

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 化學科

第三名
探究精神獎

080217

「木氣」沖天-木氣爐構造對木質顆粒燃燒之研究

學校名稱：南投縣南投市光華國民小學

作者： 小六 林子傑	指導老師： 林甫憲
---------------	--------------

關鍵詞：木氣爐、木質顆粒、二次燃燒

摘要

透過多次觀察焚火台的經驗，並發現這幾年大家開始採用比較環保的木質顆粒當作燃料，在這次不斷的研究中，逐步發現自製木氣爐搭配木質顆粒燃燒的效果差異。我的研究共有七個研究目的，分別為木氣爐原理與材料調查、自製木氣爐、探討自製木氣爐外罐口徑大小對木質顆粒燃燒的影響、探討自製木氣爐內罐底層孔洞大小的對木質顆粒燃燒的影響、探討自製木氣爐內罐上層孔洞大小對木質顆粒燃燒的影響、探討自製木氣爐內罐上層孔洞排列形狀對木質顆粒燃燒的影響、經參數優化的自製木氣爐及改良裝置的比較。隨著一次又一次的實驗，漸漸發現一些問題，在實驗中試著改良我的木氣爐，最後藉由數據分析，做出一個最適合搭配木質顆粒燃料的野炊木氣爐。

壹、研究動機

假日，常常跟爸爸去露營，我們最喜歡攜帶的器材就是焚火台。每當晚餐時刻，爸爸就會拿出焚火台，點起營火，煮出各式各樣好吃的美食，吃完飯後，我和爸爸時常都會坐在旁邊取暖，而我有時就會在爐火旁，看著火焰旋轉跳躍，令人不自覺的，有股安定的氛圍油然而生。就在一次的露營中，我突然想到，如果焚火台的規格、進氣孔大小不同會不會影響它加熱的效果？正巧，最近自然課也教到熱的傳導，我一回家就馬上利用網路查詢各種款式的焚火台，其中最讓我好奇的就是「木氣爐」，我很好奇它的構造和燃燒的方式，我也查到它和火箭爐一樣擁有二次燃燒的特性，便想要親眼看看木氣爐燃燒的景象。正當我傷腦筋要用哪種物品當作燃料的時候，爸爸跟我分享，最近他在網路上看到，有一種用廢棄木材削切壓縮再利用的燃料，叫做「木質顆粒」，既環保又攜帶方便，當下，我就覺得這種木質顆粒似乎可以當作研究用的燃料。它既可以達到燃燒效果也不造成地球額外的負擔，非常好用。經過多方的查詢以及測試，我決定以自製木氣爐和木質顆粒做搭配，正式開啟了我的研究。

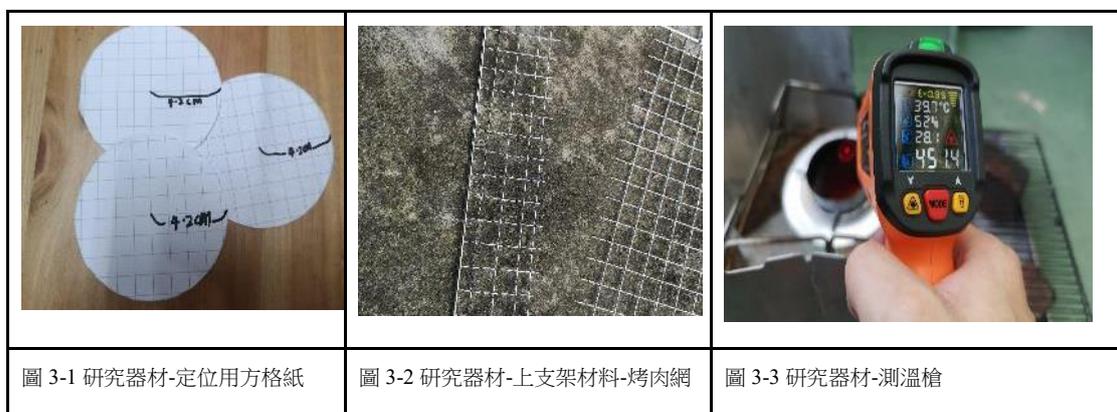
貳、研究目的

- 一、木氣爐原理與材料調查
- 二、自製木氣爐
- 三、探討自製木氣爐外罐口徑大小對木質顆粒燃燒的影響
- 四、探討自製木氣爐內罐底層孔洞大小的對木質顆粒燃燒的影響

- 五、探討自製木氣爐內罐上層孔洞大小對木質顆粒燃燒的影響
- 六、探討自製木氣爐內罐上層孔洞排列形狀對木質顆粒燃燒的影響
- 七、經參數優化的自製木氣爐及改良裝置的比較

參、研究設備及器材

奇異筆一支、電鑽一把、鉗子一把、尺一把、彎鐵剪一支、半圓銼刀一支、膠水一瓶、板手一支、鐵罐直徑 10.5 公分高 16.4 公分一個、鐵罐直徑 12.5 公分高 16.4 公分一個，鐵罐直徑 14.5 公分高 16.4 公分一個、鐵罐直徑 8.5 公分高 14.5 公分六個、手機一支、一公升容量不鏽鋼水壺一個、紅外線測溫槍一支、4mm 螺絲二盒、4mm 螺帽二盒、方格紙五張、打火機一支、木質顆粒二袋(20Kg)、圓規一個、酒精二瓶、鑽頭 3mm、4mm、5mm、6mm 各一個、鐵容器一個、磅秤一台、計時器一個、毛刷一個、湯匙一個、烤肉網一個、L 架三個、布尺一條、擋風板一個。



肆、研究過程和方法

一、木氣爐原理與材料調查

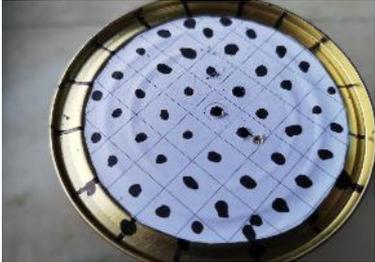
- (一)利用網路資源查詢了木氣爐的相關原理，記錄並整理。
- (二)繪製木氣爐運作原理圖，並藉由相關資料確認自製木氣爐所需規格與材料。
- (三)至賣場市場調查，評估並選擇可用的實驗內外罐。

二、自製木氣爐

(一)製作內罐

- 1.使用線上 Gridzzly 網站列印間距為 1 公分的方格紙。
- 2.測量內罐的直徑，用圓規在方格紙畫一個和內罐直徑一樣大的圓，並剪下來。
- 3.將步驟 3 的方格紙貼在內罐的底部，用奇異筆在方格紙上的交叉點中點一個點。

- 4.先用 3mm 的鑽頭以敲打的方式在點上敲一個小洞以便鑽洞。
- 5.用 3mm 的鑽頭在內罐底部記號上鑽洞。
- 6.用尺在內罐上方由上往下測量 1cm，並做記號把布尺放在剛剛畫的記號下。
- 7.每隔 1.5 公分做一個記號，用 3mm 的鑽頭以敲打的方式在點上敲一個小洞。
- 8.用 3mm 的鑽頭在上方環繞記號上鑽上層孔洞。

圖 4-2-1 用奇異筆在方格紙上點一個點	圖 4-2-2 以敲打的方式在點上敲一個小洞	圖 4-2-3 用 3mm 鑽頭在內罐底部點上鑽洞
		
圖 4-2-4 測量棉線記號頭跟尾，從頭到尾每隔 1.5cm 點一個記號	圖 4-2-5 每隔 1.5 公分做一個記號	圖 4-2-6 用 3mm 的鑽頭在記號點上鑽上層孔洞
		

(二)製作外罐

- 1.把內罐放在外罐底部的中間點並使用奇異筆畫圈標示。
- 2.使用電鑽於中心點擴孔，並用彎鐵剪擴口到圓圈邊界。
- 3.用半圓銼刀把圓圈邊界刮平，直到內罐可塞進去。
- 4.在內罐上面露出來的地方量四個垂直點，並點上記號。
- 5.用 3mm 的鑽頭以敲打的方式，在點上敲一個小洞以便鑽洞。
- 6.用 3mm 的鑽頭在點上鑽洞並使用 3mm 螺絲由外罐內部穿出。
- 7.用扳手將 3mm 的螺帽分別套上每個螺絲，並鎖緊。

圖 4-2-7 內罐放在外罐底部的中間點畫記號	圖 4-2-8 用彎鐵剪擴口到圓圈邊界	圖 4-2-9 利用半圓銼刀修整剪開的圓形
		
圖 4-2-10 在內罐上面露出來的地方量四個垂直點，點上記號，並鑽洞	圖 4-2-11 用扳手將 3mm 的螺帽分別套上每個螺絲，並鎖緊	圖 4-2-12 組裝木器爐外罐與內罐
		

(三)檢測自製木氣爐燃燒之狀況:

1. 實際使用自製木氣爐加熱一公升自來水，並觀察其燃燒狀況。
2. 修正自製木氣爐以及調整燃燒用火種以及木質顆粒使用重量。

三、探討自製木氣爐外罐口徑大小對木質顆粒燃燒的影響

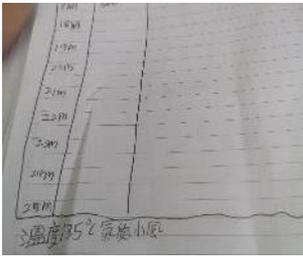
- (一)以直徑 10.5cm、12.5cm、14.5cm，高 16.5 公分的圓柱體鐵罐，製作木氣爐外罐。
- (二)使用直徑 8.5 公分，高 14.5 公分的鐵罐當作內罐，底層與上層孔洞皆為 3mm 大小。
- (三)燃料使用木質顆粒 120g，倒入爐中，並用打火機進行木質顆粒整平，讓木質顆粒平均平鋪在內爐內。
- (四)使用不鏽鋼水壺裝水並測量 1000 毫升水量。
- (五)記錄初始水溫、外在溫度及氣候狀態於紀錄本中。
- (六)測量 3 克的酒精並倒入木質顆粒中。
- (七)用打火機將木質顆粒點燃。
- (八)架上網架和擋風板，並放上水壺，在放置水壺的同時，使用計時器計時 25 分鐘。
- (九)每隔一分鐘就用測溫槍測量於離水面三十公分處水的溫度並記錄，當十五分鐘過了以後，移開茶壺、網架和擋風板。
- (十)換每隔一分鐘用溫度槍測量內罐的螺絲(接近爐口)溫度。
- (十一)在 20 分鐘以及完成的時候拍攝爐內灰燼照片。

(十二)25 分鐘後，再計時 15 分鐘，等待內爐冷卻。

(十三)灰燼倒在鐵容器裡，測量灰燼重量以及顆粒碳化重量，並記錄於紀錄本中。

(十四)重複以上實驗，直徑 10.5cm 實驗十二次、直徑 12.5cm 類型實驗十二次、直徑 14.5cm 實驗十二次，共計實驗三十六次。

(十五) 依照實驗紀錄製成表格，並剔除每個項目的兩個極端數據，完成統計表。

圖 4-3-1 倒入顆粒，並確認平鋪在爐內	圖 4-3-2 測量 1000 毫升自來水	圖 4-3-3 上層孔洞處呈現二次燃燒火焰
		
圖 4-3-4 網架擋風板	圖 4-3-5 溫度槍測量水	圖 4-3-6 記錄
		
圖 4-3-7 測量內罐的螺絲溫度	圖 4-3-8 拍灰燼照片	圖 4-3-9 測量灰燼重量
		

四、探討自製木氣爐內罐底層孔洞大小的對木質顆粒燃燒的影響

(一)分別用 3mm、4mm、5mm 的鑽頭在木氣爐內罐下方的點上打洞。

(二)選擇研究目的三之最佳的外罐作為後續實驗的外罐。

(三)燃料使用木質顆粒 120g，倒入爐中，並用打火機進行木質顆粒整平，讓木質顆粒平均平鋪在內爐內。

(四)使用不鏽鋼水壺裝水並測量 1000 毫升水量。

(五)記錄當時水溫、外在溫度及氣候狀態於紀錄本中。

- (六)測量 3 克的酒精並倒入木質顆粒中。
- (七)用打火機將木質顆粒點燃。
- (八)架上網架和擋風板，並放上水壺，在放置水壺的同時，使用計時器計時 25 分鐘。
- (九)每隔一分鐘就用測溫槍測量於離水面三十公分處水的溫度並記錄，當十五分鐘過了以後，移開茶壺、網架和擋風板。
- (十)換每隔一分鐘用測溫槍測量內罐的螺絲(接近爐口)溫度。
- (十一)在 20 分鐘以及完成的時候拍攝的爐內灰燼照片。
- (十二)25 分鐘後，再計時 15 分鐘，等待內爐冷卻。
- (十三)把灰燼到在鐵容器裡，測量灰燼重量以及顆粒碳化重量，並記錄於紀錄本中。
- (十四)重複以上實驗，內罐底層孔洞 3mm 實驗十二次、內罐底層孔洞 4mm 實驗十二次、內罐底層孔洞 5mm 實驗十二次，共計實驗三十六次。
- (十五)依照實驗紀錄製成表格，並剔除每個項目的兩個極端數據，完成統計表。。



五、探討自製木氣爐內罐上層孔洞大小對木質顆粒燃燒的影響

- (一)分別用 3mm、4mm、5mm 的鑽頭在木氣爐內罐上方環繞的點上打洞。
- (二)選擇研究目的四之最佳的內罐底層孔洞大小作為後續實驗的外罐。
- (三)燃料使用木質顆粒 120g，並倒入爐中，並用打火機進行木質顆粒整平，讓木質顆粒平均平鋪在內爐內。
- (四)使用不鏽鋼水壺裝水並測量 1000 毫升水量。
- (五)記錄當時水溫、外在溫度及氣候狀態於紀錄本中。
- (六)測量 3 克的酒精並倒入木質顆粒中。
- (七)用打火機將木質顆粒點燃。
- (八)架上網架和擋風板，並放上水壺，在放置水壺的同時，使用計時器計時 25 分鐘。

- (九)每隔一分鐘就用測溫槍測量於離水面三十公分處水的溫度並記錄，當十五分鐘過了以後，移開茶壺、網架和擋風板。
- (十)換每隔一分鐘用測溫槍測量內罐的螺絲(接近爐口)溫度。
- (十一)在 20 分鐘以及完成的時候拍攝爐內灰燼照片。
- (十二)25 分鐘到後，再計時 15 分鐘，等待內爐冷卻。
- (十三)把灰燼到在鐵容器裡，測量灰燼重量以及顆粒碳化重量，並記錄於紀錄本中。
- (十四)重複以上實驗，內罐上層孔洞 3mm 實驗十二次、內罐上層孔洞 4mm 實驗十二次、內罐上層孔洞 5mm 實驗十二次，共計實驗三十六次。
- (十五) 依照實驗紀錄製成表格，並刪除兩個極端的數據，完成統計表。



六、探討自製木氣爐內罐上層孔洞排列形狀對木質顆粒燃燒的影響

- (一)分別用形狀:直線、上下交錯、上二下二和上中下 V 型在木氣爐內罐上方環繞的點上打洞。
- (二)選擇研究目的五之最佳的內罐上層孔洞大小作為後續實驗的外罐。
- (三)燃料使用木質顆粒 120g，並倒入爐中，並用打火機進行木質顆粒整平，讓木質顆粒平均平鋪在內爐內。
- (四)使用不鏽鋼水壺裝水並測量 1000 毫升水量。
- (五)紀錄當時水溫、外在溫度與氣候狀態於紀錄本中。
- (六)測量 3 克的酒精並倒入木質顆粒中。
- (七)用打火機將木質顆粒點燃。
- (八)架上網架和擋風板，並放上水壺，在放置水壺的同時，使用計時器計時 25 分鐘。
- (九)每隔一分鐘就用測溫槍測量於離水面三十公分處水的溫度並記錄，當十五分鐘過了

以後，移開茶壺、網架和擋風板。

(十)換每隔一分鐘用測溫槍測量內罐的螺絲(接近爐口)溫度。

(十一)在 20 分鐘以及完成的時候拍攝的爐內灰燼照片。

(十二)25 分鐘後，再計時 15 分鐘，等待內爐冷卻。

(十三)當時間到時把灰燼到在鐵容器裡，測量灰燼重量以及顆粒碳化重量，並記錄。

(十四)重複以上實驗，直線類型實驗十二次上下交錯類型實驗十二次、上二下二類型實驗十二次、上中下 V 型實驗十二次，共計實驗四十八次。

(十五)依照實驗紀錄製成表格，並剔除每個項目的兩個極端數據，完成統計表。



七、經參數優化的自製木氣爐及改良裝置的比較

(一)分別用 L 架、烤肉網、和罐子製作放置水壺承重支架。

(二)以研究目的三至研究目的六的最佳項目當組合作為研究七的實驗木氣爐。

(三)燃料使用木質顆粒 120g，並倒入爐中，並用打火機進行木質顆粒整平，讓木質顆粒平均平鋪在內爐內。

(四)使用不鏽鋼水壺裝水並測量 1000 毫升水量

(五)記錄當時水溫、外在溫度及氣候狀態於紀錄本中。

(六)測量 3 克的酒精並倒入木質顆粒中。

(七)用打火機將木質顆粒點燃。

(八)架上網架和擋風板，並放上水壺，在放置水壺的同時，使用計時器計時 25 分鐘。

(九)每隔一分鐘就用測溫槍測量於離水面三十公分處水的溫度並記錄。

(十四)重複以上實驗共計二次。

(十五)計算平均，完成統計圖



伍、研究結果

一、木氣爐原理與材料調查

(一)在木氣爐的設計裡面，中間燃燒室的木材燃燒後產生的木煤氣透過下方的氣孔排出，並往上升。新鮮空氣由外爐氣孔隨著木煤氣的熱氣流上升，並因為接觸燃燒室外壁而達到加溫的效果，使得混合了空氣的木煤氣燃燒完全，並達到更高的溫度。

(二)到大賣場找尋各式各樣合適的規格。如圖 5-1-2

(三)最後我採用口徑 8.5 公分高 14.5 公分為內罐，因為它的組合性是最高，可以搭配其他尺寸的外罐。

圖 5-1-1 繪製木氣爐原理圖



二、自製木氣爐

(一)、自製木氣爐改良過程，如表 5-2-1 所示

表 5-2-1 木氣爐改良過程

設計次數	第一代	第二代	第三代
設計問題與修正	底部用螺絲螺帽來支撐，但有些罐子底部無法鑽洞，所以一定要找到可以鎖螺絲的罐子。	內爐上面用螺絲螺帽讓內爐不會掉下去，但底部支架問題尚未解決。	它的底部以夾子支撐，不僅每種罐子都可以用，也不用像螺絲每個外罐都要鎖，直接把它拿起來夾到另一個外罐就好了。



三、探討自製木氣爐外罐口徑大小對木質顆粒燃燒的影響

實驗將依照水的加熱、爐內溫度、燃燒灰燼與碳化分述:

(1) 一公升水加熱紀錄與比較

1.表 5-3-1 到表 5-3-3 為木氣爐外罐口徑大小對水溫提升的紀錄表:

表 5-3-1 口徑 10.5 公分之外爐對水溫提升之影響(°C)

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	33.4	32.1	31.3	32.2	33	28.3	32.8	32.4	32	31.1	31.86
1min 溫度	34.8	33.8	32.3	33.6	33.6	30.3	35.6	34.7	33.9	32.2	33.48
2min 溫度	36.3	35.7	33.3	35.6	33.9	32.5	36.59	38.2	36.3	35.6	35.399
3min 溫度	39.7	40.5	35.4	37	35.5	35.8	39.3	42.7	42.1	40.7	38.87
4min 溫度	43	49.1	37.3	41.2	37.4	42.8	41.3	49.5	50	46.4	43.8
5min 溫度	50	55	40.1	45.2	41	46.7	44.5	56	67.3	52.9	49.87
6min 溫度	56.7	61.2	44.9	59.7	44.9	51.6	49.6	66.1	69.4	58.6	56.27
7min 溫度	60.8	78	49.1	73.2	50.5	56.7	55.6	76.7	75	63.3	63.89
8min 溫度	68.7	84	57.7	86.1	58	66.5	61.5	80.6	79.4	67.2	70.97
9min 溫度	73.2	84.5	61.2	94	66	82	70.1	93.7	83.3	75.7	78.37
10min 溫度	81.6	88.7	72	102.3	72.4	83	75	98.1	84.8	77.8	83.57
11min 溫度	84.3	100	78.8	112	74	84.5	77.8	101.8	100.3	87.1	90.06
12min 溫度	92.5	107	86	114	79	88	83.4	102.1	96.8	90.8	93.96
13min 溫度	96.3	108	89.3	105.9	84.5	95.8	86	100.5	98.7	88.1	95.31
14min 溫度	98.1	116.3	96	104.3	87.8	100	96.3	99.2	97.1	92.4	98.75
15min 溫度	96	109.1	101.7	102	90	101	104.7	98.2	92.6	93.3	98.86

表 5-3-2 口徑 12.5 公分之外爐對水溫提升之影響(°C)

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	31.4	32.3	32	29.7	28.6	3.5	31.6	34	30.5	33.2	28.68
1min 溫度	33.4	33.5	34.1	31	30.4	36.2	34.9	34.8	32.3	36.2	33.68
2min 溫度	37.2	34.2	36.6	32.6	31.3	37.7	37.2	35.7	34	37.8	35.43
3min 溫度	43.7	36.8	38.2	33.5	33.3	40.3	40.8	36.1	36.2	42.8	38.17
4min 溫度	49	38.1	44.8	36	36.1	44.6	47.4	37.7	41.7	47.2	42.26
5min 溫度	54	41.4	53	40	40.3	48.2	52.4	41.2	50	51.4	47.19

6min 溫度	63	45.6	68	44.3	43.2	55.4	60.8	42.8	59	57.9	54
7min 溫度	75.2	51.8	76	50.9	48	61.4	66.4	46.5	69.3	63.2	60.87
8min 溫度	82.3	63.3	89	62.7	56.2	72.8	74.5	50.4	73.8	71.1	69.61
9min 溫度	89.6	65.6	94	65.6	66	76.5	84	54.5	84.6	78.9	75.93
10min 溫度	97	71.5	97	71.6	79.7	86.5	92	59.6	85.9	84.1	82.49
11min 溫度	106	78.4	101	87.2	87.9	91.2	96.5	65.2	95	87.3	89.57
12min 溫度	128	87.2	103	96	97.8	101.5	105	70.9	102	108	99.94
13min 溫度	108	97	100	99.1	101.7	102.4	104.5	75.6	106.5	108.7	100.35
14min 溫度	105	104	99.4	106.3	107	100.1	102.3	88.1	103.6	102.3	101.81
15min 溫度	103.7	103.8	98.4	106.5	106	98.2	101.7	96	102.1	99.8	101.62

表 5-3-3 口徑 14.5 公分之外爐對水溫提升之影響(°C)

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	33	34	32.3	36.4	33.6	34.6	34.6	32.8	31.5	31	33.38
1min 溫度	35.4	38	32.5	38	35.8	36.3	32.4	34.9	32.9	33.5	34.97
2min 溫度	37.8	40.1	33.9	37.4	36.6	39.4	33	38.6	34.8	33.7	36.53
3min 溫度	39.9	43.5	37.5	39.3	36.8	42.2	34.7	45.3	39.1	34.6	39.29
4min 溫度	42.9	50.4	39.7	41.5	38.7	50.1	37	55.1	44.7	35.8	43.59
5min 溫度	50.1	57	44.4	45.1	41.1	56.1	41	58.2	52.6	40.1	48.57
6min 溫度	58	66.7	56.6	51.6	45.1	62.8	46	67.1	67.4	46.3	56.76
7min 溫度	64.7	76.5	61.8	58.2	51.1	67.6	55.5	74.6	84.4	54.8	64.92
8min 溫度	74.7	85.5	66.6	62.8	58	74.4	58.7	83	81.4	66.8	71.19
9min 溫度	91	90.5	74.3	68.9	64.1	79.5	67.3	89.8	92.2	69.3	78.69
10min 溫度	94.5	96	81.2	69.2	70.2	85.7	71.7	104.7	98.6	76.9	84.87
11min 溫度	106	97.2	88.5	73.5	75.9	92	77.6	105.4	99.1	81.6	89.68
12min 溫度	103.5	101.5	93.3	84.8	85.4	98.3	88.2	103.3	104.1	95	95.74
13min 溫度	102.9	99.5	100	93	91.1	100.1	97.5	103.1	102.5	110	99.97
14min 溫度	100	99.2	96.5	93.8	100	99.1	99.7	101.2	100.6	108	99.81
15min 溫度	98	98.7	95.3	104.6	101.3	92.5	97	100	98.3	103.5	98.92

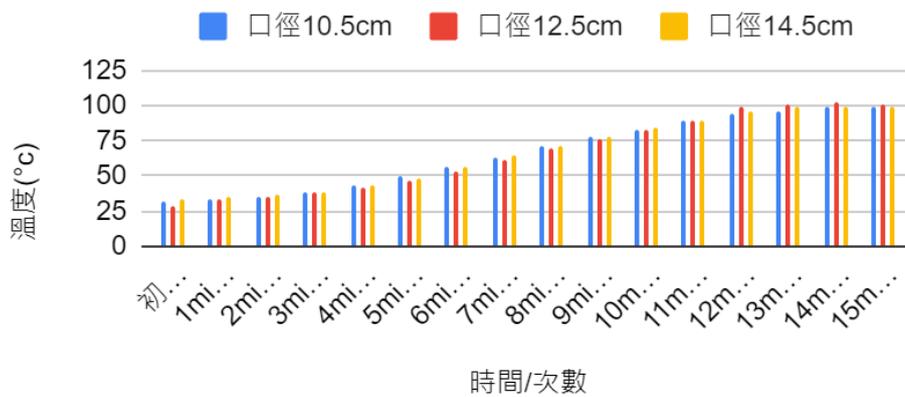
2.由以上表格可以統整外爐口徑大小的比較表，如表 5-3-4 以及圖 5-3-1 所示:

表 5-3-4 外爐口徑大小的比較表(°C)

時間/次數	口徑 10.5cm	口徑 12.5cm	口徑 14.5cm	時間/次數	口徑 10.5cm	口徑 12.5cm	口徑 14.5cm
初始溫度	31.86	28.68	33.38	8min 溫度	70.97	69.61	71.19
1min 溫度	33.48	33.68	34.97	9min 溫度	78.37	75.93	78.69

2min 溫度	35.399	35.43	36.53	10min 溫度	83.57	82.49	84.87
3min 溫度	38.87	38.17	39.29	11min 溫度	90.06	89.57	89.68
4min 溫度	43.8	42.26	43.59	12min 溫度	93.96	99.94	95.74
5min 溫度	49.87	47.19	48.57	13min 溫度	95.31	100.35	99.97
6min 溫度	56.27	54	56.76	14min 溫度	98.75	101.81	99.81
7min 溫度	63.89	60.87	64.92	15min 溫度	98.86	101.62	98.92

圖 5-3-1 外爐口徑大小對木質顆粒燃燒的影響的比較圖



3.根據以上圖表判斷木氣爐外爐口徑大小效果最好的是口徑 **12.5cm**，十三分鐘內水溫由 28.68°C 提升至 100.35°C，共產生 71.32 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 **5.49 千卡(kcal)**；其次則是口徑 **14.5cm**，十三分鐘內水溫由 33.38°C 提升至 99.97°C，共產生 66.59 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 **5.12 千卡(kcal)**；最後則是口徑 **10.5cm**，十三分鐘內水溫由 31.86°C 提升至 95.31°C，共產生 63.4 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 **4.88 千卡(kcal)**。

(二)爐內溫度紀錄與比較

1.紀錄燃燒十五分鐘後內爐溫度變化。

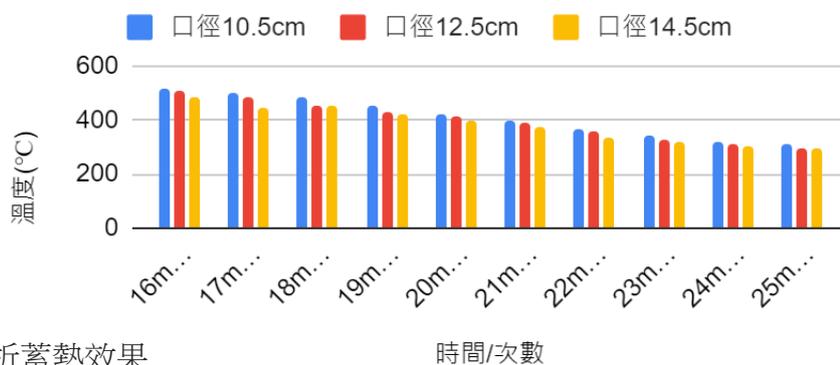
時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	523	570	554	550	554	527	535	476.7	438.5	432.3	516.05
17min 溫度	506	568	550	508	526	489	514	478	425.7	408	497.27
18min 溫度	513	545	548	485	516	528	492	449.5	430.6	349.3	485.64
19min 溫度	480	546	524	454	500	485	456	385.1	380.4	315.8	452.63
20min 溫度	414	479	493	435	474	428	434	363.6	388.2	328.5	423.73
21min 溫度	398	459	450	425	460	391	415	352.7	360.5	293.6	400.48
22min 溫度	367	440	398	392	428	344	388	319.8	325.6	286.8	368.92
23min 溫度	354	398	375	365	396	304	356	321.8	320.6	208.1	339.85
24min 溫度	317	372	382	348	382	244	338	285.2	296.9	240.8	320.59
25min 溫度	306	360	337	318	345	280	307	384.1	253.3	254.8	314.52

5-3-6 口徑 12.5 公分之外爐之十五分鐘後爐內溫度變化(°C)											
時間/實驗組數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	520	529	465	527	528	460	525	544.9	468	475.6	504.25
17min 溫度	512	499	444	482	529	414	499	512.8	471	446.2	480.9
18min 溫度	440	522	422	494	495	371	471	414.9	441	420.4	449.13
19min 溫度	450	490	421	519	475	378	427	379.7	407	383.6	433.03
20min 溫度	433	465	408	494	464	345	399	359.1	400	382	414.91
21min 溫度	415	451	348	442	434	315	382	391	366	341	388.5
22min 溫度	387	368	352	409	391	314	383	369.4	325	309.4	360.78
23min 溫度	352	396	301	354	363	270	345	317.2	304	292.4	329.46
24min 溫度	387	373	285	337	352	295	300	217.6	285	263.4	309.5
25min 溫度	321	330	286	314	324	268	265	290.7	282	237.3	291.8

5-3-7 口徑 14.5 公分之外爐之十五分鐘後爐內溫度變化(°C)											
時間/實驗組數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	513	502	528	490.6	454.9	474	408.7	443.4	477.6	521	481.32
17min 溫度	508	489	503	513.9	537.6	502	415.7	11.8	437.7	492	441.07
18min 溫度	477	458	501	460.3	466.2	486	399.1	396	420	481	454.46
19min 溫度	446	425	393	462.2	453	457	374.8	361	385.1	456	421.31
20min 溫度	408	426	371	423.8	437.8	425	342.8	363	356.5	422	397.59
21min 溫度	388	375	325	413.5	403.5	412	322.9	343	317.8	411	371.17
22min 溫度	355	329	325	354.8	363.3	357	273	336	289.6	388.1	337.08
23min 溫度	288	295	318	329.5	370.5	353	269	312	271.1	356.1	316.22
24min 溫度	306	289	313	295	314.7	344	241.2	295	255.9	345	299.88
25min 溫度	305	280	294	289.6	340.6	320	231.1	283	249.3	320	291.26

2.由以上表格可以統整外爐口徑大小對十五分鐘後爐內溫度變化的比較表，如圖所

示： 圖 5-3-2 外爐口徑大小對十五分鐘後爐內溫度變化的影響的比較圖



3.分析蓄熱效果

由上圖可知口徑 14.5cm 保溫效果最好平均 10 分鐘內降 190.06°C，其次是口徑 10.5cm 10 分鐘內降 201.53°C，最差的是口徑 12.5cm 平均 10 分鐘內降 212.45°C。

(三)燃燒灰燼與碳化

碳化值說明:

口徑 10.5cm	灰燼值	碳化值	口徑 12.5cm	灰燼值	碳化值	口徑 14.5cm	灰燼值	碳化值
平均(g)	2.072	0.716	平均(g)	2.102	0.704	平均(g)	2.104	0.781

分析灰燼與碳化結果:依據上表口徑 12.5cm 的燃燒最完全，其次是口徑 10.5cm 罐，最差的是口徑 14.5cm。

四、探討自製木氣爐內罐底層孔洞大小的對木質顆粒燃燒的影響

實驗將依照水的加熱、爐內溫度、燃燒灰燼與碳化分述:

(一)一公升水加熱紀錄與比較

1.表 5-4-1 到表 5-4-3 為木氣爐內罐下層孔洞大小對水溫提升的紀錄表:

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	31.4	32.3	32	29.7	28.6	3.5	31.6	34	30.5	33.2	28.68
1min 溫度	33.4	33.5	34.1	31	30.4	36.2	34.9	34.8	32.3	36.2	33.68
2min 溫度	37.2	34.2	36.6	32.6	31.3	37.7	37.2	35.7	34	37.8	35.43
3min 溫度	43.7	36.8	38.2	33.5	33.3	40.3	40.8	36.1	36.2	42.8	38.17
4min 溫度	49	38.1	44.8	36	36.1	44.6	47.4	37.7	41.7	47.2	42.26
5min 溫度	54	41.4	53	40	40.3	48.2	52.4	41.2	50	51.4	47.19
6min 溫度	63	45.6	68	44.3	43.2	55.4	60.8	42.8	59	57.9	54
7min 溫度	75.2	51.8	76	50.9	48	61.4	66.4	46.5	69.3	63.2	60.87
8min 溫度	82.3	63.3	89	62.7	56.2	72.8	74.5	50.4	73.8	71.1	69.61
9min 溫度	89.6	65.6	94	65.6	66	76.5	84	54.5	84.6	78.9	75.93
10min 溫度	97	71.5	97	71.6	79.7	86.5	92	59.6	85.9	84.1	82.49
11min 溫度	106	78.4	101	87.2	87.9	91.2	96.5	65.2	95	87.3	89.57
12min 溫度	128	87.2	103	96	97.8	101.5	105	70.9	102	108	99.94
13min 溫度	108	97	100	99.1	101.7	102.4	104.5	75.6	106.5	108.7	100.35
14min 溫度	105	104	99.4	106.3	107	100.1	102.3	88.1	103.6	102.3	101.81
15min 溫度	103.7	103.8	98.4	106.5	106	98.2	101.7	96	102.1	99.8	101.62

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	35.3	30.8	31	32.1	32.1	31.4	28	30.3	29.4	27.3	30.77
1min 溫度	36	32.7	32.8	33.4	35	32.4	29.6	32	32.1	30	32.6
2min 溫度	40.4	33.8	33.5	36.7	38.5	33.5	32.5	35	35	33	35.19
3min 溫度	47.1	37.3	39.2	43.1	41.7	35	34	40	38	32	38.74
4min 溫度	60.3	41.5	45.5	49.1	48.3	36.2	40	46	43	37	44.69
5min 溫度	64.8	46.9	50.3	56.3	54.9	41.9	47	55	50	44	51.11
6min 溫度	74.7	56.2	55.7	62.2	64.8	49.8	53	60	66	48	59.04
7min 溫度	83.1	65.2	60.7	71.7	73.6	61.4	59	68	75	54	67.17
8min 溫度	88.9	75	74.3	86.6	84	64.5	65	76	82	60	75.63
9min 溫度	97.3	78.3	78.4	88.4	90	69.3	70	84	87	67	80.97

10min 溫度	100.1	86.8	81.9	98.6	100	77.2	80	87	89	74	87.46
11min 溫度	104.7	93	89.2	103.6	99	80.9	84	100.2	91	80	92.56
12min 溫度	103.7	105	95.4	102	101	85.1	90	97	97	83	95.92
13min 溫度	102	107	100.2	102.5	104	103	90	99	100.2	90	99.79
14min 溫度	101.4	105	101.6	99.1	100	99.2	98	100	98.7	102	100.5
15min 溫度	98.5	101.6	100.5	100	97	98.3	98	101	97.7	100	99.26

表 5-4-3 孔洞直徑 5mm 之外爐對水溫提升之影響(°C)

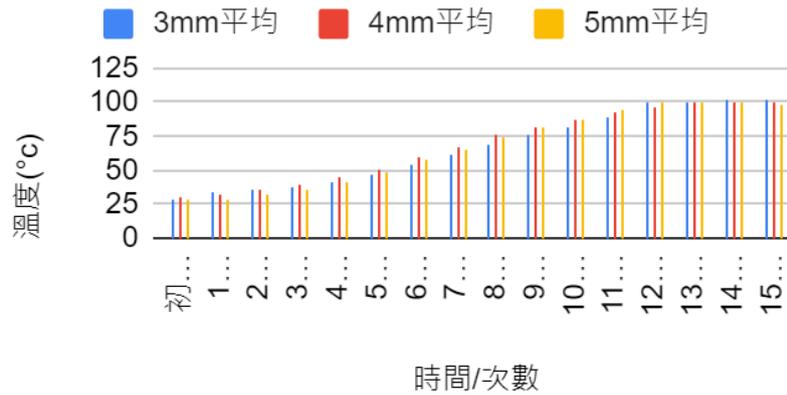
時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	29.7	31.7	27	26.5	26.8	26.3	28.9	27.8	28.6	27.6	28.09
1min 溫度	30.3	33.1	28	28	28	28.9	30	29	29.4	30	29.47
2min 溫度	31.6	34	30	31.5	29	32.9	32	32	30.5	32.7	31.62
3min 溫度	34.5	36.9	34.5	33.3	31.3	36.8	36	34.6	32.6	40.7	35.12
4min 溫度	42	41	42.7	37	34	44	43.9	40	36.5	45.8	40.69
5min 溫度	46.1	51	49.2	45	41	53	52	50	43.2	56.2	48.67
6min 溫度	57.2	58	64	52	46	60	62	62	49.3	67.8	57.83
7min 溫度	69	70	66	64.4	53	70	72	65	56	71.2	65.66
8min 溫度	78	82	82	66	60	79	80	75	66	83	75.1
9min 溫度	86	91	85	73.4	65	88.8	85	81	72.8	87	81.5
10min 溫度	91	100	90	84	71	94.8	90	86	80.5	93	88.03
11min 溫度	104	100.7	95	93	80	101	100	96	83.3	95	94.8
12min 溫度	100.2	104	100	101	90	100	105	104	90.3	101	99.55
13min 溫度	106	102	100.4	100.5	90	100	103	101.2	98.3	101.8	100.32
14min 溫度	104	101	99	99.9	92	103.8	102	100.5	100	99.9	100.21
15min 溫度	104	100.5	94	96	93	103	100	98	94	98.3	98.08

2.由以上表格可以統整內罐下層孔洞大小的比較表，如表 5-4-4 以及圖 5-4 所示:

表 5-4-4 內罐底層孔洞大小的對木質顆粒燃燒的影響(°C)

時間/次數	3mm 平均	4mm 平均	5mm 平均	時間/次數	3mm 平均	4mm 平均	5mm 平均
初始溫度	28.68	30.77	28.09	8min 溫度	69.61	75.63	75.1
1min 溫度	33.68	32.6	29.47	9min 溫度	75.93	80.97	81.5
2min 溫度	35.43	35.19	31.62	10min 溫度	82.49	87.46	88.03
3min 溫度	38.17	38.74	35.12	11min 溫度	89.57	92.56	94.8
4min 溫度	42.26	44.69	40.69	12min 溫度	99.94	95.92	99.55
5min 溫度	47.19	51.11	48.67	13min 溫度	97.56	99.79	100.32
6min 溫度	54	59.04	57.83	14min 溫度	101.81	100.5	100.21
7min 溫度	60.87	67.17	65.66	15min 溫度	101.62	99.26	98.08

圖 5-4 內罐底層孔洞大小的對木質顆粒燃燒的影響



3.根據以上圖表判斷木氣爐底層孔洞大小最好的是孔洞直徑 5mm，十三分鐘內水溫由 28.09°C 提升至 100.32°C，共產生 72.23 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 5.55 千卡(kcal)；其次則是孔洞直徑 4mm，十三分鐘內水溫由 30.77°C 提升至 99.79°C，共產生 69.02 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 5.3 千卡(kcal)；最後則是孔洞直徑 3mm，十三分鐘內水溫由 28.68°C 提升至 97.56°C，共產生 68.88 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 5.29 千卡(kcal)。

(二)爐內溫度紀錄與比較

1.紀錄燃燒十五分鐘後內爐溫度變化。

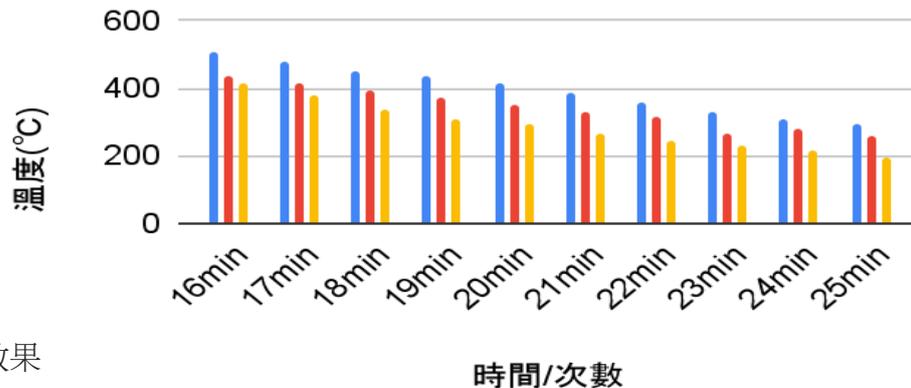
時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	520	529	465	527	528	460	525	544.9	468	475.6	504.25
17min 溫度	512	499	444	482	529	414	499	512.8	471	446.2	480.9
18min 溫度	440	522	422	494	495	371	471	414.9	441	420.4	449.13
19min 溫度	450	490	421	519	475	378	427	379.7	407	383.6	433.03
20min 溫度	433	465	408	494	464	345	399	359.1	400	382	414.91
21min 溫度	415	451	348	442	434	315	382	391	366	341	388.5
22min 溫度	387	368	352	409	391	314	383	369.4	325	309.4	360.78
23min 溫度	352	396	301	354	363	270	345	317.2	304	292.4	329.46
24min 溫度	387	373	285	337	352	295	300	217.6	285	263.4	309.5
25min 溫度	321	330	286	314	324	268	265	290.7	282	237.3	291.8

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	488.5	475	446	410	450	451.4	415	350	415	430	433.09
17min 溫度	479.8	458	400	450	415	416.9	370	340	385	430	414.47
18min 溫度	454.7	451	365	400	410	407.5	350	340	360	410	394.82
19min 溫度	429.4	426	350	390	400	371.7	300	320	350	360	369.71
20min 溫度	421.4	399	320	380	330	352.1	300	310	320	350	348.25
21min 溫度	388.2	367	300	360	300	329.6	280	300	315	330	326.98

22min 溫度	361.3	359	300	330	310	344.3	250	280	290	300	312.46
23min 溫度	334.2	355	290	257	293	277.5	22	260	255	300	264.37
24min 溫度	319.3	347	317	280	275	286.6	200	240	250	262	277.69
25min 溫度	287	328	305	240	260	262.5	190	226	250	260	260.85

5-4-7 孔洞直徑 5mm 之外爐之十五分鐘後爐內溫度變化(°C)											
時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	425	400	385	429	420	334	390	415	434	480	411.2
17min 溫度	430	375	355	410	414	250	370	360	396	403	376.3
18min 溫度	380	330	330	360	350	232	335	300	370	357	334.4
19min 溫度	355	300	310	330	315	211	300	270	354	317	306.2
20min 溫度	320	295	300	308	307	244	280	235	322	293	290.4
21min 溫度	275	260	270	250	279	231	250	260	287	271	263.3
22min 溫度	265	225	255	260	250	216	240	235	264	249	245.9
23min 溫度	255	220	240	228	205	210	230	210	251	233	228.2
24min 溫度	245	203	225	212	192	195	215	200	238	209	213.4
25min 溫度	210	178	204	188	185	180	205	180	205	199	193.4

2.由以上表格可以統整內罐底層孔洞大小對十五分鐘後爐內溫度變化的比較表，如圖所示： 圖 5-4-2 內罐底層孔洞大小對十五分鐘後爐內溫度變化的影響的比較圖



3.分析蓄熱效果

由上圖可知底層孔洞直徑 4mm 的保溫效果最好平均 10 分鐘內降 201.53°C，其次是孔洞直徑 3mm 平均 10 分鐘內降 212.45°C，最差的是孔洞直徑 5mm 平均 10 分鐘內降 217.8°C。

(三)燃燒灰燼與碳化

表 5-4-8 燃燒灰燼與碳化平均(g)								
3mm	灰燼值	碳化值	4mm	灰燼值	碳化值	5mm	灰燼值	碳化值
平均	2.102	0.73	平均	2.035	0.721	平均	1.707	0.598

1.分析灰燼與碳化結果:依據上表 5mm 的燃燒最完全，其次是 4mm，最差的是 3mm。

五、探討自製木氣爐內罐上層孔洞大小對木質顆粒燃燒的影響

實驗將依照水的加熱、爐內溫度、燃燒灰燼與碳化分述:

(一)一公升水加熱紀錄與比較

1.表 5-5-1 到表 5-5-3 為木氣爐內罐上層孔洞大小對水溫提升的紀錄表:

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	29.7	31.7	27	26.5	26.8	26.3	28.9	27.8	28.6	27.6	28.09
1min 溫度	30.3	33.1	28	28	28	28.9	30	29	29.4	30	29.47
2min 溫度	31.6	34	30	31.5	29	32.9	32	32	30.5	32.7	31.62
3min 溫度	34.5	36.9	34.5	33.3	31.3	36.8	36	34.6	32.6	40.7	35.12
4min 溫度	42	41	42.7	37	34	44	43.9	40	36.5	45.8	40.69
5min 溫度	46.1	51	49.2	45	41	53	52	50	43.2	56.2	48.67
6min 溫度	57.2	58	64	52	46	60	62	62	49.3	67.8	57.83
7min 溫度	69	70	66	64.4	53	70	72	65	56	71.2	65.66
8min 溫度	78	82	82	66	60	79	80	75	66	83	75.1
9min 溫度	86	91	85	73.4	65	88.8	85	81	72.8	87	81.5
10min 溫度	91	100	90	84	71	94.8	90	86	80.5	93	88.03
11min 溫度	104	100.7	95	93	80	101	100	96	83.3	95	94.8
12min 溫度	100.2	104	100	101	90	100	105	104	90.3	101	99.55
13min 溫度	106	102	100.4	100.5	90	100	103	101.2	98.3	101.8	100.32
14min 溫度	104	101	99	99.9	92	103.8	102	100.5	100	99.9	100.21
15min 溫度	104	100.5	94	96	93	103	100	98	94	98.3	98.08

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	27.2	24.2	22.8	24.3	25.4	26.7	25.1	20.8	21	22.2	23.97
1min 溫度	30	25	24	25.5	29	28.3	25.3	23.4	22	23	25.55
2min 溫度	31	27	26	27	29	30	30	28	23	24	27.5
3min 溫度	33	29	29	29	30	35	33	32.5	25	27	30.25
4min 溫度	40	33	35.3	33	33.5	37	40	40	29	32	35.28
5min 溫度	50	42	41	40	40.2	43	48	48	33	38	42.32
6min 溫度	62	52	52	50	50	52	58	58	41	46	52.1
7min 溫度	68	28	60	61	58	56	65	65	50	57	56.8
8min 溫度	80	71	72	73	68	63	72	70	60	65	69.4
9min 溫度	90	79	85	74	76	68	85	81	71	72	78.1
10min 溫度	98	85	89	80	82	75	96	88	81	80	85.4
11min 溫度	104	90	95	96	90	82	101	93	81	90	92.2
12min 溫度	104	94	97	100	96	87	99	95	91	97	96
13min 溫度	104	99	102	102	100	90	101	94	92	100	98.4
14min 溫度	101	99	101	103	104	87	97	103	95	100	99
15min 溫度	100	97	98	101	103	93	97	100	100	99	98.8

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	22.4	23.5	23.5	21	21.9	23	21	23	21	19	21.93

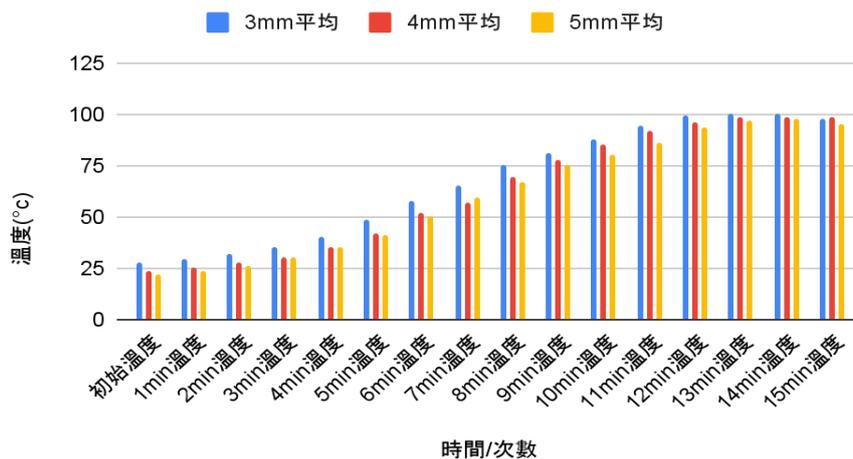
1min 溫度	24	26	25	23	24	24	23	24	24	21	23.8
2min 溫度	26.5	28	31	27	26	25	26	25	26	22	26.25
3min 溫度	32	30	33	33	34	29	28	27	31	24	30.1
4min 溫度	36	33	40	44	40	36	35	30	37	26	35.7
5min 溫度	45	40	47	49	47	40	43	33	43	28	41.5
6min 溫度	51	48	53	59	56	58	54	40	51	37	50.7
7min 溫度	58	56	71	64	63	65	60	50	62	45	59.4
8min 溫度	73	60	74	72	71	75	66	55	67	54	66.7
9min 溫度	76	71	86	75	80	78	81	65	74	66	75.2
10min 溫度	84	77	88	82	83	82	85	75	81	70	80.7
11min 溫度	91	82	92	87	86	85	90	80	86	81	86
12min 溫度	95	93	93	94	92	90	97	94	95	90	93.3
13min 溫度	102	92	96	95	97	91	102	98	100	96	96.9
14min 溫度	101	94	96	99	94	92	101	101	98	102	97.8
15min 溫度	98	92	91	97	88	91	95	102	99	101	95.4

2.由以上表格可以統整內罐上層孔洞大小的比較表，如表 5-5-4 以及圖 5-5 所示:

表 5-5-4 內罐上層孔洞大小的對木質顆粒燃燒的影響(°C)

時間/次數	3mm 平均	4mm 平均	5mm 平均	時間/次數	3mm 平均	4mm 平均	5mm 平均
初始溫度	28.09	23.97	21.93	8min 溫度	75.1	69.4	66.7
1min 溫度	29.47	25.55	23.8	9min 溫度	81.5	78.1	75.2
2min 溫度	31.62	27.5	26.25	10min 溫度	88.03	85.4	80.7
3min 溫度	35.12	30.25	30.1	11min 溫度	94.8	92.2	86
4min 溫度	40.69	35.28	35.7	12min 溫度	99.55	96	93.3
5min 溫度	48.67	42.32	41.5	13min 溫度	100.32	98.4	96.9
6min 溫度	57.83	52.1	50.7	14min 溫度	100.21	99	97.8
7min 溫度	65.66	56.8	59.4	15min 溫度	98.08	98.8	95.4

圖 5-5-1 內罐上層孔洞大小對木質顆粒燃燒的影響



3.根據以上圖表判斷木氣爐內外罐(比例)效果最好的是孔洞直徑 5mm，十三分鐘內水溫由 21.93°C 提升至 96.9°C，共產生 74.97 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 **5.76 千卡(kcal)**；其次則是孔洞直徑 4mm，十三分鐘內水溫由 23.97°C 提升至 98.4°C，共產生 74.43 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 **5.72 千卡(kcal)**；最後則是孔洞直徑 3mm，十三分鐘內水溫由 28.09°C 提升至 100.32°C，共產生 72.23 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 **5.55 千卡(kcal)**。

(二)爐內溫度紀錄與比較

1.紀錄燃燒十五分鐘後內爐溫度變化。

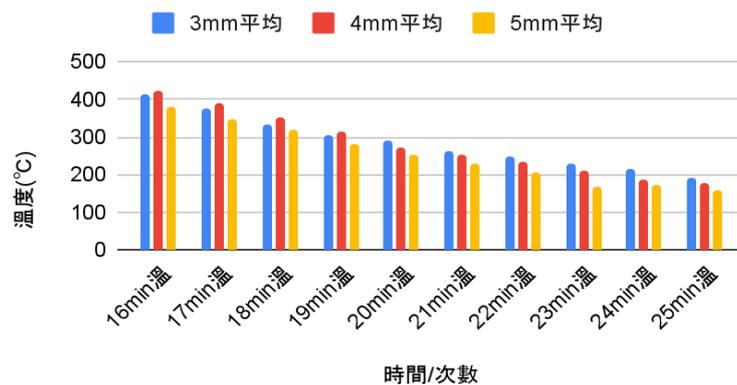
5-5-5 孔洞直徑 3mm 之外爐之十五分鐘後爐內溫度變化(°C)											
時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	425	400	385	429	420	334	390	415	434	480	411.2
17min 溫度	430	375	355	410	414	250	370	360	396	403	376.3
18min 溫度	380	330	330	360	350	232	335	300	370	357	334.4
19min 溫度	355	300	310	330	315	211	300	270	354	317	306.2
20min 溫度	320	295	300	308	307	244	280	235	322	293	290.4
21min 溫度	275	260	270	250	279	231	250	260	287	271	263.3
22min 溫度	265	225	255	260	250	216	240	235	264	249	245.9
23min 溫度	255	220	240	228	205	210	230	210	251	233	228.2
24min 溫度	245	203	225	212	192	195	215	200	238	209	213.4
25min 溫度	210	178	204	188	185	180	205	180	205	199	193.4

5-5-6 孔洞直徑 4mm 之外爐之十五分鐘後爐內溫度變化(°C)											
時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	382	414	375	405	470	420	390	460	470	425	421.1
17min 溫度	340	390	382	402	410	390	350	400	440	390	389.4
18min 溫度	310	341	350	350	380	360	320	362	400	370	354.3
19min 溫度	270	310	295	310	320	330	285	310	360	330	312
20min 溫度	230	285	270	275	285	290	225	275	310	290	273.5
21min 溫度	210	270	255	250	255	270	225	250	270	260	251.5
22min 溫度	200	255	245	210	245	230	210	230	270	250	234.5
23min 溫度	150	220	230	190	240	220	180	195	240	220	208.5
24min 溫度	130	206	205	185	220	210	160	160	200	200	187.6
25min 溫度	150	190	195	170	210	190	145	150	180	180	176

5-5-7 孔洞直徑 5mm 之外爐之十五分鐘後爐內溫度變化(°C)											
時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	410	420	400	385	350	380	300	410	355	380	379
17min 溫度	360	380	350	365	360	340	250	350	370	325	345

18min 溫度	360	360	310	330	300	340	230	340	305	300	317.5
19min 溫度	310	310	280	270	280	290	210	320	260	280	281
20min 溫度	270	280	250	250	250	250	200	310	210	255	252.5
21min 溫度	240	260	220	230	230	220	195	260	205	235	229.5
22min 溫度	220	240	200	205	210	210	170	230	185	205	207.5
23min 溫度	185	21	180	180	200	185	150	200	175	185	166.1
24min 溫度	180	200	155	160	185	160	150	200	155	180	172.5
25min 溫度	170	170	130	145	180	145	140	180	153	175	158.8

2.由以上表格可以統整內罐上層孔洞大小對十五分鐘後爐內溫度變化的比較表，如圖所示：圖 5-5-2 內罐上層孔洞大小對十五分鐘後爐內溫度變化的影響的比較圖(°C)



3.分析蓄熱效果

由上圖可知內罐上層孔洞直徑 3mm 的保溫效果最好平均 10 分鐘內降 217.8 °C，其次是孔洞直徑 5mm 平均 10 分鐘內降 220.2°C，最差的是孔洞直徑 4mm 平均 10 分鐘內降 245.1°C。

(三)燃燒灰燼與碳化

3mm	灰燼值	碳化值	4mm	灰燼值	碳化值	5mm	灰燼值	碳化值
平均	1.707	0.598	平均	1.574	0.592	平均	1.606	0.564

分析灰燼與碳化結果:依據上表 5mm 的燃燒最完全，其次是 4mm，最差的是 3mm。

六、探討自製木氣爐內罐上層孔洞排列形狀對木質顆粒燃燒的影響

實驗將依照水的加熱、爐內溫度、燃燒灰燼與碳化分述:

(一)一公升水加熱紀錄與比較

1.表 5-6-1 到表 5-6-4 為木氣爐內罐上層孔洞排列形狀對水溫提升的紀錄表:

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	410	420	400	385	350	380	300	410	355	380	21.93
1min 溫度	24	26	25	23	24	24	23	24	24	21	23.8
2min 溫度	26.5	28	31	27	26	25	26	25	26	22	26.25
3min 溫度	32	30	33	33	34	29	28	27	31	24	30.1
4min 溫度	36	33	40	44	40	36	35	30	37	26	35.7
5min 溫度	45	40	47	49	47	40	43	33	43	28	41.5

6min 溫度	51	48	53	59	56	58	54	40	51	37	50.7
7min 溫度	58	56	71	64	63	65	60	50	62	45	59.4
8min 溫度	73	60	74	72	71	75	66	55	67	54	66.7
9min 溫度	76	71	86	75	80	78	81	65	74	66	75.2
10min 溫度	84	77	88	82	83	82	85	75	81	70	80.7
11min 溫度	91	82	92	87	86	85	90	80	86	81	86
12min 溫度	95	93	93	94	92	90	97	94	95	90	93.3
13min 溫度	102	92	96	95	97	91	102	98	100	96	96.9
14min 溫度	101	94	96	99	94	92	101	101	98	102	97.8
15min 溫度	98	92	91	97	88	91	95	102	99	101	95.4

表 5-6-2 內罐上層孔洞排列形狀上下交錯之外爐對水溫提升之影響(°C)

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	19	20	20.7	17.5	12.8	11	13	20	20.3	19	17.33
1min 溫度	21	22	23	17	21	11	13	21.7	20	20.7	19.04
2min 溫度	23	24	24	2	25	15	15	23	22	23	19.6
3min 溫度	29	26	27	33	27	18	23	25	25	25	25.8
4min 溫度	38	38	32	37	36	25	25	29	31	31	32.2
5min 溫度	51	46	40	48	48	28.5	32	32	37	33	39.55
6min 溫度	58	52	50	59	50	32	45	37	45	40	46.8
7min 溫度	63	63	62	62	55	45	51	45	55	47	54.8
8min 溫度	75	70	76	76	65	53	61	50	66	53	64.5
9min 溫度	86	81	80	80	72	61	70	58	71	65	72.4
10min 溫度	86	95	91	85	83	70	82	65	78	74	80.9
11min 溫度	92	96	91	92	94	75	85	76	78	76	85.5
12min 溫度	96	97	96	98	97	80	92	81	87	90	91.4
13min 溫度	97	101	97	98.2	100	80	102	89	94	92	95.02
14min 溫度	96	101	98	97	96	94	95	90	100	100	96.7
15min 溫度	95	99	92	97	96	90	93	98	98	97	95.5

表 5-6-3 內罐上層孔洞排列形狀上下二之外爐對水溫提升之影響(°C)

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	18	18	20	19	17	20	21	19	18.4	18	18.84
1min 溫度	20	21	22	21	18	21	22	21	22	19	20.7
2min 溫度	22	24	24	23	21	23	29	22	24	20	23.2
3min 溫度	31	32	28	26	22	30	30	24	28	25	27.6
4min 溫度	32	36	33	30	24	32	34	28	37	30	31.6
5min 溫度	43	42	42	37	30	40	41	34	40	32	38.1
6min 溫度	49	53	50	42	32	45	47	41	54	36	44.9
7min 溫度	57	66	61	50	40	56	51	52	59	44	53.6
8min 溫度	63	76	70	60	50	65	60	67	68	50	62.9
9min 溫度	67	80	80	64	55	70	70	70	74	56	68.6
10min 溫度	75	90	92	75	70	77	75	73	80	63	77

11min 溫度	87	91	95	80	75	87	85	80	87	64	83.1
12min 溫度	87	96	101	89	84	90	91	85	95	71	88.9
13min 溫度	92	100	100	94	86	100	92	90	100	75	92.9
14min 溫度	94	94	97	97	91	96	98	97	99	92	95.5
15min 溫度	93	93	94	100	100	85	101	97	96	91	95

表 5-6-4 內罐上層孔洞排列形狀上中下 V 型之外爐對水溫提升之影響(°C)

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
初始溫度	22	20	19	19	17	17.1	20	21	18	17	19.01
1min 溫度	22	21	20	22	20	18	23	27	20	20	21.3
2min 溫度	26	22	21	24	22	19	25	29	22	2	21.2
3min 溫度	32	24	24	34	23	21	26	34	25	30	27.3
4min 溫度	40	29	30	41	30	24	30	35	31	35	32.5
5min 溫度	51	31	35	50	39	30	36	44	34	40	39
6min 溫度	62	40	43	61	45	33	46	52	40	51	47.3
7min 溫度	76	42	54	65	48	43	56	55	44	55	53.8
8min 溫度	80	50	65	72	60	60	70	71	53	62	64.3
9min 溫度	82	57	71	76	70	60	78	78	62	72	70.6
10min 溫度	94	67	81	81	73	70	91	80	70	73	78
11min 溫度	103	74	90	85	81	75	91	81	75	81	83.6
12min 溫度	100	76	100	86	85	85	92	86	80	85	87.5
13min 溫度	99	86	101	92	87	92	102	91	90	107	94.7
14min 溫度	98	92	101	98	92	94	100	96	92	100	96.3
15min 溫度	94	104	99	95	100	101	94	100	96	98	98.1

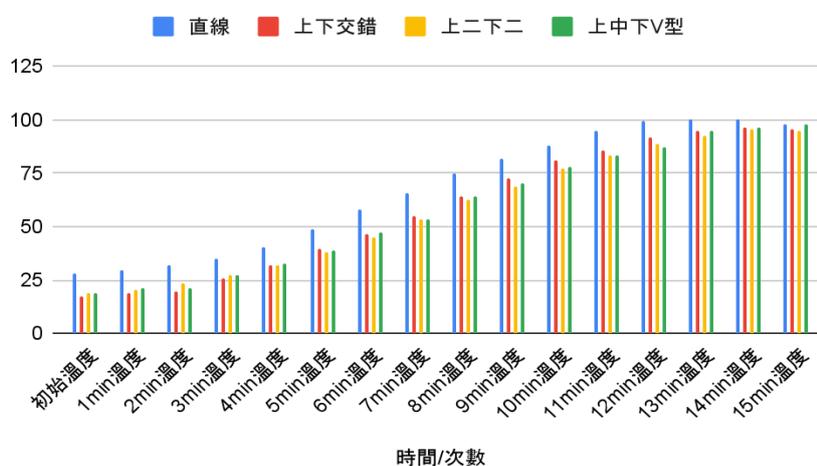
2.由以上表格可以統整內罐上層孔洞排列形狀的比較表，如表 5-6-5、以及圖 5-6 所示：
表 5-6-5 內罐上層孔洞排列形狀對木質顆粒燃燒的影響(°C)

時間/次數	直線	上下交錯	上二下二	上中下 V 型	時間/次數	直線	上下交錯	上二下二	上中下 V 型
初始溫度	28.09	17.33	18.84	19.01	8min 溫度	75.1	64.5	62.9	64.3
1min 溫度	29.47	19.04	20.7	21.3	9min 溫度	81.5	72.4	68.6	70.6
2min 溫度	31.62	19.6	23.2	21.2	10min 溫度	88.03	80.9	77	78
3min 溫度	35.12	25.8	27.6	27.3	11min 溫度	94.8	85.5	83.1	83.6
4min 溫度	40.69	32.2	31.6	32.5	12min 溫度	99.55	91.4	88.9	87.5
5min 溫度	48.67	39.55	38.1	39	13min 溫度	100.32	95.02	92.9	94.7
6min 溫度	57.83	46.8	44.9	47.3	14min 溫度	100.21	96.7	95.5	96.3
7min 溫度	65.66	54.8	53.6	53.8	15min 溫度	98.08	95.5	95	98.1

3.根據圖表判斷木氣爐內外罐(比例)效果最好的是側邊孔洞排列形狀**上下交錯**，十三分鐘內水溫由 17.33°C 提升至 95.02°C，共產生 77.69 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 **5.97 千(kcal)**；其次則是上側邊孔洞排列形狀**上中下 V 型**，十三分鐘內水溫由

19.01°C 提升至 94.7°C，共產生 75.69 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 **5.82 千卡(kcal)**；和側邊孔洞排列形狀上二下二，十三分鐘內水溫由 18.84°C 提升至 92.9°C，共產生 74.06 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 **5.69 千卡(kcal)**，最後則是側邊孔洞排列形狀直線，十三分鐘內水溫由 28.09°C 提升至 100.32°C，共產生 72.23 千卡(kcal)，平均一分鐘產生約 **5.55 千卡(kcal)**。

圖 5-6-1 內罐上層孔洞排列形狀對木質顆粒燃燒的影響



(二) 爐內溫度紀錄與比較

1. 紀錄燃燒十五分鐘後內爐溫度變化

5-6-6 內罐上層孔洞排列形狀直線之外爐之十五分鐘後爐內溫度變化(°C)

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	410	420	400	385	350	380	300	410	355	380	379
17min 溫度	360	380	350	365	360	340	250	350	370	325	345
18min 溫度	360	360	310	330	300	340	230	340	305	300	317.5
19min 溫度	310	310	280	270	280	290	210	320	260	280	281
20min 溫度	270	280	250	250	250	250	200	310	210	255	252.5
21min 溫度	240	260	220	230	230	220	195	260	205	235	229.5
22min 溫度	220	240	200	205	210	210	170	230	185	205	207.5
23min 溫度	185	21	180	180	200	185	150	200	175	185	166.1
24min 溫度	180	200	155	160	185	160	150	200	155	180	172.5
25min 溫度	170	170	130	145	180	145	140	180	153	175	158.8

5-6-7 內罐上層孔洞排列形狀上下交錯之外爐之十五分鐘後爐內溫度變化(°C)

時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	380	400	380	410	380	227	340	365	320	360	356.2
17min 溫度	350	330	320	380	350	200	295	310	300	315	315
18min 溫度	330	300	280	335	300	180	230	270	260	300	278.5
19min 溫度	285	270	270	280	260	180	255	230	250	260	254
20min 溫度	260	250	220	260	240	170	205	170	210	260	224.5
21min 溫度	240	220	220	210	220	155	200	180	180	205	203
22min 溫度	200	210	200	180	205	125	195	150	180	170	181.5
23min 溫度	170	200	190	160	175	140	170	150	160	150	166.5

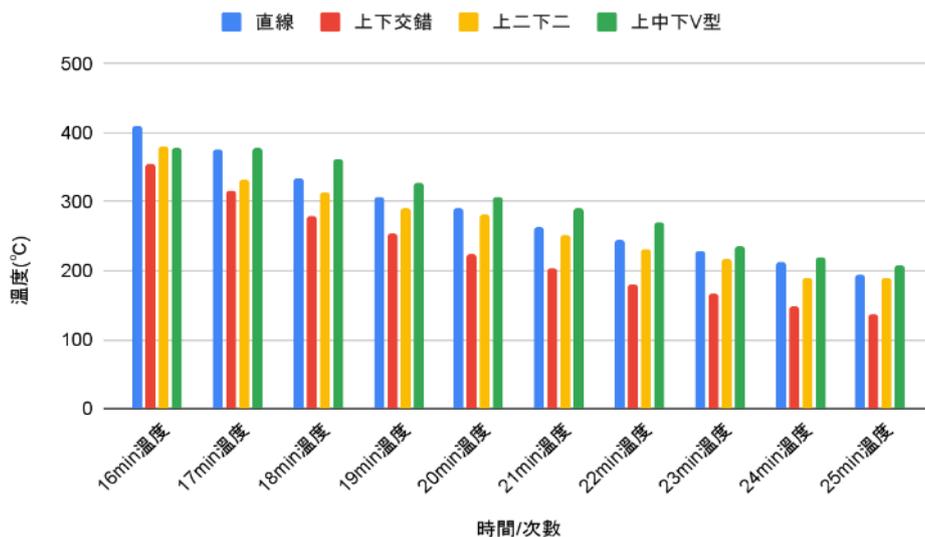
24min 溫度	150	180	160	150	165	120	150	120	150	135	148
25min 溫度	135	170	145	135	150	120	140	110	130	130	136.5

5-6-8 內罐上層孔洞排列形狀上二下二之外爐之十五分鐘後爐內溫度變化(°C)											
時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	330	330	345	430	410	385	420	395	385	366	379.6
17min 溫度	235	235	350	350	387	370	295	345	350	400	331.7
18min 溫度	260	260	310	360	360	290	295	320	320	370	314.5
19min 溫度	200	200	280	310	355	310	290	300	305	360	291
20min 溫度	220	220	230	280	315	309.4	310	300	290	345	281.94
21min 溫度	175	175	215	250	270	277	295	280	280	300	251.7
22min 溫度	150	150	200	240	230	223.4	285	290	275	275	231.84
23min 溫度	160	160	190	240	260	203	220	250	255	245	218.3
24min 溫度	60	160	190	190	250	186.4	225	210	205	230	190.64
25min 溫度	150	150	170	200	220	184.9	220	230	150	225	189.99

5-6-9 內罐上層孔洞排列形狀上中下 V 型之外爐之十五分鐘後爐內溫度變化(°C)											
時間/次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
16min 溫度	420	470	362	320	415	410	360	270	410	345	378.2
17min 溫度	420	470	350	305	420	400	330	345	400	340	378
18min 溫度	375	430	360	365	380	340	340	320	405	295	361
19min 溫度	340	420	280	260	350	290	310	340	370	310	327
20min 溫度	345	400	275	220	300	330	270	320	310	300	307
21min 溫度	320	380	280	210	270	310	265	300	295	275	290.5
22min 溫度	360	340	250	200	230	285	250	270	290	220	269.5
23min 溫度	350	310	205	185	215	205	190	230	240	215	234.5
24min 溫度	285	285	150	185	180	265	210	190	235	212	219.7
25min 溫度	260	260	220	185	160	190	195	170	230	210	208

2.由以上表格可以統整比較表，如圖 5-6-2 所示:

圖 5-6-2 內罐上層孔洞排列形狀對十五分鐘後爐內溫度變化的影響的比較圖(°C)



3.分析蓄熱效果

由上圖可知內罐上層孔洞排列形狀上中下 V 型的保溫效果最好平均 10 分鐘內降 170.2°C，其次是內罐上層孔洞排列形狀上二下二平均 10 分鐘內降 189.61 °C和內罐上層孔洞排列形狀上下交錯 10 分鐘內降 219.7 °C，最差的內罐上層孔洞排列形狀直線平均 10 分鐘內降 220.2 °C。

(三)燃燒灰燼與碳化

表 5-6-10 燃燒灰燼與碳化平均

直線	灰燼值	碳化值	上下交錯	灰燼值	碳化值	上二下二	灰燼值	碳化值	上中下 V 型	灰燼值	碳化值
平均	1.606	0.564	平均	1.9	0.684	平均	2.329	0.592	平均	1.945	0.567

分析灰燼與碳化結果:依據上表直線的燃燒最完全，其次是上中下 v 行和上二下二，最差的是上下交錯。

七、經參數優化的自製木氣爐及改良裝置的比較

(一)我使用 PMI 分析來分析各種架子的優劣

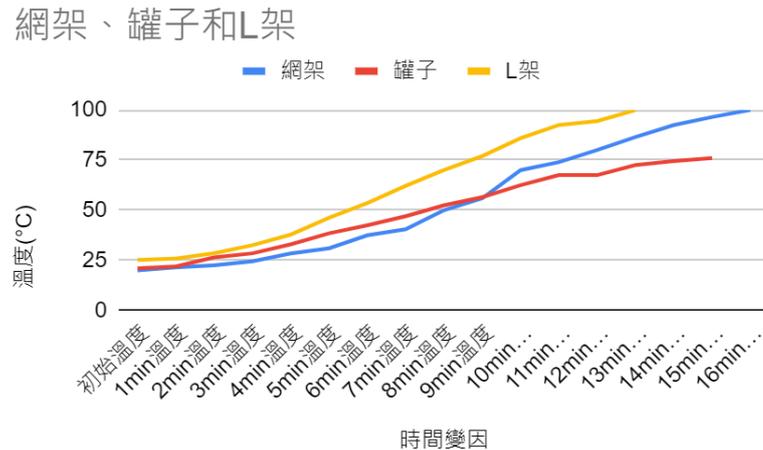
表 5-7-1 自製不同爐架之優劣勢分析

分析爐架種類	鐵罐爐架	烤肉網爐架	L 架爐架
P (plus)	成本零、材質堅固	通風良好、易攜帶	通風良好、易攜帶
M (minus)	洞口太小不易讓空氣進出、不易觀察火焰	材質偏軟、平衡不好，易壓壞	製作麻煩、較占空間
I (interesting)	因為外壁範圍大不用擋風板	網子的開口有些鐵線沒被剪掉可以當卡榫	雖然 L 架沒辦法拆掉，但內罐還是可拿出來



(二) 實驗兩次結果如統計圖 5-7，依據上表和圖 5-7，在各項目表現上，L 架式最好的，因為它既上升溫度最快，易攜帶，也通風良好，很適合喜愛野炊的人。

圖 5-7 網架、罐子和 L 架對木質顆粒燃燒加熱影響(°C)



陸、討論

一、木氣爐原理與材料準備

(一)火種:我原本採用衛生紙沾凡士林當火種，不過效果不好又不精準，也常讓自己雙手油膩膩，後來想到可以用酒精當火種，我嘗試用重量不同的酒精去測試，經過多次的實驗，決定用 **3g 酒精量最適合**，既不會浪費也不會點不著。

(二)燃料:木質顆粒的選定研究重量測試，從 80g~150g 區間測試好幾次，因為我發現 80g 的燃燒效果太差，有時無法將一公升水燒開，150g 則太多，易造成燃料浪費，經過多次的實驗前測試，以 **120g 的木質顆粒來作為此次研究的重量最為合適**。

二、自製木氣爐

(一)我的自製木氣爐底部原本是用螺絲支撐，但因為有些罐子的底部沒有可以鎖螺絲的空間，所以我換成大的三個夾子來支撐。

(二)我的內罐設計原本是沒有上方的螺絲，加上螺絲的原因是因為，如果內罐和外罐的口徑差很多，內罐會掉下去，所以加了螺絲固定，比較穩固。

三、探討自製木氣爐外罐口徑大小對木質顆粒燃燒的影響

(一)燃燒效果:經過這次實驗發現，**直徑 12.5cm 的外罐加熱的效能最好**，直徑 14.5cm 的外罐其次，直徑 10.5cm 的外罐最差，推測是因為**直徑 12.5cm 的外罐因為大小適中，所以木煤氣進出的空間剛好**；直徑 14.5cm 的外罐是因為夾層空間大，熱能會分散造成受熱不平均，木煤氣不容易集中，直徑 10.5cm 的外罐是因為木煤氣進出的空間太小，推測有部分木煤氣在底層形成時便外洩。

(二)後續溫度:實驗發現，**大罐的保溫效果最好**，其次是小罐，最差的是中罐，推測是因為大罐空間比較大剩餘的木煤氣雖然無法形成火焰，但可以讓裡面的溫度保持

住；小罐表現其次，推論前十五分鐘熱能釋放較慢，因此後續溫度比較能保持，但是保溫效果卻比大罐還差，可進一步探究；而中罐因為前十五分鐘的熱能消耗較快，所以後面沒有辦法讓溫度保持住。

(三)灰燼: 實驗發現，**中罐的燃燒最完全**，其次是小罐，最差的是大罐，推測因為中罐燃燒效果最好所以燃燒比較完全；而小罐與大罐依照燃燒效果來講，大罐應該碳化值會較少，但是反而小罐的碳化值較少，值得進一步探討。

四、探討自製木氣爐內罐底層孔洞大小的對木質顆粒燃燒的影響

(一) 燃燒效果: 實驗發現，**孔洞直徑 5mm 加熱的效能最好**；孔洞直徑 4mm 其次；孔洞直徑 3mm 最差，推測是因為孔洞直徑 5mm 因為比較大，空氣進出的空間也比較大，所以燃燒的速度也比較大；孔洞直徑 4mm 是因為比較小，所以空氣進出的空間也比較小；孔洞直徑 3mm 以此類推。

(二)後續溫度: 實驗發現，**孔洞直徑 4mm 的保溫效果最好**；其次是孔洞直徑 3mm；最差的是孔洞直徑 5mm。若依照燃燒效果而言孔洞直徑 3mm 的後續溫度應該優於 4mm，但是實際並非如此，推論 3mm 的底層進氣量過小，導致內部以悶燒方式進行，溫度無法有效持續傳到爐口；而 5mm 孔洞大，前十五分鐘的熱能消耗較快，所以後面沒有辦法讓溫度保持住。

(三)灰燼: 實驗發現 **5mm 的燃燒最完全**；其次是 4mm；最差的是 3mm，推測 5mm 因為燃燒效果最好，燃燒也比較完全；4mm 燃燒效果比較差所以燃燒比較不完全；3mm 以此類推。**底層空氣進氣量多寡影響燃燒是否完全並與碳化程度剛好吻合。**

五、探討自製木氣爐內罐上層孔洞大小對木質顆粒燃燒的影響

(一) 燃燒效果: 實驗發現**上層孔洞直徑 5mm 加熱的效能最好**，孔洞直徑 4mm 其次，孔洞直徑 3mm 最差，推測是因為孔洞直徑 5mm 因為比較大，讓比較多二次燃燒的火可以從洞孔出來，所以燃燒的速度也比較大，孔洞直徑 4mm 讓比較少二次燃燒的火可以從洞孔出來，所以燃燒的速度也比較小，孔洞直徑 3mm 以此類推。

(二)後續溫度: 實驗發現**孔洞直徑 3mm 的保溫效果最好**；其次是孔洞直徑 5mm；最差的是孔洞直徑 4mm，推測 3mm 因為孔洞比較小，前期溫度加熱雖慢，但是溫度保持得較持久；而 5mm 與 4mm 的後續保溫竟然是 5mm 較佳，值得進一步探究。

(三)灰燼: 實驗發現 **5mm 的燃燒最完全**，其次是 4mm，最差是 3mm，推測 5mm 因為燃燒效果最好所以燃燒也比較完全；4mm 燃燒效果比較差所以燃燒比較不完全；

3mm 以此類推。上層木煤氣排出多寡影響燃燒是否完全並與碳化程度剛好吻合。

六、探討自製木氣爐內罐上層孔洞排列形狀對木質顆粒燃燒的影響

- (一) 燃燒效果:實驗發現，上層孔洞形狀上下交錯加熱的效能最好，上層孔洞形狀上中下 V 型其次，上層孔洞形狀上二下二其次，直線排列最差。推測是因為上層孔洞形狀上下交錯，讓木煤氣可以從不同上下位置洞孔出來，所以二次燃燒的效能較佳。研究發現孔洞的重新排列確實會影響燃燒的效能且有上下排列的孔洞皆優於只排一排的直線型孔洞。
- (二) 後續溫度:實驗發現，內罐上層孔洞排列形狀上中下 V 型的保溫效果最好；其次是內罐上層孔洞排列形狀上二下二和內罐上層孔洞排列形狀上下交錯；最差的是內罐上層孔洞排列形狀直線，推測是因為上中下 v 型的設計能保留足夠的熱能讓溫度可以持續到 15 分鐘以後；上二下二也是一樣；上下交錯因為 15 分鐘前以消耗大量熱能所以無法讓溫度持續到 15 分鐘以後；直線設計燃燒效果不佳，但是保溫效果也不佳，需要進一步探究。
- (三) 灰燼: 實驗發現，直線的燃燒最完全，其次是上中下 v 型和上二下二，最差的是上下交錯，其中發現直線形狀燃燒效果不佳卻碳化值最低，推測直線孔洞實驗時氣候為夏季氣候所造成的誤差。上中下 v 型推測是因為它的燃燒效果很好所以燃燒也比較完全；上二下二它也是和上下 v 型一樣的原因；而上下交錯是最後，可能是因為溫度的關係，可進一步去探究。

七、經參數優化的自製木氣爐及改良裝置的比較

- (一) 我用罐子做的架子前後各有開一個長方形大洞，但因為效果不好，所以又推出第二代，第二代是在大洞周圍打出四個 5mm 的小洞，但效果依舊不好，應該是因為空氣進出的孔洞的量太少，所以影響燃燒效果。
- (二) L 架式最好的，因為實驗中其在時間內上升溫度最快，也易攜帶，結構性強，不容易損壞。

柒、結論

去露營時，我會觀察焚火台，其中最讓我好奇的就是木氣爐，我想完整記錄自製木氣爐燃燒的狀況。並搭配比較環保的木質顆粒，來進行一系列的研究。

本實驗總共有七個目的，分別是木氣爐原理與材料準備；自製木氣爐、木氣爐外罐口徑大小對木質顆粒燃燒的影響；木氣爐內罐底層孔洞大小的對木質顆粒燃燒的影響；木氣爐內

罐上層孔洞大小對木質顆粒燃燒的影響；木氣爐內罐上層孔洞排列形狀對木質顆粒燃燒的影響；找出最佳的木氣爐並改良裝置。由實驗一的結果發現，木材燃燒後產生的木煤氣透過下方的氣孔排出，並往上升，新鮮空氣由外爐氣孔隨著木煤氣的熱氣流上升，並接觸燃燒室外壁，而達到二次燃燒的效果，使得木煤氣燃燒完全。另外，我到大賣場找尋各式各樣合適的規格，最後我採用的規格是直徑 8.5 公分高 14.5 公分的鐵罐，來當作內罐，並確認可以搭配內罐規格的外罐。研究二結果發現，因為不是每個外罐都可以運用螺絲來製作腳架，後來選擇更換成鐵夾來支撐，兼具穩固與抽換的方便性，內爐上面增加三個支架，來讓內爐底部保持通風的空間。在實驗三結果發現，直徑 12.5cm 的外罐加熱的效能最好，直徑 10.5cm 的外罐最差。由實驗四的結果發現，內罐底層孔洞直徑 5mm 加熱的效能最好，內罐底層孔洞直徑 3mm 最差。由實驗五的結果發現，內罐上層孔洞直徑 5mm 加熱的效能最好，內罐上層孔洞直徑 3mm 最差。由實驗六的結果發現，上層孔洞形狀上下交錯加熱的效能最好，上層孔洞形狀直線最差。由實驗七的結果發現 L 架式最好的，它也易攜帶，燃燒時空氣流通佳。

這個研究讓我更了解木氣爐的構造以及其加熱的效能。在實驗過程中，我必須耗費很多時間成本，不管下雨天或大熱天，我都很盡力去完成實驗，在實驗過程中，時間和溫度都是必要的條件，每分每秒都不容馬虎，但我都熬過去了，如果以後有機會，我想進一步研究不同木氣爐的材質或使用天然素材，如富含油脂的葉子或果實來成為燃料。另外，我也想自製一個火箭爐，和木氣爐做比較，研究哪一個容器的加熱效果最好。

捌、參考資料

- 一、小龜的筆記(2014-02-19)•木氣爐設計與製作 wood gas stove DIY•Blogger•取自 [木氣爐設計與製作 wood gas stove DIY](#)
- 二、方格紙製造器•取自 [Gridzly](https://gridzly.com/).<https://gridzly.com/>
- 三、小彪說減肥 (2019-03-08)•卡路里跟焦耳的換算，你會計算嗎？•kknews•取自 <https://kknews.cc/fit/zbrxpp.html>
- 四、迪克知識網(2021-03-09)•為什麼木頭燃燒後成了碳,木材燃燒之後為什麼會變火碳•迪克知識網•取自 <https://www.diklearn.com/a/202101/85080.html>
- 五、王伯任 (2021-1-15)•「王老師教你」火箭爐製作 DIY 教學•Youtube•取自 <https://www.youtube.com/watch?v=WVBxiZper8U>
- 六、IntenseAngler (2013-3-14)•How To Make A Wood Gas Stove - Compact & Efficient! •Youtube•取自 https://www.youtube.com/watch?v=BxODae_BS74&t=256s

【評語】 080217

在實驗中試著改良木氣爐，最後藉由數據分析，做出一個最適合搭配木質顆粒燃料的野炊木氣爐，木氣爐製作的記錄相當完整，配比木質顆粒燃燒的狀況也很清楚，主題特殊有趣，是很好的研究訓練，未來可以當很好的科學家或工程師。唯本作品專注在如何自製木氣爐，探討了各式構造對於加熱效果上的影響，實驗做得非常仔細並經多次重複驗證，雖然本作品比較著重在燃燒的流體力學、熱傳之類的工程研究，化學部分的理解較少，但是整體實驗的嚴謹度很值得讚賞

一些建議：燃燒其實是化學過程，應說明所選變因的理由，及如何描述和觀察對木質顆粒燃燒的影響及如何關連到燃燒化學，宜加強說明孔洞的編排方式與燃燒的關係。網路上有關木氣爐製作已經有許多討論，研究同學宜說明，有沒有更特別的發現與解釋。

作品簡報



「木氣」冲天 -
木氣爐構造對
木質顆粒燃燒之研究

組別:國小組

科別:化學科

摘要

透過多次觀察焚火台的經驗，發現近年來大家開始採用比較環保的木質顆粒當作燃料，在這次不斷的研究中，逐步發現自製木氣爐搭配木質顆粒燃燒的效果差異。隨著一次又一次的實驗，漸漸發現一些問題，在實驗中，嘗試改良我的木氣爐，最後藉由實驗的數據分析，做出一個最適合搭配木質顆粒燃料的野炊木氣爐。

研究目的

- 一、木氣爐原理與材料調查
- 二、自製木氣爐
- 三、探討自製木氣爐外罐口徑大小對木質顆粒燃燒的影響
- 四、探討自製木氣爐內罐底層孔洞大小的對木質顆粒燃燒的影響
- 五、探討自製木氣爐內罐上層孔洞大小對木質顆粒燃燒的影響
- 六、探討自製木氣爐內罐上層孔洞排列形狀對木質顆粒燃燒的影響
- 七、經參數優化的自製木氣爐及改良裝置的比較

研究方法

一、木氣爐原理與材料調查



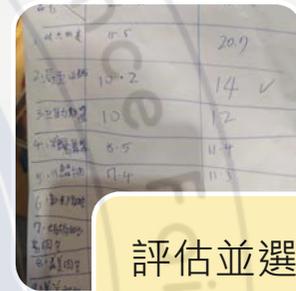
利用網路資源
查詢木氣爐的
相關原理



繪製木氣爐
運作原理圖



賣場調查
適合的內外罐



評估並選擇
可用的實驗
內外罐

二、自製木氣爐



製作內罐



製作外罐



檢測木氣爐燃燒之狀況

研究方法

三、探討自製木氣爐外爐口徑大小對木質顆粒燃燒的影響

(一)用直徑10.5cm、12.5cm、14.5cm，高16.5cm的圓柱體鐵罐，製作木氣爐外罐，使用直徑8.5cm，高14.5cm的鐵罐當作內罐，孔洞大小皆為3mm



研究方法

四、木氣爐內罐底層孔洞大小對木質顆粒燃燒的影響

(一)分別用3mm、4mm、5mm鑽頭在木氣爐內罐下方的點上打洞，以目的三之最佳的外罐作為後續實驗的外罐。

(二) 實驗步驟及記錄，同目的三。



孔洞直徑3mm



孔洞直徑4mm



孔洞直徑5mm

五、木氣爐內罐上層孔洞大小對木質顆粒燃燒的影響

(一)分別用3mm、4mm、5mm的鑽頭在木氣爐上方環繞的點上打洞，選擇研究目的四之最佳的內罐底層孔洞大小作為後續實驗的內罐。

(二) 實驗步驟及記錄，同目的三。



孔洞直徑3mm



孔洞直徑4mm

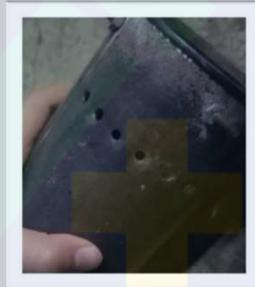


孔洞直徑5mm

研究方法

六、木氣爐內罐上層孔洞排列形狀對木質顆粒燃燒的影響

- (一)分別用直線、上下交錯、上二下二和上中下V型四組形狀在木氣爐內罐上方環繞的點上打洞，選擇研究目的五之最佳的內罐上層孔洞大小作為後續實驗的內罐。
- (二) 實驗步驟及記錄，同目的三。



直線



上下交錯



上二下二



上中下V

七、經參數優化的自製木氣爐及改良裝置的比較

- (一)分別用L架、烤肉網、罐子製作放置水壺爐架，選擇研究目的六之最佳組合作為研究目的七組合。
- (二) 實驗步驟及記錄，同目的三，但不把水壺、網架拿起，也不用拍灰燼照片。
- (三)每個項目實驗兩次，共計六次



裁切L架



裁切網架

結果與討論

一、木氣爐原理與材料調查

到大賣場找尋各式各樣合適的規格。
最後我採用口徑8.5cm，高14.5cm為內罐，因為它的組合性是最高，可以搭配其他尺寸的外罐。



木氣爐原理圖

研究討論

原採用衛生紙沾凡士林當火種，效果不佳，改嘗試用不同重量的酒精測試，決定用3g酒精最適合，此研究採用木質顆粒當燃料，並從80g~150g區間測試，最後採用120g木質顆粒來做實驗。

二、自製木氣爐



第一代



第二代



第三代

研究討論

原本木氣爐底部是用螺絲支撐，但因有些罐子的底部無可鎖螺絲的空間，所以換成大的三個夾子來支撐，原本內罐設計是沒有上方的螺絲，但因有些內罐和外罐的口徑差很多，內罐會掉落，所以加了螺絲固定。

結果與討論

三、探討自製木氣爐外爐口徑大小對木質顆粒燃燒的影響

(一)一公升水加熱紀錄與比較

12.5cm > 14.5cm > 10.5cm

大小適中



測量灰燼

(二)爐內溫度紀錄與比較

14.5cm > 10.5cm > 12.5cm

尺寸-保溫-熱能消耗

(三)燃燒灰燼與碳化

12.5cm > 10.5cm > 14.5cm

燃燒效果

外爐口徑大小對一公升水加熱溫度比較圖



四、探討自製木氣爐內罐底層孔洞大小對木質顆粒燃燒的影響

(一)一公升水加熱紀錄與比較

5mm > 3mm > 4mm

木煤氣前後期排出量



餘火階段

(二)爐內溫度紀錄與比較

4mm > 3mm > 5mm

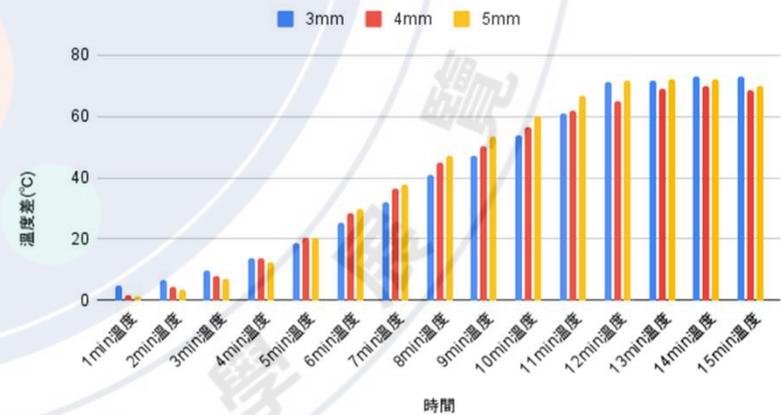
消耗較少熱能

(三)燃燒灰燼與碳化

5mm > 3mm > 4mm

加熱效果和碳化效果結果吻合

內罐底層孔洞大小對一公升水加熱溫度比較圖



結果與討論

五、探討自製木氣爐內罐上層孔洞大小對木質顆粒燃燒的影響

(一)一公升水加熱紀錄與比較

5mm > 4mm > 3mm 空氣進出的空間大

(二)爐內溫度紀錄與比較

3mm > 5mm > 4mm 孔洞小，溫度保持較久

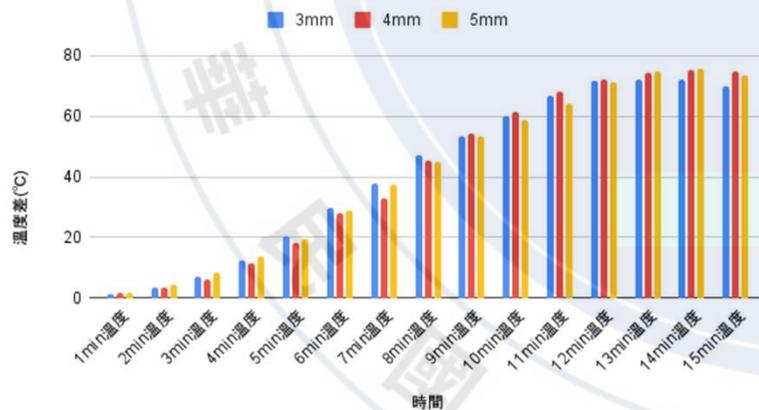
(三)燃燒灰燼與碳化

5mm > 4mm > 3mm 空氣進出的空間大



實驗場地

內罐上層孔洞大小對一公升水加熱溫度比較圖



六、探討自製木氣爐內罐上層孔洞排列形狀對木質顆粒燃燒的影響

(一)一公升水加熱紀錄與比較

上下交錯型 > 上中下V型 > 上二下二型 > 直線排列型。

形狀可讓木煤氣從不同位置出來

(二)爐內溫度紀錄與比較

上中下V型 > 上二下二 > 上下交錯 > 直線

能保留足夠的熱能

(三)燃燒灰燼與碳化

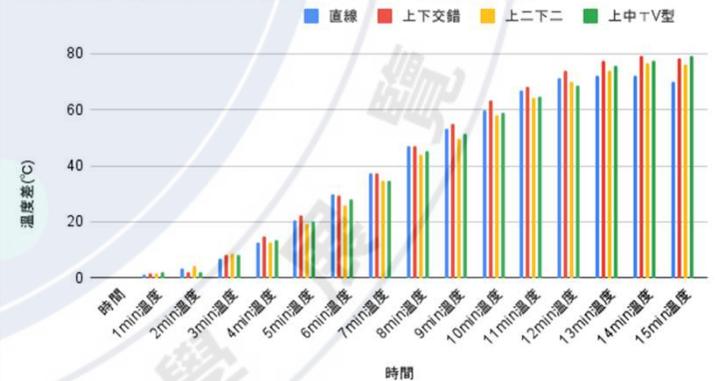
直線 > 上中下v型和上二下二 > 上下交錯



灰燼照片

季節因素

內罐上層孔洞排列形狀對一公升水加熱溫度比較圖



結果與討論

七、經參數優化的自製木氣爐及改良裝置的比較

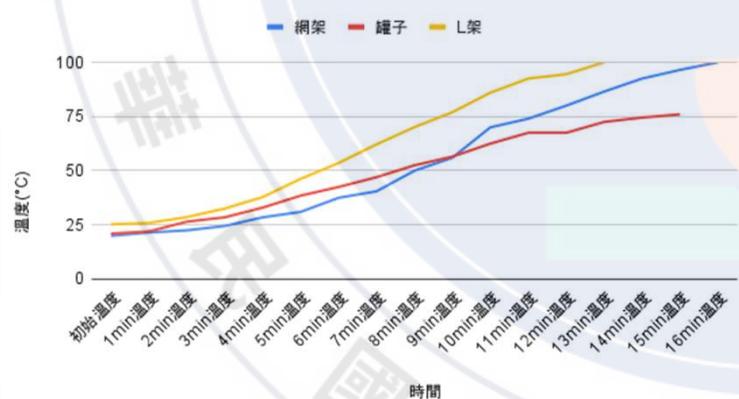
自製不同爐架之優劣勢分析

分析\爐架種類	鐵罐爐架	烤肉網爐架	L架爐架
P (plus)	成本零、材質堅固	通風良好、易攜帶	通風良好、易攜帶
M (minus)	洞口太小不易讓空氣進出、不易觀察火焰、燃燒效果不好	材質偏軟、平衡不好、易壓壞	製作較麻煩、較占空間
I (interesting)	因為外壁範圍大，反而不須使用擋風板	網子的開口有些鐵線沒被剪掉可以當卡榫	雖然L架沒辦法拆掉，但內罐還是可拿出來



最佳:L架

不同爐架加熱效果比較圖



鐵罐第一代
前後各有開一個
長方形大洞



鐵罐第二代
在長方形大洞周圍
鑽八個的5mm圓孔

研究結論

各目的最佳變因整合表

目的三	目的四	目的五	目的六	目的七
口徑 12.5cm	孔洞直徑 5mm	孔洞直徑 5mm	上下交錯	L架

自製木氣爐和市面上的木氣爐比較表

項目	自製木氣爐	市面上的木氣爐
好處	製作材料取得方便、 成本便宜	外觀漂亮
壞處	製作較費時	成本高

研究回饋

研究中:更了解木氣爐的構造以及其加熱的效能。

研究後:時間和溫度都是必要的條件，每分每秒都不容馬虎

未來想要:研究不同木氣爐的材質或使用天然素材來當燃料。也想自製一個火箭爐，和木氣爐做燃燒比較。

研究的後續影響

#木氣爐
築爐之前騎機車去太平山遊玩時
為了方便煮泡麵和沖咖啡做了一款木氣爐
雖然不鏽用但還是有一些缺點
趁這次透過 [redacted] 的實驗指點迷津
進一步改進
想知道改了什麼嗎?
讓我們繼續看下去





木氣燃燒，點亮我心

參考文獻

- 一、小龜的筆記(2014-02-19)•木氣爐設計與製作 wood gas stove DIY•Blogger•取自木氣爐設計與製作 wood gas stove DIY
- 二、方格紙製造器 •取自 *Gridzzly*.<https://gridzzly.com/>
- 三、小彪說減肥 (2019-03-08)•卡路里跟焦耳的換算，你會計算嗎？•kknews•取自 <https://kknews.cc/fit/zbrxpp.html>
- 四、迪克知識網(2021-03-09)•為什麼木頭燃燒後成了碳,木材燃燒之後為什麼會變火碳 迪克知識網•取自 <https://www.diklearn.com/a/202101/85080.html>
- 五、王伯任 (2021-1-15)•「王老師教你」火箭爐製作DIY教學•Youtube•取自 <https://www.youtube.com/watch?v=WVBxiZper8U>
- 六、IntenseAngler (2013-3-14)•How To Make A Wood Gas Stove - Compact & Efficient! •Youtube•取自 https://www.youtube.com/watch?v=BxODae_BS74&t=256s