

# 新竹市第三十八屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：生活與應用科學（二）（環保與民生）

組 別：國小組

作品名稱：神奇的紙箱烤肉

關鍵詞：紙箱、烤肉、熱對流

編號：

## 神奇的紙箱烤肉 目錄

壹、研究動機	p.1
貳、研究目的	p.2
參、研究設備及器材	p.2
肆、研究過程或方法	p.3
研究一：收集網路資訊，了解紙箱烤肉的原理	p.4
研究二：測試網路版紙箱烤肉是否能成功烤雞翅	p.5
研究三：比較有洞紙箱及無洞紙箱的烤肉成效	p.6
研究四：比較有蓋紙箱及無蓋紙箱的烤肉成效	p.9
研究五：比較開洞位置的差異是否會影響烤肉成效	p.12
研究六：探討上方及下方開洞個數不同的紙箱，形成的烤肉成效	p.14
研究七：依照開洞數量與位置不同的紙箱，比較進風與出風速度	p.17
研究八：探討開洞在箱蓋上的烤肉成效	p.18
研究九：探討在蓋子上加上煙囪，所呈現的烤肉成效	p.22
研究十：比較不同高度煙囪的烤箱，所呈現的烤肉成效	p.24
伍、研究結果與討論	p.26
陸、結論	p.29
柒、參考資料	p.30

# 神奇的紙箱烤肉

## 摘要

紙箱烤肉？易燃的紙箱居然可以烤肉，太神奇了！這引起了我們的好奇心，開啟我們的研究旅程。我們發現利用紙箱烤肉相當環保，在我們的研究下，發現有幾項必要條件，才可以讓紙箱烤肉成功：(1)上方必須加上蓋子，讓溫度可以蓄積在箱子裡。(2)箱子上必須有開洞，增加熱對流的效率。(3)開洞位置為相對面優於鄰近面開洞。除此之外，若要提高紙箱烤肉的效能，也有幾點技巧：(1)相對面的開洞個數不一致，加快風的流動。(2)可以把一面的開洞位置設在箱蓋上，讓熱空氣可以垂直爬升排泄。(3)在箱蓋上築上煙囪，讓熱空氣能沿著垂直面爬升，提升烤肉效能。

綜合上述研究結果，我們發現利用紙箱烤肉可以減少木炭用量，避免過多油煙，相當環保；此外，不需要一直顧火及搨風，也可以免去烤肉架的使用，既省時又輕鬆。

## 壹、研究動機

每一年的中秋節是我們全家齊聚的快樂時光，在院子裡欣賞著皎潔的月色，爸爸和媽媽帶著我及所有的堂兄妹一同烤肉，你一言我一語，互相聊天分享生活瑣事，此起彼落的歡笑聲充斥著院子裡，正當歡樂的氣氛籠罩著我們時，爸爸突然一聲大叫「啊！」，瞬間，大家都靜默地轉向看著爸爸，原來是爸爸和伯父顧著聊天，忘了看管烤肉架上的烤物，木炭的火太大了，每一隻雞翅都焦了，第一輪的烤肉就這樣宣告失敗，沒關係，大夥兒一起放置新的烤物，繼續進行，說說笑笑的声音再次響起，這時，肚子餓的小堂妹，挨到伯父身旁，撒嬌地想討支香腸吃，沒想到，換成伯父無奈的喊「哎呀！」，原來是一聊起天，忘記搨風，炭火居然熄了，所以過了二十分鐘，香腸都沒熟，小堂妹摸著肚子，嘟著嘴，飢腸轆轆地坐在一旁的板凳繼續等待。

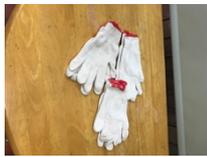
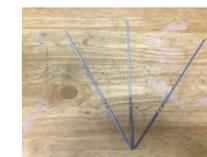
結束整夜的烤肉活動後，大家一同分工合作，清理環境，刷洗器具，烤肉架總是最難刷乾淨的，我和爸爸刷到揮汗淋漓，實在好累喔！大家忙完後一起坐在客廳休息看電視，這時出現一則「紙箱烤肉」的新聞，疲累的大家，眼睛瞬間發亮，覺得這個方法很神奇，不用顧木炭也不用煩惱要如何清洗使用完的烤肉架，於是，隔天爸爸立刻找了一個紙箱，烤了一隻全雞，結果成功又美味！

到了學校，與老師分享了這段假日生活，我認為這是個很環保又省時的方法，老師鼓勵我可以實驗看看，找出更有效能的紙箱烤肉方法，於是，我們展開了一系列的相關實驗，期望透過觀察、實驗、歸納及討論，找出更便利的紙箱烤肉法，讓台灣人最愛的中秋烤肉活動更加輕鬆、更加環保。

## 貳、研究目的

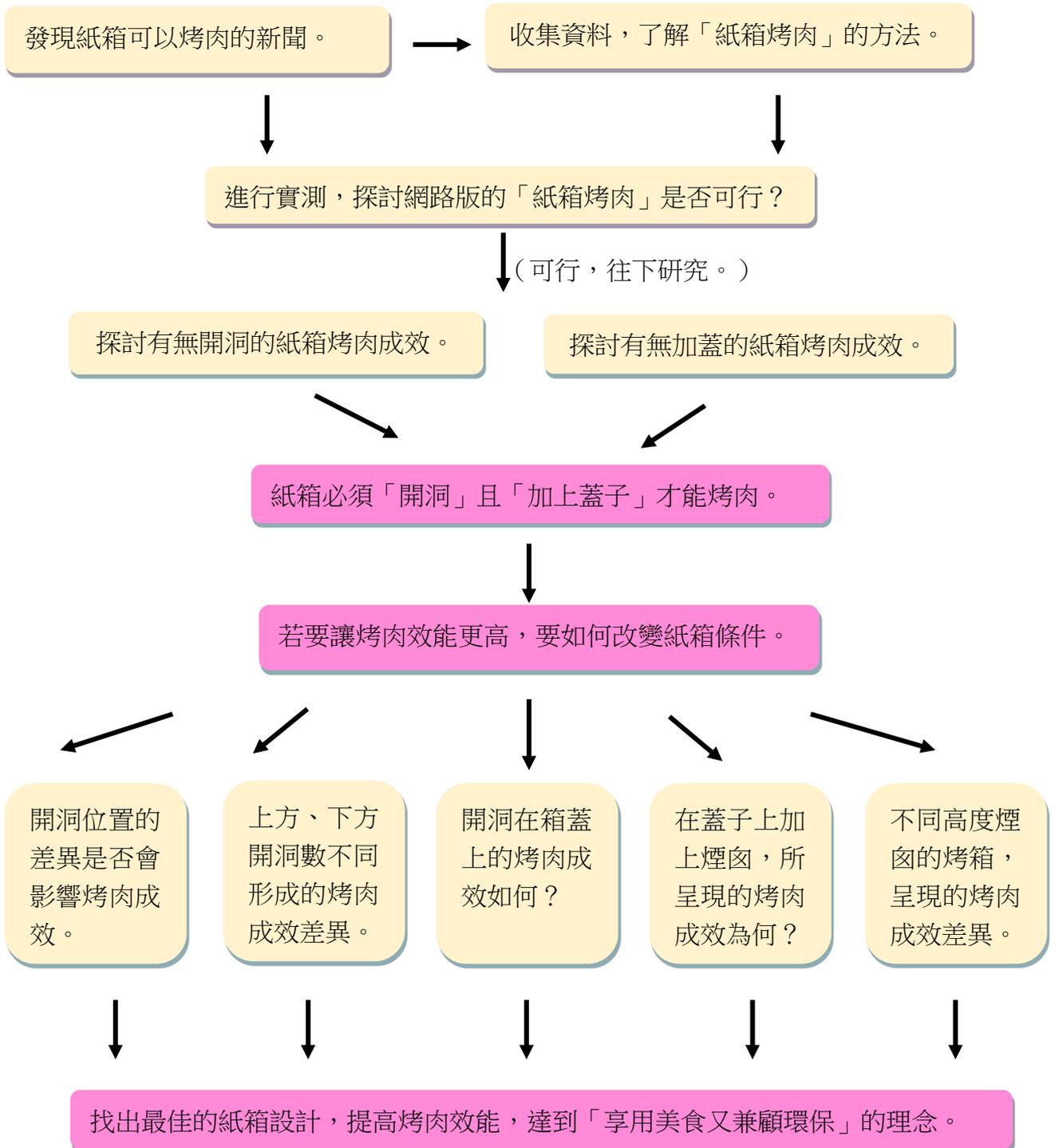
- 一、紙箱烤肉的可行性？
- 二、紙箱開洞與不開洞是否會影響烤肉成敗？
- 三、紙箱加蓋與不加蓋是否會影響烤肉成敗？
- 四、開洞的位置在對面及相鄰面的差異，會影響烤肉成效嗎？
- 五、開洞數量不同是否會影響烤肉效果？
- 六、若開洞位置在蓋子上，烤肉的效能如何？
- 七、開洞數量不同，出風口和進風口的風速會不一樣嗎？
- 八、若在箱蓋上方築上煙囪，是否會增加烤肉效能？

## 參、研究設備及器材

				
影印紙用A4 紙箱	竹籤	紅外線測溫器	炭精	美工刀
				
訂製A4 紙箱	隔熱手套	夾子	釘書機	打火機
				
瓦斯噴槍	雞腿	雞翅	錫箔盤	防燙鐵叉
				
剪刀	食物溫度探測棒	錫箔紙	計時器	風速計

## 肆、研究過程或方法

### 一、研究流程



## 二、研究內容

### 研究一：收集網路資訊，了解紙箱烤肉的原理

#### (一) 資料來源一

出處：聯合新聞網

## 科教館神奇紙箱烤肉法 4 顆炭就能烤熟一隻雞

2019-09-13 19:42 中央社 / 台北 13 日電

一般烤肉方法，熱容易散失，需要用好幾包炭，高雄師範大學團隊和國立台灣科學教育館合作研發紙箱烤肉法，運用熱對流和熱輻射原理，只用 4 顆小型椰子炭，就能烤熟一整隻雞。

科教館今天舉辦 2 場次的「神奇紙箱烤肉」活動，希望上百名家長和孩童參與。有別於直火炭烤，活動先從製作紙箱烤爐開始，結合科學巧思，讓親子間除了享受烤肉的樂趣，也能在動手做中，學到一些科學知識。

首先準備一個大小合適的紙箱，在長邊靠底部開出一長條的洞（寬約 1 公分），再於短邊靠頂部挖幾個洞。然後在紙箱內部鋪滿錫箔紙，錫箔紙光亮的部分朝內，且包到洞口的部分需割開，確保空氣可以進出。

烤肉時，紙箱底部放發泡煉石、一般石頭或鋁盤隔熱，上頭再放已燒熱的椰子炭。烤盤用鐵絲或竹籤固定在上，放入食材後把紙箱封好，靜待約 30 到 40 分鐘，即可享用佳餚。

#### (二) 資料來源二

出處：科教館 FB 網站



(三)組員討論及決議：

1. A組員提及，今年中秋節，爸爸因為不想刷烤肉架，剛好看到新聞，關於紙箱烤肉的訊息，因此有測試過用紙箱烤全雞；此新穎的烤肉方式，萌生全部組員的研究興趣，因此想探討「紙箱烤肉」。
2. B組員提及自己的烤肉經驗，提出炭精的續熱時間長達四個小時以上，且產生的煙極少，故決議以炭精取代新聞中的椰子炭。
3. 新聞中提及：紙箱底部放發泡煉石、一般石頭或鋁盤隔熱，上頭再放已燒熱的椰子炭。而我們決定以方便取得的鋁盤來隔熱。
4. 因烤全雞需要花的時間較長，因之後會做很多次的烤肉實驗，為縮短每次的時間，因此我們決議以「雞翅」為我們的烤物。
5. 準備A4紙箱、錫箔紙、炭精、雞腿等……材料，實際測試看看是否可以成功。
6. 實際測試是否可以成功，並將實驗內容與結論記錄到【研究二】中。

**研究二：測試網路版紙箱烤肉是否能成功烤雞翅**

(一)實驗目的：根據網路收集的資料及步驟，探討是否能以紙箱烤熟雞翅。

(二)實驗步驟：

1. 收集一個A4影印紙紙箱。
2. 在紙箱上，兩個面為24cm×22cm上各開出兩條1cm×8cm的洞。
3. 在兩個面為24cm×31cm上方切出五條5cm長的縫隙，用以卡住雞翅。
4. 在紙箱內側釘滿錫箔紙。
5. 五隻雞翅分別穿上竹棒。
6. 將點燃的三個炭精，放在紙箱底部的鋁盤上（鋁盤反放）。
7. 將五隻雞翅卡在紙箱上，蓋上蓋子開始悶烤。
8. 每隔5分鐘量測一次雞肉及烤箱內部溫度，直到雞肉量測至98度，即代表雞翅已經熟了。
9. 記錄結果。

(三)實驗結果：

時間:108年11月27日(三)14:00，室溫22℃

1. 實驗過程：



烤中紀錄	
烤後成品	
雞翅烤熟成品。	

2. 實驗結果紀錄：

雞翅烤前溫度：18.2℃

時間 \ 溫度	雞翅·烤箱	雞翅中心溫度(℃)	烤箱溫度(℃)
5 分鐘		41.8	340
10 分鐘		99.5	450
10 分鐘後，雞翅已經熟，取出享用，相當美味。			

(四)實驗發現及討論：

1. 烤箱烤雞翅→成功。
2. 雞翅選用為小雞翅，體積小，好很快就熟了，5 分鐘記錄一次，只記了兩次，共 10 分鐘，五隻雞翅就烤熟了。
3. 串雞翅的竹棒，經過悶烤後，容易斷裂，就串不住雞翅了。
4. 開箱蓋量測雞肉及烤箱溫度時，溫度容易流散。
5. 組員想：若紙箱不開洞，是否能將紙箱溫度聚集在內部，悶烤得更完整，讓烤肉速度更快，因此開始設計下一個實驗，即「比較有開洞及沒有開洞的紙箱烤肉成效」，並將實驗記錄在【研究三】中。

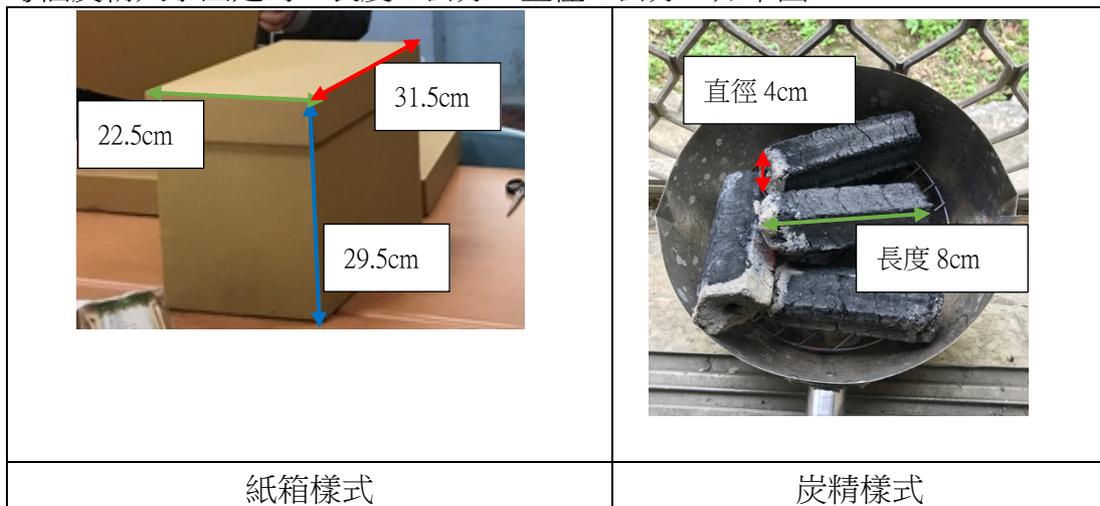
**研究三：比較有洞紙箱及無洞紙箱的烤肉成效**

(一)實驗目的：探討有開洞的紙箱與沒有開洞的紙箱所達到的烤肉效果，並作比較。

(二)實驗說明：鑑於【研究二】的經驗，我們將【研究三】中的實驗做了以下的調整。

1. 【研究二】中，我們以小雞翅做實驗，但是很快就熟了，為拉長實驗時間，以方便做出比較，故我們改用雞腿來實驗。(雞腿重量設定為 120~130 公克)
2. 以鐵叉取代竹叉，不僅可以重複使用很環保，又可以解決竹叉久烤後容易斷裂的問題。

3. 為讓實驗更準確，我們買了大小相同的紙箱，每次實驗的紙箱要統一規格，  
*紙箱尺寸：31.5x22.5x29.5(cm)*，材質3層瓦楞紙，如下圖
4. 每個炭精大小固定為：長度8公分，直徑4公分，如下圖。

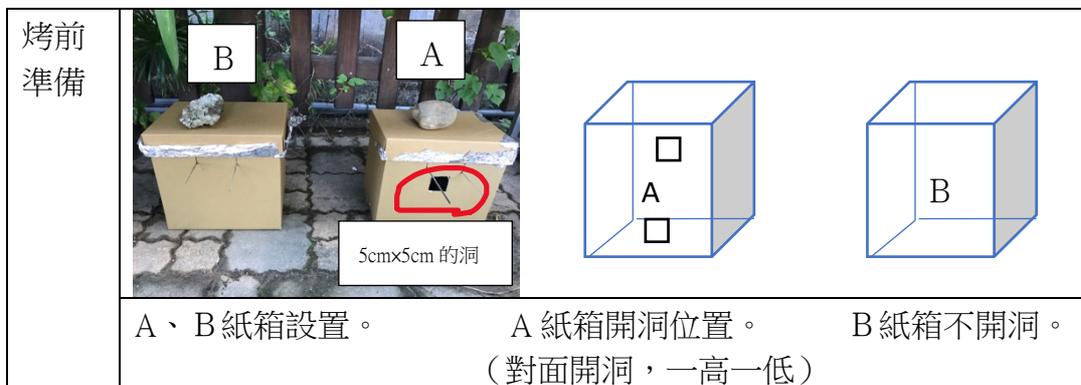


(三)實驗步驟：

1. 收集兩個完全相同 A4 影印紙紙箱，分別為 A 紙箱和 B 紙箱。
2. A 紙箱上，在兩個面為 31.5cmx29.5cm 上的中央，各開一個 5cmx5cm 的洞，一個面的開洞位置在較高處，一個面的開洞位置在較低處，B 紙箱則不開洞。
3. 在 A、B 紙箱內側釘滿錫箔紙。
4. 將 4 隻雞腿分別以鐵叉串上。(一個紙箱烤 2 隻雞腿)
5. 將點燃的 4 個炭精，放在紙箱底部的鋁盤上(鋁盤反放，A、B 紙箱各放 2 個炭精)。
6. 將 4 隻雞腿分別卡在 A 和 B 紙箱上，蓋上蓋子開始悶烤。
7. 每隔 2 分鐘量測一次雞肉及烤箱內部溫度，直到雞肉量測至 98 度，即代表雞翅已經熟了。
8. 記錄實驗結果。

(四)實驗結果：時間: 108 年 12 月 11 日(三)14:00，氣溫 20°C

1. 實驗過程：



		
	紙箱底部放置燃燒的炭精。	雞腿裝置。
烤中紀錄		
	每隔 2 分鐘量測一次雞肉和烤箱的溫度。	
烤後成品		
	A 烤箱的雞腿有烤熟，而 B 烤箱的雞腿沒有熟。	

2. 實驗結果紀錄：雞腿烤前溫度：20°C  
 （雞腿中心溫度達 98°C，即算熟成並結束悶烤。）

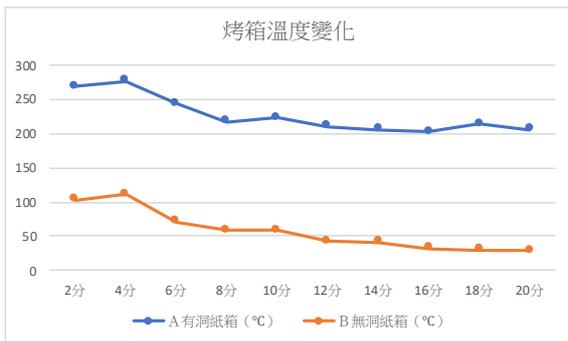
【表 3-1 A.B 紙箱的內部溫度】

	A 有洞紙箱 (°C)	B 無洞紙箱 (°C)
2分	269.3	103
4分	277.7	111
6分	244.1	71.1
8分	217.7	58.3
10分	223.2	59
12分	210.6	42.9
14分	206.2	41.6
16分	202.9	31.9
18分	214.1	29.4
20分	206.8	28.5
平均	227.3	57.7

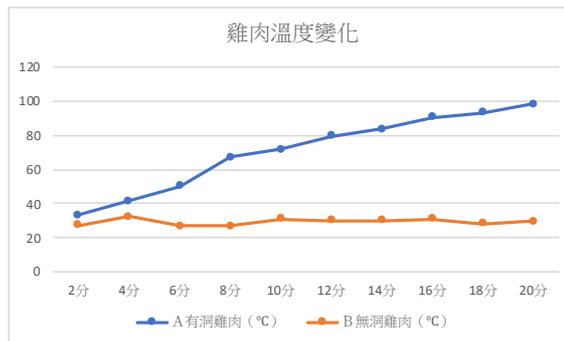
【表 3-2 A.B 紙箱雞腿的溫度變化】

	A 有洞雞肉 (°C)	B 無洞雞肉 (°C)
2分	33.5	27.2
4分	41.6	32.4
6分	50.3	26.7
8分	67.2	27.1
10分	71.6	31
12分	79.6	30.2
14分	83.9	30.3
16分	90.7	30.9
18分	93.1	28.1
20分	98.2	29.5

【圖 3-1 A、B 紙箱的溫度變化】



【圖 3-2 A、B 紙箱雞腿熟成的溫度變化】



#### (五) 實驗發現與討論：

1. 20 分鐘後，有開洞的 A 紙箱可以烤熟雞腿，雞腿中心溫度達 98.2°C；沒有開洞的 B 紙箱無法烤熟雞腿，雞腿溫度最後為 29.5°C。
2. 20 分鐘後，有開洞的 A 紙箱溫度為 206.8°C；沒有開洞的 B 紙箱溫度為 28.5°C。
3. 整個實驗過程，A 紙箱的平均溫度為 227.3°C；B 紙箱溫度為 57.7°C。
4. 組員討論：紙箱需要開洞，炭精才可以持續高溫燃燒，幫助雞腿熟化，以紙箱烤肉，沒有開洞無法烤熟雞腿。
5. 承上述，推論沒有開洞，無法提供新鮮空氣給紙箱內的炭精達到燃燒效果，因為少了助燃物。
6. 組員思考：那麼紙箱有沒有加蓋，是否也會影響烤肉結果，我們準備實驗並記錄於【研究四】。

### 研究四：比較有蓋紙箱及無蓋紙箱的烤肉成效

(一) 實驗目的：探討有加蓋的紙箱與沒有加蓋的紙箱所達到的烤肉效果，並作比較。

(二) 實驗說明：鑑於【研究三】的經驗，我們將【研究四】中的實驗做了以下的調整。

1. 因為測量雞肉溫度，必須插入雞肉中心，較花時間，每次打開蓋子測量雞肉溫度時，容易將紙箱的溫度流失，因此我們在蓋子上刺出一個小洞，讓溫度計的探測棒固定在雞肉中心，但液晶螢幕可以露在蓋子上方，方便觀測。
2. 組員認為：實驗時的風大小亦會影響烤肉情形，因此添購風速計，增加風速的測量與記錄。

(三) 實驗步驟：

1. 取兩個完全相同 A4 影印紙紙箱，分別為 C 紙箱和 D 紙箱。
2. C 紙箱上，在兩個面為 31.5cm×29.5cm 上的中央，各開一個 5cm×5cm 的洞，一個面的開洞位置在較高處，一個面的開洞位置在較低處。
3. D 紙箱上，在兩個面為 31.5cm×29.5cm 上的中央，各開一個 5cm×5cm 的洞，一個面的開洞位置在較高處，一個面的開洞位置在較低處。
4. 在 C、D 紙箱內側釘滿錫箔紙。
5. 將 4 隻雞腿分別以鐵叉串上。(一個紙箱烤 2 隻雞腿)

- 將點燃的 4 個炭精，放在紙箱底部的鋁盤上（鋁盤反放，上方放 2 個炭精，反放可以減少底部與紙箱的接觸，避免高溫接觸造成紙箱燃燒風險）。
- 將 4 隻雞腿分別卡在 C 和 D 紙箱上，C 紙箱蓋上蓋子開始悶烤，D 紙箱則不加蓋開始烤。
- 每隔 2 分鐘量測一次雞肉及烤箱內部溫度，直到雞肉量測至 98 度，即代表雞腿已經熟了。
- 記錄實驗結果。

(四)實驗結果：時間: 108 年 12 月 18 日(三)14:00，室溫 18.8℃，風速 1.3m/s。

1. 實驗過程：

<p>烤前準備</p>		 <p>溫度計的探測棒固定插入雞腿中間，但螢幕露在蓋子之上，以方便觀測。</p>
<p>C、D 紙箱設置。</p>		<p>測雞腿溫度計改良裝置。</p>
<p>烤中紀錄</p>		 <p>改變之前的掀蓋測量，改從開洞處測量紙箱溫度。</p>
<p>每隔 2 分鐘量測一次雞肉和烤箱的溫度。</p>		
<p>烤後成品</p>		
<p>C 烤箱的雞腿有烤熟，而 D 烤箱的雞腿沒有熟。</p>		



2. 實驗結果紀錄：雞腿烤前溫度：18°C

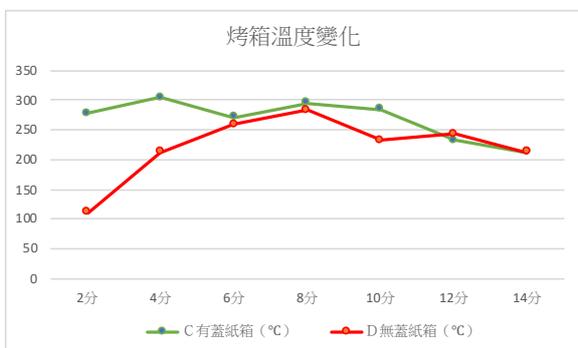
【表 4-1 C.D 紙箱的內部溫度】

	C 有蓋紙箱 (°C)	D 無蓋紙箱 (°C)
2分	277.7	110.9
4分	305	212.7
6分	271.6	258.5
8分	294.5	283.1
10分	284.4	232.8
12分	231.7	242.5
14分	212.2	212.6
平均	268.2	221.9

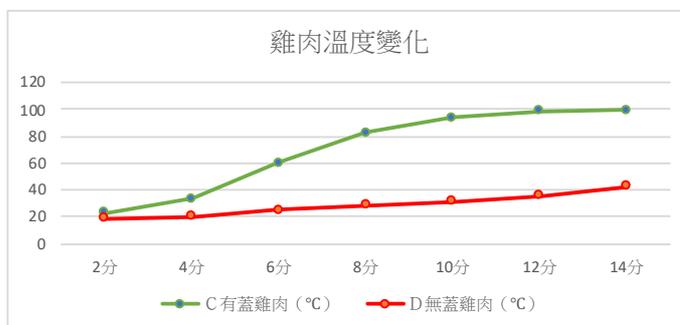
【表 4-2 C.D 紙箱雞腿的溫度變化】

	C 有蓋雞肉 (°C)	D 無蓋雞肉 (°C)
2分	22.6	18.3
4分	33.7	20.3
6分	59.9	25.2
8分	82.5	28.4
10分	94	31.6
12分	96.5	35.8
14分	99.6	42.6

【圖 4-1 C.D 紙箱的溫度變化】



【圖 4-2 C.D 紙箱雞腿熟成的溫度變化】



(五) 實驗發現與假設：

1. 今日風大，風速為 1.3m/s，炭精燃燒旺盛，14 分鐘後 C 紙箱就烤熟雞腿。
2. 利用紙箱烤肉，紙箱必須加上蓋子，才能成功的烤熟雞腿。
3. 14 分鐘後，有加蓋的 C 紙箱可以烤熟雞腿，雞腿中心溫度最後達 99.6°C；沒有蓋子的 D 紙箱無法烤熟雞腿，雞腿溫度最後為 42.6°C。
4. 14 分鐘後，有加蓋的 C 紙箱溫度為 212.2°C；沒有加蓋的 D 紙箱溫度為 212.6°C，溫度僅 0.4°C。
5. 整個實驗過程，C 紙箱的平均溫度為 268.2°C；D 紙箱溫度為 221.9°C。
6. C 和 D 紙箱的最後溫差僅 0.4°C，但沒有加蓋的 D 紙箱仍然無法烤熟雞腿。

- 承上，沒有加上蓋子，無法將雞腿烤熟，組員討論：沒有蓋子，應該有更多的新鮮空氣提供給炭精，幫助炭精燃燒，而D紙箱的溫度也都保持 200°C 上下，提供了高溫給紙箱，因此，組員推論：**應該是沒有加蓋的紙箱，熱較無法聚集，無法利用輻射及循環傳熱到雞腿上，幫助雞腿烤熟。**
- 綜合【研究三】和【研究四】，組員發現：利用紙箱烤肉，必須要加蓋子以及開洞，才能將雞腿烤熟，**但是開洞的位置是否會影響成效呢？所以，我們展開【研究五】。**

### 研究五：比較開洞位置的差異是否會影響烤肉成效

(一)實驗探究目的：探討因紙箱開洞的位置不同所達到的烤肉效果，並作比較。

(二)說明：

- 【研究四】中的C紙箱的洞口是開在相對面的位置，在【研究五】中，我們設計了一個E紙箱，洞口開在相鄰面的位置，與C紙箱進行比較。

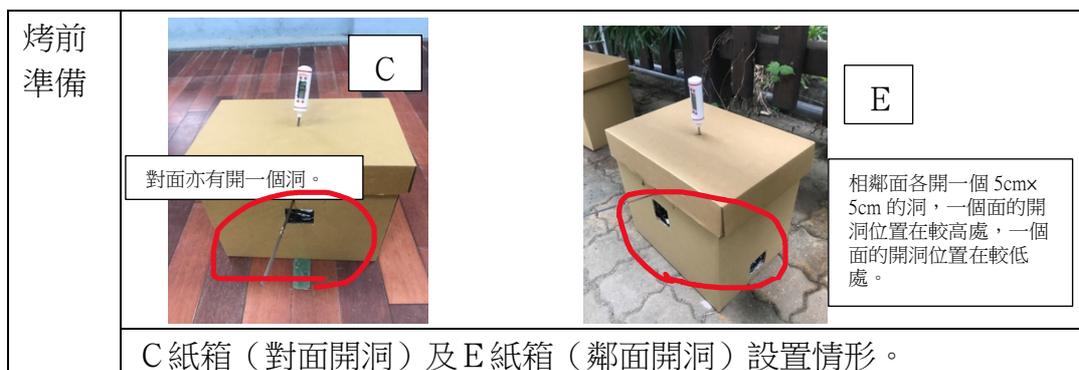
(三)實驗步驟：

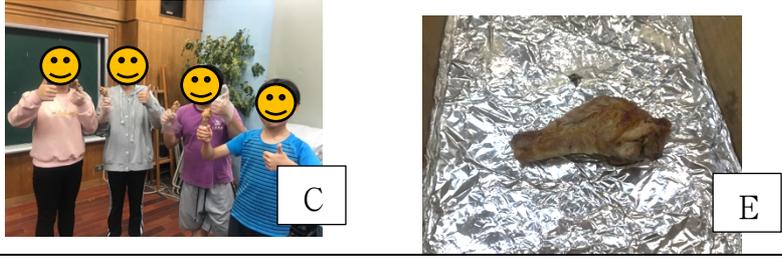
- 再取一個A4影印紙紙箱，設為E紙箱。
- 在E紙箱上，在面為31.5cm×29.5cm上的中央，開一個5cm×5cm的洞，而在相鄰面22.5cm×29.5cm，開一個5cm×5cm的洞，一個面的開洞位置在較高處，一個面的開洞位置在較低處。
- 在E紙箱內側釘滿錫箔紙。
- 將2隻雞腿以鐵叉卡在E紙箱。
- 將點燃的炭精放在紙箱底部的鋁盤上。
- 蓋上蓋子開始悶烤。
- 每隔2分鐘量測一次雞肉及烤箱內部溫度。
- 記錄實驗結果。

(四)記錄實驗結果：

時間:108年12月18日(三)14:00，室溫18.8°C，風速1.3m/s。

1.實驗過程：



烤中 紀錄	
每隔 2 分鐘量測一次雞肉和烤箱的溫度。	
烤後 成品	
同樣只烤 14 分鐘，C 烤箱的雞腿有烤熟，而 E 烤箱雞腿的中間溫度僅達 70.5°C，沒有完全熟。	

2. 實驗結果紀錄：雞腿烤前溫度：18°C

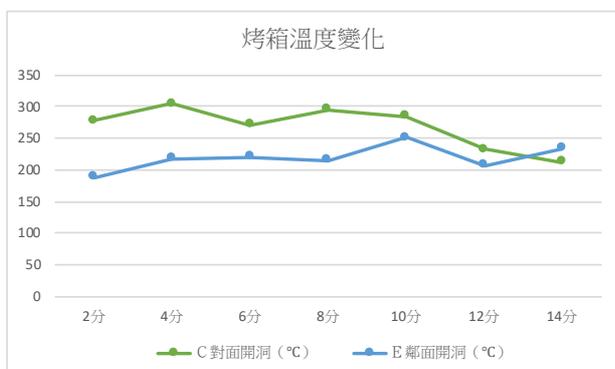
【表 5-1 C.E 紙箱的內部溫度】

	C 對面開洞 (°C)	E 鄰面開洞 (°C)
2分	277.7	188
4分	305	217.3
6分	271.6	220
8分	294.5	215.2
10分	284.4	251
12分	231.7	207.3
14分	212.2	234.3
平均	268.2	219.0

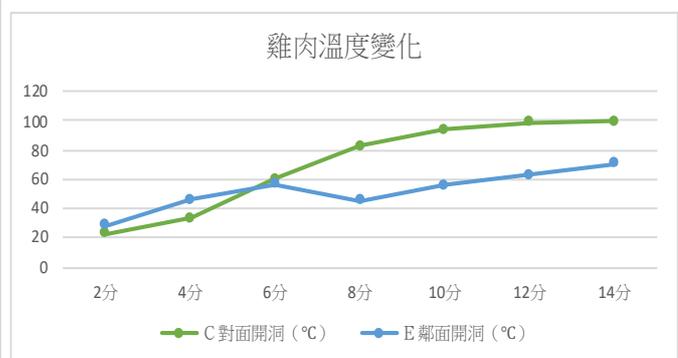
【表 5-2 C.E 紙箱雞腿的溫度變化】

	C 對面開洞 (°C)	E 鄰面開洞 (°C)
2分	22.6	28.3
4分	33.7	46.1
6分	59.9	56.5
8分	82.5	45.6
10分	94	55.6
12分	96.5	62.6
14分	99.6	70.5

【圖 5-1 C.E 紙箱的溫度變化】



【圖 5-2 C.E 紙箱雞腿熟成的溫度變化】



(五)實驗發現與假設：

1. 以 14 分鐘為限，對面開洞的 C 紙箱可以烤熟雞腿，雞腿中心溫度最後達 99.6℃；鄰面開洞的 E 紙箱無法烤熟雞腿，雞腿溫度最後為 70.5℃。
2. 整個實驗過程，C 紙箱的平均溫度為 268.2℃；E 紙箱溫度為 219℃。
3. 過程中，E 紙箱的雞腿溫度有持續增溫，但 14 分鐘後，雞腿未達 98 度以上，若再給予多些時間，應該也可以將雞腿烤熟。
4. 根據我們上學期學的「空氣對流」，知道「熱空氣會上升，冷空氣會下降」，所以這幾個實驗，我們都是把洞開在一個上方，一個下方：因此，*組員們又繼續思考，那上方及下方開洞的個數，是否會影響效率呢？因此，我們繼續展開了【研究六】。*

**研究六：探討上方及下方開洞個數不同的紙箱，形成的烤肉成效**

(一)實驗探究目的：探究在紙箱上方及下方開不同個數的洞，其烤肉成效的差異。

(二)說明：

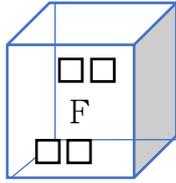
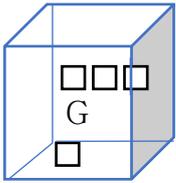
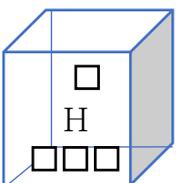
1. 我們設計了三個紙箱來比較，分別為 F 紙箱（上方 2 個洞，下方 2 個洞），G 紙箱（上方 3 個洞，下方 1 個洞）以及 H 紙箱（上方 1 個洞，下方 3 個洞）。
2. 每個紙箱的總開洞面積須維持一樣，4 個 5cm×5cm。

(三)實驗步驟：

1. 收集三個 A4 影印紙紙箱，設為 F、G、H 紙箱。
2. F 紙箱上，在面為 31.5cm×29.5cm 上的中央，開 2 個 5cm×5cm 的洞，開洞位置在較高處，在對側同為 31.5cm×29.5cm 的面上，也開 2 個 5cm×5cm 的洞，開洞位置在較低處。
3. G 紙箱上，在面為 31.5cm×29.5cm 上的中央，開 3 個 5cm×5cm 的洞，開洞位置在較高處，在對側同為 31.5cm×29.5cm 的面上，也開 1 個 5cm×5cm 的洞，開洞位置在較低處。
4. H 紙箱上，在面為 31.5cm×29.5cm 上的中央，開 1 個 5cm×5cm 的洞，開洞位置在較高處，在對側同為 31.5cm×29.5cm 的面上，也開 3 個 5cm×5cm 的洞，開洞位置在較低處。
5. 紙箱設置方式，如錫箔紙設置、炭精放置以及雞腿擺放，同【研究五】。
6. 蓋上蓋子開始悶烤。
7. 每隔 2 分鐘量測一次雞肉及烤箱內部溫度。
8. 記錄實驗結果。

(四) 記錄實驗結果：時間:108 年 12 月 25 日(三)上午 13:30 室溫:24℃，風速 1.1m/s。

1. 實驗過程：

紙箱設計			
			
	F 紙箱(上 2 下 2)： 開洞方式如圖，對面下方開 2 個洞。	G 紙箱(上 3 下 1)： 開洞方式如圖，對面下方開 1 個洞。	H 紙箱(上 1 下 3)： 開洞方式如圖，對面上方開 1 個洞。

燃燒炭精		
	炭精未燃燒之前	炭精已經點燃，溫度達 400℃。

進行觀測			
	以紅外線溫度感測計，透過洞口測量。	溫度探測棒插入雞肉，螢幕露在蓋子上，方便觀測。	組員實際進行觀測。

### 3. 實驗結果紀錄：雞腿烤前溫度：20°C

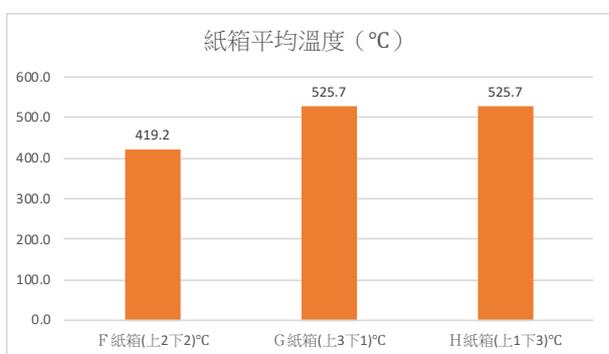
【表 6-1 F.G.H 紙箱的內部溫度】

	F 紙箱(上2下2)°C	G 紙箱(上3下1)°C	H 紙箱(上1下3)°C
2分	245.5	162.6	273.2
4分	372	383.5	535.4
6分	494.4	659.4	535.1
8分	523.9	565.7	589.6
10分	294	609.9	637.1
12分	462.5	610.8	639.6
14分	351.3	534.2	528.8
16分	535.6	679.2	466.7
18分	516.9		
20分	396.3		
平均	419.2	525.7	525.7

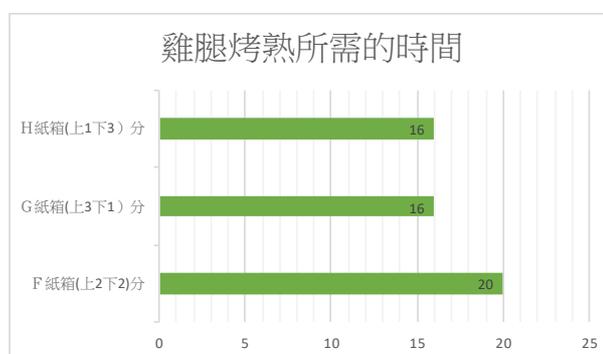
【表 6-2 F.G.H 紙箱雞腿的溫度變化】

	F 紙箱(上2下2)°C	G 紙箱(上3下1)°C	H 紙箱(上1下3)°C
2分	35.9	43.4	51.1
4分	48.2	55.8	65.4
6分	58.7	68.5	75.8
8分	68.6	74.9	74.5
10分	74.9	81.8	79.5
12分	84.5	88.3	89.1
14分	89.8	93.6	94.5
16分	93.3	98.2	98.2
18分	96.1		
20分	99.3		

【圖 6-1 F.G.H 紙箱的溫度變化】

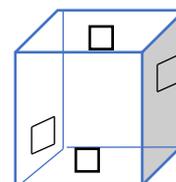


【圖 6-2 F.G.H 紙箱雞腿熟成的溫度變化】



#### (五) 實驗發現與假設：

1. 紙箱平均溫度的比較：G 紙箱=H 紙箱>F 紙箱；開洞方式為上 2 下 2 的溫度較低，開洞方式為上 3 下 1 及上 1 下 3 的溫度較高。
2. 雞腿烤熟所需時間，由短至長：G 紙箱=H 紙箱>F 紙箱，開洞方式為上 3 下 1 及上 1 下 3 的紙箱，16 分鐘後雞腿達到 98°C 以上；開洞方式為上 2 下 2 的紙箱，則需 20 分鐘，雞腿才能烤熟至 98°C 以上。
3. 承上，組員想探討開洞數不一樣，是否真的會影響紙箱內部空氣流動的速率，因此，展開了【研究七】。
4. 另外，組員思考，若是四個面都開一個洞，開洞總面積仍為 4 個 5cm×5cm，結果會是如何？所以我們製作了一個如下的紙箱，但是發現需要 18 分鐘才能讓雞腿中心溫度達 98°C 以上，效果無 G、H 紙箱好，但優於 F 紙箱。



## 研究七：依開洞數量與位置不同的紙箱，比較進風與出風速度

(一) 實驗探究目的：探究在紙箱上開不同數量的洞，是否會造成風速的差異。

(二) 說明：

1. 根據【研究六】中的結果發現，組員認為G和H紙箱，烤熟雞腿的時間沒有相差太多，而兩個紙箱開洞的數量，都是屬於「一面1個洞，一面3個洞（洞數不同）」的型態，而F紙箱的開洞型態為「一面2個洞，另一面也為2個洞（洞數相同）」，烤熟雞腿的時間需要比G和H紙箱多出4分鐘，因此我們設計【研究七】，想測量「洞數的差異是否會影響風速」。

(三)實驗步驟：

1. 準備一台電風扇，開啟固定的風速強度。
2. 將電風扇依序吹向F、G、H紙箱，測量一邊進風的速度，再測另一邊的出風速度，並記錄下來。
3. 每個紙箱測試10次，將風速記錄下來，並作分析。

(四)記錄實驗結果：時間:109年1月8日(三)上午10:30 室溫:13°C

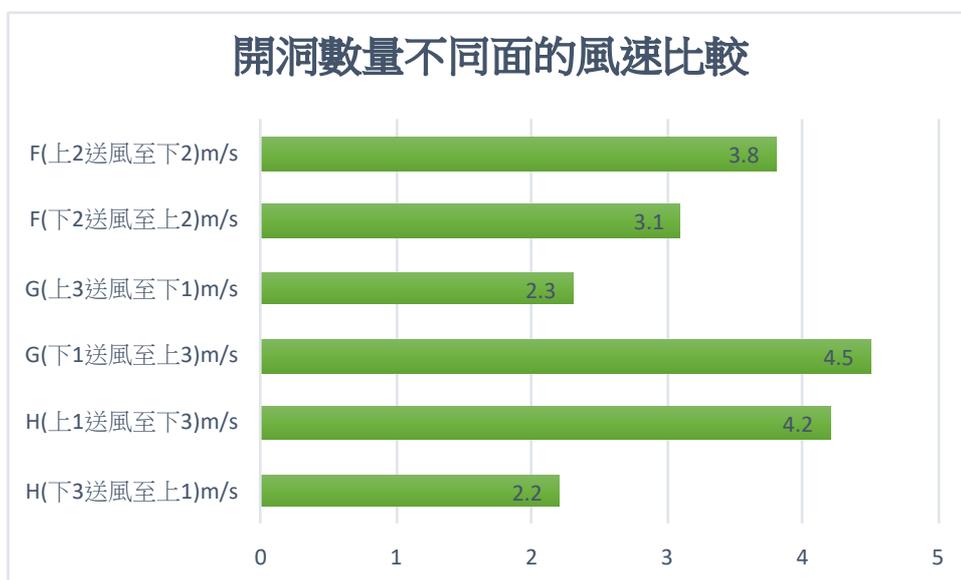
1. 電風扇形式如圖：(電風扇原始風速 3.3m/s)

		
電風扇形式	電風速固定出風速為 3.3m/s	實驗時，從出風洞口測得風速。
		
電風扇由一側送風	風速計在另一側測量風速	

- 由三個紙箱各 2 面，共 6 個面向擺放電風扇，提供風進入紙箱，再測對面出風的風速，並記錄如下表：

F紙箱			G紙箱		H紙箱	
	(上2送風至下2)m/s	(下2送風至上2)m/s	(上3送風至下1)m/s	(下1送風至上3)m/s	(上1送風至下3)m/s	(下3送風至上1)m/s
第1次	3.6	3.1	1.6	4.6	4.1	1.7
第2次	4.0	3.0	1.8	4.5	4.1	2.3
第3次	3.8	3.0	1.5	4.5	4.0	2.2
第4次	3.7	3.0	2.6	4.6	4.1	2.4
第5次	4.1	3.0	2.8	4.4	4.1	2.3
第6次	3.8	3.0	3.0	4.5	4.0	2.2
第7次	4.0	3.5	2.2	4.4	4.2	2.0
第8次	4.0	3.3	2.5	4.4	4.1	2.2
第9次	3.8	3.2	2.3	4.5	4.3	2.3
第10次	3.6	3.3	2.3	4.3	4.7	2.0
平均	3.8	3.1	2.3	4.5	4.2	2.2

- 計算平均值繪製長條圖比較如下：



#### (五)實驗發現與假設：

- 以G紙箱，由下方 1 個洞送風，原始風速為 3.3m/s，風從上方 3 個洞出來時，測得的風速最快，平均風速為 4.5m/s；其次為H紙箱，由上方 1 個洞送風，原始風速為 3.3m/s，風從下方 3 個洞出來時，測得的風速最快，平均風速為 4.2m/s；以上兩類的共同點均為 1 個洞送風，3 個洞出風。
- 承上，1 個洞送風，3 個洞出風的配置可以讓原始風速增加，組員思考：是否因為如此，讓【研究六】中，G和H紙箱可以較快烤熟雞腿。
- 為何不同洞數會造成風速的差距？亦是一個有趣的議題，日後，也可以針對此主題再做研究。

#### 研究八：探究開洞在箱蓋上的烤肉成效

(一)實驗探究目的：探討將一面的洞開在箱蓋上，所形成的烤肉效果。

(二)說明：

- 【研究二】至【研究七】的洞口都是開在相對面，且都為箱子的垂直面，組

員試想，如果是將其中一面的洞改成開在箱蓋上（水平面），是否更有效率的使熱空氣上升，讓空氣對流更佳，烤肉效果提升。

2. 因【研究六】中發現，兩面洞口數不同，一面 3 個洞，一面 1 個洞，烤肉成效較佳，故在【研究八】中，我們延續這個發現，在箱蓋的面（水平面）和垂直面開 1 個洞及 3 個洞。

(三)實驗步驟：

1. 收集兩個 A4 影印紙紙箱，設為 I、J 紙箱。
2. I 紙箱上，在面為 31.5cm×29.5cm 上的中央，開 1 個 5cm×5cm 的洞，開洞位置在較低處，在箱蓋面為 31.5cm×22.5cm 的中央，開 3 個 5cm×5cm 的洞。
3. J 紙箱上，在面為 31.5cm×29.5cm 上的中央，開 3 個 5cm×5cm 的洞，開洞位置在較低處，在箱蓋面為 31.5cm×22.5cm 的中央，開 1 個 5cm×5cm 的洞。
4. 紙箱設置方式，如錫箔紙設置、炭精放置以及雞腿擺放，同【研究六】。
5. 蓋上蓋子開始悶烤。
6. 每隔 2 分鐘量測一次雞肉及烤箱內部溫度。
7. 記錄實驗結果。

(四) 記錄結果：時間:108 年 1 月 8 日(三)下午 14:00 室溫:22°C 風速 1m/s 。

1. 紙箱設計如下：

	
<p>I 紙箱: 低處開 1 個 5cm×5cm 的洞 箱蓋開 3 個 5cm×5cm 的洞</p>	<p>J 紙箱: 低處開 3 個 5cm×5cm 的洞 箱蓋開 1 個 5cm×5cm 的洞</p>

2. 烤前架設雞腿並量測雞腿溫度：

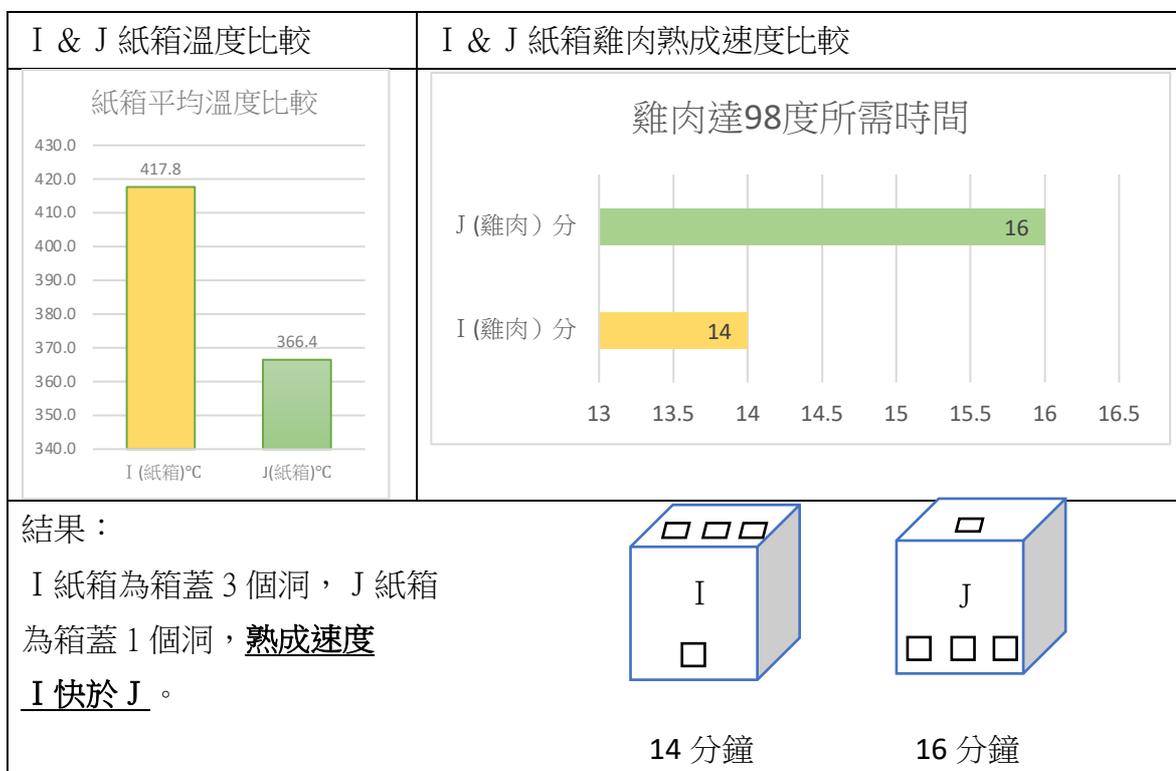
	
<p>量測烤前的雞腿溫度</p>	<p>蓋上箱蓋開始實驗</p>

3. 紙箱內部溫度與雞腿溫度記錄如下：

I 紙箱 (箱蓋 3 個洞)			J 紙箱 (箱蓋 1 個洞)		
	I (紙箱)°C	I (雞肉)°C		J(紙箱2)°C	J (雞肉)°C
2分	284.1	44.2	2分	247.8	45.4
4分	435.3	65.7	4分	406.1	60.9
6分	447	66.5	6分	479.8	61.5
8分	469.5	78.6	8分	301.1	71.8
10分	420.1	82.9	10分	369.8	85
12分	442.4	90.1	12分	338.6	91.1
14分	426.2	99.6	14分	454.6	95.9
16分			16分	333.1	99.9
平均	417.8		平均	366.4	

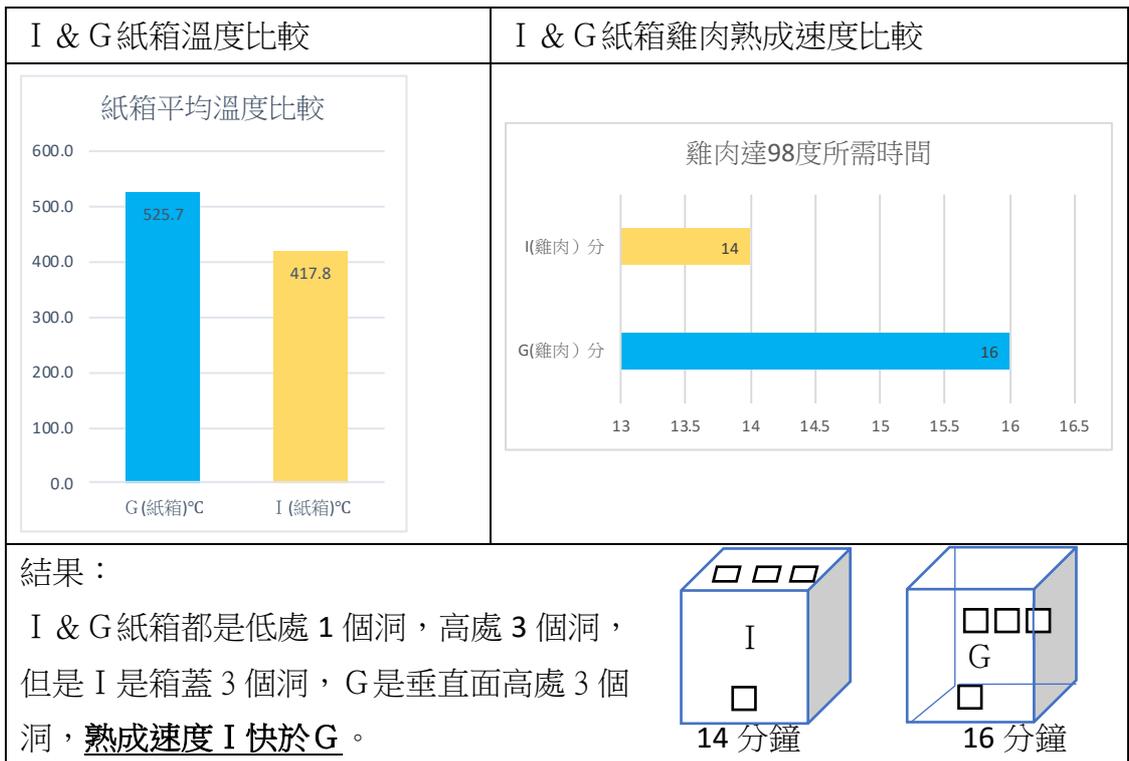
以下紙箱顏色表示為：I ■ J ■ G ■ H ■

4. I 和 J 紙箱「平均溫度比較」、「雞肉熟成速度比較」：

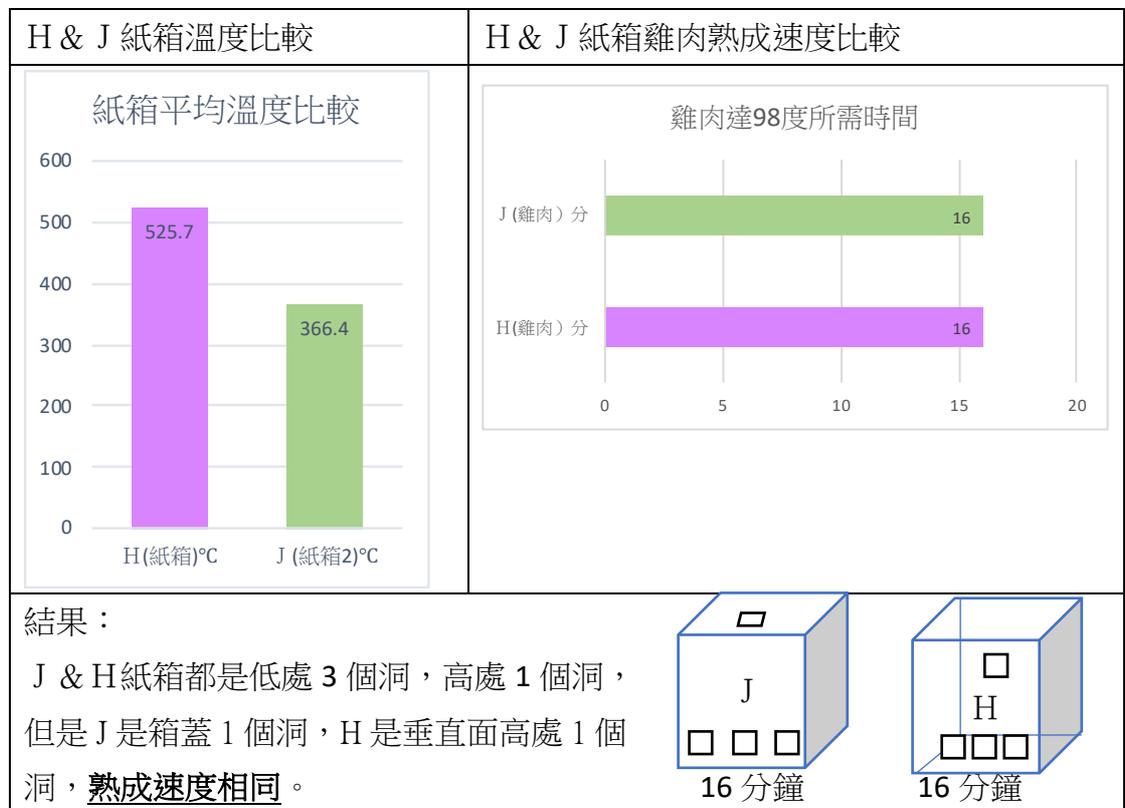


5. I 和 G 紙箱「平均溫度比較」、「雞肉熟成速度比較」：

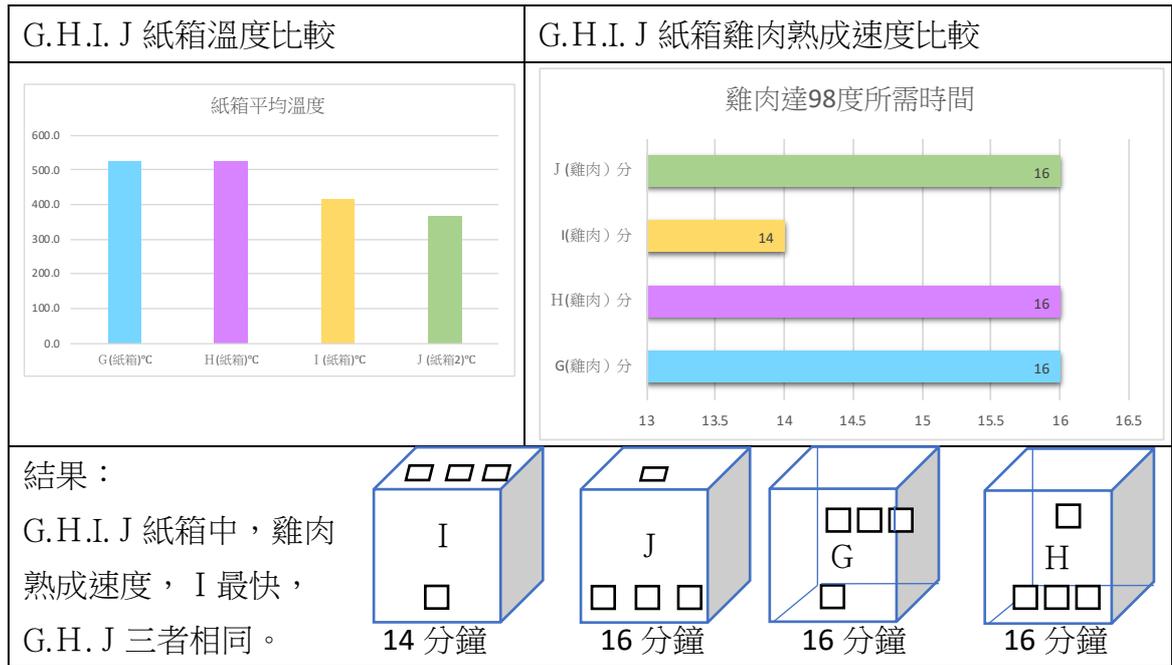
I 和 G 紙箱都為下方 1 個洞，上方 3 個洞，低處較少洞，高處較多洞，故做以下比較。( G 紙箱與【研究六】中的同)



6. H 和 J 紙箱「平均溫度比較」、「雞肉熟成速度比較」：
- H 和 J 紙箱都為下方 3 個洞，上方 1 個洞，低處較多洞，高處較少洞，故做以下比較。(H 紙箱與研究六中的同)



7. G.H.I. J 紙箱「溫度比較」、「雞肉熟成速度比較」：



(五) 實驗發現與假設：

1. 紙箱平均溫度的比較：I 紙箱> J 紙箱；開洞方式為箱蓋 3 下 1 的溫度較高。
2. 雞腿烤熟所需時間，I 紙箱比 J 紙箱快。
3. 加入【研究六】的 G、H 紙箱，G.H.I. J 一起比較，I 紙箱雖然不是溫度最高，但是僅 14 分鐘即可烤熟雞肉，速度最快。
4. 高處開 3 洞且是開在箱蓋上，低處開 1 個洞，烤熟雞腿的速度最快。

**研究九：探究在蓋子上加上煙囪，所呈現的烤肉成效**

(一) 實驗探究目的：根據「煙囪效應」理論，探討箱蓋上搭建煙囪，是否會提升雞肉烤熟效率。

(二) 說明：

1. 因【研究八】中，I 紙箱的效果最好，故在此研究中，我們以 I 紙箱為基礎，往上搭築煙囪。
2. K 紙箱上因為要築煙囪，為方便架設，故將 I 紙箱的箱蓋 3 個洞（每個 5cm×5cm）改良為 1 個洞（15cm×5cm），維持開洞面積一樣。

(三) 實驗步驟：

1. 取一個 A4 影印紙紙箱，設為 K 紙箱。
2. I 紙箱上，在面為 31.5cm×29.5cm 上的中央，開 1 個 5cm×5cm 的洞，開洞位置在較低處，在箱蓋面為 31.5cm×22.5cm 的中央，開 1 個 15cm×5cm 的洞。
3. 在箱蓋面為 31.5cm×22.5cm 的中央，15cm×5cm 的洞上方，築上高 10cm 的方形煙囪。
4. 紙箱設置方式，如錫箔紙設置、炭精放置以及雞腿擺放，同【研究六】。
5. 蓋上蓋子開始悶烤，每隔 2 分鐘量測一次雞肉及烤箱內部溫度。

6. 記錄實驗結果。

7. 將實驗紀錄與【研究八】的 I 紙箱進行比較。

(四) 記錄實驗結果：時間:108 年 3 月 11 日(三)下午 14:00 室溫:21°C 風速 1.1m/s 。

1. K 紙箱設計如下：

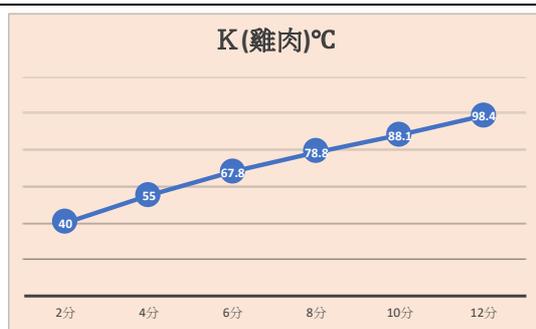
	
<p>低處開 1 個 5cm×5cm 的洞 箱蓋開 1 個 15cm×5cm 的洞，洞上方， 築上高 10cm 的方形煙囪。</p>	<p>K 紙箱的上方俯看圖。</p>

2. K&I 紙箱的設計比較：

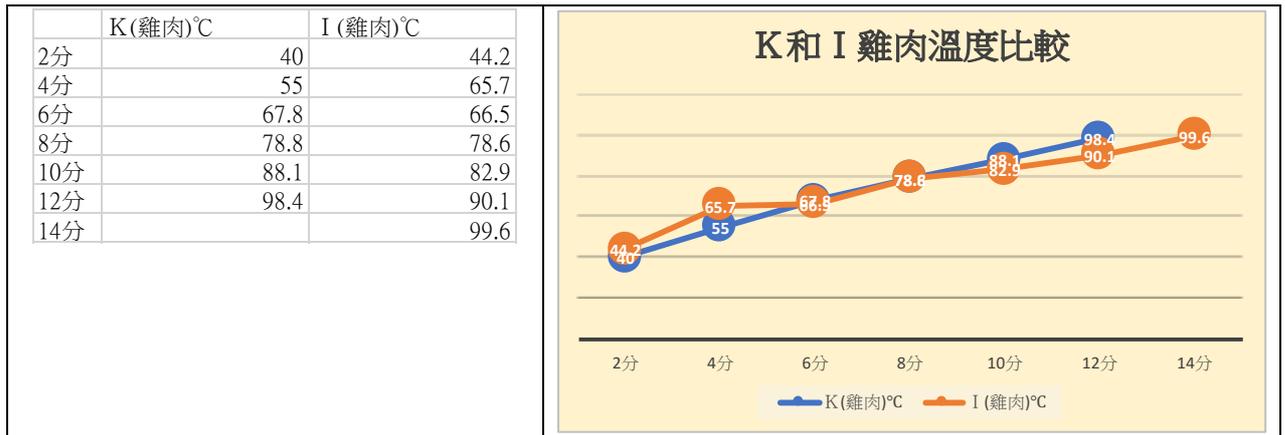
	
<p>I 紙箱：箱蓋上開 3 個 5cm×5cm 的洞</p>	<p>K 紙箱： 箱蓋上開 1 個 15cm×5cm(=3 個 5cm× 5cm 的面積)的洞，再築上 10cm 高度 的煙囪。</p>

3. K 紙箱的內部溫度與雞腿溫度紀錄：

	K(雞肉)°C
2分	40
4分	55
6分	67.8
8分	78.8
10分	88.1
12分	98.4



#### 4. K紙箱和I紙箱的成效比較：



#### (五)實驗發現與假設：

1. 加上煙囪的紙箱，可以使雞腿烤熟的速度，時間縮短到 12 分鐘。
2. 組員思考：那煙囪若再架高，是否可以再提升效率，故進行【研究十】。

#### 研究十：比較不同高度煙囪的烤箱，所呈現的烤肉成效

(一)實驗探究目的：探究煙囪的高度是否會影響雞肉烤熟的成效。

(二)說明：延續【研究九】，再設計一個和K紙箱完全相同條件的紙箱，僅煙囪高度由 10cm 增高至 20cm，進行比較。

(三)實驗步驟：

1. 收集一個A4影印紙紙箱，設為L紙箱。
2. L紙箱上，在面為31.5cm×29.5cm上的中央，開1個5cm×5cm的洞，開洞位置在較低處，在箱蓋面為31.5cm×22.5cm的中央，開1個15cm×5cm的洞。
3. 在箱蓋面為31.5cm×22.5cm的中央，15cm×5cm的洞上方，築上高20cm的方形煙囪。
4. 紙箱設置方式，如錫箔紙設置、炭精放置以及雞腿擺放，同【研究六】。
5. 蓋上蓋子開始悶烤。
6. 每隔2分鐘量測一次雞肉及烤箱內部溫度。
7. 記錄實驗結果。
8. 將實驗記錄與【研究九】的K紙箱進行比較。

(四) 記錄實驗結果：時間:108 年 3 月 11 日(三)下午 14:00，室溫: 21°C，風速 1.0m/s。

1. L 紙箱設計如下：

	
<p>低處開 1 個 5cm×5cm 的洞 箱蓋開 1 個 15cm×5cm 的洞，洞上方，築上高 20cm 的方形煙囪。</p>	<p>L 紙箱的上方俯看圖。</p>

2. L&K 紙箱的設計比較：

	
<p>L 紙箱： 低處開 1 個 5cm×5cm 的洞 箱蓋開 1 個 15cm×5cm 的洞，洞上方，築上高 20cm 的方形煙囪。</p>	<p>K 紙箱： 箱蓋上開 1 個 15cm×5cm(=3 個 5cm×5cm 的面積)的洞，再築上 10cm 高度的煙囪。</p>

3. L 紙箱的內部溫度與雞腿溫度紀錄：

	L 紙箱(雞肉)°C
2分	43
4分	79
6分	91.8
8分	96.8
10分	98.2
12分	



L 紙箱(雞肉)°C

Time (分)	Temperature (°C)
2	43
4	79
6	91.8
8	96.8
10	98.2

#### 4. L 紙箱和 K 紙箱的成效比較：

	L 紙箱(雞肉)°C	K 紙箱(雞肉)°C
2分	43	40
4分	79	55
6分	91.8	67.8
8分	96.8	78.8
10分	98.2	88.1
12分		98.4



#### (五)實驗發現：

1. 將煙囪的高度增高至 20cm，雞腿烤熟的速度再提升，時間縮短到 10 分鐘。

## 伍、研究結果與討論

### 研究一：收集網路資訊，了解紙箱烤肉的原理

一、「紙箱烤肉」主要是運用熱輻射和熱對流原理，錫箔紙可以將熱不斷反射，增加效率。而紙箱上開洞，則是讓空氣對流，被加熱的熱空氣密度小，會往上飄，從上方洞口散出，冷空氣則從下方洞口進入，不斷補充助燃的氧氣，「就像不斷用扇子搨風一樣」，利用這種方法，烤肉時，不需一直顧著爐火，還能節省木炭的用量。

### 研究二：測試網路版紙箱烤肉是否能成功烤雞翅

一、實驗結果：操作網路版的「紙箱烤肉」烤雞翅有成功，雞翅 10 分鐘內可以烤熟。

二、組員討論：

- (一) 雞翅選用為小雞翅，體積小，好快就熟了，因先設定 5 分鐘記錄一次，結果只記了兩次，共 10 分鐘，五隻雞翅就烤熟了；故記錄時間設定要再縮短，讓數據記載更細緻。
- (二) 小雞翅很快就熟了，為拉長實驗時間，以方便做出比較，故以下研究改用體積較雞翅大的雞腿來實驗。(雞腿重量設定為 120~130 公克)
- (三) 為讓實驗更準確，我們買了尺寸相同的紙箱，每次實驗的紙箱要統一規格，紙箱尺寸：31.5×22.5×29.5(cm)，材質 3 層瓦楞紙；每個炭精大小固定為：長度 8cm，直徑 4cm。

### 研究三：比較有洞紙箱及無洞紙箱的烤肉成效

一、操縱變因：紙箱是否有開洞。

二、實驗結果：

- (一) 有開洞的 A 紙箱可以烤熟雞腿，沒有開洞的 B 紙箱無法烤熟雞腿。
- (二) 20 分鐘後，有開洞的 A 紙箱雞腿中心溫度達 98.2°C；沒有開洞的 B 紙箱雞腿溫度最後為 29.5°C。
- (三) 20 分鐘後，有開洞的 A 紙箱溫度為 206.8°C；沒有開洞的 B 紙箱溫度僅為 28.5°C。

### 三、組員討論：

- (一) 紙箱需要開洞，炭精才可以持續高溫燃燒，幫助雞腿熟化，以紙箱烤肉，沒有開洞無法烤熟雞腿。
- (二) 沒有開洞，無法提供新鮮空氣給紙箱內的炭精，進而達到燃燒效果，因為少了助燃物，紙箱內部的溫度已無法提高。

### 研究四：比較有蓋紙箱及無蓋紙箱的烤肉成效

#### 一、操縱變因：紙箱是否有加上蓋子。

#### 二、實驗結果：

- (一) 利用紙箱烤肉，紙箱必須加上蓋子，才能成功的烤熟雞腿。
- (二) 14 分鐘後，有加蓋的 C 紙箱可以烤熟雞腿，雞腿中心溫度最後達 99.6°C；沒有蓋子的 D 紙箱無法烤熟雞腿，雞腿溫度最後為 42.6°C。
- (三) 14 分鐘後，有加蓋的 C 紙箱溫度為 212.2°C；沒有加蓋的 D 紙箱溫度為 212.6°C，溫差僅 0.4°C。

### 三、組員討論：

- (一) 有開洞但是沒有加蓋的紙箱，雞腿無法烤熟，但是紙箱溫度是增高的，組員推論：應該有更多的新鮮空氣提供給炭精，幫助炭精燃燒，而 D 紙箱的溫度也都保持 200°C 上下，提供了高溫給紙箱，但是卻無法將雞腿烤熟，因此我們也推想，應該是沒有加蓋的紙箱，熱較無法聚集，無法利用輻射及循環傳導熱到雞腿上，幫助雞腿烤熟。

### 研究五：比較開洞位置的差異是否會影響烤肉成效

#### 一、操縱變因：開洞位置是否在相對面。

#### 二、實驗結果：

- (一) 以 14 分鐘為限，對面開洞的 C 紙箱可以烤熟雞腿，雞腿中心溫度最後達 99.6°C；沒有對面開洞，而是鄰面開洞的 E 紙箱無法烤熟雞腿，雞腿溫度最後為 70.5°C。
- (二) 14 分鐘後，有開洞的 C 紙箱溫度為 212.2°C；沒有開洞的 D 紙箱溫度為 212.6°C，溫差僅 0.4°C。
- (三) 整個實驗過程，C 紙箱的平均溫度為 268.2°C；E 紙箱溫度為 219°C。

### 三、組員討論：

- (一) 過程中，E 紙箱的雞腿溫度有持續增溫，若再給予多些時間，應該也可以將雞腿烤熟，組員推論：應是對面開洞的熱對流效果較鄰面開洞好，所以烤熟雞腿的效率比較快。
- (二) 從【研究四】和【研究五】中，沒有加上蓋子的紙箱，雞腿熟成的速度相當緩慢，烤不太熟，而有加蓋但鄰面開洞雖然在 14 分鐘後雞腿還不到 100°C，但是也有 70.5°C，再拉長時間應該可以烤熟。有加蓋但鄰面開洞可以烤熟雞腿的，但效率較慢。因此，以烤雞腿的效率比較：C 紙箱（有加蓋且對面開洞）> E 紙箱（有加蓋且鄰面開洞）> D 紙箱（沒加蓋且對面開洞）。
- (三) 綜合【研究三】、【研究四】以及【研究五】，組員發現：利用紙箱烤肉，需配合以下要點，才能將雞腿烤熟：(1) 要加上蓋子。(2) 必須在箱子上開洞。(3) 開洞的位置必須在相對的面。

## 研究六：探討上方及下方開洞個數不同的紙箱，形成的烤肉成效

一、操縱變因：紙箱的開洞數量與位置。

二、實驗結果：

- (一) 紙箱平均溫度的比較：G 紙箱=H 紙箱>F 紙箱；開洞方式為上方開 2 個洞，下方開 2 個洞的溫度較低，開洞方式為上方開 3 個洞，下方開 1 個洞及上方開 1 個洞，下方開 3 個洞的溫度較高。
- (二) 雞腿烤熟所需時間，由短至長：G 紙箱=H 紙箱>F 紙箱，開洞方式為上 3 下 1 及上 1 下 3 的紙箱，16 分鐘後雞腿達到 98°C 以上；開洞方式為上 2 下 2 的紙箱，則需 20 分鐘，雞腿才能烤熟至 98°C 以上

三、組員討論：

- (一) 開洞方式為上 2 下 2 的紙箱，兩個面的洞數一樣的，溫度較低，烤熟雞腿的時間也較長，開洞方式為上 3 下 1 或是上 1 下 3 的紙箱，兩個面的洞數不同，溫度較高，也可以較快烤熟雞腿。組員思考及討論：洞數不一樣是否也是影響烤肉效率的因素？是不是因為，洞數不同，造成空氣壓力不同，風速就會不同，風速快，流動快，熱的對流及傳導速度也會提升呢？
- (二) 組員們想了解開洞數不同，是否風的流動速度會有變化，因此設計了【研究七】的實驗。

## 研究七：依開洞數量與位置不同的紙箱，比較進風與出風速度

一、操縱變因：紙箱的開洞數量與位置。

二、實驗結果：

- (一) 以 G 紙箱，由下方 1 個洞送風，原始風速為 3.3m/s，風從上方 3 個洞出來時，測得的風速最快，平均風速為 4.5m/s；其次為 H 紙箱，由上方 1 個洞送風，原始風速為 3.3m/s，風從下方 3 個洞出來時，測得的風速最快，平均風速為 4.2m/s；以上兩類的共同點均為 1 個洞送風，3 個洞出風。

三、組員討論：

- (一) 1 個洞送風，3 個洞出風的配置可以讓原始風速增加，組員思考：是否因為如此，讓【研究六】中，G 和 H 紙箱可以較快烤熟雞腿。
- (二) 為何不同洞數會造成風速的差距？亦是一個有趣的議題，日後，也可以針對此主題再做研究。

## 研究八：探究開洞在箱蓋上的烤肉成效

一、操縱變因：紙箱的箱蓋上是否有開洞。

二、實驗結果：

- (一) 紙箱平均溫度的比較：I 紙箱>J 紙箱；開洞方式為箱蓋開 3 個洞，下方開 1 個洞的溫度高於箱蓋開 1 個洞，下方開 3 個洞的。
- (二) 雞腿烤熟所需時間，I 紙箱比 J 紙箱短。
- (三) 加入【研究六】的 G、H 紙箱，G.H.I. J 一起比較，I 紙箱雖然不是溫度最高，但是僅 14 分鐘即可烤熟雞肉，速度最快。
- (四) 高處開 3 洞且是開在箱蓋上，低處開 1 個洞，烤熟雞腿的速度最快。

### 三、組員討論：

- (一) 在箱蓋上開洞，因為是箱底的正上方，空氣受熱後，形成熱空氣直接上升排泄，流動方向順暢，更加速了對流，幫助雞腿加熱。
- (二) 組員們思考：那如果在箱蓋上方蓋上煙囪，利用煙囪效應，是否可以能讓對流更旺盛，雞腿加熱速度更快，因此，組員往下設計了【研究九】。

### 研究九：探究在蓋子上加上煙囪，所呈現的烤肉成效

一、操縱變因：紙箱的箱蓋上是否有築上煙囪。

二、實驗結果：

- (一) 加上煙囪的紙箱，可以使雞腿烤熟的速度增快，時間再縮短到 12 分鐘。

三、組員討論：

- (一) 煙囪效應，是指戶內的空氣隨著垂直坡度上升或下降，造成空氣加強對流的現象，故推論：在箱蓋上增加煙囪，幫助熱空氣上升排泄，讓整個紙箱對流更旺盛，雞腿烤熟速度加快。
- (二) 我們進一步思考：那煙囪若再往上架高，是否可以再提升烤肉的效率，故進行【研究十】。

### 研究十：比較不同高度煙囪的烤箱，所呈現的烤肉成效

一、操縱變因：紙箱箱蓋上煙囪的高度。

二、實驗結果：

- (一) 將煙囪的高度增高至 20cm 後，雞腿烤熟的速度可以再提升，時間再縮短到 10 分鐘。

三、組員討論：

- (一) 煙囪加高讓對流更加旺盛，烤肉的時間縮短，效率提升。
- (二) 至於，高度往上增建後，是否到某個高度比，就無法再增加效率，這與「煙囪效應」有絕大相關，有些研究亦有針對這部份實驗，日後，研究者也可以再進階探討「紙箱烤肉」和「煙囪高度」的相關性。
- (三) 煙囪的形狀是否也是影響烤肉效率的關鍵之一，這部分亦可作為後續的相關研究。

## 陸、結論

一、「紙箱烤肉」是個方便又環保的烤肉方法，並有以下優點：

- (一) 炭精的熱聚集在紙箱內部，不容易被環境溫度吸收熱能，故僅需少量炭精就可以保持高溫很久，節省炭精的耗量。
- (二) 食材卡在紙箱上悶烤，不需要另外架設烤肉架，省去清洗的麻煩，非常方便。
- (三) 利用熱傳導及對流，模擬紙箱成一個烤箱，但不需要插電，可以省去傳統烤肉中「看顧炭火」與「手須搨風」的缺點。

二、經過我們的研究，發現要讓「紙箱烤肉」成功的關鍵如下：

- (一) 紙箱內部必須貼上錫箔紙，讓溫度不斷反射，增加效率。
- (二) 紙箱必須開洞，讓紙箱內部有新鮮空氣挹注，讓燃燒不停止，保持烤箱高溫。

(三) 紙箱必須加上蓋子，炭火提供的熱才不易被外在環境的低溫影響，造成溫度流失，如此才能蓄積在烤物上

三、若要再提升烤肉的效率，則可利用的方法如下：

(一) 開洞的位置必須為相對面，而非鄰近面，讓對流的順暢性更佳。

(二) 兩面開洞的個數可以不一樣，讓風速加快，增加對流的速度，達到類似真實烤箱的「炫風功能」。

(三) 也可以選擇開洞的一面落在箱蓋上，讓熱空氣排出的動向為垂直路徑，加快流動的速度。

(四) 在箱蓋開洞，並在洞口上方築上煙囪，利用「煙囪效應」，讓熱空氣可以沿著煙囪垂直面爬升泄出，讓對流的效能更佳，幫助烤物更快熟。

(五) 以紙箱尺寸：31.5×22.5×29.5(cm)而言，在箱蓋上築上高 20cm 的煙囪，可以將烤雞腿的時間縮短至 10 分鐘內。

四、未來方向：

(一) 在【研究七】中，我們發現兩個面的洞數不一樣，會讓風速改變，至於風速為何會改變，亦是一個有趣的議題，可以再做研究。

(二) 將「煙囪效應」運用至「紙箱烤肉」，經我們研究是可以成功幫助雞腿熟的速度加快，但是是否有高度的限制，或是煙囪高度與紙箱尺寸是否有最佳比率？煙囪的形狀是否也是影響的要素？這也是日後可以再探討的。

## 柒、參考資料

一、蘇建中（民 108）。南一版六上自然與生活科技第二單元「熱和我們的生活」。台南市。南一書局。

二、張智翔、鄭竹吟、陳信宏、林政儀（2007）。快意陽光下-節能又環保的太陽能烤肉。中華民國第四十七屆中小學科學展覽優勝作品專輯。國立台灣科學教育館。

三、國立台灣教育科學館 <https://www.ntsec.gov.tw/>

四、神奇紙箱烤肉法 4 顆炭就能烤熟一隻雞 <https://udn.com/news/story/7266/4046202>

五、煙囪效應 <https://zh.wikipedia.org/wiki/>