大小，控制溫度。

2.【製炭爐】的製作過程：



3.【製炭爐】的升溫曲線及整體空間溫度測量

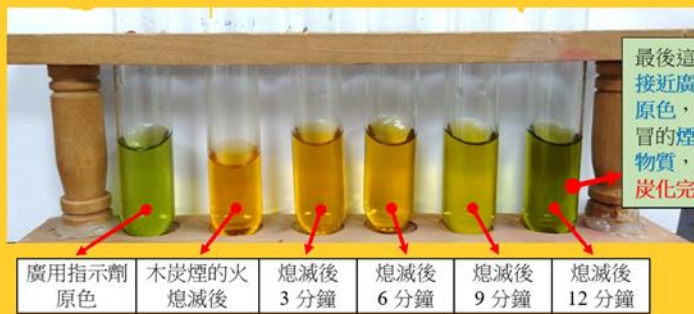


- 只有一支溫度計，所以每隔一分鐘測量一層溫度。
- 上中下層在17分鐘後都可以到達700°C以上。
- 上中下層的溫度在15分鐘後，誤差都在50°C以內。

二、判斷何時製炭完成的方法以及用電阻值測試是否真的製作出木炭

1.【製炭完成顯示器】的設計與使用方法

- 拉開針筒，抽煙孔就會把炭化冒的煙抽進試管的廣用指示劑中。
- 當燃燒煙的火焰自然熄滅後，每隔3分鐘抽取煙測試，直到測出中性就關火，完成炭化。

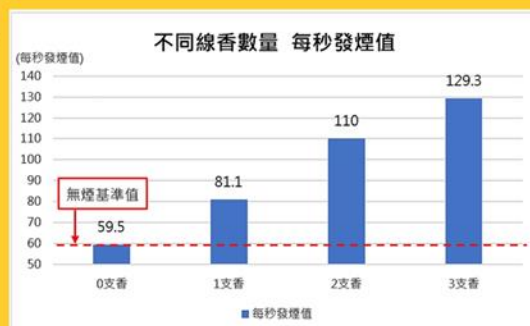
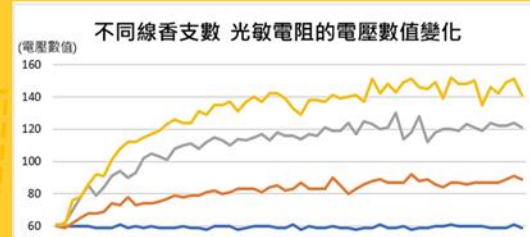
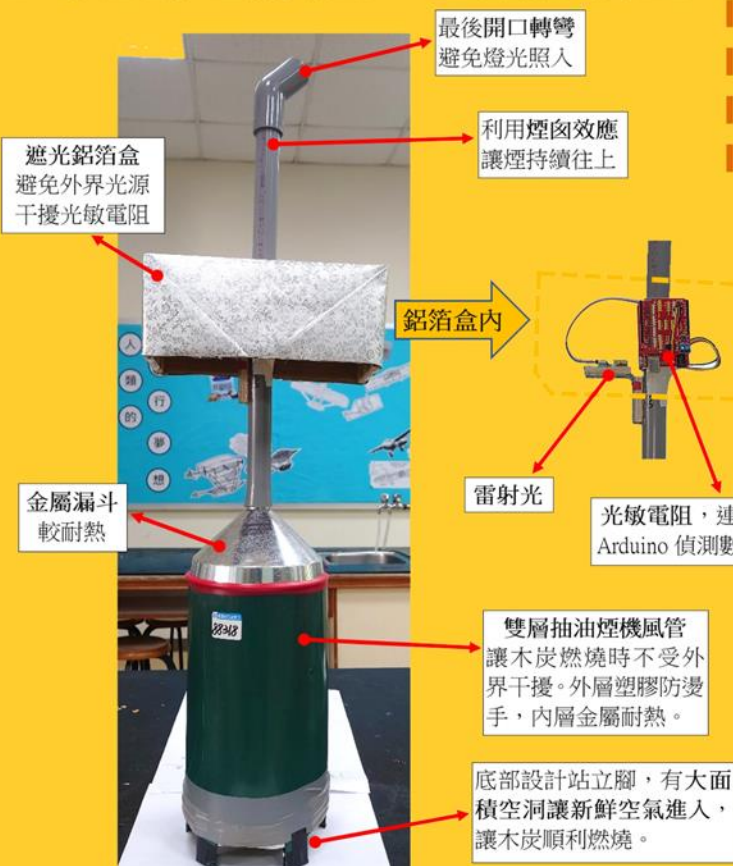


2.用電阻值測試是否真的製作出木炭

- 炭是一種可以導電的物質，測出來的電阻數值愈小代表精煉度愈高，可用以表示木炭之品質。
- 實驗數據證明，「700°C以上自製小葉欖仁炭」電阻值比其他市售木炭還要低，代表用我們自製【製炭爐】可以成功製作出木炭！

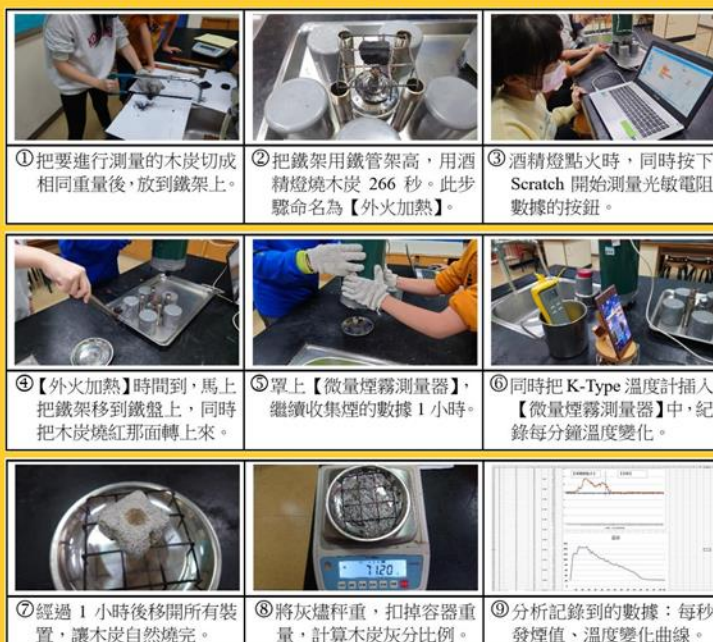


三、【微量煙霧測量器】的設計，測量木炭燃燒時的煙量



四、【微量煙霧測量器】的設計，測量木炭燃燒時的煙量

- 灰分：計算方式 = (燃燒後重量/燃燒前重量) × 100%
- 發煙量：分兩階段測量，第一階段：木炭被火源加熱，第二階段：木炭自燃。
- 溫度變化：用K-Type溫度計，每分鐘記錄1次溫度，共紀錄1小時，共60個數據，觀察木炭燃燒的溫度表現。

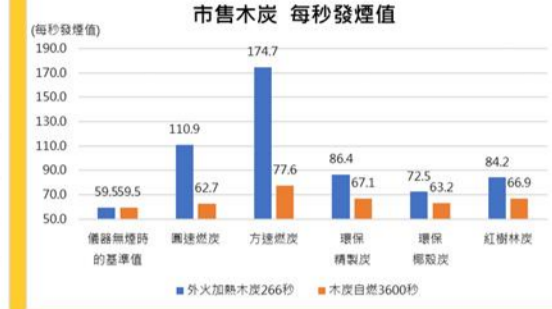
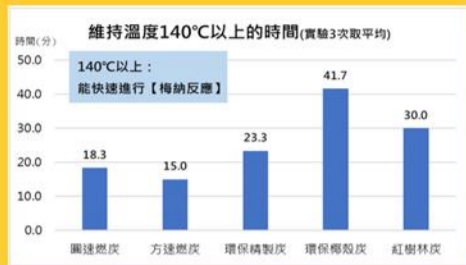
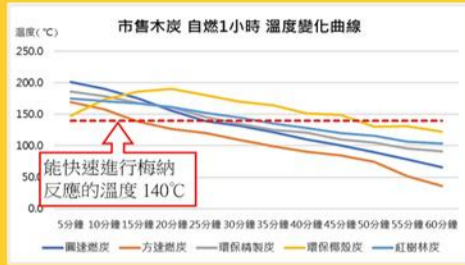


- 從折線圖可以發現，我們設計的【微量煙霧測量器】可以分辨出不同線香的煙量。
- 在0支線香時，電壓數值可以很穩定的維持幾乎一直線，數值最大差距為2。
- 因為每次實驗都要做三次，這樣總共12條折線很難進行比較，所以決定把每次實驗數據取每秒平均後，再把3次實驗數據取平均，命名為【每秒發煙值】。
- 【每秒發煙值】越大，煙的量越大。

## 【研究二】市售五種木炭的測試與分析

### 1. 自然溫度變化情形：

- 用140°C當維持溫度標準是因為，烤肉要好吃表面要有梅納反應，就是蛋白質和糖進行一系列複雜化學反應的總稱，而梅納反應會在140°C以上快速進行。
- 圓速炭因為裡面添加助燃劑，大量細木炭粉同時燃燒，所以一開始溫度最高。
- 圓、方速炭因為快速燃燒，能維持【140°C以上】的時間是最後2名。
- 環保椰殼炭(黃色)因為粗顆粒高壓壓縮而成，一開始不好燒，前20分鐘還在升溫，雖然不是最高溫，但是卻能維持【140°C以上】的時間是最多的，達到45分鐘。



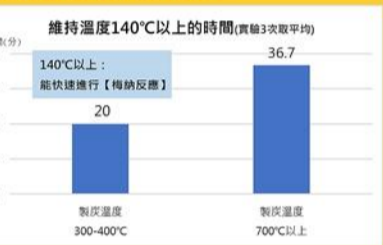
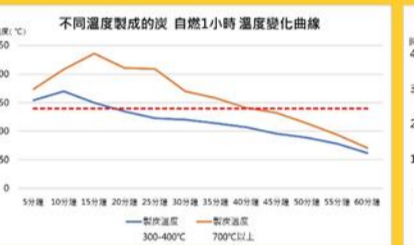
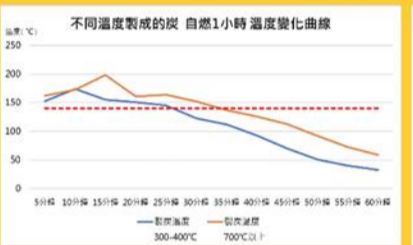
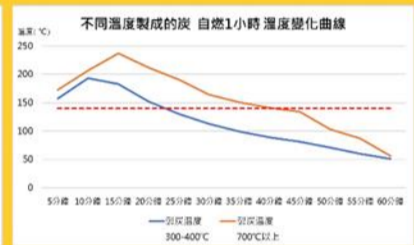
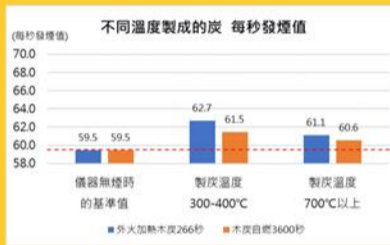
## 【研究三】不同製炭溫度是否影響燃燒情形

### 1. 實驗方法：

- 高溫製炭：用製炭爐加熱維持700°C以上，再按照【研究一】的製炭步驟進行。
- 低溫製炭：用製炭爐中層溫度為標準，溫度升高到375°C關火；溫度降到325°C再開火，盡可能讓整體維持在300-400°C之間，再按照【研究一】的製炭步驟進行。

### 2. 電阻值比較：

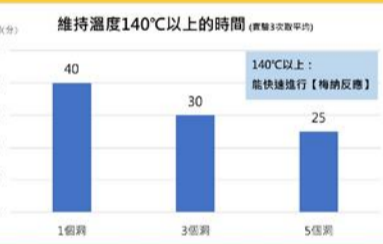
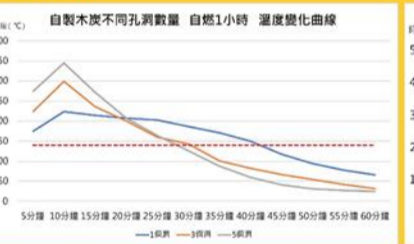
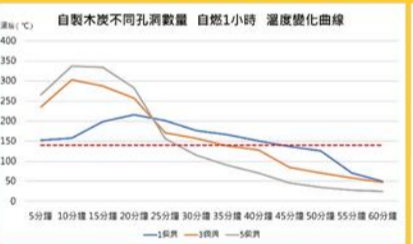
- 高溫製炭電阻值平均為：44.9 KΩ。低溫製炭電阻值平均為：12574.4 KΩ。
- 從電阻值可以發現，高溫製炭的木炭品質較好，推測碳元素含量較多。



## 【研究四】木炭上不同孔洞數量是否影響燃燒情形

### 1. 實驗方法：

- 使用學校鋸下來的小葉欖仁樹，盡可能切成等重木塊，最大重量誤差為1.9%。
- 在木塊上分別鑽出1、3、5個洞。
- 用700°C以上的溫度來製炭，用【製炭完成顯示器】來判斷何時製炭完成。



## 【研究五】不同種類木頭製作木炭是否影響燃燒情形

### 1. 實驗方法：

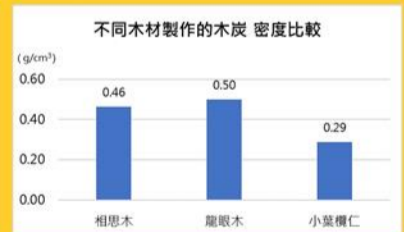
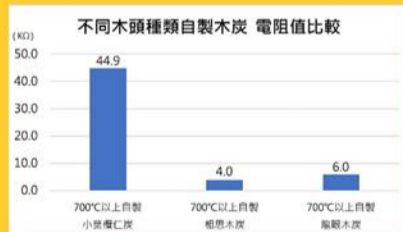
- 木材使用小葉欖仁樹、龍眼木、相思木三種木頭。
- 在木塊上鑽出5個洞。
- 用700°C以上的溫度來製炭。

### 2. 電阻值比較

- 小葉欖仁炭的電阻值分別是相思木炭、龍眼木炭的11.2倍和7.5倍。
- 木炭店老闆說，相思木炭、龍眼木炭比較紮實，其他木頭做成的雜木炭比較鬆。
- 推測木炭如果較紮實，木炭中碳和碳之間空隙小，較易導電，電阻值低。

### 【發現重大問題】

- 龍眼木和相思木製成的木炭竟然無法燒完就熄滅，導致實驗中斷。
- 推測正常木炭燃燒是要堆成圓拱狀聚熱，但是我們是單塊木炭、酒精燈單點燃燒，無法聚熱。
- 計算密度後發現，相思木炭、龍眼木炭的密度分別是小葉欖仁木炭的1.6倍、1.7倍。密度大代表木炭內縫隙少，不易燃燒。
- 所以我們決定之後的實驗都把木炭磨成粉，擠壓成「炭粉餅」進行實驗，而且木炭磨成粉可以增加表面積，應該可以更容易燃燒，達成我們製作【速燃炭粉餅】的目標！



## 【研究六】將木炭製成炭粉餅進行燃燒比較

### 一、【炭粉餅擠壓成型機】的設計和【炭粉餅】的製作流程

#### 1. 【炭粉餅擠壓成型機】

- 我們要把炭粉擠壓成固定的形狀，而且要用同樣大小的力量，這樣實驗才公平。
- 我們想到模仿「擠蒜泥器」，利用「第二類槓桿」來放大力量。
- 施力臂：抗力臂 = 4 : 1。所以掛6公斤的重物等於是用24公斤在壓炭粉餅。



【炭粉餅擠壓成型機】 施力點 抗力點 裝碳粉、擠壓成炭粉餅的容器

#### 2. 裝碳粉、擠壓「炭粉餅」的容器



#### 3. 擠壓「炭粉餅」的方法



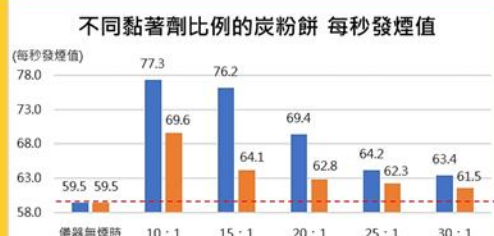
#### 4. 製作【炭粉餅】的流程

- 製作碳粉：把木炭用咖啡磨豆機磨成粉末。
- 用天然澱粉來製作，這樣燒起來比較不會有有害物質。澱粉產生黏性的必要條件：【澱粉 + 水 + 熱 = 澱粉糊化】



## 二、不同黏著劑比例對於堅固度與燃燒情形的比較

- 我們選擇測試的「炭粉樹薯比」分別是【10：1】、【15：1】、【20：1】、【25：1】、【30：1】。
- 【炭粉餅】的堅固度
  - 將上面5種不同比例的「炭粉樹薯粉」用【研究六】的方法進行製作炭粉餅。
  - 我們設計了【堅固度拉力測試法】來進行比較堅固度。在炭粉餅上掛水桶，用固定流量的水增加重量，最後把水桶秤重，用重量當作「堅固度」。重量越大，堅固度越高。
- 每秒發煙值：
  - 發煙值外火加熱大於木炭自燃
  - 樹薯粉越多每秒發煙值越大。
  - 【25：1】的最大發煙值為78；【30：1】的最大發煙值為71；但是這兩個比例的「每秒發煙值」只差距1.2%。
- 自燃溫度變化情形
  - 三次溫度實驗中，各自出現最高溫的分別是：【15：1】241°C、【20：1】277°C、【25：1】267°C。最高溫沒有只出現在一種比例上。
  - 維持【140°C以上】的時間最多的是【10：1】、【25：1】、【30：1】。
  - 所以我們認為這5種不同黏著劑(樹薯粉)比例對燃燒溫度影響不大。
- 灰分比例：
  - 因為都是使用自製700°C以上的小葉欖仁炭，所以灰分比例差異不大，最多只差2%。
  - 灰分比例沒有因為樹薯粉比例減少而一直降低，所以我們認為樹薯粉量對這5種比例的灰分影響不大。
- 樹薯粉比例的選擇  
雖然【25：1】的發煙值比【30：1】的多1.2%，但是堅固度卻多了29.6%，所以最後選擇【炭粉：樹薯粉 = 25：1】來製作炭粉餅。



在壓力繩上鑽洞，綁上繩子，繩子用熱融膠固定。

用木板製作可以支撐炭粉餅左右各1/3的平台。

繩子穿過炭粉餅中間的洞，繩子下面勾上S鈎掛重物。

水桶掛在S鈎上，把水管插進水桶，開始加水。水龍頭上標記，固定水流速度，這樣每次實驗才公平。

炭粉餅受不了重量，就會斷裂。這時候水桶就會掉落到桌面，因為水桶底比較寬，所以會站好。

因為水管只有插進水桶一點點，所以每次水桶掉落，出水口就會離開，不會再加水。

不同黏著劑比例木炭粉餅 自燃1小時 溫度變化曲線

不同黏著劑比例木炭粉餅 自燃1小時 溫度變化曲線

不同黏著劑比例木炭粉餅 自燃1小時 溫度變化曲線

維持溫度140°C以上的時間 (實驗3次取平均)

黏著劑比例	維持溫度140°C以上時間(分鐘)
10:1	36.7
15:1	35.0
20:1	35.0
25:1	36.7
30:1	36.7

## 三、不同種類木頭是否影響炭粉餅燃燒情形

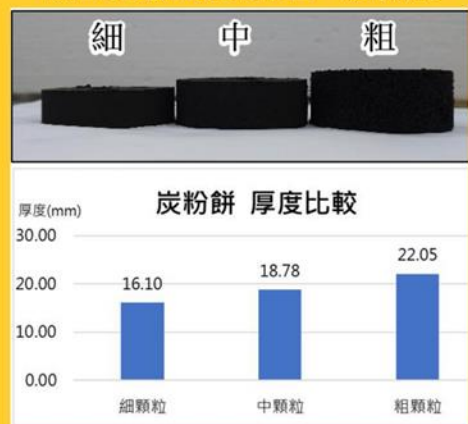
- 電阻值比較
  - 實驗結果發現，三種木炭粉電阻值各有輸贏，沒有誰是最高或最低。而且三者電阻值最高與最低只差4.4%。
  - 推論因為700°C以上的溫度製炭，已經把不同木頭裡面的物質分解成只剩下炭，再把它們磨成粉用相同力量擠壓，去除三種木頭密度不同的因素，所以電阻值差異不大。



- 每秒發煙值
  - 三者每秒發煙值最多只差2.5%。
  - 經過高溫炭化大家幾乎只剩下炭，所以發煙值差異不大。
- 自燃溫度變化情形
  - 維持【140°C以上】的時間最多只差4.1%。
  - 經過高溫炭化幾乎只剩下炭，所以高溫的時間差異不大。
- 灰分比例：小葉欖仁炭粉餅9.4%；龍眼木炭粉餅9.5%；相思木炭粉餅9.8%。三者差異不大。
- 結論：所以之後的實驗把三種木炭粉混合使用。未來也可以測試其他木頭是否有相同效果。

## 四、不同炭粉顆粒大小是否影響炭粉餅燃燒情形

- 用磨豆機、篩網製作、分類出不同顆粒大小的炭粉
- 相同重量、不同顆粒大小的【炭粉餅】，它們的厚度竟然不一樣！粗顆粒會互相卡住，所以裡面的縫隙較多；細顆粒可以排得比較緊密，縫隙較少。
- 每秒發煙值
  - 三者每秒發煙值最多只差0.81%。
  - 因為三者原料相同只是炭粉顆粒大小不同而已，所以發煙值差異不大。
- 自燃溫度變化情形
  - 燃燒溫度：粗顆粒 > 中顆粒 > 細顆粒
  - 維持【140°C以上】的時間：細顆粒 > 中顆粒 > 粗顆粒
  - 會有這樣的結果推測是因為粗顆粒的炭粉餅裡面縫隙多，接觸空氣多，所以和燃燒較旺盛，所以最高溫度較高，但是因為這樣燒得比較快。
  - 粗顆粒炭粉餅燒完的灰燼會掉落到盤子上，代表灰燼不會附著在正在燃燒的部分，不會擋住空氣，所以燒得較快，也不會擋住釋放熱。
  - 但是細顆粒炭粉餅灰燼不會掉落，代表灰燼會附著在正在燃燒的部分，所以【最高溫】和【維持140°C以上】的情況跟粗顆粒炭粉餅相反。



把自製的木炭，用咖啡磨豆機調整磨出的粉末粗細。把底部磨刀調成三種情形：最緊、放鬆6格、放鬆12格。

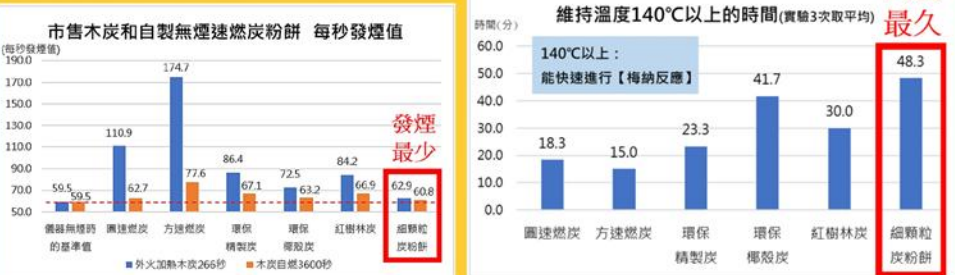
- 為了準確區分顆粒大小，使用40目、60目、100目的網篩過濾。三種粉末顆粒大小分別是：細【小於0.15mm】、中【0.15mm~0.25mm】、粗【0.25~0.425mm】。
- 我們用舊的震動按摩器加速過濾分類過程。

- 灰分比例：三者最多差0.8%，差異不大。
- 結論：不同顆粒大小的炭粉餅各有優缺點，所以民眾可以根據烤肉的食材來選擇。
  - 如果食材較薄、需要大火快烤，像五花肉片、雞皮，就可以選擇粗顆粒炭粉餅。
  - 如果食材較厚、需要小火慢烤，像厚牛排、大雞腿，就可以選擇細顆粒炭粉餅。



## 【研究七】自製炭粉餅和市售木炭比較 與炭粉餅吸入酒精當成火種的燃燒情形

### 一、自製炭粉餅和市售木炭比較



### 二、炭粉餅吸入酒精當成火種

自製的炭粉餅吸收酒精後會產生明火，不但可以燃燒自己，也可以取代會產生大量煙霧的火種。

【實驗結果】

- 上層和下層炭粉餅【維持140°C以上】的時間都是50分鐘。
- 上層炭粉餅溫度較高，但50分鐘後也較快下降，因為一開始上層炭粉餅被燒紅的部分較多。
- 當燃燒酒精的明火燒完後，上層和下層的炭粉餅都可以繼續自燃，所以我們設定的目標：自製無煙高溫速燃炭粉餅結合火種功能，成功！

上、下層炭粉餅 自然溫度變化

## 陸、研究結果

### 一、「製炭工具」的設計

- 【製炭爐】
  - 用鐵桶、水泥、耐高溫水泥當作隔熱體，使用瓦斯噴槍當作熱源加熱，可以用開關調整火力控制溫度。
  - 上中下層的溫度15分鐘後誤差都在50°C以內；17分鐘後都可以維持在700°C~800°C。



- 【製炭完成顯示器】：利用製炭時會產生木醋液的特性，測量製炭冒的煙的酸鹼性，判斷木炭是否製作完成。當燃燒煙的火焰自然熄滅後，每隔3分鐘抽取煙測試，直到測出中性就關火，完成炭化。
- 【用電阻值測試是否真的製作出木炭】：數值愈小代表精煉度愈高。用700°C以上自製小葉欖仁炭電阻值比其他市售木炭還要低

### 二、「微量煙霧測量器」的設計

- 利用雷射光照到煙會散射光的原理。「光敏電阻」會因為光照的強度改變電阻值。再搭配我們學過的Scratch收集數據，把煙的量數字化。
- 【微量煙霧測量器】可以分辨出不同數量線香的煙量。
- 把每次實驗數據取每秒平均後，命名為【每秒發煙值】。用這樣的方法比較木炭燃燒時發煙情形。【每秒發煙值】越大，煙的量越大。

### 三、木炭測量的項目和標準流程的設計

- 比較木炭特性要測量：每秒發煙值、溫度變化、灰分比例。
- 用K-Type溫度計記錄每分鐘木炭燃燒時的溫度。我們用【能維持140°C以上的時間】當作比較標準，因為讓食物好吃的梅納反應會在140°C以上快速進行。
- 火種本身會冒煙影響實驗，所以要用酒精燈取代火種。酒精燈燃燒266秒 = 1顆火種的燃燒。
- 灰分比例 = (燃燒後重量/燃燒前重量) × 100%。



### 四、不同製炭溫度木炭

製炭溫度	電阻值	發煙值	140°C以上時間	灰分比例
700°C以上	低	低	長	少
300-400°C	高	高	短	多

### 五、木炭上不同孔洞數量

木炭孔洞	發煙值	最高溫度	140°C以上時間	灰分比例
1洞	差異不大	低	長	差異不大
3洞	差異不大	中	中	差異不大
5洞	差異不大	高	短	差異不大

### 六、製作【炭粉餅】

- 碳粉：樹薯粉 = 25：1有最好的效果。
- 用自製的【炭粉餅擠壓成型機】和自製模具把炭粉擠壓成圓餅狀，並在中間製造5個圓孔。
- 用蒸氣蒸5分鐘，讓樹薯粉均勻的產生黏性。
- 烤箱定溫80°C烘烤60分鐘。

### 七、不同種類木頭製成【炭粉餅】的燃燒情形

用龍眼木、相思木、小葉欖仁製成炭粉餅，電阻值、發煙值、自燃溫度變化、灰分比例，所有特性差異不大。所以可把三種木炭粉混合使用。

### 八、不同炭粉顆粒大小【炭粉餅】的燃燒情形

- 不同顆粒做成炭粉餅，厚度、縫隙大小不同！
- 【140°C以上】時間：細顆粒 > 中顆粒 > 粗顆粒
- 最高溫度：粗顆粒 > 中顆粒 > 細顆粒
- 食材薄用粗顆粒炭粉餅，食材厚用細顆粒炭粉餅

### 九、自製炭粉餅和市售木炭比較

證明自製【炭粉餅】發煙最少、高溫最久、達最高溫326°C、灰分最少。

### 十、炭粉餅吸入酒精當成火種的燃燒情形

- 下層炭粉餅吸收酒精，可燃燒自己，也可取代火種。
- 上、下層炭粉餅【維持140°C以上】的時間都是50分鐘
- 自製無煙速燃炭粉餅結合火種~成功！

### 十一、未來可再進一步實驗

- 回收再利用其他廢棄植物製炭，例如建築廢木
- 可精算討論，我們炭粉餅製作方法、流程的成本和市售木炭成本的差異。

## 柒、參考資料

- 認識木炭。台灣學校網界博覽會。<http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2016/aaa3922601/SOCK.htm>
- 木炭種類介紹。天祥木炭工廠。<https://www.char-coal.com.tw/>
- 激發食物美味的魔法：梅納反應。台大科學教育發展中心。
- 優良農產品驗證管理辦法：第四條附件十四、林產品項目驗證基準。行政院農委會
- 中華民國第58屆科展。萬象「糞」新-探討勾芡液的黏度變化。