中華民國第54屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　生活與應用科學科

最佳團隊合作獎

030802

燃燒吧！花生米

～火箭罐卡計在熱量測量上的應用

學校名稱：臺東縣立新生國民中學

作者：	指導老師：
國一 楊捷昀 國一 周欣潔 國一 王思博	楊茂雄 郭乃萍

關鍵詞：食物熱量、卡計、火箭罐

摘要

食物的養分單元有一個示範實驗，測量洋芋片所含的能量。利用課本的方法做完實驗，不論花生米或洋芋片，大部分的熱量都會散失。

我們在荒野活動時學到了火箭爐，想說可以利用火箭爐，來製作熱量測量的卡計。火箭罐卡計將原本散失的熱量，用內外罐間的水吸收，因此熱量準確率大幅提升。純氧可以幫助燃燒更完全，花生米及洋芋片的熱量準確率都超過 9 成，以此來測量食物中的熱量，非常可行。

由於我們使用的火箭罐卡計，在食物熱量測量上獲得非常好的效果，因此我們修正了部分構造，完成了簡易火箭罐卡計的設計圖，並依據這個設計圖製作了一個模型。如果有廠商願意幫忙生產這個實驗裝置，全國的國中生，就有一個非常簡易且準確的熱量測量的實驗器材了。

燃燒吧！花生米~火箭罐卡計在熱量測量上的應用

壹、　研究動機

生物課教到養分的單元時，有一個實驗活動是測量食物中的熱量，拿花生米或洋芋片當作材料，讓它燃燒後加熱錐形瓶裡的水，藉由水溫上升，帶入熱量公式 $H=Mx\Delta T$，計算花生米或洋芋片所含的熱量是幾卡。

在問題討論時，老師要我們比較各組的結果差異，並探討產生差異的原因，另外就是希望能夠改良這個方法或器材，以求得更準確的數據。明明是測量食物中所含的熱量，為什麼討論重點，卻是放在如何改進實驗的器材或方法？我們很想知道，到底實驗計算出來的結果準不準？跟實際的花生米或洋芋片所含的熱量，誤差有多少？

經過詢問老師，他建議我們思考一下，如何知道花生米或洋芋片所含的熱量？得到這個數據之後，才能比較實驗的準確度如何？另外，要大家討論各組差異及研究改進方法，表示這個實驗的穩定度可能有問題，精確度一定有待加強，我們能不能找到更好的方式來測量食物中的熱量呢？

於是我們展開了燃燒之旅！

貳、　研究目的

根據老師給我們的方向，我們決定開始做食物熱量測定的實驗探討，這個研究的主要目的如下：

一、　找出計算方式，確認花生米或洋芋片所含的熱量到底是多少卡。

二、　以直接加熱法測量花生米或洋芋片的熱量，並計算準確的程度。

三、　以遮罩法測量花生米或洋芋片的熱量，並計算準確的程度。

四、　設計火箭罐卡計，用來測量花生米或洋芋片的熱量，並計算準確的程度。

五、　分析直接加熱法、遮罩法及火箭罐卡計法，比較三種不同的燃燒方式，在測量花生米或洋芋片的熱量時，測量的準確度有沒有不同。

六、　對火箭罐卡計供應純氧，看看對熱量測量的準確度有沒有提升。

七、　以火箭罐卡計測定其他食物熱量的可行性及準確度評估。

參、　研究設備與器材

器材部分

電子天平、錐形瓶(250mL)、量筒(250mL)、滴管、鑷子、鐵架、鐵環、數位式溫度計、樣品支撐架(鐵絲、烤肉網)、點火槍、牛奶罐遮罩、火箭罐卡計(大中小鐵罐、塑鋼土)、開罐器、鐵剪、油性筆、氧氣發生裝置(有側支的錐形瓶、蔥頭漏斗、有側支的試管、玻璃管、橡皮管)、剪刀

藥品部分

花生米、洋芋片、乾糧(餅乾)、沙拉油、豆干、休閒丸子(乾麵)、肉乾
雙氧水、二氧化錳、液態瓦斯(丁烷)

肆、　研究過程、結果與討論

研究一：估算花生米及洋芋片所含的熱量

利用網路搜尋花生米及洋芋片熱量的資料，發現它們都是高熱量的食物，平均每 50 公克約 280 大卡左右，為了做實驗方便起見，通常會用一顆花生米或一片洋芋片作為單位，因此我們想要估算一顆花生米及一片洋芋片所含的熱量到底有多少。

假設廠商提供的熱量數據是精準的，我們從市面上買來花生米及洋芋片，計算其數量，再根據包裝上提供的熱量數據，如圖 1.1，估算出一顆花生米或一片洋芋片的熱量，作為後續實驗的比較基準。

圖 1.1：花生米及洋芋片的熱量標示

結果：

表 1.1：花生米及洋芋片的熱量估算(以顆或片為單位)

品　　名	總　熱　量	數　　量	熱　　量	備　　註
花生米	2128.00Kcal	555 顆	3834cal/顆	
洋芋片	714.22Kcal	73 片	9784cal/片	
	714.22Kcal	74 片	9652cal/片	
		平均	**9718cal/**片	

表 1.2：花生米及洋芋片的熱量估算(以克為單位)

品　　名	熱　　量	數　　量	熱　　量	備　　註
花生米	532Kcal	100g	5320cal/g	
洋芋片	533Kcal	100g	5330cal/g	

討論：

1. 一開始我們想要用生物估計的方式，推估一包花生米或一罐洋芋片的數量。花生米部分，每人各隨意取 10 顆，利用電子天平秤質量，算出 10 顆花生米的平均質量為 8.376 克，再利用包裝上的總質量 400 克，推估花生米的總數約為 478 顆。洋芋片也是每人任取 10 片，利用電子天平秤質量，算出 10 片洋芋片的平均質量，我們計算兩罐，10 片洋芋片的平均質量分別為 18.612 克與 18.667 克，包裝上的洋芋片質量標示為淨重 134 克，藉此推估洋芋片的片數為 71 與 72 片。
2. 為求慎重起見，我們還是決定用直接計數法，確認花生米及洋芋片的數量，經過分工計算的結果，花生米的總顆數為 555 顆，兩罐洋芋片則分別為 74 及 73 片。
3. 我們發現花生米的誤差比洋芋片大很多，仔細看一下，可以發現其來有自。花生米的顆粒大小不一致，而洋芋片應該是經由機器切割，每一片的大小及厚薄很均勻，應該是這個原因造成我們估算時的誤差，還好我們有乖乖認分的把數量算一遍。
4. 經過確實的數量計算後，我們推估出一顆花生米的熱量約為 3834 卡，一片洋芋片的熱量約為 9718 卡，這個數據將成為我們進行熱量測量的標準值。
5. 因為我們發現花生米的顆粒大小其實差距很大，因此如果把每一顆花生米的熱量都當作一樣，大顆與小顆的實驗數據可能會產生很大的誤差，因此我們決定改用比較合理的方式，以每公克所含的熱量當作標準。根據包裝上的熱量標示，花生米每 100 克的熱量是 532Kcal，所以花生米的熱量為 5320cal/g；洋芋片每 100 克的熱量是 533Kcal，所以洋芋片的熱量為 5330cal/g。
6. 兩種熱量的標準，會在接下來熱量測量中拿來計算準確率。

研究二：直接加熱法測定花生米或洋芋片所含的熱量

使用直接加熱法測定一顆花生米及一片洋芋片的熱量，比較兩種食物作為熱量測量的方便性及準確度。

在 250mL 錐形瓶中加入 100mL 的水，置於鐵架上，將花生米或洋芋片以手持方式，或放在固定架上，點火燃燒，如圖 2.1 所示，測量水的溫度變化後，計算所釋放的熱量。樣品燃燒前後均以電子天平秤重，以估計其燃燒程度。

圖 2.1：直接加熱法裝置圖

結果：

表 2.1：花生米的熱量測定(直接加熱法手持)

次數	燃燒前重	燃燒後重	釋放熱量	準確率(顆)	準確率(克)	燃燒率
1	0.818g	0.076g	1420cal	37.0%	36.0%	90.7%
2	0.711g	0.095g	1460cal	38.1%	44.6%	86.6%
3	0.638g	0.090g	1050cal	27.4%	36.0%	85.9%
4	0.825g	0.050g	1550cal	40.4%	37.6%	93.9%
5	0.859g	0.119g	1820cal	47.5%	46.2%	86.1%
		平均	**1460cal**	**38.1%**	**40.1%**	**88.7%**

表 **2.2**：洋芋片的熱量測定(直接加熱法手持)

次數	燃燒前重	燃燒後重	釋放熱量	準確率(片)	準確率(克)	燃燒率
1	1.909g	0.251g	1800cal	18.5%	20.4%	86.9%
2	1.916g	0.192g	2220cal	22.8%	24.2%	90.0%
3	1.956g	0.350g	2300cal	23.7%	26.9%	82.1%
4	1.969g	0.128g	2080cal	21.4%	21.2%	93.5%
5	1.985g	0.384g	1980cal	20.4%	23.2%	80.7%
		平均	**2076cal**	**21.4%**	**23.2%**	**86.6%**

表 **2.3**：花生米的熱量測定(直接加熱法有架子)

次數	燃燒前重	燃燒後重	釋放熱量	準確率(顆)	準確率(克)	燃燒率
1	0.645g	0.105g	1140cal	29.7%	39.7%	83.7%
2	0.795g	0.144g	800cal	20.9%	23.1%	81.9%
3	0.678g	0.093g	1060cal	27.6%	34.1%	86.3%
4	0.666g	0.099g	1250cal	32.6%	41.4%	85.1%
5	1.056g	0.159g	1770cal	46.2%	37.1%	84.9%
		平均	**1204cal**	**31.4%**	**35.1%**	**84.4%**

表 **2.4**：洋芋片的熱量測定(直接加熱法有架子)

次數	燃燒前重	燃燒後重	釋放熱量	準確率(片)	準確率(克)	燃燒率
1	1.888g	0.109g	1970cal	20.3%	20.8%	94.2%
2	1.879g	0.018g	1900cal	19.6%	19.2%	99.0%
3	1.865g	0.140g	1770cal	18.2%	19.3%	92.5%
4	1.852g	0.246g	1810cal	18.6%	21.1%	86.7%
5	1.842g	0.124g	2070cal	21.3%	22.6%	93.3%
		平均	**1904cal**	**19.6%**	**20.6%**	**93.1%**

討論：

1. 比較手持方式及支架方式的不同，是因為我們認為手持的變數較大，支架可以把樣品固定，應該準確率較高。
2. 實驗結果顯示，不論花生米或洋芋片，支架法的準確率反而降低，見圖 2.2 及圖 2.3，我們覺得是因為，手持方式可以很機動的調整樣品與錐形瓶之間的距離，確保熱量可以傳給錐形瓶中的水。支架法雖然可以固定樣品與錐形瓶的距離，避免人為誤差，但是樣品燃燒時，產生的火焰大小經常會變動，如果火焰較小，那麼熱量就會散失，所以手持法反而比支架法準確，但是做實驗時要專注的觀察燃燒的過程及火焰的變化。

3. 燃燒效率部分，花生米沒有很明顯的差別，但是洋芋片很奇怪，支架法的燃燒效率比手持法高了將近 10%，但準確率卻較低，因為洋芋片既薄且脆，須用鑷子夾住燃燒，因此無法燃燒完全，改用支架時，反而就沒有這個困擾。

圖 2.2：花生米手持與支架的準確率及燃燒率比較

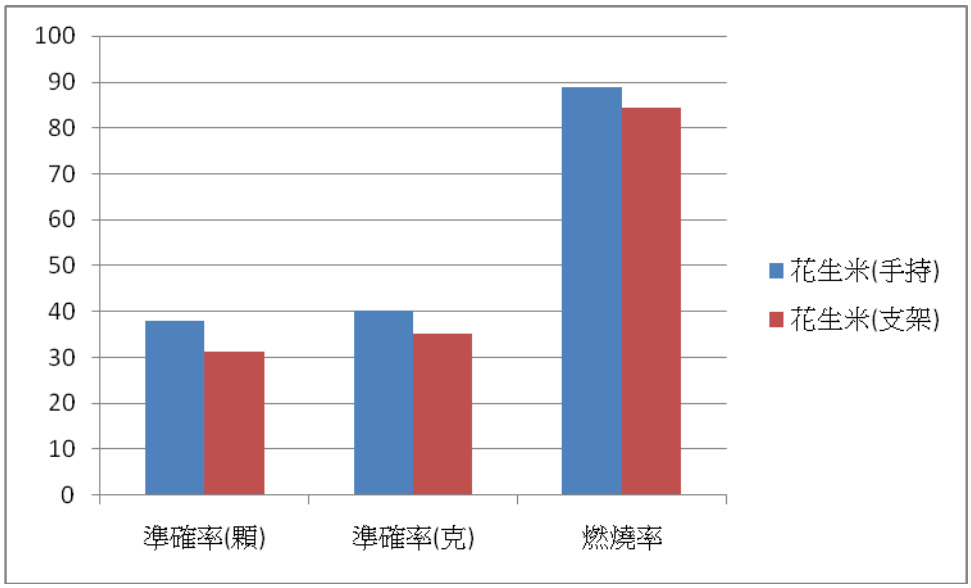
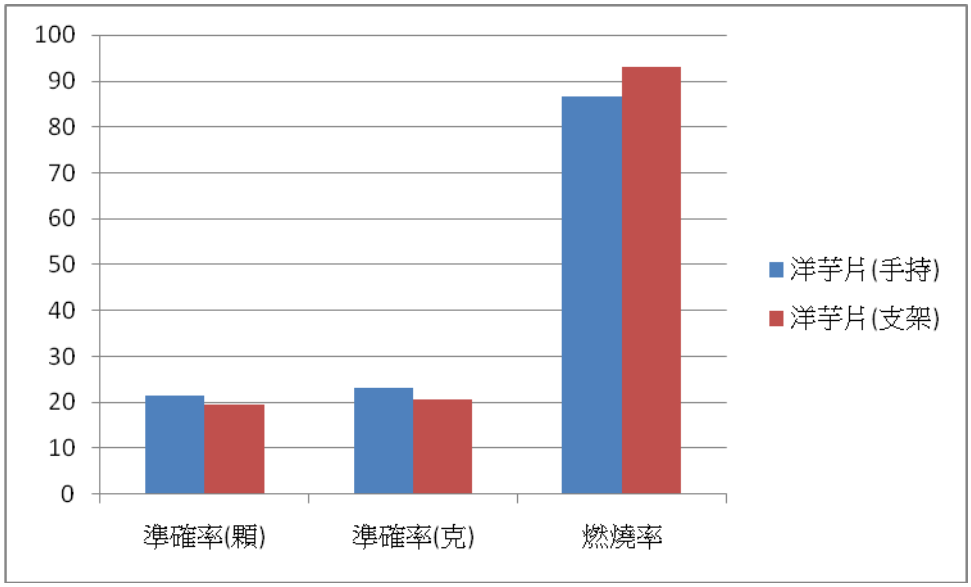


圖 2.3：洋芋片手持與支架的準確率及燃燒率比較



4. 不論手持法或是支架法，花生米的燃燒準確率都比洋芋片高，這跟我們一開始的想法也不一樣。我們感覺洋芋片比較好燒，火焰也很大，所以我們預估洋芋片會比花生米好，結果卻是相反。見圖 2.4 及圖 2.5。
5. 洋芋片燃燒的火焰很大又很猛，但是很快就燒完了，這時候熱量不見得完全被錐形瓶中的水吸收，應該有一大部分跑掉，老師又告訴我們，溫度差距如果越大的時候，熱量散失的狀況可能會更加嚴重，這是我們分析洋芋片準確率比花生米差的原因。

6. 相反的，花生米不易點燃，但燃燒的火焰適中，而且燃燒的時間很長，我們相信，因為花生米燃燒時慢慢地釋放熱量，使得熱量傳遞給錐形瓶的機會增加，所以準確率就比較好。

圖 2.4：花生米與洋芋片的準確率及燃燒率比較(手持法)

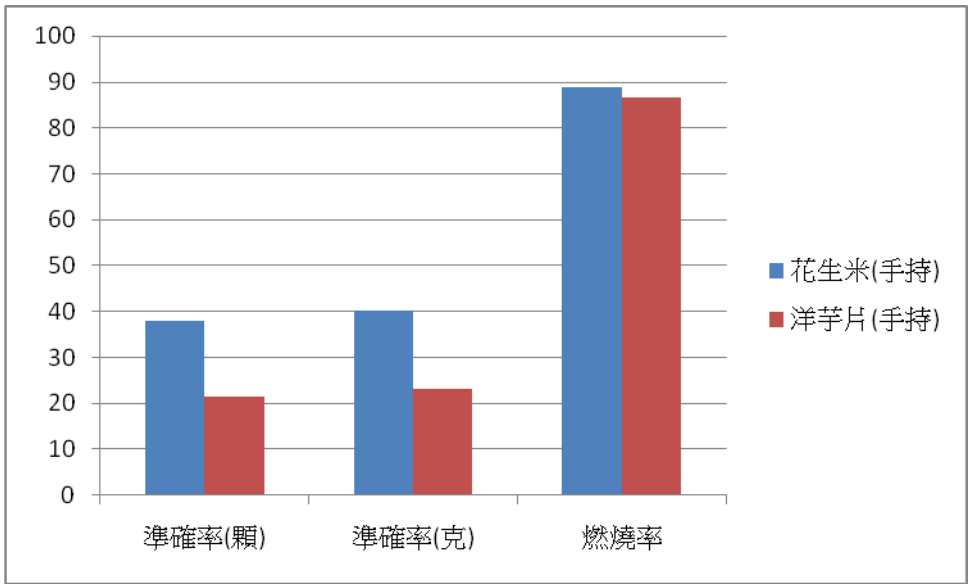
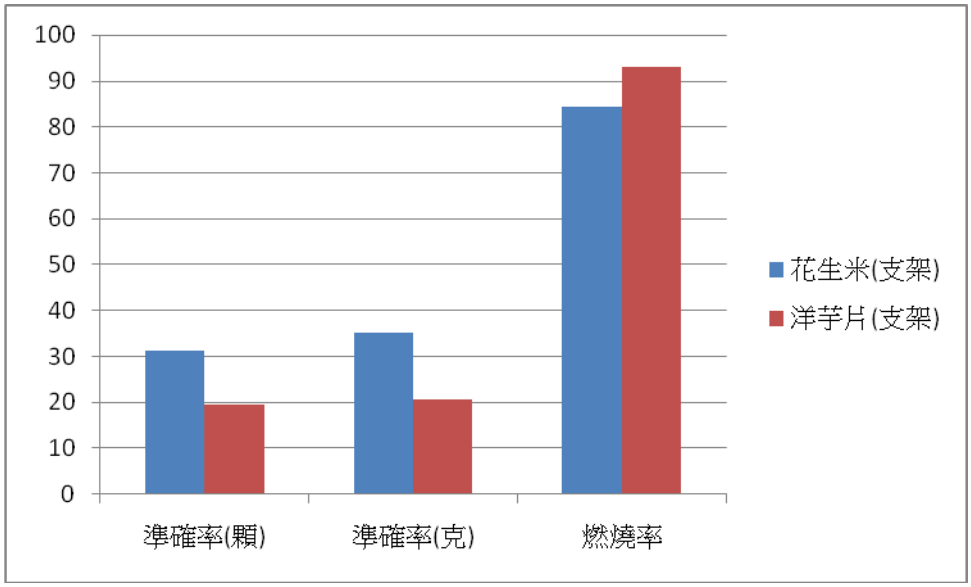


圖 2.5：花生米與洋芋片的準確率及燃燒率比較(支架法)



7. 不論手持或是支架，也不論花生米或洋芋片，熱量測量的準確率都讓我們有很大的失望。雖然我們從實驗中瞭解到食物是含有能量的，但這和課本中提到，1 公克的醣類或蛋白質可產生 4 大卡的熱量，1 公克的脂質可產生 9 大卡的熱量，感覺上燃燒計算出來的結果，和課本寫的有很大的落差。
8. 利用研究一估算出來的熱量當作標準，我們計算出花生米的熱量測量準確率只有 3 到 4 成，洋芋片更低到 2 成左右，顯示這樣的熱量測量方式有很大的誤差。

研究三：遮罩法測定花生米或洋芋片所含的熱量

在 250mL 錐形瓶中加入 100mL 的水，以牛奶罐做成簡易遮罩，將花生米或洋芋片以手持方式，點火燃燒，如圖 3.1 所示，測量水的溫度變化後，計算出釋放的熱量。樣品燃燒前後均以電子天平秤重，以估計其燃燒程度。

圖 3.1：遮罩法裝置圖

結果：

表 3.1：花生米的熱量測定(遮罩法)

次數	燃燒前重	燃燒後重	釋放熱量	準確率(顆)	準確率(克)	燃燒率
1	1.039g	0.156g	1550cal	40.4%	33.0%	85.0%
2	0.922g	0.220g	1400cal	36.5%	37.5%	76.1%
3	0.906g	0.128g	1400cal	36.5%	33.8%	85.9%
4	1.034g	0.309g	1500cal	39.1%	38.9%	70.1%
5	0.899g	0.212g	1600cal	41.7%	43.8%	76.4%
		平均	**1490cal**	**38.9%**	**37.4%**	**78.7%**

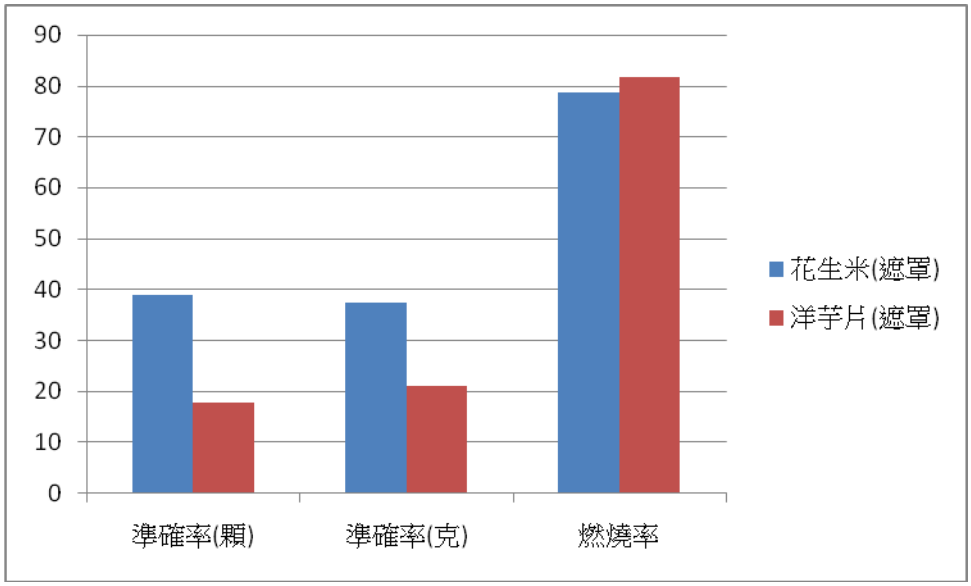
表 **3.2**：洋芋片的熱量測定(遮罩法)

次數	燃燒前重	燃燒後重	釋放熱量	準確率(片)	準確率(克)	燃燒率
1	1.825g	0.440g	1450cal	14.9%	19.6%	75.9%
2	1.586g	0.195g	1500cal	15.4%	20.2%	87.7%
3	1.994g	0.163g	2050cal	21.1%	21.0%	91.8%
4	2.039g	0.505g	1700cal	17.5%	20.8%	75.2%
5	1.929g	0.431g	1950cal	20.1%	24.4%	77.7%
		平均	**1730cal**	**17.8%**	**21.2%**	**81.7%**

討論：

1. 我們跟老師報告我們的實驗結果，老師就拿出以前課本提到的熱量測量方法。在這個方法中，用牛奶罐製作一個簡易遮罩，然後在遮罩中進行燃燒，我們想，這應該是為了避免熱量散失，所以我們就依樣畫葫蘆，仿製了實驗裝置(附錄一)。
2. 遮罩法的實驗結果顯示，對於花生米及洋芋片的熱量測量準確率都沒有明顯的提升，花生米的準確率還是沒有超過 4 成，洋芋片的準確率也只有 2 成左右，見圖 3.2。
3. 遮罩法還降低了燃燒效率，我們認為，雖然牛奶罐遮罩有開了一些通風孔，但是效果不彰，不通風的結果，會造成燃燒效率下降，大約減少了 1 成左右，見圖 3.2，這也可能是造成遮罩法的熱量測量效果不好的原因。

圖 3.2：花生米與洋芋片的準確率及燃燒率比較(遮罩法)



研究四：火箭罐卡計測定花生米或洋芋片所含的熱量

以小鐵罐為側罐，用開罐器去除上下蓋，讓它變成中空；中鐵罐當內罐，大鐵罐作外罐，內外罐側面以側罐的口徑大小，用油性筆畫出圓圈，以鐵剪剪出適合側罐穿入的洞，內罐上端開一圈孔洞作為通風孔；將內外罐及側罐組裝起來，用塑鋼土填住接縫處，避免漏水；以鐵剪將烤肉架剪出適當大小，摺成ㄇ字型，作為燃燒樣品的支撐架；組裝成的火箭罐卡計，如圖 4.1 所示。

在內外罐之間注入水，仔細記錄水量，另在 250mL 錐形瓶中加入 200mL 的水，置於火箭罐卡計上。將花生米或洋芋片放在內罐燃燒架上，點火燃燒，測量錐形瓶內的水溫度變化及內外罐間的水溫變化後，計算出釋放的熱量。樣品燃燒前後均以電子天平秤重，以估計其燃燒程度。

圖 4.1：火箭罐卡計裝置圖

結果：

表 4.1：花生米的熱量測定(火箭罐卡計法)

次數	燃燒前重	燃燒後重	釋放熱量	準確率(顆)	準確率(克)	燃燒率
1	1.084g	0.150g	4490cal	117.1%	77.9%	86.2%
2	0.851g	0.127g	3590cal	93.6%	79.3%	85.1%
3	1.181g	0.105g	5030cal	131.2%	80.1%	91.1%
4	0.895g	0.104g	3590cal	93.6%	75.4%	88.4%
5	0.940g	0.122g	4310cal	112.4%	86.2%	87.0%
		平均	**4202cal**	**109.6%**	**79.8%**	**87.5%**

表 **4.2**：洋芋片的熱量測定(火箭爐卡計法)

次數	燃燒前重	燃燒後重	釋放熱量	準確率(片)	準確率(克)	燃燒率
1	1.908g	0.132g	6030cal	62.0%	59.3%	93.1%
2	1.957g	0.082g	6540cal	67.3%	62.7%	95.8%
3	1.925g	0.153g	7610cal	78.3%	74.2%	92.1%
4	1.957g	0.090g	7150cal	73.6%	68.5%	95.4%
5	1.923g	0.131g	6270cal	64.5%	61.2%	93.2%
		平均	**6720cal**	**69.2%**	**65.2%**	**93.9%**

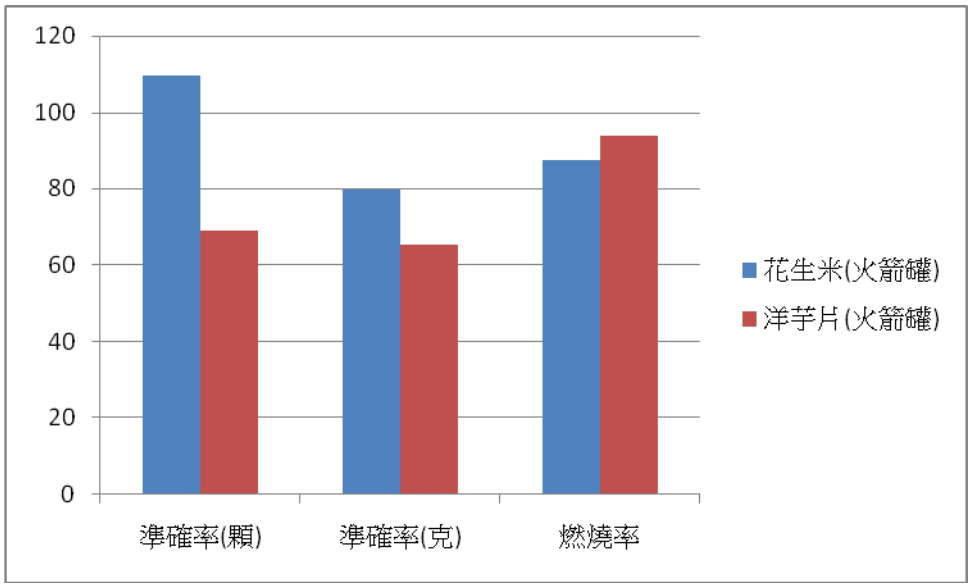
討論：

1. 我們認為熱量的散失，是導致準確率不佳的主因，所以如何能將散失的熱能收集並測量，是我們要想辦法的地方。
2. 剛好同學在參加荒野活動的時候，學習到一種燃燒效率超高的火箭爐。我們覺得這種設計，如果可以用來燃燒樣品，或許可以提高燃燒效率，更重要的是，火箭爐的內外罐空間可以放入水，這樣就可以把從下方或旁邊散失的熱量收集起來，一定可以提高熱量測量的準確率，我們把這樣的設計稱為火箭罐卡計。
3. 一開始我們做了一個小型的火箭罐卡計，如圖 4.2，結果因為罐體太小，側面通風孔太長，反而造成燃燒效率更差，花生米及洋芋片經常沒有完全燒完，火就滅了。後來改用較大的罐子重做一個，為了讓燃燒的樣品置於適當位置，還利用烤肉用的鐵絲網，摺成一個樣品支撐架。

圖 4.2 小型火箭罐卡計

4. 使用火箭罐卡計來測量花生米及洋芋片的熱量，得到非常好的效果，洋芋片的準確率超過 6 成，花生米的準確率也達到 8 成左右，如圖 4.3。

圖 4.3：花生米與洋芋片的準確率及燃燒率比較(火箭罐卡計)



5. 令人奇怪的是，以顆為單位的花生米熱量準確率，有好幾個數據超過 100%，這是不可能的事，顯示我們的實驗一定出了問題。經過我們仔細討論與追究，終於找到原因。由於花生米的大小比較不一致，以顆為熱量單位時，估算的是平均值，如果當次拿的花生米較大顆時，釋放熱量較多，則準確率就可能超過 100%。這個現象，在之前實驗未曾被凸顯，是因為先前的實驗方法散失熱量較多，所以看不出來；而洋芋片的大小厚薄一致性高，重量差異不大，因此也不易發生這樣的問題。
6. 以顆或片為單位，來估算花生米及洋芋片的熱量，除非其大小重量一致，否則一定會造成誤差。因此最準確的方式，應該改用每克質量所含的熱量當作標準，質量越大，所含熱量越多，質量越小，所含熱量越少，這樣計算出來的準確率才有意義。
7. 由於火箭罐卡計改善了大部份熱量散失的問題，大大提高了熱量計算的數值，造成我們必須思考一下計算公式的合理性。
8. 經過質量修正後的結果，花生米的熱量準確率降為 8 成左右，這是非常合理且很好的數據，顯示火箭罐卡計對熱量測量產生很好的效果。

研究五：不同燃燒方式測定花生米與洋芋片的熱量比較

將前述三種方式，直接加熱法、遮罩法、火箭爐卡計法所得結果，整理成下表，以便比較不同方法的準確程度及優缺點。

結果：

表 **5.1**：不同測量方式的花生米熱量比較

測定法	釋放熱量(卡)	準確率(顆)	準確率(克)	燃燒率
直接加熱法(手持)	1460	38.1%	40.1%	88.7%
直接加熱法(支架)	1204	31.4%	35.1%	84.4%
遮罩法	1490	38.9%	37.4%	78.7%
火箭罐卡計法	4202	109.6%	79.8%	87.5%

表 **5.2**：不同測量方式的洋芋片熱量比較

測定法	釋放熱量(卡)	準確率(片)	準確率(克)	燃燒率
直接加熱法(手持)	2076	21.4%	23.2%	86.6%
直接加熱法(支架)	1904	19.6%	20.6%	93.1%
遮罩法	1730	17.8%	21.2%	81.7%
火箭罐卡計法	6720	69.2%	65.2%	93.9%

討論：

1. 不同的熱量測量方式，對花生米及洋芋片的燃燒率影響不大，希望能避免散熱以提高熱量準確率的遮罩法，甚至降低了燃燒效率。
2. 花生米的熱量準確率明顯高於洋芋片，原因在研究二的討論中有做說明，所以如果要證明食物中含有熱量，又要兼顧實驗的準確率，花生米還是比較好的選擇。
3. 火箭罐卡計因為增加周圍水溫的測量，可以將原先散失的熱量加回來，所以其熱量準確率明顯優於其他方法，洋芋片的準確率可以提升到 6 成，見圖 5.2；花生米的部分更好，熱量準確率達到 8 成左右，見圖 5.1。

圖 5.1：不同燃燒方式的準確率及燃燒率比較(花生米)

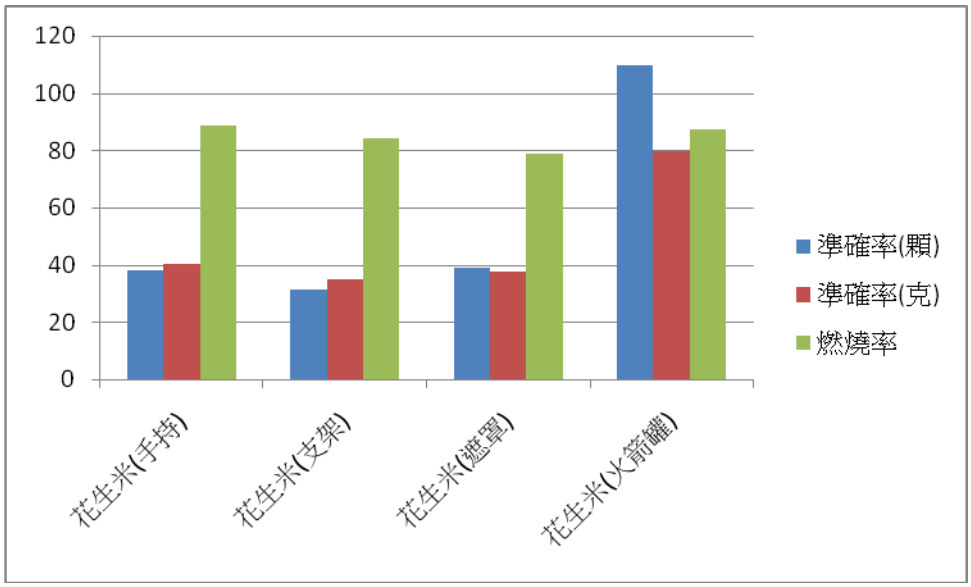
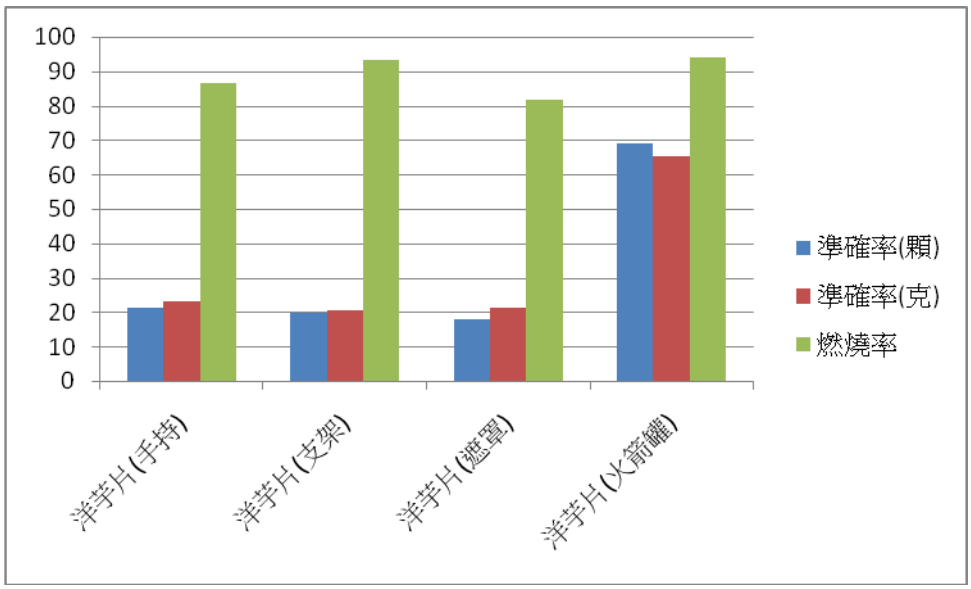


圖 5.2：不同燃燒方式的準確率及燃燒率比較(洋芋片)



研究六：供給純氧對樣品燃燒熱量的影響

將有側支的錐形瓶、蔰頭漏斗、橡皮管、玻璃管及試管，裝置成氧氣發生裝置，如下圖 6.1。以二氧化錳催化雙氧水分解出氧氣，從火箭罐卡計的通風孔中送入純氧，幫助樣品燃燒完全，如圖 6.2。內外罐之間注入水，仔細記錄水量，另在 250mL 錐形瓶中加入 200mL 的水，置於火箭罐卡計上。將花生米或洋芋片放在內罐樣品支撐架上，點火燃燒，測量錐形瓶內的水溫度變化及內外罐間的水溫變化後，計算出釋放的熱量。樣品燃燒前後均以電子天平秤重，以估計燃燒程度。

圖 6.1：氧氣發生裝置

圖 6.2：火箭罐卡計供應純氧幫助燃燒

結果：

表 **6.1**：花生米的熱量測定(火箭罐卡計法加純氧)

次數	燃燒前重	燃燒後重	釋放熱量	準確率(顆)	準確率(克)	燃燒率
1	0.807g	0.090g	3894cal	101.6%	90.7%	88.8%
2	0.826g	0.098g	4307cal	112.3%	98.0%	88.1%
3	0.814g	0.096g	4320cal	112.7%	99.8%	88.2%
4	0.880g	0.096g	4435cal	115.7%	94.7%	89.1%
5	0.855g	0.077g	4284cal	111.7%	94.2%	91.0%
		平均	**4248cal**	**110.8%**	**95.5%**	**89.1%**

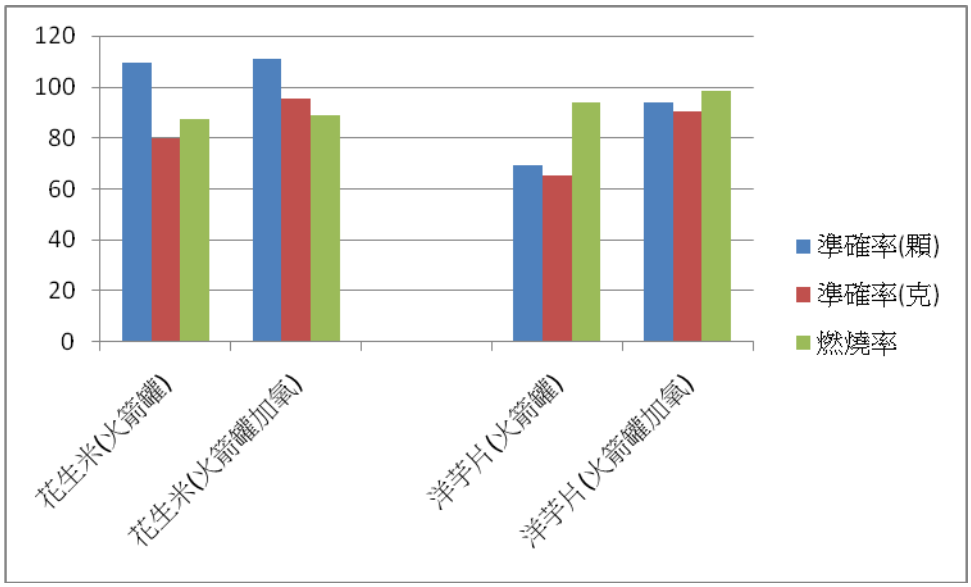
表 **6.2**：洋芋片的熱量測定(火箭罐卡計法加純氧)

次數	燃燒前重	燃燒後重	釋放熱量	準確率(片)	準確率(克)	燃燒率
1	1.907g	0.020g	8850cal	91.1%	87.1%	99.0%
2	1.871g	0.013g	8960cal	92.2%	89.8%	99.3%
3	1.897g	0.017g	8930cal	91.9%	88.3%	99.1%
4	1.915g	0.021g	9490cal	97.7%	93.0%	98.9%
5	1.900g	0.062g	9420cal	96.9%	93.0%	96.7%
		平均	9130cal	93.9%	90.2%	98.6%

討論：

1. 雖然火箭罐卡計在計算熱量的準確率上，已經達到很好的效果，但是我們還是希望能做出像課本提到的數值一樣準確，因此我們決定再思考一下，是否還有可以改進的部分。
2. 老師給我們看了一下卡計的圖形，我們發現卡計為了讓樣品完全燃燒，是提供純氧的，因此我們向老師要求，是否可以在燃燒時提供純氧。
3. 老師叫我們找 8 年級上的自然與生活科技課本，第二章有一個實驗是氧氣的製備與性質，我們仿效裝配了一個氧氣發生裝置，並增加一支裝水的有側支試管，利用氣泡的產生，偵測與控制氧氣的生成速率。
4. 供給純氧的結果，花生米及洋芋片的燃燒率更加向上提升，花生米接近 9 成，而洋芋片更好，接近 100％，幾乎測不到甚麼殘餘物，而且燃燒的產物也從原來的黑色變成灰白色，這應該是無法燃燒的灰分，表示經由這種方式的燃燒非常完全。
5. 熱量準確率部分，都超過了 9 成，花生米更達到 9 成 5 的高標準，見圖 6.3，令我們相當振奮。感覺上，我們朝向能真正測量食物中的熱量，邁出了成功的一大步。

圖 6.3：是否加氧對花生米及洋芋片熱量準確率及燃燒率的影響



研究七：火箭罐卡計在測定其他食物所含熱量的可行性

以生活周邊容易取得的食物，使用研究六的實驗裝置及方式，將樣品置於火箭罐卡計中，供應純氧幫助其燃燒完全，計算其釋放熱量，並與包裝上的理論值做比較，評估火箭罐卡計在測定食物熱量上的可行性與準確度。

結果：

表 **7.1**：不同食物的熱量測量結果

食物名稱	燃燒前重	燃燒後重	釋放熱量	準確率	燃燒率	備註
乾糧(餅乾)	1.549g	0.000g	5440cal	83.6%	100.0%	4200 cal/g
	1.562g	0.044g	6010cal	91.6%	97.2%	
	1.570g	0.000g	6250cal	94.8%	100.0%	
休閒丸子(乾麵類)	2.015g	0.350g	7660cal	75.8%	82.6%	5018 cal/g
	2.051g	0.445g	6520cal	63.4%	78.3%	
	1.950g	0.474g	7270cal	74.3%	75.7%	
沙拉油	1ml	—	5900cal	71.3%	—	8280cal/ml
	1ml	—	4705cal	56.8%	—	
	1ml	—	6540cal	79.0%	—	
豆干(日照)	1.755g	0.744g	3780cal	55.5%	57.6%	3880 cal/g
	1.880g	0.622g	4760cal	65.3%	66.9%	
	1.733g	0.407g	5120cal	76.1%	76.5%	
豆干(烘烤)	1.972g	0.510g	6390cal	83.5%	74.1%	3880 cal/g
	1.524g	0.450g	3880al	65.6%	70.5%	
	1.455g	0.366g	4160cal	73.7%	74.8%	

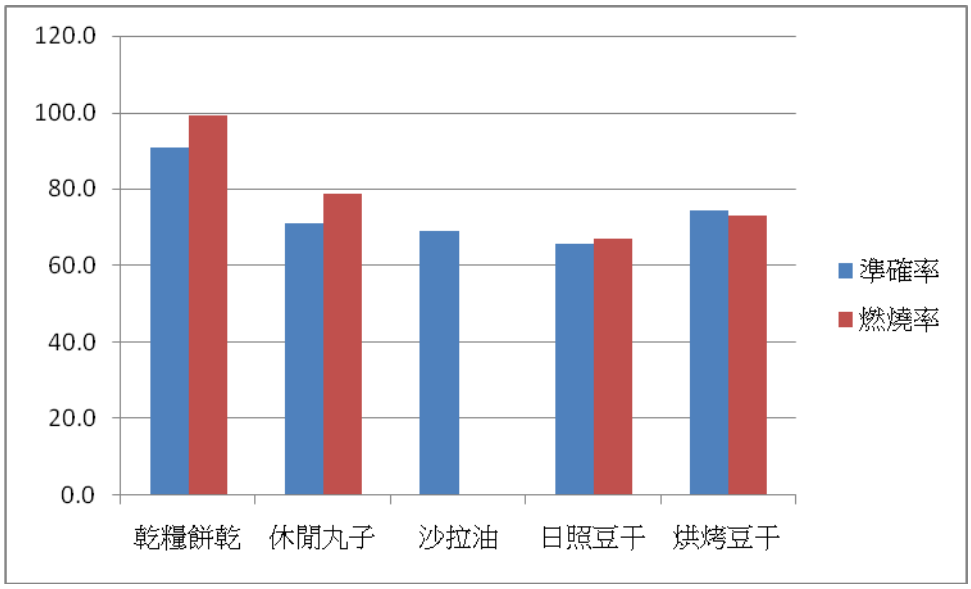
討論：

1. 有了研究六的成功經驗，我們嘗試利用這樣的裝置，將我們的蒐集到的食物送進火箭罐卡計中進行燃燒，並與理論值做比較，看看我們是否真能利用這個裝置，來測量食物中的熱量。
2. 一開始我們想到測量醣類、蛋白質、脂質，看看它們的熱量是否如課本所說的一樣。我們用方糖代表醣類，但它一燒就融化掉到罐底，嘗試了很多次都無法成功；蛋白質想要用雞肉絲做代表，但卻燒不起來；只有脂質以沙拉油為代表，雖然很難燒，但終究燒起來了，沙拉油是液體，燃燒完後感覺容器中有點油油的，卻幾乎沒秤到甚麼殘餘的重量，因此無法計算其燃燒比率。

根據罐上標示，沙拉油的熱量是 8280cal/ml，我們測量的結果，熱量約為 5-6 千卡左右，準確率約有 7 成。三次的差距有點大，可能跟沙拉油的燃燒較為困難，點燃不易，火焰的穩定度不佳有關。

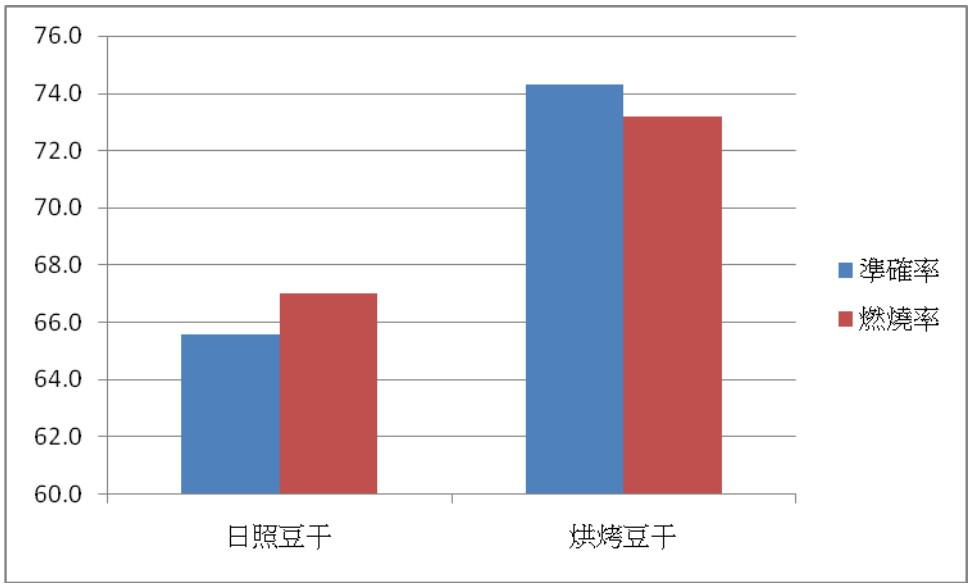
3. 後來我們從校園的合作社買來乾糧餅乾、休閒丸子(張君雅乾麵)、豆干及牛肉乾，想要試試看能不能確實的測出熱量。牛肉乾完全無法燃燒，所以後來被我們放棄了；豆干也非常不容易燃燒，感覺上有冒出水氣，因此我們將豆干經過日照處理及微波烘乾，試著改變其燃燒狀況；乾糧餅乾及休閒丸子則很順利燃燒。
4. 乾糧餅乾燃燒率極佳，熱量準確率達到 9 成左右；休閒丸子也不錯，燃燒率接近 8 成，熱量準確率 7 成左右；豆干的燃燒率則是 7 成左右，熱量準確率大約 6-7 成，見圖 7.1。

圖 7.1：不同食物的熱量準確率及燃燒率



5. 豆干感覺上含有許多水，所以我們將它分別做日照及微波爐烘烤兩項處理，結果烘烤的燃燒率略為提升，熱量準確率則增加了 1 成，見圖 7.2。這樣的結果應該是跟豆干的含水量有密切關係，烘乾豆干明顯較為乾燥，但我們也怕過度的微波爐烘乾會改變食物的化學成分，因此影響到熱量的測量。

圖 7.2：日照豆乾與烘乾豆干的熱量準確率及燃燒率



6. 食物進行熱量測量時，容不容易燃燒決定了測量的成功與否，也影響到熱量的準確率，而容不容易燃燒受到食物含水量的影響。
7. 花生米及洋芋片都是富含油脂的食物，因此在進行燃燒及熱量測量上，很容易進行。但是要進行一般食物的熱量測量時，就遇到許多麻煩。雞肉絲與牛肉乾含水量過高，根本無法然燃燒；豆干也是要經過日照或烘乾後，才有比較好的燃燒表現；至於乾麵類的休閒丸子應該是油炸品，所以有比較好的燃燒率及熱量準確率；乾糧餅乾在製程中已經有烘烤過，含水量應該非常低，因此燃燒率幾乎達到百分之百，熱量準確率也非常高。
8. 其他食物的熱量測量實驗中，我們遇到很大的困難，最主要就是樣品無法燃燒，歸咎原因，應該是樣品含水太多，不夠乾燥，這是我們沒有事先預料到的。如果我們想要利用火箭罐卡計來測量食物中所含的熱量，必須先克服樣品乾燥的問題，不過我們希望在乾燥過程中，不要太過破壞食物的成分或化學結構，以免影響熱量測量的數據。另外對於液體樣品及粉末狀樣品的處理，如何放置才不會影響燃燒，都是我們後續還要再努力的地方。

伍、　結論

一、　計算花生米熱量準確率時，因為花生米的大小重量不一，所以以顆為單位時，產生極大的誤差；洋芋片的大小厚薄均勻，這方面的問題較不嚴重；樣品燃燒前後均有秤重，所以採取以質量為單位的熱量計算方式，較為正確。

二、　以熱量準確率的數據看來，花生米當作示範實驗的樣品比洋芋片好，雖然洋芋片燃燒的火勢既大又猛，對學生較具吸引力，但如果仔細計算熱量釋放，與原本所含的實際熱量相比，熱量散失較多且準確率較低。

三、　直接燃燒法與遮罩法都無法避免熱量的散失，遮罩法甚至阻礙了空氣對流，影響燃燒效率，造成熱量準確率不佳。

四、　火箭罐卡計法可以將原本從下方或向四周散失的熱量，用內外罐間的水吸收，因此熱量準確率有大幅度的提升，花生米部分大約提高 2 倍，洋芋片部分則大約提高 3 倍。

五、　提供純氧可以幫助燃燒更完全，使得燃燒率提高，在熱量準確率部分，更有很大的幫助，花生米的準確率高達 9 成 5，洋芋片也有超過 9 成的表現。如果以這樣的裝置，來測量食物中所含的熱量，似乎非常可行。

六、　食物樣品在進行燃燒法測量熱量時，必須確實乾燥，否則無法燃燒，或導致燃燒不完全，因此無法精準測出熱量的數據。

七、　樣品乾燥過程中應避免改變其成分組成或化學結構，否則可能導致熱量測量數據失真，關於這個部分，我們尚未想出適當的方法，是未來可以再努力改進的地方。

陸、　未來展望

由於我們使用的火箭罐卡計，在食物熱量測量上獲得非常好的效果，因此我們修正了部分構造，完成了簡易火箭罐卡計的設計圖，見圖 8.1；並依據這個設計圖製作了一個模型，如圖 8.2。

圖 8.1 簡易火箭罐卡計設計圖

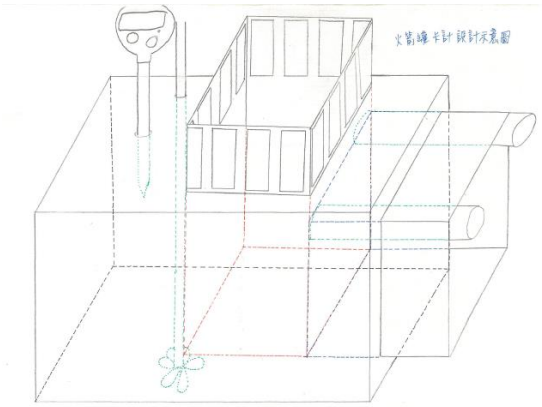


圖 8.2 簡易火箭罐卡計模型

我們在外罐上增加一個上蓋，使整個罐體有比較好的包覆性，避免熱量散失，蓋上留兩個孔，一個用來置放溫度計，一個則是攪拌器，它可以攪拌內外罐之間

的水層，促進對流，讓水溫的測量更為準確。樣品燃燒架可以架在燃燒室(內罐)的中間，方便取用及清潔，下方還有一個燃燒盆，可以置放液體或粉末狀樣品。通風孔(側罐)設置兩支管子作為氧氣送入孔，可以讓氧氣直達燃燒架的下方。在通風孔內增加一個托盤，可以承接樣品燃燒後的碎屑殘渣，便於取出秤重，也可以保持燃燒室的清潔。

如果有廠商願意幫忙生產這個實驗裝置，全國的國中生，就有一個非常簡易且準確的熱量測量的實驗器材了。

柒、　參考資料

【1】國中自然與生活科技 1 上，3-1 食物中的養分，P48-P49，康軒文教事業股份有限公司。

【2】國中自然與生活科技 2 上，5-2 熱量與比熱，P128-P133，康軒文教事業股份有限公司。

【3】國中自然與生活科技 2 上，實驗 2-3 氧氣的製備及性質，P46-P48，康軒文教事業股份有限公司。

【4】高瞻自然科學教學資源平台，
http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40815 ，4 / 28 / 2014。

【5】報導／劉燕美、攝影／高大鈞，省能火箭爐搞定環保野炊，2010 年 10 月 06 日，蘋果日報。

捌、　附錄

一、【活動 3-1】 食物中能量的測定

目的：使用簡易的燃燒裝置，測定花生米燃燒時所釋放出來的能量。

器材：

1.空罐	1 個	2.錐形瓶(250ml)	2 個
3.試管夾	1 支	4.量筒(5Oml)	1 個
5.溫度計	1 支	6.解剖針	1 支
7.乾燥花生米	2 粒	8.酒精燈	1 盞

步驟：

1. 把空罐倒過來，使罐底在上方。用剪刀在罐底中間處鑿一個比錐形瓶口略大的圓孔，並用剪刀在圓孔四周鑿數個小孔。
2. 把錐形瓶口從罐內插進罐底圓孔中，並使瓶口露出圓孔外，然後用試管夾把瓶口夾住。
3. 倒入 100ml 的水於錐形瓶內，並放置一支溫度計於水中。測定並記錄水的溫度。
4. 取一粒花生米插在解剖針尖上。
5. 用酒精燈把解剖針上的花生米點燃，然後儘快移至罐內錐形瓶下方。待花生米完全燃燒後，測定並記錄錐形瓶內的水溫。
6. 重複步驟 2 至 5 ，再作一次。
7. 計算花生米燃燒所釋放出來的熱量，並記錄。

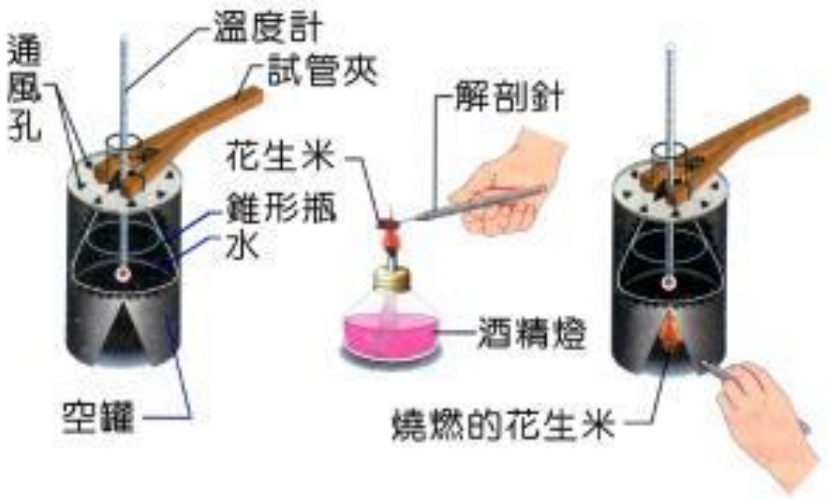


圖 3-8 燃燒花生米的實驗

問題：

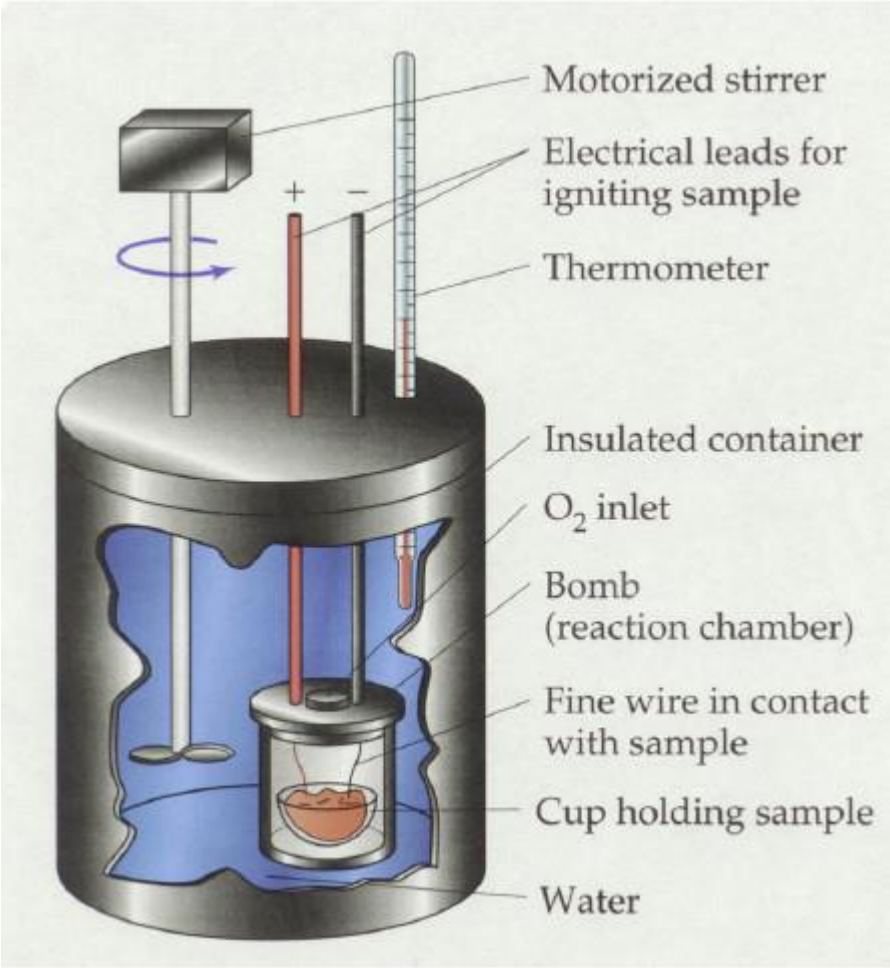
1. 比較本組兩次活動結果和其他各組的結果。若所得結果彼此均有差異，此差異的可能原因是什麼？
2. 為了獲得更精確的食物能量數據，請你設計改良本活動的方法或器材。

二、**彈卡計(Bomb calorimeter)**

國立臺灣大學化學工程系碩士生吳宗澤/國立臺灣大學化學系陳藹然博士編輯

彈卡計(Bomb calorimeter)是一種定體積的卡計(Calorimeter)，用來測量反應的燃燒熱(Heat of combustion)。

一般彈卡計的裝置如下圖所示：



圖一、彈卡計的示意。

(圖片來源：http://chemistry.umeche.maine.edu/~amar/spring2011/bomb.html)

彈卡計為一不鏽鋼製反應容器，內有一不鏽鋼製的高壓罐，這是因為燃燒反應前後系統體積不變，導致使系統壓力變大，故需要在能耐高壓的反應槽內進行，反應物 放置於高壓罐中的樣品杯內。將秤好重量的反應物放入樣品杯中之後，小心密封住，並且在樣品杯內填充純氧。填充純氧的原因是為了確保燃燒時有足夠的氧氣供應 使反應物可以燃燒完全；如果燃燒不完全，則會有部分的試料並沒有成功燃燒，那麼所求得的數據是完全不準的。

完成氧氣的填充之後，將高壓罐放入反應容器中，在反應容器內加入一定量的水，接上溫度計，點火線，攪拌棒等等，將反應容器放於絕熱環境內避免反應中系統和大氣進行熱交換，就完成了以彈卡計測量燃燒熱的準備步驟。

【評語】030802

本作品利用自製的火箭罐卡計測量花生米與洋芋片的熱量，卡計設計具有創意，針對缺點能夠持續改進，並充分發揮團隊合作精神共同完成。雖然精確度可再加強，但仍不失為一完整作品，故推薦為最佳團隊合作獎。